

**DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA AUTOMÁTICO DE
INSPECCIÓN DE LA CALIDAD DEL ARROZ USANDO TÉCNICAS DE VISIÓN
POR COMPUTADOR Y PROCESAMIENTO DE IMÁGENES**

**JUAN CAMILO PASTRANA TORRES
Cód. 2004100439**

**FAIBER MAURICIO DIAZ RAMOS
Cód. 2004102903**

**UNIVERSIDAD SURCOLOMBIANA
FACULTAD DE INGENIERÍA
INGENIERÍA ELECTRÓNICA
NEIVA, HUILA
2012**

**DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA AUTOMÁTICO DE
INSPECCIÓN DE LA CALIDAD DEL ARROZ USANDO TÉCNICAS DE VISIÓN
POR COMPUTADOR Y PROCESAMIENTO DE IMÁGENES**

JUAN CAMILO PASTRANA TORRES

FAIBER MAURICIO DIAZ RAMOS

**Proyecto de grado presentado para optar
Al título de Ingeniero Electrónico**

Director:

**Ing. JOSÉ DE JESÚS SALGADO PATRÓN
Ingeniero Electrónico. Docente Universidad Surcolombiana**

**UNIVERSIDAD SURCOLOMBIANA
FACULTAD DE INGENIERÍA
INGENIERÍA ELECTRÓNICA
NEIVA, HUILA
2012**

Nota de aceptación:

Firma del director del proyecto

Firma del primer jurado

Firma del segundo jurado

Neiva, 5 de diciembre de 2012.

Dedicado principalmente a Dios nuestro señor;
Por darme la vida, la salud, las oportunidades, y la paciencia;
Para no desfallecer ante las adversidades presentadas;
A mis Papás por el apoyo incondicional;
Y orientación en todo momento;
A mi familia porque siempre me brindaron cariño, apoyo y animo;
A mis profesores por la formación integral;
Y a mis amigos por todos los maravillosos momentos vividos.

JUAN CAMILO PASTRANA TORRES

Dedicado a Dios;
A mi Papá por su apoyo y sus consejos;
A mi Mamá por sus bendiciones y cuidados;
A mis Hermanos por su alegría y su incondicionalidad;
A la mujer de mi vida Sindy Romero;
Y a mi hijo Juan Pablo;
Por ser la inspiración para salir adelante;
A mi familia y mis amigos;
Por su apoyo incondicional en todo momento.

FAIBER MAURICIO DIAZ RAMOS

AGRADECIMIENTOS

Principalmente a Dios todo poderoso, por darnos su bendición, por cuidarnos y protegernos en todo momento, por ser nuestro guía, y por darnos la suficiente paciencia y fuerza para sobreponernos ante todas las adversidades vividas en todo este tiempo.

Agradecemos al Ingeniero José de Jesús Salgado por la dirección de este proyecto de grado, por su formación, sus consejos, y por habernos brindado el apoyo y la confianza para la realización este proyecto.

A nuestros padres y a nuestras familias, que nos apoyaron, acompañaron, guiaron y comprendieron incondicionalmente en la realización y culminación tanto de este proyecto, como de nuestro sueño en general de querer ser Ingenieros Electrónicos.

A un nuestros compañeros y amigos que nos apoyaron con ideas, ánimo y confianza para seguir adelante ante las dificultades vividas en todo nuestro camino hacia cumplir el objetivo de ser profesionales íntegros.

También queremos agradecerles a nuestros maestros durante el transcurso de la carrera, quienes con su conocimiento, rectitud y amistad, nos indicaron el camino para salir adelante y cumplir nuestras metas de ser profesional.

CONTENIDO

| | pág. |
|---|------|
| INTRODUCCIÓN..... | 16 |
| 1. FUNDAMENTOS TEÓRICOS..... | 17 |
| 1.1 CALIDADES DEL GRANO DE ARROZ..... | 17 |
| 1.2 VISIÓN POR COMPUTADOR..... | 18 |
| 1.2.1 Fases del proceso de visión..... | 19 |
| 1.2.2 Dificultades existentes en los sistemas de visión por computador..... | 19 |
| 1.2.3 Aplicaciones de los sistemas de visión..... | 19 |
| 1.3 FUNDAMENTOS DE PROCESAMIENTO DE IMÁGENES DIGITALES..... | 21 |
| 1.4 ANTECEDENTES..... | 22 |
| 2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA..... | 24 |
| 3. REQUISITOS DEL HARDWARE..... | 25 |
| 4. DESCRIPCIÓN DEL HARDWARE UTILIZADO..... | 26 |
| 4.1 CUMPLIMIENTO DE LOS REQUISITOS..... | 26 |
| 4.2 DESCRIPCIÓN DE LOS CIRCUITOS UTILIZADOS..... | 28 |
| 4.2.1 Fuente de poder Circuito de Control..... | 30 |
| 4.2.2 Fuente de poder Motor (Circuito de Potencia)..... | 31 |
| 4.2.3 Circuito de iluminación..... | 32 |
| 4.2.4 Circuito de control..... | 34 |
| 4.2.5 Tablero indicador (Pilotos)..... | 38 |
| 4.2.6 Tablero de control del Usuario..... | 40 |
| 5. REQUISITOS DEL SOFTWARE..... | 42 |
| 6. DESCRIPCIÓN DEL SOFTWARE..... | 43 |
| 6.1 TOMA DE FOTOGRAFÍAS..... | 43 |
| 6.2 PROCESAMIENTO DE IMÁGENES..... | 45 |
| 6.2.1 Implementación de los criterios de clasificación..... | 47 |

| | |
|---|----|
| 6.2.2Registro y visualización en Excel..... | 49 |
| 6.3. INTERFAZ GRÁFICA | 50 |
| 7. RESULTADOS..... | 52 |
| 7.1 RESUMEN GENERAL DE FUNCIONAMIENTO | 54 |
| 7.2 PROCESAMIENTO DE IMÁGENES..... | 56 |
| 7.3 INFORME DE RESULTADOS EN EXCEL | 61 |
| 7.4 CUADROS DE RESULTADOS..... | 62 |
| 7.5 ANÁLISIS DE RESULTADOS..... | 63 |
| 8. CONCLUSIONES..... | 64 |
| 9. RECOMENDACIONES..... | 65 |
| BIBLIOGRAFÍA..... | 66 |

LISTA DE FIGURAS

pág.

| | |
|--|----|
| Figura 1. Comparacion grano partido con grano entero | 17 |
| Figura 2. Grano yesado | 18 |
| Figura 3. Grano panza blanca..... | 18 |
| Figura 4. Algunas aplicaciones y relación con áreas afines..... | 20 |
| Figura 5. Binarización de una imagen utilizando segmentación por umbral | 21 |
| Figura 6. Analizador S21 | 22 |
| Figura 7. Diagrama de bloques del prototipo | 27 |
| Figura 8. Tarjeta de control del prototipo | 28 |
| Figura 9. Diagramas Esquemáticos de los circuitos empleados | 29 |
| Figura 10. Diagrama esquemático de la fuente de poder del circuito de control. ... | 30 |
| Figura 11. Diagrama esquemático de la fuente de poder del circuito del motor | 31 |
| Figura 12. Diagrama de Esquemático del circuito de iluminación..... | 32 |
| Figura 13. Diagrama esquemático del circuito de control | 34 |
| Figura 14. Diagrama del circuito de control, correspondiente al módulo óptico.... | 36 |
| Figura 15. Diagrama correspondiente al módulo temporizador | 36 |
| Figura 16. Diagrama correspondiente al módulo Relé..... | 37 |
| Figura 17. Disposición real de los pilotos..... | 38 |
| Figura 18. Disposición real de los interruptores | 40 |
| Figura 19. Fotografía del prototipo con sus componentes | 41 |
| Figura 20. Diagrama de flujo adquisición de imágenes | 44 |
| Figura 21. Diagrama de flujo del procesamiento de las imágenes..... | 46 |
| Figura 22. Diagrama de bloques del procesamiento de las imágenes..... | 47 |
| Figura 23. Diagrama de flujo proceso de segmentación y obtención del criterio ... | 48 |
| Figura 24. Plantilla de Excel creada para muestra de resultados | 49 |
| Figura 25. Panel de inicio | 50 |
| Figura 26. Panel de adquisición de imágenes | 51 |
| Figura 27. Panel de obtención de granos y procesamiento | 52 |
| Figura 28. Panel de ayuda..... | 53 |
| Figura 29. Funcionamiento del panel de adquisición de imágenes..... | 54 |
| Figura 30. Funcionamiento panel de Obtención de granos y procesamiento | 55 |
| Figura 31. Muestra de arroz..... | 56 |
| Figura 32. Identificación de granos | 57 |
| Figura 33. Análisis y separación grano a grano | 57 |
| Figura 34. Segmentación grano partido | 58 |
| Figura 35. Segmentación grano yesado | 59 |
| Figura 36. Segmentación de las secciones panza blanca | 60 |
| Figura 37. Muestra de resultados totales sobre la imagen original..... | 60 |
| Figura 38. Muestra de informe en Excel | 61 |
| Figura 39. Sensor CNY70..... | 72 |

Figura 40. Circuito integrado LM358.....73
Figura 41. Circuito integrado LM555.....75
Figura 42. Diodo 1N4148.....77
Figura 43. Regulador LM 7805, LM 781277

LISTA DE CUADROS

pág.

| | |
|--|----|
| Cuadro 1. Resultados Software | 62 |
| Cuadro 2. Resultados Inspección Visual | 62 |
| Cuadro 3. Resultados totales..... | 62 |
| Cuadro 4. Efectividad. | 63 |

LISTA DE ANEXOS

pág.

| | |
|--|----|
| Anexo A. Código Fuente en Matlab..... | 68 |
| Anexo B. Información técnica de los dispositivos utilizados..... | 72 |

GLOSARIO

BRILLO: indica si un área está más o menos iluminada.

COLOR: un color puede definirse como la combinación de tres colores básicos: rojo, verde y azul, y expresarse mediante una Matriz 1x3 (R, G, B), donde R, G y B representan las intensidades de cada uno de los tres colores básicos rojo, verde y azul, respectivamente.

CROMA: indica la coloración de un área respecto al brillo de un blanco de referencia. Para obtener una imagen a color deben transformarse primero los parámetros cromáticos en eléctricos y representar los colores, lo cual puede realizarse de diferentes maneras, dando lugar a diferentes espacios de colores o mapas de color.

GRANOS PARTIDOS: granos de arroz pulido cuya longitud sea menor a las tres cuartas partes de la longitud del grano entero del tipo analizado y que no pasen por un harnero de laboratorio, con una medida de aproximadamente 1.5mm.

GRANOS PANZA BLANCA: deriva de la localización de una mancha blanca en la zona central del grano ubicada en el centro del lado donde se encuentra el embrión.

GRANOS YESADOS: granos de arroz opacos y harinosos, que ofrecen un aspecto de yeso al menos en sus tres cuartas partes.

GUIDE: es un entorno de programación visual que ofrece Matlab, para poder realizar y ejecutar programas de simulación a medida de forma simple. Tiene las características de todos los programas visuales como lo son Visual Basic o Visual C++.

HISTOGRAMA DE UNA IMAGEN: el histograma de una imagen es una representación del número de píxeles de cierto nivel de gris en función de los niveles de gris.

IMAGEN: arreglo bidimensional de píxeles con diferente intensidad luminosa (escala de gris).

LUMINOSIDAD: brillo de una zona respecto a otra zona blanca en la imagen.

MATLAB: es un software matemático que ofrece un entorno de desarrollo integrado (IDE) con un lenguaje de programación propio (lenguaje M). Entre sus prestaciones básicas se hallan: la manipulación de matrices, la representación de datos y funciones, la implementación de algoritmos, la creación de interfaces de

usuario y la comunicación con programas en otros lenguajes y con otros dispositivos hardware.

PÍXEL: elemento básico de una imagen (*picture element*).

PROCESAMIENTO DIGITAL DE IMÁGENES: es el conjunto de técnicas que se aplican a las imágenes digitales con el objetivo de mejorar la calidad o facilitar la búsqueda de información.

TONO: indica si un área parece similar al rojo, amarillo, verde o azul o a una proporción de ellos.

VISIÓN POR COMPUTADORA: consiste en la adquisición, procesamiento, clasificación y reconocimiento de imágenes digitales.

LUZ FRÍA: es la luz que tiene unos tonos azul/violetas, ocurre cuando la temperatura de color es superior a los 5,500° kelvin.

LUZ CALIENTE: es la luz que tiene unos tonos amarillo/rojos, y eso ocurre cuando la temperatura de color es inferior a los 5,500° kelvin.

RESUMEN

En este proyecto, se trabajan diferentes conceptos del procesamiento digital de imágenes, esta vez para la aplicación de un sistema de inspección de calidad de arroz utilizando como sistemas de entrada una cámara fotográfica y un PC, para el procesamiento de las imágenes obtenidas. En él se trabajan la segmentación de imágenes a color, la clasificación de patrones y características de la imagen.

En la primera etapa se detallan los conceptos necesarios para entender los diferentes tipos de clasificación de la calidad del arroz, ya que ésta es la base principal para entender hacia dónde está enfocado el proyecto, y el alcance que pueda tener.

Más adelante se procede a dar a conocer los conceptos propios de adquisición y procesamiento de imágenes digitales, con el cual se procederá a hacer el algoritmo para la aplicación. Luego se hablará del prototipo y sus requisitos. Después se describirán paso a paso los procesos del algoritmo, empezando por la adquisición, que se hará mediante una cámara fotográfica, que luego de encendido el prototipo, tomará diferentes fotografías en diferentes intervalos de tiempo, y con estas imágenes obtenidas, realizar la respectiva segmentación para obtener los resultados que se necesitaran más adelante.

Después se determina el factor de segmentación para diferenciar los distintos granos de arroz del medio que lo rodea. Entonces se procede a contar la cantidad de granos para luego seleccionarlos, cortarlos de la imagen original y procesarlos cada uno, determinando los tipos de clasificación que se van a tener en cuenta en este proyecto, como son los granos partidos, los granos yesados y los granos panza blanca, porque son los de mayor aplicación y referencia en la industria.

Luego se hace el conteo respectivo de los granos incluidos en cada tipo, mediante la etiqueta y conteo de áreas, para luego registrar estos valores en una base de datos en Excel para su posterior presentación como un informe de resultados final.

Palabras clave: imagen digital, registro de imagen, control de calidad, clasificación de patrones, granos partidos, granos yesados, granos panza blanca, segmentación, identificación.

ABSTRACT

This project works on various concepts of digital image processing such as implementation of a system for rice quality inspection using video cameras to acquire images, and a PC for processing the images obtained. Development of the project works to color image segmentation, pattern classification and image characteristics.

In the first phase details the concepts needed to understand the different types of classification of the quality of rice, because this is the main basis for understand where the project is focused, and the possible extent.

Later proceed to make known the concepts of acquisition and processing of digital images, with which proceed to make the algorithm for the application. then will be speak of the prototype and its requirements. later it will be describe step by step the process of the algorithm, starting with the acquisition, which will be done through a camera, then when the prototype is working, take different photographs at different interval's time, and these images obtained, perform the respective segmentation to get the results that will be need later.

Now work the segmentation factor for differentiating between types of classification to be considered in this project, such as broken grains, yesados grains, and white belly grains. These being taken, because they are more applicable and reference in the industry.

After the image is segmented with different cases, does the respective counting the grains included in each type, by label and count areas, and then record these values in a database in Excel for presentation, as a report final result.

Key Words: digital image, image registration, quality inspection, pattern classification, broken grains, yesados grains, white belly grains, segmentation, identification.

INTRODUCCIÓN

La visión por computador se está convirtiendo rápidamente en un factor clave en el desarrollo de la calidad total dentro de los diferentes procesos de automatización industrial.

Su implementación en una empresa genera un aumento en el nivel de producción y una reducción en los costos de fabricación, elevando los niveles de competitividad en el mercado nacional e internacional.

La gran ventaja de la visión por computador en la industria, es que permite inspeccionar los procesos de producción, clasificación y calidad sin fatigas ni distracciones, facilitando la óptima obtención de propiedades cualitativas y cuantitativas de los productos a procesar.

En la industria arrocera, los procesos de evaluación de la calidad del grano de arroz son de vital importancia para determinar el valor y la calidad del producto terminado, para así poder brindar un mejor producto y con ello, obtener una supremacía en el mercado.

Los factores que se tienen en cuenta regularmente en la industria arrocera para la evaluación de calidad del grano según su forma y color son: granos partidos, granos yesados y granos panza blanca. Al no utilizarse este mecanismo de revisión, se producirían pérdidas tanto de materia prima, como de tiempo y sobre todo de dinero.

La parte fundamental de este proyecto de grado es el uso de sistemas de visión por computador para crear un sistema de inspección automatizado, con el fin de realizar una inspección de la calidad del grano de arroz más eficiente, aprovechando todas las bondades que pueden ofrecer los sistemas de visión artificial, con respecto a otros mecanismos de inspección menos eficientes y de mayor costo utilizados en la actualidad por las industrias molineras.

1. FUNDAMENTOS TEÓRICOS

1.1 CALIDADES DEL GRANO DE ARROZ

A continuación, se definen los distintos tipos de grano y las diferentes clases de arroz partido de calidad reprochable que se pueden encontrar:

Granos enteros: son los que, independientemente de las características propias de cada fase de elaboración, se les ha quitado, como máximo, una parte del diente.

Granos medianospartidos o rotos: son los que desprenden del grano porciones mayores que el diente, Los partidos comprenden, a su vez:

- partidos gruesos: partes de grano de longitud igual o superior a la mitad del grano, sin llegar a ser un grano entero.
- partidos de tamaño medio: partes del grano de arroz de longitud igual o superior al cuarto de la longitud del grano, pero que no llega a tener el tamaño mínimo de los granos partidos gruesos.
- partidos pequeños: fragmentos de granos de longitud inferior a la de un cuarto de grano, pero que no atraviesan un cedazo de 1,4 mm de anchura de malla.

Figura 1. Comparación grano partido con grano entero



Granos yesados: granos de arroz opacos y harinosos, que ofrecen un aspecto de yeso al menos en sus tres cuartas partes.

Figura 2. Grano yesado



Granos panza blanca: son los que muestran una mancha blanca opaca tipo yesada en la zona central del grano.

Figura 3. Grano panza blanca



1.2 VISIÓN POR COMPUTADOR

La visión por computador es un subcampo de la inteligencia artificial, donde su propósito es programar un computador para que entienda una escena o las características de una determinada imagen. Es la combinación de tres aspectos en mayor o menor medida.

$$\text{Visión} = \text{Geometría} + \text{Medidas} + \text{Interpretación}$$

En el análisis de imágenes se pretende obtener cierta información a partir de una imagen. A través del análisis de la imagen del producto mostrado, se determina si la muestra pasa o no pasa el control de calidad que certifica que el producto se encuentra en óptimas condiciones.

1.2.1 Fases del proceso de visión

Se puede dividir el proceso de visión por computador en tres fases:

La fase de adquisición: los sensores, en este caso cámaras fotográficas para el proceso de visión, son una parte fundamental, ya que son ellas las encargadas de capturar la escena de trabajo y digitalizarla.

La fase de tratamiento: En esta fase se aplican los diferentes conceptos utilizados en visión por computador tales como: corrección de distorsiones, eliminación de ruido, mejora del contraste, detección de los objetos de interés (segmentación de la imagen) y medición de los descriptores de los objetos (propiedades como tamaño, forma, color, textura, etc.).

La fase de interpretación: Por último se clasifican y se identifican los diferentes objetos que aparecen en la escena de trabajo.

1.2.2 Dificultades existentes en los sistemas de visión por computador:

Los sistemas de visión por computador no están exentos de algunos inconvenientes o dificultades dentro de su operación normal, ya sea por el entorno, por el estado del objeto a observar o por el mismo sistema como tal. A continuación se mostrarán algunos de los inconvenientes más comunes en estos sistemas:

- Imposibilidad de determinar de forma unívoca la escena en 3D que ha dado lugar a la imagen proyectada.
- Iluminación irregular.
- Reflectancia de los objetos.
- Geometría de la escena (ocultamientos, solapamiento de objetos).
- Distorsión de la cámara (deformaciones de los objetos).
- Degradaciones de la imagen en el proceso de captura o transmisión.

1.2.3 Aplicaciones de los sistemas de visión

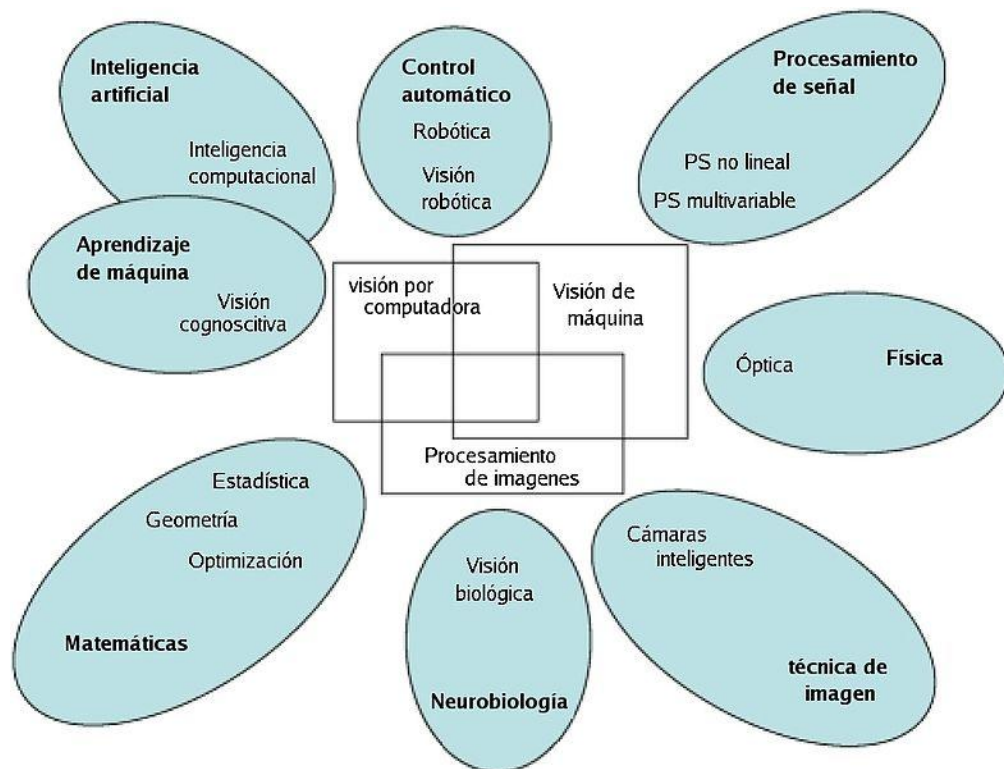
La visión por computador presenta aplicaciones enfocadas a mejorar la calidad de la imagen para la interpretación humana y a la medición de ciertas características de los objetos en el plano imagen.

