

**UNIVERSIDAD RICARDO PALMA**

FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA

**“SUPERVISIÓN Y CONTROL DE UN PROCESO  
INDUSTRIAL AUTÓNOMO DE PINTADO  
APLICANDO LÓGICA DIFUSA Y VISIÓN  
ARTIFICIAL”**



**T E S I S**

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE  
INGENIERA ELECTRÓNICA

PRESENTADO POR  
ELVIRA DEL CARMEN RIVERA MUJICA  
LIMA – PERÚ

*Dedicatoria. Dedico éste trabajo con todo mi corazón, a mis padres Cayo y Editha y a mis abuelos, Por su ayuda y la fortaleza que me brindaron, mi esfuerzo para ustedes. A Antonio y Rosemary, por su cariño, sus consejos y su invaluable apoyo. A toda mi familia y amigos que me alentaron a seguir adelante. Gracias a mi querida Universidad Ricardo Palma, a mis profesores, En especial a mi asesor Ing. Pedro Huamaní Navarrete. Por sus conocimientos impartidos y por su valiosa guía durante la ejecución de esta Tesis.*

## **RESUMEN**

En el presente trabajo de tesis se desarrolló un prototipo de supervisión y control autónomo de pintado haciendo uso de un algoritmo de inteligencia artificial lógica difusa, con dos entradas y una salida. Para lo cual, se preparó el prototipo haciendo uso de cámaras Webcam para la captura de imágenes en tiempo real. Además, se utilizó una PC con el Controlador Difuso diseñado en LabVIEW. Es así, que la imagen capturada en el modelo RGB fue convertida al modelo de color CYMK, y para lo cual el algoritmo de Lógica Difusa determinó la cantidad de color requerida salvo en el caso que hubiera ocurrido un error, sea por falta de color o el exceso de este, se hacía uso de la segunda variable de entrada del controlador.

Los resultados obtenidos en este trabajo fueron en que la captura de imagen, siempre intervino el problema de la iluminación, así como también de las características de las tintas, los cuales hacían que varíen los resultados finales. Además, si bien el algoritmo de Lógica Difusa se convirtió en una herramienta muy versátil, y fácil de modificarla en caso de que se hubiera requerido cambiar su uso o aplicación, aun así, los resultados no son muy precisos. La etapa final se realizó controlando aisladamente unas válvulas solenoides, en un tiempo de apertura y cierre en daba paso a la liberación de cada pintura correspondiente a los colores Negro, Cian, Magenta, Amarillo y Blanco o Luminancia. Este último fue considerado como adicional por el brillo que existe en la imagen capturada.

# Contenido

CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN .....	1
CAPÍTULO 2. FUNDAMENTOS DEL PROCESO AUTOMATIZADO DE PINTADO .....	6
2.1 Visión Artificial y los Principios del Procesamiento de una Imagen Digital 6	
2.1.1 Tamaño y resolución de imágenes .....	8
2.1.2 Características de una imagen .....	8
2.1.3 Teoría del Color .....	9
2.2 El Control Convencional o Clásico .....	14
2.2.1 Clasificación:.....	17
2.2.2 Características de los Sistemas de Control: .....	17
2.3 El Control Inteligente: Lógica Difusa .....	19
2.3.1 Conocimiento e Inteligencia .....	20
2.3.2 Fundamentos de Lógica Difusa.....	20
CAPÍTULO 3. PROCESAMIENTO DE IMAGEN Y SISTEMA DE CONTROL DIFUSO .....	33
3.1 Etapa de adquisición de datos: Visión Artificial.....	35
3.2 Composición de los colores de la muestra tomada .....	37
3.3 Proceso de pintado controlado usando Lógica Difusa .....	41
3.4 Configuración de la Tarjeta de Adquisición de Datos .....	60
CAPÍTULO 4. IMPLEMENTACION DEL PROYECTO Y RESULTADOS ....	63
4.1 Implementación del Proceso .....	63
4.2 Resultados obtenidos del Proceso .....	66
4.3 Análisis de Costos .....	81
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....	83
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS Y/O DOCUMENTALES.....	85

## **ÍNDICE DE TABLAS**

- TABLA (1) ESPECIFICACIÓN DE DESEMPEÑO PARA UN SISTEMA DE CONTROL 20
- TABLA (2) APROXIMACIÓN DISCRETA DE LA FUNCIÓN DE PERTENENCIA  $A_2$  POR LA FUNCIÓN  $D_2$  DE LA FORMA:  $D_2 = \{0,2,4, \dots, 80\} \rightarrow [0,1]$  30
- TABLA (3) CONECTORES USADOS EN LÓGICA DIFUSA 33
- TABLA (4) ECUACIONES DE LAS RECTAS DE LA ENTRADA DE “ERROR” 51
- TABLA (5) ECUACIONES DE LAS RECTAS DE LA ENTRADA DE “VARIACIÓN DE ERROR” 53
- TABLA (6) ECUACIONES DE LAS RECTAS DE LA SALIDA DE “TOTAL\_INTERVALOS\_APERTURA\_VÁLVULA” 54
- TABLA (7) REGLAS DIFUSAS 58
- TABLA (8) COMPARACIÓN DE LOS COLORES DE LAS MUESTRAS 83
- TABLA (9) COSTO TOTAL DE MATERIALES UTILIZADOS EN EL DESARROLLO DE LA TESIS 91

# ÍNDICE DE FIGURAS

- FIGURA (1) EJEMPLO DE UNA IMAGEN VECTORIAL 9
- FIGURA (2) EJEMPLO DE UNA IMAGEN EN MAPA DE BITS 10
- FIGURA (3) CÍRCULO CROMÁTICO 14
- FIGURA (4) COLORES PRIMARIOS 14
- FIGURA (5) COLORES SECUNDARIOS 15
- FIGURA (6) COLORES TERCARIOS 15
- FIGURA (7) COLORES RGB 16
- FIGURA (8) COLORES CMYK 17
- FIGURA (9) COLORES HSL 19
- FIGURA (10) ESQUEMA DE UN CONTROL CONVENCIONAL 20
- FIGURA (11) DIAGRAMA DE VENN DE UN CONJUNTO DIFUSO 28
- FIGURA (12) REPRESENTACIÓN DE LAS FUNCIONES DE PERTENENCIA. SE MUESTRA UNA APROXIMACIÓN DISCRETA  $D_2$  A  $A_2$  DEFINIDA NUMÉRICAMENTE EN LA TABLA (2) 30
- FIGURA (13) FUNCIÓN DE PERTENENCIA DE UN CONJUNTO DIFUSO 31
- FIGURA (14) POSIBLE DISTRIBUCIÓN DE LAS SALIDAS 37
- FIGURA (15) DIAGRAMA DE BLOQUES DEL PROCESO DE INFERENCIA DIFUSO 39
- FIGURA (16) DIAGRAMA DE BLOQUES DEL SISTEMA DE CONTROL DEL PROCESO 41
- FIGURA (17) PROGRAMA DE ADQUISICIÓN Y CAPTURA DE IMÁGENES 43
- FIGURA (18) ENCAPSULADO DEL PROGRAMA DE CAPTURA Y VII 43

## ADQUISICIÓN DE IMAGEN

- FIGURA (19) SELECCIÓN DE LA REGIÓN DE INTERÉS DE LA IMAGEN CAPTURADA 44
- FIGURA (20) ALMACENAMIENTO Y REDUCCIÓN DE TAMAÑO DE LA IMAGEN 44
- FIGURA (21) COLORES DEL MODELO CMYK 45
- FIGURA (22) HISTOGRAMA DEL MODELO RGB 47
- FIGURA (23) CONVERSIÓN DE LOS MODELOS RGB A CMYK Y LUMINANCIA 48
- FIGURA (24) ENCAPSULADO DE LA PROGRAMACIÓN DE LA CAPTURA Y ANÁLISIS DE IMÁGENES 49
- FIGURA (25) FUNCIÓN DE PERTENENCIA DEL CONJUNTO DIFUSO DE LA ENTRADA “ERROR” 51
- FIGURA (26) FUNCIÓN DE PERTENENCIA DEL CONJUNTO DIFUSO DE LA ENTRADA “VARIACIÓN DE ERROR” 52
- FIGURA (27) FUNCIÓN DE PERTENENCIA DEL CONJUNTO DIFUSO DE LA SALIDA “TOTAL\_INTERVALOS\_APERTURA\_VÁLVULA” 54
- FIGURA (28) REPRESENTACIÓN DE LA ECUACIÓN DE LA FUNCIÓN DE PERTENENCIA DE “NEGATIVO BAJO” DE LA ENTRADA “ERROR” CON PENDIENTE POSITIVA 56
- FIGURA (29) REPRESENTACIÓN DE LA ECUACIÓN DE LA FUNCIÓN DE PERTENENCIA DE “NEGATIVO BAJO” DE LA ENTRADA “ERROR” CON PENDIENTE NEGATIVA 56
- FIGURA (30) ECUACIONES DE RECTA DE LA ENTRADA “ERROR” 57
- FIGURA (31) ECUACIONES DE RECTA DE LA ENTRADA “VARIACIÓN DE ERROR” 57
- FIGURA (32) PROCESO DE FUZZIFICACIÓN USANDO REGLAS DIFUSAS 62

- FIGURA (33) REPRESENTACIÓN DE LA ECUACIÓN DE RECTA DE LA FUNCIÓN DE PERTENENCIA “MUY POCO” CORRESPONDIENTE A LA SALIDA “TOTAL\_INTERVALOS\_APERTURA\_VÁLVULA ” 63
- FIGURA (34) REPRESENTACIÓN DE LAS ECUACIONES DE RECTA DE LA FUNCIÓN DE PERTENENCIA “POCO” CORRESPONDIENTE A LA SALIDA “ TOTAL\_INTERVALOS\_APERTURA\_VÁLVULA ” 64
- FIGURA (35) REPRESENTACIÓN DE LAS ECUACIONES DE RECTA DE LA FUNCIÓN DE PERTENENCIA “ALGO” CORRESPONDIENTE A LA SALIDA “ TOTAL\_INTERVALOS\_APERTURA\_VÁLVULA ” 64
- FIGURA (36) REPRESENTACIÓN DE LAS ECUACIONES DE RECTA DE LA FUNCIÓN DE PERTENENCIA “MUCHO” CORRESPONDIENTE A LA SALIDA “ TOTAL\_INTERVALOS\_APERTURA\_VÁLVULA ” 65
- FIGURA (37) REPRESENTACIÓN DE LA ECUACIÓN DE RECTA DE LA FUNCIÓN DE PERTENENCIA “DEMASIADO” CORRESPONDIENTE A LA SALIDA “ TOTAL\_INTERVALOS\_APERTURA\_VÁLVULA ” 65
- FIGURA (38) APLICACIÓN DE LA FÓRMULA DE DEFUZZIFICACIÓN Y OBTENCIÓN DEL RESULTADO FINAL 66
- FIGURA (39) CONEXIÓN DE LA LÓGICA DIFUSA DE CADA COLOR CON EL PROCESO DE CAPTURA DE IMAGEN 67
- FIGURA (40) CONFIGURACIÓN DE LA RETROALIMENTACIÓN DE LAS ENTRADAS DE “ERROR” Y “VARIACIÓN DE ERROR” 68
- FIGURA (41) TARJETA DE ADQUISICIÓN DE DATOS (DAQ) NI-USB 6501 69
- FIGURA (42) PROGRAMACIÓN DE LA DAQ 70
- FIGURA (43) SELECCIÓN DEL PUERTO Y LA LÍNEA DE LA DAQ 70

• FIGURA (44) PROGRAMACIÓN DE LA DAQ	71
• FIGURA (45) CAPTURAS DE LAS MUESTRAS DE COLORES	74
• FIGURA (46) SELECCIÓN DEL AREA DE LA MUESTRA	74
• FIGURA (47) ANÁLISIS DE DATOS A PARTIR DE LA MUESTRA	75
• FIGURA (48) ANÁLISIS DE LA CAPTURA DE IMÁGENES DE LAS MUESTRAS DE COLORES	78
• FIGURA (49) ANÁLISIS DE LA CAPTURA DE IMÁGENES DE LOS COLORES DE LAS MEZCLAS	81
• FIGURA (50) DISEÑO DEL CIRCUITO DE CONEXIÓN DEL RELÉ CON LA VÁLVULA SOLENOIDE	83
• FIGURA (51) IMPLEMENTACIÓN DEL CIRCUITO DE CONEXIÓN DEL RELÉ	84
• FIGURA (52) SOLDADURA DEL RELÉ CON LOS SOCKETS EN LA GALLETA	84
• FIGURA (53) CONEXIÓN DE RELÉS DE LA TARJETA DE ADQUISICIÓN DE DATOS A LAS VÁLVULAS	85
• FIGURA (54) VÁLVULAS SOLENOIDES	86
• FIGURA (55) PROYECTO COMPLETO ARMADO	87
• FIGURA (56) VACIADO Y UBICACIÓN DE LAS TINTAS	88
• FIGURA (57) APERTURA DE LA VÁLVULA CON EL COLOR CIAN	88
• FIGURA (58) APERTURA DE LA VÁLVULA CON EL COLOR MAGENTA	89
• FIGURA (59) APERTURA DE LA VÁLVULA CON EL COLOR AMARILLO	89
• FIGURA (60) TINTAS COMBINADAS	90

# CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN

## Contexto del Proceso de Pintado

El Control Difuso pertenece a la clase de “Control Inteligente”, “Control Basado en Conocimiento” o “Control Experto”; aun así, no siempre es mejor que el control convencional el cual posee muchas ventajas.

Con los constantes avances en el campo de la Inteligencia Artificial, especialmente relacionado al desarrollo de Sistemas Expertos Prácticos o Sistemas de Conocimientos, ahí ha sido de considerable interés usar inteligencia artificial para controlar procesos complejos. Una explicación razonable para usar Sistemas de Control Inteligente puede estar relacionada a las dificultades que son comúnmente experimentadas por ingenieros de Control Práctico.

Hay muchas razones para las deficiencias prácticas de los algoritmos del Control Convencional. Si el modelo del proceso en sí es inexacto, el control basado en ese modelo puede generar resultados insatisfactorios. Aun con un modelo preciso, si los parámetros de los valores son parcialmente conocidos, ambiguos, o vagos, se debe hacer una apropiada estimación. Los algoritmos del Control Convencional que están basados en la información incompleta, usualmente no darán resultados satisfactorios. El ambiente con el cual el proceso interactúa puede no ser completamente predecible, y esto normalmente no es posible para un algoritmo convencional para responder con precisión a la condición que no anticipó y sería incapaz de “aprender”. Un algoritmo de Control Convencional necesitará un conjunto completo de datos para producir resultados, y de hecho, instrucciones de programas y datos son normalmente combinados en la misma memoria del controlador. Si algún dato no estuviese disponible, digamos, inesperadamente como resultado de problemas de detección, el algoritmo inflexible naturalmente fallará.

En un sistema basado en Conocimientos busca combinar las ventajas de una computadora con algunas características de inteligencia de un humano para hacer

inferencias y decisiones. Es claro que no es aconsejable intentar simplemente imitar al proceso de pensamiento de un humano sin estudiar cuidadosamente las necesidades del problema a la mano. En efecto, una fiel duplicación no es factible. Más bien, en los estados iniciales del desarrollo de este campo es adecuado desarrollar sistemas para propósitos especiales que atiendan un limitado tipo de problemas. El Control Basado en Conocimiento o Control Inteligente es uno de tales desarrollos.

Por tales motivos, se presenta esta Tesis que consiste en la implementación de un sistema de control y supervisión de un proceso de pintado, el cual se implementó, principalmente, haciendo uso de una PC, una cámara web, válvulas solenoides, una tarjeta de adquisición de datos, entre otros componentes. El uso de la visión artificial permitió captar la imagen del objeto mediante una webcam que se presentó como indicador del color que se reprodujo. De esta forma, la Lógica Difusa o Fuzzy Logic permitió realizar un control requerido para obtener resultados más exactos.

En general, este proceso, permitiría el ahorro de tiempo y dinero, otorgaría precisión y versatilidad, así como un monitoreo y control desde una PC, facilitando su posterior modificación en caso de ser aplicado en otro proceso.

### Problematización

Como se mencionó anteriormente tanto el Control Difuso como el Control Convencional tienen sus ventajas y desventajas. Pero para el tema que se presenta en esta Tesis, se ve conveniente aplicar el método de Lógica Difusa para el cálculo y la toma de decisiones en lo que se refiere al color. Además, mediante el software LabVIEW se realizará la captura y el análisis de la imagen de la muestra.

Además, se determinará la proporción de los colores para obtener el color deseado a partir de los colores sustractivos cian, magenta y amarillo, adicionalmente el color negro y el blanco para determinar la intensidad y luminosidad del respectivo color. Por otro lado, la función de la webcam será la captura del color, para un posterior análisis a través del Software LabVIEW y determinar la cantidad de color adecuada utilizando la Lógica Difusa. Seguidamente, se procederá a obtener la mezcla de colores mediante la apertura secuencial de cinco válvulas solenoides.

Posteriormente, se volverá a realizar una captura del resultado obtenido, con la finalidad de proceder a realizar la corrección del color en caso sea necesaria.

### Antecedentes

En el artículo “Development of CYMK Color Display: Display by Chromogenic Effect to Control Painted Color on Paper” [1], en donde todo el trabajo consistió en desarrollar un dispositivo el cual manipuló los colores que se encuentran pintados en un papel, para eso propuso un sistema que usó el modelo de color CYMK, que controló digitalmente los colores de una imagen usando una pintura termo-sensible a los leds infrarrojos. Especialmente el profundo análisis y la manera como trabajaron en el artículo con el modelo de color CYMK a diferencia del clásico modelo de color RGB, el haber encontrado una aplicación distinta a la común, fue éste el motivo que influyó utilizar tal método en la realización de esta Tesis.

De la misma manera en el artículo “Comparación de métodos de detección de piel en los modelos de color YCbCr y HSI para reconocimiento de caras” [2], en éste trabajo se utilizó dos métodos de color para la detección de rostros previamente capturados en imágenes, las cuales fueron convertidas a imágenes binarias para analizar diferentes secciones de la piel y las que no pertenecen al rostro. Además del modelo CMYK, en tal artículo se observó la importancia del brillo o luminancia y su influencia en una imagen. Así también se notó que el procesamiento de imágenes al capturarla, abrió camino a innumerables aplicaciones gracias a la diversidad de métodos con la que se cuenta para analizar una imagen digital.

### Objetivos

- Objetivo General:

Implementar un prototipo de supervisión y control de un proceso industrial autónomo de pintado, aplicando lógica difusa y visión artificial; de esta forma, servirá como modelo y base para otras aplicaciones en las que se requiera automatizar y reducir en lo posible la utilización de materiales al igual que costos y tiempo de producción, facilitando el control del proceso y su supervisión.

- **Objetivos Específicos**
  - a. Procesar la imagen obtenida al realizar su captura con la cámara web, para luego analizar su información con el LabVIEW.
  - b. Desarrollar el algoritmo de Lógica Difusa, para determinar el resultado conveniente de acuerdo a la información de la imagen de la muestra y a los posibles errores que pueden intervenir en el proceso.
  - c. Comprobar los resultados teóricos obtenidos en el software LabVIEW con aquellos adquiridos como resultado al utilizar la tarjeta de adquisición de datos y las válvulas solenoides.

#### Aportes

Existen limitados métodos que se utilizan actualmente para la obtención de los colores de pinturas; por ejemplo, se conoce el método tradicional de matizado de pintura en el Perú (el cual se puede observar en cualquier tienda de matizado), a base de volúmenes conocidos para poder obtener el color deseado.

Pero este método no es preciso y es necesaria la intervención del ser humano. Es por eso que se propone un nuevo sistema para poder obtener un mejor resultado utilizando menos tiempo y de forma automática, con la posibilidad de poder adicionar y modificar, para hacer que todo el proceso sea más efectivo y adecuado. Asimismo, la programación presentada puede ser adaptada a otro tipo de procesos haciendo más grande su campo de aplicación.

#### Delimitaciones y limitaciones de la Tesis

Una de las limitaciones encontradas en la realización del presente trabajo de tesis es el acceso a equipos más específicos para realizar la demostración final del proceso, como el acceso al modem GSM, tal como fue mencionado en el plan de Tesis, en donde se enviaría la información obtenida durante el proceso en forma de mensaje de texto a un determinado número de teléfono celular, de esa manera se pueda verificar el estado del proceso.

Igualmente, la demostración del proceso de pintado termina en la mezcla de los colores proveniente del análisis y corrección de la captura de imagen, así como el tiempo que cada válvula se abre para el paso de la tinta respectiva. Por tal motivo, para realizar las pruebas en caso de error de exceso o falta de color, se requiere comprobar el mezclado de las tintas capturando con la misma cámara web una

segunda imagen con el color obtenido como resultado, para continuar haciendo una comparación de sus datos con los de la muestra. Pero para poder utilizar la misma cámara, el funcionamiento del programa se presentó por etapas.

# CAPÍTULO 2. FUNDAMENTOS DEL PROCESO AUTOMATIZADO DE PINTADO

## **2.1 Visión Artificial y los Principios del Procesamiento de una Imagen Digital**

En la actualidad, el manejo de la imagen en la computadora ha tomado una gran importancia. El aumento de equipos y medios encargados de capturar imágenes se han vuelto comunes e incluso necesarias en el hogar, industria, etc.

Siguiendo este concepto se puede distinguir dos grupos de imágenes digitalizadas: las vectoriales y los denominados mapas de bits. Las características de cada una de estas son muy diferentes y están hechas para diferente uso, por eso es necesario conocerlas a fondo para utilizarlas adecuadamente.

Pero una imagen en la pantalla de la computadora, siempre muestra mapas de bits, muy aparte del tipo de imagen que se trate, puesto que el monitor muestra todo mediante pixeles, pero todo cambia cuando se recobra la imagen en otro medio de reproducción.

### a) Imágenes vectoriales

Este tipo de imágenes están compuestas de bordes y rellenos deducidos matemáticamente (vectorialmente), usando Ecuaciones exactas que describen cada imagen en su forma, posición, color, etc., formado objetos geométricos. Su cualidad principal es poder aumentar de tamaño sin pérdida de información, el cual adquiere especial relevancia en imágenes con figuras con bordes curvados, como se observa en la figura 1.



FIGURA (1) EJEMPLO DE UNA IMAGEN VECTORIAL [3]

b) Imágenes en mapa de bits

Son aquellas imágenes compuestas por una gran cantidad de puntos o cuadrados llamados píxeles que contienen información sobre el color, los cuales se juntan en un número determinado, siendo a mayor cantidad de píxeles, mejor la calidad de imagen, conocida como resolución, tal como se muestra en la figura 2.

Los píxeles dependen de la resolución, de su ubicación y de su valor de color. Y son la unidad básica en una imagen. Los píxeles juntos forman una imagen, que cuando se modifica, se altera su ubicación, la cantidad y el color de cada uno de ellos.

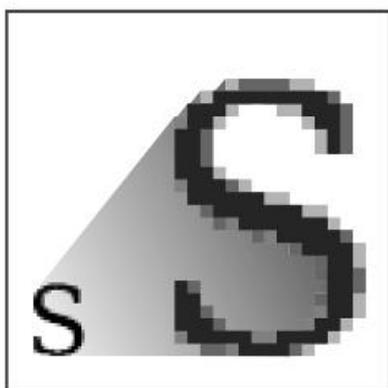


FIGURA (2) EJEMPLO DE UNA IMAGEN EN MAPA DE BITS [3]

### **2.1.1 Tamaño y resolución de imágenes**

La resolución de una imagen es la cantidad de píxeles que hay por unidad de longitud que se encuentra en una imagen. Las fotos obtenidas de las cámaras digitales son mapas de bits, al igual que las imágenes obtenidas por los escáneres, de las cuales, su calidad máxima viene determinada al momento de crearlas, como consecuencia no se podrá ampliar la resolución o número de píxeles por unidad (pulgadas o centímetros) sin que la imagen sea afectada. Existen diferentes métodos que digitalicen una imagen externa para ser tratada, y así, pueda ser utilizada posteriormente. Esta etapa es fundamental ya que la calidad obtenida dependerá exclusivamente de la forma en que se haya capturado la imagen.

Actualmente, una herramienta comúnmente utilizada para la captura de imágenes son las cámaras digitales y los escáneres.

### **2.1.2 Características de una imagen**

Una imagen de alta calidad posee como características principales: una buena resolución, un buen contraste, un nivel de compresión para el ahorro de memoria, un brillo deseado y definición en detalles y bordes. [4]

#### **Histograma**

Es aquella que nos presenta de forma gráfica y estadística del conteo de píxeles de una imagen según su Tonalidad de Gris o Color. En un histograma podemos encontrar la distribución de los tonos de gris en una imagen. Con estos datos se puede corregir estos tonos.

#### **Niveles de ruido**

Es la variación en el tono de gris que el cual afecta a un píxel por la indebida aportación de la luz de la escena. El ruido es correlativo si la variación del tono de gris depende de la posición del píxel afectado en el espacio, y es no correlativo si la variación del tono de gris no depende de la posición del píxel sino de la intensidad.

#### **Brillo**

Consiste de un ajuste en la función del histograma, en el cual se suma o se resta una constante a cada uno de sus valores, hasta obtener el resultado deseado

### **Contraste**

Un buen contraste consiste en la correcta utilización de todos los niveles de tonos presentes para lograr una buena definición o un efecto deseado, el cual se logra con operaciones matemáticas y la distribuyen en rangos de intensidades disponibles.

### **Nitidez**

Es la respuesta en los tonos de gris de la imagen ante cambios drásticos en el brillo de la imagen. La baja nitidez puede ser provocada por objetos mal enfocados y como resultado de algoritmos en el manejo de imágenes.

### **Profundidad del color**

Está referida al número máximo de colores diferentes que puede estar contenida en una imagen digital.

