

UNIVERSIDAD CENTRAL DE VENEZUELA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
COORDINACIÓN DE ESTUDIOS DE POSTGRADO  
DEPARTAMENTO DE INVESTIGACIÓN DE OPERACIONES Y COMPUTACIÓN.

**RECONOCIMIENTO DE COLORES EN UNA IMAGEN DIGITAL  
UTILIZANDO MÁQUINAS DE APRENDIZAJE NO  
SUPERVISADO**

Trabajo de Grado presentado a la ilustre  
Universidad Central de Venezuela para optar al  
Título de Magíster Scientiarum en Computación  
Emergente.

Lic. Margarita Villarroel.  
Caracas, Diciembre 2003

© Margarita Villarroel. 2003

Depósito Legal

Ift487200365826

## DEDICATORIA

Le dedico este trabajo a mi querido esposo,  
Antonio, por todo el amor y apoyo que  
siempre me ha dado.

## **AGRADECIMIENTOS**

A Dios, por todos los dones que me ha concedido.

A mis padres y hermanos por todo su cariño, así como por su apoyo incondicional.

Al Profesor José Alí Moreno, tutor de esta tesis, por su valiosa cooperación y asesoría en la realización de este trabajo.

A la Profesora Maritza Bracho, por su tiempo invertido y colaboración prestados durante las largas jornadas de captura de imágenes.

A los miembros del jurado, profesor Néstor Carrasquero y profesor Miguel Castro por sus acertadas observaciones.

A Mercedes García por su valiosa y desinteresada ayuda.

A Franklin, Laura, Rafael, Nancy, Iván, Yineira, Milagros, Rebeca y José Manuel por su preocupación y por darme ánimos tantas veces.

## TABLA DE CONTENIDO

<b>INTRODUCCIÓN</b> .....	<b>12</b>
<b>OBJETIVO GENERAL</b> .....	<b>18</b>
<b>OBJETIVO ESPECÍFICO</b> .....	<b>18</b>
<b>1. FUNDAMENTOS</b> .....	<b>19</b>
1.1. Luz .....	19
1.1.1. El Espectro Electromagnético.....	20
1.2. Color .....	22
1.2.1. Clasificación de los Colores.....	25
1.3. Modelos de colores.....	27
1.3.1. Modelo RGB.....	27
1.3.2. Modelo CMY.....	28
1.3.3. Modelo HSI.....	29
1.4. RoboCup.....	32
1.4.1. Breve historia.....	34
1.5. Análisis de Grupos.....	36
1.5.1. Algoritmos de Agrupamiento Jerárquicos.....	37
1.5.2. Algoritmos de Agrupamiento no Jerárquicos.....	38
1.5.3. K-Medios .....	38
1.6. Aprendizaje Competitivo .....	40
1.6.1. Gas Neuronal con Crecimiento.....	40
<b>2. EXPERIMENTOS</b> .....	<b>46</b>
2.1. Fase de Ajuste .....	47
2.2. Fase de Prueba.....	50
2.2.1. Clasificación .....	50
2.2.2. Evaluación.....	56
2.3. Resultados .....	59
<b>3. CONCLUSIONES.</b> .....	<b>80</b>
<b>4. BIBLIOGRAFÍA.</b> .....	<b>83</b>
<b>5. APÉNDICES.</b> .....	<b>84</b>
5.1. - Evaluación detallada de la clasificación utilizando el archivo de ajuste A1.bmp con k-medios.....	84
5.2. - Evaluación detallada de la clasificación utilizando el archivo de ajuste A1.bmp con gas neuronal.....	88
5.3. - Evaluación detallada de la clasificación utilizando el archivo de ajuste A2.bmp con k-medios.....	92
5.4. - Evaluación detallada de la clasificación utilizando el archivo de ajuste A2.bmp con gas neuronal.....	95

5.5. - Evaluación detallada de la clasificación utilizando el método de umbrales con el grupo A1. ....	98
5.6. - Evaluación detallada de la clasificación utilizando el método de umbrales con el grupo A2. ....	102
5.7. - Archivo BMP. ....	105
5.7.1. -Estructura de los archivos .BMP .....	106
5.7.2. -Consideraciones especiales para el manejo de estos archivos. ....	107

## LISTA DE ILUSTRACIONES.

Figura 1. Módulos de Software.....	17
Figura 2. Espectro Electromagnético. ....	24
Figura 3. Sustracción y Adición de colores.....	26
Figura 4. Modelo RGB.....	28
Figura 5. Modelo HSI .....	30
Figura 6. Colores a identificar.....	46
Figura 7. Imágenes de Ajuste.....	48
Figura 8. Clasificación 1. Formación de Rangos.....	51
Figura 9. Clasificación 2. Formación de Rangos.....	52
Figura 10. Clasificación 3. Formación de Rangos.....	53
Figura 11. Resultados gráficos de la clasificación de una imagen de prueba. ....	55
Figura 12. Imagen de prueba A1P1.bmp.. ....	61
Figura 13. Imagen de prueba A1P2.bmp. ....	61
Figura 14. Imagen de prueba A1P3.bmp. ....	61
Figura 15. Imagen de prueba A1P4.bmp. ....	62
Figura 16. Imagen de prueba A1P5.bmp. ....	62
Figura 17. Imagen de prueba A1P6.bmp. ....	62
Figura 18. Imagen de prueba A1P7.bmp. ....	63
Figura 19. Imagen de prueba A2P1.bmp. ....	63
Figura 20. Imagen de prueba A2P2.bmp .....	63

Figura 21. Imagen de prueba A2P3.bmp. ....	64
Figura 22. Imagen de prueba A2P4.bmp. ....	64
Figura 23. Imagen de prueba A2P5.bmp. ....	64



## LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Valores Ek. K-Medios .....	59
Tabla 2. Valores Ek. Gas-Neuronal.....	59
Tabla 3. Evaluación de Clasificación del grupo A1. 60 , Km. ....	67
Tabla 4. Evaluación de clasificación del Grupo A1. 60 Grupos (20r), GasNeuronal ...	68
Tabla 5. Evaluación de clasificación del Grupo A2. 60 Grupos, K-Medios.....	69
Tabla 6. Evaluación de clasificación del Grupo A2. 60 Grupos (40r), GasNeuronal ...	70
Tabla 7. Valores de umbral ajustados manualmente. ....	71
Tabla 8. Evaluación de clasificación del Grupo A1. Valores de umbral.....	73
Tabla 9. Evaluación de clasificación del Grupo A2. Valores de umbral.....	74
Tabla 10. Comparación de Clasificación: Km, Gas N., Umbrales. Grupo A1 .....	76
Tabla 11. Comparación de Clasificación: Km, Gas N., Umbrales. Grupo A2 .....	77
Tabla 12. Evaluación de la Clasificación de A1P1.bmp. (60 grupos,KM).....	84
Tabla 13. Evaluación de la Clasificación de A1P2.bmp. (60 grupos,KM).....	85
Tabla 14. Evaluación de la Clasificación de A1P3.bmp. (60 grupos,KM).....	85
Tabla 15. Evaluación de la Clasificación de A1P4.bmp. (60 grupos,KM).....	86
Tabla 16. Evaluación de la Clasificación de A1P5.bmp. (60 grupos,KM).....	86
Tabla 17. Evaluación de la Clasificación de A1P6.bmp. (60 grupos,KM).....	87
Tabla 18. Evaluación de la Clasificación de A1P7.bmp. (60 grupos,KM).....	87
Tabla 19. Evaluación de la Clasificación de A1P1.bmp (60 grupos,20 rep, GN).....	88
Tabla 20. Evaluación de la Clasificación de A1P2.bmp (60 grupos,20 rep, GN).....	89

Tabla 21. Evaluación de la Clasificación de A1P3.bmp (60 grupos,20 rep, GN).....	89
Tabla 22. Evaluación de la Clasificación de A1P4.bmp (60 grupos,20 rep, GN).....	90
Tabla 23. Evaluación de la Clasificación de A1P5.bmp (60 grupos,20 rep, GN).....	90
Tabla 24. Evaluación de la Clasificación de A1P6.bmp (60 grupos,20 rep, GN).....	91
Tabla 25. Evaluación de la Clasificación de A1P7.bmp (60 grupos,20 rep, GN).....	91
Tabla 26. Evaluación de la Clasificación de A2P1.bmp. (60 grupos,KM).....	92
Tabla 27. Evaluación de la Clasificación de A2P2.bmp. (60 grupos,KM).....	93
Tabla 28. Evaluación de la Clasificación de A2P3.bmp. (60 grupos,KM).....	93
Tabla 29. Evaluación de la Clasificación de A2P4.bmp. (60 grupos,KM).....	94
Tabla 30. Evaluación de la Clasificación de A2P5.bmp. (60 grupos,KM).....	94
Tabla 31. Evaluación de la Clasificación de A2P1.bmp. (60 grupos,40 rep,G.N).....	95
Tabla 32. Evaluación de la Clasificación de A2P2.bmp. (60 grupos,40 rep,G.N).....	96
Tabla 33. Evaluación de la Clasificación de A2P3.bmp. (60 grupos,40 rep,G.N).....	96
Tabla 34. Evaluación de la Clasificación de A2P4.bmp. (60 grupos,40 rep,G.N).....	97
Tabla 35. Evaluación de la Clasificación de A2P5.bmp. (60 grupos,40 rep,G.N).....	97
Tabla 36. Evaluación de la Clasificación de A1P1 con método de umbral.....	98
Tabla 37. Evaluación de la Clasificación de A1P2 con método de umbral.....	99
Tabla 38. Evaluación de la Clasificación de A1P3 con método de umbral.....	99
Tabla 39. Evaluación de la Clasificación de A1P4 con método de umbral.....	100
Tabla 40. Evaluación de la Clasificación de A1P5 con método de umbral.....	100
Tabla 41. Evaluación de la Clasificación de A1P6 con método de umbral.....	101
Tabla 42. Evaluación de la Clasificación de A1P7 con método de umbral.....	101

Tabla 43. Evaluación de la Clasificación de A2P1 con método de umbral.....	102
Tabla 44. Evaluación de la Clasificación de A2P2 con método de umbral.....	103
Tabla 45. Evaluación de la Clasificación de A2P3 con método de umbral.....	103
Tabla 46. Evaluación de la Clasificación de A2P4 con método de umbral.....	104
Tabla 47. Evaluación de la Clasificación de A2P5 con método de umbral.....	104

## INTRODUCCIÓN

El Laboratorio de Computación Emergente del Departamento de Investigación de Operaciones y Computación, de la Facultad de Ingeniería, UCV, está llevando a cabo un proyecto de investigación científica que tiene como objetivo la creación de un equipo de Futbot (robots jugadores de fútbol) para la liga de pequeña escala bajo los lineamientos establecidos en Robocup [1].

Dentro de los elementos de hardware se cuenta con:

- Un servidor, en el cual se encuentran las aplicaciones: Administrador de la red de área local, Administrador de Multiprocesador de área local, Aplicaciones y Administrador de la arquitectura del sistema Robots.
- Cinco estaciones de trabajo, uno por cada agente artificial, las cuales se encargarán de la aplicación y administración del software del agente.
- El servidor y las estaciones de trabajo están comunicadas a través de una LAN con protocolo de comunicación TCP-IP.
- El equipo de robots conformado por cuatro robots jugadores de fútbol y un robot arquero.

- Cámara digital para un sistema de visión global, conectada al servidor.

Todos estos elementos se interrelacionan a través de los siguientes módulos de software:

- Sistema administrador de LAN, el cual define y carga los nodos de proceso, establece las funciones que cada nodo ejercerá dentro del sistema, establece y controla la comunicación entre los nodos del sistema y administra y controla la ejecución de las diferentes aplicaciones del sistema.
- Sistema de visión global y *on-board*, el cual adquiere en tiempo real y de manera continua las imágenes del ambiente de trabajo de los robots, transforma las imágenes de la cámara en formatos que puedan ser procesados digitalmente, identifica, segmenta y posiciona los diferentes objetos presentes en el ambiente de trabajo, y transforma los datos obtenidos de las imágenes en información capaz de ser procesadas por el Planificador de Rutas, Administrador de Estrategias y Ejecutor de Jugadas.
- Sistema Administrador de Comunicaciones, el cual recibe del Ejecutor de Jugadas, el conjunto de comunicaciones a ser enviadas a los robots, establece y administra las colas para el envío y recepción de información desde y hacia los

robots, y decodifica y distribuye los mensajes recibidos de los robots para su debido procesamiento

- Planificador de rutas, el cual recibe del Sistema de Visión Global la interpretación de la imagen (identificación, ubicación y segmentación de los objetos), transformar la interpretación de la imagen en posibles rutas de navegación para el robot, realiza los ajustes que puedan surgir por diferencias entre el estado real del ambiente y el estado computado y notifica de la imposibilidad de movimiento por la proximidad de obstáculos o por la inexistencia de rutas viables de navegación.
- Administrador de Estrategias, el cual recibe del Planificador de Rutas las posibles rutas de navegación del robot, identifica las posibles jugadas a ejecutar y seleccionar la más conveniente de acuerdo a criterios y estrategias previamente establecidos y realiza los ajustes que puedan surgir por diferencias entre el estado real del ambiente y el estado computado.
- Ejecutor de Jugadas, el cual recibe la jugada a ejecutar del Administrador de Estrategias, transforma las jugadas en conjuntos de comandos a ser transmitidos al robot y suministrar al Administrador de Comunicaciones el conjunto de comandos a ser efectuados por el robot.

- Sistema Operativo del Robot, el cual recibe, administra y controla las comunicaciones enviadas por el servidor, convierte los comandos recibidos en acciones de motores, mueve al robot y administra, controla y envía las comunicaciones producidas en el robot (Ver figura 1).

En el Módulo de Visión Global se realizan las actividades de segmentación y clasificación por coloración de objetos. Actualmente en este proceso se utiliza una técnica de umbral donde a cada color a identificar se le asigna por el usuario valores mínimos y máximos en cada componente RGB, con el fin de poder determinar si las componentes de un píxel dado se encuentra entre los componentes de umbral de un determinado color, si esto ocurre se dice que el píxel es de ese color. De esta manera es posible identificar los distintos objetos dentro de la cancha de juego del robot: píxeles anaranjados delimitan la pelota, píxeles blancos delimitan las líneas de las distintas zonas de la cancha, etc.

Debido a la naturaleza de la luminosidad del ambiente, los objetos dentro de la cancha presentan leves variaciones en sus tonalidades a través del tiempo, como por acción de leves cambios del ambiente producidos dentro y fuera de la cancha: Los objetos se mueven y proyectan sombras sobre otros, o dejan de proyectarla.

El cerebro humano, en el proceso de producción de la imagen, hace ajustes extraordinariamente rápidos para permitirnos reconocer, por ejemplo, un objeto de color azul a pesar de que en algunas zonas presente variaciones de luz y sombra.