Algunas áreas de aplicación:

- Imagen médica (radiografías, mamografías, biopsias etc.).
- Inspección industrial, control de calidad (circuitos digitales, patrones).
- Compresión y transmisión de video.
- Procesos judiciales (identificación del rostro, huellas dactilares o del iris).
- Militares: seguimiento de objetos (vehículos, personas, animales, etc.).
- Control de tráfico.
- Agricultura: análisis de plantaciones (crecimiento, plagas, inundaciones, etc.).

En la Figura 4 se muestran además la relación y/o aplicación de la visión por computador en algunas áreas afines.

Figura4. Algunas aplicaciones y relación con áreas afines



Fuente: http://es.wikipedia.org/wiki/Visi%C3%B3n_artificial

1.3 FUNDAMENTOS DE PROCESAMIENTO DE IMÁGENES DIGITALES

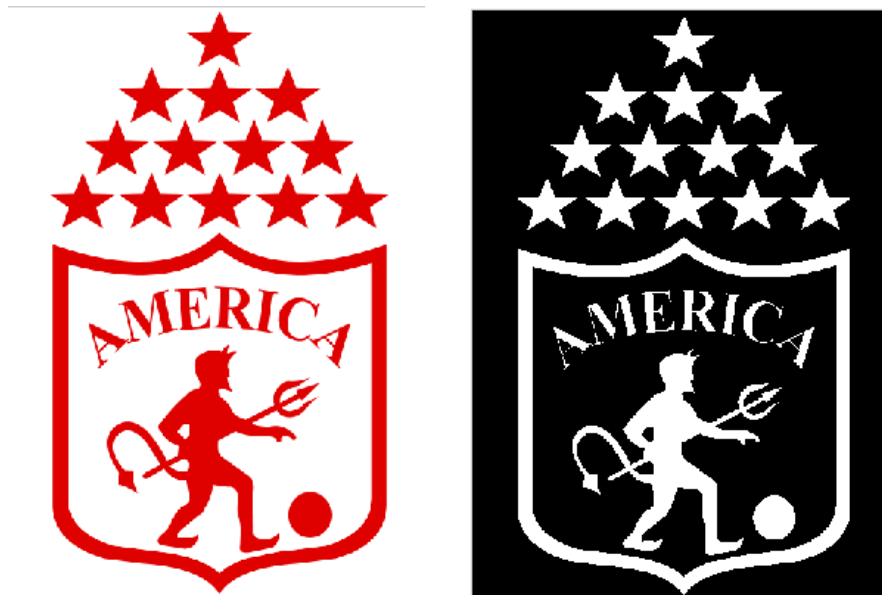
Imágenes binarias y segmentación por umbral

Una imagen binaria es una imagen en la cual cada píxel puede tener solo uno de dos valores posibles 1 o 0. Como es lógico suponer, una imagen en esas condiciones es mucho más fácil encontrar y distinguir características estructurales.

La forma más común de generar imágenes binarias es mediante la utilización de la segmentación por umbral de una imagen a escala de grises o una imagen a color, siendo este el caso del proyecto a tratar; donde este concepto refiere a tomar un valor establecido, o un intervalo de valores de intensidad de las tres matrices de color rojo, verde y azul, en la cual los valores que estén dentro de los valores límite o dentro del intervalo, serán codificados como 0 mientras que los que estén por fuera de estos valores límites serán codificados a 1.

Por ejemplo si en la imagen 'america_de_cali.png' quisiera realizarse este tipo de operación de tal forma que los píxeles de color rojo sean considerados como 1 o de color blanco y los píxeles que están fuera del color rojo, los tome como 0 o de color negro. La imagen original y la imagen binaria resultado de esta umbralización se muestra en la Figura 5.

Figura 5. Binarización de una imagen utilizando segmentación por umbral



Existen además otros métodos para realizar el procesamiento digital de una imagen; siendo de gran importancia y utilidad, pero que en esta aplicación no son tenidos en cuenta, los cuales solo son nombrados a continuación:

Manipulación del contraste

Modificación del contraste

Modificación del Histograma

Filtrado de una imagen (con sus respectivos tipos de filtrado)

Realce de bordes

Detección de contorno

1.4 ANTECEDENTES

En la industria no hay mucha variedad de instrumentos dedicados a esta labor, ya que de por sí el mercado solo muestra un equipo capaz de hacer la inspección de calidad de arroz de manera automatizada, que es el analizador de calidad de arroz Suzuki S21.

El Analizador de arroz Suzuki S21 es un instrumento verdaderamente nuevo en el análisis de la calidad del arroz.

Figura 6. Analizador S21.



Fuente: <http://www.conarroz.com/pdf/10Herramientasdigitales.pdf>

Este no tiene como objetivo eliminar la inspección convencional, hecha manualmente, pero si para evolucionar a procesos rápidos y estandarizados, cuando hay comprobada ventaja.

Es un instrumento que fotografía miles de granos en cada muestra, y le permite al usuario definir el concepto de los criterios usuales con el que va a evaluar la calidad del grano, cambiándolos a placer dependiendo de todas las características físicas del grano de arroz.

2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

En toda empresa de cualquier sector productivo, lo importante es mantener tanto la rentabilidad del negocio, como la calidad del producto. Para mantener la calidad del producto se necesita contar con sistemas de evaluación que certifiquen el óptimo estado del producto, utilizando sistemas de alta tecnología, eficientes y a bajo costo.

Para esto es necesario desarrollar un algoritmo que permita evaluar la calidad del arroz de una manera rápida y exacta, siendo por ende eficiente, utilizando visión por computadory procesamiento digital de imágenes y hacerlos de la manera más económica posible, utilizando un prototipo adecuado y sencillo de hacer.

3. REQUISITOS DEL HARDWARE

Primero se necesita un prototipo de fácil implementación y económico. Además que cumpla con ciertos requerimientos de funcionamiento para poder realizar el control y toma de fotografías de los granos a analizar de una manera eficiente. Los requerimientos para cumplir este cometido son los siguientes:

- Seleccionar una cámara de video y/o fotográfica de buena nitidez, enfoque automático y una resolución decente, superior a 640 x 480 para obtener imágenes con el mayor detalle posible.
- Se necesita una escena de captura de imagen cerrada, es decir sin luz externa que la afecte.
- Tener la iluminación artificial adecuada para que las fotografías queden claras, dejando ver todos los detalles del grano posibles, pero que además no haya reflejo de luz sobre los granos y donde se movilizan.
- Determinar la mejor manera de movilización o caída de los granos para su posterior toma de fotografías.
- Obtener el mejor sistema de control en la movilización de los granos dentro del dispositivo para la sincronización con el software.

4. DESCRIPCIÓN DEL HARDWARE UTILIZADO

El hardware de este sistema está formado básicamente por un motor vibrador, un motor que desplaza la banda transportadora, un juego de luces, una cámara fotográfica y un conjunto de interruptores para habilitar algunas funciones de éste. El principio de funcionamiento del sistema es sencillo; el motor vibrador permite que los granos de arroz lleguen a la banda transportadora de manera esparcida para una mejor visualización en la cámara, de tal forma que no se presenten uniones o cercanías demasiado apreciables en los granos de arroz, para evitar errores en el conteo. El juego de luces permite una mejor captación de la imagen por parte de la cámara fotográfica y esto hace que los resultados obtenidos sean óptimos al final de la inspección de la calidad. El control se realiza por medio de un circuito electrónico que temporiza el movimiento de la banda para realizar la captación de la imagen cuando esté detenida. El software del sistema utiliza la información capturada para visualizar las diferentes presentaciones que puede tener un grano de arroz.

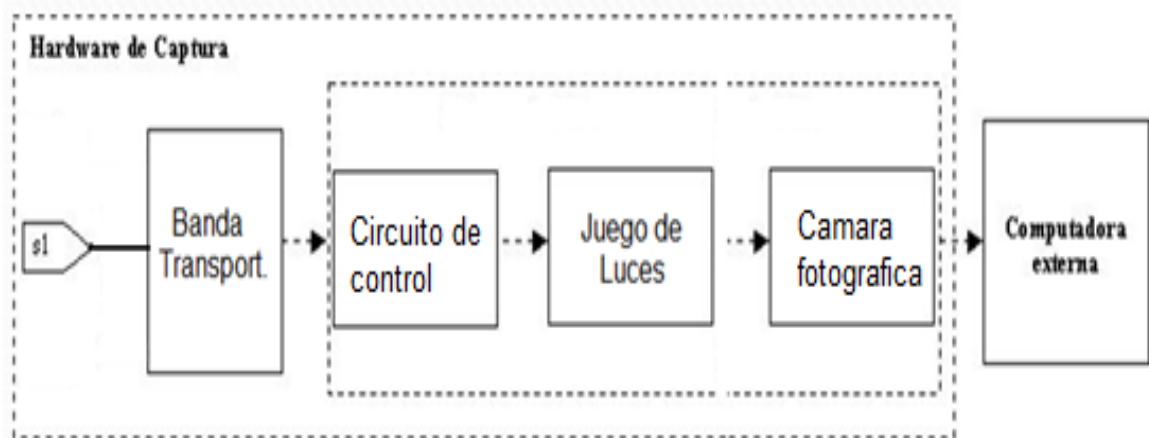
4.1 CUMPLIMIENTO DE LOS REQUISITOS

- La cámara fotográfica sin duda es el elemento de mayor importancia en el prototipo, ya que ella es la encargada de capturar de manera eficiente y óptima las imágenes de las muestras de arroz que pasan por la banda transportadora y así poder hacer la inspección de la calidad con resultados que satisfagan la necesidad del usuario, para ello se utilizó una webcam LOGITECH HD C910 que es excelente para esta aplicación ya que dispone de un enfoque Premium automático (incluso en primeros planos de hasta 7 centímetros), una nitidez envidiable, incluye luz de apoyo y maneja una gran gama de resoluciones que permite al usuario utilizar la que desee. Es muy sencilla de usar, ya que cuenta con la facilidad de plug and play y no es necesario adquirir un hardware adicional, sino que simplemente hay que conectar la cámara Web y ya está lista para su utilización.
- Para la adquisición de las imágenes, el hardware presenta un cubículo cerrado en acrílico para evitar la incidencia de la luz externa en el escenario de captura. La cámara fotográfica está ubicada en el interior del cubículo en la parte superior.
- El juego de luces artificial dentro del cubículo de adquisición de imágenes está formado básicamente por 4 leds de chorro con un pequeño difusor para dar uniformidad a la luz emitida, la cual tiene la labor de dar claridad al escenario donde se captura la imagen cuando los granos de arroz estén en él.
- Para la movilización de los granos a analizar se utilizó una banda transportadora que permite el movimiento de los granos de arroz para ser

capturados por la cámara, esta banda transportadora funciona por medio de un motor y un juego de poleas.

- El prototipo cuenta con un circuito de control a partir de un temporizador, que permite detener la banda en determinados instantes de tiempo por medio de un sensor infrarrojo de corto alcance que luego de ver una variación en el color de la banda, se detiene y así la cámara fotográfica toma las imágenes del arroz. Después la banda transportadora de manera automática luego de aproximadamente 5 segundos por la acción del temporizador, seguirá haciendo recorrido hasta cuando el sensor vuelva a ver un cambio de color, y así sucesivamente.

Figura 7. Diagrama de bloques del prototipo.



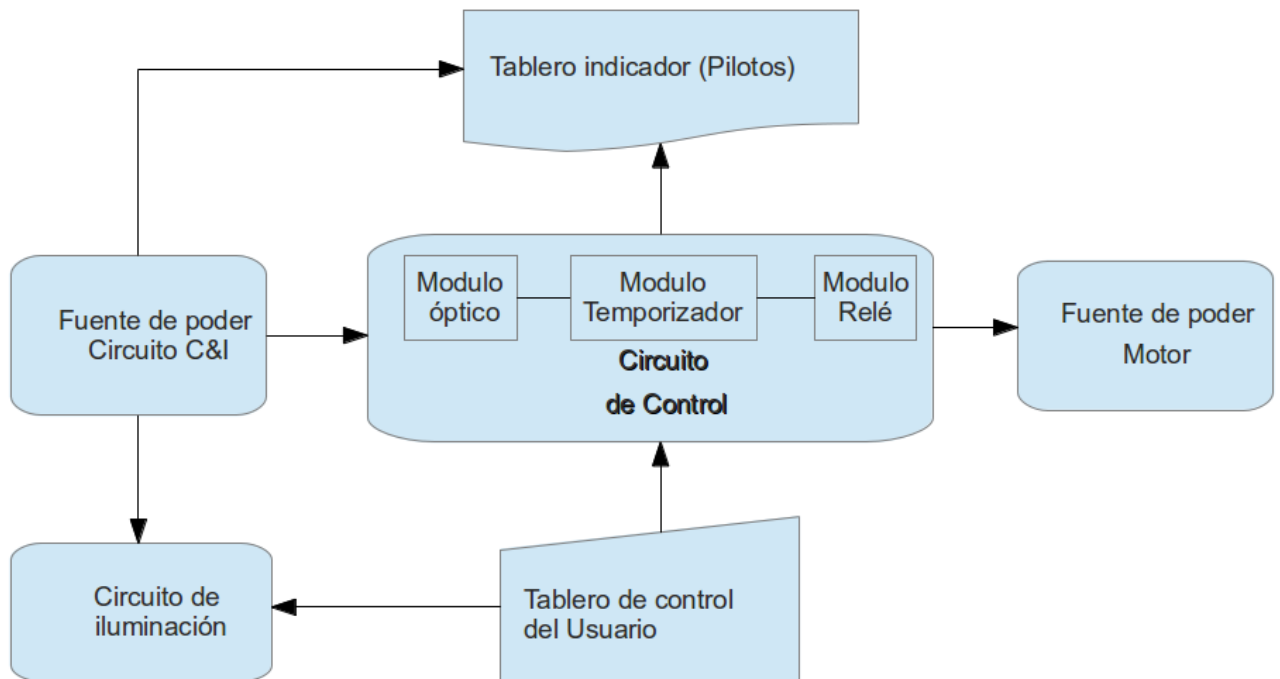
4.2 DESCRIPCIÓN DE LOS CIRCUITOS UTILIZADOS.

La electrónica asociada al proyecto consta de 6 bloques principales:

- Fuente de poder Circuito de Control e Iluminación
- Fuente de poder Motor (Circuito de Potencia)
- Circuito de iluminación
- Circuito de Control
- Tablero indicador (Pilotos)
- Tablero de control del Usuario

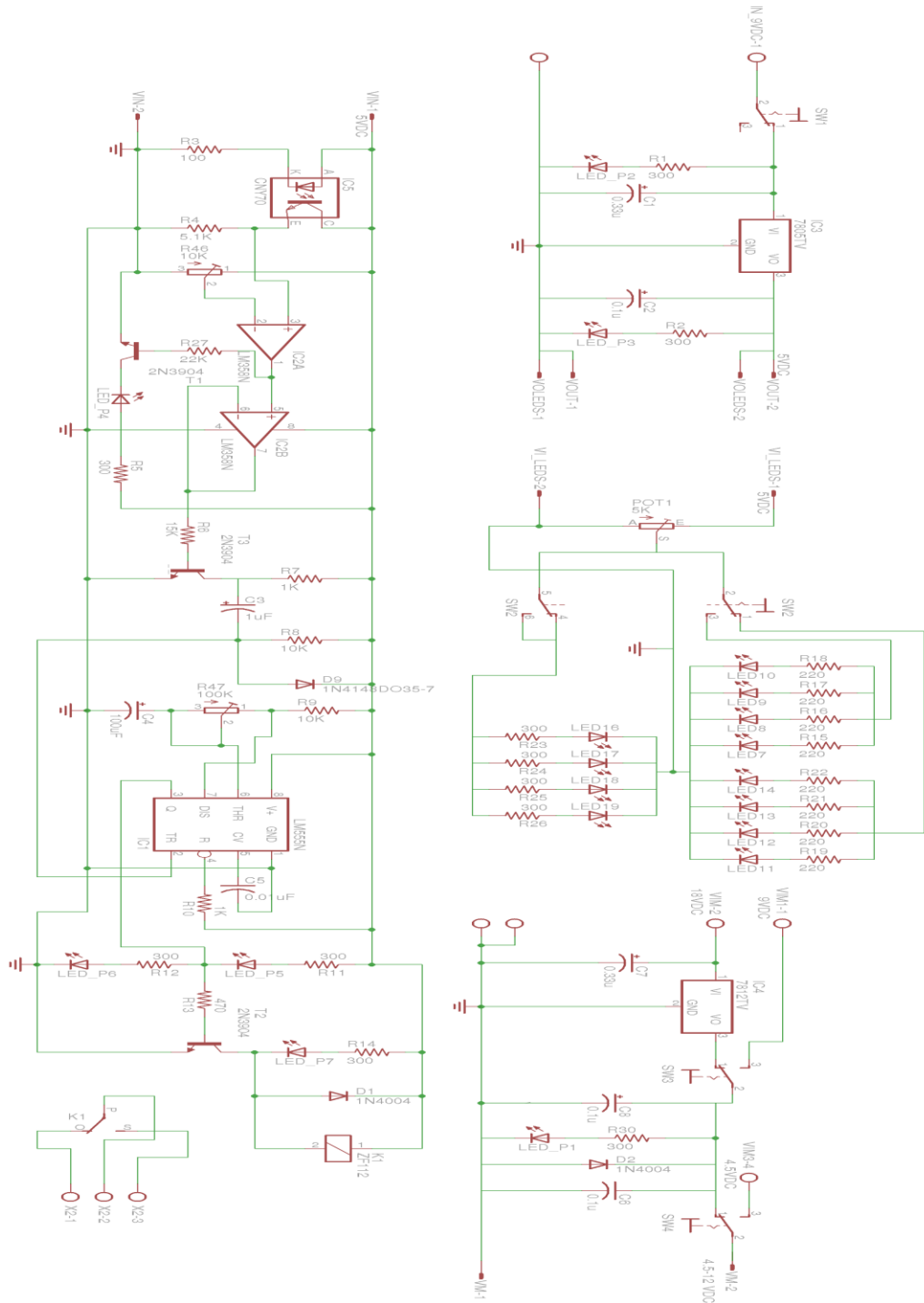
En la figura 8 se ven los bloques constructivos de los circuitos utilizados a través de un diagrama de flujo mientras que en la tarjeta de control del prototipo se muestra en la figura 9.

Figura 8. Bloques constructivos circuitales.



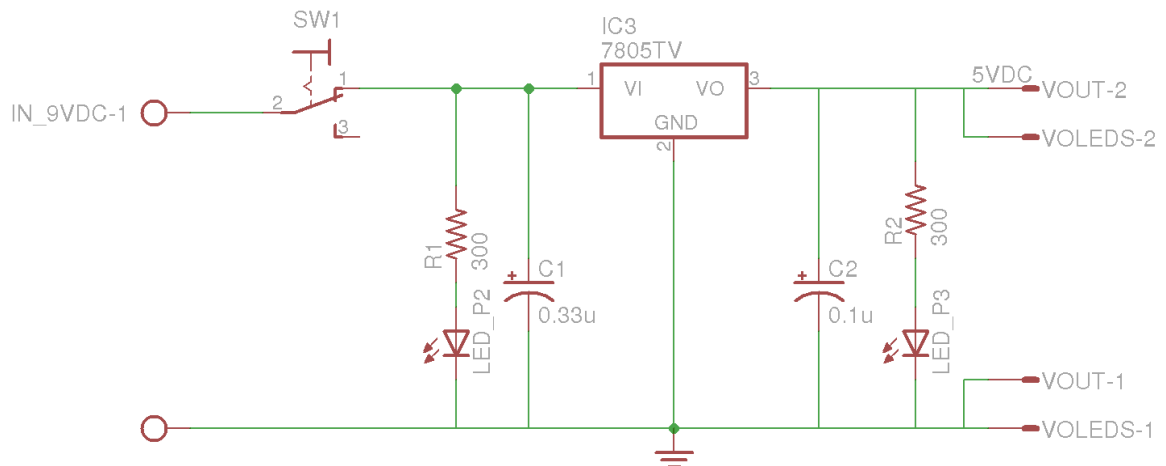
4.2.1 Circuito Electrónico de la banda transportadora

Figura 9. Diagrama Esquemático de los circuitos empleados



4.2.1 Fuente de poder Circuito de Control

Figura 10. Diagrama esquemático de la fuente de poder del circuito de control e iluminación.



El circuito consta de un simple bloque el cual destaca el empleo del regulador LM7805 (IC3) como elemento regulador de voltaje, el cual suministra 5 voltios DC al circuito de control y al circuito de Iluminación.

El regulador está conectado con sus respectivos capacitores de filtrado (C1 y C2) y dos led que hacen la función de indicadores luminosos (pilotos – LED_P2 y LED_P3) que sirven para comprobar rápidamente la presencia de voltaje antes y después del regulador; los pilotos no muestran la cantidad de voltaje presente en la entrada del regulador, simplemente muestran la presencia o ausencia de energía.

