

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA

FACULTAD DE INGENIERÍA ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA



SELECCIÓN AUTOMÁTICA DE GRANOS USANDO COLORIMETRÍA

INFORME DE SUFICIENCIA

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

INGENIERO ELECTRÓNICO

PRESENTADO POR:

SERGIO AUGUSTO CAFIERO VILLANUEVA

PROMOCIÓN

1989-I

LIMA-PERÚ

2013

SELECCIÓN AUTOMÁTICA DE GRANOS USANDO COLORIMETRÍA

DEDICATORIA:

A mi Dios, por todo lo que me ha dado.

A mi madre, por su esfuerzo y amor para hacer de mí un profesional.

A mi esposa por su constante apoyo, por creer en mí y acompañarme en este largo camino.

A mis hijos por ser la razón de mi vida.

SUMARIO

En el presente informe, se presenta un estudio sobre el proceso de selección automática con sistema electrónico, de granos por su color, esta característica de los granos define la calidad y el sabor. Debido a la gran variedad de formas, tamaños y colores de los granos el presente trabajo se ha analizado para un tipo específico de grano pero siguiendo los mismos criterios se puede extender a otro tipo de granos, sin perder la eficiencia del sistema.

La propuesta del estudio se basa de un sistema de captura de color del grano en aproximadamente 64 puntos a lo largo y alrededor de toda su superficie, para ello cada grano es transportado mecánicamente y atraviesa en caída libre un triple anillo conformado por dos anillos externos al cual llegan un conjunto de fibras ópticas encargadas de iluminar el grano y un tercer anillo central del cual sale un conjunto de fibras ópticas encargadas de capturar y transmitir la señal luminosa con la información del color, la iluminación se realiza por medio de una lámpara ubicada en el gabinete eléctrico y la señal con la información se transmite hacia los sensores de color con transductores analógicos los cuales transforman la señal de color en señales de voltaje correspondiente a tres colores principales (rojo, verde y azul), estas señales luego de ser digitalizadas, procesadas y acondicionadas se evalúan para determinar si están dentro de los rangos establecidos por medio de: los valores referenciales que componen los colores del grano y que se graban previamente en la memoria del sistema y se determinan en forma práctica por el mismo sistema, y los valores porcentuales de los colores comprometidos definidos por el usuario; si los valores de la señal se encuentran fuera del rango establecido el sistema emite una señal de salida y acciona una electroválvula la cual debe expulsar aire y desviar la dirección del grano hacia otro lugar de recolección.

Se describe los cálculos y selección del equipamiento electrónico del sistema de iluminación, el sistema de captura de la señal de color del grano, el sensor y transductor de color, la selección del controlador electrónico y su programación, los requerimientos de energía; además, se presenta una descripción de los sistemas mecánicos necesarios para el transporte de granos a través del anillo sensor y el sistema neumático de rechazo de granos.

Finalmente se redactan las conclusiones y recomendaciones para su implementación con este y otros tipos de granos.

ÍNDICE

INTRODUCCIÓN	1
CAPÍTULO I	
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	2
1.1 Descripción del problema	2
1.2 Objetivos generales	3
1.3 Objetivos específicos	3
1.4 Evaluación del problema	3
1.5 Alcance del informe	4
1.6 Síntesis del informe	4
CAPÍTULO II	
MARCO TEÓRICO	5
2.1 Funcionamiento básico del ojo humano	5
2.2 Conceptos básicos sobre la luz y el color	7
2.3 Propiedades de la luz	8
2.3.1 Absorción	8
2.3.2 Reflexión	8
2.3.3 Transmisión	9
2.3.4 Refracción	10
2.3.5 Dispersión	10
2.3.6 Difracción	11
2.3.7 Difusión	11
2.3.8 Distribución de luz	11
2.4 Teoría del color	12
2.4.1 El modelo RGB	13
2.4.2 El modelo CMYK	15
2.4.3 El modelo LAB	17
2.4.4 El modelo HSV	18
2.4.5 El modelo HSL	20
2.5 Unidades utilizadas en la medición de la luz	22
2.6 Descripción general de los sistemas de selección	22
2.6.1 Recepción	23

2.6.2	Transporte	25
2.6.3	Sensado.....	25
2.6.4	Etapa de control	29
CAPÍTULO III		
PLANTEAMIENTO DE LA SOLUCIÓN DE INGENIERÍA.....		32
3.1	Etapa del sensado del color	33
3.2	Etapa de procesamiento de señales.....	36
3.3	Etapa de control	38
3.4	Sistema de rechazo.....	40
3.5	Cálculos y selección del hardware.....	41
3.5.1	Capacidad del sistema	41
3.5.2	La fibra óptica	43
3.5.3	El dispositivo de iluminación	44
3.5.4	El microcontrolador.....	50
3.5.5	Consumo eléctrico.....	55
3.5.3	Salida de control y sistema de rechazo	55
3.6	Programación del microcontrolador	58
CAPÍTULO IV		
ANÁLISIS Y PRESENTACIÓN DE RESULTADOS.....		60
4.1	Simulación con EXCEL	60
4.2	Simulación con PROTEUS.....	61
4.3	Costos de implementación.....	63
4.4	Tiempo de ejecución	63
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....		64
ANEXO A		
Esquemas electrónicos		66
ANEXO B		
Software de simulación.....		73
ANEXO C		
Resultados tabla de prueba Excel.....		91
ANEXO D		
Tabla de costos		94
ANEXO E		
Diagrama de Gantt		95
BIBLIOGRAFÍA.....		97

INTRODUCCIÓN

El color de los granos es una característica importante no solo por su apariencia sino porque un color uniforme determina la calidad e influye en el sabor, la calidad se obtiene durante todo el periodo de crianza del grano; los granos inmaduros, sobremaduros, dañados por el clima, dañados por las plagas, etc. determinan la calidad del grano.

La clasificación o selección es parte del proceso operativo en la producción de granos, existen diversas etapas de selección de granos como son: selección por tamaño, selección gravimétrica y selección por color; desde hace muchos años existen máquinas mecánicas de selección de granos por tamaño y peso muy eficientes y económicas, sin embargo la selección de granos por color se realiza de dos formas: manual y electrónica, para la selección manual se entrenan y emplean numerosas personas distribuidas a lo largo de una faja transportadora, se requiere amplios ambientes e iluminación adecuada, mientras que la selección electrónica se utilizan máquinas de alta tecnología que evalúan comparativamente por medios electrónicos el color de los granos en espacios reducidos.

En el Perú son muy pocas las empresas que compran e importan máquinas electrónicas para selección de granos por su alto costo, mientras que el resto de empresas dedicadas a la producción y/o comercialización de granos aún continúan con el sistema tradicional de selección manual de granos por color, el cual no es eficiente y además de alto costo.

Los sistemas de selección manual por color resultan ser ineficientes porque se basa en la capacidad visual de las personas para detectar y comparar el color de los granos, por tanto para procesar grandes cantidades se requiere emplear y entrenar a numerosas personas, el criterio y capacidad de selección del color no es el mismo en cada persona y la agudeza visual de las personas se degrada en el transcurso del tiempo que abarca la selección.

En el presente informe se estudia una alternativa para la fabricación de máquinas electrónicas seleccionadoras de color de bajo costo y apropiadas para ser utilizadas para operaciones a pequeña escala por los criadores de plantas en zonas rurales lo cual les permitirá obtener mejores ingresos por sus granos.

Debido a la existencia de una gran variedad de granos de diversas formas y tamaños, en el presente informe se realiza la evaluación específicamente para granos de café dada la experiencia que se tiene con este tipo de granos.

CAPÍTULO I

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

En este capítulo se desarrolla, con la finalidad de presentar de una manera clara y concisa, el escenario bajo el cual nace la motivación de este informe y a qué necesidad responde. Se definen también cuáles son los alcances y aportes del mismo. Finalmente se dedica un punto a la síntesis de este informe.

1.1 Descripción del problema

Desde hace más de una década el Perú está manteniendo un crecimiento económico muy importante, no obstante un entorno internacional menos favorable debido a la crisis financiera de varios países de la Eurozona, se mantiene en niveles que le permite estar entre las economías más emergentes del mundo.

La economía del Perú se basa en la explotación, procesamiento y exportación de recursos naturales, principalmente mineros, agrícolas y pesqueros, aunque en los últimos años se observa una importante diversificación en servicios e industrias ligeras. La mayoría de los peruanos vive de los servicios, de la explotación y exportación de los recursos naturales o de la agricultura.

Por ello, el mercado de granos en el Perú está en crecimiento tanto en el consumo interno como el mercado de exportación, esto obliga a ser más eficientes y selectos en la calidad de los granos y para ello se requiere sistemas que ayuden a mejorar los costos de explotación y exportación de los recursos naturales agrícolas.

Una de las fases del proceso productivo de selección de los granos es la selección por color, la cual es una característica importante porque esta influye en la calidad y determina el sabor del grano.

Un sistema de selección automático de granos por color permitirá al productor obtener mayores ganancias por sus granos al disponer de mayor diversidad de calidad, procesar mayores volúmenes en menor tiempo y eliminar la contaminación por manipulación de los granos.

Actualmente en el Perú muchas empresas realizan la selección de los granos por color utilizando numerosas personas entrenadas y dispuestas a lo largo de una faja transportadora y son muy pocas empresas las que pueden invertir en la compra de equipos importados muy costosos para suplir eficientemente a estos grupos de personas.

1.2 Objetivos generales

- Conocer el proceso de identificación electrónica del color.
- Analizar la metodología para evaluar el color del grano.

1.3 Objetivos específicos

- Presentar una metodología para la selección de granos por color mediante un sistema automático electrónico.
- Reducir los costos en la selección de granos por color.
- Mejorar la calidad del grano en el proceso de selección.
- Proponer el diseño de una máquina automática de selección de granos utilizando colorimetría por medios electrónicos de bajo costo.
- Servir como base para el desarrollo de equipos dedicados a otras aplicaciones en los sectores productivos.
- Contribuir al desarrollo tecnológico e industrial de los sistemas electrónicos en el país.

1.4 Evaluación del Problema

Hoy en día en el Perú muchas empresas realizan la selección de granos por color de forma manual utilizando grupos numerosos de personas previamente entrenadas dispuestas a ambos lados y a lo largo de una faja transportadora, las cuales mediante apreciación visual retiran manualmente los granos que no cumplen con las características de color deseadas.

Desde el punto de vista de calidad de los granos este sistema resulta ser ineficiente porque depende de la capacidad visual de las personas para detectar y comparar el color de los granos, de la agudeza visual la cual se va degradando con el paso de las horas de labor, de la iluminación del área de trabajo, del criterio de color diferenciado de cada persona y del contacto manual con los granos, dadas las exigencias internacionales para la calidad de productos alimenticios.

Desde el punto de vista económico este sistema de selección resulta también ser ineficiente porque se requiere contratar, entrenar y uniformar a muchas personas además de los bajos volúmenes de procesamiento y la necesidad de grandes espacios de trabajo e iluminación adecuada.

Existe maquinaria fabricada en el extranjero que permite mejorar la calidad en la selección de los granos empleando sistemas electrónicos, pero los altos costos de las mismas originan que muchos empresarios y comercializadores prefieran seguir con el sistema tradicional de selección por color porque para el volumen de producción se requeriría una gran inversión inicial además de los altos costos de mantenimiento y repuestos, la falta de personal técnico especializado y repuestos no disponibles localmente.

1.5 Alcances del informe

El presente trabajo comprende el estudio de una propuesta para la implementación de un sistema de selección automática de granos empleando el criterio del color.

Debido a la gran variedad de formas y colores de los granos este trabajo está desarrollado para un tipo y color específico de grano de café.

Siguiendo la metodología se puede implementar con el mismo equipamiento máquinas electrónicas para seleccionar por color otros tipos y colores de granos.

Con la finalidad de que las máquinas electrónicas seleccionadoras por color fabricadas con este tipo de metodología en el Perú pueda ser utilizada para operaciones en pequeña escala, sobre todo directamente en zonas rurales, para el criterio de selección de los componentes electrónicos se debe priorizar los de uso común existentes en el mercado local y bajo costo, dentro de las limitaciones necesarias.

1.6 Síntesis del informe

Se exponen los fundamentos teóricos que permitan comprender los criterios empleados en la metodología de la selección de granos por color.

Se presenta un análisis de la metodología empleada para evaluar el color del grano.

Se presenta una evaluación y el análisis de las etapas de sensado y transducción del color del grano, de la comparación del color sensado con los valores requeridos por el usuario, de la programación para la selección del color, del sistema de autocalibración y del sistema de rechazo.

Se explican los criterios de evaluación y selección del equipamiento necesario para su implementación.

Se presenta los resultados de la simulación electrónica mediante software específico para estos fines.

Se exponen los lineamientos y recomendaciones a tener en cuenta para la implementación y construcción de la máquina seleccionadora de granos por color.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

En este capítulo se presenta inicialmente la descripción sobre el funcionamiento del ojo humano y un resumen de los conceptos básicos sobre la luz y sus características, la teoría del color y los diferentes modelos para describir un color; además se hace una descripción general de las máquinas seleccionadoras y sus partes.

2.1 Funcionamiento básico del ojo humano

La visión humana consiste en un doble proceso que ocurre por una parte en el ojo y otra en el cerebro. La salida luminosa de un objeto estimula el ojo. Este estímulo se transfiere al cerebro, donde se registra como una sensación consciente. Su estructura es básicamente similar al funcionamiento de un instrumento mecánico. El ojo humano, es una esfera de 2 cm de diámetro que percibe la luz y la enfoca en la superficie posterior, consiste esencialmente en un sistema de lentes, un diafragma ajustable y una pantalla; el diafragma es el iris y la pantalla es la retina [1]; como se muestra en la Figura 2.1.

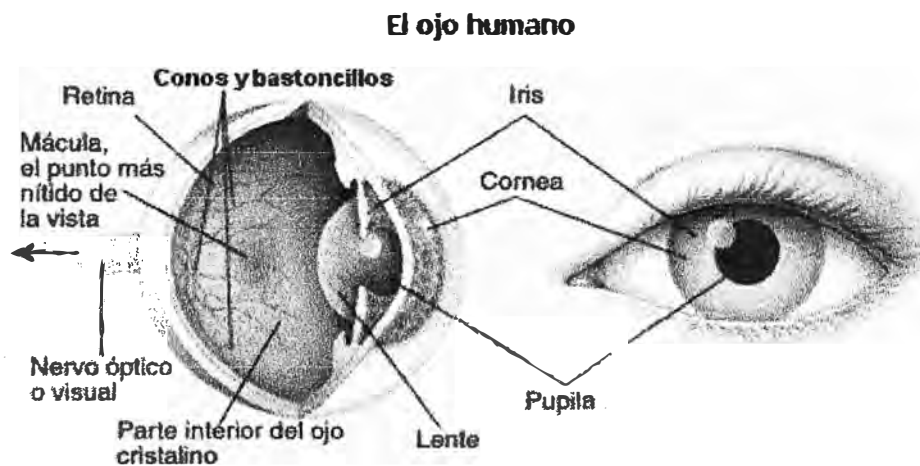


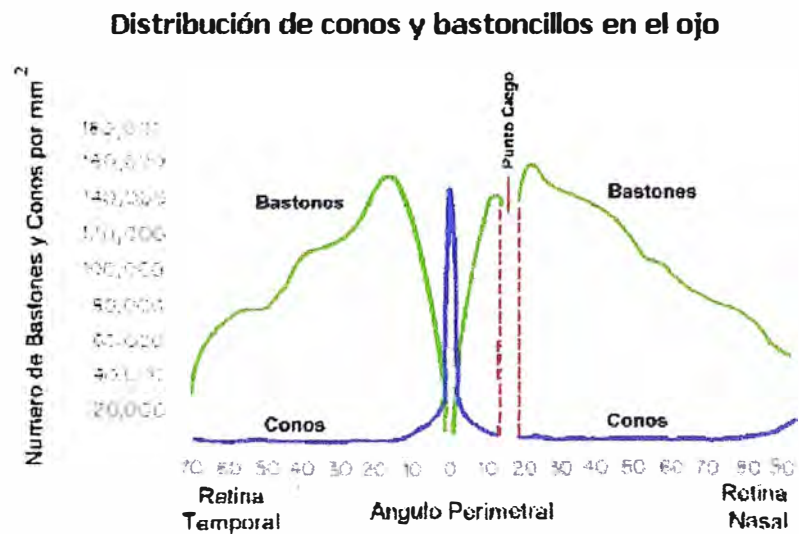
Figura 2.1: Esquema del ojo humano

(Fuente: Desarrollo web)

La luz entra al ojo a través de una capa transparente llamada cómea. La cantidad de luz que se permite incidir en el cristalino o lente, se controla por la expansión o contracción del iris (diafragma). A un nivel bajo de luz el iris se expande y por lo contrario a un nivel alto se contrae.

La luz pasa a través de la pupila, que es la abertura del iris y entonces a través del cristalino; cuya configuración está ajustada por el cuerpo ciliar, enfoca la luz sobre la retina, donde unos receptores la convierten en señales nerviosas que pasan al cerebro. El nervio óptico es el encargado de conducir estas señales [2].

En el fondo del ojo existen millones de células especializadas en detectar las longitudes de onda procedentes del entorno exterior. Estas maravillosas células, principalmente los conos y los bastoncillos, recogen las diferentes partes del espectro de la luz y las transforman en impulsos eléctricos, que son enviados luego al cerebro a través de los nervios ópticos, siendo éste el encargado de crear la sensación del color.



Los conos se concentran en una región cerca del centro de la retina llamada fovea. La distribución sigue un ángulo de alrededor de 2° contados desde la fovea (Figura 2.2). La cantidad de conos es de 6 millones y algunos de ellos tienen una terminación nerviosa que va al cerebro.

Los conos son los responsables de la visión del color y se cree que hay tres tipos de conos, sensibles a los colores rojo, verde y azul, respectivamente. Dada su forma de conexión a las terminaciones nerviosas que se dirigen al cerebro, son los responsables de la definición espacial. También son poco sensibles a la intensidad de la luz y proporcionan visión fotópica (visión a altos niveles).

Los bastones se concentran en zonas alejadas de la fovea y son los responsables de la visión escotópica (visión a bajos niveles). Los bastones comparten las terminaciones nerviosas que se dirigen al cerebro, siendo por tanto su aportación a la definición espacial poco importante. La cantidad de bastones se sitúa alrededor de 100 millones y no son

sensibles al color. Los bastones son mucho más sensibles que los conos a la intensidad luminosa, por lo que aportan a la visión del color aspectos como el brillo y el tono, y son los responsables de la visión nocturna [3].

Existen grupos de conos especializados en detectar y procesar un color determinado, siendo diferente el total de ellos dedicados a un color y a otro. Por ejemplo, existen más células especializadas en trabajar con las longitudes de onda correspondientes al rojo que a ningún otro color, por lo que cuando el entorno en que nos encontramos nos envía demasiado rojo se produce una saturación de información en el cerebro de este color, originando una sensación de irritación en las personas.

El ojo humano no capta con la misma sensibilidad todos los colores del espectro visible, es decir no todas las radiaciones luminosas de frecuencia comprendidas dentro del espectro visible, sensibilizan por igual al ojo humano. El ojo humano es más sensible a altos niveles de iluminación. Como consecuencia, para obtener estas luminosidades es preciso dirigir al ojo potencias luminosas distintas según la longitud de onda.

2.2 Conceptos básicos sobre la luz y el color

El fenómeno de la luz ha sido, por muchos años, objeto de estudio de muchos científicos e investigadores a lo largo de la historia. Las primeras aportaciones fueron hechas por los griegos, quienes pensaban que los cuerpos eran focos que desprendían imágenes, las cuales eran captadas por los ojos y transmitidas al alma que las interpretaba.

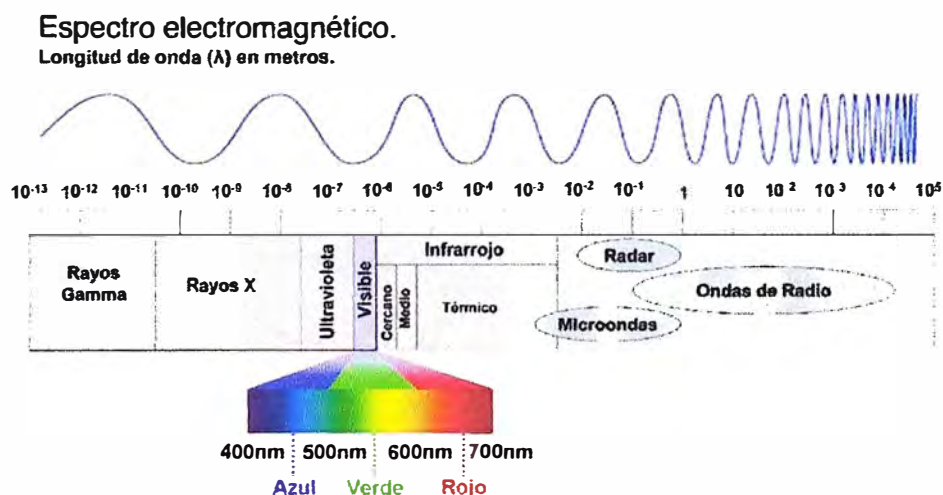


Figura 2.3: El Espectro Electromagnético

(Fuente: Web Ciencias Físicas)

Si las ondas electromagnéticas se organizan de acuerdo a sus longitudes se obtiene el espectro electromagnético (Figura 2.3) en donde las ondas más cortas (longitudes de

onda de una billonésima de metros) se encuentran en un extremo y las más largas en el otro (longitudes desde metros a kilómetros); es decir, desde rayos γ (gamma), rayos X hasta rayos infrarrojos y ondas de radio, respectivamente [4].

2.3 Propiedades de la luz

Cuando la luz incide sobre un cuerpo, su comportamiento varía según sea la superficie y constitución de dicho cuerpo, y la inclinación de los rayos incidentes [5], dando lugar a los siguientes fenómenos físicos:

2.3.1 Absorción

Al incidir un rayo de luz visible sobre una superficie negra, mate y opaca, es absorbida prácticamente en su totalidad, transformándose en calor (Figura 2.4).

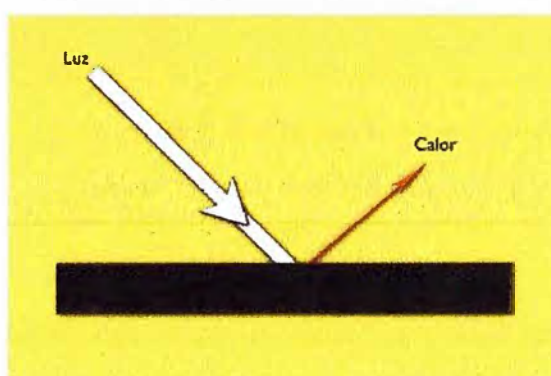


Figura 2.4: La absorción de la luz
(Fuente: Web Jabierles Blogspot)

2.3.2 Reflexión

Cuando la luz incide sobre una superficie lisa y brillante, se refleja totalmente en un ángulo igual al de incidencia (Figura 2.5), el reflejo se produce como un punto brillante (*REFLEXIÓN ESPECULAR*).

Si la superficie no es del todo lisa, y brillante, refleja sólo parte de la luz que le llega y además lo hace en todas direcciones (Figura 2.6), es decir dispersan la luz.

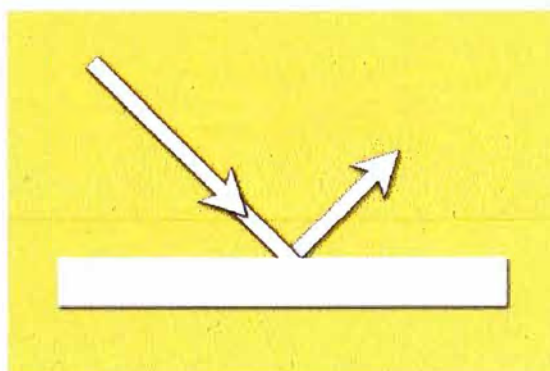


Figura 2.5: Reflexión especular
(Fuente: Web Jabierles Blogspot)

A este fenómeno se le conoce con el nombre de *REFLEXIÓN DIFUSA*, y es la base de la Teoría del Color, que dice que: al incidir sobre un objeto un haz de ondas de distinta longitud, absorbe unas y refleja otras, siendo estas últimas las que en conjunto determinan el color del objeto.

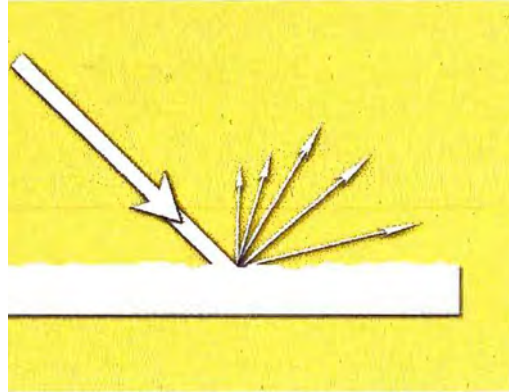


Figura 2.6: Reflexión difusa
(Fuente: Web Jabierles Blogspot)

2.3.3 Transmisión

La luz puede atravesar objetos no opacos. La transmisión se denomina directa, cuando el haz de luz se desplaza en una zona transparente íntegramente y de forma lineal.

Se llama difusa (Figura 2.7), si en el interior de la zona atravesada por el rayo, el haz de luz se dispersa en varias direcciones, como ocurre en materiales translucientes como vidrio opaco, ciertos plásticos o el papel vegetal.

Se denomina selectiva, cuando ciertos materiales, vidrios, plásticos o gelatinas coloreadas dejan pasar sólo ciertas longitudes de onda y absorben otras, como es el caso de los filtros fotográficos.

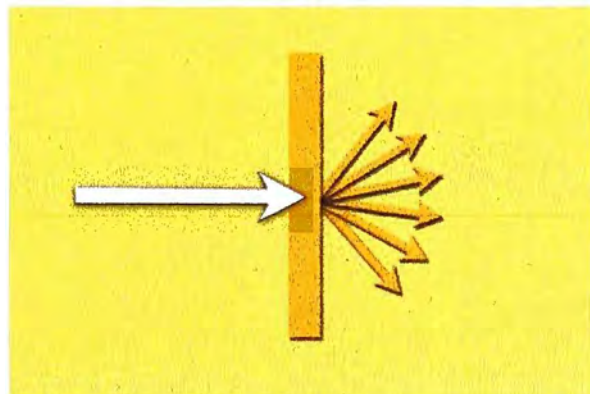


Figura 2.7: Transmisión difusa de la luz
(Fuente: Web Jabierles Blogspot)

2.3.4 Refracción

Es un fenómeno que ocurre dentro del de transmisión. Cuando los rayos luminosos inciden oblicuamente sobre un medio transparente, o pasan de un medio a otro de distinta densidad, experimentan un cambio de dirección que está en función del ángulo de incidencia (a mayor ángulo mayor refracción), de la longitud de onda incidente (a menor longitud de onda mayor refracción), y del índice de refracción de un medio respecto al otro (Figura 2.8).

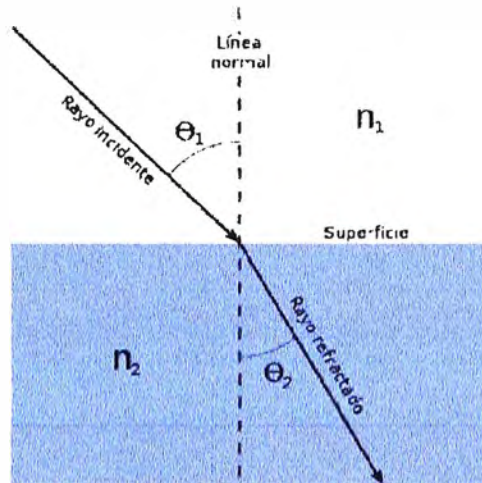


Figura 2.8: Refracción de la luz
(Fuente: Web Jabierles Blogspot)

2.3.5 Dispersión

Uno de los factores que afectan a la refracción, es la longitud de onda de la luz incidente.