En el módulo de Visión de los robots se modeló este ajuste haciendo variaciones manuales en los valores de umbral de los distintos colores presentes en la cancha de juego.

La motivación de este trabajo es establecer en este módulo nuevas estrategias automáticas con el fin de lograr una mayor velocidad en este proceso clave. Estos nuevos enfoques involucran técnicas y arquitecturas de RNA basadas en aprendizaje no supervisado.



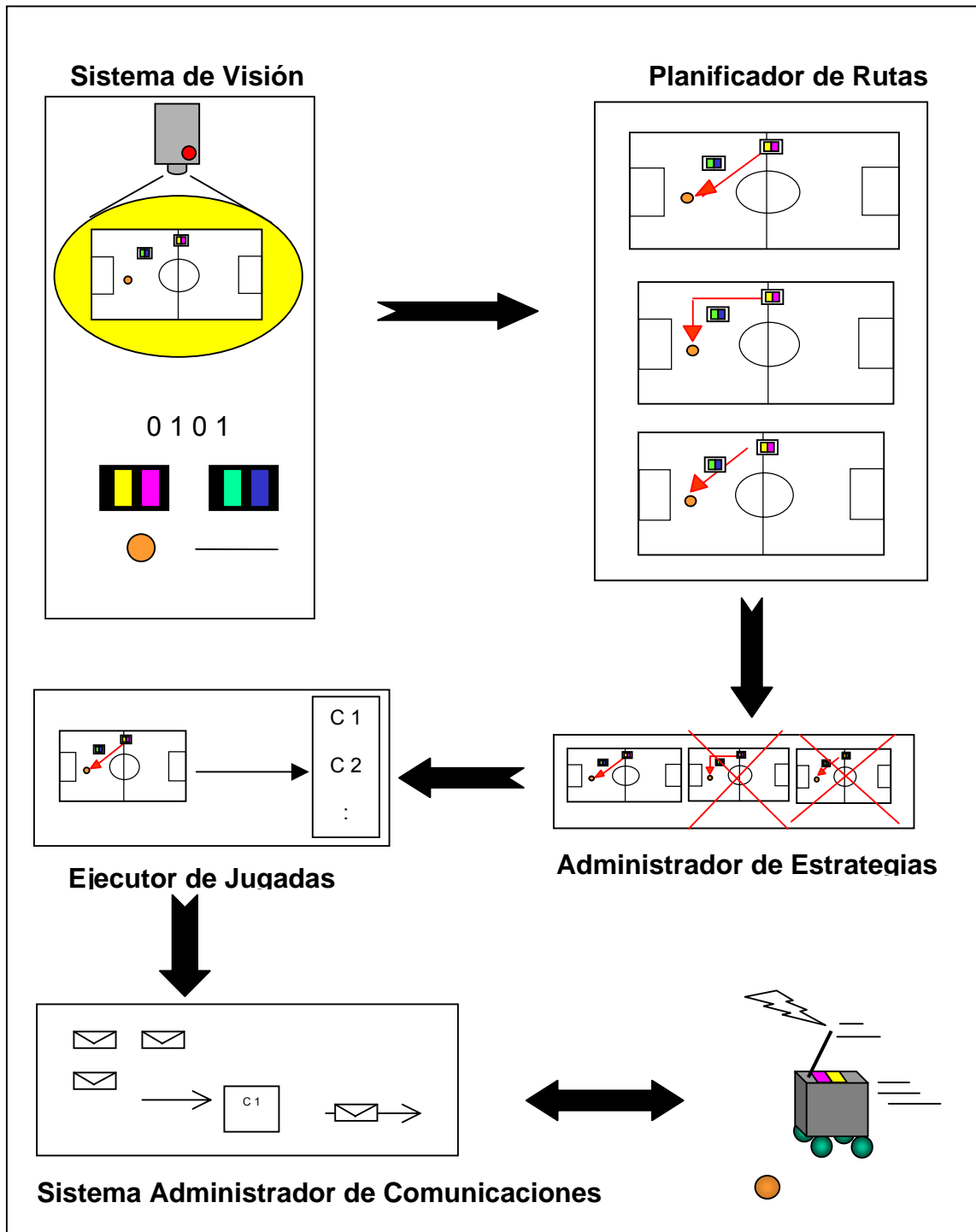


Figura 1. Módulos de Software.

**OBJETIVO GENERAL**

Emplear máquinas de Aprendizaje no Supervisado para la formación automática de grupos de colores a partir de las imágenes digitales del campo de juego, con el fin de lograr calibrar en tiempo real, el rango en el cual se encuentran los colores de los objetos presentes en el área de juego para un determinado instante, permitiendo su correcta identificación.

**OBJETIVO ESPECÍFICO**

Comparar y evaluar los resultados obtenidos con los métodos utilizados (Gas Neuronal con Crecimiento Dinámico) y el algoritmo tradicional de agrupamientos (K-Medios), en la determinación de rangos de colores a los que pertenece cada objeto dentro del campo de juego en un instante determinado.

Comparar efectividad de estos métodos con la técnica de umbral utilizada en la actualidad en el sistema de visión del equipo de Futbot del Laboratorio de Computación Emergente.

## **1. FUNDAMENTOS**

### **1.1. Luz**

La luz visible, capaz de impresionar la retina y de generar la formación de imágenes en el cerebro, constituye una pequeña porción del total de radiaciones electromagnéticas existentes.

La luz no es de naturaleza diferente a la de los otros tipos de radiación emitida por cuerpos calientes. Esta tiene una gran importancia, ya que proporciona uno de los más grandes medios de conocimiento del mundo físico. [6]

El fenómeno de la luz ha sido explicado a través de varios modelos, los cuales se han mantenido hasta la actualidad.

El modelo corpuscular de la luz, formulado por Newton en 1682, considera que la luz está formada por partículas. El modelo ondulatorio formulado por Huyghens en 1690, considera la luz como una radiación de naturaleza ondulatoria electromagnética.

Posteriormente en el siglo XX surge el modelo cuántico, que considera la luz constituida por pseudo-partículas llamadas cuantos de luz o fotones. Actualmente se considera que la luz se comporta como onda y como partícula. [4]

Desde el punto de vista ondulatorio, la luz presenta una serie de propiedades que permiten su estudio, de las más importantes tenemos: Propagación rectilínea, Reflexión, Refracción, Interferencia y Polarización.

La intensidad de la onda luminosa está relacionada con la cantidad de energía transportada por la luz.

### 1.1.1. El Espectro Electromagnético

Es el resultado de la distribución de los componentes de diferentes longitudes de onda y frecuencia del conjunto de radiaciones de naturaleza eléctrica y magnética.

Los fenómenos ondulatorios de naturaleza electromagnética se producen cuando una partícula cargada vibra u oscila alrededor de una posición de equilibrio y su movimiento se transmite a través del espacio en forma de radiación. Una característica de dicha radiación es la longitud de onda ( $\lambda$ ), la cual define el espacio comprendido entre dos posiciones idénticas que la partícula adquiere a intervalos regulares de tiempo en su movimiento.

La longitud de onda mide una oscilación completa, mientras que la frecuencia mide el número de oscilaciones por unidad de tiempo. Esta última define la rapidez con que se produce la vibración. Ambas magnitudes ( $\lambda$ ) y ( $f$ ) son inversamente proporcionales entre sí.

El espectro electromagnético cubre una amplia gama de frecuencias o de longitudes de onda pudiéndose clasificar según su principal fuente. La clasificación no tiene límites precisos, ya que fuentes diferentes pueden producir ondas en intervalos de frecuencia superpuestos parcialmente. Su clasificación habitual es la siguiente:

- **Ondas de Radio Frecuencia:** estas ondas usadas en los sistemas de radio y televisión, son generadas por medio de dispositivos electrónicos, principalmente por circuitos oscilantes.
  
- **Microondas:** Estas ondas se usan en el radar y otros sistemas de comunicaciones, así como también en el análisis de detalles muy finos de la estructura atómica y molecular. Se genera a través de dispositivos electrónicos.
  
- **Infrarrojo:** A su vez se divide en infrarrojo lejano, medio y cercano. Son producidos por cuerpos calientes y por dispositivos electrónicos. Tienen muchas aplicaciones en la industria, medicina, astronomía, etc.
  
- **Luz o espectro visible:** Es una banda angosta que abarca longitudes de onda a las cuales nuestra retina es sensible. El rango va desde el rojo al violeta.
  
- **Ultravioleta:** Estas ondas son producidas por átomos y moléculas en descargas eléctricas. Su energía es del orden de magnitud de la energía involucrada en muchas reacciones químicas, lo que explica muchos de sus efectos químicos. El sol es una fuente muy poderosa de radiación ultravioleta siendo este factor el principal responsable del bronceado de la piel.

- **Rayos X:** Son ondas de alta energía producidas por los electrones atómicos más fuertemente ligados. Son utilizados en medicina con suma precaución, dado que cualquier cantidad de radiación X destruye tejidos sanos.

- **Rayos Gamma:** son producidos por sustancias radiactivas y están presentes en grandes cantidades en los reactores nucleares. Producen efectos graves al ser absorbidos por el tejido vivo. [5]

## 1.2. Color

Dentro del rango de la luz visible se presentan una serie de diferentes sensaciones que la luz produce en el ojo, que se denominan colores. Los colores son una propiedad de la luz. Estos pueden medirse de acuerdo a la frecuencia y a la longitud de onda, como se indica en la Figura 2.

La sensibilidad del ojo humano a los colores depende de la longitud de onda de la luz, para la persona promedio esta es máxima dentro del color verde-amarillento. El color posee las siguientes propiedades:

-**Tonalidad:** Consiste en los distintos matices que puede presentar un tono determinado cuando se descompone la luz blanca en sus distintos componentes.

-**Pureza:** Esta propiedad se refiere a la proporción de blanco que posee un determinado color espectral.

-**Saturación:** Un color saturado tiene un aspecto oscuro. Los colores rojo, verde y azul pueden presentar alta saturación y los mismos se aclaran cuando la saturación se reduce. El color amarillo más puro por el contrario, tiene una saturación baja.

-**Brillo:** Se refiere a la intensidad del color y al cambiar este, afecta a la tonalidad, pareciendo más amarillentas, azuladas o verdosas.

El número de colores posibles es infinito y se estima que el ojo puede distinguir unos 10 millones de tonalidades diferentes. [4]

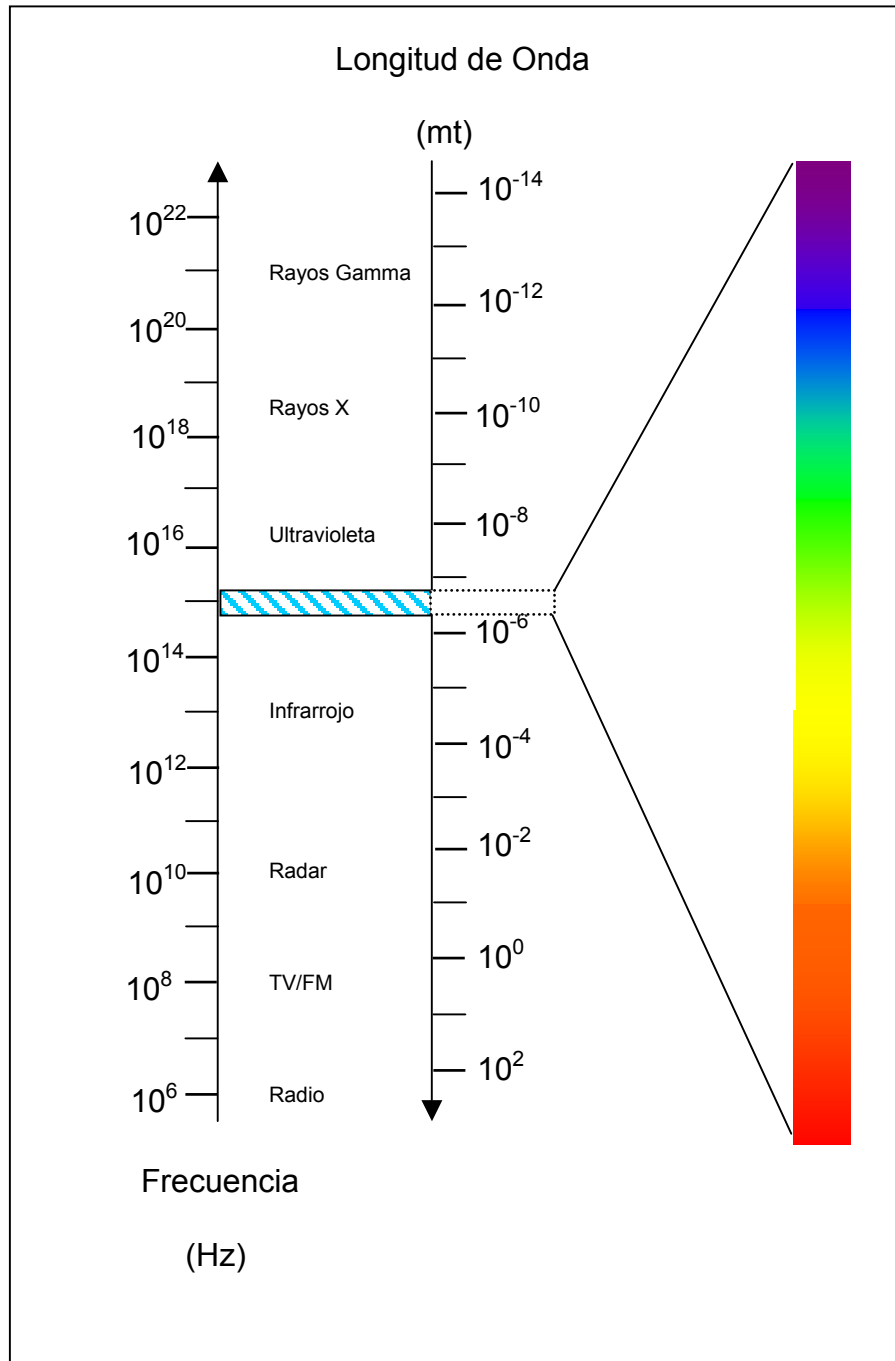


Figura 2. Espectro Electromagnético.