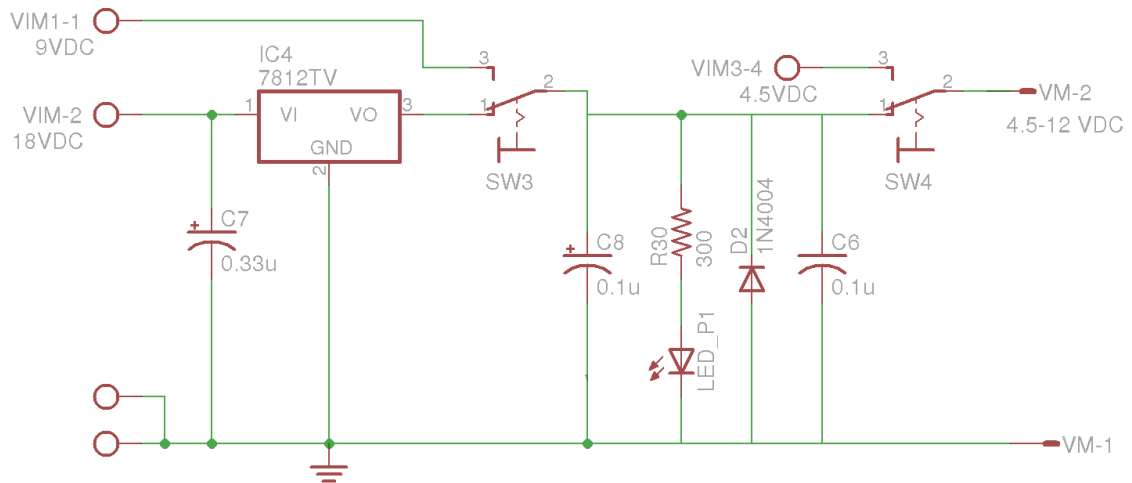
Recomendaciones:

- El voltaje de entrada mínimo es 7V DC según el criterio de voltaje de entrada mínimo que ha impuesto el fabricante sobre el regulador, un voltaje inferior producirá efectos no deseados como insuficiente voltaje (5V) y corriente (1A) de salida que el regulador debería entregar. El voltaje máximo que soporte el regulador es de 30V DC, sin embargo se recomienda no superar los 12V de entrada, pues todo el voltaje extra que el regulador recibe es disipado en forma de calor. De manera típica se utilizarán 9V DC.
- El circuito posee dos tipos de alimentación DC, principal (externa) y auxiliar (interna). La alimentación principal se introduce con conector tipo Plug de 3.5mm y cable puntas caimán para ser empleados con un adaptador

externo con un voltaje igual o superior a 7V conservando la polaridad. La alimentación interna funciona con baterías de 9V alcalinas, funciona como una unidad UPS o fuente de poder ininterrumpida y solo debe ser usada en situaciones de emergencia donde no haya energía a través de la fuente principal, debido a la ausencia total de la misma o algún problema presentado en la red eléctrica donde se encuentre la banda transportadora.

4.2.2 Fuente de poder Motor (Circuito de Potencia)

Figura 11. Diagrama esquemático de la fuente de poder del circuito del motor.



Motor: proporciona el movimiento a la banda transportadora, es un motor DC típico, empleado en esta clase de proyectos y en algunos juguetes de bajo costo, con un voltaje de funcionamiento entre 3V a 12V. No aparece en los diagramas esquemáticos.

El motor está originalmente diseñado para ofrecer alta velocidad más que fuerza, por lo que fue obligatorio el empleo de un caja de poleas para convertir esta velocidad en fuerza a través de la relación entre los diferentes radios de las mismas.

El circuito consta de un regulador LM7812 (IC4) con sus capacitores de filtrado (C7 y C8). Fue diseñado para proporcionar dos valores de voltaje al motor, 12V y 9V, mediante la fuente interna que consta de dos baterías de 9V en serie, seleccionados a través de un interruptor que conmuta la salida del regulador con un voltaje de entrada de 18V o la salida directa de una de dos baterías de 9V

presentes. El propósito de esta fuente interna es ofrecer dos distintas velocidades dependiendo de las necesidades del usuario al manipular la banda transportadora, preferiblemente en ausencia del suministro eléctrico convencional o cuando haya una falla en el mismo.

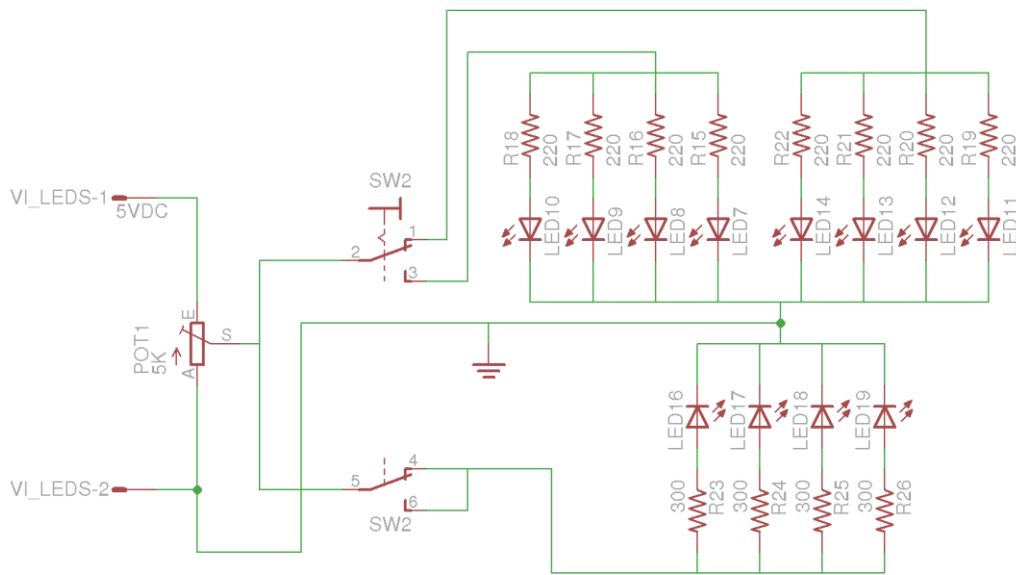
Una “tercera velocidad” proviene de la energía suministrada a través de la fuente externa mediante un conector tipo plug cuyo voltaje de entrada puede variar desde los 4.5V a 12V que son los voltajes con lo que el motor puede funcionar sin destruirse. Es preferible usar esta entrada para energizar el motor, que puede ser escogida a través de un interruptor el cual hará funcionar el motor con la fuente externa o interna; los interruptores serán mostrados más adelante.

Resultados inesperados: durante la primera versión del prototipo de la banda transportadora, el motor funcionaba correctamente con un voltaje de 9 a 12V, siempre procurando una baja velocidad para mover la banda, evitando que el grano caiga de la misma y facilitando la adquisición de las imágenes.

Desafortunadamente este voltaje es muy elevado ahora causado por las modificaciones que se realizaron al prototipo con el objetivo de darle mayor robustez y corregir algunos errores presentados en las revisiones del mismo, por lo que el voltaje del motor ha sido reducido entre 4.5V y 6V, lo cual no representa ningún problema respecto al torque del motor, ya que la banda transportadora continua moviéndose a la baja velocidad requerida. Y además, esta tensión es suficiente para el arranque del motor cuando esta detenido por acción del temporizador.

4.2.3 Circuito de iluminación

Figura 12. Diagrama Esquemático del Circuito de iluminación



Fue uno de los circuitos más sencillos al momento de diseñarlo, ya que simplemente energiza y controla el brillo de los leds blancos que están ubicados en el recinto de la cámara web.

El circuito toma la energía de la fuente para encender 12 leds blancos, 4 leds blancos de 5mm convencionales, 4 leds blancos de “luz fría” y 4 leds blancos de “luz caliente”, ambos grupos de 5mm con ángulo de iluminación de 120°; cada led recibe 5V con una resistencia de 220 ohm (leds de “luz fría” y de “luz caliente”), y con una resistencia de 300 ohm para los leds convencionales.

La diferencia entre el grupo de 4 leds y 8 leds, es el área que ilumina, los 4 leds convencionales solo iluminan la región del recinto donde está la cámara web, el cual sirve para que el operario pueda ver el estado de la cámara.

Los 8 leds restantes son para proporcionar una adecuada fuente de iluminación configurable para la captura de imágenes.

El usuario puede seleccionar luz caliente o luz fría por medio del interruptor (SW2), que consiste básicamente en obtener una iluminación amarillenta creando una sensación de calor mientras que la otra luz es más azulacea ofreciendo la sensación de frío, similar a los tipos de color con que vienen las bombillas compactas fluorescentes.

El usuario también puede variar el brillo de los leds manipulando la corriente que circula a través de ellos por medio de un potenciómetro (POT1), el cual es más que suficiente para fines prácticos en cuanto al prototipo rápido se refiere. Obviamente es una solución rudimentaria para una instalación real el cual puede emplearse iluminación controlada por los mismos algoritmos de tratamiento de imágenes obtenida por la cámara web, que a su vez controlen un circuito PWM para iluminación.

En la figura 13 se observa el diagrama esquemático del circuito de control de la banda transportadora el cual incluye los tres módulos: óptico, temporizador y relé. A continuación se muestra una lista de los componentes destacados del circuito.

| | | |
|--------|--------------|---|
| IC1 | LM555 | Circuito temporizador |
| IC2 | LM358 | Circuito comparador |
| IC5 | CNY70 | Sensor óptico reflectivo |
| T1 | 2N3904 | Transistor Led bloque óptico |
| T2 | 2N3904 | Transistor del Relé |
| T3 | 2N3904 | Transistor Inversor Señal del sensor óptico |
| R48 | Pot 10K | Potenciómetro Ajuste nivel del comparador |
| R47 | Pot 100K | Potenciómetro Ajuste del tiempo del temporizador |
| LED_P4 | Amarillo 3mm | Indicador (Piloto) bloque óptico |
| LED_P5 | Rojo 3mm | indicador (piloto) salida positiva del temporizador |
| LED_P6 | verde 3mm | indicador (piloto) salida negativa del temporizador |
| LED_P7 | Amarillo | indicador (piloto) del relé |
| D1 | diodo 1N4004 | diodo del transistor manipulador del relé |
| D9 | diodo 1N4148 | diodo "rápido" bloque óptico |
| K1 | relé 5V | relé para el control del motor |

El circuito de control es el bloque más elaborado del prototipo pues se encarga de controlar el motor de acuerdo a las banderas presentes en la banda transportadora, haciendo que el motor funcione por un tiempo determinado y deteniéndole el tiempo justo para que la cámara web tome las fotos.

Es necesario aclarar que la banda transportadora de color negro posee indicadores blancos aproximadamente cada 5 cm, el cual proporciona el área justa para la toma de las fotografías. Estas banderas "deben" hacer que el motor pare por un tiempo de 5 segundos, donde el software enviara la orden a la cámara web para que tome 5 fotografías.

El circuito de control se encarga de eso a través de 3 grandes bloques principales:

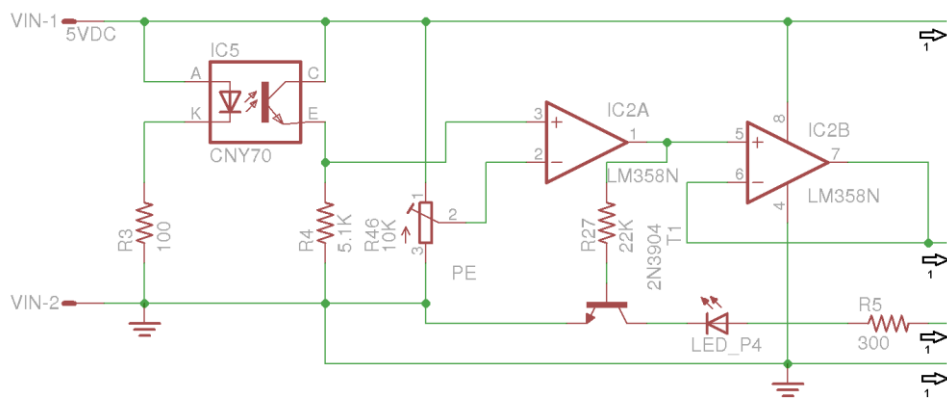
- Módulo óptico
- Módulo temporizador
- Módulo relé

Módulo óptico:

El cambio de color entre las banderas y la banda transportadora es detectado por un sensor óptico de reflexión conocido como CNY70 (IC5). El sensor posee una circuitería auxiliar que le permite variar la sensibilidad del mismo junto con un led blanco para que el sensor posea su propia fuente de iluminación independiente de la iluminación que haya en el recinto fotográfico o en el mundo exterior.

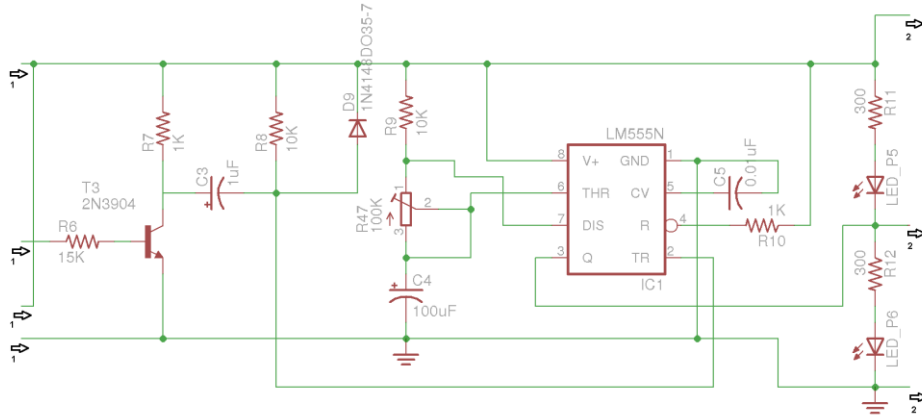
La salida del sensor es analógica lo cual resulta indeseado para lo que lo necesitamos, por lo que se agrega un amplificador LM358 (IC2A) trabajando como comparador, el cual proporciona una salida que variará únicamente entre dos estados, los cuales son 0V y 3.5V. El amplificador (IC2B) está trabajando como seguidor de tensión, para suplir los posibles problemas de baja corriente; además se quiso aprovechar porque el integrado tiene dos amplificadores en su interior. El diagrama circuital de este procedimiento se muestra en la figura 14.

Figura 14. Diagrama del circuito de control, correspondiente al módulo óptico.



Módulo temporizador:

Figura 15. Diagrama correspondiente al módulo temporizador.



La señal de salida del amplificador (IC2B) es dirigida al módulo temporizador, específicamente a un circuito compuesto de dos resistencias (R7 y R8), un capacitor (C3) y un diodo rápido 1N4148 (D9), esto con el fin de evitar pulsos repetitivos a la entrada del módulo temporizador, es decir, suponiendo que el CNY70 detecte erróneamente varias banderas blancas, estas señales irían a la entrada de disparo del circuito LM555 (IC1) y podrían redispararlo, en cambio, este circuito de entrada evita esta situación lo cual no impide que lleguen señales después de un tiempo determinado.

De todas formas, según el documento técnico del circuito integrado LM555, la misma disposición circuital del integrado impide que el temporizador se redispere mientras esté en alto la salida del mismo, sin embargo, es prudente tomar en cuenta casos extremos para evitar situaciones que impidan el correcto funcionamiento del prototipo.

El LM555 está configurado como monoestable (temporizador) con un periodo de activación configurable por medio de un trimmer de 100 KΩ. Este elemento simplemente mantendrá encendido el motor por el tiempo que haya designado el operario, en este caso, de 5 a 6 segundos. Para el cálculo de los valores de R Y C se procedió de la siguiente manera:

$$t = 1.1 R * C$$

Si el tiempo requerido son 5 segundos, y se va a trabajar con un capacitor de 100μF, entonces R se halla así:

$$R = t / (1.1 * C)$$

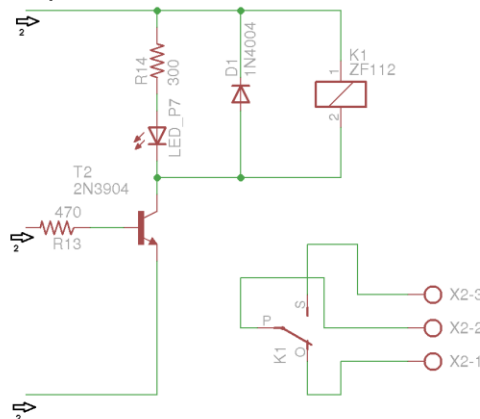
$$R = 5 / (1.1 * 0.0001)$$

$$R = 45.454 \Omega$$

Entonces para obtener este valor de resistencia, el trimmer de 100KΩ se configura para presentar un valor aproximado.

Módulo Relé

Figura 16. Diagrama correspondiente al módulo Relé.



Claramente el motor no puede ser manipulado directamente por el integrado LM555 por lo que al final encontramos el módulo de potencia, el cual es un simple circuito transistorizado que manipula el relé, el cual finalmente encenderá o no el motor. El transistor (T2) posee un diodo 1N4004 (D1) para protegerlo de la corriente que se genera en la bobina del relé (K1) al entrar en corte.

El relé permite e interrumpe la circulación de corriente del motor provista por su propia fuente de poder.

4.2.5 Tablero indicador (Pilotos)

Figura 17. Disposición real de los pilotos.



LED_P1 LED_P2 LED_P3 LED_P4 LED_P5 LED_P6 LED_P7

En la práctica existe una placa impresa independiente de los demás bloques donde residen todos los pilotos o leds indicadores, sin embargo la ubicación circuital de todos los pilotos se han mostrado gradualmente en los diagramas anteriores con la misma nomenclatura descrita anteriormente. Estos fueron colocados con el fin de proveer una señalización rápida acerca del estado de los bloques de funcionamiento del prototipo y permitirle al usuario realizar un diagnóstico eficaz y en corto tiempo acerca de cualquier problema que podría surgir.

Cada led indica:

- Piloto de la fuente de poder del motor (LED_P1):
Sirve para indicar la presencia de energía para alimentar al motor (ver figura 11).
- Piloto entrada de energía no regulada (LED_P2):
Indica la presencia o ausencia de energía a la entrada del circuito. La ausencia de energía indica un problema en la fuente que energiza el circuito de control. El brillo del led es un indicador de la cantidad de voltaje presente en el circuito, un bajo brillo del led indica un bajo voltaje, sin embargo, no es recomendable guiarse

únicamente en el brillo del led para determinar la cantidad de voltaje, se requiere un voltímetro (ver figura 10).

– Piloto salida de voltaje 5V (LED_P3):

Indica la presencia o ausencia de energía regulada, justo a partir del pin de salida del regulador LM7805. Si este led está apagado o con muy bajo brillo en contraste con el piloto del párrafo anterior, es una señal de que el regulador podría estar averiado, cortocircuito o un consumo excesivo de corriente producto de algún componente descompuesto (ver figura 10).

– Piloto bloque óptico (LED_P4):

Indica el estado del sensor CNY70, específicamente cada vez que el sensor detecta un cambio de color entre la cinta blanca y el color de la banda transportadora. Este led es perfecto para determinar el estado de este sensor, en el caso de que el led permanezca constantemente encendido o apagado, puede significar que hay que realizar una calibración o que hay un daño en el sensor o en el amplificador LM358 (ver figura 14).

– Piloto salida “positiva” del temporizador (LED_P5):

Este led indica la salida en alto del LM555, es decir, la salida cuando el temporizador está activo según el tiempo que el usuario haya predeterminado. Si este led permanece apagado o encendido constantemente, es señal de un daño en el circuito integrado, si el led se enciende continuamente, indica que el terminal de disparo del LM555 se está re-disparando continuamente, esto podría ser una señal de daño en el integrado o en el circuito antes del mismo (ver figura 15).

– Piloto salida “negativa” del temporizador (LED_P6):

Similar al anterior piloto, solo que este led debe permanecer la mayoría del tiempo encendido y solo apagarse por el tiempo que el usuario haya predeterminado, en términos fotográficos, es la versión negativa del led anterior (ver figura 15).

– Piloto del relé (LED_P7):

El led indica visualmente cuando está energizado el relé. Si el led permanece constantemente encendido, significa que el temporizador permanece activo o que el transistor está en corto. Si el led permanece constantemente apagado, significa que el temporizador está apagado (ver figura 16).

4.2.6 Tablero de control del Usuario

El operario del prototipo tiene a su disposición un juego de interruptores y un potenciómetro cuyas funciones son:

- Interruptor de apagado y encendido del circuito de control (SW1)
- Interruptor de selección de luz fría y caliente (SW2)
- Interruptor de selección de voltaje interno para el motor (SW3)
- Interruptor de selección de la energía del motor, fuente interna y externa (SW4).
- Potenciómetro de variación del brillo de la iluminación leds (POT1)

La ubicación circuital de los interruptores se muestra a continuación:

- Interruptor SW1 (ver figura 10)
- Interruptor SW2 (ver figura 12)
- Interruptor SW3 (ver figura 11)
- Interruptor SW4 (ver figura 11)
- Potenciómetro POT1 (ver figura 12)

Figura 18. Disposición real de los interruptores.



SW1

SW2

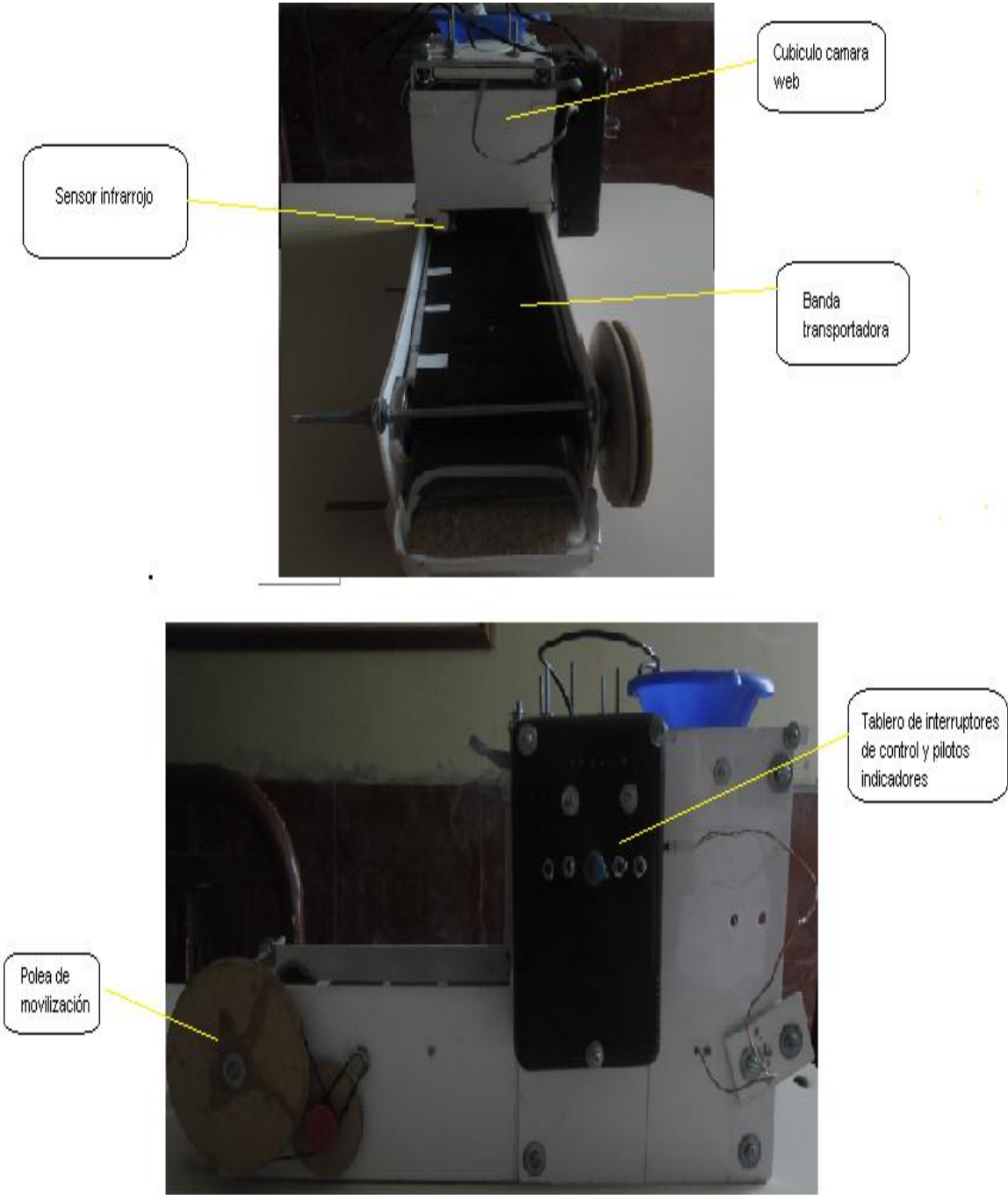
POT1

SW3

SW4

El software del sistema se ejecuta en la computadora externa y permite leer la información proveniente del hardware de captura. En la Figura 19 se muestra una imagen del prototipo terminado con sus componentes. El motor y el juego de luces no se indican debido a que se encuentran en el interior del prototipo.