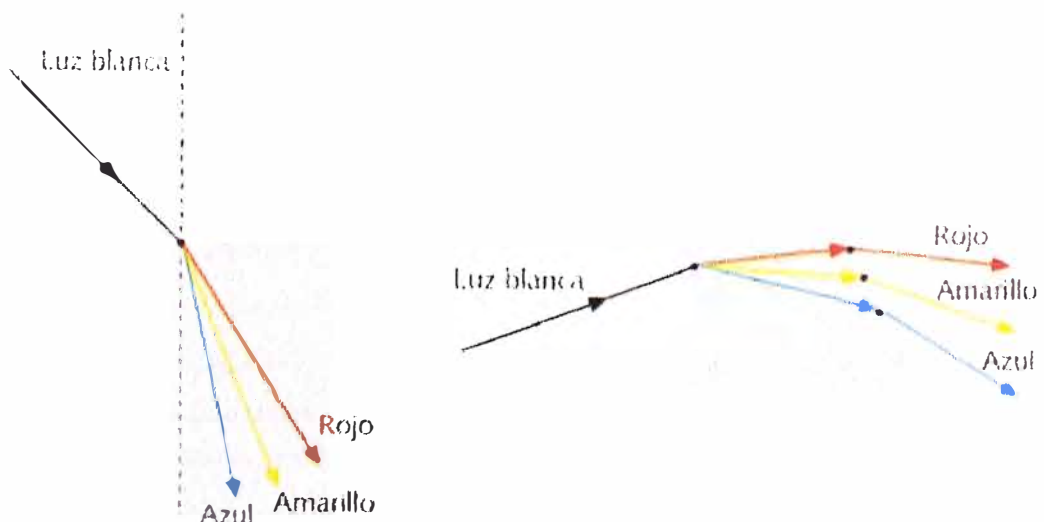


Figura 2.9 Dispersión de la luz
(Fuente: Web Física net)

Como la luz blanca es un conjunto de diversas longitudes de onda, si un rayo cambia oblicuamente de medio, cada una de las radiaciones se refracta de forma desigual, produciéndose un separación de las mismas, desviándose menos las de onda larga como el rojo y más las cercanas al violeta (Figura 2.9).

Un prisma produce mayor difracción porque además, al no ser sus caras paralelas, los rayos refractados han de recorrer un camino aún mayor que provoca, al salir el rayo, una refracción más exagerada.

2.3.6 Difracción

Es la desviación de los rayos luminosos cuando inciden sobre el borde de un objeto opaco (Figura 2.10). El fenómeno es más intenso cuando el borde es afilado.



Figura 2.10 Difracción de la luz

(Fuente: Web jabierles blogspot)

Aunque la luz se propaga en línea recta, sigue teniendo naturaleza ondulatoria y, al chocar con un borde afilado, se produce un segundo tren de ondas circular, al igual que en un estanque. Esto da lugar a una zona de penumbra que acaba con la nitidez en las zonas de transición, es decir, entre las zonas de luz y sombra.

2.3.7 Difusión

Un material difuso, como el papel de calco, el cristal esmerilado o el plástico opal, dispersa y suaviza la luz que lo atraviesa (Figura 2.11).

2.3.8 Distribución de la luz

Dado que la luz se desplaza en línea recta, los rayos procedentes de un manantial puntiforme tienden a separarse al aumentar la distancia. Debido a ello, una superficie pequeña cercana a un manantial luminoso, recibe igual cantidad de luz que otra más grande a mayor distancia; es decir la intensidad luminosa decrece al separarnos del foco luminoso.

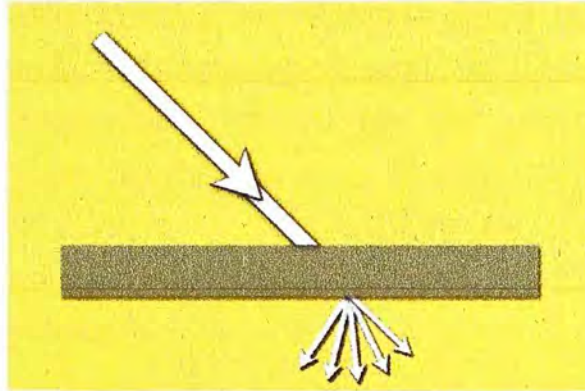


Figura 2.11: Difusión de la luz
(Fuente: Web Jabierles Blogspot)

La variación de la intensidad de la luz con la distancia se rige por la LEY DEL CUADRADO INVERSO (Figura 2.12). Según dicha ley: “Cuando una superficie está iluminada por un manantial de luz puntiforme, la intensidad de la iluminación es inversamente proporcional al cuadrado de la distancia respecto al foco de luz”.

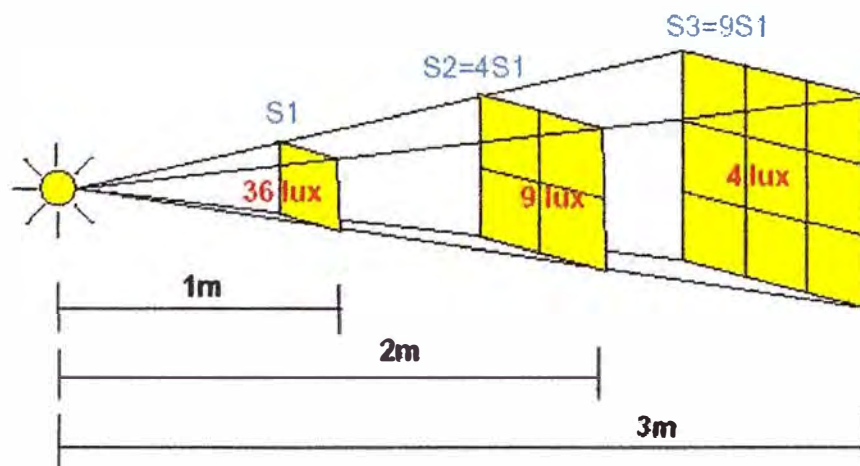


Figura 2.12: Ley del cuadrado inverso
(Fuente: Web Lighting design)

$I = 1/d^2$ es decir, si la distancia se dobla, la iluminación disminuye a $(1/2)^2$, es decir a $1/4$.

2.4 Teoría del color

En la enseñanza elemental se aprende que la luz blanca se compone (o puede ser descompuesta) en los diferentes colores del espectro visible (Figura 2.13), lo que se pone en evidencia mediante el clásico experimento del prisma. También se sabe que el arco iris natural, es el resultado de la descomposición de la luz blanca del sol por las gotas de agua en la atmósfera, y que el negro es la ausencia de color (de luz).

Durante siglos, artistas y filósofos han teorizado que el color es tridimensional. Neurocientíficos contemporáneos han confirmado esta teoría y han descubierto que la sensación del color viene de células nerviosas que envían mensajes al cerebro con información sobre:

- El brillo de color
- Color verde frente a color rojo
- Color azul frente a color amarillo

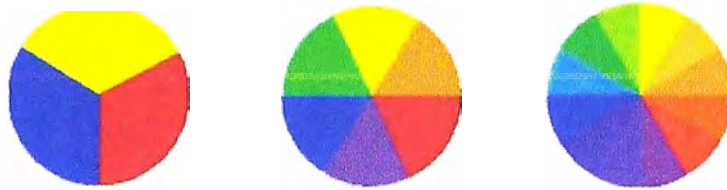


Figura 2.13: Sistemas cromáticos

(Fuente: Web Zator)

Cuando los colores son oscuros o claros, se percibe menos variaciones en la intensidad. Se ve la gama máxima de saturación del color de medios tonos de color. Por eso, muchos modelos de color, disminuyen los colores superiores e inferiores y se ensanchan en el medio formando una esfera o bicono [7].

Modelos de color

En la teoría del color, los modelos de color describen matemáticamente cómo pueden ser representados los colores. Un espacio de color es donde los componentes del modelo de color se definen con precisión, lo que permite a los observadores saber exactamente como se ve cada color [8].

La representación de la física del espacio de color comenzó con una rueda de dos dimensiones que permitía ver el matiz (rojo, azul, verde, etc.) y el brillo de los diferentes colores. Luego, surgió el concepto de colores sólidos. Los colores sólidos son representaciones tridimensionales del espacio de color. Además del matiz y el brillo en el modelo bidimensional, un color sólido muestra degradados de saturación para un matiz particular. La mayoría de los colores sólidos están en la forma de una esfera, pero esto es en gran medida una cuestión de conveniencia. Los colores sólidos pueden tener cualquier forma.

2.4.1. El modelo RGB

A mediados del siglo XIX, Thomas Young y Hermann Helmholtz propusieron una teoría de visión tricromática del color que se convirtió en la base para el modelo de color RGB (rojo, verde, azul) (Figura 2.14). Este es un modelo de color aditivo, en el cual las tres luces de colores se suman para producir diferentes colores.

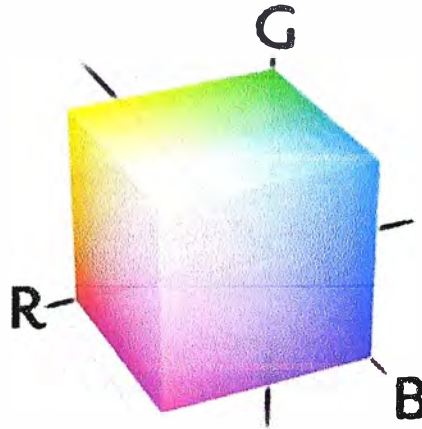


Figura 2.14: Modelo RGB

Fuente: Elaboración propia

La intensidad de la luz determina el color percibido. Sin intensidad, cada uno de los tres colores se percibe como negro, mientras que la intensidad completa lleva a la percepción del blanco. Hay diferentes intensidades que producen el matiz de un color, mientras que la diferencia entre la mayor y menor intensidad del color hace que el color resultante sea más o menos saturado.

Las pantallas electrónicas usan el modelo RGB, lo cual significa que los colores no son absolutos, sino que más bien dependen de la sensibilidad y la configuración de cada dispositivo. Las pantallas de tubos de rayos catódicos, LCD, plasma y pantallas LED usan todas el modelo RGB.

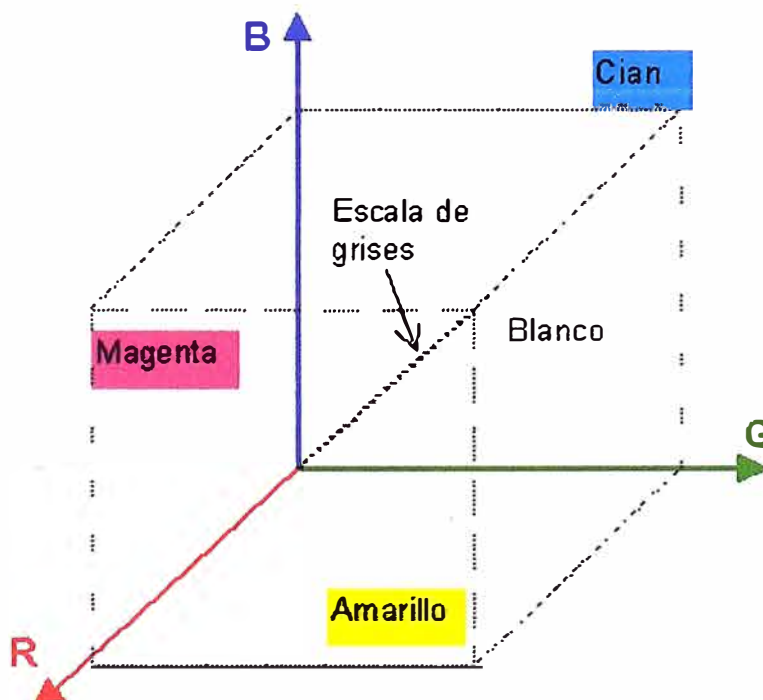


Figura 2.15: Representación gráfica tridimensional del sistema RGB

(Fuente: Elaboración propia)

El modelo RGB de 24 bits también se utiliza para codificar el color en la informática, donde el valor de cada color se especifica por la intensidad del rojo, verde, y azul, respectivamente. En el diseño de páginas web, hay 216 colores RGB llamados "seguros para web" y representados por valores hexadecimales. Hoy en día, el RGB sigue siendo el modelo de color estándar para la programación HTML, pero la prevalencia de las pantallas de 24 bits permite a más usuarios ver 16.7 millones de colores RGB de código HTML.

Este sistema consiste en partir del negro (ausencia de luz), e ir añadiendo mayor o menor cantidad de luz de tres colores básicos, a partir de los cuales se consigue cualquier otro color, incluyendo la luz blanca (cuando los tres colores básicos se mezclan en igual proporción).

Este método se denomina sistema aditivo, porque los colores se obtienen "añadiendo" luces al negro. Los colores básicos necesarios son rojo, verde y azul (RGB) -los secundarios del sistema sustractivo-. Es el método de reproducción del color utilizado en monitores de computador y televisiones en color, porque crean los colores añadiendo luces a un fondo negro.

En la Figura 2.15 se observa que las componentes RGB de un color cualquiera serían las coordenadas colorimétricas. Que el origen de coordenadas (0,0,0) corresponde al negro, y que el lugar geométrico de los puntos que satisfacen la condición $R = G = B$ es una línea, la escala de grises.

2.4.2 El modelo CMYK

A diferencia del RGB, el cual es un modelo de color aditivo, el CMYK es un modelo de color sustractivo. Normalmente utilizado para la impresión, el CMYK asume que el color de fondo es blanco, y por eso resta el supuesto brillo del color de fondo blanco de los cuatro colores: cyan, magenta, amarillo y negro (llamados "clave"). El negro se utiliza porque la combinación de los tres colores primarios (CMY) no produce un negro completamente saturado (Figura 2.16).



Figura 2.16: Cuatricromía CMYK

Fuente: Web digital fotored)

El CMYK puede producir el espectro completo de colores visibles debido al proceso de medios-tonos, en el que a cada color se le asigna un nivel de saturación y puntos

minúsculos de cada uno de los tres colores que son impresos en pequeños patrones para que el ojo humano perciba un cierto color.

El color de un objeto, observado bajo luz blanca, se debe a que el objeto absorbe todas las longitudes de onda, excepto las correspondientes a "su" color, las mismas que son reflejadas e inciden en nuestra retina; este es justamente el principio de los pigmentos. Al añadir un pigmento a una sustancia (o "pintar" externamente un objeto), se le agrega la capacidad de absorber todas las longitudes de onda excepto una específica. En realidad bastan tres colores básicos para conseguir cualquier color mediante mezclas adecuadas.



Figura 2.17: Colores primarios sustractivos
(Fuente: Web Cecapcultura)

Se denominan colores "básicos" porque a partir de ellos se pueden obtener los demás. La combinación de los colores básicos dos a dos, produce los colores secundarios. A su vez, la mezcla de los colores secundarios origina los colores terciarios.

El sistema de colorear mediante pigmentos se denomina sustractivo, porque supone que, partiendo de la luz blanca, se suprimen determinadas longitudes de onda. El color resultante es el de las longitudes no suprimidas. En este sistema, el color blanco se consigue por la ausencia de colorantes.

El sistema sustractivo se denomina también CMY por las iniciales de los colores básicos utilizados; Cyan (un verde azulado), Magenta (rojo violáceo) y Yellow (amarillo).

El efecto de los colores básicos en cualquier combinación es como sigue: el magenta refleja las frecuencias correspondientes a azules y rojos, pero absorbe los verdes. El Cyan refleja los azules y verdes, mientras que absorbe los rojos. Por su parte el amarillo refleja los rojos y verdes, absorbiendo los azules. Los colores secundarios que se

obtienen a partir de CMY son el rojo, azul y verde, representados abreviadamente por el acrónimo RGB ("Red Green Blue") de sus designaciones inglesas.

El sistema CMY (Figura 2.17) es el método de reproducción de color utilizado en las artes gráficas e impresoras. Donde casi siempre se parte de una superficie (papel) blanca, que refleja todas las longitudes del espectro visible, y se añaden pigmentos (tintas) cian, magenta y amarillo, que absorben determinadas longitudes de onda y dejan pasar otras que constituyen el color resultante. A éste método de impresión se le denomina tricromía.

En teoría el color negro puede obtenerse mediante suma de los colores básicos CMY, sin embargo para conseguir negros intensos y buen contraste, es preferible utilizarlo directamente, en cuyo caso el método de impresión se denomina cuatricromía o CMYK (la "K" representa el negro "Black").

2.4.3 El modelo LAB

Diseñado para aproximarse a la visión humana, la teoría del color LAB se construye sobre el sistema de color de Munsell, el espacio de color Hunter de 1948, y el espacio de color CIE de 1976. A diferencia del RGB y el CMYK, el LAB no depende del dispositivo como en el caso del RGB y el CMYK.

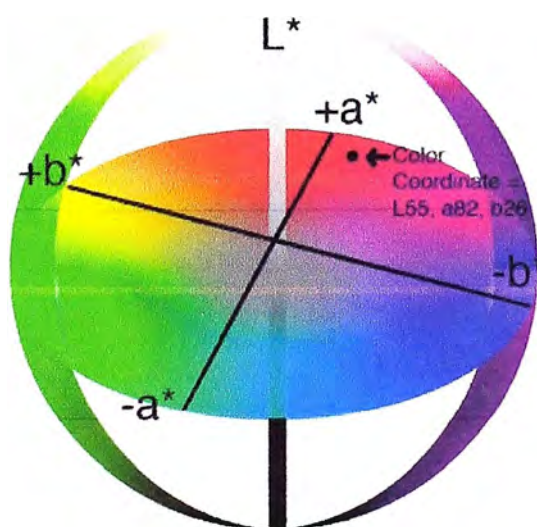


Figura 2.18: Espacio de color CIE Lab.

Fuente: Quality in print

Lab es el nombre abreviado de dos espacios de color diferentes. El más conocido es CIELAB (estrictamente CIE 1976 $L^*a^*b^*$) (Figura 2.18) y el otro es HunterLab (estrictamente, Hunter L, a, b). Lab es una abreviación informal, y puede confundirse con uno u otro espacio de color. Los espacios de color están relacionados en intención y propósito, pero son diferentes.

Ambos espacios se derivan del espacio "maestro" CIE 1931 XYZ. Sin embargo, CIELAB se calcula usando raíces cúbicas, y Hunter Lab se calcula usando raíces cuadradas.

El propósito de ambos espacios es producir un espacio de color que sea más "perceptivamente lineal" que otros espacios de color. Perceptivamente lineal significa que un cambio de la misma cantidad en un valor de color debe producir un cambio casi de la misma importancia visual. Lo anterior puede mejorar la reproducción de tonos cuando se almacenan colores en valores de precisión limitada. Ambos espacios Lab están relacionados con el punto-blanco de los datos XYZ desde donde fueron convertidos. Los valores Lab no definen colores absolutos a no ser que se especifique el punto-blanco. En la práctica, muchas veces se asume que el punto-blanco sigue un estándar y no se establece explícitamente (por ejemplo, todos los valores Lab ICC son relativos al iluminante D50 del estándar CIE).

Las aplicaciones de software de hoy en día usan CIELAB o CIELAB D50. En este modelo tridimensional, la letra "L" significa la luminosidad del color, con el 0 para generar negro y 100 para generar un blanco difuso. La letra "a" es el rojo frente al verde, mientras la letra "b" es el amarillo frente al azul. Comparado con el RGB y CMYK, a menudo es más rápido hacer correcciones eficientes de color en Lab. El hecho de que la luminosidad es completamente ignorada en los canales A y B, hace que sea mucho menos sensible a errores.

Aunque el número de valores numéricos posibles por cada píxel es menor en Lab que en RGB o CMYK, es posible referenciar una cantidad superior de colores en total desde el sistema Lab -no solo colores que no pueden ser descritos con RGB o CMYK sino también colores que no aparecen en absoluto en el mundo real. En algunos casos este acceso a colores imaginarios es de utilidad cuando se generan manipulaciones de imagen de gran cantidad de pasos.

2.4.4 El modelo HSV

Representado por primera vez por Alby Smith en 1978, HSV busca representar las relaciones entre los colores, y mejorar el modelo de color RGB. Manteniendo el matiz, la saturación y el valor, HSV representa un color tridimensional. Si se piensa en el HSV como si fueran ruedas de queso, el eje central va desde el blanco en la parte superior hacia el negro en la inferior, con otros colores neutrales en el medio. El ángulo del eje representa el matiz, la distancia desde el eje representa la saturación, y la distancia a lo largo del eje representa el valor (Figura 2.19).

Es común elegir un color adecuado para alguna determinada aplicación, cuando es así resulta muy útil usar la ruleta de color HSV. En ella el matiz se representa por una

región circular; una región triangular separada, puede ser usada para representar la saturación y el valor del color (Figura 2.20). Normalmente, el eje horizontal del triángulo denota la saturación, mientras que el eje vertical corresponde al valor del color. De este modo, un color puede ser elegido al tomar primero el matiz de una región circular, y después seleccionar la saturación y el valor del color deseados de la región triangular [9].

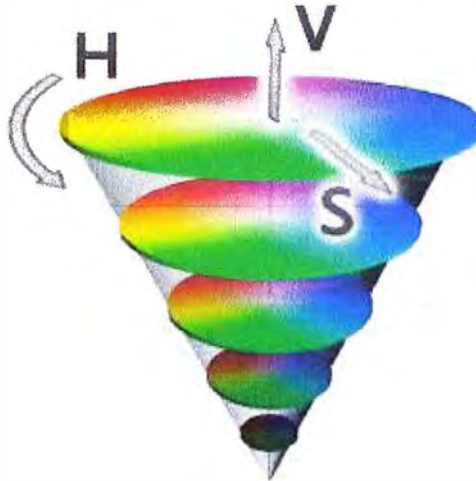


Figura 2.19: Espacio de color HSV
(Fuente: Web Tzek design)

Características constituyentes en coordenadas cilíndricas:

Matiz

Se representa como un grado de ángulo cuyos valores posibles van de 0 a 360° (aunque para algunas aplicaciones se normalizan del 0 al 100%). Cada valor corresponde a un color. Ejemplos: 0 es rojo, 60 es amarillo y 120 es verde.

De forma intuitiva se puede realizar la siguiente transformación para conocer los valores básicos RGB:

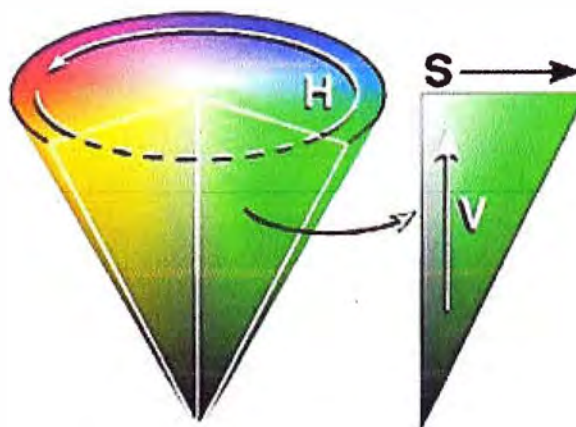


Figura 2.20: Cono de colores del espacio HSV
(Fuente: Elaboración propia)

Disponemos de 360° dónde se dividen los 3 colores RGB, eso da un total de 120° por color, sabiendo esto podemos recordar que 0° es rojo RGB (1,0,0), 120° es verde RGB (0,1,0) y 240° es azul RGB (0,0,1). Para colores mixtos se utilizan los grados intermedios, el amarillo, RGB (1,1,0) está entre rojo y verde, por lo tanto 60° , así como el cian, RGB(0,1,1) está entre el verde y el azul, por lo tanto 180° . Se puede observar como se sigue la secuencia de sumar 60° y añadir un 1 o quitar el anterior:

- $0^\circ = \text{RGB}(1,0,0)$
- $60^\circ = \text{RGB}(1,1,0)$
- $120^\circ = \text{RGB}(0,1,0)$
- $180^\circ = \text{RGB}(0,1,1)$
- $240^\circ = \text{RGB}(0,0,1)$
- $300^\circ = \text{RGB}(1,0,1)$
- $360^\circ = 0^\circ$

Esta transformación permite saber los tonos de matices de colores puros que contienen alguna cantidad (o ninguna) de los colores R, G y B. Para el color blanco se puede poner cualquier color y saturación, siempre que se establezca el valor (de luminosidad) máximo. Asimismo, para el color negro se puede poner cualquier color y saturación, siempre que se ponga un valor de 0.

Saturación

Se representa como la distancia al eje de brillo negro-blanco. Los valores posibles van del 0 al 100% (Figura 2.21). A este parámetro también se le suele llamar "pureza" por la analogía con la pureza de excitación y la pureza colorimétrica de la colorimetría. Cuanto menor sea la saturación de un color, habrá mayor tonalidad grisácea y más decolorado estará. Por eso es útil definir la insaturación como la inversa cualitativa de la saturación.

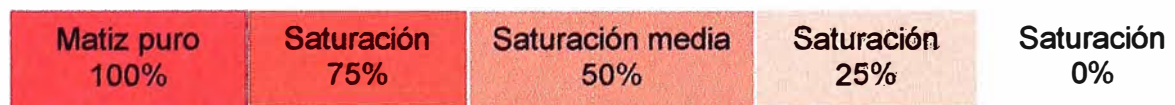


Figura 2.21: Graduciones de saturación en el modelo HSV

(Fuente: Elaboración propia)

Valor

Representa la altura en el eje blanco-negro. Los valores posibles van del 0 al 100%. 0 siempre es negro. Dependiendo de la saturación, 100 podría ser blanco o un color más o menos saturado.

2.4.5 El modelo HSL

El modelo HSL (proviene del inglés Hue, Saturation, Lightness) Matiz, Saturación y Luminosidad es similar a HSV, define un modelo de color en términos de sus

componentes constituyentes. El modelo HSL se representa gráficamente como un cono doble o un doble hexágono. Los dos vértices en el modelo HSL se corresponden con el blanco y el negro, el ángulo se corresponde con el matiz, la distancia al eje con la saturación y la distancia al eje blanco-negro corresponden a la luminancia (Figura 2.22). Al igual que el modelo HSV, es una deformación no lineal del espacio de color RGB.

Como el HSV, HSL fue representado por Alvy Ray Smith y es una representación 3 dimensiones del color. HSL mantiene el matiz, la saturación, y la luminosidad. El modelo de color HSL tiene claras ventajas respecto al modelo HSV, en el sentido que los componentes de saturación y luminosidad expanden el rango entero de valores.

Así, en el modo "Matiz", se puede posicionar los colores en los lados opuestos del diamante para que se correspondan con los colores complementarios. O se puede disponer los colores así sus matices son ubicados triangularmente, relativos entre sí para un esquema de color tríadico. Y utilizando tres dimensiones cuando se editan los colores o las paletas de colores, se puede entender intuitivamente qué colores son similares, y cuales contrastan.

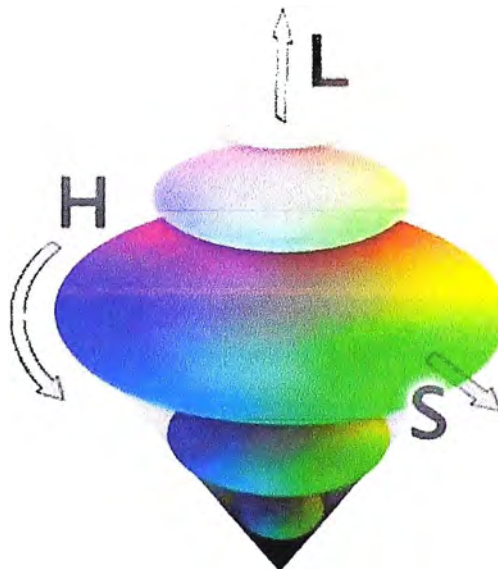


Figura 2.22: Espacio de color HSL

(Fuente: Web Tzek design)

En el plano horizontal del ecuador, los matices puros saturados están a lo largo del perímetro ecuatorial. Similar a la rueda tradicional de color y las representaciones de color esféricas, los matices contrastantes son ubicados opuestos entre sí. A medida que se mueva hacia el centro del disco de color (en el mismo plano) la saturación del color disminuye hacia el centro, donde todos los colores se unen en un único gris. Al moverse verticalmente a lo largo de este centro, el color gradualmente se va aclarando hacia arriba (finalizando en blanco), y oscureciendo hacia abajo (finalizando en negro). Los

matices varían en intensidad y saturación a medida que se mueva verticalmente arriba y abajo, o hacia el interior del diamante. Cualquier matiz dado puede variar en saturación moviéndose hacia adentro o en intensidad (tinta) moviéndose verticalmente arriba o abajo.