### 1.2.1. Clasificación de los Colores

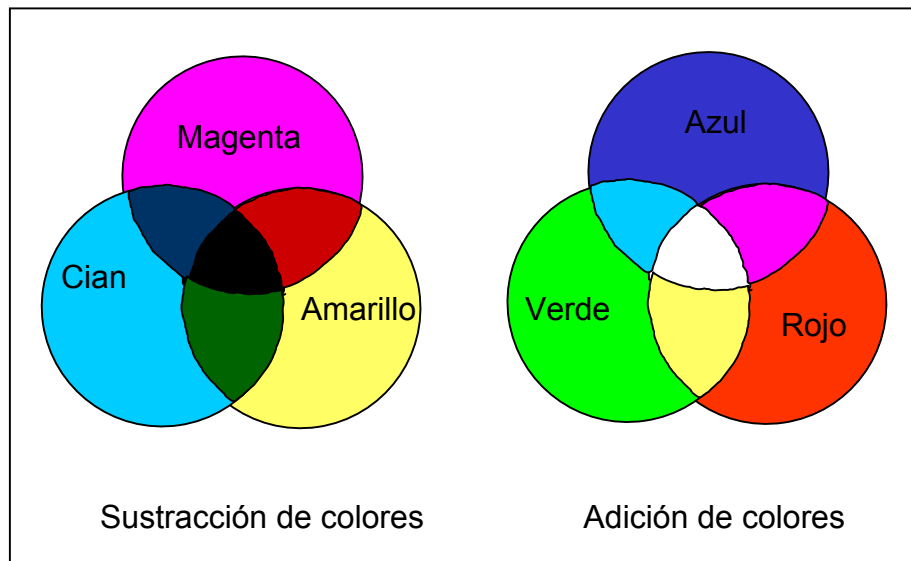
En función de las cualidades cromáticas definidas, se han establecido numerosas escalas de clasificación del color, diferentes de la primera elaborada por Newton. Así el físico británico James Clerk Maxwell, que analizó pormenorizadamente distintos aspectos de las radiaciones electromagnéticas, realizó en el siglo XIX la primera diferenciación cromática, según métodos de síntesis aditiva y sustractiva. Por su parte, el estadounidense Albert Munsell estableció a principios del siglo XX un catálogo de colores en el que se disponía de veinte tonos diferentes ordenados en un círculo. También estableció una escala de luminosidad numerada del uno al nueve, y otra de saturación dividida en 16 grados convencionales.

El principal problema de estas clasificaciones es asignar a cada color una denominación inequívoca. De esta forma el procedimiento para especificar los colores a partir de palabras, si bien es útil cuando no se requiere de gran precisión, resulta poco formal puesto que no proporciona exactitud. A fin de resolver este problema se recurre al llamado método de las mezclas.

Adoptado en 1931 por la Comisión Internacional de Iluminación o CIE (*Commission Internationale de l'Eclairage*) el método de mezclar se basa en el uso de tres colores básicos, puros, formados por una sola longitud de onda, que combinados en determinadas proporciones dan como resultado el resto de los colores del espectro. Tales son el rojo, verde y azul. Los demás surgen a partir de ciertas leyes cuyos principios básicos son la adición y la sustracción.

Dos o más colores se llaman complementarios si su adición origina el color blanco. Por ejemplo, azul, verde y rojo son colores complementarios. Si, por el contrario, se recurre a la ley de sustracción, el color resultante es el negro.

En el método de las mezclas, las ecuaciones que regulan las combinaciones pueden llegar a alcanzar una notable complejidad. En ellas se introducen términos y variables, como los llamados iluminantes, magnitudes referidas a la intensidad y las demás cualidades de la luz que ilumina el cuerpo observado. También intervienen los colores conocidos con el nombre de metámeros, iguales para la percepción del ojo humano, pero que, sin embargo, tienen diferente composición espectral. La introducción de estos factores permite disponer de diferentes parámetros para tabular todos los colores de la naturaleza de forma no exclusivamente descriptiva. [7]



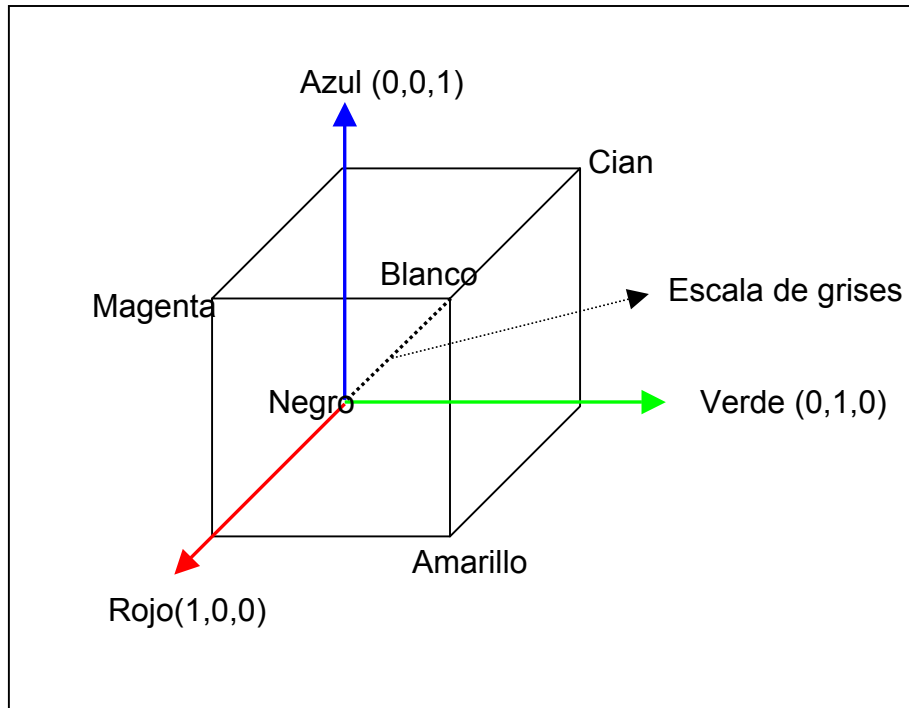
**Figura 3. Sustracción y Adición de colores.**

### 1.3. Modelos de colores.

Los modelos de colores proveen una manera estándar para especificar un color particular, definiendo un sistema de coordenadas en 3D, y un sub-espacio que contiene todos los colores que se pueden construir con un modelo particular. Cualquier color que puede ser especificado usando un modelo corresponderá a un punto dentro del sub-espacio definido. Cada modelo de color está orientado bien sea a un hardware específico (RGB, CMY, YIQ) o a una aplicación de procesamiento de imágenes (HSI)

#### 1.3.1. Modelo RGB

El modelo RGB es un modelo aditivo, donde se utilizan cantidades variables de los colores primarios rojo, verde y azul para formar cualquier otro color. A esto se debe su nombre ya que son las siglas inglesas de estos colores primarios (*red, green, blue*). En la figura 4 se muestra la geometría del modelo de color RGB para la especificación de colores utilizando un sistema de coordenadas cartesianas. El espectro de grises se ubica en la línea que une los vértices blanco y negro, estos colores poseen la misma cantidad de los tres componentes. Este modelo es usado para monitores de color y por la mayor parte de las cámaras de video.



**Figura 4. Modelo RGB**

### 1.3.2. Modelo CMY

Este modelo sustractivo se denomina así por las iniciales de los nombres ingleses de cian, magenta y amarillo (se agrega letra K para representar los valores de negro y gris de la imagen). En este modelo sustractivo estos colores pasan a ser primarios y los colores rojo, verde y azul pasan a ser considerados secundarios, de igual manera el color blanco representa la ausencia de un color, y el negro es la suma de todos. Este modelo generalmente es el utilizado para impresiones.

Para transformar coordenadas CYM a RGB se utiliza la siguiente igualdad.

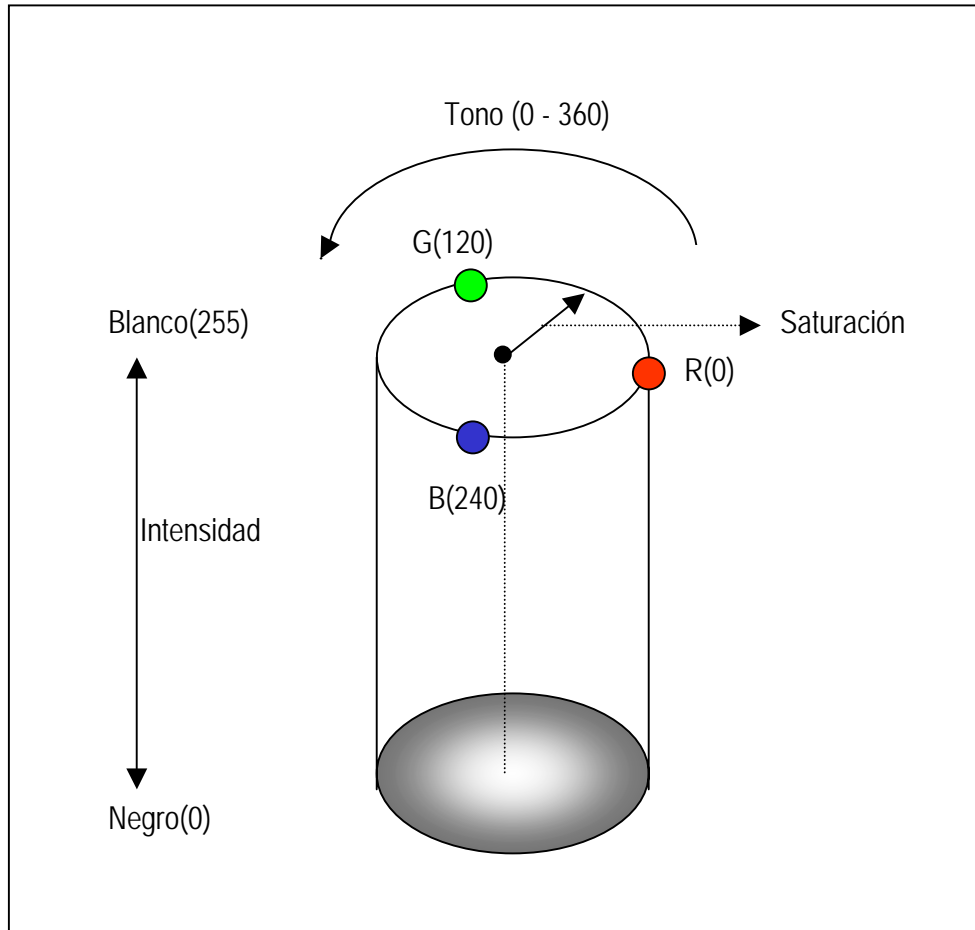
$$\begin{bmatrix} C \\ M \\ Y \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 \\ 1 \\ 1 \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} R \\ G \\ B \end{bmatrix}$$

### 1.3.3. Modelo HSI

En este modelo los colores se representan mediante sus propiedades: Intensidad, Tono y Saturación (HSI: *Hue, Saturation, Intensity*), que describen las sensaciones subjetivas de brillo, color y pureza del color.

El tono procede de la longitud de onda en donde se produce la máxima reflectividad del objeto: equivale al color que aprecian nuestros ojos. La saturación se refiere a la pureza de dicho color, su grado de mezcla con los otros colores primarios. Por último, la intensidad puede identificarse como el brillo, en función del porcentaje de reflectividad recibido.

El espacio completo de colores que pueden ser especificados se muestra a continuación:



**Figura 5. Modelo HSI**

Un valor de color es representado como un punto en el cilindro. El tono es simplemente el ángulo de rotación sobre la superficie circular del cilindro. El rojo es definido a cero grados. La saturación es representada por la longitud del vector desde el centro del círculo al valor del color en cuestión. Para los colores puros, este vector se extiende al borde de la superficie cilíndrica. La intensidad es representada por la longitud del vector desde la base del cilindro al valor del color.

La conversión de la representación RGB a HSI puede ser llevada a cabo considerando las siguientes ecuaciones:

$$\theta = \cos^{-1} \left( \frac{1/2((R-G) + (R-B))}{\left[ (R-G)^2 + (R-B)(G-B) \right]^{1/2}} \right)$$

$$H = \begin{cases} \theta, & \text{si } G \geq B \\ 2\pi - \theta & \text{en caso contrario} \end{cases} \quad S = 1 - \frac{\min(R, G, B)}{I} \quad I = \frac{R + G + B}{3}$$

Para el caso de conversión de HSI a RGB hay que considerar las siguientes:

$$(0^\circ \leq H < 120^\circ)$$

$$B = I(1 - S)$$

$$R = I \left[ 1 + \frac{S \cos H}{\cos(60^\circ - H)} \right]$$

$$G = 1 - (R + B)$$

$$(120^\circ \leq H < 240^\circ)$$

$$H = H - 120^\circ$$

$$R = I(1 - S)$$

$$G = I \left[ 1 + \frac{S \cos H}{\cos(60^\circ - H)} \right]$$

$$B = 1 - (R + G)$$

$$(240^\circ \leq H \leq 360^\circ)$$

$$H = H - 240^\circ$$

$$G = I(1 - S)$$

$$B = I \left[ 1 + \frac{S \cos H}{\cos(60^\circ - H)} \right]$$

$$R = 1 - (G + B)$$

Donde H, S e I son los valores de tono, saturación e intensidad de la imagen de salida en HSI; y R, G y B con los componentes de rojo, verde y azul de la imagen RGB.

## 1.4. RoboCup

RoboCup es una iniciativa internacional de investigación y educación, nace como un intento para fomentar la investigación de la Inteligencia Artificial y Robótica.

Este proyecto ha adoptado el juego de Fútbol como un problema estándar a resolver, para el cual es necesario integrar una amplia gama de tecnologías como: principios de diseño de agentes autónomos, colaboración de multi-agentes, adquisición de estrategias, razonamiento en tiempo real, y robótica entre otros.

El objetivo final de RoboCup se estableció como:

*A mediados del siglo 21, un equipo de jugadores robots humanoides totalmente autónomos ganará un juego de fútbol, de acuerdo a las reglas oficiales de la FIFA, contra el ganador de la Copa del Mundo más reciente.*

Esta meta será uno de los grandes retos compartidos entre la Robótica y la Inteligencia Artificial para los próximos 50 años. Esta meta puede sonar ambiciosa dado el estado del arte de la tecnología actualmente, sin embargo, gracias a iniciativas de este tipo se fomenta la investigación de nuevas tecnologías para conseguir una serie de objetivos secundarios que están más al alcance.



Las competencias del campeonato del mundo de robots engloban tres áreas principales:

#### RoboCupSoccer

- Liga de Simulación
- Liga de robots de tamaño pequeño (f-180)
- Liga de robots de tamaño medio (f-2000)
- Liga de Robots Sony *Legged* (apoyada por Sony)
- Liga de Humanoides
- Exhibición de comentaristas de RoboCup

#### RoboCupRescue

- Liga de Simulación de Rescate
- Liga de Robots de Rescate

#### RoboCupJunior

- Desafío de Fútbol
- Desafío de Danza
- Desafío de Rescate

Además de estas competencias se realizan actividades de: Conferencias Técnicas, Programas de Desafío de RoboCup, Programas Educativos.