Figura 19. Fotografía del prototipo con sus componentes



5. REQUISITOS DEL SOFTWARE

A continuación se describirán los requisitos que debe tener el software:

- Se requiere un software que tenga una interfaz gráfica clara para la fácil utilización del usuario en todas sus aplicaciones.
- Se necesita una aplicación para el control y la adquisición de las imágenes tomadas a partir del hardware, sincronizándola con los tiempos de captura utilizados en el prototipo.
- Se debe realizar un algoritmo para detectar, de manera cuantitativa y cualitativa los granos de arroz y sus características obtenidos en las imágenes capturadas.
- Es importante y necesario mostrar los resultados obtenidos de manera clara y concisa, ya sea con una aplicación nueva, o de una manera implícita dentro de los procesamientos anteriores.
- Desarrollar un panel específico de ayuda para aclarar conceptos utilizados dentro de la clasificación de la calidad de los granos de arroz.

6. DESCRIPCIÓN DEL SOFTWARE

El software fue diseñado en la plataforma Matlab, ya que ésta cuenta con una librería como es la de procesamiento de imágenes; la aplicación consta de dos etapas que son la de la adquisición de imágenes y la del procesamiento y segmentación de las imágenes.

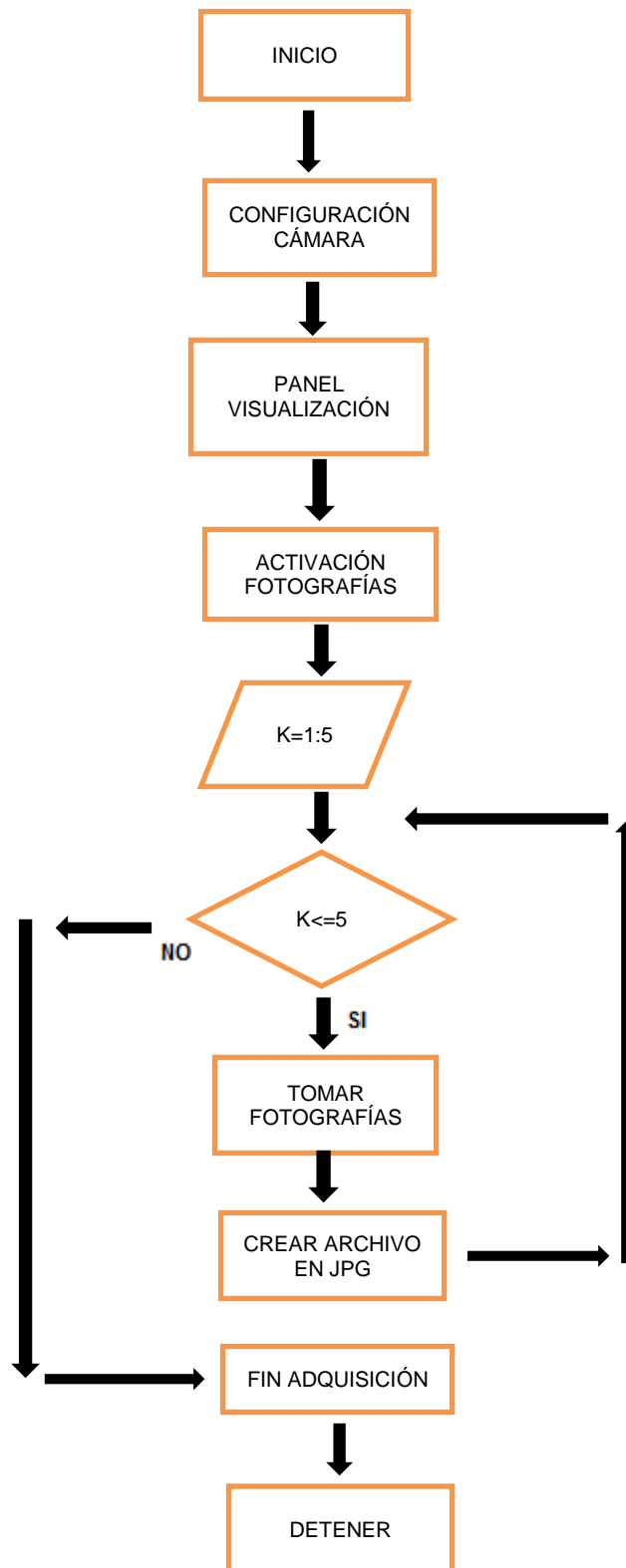
6.1 TOMA DE FOTOGRAFÍAS

La adquisición se realiza a través de una cámara web. Las fotografías se toman cuando la banda transportadora se encuentra detenida, gracias a la acción del circuito de control, luego que el sensor infrarrojo detecte un cambio de color en la banda transportadora. El temporizador determina el tiempo en que la banda está detenida para que después de transcurrido este tiempo y haber tomado la fotografía, la banda recupere la movilidad nuevamente. Vale la pena resaltar que el tiempo de temporización del circuito se debe sincronizar con el tiempo de toma de fotografías programado en la aplicación.

Ya en la aplicación de adquisición de fotografías, primero se define la variable donde se configura la librería de adquisición de imagen `videoinput`, así como las diferentes propiedades de la imagen. Luego se crea una estructura cíclica, para determinar el número de imágenes que se van a tomar, repitiendo el proceso de adquisición cada 5 segundos, sincronizándolo con el tiempo de control del prototipo.

El comando `imwrite`, permite crear la imagen obtenida en la adquisición, previamente guardada en una variable, para luego salvarla en la carpeta de la aplicación, donde en el comando se define la variable de la imagen, el nombre futuro de la foto y el formato que va a tener, en este caso `.jpg`. En la Figura 20 se muestra el diagrama de flujo del proceso de adquisición de imágenes.

Figura 20. Diagrama de flujo adquisición de imágenes.



Por último se procederá a detener la toma de fotografías y la visualización en el axis, aplicando las instrucciones correspondientes para detener y borrar posteriormente las variables de adquisición.

6.2 PROCESAMIENTO DE IMÁGENES

Luego de la obtención de los fotogramas, se realiza el procesamiento de cada una de las imágenes utilizando la segmentación por umbral, para crear una imagen binaria donde se identifican los objetos, en este caso los granos, para luego seleccionarlos y cortarlos con la herramienta `imcrop`, ya que con este comando todos los granos cortados se guardan en una matriz de imagen, para cuando correspondapoder procesar estas matrices, sin necesidad de crear imágenes de los granos separados nuevamente.

Posteriormente se utiliza la segmentación por umbral nuevamente de una manera secuencial para todos los granos de todas las imágenes, para aplicar cada tipo de clasificación de calidad que se va a tomar en cuenta. En este procedimiento se utilizarán comandos como `imread`, para leer las imágenes en Matlab, `bwlabel` para el conteo de todos los elementos presentes en la imagen y `regiónprops` para determinar el área de estos elementos. Dependiendo del criterio de calidad que se irá trabajando, el umbral de segmentación cambiará, como las áreas a tener en cuenta para el conteo de los granos que presenten cada uno de estos factores. El proceso de segmentación de cada criterio se mostrará en la sección 6.2.1. En la figura 21 se muestra el desarrollo global del procesamiento de las imágenes

Figura 21. Diagrama de flujo del procesamiento de las imágenes.

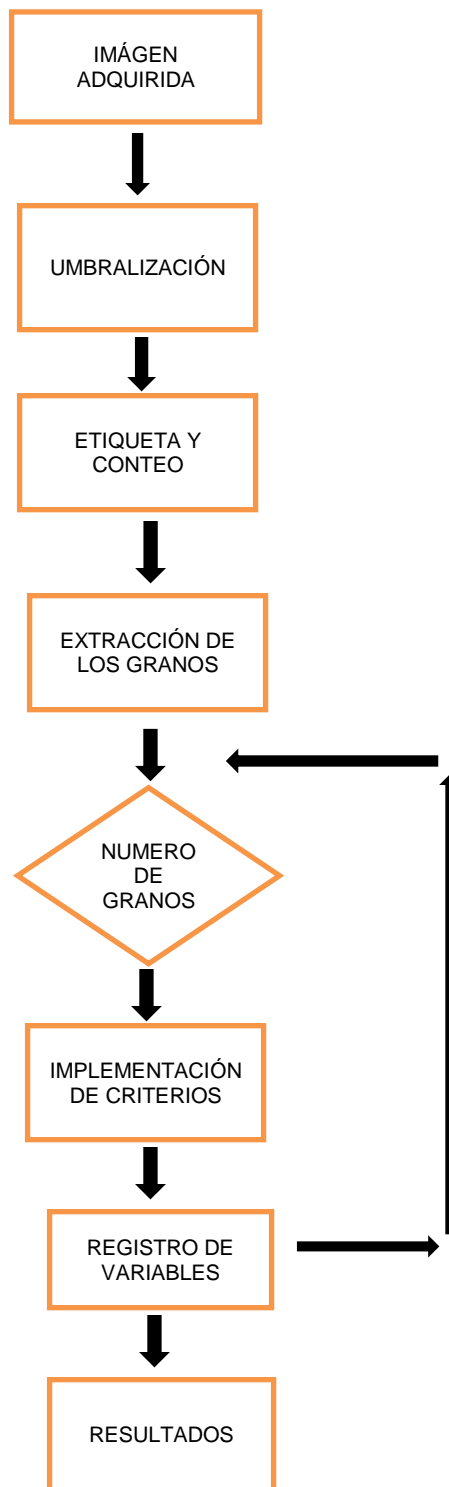
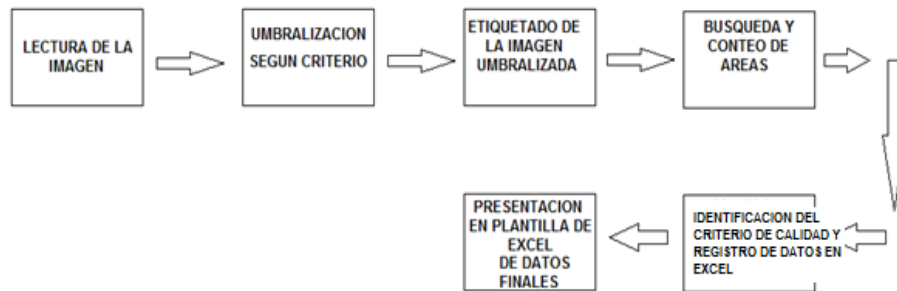


Figura 22. Diagrama de bloques del procesamiento de las imágenes.



6.2.1 Segmentación según los criterios de clasificación

Para hacer la clasificación de los granos en la imagen, se utiliza la segmentación por umbral, donde el margen de umbralización de la imagen cambiará según el criterio de calidad que se va a tener en cuenta, así mismo el análisis de los criterios se hará de manera secuencial junto al conteo de granos pertenecientes a cada uno. Lo esencial de este segmento es que al analizar un solo grano va a ser más sencillo su procesamiento y además con la implementación de diferentes estructuras cíclicas, se determina si un grano que pertenece a un criterio, se asegure que no va a quedar registrado en el conteo de otro. El diagrama de flujo del anterior procedimiento se muestra en la Figura 23. A continuación se explicará el proceso de segmentación para cada criterio.

Umbralización para granos partidos

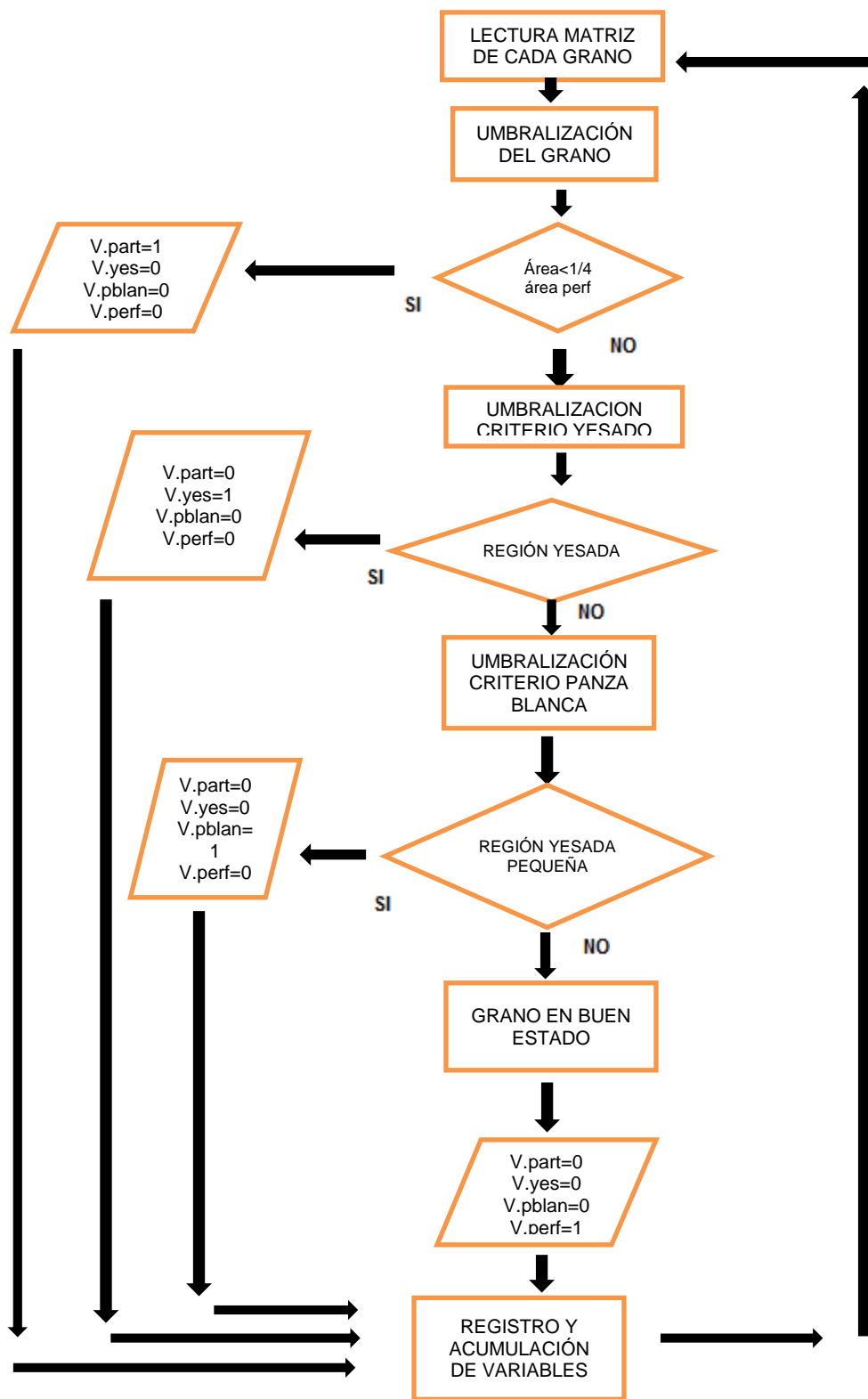
En este caso solo se desea diferenciar el grano del ambiente, no importando la tonalidad de color del arroz, por lo tanto se umbraliza en cada matriz de rojo, verde y azul, por encima de 150. Luego de tener el grano identificado, se determina si el área del grano mide la cuarta parte o es menor del área mayor de un grano de arroz en buen estado (previamente establecido).

Con el prototipo del hardware utilizado se obtuvo experimentalmente que el área mayor de un grano completo sea de 1000 píxeles.

Umbralización para granos yesados

Para este criterio se tomarán los valores de rojo, verde y azul por encima de 200, ya que es el umbral suficiente para determinar la diferencia entre el color normal del arroz, y el blanco que determina si es yesado o no. Luego se examina si el área es superior a un valor establecido para saber si el grano en su mayoría es yesado y no confundirlo con un grano panza blanca.

Figura 23. Diagrama de flujo proceso de segmentación y obtención del criterio



Umbralización para granos panza blanca

Para clasificar este tipo de criterio se tomarán los valores de rojo, verde y azul prácticamente igual a la umbralización de los granos yesados, luego se toma un área muy inferior del criterio anteriormente nombrado para diferenciar los panza blanca de los yesados.

Granos en buen estado

Cuando en el algoritmo se determina que el grano de arroz no pertenece a ninguno de los criterios anteriores, simplemente quiere decir que es un grano en buen estado.

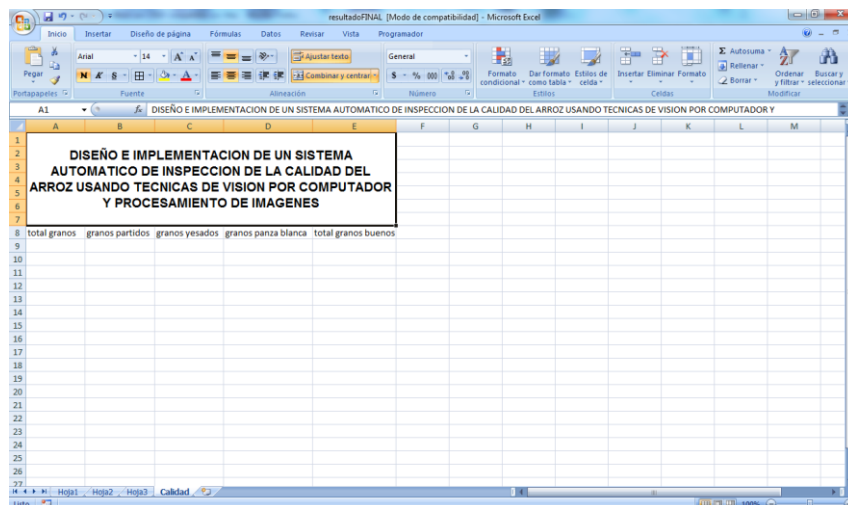
6.2.2 Registro y visualización en Excel

Para mostrar los resultados de una manera clara, sencilla y versátil, se creó una base de datos en Excel, ya que Matlab permite utilizar esta herramienta y crea la interfaz de una manera muy sencilla.

Primero se guardan los valores de las variables de conteo de granos en una matriz 1, los títulos de columna son a la final los criterios que se evalúan y los que aparecen escritos en las columnas de Excel.

Ahora se crea el archivo Excel .xls con todos los parámetros necesarios para crear la tabla de resultados. Luego con el comando `winopen`, Matlab abre el archivo Windows especificado, en este caso el archivo nombrado resultado_FINAL.xls con los datos definitivos. El diseño final de la plantilla se muestra en la Figura 24.

Figura 24. Plantilla de Excel creada para muestra de resultados



6.3 INTERFAZ GRÁFICA

Luego del diseño del procesamiento, se creó una interfaz gráfica de usuario con la utilidad GUIDE de Matlab, la cual permite acceder a todas las herramientas necesarias para la creación de aplicaciones tipo Windows. La interfaz gráfica para el usuario está formada por tres paneles principales: El panel de inicio, el panel de adquisición de imágenes y el panel de procesamiento de las imágenes. A continuación se mostrarán cada uno de los paneles, con una breve descripción.

PANEL DE INICIO

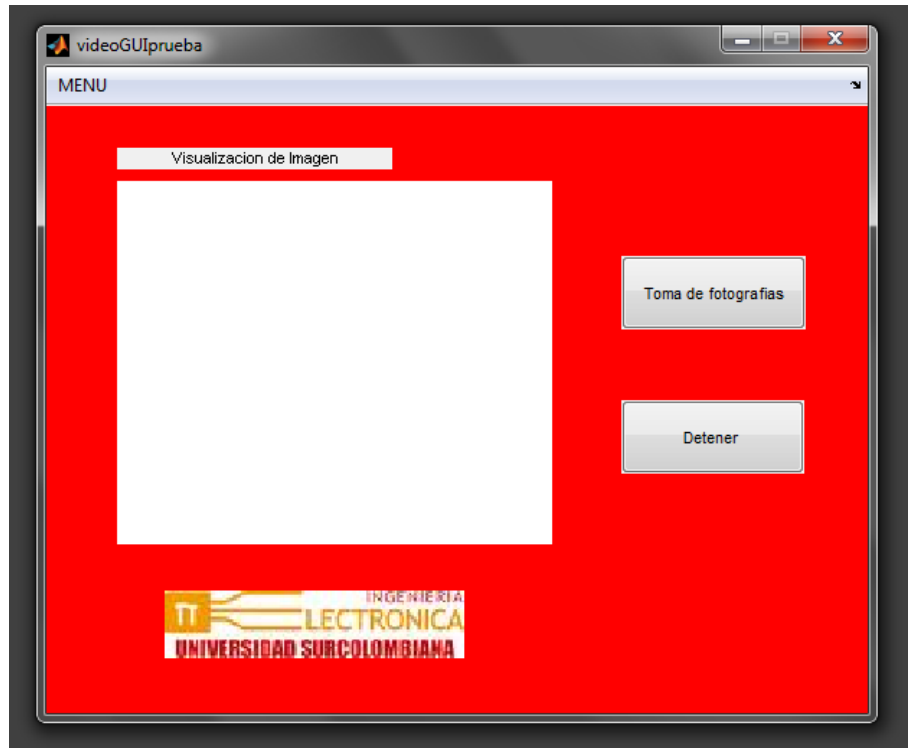
Figura 25. Panel de inicio



En el pantallazo de inicio se muestran para elegir las dos fases de la aplicación, tanto la de adquisición de Imagen, como la del procesamiento de las imágenes. Luego de la respectiva elección, este panel se cierra automáticamente.