## **2.1.3 Teoría del Color**

Para comenzar se debe tener en cuenta que el ojo humano percibe los colores de acuerdo a la longitud de onda de la luz que recibe. La luz blanca contiene todo el espectro de color, mientras que en ausencia de luz el color es percibido por el ojo humano es el negro. El color es un resultado de la visión obtenida de las percepciones de la vista a distintas longitudes de ondas, las cuales componen el espectro de luz blanca.

Las ondas visibles son aquellas cuya longitud de onda se encuentra comprendida entre los 400 y 700 nanómetros; fuera de ese rango existen radiaciones pero no puede ser percibido por el ojo humano, aun así puede distinguir entre 10 mil colores.

Además que se pueden emplear tres dimensiones físicas del color para relacionar las experiencias de percepción con las propiedades de los materiales: saturación, brillo y tono. En el color negro encontramos una mezcla de todos los colores.

A continuación en la figura 3, 4, 5 y 6 se muestran el círculo cromático, los colores primarios secundarios y terciarios:

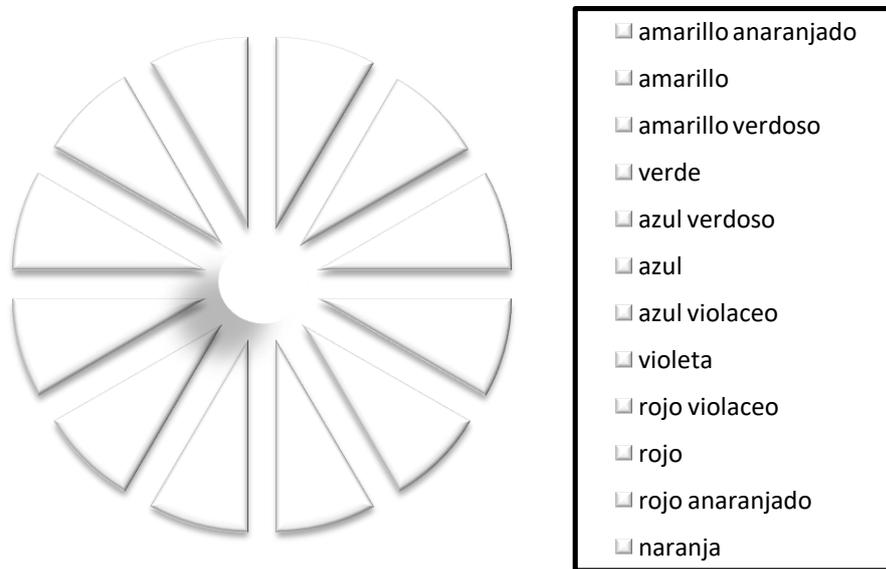


FIGURA (3) CÍRCULO CROMÁTICO

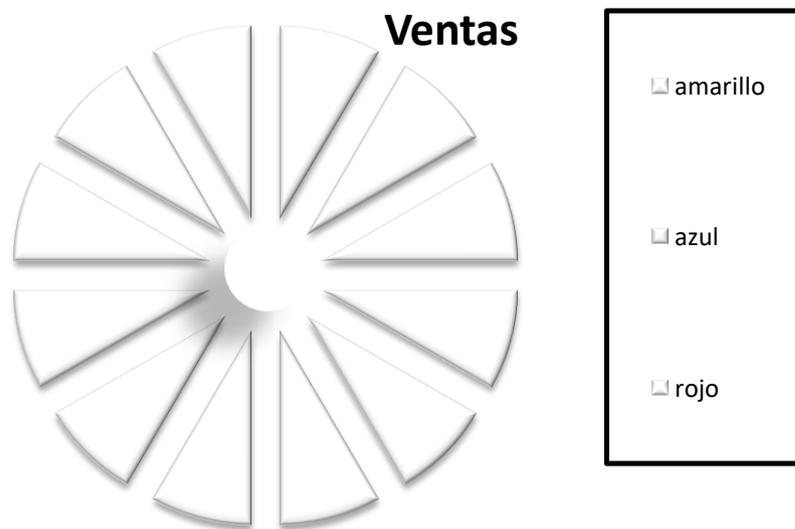


FIGURA (4) COLORES PRIMARIOS

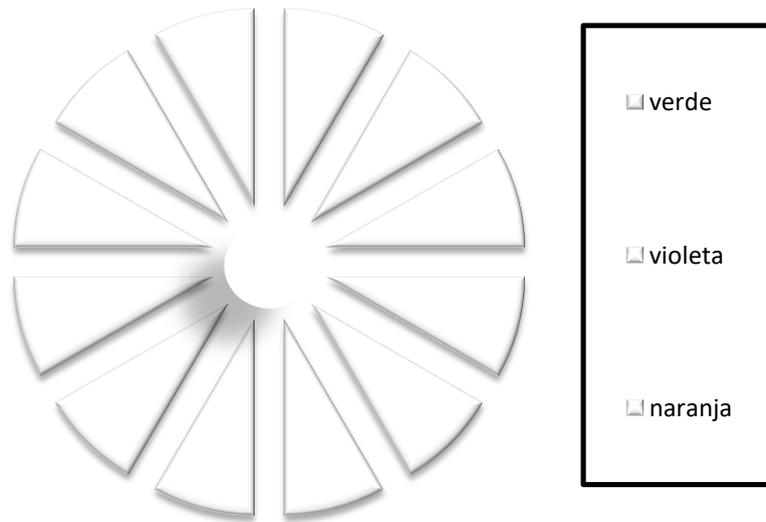


FIGURA (5) COLORES SECUNDARIOS

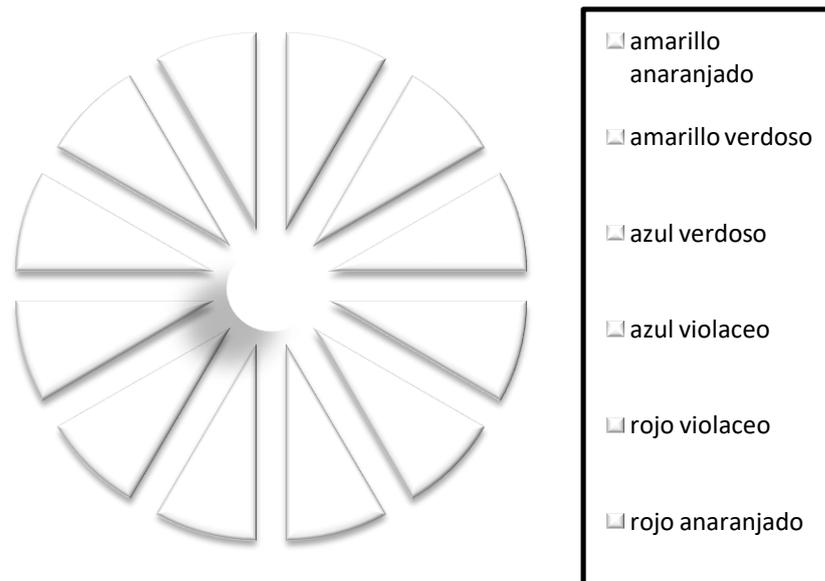


FIGURA (6) COLORES TERCIARIOS

#### Modelo RGB

Es aquel modelo que utiliza colores aditivos o colores de luz. Este es el modelo usado en los escáneres y los monitores.

Una pantalla contiene unos puntos minúsculos los cuales son llamados pixeles y en donde cada pixel es un conjunto de tres subpíxeles, siendo cada uno de color

rojo, verde y azul, que para dar una imagen tienden a brillar con diferente intensidad. La mezcla de los tres colores en mayor cantidad obtendrá un color blanco, tal como se muestra en la figura 7.

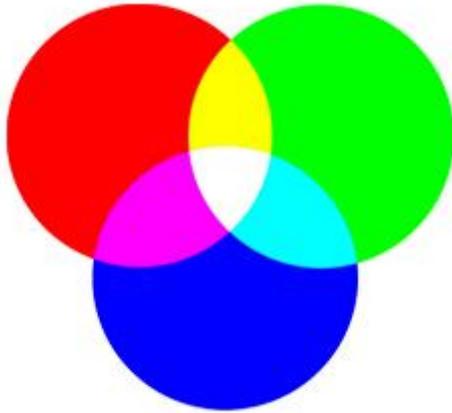


FIGURA (7) COLORES RGB

Para mezclar los colores en la correcta proporción, se le asigna a cada uno de los colores primarios un valor de 0 a 255, siendo 0 cuando no interviene el color.

La combinación de dos colores a nivel de 155 y el tercero en 0, da como resultado tres colores intermedios: el amarillo, el cian y el magenta.

#### Modelo CMYK

Este modelo corresponde a los colores de síntesis sustractivos o color pigmento, ya que cuantos más colores se agregan más se acercan al negro. Se aplica a las impresiones y cada pixel se le aplica un porcentaje de cantidad de tinta de cuatricromía: Cyan, Magenta, Amarillo y Negro, como se observa en la figura 8. El color blanco se da con la ausencia de tinta. A pesar de que este modelo es estándar, puede variar el rango exacto de los colores que se quiere representar, dependiendo de la impresión.

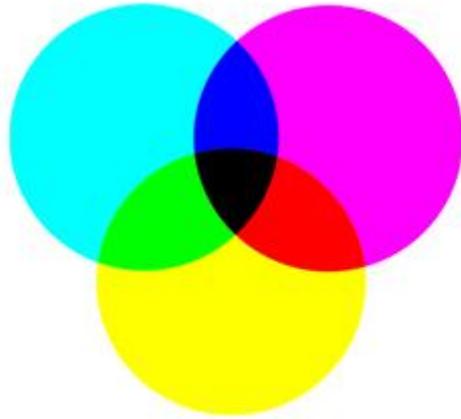


FIGURA (8) COLORES CMYK

Solo la mezcla de los colores amarillo, cyan y magenta, no producen el color negro puro. Sin embargo, los colores vistos en un monitor es diferente al color impreso, solo se puede obtener un color aproximado al momento de la impresión.

#### Modelo HSL

Este modelo se encuentra basado en la percepción humana, el cual está constituido en el matiz, saturación y brillo o luminancia. En el caso de matiz, se refiere al color en sí, la saturación indica la proporción que tiene de acercarse al blanco, como los colores pasteles, o todo lo contrario haciendo que los colores se vean intensos y fuertes. Y por último se encuentra el Brillo o la Luminancia, la cual indica lo que nuestra percepción nos lleva a lo claro u oscuro, yendo desde el blanco pasando por los tonos grisáceos hasta el negro, como se muestra en la figura 9. Para el caso de la Luminancia que es el que se usó, su fórmula está indicada de la siguiente manera en la ecuación 1:

$$Luminancia = \frac{Min(R,G,B)+Max(R,G,B)}{2} \quad (1)$$

Donde, luminancia es la mitad de la suma de los mínimos con los máximos de los valores RGB. [4]

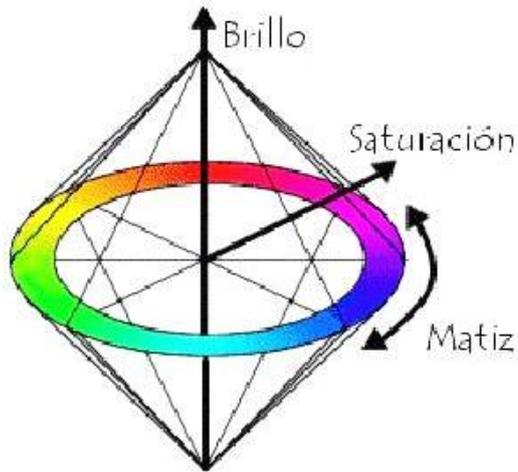


FIGURA (9) COLORES HSL [5]

## 2.2 El Control Convencional o Clásico

Antes de estudiar el tema de control inteligente, tenemos que revisar brevemente algunos de las más predominantes técnicas usadas sistemas de control tradicional.

Los principales componentes de un sistema de control son:

- a) La planta, o el proceso que está siendo controlado
- b) El controlador, el cual controla la planta
- c) El sistema de medida, el cual es necesario para el control de realimentación

Un esquema de esta interpretación es mostrado en la siguiente figura 10.

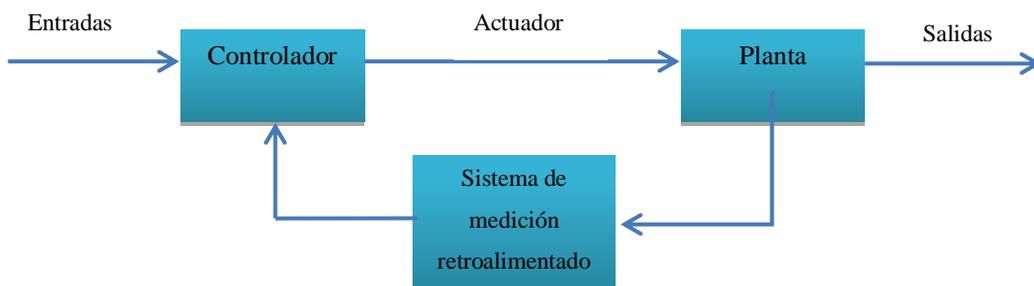


FIGURA (10) ESQUEMA DE UN CONTROL CONVENCIONAL

Por control, nos referimos a hacer la planta responder a las entradas en una manera deseada. En un sistema de control tipo regulador, el objetivo es mantener la salida a un valor deseado o constante.. En el diseño de un sistema de control el comportamiento deseado en respuesta es usualmente garantizado por encontrarse

con un conjunto de especificaciones, usualmente expresado con respecto a los atributos dados en la tabla 1.

ATRIBUTO	VALOR DESEADO	PROPÓSITO	ESPECIFICACIONES
Estabilidad	Alto	La respuesta no crece sin el límite y decaimiento al valor deseado	Porcentaje de exceso, tiempo de establecimiento, ubicación de los polos, tiempo constante, fase y margen de ganancia, relación de amortiguamiento.
Velocidad de respuesta	Rápido	La planta responde rápidamente a las entradas	Tiempo de subida. Tiempo de pico,, tiempo de retraso, frecuencia natural, frecuencia resonante, ancho de banda.
Error en estado estable	Bajo	La compensación de la respuesta deseada es negligente	Tolerancia de error para un paso de entrada.
Robustez	Alto	Respuesta precisa bajo condiciones inciertas (ruido, modelo de error, etc.) y bajo parámetro de variación	Tolerancia a la entrada de ruido, tolerancia a la medición de error, tolerancia al modelo de error.
Interacción dinámica	Baja	Una entrada afecta solo a una salida	Cruce de sensibilidad, cruce a las funciones de transferencia.

TABLA (1) ESPECIFICACIÓN DE DESEMPEÑO PARA UN SISTEMA DE CONTROL

El controlador y la medición del sistema, pueden contener una señal prefiltrada. El propósito de un prefiltro es darle forma a la señal, la cual generalmente resultará en un desempeño improvisado. Similarmente, un compensador especial puede agregarse al controlador. Nótese eso mientras un realimentador de lazo exista, el controlador, sin tener en cuenta de su ubicación dentro del lazo, es llamado un controlador realimentado.

Cuando se diseña un sistema de control, el ingeniero espera establecer los controladores y los compensadores, incluyendo algoritmos de control y hardware, eso hará que la planta se comporte de una manera requerida. La tarea no es simple y dependerá de muchos factores tales como naturaleza de la planta, objetivo y especificaciones del control y consideraciones del costo. En particular es necesario seleccionar una técnica de control.

Las técnicas de control convencionales, tales como control PID, control de realimentación no lineal, control adaptativo, etc., tienen muchas ventajas. Cuando los valores de los parámetros del controlador son conocidos, las señales de control son generadas exactamente. También, cuando las hipótesis señaladas están satisfechas, muchos de estos métodos brindan buena estabilidad, robustez a un modelo incierto y perturbado. [6]

Sin embargo, existen varias desventajas. Los algoritmos de control son rígidos o inflexibles y no pueden generalmente manejar un control inteligente variable, el cual puede involucrar razonamiento e inferencia haciendo su uso incompleto, vago, no convencional y de información cualitativa, aprendizaje y de propia organización a través del conocimiento y experiencia pasados.

El control basado en el conocimiento, control experto, y el control inteligente, son de alguna manera sinónimos y el control difuso es un particular tipo de inteligencia de control.

Un sistema es un grupo de componentes físicos ensamblados para realizar una función específica. Un sistema puede ser eléctrico, mecánico, hidráulico, neumático, térmico, biomédico, o una combinación de cualquiera de estos sistemas. Un sistema de control ideal es aquel en el cual una salida es una función directa de la entrada. Sin embargo, en la práctica, el ruido afecta a la salida que está siendo controlada y ocasiona que se desvíe del valor deseado. Un sistema de control puede ser definido en una variedad de formas, pero la definición más básica es:

***Un sistema de control es un grupo de componentes ensamblados de tal manera que regula una entrada de energía para alcanzar la salida deseada.*** [6]

### **2.2.1 Clasificación:**

Los sistemas de control están clasificados en base a las siguientes características [6]:

El tipo de técnica de operación usada para manipular la salida a un valor deseado. Los sistemas de control análogo o digital o ambas técnicas, pueden ser usados para controlar una cantidad física deseada. Pero la diferencia principal entre un sistema de control análogo y un sistema de control digital es que el primero procesa señales continuas mientras que el segundo procesa señales discretas, los cuales, son en efecto, ejemplos tomados periódicamente de señales continuas.

El uso de feedback. Sistemas de lazo cerrado, sea con feedback positivo o negativo. Si la señal de retroalimentación ayuda a una señal de entrada, el feedback es negativo. En cambio, los sistemas de lazo abierto, son sistemas que no usan un feedback.

Por la naturaleza el comportamiento del sistema. En los que están los sistemas *lineares*, si la propiedad de amplitud proporcional y el principio de superposición son satisfechas y los sistemas no lineares los cuales no cumplen estas propiedades.

De acuerdo a las áreas de aplicación. Como los Servomecanismos, Sistemas de control secuencial, Sistemas de control numéricos y también sistemas de control de procesos.

El método de generar pulsos del control. Están los sistemas de control de un canal y Sistemas de control de múltiples canales.

### **2.2.2 Características de los Sistemas de Control:**

A pesar de que diferentes sistemas están diseñados para realizar diferentes funciones, todos ellos tienen que cumplir con algunos requisitos comunes.

La mayor característica de un sistema de control típico, las cuales a menudo son usadas como medidas de rendimiento para evaluar un sistema bajo consideración, son las siguientes [6]:

**a. Estabilidad**

Si sus salidas alcanzan un cierto valor en un tiempo finito después de que la entrada es aplicada, a menudo un sistema inestable se hace estable simplemente usando un feedback negativo.

**b. Precisión**

La cual indica desviación de la salida actual desde su valor deseado y es una medida relativa del desempeño del sistema.

**c. Velocidad de respuesta**

Es la medida de cuan rápida es la salida actual para alcanzar un valor de estado estable, después de que la entrada es aplicada.

**d. La sensibilidad de un sistema**

Es una medida de cuanto le afecta a la salida los cambios en los valores de los componentes físicos así como las condiciones ambientales.

**e. Representación**

El método más común usado para representar un sistema de control con el propósito de mejorar la comunicación entre los ingenieros de diseño y de los usuarios, son los diagramas de bloques y gráficos de señales de flujo.

## 2.3 El Control Inteligente: Lógica Difusa

Es de conocimiento común en la práctica de control de procesos, ajustar las variables de operación y configuración del control, ajuste y otras acciones de control llevadas a cabo por un operador humano, y son implementados no a través de algoritmos clásicos (precisos), pero más cuantitativamente usando reglas lingüísticas, las cuales están basadas en un sentido común, heurística, conocimientos y experiencia. [6]

Por ejemplo, un experto puede enseñar a un operador de proceso las acciones de control necesario usando un conjunto de protocolos tales como “rápido”, “pequeño” y “exacto”.

En el control de lógica difusa, la tarea de generar decisiones de control es de automatizarlo por computadora para disminuir los problemas de velocidad de control, facilitando el monitoreo simultáneo y control de muchas variables. Así, las descripciones lingüísticas para controlar un proceso, están representadas como reglas o relaciones difusas, y esta base de conocimientos es usado en conjunto con algún conocimiento del estado de proceso.

Las técnicas de control convencional o clásico tienen muchos rasgos atractivos tales como estabilidad y robustez en la presencia de ruidos externos y modelos inestables, particularmente cuando es aplicado a plantas lineales, invariantes en el tiempo. Sin embargo estas técnicas pueden generar problemas cuando se controla plantas que son difíciles de modelar. También, no tienen la capacidad de un sistema inteligente, particularmente en términos de efectividad usando información cualitativa, difusa, incierta e información incompleta, heurística, intuición y aprendizaje a través de la experiencia.

Un típico control inteligente consiste en alguna forma de una base de conocimientos para “representar” el conocimiento que se necesita para controlar, y un mecanismo de inferencia para “procesar” el conocimiento a través del razonamiento, tal vez sobre la base de un conjunto de nuevos datos, y hacer decisiones. El Control Lógico Difuso no requiere de los modelos de proceso convencionales, mientras que en la mayoría de las técnicas de control convencional requieren o de un modelo analítico experimental [6].

De todo esto, se deduce que la representación del conocimiento y el procesamiento del conocimiento son de fundamental importancia en el control inteligente.

### **2.3.1 Conocimiento e Inteligencia**

Cada día que nos encontramos con “información” en periódicos, radio, y televisión, datos de un sensor, libros, tablas, textos electrónicos. La información en sí misma no representa conocimiento. Nosotros debemos “adquirir” conocimiento, como es el caso de atravesar la experiencia y por aprendizaje. El conocimiento mejorado y especializado puede ser llamado experiencia. Una vez más, el conocimiento es sometido a un procesamiento de alto nivel para adquirir destreza. En particular, los sistemas inteligentes generalmente tienen capacidad de adquirir y aplicar conocimiento en una manera apropiada y tienen la capacidad de percepción, razonamiento, aprendizaje y hacer inferencias desde una información incompleta.

Una representación apropiada del conocimiento, incluyendo la intuición y el conocimiento aprendido, es fundamental para el desarrollo de una máquina inteligente y de los sistemas basados en conocimientos. Por tanto, las formas de representación y procesamiento del conocimiento, son las siguientes [6]:

### **2.3.2 Fundamentos de Lógica Difusa**

El control basado en conocimiento depende de algún método de representación y procesamiento del conocimiento. Esta lógica clásica de dos estados usa solamente dos cantidades, Verdadero (V) y Falso (F) como valores de verdad.

#### **a. Conjuntos Difusos**

La lógica Difusa es la lógica que trata con conjuntos difusos. El concepto de conjuntos difusos y Lógica Difusa son usadas en control difuso mediante la regla de la inferencia difusa.

Un conjunto difuso es un grupo que no tiene límites clásicos. En otras palabras, existe una asociación con la pertenencia de los elementos en un conjunto difuso. Considerar un *Universo X*, cuyos elementos están denotados por  $x$ . Un conjunto difuso  $A$  en  $X$  puede ser representado por un diagrama de Venn como en la figura 11.

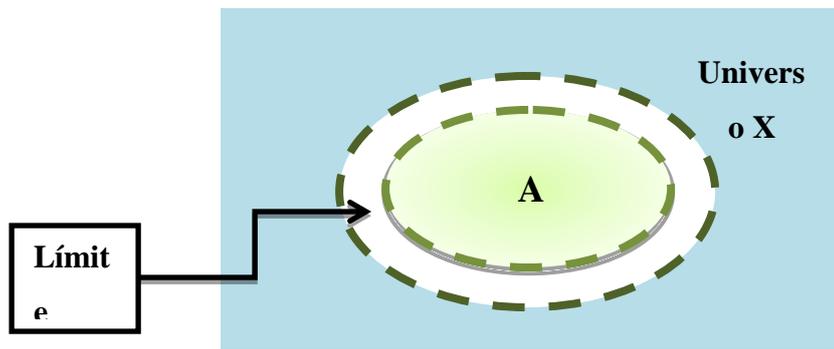


FIGURA (11) DIAGRAMA DE VENN DE UN CONJUNTO DIFUSO

Nótese que una variable (ejemplo: “temperatura”) puede tomar valores difusos (ejemplo: “alto”). Un valor difuso puede ser representado por un conjunto difuso. La pertenencia en un conjunto difuso puede ser representada por una función de pertenencia.

Para ilustrar estos conceptos, se considerará tres conjuntos difusos que representen el concepto de una persona joven, adulto y adulto mayor. Una expresión razonable de estos tres conceptos por funciones de pertenencia trapezoidal  $A_1$ ,  $A_2$  y  $A_3$  es mostrado en la siguiente figura, estas funciones están definidas en el intervalo  $[0,80]$  como sigue:

$$A_1(x) = \begin{cases} 1, & \text{cuando } x \leq 20 \\ \frac{35 - x}{15}, & \text{cuando } 20 < x < 35 \\ 0, & \text{cuando } x \geq 35 \end{cases}$$

$$A_{21}(x) = \begin{cases} 0, & \text{ya sea } x \leq 20 \text{ ó } \geq 60 \\ \frac{x-20}{15}, & \text{cuando } 20 < x < 35 \\ \frac{60-x}{15}, & \text{cuando } 45 < x < 60 \\ 1, & \text{cuando } 35 \leq x \leq 45 \end{cases}$$

$$A_3(x) = \begin{cases} 0, & \text{cuando } x \leq 45 \\ \frac{x-45}{15}, & \text{cuando } 45 < x < 60 \\ 1, & \text{cuando } x \geq 60 \end{cases}$$

Una posible aproximación discreta  $D_2(x)$  de función  $A_2$ , se muestra en la figura 12; su explicación explícita está dada en la tabla 2. Tales aproximaciones son importantes porque ellos son típicos en representaciones de conjuntos difusos por computadora.