#### 1.4.1. Breve historia.

La idea de robots jugadores de fútbol fue mencionada primero por el profesor Alan Mackworth (Universidad de Columbia Británica, Canadá) en un documento titulado *On Seeing Robots* presentado en VI-92, 1992, y más adelante publicado en el libro *Computer Vision: System, Theory, and Applications*, (página 1-13, World Scientific Presss, Singapur, 1993).

A partir de este momento y de manera independiente, distintos investigadores del mundo adoptaron la idea de trabajar con robots jugadores de fútbol, empleando diferentes tecnologías. Itsuki Noda, en el laboratorio ETL (*Electrotechnical Laboratory*), un centro de investigación del gobierno Japonés, conducía una investigación de multi-agentes usando fútbol, y comenzó el desarrollo de un simulador dedicado para los juegos del fútbol. Este simulador se convirtió mas tarde en el servidor oficial de fútbol de RoboCup. Independientemente, el profesor Minoru Asada de la Universidad de Osaka, y la profesora Manuela Veloso y su estudiante Peter Stone en la universidad de Carnegie Mellon había estado trabajando con robots jugadores de fútbol .

En junio de 1993, un grupo de investigadores, incluyendo Minoru Asada, Yasuo Kuniyoshi, e Hiroaki Kitano, decidía lanzar una competencia robótica, tentativamente nombrada la Liga J de robots (la Liga J es el nombre de la Liga Profesional Japonesa de Fútbol). Debido a la gran aceptación mundial dentro de la comunidad de

investigadores, el proyecto se amplió a la Copa del Mundo de Robots, o simplemente RoboCup.

En septiembre de 1993, se efectuó el primer aviso público de la iniciativa RoboCup, y las regulaciones específicas fueron bosquejadas y difundidas.

Mientras tanto, el equipo de Noda en ETL anunció la versión 0 de *Soccer Server* (versión en LISP), el primer simulador del servidor de fútbol de sistema abierto para el dominio del fútbol permitiendo la investigación de sistemas multiagentes, seguido por la versión 1.0 del servidor del fútbol (versión de C++) que fue distribuido vía web. La primera demostración pública de este simulador fue hecha en IJCAI-95 (*International Joint Conference on Artificial Intelligence*)

Durante este evento (IJCAI-95) llevado a cabo en Agosto de 1995 en Montreal, Canadá, se comunicó la celebración de la primera Copa del Mundo de Robots y Conferencias conjuntamente con IJCAI-97, Nagoya. Además se tomó la decisión de organizar Pre-RoboCup-96 con la intención de identificar los problemas potenciales asociados a organizar un evento de mayor dimensión. [1]

Desde la celebración de Pre-RoboCup-96 durante la *International Conference on Intelligent Robots and Systems* (IROS-96), con ocho equipos compitiendo en una liga

de simulación y una demostración de robots para la liga de tamaño mediano, se han celebrado cinco distintos campeonatos oficiales (RoboCup-98, Francia, RoboCup-99, Suecia, RoboCup-01, USA, RoboCup-02, Japón), todos con un marcado crecimiento en el número de equipos competidores. El encuentro pautado para el año 2003, se llevará a cabo en Padua, Italia.

El reconocimiento y aceptación por parte de la comunidad científica internacional indica claramente que la principal motivación de Robocup, como es promover y alentar la investigación en el área de la Inteligencia Artificial y la Robótica se ha cumplido exitosamente.

### **1.5. Análisis de Grupos.**

El propósito del análisis de grupos es particionar un conjunto de datos u objetos en grupos (también denominados “*clusters*”, subconjuntos, clases) de elementos similares.

Estas particiones deben tener las siguientes propiedades:

- Homogeneidad dentro del grupo: Los elementos que pertenecen al mismo grupo deberían ser tan similares como sea posible.
- Heterogeneidad entre grupos: Los elementos que pertenecen a distintos grupos deberían ser tan diferentes como sea posible.

Los Algoritmos de Agrupamiento se suelen dividir de manera general, como Jerárquicos y no Jerárquicos.

#### **1.5.1. Algoritmos de Agrupamiento Jerárquicos**

En una clasificación jerárquica la partición de la data no es realizada en un solo paso. Primero se separa en unas pocas clases, luego cada una de ellas es dividida en clases más pequeñas, e iterativamente cada una de ellas se volverá a dividir, hasta que las clases finales sean indivisibles. [2]

Gráficamente se obtiene una suerte de árbol, en el cual la raíz representa la data de entrada, los nodos representan subconjuntos de la data simulando la estructura encontrada en la data original, las hojas son los elementos individuales, los nodos internos se definen como la unión entre los hijos, y cada nivel del árbol representa la partición de la data en distintos grupos.

Los algoritmos de Agrupamiento Jerárquicos esencialmente se pueden subdividir en Aglomerativos (*bottom-up*) los cuales proceden por una serie de fusiones sucesivas de N entidades en grupos, y Divisivos (*top-down*), los cuales particionan el conjunto de N entidades sucesivamente en particiones más finas.

### 1.5.2. Algoritmos de Agrupamiento no Jerárquicos

Este enfoque particiona los datos en un número específico de grupos, y luego asigna cada elemento a uno de los  $k$  grupos, de acuerdo a una medida de distancia. La más usual de estas medidas es la distancia Euclídea.

### 1.5.3. K-Medios

El algoritmo de K-Medios es uno de los más representativos de la categoría de los No Jerárquicos. De manera general, el procedimiento es el siguiente:

Sea que se tienen  $n$  vectores patrón  $x_1, x_2, \dots, x_n$ , y se sabe que se pueden distribuir entre  $k$  grupos compactos,  $k < n$ . Sea  $C_i$  la media de los vectores en el Grupo  $i$ , es decir el centroide. Si los grupos están bien separados, se puede utilizar un clasificador de distancia mínima para separarlos. Es decir,  $Y$  pertenece al grupo  $i$  si

$$\|Y - C_i\| < \|Y - C_j\| \forall j \neq i.$$

Esto sugiere el siguiente procedimiento para determinar los centroides prototipos.

- 1.- Tomar  $k$  vectores como centroides.
- 2.- Usar la media estimada para clasificar la data en un determinado grupo.

- 3.- Para  $i = 1$  hasta  $k$  : Reemplazar  $C_i$  con la media de todos los datos pertenecientes al grupo  $i$ .
- 4.- Si hay variación en el reemplazo de los  $C_i$ , ir al paso 2, sino terminar.

Este método posee algunas debilidades:

- La forma de inicializar los vectores prototipo no se ha especificado. Una forma común de hacerlo es escogiendo de manera aleatoria  $k$  vectores.
- El resultado depende de los valores iniciales, así que ocurre frecuentemente que se obtienen agrupamiento subóptimos. La alternativa es repetir el algoritmo con diferentes iniciaciones.

Una manera de establecer la calidad de cada agrupamiento es estudiando las propiedades de homogeneidad dentro de cada grupo. Para esto se puede considerar el valor del promedio de las variaciones intra-grupo normalizada por el

máximo valor de todas las variaciones intra-grupo :  $E_k = \frac{1}{K \max_{j=1}^k \{e_j\}} \sum_{i=1}^k e_i$  ,

donde ,  $e_k = \frac{1}{|C_k|} \sum_{x \in C_k} d(\bar{x}, \bar{m}_k)$  , representa la distancia promedio de todos los puntos en el grupo  $C_k$  a su centroide  $\bar{m}_k$  . [10]

- Puede ocurrir que algunos prototipos se queden aislados, en ese caso hay que eliminarlo.

- El resultado depende de la métrica utilizada para medir la distancia a los prototipos.
 
$$\|Y - C_i\| < \|Y - C_j\| \quad \forall j \neq i$$
- Una solución común es normalizar cada rasgo del vector patrón por su desviación estándar, aunque esto no siempre es deseable.

## 1.6. Aprendizaje Competitivo

En el área del aprendizaje competitivo existe un gran número de modelos que a pesar de tener propósitos similares difieren sustancialmente de la manera en la que trabajan. Un propósito común de estos algoritmos es distribuir un cierto número de vectores en un espacio de alta dimensión. La distribución de estos vectores debe reflejar la distribución de probabilidad de los vectores de entrada la cual en general no se conoce.

Estos algoritmos tienen un número de propósitos diferentes y mutuamente excluyentes. Estos pueden ser: Minimización del Error, Maximización de la entropía, Mapeo de Características (*Feature Mapping*), Estimación de Densidad, y Generación de Grupos (*Clustering*).[8]

### 1.6.1. Gas Neuronal con Crecimiento

Este método ideado por Bernd Fritzke [8], se basa en el método de Crecimiento de estructura de celdas, del mismo autor, y la generación topológica de aprendizaje hebbiano de Martinetz y Shulten, se caracteriza porque el número de prototipos por lo



general se incrementa durante el proceso de auto-organización. Para determinar dónde serán insertados los nuevos prototipos, se toman medidas de error local durante la dinámica de adaptación. Cada nuevo prototipo se inserta cerca del que ha acumulado el mayor error.

El algoritmo completo del gas neuronal con crecimiento es el siguiente:

1.- Iniciar el conjunto  $A$  con dos vectores prototipo  $p_1$  y  $p_2$ , escogidos de manera aleatoria de acuerdo a  $P(\xi)$  (función de distribución de los patrones de entrenamiento).

$$A = \{p_1, p_2\}$$

Inicializar el conjunto de conexiones  $C$ ,  $C \subset A \times A$ , con el conjunto vacío:

$$C = \emptyset$$

2.- Generar de manera aleatoria un patrón de entrada  $\xi$  de acuerdo a  $P(\xi)$ .

3.- Determinar los dos prototipos ganadores  $s_1$  y  $s_2$  por

$$s_1 = \arg \min_{P_i \in A} \|\xi - \vec{P}_i\| \text{ y}$$

$$s_2 = \arg \min_{P_i \in A \setminus \{s_1\}} \|\xi - \vec{P}_i\|, \quad (s_1, s_2 \in A)$$

4.- Si la conexión entre  $s_1$  y  $s_2$  no existe en el conjunto  $C$ , crearla:

$$C = C \cup \{(s_1, s_2)\}$$

Colocar la edad de la conexión entre  $s_1$  y  $s_2$  a cero:  $edad(s_1, s_2) = 0$

5.- Asignar la distancia cuadrática entre el patrón de entrada y el prototipo ganador a una variable de error local.

$$\Delta E_{s1} = \left\| \vec{\xi} - \vec{p}_{s1} \right\|^2$$

6.- Adaptar los patrones prototipo de el ganador y sus vecinos topológicos directos en una fracción  $\epsilon_b$  y  $\epsilon_n$ , respectivamente, de su distancia al patrón de entrada:

$$\Delta \vec{p}_{s1} = \epsilon_b (\vec{\xi} - \vec{p}_{s1}) \quad , \quad \Delta \vec{p}_i = \epsilon_n (\vec{\xi} - \vec{p}_i) \quad (\forall i \in N_{s1})$$

Se denomina a  $N_{s1}$  como los vecinos topológicos directos de  $p_1$ .

7.- Incrementar la edad de todas las conexiones generadas de  $s_1$ :

$$edad(s_1, i) = edad(s_1, i) + 1 \quad (\forall i \in N_{s1})$$

8. Remover las conexiones con una edad mayor de  $e_{max}$ . Si de esto resultan prototipos desconectados, hay que removerlos.

9. Si el número de patrones de entrenamiento es un múltiplo entero de un parámetro  $\lambda$ , insertar nuevos prototipos, de la siguiente manera:

- Determinar el prototipo  $q$  con el máximo error acumulado:  $q = \arg \max_{c \in A} E_c$

- Determinar entre los vecinos de  $q$  el prototipo  $f$  con el máximo error acumulado.

$$f = \arg \max_{c \in N_q} E_c$$

- Agregar un nuevo prototipo  $r$  al sistema interpolando los prototipos  $q$  y  $f$

$$A = A \cup \{r\}, \quad \bar{p}_r = (\bar{p}_q + \bar{p}_f) / 2$$

-Insertar una conexión entre el prototipo  $r$  y los prototipos  $q$  y  $f$ . Remover la conexión original entre  $q$  y  $f$ .

$$C = C \cup \{(r, q), (r, f)\}, \quad C = C \setminus \{(q, f)\}$$

- Decrementar las variables de error de los prototipos  $q$  y  $f$  en una fracción de  $\alpha$

$$\Delta E_q = -\alpha E_q, \quad \Delta E_f = -\alpha E_f$$

-Incorporar un valor de error para el prototipo  $r$  interpolando los errores de los prototipos  $q$  y  $f$ .

$$E_r = (E_q + E_f) / 2$$

10. Decrementar las variables de error de todas las unidades en:

$$\Delta E_c = -\beta E_c \quad (\forall c \in A)$$

11. Aplicar el criterio de parada, si la condición no se cumple continuar en el paso 2. El criterio podría ser el tamaño de la red o alguna medida de rendimiento.

Este método difiere de otros enfoques, como el Gas Neural de Martinetz y Schulten, en que sus parámetros no cambian a lo largo del tiempo y el proceso de crecimiento puede continuar hasta cumplirse una condición definida por el usuario o bien porque se alcanzó un tamaño predefinido. Se utilizaron los siguientes parámetros:

- $\lambda = 300$  Control para insertar nuevos prototipos
- $\varepsilon_b = 0.05$  Constante de Aprendizaje
- $\varepsilon_n = 0.0006$  Constante de Aprendizaje
- $\alpha = 0.5$  Constante de Decremento de error
- $\beta = 0.0005$  Constante de Decremento de error

Al comparar este método con K-medios, se hace evidente su mayor complejidad computacional, lo que afecta su tiempo de respuesta, no así la calidad de los resultados.

## 2. EXPERIMENTOS

Para llevar a cabo los distintos experimentos, los métodos de K-Medios y Gas Neuronal con Crecimiento Dinámico se implementaron utilizando el lenguaje de programación Borland C, respetando el estándar ANSI.

En la siguiente imagen capturada con el sistema de visión del equipo de Futbot del Laboratorio de Computación Emergente, se pueden distinguir los distintos colores que son objeto de identificación.