PANEL DE ADQUISICIÓN DE IMAGEN

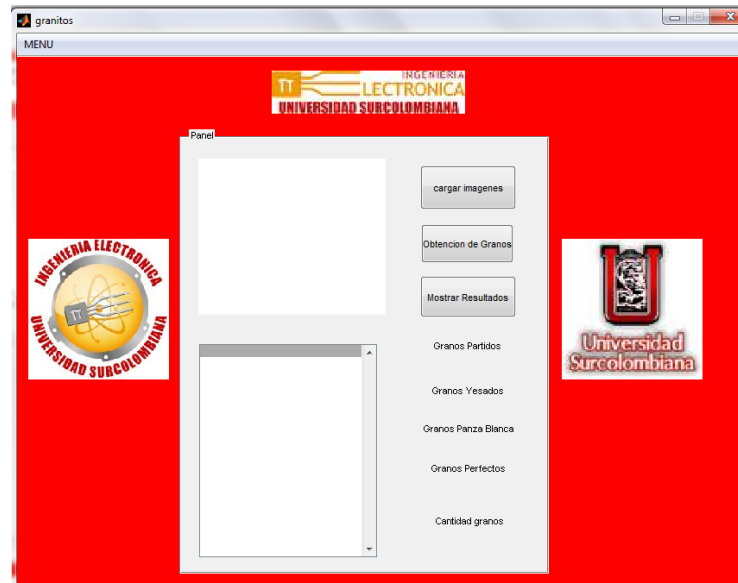
Figura 26. Panel de adquisición de imágenes



Este panel dispone de los respectivos botones, de inicio y parada de la toma de fotografías, además de un axes donde muestra la fotografía que se está tomando. La opción MENU, retorna al panel de inicio luego de la creación de las imágenes, para el posterior procesamiento.

PANEL DE OBTENCIÓN DE GRANOS Y PROCESAMIENTO

Figura 27. Panel de obtención de granos y procesamiento



Aquí se muestran las opciones para cargar las imágenes y procesarlas grano a grano para determinar su criterio. Además se muestra el conteo total de granos y el conteo de granos según el criterio de clasificación de primera mano, y se ven las imágenes que se toman, una a una, y en la barra de herramientas se registran.

En la opción de MENU, se puede regresar al panel de inicio, pero además se puede acceder a un panel de ayuda, donde se muestran los conceptos de los criterios de calidad que se trabajan en este proyecto.

PANEL DE AYUDA

Figura 28. Panel de ayuda.



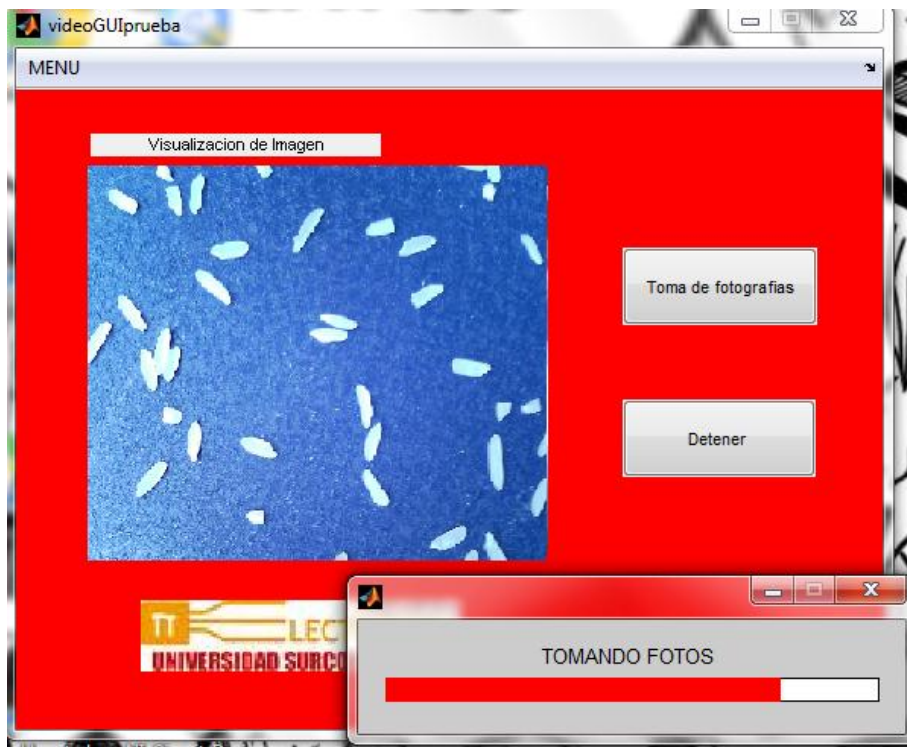
Este panel sirve de guía al usuario para conocer los conceptos de las clasificaciones de calidad que se van a trabajar en esta aplicación.

7. RESULTADOS

7.1 RESUMEN GENERAL DE FUNCIONAMIENTO

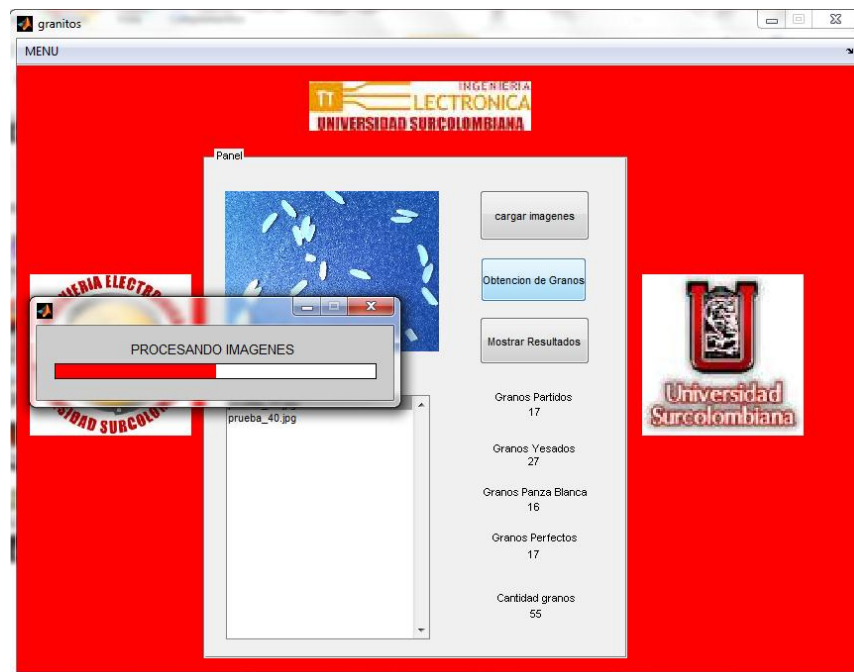
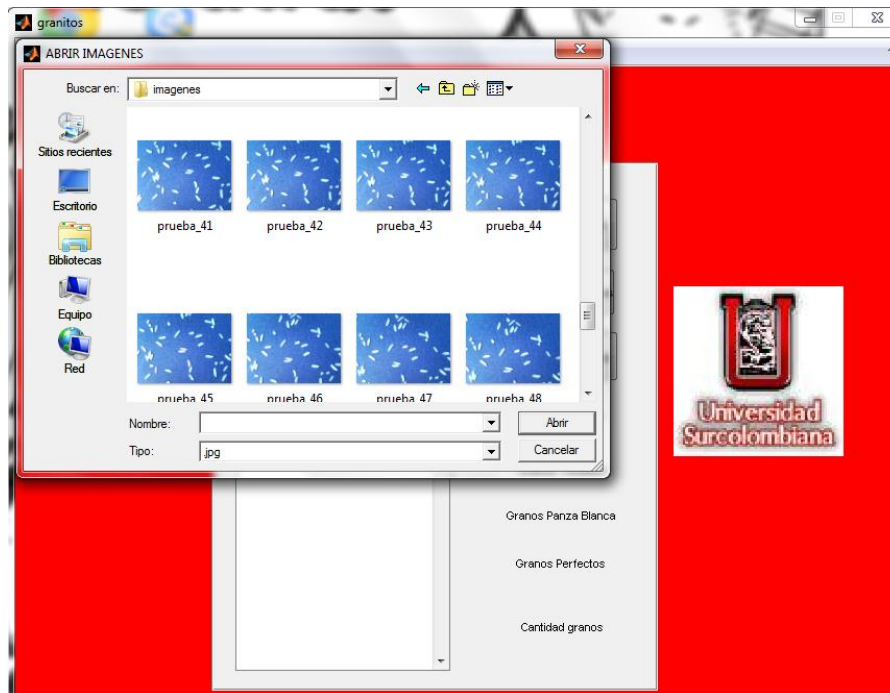
Al iniciar la aplicación y luego de elegir el primer proceso de adquisición de imágenes, se comienza el proceso pulsando el botón toma de fotografías, el cual tomará cada imagen en el instante de tiempo determinado y luego las guardará en la carpeta de la aplicación. Este proceso se visualiza en la Figura 29.

Figura 29. Funcionamiento del panel de adquisición de imágenes



Luego cuando inicie el panel de procesamiento de imágenes, se cargan las imágenes anteriormente creadas para luego procesarlas. A continuación se muestra en la Figura 30 una imagen en el momento del procesamiento para el análisis y visibilidad de los resultados en la parte inferior centrada.

Figura 30. Funcionamiento panel de Obtención de granos y procesamiento



7.2 PROCESAMIENTO DE LAS IMÁGENES

Ahora se procederá a mostrar los resultados paso a paso de todo el procesamiento que se hace en una sola imagen, para indicar todas y cada una de las acciones que se hacen sobre ellas.

Primero se hace una segmentación que determina los granos de arroz sobre todo el resto de la imagen, identificándolos y pudiendo así analizarlos por separado, este proceso se muestra en la Figura 32 y en la Figura 33.

Figura 31. Muestra de arroz

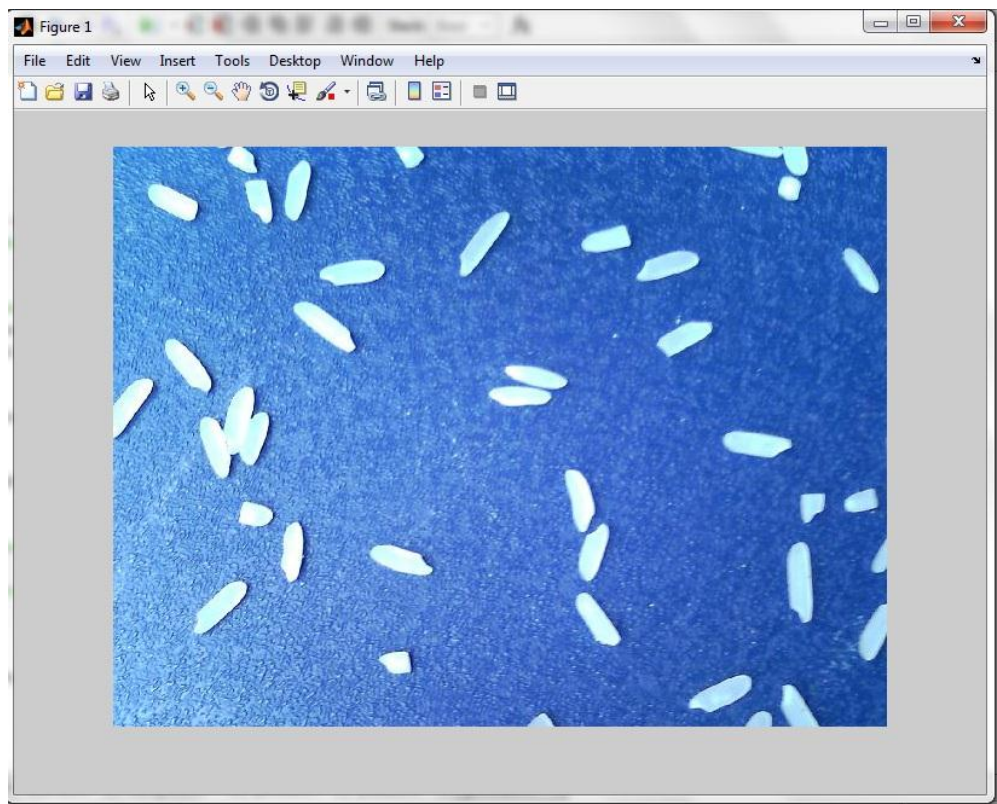


Figura 32. Identificación de granos

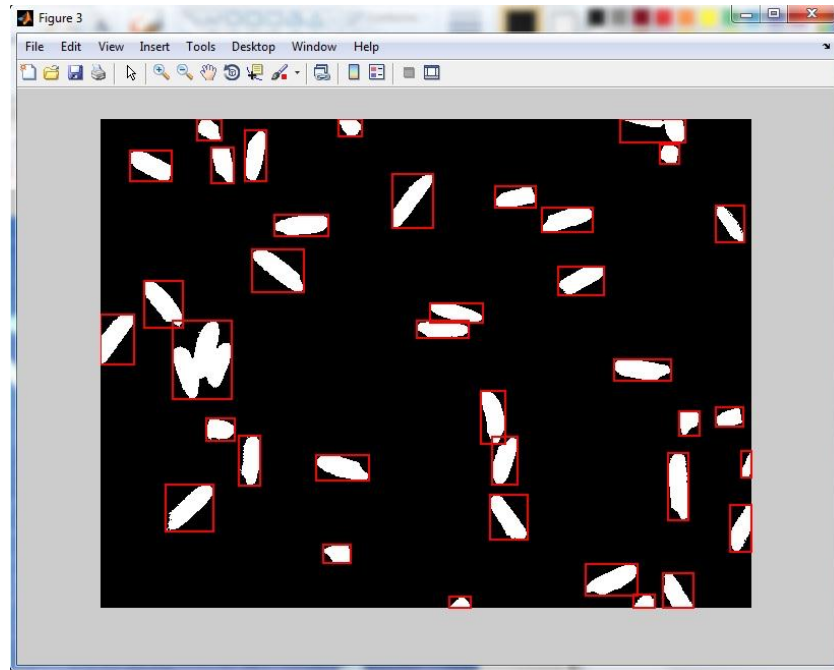
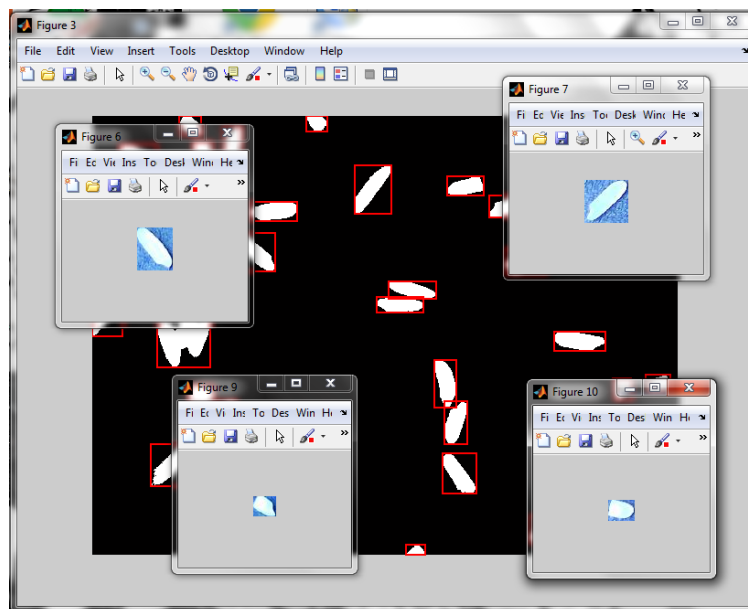


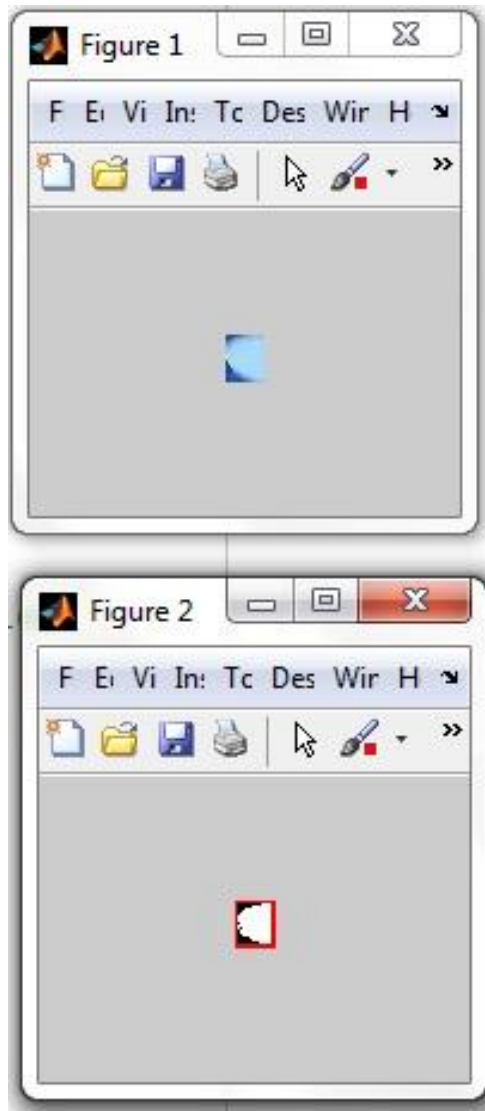
Figura 33. Análisis y separación grano a grano.



Luego se toman los granos partidos, ya que al analizar uno a uno cada grano se programa en el algoritmo que seleccione los de un área menor a la cuarta parte

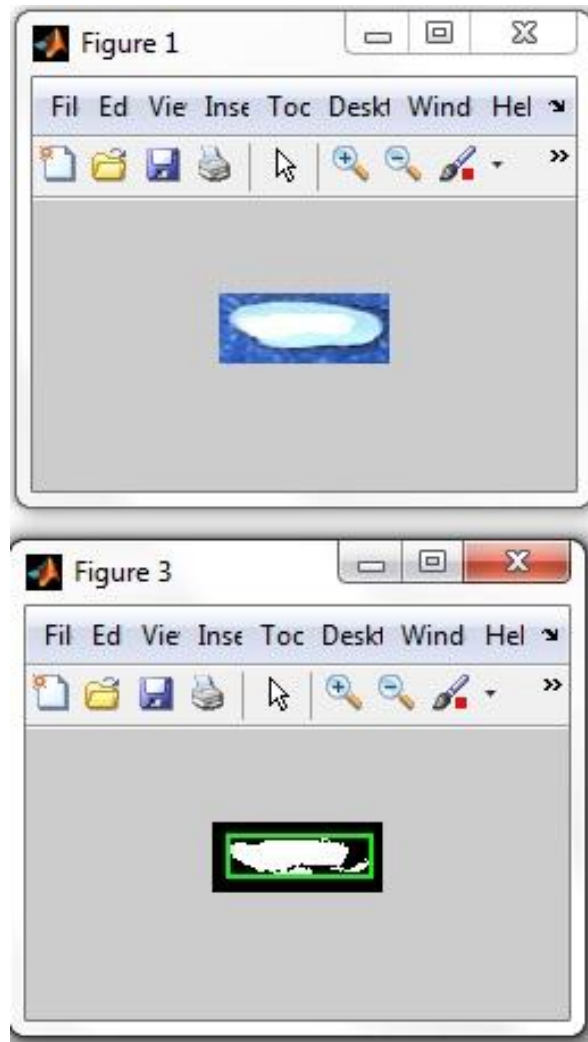
del área de un grano en buen estado encerrando el grano en un cuadro rojo. El resultado de esta segmentación se muestra en la Figura 34.

Figura 34. Segmentación grano partido



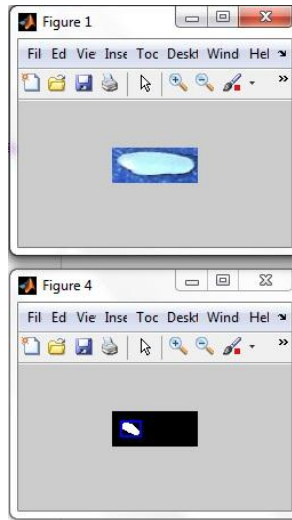
Ahora el rango de segmentación cambia para tomar no solo los granos, sino determinar cuáles son yesados, diferenciando el gris del grano normal, con el blanco del yesado, luego encierra el grano en un cuadro verde. El resultado se muestra en la Figura 35.

Figura 35. Segmentación grano yesado.



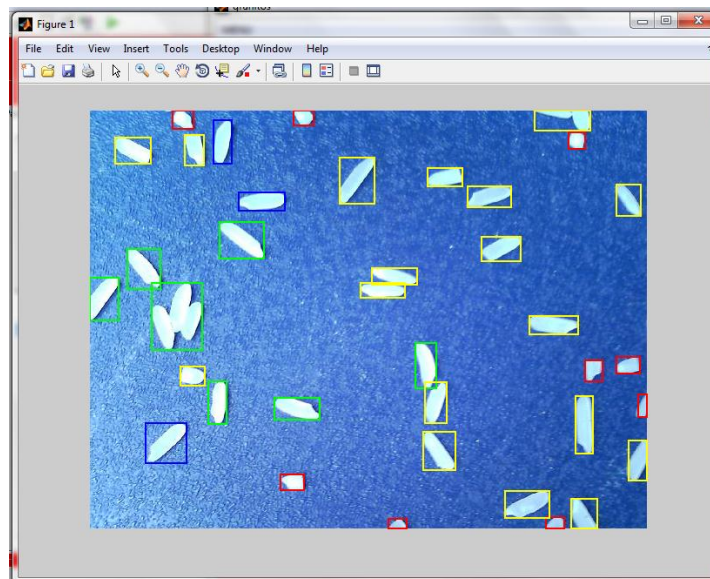
Después se realiza una segmentación diferente para solo dejar los blancos del yesado y tomar las áreas más pequeñas, para determinarlas como granos panza blanca ya que en esta clasificación el segmento yesado del grano es muy pequeño, encerrando el grano en un cuadro azul. Este resultado se muestra en la Figura 36.

Figura 36. Segmentación de las secciones panza blanca



Por último, luego de obtener la cantidad de granos de todos los criterios de calidad anteriores, cuando en el ciclo se determina que el grano no pertenece a ninguna de las clasificaciones anteriores, se da a conocer que está en buen estado, encerrándolo en un cuadro amarillo. El resultado total de todos los criterios implementados en una imagen se muestra en la Figura 37, donde los granos encerrados en rojo son los partidos, los granos encerrados en verde son los yesados, en azul los panza blanca, y por último los granos buenos en amarillo.

Figura 37. Muestra de resultados totales sobre la imagen original.



7.3 INFORME DE RESULTADOS EN EXCEL

Finalmente los resultados se muestran con la plantilla de Excel como lo muestra la Figura 38.