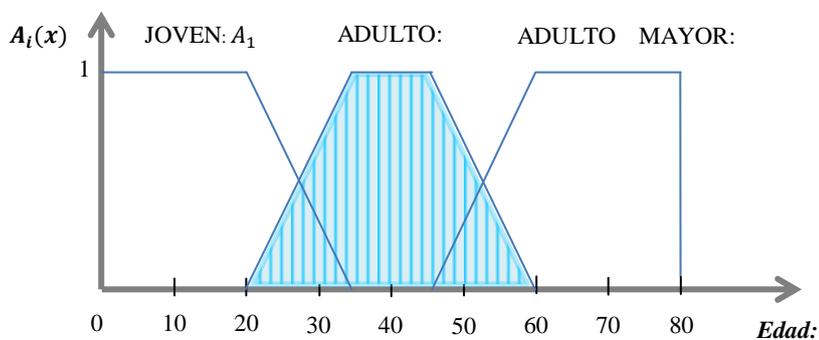


FIGURA (12) REPRESENTACIÓN DE LAS FUNCIONES DE PERTENENCIA. SE MUESTRA UNA APROXIMACIÓN DISCRETA  $D_2$  A  $A_2$  DEFINIDA NUMÉRICAMENTE EN LA TABLA (2)

$x$	$D_2(x)$
$x \notin \{22, 24, \dots, 58\}$	0.00
$x \in \{22, 58\}$	0.13
$x \in \{24, 56\}$	0.27
$x \in \{26, 54\}$	0.40
$x \in \{28, 52\}$	0.53
$x \in \{30, 50\}$	0.67
$x \in \{32, 48\}$	0.80
$x \in \{34, 46\}$	0.93
$x \in \{36, 38, \dots, 44\}$	1.00

TABLA (2) APROXIMACIÓN DISCRETA DE LA FUNCIÓN DE PERTENENCIA  $A_2$  POR LA FUNCIÓN  $D_2$  DE LA FORMA:  $D_2 = \{0, 2, 4, \dots, 80\} \rightarrow [0, 1]$

### b. Función de pertenencia

Un conjunto difuso puede ser representado en una función de pertenencia. Esta función da el grado de pertenencia dentro de un conjunto, de cualquier elemento del universo en discusión. La función de pertenencia ubica los elementos del universo en valores numéricos en el intervalo  $[0, 1]$ . Específicamente,

$$\mu_A(x): X \rightarrow [0, 1] \quad (2)$$

Donde  $\mu_A(x)$  es función de pertenencia de un conjunto difuso  $A$ , la cual es una función de posibilidad y no de probabilidad. Un grado de pertenencia mayor o igual a 0 o menor que 1 corresponde a una pertenencia difusa, y el elemento correspondiente cae sobre los límites de un conjunto, los cuales son representados en la figura 13.

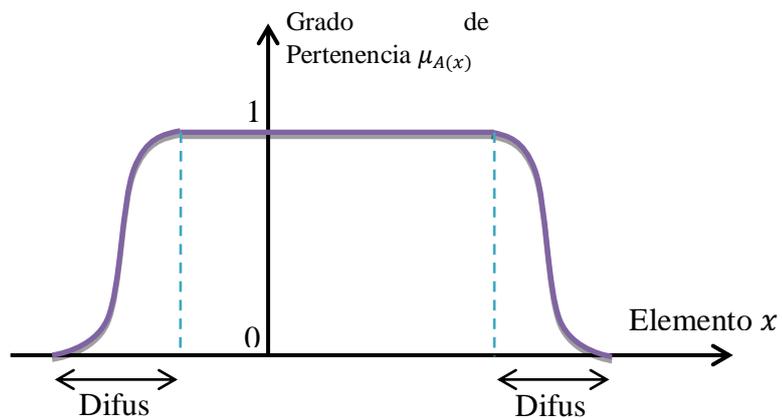


FIGURA (13) FUNCIÓN DE PERTENENCIA DE UN CONJUNTO DIFUSO

### c. Operaciones de Lógica Difusa

Es sabido que el “complemento”, “unión” e “intersección” de los conjuntos clásicos corresponden a las operaciones lógicas NO, O, Y. Además, la unión de un conjunto con el complemento de un segundo conjunto representa un “condicional” del primer conjunto por el segundo conjunto. Estas operaciones lógicas, deben ser extendidas a los conjuntos difusos para su uso en el razonamiento y control lógico difuso. Estos conectores deben ser expresados en términos de funciones de pertenencia de los conjuntos que son operados.

Conectores	Definición
------------	------------

<p><b>Complemento (NO)</b></p>	<p>Considere un conjunto difuso <math>A</math> en un universo <math>X</math>. Su complemento <math>A'</math> es un conjunto cuyo función de pertenencia está dado por</p> $\mu_{A'}(x) = 1 - \mu_A(x),$ $\forall x \in X$
<p><b>Unión (O)</b></p>	<p>La unión corresponde a la operación lógica O. Las razones para el uso de <i>max</i> es esa, por que el elemento <math>x</math> puede pertenecer a un conjunto u otro, se debería aplicar el más largo de los dos grados de pertenencia</p> $\mu_{A \cup B}(x) = \max[\mu_A(x), \mu_B(x)],$ $\forall x \in X$
<p><b>Intersección (Y)</b></p>	<p>La intersección corresponde a la operación lógica Y. Las razones para el uso de <i>min</i> es esa porque el elemento <math>x</math> debe pertenecer a los dos simultáneamente, se debería aplicar el más pequeño de los dos grados de</p>

	<p>pertenencia.</p> $\mu_{A \vee B}(x) = \min[\mu_A(x), \mu_B(x)],$ $\forall x \in X$
<p><b>Condicional</b> <b>(Si-Entonces)</b></p>	<p>El condicional difuso <math>A \rightarrow B</math> es un sistema difuso en el <i>producto del espacio cartesiano</i> <math>X \times Y</math>.</p> $\mu_{A \rightarrow B}(x, y) = \min[\mu_A(x), \mu_B(y)]$

TABLA (3) CONECTORES USADOS EN LÓGICA DIFUSA

#### d. Control Difuso Basado en Reglas

Una regla basada en conocimiento difuso es generalmente una relación de la forma:

**“Si  $A_i$  y  $B_i$  Entonces  $C_i$ ”**

Estos conjuntos difusos están relacionados a través de Si – Entonces y porque una operación de condicional para dos conjuntos difusos, puede

ser interpretada como un “mínimo” sobre la función de pertenencia correspondiente, se expresa como:

$$\mu_{Ri}(a, b, c) = \min[\mu_{Ai}(a), \mu_{Bi}(b), \mu_{Ci}(c)] \quad (3)$$

Las reglas individuales en la base de reglas están unidas a través de los conectores ADEMÁS, las cuales son uniones (conectores O). Por lo tanto, obtiene usando operaciones de “máximo” a las funciones de pertenencia de las normas individuales, así:

$$\mu_R(a, b, c) = \max \mu_{Ri}(a, b, c) \quad (4)$$

Se debe tener en cuenta que una base de conocimiento difuso es una matriz multidimensional, es decir una matriz de tres dimensiones, de los valores de función de pertenencia. Esta matriz corresponde a un algoritmo de control difuso.

Una vez que el algoritmo de control difuso es dado, supongamos que las medidas del proceso difuso  $A'$  y  $B'$  están disponibles, la inferencia de control correspondiente  $C'$  es obtenida usando la regla de composición de la inferencia.

$$\mu_{C'}(c) = \sup \min[\mu_{Ai}(a), \mu_{Bi}(b), \mu_R(a, b, c)] \quad (5)$$

Donde *sup* es el grado de pertenencia más grande obtenido por cualquier elemento en ese grupo. Esta es una intersección que corresponde a una operación Y, por lo tanto se aplica a una operación *min* para las funciones de pertenencia. Para un valor dado de la acción de control  $C'$ ,

los conjuntos difusos resultantes son entonces asignados (proyectados) desde un espacio tridimensional  $X \times Y \times Z$  en un espacio unidimensional  $Z$  de las acciones de control.

En los sistemas de control basados en conocimiento, el control del conocimiento es a menudo expresado como reglas de la forma:

“**SI** la salida  $Y_1$  es  $y_1$  y la salida  $Y_2$  es  $y_2$  **ENTONCES** el control  $C$  es  $c$ ”

En las reglas del control difuso de este tipo son afirmaciones lingüísticas de conocimiento especializado en la cual  $y_1$ ,  $y_2$  y  $c$  son cantidades difusas. Estas reglas son relaciones difusas que emplean el condicional difuso (SI-ENTONCES). El conjunto colectivo de reglas forman la base del conocimiento en el control difuso. A continuación una regla emparejada se enciende, así proporcionando una acción de control. Por consideración general, los datos son denotados por un conjunto difuso  $D$  y la acción de control es denotada por un conjunto difuso  $C$ . La *Regla de Composición de Inferencia* afirma que [6]:

$$C = D \circ R \quad (6)$$

Se puede determinar que la función de pertenencia de la acción de control incorporando el conocimiento de las funciones de pertenencias de los datos y la base de reglas es:

$$\mu_c = \sup_{(Y)} \min (\mu_D, \mu_R) \quad (7)$$

### e. Fuzzificación

Los pasos principales del control lógico difuso puede ser resumido de la siguiente manera:

- I. Desarrollar un conjunto de reglas, que pueden contener variables difusas como salidas y entradas.
- II. Obtener un conjunto de funciones de pertenencia para las variables de salida y de entrada del control.
- III. Usando la condicional difusa en cada regla en el paso i, y usando el paso ii, obtener el arreglo multidimensional  $R_i$ .
- IV. Combine las relaciones  $R_i$  usando conectores difusos para obtener el total de las bases de reglas difusas.

Entonces las acciones de control pueden ser determinadas en un tiempo real, como sigue:

- i. Fuzzificar las variables de medida del proceso como únicas.
- ii. Unir las medidas difusas obtenidas usando la Regla de Composición de Inferencia.
- iii. Defuzzificar la inferencia de control.

## f. Defuzzificación

El diagrama de la figura (14) muestra las funciones de pertenencias relacionadas a una salida variable de un típico controlador difuso. El control lógico difuso procesará los datos de la entrada y asignará la salida a uno o más de sus valores lingüísticos. Dependiendo de las condiciones, las funciones de pertenencia de los valores lingüísticos pueden ser cortadas. La unión de las formas de funciones de pertenencia forman los valores de salida difusos del controlador.

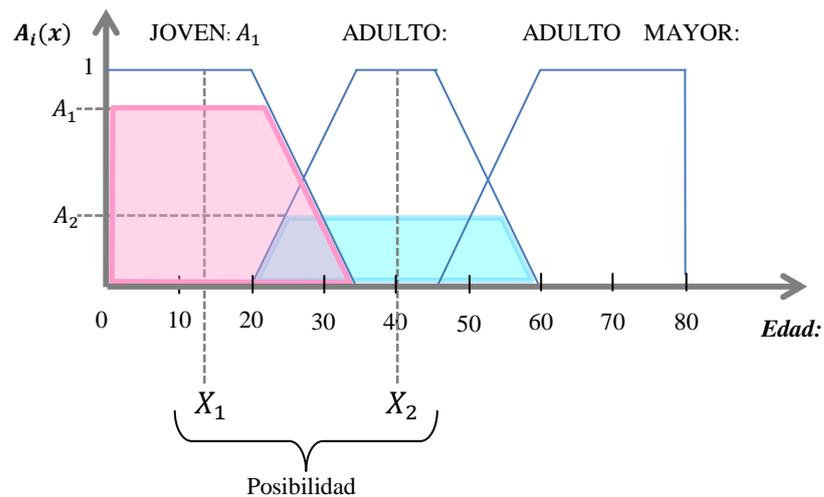


FIGURA (14) POSIBLE DISTRIBUCIÓN DE LAS SALIDAS

Muchos métodos están disponibles para la defuzzificación de una inferencia de control difusa, pero para la presente tesis, de acuerdo a sus características se decidió por utilizar el siguiente método de defuzzificación: Centro de Máxima, debido a que según sus características lingüísticas tiene mejor compromiso, es recomendable

para formas de función de pertenencia variables y superpuestas, así como también es mejor debido a que el trabajo realizado por la computadora al ejecutar los cálculos es bajo a comparación de otros métodos, además su campo de aplicación es el control de lazo cerrado y análisis de datos.

En el método de defuzzificación Centro de Máxima, el controlador de lógica difusa primero determina el valor numérico típico para cada escala de la función de pertenencia. El valor numérico típico es la media de los valores numéricos correspondientes al grado de pertenencia en el que la función de pertenencia se redujo.

$$x_{final} = \frac{(x_1\mu_1 + x_2\mu_2 + \dots + x_n\mu_n)}{(\mu_1 + \mu_2 + \dots + \mu_n)} \quad (8)$$

Donde  $x_n$  es el típico valor numérico para la función de pertenencia a escala  $n$ , y  $\mu_n$  es el grado de pertenencia en el que la función de pertenencia  $n$  fue escalada.

En general, el proceso de inferencia de Lógica Difusa se encuentra representado en la figura 15, a partir de un diagrama de bloques

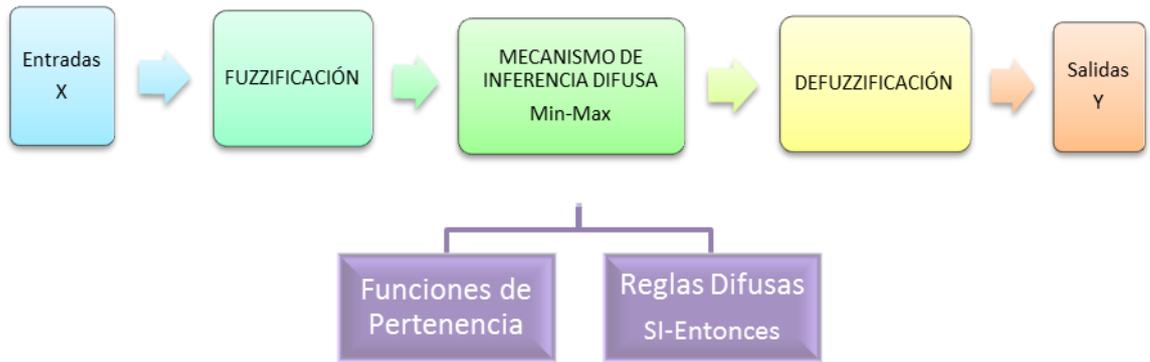


FIGURA (15) DIAGRAMA DE BLOQUES DEL PROCESO DE INFERENCIA DIFUSO

## CAPÍTULO 3. PROCESAMIENTO DE IMAGEN Y SISTEMA DE CONTROL DIFUSO

La Lógica Difusa resulta ser una herramienta con la cual se puede solucionar diversos problemas y ser fácilmente adaptable a la situación requerida, particularmente cuando la situación sea compleja para ser resuelta por el control clásico o convencional. Por lo tanto, el proceso presentado en el desarrollo de esta Tesis, será controlado desde una PC, en la cual se desarrolló tanto la programación del procesamiento de imágenes como del control difuso utilizando el software LabVIEW.

En la figura 16, se muestra el diagrama de bloques del sistema de control del proceso presentado en esta Tesis, donde se explica de manera general los pasos realizados en la programación, comenzando con la captura de imagen tomada desde una Web Cam, siguiendo con la selección y el análisis de la imagen y de la información que contiene, así como la programación del modelo de color elegido para dar paso al controlador Lógico Difuso. A continuación se explica en los bloques siguientes lo que se realizó en caso de existir algún error en los resultados obtenidos anteriormente con la apertura de las válvulas al dar paso a la salida de las tintas, los cuales también al ser probados y capturados por una Web Cam, serán analizados y comparados con la primera captura.

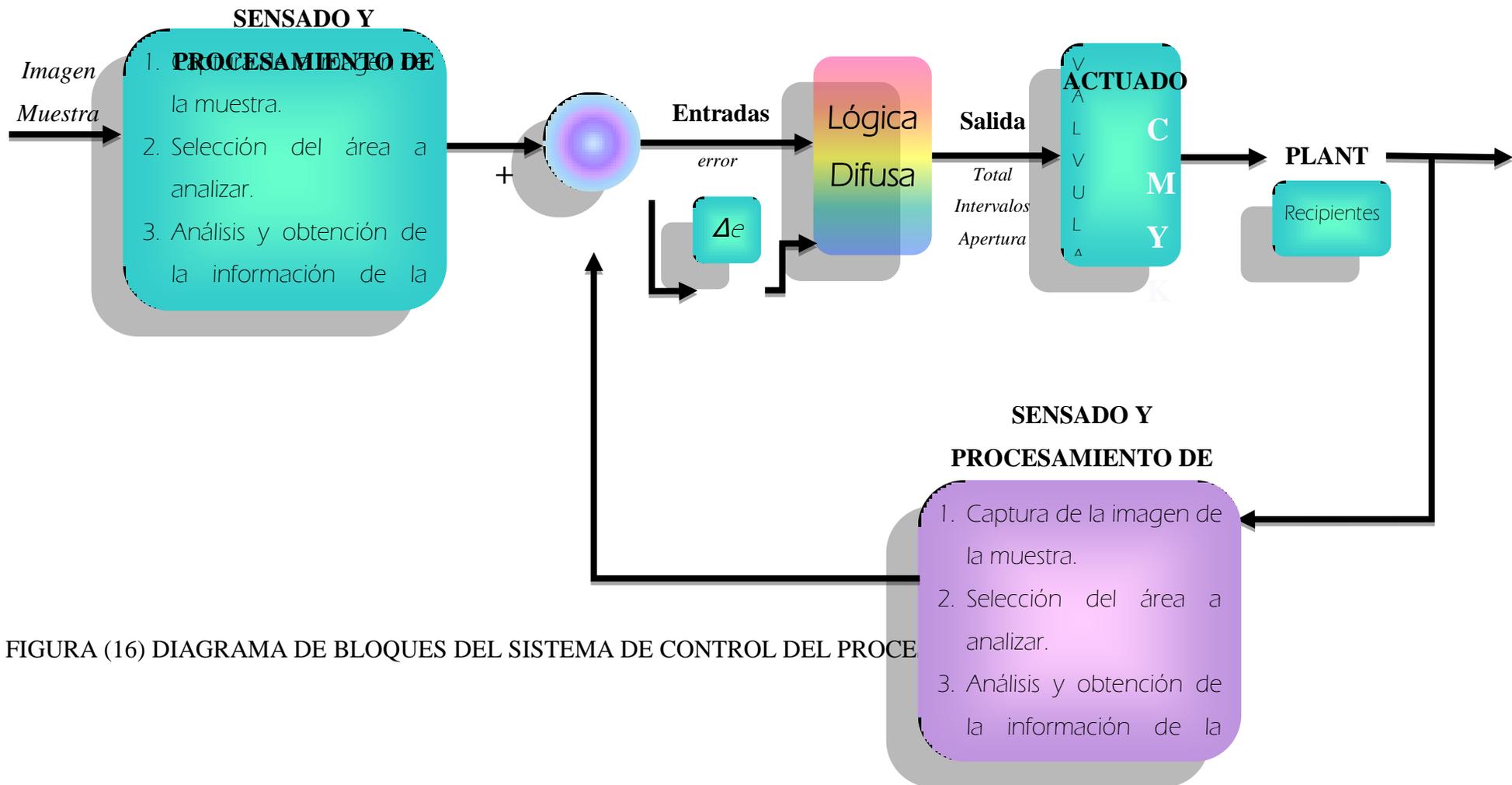


FIGURA (16) DIAGRAMA DE BLOQUES DEL SISTEMA DE CONTROL DEL PROCESO

### 3.1 Etapa de adquisición de datos: Visión Artificial

Para comenzar a estructurar la programación, se necesitó instalar en una computadora, el software LabVIEW, es este caso se utilizó la versión 2010, la cual fue la que mostró menos inconvenientes en su instalación. Además de eso se necesitó los módulos de Vision Acquisition, Vision Builder y Vision Development, los cuales permitieron realizar la captura de imágenes, además brinda librerías que se utilizarán en la manipulación de las mismas.

Se comenzó el programa en los Diagramas de Bloques, con el Open Camera.Vi , el cual se utilizó para cargar y configurar la cámara web. A continuación se colocó el Read attributes.vi, que sirve para cargar la configuración de la cámara creada anteriormente. Seguidamente se colocó los VI (Instrumento Virtual), correspondientes a la grabación y captura de la imagen, y al mismo tiempo se colocó IMAQ.VI, que crea una ubicación temporal para la imagen. Ahí mismo se le indica el nombre del archivo y su extensión.

Finalmente para concluir el programa se colocó *Close Camera.VI*, el cual cierra la sesión de la cámara y detiene por completo el proceso de captura.

En la figura 17 se muestra la captura de los diagrama de bloques de la programación correspondiente a la configuración de la cámara web, además de designarle la ubicación temporal y tipo de archivo de la imagen que fue capturada.

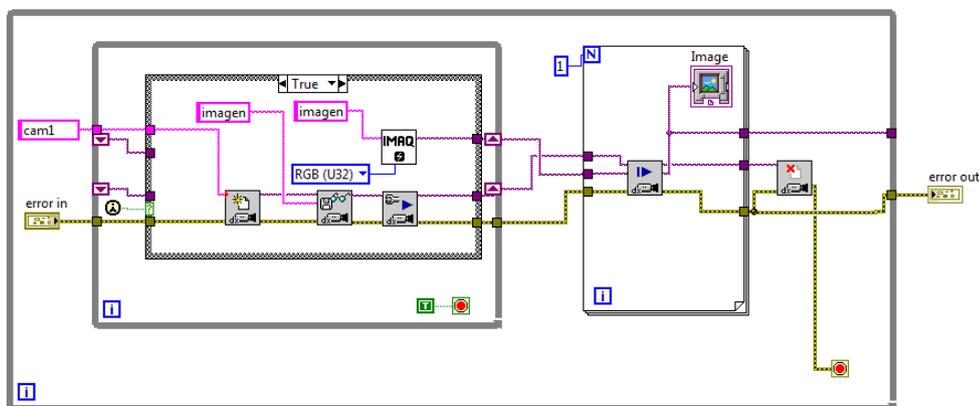


FIGURA (17) PROGRAMA DE ADQUISICIÓN Y CAPTURA DE IMÁGENES

Para simplificar y reducir los espacios de la programación, se decidió crear un encapsulado al Diagrama de Bloques de la figura 17, en su correspondiente ventana de Panel Frontal, en donde se seleccionó como conector *Image.VI* el cual sirvió para ser conectado luego en el siguiente programa mostrado en la figura 19, además se designó una imagen que ayudó a identificar el programa de adquisición y captura de imagen



FIGURA (18) ENCAPSULADO DEL PROGRAMA DE CAPTURA Y ADQUISICIÓN DE IMAGEN

Para una mayor precisión, se creó un programa el cual consistió en seleccionar en la imagen capturada, la parte de la imagen de donde se desea el color. Se comenzó poniendo el *VI* que permite seleccionar la región de interés de la imagen, abriendo una ventana en la cual se muestran diversas herramientas designadas a seleccionar un área. Continúa con *IMAQ.VI* y otras *VI*'s que se utilizaron para reconocer y extraer la región en cuestión.

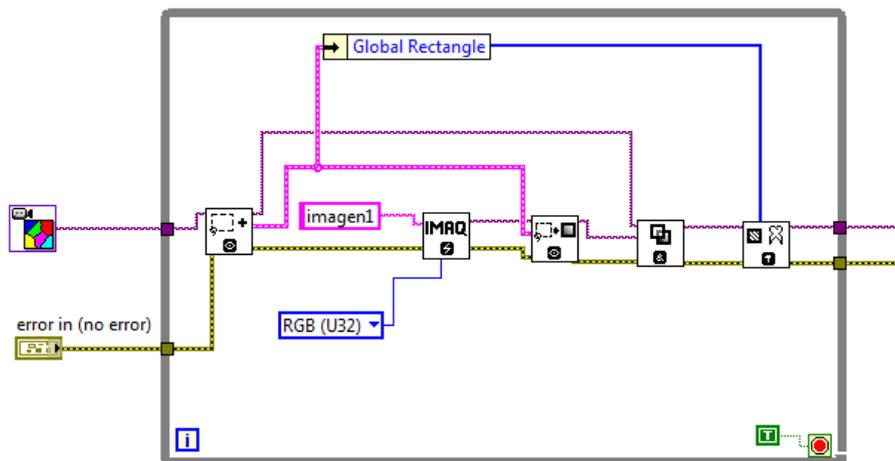


FIGURA (19) SELECCIÓN DE LA REGIÓN DE INTERÉS DE LA IMAGEN CAPTURADA

Para asegurar la captura, como se muestra en la figura 20, se implementó un programa para guardar la imagen ya modificada indicando la carpeta donde se

guardará además del nombre y el tipo del archivo. A continuación se procedió a reducir el tamaño de la imagen pasando de 16-bits a 8-bits, de esta manera será mas fácil analizar su composición.