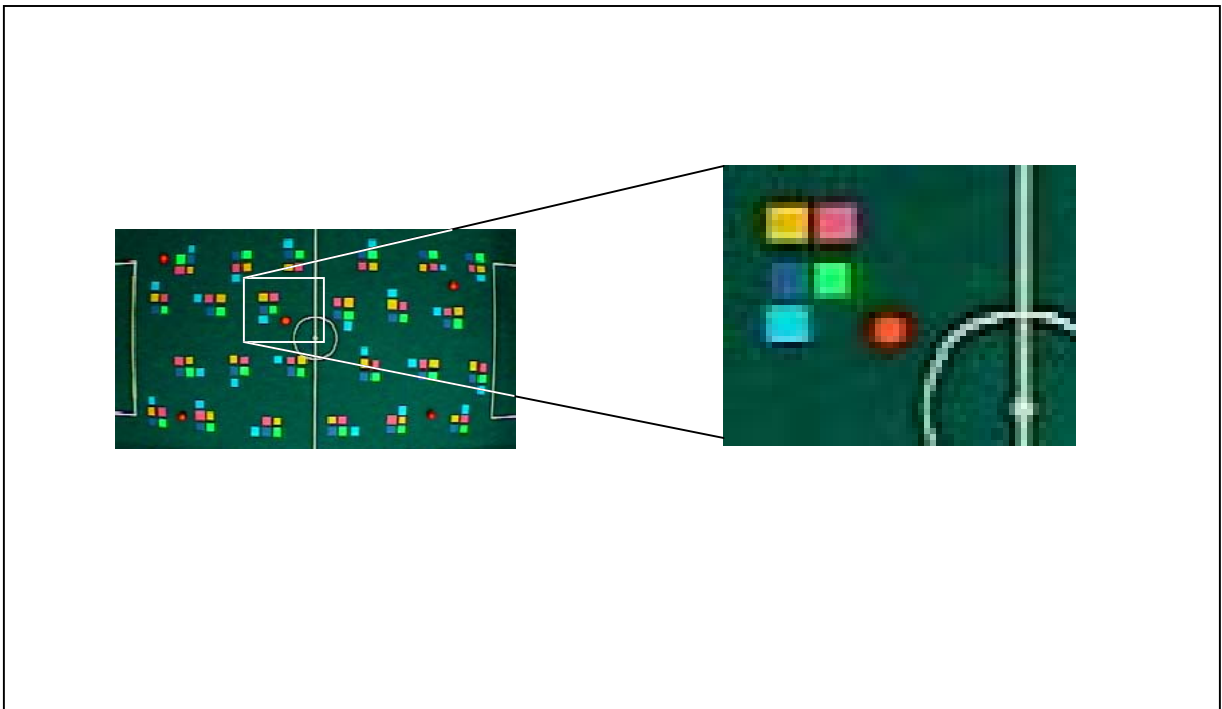


Figura 6. Colores a identificar.

El anaranjado representa a la pelota, blanco a las líneas de división, verde oscuro representa la cancha de juego, azul, cyan, magenta, amarillo y verde representan los componentes de identificación de los robots. Durante el procesamiento de las imágenes se obvian los pixeles que se encuentran fuera de la cancha de juego.

Los experimentos realizados se dividieron en dos fases: Ajuste y Prueba.

### **2.1. Fase de Ajuste**

En esta primera fase se obtuvieron los vectores prototipo al ejecutar los métodos de K-Medios y Gas Neuronal sobre las imágenes de Ajuste (Figura 7). Para obtener la imagen A1.bmp y A2.bmp se utilizó una tarjeta de video Ranch atis 128 pro, utilizando el módulo capturador del sistema de visión actual. Para el caso de la imagen A3.bmp se utilizó una tarjeta Computer Eyes/rt, TrueVision, utilizándose el software proporcionado por este hardware.

Durante esta fase se generaron los grupos de pixeles de ajuste con aquellos cuya distancia fue mínima a un determinado prototipo, además se le dio un sentido semántico a los prototipos generados, asociando uno o más de ellos a un color determinado.

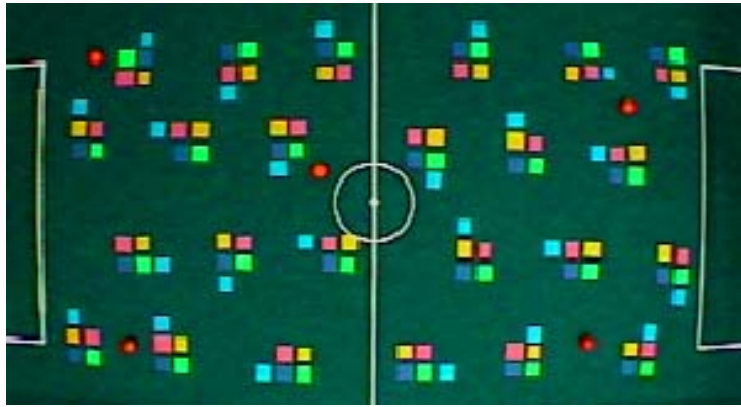


Imagen de Ajuste A1.

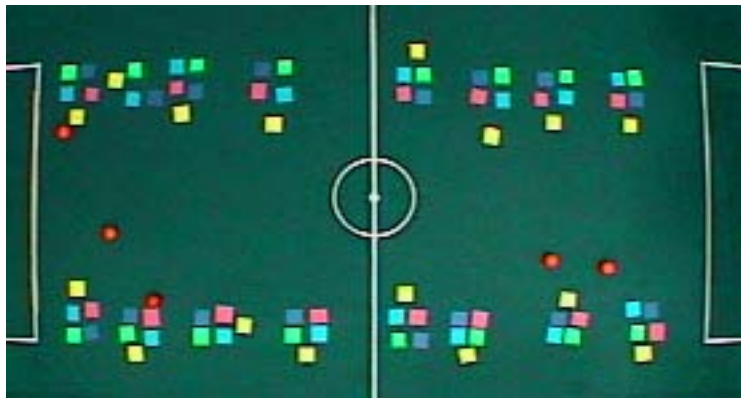


Imagen de Ajuste A2.

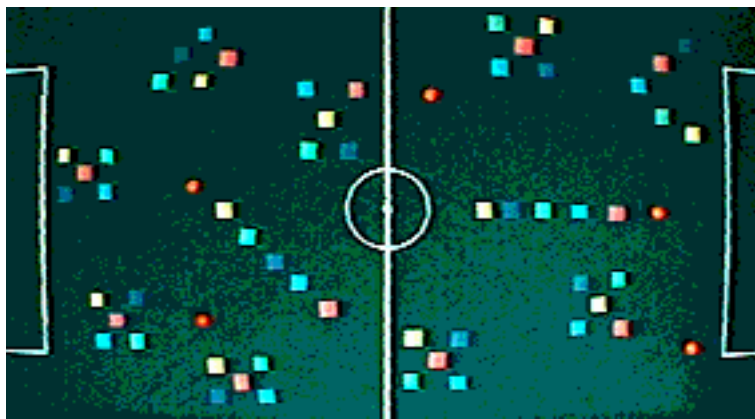


Imagen de Ajuste A3.

Figura 7. Imágenes de Ajuste.



Debido a la naturaleza de los métodos, al realizar distintas ejecuciones sobre un mismo grupo de parámetros los resultados varían levemente, se hizo necesario aplicar una medida de calidad a los grupos obtenidos para seleccionar a los mejor evaluados. La calidad se determinó en términos del promedio de las variaciones intra-grupo normalizada por el máximo valor de todas las variaciones intra-grupo :

$$E_k = \frac{1}{K \max_{j=1}^k \{e_j\}} \sum_{i=1}^k e_i, \text{ donde } e_k = \frac{1}{|C_k|} \sum_{x \in C_k} d(\vec{x}, \vec{m}_k),$$

representa la distancia promedio de todos los puntos en el grupo  $C_k$  a su centroide  $\vec{m}_k$ . [10]. Las agrupaciones con menor  $E_k$  se consideraron de mejor calidad.

## **2.2. Fase de Prueba**

Durante la fase de prueba se utilizaron los prototipos generados para llevar a cabo el proceso de Clasificación de pixeles pertenecientes a un grupo de imágenes de prueba, y posteriormente el proceso de Evaluación de las clasificaciones realizadas.

### **2.2.1. Clasificación**

Durante este proceso se determinó el color de los pixeles de una imagen de prueba, basándose en la información aportada por los prototipos generados por los distintos métodos.

De manera general, se clasifica un pixel de la imagen de prueba como un color en particular, si cada una de sus componentes RGB se encuentran dentro de un rango determinado para dicho color. Los distintos criterios utilizados en la formación de estos rangos generaron los siguientes esquemas de clasificación.

## Clasificación 1.

Para cada color identificado en la imagen de ajuste se crearon todas las posibles duplas con los prototipos asociados, de manera que, la primera componente de ambos prototipos conforma un rango para el valor R, las segundas para el valor G y las últimas para las componentes B. Cada color presenta más de un posible rango para cada componente RGB.

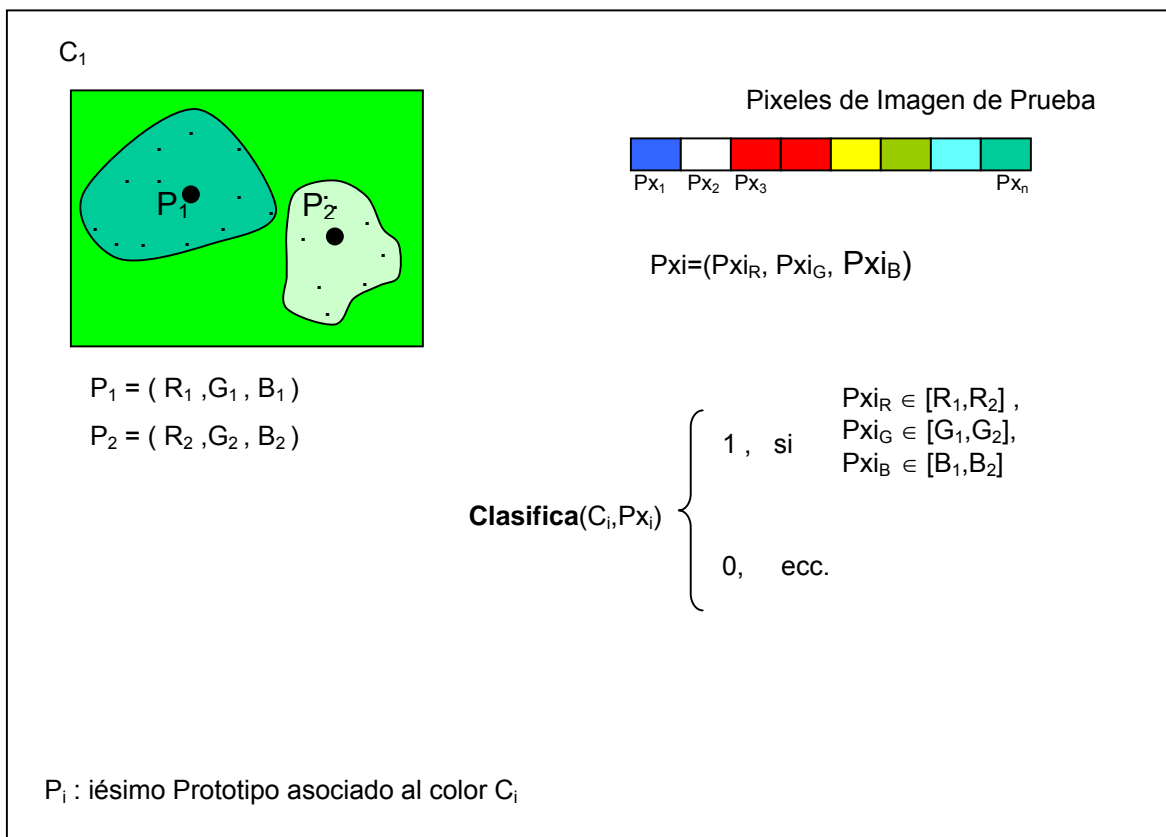
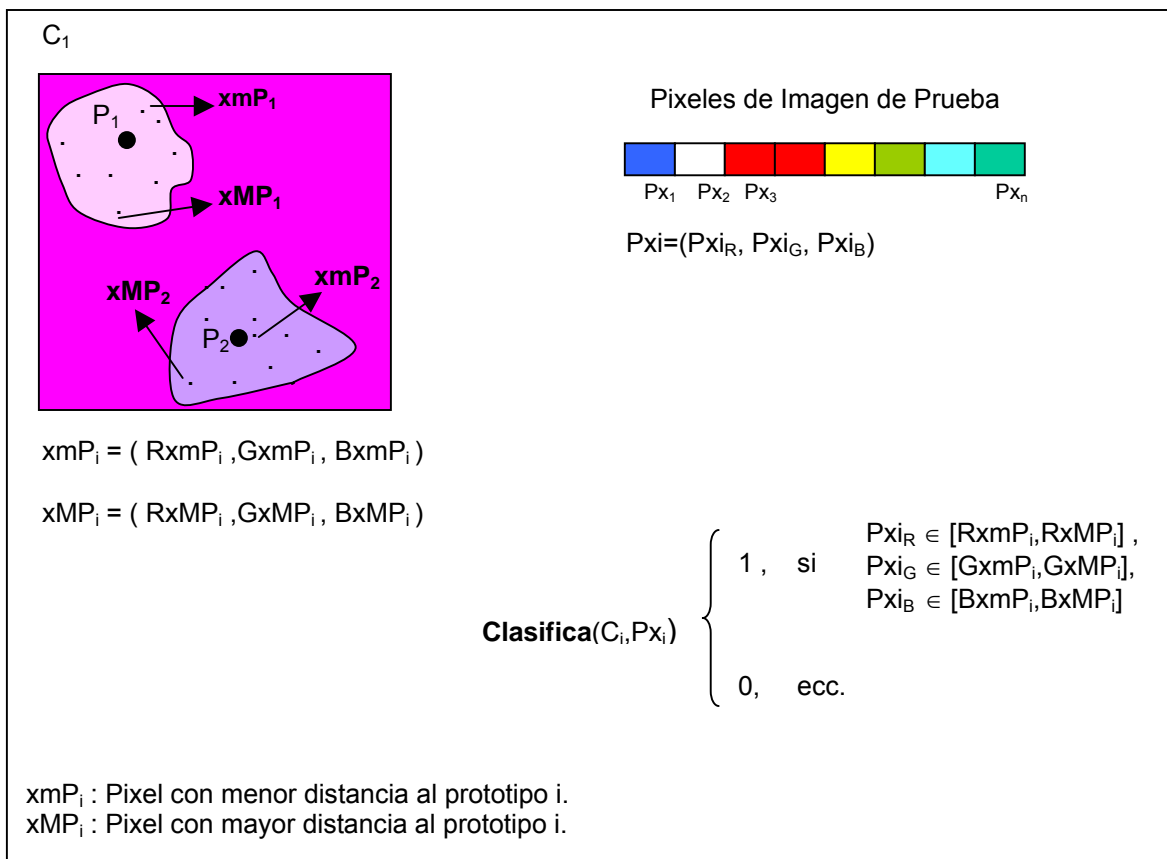


Figura 8. Clasificación 1. Formación de Rangos.

**Clasificación 2.**

Una vez calculados los prototipos, el grupo lo conforman los pixeles de la imagen de ajuste con la menor distancia a éste. Para este esquema de clasificación, los rangos se conformaron con la información suministrada por las componentes del pixel con menor distancia y con el de mayor distancia al prototipo dentro de cada grupo, de esta manera, cada color presentará un rango por cada prototipo asociado.