Figura 38. Muestra de informe en Excel

| | A | B | C | D | E | F | G | H | I | J |
|----|--|-----------------|----------------|---------------------|---------------------|---|---|---|---|---|
| 1 | DISEÑO E IMPLEMENTACION DE UN SISTEMA AUTOMATICO DE INSPECCION DE LA CALIDAD DEL ARROZ USANDO TECNICAS DE VISION POR COMPUTADOR Y PROCESAMIENTO DE IMAGENES | | | | | | | | | |
| 2 | | | | | | | | | | |
| 3 | | | | | | | | | | |
| 4 | | | | | | | | | | |
| 5 | | | | | | | | | | |
| 6 | | | | | | | | | | |
| 7 | | | | | | | | | | |
| 8 | total granos | granos partidos | granos yesados | granos panza blanca | total granos buenos | | | | | |
| 9 | 65 | 13 | 24 | 11 | 17 | | | | | |
| 10 | | | | | | | | | | |
| 11 | | | | | | | | | | |
| 12 | | | | | | | | | | |
| 13 | | | | | | | | | | |
| 14 | | | | | | | | | | |
| 15 | | | | | | | | | | |
| 16 | | | | | | | | | | |
| 17 | | | | | | | | | | |
| 18 | | | | | | | | | | |
| 19 | | | | | | | | | | |
| 20 | | | | | | | | | | |
| 21 | | | | | | | | | | |
| 22 | | | | | | | | | | |
| 23 | | | | | | | | | | |
| 24 | | | | | | | | | | |
| 25 | | | | | | | | | | |

Donde se muestran el total de granos analizados, la cantidad de granos partidos, de granos yesados, de granos panza blanca, y por último los granos en buen estado.

7.4 CUADROS DE RESULTADOS

Se realizaron 3 muestras de cuatro imágenes cada una para facilitar el conteo visual con el fin de analizar la efectividad del algoritmo. Donde se interpretarán los resultados entre el mostrado por el software versus los resultados tomados de manera visual.

Cuadro 1. Resultados Software

| | MUESTRA 1 | MUESTRA 2 | MUESTRA 3 |
|------------------------|-----------|-----------|-----------|
| granos partidos | 28 | 29 | 41 |
| granos yesados | 40 | 58 | 56 |
| granos panza blanca | 17 | 13 | 12 |
| granos enteros | 38 | 35 | 42 |
| total granos | 123 | 135 | 151 |

Cuadro 2. Resultados Inspección Visual

| | MUESTRA 1 | MUESTRA 2 | MUESTRA 3 |
|------------------------|-----------|-----------|-----------|
| granos partidos | 30 | 31 | 42 |
| granos yesados | 40 | 58 | 56 |
| granos panza blanca | 17 | 11 | 12 |
| granos enteros | 36 | 35 | 41 |
| total granos | 123 | 135 | 151 |

Cuadro 3. Resultados totales

| | R. totales software | R. totales inspección visual | falsos positivos |
|------------------------|---------------------|------------------------------|------------------|
| granos partidos | 98 | 103 | 5 |
| granos yesados | 154 | 154 | 0 |
| granos panza blanca | 42 | 40 | 2 |
| granos enteros | 115 | 112 | 3 |
| total granos | 409 | 409 | 0 |

Cuadro 4. Efectividad

| total granos | granos partidos | granos yesados | granos panza blanca | granos enteros |
|--------------|-----------------|----------------|---------------------|----------------|
| 100% | 95.20% | 100% | 95% | 97.40% |

| total granos | total falsos p. | Efectividad total |
|--------------|-----------------|-------------------|
| 409 | 10 | 97.55% |

7.5 ANÁLISIS DE RESULTADOS

Después de realizar diferentes pruebas en la aplicación, se obtuvieron resultados muy favorables que permiten validar el trabajo realizado. Tomando en cuenta los resultados se puede decir que:

- El panel de adquisición de imágenes no solo toma las fotografías vistas por la cámara fotográfica durante el movimiento de la banda, sino que muestra en el (Axes) lo que la cámara está viendo. Además el algoritmo permite tener una temporización muy similar a la temporización electrónica en el prototipo para así poder tomar la fotografía en el momento justo.
- La efectividad mostrada en las tablas de resultados fue del 97.55%, lo cual es una prueba de la gran eficiencia que muestra el algoritmo, ya que en la industria arrocera hablar de un valor superior al 90% se considera excelente por no decir perfecto.
- Con el recurso de la imagen con los indicadores en cuadros de color con su respectivo criterio se corroboran los resultados mostrados en la aplicación de manera visual.
- Se presentó una muy pequeña diferencia en el análisis del criterio de granos partidos entre los resultados de la aplicación y la inspección visual, debido a que el criterio como tal se programó para que tomara un área menor a la cuarta parte del área de grano en buen estado, sin embargo visualmente esto no se puede corroborar sino que se puede aproximar, existiendo por ende alguna diferencia en el conteo.
- El muy pequeño margen de error en los granos panza blanca se debe a que el ojo humano muchas veces no detecta la pequeña región yesada en el grano, en cambio la aplicación detecta cualquier región yesada por muy pequeña que sea, y la identifica.

8. CONCLUSIONES

- Se dispuso en el prototipo trabajar los granos de manera esparcida en la banda transportadora, para evitar la duplicidad en las imágenes, con ello evitar errores en las áreas y en el conteo de los granos en el procesamiento.
- Es muy útil la utilización del Excel para registrar los datos finales y ser interpretados de manera posterior, ya que en la interfaz gráfica del procesamiento se puede perder la visualización de los datos obtenidos luego de ser cerrada la aplicación.
- El arreglo de iluminación y captación de la imagen es vital para la obtención de resultados satisfactorios, en este caso se buscó utilizar una cámara excelente (Logitech) y un adecuado arreglo de luces y filtros.
- Con el correr de las pruebas, se dió a entender lo vital que es el circuito de control en el prototipo, ya que permite que la cámara tome las fotos con la banda detenida y no en movimiento, permitiendo así tener la mejor calidad posible en la imagen.
- Se tiene gran efectividad en el análisis, ya que el panel de procesamiento permite analizar uno a uno cada grano de la imagen, logrando así no tener errores en el número de granos total, con respecto a los contados por los criterios.
- Se pudo obtener gran exactitud en el conteo de los criterios ya que el algoritmo está diseñado para acumular solo un valor dependiendo del criterio resultante, evitando así repetición de criterios dentro de un mismo grano.
- La efectividad mostrada en los resultados fue del 97.55%, lo cual es una prueba de la gran eficiencia que muestra el algoritmo, ya que en la industria arrocera hablar de una valor superior al 90% se considera excelente por no decir perfecto.

9. RECOMENDACIONES

- Para reducir la duplicidad en las imágenes de los granos se recomienda manejar un sistema de rampa en el prototipo, para que la caída del arroz sea de manera libre, evitando así que se superpongan dos granos en esta condición de movimiento y se reduce complejidad para fabricar el prototipo porque no se necesitaría circuito de control ni sistema de movimiento con banda transportadora.
- Se debe tener en cuenta que si se desea cambiar el dispositivo de adquisición de las imágenes, también se debe modificar el programa, cambiando la resolución y el controlador del anterior dispositivo por la que presente el nuevo y además tomar nuevamente la medida de las áreas en la segmentación, para evitar errores en los resultados.
- Se recomienda utilizar para la adquisición de las imágenes una webcam ya que con algunos otros dispositivos tales como cámaras digitales, se podrían presentar problemas, ya que se complica enormemente su implementación y su uso por parte de Matlab.
- Se pueden incluir diferentes criterios de calidad del arroz a los ya utilizados, para suplir alguna necesidad o exigencia de una determinada industria.
- Sería muy útil en el futuro tratar de hacer una temporización única entre el control electrónico del prototipo y el algoritmo de toma de fotografías, ya que al trabajarlos de manera separada es complicado tener 100% de exactitud entre los dos tiempos de funcionamiento.

BIBLIOGRAFÍA

LIBROS

ACHARYA, Tinku y RAY, Ajoy K. Image Processing, Principles and Applications. New Jersey:WILEY-INTERSCIENCE, 2005. 451 p.

BLANCHET, Gérard y CHARBIT, Maurice. Digital Signal and Image Processing using MATLAB. Londres: ISTE Ltd, 2006. 764 p.

DE LA ESCALERA HUESO, Arturo. Visión por computador, fundamentos y métodos, prentice hall.

GONZALEZ, Rafael C. y WOODS Richard E. Digital Image Processing. 2 ed. New Jersey: Prentice Hall, 2002. 822 p.

HARTLEY, Richard y ZISSERMAN Andrew. Multiple View Geometry in Computer Vision. 2 ed. Cambridge.: Cambridge University Press, 2003. 672 p.

JAIN, Anil K. Fundamentals of Digital Image Processing. New Jersey: Prentice Hall, 1994. 525 p.

PAJARES MARTÍNSANZ, Gonzálo y CRUZ GARCÁ, Jesús M. Visión por Computador: Imágenes digitales y aplicaciones. 2 ed. Madrid: Ra-ma, 2001. 800 p.

REED, Todd R. Digital Image Sequence Processing, Compression, and Analysis. New York: CRC Press, 2005. 267 p.

RITTER, Gerhard X. y WILSON, Joseph N. Handbook of Computer Vision Algorithms in Image Algebra. 2 ed. Washington D.C.: CRC Press, 2001. 425 p.

RUSS, John C. The Image Processing Handbook. 5 ed. Carolina del Norte: CRC Press, 2007. 836 p.

SUCAR, Enrique y GÓMEZ, Giovani. Visión Computacional. Puebla: Instituto Nacional de Astrofísica, 2000. 185 p.

CARRERES ORTELLS, Ramón y LEÓN, José Luís. Calidad del arroz: Criterios para una adecuada valoración.

NORMAS

INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TÉCNICAS. Norma Técnica Colombiana para la presentación de Tesis, Trabajos de Grado y Otros Trabajos de Investigación. Sexta Actualización. Bogotá D.C.: ICONTEC, 2008. 41 p. NTC 1486.

INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TÉCNICAS. Norma Técnica Colombiana para Referencias Bibliográficas. Contenido, Forma, y Estructura. Sexta Actualización. Bogotá D.C.: ICONTEC, 2008. 38 p. NTC 5613.

MANUALES

CUEVAS JIMENEZ, Erik Valdemar y ZALDIVAR NAVARRO, Daniel. Visión por Computador utilizando Matlab y el Toolbox de Procesamiento Digital de Imágenes 35 p.

BARRAGAN GUERRERO, Diego Orlando. Manual de interfaz gráfica de usuario en matlab. Matpic. 75 p.

MATLAB. Getting Started Guide. The MathWorks. 2010.

MATLAB. Image Processing Toolbox. The MathWorks. 2010.

ENLACES

<http://www.google.com/>

<http://www.mathworks.com/matlabcentral/fileexchange/14888>

<http://www.matpic.com/>

<http://www.youtube.com/>

ANEXOS

Anexo A. Código Fuente en Matlab.

A continuación se mostrara el código fuente de toda la aplicación realizada en Matlab el cual será explicado seccionadamente, ya que el software cuenta con diferentes procedimientos divididos en los paneles de la interfaz grafica.

- Adquisición de Imágenes

En esta sección se mostrara el código que permite la adquisición de las imágenes por medio de una cámara web, y se explica como se realiza la temporización entre las imágenes obtenidas.

Primero se utilizan los códigos de identificación del dispositivo y configuración de la cámara en Matlab:

```
handles.camara = videoinput('winvideo',2,'YUY2_640x480');
vidRes = get(handles.camara, 'VideoResolution');
nBands = get(handles.camara, 'NumberOfBands');
hImage = image(zeros(vidRes(2), vidRes(1), nBands),
'Parent',handles.visualvideo);
preview(handles.camara,hImage);
```

Además se utilizan unos comandos para configurar la visualización en el panel de adquisición de imágenes (de la línea 2 en adelante).

Luego se realiza un conjunto de estructuras cíclicas, en la cual la primera (representada por la variable k) determina el numero de imágenes a adquirir, que serán 5 en este caso y la segunda estructura (representada por la variable i) para determinar el tiempo de transición entre la captura de las imágenes, siendo este tiempo 5 segundos. A continuación se mostrara la estructura para realizar la adquisición de una imagen; ya que este proceso se repite en 5 oportunidades para hacer la captura de las 5 imágenes a tener en cuenta.

```
K=5
for k=1:5
if(k==1)
for i=1:6.5e6
if i==6.5e6
C=getsnapshot(handles.camara);
imwrite(C, 'foto(1).jpg', 'jpg');
end
end
end
```

Donde la instrucción *getsnaps* sirve para proceder con la captura y el comando *imwrite* se utiliza para crear el archivo de imagen en el formato .jpg y guardarlo en la carpeta de la aplicación para su posterior uso.

- Procesamiento de las Imágenes

Ahora se explicara la sección de código más importante de la aplicación que es el procesamiento de las imágenes obtenidas.

Luego de realizar la respectiva identificación de las variables a utilizar en todo el programay de cargar las imágenes obtenidas en el proceso anteriormente descrito, se hace la primera segmentación la cual identifica los granos de Arroz sobre el resto del ambiente de la siguiente manera:

```
rojo=imagen_arroz(:,:,1);
verde=imagen_arroz(:,:,2);
azul=imagen_arroz(:,:,3);

imagen_r1=(rojo>=150);
imagen_g1=(verde>=150);
imagen_b1=(azul>=150);

resultado=(imagen_r1) & (imagen_g1) & (imagen_b1);
```

El paso a seguir es obtener algunas características de la imagen resultado, que son la cantidad de granos detectados en la segmentación y el área que ocupan.

```
[conteoA a]=bwlabel(resultado);
resultadol=bwareaopen(resultado,50);

[conteoB b]=bwlabel(resultadol);
B=B+b;
Props = regionprops(conteoB, 'Area', 'BoundingBox');
Pp=length(Props);

for n=1:Pp
    Icut = imcrop(imagen_arroz, Props(n).BoundingBox);
```

Donde *bwlabel* es la instrucción que permite etiquetar y contabilizar los granos existentes, *regionprops* es para cuantificar el área de estos *imcrop* es el comando que permite tomar cada grano existente como un elemento de imagen diferente, para su posterior segmentación individual y determinar el criterio a la cual pertenece.

Finalmente se realiza el código para determinar si cada grano de manera secuencial pertenece a los distintos criterios de calidad tenidos en cuenta en esta aplicación. La idea principal de este código es realizar condicionales anidados, el cual cada uno contiene un criterio de calidad diferente. Dependiendo el criterio a la cual pertenezca el grano se terminara el condicional y si no, se continuara con el proceso hasta que el grano a analizar se pueda identificar según su criterio. A continuación se mostrara el conjunto de condicionales con su respectiva segmentación dependiendo el criterio de calidad; donde el orden utilizado es de segmentación de granos partidos, segmentación de granos yesados, segmentación de granos panza blanca y granos enteros.

```
%-----segmentacion granos partidos-----

rojo=imagen_arroz(:, :, 1)
verde=imagen_arroz(:, :, 2)
azul=imagen_arroz(:, :, 3)

imagen_r1=(rojo>=125);
imagen_g1=(verde>=125);
imagen_b1=(azul>=125);

resultado=(imagen_r1) & (imagen_g1) & (imagen_b1);

[conteoA a]=bwlabel(resultado);
resultado1=bwareaopen(resultado,100);
[conteoB b]=bwlabel(resultado1);
B=B+b;
Props = regionprops(conteoB, 'Area', 'BoundingBox');
Areas=[Props.Area];
gP=find(Areas<400);

c=length(gP);
if (c>0)
c=1;
    f=0;
    q=0;
    p=0;

%continuacion de los condicionales anidados si el grano no es partido
%----- segmentacion granos yesados-----
else

imagen_r2=(rojo>=205);
imagen_g2=(verde>=205);
imagen_b2=(azul>=205);
resultado2=(imagen_r2) & (imagen_g2) & (imagen_b2);

[conteoD d]=bwlabel(resultado2);
resultado3=bwareaopen(resultado2,100);

[conteoE e]=bwlabel(resultado3);
```

```

Props1 = regionprops(conteoE, 'Area', 'BoundingBox');
Areas1=[Props1.Area];
gP1=find(Areas1>400);
f=length(gP1);

if (f>0);
    f=1;
    q=0;
    p=0;

%continuacion de los condicionales anidados si el grano tampoco es
%yesado
%----- segmentacion granos panza blanca-----
else

imagen_r3=(rojo>=205);
imagen_g3=(verde>=205);
imagen_b3=(azul>=205);

resultado4=(imagen_r3) & (imagen_g3) & (imagen_b3);

[conteoG g]=bwlabel(resultado4);
resultado5=bwareaopen(resultado4,50);
[conteoH h]=bwlabel(resultado5);

Props2 = regionprops(conteoH, 'Area', 'BoundingBox');
Areas2=[Props2.Area];
gP2=find(Areas2<250);
q=length(gP2);

if(q>0)
q=1;
    p=0;
else

p=1;

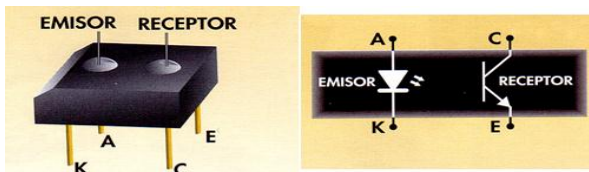
```

Los valores de las variables c, f, y q acumulan los valores de los criterios partidos, yesados y panza blanca respectivamente. La variable p acumula cuando el grano no pertenece a ningún criterio de calidad previo, siendo este un grano entero o perfecto.

Anexo B. Información técnica de los dispositivos utilizados.

- Sensor Óptico infrarrojo por reflexión CNY70**, es uno de los sensores más empleados en microrrobótica, dada su economía y sus variadas aplicaciones prácticas. En el proyecto se utiliza en la detección de dos superficies, una oscura y otra blanca, con el fin de detener en determinado tiempo la banda transportadora y así poder adquirir el registro fotográfico de los granos de arroz.

Figura 39. Sensor CNY70



Características eléctricas

Absolute Maximum Ratings

Input (Emitter)

| Parameter | Test Conditions | Symbol | Value | Unit |
|-----------------------|---------------------------|-----------|-------|------------|
| Reverse voltage | | V_R | 5 | V |
| Forward current | | I_F | 50 | mA |
| Forward surge current | $t_p \leq 10 \mu s$ | I_{FSM} | 3 | A |
| Power dissipation | $T_{amb} \leq 25^\circ C$ | P_V | 100 | mW |
| Junction temperature | | T_j | 100 | $^\circ C$ |

Output (Detector)

| Parameter | Test Conditions | Symbol | Value | Unit |
|---------------------------|---------------------------|-----------|-------|------------|
| Collector emitter voltage | | V_{CEO} | 32 | V |
| Emitter collector voltage | | V_{ECO} | 7 | V |
| Collector current | | I_C | 50 | mA |
| Power dissipation | $T_{amb} \leq 25^\circ C$ | P_V | 100 | mW |
| Junction temperature | | T_j | 100 | $^\circ C$ |

Coupler

| Parameter | Test Conditions | Symbol | Value | Unit |
|---------------------------|---------------------------------|-----------|-------------|------------------|
| Total power dissipation | $T_{amb} \leq 25^\circ\text{C}$ | P_{tot} | 200 | mW |
| Ambient temperature range | | T_{amb} | -55 to +85 | $^\circ\text{C}$ |
| Storage temperature range | | T_{stg} | -55 to +100 | $^\circ\text{C}$ |
| Soldering temperature | 2 mm from case, $t \leq 5$ s | T_{sd} | 260 | $^\circ\text{C}$ |

Electrical Characteristics ($T_{amb} = 25^\circ\text{C}$)

Input (Emitter)

| Parameter | Test Conditions | Symbol | Min. | Typ. | Max. | Unit |
|-----------------|-----------------|--------|------|------|------|------|
| Forward voltage | $I_F = 50$ mA | V_F | | 1.25 | 1.6 | V |

Output (Detector)

| Parameter | Test Conditions | Symbol | Min. | Typ. | Max. | Unit |
|---------------------------|--------------------------------------|-----------|------|------|------|------|
| Collector emitter voltage | $I_C = 1$ mA | V_{CEO} | 32 | | | V |
| Emitter collector voltage | $I_E = 100$ μA | V_{ECO} | 5 | | | V |
| Collector dark current | $V_{CE} = 20$ V, $I_F = 0$, $E = 0$ | I_{CEO} | | | 200 | nA |

Coupler

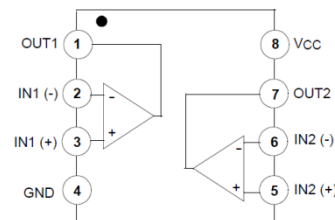
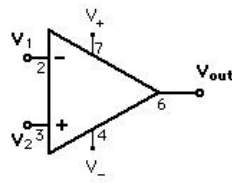
| Parameter | Test Conditions | Symbol | Min. | Typ. | Max. | Unit |
|--------------------------------------|--|-------------------|------|------|------|------|
| Collector current | $V_{CE} = 5$ V, $I_F = 20$ mA, $d = 0.3$ mm (figure 1) | $I_C^{(1)}$ | 0.3 | 1.0 | | mA |
| Cross talk current | $V_{CE} = 5$ V, $I_F = 20$ mA (figure 1) | $I_{CX}^{(2)}$ | | | 600 | nA |
| Collector emitter saturation voltage | $I_F = 20$ mA, $I_C = 0.1$ mA, $d = 0.3$ mm (figure 1) | $V_{CEsat}^{(1)}$ | | | 0.3 | V |

1) Measured with the 'Kodak neutral test card', white side with 90% diffuse reflectance
 2) Measured without reflecting medium

Fuente: <http://www.datasheetcatalog.org/datasheet/vishay/83751.pdf>

- **Circuito integrado LM358**, es un amplificador operacional multipropósito, utilizado en este proyecto como comparador de tensión.