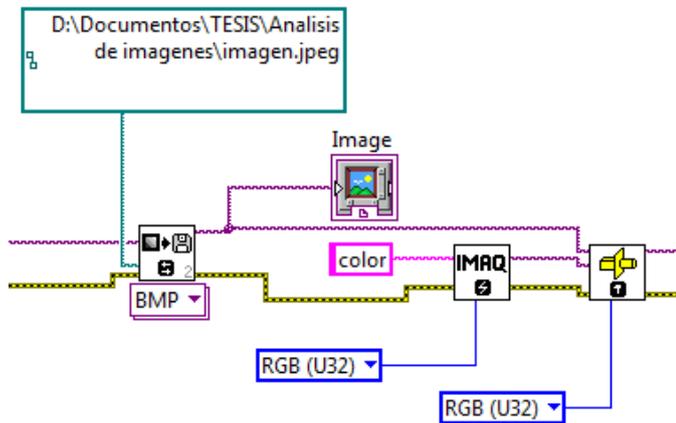


FIGURA (20) ALMACENAMIENTO Y REDUCCIÓN DEL TAMAÑO DE LA IMAGEN

### 3.2 Composición de los colores de la muestra tomada

El modelo CMYK (del acrónimo de Cyan, Magenta, Yellow y Key) es un modelo de color sustractivo que se utiliza en la impresión en colores. Permite representar una gama de color más amplia que este último, y tiene una mejor adaptación a los medios industriales. Este modelo se basa en la mezcla de pigmentos de los siguientes colores para crear otros más, y son los siguientes:



FIGURA (21) COLORES DEL MODELO CMYK

Para ser más precisos, se decidió agregar un color más a analizar, que no está incluido en el modelo CMYK, y es la Luminancia o Luminosidad del modelo de color HSL, la cual es considerada como brillo, o color blanco. Como es en el caso

de las impresoras, que utilizan los colores Cian, Magenta, Amarillo, Negro; cuando se le pide imprimir en el papel un color claro, la manera en la que baja los colores es segregando menos tinta y utilizando el color blanco del papel para aclararlo. Es por este motivo que se agregó un color más al análisis de la imagen en base a la experiencia obtenida, al mezclar los colores de la tinta utilizada en las impresoras para obtener otros colores a partir de éstos.

La mezcla de colores CMY ideales es sustractiva (puesto que la mezcla de cian, magenta y amarillo en fondo blanco resulta en el color negro). El modelo CMYK se basa en la absorción de la luz. El color que presenta un objeto corresponde a la parte de la luz que incide sobre éste y que no es absorbida por el objeto.

El cian es el opuesto al rojo, lo que significa que actúa como un filtro que absorbe dicho color (-Rojo +Verde +Azul). Magenta es el opuesto al verde (+Rojo -Verde +Azul) y amarillo el opuesto al azul (+Rojo +Verde -Azul).

Después de haber reducido la imagen, se procedió a calcular el histograma del modelo RGB, para obtener la información del color de la muestra. En el histograma visualizó la cantidad de píxeles que hay ya sea para el Rojo, Verde ó Azul.

El histograma muestra la cantidad de píxeles en el eje Y para cada nivel de color ubicado en el eje X, el cual va de 0 a 255, siendo el 255 el nivel de color mas puro.

A continuación, se utilizó el VI de max y min para arreglos, para hallar el punto con la mayor cantidad de píxeles y su par que sería la tonalidad de color que más se halla en la imagen, repitiendo este proceso para los tres colores del modelo RGB, los valores obtenidos para cada tonalidad de color son los datos que se necesitaba hallar.

En la figura 22 se muestra la programación que se utilizó para obtener el histograma de los colores del modelo RGB, además del valor de la tonalidad de cada color para la mayor cantidad de píxeles.

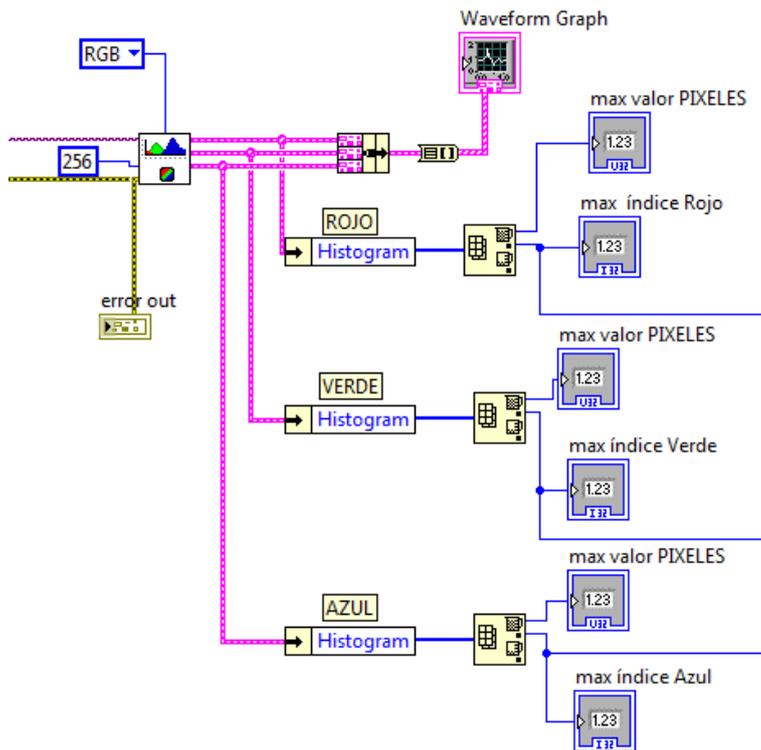


FIGURA (22) HISTOGRAMA DEL MODELO RGB

Una vez se obtenido los valores de los colores Rojo, Verde y Azul, se procedió a convertirlos al modelo CMYK además de la luminancia, usando la programación presentada en la figura 23. Además ahí se encuentra presentada la fórmula con la cual obtiene la luminancia o Blanco, a partir también del modelo RGB. Los resultados obtenidos para el modelo CMYK, va del 0 al 1, por tal motivo se multiplicará por 100 para adaptarlo a los valores requeridos por la lógica difusa, con excepción de la luminancia, con el cual se realiza una regla de tres para que también sus valores vayan de 0 a 100 de acuerdo al rango de entrada de la lógica difusa. La Luminancia es obtenida como resultado de la mitad de la suma de los máximos y mínimos de los valores de RGB respectivamente.

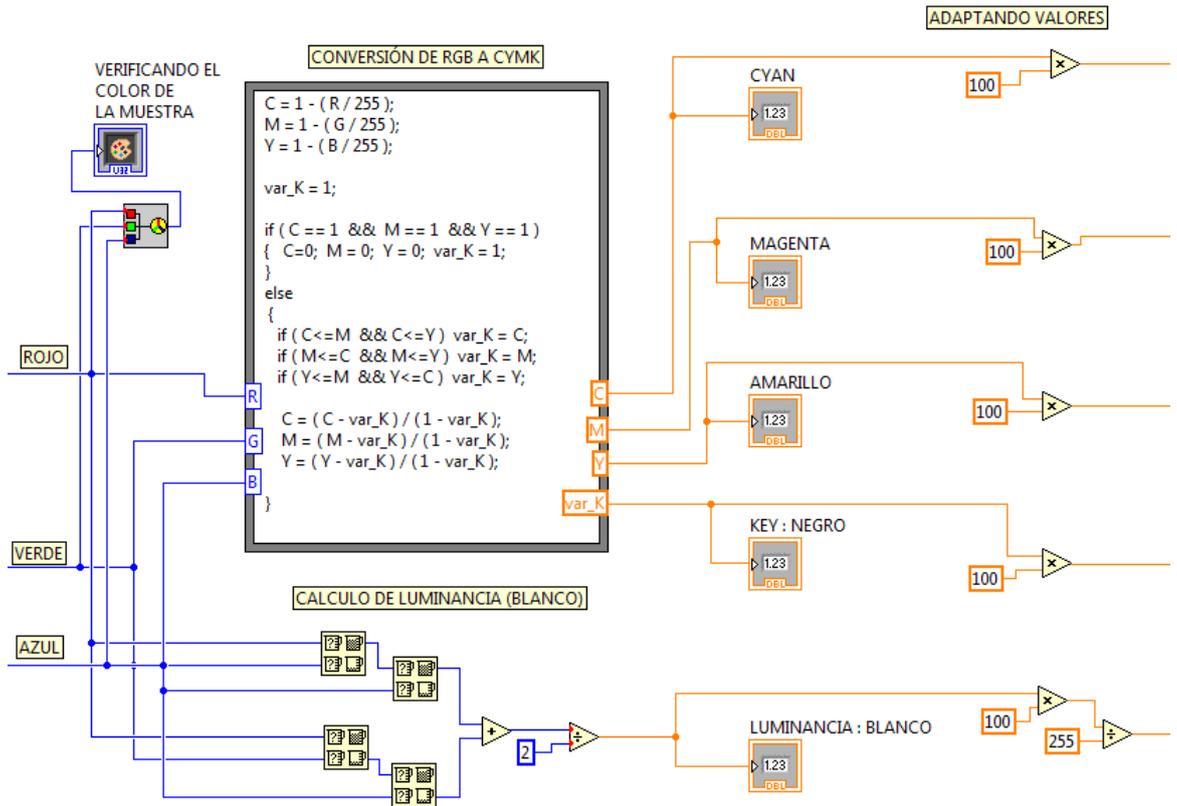


FIGURA (23) CONVERSIÓN DE LOS MODELOS RGB A CMYK Y LUMINANCIA

Toda la programación presentadas en las figuras 17, 19, 20, 22 y 23 se encapsularon en un ícono como se muestra en la figura 24, ya que éste se volverá a utilizar cada vez que sea requerido para capturar y analizar las imágenes y su composición, el encapsulado tiene 5 pines que son los valores de los colores CMYK y Luminancia que van en un rango de 0 - 100, de los cuales se obtienen los datos. De aquí, los datos serán procesados por la lógica difusa para dar paso a la solución al problema planteado.



FIGURA (24) ENCAPSULADO DE LA PROGRAMACIÓN DE LA CAPTURA Y ANALISIS DE IMAGENES

### 3.3 Proceso de pintado controlado usando Lógica Difusa

Se comenzó esta parte de la programación, decidiendo considerar 2 entradas: error y variación de error, y una salida con la total de intervalos de apertura de las válvulas de pintura que se dio paso a través de las válvulas. Son dos entradas mínimas necesarias, de las cuales la principal sería la que da el error y la segunda entrada se utilizará en caso se haya detectado alguna variación de error, obtenido después de realizar la captura de la imagen de la prueba de color, con la cual se verificó el exceso o falta de pintura después de haber realizado la captura de la muestra resultante. De la misma manera se consideró una salida necesaria, la cual indicó las veces en los cuales debe abrirse cada válvula, que fueron controladas por el software LabVIEW a través de la tarjeta de adquisición de datos ya que esta habrá dado la cantidad de pintura necesaria dependiendo del tiempo en que permanecieron abiertas las válvulas, aun así varíe el tiempo en que permanece abierto ya que solo aumentará o disminuirá su proporción.

Cada una de las dos entradas y la salida contó con 5 funciones de pertenencia, de las cuales cada una de sus rectas sigue la forma de la siguiente ecuación:

$$(y - y_1) = m * (x - x_1) \quad (9)$$

Siendo m, la pendiente de la recta la cual se haya despejándola y reemplazando los valores de x e y de la recta, respectivamente.

La entrada de “Error” es aquella información que se recibe de la diferencia de la adquisición de datos de cada color de la imagen de muestra con la tomada al momento realizar una prueba de color de la mezcla de la tinta. La entrada de “Variación de Error” también está referida a cada color, pero al porcentaje extra o faltante que pueda haber entre los errores de las pruebas de color de las mezclas siguientes. Este programa de lógica difusa pertenece al análisis del “Error” de un color, por lo tanto se repitió 5 veces este programa para cada color de esa manera completar el proceso. Para la entrada “Error”, se determinó como los conjuntos difusos los siguientes, los cuales también son mostrados en la figura 25:

CONJUNTOS DIFUSOS DE LA	}	NEGATIVO ALTO: -50 a -25 %	forma	41
		triangular		
	}	NEGATIVO BAJO: -50 a 0 %	forma	
		triangular		

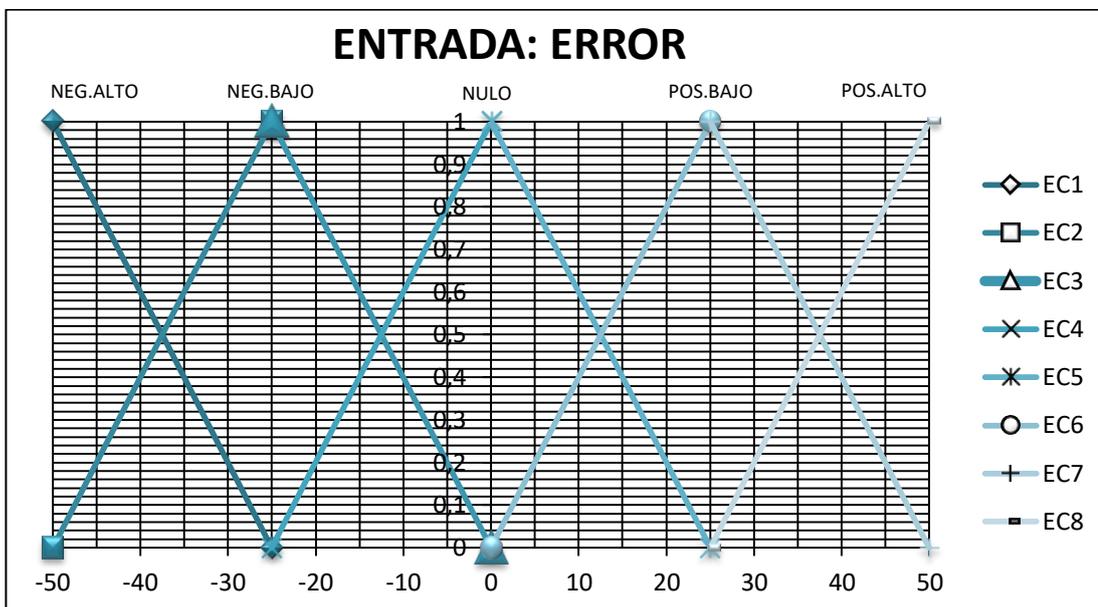


FIGURA (25) FUNÇÃO DE PERTENENCIA DEL CONJUNTO DIFUSO DE ENTRADA “ERRO”

<p><u>ECUACIÓN 1</u></p> $m = -0.04$ $y = \frac{-25 - x}{25}$	<p><u>ECUACIÓN 2</u></p> $m = 0.04$ $y = \frac{50 + x}{25}$
<p><u>ECUACIÓN 3</u></p> $m = -0.04$ $y = -\frac{x}{25}$	<p><u>ECUACIÓN 4</u></p> $m = 0.04$ $y = \frac{25 + x}{25}$
<p><u>ECUACIÓN 5</u></p> $m = -0.04$ $y = \frac{25 - x}{25}$	<p><u>ECUACIÓN 6</u></p> $m = 0.04$ $y = \frac{x}{25}$

ECUACIÓN 7	ECUACIÓN 8
$m = -0.04$	$m = 0.04$
$y = \frac{50 - x}{25}$	$y = \frac{x - 25}{25}$

TABLA (4) ECUACIONES DE LAS RECTAS DE LA ENTRADA “ERROR”

Para la entrada “Variación de Error”, se determinó como los conjuntos difusos los siguientes, los cuales también se muestran en la figura 26:

<b>CONJUNTOS DIFUSOS DE LA ENTRADA “VARIACIÓN DE ERROR”</b>	<b>NEGATIVO GRANDE:</b> -30 a -10 %	forma trapezoidal
	<b>NEGATIVO PEQUEÑO:</b> -20 a 0 %	forma triangular
	<b>CERO:</b> -10 a 10 %	forma triangular
	<b>POSITIVO PEQUEÑO:</b> 0 a 20 %	forma triangular
	<b>POSITIVO GRANDE:</b> 10 a 30 %	forma trapezoidal

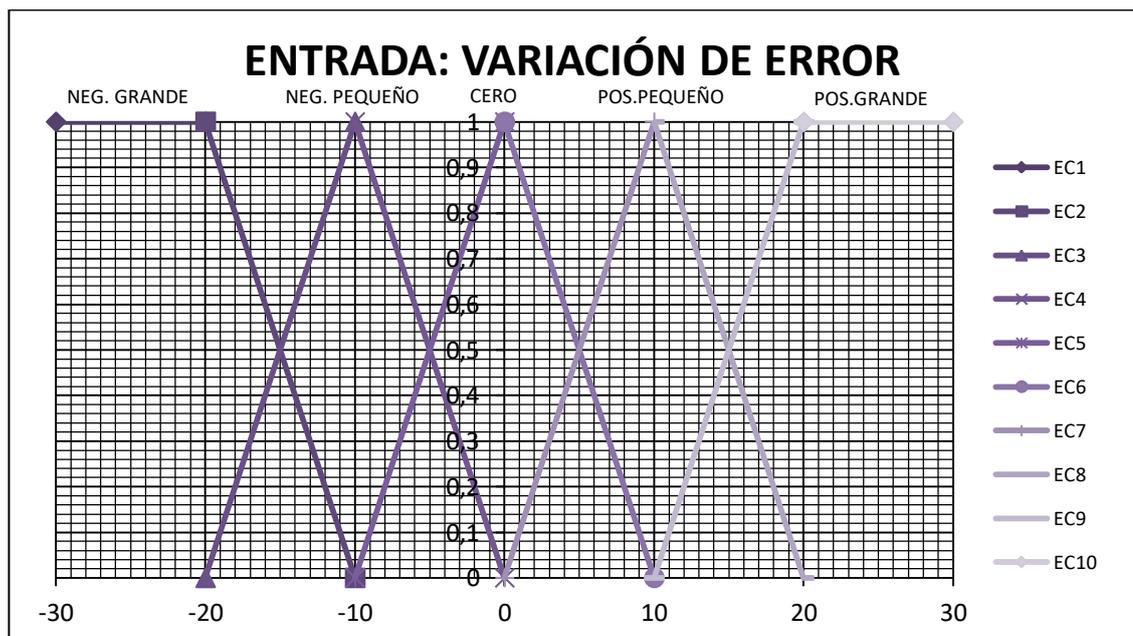


FIGURA (26) FUNCIÓN DE PERTENENCIA DEL CONJUNTO DIFUSO DE ENTRADA “VARIACIÓN DE ERROR”

<p><u>ECUACIÓN 1</u></p> $m = 0$ $y = x$	<p><u>ECUACIÓN 2</u></p> $m = -0.1$ $y = \frac{50 + x}{25}$
<p><u>ECUACIÓN 3</u></p> $m = 0.1$ $y = \frac{20 + x}{10}$	<p><u>ECUACIÓN 4</u></p> $m = -0.1$ $y = \frac{-x}{10}$
<p><u>ECUACIÓN 5</u></p> $m = 0.1$ $y = \frac{10 + x}{10}$	<p><u>ECUACIÓN 6</u></p> $m = -0.1$ $y = \frac{10 - x}{10}$
<p><u>ECUACIÓN 7</u></p> $m = 0.1$ $y = \frac{x}{10}$	<p><u>ECUACIÓN 8</u></p> $m = -0.1$ $y = \frac{20 - x}{10}$
<p><u>ECUACIÓN 7</u></p> $m = 0.1$ $y = \frac{x - 10}{10}$	<p><u>ECUACIÓN 8</u></p> $m = 0$ $y = x$

TABLA (5) ECUACIONES DE LAS RECTAS DE LA ENTRADA “VARIACIÓN DE ERROR”

Para la salida “total\_intervalos\_apertura\_válvula”, se determinó como los conjuntos difusos los siguientes, los cuales también son mostrados en la figura 27:

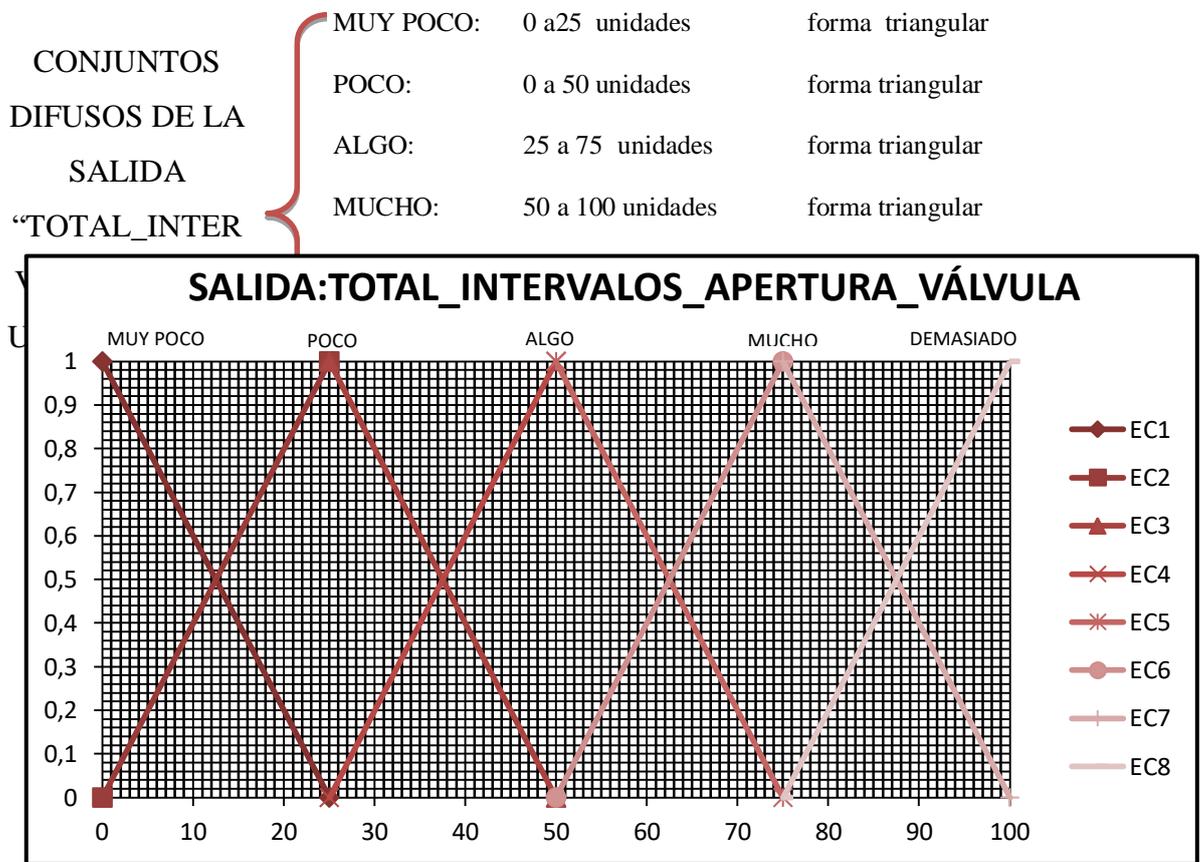


FIGURA (27) FUNCIÓN DE PERTENENCIA DEL CONJUNTO DIFUSO DE SALIDA “TOTAL\_INTERVALOS\_APERTURA\_VÁLVULA”

<p><u>ECUACIÓN 1</u></p> <p><math>m = -0.04</math></p> <p><math>y = \frac{25 - x}{25}</math></p>	<p><u>ECUACIÓN 2</u></p> <p><math>m = 0.04</math></p> <p><math>y = \frac{x}{25}</math></p>
<p><u>ECUACIÓN 3</u></p> <p><math>m = -0.04</math></p> <p><math>y = \frac{50 - x}{25}</math></p>	<p><u>ECUACIÓN 4</u></p> <p><math>m = 0.04</math></p> <p><math>y = \frac{x - 25}{25}</math></p>

<u>ECUACIÓN 5</u>  $m = -0.04$  $y = \frac{75 - x}{25}$	<u>ECUACIÓN 6</u>  $m = 0.04$  $y = \frac{x - 50}{25}$
<u>ECUACIÓN 7</u>  $m = -0.04$  $y = \frac{100 - x}{25}$	<u>ECUACIÓN 8</u>  $m = 0.04$  $y = \frac{x - 75}{25}$

TABLA (6) ECUACIONES DE LAS RECTAS DE LA SALIDA “TOTAL\_INTERVALOS\_APERTURA\_VÁLVULA”

En el diseño de la programación en el software LabVIEW se procedió a representar cada ecuación de la recta correspondiente a cada función de pertenencia, trabajando en base al eje X o los valores de las entradas, de tal manera que se obtuvo al final los valores correspondientes al eje Y, que corresponden a los valores de cada función de pertenencia.

Se ubicó los límites en el eje X de cada función de pertenencia, a continuación en un condicional se procedió a representar las ecuaciones de cada recta de cada función de pertenencia, indicando también su ubicación correspondiente al eje X o los elementos de la entrada.

Las siguientes figuras 28 y 29, tienen representado a la partición función de pertenencia “NEGATIVO BAJO” de entrada “Error”, con sus correspondientes ecuaciones de recta 2 y 3 de la Tabla 4, en donde primero se establecieron los rangos de la función de pertenencia, pasando a una estructura donde se establecieron los casos de ser Verdadero (True), si el valor dado corresponde al límite de la función de pertenencia y de ser Falso (False) si no correspondiera. Ahí mismo se pone el límite de las dos ecuaciones de rectas correspondientes a esa función de pertenencia.

En otra estructura de casos, se colocó la ecuación de recta de pendiente positiva en caso de que sea Verdadero (True), mientras haya cumplido con la condición

puesta en la primera estructura, y la ecuación de pendiente negativa en el caso de Falso (False).