En el bicono o diamante de la estructura HSL, todos los colores visibles se pueden ver. Estas son las tres dimensiones en las que el cerebro analiza los colores que se ven. La primera dimensión es el brillo (el tramo vertical). El matiz y su intensidad se compone de la segunda y tercera dimensión (que corresponde a los tramos redondos a través del diamante).

2.5 Unidades utilizadas en la medición de la luz

La energía radiante corregida por el ojo humano se mide en **lúmenes (Lm)**; es decir, el lúmen mide la capacidad de radiación luminosa de una fuente de luz valorada por el ojo humano. Generalmente se utiliza para medir el rendimiento lumínico de las fuentes de luz.

Otra unidad de medida es la **candela (cd)**, la candela se refiere al flujo total de energía luminosa emitida por una fuente de luz en una dirección determinada. Una candela equivale a la energía luminosa emitida por una fuente de luz que emite 1 Lm en un **estereorradián (sr)**. En la ecuación 2.1 se muestra la relación anteriormente descrita.

$$\text{cd} = \frac{1 \text{ lm}}{1 \text{ sr}} \quad (2.1)$$

Un estereorradián es la unidad de medida de un ángulo sólido equivalente al que, con su vértice en el centro de una esfera, determina sobre la superficie de esta, un área equivalente a la de un cuadrado cuyo lado es igual al radio de la esfera.

Otra unidad de medida importante a considerar es el **lux (Lx)**. El lux mide la cantidad de lúmenes que inciden sobre la superficie iluminada. Un lux equivale al flujo luminoso de 1 Lm que incide sobre un área de un metro cuadrado. La ecuación (2.2) muestra la relación entre el lúmen y el área iluminada.

$$1 \text{ Lx} = \frac{1 \text{ lm}}{1 \text{ m}^2} \quad (2.2)$$

La unidad es básica cuando se trata de medir el desempeño de una fuente de luz, es la "eficacia lumínica". La eficacia lumínica es la relación entre la energía luminosa emitida por la fuente de luz (lúmenes) y la potencia eléctrica de entrada (watts). La eficacia se mide entonces en Lm/W.

2.6 Descripción general de los sistemas de selección

Los sistemas de selección de granos están conformados por una tolva de recepción de granos el cual garantiza la alimentación constante y permanente de granos hacia una

bandeja vibradora la cual permite alimentar los granos en forma ordenada y con una separación casi constante, dicho granos son guiados por una rampa atravesando el área de sensado por el centro y en caída libre, el área de sensado posee un conjunto de lámparas dispuestas radialmente capaces de iluminar con luz blanca la superficie del grano y la luz reflejada es captada por sensores, este haz de luz con la información del color se convierte en señales eléctricas de bajo nivel de tensión por lo que deben ser tratadas por una etapa de amplificación hasta lograr valores acordes a los requeridos en la entrada del microcontrolador y compararlas con los valores preestablecidos por el usuario, si los valores de tensión correspondiente al color está dentro del rango de los valores preestablecidos por el usuario el grano es aceptado y cae directamente hacia un depósito o transportador para luego ser envasado en sacos, si los valores están fuera del rango de los valores preestablecidos el microcontrolador debe emitir una señal de salida para activar una electroválvula neumática la que debe expulsar aire presurizado dirigido hacia el grano, desviándolo de su ruta en caída libre para caer en un depósito de granos rechazados.

La estructura general del sistema se puede dividir en las siguientes etapas:

- Recepción
- Dosificación
- Transporte
- Sensado
- Sistema electrónico de control

2.6.1 Recepción

Una pequeña tolva se debe ubicar en la parte superior de la máquina para la recepción de los granos, esto permite recepcionar los granos que se envía desde la etapa previa de la línea de producción o de una tolva de almacenamiento, para ser procesados y seleccionados por color, asimismo garantiza la entrega permanente de granos al sistema de dosificación de la máquina en las condiciones de trabajo mediante una válvula tipo compuerta de regulación manual cuya operación y funcionamiento es comprobadamente aceptado y no influyen en los resultados del sistema electrónico, en otros casos se puede emplear sistemas regulados de alimentación mediante transportadores de fajas o helicoidales.

El material utilizado en la fabricación de la tolva se debe elegir de acuerdo a la normatividad vigente para el tipo de granos a seleccionar generalmente se utiliza acero inoxidable (Figura 2.23).

La compuerta se debe regular para que la tolva proporcione un flujo de 300 a 350 granos por segundo.

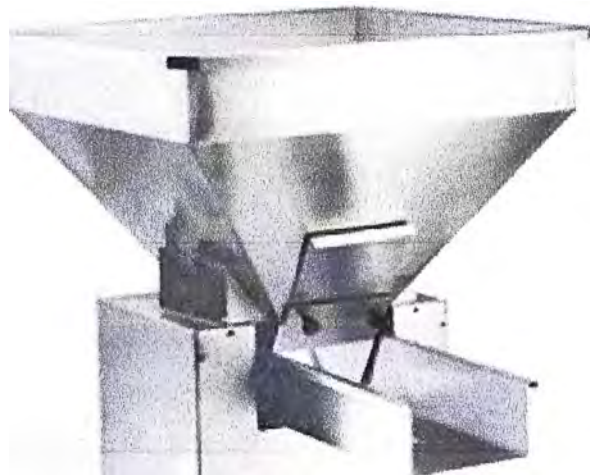


Figura 2.23: Tolva de recepción de granos
(Fuente: Maquinaria Yeray)

Debajo de la tolva de recepción de granos se encuentra un alimentador electromagnético (Figura 2.24) que permite extraer los granos de la tolva para alimentar dosificadamente el sistema de selección, el extremo final de su bandeja posee una restricción mecánica que permite ordenar uno a uno y espaciar adecuadamente cada grano, dicha restricción se debe regular según el tamaño de los granos, el sistema debe ser capaz de generar un espaciamiento entre granos del orden de 2mm y la bandeja vibradora debe ser capaz de alimentar unos 300 a 350 granos por segundo con un peso de aproximadamente 202 a 216 kilogramos por hora.

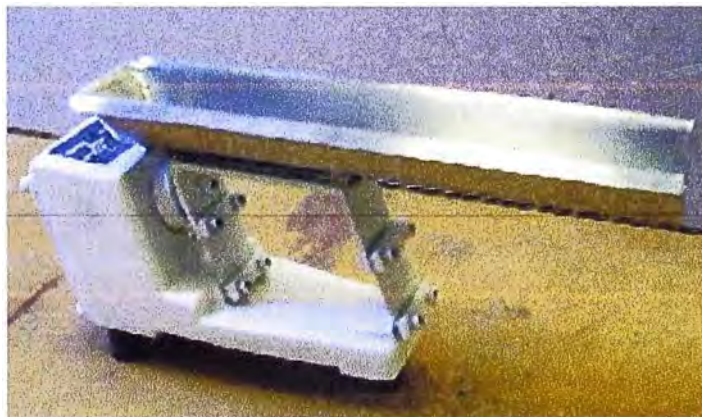


Figura 2.24: Alimentador vibrador electromagnético
(Fuente: Vibrotec)

El diseño de los Alimentadores Electromagnéticos se basa en un sistema de dos masas unidas mediante un componente elástico formado por láminas flexibles. La cantidad de láminas montadas determina el funcionamiento subresonante del aparato. Una corriente rectificadora produce la excitación del núcleo magnético, atrayendo hacia

éste a la masa móvil, que se encuentra unida a la bandeja. La energía acumulada en las láminas elásticas se emplea para restaurar el sistema a su posición de equilibrio.

Este movimiento vibrante, casi senoidal, de descenso y ascenso de la bandeja, se transmite al material produciendo su desplazamiento. Dicho movimiento se repite 3.600 veces por minuto a 60 Hz.

2.6.2 Transporte

El vibrador alimenta los granos en forma continua y espaciada hacia una rampa metálica en forma de un canal del tipo en “v” (Figura 2.25), de superficie lisa como es el acero inoxidable pulido cuya longitud aproximada es de 1.00 metros y una inclinación respecto a la horizontal de 60°, esto permite guiar los granos en forma recta y ordenada a atravesar el área de sensado



Figura 2.25: Cana de acero inoxidable para el transporte de granos
(Fuente: Web Retsch)

La longitud, la inclinación y el material de la rampa guía permite a los granos otorgarle una velocidad para atravesar el anillo sensor de 300 a 350 granos por segundo.

2.6.3 Sensado

El área de sensado se conforma de un sistema de lámparas dispuestas radialmente encargadas de iluminar el grano y de un sistema de fotosensores dispuestos radialmente encargados de captar la luz reflejada de los granos con la información del color la cual se convierte posteriormente en señales eléctricas.

El sistema de iluminación de granos consiste en un conjunto de lámparas que provee una luz blanca con una intensidad que permita obtener una respuesta óptima de la señal de color correspondiente al punto en evaluación, por tanto se trata de reproducir el color blanco neutral similar a la que produciría la luz solar al mediodía, la luz se mide por un parámetro denominado: “temperatura del color” puede ser cuantificada usando una escala marcada en grados Kelvin, la escala se deriva del hecho de que la luz emitida por un objeto al calentarse produce los colores del espectro, el cual cambia a medida que la

temperatura aumenta.

La temperatura de color de una fuente de luz define su tono blanco, amarillo o azul, su calidez o frialdad [10]. No define el modo en que el matiz más o menos natural de los colores de los objetos aparece al iluminarlos. Dos colores de lámparas pueden tener la misma temperatura de color y reproducir los colores de forma muy distinta.

La luz de baja temperatura (2,000 °K) es progresivamente más tibia (más roja/amarilla) mientras que las altas temperaturas (9,500°K) se vuelven progresivamente más frías (más azul) (Figura 2.26).

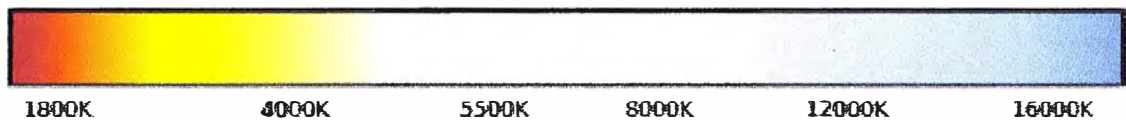


Figura 2.26: Representación aproximada de la temperatura según ciertos colores
(Fuente: Wikipedia)

La fuente de luz deseada se ubica entre los 5,000 °K y los 6,000°K.

Temperaturas de color en la escala Kelvin

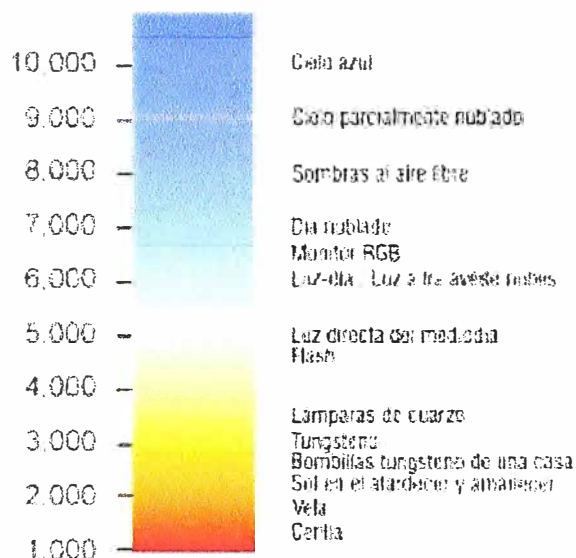


Figura 2.27: Temperaturas de color de una fuente de luz
(Fuente: Web Fotografías artísticas)

El **índice de reproducción cromática (IRC)** es una medida de la capacidad que una fuente luminosa tiene para reproducir fielmente los colores de varios objetos en comparación con una fuente de luz natural o ideal. Las luces con un IRC elevado son necesarias en aplicaciones donde son importantes los colores

En el mercado actual, existen variados tipos de lámparas: incandescentes, halógenas, fluorescentes, fluorescentes compactas, vapor de mercurio, halogenuro metálico, vapor de sodio, dióxicas de leds.

En la Tabla 2.1 se aprecia que las lámparas incandescentes y halógenas tiene el mejor índice de reproducción cromática (IRC), pero su eficacia luminosa es muy baja porque pierde potencia en forma de calor y por ello su duración es muy corta lo cual lo hace inapropiado para este tipo de máquinas por el incremento de costos por sistemas de enfriamiento y recambio de lámparas; dentro de la gama de lámparas por descarga de gases se pueden encontrar las fluorescentes y halogenuro metálico como las más adecuadas según su IRC de 85 y 90, con muy buena duración de 11,000 a 12,500 horas y eficacia luminosa hasta 96 lúmen/watt pero se tiene el inconveniente físico por su gran tamaño.

Tabla 2.1: Características eléctricas y lumínicas de los tipos de lámparas.

(Fuente: Elaboración propia)

Tipo de lámpara	Flujo luminoso (Lúmenes)	Eficacia luminosa (Lm/W)	IRC	Temp. de color (°K)	Duración (hrs)
Incandescente	120 a 1380	7.5 a 11	100	2800	1000
Halógena	2100 a 40000	10 a 20	100	3000	2000
Fluorescente	1030 a 4100	51.5 a 63	80 a 90	3000 a 6500	12500
Fluorescente compacta	400 a 600	57.1 a 66.7	15 a 85	2500 a 5000	15000
Vapor de mercurio	13500 a 4200	40 a 60	40 a 50	3500 a 4500	25000
Halogenuro metálico	18000 a 80000	60 a 96	65 a 85	3000 a 6000	11000
Vapor de sodio alta presión	25000 a 120000	70 a 130	25 a 80	2100	20000
Vapor de sodio baja presión	8000 a 33000	160 a 180	0	1800	15000
Dicroicas de leds	Hasta 500	Hasta 150	>80	2700 a 7000	50000

Finalmente se tiene la lámpara más adecuada y moderna: las lámparas dicroicas de led, las mismas que se encuentran en un rápido proceso de desarrollo, tienen un IRC mayor de 80 (se considera >85 un valor apropiado), una eficacia luminosa de 150 lúmen/watt, es decir se aprovecha al máximo la potencia eléctrica como potencia


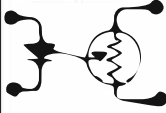
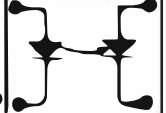


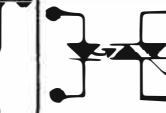
luminosa lo cual se aprecia en su bajo nivel de calentamiento y bajo consumo, su temperatura de color apropiado cercano a valores naturales de 5500 a 6000 °K y un gran tiempo de duración de hasta 50,000 horas lo cual garantizaría un periodo de vida de casi 6 años, operando en forma continua 24 horas diarias, a todo ello se suma su tamaño reducido.

Las lámparas incandescentes o radiadores térmicos (focos tradicionales) simplemente calientan un filamento de metal (tungsteno) a miles de grados Celsius debido a su resistencia al paso de la corriente eléctrica. A esta temperatura el filamento emite luz, luz que se ubica en el área infrarroja del espectro lumínico, de ahí la ineficiencia de este tipo de lámparas. Las lámparas fluorescentes generan luz al pasar corriente eléctrica a través de vapor de mercurio, esta genera una excitación que hace al vapor de mercurio emitir luz ultravioleta (UV). La luz UV golpea el fósforo dentro de la lámpara que hace que ésta se vuelva fluorescente y produzca luz blanca visible.

Para seleccionar la fuente de luz LED se debe considerar tres características importantes: La temperatura de color, el ángulo de emisión y la intensidad o potencia lumínica.

Tabla 2.2: Tipos de fotosensores

(Fuente: Web optoaisladores)

tipo de optoaislador	Discretos					
	Lamp/fotoresistor	LED/fotoresistor	LED/fotodiodo	LED/fototransistor	LED/fotodárlington	LED/Foto-SCR
características	 Incandescente o de neón					
[CTR] razón de transferencia de corriente	$\Delta R_{var} / \Delta V_m = 100\Omega \text{ to } 10k\Omega/V$	$\Delta R_{var} / \Delta V_m = 10k\Omega/A$	0.2%	10% to 200%	600% typ	I_a a disparador = 10 - 30mA
Razón de datos (MHz)	10^{-3} to 10^{-4} MHz	10^{-4} MHz	4MHz	0.2MHz	0.02MHz conventional 0.3MHz split darlington	
Voltaje de separación (kV)	0.5 to 1.6kV	0.5 to 2.0kV	0.2 to 50kV	0.5 to 10kV	15 to 4 kV	2.0kV
in requerido current (mA) Máx	1.0 to 40mA	40mA	2 to 80mA 60 to 100mA	15 to 60mA 60 to 150mA	0.5 to 20mA 60mA	

Un fotosensor es un elemento que detecta la presencia de luz y genera una señal eléctrica enviándola a un circuito de control para realizar una tarea o una secuencia de estas. Ejemplos de fotosensores son los fotodiodos, fototransistores, fotoresistencias, CCD (Tabla 2.2).

Los fabricantes de los sensores ópticos de color son muy pocos siendo los principales: AMS-TAOS USA (Austria Micro Systems - Texas Advanced Optoelectronic

Solutions) y MAZeT GmbH Alemania, estos sensores tienen diferentes funcionalidad y depende de la aplicación que se les dé, adicionalmente tienen incorporados sistemas de amplificación y otras funcionalidades lo cual simplifican el hardware necesario y se eliminan los ruidos o interferencia en el manejo de señales de bajo nivel de tensión.

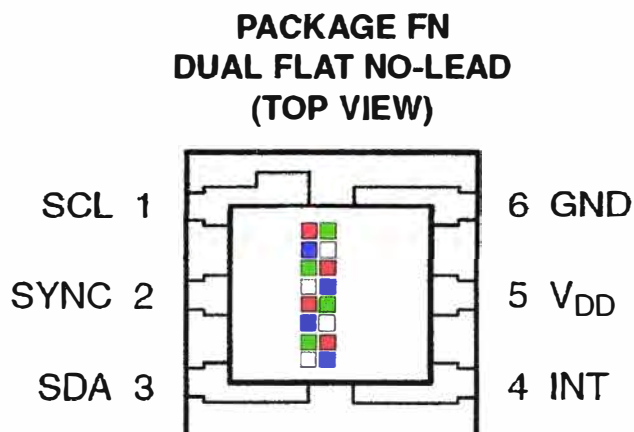


Figura 2.28: Sensor de color TCS3414
(Fuente: Web Microelectrónicos)

Los sensores de color que pueden encontrarse son con salida de voltaje en milivoltios, con bloqueo de infrarrojos, con salida de frecuencia, con salida de voltaje y amplificación programable, salida digital a 16 bits serial SM bus, salida digital serial I2C (Figura 2.28).

2.6.4 Etapa de control

Generalmente los sensores de color poseen una etapa amplificadora integrada lo cual evita la contaminación de la señal con ruidos y reduce el hardware requerido, un microcontrolador PIC (Figura 2.29) se encarga de procesar todas las operaciones de acondicionamiento de las señales, comparación digital, control de periféricos, luego si los colores medidos no cumplen con los porcentajes establecidos respecto de los colores de calibración se encarga de generar una señal de rechazo.

Un microcontrolador es un circuito integrado de alta escala de integración que incorpora la mayor parte de los elementos que configuran un controlador.

Un microcontrolador dispone normalmente de los siguientes componentes:

- Procesador o UCP (Unidad Central de Proceso).
- Memoria RAM para contener los datos volátiles.
- Memoria FLASH para el programa tipo ROM/PROM/EPROM.
- Líneas de E/S para comunicarse con el exterior.

- Diversos módulos para el control de periféricos (temporizadores, Puertas Serie y Paralelo, CAD: Conversores Analógico/Digital, CDA: Conversores Digital/Analógico, etc.).
 - Generador de impulsos de reloj que sincronizan el funcionamiento de todo el sistema.
- Los microcontroladores disponen de las siguientes ventajas:
- Aumento de prestaciones: un mayor control sobre un determinado elemento representa una mejora considerable en el mismo.



Figura 2.29: Microcontrolador MICROCHIP
(Fuente: Web Tecnohall)

- Aumento de la fiabilidad: al reemplazar el microcontrolador por un elevado número de elementos disminuye el riesgo de averías y se precisan menos ajustes.
- Reducción del tamaño en el producto acabado: La integración del microcontrolador en un chip disminuye el volumen, la mano de obra y los costos.
- Mayor flexibilidad: las características de control están programadas por lo que su modificación sólo necesita cambios en el programa de instrucciones.
- El microcontrolador es en definitiva un circuito integrado que incluye todos los componentes de un computador. Debido a su reducido tamaño es posible montar el controlador en el propio dispositivo al que gobierna. En este caso el controlador recibe el nombre de *controlador empotrado* (embedded controller).
- Existe una gran diversidad de microcontroladores. La clasificación más importante de microcontroladores es de 4, 8, 16 ó 32 bits. Aunque las prestaciones de los microcontroladores de 16 y 32 bits son superiores a los de 4 y 8 bits, la realidad es que los microcontroladores de 8 bits dominan el mercado.
- La razón de esta tendencia es que los microcontroladores de 4 y 8 bits son apropiados para la gran mayoría de las aplicaciones, lo que hace absurdo emplear micros más potentes y consecuentemente más caros.
- En cuanto a las técnicas de fabricación, cabe decir que prácticamente la totalidad de los microcontroladores actuales se fabrican con tecnología CMOS 4 (Complementary

Metal Oxide Semiconductor). Esta tecnología supera a las técnicas anteriores por su bajo consumo y alta inmunidad al ruido. También los modernos microcontroladores de 32 bits van afianzando sus posiciones en el mercado, siendo las áreas de más interés el procesamiento de imágenes, las comunicaciones, las aplicaciones militares, los procesos industriales y el control de los dispositivos de almacenamiento masivo de datos.

- Para seleccionar el microcontrolador a emplear en un diseño concreto se debe tener en cuenta multitud de factores, además de las características del microcontrolador (tipo y capacidad de memoria de programa (memoria flash), capacidad de memoria de almacenamiento (memoria eeprom), memoria de datos (RAM), tipo y número de entradas/salidas, velocidad de procesamiento, precisión, tamaño de las palabras, etc., también debe tenerse en cuenta la documentación y herramientas de desarrollo disponibles, la cantidad de fabricantes que lo producen y su precio.

La señal de rechazo se transmite a electroválvula de aire quien abrirá y expulsará aire seco comprimido el cual incidirá sobre la superficie del grano desviándolo de su trayectoria para caer a un depósito o faja transportadora de granos rechazados.

Debido a la velocidad de procesamiento las electroválvulas deben ser de apertura rápida, y deben ser colocadas de tal forma que se aproveche al máximo su flujo para el rechazo.

CAPÍTULO III PLANTEAMIENTO DE LA SOLUCIÓN DE INGENIERÍA

La propuesta de solución se basa de un sistema de captura de color del grano en aproximadamente 64 puntos a lo largo y alrededor de toda su superficie (Figura 3.1), para ello cada grano se transporta mecánicamente y atraviesa en caída libre un triple anillo conformado por dos anillos externos al cual llegan un conjunto de fibras ópticas encargadas de iluminar el grano y un tercer anillo central del cual sale un conjunto de fibras ópticas encargadas de capturar y transmitir la señal luminosa con la información del color, la iluminación se realiza mediante una lámpara ubicada en el gabinete eléctrico y la señal con la información se transmite hacia los sensores de color con transductores analógicos los cuales permiten traducir la señal de color en señales de voltaje correspondiente a tres colores principales (rojo, verde y azul), estos valores luego de ser digitalizados, procesados y acondicionados se evalúan para determinar si se encuentran dentro de los rangos que se establecen por medio de: los valores referenciales que componen los colores del grano y que se graban previamente en la memoria del sistema y se determinan en forma práctica por el mismo sistema, y los valores porcentuales de los colores comprometidos que determina el usuario; si los valores de la señal se encuentran fuera del rango establecido el sistema debe emitir una señal de salida y accionar una electroválvula la cual expulsa aire y desvía la dirección del grano hacia otro lugar de recolección.

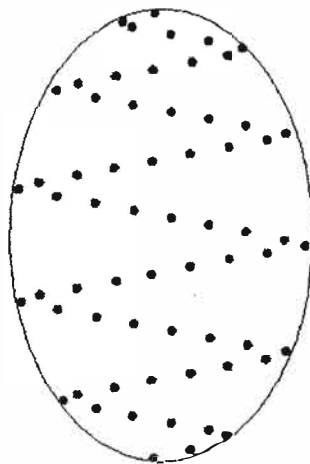


Figura 3.1 Mapa de muestras en un grano
(Fuente: Elaboración propia)

El sistema electrónico propuesto consiste de cuatro etapas: sensado del color, procesamiento de señales, control y sistema de rechazo.

3.1 Etapa sensado del color

El anillo sensor está conformado por un sistema de tres anillos cilíndricos concéntricos (Figura 3.3) que deben ser fabricados en resina de color negro para que absorba haces de luz parásitos; dos anillos externos de diámetro interior de 30 a 40 mm en el cual se distribuyen 34 fibras ópticas dispuestas radialmente con un ángulo de inclinación de aproximadamente 45° respecto al plano de sensado y espaciadas uniformemente las cuales permiten transportar y dirigir los haces luminosos de luz blanca desde una lámpara ubicada en el tablero de control hacia los granos permitiendo de esta forma iluminar el grano en secciones iguales los 360° , el grano a su vez refleja haces de luz de una determinada longitud de onda según el color del punto de análisis en el grano; el tercer anillo, ubicado entre los otros dos, es de diámetro interior de 50 a 60 mm en el cual se distribuyen otras 17 fibras ópticas dispuestas radialmente y espaciadas uniformemente son las que se encargan de captar los haces reflejados en cada punto analizado del grano y transportarlos hacia los sensores de color que están ubicados en la tarjeta electrónica.



Figura 3.2: Lámpara LED tipo spot light de 6w 500 lúmenes

(Fuente: Brother-lighting)

De este modo, se obtiene un sistema en el cual los dispositivos ópticos no se encuentran expuestos a daños mecánicos por encontrarse ubicados y protegidos dentro del tablero de control, los haces que iluminan los granos y los haces reflejados que contienen la información del color del grano se transportan por fibras ópticas del tablero al anillo de sensado y viceversa.

La lámpara a utilizar es del tipo LEDs (Figura 3.2) por presentar mayor eficacia luminosa y mayor duración, Para seleccionar la fuente de luz LED se debe considerar

tres características importantes: La temperatura de color, el ángulo de emisión y la intensidad o potencia lumínica.