**Figura 9. Clasificación 2. Formación de Rangos.**

### Clasificación 3.

En este esquema de clasificación se generó un rango de componentes por cada grupo obtenido. Los elementos del rango en su límite inferior lo determinan las componentes de menor valor de los pixeles que conforman el grupo, y el límite superior lo determinan las componentes de mayor valor dentro del grupo.

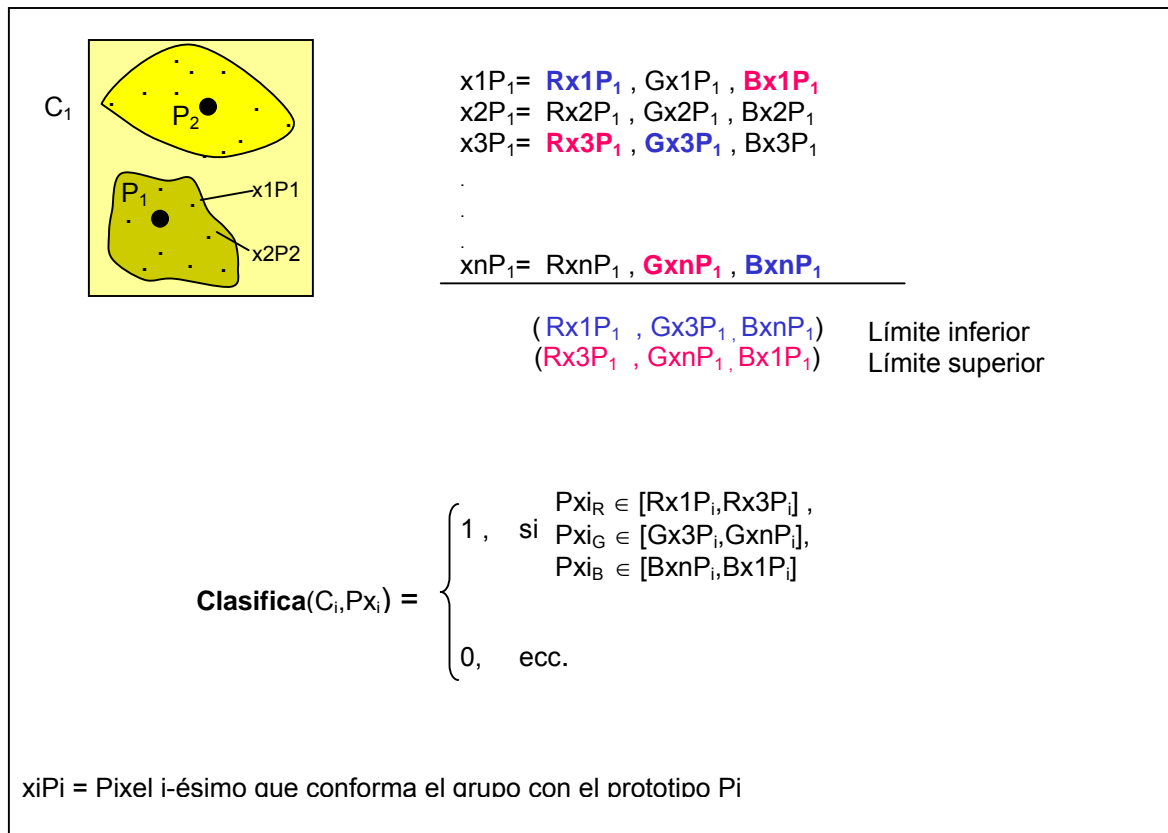


Figura 10. Clasificación 3. Formación de Rangos.

#### **Clasificación 4**

Este esquema de clasificación no se utilizó rangos de valores RGB. El pixel de prueba clasificó como un color determinado si su distancia Euclídea entre éste y un determinado prototipo es la menor a todos los demás.

En la siguiente figura se puede comparar visualmente los resultados obtenidos para la clasificación de una imagen. Como imagen de Ajuste se utilizó el archivo A2.BMP, al cual se le aplicó el proceso de Gas Neuronal para 60 grupos. Como imagen de Prueba se utilizó el archivo A2P1.BMP.

Para una mejor visualización el color verde grama asociado a la cancha de juego se le asignó el color blanco, y al color blanco (representado las líneas de división) se le asignó el color rojo. El color negro representa aquellos pixeles de tipo desconocido, es decir que no clasificaron en ningún umbral determinado.

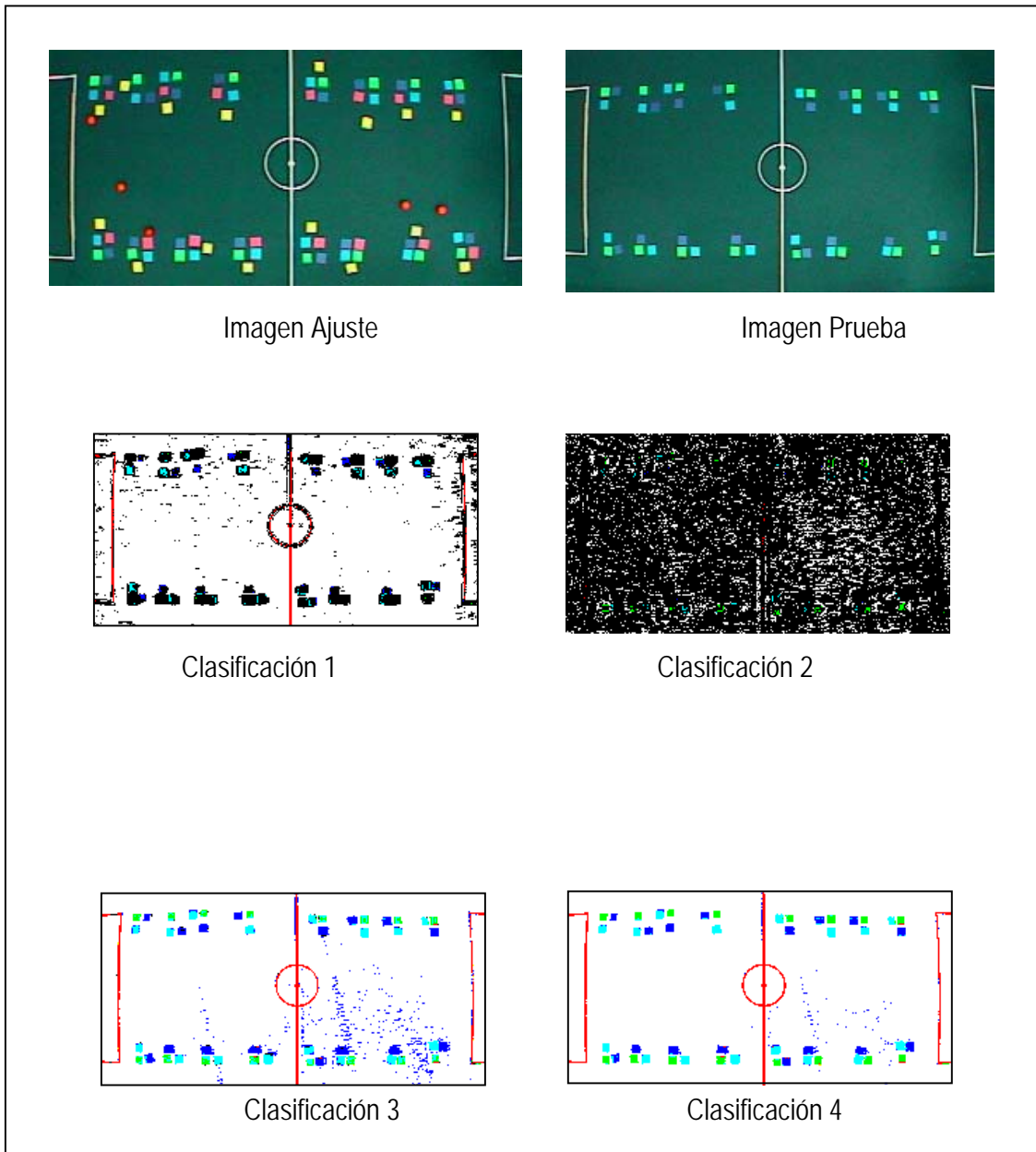


Figura 11. Resultados gráficos de la clasificación de una imagen de prueba.

### 2.2.2. Evaluación.

Para poder realizar la evaluación de la clasificación se determinó previamente en cada imagen de prueba a que color pertenece cada pixel, para poder realizar las comparaciones correspondientes.

La evaluación de los resultados del proceso de clasificación se realizó considerando dos criterios. El primero es muy general, y considera la cantidad de pixeles clasificados correcta e incorrectamente.

El segundo enfoque es una generalización del método para medir la calidad en clasificadores binarios[11], en este enfoque se diferencian los valores clasificados erróneamente en Falsos Positivos y Falsos Negativos, de esta manera la calidad del clasificador se puede medir en términos de Sensitividad, Especificidad y Precisión.

Los posibles valores obtenidos por el clasificador se pueden resumir en el siguiente cuadro:

		Valores Esperados	
		P	N
Valores Clasificados	P	VP	FP
	N	FN	VN



Donde:

**P** (Positivo): En las columnas de Valores Esperados, indica la certeza de un pixel de ser un color determinado. En las columnas de Valores Clasificados, indica el resultado al clasificar un pixel de un color determinado.

**N** (Negativo): En las columnas de Valores Esperados, indica la certeza de un pixel de no ser de un color determinado. En las columnas de Valores Clasificados, indica el resultado al no clasificar un pixel de un color determinado.

**VP** (Verdadero Positivo): Cuando se determina previamente que un pixel es de un color determinado y durante la clasificación se identifica correctamente.

**FP** (Falso Positivo): Cuando se conoce que un pixel no es de un determinado color y se clasifica como tal.

**FN** (Falso Negativo): Cuando se determina previamente que un pixel es de un color determinado y durante la clasificación no se identifica de ese color.

**VN** (Verdadero Negativo): Cuando se conoce que un pixel no es de un determinado color y no se clasifica como tal.

Tomando en cuenta estos valores se definen los siguientes indicadores: Sensitividad, Especificidad y Precisión.

**Sensitividad** :  $\frac{VP}{VP + FN} \leq 1$  , es la proporción entre el número de verdaderos positivos y el número de casos positivos.

**Especificidad** =  $\frac{VN}{VN + FP} \leq 1$ , es la proporción entre el número de verdaderos negativos y el número de casos negativos.

**Precisión** =  $\frac{VP + VN}{VP + VN + FP + FN} \leq 1$ , es la proporción entre el número de identificaciones correctas y el total de casos presentes.

### 2.3. Resultados

Para cada imagen de ajuste se calcularon los prototipos para 20, 40 y 60 grupos. En el caso de Gas Neuronal se introdujo la variante del número de repeticiones de procesamiento de la data de ajuste, la cual varió en 20, 40 y 60 veces. Para cada caso se realizaron 15 ejercicios, seleccionando el que presentó el menor valor de Ek. Este valor es el que se refleja en las tablas 1 y 2.

Archivo	Grupos Calculados		
	20	40	60
A1.bmp	0.4285569	0.3581325	0.3642253
A2.bmp	0.4527037	0.4076459	0.3406717
A3.bmp	0.3354619	0.2337568	0.1675794

**Tabla 1. Valores Ek. K-Medios**

Archivo	Rep.	Grupos Calculados		
		20	40	60
A1.bmp	20r	0.4339116	0.3729005	0.3467259
	40r	0.4425032	0.3916045	0.3455330
	60r	0.4241830	0.3908480	0.3415314
A2.bmp	20r	0.4046357	0.3429867	0.3413542
	40r	0.3999861	0.3473621	0.3366901
	60r	0.4220771	0.3489355	0.3367939
A3.bmp	20	0.3812937	0.2400563	0.1796194
	40	0.3827882	0.3086839	0.1768501
	60	0.3879647	0.3187587	0.1740058

**Tabla 2. Valores Ek. Gas-Neuronal**

Es importante detallar los resultados obtenidos para el archivo A3.bmp. Los valores de  $E_k$  para 60 grupos, con Km o Gas Neuronal, son muy bajos comparados con los demás, en este caso se debe a que este número de grupos quedó sobredimensionado para las características del archivo, el cual tiene una resolución de 256 colores, no existe la variedad necesaria en los datos para generar 60 grupos, y quedan algunos donde sólo tienen como elemento al vector prototipo. Por lo contrario, cuando se calculan 20 prototipos, se pierde información, ya que no se puede diferenciar entre el amarillo y el fucsia. Un caso parecido ocurre para el archivo A2.bmp al calcular 20 grupos con Gas Neuronal, ya que no se diferencia entre el verde y cyan, y entre fucsia y anaranjado.

El archivo A3.bmp sólo se consideró para estos cálculos, la resolución con la que fue capturado no fue suficiente para obtener buenos resultados.

Cada imagen de ajuste tiene asociado un grupo de imágenes de prueba. El primer grupo está asociado a la imagen A1.bmp


<b>Nombre</b> : A1P1.bmp		
<b>Colores</b>	<b>Pixeles</b>	
Amarillo	150	
Verde	217	
Azul	202	
Cyan	136	
Anaranjado	19	
Blanco	1096	
Verde Oscuro	46428	

Figura 12. Imagen de prueba A1P1.bmp.


<b>Nombre</b> : A1P2.bmp		
<b>Colores</b>	<b>Pixeles</b>	
Amarillo	133	
Verde	205	
Azul	153	
Cyan	158	
Anaranjado	12	
Blanco	1105	
Verde Oscuro	46488	

Figura 13. Imagen de prueba A1P2.bmp.

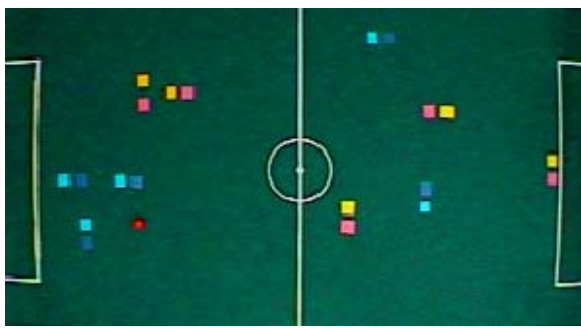
<b>Nombre</b> : A1P3.bmp		
<b>Colores</b>	<b>Pixeles</b>	
Amarillo	131	
Fucsia	131	
Cyan	130	
Azul	122	
Anaranjado	12	
Blanco	1121	
Verde Oscuro	46616	

Figura 14. Imagen de prueba A1P3.bmp.

Nombre : A1P4.bmp	
Colores	Pixeles
Amarillo	336
Verde	394
Azul	350
Cyan	340
Anaranjado	70
Fucsia	341
Blanco	1012
Verde Oscuro	45407




Figura 15. Imagen de prueba A1P4.bmp.