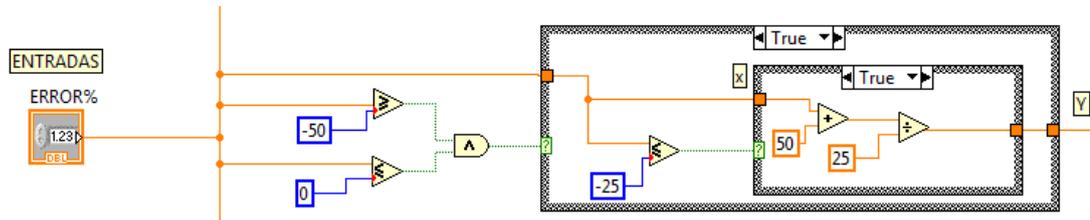


FIGURA (28) REPRESENTACIÓN DE LA ECUACIÓN DE RECTA DE LA FUNCIÓN DE PERTENENCIA “NEGATIVO BAJO” DE LA ENTRADA “ERROR” CON PENDIENTE POSITIVA

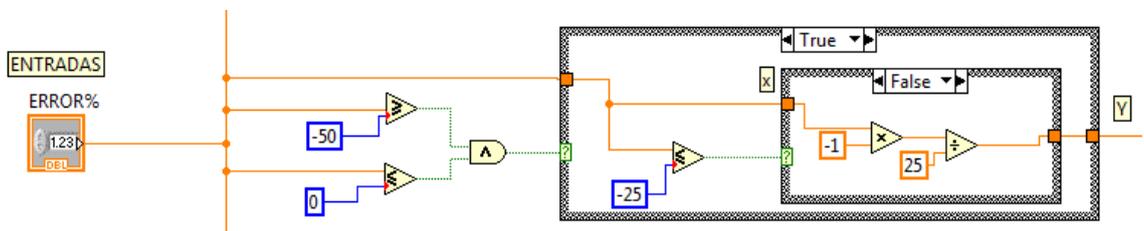


FIGURA (29) REPRESENTACIÓN DE LAS ECUACIONES DE RECTA DE LA FUNCIÓN DE PERTENENCIA “NEGATIVO BAJO” DE LA ENTRADA “ERROR” CON PENDIENTE NEGATIVA

Este procedimiento se realizó para todas las funciones de pertenencia que conernientes a las dos entradas. Los resultados de esta programación fueron conectadas para crear las Reglas Difusas.

En la figura 28, se muestra la representación de las ecuaciones de recta de las funciones de pertenencia de la Entrada “Error”; de la misma manera, en la figura 29 se muestra la representación de las ecuaciones de recta para cada función de pertenencia de la Entrada “Error”.

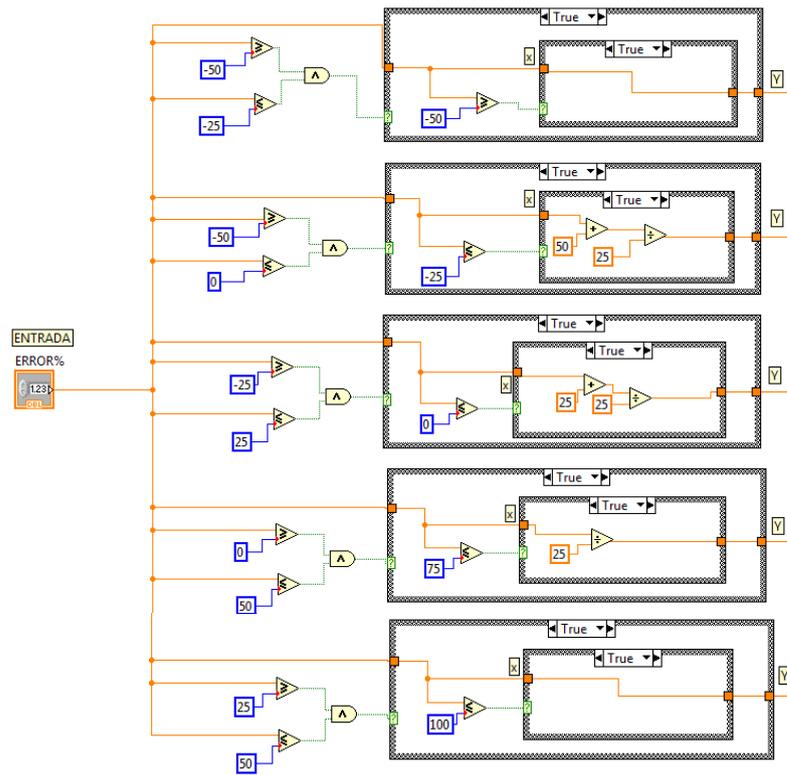


FIGURA (30) ECUACIONES DE RECTA DE LA ENTRADA “ERROR”

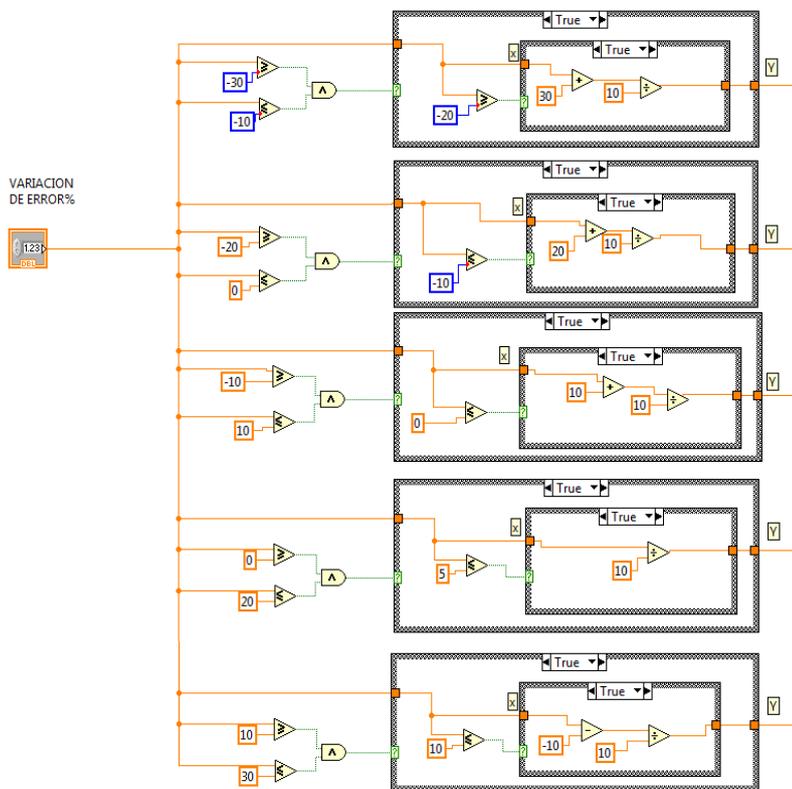


FIGURA (31) ECUACIONES DE RECTA DE LA ENTRADA “VARIACIÓN DE ERROR”

Posteriormente, se procedió a realizar las reglas difusas mostradas en la siguiente tabla 9, usando los nombres de cada función de pertenencia:

		<b>ERROR %</b>					
<b>ENTRADAS</b>		<b>NEGATIVO ALTO</b>	<b>NEGATIVO BAJO</b>	<b>NULO</b>	<b>POSITIVO BAJO</b>	<b>POSITIVO ALTO</b>	
<b>ERROR%</b>	<b>NEGATIVO GRANDE</b>	Demasiado	Mucho	Algo	Poco	Muy poco	<b>TOTAL_INTERVALOS_APERTURA_VÁLVULA</b>
	<b>NEGATIVO PEQUEÑO</b>	mucho	Algo	Poco	Muy poco	Muy poco	
	<b>CERO</b>	Algo	Poco	Muy poco	Muy poco	Muy poco	
	<b>POSITIVO PEQUEÑO</b>	Poco	Muy poco	Muy poco	Muy poco	Muy poco	
	<b>POSITIVO GRANDE</b>	Muy poco	Muy poco	Muy poco	Muy poco	Muy poco	
		<b>SALIDA</b>					

TABLA (7) REGLAS DIFUSAS

Con esta tabla, se formaron 25 reglas, las cuales toman las decisiones de acuerdo a las funciones de pertenencia de las entradas. Estas son:

- **REGLA 1:** Si el Error es **NEGATIVO ALTO** y la Variación de Error es **NEGATIVO GRANDE**, entonces el Total\_Intervalos\_Apertura\_Válvula en la Salida es **DEMASIADO**.

- REGLA 2: Si el Error es **NEGATIVO BAJO** y la Variación de Error es **NEGATIVO GRANDE**, entonces el Total\_Intervalos\_Apertura\_Válvula en la Salida es **MUCHO**.
- REGLA 3: Si el Error es **NULO** y la Variación de Error es **NEGATIVO GRANDE**, entonces el Total\_Intervalos\_Apertura\_Válvula en la Salida es **ALGO**.
- REGLA 4: Si el Error es **POSITIVO BAJO** y la Variación de Error es **NEGATIVO GRANDE**, entonces el Total\_Intervalos\_Apertura\_Válvula en la Salida es **POCO**.
- REGLA 5: Si el Error es **POSITIVO ALTO** y la Variación de Error es **NEGATIVO GRANDE**, entonces el Total\_Intervalos\_Apertura\_Válvula en la Salida es **MUY POCO**.
- REGLA 6: Si el Error es **NEGATIVO ALTO** y la Variación de Error es **NEGATIVO PEQUEÑO**, entonces el Total\_Intervalos\_Apertura\_Válvula en la Salida es **MUCHO**.
- REGLA 7: Si el Error es **NEGATIVO BAJO** y la Variación de Error es **NEGATIVO PEQUEÑO**, entonces el Total\_Intervalos\_Apertura\_Válvula en la Salida es **ALGO**.
- REGLA 8: Si el Error es **NULO** y la Variación de Error es **NEGATIVO PEQUEÑO**, entonces el Total\_Intervalos\_Apertura\_Válvula en la Salida es **POCO**.
- REGLA 9: Si el Error es **POSITIVO BAJO** y la Variación de Error es **NEGATIVO PEQUEÑO**, entonces el Total\_Intervalos\_Apertura\_Válvula en la Salida es **MUY POCO**.
- REGLA 10: Si el Error es **POSITIVO ALTO** y la Variación de Error es **NEGATIVO PEQUEÑO**, entonces el Total\_Intervalos\_Apertura\_Válvula en la Salida es **MUY POCO**.
- REGLA 11: Si el Error es **NEGATIVO ALTO** y la Variación de Error es **CERO**, entonces el Total\_Intervalos\_Apertura\_Válvula en la Salida es **ALGO**.

- REGLA 12: Si el Error es **NEGATIVO BAJO** y la Variación de Error es **CERO**, entonces la el Total\_Intervalos\_Apertura\_Válvula en la Salida es **POCO**.
- REGLA 13: Si el Error es **NULO** y la Variación de Error es **CERO**, entonces la el Total\_Intervalos\_Apertura\_Válvula en la Salida es **MUY POCO**.
- REGLA 14: Si el Error es **POSITIVO BAJO** y la Variación de Error es **CERO**, entonces el Total\_Intervalos\_Apertura\_Válvula en la Salida es **MUY POCO**.
- REGLA 15: Si el Error es **POSITIVO ALTO** y la Variación de Error es **CERO**, entonces el Total\_Intervalos\_Apertura\_Válvula en la Salida es **MUY POCO**.
- REGLA 16: Si el Error es **NEGATIVO ALTO** y la Variación de Error es **POSITIVO PEQUEÑO**, entonces el Total\_Intervalos\_Apertura\_Válvula en la Salida es **POCO**.
- REGLA 17: Si el Error es **NEGATIVO BAJO** y la Variación de Error es **POSITIVO PEQUEÑO**, entonces el Total\_Intervalos\_Apertura\_Válvula en la Salida es **MUY POCO**.
- REGLA 18: Si el Error es **NULO** y la Variación de Error es **POSITIVO PEQUEÑO**, entonces el Total\_Intervalos\_Apertura\_Válvula en la Salida es **MUY POCO**.
- REGLA 19: Si el Error es **POSITIVO BAJO** y la Variación de Error es **POSITIVO PEQUEÑO**, entonces el Total\_Intervalos\_Apertura\_Válvula en la Salida es **MUY POCO**.
- REGLA 20: Si el Error es **POSITIVO ALTO** y la Variación de Error es **POSITIVO PEQUEÑO**, entonces el Total\_Intervalos\_Apertura\_Válvula en la Salida es **MUY POCO**.
- REGLA 21: Si el Error es **NEGATIVO ALTO** y la Variación de Error es **POSITIVO GRANDE**, entonces el Total\_Intervalos\_Apertura\_Válvula en la Salida es **MUY POCO**.

- REGLA 22: Si el Error es **NEGATIVO BAJO** y la Variación de Error es **POSITIVO GRANDE**, entonces el Total\_Intervalos\_Apertura\_Válvula en la Salida es **MUY POCO**.
- REGLA 23: Si el Error es **NULO** y la Variación de Error es **POSITIVO GRANDE**, entonces el Total\_Intervalos\_Apertura\_Válvula en la Salida es **MUY POCO**.
- REGLA 24: Si el Error es **POSITIVO BAJO** y la Variación de Error es **POSITIVO GRANDE**, entonces el Total\_Intervalos\_Apertura\_Válvula en la Salida es **MUY POCO**.
- REGLA 25: Si el Error es **POSITIVO ALTO** y la Variación de Error es **POSITIVO GRANDE**, entonces el Total\_Intervalos\_Apertura\_Válvula en la Salida es **MUY POCO**.

Una vez obtenida las reglas se continuó graficándolas tal como se muestra en la figura 32, y con las funciones de pertenencia graficadas de las entradas “Variación de Error” y “Error”, relacionándolas según corresponda con la función de **MÍNIMO**, en la cual toma el número más pequeño de todos, de esta manera como resultado se obtendrá las funciones de pertenencia de la salida “Total\_Intervalos\_Apertura\_Válvula”. Si dos o más salidas tienen una función de pertenencia en común, se deberá utilizar la función de **MÁXIMO**, en la cual toma el valor más grande de todos, a continuación de la función Mínimo.

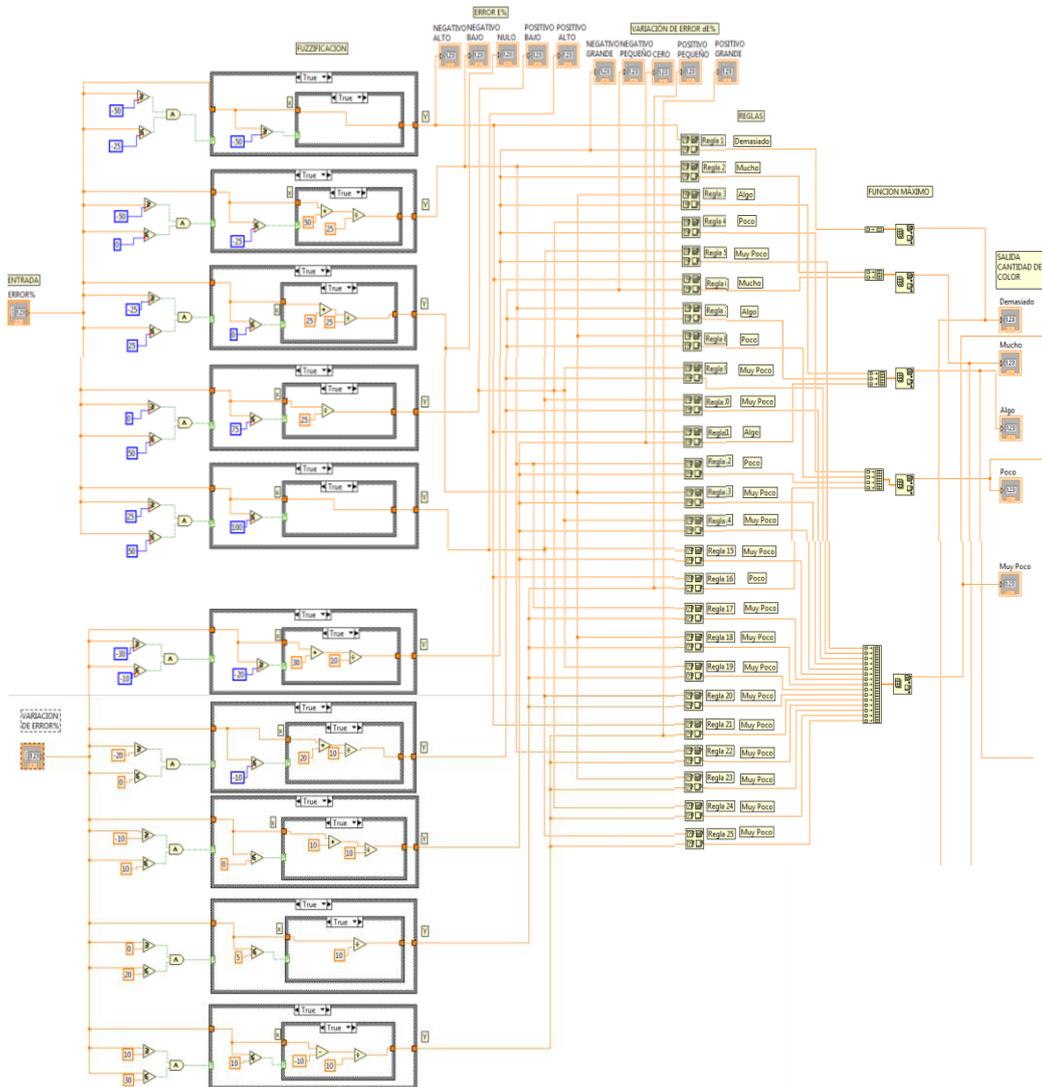


FIGURA (32) PROCESO DE FUZZIFICACIÓN USANDO LAS REGLAS DIFUSAS

Con esto se terminó la parte de fuzzificación donde se realizó la toma de decisiones. A continuación se convirtieron los datos de la función de pertenencia de salida obtenidas al valor real. Para esto se realizó la defuzzificación, utilizando el método escogido de acuerdo al tipo de proceso, que para este caso la mejor opción fue el Centro de Máxima.

Primero se representó cada recta con su respectiva pendiente, número de puntos y límites concerniente a las funciones de pertenencia de las salidas. De los datos obtenidos de la fuzzificación, se fue separando cada ecuación de la recta que

representa cada salida, ya sea para la función “MUY POCO”, “POCO”, “ALGO”, “MUCHO” y “DEMASIADO”. Una vez indicado todo esto, se procedió a ordenar los datos correspondientes a los ejes X e Y de cada recta en arreglos o mejor dicho en una matriz de 1 x 400, continuando separando X e Y, de manera independiente para continuar con su análisis.

Cada valor que vino como resultado de las Reglas va a ser el límite a su correspondiente función de pertenencia de la salida. En la programación de aquel valor dado, se comparó con cada elemento que perteneció al su correspondiente eje Y. Cuando el elemento sea igual o mayor al valor originado en las Reglas Difusas, este es reemplazado por el número dado por la regla.

De esa manera continuará analizando y reemplazando hasta acabar con todos los elementos. Los elementos correspondientes a los ejes X permanecen intocables, tal como se encuentran representados en las figuras 31, 32, 33 y 34, pertenecientes a la Salida Grados.

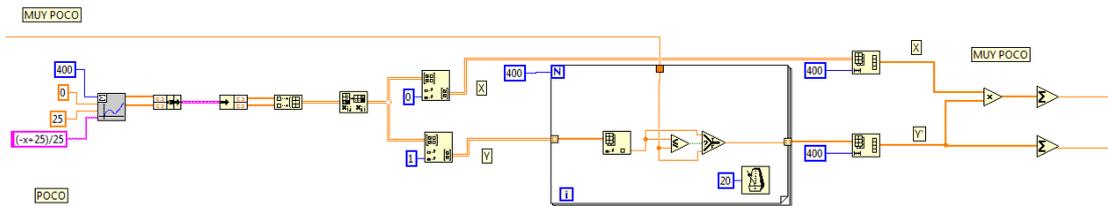


FIGURA (33) REPRESENTACIÓN DE LA ECUACIÓN DE RECTA DE LA FUNCIÓN DE PERTENENCIA “MUY POCO” CORRESPONDIENTE A LA SALIDA “TOTAL\_INTERVALOS\_APERTURA\_VÁLVULA”

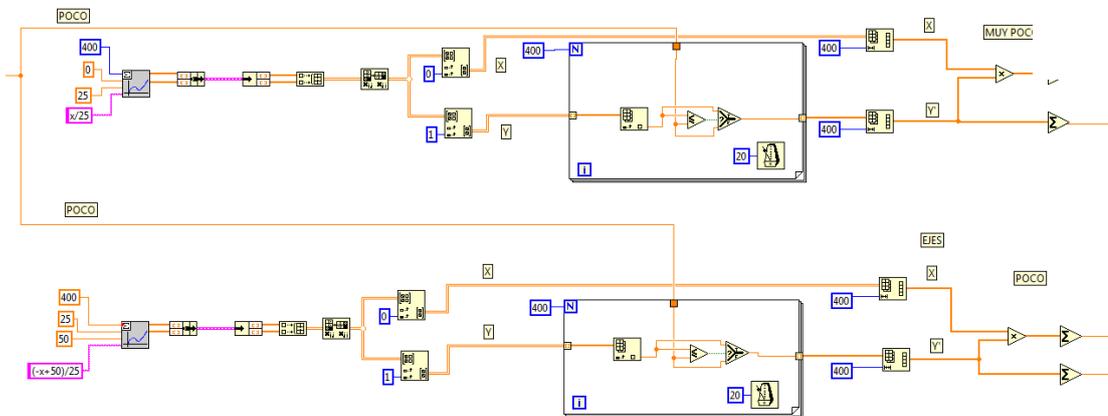
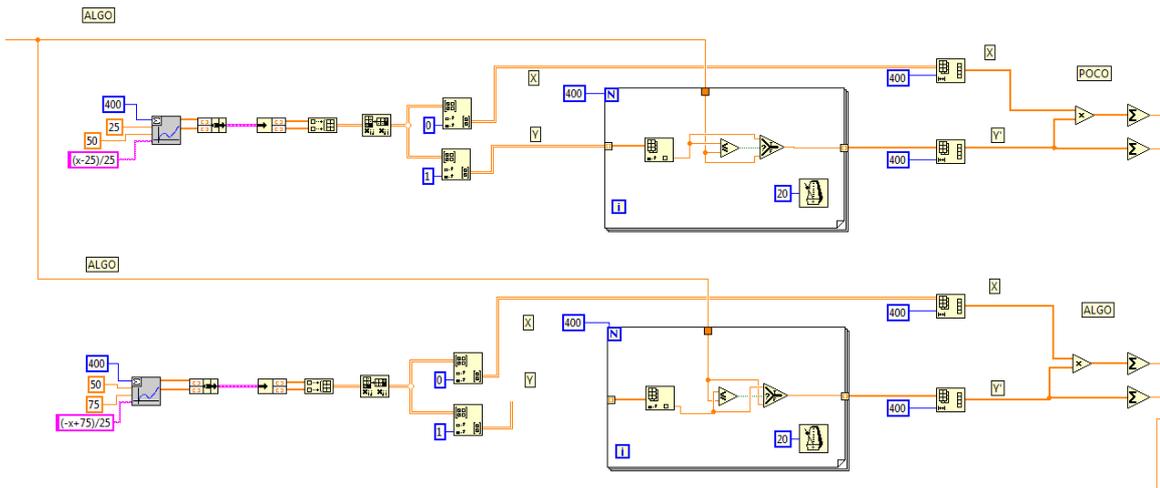


FIGURA (34) REPRESENTACIÓN DE LAS ECUACIONES DE RECTA DE LA FUNCIÓN DE PERTENENCIA “POCO” CORRESPONDIENTE A LA SALIDA “TOTAL\_INTERVALOS\_APERTURA\_VÁLVULA”

FIGURA (35) REPRESENTACIÓN DE LAS ECUACIONES DE RECTA DE LA FUNCIÓN DE PERTENENCIA “ALGO” CORRESPONDIENTE A LA



SALIDA “TOTAL\_INTERVALOS\_APERTURA\_VÁLVULA”

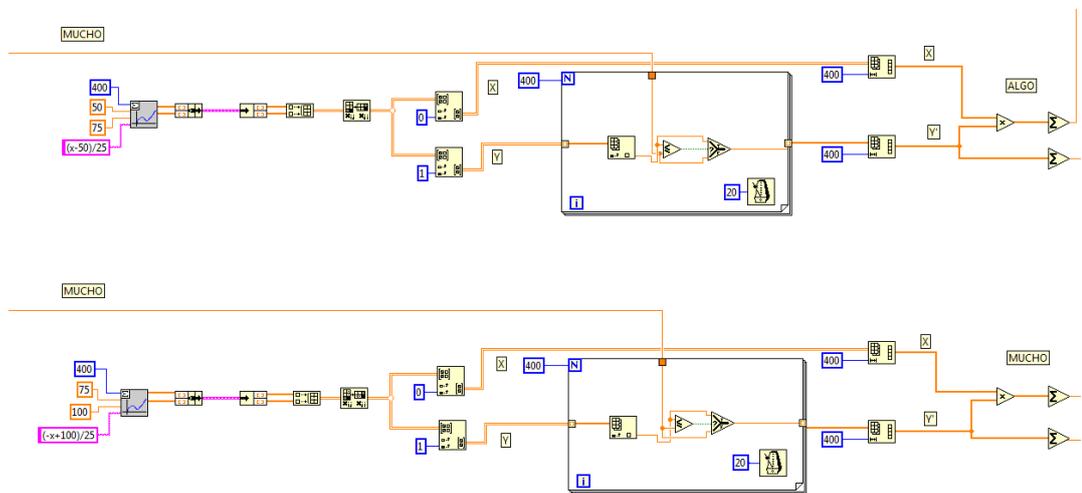


FIGURA (36) REPRESENTACIÓN DE LAS ECUACIONES DE RECTA DE LA FUNCIÓN DE PERTENENCIA “MUCHO” CORRESPONDIENTE A LA SALIDA “TOTAL\_INTERVALOS\_APERTURA\_VÁLVULA”

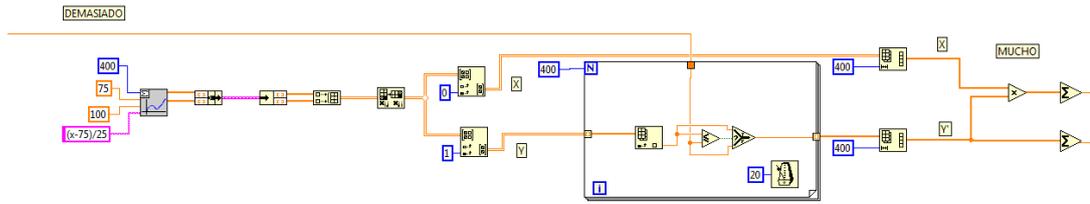


FIGURA (37) REPRESENTACIÓN DE LA ECUACIÓN DE RECTA DE LA FUNCIÓN DE PERTENENCIA “DEMASIADO” CORRESPONDIENTE A LA SALIDA “TOTAL\_INTERVALOS\_APERTURA\_VÁLVULA”

Una vez analizado y realizado todas las operaciones en esta parte del proceso, se continuó finalmente con la aplicación de la ecuación del Centro de Máxima. De esa manera se dio paso a la solución del problema planteado, tal como se muestra en la figura 38.