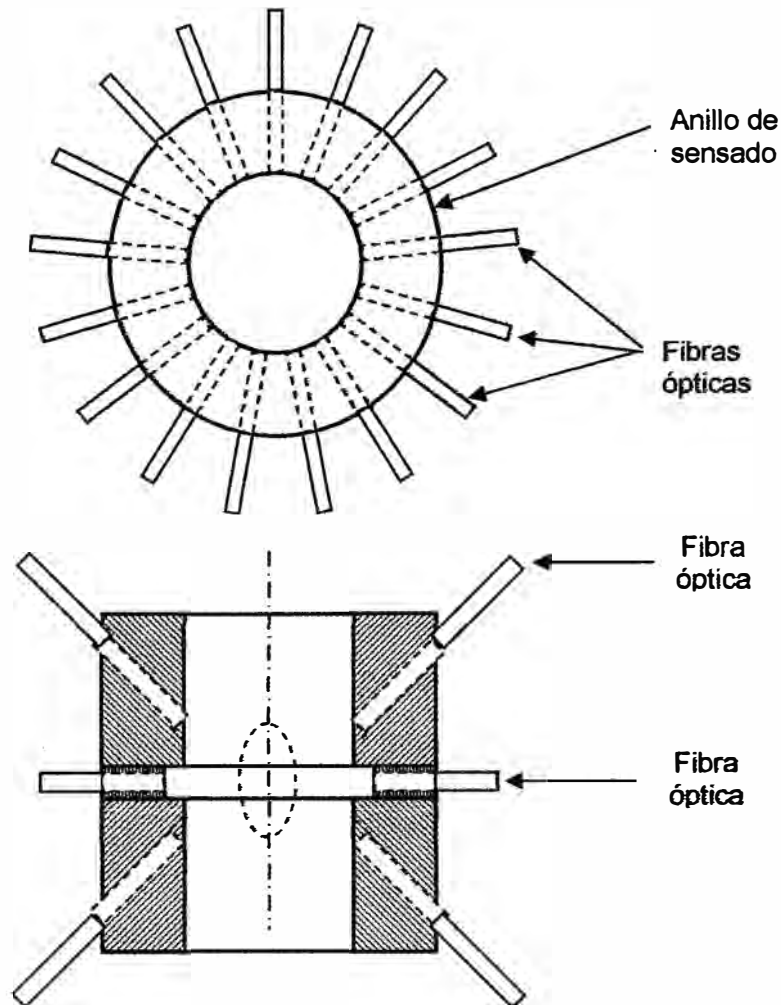


Figura 3.3: Anillo de sensado
(Fuente: Elaboración propia)

La selección del tipo de fibra óptica obedece a la necesidad de utilizarla para transmitir señales luminosas dentro del rango visible entre 400 nm y 700 nm de longitud de onda y señales de datos de baja velocidad por ello se debe elegir las fibras ópticas plásticas POF con coeficiente de atenuación bajo de 0.20 dB/m, aplicables a los sistemas industriales, la apertura numérica debe ser lo más reducida posible con la finalidad de garantizar selectividad al momento de captar las señales de color y concentrar los haces de luz de iluminación del grano, por ello se emplea una apertura numérica 0.5.

En los cálculos para selección de la lámpara es necesario establecer ciertas características de la fibra óptica (Figura 3.4) que permita transmitir las señales ópticas de luz a niveles apropiados para los sensores, estas características son:

1. Fibra óptica plástica FOP.

2. Diámetro de la fibra 1 mm.
3. Índice de refracción de 1.49



Figura 3.4: Fibras ópticas plásticas FOP

Fuente: Web Deegosum)

Para el caso en estudio por la velocidad de procesamiento requerido y para simplificar el uso de hardware se ha seleccionado el sensor TCS3103 de AMS, se trata de un sensor de color de tres canales RGB convierte Intensidad luminosa a voltaje, el voltaje de polarización es de 4.5 a 5.5 voltios, salida en paralelo, offset bajo para la oscuridad, con ganancia programable de 2x y 4x, el voltaje de salida es proporcional a la intensidad luminosa en el rango del espectro de la luz visible para las longitudes de onda correspondiente a los colores rojo, verde y azul que componen el espectro de la luz visible, de esta forma midiendo la amplitud y la proporción de los 3 canales se puede obtener el color de la luz reflejada en el grano y que corresponde con el color de su superficie.

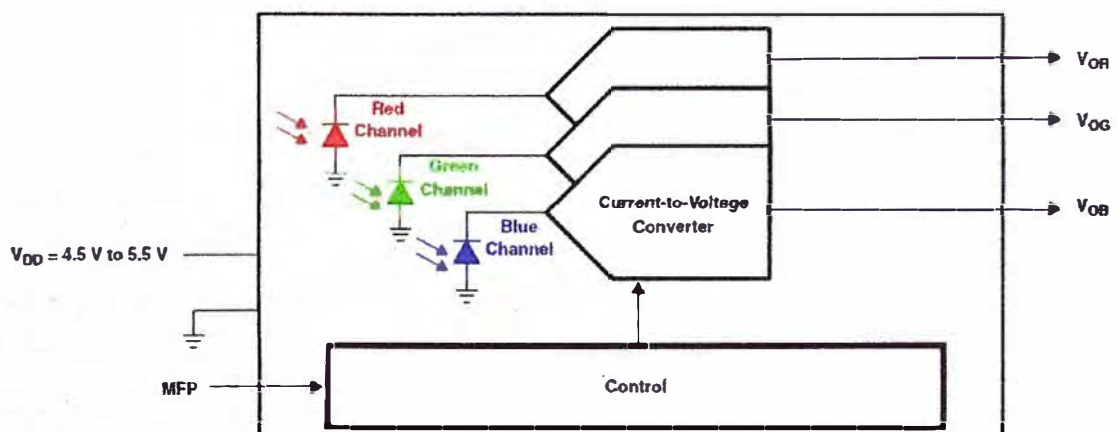


Figura 3.5: Diagrama Funcional de bloques del sensor TCS3103

(Fuente: Texas Advanced Optoelectronic Solutions Inc.)

El sensor presenta una respuesta lineal a la intensidad luminosa desde un valor cercano a cero hasta un valor máximo determinado por la ganancia y la fuente de

alimentación del dispositivo, la salida del dispositivo puede oscilar desde cerca al nivel bajo hasta cerca de la tensión de alimentación del dispositivo. El voltaje de oscuridad o salida del dispositivo sin iluminación es determinado por el offset interno del amplificador y es recortado en fábrica para un mínimo valor.

En la Figura 3.5 se puede apreciar el diagrama funcional de bloques compuesto por los filtros y los optoacopladores, los convertidores de corriente a voltaje y el amplificador de control.

El terminal multifunción (MFP) se usa para seleccionar el modo de ganancia.

En la Tabla 3.1 se muestran las características eléctricas del sensor TCS3103.

Tabla 3.1: Características eléctricas del sensor TCS3103

(Fuente: Texas Advanced Optoelectronic Solutions Inc.)

Electrical Characteristics $V_{DD} = 5\text{ V}$, $T_A = 25^\circ\text{C}$, $R_L = 10\text{ k}\Omega$ (unless otherwise noted)

PARAMETER		TEST CONDITIONS	MIN	TYP	MAX	UNIT
V_D	Dark voltage, V_{OR} , V_{OG} , V_{OB}	$E_e = 0$	0		10	mV
V_{OM}	Maximum output voltage	$V_{DD} = 5\text{ V}$	4.8			V
I_{DD}	Supply current	$V_{DD} = 5\text{ V}$, $E_e = 0$		270	500	μA
R_{eR}	Irradiance responsivity, V_{OR}	$\lambda_p = 470\text{ nm}$, Gain select = 1X		0.02		mV/ ($\mu\text{W}/\text{cm}^2$)
		$\lambda_p = 524\text{ nm}$, Gain select = 1X		0.09		
		$\lambda_p = 640\text{ nm}$, Gain select = 1X	0.3	0.4	0.5	
R_{eG}	Irradiance responsivity, V_{OG}	$\lambda_p = 470\text{ nm}$, Gain select = 1X		0.13		mV/ ($\mu\text{W}/\text{cm}^2$)
		$\lambda_p = 524\text{ nm}$, Gain select = 1X	0.18	0.25	0.31	
		$\lambda_p = 640\text{ nm}$, Gain select = 1X		0.06		
R_{eB}	Irradiance responsivity, V_{OB}	$\lambda_p = 470\text{ nm}$, Gain select = 1X	0.15	0.2	0.25	mV/ ($\mu\text{W}/\text{cm}^2$)
		$\lambda_p = 524\text{ nm}$, Gain select = 1X		0.13		
		$\lambda_p = 640\text{ nm}$, Gain select = 1X		0.12		
Gain scaling, 1X to 2X			1.9	2	2.1	
Gain scaling, 1X to 4X			3.8	4	4.2	
T_c	Temperature coefficient of output voltage	$\lambda_p \leq 700\text{ nm}$, $-30^\circ\text{C} \leq T_A \leq 70^\circ\text{C}$		± 360		$\text{ppm}/^\circ\text{C}$

3.2 Etapa Procesamiento de señales

Esta etapa consiste en recepcionar la señal proveniente de los sensores de color y acondicionarla a los niveles de tensión de operación del circuito en este estudio se ha optado por las señales del tipo TTL por el uso de microcontroladores, si las señales provenientes de los sensores no alcanzan el nivel de voltaje adecuado se debe emplear una etapa amplificadora previa antes de enviarla al microcontrolador para el análisis, un sistema de multiplexación analógica que consiste en los circuitos integrados 74HC4067 se incluye para enviar las 48 señales de voltaje provenientes de los 16 sensores, para tal fin se emplean tres circuitos integrados con capacidad de procesar 16 entradas

analógicas, de ese modo se utiliza solo tres canales analógicos del microcontrolador PIC para las señales y cuatro canales digitales para el control de selección; en la Tabla 3.2 se muestran las condiciones de operación recomendadas para el CI 74HC4067.

Con el terminal E = bajo, uno de los dieciséis interruptores se selecciona por medio de los terminales S0 a S3 (de baja impedancia o estado activado).

Todos los interruptores no seleccionados se encuentran en la alta impedancia de estado apagado.

Tabla 3.2: Condiciones de Operación recomendadas
(Fuente: Philips semiconductors)

Table 5. Recommended operating conditions

Symbol	Parameter	Conditions	Min	Typ	Max	Unit
74HC4067						
V_{CC}	supply voltage		2.0	5.0	10.0	V
V_I	input voltage		GND	-	V_{CC}	V
V_{SW}	switch voltage		GND	-	V_{CC}	V
$\Delta t/\Delta V$	input transition rise and fall rate	$V_{CC} = 2.0\text{ V}$	-	-	625	ns
		$V_{CC} = 4.5\text{ V}$	-	1.67	139	ns
		$V_{CC} = 6.0\text{ V}$	-	-	83	ns
		$V_{CC} = 10.0\text{ V}$	-	-	31	ns
T_{amb}	ambient temperature		-40	+25	+125	°C
74HCT4067						
V_{CC}	supply voltage		4.5	5.0	5.5	V
V_I	input voltage		GND	-	V_{CC}	V
V_{SW}	switch voltage		GND	-	V_{CC}	V
$\Delta t/\Delta V$	input transition rise and fall rate	$V_{CC} = 4.5\text{ V}$	-	1.67	139	ns
T_{amb}	ambient temperature		-40	+25	+125	°C

Con el terminal E = alto, todos los interruptores están en la alta impedancia o de estado apagado, independientemente de los terminales S0 a S3.

Las entradas / salidas analógicas (Y0 a Y15, y Z) (Figura 3.6) puede oscilar entre VCC como un límite positivo y GND como un límite negativo. VCC a GND no podrá exceder de 10 V.

La Distorsión armónica total THD es de 0.12% a 10Khz y su respuesta de frecuencia es de 90 MHz.

Las salidas de los multiplexores se transmiten a un microcontrolador de alto rendimiento, el PIC18f4550 con la finalidad de procesar las señales analógicas convirtiéndolas en señales digitales de 10 bits por medio de un convertidor analógico digital (DAC) interno lo cual permite acondicionar las señales a los parámetros comparables con las señales digitales de referencia almacenadas previamente mediante el modo de calibración.

Para la comparación, las señales provenientes de los sensores son del tipo Voltaje corresponden a los colores rojo, verde y azul del sistema RGB, como en dicho sistema los valores son vectoriales y dependientes entre sí dichas señales deben convertirse a otro sistema donde las señales sean independientes entre sí y permita una comparación real para ello se emplea el sistema HSL el cual también es vectorial de coordenadas cilíndricas.

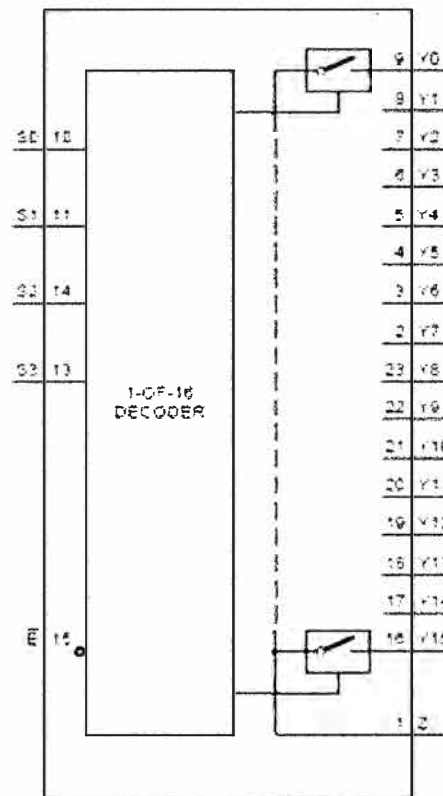


Figura 3.6: Diagrama funcional C.I. 74HC4067 Multiplexor analógico
(Fuente: NXP Semiconductors)

El usuario tiene el acceso para ingresar valores porcentuales que establecen los límites de los colores aceptados respecto de los valores calibrados, de este modo se puede definir la aceptación o rechazo de un grano debido a la diferencia de color existente fuera de los rangos deseados.

3.3 Etapa de control

Esta etapa está conformada por 2 microcontroladores un PIC 18F4550 y un PIC 16F877A y los sistemas periféricos tales como: pulsadores de arranque y parada los cuales se emplean para iniciar y detener el proceso de selección, un pulsador para reinicializar cada microcontrolador (PIC), un teclado matricial para los diversos comandos de control e ingreso de datos, una pantalla LCD de 40x2 para visualizar los datos y mensajes de programación y control.

Para el caso en estudio se selecciona el PIC 18F4550 para el sistema de control y el PIC 16F877A solo para el manejo del display LCD, se han seleccionado estos PICs considerando además del aspecto técnico, el bajo costo y disposición de mercado, existen otros microcontroladores PIC que tienen prestaciones similares y mejores pero ello elevarían los costos de fabricación. En el caso del PIC 18F4550 se ha considerado principalmente la necesidad de mejorar los tiempos de conversión del A/D y el procesamiento de las instrucciones, en el caso del PIC 16F877A por la necesidad de comunicación con el PIC 18F4550.

En esta etapa el microcontrolador PIC 18F4550 se utiliza para realizar todas las operaciones de cambio de sistema de color de las señales de RGB a HSL (Figura 3.7), digitalización, comparación digital, control del teclado y, luego si los colores medidos no cumplen con los porcentajes establecidos respecto de los colores de calibración se encarga de generar una señal de rechazo la misma que se trasmite a una electroválvula de aire la cual abre y expulsa aire presurizado el cual incidirá sobre la superficie del grano desviándolo de su trayectoria para caer a un depósito o faja transportadora de granos rechazados.

$$H = \begin{cases} 0, & \text{if } MAX = MIN \\ (60 \times \frac{G-B}{MAX-MIN} + 360) \bmod 360, & \text{if } MAX = R \\ 60 \times \frac{B-R}{MAX-MIN} + 120, & \text{if } MAX = G \\ 60 \times \frac{R-G}{MAX-MIN} + 240, & \text{if } MAX = B \end{cases}$$

$$S = \begin{cases} 0, & \text{if } MAX = MIN \\ \frac{MAX-MIN}{MAX+MIN} = \frac{MAX-MIN}{2L}, & \text{if } L \leq \frac{1}{2} \\ \frac{MAX-MIN}{2-(MAX+MIN)} = \frac{MAX-MIN}{2-2L}, & \text{if } L > \frac{1}{2} \end{cases}$$

$$L = \frac{1}{2}(MAX + MIN)$$

Figura 3.7: Ecuaciones de conversión sistema RGB a HSL

(Fuente: Wikipedia)

En el microcontrolador se almacena un algoritmo de control realizado para este fin, el mismo que consta de diversos modos: modo para generación de claves de uso interno del usuario para la modificación de los parámetros de control, modo de calibración del color de los granos, modo de modificación de los parámetros de control y el modo de selección.

El modo de generación de claves le permite al usuario acceder a la modificación de los parámetros de control de tal manera se evitan errores por manipulaciones

accidentales no autorizadas lo cual da confiabilidad al usuario sobre la operación respecto de los valores establecidos. El usuario puede ingresar un número de 4 dígitos y almacenarlos en la memoria EEPROM del PIC.

El modo de calibración se emplea para la modificación de los parámetros referenciales de color de los granos según sea el tipo a seleccionar, el sistema prevé una clave de 5 dígitos previamente almacenada por software, una vez que se ingresa la clave se accede al sistema para generar la calibración de los colores de los granos respectivos, para ello es necesario seleccionar manualmente y con mucho cuidado un número de granos de colores uniformes en número mayor de 500 los cuales se ingresan a la máquina para su evaluación, el sistema procede a la lectura de los colores correspondientes y almacena los valores promedios que sirven de referencia para la selección en el proceso productivo. Asimismo el sistema prevé la autocalibración durante el proceso lo cual permite ajustar los valores referenciales a las tonalidades de los granos y evita diferencias de color debido a ensuciamiento de las fibras o pérdida de capacidad de la lámpara por envejecimiento.

El modo de modificación de los parámetros de control se emplea para establecer los valores porcentuales de las tonalidades de los granos y de los colores no deseados, para el caso de granos de café el cual es de color verde, los colores a setear son: blanco, verde, rojo, marrón y negro.

El modo selección consta de una etapa de preparación previa para la lectura de su memoria y acondicionamiento previos de los datos necesarios para la evaluación, para luego iniciar el proceso de selección mediante el pulsador de arranque, luego que se ha iniciado el sistema, se procesa los datos de los colores de los granos y los compara uno a uno con los colores preestablecidos de manera que si alguno de los puntos evaluados no cumplen con los valores de los colores correspondientes dentro de los rangos permitidos establecidos por los datos ingresados, debe ser rechazado.

El rechazo se genera por una electroválvula de aire la cual apertura un tiempo determinado y un retardo programado, la presión de aire requerida es de 40 psi. Debido a la velocidad de procesamiento las electroválvulas deben ser de apertura rápida, y deben colocarse de tal forma que se aproveche al máximo el flujo para el rechazo.

Asimismo se tiene un PIC 16F877A el cual se encarga tan solo para controlar el funcionamiento del display LCD.

3.4 Sistema de rechazo

El sistema para realizar el control posee un sistema de accionamiento eléctrico de una electroválvula de 2 vías (Figura 3.8) que se acciona por el microcontrolador PIC cuando un grano no cumple con las características mínimas de color establecidas por el

usuario, el accionamiento es mediante un sistema opto-acoplado accionado directamente por el PIC, debido a la tensión de operación de la válvula es de 24 VDC.



Ultrarrapidez

Ultrarreproducibilidad

Ultraduración

Figura 3.8: Válvula de conmutación rápida de 2/2 vías “Jet Valve” MHJ10 de FESTO
(Fuente: Festo AG & Co. KG)

3.5 Cálculos y selección del hardware

En este acápite se desarrollan los cálculos y criterios para el diseño y selección del hardware para el sistema de selección automático.

3.5.1 Capacidad del sistema

Para iniciar el análisis se debe partir de un tamaño estándar de grano.

Características físicas del grano de café:

- Color: Verde claro
- Dimensiones de los granos (Figura 3.9):
 - Longitud = 12 a 14 mm
 - Ancho = 7 a 8 mm
 - Altura = 5 a 6 mm
- Peso de los granos:
 - 0.16 a 0.20 gramos (Seco con 12% de humedad)

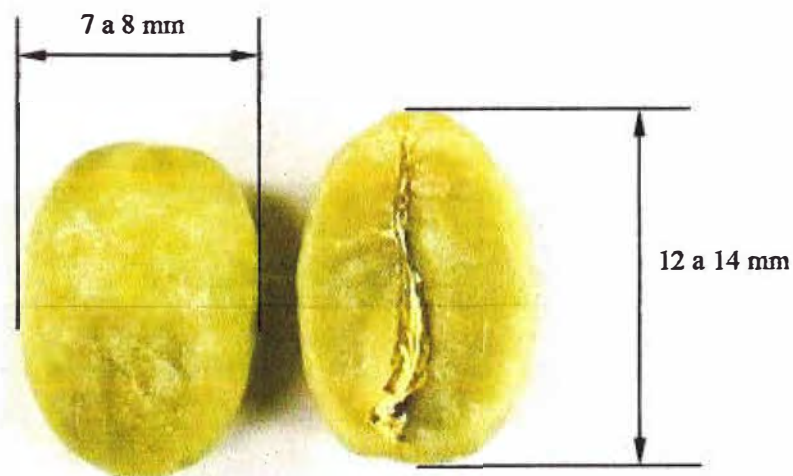


Figura 3.9: Granos de café verde
(Fuente: Elaboración propia)

Cálculos iniciales:

Aplicando la teoría de Newton para el movimiento rectilíneo se asume que el coeficiente de rozamiento es nulo, por lo tanto $f = \mu \times N = 0$; además como el grano cae libremente la velocidad inicial es cero y la aceleración del grano a través de la rampa es: $a = g \times \text{sen } 60^\circ$ (Figura 3.10).

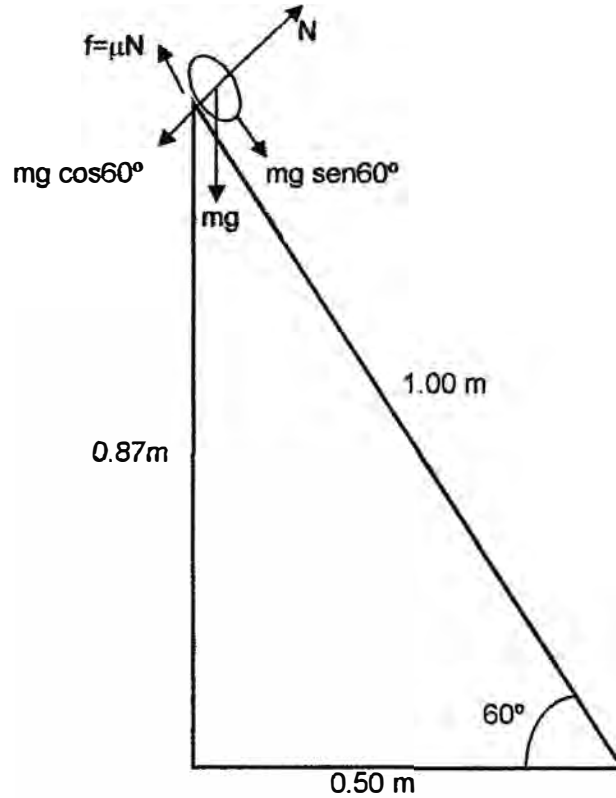


Figura 3.10: Diagrama de caída libre del grano por la rampa
(Fuente: Elaboración propia)

La longitud de la rampa por la cual el grano se desliza para alcanzar el anillo de sensado es de 1m lineal y la inclinación es de 60° . Aplicando las ecuaciones para un movimiento rectilíneo uniforme variado ideal, ecuaciones (3.1) y (3.2), se obtiene la velocidad del grano al pasar por el anillo de sensado:

$$v_f^2 - v_i^2 = 2ae \quad (3.1)$$

$$v_f = \sqrt{2g \text{sen} 60^\circ \times 1.00 \text{ m/s}}$$

$$v_f = \sqrt{2 \times 9.8 \times \left(\frac{\sqrt{3}}{2}\right) \times 1.00 \frac{\text{m}}{\text{s}}} = 4.12 \text{ m/s}$$

El tiempo necesario para analizar un grano está relacionado con la longitud y la variación de velocidad al pasar por el anillo de sensado, por tanto aplicando:

$$e = v_i t + \frac{1}{2} a t^2 \quad (3.2)$$

Donde: e = Menor longitud del grano

t = Tiempo de análisis del grano

$a = g \times \sin 60^\circ$

Con lo cual se obtiene:

$$0.012 = 4.12 t + \frac{1}{2} \times 9.8 \times \frac{\sqrt{3}}{2} t^2$$

Por lo tanto, se obtiene un tiempo $t = 2.90$ ms, el cual es el tiempo necesario máximo para el análisis de un grano:

$$t \text{ análisis} = 2.90 \text{ ms}$$

Si se considera una separación de 2 mm entre granos, el tiempo que transcurre desde el inicio del análisis de un grano y el inicio de análisis del grano siguiente se obtiene de:

$$0.014 = 4.12 t + \frac{1}{2} \times 9.8 \times \sqrt{3} / 2 t^2$$

Por tanto el tiempo que transcurre desde el inicio del análisis de un grano y el inicio de análisis del grano siguiente es de 3.38 ms, con lo cual se deduce que la capacidad del sistema para procesar es de 296 granos por segundo, esta cantidad puede aumentar para granos de menor longitud y si se disminuye la separación entre granos, pudiéndose alcanzar hasta 350 granos por segundo, esto equivale a una capacidad estimada de 200Kg/h de granos de café procesados en un canal de selección.

3.5.2 La Fibra óptica

La selección del tipo de fibra óptica obedece a la necesidad de utilizarla como medio de transmisión de las señales luminosas dentro del rango visible entre 400 nm y 700 nm de longitud de onda y señales de datos de baja velocidad por ello se debe elegir las fibras ópticas plásticas POF con coeficiente de atenuación bajo de 0.20 dB/m, aplicables a los sistemas industriales, la apertura numérica debe ser lo más reducida posible con la finalidad de garantizar selectividad al momento de captar las señales de color y concentrar los haces de luz de iluminación del grano, por ello se emplea una apertura numérica 0.5.

En los cálculos para selección de la lámpara es necesario establecer ciertas características de la fibra óptica, que permita transmitir las señales ópticas de luz a niveles apropiados para los sensores, estas características son:

1. Fibra óptica plástica FOP.
2. Diámetro de la fibra 1 mm.
3. Índice de refracción de 1.49

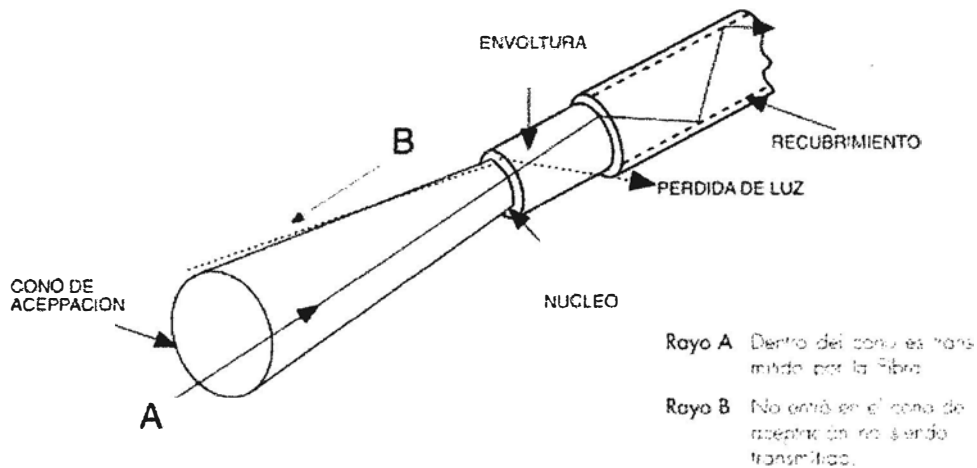


Figura 3.11: Cono de aceptación en fibras ópticas
(Fuente: Web Teledam)

4. Apertura numérica de 0.5 (Figura 3.11)

5. Baja atenuación 0.20 dB/m.

La fibra óptica FOP que cumple con estas características es la: **Polyethylene Jacketed Optical Fiber Cord: SH4001 de MITSUBISHI RAYON CO., LTD.**

3.5.3 El dispositivo de iluminación

La intensidad luminosa se calcula en función al requerimiento de intensidad luminosa de los sensores ópticos y las características de la fibra óptica.

El sensor a utilizar como parte del análisis es el TCS3103 de AMS-TAOS de tres canales RGB convierte la intensidad de luz a voltaje.