Figura 40. Circuito integrado LM358



Características Eléctricas

| Parameter | Conditions | LM158A | | LM358A | | LM158/LM258 | | LM358 | | LM2904 | | Units |
|---------------------------------|--|--------|-------------|--------|-------------|-------------|-------------|-------|-------------|--------|-------------|-------|
| | | Min | Typ | Max | Min | Typ | Max | Min | Typ | Max | Min | |
| Input Offset Voltage | (Note 5), $T_A = 25^\circ\text{C}$ | 1 | 2 | 2 | 3 | 2 | 5 | 2 | 7 | 2 | 7 | mV |
| Input Bias Current | $I_{IN(+)}$ or $I_{IN(-)}$, $T_A = 25^\circ\text{C}$, $V_{CM} = 0\text{V}$ (Note 6) | 20 | 50 | 45 | 100 | 45 | 150 | 45 | 250 | 45 | 250 | nA |
| Input Offset Current | $I_{IN(+)} - I_{IN(-)}$, $V_{CM} = 0\text{V}$, $T_A = 25^\circ\text{C}$ | 2 | 10 | 5 | 30 | 3 | 30 | 5 | 50 | 5 | 50 | nA |
| Input Common-Mode Voltage Range | $V^+ = 30\text{V}$, (Note 7) (LM2904, $V^+ = 26\text{V}$), $T_A = 25^\circ\text{C}$ | 0 | $V^+ - 1.5$ | 0 | $V^+ - 1.5$ | 0 | $V^+ - 1.5$ | 0 | $V^+ - 1.5$ | 0 | $V^+ - 1.5$ | V |
| Supply Current | Over Full Temperature Range $R_L = \infty$ on All Op Amps $V^+ = 30\text{V}$ (LM2904 $V^+ = 26\text{V}$) $V^+ = 5\text{V}$ | 1 | 2 | 1 | 2 | 1 | 2 | 1 | 2 | 1 | 2 | mA |
| | | 0.5 | 1.2 | 0.5 | 1.2 | 0.5 | 1.2 | 0.5 | 1.2 | 0.5 | 1.2 | mA |

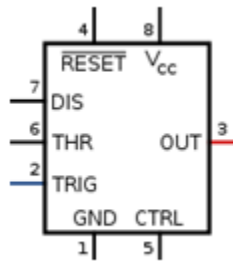
| Parameter | Conditions | LM158A | | LM358A | | LM158/LM258 | | LM358 | | LM2904 | | |
|--|------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|-----|
| | | Min | Typ | Max | Min | Typ | Max | Min | Typ | Max | Min | Typ |
| Supply Voltage, V^+ | | 32V | 26V | 32V | 26V | 32V | 26V | 32V | 26V | 32V | 26V | |
| Differential Input Voltage | | 32V | 26V | 32V | 26V | 32V | 26V | 32V | 26V | 32V | 26V | |
| Input Voltage | | -0.3V to +32V | -0.3V to +26V | -0.3V to +32V | -0.3V to +26V | -0.3V to +32V | -0.3V to +26V | -0.3V to +32V | -0.3V to +26V | -0.3V to +32V | -0.3V to +26V | |
| Power Dissipation (Note 1) | | 830 mW | 830 mW | 830 mW | 830 mW | 830 mW | 830 mW | 830 mW | 830 mW | 830 mW | 830 mW | |
| Molded Dip | | 550 mW | 550 mW | 550 mW | 550 mW | 550 mW | 550 mW | 550 mW | 550 mW | 550 mW | 550 mW | |
| Metal Can | | 530 mW | 530 mW | 530 mW | 530 mW | 530 mW | 530 mW | 530 mW | 530 mW | 530 mW | 530 mW | |
| Small Outline Package (M) | | 530 mW | 530 mW | 530 mW | 530 mW | 530 mW | 530 mW | 530 mW | 530 mW | 530 mW | 530 mW | |
| Output Short-Circuit to GND (One Amplifier) (Note 2) | | Continuous | Continuous | Continuous | Continuous | Continuous | Continuous | Continuous | Continuous | Continuous | Continuous | |
| $V^+ \leq 15\text{V}$ and $T_A = 25^\circ\text{C}$ | | 50 mA | 50 mA | 50 mA | 50 mA | 50 mA | 50 mA | 50 mA | 50 mA | 50 mA | 50 mA | |
| Input Current ($V_{IN} < -0.3\text{V}$) (Note 3) | | 50 mA | 50 mA | 50 mA | 50 mA | 50 mA | 50 mA | 50 mA | 50 mA | 50 mA | 50 mA | |

| Parameter | Conditions | LM158A | | LM358A | | LM158/LM258 | | LM358 | | LM2904 | | | |
|---|------------|--------------|----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|
| | | Min | Typ | Max | Min | Typ | Max | Min | Typ | Max | Min | Typ | Max |
| Operating Temperature Range | | LM358 | LM258 | LM158 | LM358 | LM258 | LM158 | LM358 | LM258 | LM158 | LM358 | LM258 | LM158 |
| Storage Temperature Range | | 0°C to +70°C | -25°C to +85°C | -55°C to +125°C | -65°C to +150°C | -65°C to +150°C | -65°C to +150°C | -65°C to +150°C | -65°C to +150°C | -65°C to +150°C | -65°C to +150°C | -65°C to +150°C | -65°C to +150°C |
| Lead Temperature, Dip (Soldering, 10 seconds) | | 260°C | 260°C | 300°C | 260°C | 260°C | 260°C | 260°C | 260°C | 260°C | 260°C | 260°C | 260°C |
| Lead Temperature, Metal Can (Soldering, 10 seconds) | | 260°C | 260°C | 300°C | 260°C | 260°C | 260°C | 260°C | 260°C | 260°C | 260°C | 260°C | 260°C |
| Soldering Information | | 260°C | 260°C | 300°C | 260°C | 260°C | 260°C | 260°C | 260°C | 260°C | 260°C | 260°C | 260°C |
| Dual-In-Line Package Soldering (10 seconds) | | 260°C | 260°C | 300°C | 260°C | 260°C | 260°C | 260°C | 260°C | 260°C | 260°C | 260°C | 260°C |
| Small Outline Package Vapor Phase (60 seconds) | | 215°C | 220°C | 215°C | 220°C | 215°C | 220°C | 215°C | 220°C | 215°C | 220°C | 215°C | 220°C |
| Infrared (15 seconds) | | 220°C | 220°C | 220°C | 220°C | 220°C | 220°C | 220°C | 220°C | 220°C | 220°C | 220°C | 220°C |
| See AN-450 "Surface Mounting Methods and Their Effect on Product Reliability" for other methods of soldering surface mount devices. | | 250V | 250V | 250V | 250V | 250V | 250V | 250V | 250V | 250V | 250V | 250V | 250V |
| ESD Tolerance (Note 10) | | 250V | 250V | 250V | 250V | 250V | 250V | 250V | 250V | 250V | 250V | 250V | 250V |

Fuente: <http://www.datasheetcatalog.org/datasheet/nationalsemiconductor/DS007787.PDF>

- **Circuito integrado LM555**, es un circuito integrado de bajo costo y de grandes prestaciones. Inicialmente fue desarrollado por la firma Signetics. En la actualidad es construido por muchos otros fabricantes. Entre sus aplicaciones principales cabe destacar las de multivibrador astable (dos estados metaestables) y monoestable (un estado estable y otro metaestable), detector de impulsos, etcétera.

Figura 41. Circuito integrado LM555



Características Eléctricas

Absolute Maximum Ratings ($T_A = 25^\circ\text{C}$)

| Parameter | Symbol | Value | Unit |
|---|------------|----------------------|------------------|
| Supply Voltage | V_{CC} | 16 | V |
| Lead Temperature (Soldering 10sec) | T_{LEAD} | 300 | $^\circ\text{C}$ |
| Power Dissipation | P_D | 600 | mW |
| Operating Temperature Range LM555/NE555 SA555 | T_{OPR} | 0 ~ +70 -40 ~ +85 | $^\circ\text{C}$ |
| Storage Temperature Range | T_{STG} | -65 ~ +150 | $^\circ\text{C}$ |

Output current (pin 3) I_o 200 mA

Electrical Characteristics

(TA = 25°C, VCC = 5 ~ 15V, unless otherwise specified)

| Parameter | Symbol | Conditions | Min. | Typ. | Max. | Unit |
|---|---------------------------|---|-------|--------------------|-----------------|--------------------|
| Supply Voltage | VCC | - | 4.5 | - | 16 | V |
| Supply Current *1(Low Stable) | ICC | VCC = 5V, RL = ∞ | - | 3 | 6 | mA |
| | | VCC = 15V, RL = ∞ | - | 7.5 | 15 | mA |
| Timing Error *2 (Monostable) Initial Accuracy Drift with Temperature Drift with Supply Voltage | ACCUR Δt/ΔT Δt/ΔVCC | RA = 1kΩ to 100kΩ C = 0.1μF | - | 1.0 50 0.1 | 3.0 - 0.5 | % ppm/°C %/V |
| Timing Error *2(Astable) Initial Accuracy Drift with Temperature Drift with Supply Voltage | ACCUR Δt/ΔT Δt/ΔVCC | RA = 1kΩ to 100kΩ C = 0.1μF | - | 2.25 150 0.3 | - | % ppm/°C %/V |
| Control Voltage | VC | VCC = 15V | 9.0 | 10.0 | 11.0 | V |
| | | VCC = 5V | 2.6 | 3.33 | 4.0 | V |
| Threshold Voltage | VTH | VCC = 15V | - | 10.0 | - | V |
| | | VCC = 5V | - | 3.33 | - | V |
| Threshold Current *3 | ITH | - | - | 0.1 | 0.25 | μA |
| Trigger Voltage | VTR | VCC = 5V | 1.1 | 1.67 | 2.2 | V |
| | | VCC = 15V | 4.5 | 5 | 5.6 | V |
| Trigger Current | ITR | VTR = 0V | - | 0.01 | 2.0 | μA |
| Reset Voltage | VRST | - | 0.4 | 0.7 | 1.0 | V |
| Reset Current | IRST | - | - | 0.1 | 0.4 | mA |
| Low Output Voltage | VOL | VCC = 15V ISINK = 10mA ISINK = 50mA | - | 0.06 0.3 | 0.25 0.75 | V V |
| | | VCC = 5V ISINK = 5mA | - | 0.05 | 0.35 | V |
| High Output Voltage | VOH | VCC = 15V ISOURCE = 200mA ISOURCE = 100mA | 12.75 | 12.5 13.3 | - | V V |
| | | VCC = 5V ISOURCE = 100mA | 2.75 | 3.3 | - | V |
| Rise Time of Output | tR | - | - | 100 | - | ns |
| Fall Time of Output | tF | - | - | 100 | - | ns |
| Discharge Leakage Current | ILKG | - | - | 20 | 100 | nA |

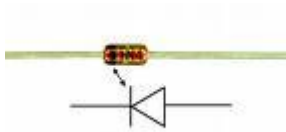
Notes:

- Supply current when output is high is typically 1mA less at VCC = 5V
- Tested at VCC = 5.0V and VCC = 15V
- This will determine maximum value of RA + RB for 15V operation, the max. total R = 20MΩ, and for 5V operation the max. total R = 6.7MΩ

Fuente: <http://www.datasheetcatalog.org/datasheet/fairchild/LM555.pdf>

- **Diodo 1N4148**, es un diodo de silicio de conmutación estándar. Es uno de los diodos más populares y longevos de conmutación debido a sus especificaciones confiables y de bajo costo. Su nombre sigue la nomenclatura JEDEC. El 1N4148 viene en un envase de vidrio DO-35 y es útil en aplicaciones de conmutación de hasta aproximadamente 100 MHz con un tiempo de recuperación inversa de no más de 4 ns.

Figura 42. Diodo 1N4148



Características Eléctricas

$V_{RRM} = 100 \text{ V}$ (tensión máxima inversa repetitiva)

$I_O = 200 \text{ mA}$ (promedio rectificado corriente directa)

$I_F = 300 \text{ mA}$ (corriente máxima DC)

$V_F = 1,0 \text{ V}$ a 10 mA . [5]

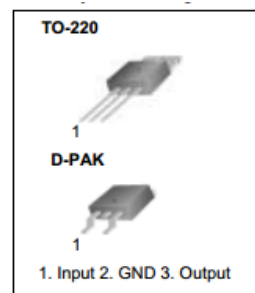
$I_{FSM} = 1,0 \text{ A}$ (anchura del impulso = 1s), $4,0 \text{ A}$ (anchura del impulso = 1ms) (no repetitiva de pico hacia delante corriente de sobrevoltaje)

$P_D = 500 \text{ mW}$ (Potencia disipada)

$T_{RR} < 4 \text{ ns}$ (tiempo de recuperación inversa)

- **Regulador de tensión 7805**, es un regulador lineal de tensión fija, cuya salida suministra 5V DC, ampliamente usado en aplicaciones donde el consumo energético no es crítico. También se usa el regulador 7812 cuyas características son idénticas al anterior porque son de la familia de los LM 78XX, pero suministra una salida de 12V DC.

Figura 43. Regulador LM 7805, LM 7812



Características Eléctricas

Familia LM 78XX

recommended operating conditions

| | | MIN | MAX | UNIT |
|---|----------------|------|-----|------|
| V _I Input voltage | μA7805C | 7 | 25 | V |
| | μA7808C | 10.5 | 25 | |
| | μA7810C | 12.5 | 28 | |
| | μA7812C | 14.5 | 30 | |
| | μA7815C | 17.5 | 30 | |
| | μA7824C | 27 | 38 | |
| I _O Output current | | | 1.5 | A |
| T _J Operating virtual junction temperature | μA7800C series | 0 | 125 | °C |

LM 7805

Electrical Characteristics (MC7805/LM7805)

(Refer to test circuit ,0°C < T_J < 125°C, I_O = 500mA, V_I = 10V, C_I = 0.33μF, C_O = 0.1μF, unless otherwise specified)

| Parameter | Symbol | Conditions | MC7805/LM7805 | | | Unit | |
|--------------------------|---------------------|---|---------------------------------|------|------|-------------------|----|
| | | | Min. | Typ. | Max. | | |
| Output Voltage | V _O | T _J = +25 °C | 4.8 | 5.0 | 5.2 | V | |
| | | 5.0mA ≤ I _O ≤ 1.0A, P _O ≤ 15W V _I = 7V to 20V | 4.75 | 5.0 | 5.25 | | |
| Line Regulation (Note1) | Regline | T _J = +25 °C | V _O = 7V to 25V | - | 4.0 | 100 | mV |
| | | | V _I = 8V to 12V | - | 1.6 | 50 | |
| Load Regulation (Note1) | Regload | T _J = +25 °C | I _O = 5.0mA to 1.5A | - | 9 | 100 | mV |
| | | | I _O = 250mA to 750mA | - | 4 | 50 | |
| Quiescent Current | I _Q | T _J = +25 °C | - | 5.0 | 8.0 | mA | |
| Quiescent Current Change | ΔI _Q | I _O = 5mA to 1.0A | - | 0.03 | 0.5 | mA | |
| | | V _I = 7V to 25V | - | 0.3 | 1.3 | | |
| Output Voltage Drift | ΔV _O /ΔT | I _O = 5mA | - | -0.8 | - | mV/°C | |
| Output Noise Voltage | V _N | f = 10Hz to 100KHz, T _A = +25 °C | - | 42 | - | μV/V _O | |
| Ripple Rejection | RR | f = 120Hz V _O = 8V to 18V | 62 | 73 | - | dB | |
| Dropout Voltage | V _{Drop} | I _O = 1A, T _J = +25 °C | - | 2 | - | V | |
| Output Resistance | r _O | f = 1KHz | - | 15 | - | mΩ | |
| Short Circuit Current | I _{SC} | V _I = 35V, T _A = +25 °C | - | 230 | - | mA | |
| Peak Current | I _{PK} | T _J = +25 °C | - | 2.2 | - | A | |

Maximun Power Disipation

P_D

30

W

LM 7812

Electrical Characteristics (MC7812)

(Refer to test circuit ,0°C < T_J < 125°C, I_O = 500mA, V_I = 19V, C_I = 0.33μF, C_O = 0.1μF, unless otherwise specified)

| Parameter | Symbol | Conditions | MC7812 | | | Unit | |
|--------------------------|---------------------|--|---------------------------------|------|------|-------------------|----|
| | | | Min. | Typ. | Max. | | |
| Output Voltage | V _O | T _J = +25 °C | 11.5 | 12 | 12.5 | V | |
| | | 5.0mA ≤ I _O ≤ 1.0A, P _O ≤ 15W V _I = 14.5V to 27V | 11.4 | 12 | 12.6 | | |
| Line Regulation (Note1) | Regline | T _J = +25 °C | V _I = 14.5V to 30V | - | 10 | 240 | mV |
| | | | V _I = 16V to 22V | - | 3.0 | 120 | |
| Load Regulation (Note1) | Regload | T _J = +25 °C | I _O = 5mA to 1.5A | - | 11 | 240 | mV |
| | | | I _O = 250mA to 750mA | - | 5.0 | 120 | |
| Quiescent Current | I _Q | T _J = +25 °C | - | 5.1 | 8.0 | mA | |
| Quiescent Current Change | ΔI _Q | I _O = 5mA to 1.0A | - | 0.1 | 0.5 | mA | |
| | | V _I = 14.5V to 30V | - | 0.5 | 1.0 | | |
| Output Voltage Drift | ΔV _O /ΔT | I _O = 5mA | - | -1 | - | mV/ °C | |
| Output Noise Voltage | V _N | f = 10Hz to 100KHz, T _A = +25 °C | - | 76 | - | μV/V _O | |
| Ripple Rejection | RR | f = 120Hz V _I = 15V to 25V | 55 | 71 | - | dB | |
| Dropout Voltage | V _{Drop} | I _O = 1A, T _J = +25 °C | - | 2 | - | V | |
| Output Resistance | r _O | f = 1KHz | - | 18 | - | mΩ | |
| Short Circuit Current | I _{SC} | V _I = 35V, T _A = +25 °C | - | 230 | - | mA | |
| Peak Current | I _{PK} | T _J = +25 °C | - | 2.2 | - | A | |

Maximun Power Disipation PD

27 W

Fuente: <http://www.datasheetcatalog.org/datasheet/fairchild/LM7805.pdf>

Diseño e Implementación de un Sistema Automático de Inspección de la Calidad del Arroz Usando Técnicas de Visión por Computador y Procesamiento de Imágenes

Design and Implementation of an Automatic Quality Control of Rice Using Computer Vision and Image Processing

José de Jesús Salgado¹, Juan Camilo Pastrana² y Faiber Mauricio Díaz³

Resumen

Se realizó un prototipo y una aplicación para la inspección de la calidad de arroz utilizando los criterios más comunes en la industria, utilizando visión por computador y procesamiento digital de imágenes. El prototipo primero que todo permite la adquisición de las imágenes del arroz utilizando una cámara web de gran calidad, un juego de motores con una banda transportadora para la movilización de los granos y un circuito de control. Luego entra en acción la aplicación, donde su primera labor es controlar la cámara web para tomar las fotografías en los instantes de tiempo requeridos, y guardar los archivos de imagen para su posterior tratamiento. Luego, entra la labor principal de la aplicación, que es el procesamiento de las imágenes, y la clasificación de los granos en los diferentes criterios de calidad para luego mostrar los resultados obtenidos. Para el desarrollo de esta aplicación se trabajó con la herramienta GUI de Matlab para la creación de un entorno gráfico con facilidades de manejo que permite llevar a cabo el proceso de Adquisición, lectura de imágenes, clasificación, y muestra de resultados; donde lo que se obtiene es el mejoramiento del análisis y de la detección de resultados de la calidad del arroz a comparación con el método empírico tradicional donde lo que se usa es la visión humana.

Palabras Clave: Adquisición de imagen; procesamiento de imagen; segmentación; calidad de arroz.

Abstract

A prototype and an application were made for inspection of the rice quality, using the criteria most common in the industry, using computer vision and digital image processing. The prototype allows the acquisition of rice images using a HQ webcam, and a game engine with a belt for the mobilization of the grains, and a control circuit. Then the application goes into action, where first task is to control the webcam to take photographs in the required time points, and save image files for further processing. Then comes the main task of the application, which is the image processing a classification of grains the different quality criteria, and then displays the results. To develop this application, it worked with Matlab GUI tool for creating a graphical environment with management facilities that allow you to run the procurement process image reading, classification and displaying results.

Keywords: Image acquisition; image processing; segmentation; quality of rice.

¹ Ingeniero Electrónico. Docente Universidad Surcolombiana - Neiva. Av. Pastrana – Carrera 1. josesalgadop@yahoo.com

² Ingeniero Electrónico. Universidad Surcolombiana - Neiva. Av. Pastrana – Carrera 1. kane_juca@hotmail.com

³ Ingeniero Electrónico. Universidad Surcolombiana - Neiva. Av. Pastrana – Carrera 1. fama_25@hotmail.com

1. Introducción

La visión por computador se está convirtiendo rápidamente en un factor clave en el desarrollo de la calidad total dentro de los diferentes procesos de automatización industrial.

Su implementación en una empresa genera un aumento en el nivel de producción y una reducción en los costos de fabricación, elevando los niveles de competitividad en el mercado nacional e internacional.

La gran ventaja de la visión por computador en la industria, es que permite inspeccionar los procesos de producción, clasificación y calidad sin fatigas ni distracciones, facilitando la óptima obtención de propiedades cualitativas y cuantitativas de los productos a procesar.

En la industria arrocera, los procesos de evaluación de la calidad del grano de arroz son de vital importancia para determinar el valor y la calidad del producto terminado, para así poder brindar un mejor producto y con ello, ganar un liderazgo en el mercado.

Los factores que se tienen en cuenta regularmente en la industria arrocera para la evaluación de calidad del grano según su forma y color son: granos partidos, granos yesados y granos panza blanca. Al no utilizarse este mecanismo de revisión, se producirían pérdidas tanto de materia prima, como de tiempo y sobretodo de dinero.

La parte fundamental de este artículo de trabajo de grado es el uso de sistemas de visión por computador para crear un sistema de inspección automatizado, con el fin de realizar una inspección de la calidad del grano de arroz más eficiente, aprovechando todas las bondades que pueden ofrecer los sistemas de visión artificial, con respecto a otros mecanismos de inspección menos eficientes y de mayor costo utilizados en la actualidad por las industrias molineras.

2. Metodología

2.1 Recopilación y selección de la información.

Se recolectó información relacionada con trabajos pasados, artículos y libros sobre procesamiento, segmentación y clasificación de imágenes para tener una idea clara de los pasos a seguir para desarrollar el proyecto, además se investigaron los conceptos agrícolas necesarios para tener conocimiento del campo de aplicación del proyecto y se buscó y seleccionó información que proporcionara las bases teóricas suficientes para implementar los algoritmos de adquisición, segmentación y clasificación. Por último se seleccionó a matlab como la herramienta de programación y de diseño de la interfaz grafica de usuario (GUI).