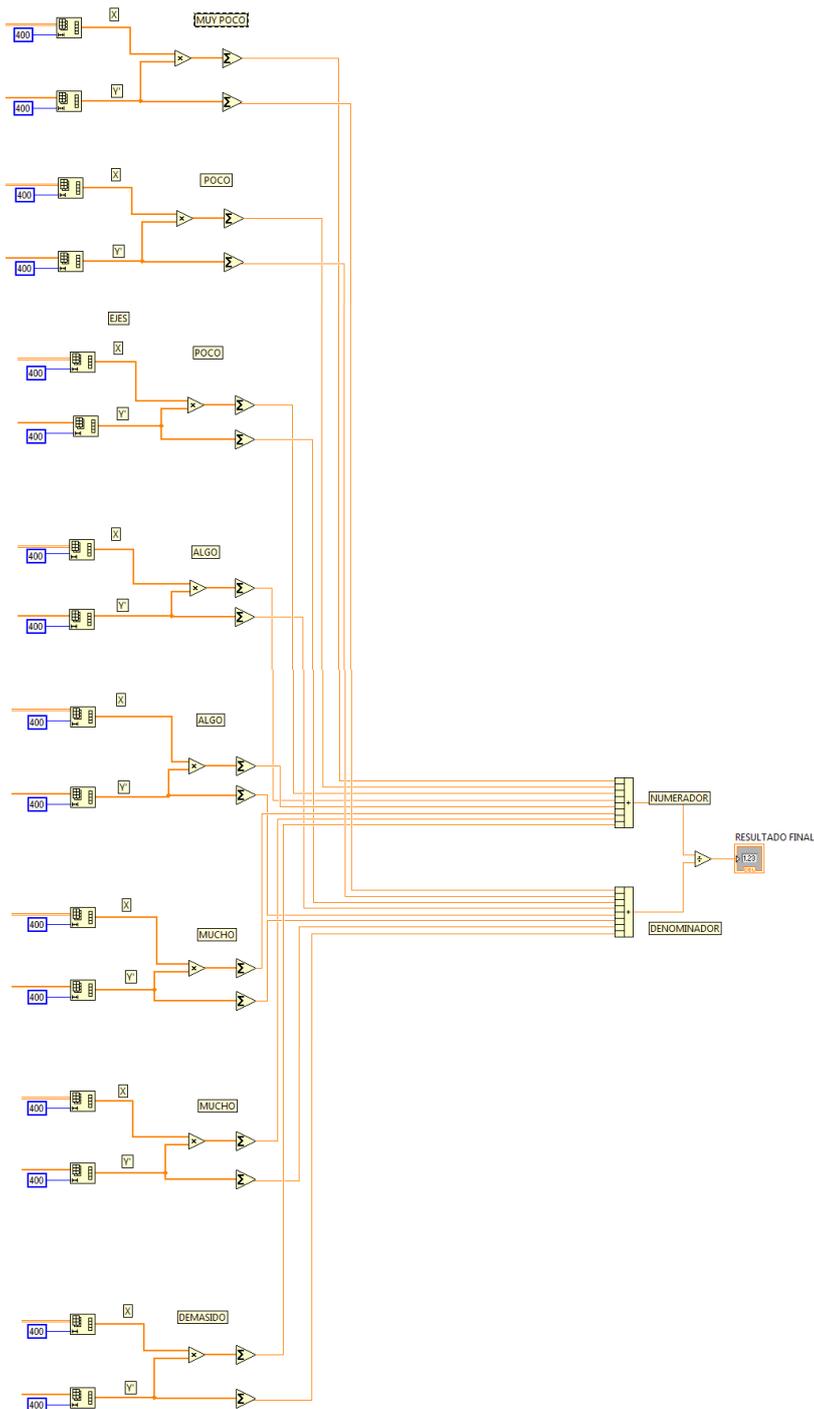


FIGURA (38) APLICACIÓN DE LA FÓRMULA DE DEFUZZIFICACIÓN Y OBTENCIÓN DEL RESULTADO FINAL

Una vez realizada la programación de la Lógica Difusa, se procedió a copiarla 5 veces, guardando cada programa con su respectivo nombre indicando su color, evitando de esta manera que haya una posibilidad de que los datos sean reemplazados al usar un solo programa. Además se procedió a crearle un ícono

con su color respectivo, simplificando de esta manera el programa completo, como se puede observar en la figura 39. Igualmente se le agregó VI's de comparaciones, las cuales se colocaron con el fin de corregir errores en los resultados, como es en el caso de obtenerse valores demasiados pequeños que no afecten el resultado.

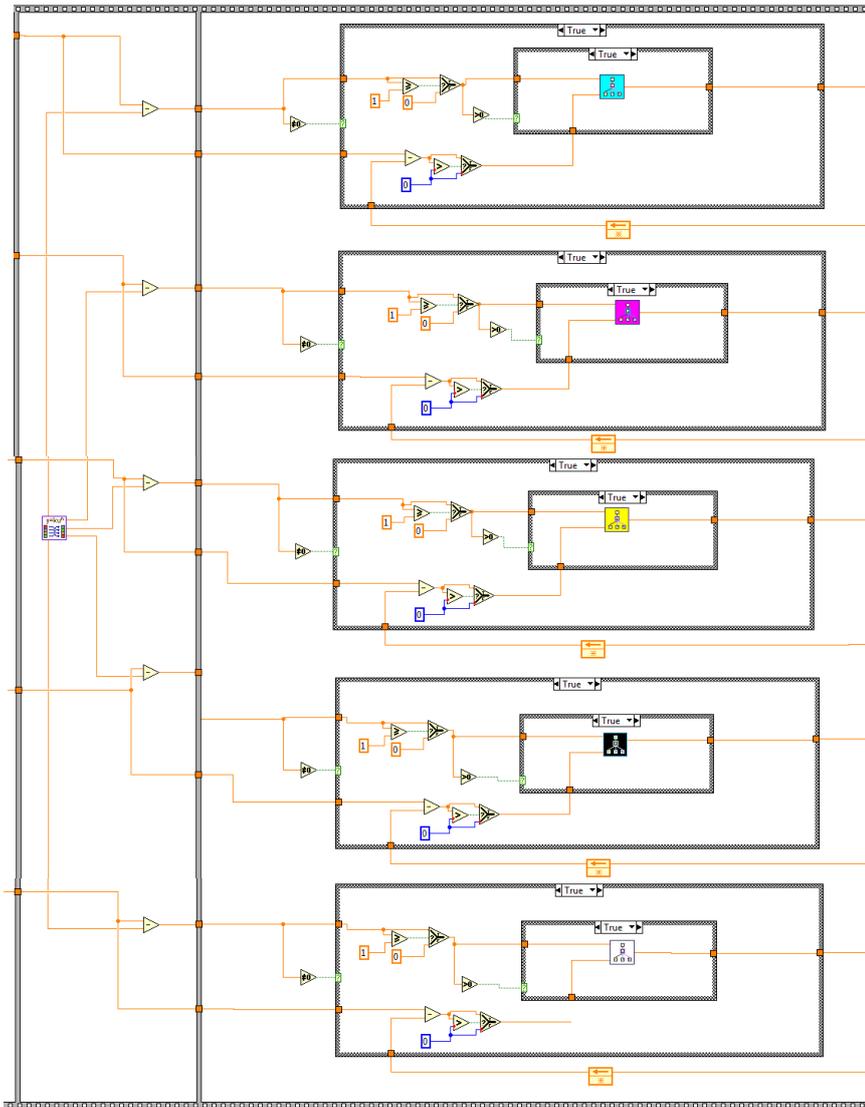


FIGURA (39) CONEXIÓN DE LA LÓGICA DIFUSA DE CADA COLOR CON EL PROCESO DE CAPTURA DE IMAGEN

A todo esto, se le adicionó de nuevo la programación de la captura de imagen del resultado de la corrección del error ocasionado por los factores que influyen en la variación del color como es el caso de la luz, de la concentración de la pintura, el medio en el que se pinta, cuyo resultado fue direccionado a la lógica difusa para realizar una nueva corrección del color en caso sea requerido, es decir se realiza una retroalimentación de la variación del error, tal como se observa en la figura 40.

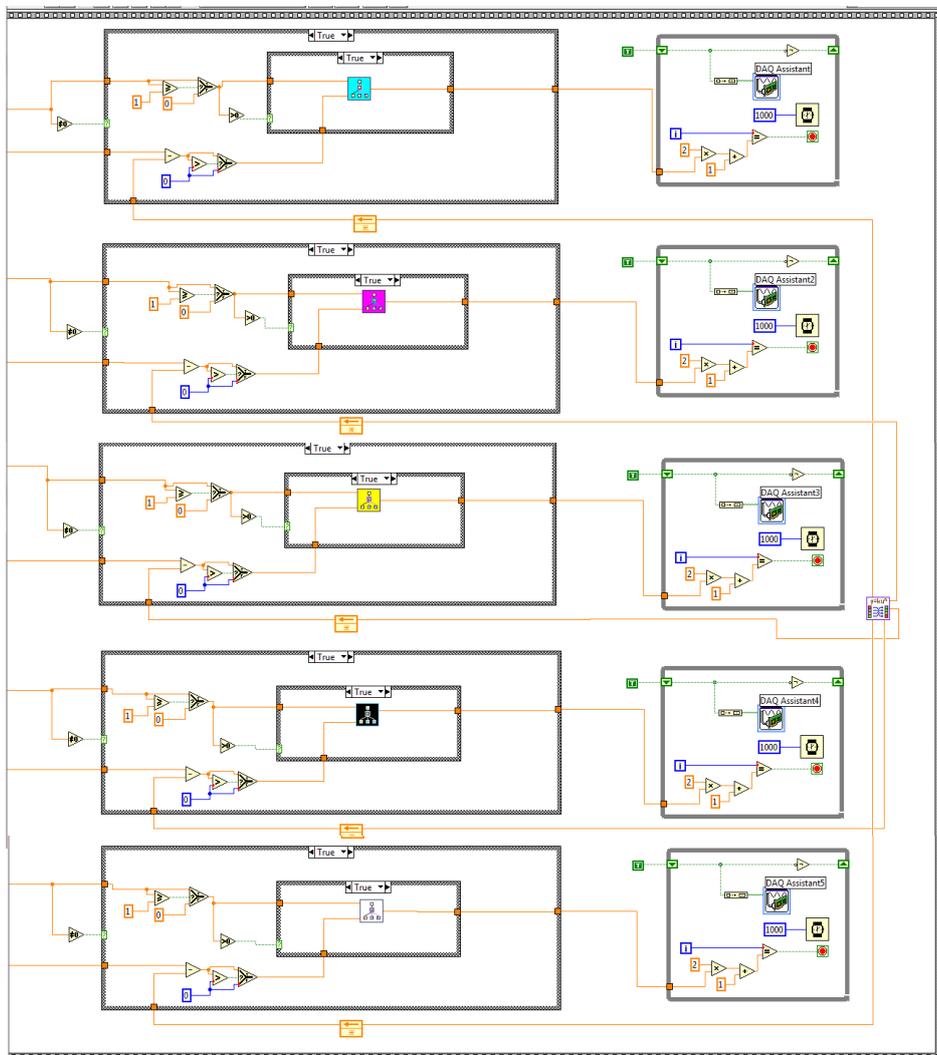


FIGURA (40) CONFIGURACION DE LA RETROALIMENTACIÓN DE LAS ENTRADAS “ERROR” Y “VARIACIÓN DE ERROR”

### 3.4 Configuración de la Tarjeta de Adquisición de Datos

La tarjeta de adquisición de datos que se utilizó en la presente Tesis, es el modelo NI-USB 6501 de National Instruments, tal como se muestra en la figura 37, la cual se conecta por vía USB, tiene 24 líneas de entrada y/o salidas digitales, y un contador de 32 bits. Cada línea trabaja con 8.5 mA y 5 V TTL/CMOS. Viene con su CD de instalación de driver además de su respectivo manual.



FIGURA (41) TARJETA DE ADQUISICIÓN DE DATOS (DAQ) NI-USB 6501

Para comenzar con su programación, se seleccionó el VI correspondiente a DAQ ASSISTANT, la cual se encontró en el menú de Measurement I/O, procediendo a seleccionar NI-DAQmx. Una vez hecho, se cargó una ventana en donde se procedió a seleccionar para dicho VI, una línea que corresponda al menú de Generar Señales, además de Salidas Digitales y finalmente líneas de Salida como se muestra en la figura 42. Después de esto se seleccionó el puerto con el que se comenzó a trabajar, como se muestra en la figura 43. Para esta Tesis, se utilizó el Puerto 0, y 5 líneas que van de 0 a 4.

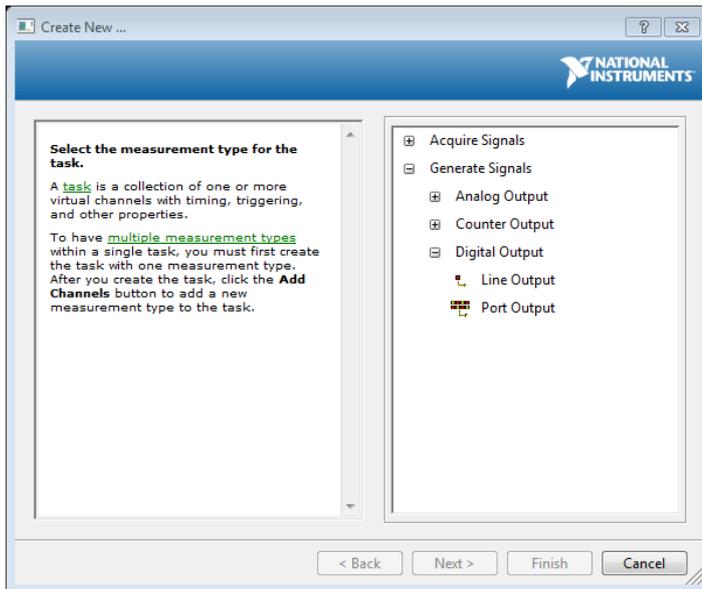


FIGURA (42) PROGRAMACIÓN DEL DAQ

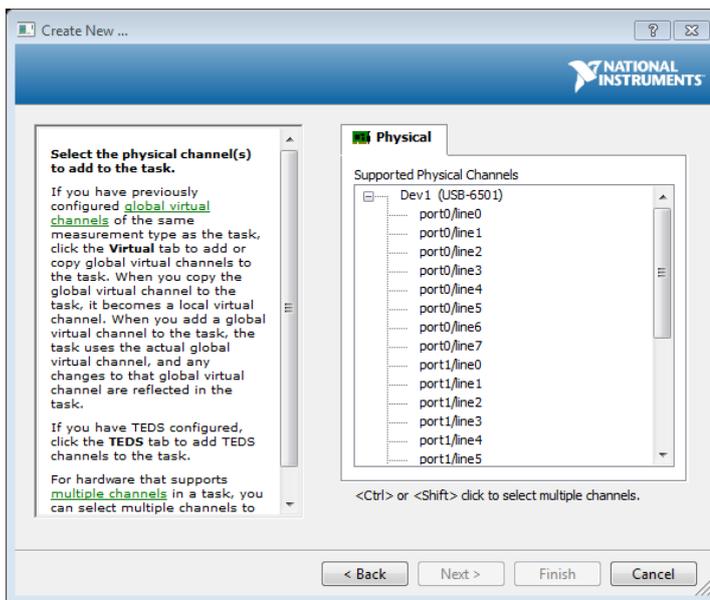


FIGURA (43) SELECCIÓN DEL PUERTO Y LA LÍNEA DE LA DAQ

Como se señaló, se realizó la configuración de la tarjeta de adquisición de datos, para cada línea, las cuales se conectaron cada una a los resultados del valor obtenidos de cada color, además de esto, se adicionó una configuración en el cual el valor de cada color se acondiciona para que cada apertura de la válvula coincida con el resultado obtenido de la captura. Es decir, si el valor obtenido para cierto color fue de 44, la válvula debe actuar el doble de veces ya que contó las veces que la válvula se cerró para volverse a abrir.

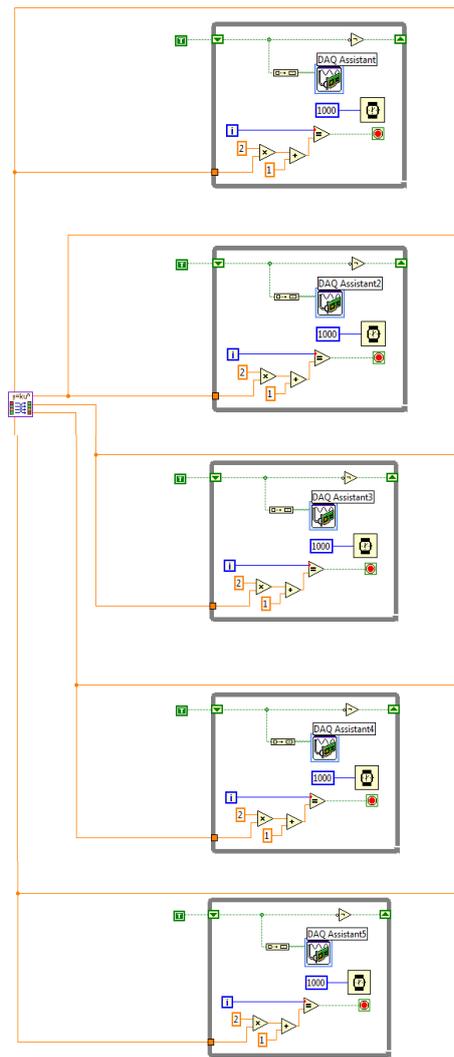
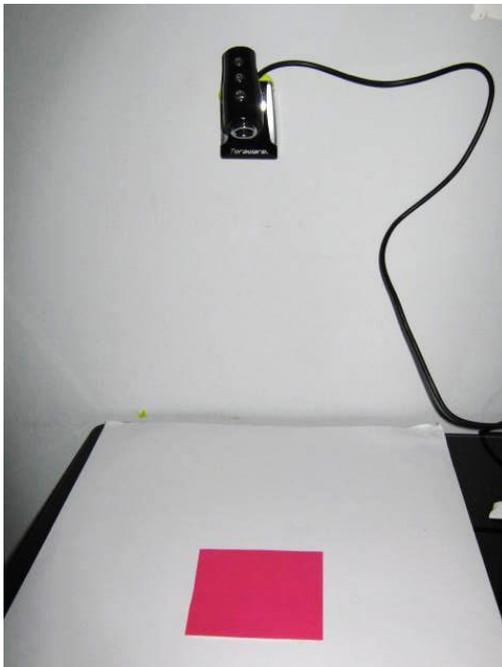


FIGURA (44) PROGRAMACIÓN DE LA DAQ

# CAPÍTULO 4. IMPLEMENTACION DEL PROYECTO Y RESULTADOS

## 4.1 Implementación del Proceso

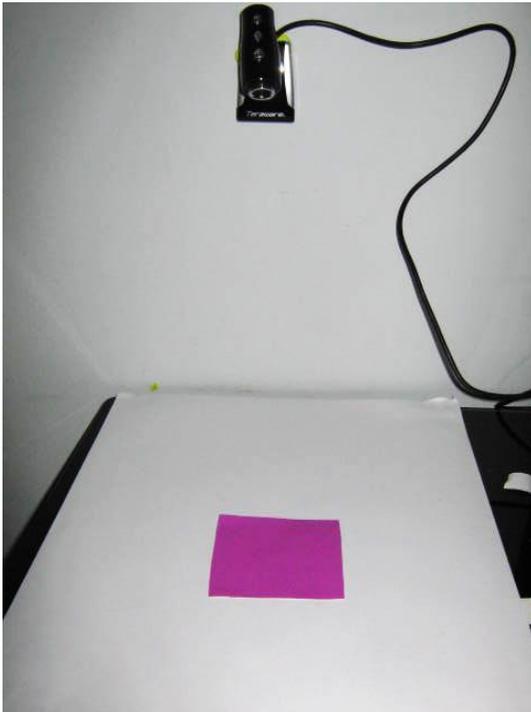
Una vez realizada la programación, se dio paso a la simulación, la cual comenzó con la captura de imagen. Se utilizaron cartulinas de colores como muestra inicial en un fondo blanco el cual ayudó en reflejar la luz del ambiente. Tal como se puede observar en las figuras 45 a), b), c), d), e), f), g) y h).



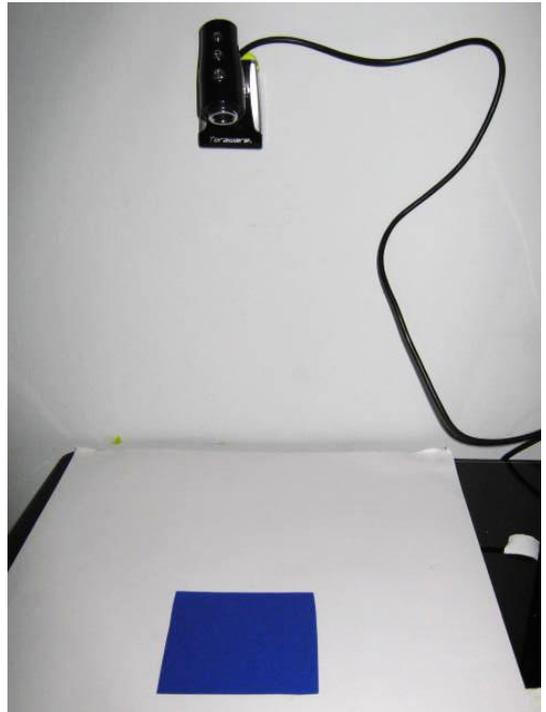
a) MUESTRA DE COLOR FUCSIA  
VERDE



b) MUESTRA DE COLOR  
VERDE



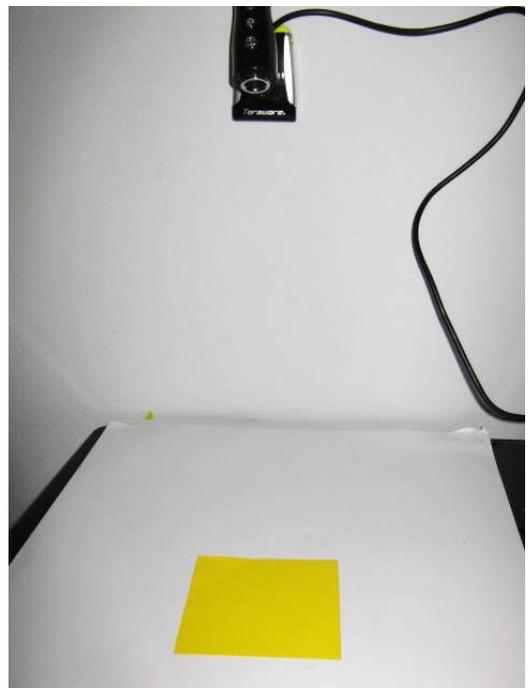
c) MUESTRA DE COLOR VIOLETA



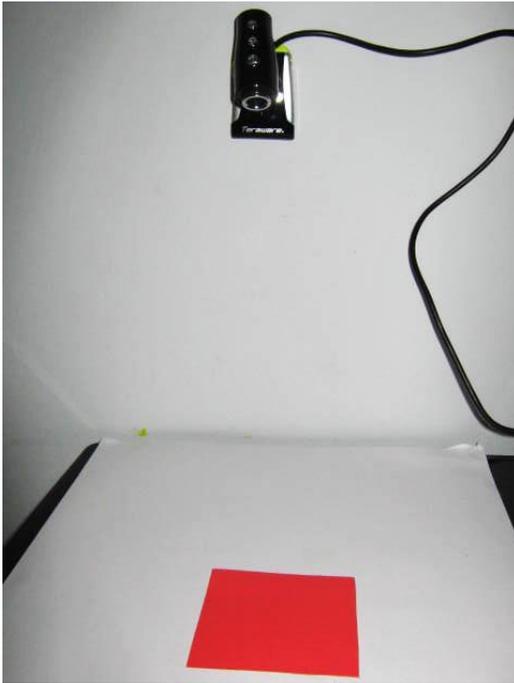
d) MUESTRA DE COLOR AZUL



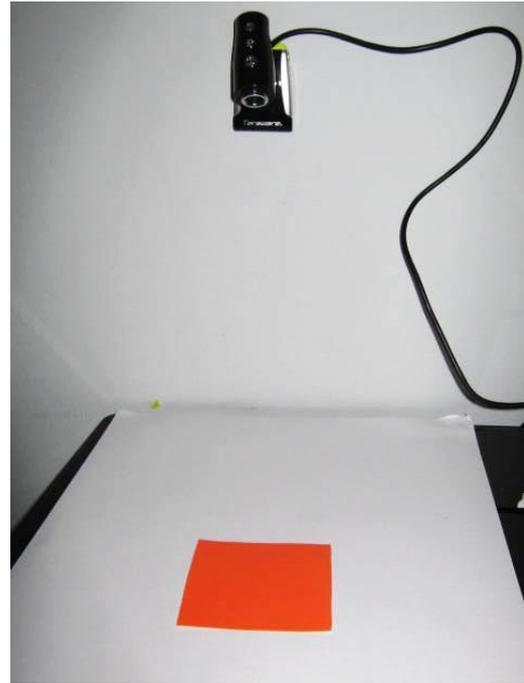
e) MUESTRA DE COLOR CELESTE  
AMARILLO



f) MUESTRA DE COLOR



g) MUESTRA DE COLOR ROJO



h) MUESTRA DE COLOR ANARANJADO

FIGURA (45) CAPTURAS DE LAS MUESTRAS DE COLORES

Cuando se ejecutó el programa, lo primero en mostrar es la ventana de selección del área a analizar, aquella imagen que es la imagen capturada de la muestra. En la ventana de selección se eligió la herramienta rectangular, y usando el puntero del mouse, se seleccionó el área de interés, como se muestra en la figura 46.