De la hoja técnica del sensor se extrae la responsividad de iluminación a partir de la responsividad de irradiación para los tres sensores RGB que componen el sensor óptico y la eficiencia luminosa, para una ganancia 1x, sabiendo que:

Para R:	$\lambda = 640 \text{ nm}$	$R_{er} = 0.40 \text{ mV} / (\mu\text{W}/\text{cm}^2)$	$\eta = 155 \text{ lm/W}$
Para G:	$\lambda = 524 \text{ nm}$	$R_{eg} = 0.25 \text{ mV} / (\mu\text{W}/\text{cm}^2)$	$\eta = 520 \text{ lm/W}$
Para B:	$\lambda = 470 \text{ nm}$	$R_{eb} = 0.20 \text{ mV} / (\mu\text{W}/\text{cm}^2)$	$\eta = 75 \text{ lm/W}$

La responsividad de iluminancia viene dado por: $R_{vx} = R_{ex} / \eta$

Por tanto:

Para R:	$\lambda = 640 \text{ nm}$	$R_{vr} = 2.5806 \text{ V} / (\text{lm}/\text{cm}^2)$
Para G:	$\lambda = 524 \text{ nm}$	$R_{vg} = 0.4808 \text{ V} / (\text{lm}/\text{cm}^2)$
Para B:	$\lambda = 470 \text{ nm}$	$R_{vb} = 2.6667 \text{ V} / (\text{lm}/\text{cm}^2)$

El sensor seleccionado presenta un área activa de $378 \mu\text{m} \times 378 \mu\text{m}$ y los valores dados son para una ganancia de 1x, para obtener el máximo voltaje de salida por color R, G ó B equivalente a 5 voltios se determina la iluminancia sobre la superficie activa del sensor.

Se tiene (3.3):

$$\text{Voltaje de salida} = \text{Responsividad de iluminancia} \times \text{Iluminancia} \quad (3.3)$$

Para R: $\lambda = 640 \text{ nm}$

$$\text{Iluminancia R} = E_r = \frac{5000 \text{ mV}}{2.5806 \text{ V} \frac{\text{cm}^2}{\text{lm}}} = 1.9375 \text{ lumen/cm}^2$$

Para G: $\lambda = 524 \text{ nm}$

$$\text{Iluminancia G} = E_g = \frac{5000 \text{ mV}}{0.48077 \text{ V} \frac{\text{cm}^2}{\text{lm}}} = 10.4000 \text{ lumen/cm}^2$$

Para B: $\lambda = 470 \text{ nm}$

$$\text{Iluminancia B} = E_b = \frac{5000 \text{ mV}}{2.6667 \text{ V} \frac{\text{cm}^2}{\text{lm}}} = 1.8750 \text{ lumen/cm}^2$$

Para garantizar una iluminación completa sobre la cara del sensor se debe considerar la distancia mínima entre la superficie del sensor y la superficie de la fibra óptica debido a la apertura numérica de la fibra óptica a utilizar.

Las fibras ópticas plásticas POF a utilizar son de 1mm de diámetro, de apertura numérica 0.5, un coeficiente de atenuación estándar de 0.20 dB/m y un índice de refracción de 1.49. Si $AN = 0.5 \rightarrow \theta = 30^\circ$

De la Figura 3. 12se deduce:

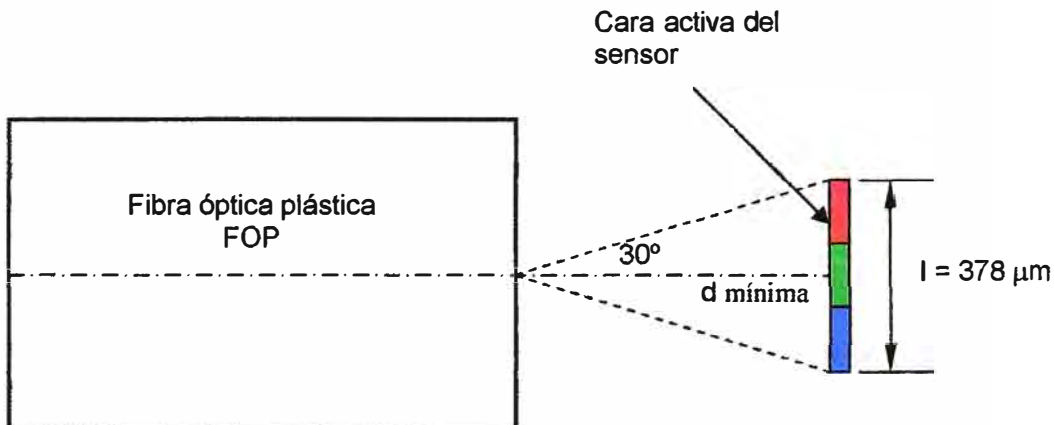


Figura 3.12: Distancia mínima de la FOP a la cara del sensor

(Fuente: Elaboración propia)

$$d \text{ mínima} = \frac{l}{2 \tan 30^\circ} = 0.327 \text{ mm}$$

Para fines prácticos se asume una separación de 1 mm (Figura 3. 13), por tanto el flujo necesario desde la fibra óptica hacia el sensor debe ser:

Para R:

$$\text{Flujo r} = F_r = 1.9375 \frac{\text{lumen}}{\text{cm}^2} \times \frac{(0.0378 \text{ cm})^2}{3} = 9.2279 \times 10^{-4} \text{ lumen}$$

Para G:

$$\text{Flujo g} = F_g = 10.4000 \frac{\text{lumen}}{\text{cm}^2} \times \frac{(0.0378 \text{ cm})^2}{3} = 4.9533 \times 10^{-3} \text{ lumen}$$

Para B:

$$\text{Flujo b} = F_b = 1.8750 \frac{\text{lumen}}{\text{cm}^2} \times \frac{(0.0378 \text{ cm})^2}{3} = 8.9303 \times 10^{-4} \text{ lumen}$$

El flujo total que atraviesa el sensor es:

$$F = F_r + F_g + F_b = 6.76912 \times 10^{-3} \text{ Lúmenes}$$

Entonces Intensidad luminosa es:

$$I = \frac{F}{\Omega} = \frac{F \times R^2}{A} = \frac{6.76912 \times 10^{-3} \times 1 \text{ mm}^2}{(0.378 \text{ mm})^2} = 0.04737 \text{ candelas}$$

El flujo total a la salida de la fibra óptica es:

$$F_1 = I \times \Omega = \frac{I \times A}{R^2} = \frac{0.04737 \times (2 \times \tan 30^\circ)^2}{1^2} = 0.06316 \text{ lumens}$$

Ahora bien, cuando la luz viaja a través del aire se inicia en esta un proceso de absorción y dispersión de manera tal que solo una parte no sufre modificaciones. La parte que es absorbida se debe a las partículas que lo componen como son los compuestos gaseosos uniformemente mezclados (CO₂, NO₂ y O₂), vapor de agua, la masa de aire, etc.

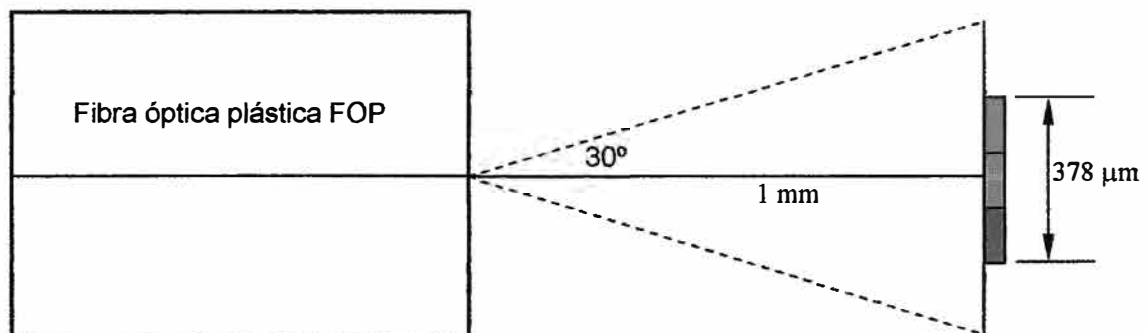


Figura 3.13: Distancia asumida de la FOP a la cara del sensor.

(Fuente: Elaboración Propia)

En cambio la radiación dispersada (scattering) no sufre cambios en su energía sólo es desviada de su trayectoria. Cuando una onda electromagnética interactúa elásticamente con una partícula, la misma es desviada en cualquier dirección. La radiación así dispersada se llama difusa. Todas las partículas de la naturaleza desde un electrón a un trozo macroscópico, interactúan con la radiación electromagnética dispersándola. Si el diámetro D de la partícula es $D \ll \lambda$ (longitud de onda) entonces la dispersión se

denomina de Rayleigh, toda la masa del aire está constituida por partículas de diámetro $0,2 \mu\text{m} - 10 \mu\text{m}$ mucho menor que la radiación de luz visible $400 \mu\text{m} - 760 \mu\text{m}$.

La intensidad I de la luz dispersada por una pequeña partícula en un haz de luz de longitud de onda λ e intensidad I_0 está dada por (3.4):

$$I = I_0 \frac{(1 + \cos^2 \theta)}{2R^2} \left(\frac{2\pi}{\lambda}\right)^4 \left(\frac{n^2 - 1}{n^2 + 2}\right)^2 \left(\frac{d}{2}\right)^6 \quad (3.4)$$

Donde R es la distancia a la partícula, θ es el ángulo de dispersión, n es el índice de refracción de la partícula y d es el diámetro de la partícula.

Como se puede apreciar en la fórmula de Rayleigh (3.4) el cálculo de la dispersión depende del ángulo de dispersión y la distancia, además de la longitud de onda, el índice de refracción y diámetro de la partícula, por lo tanto al estar la luz visible compuesta por ondas de diferentes longitudes y viajar en un medio de una composición compleja de partículas como lo es el aire, eligiendo como referencia de cálculos valores experimentales establecidos.

Por lo tanto, en la dispersión de Rayleigh las ondas son dispersadas en forma simétrica tanto hacia adelante como hacia atrás. Es decir que el porcentaje de partículas que son desviadas un ángulo pequeño de su trayectoria, por ejemplo dentro de 30° , son próximas al 50% y las que son desviadas casi 180° , por ejemplo $180^\circ \pm 15^\circ$ son casi otro 50%. De manera que el resto, una cantidad pequeña menor al 10% se desvia en cualquier otra dirección distinta de las denominadas.

Para una masa de aire $m = 1$ y $\lambda = 0,57 \mu\text{m}$ la transmitancia de la atmósfera es mayor del 85%, por tanto se asume este valor para los cálculos correspondientes.

De este modo, el flujo luminoso transportado por la fibra óptica hacia el sensor es:

$$F_2 = F_1 / 0.85 = 0.07431 \text{ lumens}$$

Debido a que el coeficiente de atenuación es de 0.20 dB/m, para una longitud de fibra de 2 metros, se tiene (3.5):

$$\text{Atenuación} = \text{coeficiente de atenuación } (\alpha) \times \text{Longitud} \quad (3.5)$$

$$\text{Atenuación} = 0.20 \text{ dB/m} \times 2 \text{ m} = 0.40 \text{ dB}$$

$$\text{Atenuación} = 10 \log (P_a/P_b)$$

$$0.040 = \log P_a - \log P_b$$

$$\log P_a = 0.040 + \log P_b$$

Análogamente como la $P=kF$ se tiene:

$$\log F_a = 0.040 + \log F_b$$

El flujo luminoso en el extremo inicial de la fibra debe ser:

$$F_3 = 0.08147 \text{ lúmenes}$$

Debido a la dispersión del aire se ha asumido una transmitancia de 85% para la luz visible, por tanto el flujo emitido desde el grano es:

$$F_4 = F_3 / 0.85 = 0.0958 \text{ lúmenes}$$

Con la finalidad de evitar que el sistema de iluminación del grano afecte directamente y deteriore los sensores por una sobresaturación se coloca la fibra óptica que ilumina con un ángulo mayor de 30° y menor que 90°, en forma práctica se selecciona un ángulo de 45° (Figura 3.14).

La Intensidad reflejada (3.6), es:

$$I = \phi / \Omega \quad (3.6)$$

Donde: I = Intensidad luminosa (candela)

ϕ = Flujo luminoso (lumen)

Ω = Ángulo sólido (estereorradián)

Además, (3.7): $A = \Omega \times R^2 \quad (3.7)$

Donde: A = Área de la superficie iluminada (m²)

R = Radio de la esfera que pasa por el área iluminada

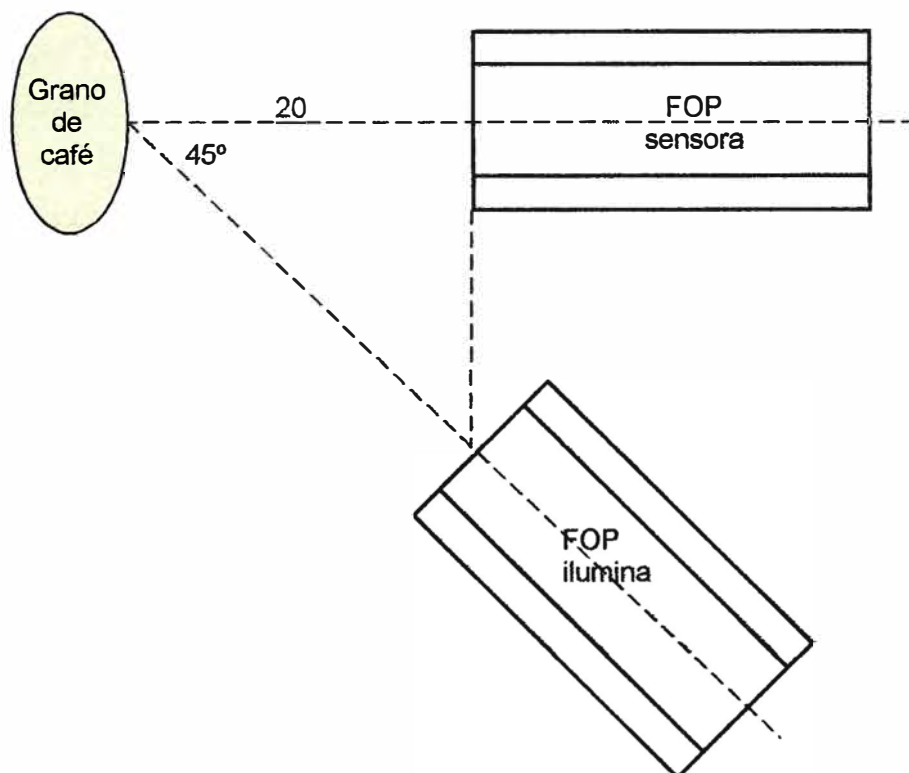


Figura 3.14: Angulo de iluminación del grano
(Fuente: Elaboración propia)

Por lo tanto, se tiene (3.8):

$$I = \frac{F}{\Omega} = \frac{F \times R^2}{A} = \frac{4 \times F \times R^2}{\pi \times D^2} \quad (3.8)$$

$$I = \frac{4 \times 0.0958 \times (20\sqrt{2} \text{ mm})^2}{3.1416 \times (1 \text{ mm})^2 \times \cos 45^\circ} = 69 \text{ candelas}$$

Se sabe que,

La luminancia (L) del grano está dada por (3.9):

$$L = \frac{I}{A} \cos \alpha \quad (3.9)$$

Donde: L = Luminancia (cd/m²)

I = Intensidad Luminosa en la dirección α (cd)

A = Área reflejada en (m²)

α = Ángulo comprendido entre la FO sensora y la normal al grano.

También, la luminancia (L) del grano viene dada por (3.10):

$$L = \frac{\rho \times E}{\pi} \quad (3.10)$$

Donde: L = Luminancia (cd/m²)

ρ = Grado de reflexión de la superficie en función del color

E = Iluminancia proyectada por la FO ilumina (Lux)

En la Tabla 3.3 se tiene el grado de reflexión de una superficie en función del color o material, se tiene, para el color verde claro: ρ = de 0.45 a 0.5

Los granos de café son aproximadamente de color verde claro, los mayores requerimientos ocurren para valores menores de ρ , por ello se toma el valor: $\rho = 0.45$

$$\text{Por lo tanto: } F5 = E \times A = \frac{I \times \pi}{\rho} \cos \alpha = \frac{69 \times 3.1416}{0.45} \times \cos 45^\circ = 340.62 \text{ lúmenes}$$

Debido a la dispersión del aire se ha asumido una transmitancia de 85%, por tanto el flujo emitido desde la fibra óptica que ilumina es: $F6 = 400.73$ lúmenes

Debido al coeficiente de atenuación de la fibra óptica (0.20 dB/m), para una longitud de fibra de 2 metros, se obtiene una atenuación de 0.40 dB, por lo tanto el flujo de iluminación a la entrada de la fibra óptica viene dado por: $\log F7 = 0.040 + \log F6$

Entonces, la intensidad requerida es de: $F7 = 439.39$ lúmenes

Por lo tanto, para seleccionar adecuadamente la lámpara principalmente se debe tener en cuenta además del Flujo luminoso (lúmenes), la eficacia luminosa (lúmen/watts), el índice de reproducción cromático (IRC) y la temperatura de color (°K).

Se puede seleccionar por ejemplo cualquiera de las siguientes lámparas:

1. MR16 SMD2323 Samsung de 6w, con flujo luminoso de 500 lúmenes, eficacia luminosa de 77.6 lm/w, IRC de 85, blanco frío (5500 a 6000°K), ángulo del haz de 30° y vida útil de 50,000 horas.

2. GU10 5W LED de 6w, flujo luminoso de 510 lúmenes, eficacia luminosa de 80 lm/w, IRC de mayor de 82, blanco frío (5500 a 6000°K), ángulo del haz de 20° y vida útil de 50,000 horas.

Tabla 3.3: Grado de reflexión de una superficie en función del color del material

(Fuente: Universidad de las Palmas de Gran Canaria)

Grado de reflexión de una superficie en función del color o material

colores	factor	colores	factor	materiales	factor
blanco	0.70÷0.80	verde oliva	0.25÷0.35	arce	0.60÷0.65
crema	0.70÷0.80	naranja	0.20÷0.25	abedul	0.60÷0.65
amarillo	0.55÷0.65	rojo	0.20÷0.25	ladrillo rojo	0.20÷0.25
verde claro	0.45÷0.50	azul medio	0.20÷0.25	bloque de cemento vibrado	0.15÷0.25
rosa	0.45÷0.50	gris medio	0.20÷0.25	hormigón	0.15÷0.40
azul claro	0.40÷0.45	verde oscuro	0.10÷0.15	roble claro	0.35÷0.45
gris claro	0.40÷0.45	azul oscuro	0.10÷0.15	roble rojo	0.20÷0.35
beig	0.25÷0.35	rojo oscuro	0.10÷0.15	roble oscuro	0.15÷0.20
amarillo ocre	0.25÷0.35	gris oscuro	0.10÷0.15	esmalte blanco	0.65÷0.75
castaño claro	0.25÷0.35	azul marino	0.05÷0.10	crystal claro	0.06÷0.08
negro	0.04÷0.05	negro	0.04÷0.05	placas de fibra de madera crema	0.50÷0.06
				azulejo blanco	0.60÷0.75
				nogal oscuro	0.15÷0.20
				revoque (yeso)	0.75÷0.80
				hollín	0.02÷0.10
				terciopelo negro	0.05÷0.10
				suelos de goma	0.04÷0.10

3.5.4 El microcontrolador

Para el caso en estudio se selecciona el PIC 18F4550 para el sistema de control y el PIC 16F877A solo para el manejo del display LCD, se ha seleccionado estos PICs considerando su bajo costo y disposición de mercado, existen otros PIC que presentan prestaciones similares y mejores pero ello elevarían los costos de fabricación. En el caso del PIC 18F4550 se ha considerado principalmente la necesidad de mejorar los tiempos de conversión del A/D y el procesamiento de las instrucciones, en el caso del PIC 16F877A por su necesidad de comunicación con el PIC 18F4550.

Procesamiento de datos

Para el sistema en estudio, se dedujo que cada grano debe ser analizado en un tiempo máximo aproximado de 2.9 ms mediante 16 sensores ubicados simétricamente alrededor de un anillo circular, el cual atraviesan por su centro por los granos en caída libre, a su vez cada sensor entregan al microcontrolador, por medio de los multiplexores, tres señales de voltaje correspondiente a los colores rojo, verde y azul del punto en

evaluación, esto quiere decir que mediante el microcontrolador se debe analizar tres veces el número de puntos de evaluación en el grano en un tiempo de 2.9 ms.

El convertidor análogo digital (DAC)

Debido al alto número de señales a evaluar para cada grano, para la digitalización se requiere un tiempo muy reducido para procesarlas, como se está analizando señales analógicas éstas previamente se deben digitalizar para luego analizarlas mediante el microcontrolador (Figura 3.15), la digitalización presenta limitaciones en cuanto a tiempos de conversión, dichos tiempos dependen no solo de la frecuencia del oscilador del PIC sino también del aspecto constructivo del PIC como son las resistencias internas del interruptor de conmutación del condensador de retención interior y la resistencia de la fuente conectada al PIC que entrega la señal analógica, prolongando los tiempos de carga y descarga del condensador de retención, por ello se analiza el uso del PIC 18F4550 que posee un tiempo de conversión muy bajo.

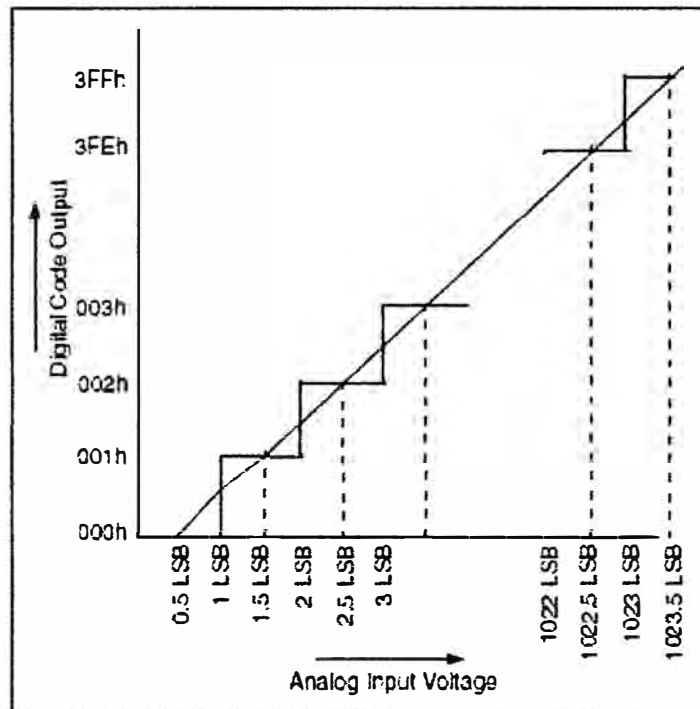


Figura 3.15: Función de transferencia A/D del PIC 18F4550
(Fuente: Data sheet Microchip)

Como el condensador de retención no se puede conectar a través de resistencia serie nula a la señal analógica de entrada, tarda cierto tiempo en cargarse, y de igual forma, al desconectarse de la entrada y aplicarse al amplificador de retención (buffer) se produce una oscilación en su voltaje durante un pequeño tiempo (apertura Jitter), la conversión no debe empezar antes de que el voltaje en el condensador se haya capturado y se haya estabilizado luego de conmutarlo al amplificador. Este tiempo se denomina tiempo de

adquisición y está influenciado por otros aspectos además de los anteriormente mencionados (como por ejemplo la temperatura y el voltaje de alimentación).

En consecuencia, el tiempo total para obtener un voltaje analógico convertido a digital, dentro de un error admisible previamente establecido, involucra tanto el tiempo de adquisición como posteriormente el tiempo de conversión. Este período conjunto se denomina período de muestreo y el máximo número de muestras por segundo, para cierta cantidad de error admitido, es el inverso de dicho período y se mide en muestras por segundo (sps).

El tiempo de conversión de una señal analógica a una señal digital se expresa por el tiempo de adquisición (T_{acq}), el tiempo de conversión de los bits ($T_{ad\ cycle}$) y el tiempo de descarga del condensador de retención ($T_{discharge}$).

El tiempo de adquisición (T_{acq}) es la suma de los tiempos de estabilización del amplificador (T_{amp}), tiempo de carga del capacitor de retención (T_c) y un tiempo por coeficiente de temperatura (T_{coff}) (Figura 3.16):

$$T_{acq} = T_{amp} + T_c + T_{coff}$$

Los valores de cada uno se pueden ver en la siguiente figura:

T_{ACQ}	=	$T_{AMP} + T_c + T_{COFF}$
T_{AMP}	=	$0.2\ \mu s$
T_{COFF}	=	$(Temp - 25^{\circ}C)(0.02\ \mu s/^{\circ}C)$ $(85^{\circ}C - 25^{\circ}C)(0.02\ \mu s/^{\circ}C)$ $1.2\ \mu s$
Temperature coefficient is only required for temperatures $\geq 25^{\circ}C$. Below $25^{\circ}C$, $T_{COFF} = 0\ ms$.		
T_c	=	$-(CHOLD)(R_{IC} + R_{SS} + R_s) \ln(1/2048)\ \mu s$ $-(25\ pF)(1\ k\Omega + 2\ k\Omega + 2.5\ k\Omega) \ln(0.0004883)\ \mu s$ $1.05\ \mu s$
T_{ACQ}	=	$0.2\ \mu s + 1.05\ \mu s + 1.2\ \mu s$ $2.45\ \mu s$

Figura 3.16: Cálculo del mínimo tiempo de adquisición requerido

(Fuente: Data sheet Microchip)

Del cual se deduce que: $T_{acq} = 0.2\ \mu s + 1.05\ \mu s + 1.2\ \mu s = 2.45\ \mu s$ tiempo muy reducido comparado con otros PIC cuyo tiempo de adquisición es de $20\ \mu s$.

En el PIC 18F4550 el tiempo de adquisición puede ser programable vía software mediante los bits **ACQT2:ACQT0** del registro de control del AD **ADCON2**.

El tiempo de conversión de los bits ($T_{ad\ cycle}$) depende del tiempo de estabilización (T_{thcap}) luego que el condensador de retención es desconectado de la entrada y conectado al comparador interior, del número de bits de la conversión AD (nT_{ad}) y de la

frecuencia del oscilador y del tiempo de descarga del capacitor de retención ($T_{\text{discharge}}$) (Figura 3.17).

$$T_{\text{ad cycle}} = T_{\text{hcap}} + n \times T_{\text{ad}} + T_{\text{discharge}}$$

$$T_{\text{ad cycle}} = 1 T_{\text{ad}} + 10 \times T_{\text{ad}} + T_{\text{ad}} = 12 T_{\text{ad}}$$

Por lo tanto el tiempo de muestreo está dado por:

$$T_{\text{muestreo}} = T_{\text{acq}} + T_{\text{ad cycle}}$$

Donde el T_{ad} es el tiempo empleado para convertir un bit.