2.2 Diseño del prototipo.

El hardware de este sistema está formado básicamente por un motor vibrador, un motor que desplaza la banda transportadora, un juego de luces, una cámara fotográfica y un conjunto de interruptores para habilitar algunas funciones de éste. El principio de funcionamiento del sistema es sencillo, el motor vibrador permite que los granos de arroz lleguen a la banda transportadora de manera esparcida para una mejor visualización en la cámara, de tal forma que no se presenten uniones o cercanías demasiado apreciables en los granos de arroz, para evitar errores en el conteo. El juego de luces permite una mejor captación de la imagen por parte de la cámara fotográfica y esto hace que los resultados obtenidos sean óptimos al final de la inspección de la calidad. El control se realiza por medio de un circuito electrónico que temporiza el movimiento de la banda para realizar la captación de la imagen cuando esté detenida. El software del sistema utiliza la información capturada para visualizar las diferentes

presentaciones que puede tener un grano de arroz. El diagrama de bloques se muestra en la Figura 1. Y el prototipo final realizado se muestra en la Figura 2.

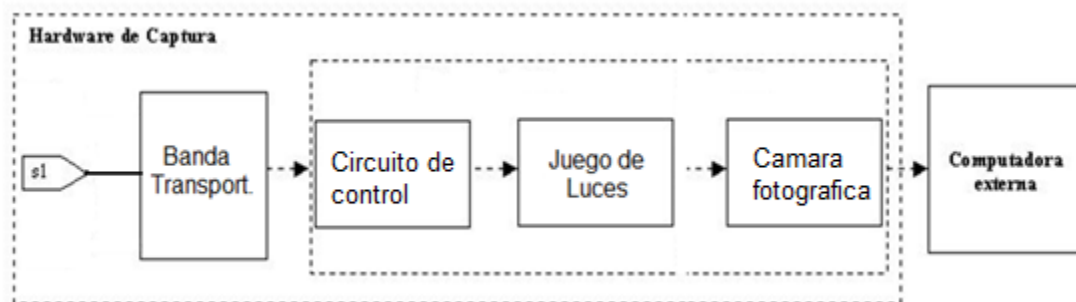


Fig. 1. Diagrama de bloques del prototipo

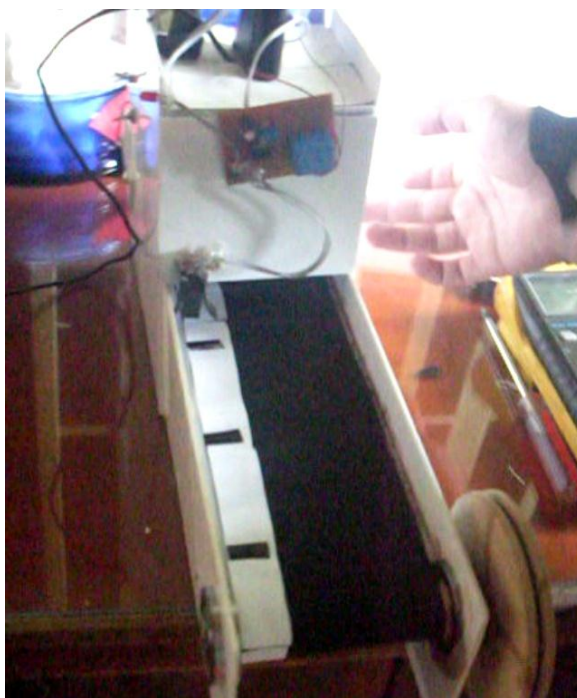


Fig. 2. Fotografía del prototipo realizado

2.3 Diseño del algoritmo de adquisición.

La adquisición se obtiene a través de una cámara web, después de que entra en funcionamiento el circuito de control, deteniendo por cinco segundos la banda, para luego proceder a tomar la fotografía; tratando de sincronizar el tiempo de la detención de la banda, con el tiempo de toma de fotografías programado en la aplicación.

Primero se define la variable donde se configura la librería de adquisición de imagen videoinput, así como las diferentes propiedades de la imagen tanto en su adquisición, como en su visualización por medio de un axes en la interfaz grafica.

Luego se crea una estructura cíclica, para determinar el numero de imágenes que se van a tomar, repitiendo el proceso de adquisición cada 5 segundos, sincronizándolo con el tiempo de control del prototipo. Se trato de utilizar la herramienta de Matlab llamada timer que es la mas adecuada para temporización, pero inexplicablemente no se pudo utilizar, ya que su uso dentro del GUIDE genero conflictos y errores no existentes en aplicaciones normales de Matlab. El diagrama de flujo del algoritmo se muestra en la Figura 3.

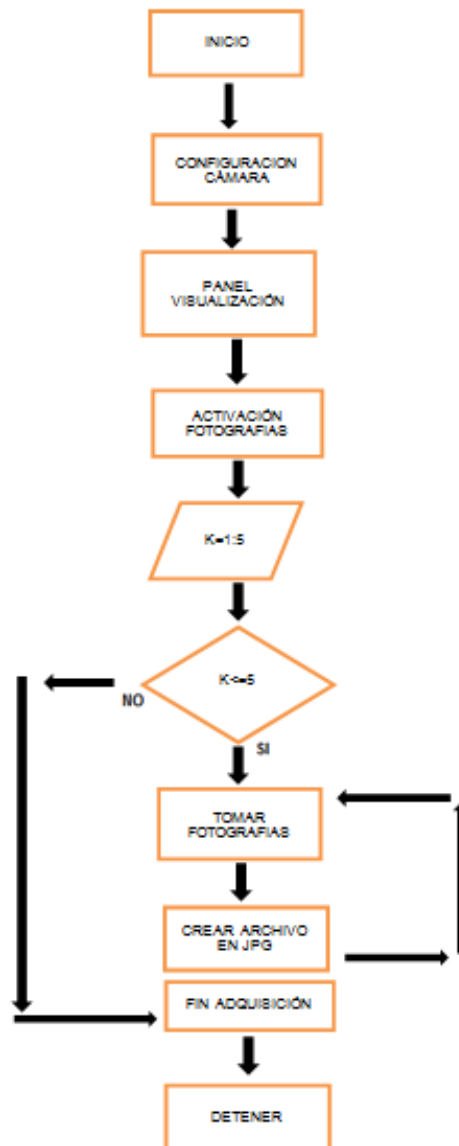


Fig. 3. Diagrama de flujo de la adquisición de imágenes

2.4 Diseño del algoritmo de procesamiento, segmentación y clasificación según los criterios

Se leen las imágenes obtenidas en el procesamiento anterior, y luego se segmentan identificando los objetos, en este caso los granos, para luego seleccionarlos y cortarlos con la herramienta *imcrop*, ya que con este comando todos los granos cortados se guardan en una matriz de imagen, para cuando corresponda poder procesar estas matrices, sin necesidad de crear imágenes de los granos separados nuevamente.

Se utiliza la segmentación por umbral de una manera secuencial para todos los granos de todas las imágenes, y para cada tipo de clasificación de calidad que se va a tomar en cuenta. En este procedimiento se utilizarán comandos como *imread*, para leer las imágenes en Matlab, *bwlabel* para el conteo de todos los elementos presentes en la imagen y *regiónprops* para determinar el área de estos elementos. Dependiendo del criterio de calidad que se irá trabajando, el umbral de segmentación cambiará, como las áreas a tener en cuenta para el conteo de los granos que presenten cada uno de estos factores. En la Figura 4 se muestra el desarrollo global del procesamiento de las imágenes.

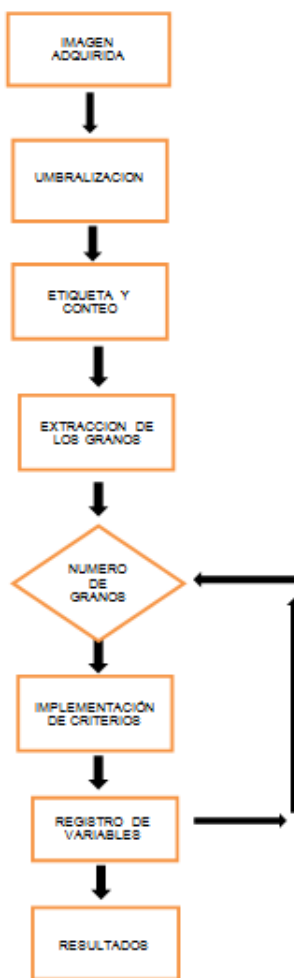


Fig. 4. Diagrama de flujo del procesamiento de imágenes

2.5 Implementación de la interfaz gráfica de usuario

Luego de la implementación de los algoritmos respectivos de adquisición y procesamiento de imágenes, se elaboró una interfaz gráfica de usuario (GUI) que permitiera utilizar de forma práctica y eficaz los programas realizados, para esto se empleó la herramienta GUIDE de matlab, que es un entorno de desarrollo que facilita la realización de interfaces gráficas de usuario.

Dentro de esta interfaz además de los programas ya mencionados anteriormente se agregó el panel de inicio donde se accede a las interfaces principales, y se creó la interfaz de ayuda, donde se muestran los conceptos de los diferentes criterios de clasificación de arroz para el entendimiento del usuario.

3. Resultados

3.1 Aplicación Diseñada

Al iniciar la aplicación y luego de elegir el primer proceso de adquisición de imágenes, se comienza el proceso pulsando el botón toma de fotografías, el cual tomará cada imagen en el instante de tiempo determinado y luego las guardará en la carpeta de la aplicación.



Fig. 5. Funcionamiento del panel de adquisición de imágenes

Luego cuando inicie el panel de procesamiento de imágenes, se cargan las imágenes anteriormente creadas para luego procesarlas. A continuación en la Figura 6. y en la Figura 7. se muestra una imagen en el momento del procesamiento para el análisis, y visibilidad de los resultados en la parte inferior centrada.

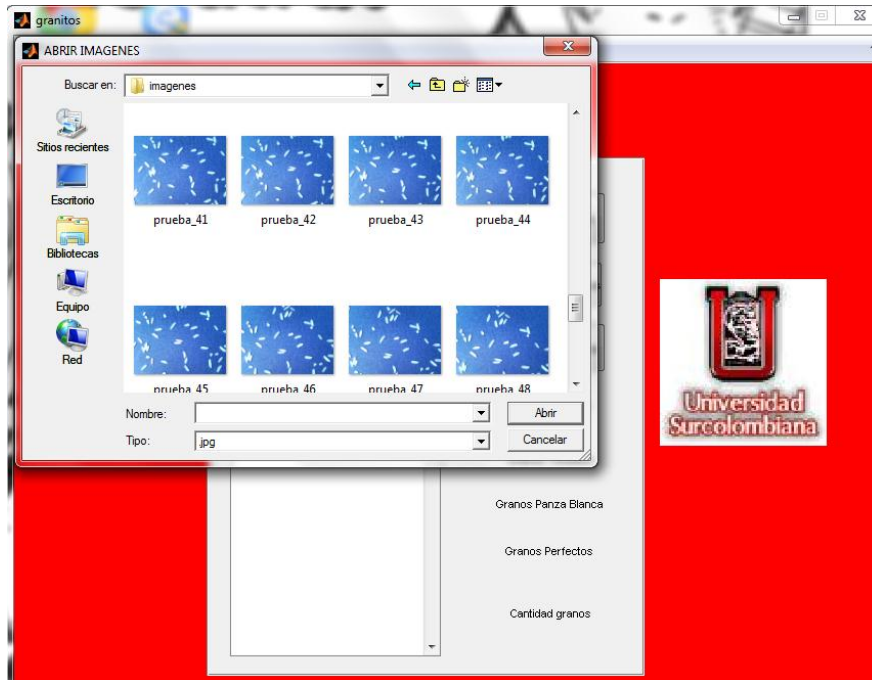


Fig. 6. Proceso de carga de las imágenes obtenidas

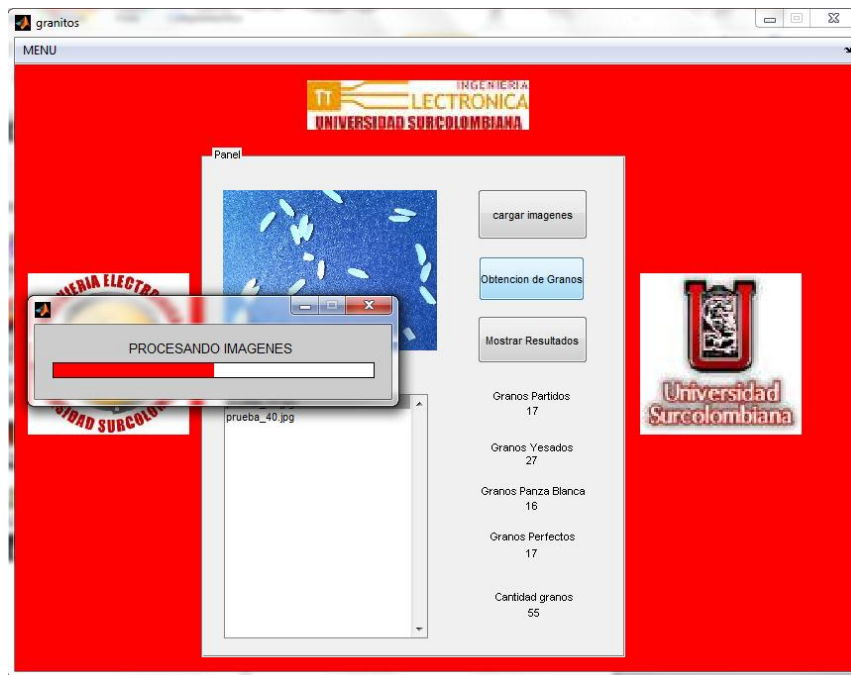


Fig. 7. Funcionamiento del panel de obtención de granos y procesamiento.

3.2 Pruebas realizadas

A continuación se muestran los resultados paso a paso de todo el procesamiento que se hace en una sola imagen, para indicar todas y cada una de las acciones que se hacen sobre ellas.

Primero se hace una segmentación que determina los granos de arroz sobre todo el resto de la imagen, identificándolos y permitiendo así analizarlos por separado; este proceso se muestra en la Figura 9 y en la Figura 10.

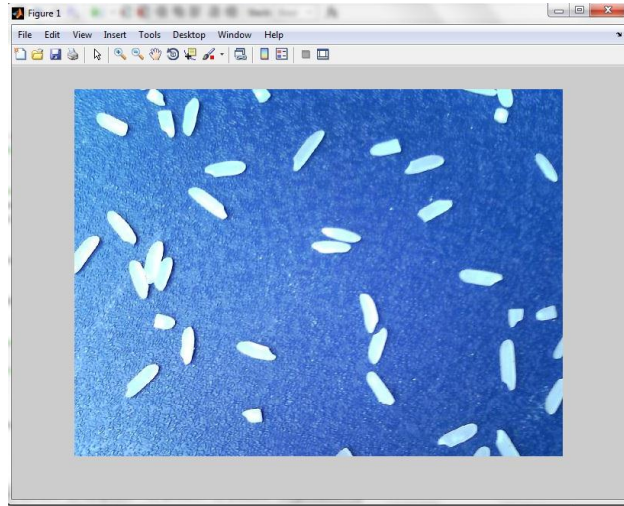


Fig. 8. Muestra de arroz

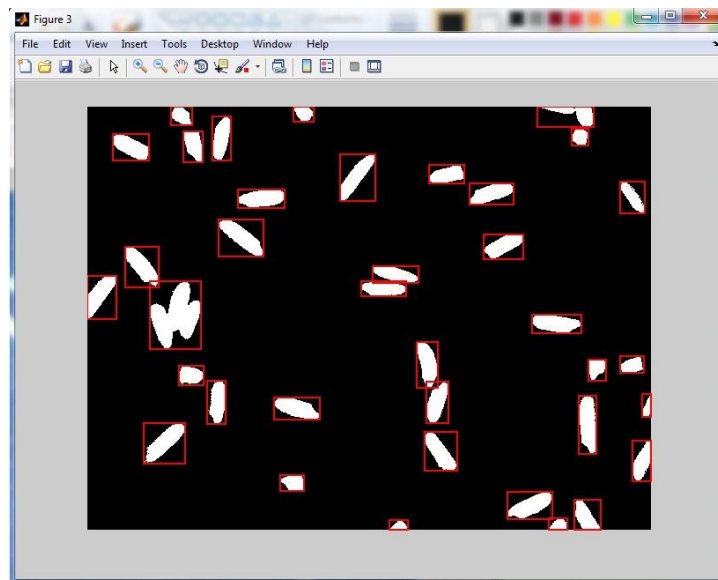


Fig. 9. Identificación de granos

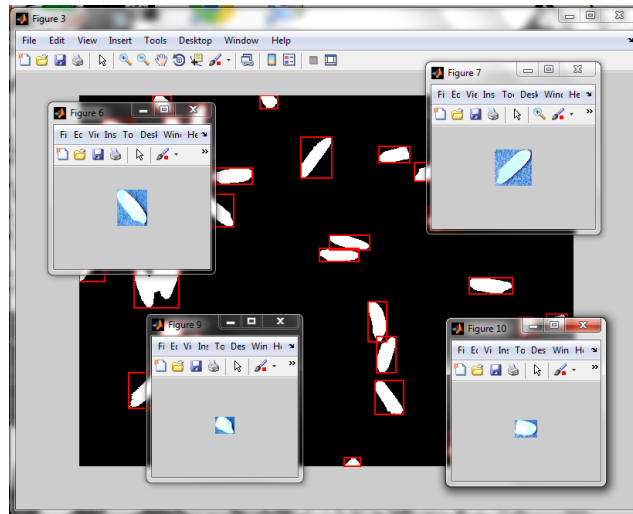


Fig. 10. Análisis y separación grano a grano.

Luego se toman los granos partidos, ya que al analizar uno a uno cada grano se programa en el algoritmo que seleccione los de un área menor a la cuarta parte del área de un grano en buen estado encerrando el grano en un cuadro rojo.

Ahora el rango de segmentación cambia para tomar no solo los granos, sino determinar cuáles son yesados, diferenciando el gris del grano normal, con el blanco del yesado, luego encierra el grano en un cuadro verde.

Después se realiza una segmentación diferente para solo dejar los blancos del yesado y tomar las áreas más pequeñas, para determinarlas como granos panza blanca ya que en esta clasificación el segmento yesado del grano es muy pequeño, encerrando el grano en un cuadro azul.

Por último luego de obtener la cantidad de granos de todos los criterios de calidad anteriores, cuando en el ciclo se determina que el grano no pertenece a ninguna de las clasificaciones anteriores, se da a conocer que está en buen estado, encerrándolo en un cuadro amarillo. El resultado total de todos los criterios implementados en una imagen se muestra en la Figura 11.

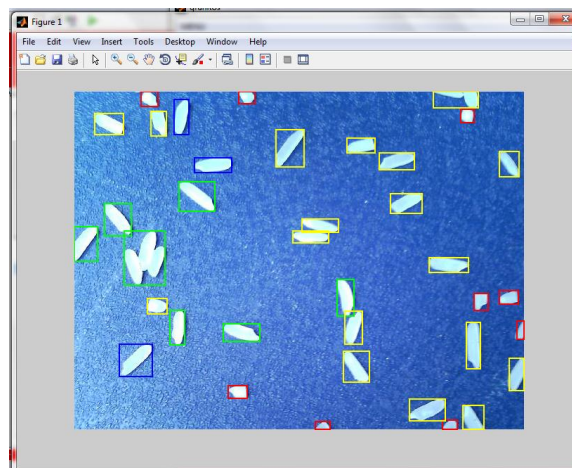


Fig. 11. Muestra de resultados totales sobre la imagen original.

4. Conclusiones

Se dispuso en el prototipo trabajar los granos de manera esparcida en la banda transportadora, para evitar la duplicidad en las imágenes, con ello evitar errores en las áreas y en el conteo de los granos en el procesamiento.

Es muy útil la utilización del Excel para registrar los datos finales y ser interpretados de manera posterior, ya que en la interfaz gráfica del procesamiento, se puede perder la visualización de los datos obtenidos luego de ser cerrada la aplicación.

El arreglo de iluminación y captación de la imagen es vital para la obtención de resultados satisfactorios, en este caso se buscó utilizar una cámara de muy buena resolución, nitidez y brillo (Logitech) y un adecuado arreglo de luces y filtros.

Con el correr de las pruebas, se muestra lo vital que es el circuito de control en el prototipo, ya que permite que la cámara tome las fotos con la banda detenida y no en movimiento, permitiendo así tener la mejor calidad posible en la imagen.

Se tiene gran efectividad en el análisis, ya que el panel de procesamiento permite analizar uno a uno cada grano de la imagen, logrando así no tener errores en el número de granos total, con respecto a los contados por los criterios.

Se pudo obtener gran exactitud en el conteo de los criterios ya que el algoritmo está diseñado para acumular solo un valor dependiendo del criterio resultante. Evitando así repetición de criterios dentro de un mismo grano.

La efectividad mostrada en los resultados fue del 97.55%, lo cual es una prueba de la gran eficiencia que muestra el algoritmo, ya que en la industria arrocera hablar de una valor superior al 90% se considera excelente por no decir perfecto.

5. Recomendaciones

Manejar un sistema de rampa en el prototipo, para que la caída del arroz sea de manera libre, reduciendo así la duplicidad en las imágenes de los granos y la complejidad para fabricar el prototipo.

Se debe tener en cuenta que si se desea cambiar el dispositivo de adquisición de las imágenes, también se debe modificar el programa, cambiando la resolución y el controlador del anterior dispositivo por la que presente el nuevo y además tomar la medida nuevamente de las áreas en la segmentación, para evitar errores en los resultados.

Se recomienda utilizar para la adquisición de las imágenes una webcam ya que con algunos otros dispositivos tales como cámaras digitales, se podrían presentar problemas, ya que se complica enormemente su implementación, y su uso a través de Matlab.

Se pueden incluir diferentes criterios de calidad del arroz a los ya utilizados, para suplir alguna necesidad o exigencia de una determinada industria.

Sería muy útil en el futuro tratar de hacer una temporización única entre el control electrónico del prototipo y el algoritmo de toma de fotografías, ya que al trabajarlos de manera separada es complicado tener 100% de exactitud entre los dos tiempos de funcionamiento.

6. Referencias Bibliográficas

1. PAJARES MARTÍNSANZ, G., CRUZ GARCÍA, J. M., 2001. *Visión por Computador: Imágenes Digitales y Aplicaciones*. 2 ed. Madrid: Ra-ma, 800 p.
2. CARRERES ORTELLS, R., LEÓN, J. L., 2002. *Calidad del arroz: Criterios para una Adecuada Valoración*. 40 p.
3. GONZALEZ, R. C., WOODS, R. E., 2002. *Digital Image Processing*. 2 ed. New Jersey: Prentice Hall, 822 p.
4. RUSS, J. C., 2007. *The Image Processing Handbook*. 5 ed. Carolina del Norte: CRC Press, 836 p.
5. SUCAR, E., GÓMEZ, G., 2000. *Visión Computacional*. Puebla: Instituto Nacional de Astrofísica, 185 p.