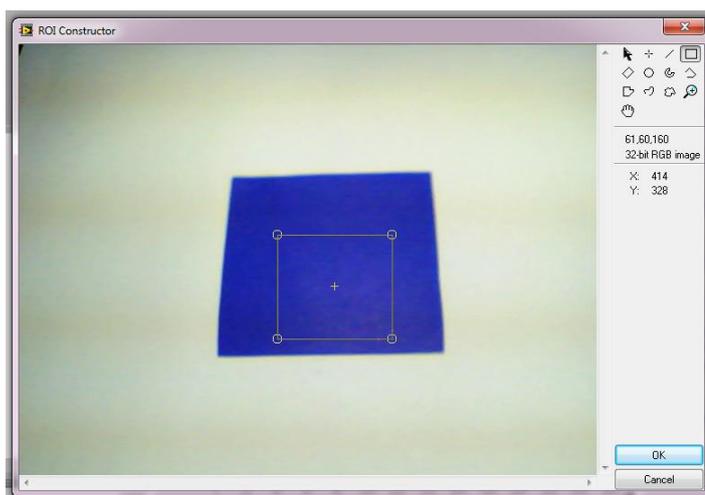


FIGURA (46) SELECCIÓN DE ÁREA DE LA MUESTRA

A continuación el programa reveló el recorte realizado en la muestra, además, y el análisis del histograma de los colores RGB, mostrando la cantidad de píxeles versus la cantidad de tonalidad de cada color.

A partir del Histograma de los gráficos mostrados de los colores Rojo, Verde y Azul se obtuvieron los datos en forma de arreglos, de los cuales se adquirió los valores de los niveles más altos de cada color. Estos mismos datos se usaron para hacer la verificación de color y comprobar que los valores rescatados al combinarlos, de esa manera coincidiera con la muestra tomada como se observa en la figura 47. Los valores del modelo RGB, son la información requerida para realizar la conversión de RGB a CMYK y Luminancia.

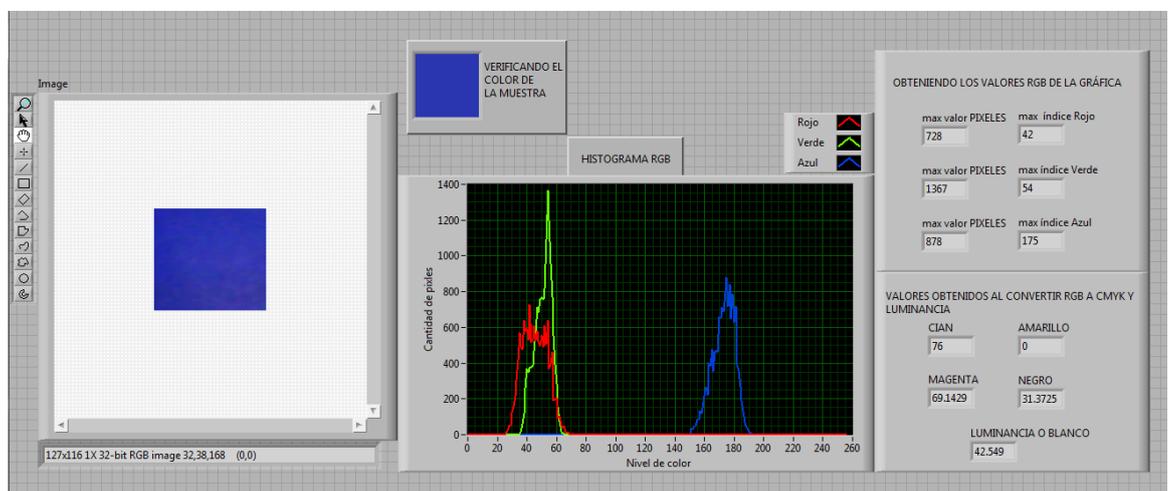
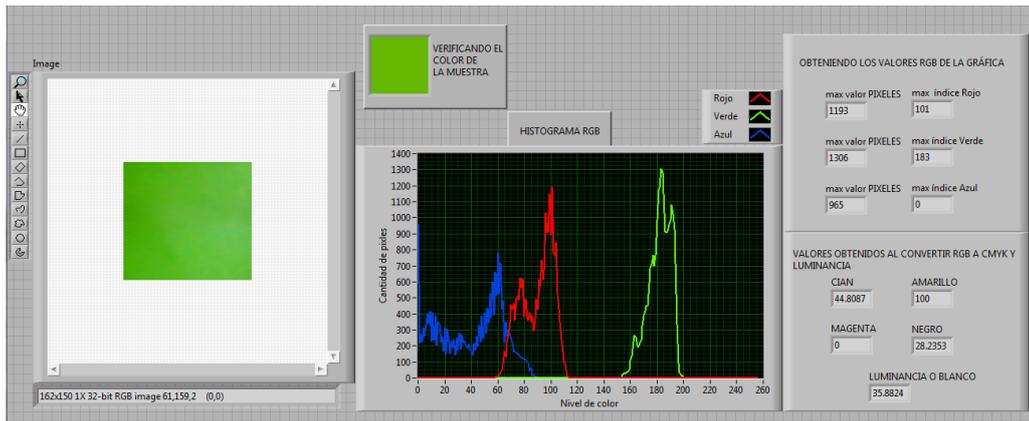


Figura (47) ANÁLISIS DE DATOS A PARTIR DE LA MUESTRA

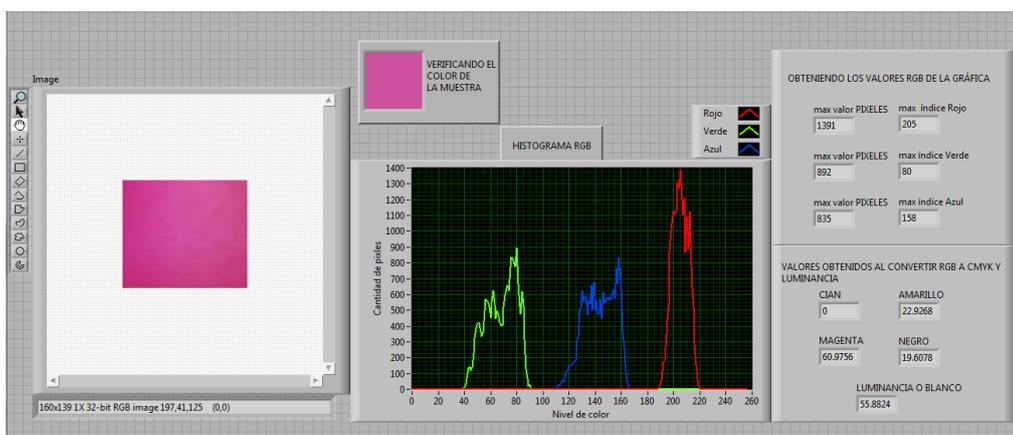
Los valores que se obtuvieron de la conversión de RGB a CMYK, están ubicados en un rango de 0 a 1. En cambio, la Luminancia, se encuentra en un rango de 0 a 255, de tal manera que se realizó un escalamiento de datos, con la finalidad de que los valores se encuentren entre 0 y 100.

## 4.2 Resultados obtenidos del Proceso

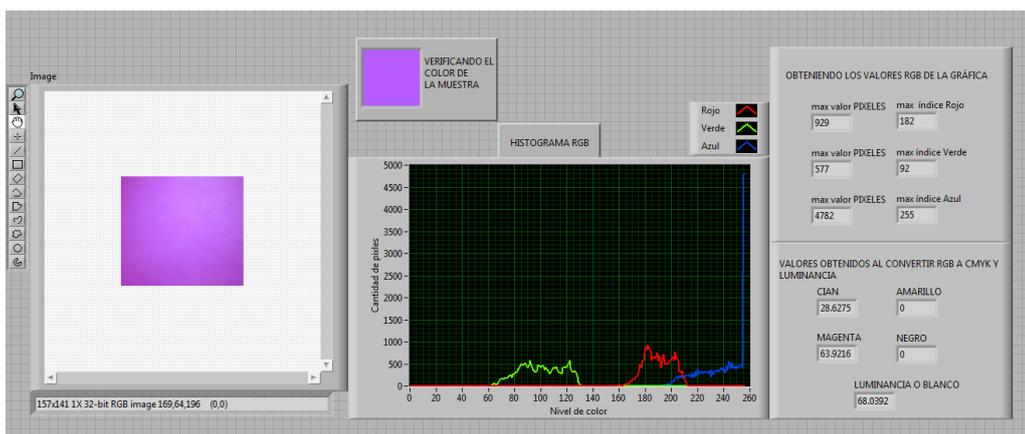
Para los casos de las muestras tomadas, tal como se puede apreciar en la figuras 48 a), b), c), d), e), f), g) y h) , que mostró a continuación los resultados de los valores de la captura de la muestra respectivos a los colores Magenta, Amarillo, Negro y Blanco o Luminancia para cada muestra.



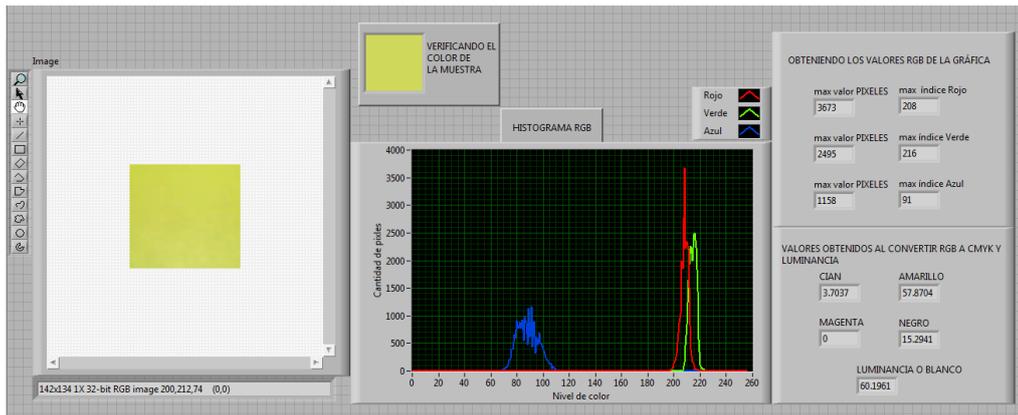
### ANÁLISIS DE LA DE LA MUESTRA DE COLOR VERDE



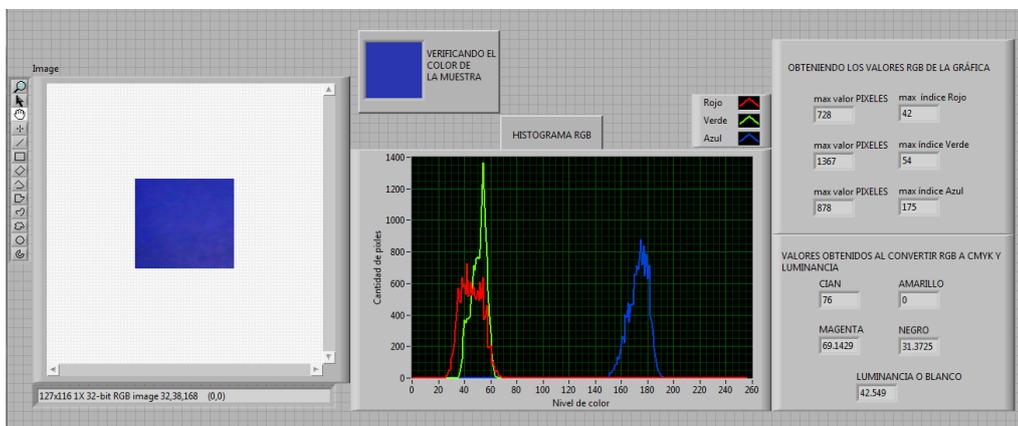
### b) ANÁLISIS DE LA DE LA MUESTRA DE COLOR FUCSIA



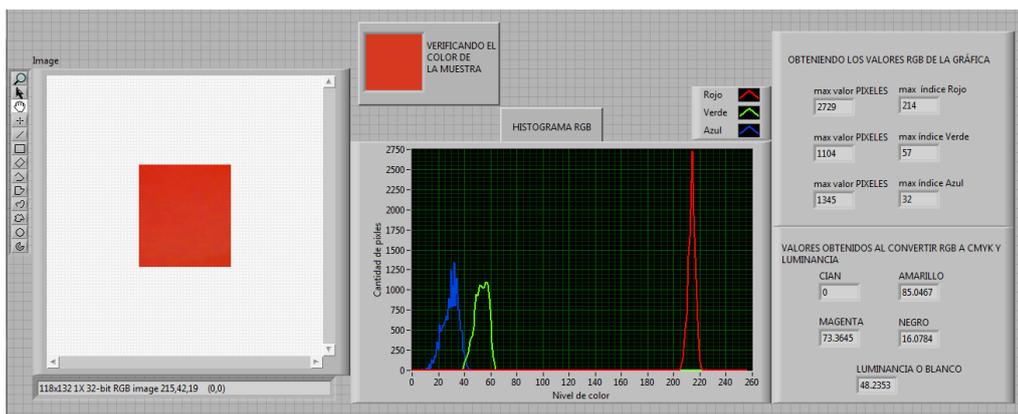
### c) ANÁLISIS DE LA DE LA MUESTRA DE COLOR VIOLETA



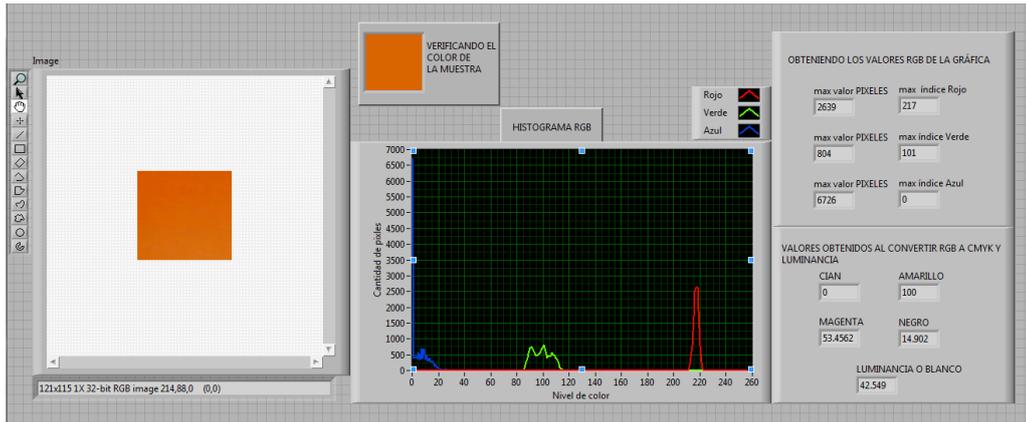
**d) ANÁLISIS DE LA DE LA MUESTRA DE COLOR AMARILLO**



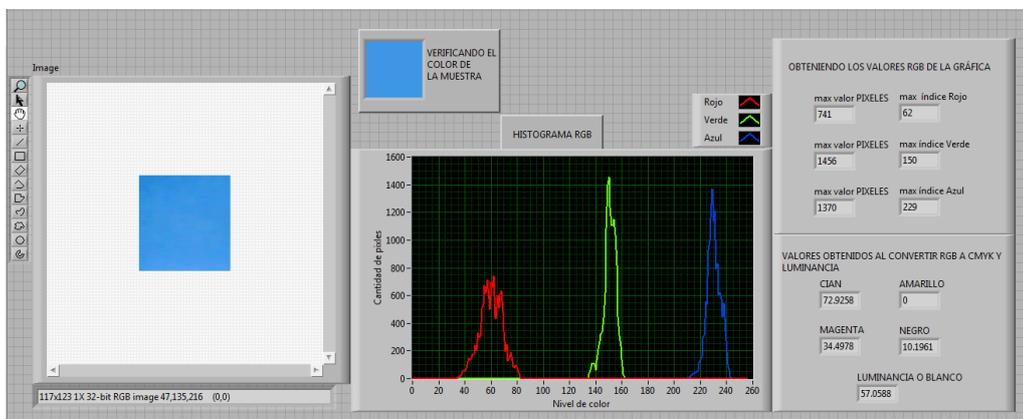
**e) ANÁLISIS DE LA DE LA MUESTRA DE COLOR AZUL**



**f) ANÁLISIS DE LA DE LA MUESTRA DE COLOR ROJO**



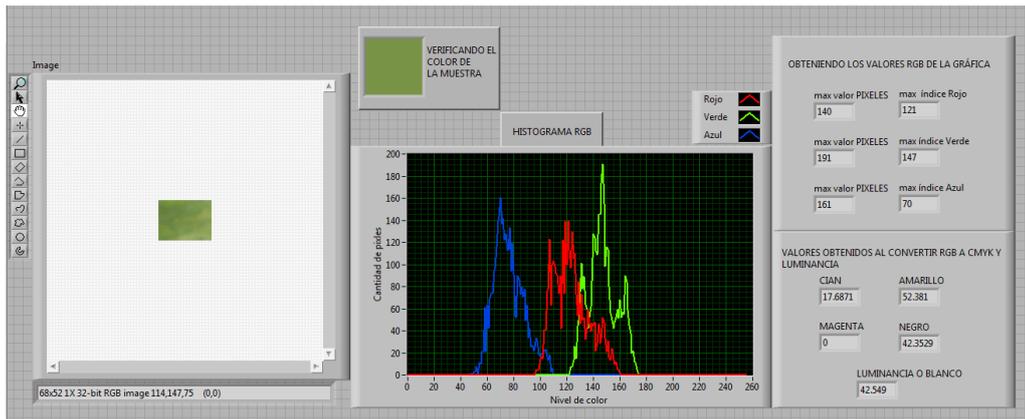
### g) ANÁLISIS DE LA DE LA MUESTRA DE COLOR ANARANJADO



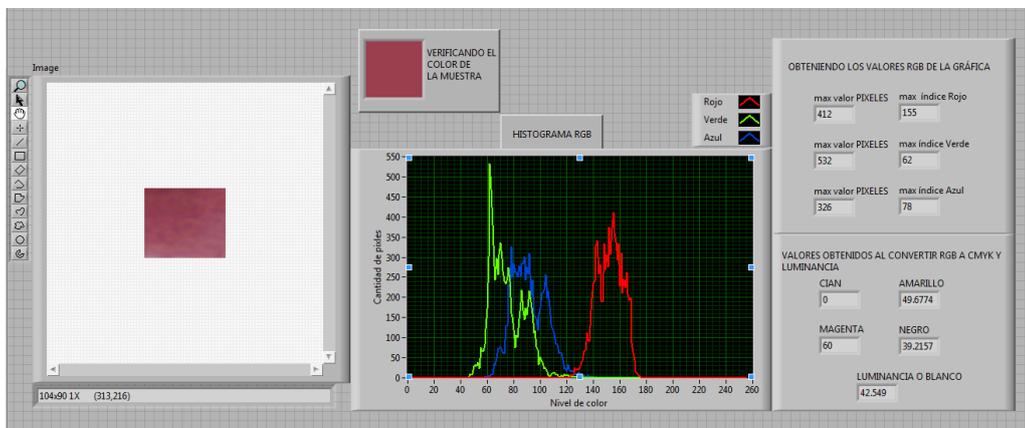
### h) ANÁLISIS DE LA MUESTRA DE COLOR CELESTE

## FIGURA (48) ANÁLISIS DE LA DE LA CAPTURA DE IMÁGENES DE LAS MUESTRAS DE COLORES

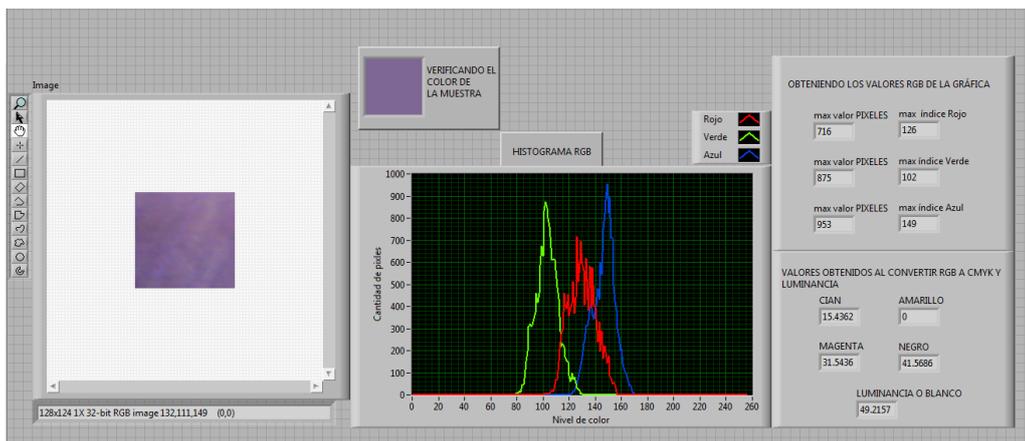
Como fue mencionado antes, se procedió a realizar la apertura de las válvulas solenoides las cuales dieron paso a la salida de la pintura. Como paso siguiente, a esto se le realizó una prueba con la mezcla de la pintura obtenida en papel usando pincel y spray para pintarlo, se capturó una imagen de los colores ya corregidos que fueron pintados en papel para realizar una comparación de datos y así se decidió si existió aún una diferencia en los valores de los colores. Como se puede observar en las capturas realizadas a continuación presentadas en las figuras 49 a), b), c), d), e), f), g) y h) .