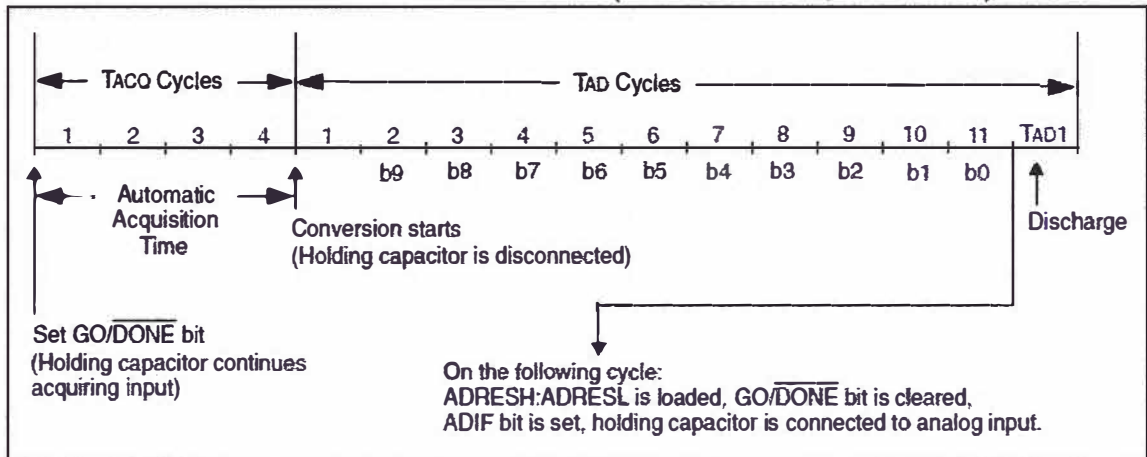


Figura 3.17: Ciclo de conversión de bits del A/D

(Fuente: Data sheet Microchip)

En el PIC 18F4550 el valor mínimo del T_{ad} es de 700 ns , si se analiza para un valor de $T_{\text{ad}} = 800 \text{ ns}$ y $F_{\text{osc}} = 20 \text{ Mhz}$, como el tiempo de adquisición (T_{acq}) es programable y depende del valor del T_{ad} , se programa para $4T_{\text{ad}}$ el cual se aproxima al valor de $2.45 \mu\text{s}$ calculado, se tiene:

$$T_{\text{muestreo}} = 4 T_{\text{ad}} + 12 T_{\text{ad}} = 16 T_{\text{ad}} = 12.8 \mu\text{s}$$

$$F_{\text{muestreo}} = 78.125 \text{ Khz}$$

Ahora bien considerando que el número de instrucciones del programa de control del PIC que se ejecutarán durante el modo de selección de granos es de aproximadamente 70 y que cada instrucción se ejecuta en un $4T_{\text{osc}}$, se deberá cumplir:

$$3 \times T_{\text{muestreo}} + 70 \times 4 T_{\text{osc}} = 2900 \mu\text{s} / \# \text{ puntos}$$

Por lo tanto se obtienen 55 puntos de muestreo alrededor del grano, eso quiere decir que para lograr el objetivo de tomar 64 puntos de muestreo alrededor del grano se debe mejorar el tiempo de muestreo (T_{muestreo}), una forma de lograrlo es reduciendo el número de instrucciones del programa de control del PIC por ejemplo a 50 y mejorando el tiempo de adquisición del A/D (T_{acq}) para lograrlo se debe hacer que la impedancia de la fuente analógica sea lo más baja posible, así si el $T_{\text{acq}} = 1.45 \mu\text{s}$ se puede programar el tiempo de adquisición igual a $2T_{\text{ad}}$ con ello se logra que:

$$T_{\text{muestreo}} = 2 T_{\text{ad}} + 12 T_{\text{ad}} = 14 T_{\text{ad}} = 11.2 \mu\text{s}$$

$$3 \times T_{\text{muestreo}} + 50 \times 4 T_{\text{osc}} = 2900 \mu\text{s} / \# \text{ puntos}$$

Con lo cual se logra obtener 66 puntos de muestreo.

Entradas / Salidas

El sistema en estudio utiliza tres multiplexores de 16 canales para obtener la información de color de los granos, las salidas de estos se conectan directamente al microcontrolador PIC gracias a su compatibilidad de tecnología TTL, adicionalmente se emplean tres entradas analógicas que provienen directamente de los sensores convertidores de la señal de color para el sensor que verifica la presencia de granos en el anillo de sensado.

Para los pulsadores de arranque y parada se requieren de dos entradas digitales, el pulsador de reinicio se conecta directamente sobre el terminal MCLR, el puerto B se emplea para conectar las entradas y salidas de comando del teclado matricial.

Tres salidas digitales se utilizan para comandar las señales de control de la electroválvula de aire, la lámpara y el vibrador.

Para el control de operación de los multiplexores se requieren de tres salidas digitales para direccionar los puertos de entrada de los multiplexores y otra salida digital comandará la habilitación de los mismos.

El puerto B se utiliza para el comando del teclado.

El display LCD se comanda por el PIC 16F877A a fin de reducir los tiempos de ejecución del programa debido a los retardos que se deben generar para mostrar los datos en pantalla.

Memoria

Para el sistema en estudio no es necesario almacenar permanentemente la información de cada punto o de cada grano analizado puesto que la comparación de cada uno es en tiempo real y para ellos utilizaremos la memoria RAM, los datos que requieren ser almacenados en forma no volátil (EEPROM) son los utilizados como base referencial de comparación, los de base de calibración, los de producción, etc. los cuales en número no exceden de 100.

La memoria del programa (FLASH) se determina con la programación y se estima no requiere grandes cantidades por lo que se asume un valor máximo de 1Kwords.

El microcontrolador PIC 18F4550 incorpora tres tipos de memoria: la memoria de programa, la memoria de datos RAM y la memoria de datos EEPROM. las memorias de programa y datos utilizan buses separados lo que le permite acceso simultáneo de los dos espacios de memoria.

La memoria de programa (FLASH) tiene una capacidad de 32Kbyte de memoria y puede almacenar hasta 16,384 instrucciones simples, la memoria de datos RAM es de 2048 bytes y la memoria de datos EEPROM es de 256 bytes, capacidad suficiente para el control del sistema.

Ancho de palabra

El microcontrolador PIC 18F4550 seleccionado para controlar el funcionamiento del sistema posee un convertidor análogo digital de 10 bits lo cual permite diferenciar un total de 1,073'741,824 colores y un error de 1/2 LSB, lo que garantiza una gran precisión al momento de comparar las señales de color, las direcciones son de 2 bytes y los datos son de 1 byte. Para el sistema los datos sensados son 3 niveles de tensión analógicos que son amplificados a niveles entre 0 y 5 voltios correspondientes a los colores: rojo, verde y azul los cuales son digitalizados y convertidos en palabras de 10 bits con lo cual se obtiene una precisión de 4.88 mV.

3.5.5 Consumo eléctrico

Algunos productos que incorporan microcontroladores están alimentados con baterías y su funcionamiento puede ser tan vital como activar una alarma antirrobo. Lo más conveniente en un caso como éste puede ser que el microcontrolador esté en estado de bajo consumo pero que despierte ante la activación de una señal (una interrupción) y ejecute el programa adecuado para procesarla.

Tabla 3.4: Tabla de consumos eléctricos por dispositivo
(Fuente: Elaboración propia)

TABLA DE CONSUMOS POR DISPOSITIVO					
Item	Dispositivo	Cantidad	Tensión (Voltios)	Corriente (mAmperios)	Potencia Total (mWatts)
1	Sensores	17	5 DC	0.270 / 0.500	23 /42.5
2	Multiplexores	3	5 DC	50	750
3	PIC	2	5 DC	200	2000
4	LCD	1	5 DC	4	20
5	Lámpara	1	12 DC	500	6000
6	Válvula	1	24 DC	291.7	7000
7	Vibrador	1	220 AC	180	15000

3.5.6 Salida de control y sistema de rechazo

El sistema para su control posee un sistema de accionamiento eléctrico de una electroválvula de 2 vías que es accionada por el PIC cuando un grano no cumple con los

características mínimas de color establecidas por el usuario, el accionamiento es mediante un sistema opto-acoplado accionado directamente por el PIC, debido a la tensión de operación de la válvula es de 24 VDC.

La válvula neumática debe tener capacidad de operar en tiempos menores que el tiempo que demora un grano atravesar el anillo de sensado, es decir de ser capaz de accionar durante tiempos menores de 2.9 ms y accionar cada 0.48 ms, es decir se requiere de electroválvulas de apertura rápida y cierre rápido, además entregar un flujo de aire necesario para desviar la caída libre del grano hacia otra dirección por donde los granos son rechazados.

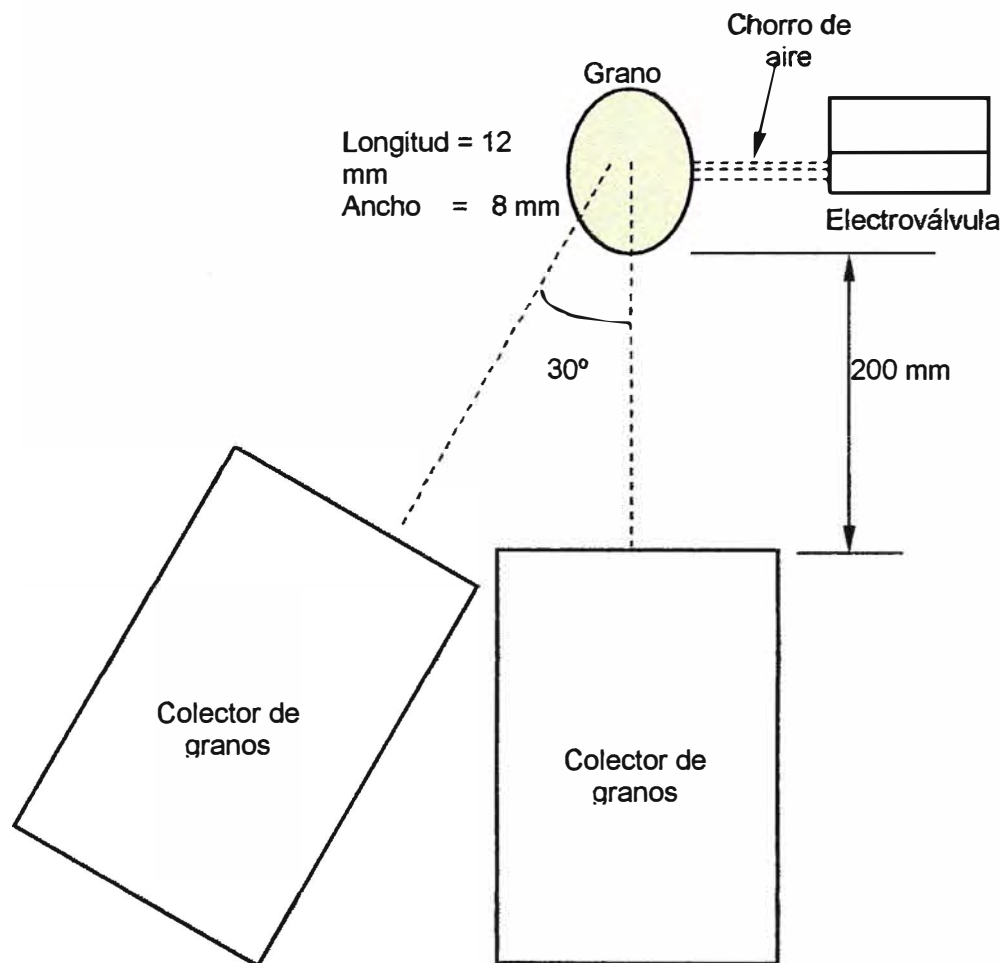


Figura 3.18: Sistema para el rechazo de granos
(Fuente: Elaboración Propia)

Unas de las válvulas que cumplen con estas características son de la serie MHJ de FESTO, las cuales han sido diseñadas para este tipo de aplicaciones.

Si se requiere desviar en 30° la trayectoria de los granos defectuosos de manera que puedan ser colectados hacia otro depósito (Figura 3.18), se tiene (3.11).

En el plano de la trayectoria del grano:

$$e = v_0 t + \frac{1}{2} a t^2 \quad (3.11)$$

$$200 = 4510 t + \frac{1}{2} \times 9800 \times \frac{\sqrt{3}}{2} \times t^2$$

$$4243.52 t^2 + 4510 t - 200 = 0$$

$$t = \frac{-4510 \pm 4871.85}{8487.04}$$

$$t = 42.6356 \text{ ms}$$

Calculando la aceleración del grano en la dirección perpendicular del movimiento (3.12), entregada por la fuerza del chorro de aire:

$$d = v_0 t + \frac{1}{2} a t^2 \quad (3.12)$$

como: $V_0 = 0$

$$115.47 = \frac{1}{2} \times a \times (0.0426356)^2$$

$$a = 127.044 \text{ m/s}^2$$

Luego la fuerza de impulso es:

$$F = 20.327 \text{ gr m/s}^2$$



Ultrarrapidez

Ultrarreproducibilidad

Ultraduración

Figura 3.19: Válvula de conmutación rápida de 2/2 vías “Jet Valve” MHJ10 de FESTO
(Fuente: Festo AG & Co. KG)

Despreciando la disipación del aire y asumiendo que el choque del chorro de aire contra el grano es absolutamente inelástico. Según la segunda ley de Newton, la variación de la cantidad de movimiento del agua durante el intervalo de tiempo ΔT es:

$$\Delta m \times v = F \times \Delta t \quad (3.13)$$

Donde, $\Delta m = \rho(\pi d^2/4)v$ es la masa del aire que pasa durante el intervalo de tiempo Δt a través de la sección transversal de la válvula neumática.

Por lo tanto, para una válvula de 3 mm de orificio, se obtiene (3.14):

$$F = \frac{\rho \times \pi \times d^2}{4} \times v^2 \quad (3.14)$$

$$1300 \times \frac{\pi}{4} \times 0.003^2 \times v^2 = 20.327$$

$$v = 23.52 \text{ m/s}$$

Se sabe que $Q = v \times A$:

$$Q = 23.52 \times \frac{\pi}{4} \times 0.006^2$$

$$Q = 39.9 \text{ lt/min}$$

Del catálogo de válvulas de conmutación rápida de FESTO se selecciona la válvula de asiento de 2/2 vías, tipo "Jet Valve" MHJ10-LF (Figura 3.19), accionamiento directo, reposición por aire, con un caudal nominal de 50 lt/min, opera a una presión de hasta 6 bar y 24 VDC, consumo máximo 7 watts, tiempo de conmutación apertura de 0.8 ms, tiempo de conmutación de cierre de 0.5 ms a 2 bar de presión, precisión de repetición de 0.1 ms y duración superior a los 5000 millones de conmutaciones.

En el Anexo A se muestran los diagramas de los circuitos correspondientes a las fuentes de alimentación para la electrónica de control de control, lámpara de iluminación, y electroválvula de aire, diagrama de potencia para la electroválvula de aire y diagrama del sistema de control.

3.6 Programación del microcontrolador

Este acápite presenta las características del programa de control que debe ser grabado en los microcontroladores PIC 18F4550 y PIC 16F877A.

Como se describió en el capítulo anterior el PIC 18F4550 es el encargado de operar el funcionamiento y control del sistema cumpliendo el papel de maestro y el PIC 16F877A es el encargado de manejar el display del LCD cumpliendo el papel de esclavo.

El programa de control se elabora en lenguaje C y debe estar dividido en modos de operación mediante el empleo de funciones.

Definiciones

De acuerdo a lo realizado en los capítulos anteriores el programa debe definir un reloj de 20 Mhz, un ADC de 10 bits, una operación de alta velocidad, la comunicación via RS232 a una velocidad de 9600 baudios e incluirse los drivers para el teclado, display LCD y memoria EEPROM, también se puede definir una protección para el programa y perro guardián pero estos no condicionan el funcionamiento del sistema.

Modo configuración de clave

La función de este modo es facilitar al usuario el generar claves necesarias para el control y operación del equipo, lo cual le garantiza que solo personal autorizado pueda manipular los parámetros de ajuste de los colores para la selección evitando fallos en el proceso productivo por manipulación inadecuada, puede facilitarse el acceso de claves por dígitos del 0 al 9 y el número de dígitos debe ser incluido previamente en la programación.

Modo parámetros de control

Es en este nivel donde se utiliza la clave configurada anteriormente para ingresar a modificar los parámetros de control correspondiente a los valores porcentuales de los colores, para el caso en estudio se trata del blanco, verde, rojo, marrón y negro, esto permitirá definir el rango de aceptación en los colores de los granos garantizando uniformidad de color, estos datos son grabados en la memoria EEPROM.

Modo Leer datos

Esta función sirve para realizar la lectura de los datos analógicos correspondientes a las señales luminosas captadas por los sensores de color e ingresarlas al PIC para su digitalización, previamente un sensor conectado directamente al microcontrolador verifica la existencia de un grano en el anillo de sensado para de esta forma evitar señales falsas y datos erróneos.

Esta función es llamada por otras funciones como la calibración y selección.

Modo Calibración de color

Esta función se encarga de calibrar los colores de los granos a valores estándar y que servirán de referencia para la selección, se emplea de dos maneras para la calibración por mantenimiento o por calibración para reajustar los parámetros de referencia. Los valores son almacenados en la memoria EEPROM y corresponden a los colores rojo(R), verde(G) y azul(B).

Para acceder a esta función se requiere ingresar una clave autorizada que debe ser previamente grabada por software.

Modo arranque

Esta función es la encargada de procesar los datos recibidos de los sensores, acondicionarlos y compararlos para luego de analizados proceder a su aceptación o rechazo.

Modo preparación

En esta función el sistema prepara la información necesaria para iniciar la operación de selección, lee la data referencial y la adecúa para su utilización en el modo arranque.

Modo selección

Es la función encargada de manejar los pulsadores de arranque y parada del proceso de selección, es decir es la que permite el inicio o finalización del proceso de selección.

Main

Aquí se definen los bits que controlan las direcciones de los multiplexores, las entradas y salidas de los puertos, el reloj del ADC, se leen los datos referenciales almacenados en la EEPROM y ejerce el control para acceder a las funciones del programa.

En el Anexo B se muestra el programa de simulación en lenguaje C.

CAPITULO IV

ANÁLISIS Y PRESENTACIÓN DE RESULTADOS

En este capítulo se presentan y comentan los resultados de las simulaciones realizadas del sistema electrónico y utilizando software común con la teoría empleada para comparar los colores.

Para realizar la simulación del sistema y ante la falta de librerías que permitan realizar una simulación con componentes idénticos a los seleccionados para el tipo de dispositivo sensor utilizado en el sistema, se ha recurrido a dos formas:

Una simulación en archivo Excel donde se parte de los valores digitalizados para 8 bits y se toma un color referencial en base a sus colores RGB correspondientes que se obtienen del sistema Microsoft, se definen los parámetros de color del usuario, estos parámetros de corresponden a los colores que se presentan en los granos inmaduros, sobre maduros, podridos, picados, etc., para el caso del café, son: blanco, verde, rojo, marrón y negro, de tal modo que tomando un numero de colores que simulan ser puntos de color recibidos por los sensores son comparados con los referenciales dentro de los rangos definidos por el usuario para verificar la presencia de un grano indeseable, en esta simulación se emplea los mismos criterios que se emplean en el programa de control

La otra simulación es realizada en PROTEUS donde se parte como señales de color voltajes en DC de 0 a 5 Voltios para cada color rojo(R), verde (G) y azul (B) que corresponden a las salidas de los sensores de color, se utiliza un multiplexor analógico de 8 canales por la falta de librería de un multiplexor de 16 canales, el accionamiento de las electroválvulas, lámpara y vibrador es simulado mediante el encendido de leds.

Al ingresar al modo de selección el microprocesador maestro 18F4550 se prepara para iniciar el proceso tomando lectura de la data almacenada en la memoria EEPROM, data que corresponde a los valores referenciales calibrados y de los parámetros de selección establecidos por el usuario; luego envía señales para el encendido del vibrador y lámpara y a continuación espera que los granos atraviesen el anillo de sensado para iniciar la toma de muestras de color de su superficie.

4.1 Simulación con Excel











Se tomó una muestra referencial de un color verde aproximado al color de un grano

de café verde arábigo cuyos colores RGB generados por los sensores de color y digitalizados por el micro controlador serían R=187, G=212 y B=118 que corresponden a los colores primarios rojo, verde y azul respectivamente, estos valores transformados al sistema HSL son: H=54, S=133 y L=165; luego se tomaron una serie de 20 muestras de colores diferentes aproximados a los color referencial y a coloraciones que pudieran presentar los granos, cuyos valores en los sistemas RGB y HSL se muestran en la segunda y tercera columna, aquí se aprecia como en el sistema RGB los 3 valores varían significativamente inclusive en los colores muy aproximados al color referencial, en cambio en el sistema HSL los colores aproximados al color referencial tan solo la variación se aprecia en un solo valor, esto nos permite evaluar comparativamente los valores obtenidos en un grano; en las siguientes 5 columnas se hace una comparación por cada color predeterminado, blanco, verde, rojo, marrón y negro para el caso del café, este valor porcentual determina un rango de aceptación del color el cual si se encuentra fuera del rango es marcado como: "no cumple", el cual se refleja en el resultado final en un rechazo del grano y es marcado como: "rechazado".

En el Anexo C se presenta los resultados de la Tabla de Prueba en Excel.

Tabla 4.1 Resultados de la evaluación de las muestras con Excel de Microsoft

(Fuente: Elaboración propia)

ITEM	PALETA DE COLORES		VALORES RGB			VALORES HSL			COLORES Y PORCENTAJES PERMITIDOS					RESULTADO FINAL
	COLOR		R	G	B	H	S	L	BLANCO	VERDE	ROJO	MARRON	NEGRO	
	REFERENCIA		187	212	118	54	133	165	10%	95%	5%	5%	2%	
1	M		192	215	127	54	133	171						
2	U		211	227	167	54	133	197	no cumple	no cumple	no cumple	no cumple		
3	E		236	243	223	53	142	228	no cumple	no cumple	no cumple	no cumple		
4	S		168	148	112	27	63	140		no cumple	no cumple	no cumple	no cumple	
5	T		194	81	62	6	133	128		no cumple	no cumple	no cumple	no cumple	
6	R		14	10	10	0	43	12		no cumple	no cumple	no cumple	no cumple	
7	A		179	214	116	58	139	165						
8	S		195	213	117	51	136	165						

4.2 Simulación con Proteus

Para la simulación en Proteus se ha elaborado un circuito conformado por un PIC 18F4550 para el sistema de control el mismo que controla 6 entradas analógicas, 3 para las 8 muestras multiplexadas y 3 para el sensor de presencia de grano, 4 salidas digitales para el control de los multiplexores, 3 salidas digitales para el control del interruptor de conmutación y una para la habilitación del dispositivo, las 8 entradas/salidas del puerto B para control del teclado matricial, 2 entradas digitales para los pulsadores de arranque y parada y 3 salidas digitales para la activación del vibrador, lámpara y electroválvula neumática. Asimismo, se incluyó un PIC 16F877A exclusivamente para controlar el display LCD el cual se comunica con el PIC 18F4550 vía RS232.

Para el sistema de control se ha elaborado un programa en lenguaje C que permite

simular en forma real la operación de una máquina construida para este fin.

En la simulación se introducen 8 de las 20 muestras utilizadas en la simulación en Excel (Tabla 4.1) lo cual permite verificar los resultados, se debe tener en cuenta que en esta simulación las comparaciones son a 10 dígitos y no a 8 dígitos como se ha realizado en Excel.

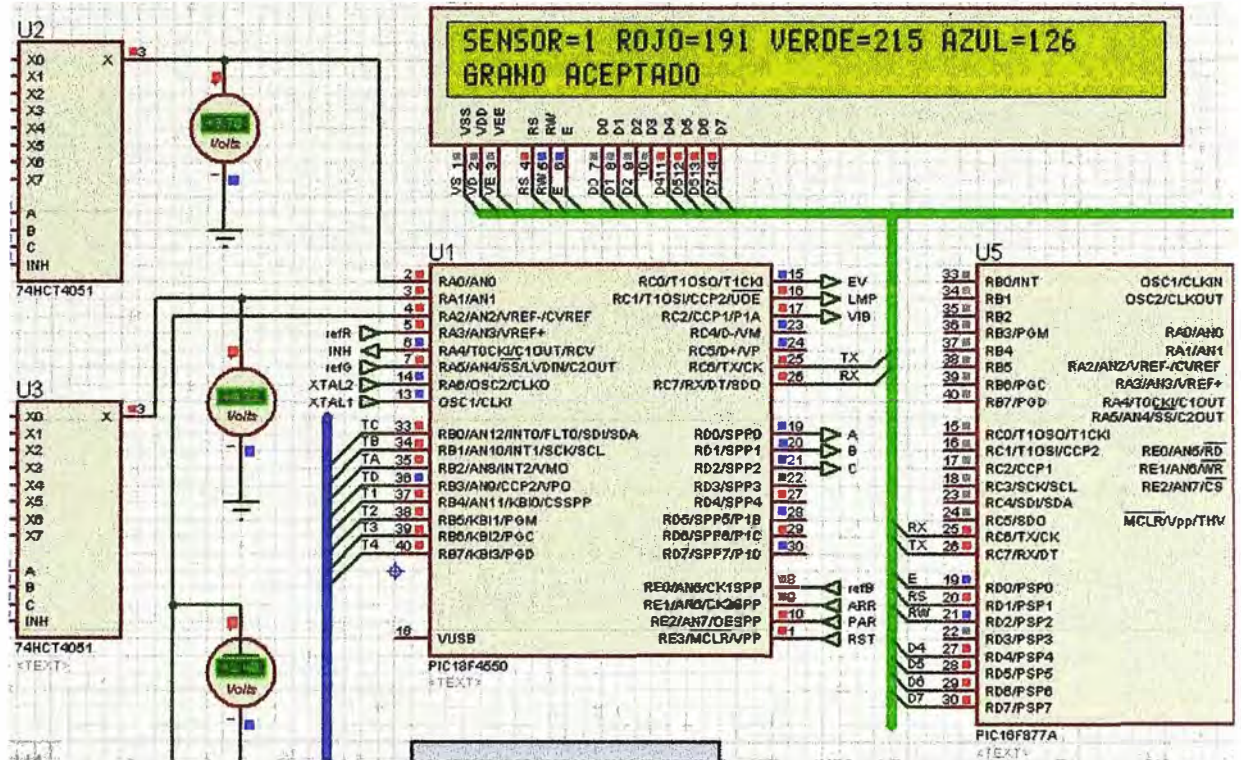


Figura 4.1 Resultado de la simulación del circuito electrónico con PROTEUS para aceptación de una muestra
(Fuente: Elaboración propia)

Como señal de presencia de grano se han tomado valores comprendidos entre 1 y 4 voltios los cuales define si la muestra detectada es realmente un grano o se trata de señales parásitas, la pantalla de display LCD se adecuó para emitir información de los datos de las muestras y sus resultados.

En la Figura 4.1 del resultado de la simulación del circuito electrónico con PROTEUS se observa que los datos que ingresan por el sensor número 1 corresponden a los valores tomados en la simulación con EXCEL y corrobora la aceptación de la muestra.

En la Figura 4.2 se observa el resultado de la simulación para los valores del sensor número 3 los cuales corresponden a los valores presentados en la tabla 4.2 y que igualmente rechaza la muestra por no ajustarse al rango de valores requeridos.

Debe notarse que el color de una muestra puede no cumplir con más de uno de los cinco parámetros de color previstos y por lo tanto el grano podría ser rechazado por no encontrarse dentro del rango exigido por el usuario en cualquiera de estos.

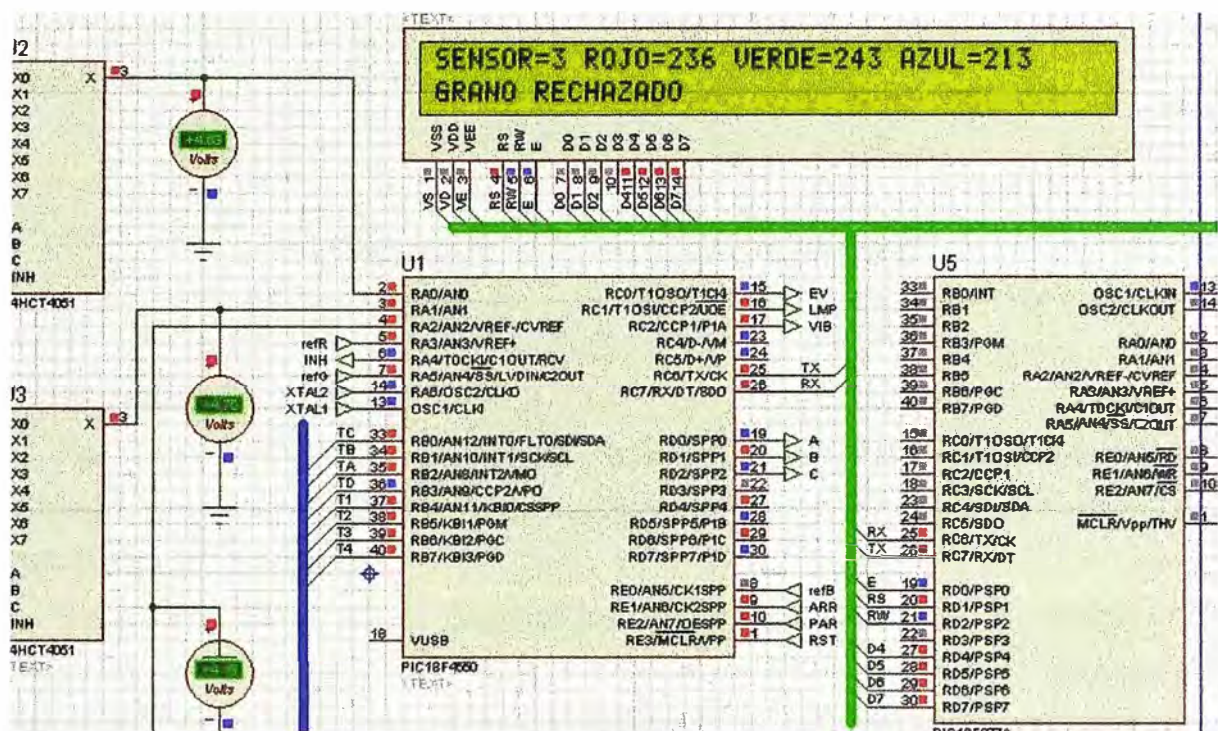


Figura 4.2 Resultado de la simulación del circuito electrónico con PROTEUS para el rechazo de una muestra
(Fuente: Elaboración propia)

4.3 Costos de implementación

En el ANEXO D se muestra una estructura de costos estimados para la fabricación de una máquina automática seleccionadora de granos de 1.2 Ton/hr de capacidad de procesamiento, la cual consta de 6 canales de selección, como se aprecia el resultado final, el costo de la fabricación nacional alcanza los S/ 23,345.00.