Nombre : A1P5.bmp	
Colores	Pixeles
Amarillo	471
Verde	597
Azul	547
Fucsia	470
Blanco	1039
Verde Oscuro	45128

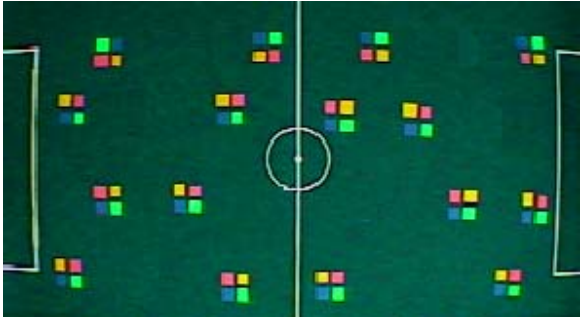


Figura 16. Imagen de prueba A1P5.bmp.

Nombre : A1P6.bmp	
Colores	Pixeles
Amarillo	422
Fucsia	428
Cyan	475
Azul	453
Verde	571
Blanco	1059
Verde Oscuro	44842

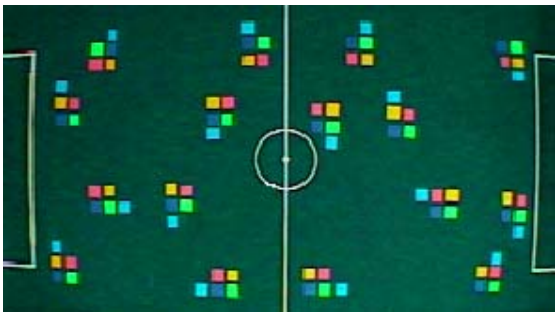


Figura 17. Imagen de prueba A1P6.bmp.

<b>Nombre</b> : A1P7.bmp		
<b>Colores</b>	<b>Pixeles</b>	
Verde	833	
Azul	770	
Blanco	1076	
Verde Oscuro	45575	

Figura 18. Imagen de prueba A1P7.bmp.

El segundo grupo está asociado a la imagen de ajuste A2.bmp

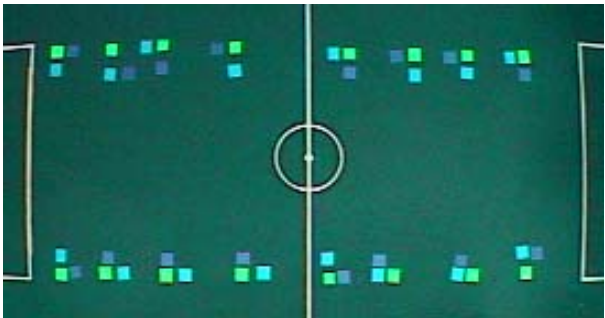
<b>Nombre</b> : A2P1.bmp		
<b>Colores</b>	<b>Pixeles</b>	
Verde	450	
Azul	473	
Cyan	425	
Blanco	922	
Verde Oscuro	36769	

Figura 19. Imagen de prueba A2P1.bmp.

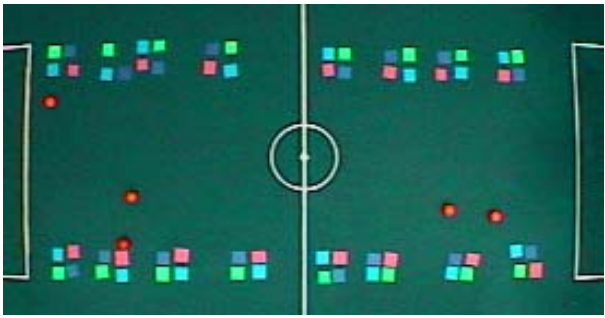
<b>Nombre</b> : A2P2.bmp		
<b>Colores</b>	<b>Pixeles</b>	
Fucsia	434	
Verde	500	
Azul	457	
Cyan	476	
Anaranjado	86	
Blanco	879	
Verde Oscuro	36207	

Figura 20. Imagen de prueba A2P2.bmp

<b>Nombre</b> : A2P3.BMP		
<b>Colores</b>	<b>Pixeles</b>	
Verde	454	
Blanco	1009	
Verde Oscuro	40611	

Figura 21. Imagen de prueba A2P3.bmp.

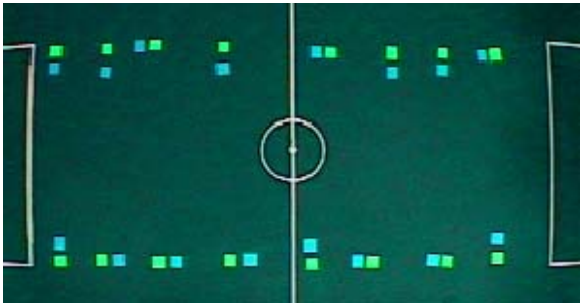
<b>Nombre</b> : A2P4.BMP		
<b>Colores</b>	<b>Pixeles</b>	
Verde	531	
Cyan	552	
Blanco	942	
Verde Oscuro	40043	

Figura 22. Imagen de prueba A2P4.bmp.

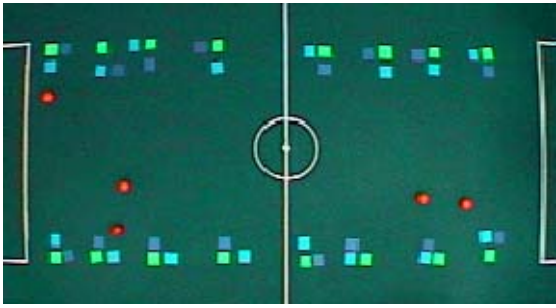
<b>Nombre</b> : A2P5.bmp		
<b>Colores</b>	<b>Pixeles</b>	
Verde	521	
Azul	508	
Cyan	503	
Anaranjado	107	
Blanco	1104	
Verde Oscuro	39325	

Figura 23. Imagen de prueba A2P5.bmp.



Luego de realizar la clasificación de los archivos de prueba, se procedió a la cuantificar los resultados, utilizándose el esquema de Evaluación 1, donde se consideran los pixeles clasificados correctamente e incorrectamente y el Esquema de Evaluación 2, donde se consideran los valores de Sensitividad, Especificidad y Precisión.

Los resultados de las distintas clasificaciones realizadas son las siguientes:

**Caso 1.** Archivo de Ajuste A1.bmp, K-Medios

Se pudo observar una constante donde se encontraban los mejores valores de las evaluaciones, estos casos correspondieron a la clasificación utilizando los prototipos calculados con 60 Grupos. En la Tabla 3, se encuentran los resultados de las evaluaciones con estas condiciones. En el Apéndice 5.1 se encuentran los resultados ampliados y detallados para cada archivo BMP de la Tabla 3.

**Caso 2.** Archivo de Ajuste A2.bmp, Gas Neuronal.

Los mejores valores de la evaluación se obtuvieron al utilizar los prototipos calculados para 60 Grupos y 20 repeticiones. Los resultados se encuentran en la Tabla 4. Ver Apéndice 5.2 para los resultados ampliados y detallados para este caso.

**Caso 3.** Archivo de ajuste A2.bmp. K-Medios.

Con el grupo de imágenes de prueba A2 también se obtuvieron los mejores resultados con 60 grupos. Resultados en la tabla 5. Ver Apéndice 5.3 para resultados detallados y ampliados.

**Caso 4.** Archivo de ajuste A2.bmp. Gas Neuronal

Con este grupo de imágenes de prueba los mejores resultados se encontraron para el caso de 60 Grupos con 40 repeticiones (Tabla 6). Ver Apéndice 5.4 para resultados detallados y ampliados.

Archivo de Ajuste: A1.BMP

Método: K-Medios

Grupos: 60

A1P1.bmp	Esquema Evaluación 1	
	P(+)	N(-)
Clasif. 1	47.115	1.133
Clasif. 2	46.485	1.763
Clasif. 3	47.886	362
Clasif. 4	47.983	265

Esquema Evaluación 2		
Sens.	Espec.	Prec.
0,279079	0,911747	0,993291
0,192697	0,861919	0,989560
0,857158	0,986462	0,997856
0,881167	0,995808	0,998431

A1P2.bmp	Esquema Evaluación 1	
	P(+)	N(-)
Clasif. 1	47.156	1.092
Clasif. 2	46.543	1.705
Clasif. 3	47.848	400
Clasif. 4	47.953	295

Esquema Evaluación 2		
Sens.	Espec.	Prec.
0,272414	0,913709	0,993533
0,189626	0,862076	0,989903
0,927958	0,990286	0,997631
0,935145	0,998336	0,998253

A1P3.bmp	Esquema Evaluación 1	
	P(+)	N(-)
Clasif. 1	47.387	861
Clasif. 2	46.675	1.573
Clasif. 3	47.901	347
Clasif. 4	47.973	275

Esquema Evaluación 2		
Sens.	Espec.	Prec.
0,332803	0,925732	0,994901
0,216362	0,863153	0,990685
0,944528	0,989497	0,997945
0,964359	0,997993	0,998372

A1P4.bmp	Esquema Evaluación 1	
	P(+)	N(-)
Clasif. 1	46.187	2.061
Clasif. 2	45.573	2.675
Clasif. 3	47.620	628
Clasif. 4	47.686	562

Esquema Evaluación 2		
Sens.	Espec.	Prec.
0,269677	0,910726	0,989321
0,196229	0,883670	0,986139
0,931928	0,992234	0,996746
0,943731	0,994885	0,997088

A1P5.bmp	Esquema Evaluación 1	
	P(+)	N(-)
Clasif. 1	45.947	2.301
Clasif. 2	45.320	2.928
Clasif. 3	47.731	517
Clasif. 4	47.703	545

Esquema Evaluación 2		
Sens.	Espec.	Prec.
0,332798	0,878031	0,984103
0,227079	0,844089	0,979771
0,900406	0,981768	0,996428
0,904315	0,983812	0,996235

A1P6.bmp	Esquema Evaluación 1	
	P(+)	N(-)
Clasif. 1	45.715	2.533
Clasif. 2	44.991	3.257
Clasif. 3	47.513	735
Clasif. 4	47.522	726

Esquema Evaluación 2		
Sens.	Espec.	Prec.
0,311648	0,895550	0,985000
0,196135	0,865223	0,980713
0,931598	0,990439	0,995648
0,929861	0,991084	0,995701

A1P7.bmp	Esquema Evaluación 1	
	P(+)	N(-)
Clasif. 1	46.403	1.845
Clasif. 2	45.734	2.514
Clasif. 3	47.746	502
Clasif. 4	47.799	449

Esquema Evaluación 2		
Sens.	Espec.	Prec.
0,461591	0,828147	0,980880
0,301800	0,766636	0,973947
0,914721	0,974407	0,994798
0,949104	0,985981	0,995347

Tabla 3. Evaluación de Clasificación del grupo A1. 60, Km.

**Archivo de Ajuste: A1.BMP****Método: Gas Neuronal****Grupos: 60 (20 Rep)**

A1P1.bmp	Esquema Evaluación 1	
	P(+)	N(-)
Clasif. 1	47.008	1.240
Clasif. 2	46.512	1.736
Clasif. 3	47.849	399
Clasif. 4	47.939	309

Esquema Evaluación 2		
Sens.	Espec.	Prec.
0,264708	0,903650	0,992657
0,203212	0,864793	0,989720
0,882647	0,990197	0,997637
0,883243	0,995297	0,998170

A1P2.bmp	Esquema Evaluación 1	
	P(+)	N(-)
Clasif. 1	47.068	1.180
Clasif. 2	46.573	1.675
Clasif. 3	47.836	412
Clasif. 4	47.942	306

Esquema Evaluación 2		
Sens.	Espec.	Prec.
0,260440	0,905941	0,993012
0,203668	0,865449	0,990081
0,940694	0,993608	0,997560
0,936135	0,998145	0,998188

A1P3.bmp	Esquema Evaluación 1	
	P(+)	N(-)
Clasif. 1	47.310	938
Clasif. 2	46.713	1.535
Clasif. 3	47.861	387
Clasif. 4	47.955	293

Esquema Evaluación 2		
Sens.	Espec.	Prec.
0,328900	0,918991	0,994445
0,207532	0,866986	0,990910
0,964102	0,994024	0,997708
0,962248	0,997852	0,998265

A1P4.bmp	Esquema Evaluación 1	
	P(+)	N(-)
Clasif. 1	46.125	2.123
Clasif. 2	45.591	2.657
Clasif. 3	47.541	707
Clasif. 4	47.684	564

Esquema Evaluación 2		
Sens.	Espec.	Prec.
0,269934	0,908039	0,988999
0,205414	0,884709	0,986233
0,935624	0,992893	0,996337
0,946300	0,995624	0,997078

A1P5.bmp	Esquema Evaluación 1	
	P(+)	N(-)
Clasif. 1	45.860	2.388
Clasif. 2	45.288	2.960
Clasif. 3	47.568	680
Clasif. 4	47.643	605

Esquema Evaluación 2		
Sens.	Espec.	Prec.
0,324453	0,874282	0,983502
0,217757	0,843128	0,979550
0,911146	0,982841	0,995302
0,915004	0,984750	0,995820

A1P6.bmp	Esquema Evaluación 1	
	P(+)	N(-)
Clasif. 1	45.693	2.555
Clasif. 2	44.988	3.260
Clasif. 3	47.424	824
Clasif. 4	47.555	693

Esquema Evaluación 2		
Sens.	Espec.	Prec.
0,322354	0,894861	0,984870
0,198780	0,865447	0,980695
0,933459	0,989156	0,995120
0,946616	0,991571	0,995896

A1P7.bmp	Esquema Evaluación 1	
	P(+)	N(-)
Clasif. 1	46.266	1.982
Clasif. 2	45.679	2.569
Clasif. 3	47.665	583
Clasif. 4	47.701	547

Esquema Evaluación 2		
Sens.	Espec.	Prec.
0,424752	0,815334	0,979460
0,292434	0,763698	0,973377
0,929575	0,978478	0,993958
0,937606	0,981579	0,994331

**Tabla 4. Evaluación de clasificación del Grupo A1. 60 Grupos (20r), Gas Neuronal**

**Archivo de Ajuste:** A2.BMP

**Método:** K-Medios

**Grupos:** 60

A2P1.bmp	Esquema Evaluación 1	
	P(+)	N(-)
Clasif. 1	37.547	1.492
Clasif. 2	36.849	2.190
Clasif. 3	37.783	1.256
Clasif. 4	38.000	1.039

Esquema Evaluación 2		
Sens.	Espec.	Prec.
0,479774	0,883801	0,984713
0,242943	0,809785	0,977561
0,835329	0,962055	0,987131
0,858557	0,967491	0,989354