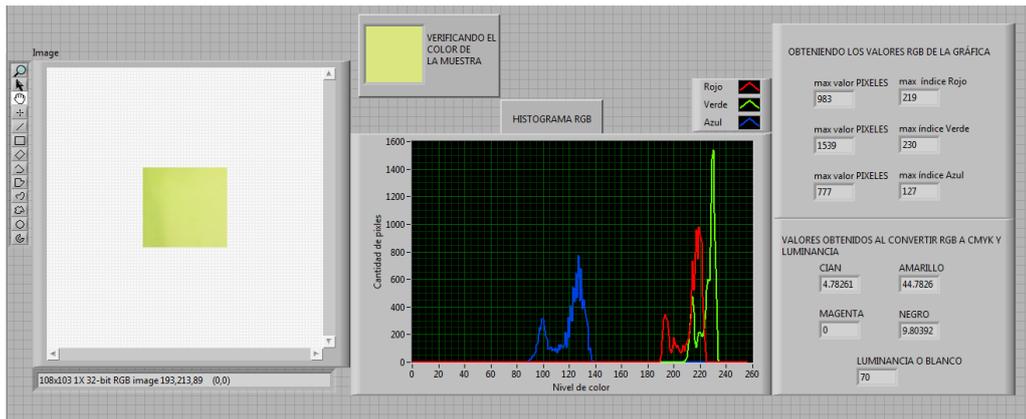
a) RESULTADO DE LA MEZCLA DE COLOR VERDE LIMON



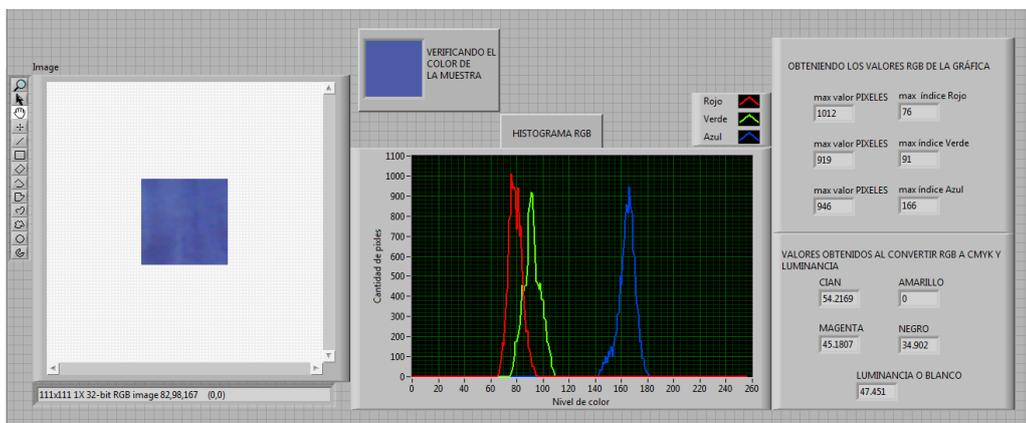
b) RESULTADO DE LA MEZCLA DE COLOR FUCSIA



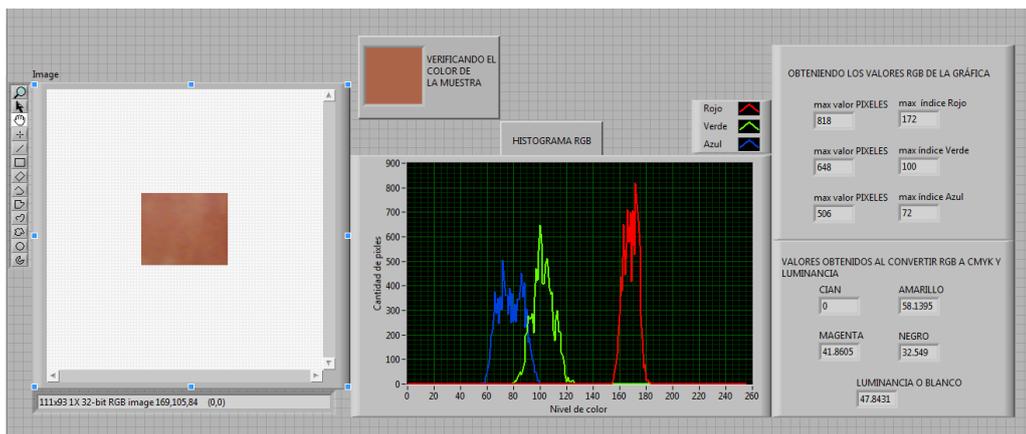
c) RESULTADO DE LA MEZCLA DE COLOR VIOLETA



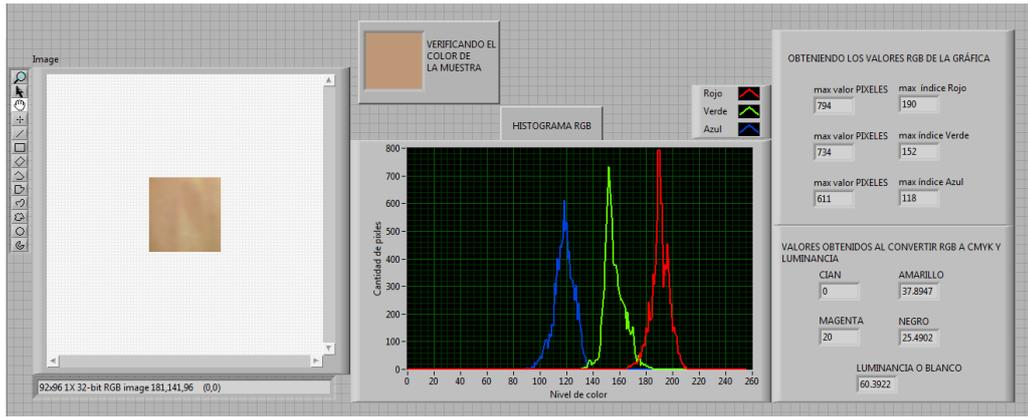
d) RESULTADO DE LA MEZCLA DE COLOR AMARILLO



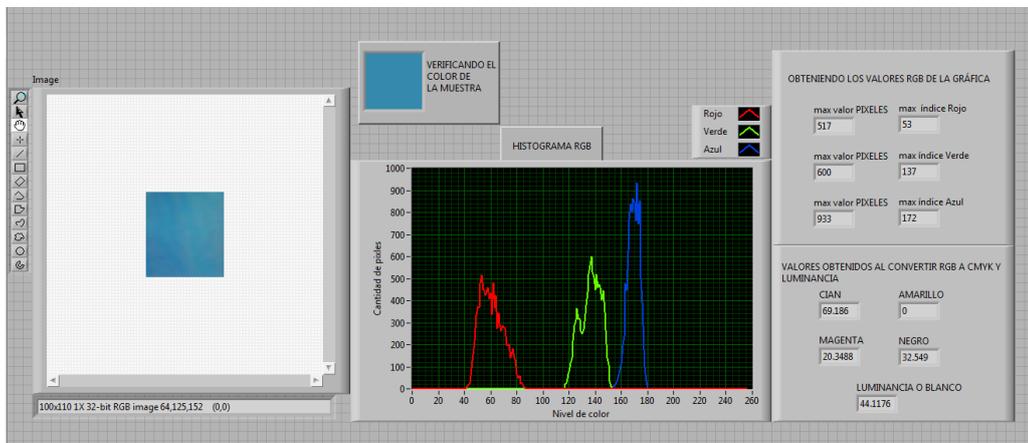
e) RESULTADO DE LA MEZCLA DE COLOR AZUL



f) RESULTADO DE LA MEZCLA DE COLOR ROJO



g) RESULTADO DE LA MEZCLA DE COLOR ANARANJADO



h) RESULTADO DE LA MEZCLA DE COLOR CELESTE

## FIGURA (49) ANÁLISIS DE LA CAPTURA DE IMÁGENES DE LOS COLORES DE LAS MEZCLAS

En la tabla (8), se realizó una comparación de la composición de colores entre las muestras y sus resultados, en donde se utiliza la ecuación el error medio cuadrático (MSE) para hallar el porcentaje de error entre las muestras:

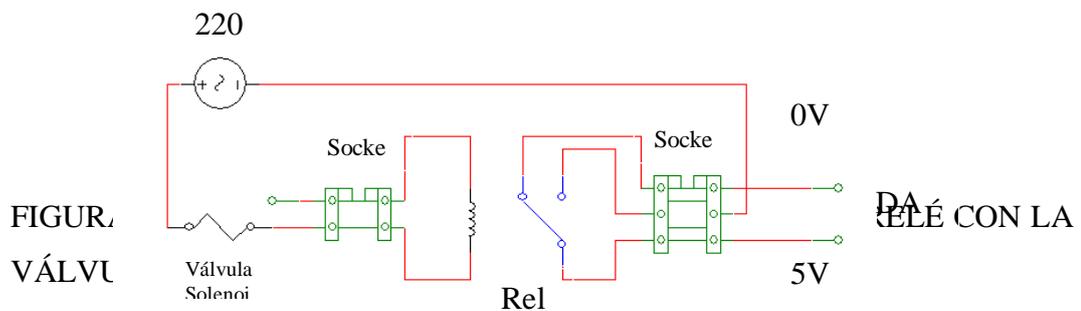
$$MSE(\%) = \left( \frac{(C_D - C_L)^2 + (M_D - M_L)^2 + (Y_D - Y_L)^2 + (K_D - K_L)^2 + (L_D - L_L)^2}{5} \right) \times 100 \quad (10)$$

COLOR DESEADO		COLOR LOGRADO		ERROR (%)
	C = 0.448087		C = 0.176871	6.4938
	M = 0		M = 0	
	Y = 1		Y = 0.52381	
	K = 0.282353		K = 0.423529	
	L = 0.358824		L = 0.42549	
	C = 0		C = 0	2.5576
	M = 0.609756		M = 0.6	
	Y = 0.229268		Y = 0.496775	
	K = 0.196078		K = 0.392157	
	L = 0.558824		L = 0.42549	
	C = 0.286275		C = 0.154362	6.6092
	M = 0.639216		M = 0.315436	
	Y = 0		Y = 0	
	K = 0		K = 0.415686	
	L = 0.680392		L = 0.492157	
	C = 0.037037		C = 0.047826	0.5974
	M = 0		M = 0	
	Y = 0.578704		Y = 0.447826	
	K = 0.152941		K = 0.098039	
	L = 0.601961		L = 0.7	
	C = 0.76		C = 0.542169	2.1704
	M = 0.691429		M = 0.451807	
	Y = 0		Y = 0	
	K = 0.313725		K = 0.34902	
	L = 0.42549		L = 0.47451	
	C = 0		C = 0	3.9758
	M = 0.733645		M = 0.418605	
	Y = 0.850465		Y = 0.581395	
	K = 0.160784		K = 0.32549	
	L = 0.482353		L = 0.478431	

	C = 0		C = 0	10.8138
	M = 0.534562		M = 0.2	
	Y = 1		Y = 0.378947	
	K = 0.14902		K = 0.254902	
	L = 0.42549		L = 0.603922	
	C = 0.729258		C = 0.69186	5.3210
	M = 0.344978		M = 0.203388	
	Y = 0		Y = 0	
	K = 0.101961		K = 0.32549	
	L = 0.570588		L = 0.441176	

TABLA (8) COMPARACIÓN DE LOS COLORES DE LAS MUESTRAS

Todo esto fue elaborado al conectar a la tarjeta de adquisición de datos, unos relés de 5V, para controlar la apertura de las válvulas solenoides de 1/8 de diámetro que funcionan con 220V que se conecta directamente a los relés, como se observa en la figura 53. El circuito de la conexión del relé se encuentra en la figura 50, además de su implementación en la galleta se puede observar en las figuras 51 y 52, en donde se utilizó cables de protoboards para las conexiones de 5V y 0V, además de los cables resistentes a mayor tensión y corriente.



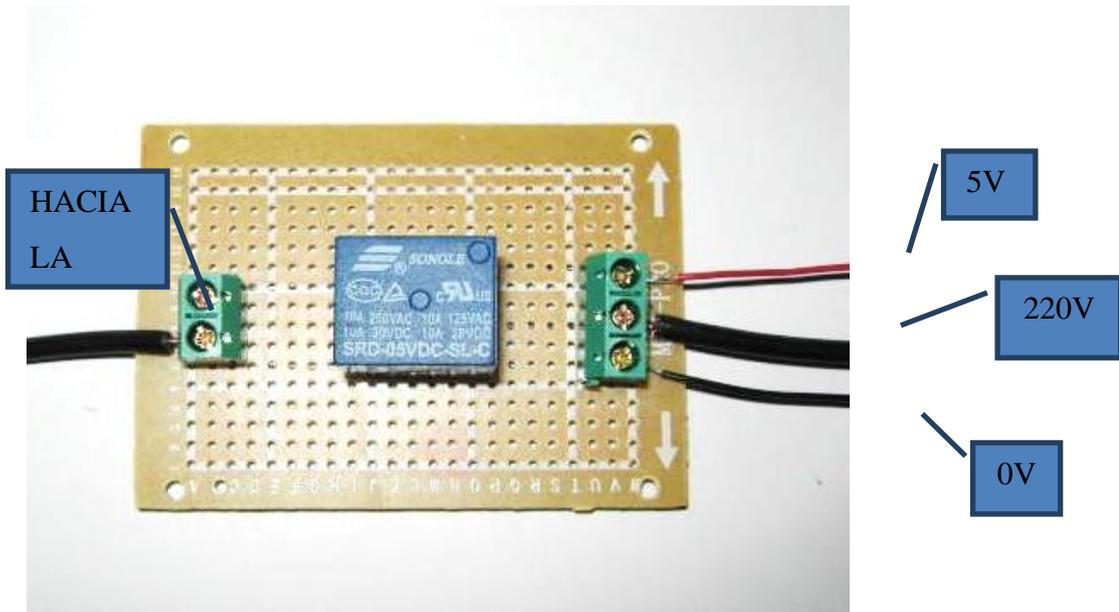


FIGURA (51) IMPLEMENTACIÓN DEL CIRCUITO DE CONEXIÓN DEL RELÉ

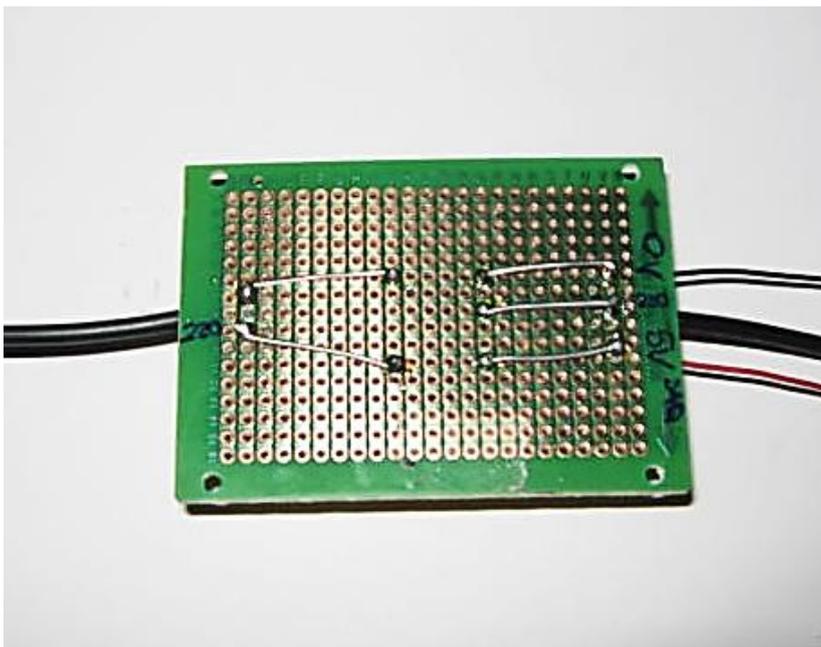
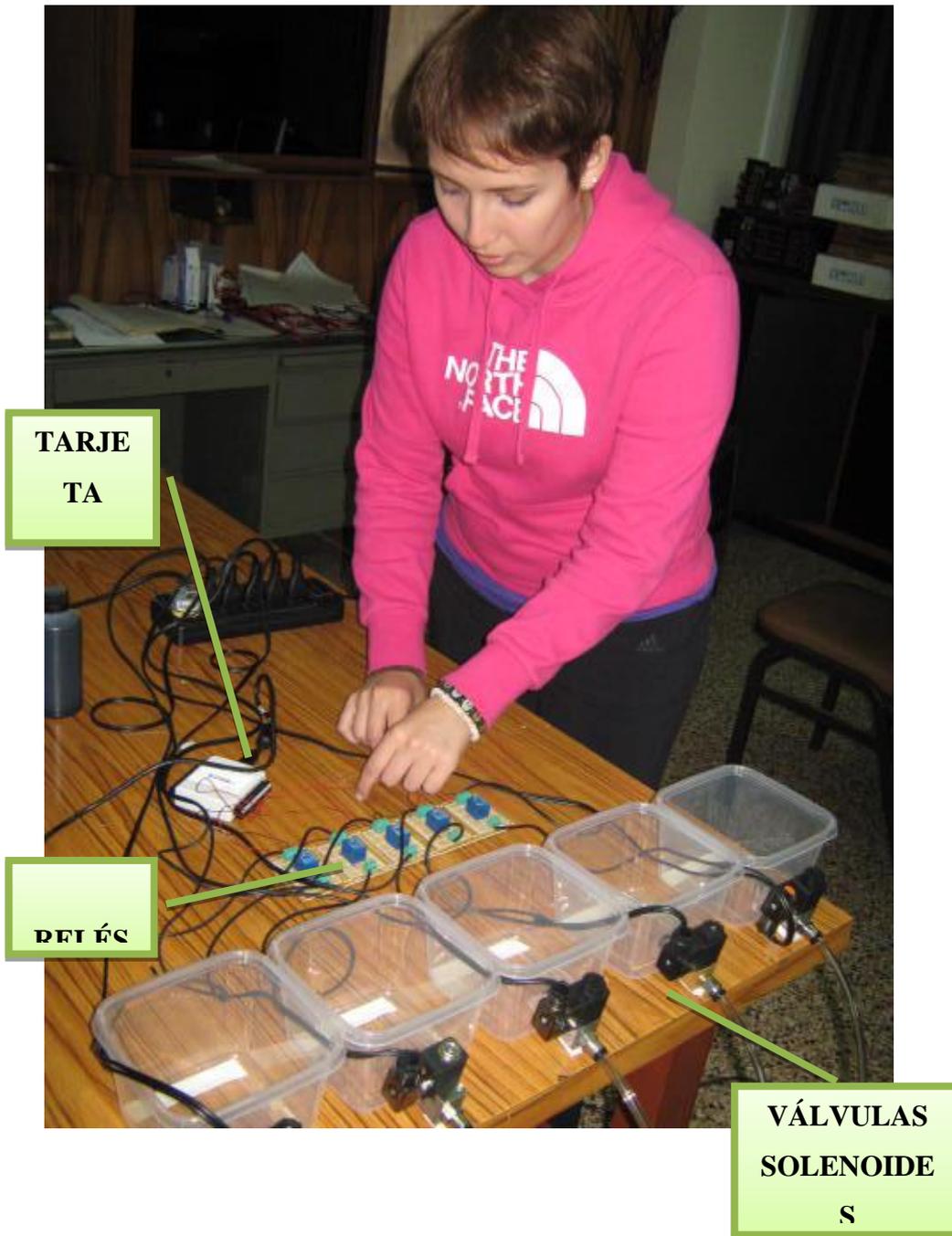


FIGURA (52) SOLDADURA DEL RELÉ CON LOS SOCKETS EN LA GALLETA



**TARJETA DE DATOS**

**RELEÉS**

**VÁLVULAS SOLENOIDES**

FIGURA (53) CONEXIÓN DE RELÉS DE LA TARJETA DE ADQUISICIÓN DE DATOS A LAS VÁLVULAS

Las válvulas de fabricación china, que se puede observar en la figura 54, son solo de una entrada y una salida, y puede ser utilizada tanto para líquido como para gas; además estas válvulas dejan pasar el líquido por caída, es decir si se hubiera colocado las válvulas a menor altura del recipiente de mezcla el paso del líquido sería más lento las características de las válvulas. Estas válvulas solenoides fueron insertadas a unos recipientes transparentes para que sea posible visualizar las

pinturas y conectadas con tubos transparentes como se pueden observar en la figura 55.



FIGURA (54) VÁLVULAS SOLENOIDES DE 220V



FIGURA (55) PROYECTO COMPLETO ARMADO

Posteriormente, se continuó con el vaciado de la pintura en los recipientes para dar paso al funcionamiento de proceso de mezclado de la tinta. Los colores de las pinturas se encuentran ubicados de derecha a izquierda comenzando con el Cian, Magenta, Amarillo, Negro y Agua, el cual este último es utilizado como Luminancia o Blanco, tal como se muestra en la figura 56. De la misma forma se puede observar que la tinta se encuentra concentrada, por ser tinta de impresora, al utilizarle en la impresión, la maquina usa muy pequeñas cantidades, las cuales son aclaradas al ser absorbidas por el papel.



FIGURA (56) VACIADO Y UBICACIÓN DE LAS PINTURAS

En las figuras de la 57, 58, 59 y 60, se puede observar el vaciado de la pintura controlado por las válvulas, las cuales según la programación el tiempo de apertura y cerrado respectivamente es de 1 segundo, que puede ser reconfigurado para aumentar o disminuir el tiempo según sea requerido.



FIGURA (57) APERTURA DE LA VÁLVULA CON EL COLOR CIAN



FIGURA (58) APERTURA DE LA VÁLVULA CON EL COLOR MAGENTA



FIGURA (59) APERTURA DE LA VÁLVULA CON EL COLOR AMARILLO



FIGURA (60) TINTAS COMBINADAS

### 4.3 Análisis de Costos

La implementación final de este proyecto, necesitó tanto de hardware como de software, así como una dedicación de varias horas para la investigación, programación e implementación física del mismo. A continuación se describen los principales elementos utilizados.

También se empleó un modelo de tarjeta de adquisición de datos económica y sencilla. Asimismo, el resto de materiales (válvulas solenoides, circuitos de acondicionamiento relé, mangueras y envases de plásticos, tintas de diferentes colores, entre otros), resultaron de bajo costo para hacer posible la implementación física de este proyecto. Por otro lado, el software LabVIEW es una excepción, pues este posee un costo relativamente alto en comparación a los gastos anteriores. A continuación, en la Tabla 8, se muestra una lista con el costo de los materiales utilizados para este proyecto de tesis.

<b>MATERIALES USADOS</b>	<b>COSTO</b>
TARJETA DE ADQUISICIÓN DE DATOS (DAQ) NI-	S/. 675.00

USB 6501	
4 Litros de tinta de Impresora color Cian, Magenta Amarillo y Negro	S/. 100.00
Cámara Web marca Teraware	S/. 40.00
5 Válvulas Solenoides y conectores	S/. 330.00
Circuito de Relés	S/. 40.00
Envases plásticos y tubos	S/. 35.00
Software LabVIEW y Complementos	\$ 5000.00
TRABAJO HOMBRE - TIEMPO	S/. 1500.00 x 7 MESES
<b>COSTO TOTAL</b>	<b>S/. 25,720.00</b>

TABLA (9) COSTO TOTAL DE MATERIALES UTILIZADOS EN EL DESARROLLO DE LA TESIS

## CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

En la implementación de este proyecto se observó que la imagen de muestra capturada se vio influenciada por varios factores, entre ellos la calidad de la cámara web con que se realizó la captura. Pues, es muy importante el tipo de iluminación utilizada, sea de luz natural o artificial. Así mismo, el momento del día en que se realiza la captura. En consecuencia, se determinó que la luz artificial más perjudicial fue de color amarillenta, otorgada por lámparas incandescentes. Por tal motivo, se optó por utilizar luz artificial blanca a partir de lámparas fluorescentes.

Además, se comprobó que la lógica difusa, si bien es un método práctico y muy flexible, otorga resultados con limitaciones; es decir, las respuestas no son tan precisas como se esperaba. Esto se presentó en un caso particular con el color Negro, donde la salida de Amarillo debió ser 0 y sin embargo a través de la lógica difusa, indicó como salida un valor de 7. De esta manera, se procedió a dar paso a la salida de pintura cuando no esta no era requerida. Por este motivo, es necesario realizar algunos ajustes y condiciones para otorgar mayor precisión al algoritmo de lógica difusa. Para lograr ello, intervienen las entradas de Error y Variación de Error, las cuales permiten que los resultados puedan mejorarse, realizándose más pruebas con el fin de perfeccionar el método.

La tarjeta de adquisición de datos escogida, es el modelo más simple y de bajo costo, habiendo demasiada diferencia de precio con los demás modelos superiores a éste.

En la realización de la mezcla de pintura se pudo observar que la densidad y concentración de la misma, trajo problemas para obtener un color más exacto y apropiado. Por tal motivo, fue necesario realizar más pruebas adicionando agua para acondicionar a la tinta o pintura, de esta manera lograr que la tonalidad sea tan similar al indicado por el modelo de colores CMYK. Esto se asemeja al principio de funcionamiento de la tinta de impresoras, la cual también se

encuentra hecha a base de agua. Por tal motivo, se utilizó agua, como un quinto color, para aclarar los colores y lograr un brillo equivalente en la muestra de interés.

Se debe tener en cuenta además, que la pintura utilizada al ser aplicada en el papel, es absorbida rápidamente y de manera dispareja afectando también en los resultados; no se utilizó cartulina ya que tiende a absorber más tinta que el papel, se recomienda en un futuro utilizar un papel que no absorba tan rápido la tinta y pueda aplicarse la tinta en el papel de manera más pareja, como puede ser papel fotográfico. En todo caso si se utiliza otro material en lugar de la tinta de impresora, se recomienda buscar un medio más adecuado para aplicar la mezcla resultante.

En conclusión, se realizó de manera eficaz, la supervisión y control del proceso de pintado, al procesar la imagen capturada de las muestras, así como su análisis y comprobación de todos los datos obtenidos con la muestra inicial, con ayuda del algoritmo de Lógica difusa, que permitió la rectificación de los posibles errores que pudieron existir al realizar la combinación de los colores de las tintas, así como también se pudo reducir la utilización de materiales y equipos, que redujo el tiempo en el que duró el proceso

# REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS Y/O DOCUMENTALES

1. Hiroki Yamada, Kunihiro Nishimura, Tomohiro Tanikawa y Michitaka Hirose. Paper: Development of CMYk Color Display: Display by Chromogenic Effect to Control Painted Color on Paper. Universidad de Tokio. Japón. 2011.
2. Pedro Martín Ramello. Paper: Comparación de métodos de detección de piel en modelos de color YCbCr y HSI para reconocimiento de caras. Universidad Nacional del Litoral. Facultad de Ingeniería y Ciencias Hídricas. Argentina.
3. <http://www.esacademic.com/dic.nsf/eswiki/3216>
4. Gonzalo Pajares y Jesús de la Cruz. Visión Por Computador: Imágenes Digitales y Aplicaciones. Segunda Edición. Grupo Editor Alfaomega. D.F, México. 2008.
5. <http://en.kioskea.net/contents/740-hsl-ysl-coding>
6. Clarence W. de Silva. Intelligent Control: Fuzzy Logic Applications. CRC Press, Inc. N° de Edición: 0-8493-7982-2. Estados Unidos de América. 1995.

7. Paul P. Wang, Da Ruan, Etienne E. Kerre. Fuzzy Logic: A Spectrum of Theoretical & Practical Issues. Editorial Springer. N° de Edición: 1434-9922. Berlín, Heidelberg. 2007.
8. M.N Cirstea, A. Dinu, J.G. Khor, M. McCormick. Neural and Fuzzy Logic Control of Drives and Power Systems. Editorial Newnes. N° de Edición: 0 7506 55585. Gran Bretaña. 2002.
9. Rafael C. Gonzalez, Richard E. Woods. Digital image Processing. Editorial Prentice Hall Inc. Estados Unidos de América. 2002.
10. Jeffrey T. Spooner, Manfredi Maggiore, Raúl Ordóñez, Kevin M. Passino. Stable Adaptive Control and Estimation For Nonlinear Systems: Neural and Fuzzy Approximator Techniques. Editorial: John Wiley & Sons, Inc. N° de Edición: 0-471-41546-4. Inglaterra.2002.
11. Kevin M. Passino, Stephen Yurkovich. Fuzzy Control. Editorial Addison-Wesley Longman, Inc. N° de Edición: 0-201-18074-X. Estados Unidos de América. 1998.
12. National Instruments Corporate Headquarters. IMAQ: IMAQ Vision Concepts Manual. Editorial: National Instruments Corporation. Estados Unidos de América. Junio 2003.
13. National Instruments Corporate Headquarters. LabVIEW: PID and Fuzzy Logic Toolkit User Manual. Editorial: National Instruments Corporation. Estados Unidos de América. Junio 2009.

14. George J. Klir, Bo Yuan. Fuzzy Sets and Fuzzy Logic: Theory and Applications. Editorial: Prentice Hall Inc. N° de Edición: 0-13-101171-5. Estados Unidos de América. 1995.
15. Timothy J. Ross. Fuzzy Logic with Engineering Applications. Editorial: John Wiley & Sons Ltd. N° de Edición: 0-470-86075-8. Inglaterra. 2004.
16. Johannes Pawlik. Teoría del color. Editorial: Paidós. N° de Edición: 8449302153. Estados Unidos de América. 1996.
17. National Instruments. <http://www.ni.com/academic/esa/>
18. Foros de Discusión de la National Instruments. <http://forums.ni.com/>