Una máquina de similares características de procesamiento tiene un valor FOB de USD 35,000 a 40,000 (S/ 89,250 a S/ 102,000) en marcas renombradas y de fabricación China un valor de USD 20,000 a 25,000 (S/ 51,000 a S/ 63,750).

Por tanto, es posible fabricar máquinas nacionales de este tipo que cubran las necesidades del mercado interno a precios muy competitivos al tener márgenes de precios amplios, con el agregado de tener repuestos y mano de obra local para efectuar labores de mantenimiento programado.

Asimismo, es posible llegar a competir con otros fabricantes a nivel mundial sobre todo a nivel regional por caracterizarse de un mercado de producción de granos muy grande.

4.4 Tiempo de ejecución

En el ANEXO E se muestra el diagrama de Gantt con el detalle de las actividades a desarrollar para la fabricación de una máquina seleccionadora donde se implemente el sistema propuesto en el presente informe.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

CONCLUSIONES

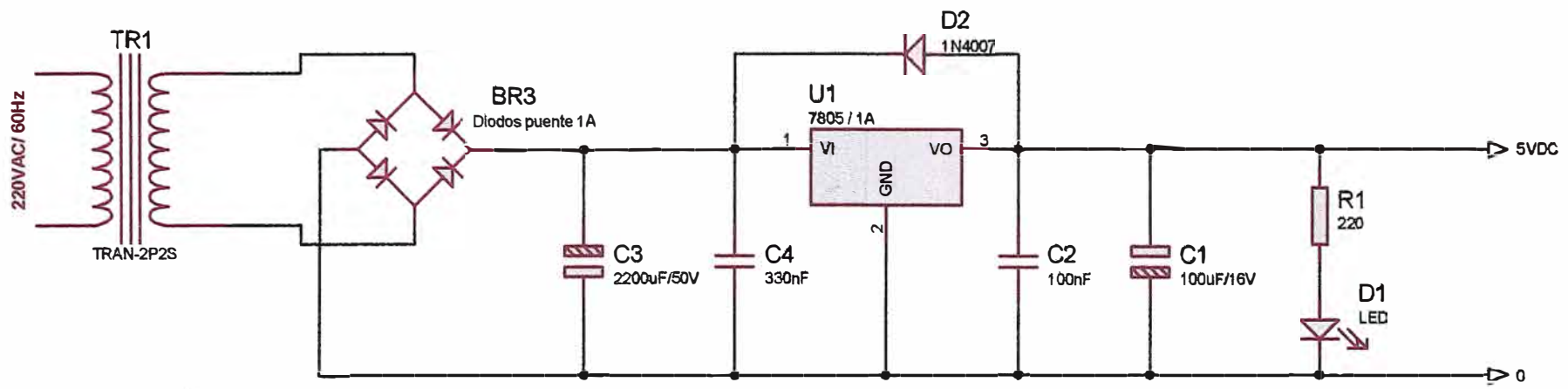
1. Es posible realizar una selección de granos de alta precisión usando conceptos de medición y cuantificación del color mediante sistemas electrónicos a muy altas velocidades de clasificación.
2. Es posible utilizar en su mayoría dispositivos electrónicos de uso común y de existencia en el mercado local para la fabricación de la(s) tarjeta(s) electrónica(s) necesarias para la fabricación del equipo clasificador, el resto de componentes periféricos tales como: electroválvula, lámpara, etc. también es posible encontrarlo localmente.
3. El empleo de fibras ópticas para la transmisión de las señales luminosas de color hacia los sensores otorga robustez al sistema frente a daños mecánicos y condiciones críticas en áreas de trabajo sobre todo donde existe mucha polución garantizando su funcionalidad y continuidad operativa, frente a otros sistemas que emplean cámaras del tipo CCD.
4. El diseño del programa es muy importante en el funcionamiento óptimo del sistema puesto que se puede lograr auto-calibraciones capaces de filtrar variaciones en el proceso debido a ensuciamiento de polvo en las fibras ópticas en procesos continuos de muchas horas de labor.
5. La utilización de una máquina clasificadora con este tipo de sistema requiere espacios reducidos para procesar grandes volúmenes de granos pudiendo llegar a procesar más de una tonelada de granos por hora con una máquina de 6 canales, empleando un solo sistema electrónico de control.
6. Dado que se puede integrar varios sistemas de selección o canales de selección en una sola máquina, también es posible hacer que se puedan seleccionar en cada canal diferentes tipos de granos.
7. La fabricación de máquinas de este tipo resultan bastante económicas y pueden ser implementadas a bajos costos hasta en zonas rurales, inclusive en zonas donde existe la falta de energía eléctrica por su bajo consumo de energía eléctrica.
8. Es posible fabricar en el Perú máquinas de este tipo que puedan competir con otras

tecnologías más complejas y de mayor costo manteniendo altos coeficientes de eficiencia en la selección por color.

RECOMENDACIONES

1. Para lograr un mejor resultado en la selección de granos por color se recomienda ampliar la cantidad de puntos de evaluación, para ello será necesario seleccionar microprocesadores con mayor velocidad de operación pudiendo ser de la serie 24Fxx o 32Fxx y/o un A/D con menores tiempos de adquisición para la conversión.
2. Es posible reducir el número de bits de conversión a 8 sin perder efectividad ya que se puede obtener más de 16 millones de combinaciones de colores, esto en algunos PIC puede ayudar a reducir los tiempos de adquisición en la digitalización de las señales.
3. Es posible también ampliar el número de muestras a obtener en un grano, reduciendo la longitud del canal para reducir la velocidad de paso del grano a través del anillo de sensado.
4. Es posible llegar a alcanzar 128 muestras en un grano empleando 3 conversores A/D externos uno para cada color RGB, de esta forma se puede simultáneamente realizar la conversión incrementando el número de muestras, pero debe tenerse en cuenta el tiempo de conversión de estos.
5. En caso la respuesta de los sensores no sea en el nivel adecuado se puede implementar una etapa amplificadora previa a los multiplexores.
6. Es muy importante la ubicación y orientación de las fibras ópticas que llevan la luz de iluminación para el grano porque de ellas dependerá una óptima señal que represente el color de la muestra.

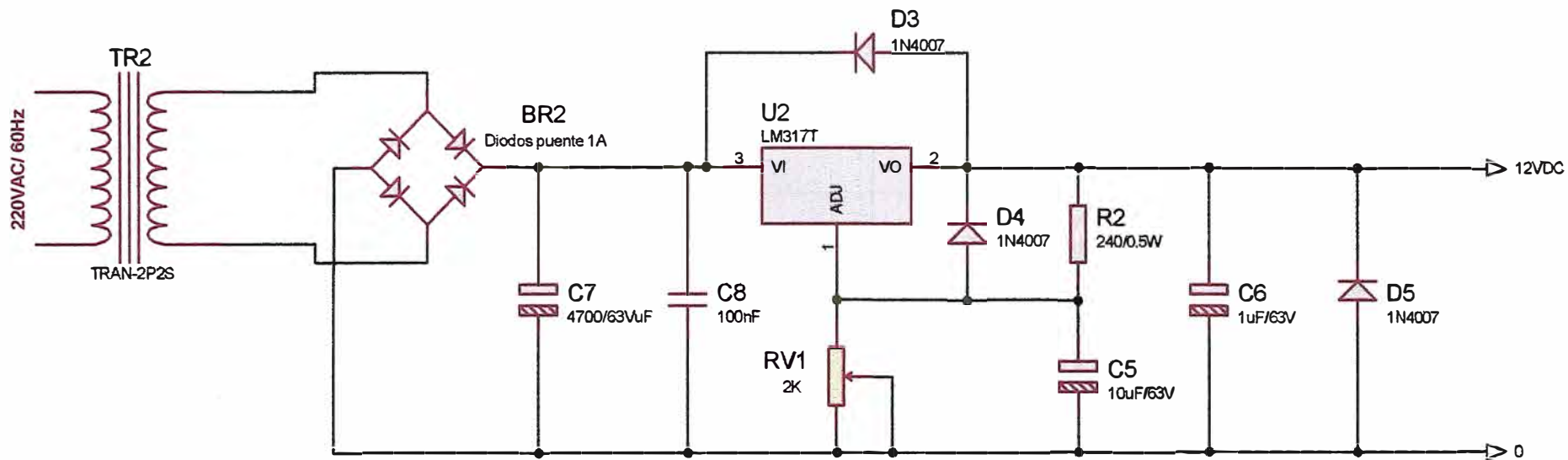
ANEXO A
Esquemas Electrónicos



SISTEMA AUTOMÁTICO DE SELECCIÓN DE GRANOS USANDO COLORIMETRÍA

**DIAGRAMA DE LA FUENTE DE ALIMENTACIÓN DE 5VDC
PARA LA ELECTRÓNICA DE CONTROL**

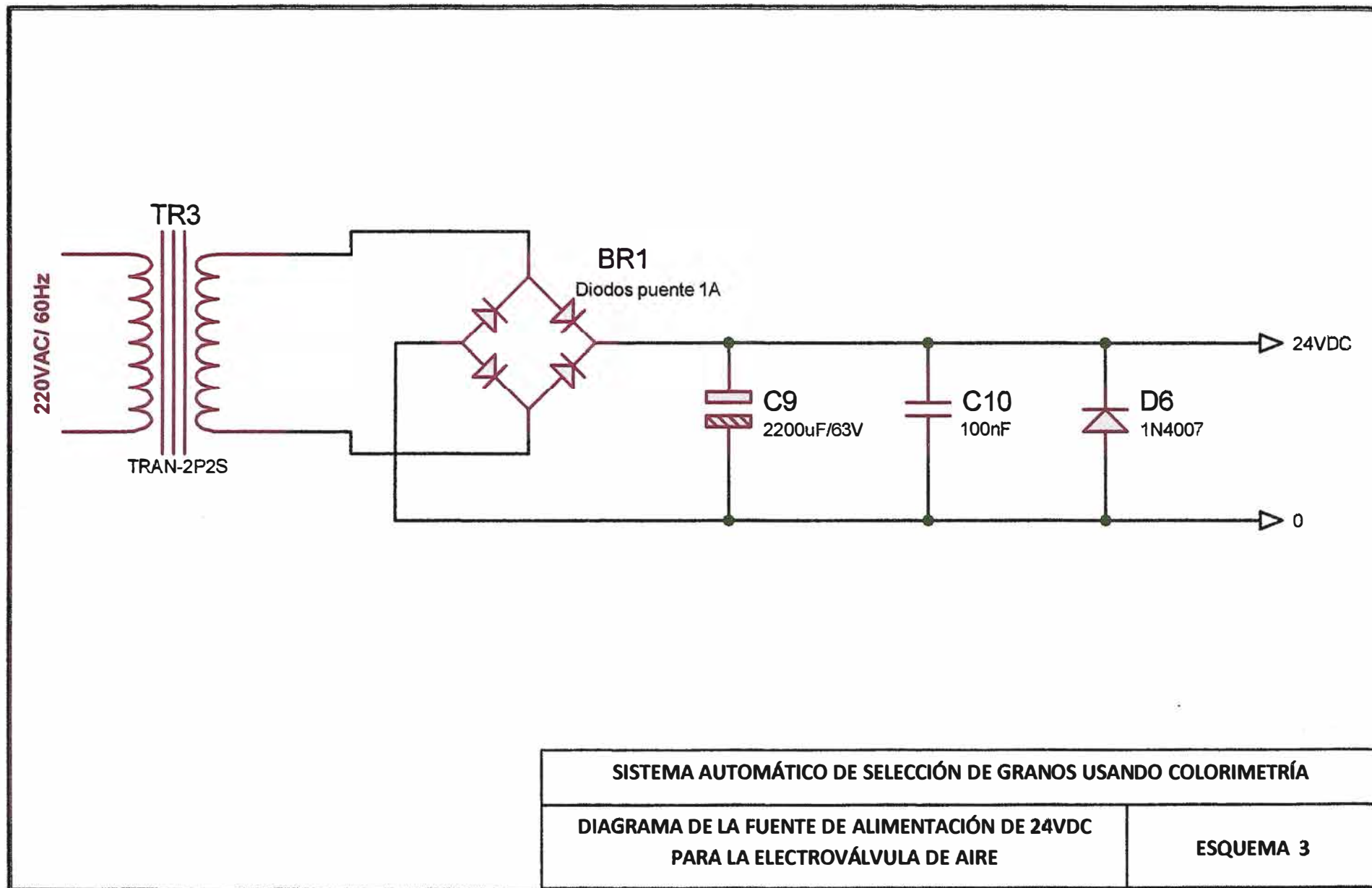
ESQUEMA 1

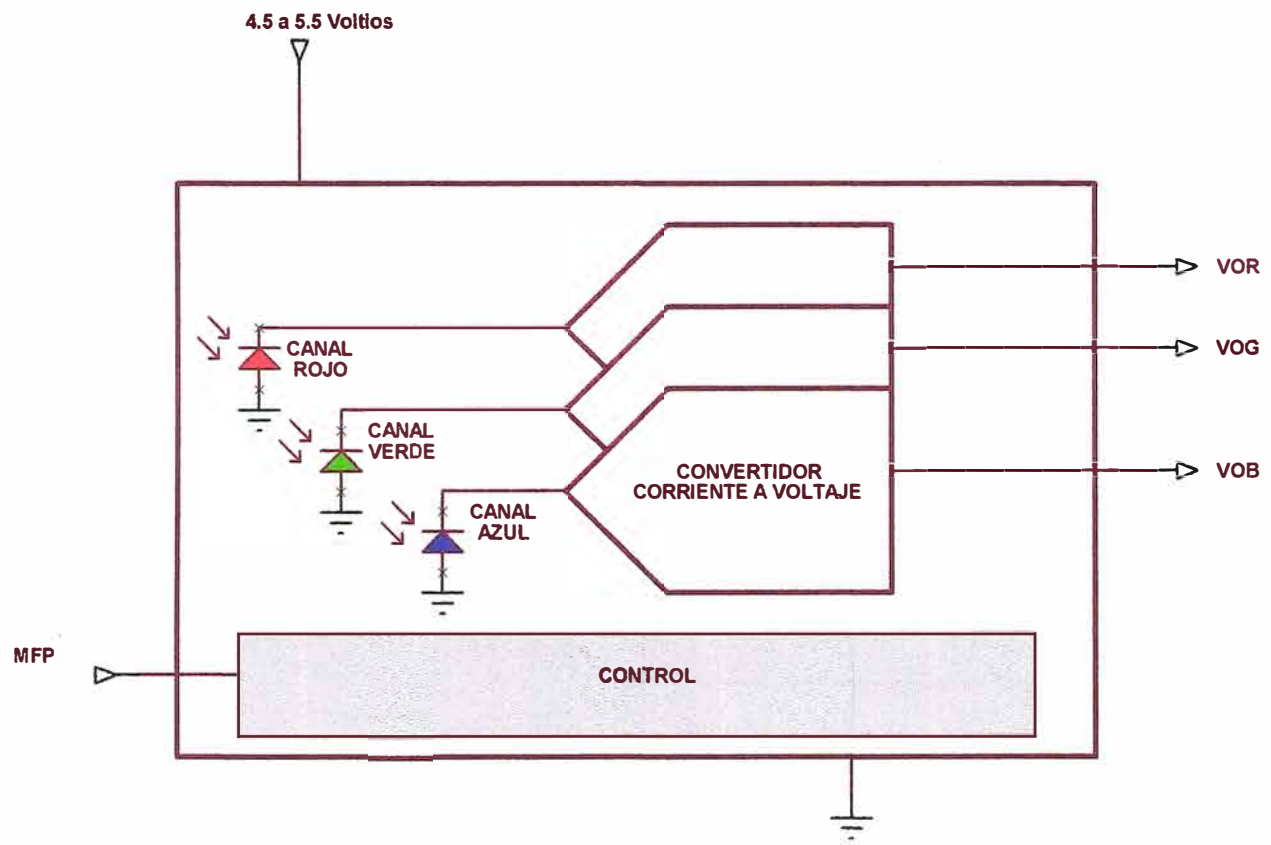


SISTEMA AUTOMÁTICO DE SELECCIÓN DE GRANOS USANDO COLORIMETRÍA

**DIAGRAMA DE LA FUENTE DE ALIMENTACIÓN DE 12VDC
PARA LA LAMPARA DE ILUMINACIÓN**

ESQUEMA 2

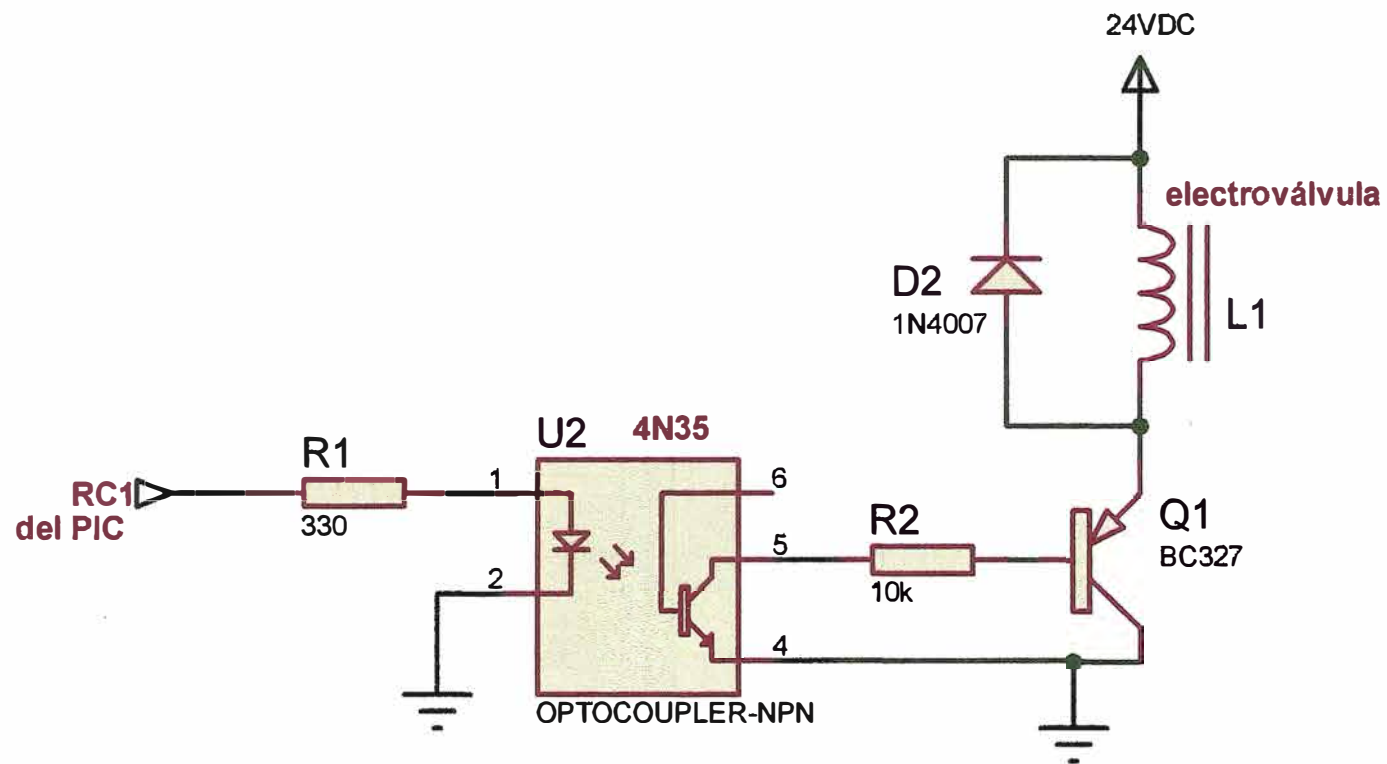




SISTEMA AUTOMÁTICO DE SELECCIÓN DE GRANOS USANDO COLORIMETRÍA

**DIAGRAMA DE BLOQUES FUNCIONALES
DEL SENSOR DE COLOR TCS3103**

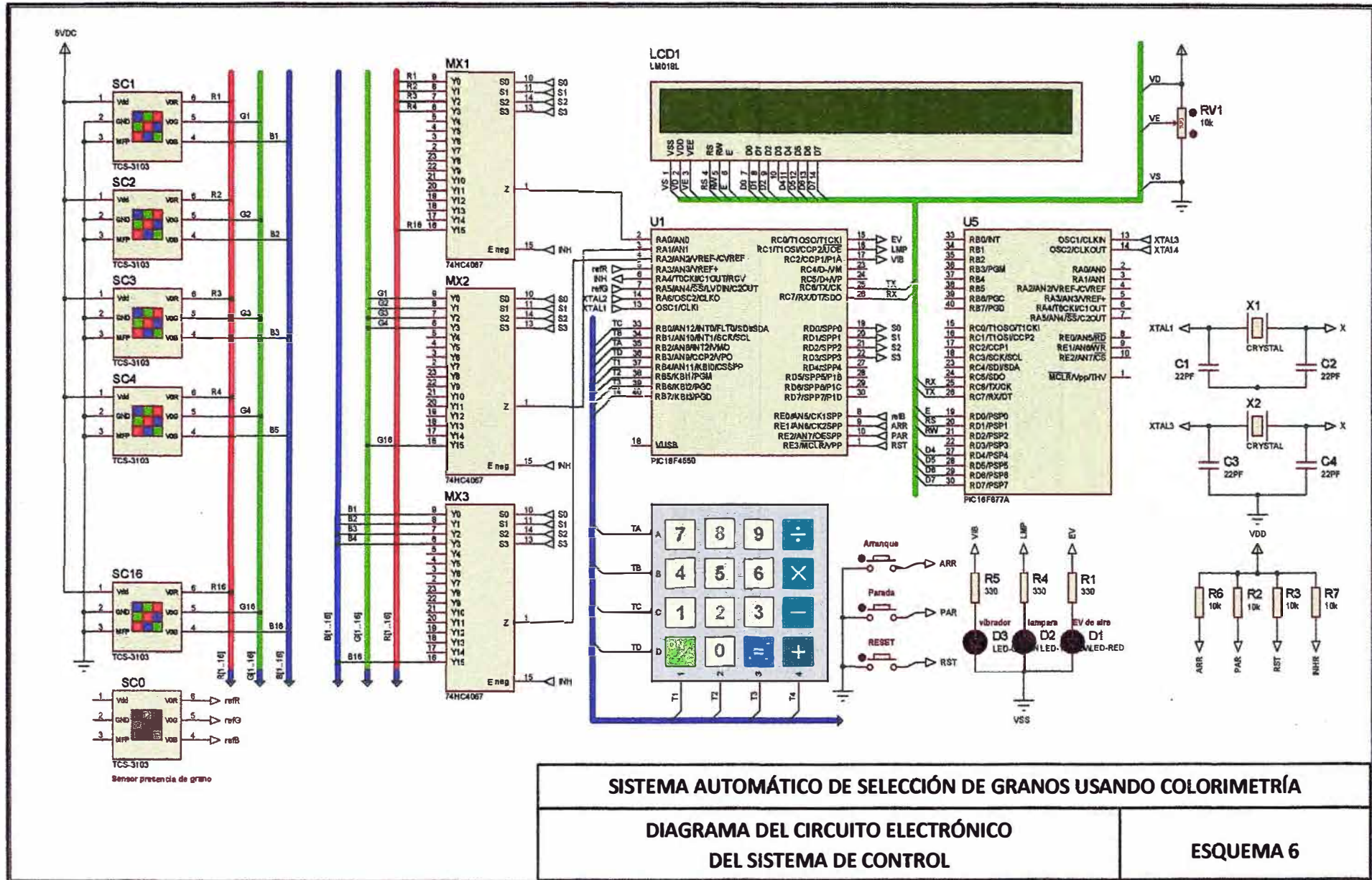
ESQUEMA 4



SISTEMA AUTOMÁTICO DE SELECCIÓN DE GRANOS USANDO COLORIMETRÍA

DIAGRAMA DE POTENCIA PARA LA
ELECTROVÁLVULA DE AIRE

ESQUEMA 5



ANEXO B
Programa de simulación

```

#include "C:\Archivos de programa\PICC\Devices\18F4550.H"
#device *=16
#DEVICE ADC=10
#fuses NOWDT,NOLVP,HS,NOPROTECT
#use DELAY(clock=20000000)
#USE RS232(BAUD=9600,parity=N,XMIT=PIN_C6,RCV=PIN_C7,bits=8)
#USE standard_io(b)
#include "C:\Archivos de programa\PICC\Drivers\LCD4550.C"
#include "C:\Archivos de programa\PICC\Drivers\TECLADO4550.c"
#include "C:\Archivos de programa\PICC\Drivers\internal_eeprom.c"
#define LCD_DATA_PORT getenv("SFR:PORTD")
#define LCD_ENABLE_PIN PIN_D0
#define LCD_RS_PIN    PIN_D1
#define LCD_RW_PIN    PIN_D2
#define LCD_DATA4     PIN_D4
#define LCD_DATA5     PIN_D5
#define LCD_DATA6     PIN_D6
#define LCD_DATA7     PIN_D7

int
c1,k,i,t,v,u,d,p,m,clave,cursor,puntero,color,blanco,verde,rojo,marron,negro,direccion,cuenta,ADCON0,ADCON1,ADCON2,ADRESH,ADRESL;
short ON,parada,d0,d1,d2,bandera,TMR1IF,a0,a1,a2,a3,a4,a5,a6,a7;
unsigned long
y,y1,y2,y3,MIN,MAX,IMIN,IMAX,refR,refG,refB,R,G,B,L,refLW,refLK,refLR,refLG,refLM,LW,LK,LR,LG,LM;
void CONFIG_CLAVE()
{
    putc(14);
    lcd_putc("\fCONFIGURAR CLAVE\nINGRESE CUATRO CIFRAS DE 0 A 9");
    delay_ms(2000);
    lcd_putc("\f");
    for(i=0;i<4;i++)
    {
        ing_num1:    delay_ms(100);
        t=teclado();
        if(t=='A')
        {
            putc(52);
            return; }
    }
}

```



```

    if(t=='B')goto ing_num1;
    if(t=='C')goto ing_num1;
    if(t=='D')goto ing_num1;
    if(t=='E')goto ing_num1;
    if(t=='F')goto ing_num1;
    delay_ms(3000);
    putc(t);
    write_eeprom(i,t);
    lcd_putc(t); }
putc(15);
lcd_putc("\nPRESIONE TECLA '=' PARA GRABAR CLAVE");
delay_ms(50);
grabar: v=teclado();
    if(v=='A')return;
    if (v=='B')putc(16);
    else goto grabar;
    delay_ms(1000); }

void SET_COLOR()
{   putc(10);
    lcd_putc("\fMODO SETEO DE COLORES\nINGRESE CLAVE");
    m=0;
    color=0;
    for(m=0;m<=3;m++)
    {   ing_num2:   delay_ms(50);
        t=teclado();
        if(t=='A')
        {   putc(52);
            return;}
        if(t=='B')goto ing_num2;
        if(t=='C')goto ing_num2;
        if(t=='D')goto ing_num2;
        if(t=='E')goto ing_num2;
        if(t=='F')goto ing_num2;
        if(m==0)lcd_putc("\f");
        clave=read_eeprom(m);

```

```

if(t==clave)
{  putc(32);
  lcd_putc(t);
  color++; }
else
{  putc(33);
  lcd_putc("\fCLAVE ERRADA \nACCESO NO AUTORIZADO");
  delay_ms(1500);
  putc(52);
  return; }
if(color==4)
{  putc(12);
  lcd_putc("\fMODO MODIFICAR PARAMETROS DE COLOR");
  delay_ms(1000);
  lcd_putc("\fPRESIONE TECLA '+' PARA INICIAR\nPRESIONE TECLA 'ON/C'
PARA SALIR");
  t=teclado();
  if(t=='A')
  {  putc(52);
    return; }
  if(t=='C')
  {  cursor=7;
    k=0;
    puntero=10;
    putc(13);
parametros:      blanco=read_eeprom(10);
                 verde=read_eeprom(11);
                 rojo=read_eeprom(12);
                 marron=read_eeprom(13);
                 negro=read_eeprom(14);
                 putc(blanco);
                 putc(verde);
                 putc(rojo);
                 putc(marron);
                 putc(negro);
                 printf(lcd_putc,"\f BLAN:%d VERD:%d ROJO:%d MARR:%d

```

```

NEGR:%d", blanco, verde, rojo, marron, negro);
    lcd_gotoxy(cursor, 1);
    lcd_command(0x0D);
dato:   delay_ms(50);
        t=teclado();
        if(t=='A')
        { color=0;
          putc(100);
          lcd_command(0x0C);
          return; }
        if(t=='B')goto dato;
        if(t=='C')
        { putc(101);
          cursor=cursor+8;
          if(cursor>40)cursor=7;
          puntero++;
          if(puntero>14)puntero=10;
          k=0;
          goto parametros;}
        if(t=='D')goto dato;
        if(t=='E')goto dato;
        if(t=='F')goto dato;
        if(k==0)d=t;
        else u=t;
        if(k==0)
        { d=d-48;
          putc(d);
          write_eeprom(puntero,d);
          k++;
          goto parametros; }
        else
        { u=u-48;
          d=10*d+u;
          write_eeprom(puntero,d);
          putc(u);
          k=0;

```

```

    goto parametros;
}}} }}

```

```
void LEER_DATOS()
```

```

{
leer:    delay_ms(30);
        parada=input(pin_E2);
        if(parada==0)
        { output_low(pin_C1);
          output_low(pin_C2);
          output_high(pin_A4);
          bandera=1;
          putc(52);
          return; }
        set_adc_channel(3);
        y1=read_adc();
        set_adc_channel(4);
        y2=read_adc();
        set_adc_channel(5);
        y3=read_adc();
        if(y1>=y2 && y1>=y3)MAX=y1;
        if(y2>=y1 && y2>=y3)MAX=y2;
        if(y3>=y1 && y3>=y2)MAX=y3;
        if(y1<=y2 && y1<=y3)MIN=y1;
        if(y2<=y1 && y2<=y3)MIN=y2;
        if(y3<=y1 && y3<=y2)MIN=y3;
        y=(MAX+MIN)/2;
        IMIN=205;
        IMAX=818;
        if(y<IMIN)
        { output_high(pin_A4);
          direccion=0;
          goto leer; }
        if(y>IMAX)
        { output_high(pin_A4);
          direccion=0;

```

```

    goto leer; }
output_low(pin_A4);
if(d0==0)output_low(pin_d0);
else output_high(pin_d0);
if(d1==0)output_low(pin_d1);
else output_high(pin_d1);
if(d2==0)output_low(pin_d2);
else output_high(pin_d2);
set_adc_channel(0);
R=read_adc();
set_adc_channel(1);
G=read_adc();
set_adc_channel(2);
B=read_adc();
cuenta=cuenta+1;
direccion=direccion+1;
if(direccion>=8)direccion=0; }

```

```
void CAL_COLOR()
```

```

{   putc(5);
    lcd_putc("\fMODO CALIBRACION DEL COLOR\nINGRESE CLAVE");
    m=20;
    k=0;
    bandera=0;
    for(m=20;m<=24;m++)
    {
ing_num3:   delay_ms(50);
            t=teclado();
            if(t=='A')
            {   putc(35);
                return; }
            if(t=='B')goto ing_num3;
            if(t=='C')goto ing_num3;
            if(t=='D')goto ing_num3;
            if(t=='E')goto ing_num3;
            if(t=='F')goto ing_num3;

```

```

clave=read_eeprom(m);
t=t-48;
if(t==clave)
{ putc(31);
  lcd_putc("");
  k++; }
else
{ putc(36);
  lcd_putc("\fCLAVE ERRADA \nACCESO NO AUTORIZADO");
  delay_ms(1000);
  return; }
if(k<5)goto ing_num3;
if(k==5)
{ putc(7);
  lcd_putc("\fSE BORRARAN LOS COLORES DE REFERENCIA");
  putc(8);
  lcd_putc("\fPRESIONE ARRANQUE PARA CONTINUAR\nO PARADA PARA
SALIR");
calibrar1:    delay_ms(30);
  parada=input(pin_E2);
  ON=input(pin_E1);
  if(parada==0)
  { putc(52);
    return; }
  if(ON==0)
  { output_high(pin_C1);
    output_high(pin_C2);
    putc(9);
    lcd_putc("\fMODO CALIBRACION DEL GRANO");
    direccion=0;
    refR=0;
    refG=0;
    refB=0;
    cuenta=0;
    k=0;
seguir_lectura: LEER_DATOS();

```

```

    if(bandera==1)
    {   putc(52);
        return; }
    refR=(refR*(cuenta-1)+R)/cuenta;
    refG=(refG*(cuenta-1)+G)/cuenta;
    refB=(refB*(cuenta-1)+B)/cuenta;
    if(cuenta>=5)
    {   write_int16_eeprom(30,refR);
        write_int16_eeprom(32,refG);
        write_int16_eeprom(34,refB);
        printf(lcd_putc,"\fFIN ROJO=%lu VERDE=%lu AZUL=%lu \n ADRESH=%d
ADRESL=%d",refR,refG,refB,ADRESH,ADRESL);
        delay_ms(4000);
        output_low(pin_C1);
        output_low(pin_C2);
        output_high(pin_A4);
        putc(52);
        return;   }
    goto seguir_lectura;   }
    goto calibrar1; }
putc(52);
return; } }

```

```

void ARRANQUE()
{
continuar:
    putc(1);
    putc(blanco);
    putc(verde);
    putc(rojo);
    putc(marron);
    putc(negro);
    parada=input(pin_E2);
    if(parada==0)
    {   output_low(pin_C1);

```



```

output_low(pin_C2);
output_high(pin_A4);
putc(52);
return; }
bandera=0;
LEER_DATOS();
if(bandera==1)return;
  if(R>=G && R>=B)MAX=R;
  if(G>=R && G>=B)MAX=G;
  if(B>=R && B>=G)MAX=B;
  if(R<=G && R<=B)MIN=R;
  if(G<=R && G<=B)MIN=G;
  if(B<=R && B<=G)MIN=B;
  L=(MAX+MIN)/2;
  LW=L;
  LK=L;
  LG=G/2;
  LR=R/2;
  if(R/2<G)LM=R/2;
  else LM=G;
  if(LW>refLW*(1+blanco/100.0))goto rechazo;
  if(LK<refLK*(1-negro/100.0))goto rechazo;
  if(LG>refLG*(2-verde/100.0)||LG<refLG*(verde/100.0))goto rechazo;
  if(LR>refLR*(1+rojo/100.0)||LR<refLR*(1-rojo/100.0))goto rechazo;
  if(LM>refLM*(1+marron/100.0)||LM<refLM*(1-marron/100.0))
  {
rechazo:      delay_ms(1000);
              output_high(pin_C0);
              delay_ms(1000);
              putc(4);
              printf(lcd_putc,"f direccion=%d RECHAZADOLG=%lu
refLG=%lu\nrefR=%lu refG=%lu refB=%lu",direccion,LG,refLG,refR,refG,refB);
              delay_ms(2000);
              output_low(pin_C0); }
              goto continuar; }
void PREPARACION()

```

```

{   putc(2);
    printf(lcd_putc, "\nPREPARANDO PARA INICIAR SELECCION\n\nESPERE");
    delay_ms(1500);
    direccion=0;
    cuenta=0;
    refR=read_int16_eeprom(30);
    refG=read_int16_eeprom(32);
    refB=read_int16_eeprom(34);
    if(refR>=refG && refR>=refB)MAX=refR;
    if(refG>=refR && refG>=refB)MAX=refG;
    if(refB>=refR && refB>=refG)MAX=refB;
    if(refR<=refG && refR<=refB)MIN=refR;
    if(refG<=refR && refG<=refB)MIN=refG;
    if(refB<=refR && refB<=refG)MIN=refB;
    L=(MAX+MIN)/2;
    refLW=L;
    refLK=L;
    refLG=refG/2;
    refLR=refR/2;
    if(refR/2<refG)refLM=refR/2;
    else refLM=refG; }

void SELECCION()
{   PREPARACION();
    putc(3);
    printf(lcd_putc, "\nPRESIONE ARRANQUE PARA INICIAR SELECCION\n\nO
PRESIONE PARADA PARA SALIR");
    delay_ms(1000);
empezar:
    delay_ms(30);
    ON=input(pin_E1);
    parada=input(pin_E2);
    if(ON==0)
    {   output_high(pin_C1);
        output_high(pin_C2);
        delay_ms(30);
        parada=input(pin_E2)

```

```

        ARRANQUE());
        return; }
    if(t=='A')return;
    if(parada==0)
    {
        output_low(pin_C1);
        output_low(pin_C2);
        output_high(pin_A4);
        return; }
    goto empezar;}

void main ()
{ #bit d0=direccion.0
  #bit d1=direccion.1
  #bit d2=direccion.2
  #bit TMR1IF=0x0C.0
  #byte ADRESH=0xFC4;
  #byte ADRESL=0xFC3;
  #byte ADCON0=0xFC2;
  #byte ADCON1=0xFC1;
  #bit a0=0xFC0.0;
  #bit a1=0xFC0.1;
  #bit a2=0xFC0.2;
  #bit a3=0xFC0.3;
  #bit a4=0xFC0.4;
  #bit a5=0xFC0.5;
  #bit a6=0xFC0.6;
  #bit a7=0xFC0.7;
  SETUP_ADC(ADC_CLOCK_DIV_4);
  SETUP_ADC_PORTS(AN0_TO_AN5_ANALOG);
  #byte ADCON2=0xFC0;
  ADCON2=0x95;
  output_C(0x00);
  output_high(pin_A4);
  lcd_init();
  p=1;
  write_eeprom(20,5);

```

```

write_eeprom(21,5);
write_eeprom(22,5);
write_eeprom(23,5);
write_eeprom(24,5);
inicio:
while(1)
{ blanco=read_eeprom(10);
  verde=read_eeprom(11);
  rojo=read_eeprom(12);
  marron=read_eeprom(13);
  negro=read_eeprom(14);
  putc(1);
  putc(blanco);
  putc(verde);
  putc(rojo);
  putc(marron);
  putc(negro);
  R=(read_int16_eeprom(30));
  G=(read_int16_eeprom(32));
  B=(read_int16_eeprom(34));
  i=0;
  delay_ms(30);
  c1=teclado();
  if(c1=='A')goto inicio;
  if(c1=='B')SELECCION();
  if(c1=='D')CONFIG_CLAVE();
  if(c1=='C')SET_COLOR();
  if(c1=='E')CAL_COLOR(); } }
#include <16F877A.h>
#fuses HS,NOLVP,NOWDT
#use delay(clock=2000000)
#USE RS232(BAUD=9600,parity=N,XMIT=PIN_C6,RCV=PIN_C7,bits=8)
#include <lcd.c>
void main()
{ int h,i,j,k,m,n,p,s,t,u,v,blanco,verde,rojo,marron,negro,cursor,salto;
  unsigned long R,G,B;

```

```

lcd_init();
const int tabla[5]={4,13,21,29,38};
while(1)
{ i=0;
  salto=0;
inicio1:
  i=getc();
  if(i==1||i==52)
  { blanco=getc();
    verde=getc();
    rojo=getc();
    marron=getc();
    negro=getc();
    i=4; }
inicio2:
  if(i==4)
  { printf(lcd_putc,"\fBLANCO VERDE ROJO MARRON NEGRO");
    if(blanco>=10)lcd_gotoxy(3,2);
    else lcd_gotoxy(4,2);
    printf(lcd_putc,"%d",blanco);
    if(verde>=10)lcd_gotoxy(12,2);
    else lcd_gotoxy(13,2);
    printf(lcd_putc,"%d",verde);
    if(rojo>=10)lcd_gotoxy(20,2);
    else lcd_gotoxy(21,2);
    printf(lcd_putc,"%d",rojo);
    if(marron>=10)lcd_gotoxy(28,2);
    else lcd_gotoxy(29,2);
    printf(lcd_putc,"%d",marron);
    if(negro>=10)lcd_gotoxy(37,2);
    else lcd_gotoxy(38,2);
    printf(lcd_putc,"%d",negro);
    i=0;
  if(i==2)
  { printf(lcd_putc,"\fPREPARANDO MODO SELECCION\nESPERE");
    delay_ms(1500); }
}

```

```

if(i==3)
{ printf(lcd_putc, "\fPULSE ARRANQUE PARA INICIAR SELECCION\nO PULSE
PARADA PARA SALIR");
goto inicio1; }
if(i==5)
{ lcd_putc("\fMODO CALIBRACION DEL COLOR\nINGRESE CLAVE");
p=0;
otro_dig1: n=getc();
if(n==35)
{ i=4;
goto inicio2; }
if(n==31)
{ if(p==0)lcd_putc("\f");
lcd_putc("*");
p++;
if(p<5)goto otro_dig1;
delay_ms(500); }
if(n==33)
{ lcd_putc("\fCLAVE ERRADA \nACCESO NO AUTORIZADO");
delay_ms(1500);
i=4;
goto inicio2; } }
if(i==7)
{ lcd_putc("\fSE BORRARAN LOS COLORES DE REFERENCIA");//advertencia
delay_ms(1000); }
if(i==8)
{ lcd_putc("\fPULSE ARRANQUE PARA CONTINUAR\nPULSE PARADA PARA
SALIR");
goto inicio1; }
if(i==9)
{ lcd_putc("\fMODO CALIBRACION COLOR DE GRANOS");
goto inicio1; }
if(i==10)
{ lcd_putc("\fMODO SETEO DE COLORES\nINGRESE CLAVE");
s=0;
otro_dig2: j=getc();

```

```

if(J==52)
{ i=4;
  goto inicio2; }
if(j==32)
{ if(s==0)lcd_putc("\fCLAVE: ");
  lcd_putc("");
  s++;
  if(s<4)goto otro_dig2; }
if(j==33)
{ lcd_putc("\fCLAVE ERRADA");
  i=4;
  goto inicio2; } }
if(i==11)
{ lcd_putc("\fCLAVE ERRADA \nACCESO NO AUTORIZADO");
  delay_ms(1500); }
if(i==12)
{ lcd_putc("\fMODO MODIFICAR PARAMETROS DE COLOR");//advertencia
  delay_ms(1000);
  lcd_putc("\fPRESIONE TECLA '+' PARA INICIAR\nPRESIONE TECLA 'ON/C'
PARA SALIR");
  goto inicio1;}
if(i==13)
{ h=0;
  cursor=0;
  k=0;
mostrar:
  blanco=getc();
  verde=getc();
  rojo=getc();
  marron=getc();
  negro=getc();
  printf(lcd_putc,"\fBLANCO VERDE ROJO MARRON NEGRO");
  if(blanco>=10)lcd_gotoxy(3,2);
  else lcd_gotoxy(4,2);
  printf(lcd_putc,"%d",blanco);
  if(verde>=10)lcd_gotoxy(12,2);

```



```

else lcd_gotoxy(13,2);
printf(lcd_putc,"%d",verde);
if(rojo>=10)lcd_gotoxy(20,2);
else lcd_gotoxy(21,2);
printf(lcd_putc,"%d",rojo);
if(marron>=10)lcd_gotoxy(28,2);
else lcd_gotoxy(29,2);
printf(lcd_putc,"%d",marron);
if(negro>=10)lcd_gotoxy(37,2);
else lcd_gotoxy(38,2);
printf(lcd_putc,"%d",negro);
lcd_command(0x0D);
lcd_gotoxy(tabla[cursor],2);
j=getc();
if(j==101)
{ cursor++;
  if(cursor>4)cursor=0;
  h=0;
  goto mostrar; }
if(j==100)
{ lcd_command(0x0C);
  i=4;
  goto inicio2; }
if(h==0)
{ h++;
  lcd_putc(j);
  lcd_putc("\b"); }
else
{ h=0;
  lcd_putc("\b");
  lcd_putc(j); }
goto mostrar; }
if(i==14)
{ lcd_putc("\fMODO CONFIGURAR CLAVE\nINGRESE CUATRO CIFRAS DE 0 A
9");
  m=0;

```

```
otro_dato: k=getc();
    if(k==52)
    { i=4;
      goto inicio2; }
    if(m==0)
    { printf(lcd_putc,"\fCLAVE=");
      lcd_gotoxy(7,1); }
    lcd_putc(k);
    delay_us(50);
    m++;
    if(m<4)goto otro_dato;}
if(i==15)lcd_putc("\nPRESIONE TECLA '=' PARA GRABAR CLAVE");
if(i==16)lcd_putc("\f CLAVE GRABADA"); }}
```

ANEXO C
Resultados Tabla de Prueba Excel

TABLA DE PRUEBA - SIMULACIÓN DE SELECCIÓN POR COLOR PARA GRANOS DE CAFÉ

ITEM	PALETA DE COLORES COLOR REFERENCIA	VALORES RGB VALORES HSL							COLORES Y PORCENTAJES PERMITIDOS					RESULTADO FINAL
		R	G	B	H	S	L	BLANCO	VERDE	ROJO	MARRON	NEGRO		
		187	212	118	54	133	165	10%	95%	5%	5%	2%		
1	M U E S T R A S D E C O L O R E S	192	215	127	54	133	171							
2		211	227	167	54	133	197	no cumple	no cumple	no cumple	no cumple		RECHAZADO	
3		236	243	213	53	142	228	no cumple	no cumple	no cumple	no cumple		RECHAZADO	
4		169	200	80	54	133	140		no cumple	no cumple	no cumple	no cumple	RECHAZADO	
5		177	205	97	54	133	151				no cumple	no cumple	RECHAZADO	
6		158	214	116	67	139	165			no cumple	no cumple		RECHAZADO	
7		196	230	100	54	184	165		no cumple				RECHAZADO	
8		212	181	118	28	134	165		no cumple	no cumple	no cumple		RECHAZADO	
9		168	148	112	27	63	140		no cumple	no cumple	no cumple	no cumple	RECHAZADO	
10		78	87	51	54	67	69		no cumple	no cumple	no cumple	no cumple	RECHAZADO	
11		58	59	25	44	103	42		no cumple	no cumple	no cumple	no cumple	RECHAZADO	
12		15	18	6	54	128	12		no cumple	no cumple	no cumple	no cumple	RECHAZADO	
13		223	103	37	15	190	130		no cumple	no cumple	no cumple	no cumple	RECHAZADO	
14		194	81	62	6	133	128		no cumple		no cumple	no cumple	RECHAZADO	
15		14	10	10	0	43	12		no cumple	no cumple	no cumple	no cumple	RECHAZADO	
16		179	214	116	58	139	165							
17		199	210	120	48	128	165			no cumple	no cumple		RECHAZADO	
18		178	210	120	58	128	165				no cumple		RECHAZADO	
19		200	214	116	49	139	165			no cumple	no cumple		RECHAZADO	
20		195	213	117	51	136	165							

ANEXO D
Tabla de costos

**FABRICACIÓN DE UNA MÁQUINA SELECCIONADORA AUTOMÁTICA POR COLOR DE 1.2 TON/HR
ESTRUCTURA DE COSTOS**

ITEM	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	UNIDADES	PRECIO UNITARIO	PRECIO TOTAL
Equipos y Materiales					
1	Estructura metálica, fabricada con tubos cuadrados de fierro.	1	pza	1,600.00	1,600.00
2	Tolva de recepción y distribución de granos	1	pza	600.00	600.00
3	Vibrador electromagnético	6	pza	700.00	4,200.00
4	Canaletas guía	6	pza	100.00	600.00
5	Anillo sensor	6	pza	50.00	300.00
6	Ductos de salida	12	pza	20.00	240.00
7	Unidad de mantenimiento neumático	1	pza	350.00	350.00
8	Electroválvula de aire	6	pza	200.00	1,200.00
9	Accesorios neumáticos	1	gbl	300.00	300.00
10	Fibra óptica plástica de 1 mm de diámetro	512	mts	5.00	2,560.00
11	Transformador 220/24/12/5 500watts	1	pza	80.00	80.00
12	Diodos puente, CI reguladores, rectificadores, condensador, etc	1	gbl	60.00	60.00
13	Optoacopladores 4N35, transistores, resistencias	1	gbl	50.00	50.00
11	Sensores de color	102	pza	15.00	1,530.00
12	Microcontroladores 18F4550 y 16F877A	6	pza	50.00	300.00
13	Multiplexores	18	pza	5.00	90.00
14	Teclado matricial	1	pza	15.00	15.00
15	Pantalla LCD 40x2	1	pza	40.00	40.00
16	Pulsadores y accesorios varios	1	gbl	50.00	50.00
17	Varios	1	gbl	200.00	200.00
Servicios					
18	Metalmecánica (soldadura, corte y dobléz)	1	gbl	3,500.00	3,500.00
19	Mecánica de banco (torno y fresado)	1	gbl	600.00	600.00
Mano de obra directa					
20	Técnico en programación	120	hrs	8.00	960.00
21	Técnico montaje	240	hrs	8.00	1,920.00
Gastos Administrativos					
22	Varios	1	gbl	2,000.00	2,000.00
COSTO TOTAL EN NUEVOS SOLES (incluido IGV)					23,345.00

ANEXO E
Diagrama de Gantt

Selección automática de grains usando	Duración	Semana (1)							Semana (2)							Semana (3)							Semana (4)							Semana (5)							Semana (6)											
		M	M	J	V	S	D	L	M	M	J	V	S	D	L	M	M	J	V	S	D	L	M	M	J	V	S	D	L	M	M	J	V	S	D	L	M	M	J	V	S	D	L	M	M	J	V	S
Elaboración de planos y diagramas	17	Elaboración de planos y diagramas																																														
Planos mecánicos	6	Planos mecánicos																																														
Planos eléctricos	3	Planos eléctricos																																														
Planos electrónicos	5	Planos electrónicos																																														
Software de control	10	Software de control																																														
Compra de equipos y materiales	12	Compra de equipos y materiales																																														
Vibrador, electroválvula, UM aire, fibra óptica	3	Vibrador, electroválvula, UM aire, fibra óptica																																														
Planchas, tubos, pernos, etc.	2	Planchas, tubos, pernos, etc.																																														
Lámpara, interruptor, pulsadores, cables, etc.	3	Lámpara, interruptor, pulsadores, cables, etc.																																														
Sensores, integrados, LCD dispositivos, etc.	7	Sensores, integrados, LCD, dispositivos, etc.																																														
Fabricaciones	14	Fabricaciones																																														
Tolva de recepción, ductos de descarga, estructura metálica, canaleta	7	Tolva de recepción, ductos de descarga, estructura metálica, canaleta																																														
Anillo óptico de sentido	3	Anillo óptico de sentido																																														
Circuito impreso de la fuente de poder	2	Circuito impreso de la fuente de poder																																														
Circuito impreso del sistema de control	2	Circuito impreso del sistema de control																																														
Circuito impreso de salidas de potencia	2	Circuito impreso de salidas de potencia																																														
Ensamblaje y montaje	12	Ensamblaje y montaje																																														
Metalmecánica	7	Metalmecánica																																														
Eléctrica y electrónica	6	Eléctrica y electrónica																																														
Grabación software y calibraciones	2	Grabación software																																														
Pruebas	2	Pruebas																																														

BIBLIOGRAFÍA

- [1]. Arquitecta Liliana Armura, "El lenguaje del color", Cátedra Sassone, Argentina 2012.
- [2]. National Eye Institute, "Información sobre la visión saludable", National Institutes of Health USA, Septiembre 2009.
- [3]. Msc. Froilán Ramiro Gareca Hurtado, "Percepción del color", Universidad Mayor de San Andrés 2011.
- [4]. Astrónomo Carlos Andrés Carvajal Tascón, "El Espectro Electromagnético", 2002.
- [5]. Paul A. Tipler, Gene Mosca, "Física para la ciencia y tecnología: Electricidad y Magnetismo" Vol2, 2005.
- [6]. Comunicación Audiovisual, "Percepción visual, nociones básicas", 2012.
- [7]. Küppers, Harald, "Fundamentos de la teoría de colores", Univ. Bielefeld, Alemania, 2002.
- [8]. Prof. Eduardo Fernández, "Modelos de color", Universidad Simón Bolívar, Venezuela.
- [9]. Antonio Valero Muñoz, "Principios de color y Holopintura", España 2012.
- [10]. Ing. Mario R. Modesti, "Luminotecnia, conceptos básicos", Univ. Tecnológica Nacional Argentina, 2012.
- [11]. Miroljub MLADENOV, Stanilav PENCHEV, Martin DEJANOV, Metin MUSTAFA, "Automatic Classification of Grain Sample, Elements Based on Color and Shape Properties".
- [12]. Neelamma K. Patil, Virendra S. Malemath, Ravi M. Yadahalli, "Color and Texture Based Identification and Classification of food Grains using different Color Models and Haralick features".
- [13]. .Sanjivani Shantaiya, Mrs.Uzma Ansari, "Identification of Food Grains and Its Quality Using Pattern Classification".
- [14]. Agricultural Research Service, United States Department of Agriculture, "Photoelectric Color Sorting and Shape Properties".

- [15]. Jouni Hiltunen, University of Joensuu, "Accurate Color Measurement".
- [16]. Pantone Inc. Sistemas Cromáticos.
- [17]. Todd Bishop and Glenn Lee, TAOS Colorimetry Tutorial, "The Science of Color".
- [18]. Hinojosa Gómez Luis Carlos, Universidad Autónoma del estado de Hidalgo, "Tópicos Selectos de Fibra Óptica".
- [19]. Jaramillo Salgado Oscar Alfredo, Universidad Nacional Autónoma de México, "Transporte de Energía Radiativa a través de Fibras Ópticas".
- [20]. Luis Urieta Pérez, Pablo Fuentes Ramos, "Introducción a los microprocesadores".
- [21]. K.J. Chilúiza, F.P. Piguave, Ing. Miguel Yapur, "Análisis, Diseño y construcción de un Colorímetro Básico, para ser utilizado en un Laboratorio Clínico, utilizando Microcontroladores".
- [22]. Yolanda González Cid, Universitat de les Illes Balears, "Imágenes en color: Espacios de color".
- [23]. Iban Cerro Gálvez, "Diseño e implementación de un robot seguidor de luz con microcontrolador".
- [24]. Carmen A. Barboza H. y Freddy L. Amaya L., "Análisis de la calidad del grano y de la bebida del café Var. Caturra en función de la maduración y tiempo de fermentación".
- [25]. Ronald Jiménez y Carlos Soto, "Secuencia de operaciones en la preparación del café oro y su influencia en el desempeño de los clasificadores electrónicos".
- [26]. Ingrid Concepción Marroquín Díaz, "Automatización en el proceso de selección por color del grano de café en oro".
- [27]. Juan Carlos Campos Rodríguez, Universidad de Oviedo, "Curso de Fibra óptica".