A2P2.bmp	Esquema Evaluación 1	
	P(+)	N(-)
Clasif. 1	37.220	1.819
Clasif. 2	36.453	2.586
Clasif. 3	38.235	804
Clasif. 4	38.519	520

Esquema Evaluación 2		
Sens.	Espec.	Prec.
0,384728	0,913148	0,986687
0,233029	0,870019	0,981074
0,910913	0,990523	0,994116
0,935372	0,994753	0,996194

A2P3.bmp	Esquema Evaluación 1	
	P(+)	N(-)
Clasif. 1	44.100	828
Clasif. 2	43.466	1.462
Clasif. 3	44.626	302
Clasif. 4	44.760	168

Esquema Evaluación 2		
Sens.	Espec.	Prec.
0,565871	0,822361	0,987714
0,344398	0,671741	0,978306
0,930632	0,960714	0,995519
0,983866	0,990584	0,997507

A2P4.bmp	Esquema Evaluación 1	
	P(+)	N(-)
Clasif. 1	43.780	1.148
Clasif. 2	43.051	1.877
Clasif. 3	44.606	322
Clasif. 4	44.713	215

Esquema Evaluación 2		
Sens.	Espec.	Prec.
0,540008	0,864868	0,987224
0,314673	0,768743	0,979911
0,928270	0,977682	0,996416
0,958802	0,990184	0,997607

A2P5.bmp	Esquema Evaluación 1	
	P(+)	N(-)
Clasif. 1	43.186	1.742
Clasif. 2	42.277	2.651
Clasif. 3	43.612	1.316
Clasif. 4	43.836	1.092

Esquema Evaluación 2		
Sens.	Espec.	Prec.
0,410806	0,904072	0,987076
0,215042	0,840804	0,980332
0,795374	0,967979	0,990236
0,831140	0,973436	0,991898

**Tabla 5. Evaluación de clasificación del Grupo A2. 60 Grupos, K-Medios**

**Archivo de Ajuste:** A2.BMP

**Método:** Gas Neuronal

**Grupos:** 60 (40 Rep)

A2P1.bmp	Esquema Evaluación 1	
	P(+)	N(-)
Clasif. 1	37.421	1.618
Clasif. 2	36.829	2.210
Clasif. 3	38.004	1.035
Clasif. 4	38.103	936

Esquema Evaluación 2		
Sens.	Espec.	Prec.
0,387728	0,863744	0,983422
0,235117	0,807856	0,977356
0,796475	0,954411	0,989395
0,818816	0,958489	0,990410

A2P2.bmp	Esquema Evaluación 1	
	P(+)	N(-)
Clasif. 1	36.992	2.047
Clasif. 2	36.364	2.675
Clasif. 3	38.444	595
Clasif. 4	38.530	509

Esquema Evaluación 2		
Sens.	Espec.	Prec.
0,306834	0,899123	0,985019
0,202308	0,866137	0,980423
0,872401	0,985830	0,995645
0,879567	0,987175	0,996275

A2P3.bmp	Esquema Evaluación 1	
	P(+)	N(-)
Clasif. 1	44.130	798
Clasif. 2	43.494	1.434
Clasif. 3	44.627	301
Clasif. 4	44.741	187

Esquema Evaluación 2		
Sens.	Espec.	Prec.
0,576104	0,829196	0,988159
0,363904	0,678781	0,978722
0,936212	0,960281	0,995534
0,975330	0,984492	0,997225

A2P4.bmp	Esquema Evaluación 1	
	P(+)	N(-)
Clasif. 1	43.623	1.305
Clasif. 2	43.054	1.874
Clasif. 3	44.576	352
Clasif. 4	44.662	266

Esquema Evaluación 2		
Sens.	Espec.	Prec.
0,462547	0,843953	0,985477
0,319822	0,769820	0,979144
0,896093	0,969501	0,996083
0,924978	0,979411	0,997040

A2P5.bmp	Esquema Evaluación 1	
	P(+)	N(-)
Clasif. 1	42.992	1.936
Clasif. 2	42.285	2.643
Clasif. 3	43.766	1.162
Clasif. 4	43.905	1.023

Esquema Evaluación 2		
Sens.	Espec.	Prec.
0,325887	0,887324	0,985636
0,213489	0,840777	0,980391
0,763114	0,962001	0,991379
0,791971	0,965485	0,992410

**Tabla 6. Evaluación de clasificación del Grupo A2. 60 Grupos (40r), Gas Neuronal**

**Caso 5.** Umbrales del módulo de visión.

Actualmente el módulo de visión del equipo de Futbot del Laboratorio, realiza la clasificación de colores asignándole manualmente un umbral (en sus componentes R G y B) a los colores a identificar, de acuerdo a las variaciones del ambiente hay que reajustarlos manualmente. Estos umbrales se utilizaron como prototipos al realizar la clasificación de las imágenes de prueba del grupo A1 y A2.

Todos los colores tienen asignado un umbral, a excepción del color Blanco, el cual actúa como un color por defecto, cuando un pixel de prueba no se encuentra entre ningún umbral pre-definido se clasifica como color Blanco. Los valores utilizados para los experimentos fueron:

<b>Color</b>	<b>RGB mínimo</b>	<b>RGB Máximo</b>
Azul	0, 0, 100	100, 145, 255
Rojo	120, 0, 0	255, 120, 120
Amarillo	125, 162, 0	255, 255, 125
Verde	0, 120, 0	100, 255, 170
Magenta	120, 0, 120	255, 150, 255
Cyan	0, 170, 170	100, 255, 255
Campo	0, 0, 0	120, 125, 125

**Tabla 7. Valores de umbral ajustados manualmente.**

Dado que los esquemas de clasificación 2 y 3 utilizan información de los grupos generados por los prototipos con los píxeles de ajuste, para formar los rangos de colores, y que no se dispone de esta información con los valores de umbral, sólo se cuantificaron los resultados para el esquema de clasificación 1 y 4.

Los valores especificados en la tabla 8 corresponden a los resultados de clasificar utilizando los valores de umbral, para el grupo de archivos A1, y la tabla 9 tiene los valores de las clasificaciones para los archivos A2. Los Apéndices 5.5 y 5.6 contienen los valores detallados para estos casos.



**Archivo de Prueba: Grupo A1.**

A1P1.bmp	Esquema de Evaluación 1		Esquema de Evaluación 2		
	P (+)	N(-)	Sensitividad	Especificidad	Precisión
Clasif 1	47548	700	0,917146	0,997312	0,995855
Clasif 4	3408	44840	0,556459	0,831070	0,734467

A1P2.bmp	Esquema de Evaluación 1		Esquema de Evaluación 2		
	P (+)	N(-)	Sensitividad	Especificidad	Precisión
Clasif 1	47505	743	0,942250	0,997789	0,995600
Clasif 4	3875	44373	0,571931	0,831158	0,737233

A1P3.bmp	Esquema de Evaluación 1		Esquema de Evaluación 2		
	P (+)	N(-)	Sensitividad	Especificidad	Precisión
Clasif 1	47749	499	0,958742	0,998515	0,997045
Clasif 4	10023	38225	0,466698	0,830974	0,773640

A1P4.bmp	Esquema de Evaluación 1		Esquema de Evaluación 2		
	P (+)	N(-)	Sensitividad	Especificidad	Precisión
Clasif 1	47036	1212	0,910978	0,996339	0,993720
Clasif 4	7808	40440	0,507134	0,872078	0,790458

A1P5.bmp	Esquema de Evaluación 1		Esquema de Evaluación 2		
	P (+)	N(-)	Sensitividad	Especificidad	Precisión
Clasif 1	47086	1162	0,841138	0,993429	0,991972
Clasif 4	7986	40262	0,465969	0,802880	0,721840

A1P6.bmp	Esquema de Evaluación 1		Esquema de Evaluación 2		
	P (+)	N(-)	Sensitividad	Especificidad	Precisión
Clasif 1	46676	1572	0,867056	0,994504	0,990691
Clasif 4	9047	39201	0,459826	0,847176	0,767860

A1P7.bmp	Esquema de Evaluación 1		Esquema de Evaluación 2		
	P (+)	N(-)	Sensitividad	Especificidad	Precisión
Clasif 1	47236	1012	0,888073	0,992723	0,989513
Clasif 4	6324	41924	0,396650	0,697073	0,565536

**Tabla 8. Evaluación de clasificación del Grupo A1. Valores de umbral**

**Archivo de Prueba: Grupo A2**

A2P1.bmp	Esquema de Evaluación 1		Esquema de Evaluación 2		
	P (+)	N(-)	Sensitividad	Especificidad	Precisión
Clasif 1	35873	3166	0,713981	0,962918	0,967561
Clasif 4	5191	33848	0,420872	0,781032	0,653188

A2P2.bmp	Esquema de Evaluación 1		Esquema de Evaluación 2		
	P (+)	N(-)	Sensitividad	Especificidad	Precisión
Clasif 1	36526	2513	0,799579	0,990685	0,981608
Clasif 4	4418	34621	0,447966	0,848201	0,746620

A2P3.bmp	Esquema de Evaluación 1		Esquema de Evaluación 2		
	P (+)	N(-)	Sensitividad	Especificidad	Precisión
Clasif 1	44388	540	0,866810	0,995939	0,991987
Clasif 4	5537	39391	0,370135	0,612879	0,415494

A2P4.bmp	Esquema de Evaluación 1		Esquema de Evaluación 2		
	P (+)	N(-)	Sensitividad	Especificidad	Precisión
Clasif 1	44378	550	0,871785	0,996897	0,993879
Clasif 4	6567	38361	0,484743	0,735443	0,573084

A2P5.bmp	Esquema de Evaluación 1		Esquema de Evaluación 2		
	P (+)	N(-)	Sensitividad	Especificidad	Precisión
Clasif 1	42563	2365	0,754453	0,974523	0,982453
Clasif 4	3941	40987	0,472135	0,806505	0,695906

**Tabla 9. Evaluación de clasificación del Grupo A2. Valores de umbral**

Como se puede ver, los umbrales predefinidos no se adaptan bien a una clasificación por distancia mínima como lo es el caso de la clasificación tipo 4, al utilizarlos es conveniente realizar la clasificación tipo 1.

En las tablas 10 y 11 se comparan los mejores valores para Km, Gas y Umbrales predefinidos, para los dos grupos de archivos de prueba.

### Archivo de Prueba: Grupo A1

A1P1.bmp	P(+)	N(-)	Sens.	Espec.	Prec.
Km	47.983	265	0,881167	0,995808	0,998431
Gas	47.939	309	0,883243	0,995297	0,998170
Umbrales	47.548	700	0,917146	0,997312	0,995855

A1P2.bmp	P(+)	N(-)	Sens.	Espec.	Prec.
Km	47.953	295	0,935145	0,998336	0,998253
Gas	47.942	306	0,936135	0,998145	0,998188
Umbrales	47.505	743	0,942250	0,997789	0,995600

A1P3.bmp	P(+)	N(-)	Sens.	Espec.	Prec.
Km	47.973	275	0,964359	0,997993	0,998372
Gas	47.955	293	0,962248	0,997852	0,998265
Umbrales	47.749	499	0,958742	0,998515	0,997045

A1P4.bmp	P(+)	N(-)	Sens.	Espec.	Prec.
Km	47.686	562	0,943731	0,994885	0,997088
Gas	47.684	564	0,946300	0,995624	0,997078
Umbrales	47.036	1212	0,910978	0,996339	0,993720

A1P5.bmp	P(+)	N(-)	Sens.	Espec.	Prec.
Km	47.703	545	0,904315	0,983812	0,996235
Gas	47.643	605	0,915004	0,984750	0,995820
Umbrales	47.086	1162	0,841138	0,993429	0,991972

A1P6.bmp	P(+)	N(-)	Sens.	Espec.	Prec.
Km	47.522	726	0,929861	0,991084	0,995701
Gas	47.555	693	0,946616	0,991571	0,995896
Umbrales	46.676	1572	0,867056	0,994504	0,990691

A1P7.bmp	P(+)	N(-)	Sens.	Espec.	Prec.
Km	47.799	449	0,949104	0,985981	0,995347
Gas	47.701	547	0,937606	0,981579	0,994331
Umbrales	47.236	1012	0,888073	0,992723	0,989513

**Tabla 10. Comparación de Clasificación: Km, Gas N., Umbrales. Grupo A1**

**Archivo de Prueba: Grupo A2**

A2P1.bmp	P(+)	N(-)	Sens.	Espec.	Prec.
Km	38.000	1.039	0,858557	0,967491	0,989354
Gas	38.103	936	0,818816	0,958489	0,990410
Umbrales	35.873	3166	0,713981	0,962918	0,967561

A2P2.bmp	P(+)	N(-)	Sens.	Espec.	Prec.
Km	38.519	520	0,935372	0,994753	0,996194
Gas	38.530	509	0,879567	0,987175	0,996275
Umbrales	36.526	2513	0,799579	0,990685	0,981608

A2P3.bmp	P(+)	N(-)	Sens.	Espec.	Prec.
Km	44.760	168	0,983866	0,990584	0,997507
Gas	44.741	187	0,975330	0,984492	0,997225
Umbrales	44.388	540	0,866810	0,995939	0,991987

A2P4.bmp	P(+)	N(-)	Sens.	Espec.	Prec.
Km	44.713	215	0,958802	0,990184	0,997607
Gas	44.662	266	0,924978	0,979411	0,997040
Umbrales	44.378	550	0,871785	0,996897	0,993879

A2P5.bmp	P(+)	N(-)	Sens.	Espec.	Prec.
Km	43.836	1.092	0,831140	0,973436	0,991898
Gas	43.905	1.023	0,791971	0,965485	0,992410
Umbrales	42.563	2365	0,754453	0,974523	0,982453

**Tabla 11. Comparación de Clasificación: Km, Gas N., Umbrales. Grupo A2**

Con respecto a los archivos de prueba A1, los mejores valores se obtuvieron con los prototipos generados con K-medios de 60 grupos, y Gas Neuronal de 60 Grupos 20 Repeticiones respectivamente. Para estos métodos el esquema de clasificación utilizado es el de distancia mínima a los prototipos generados (tipo 4).

Para los archivos de prueba A2 no siempre es con K-medios que se encuentran los mejores prototipos para la clasificación, el Gas neuronal, también arroja buenos resultados al respecto, el único punto a considerar para este método, es que el tiempo de ejecución (para un experimento) invertido en la generación de los prototipos (aproximadamente 186 seg.) es un poco más del doble que el tiempo utilizado con K-Medios (85 seg.).

El tiempo promedio invertido en cada etapa del proceso de clasificación es el siguiente:

- Clasificación de Umbrales: 0.082 seg.
- Clasificación Tipo 1 – ( Duplas de Prototipos): 0.25 seg.
- Clasificación Tipo 2 – (Píxeles min/max distancia): 0.184 seg.
- Clasificación Tipo 3 – (Componentes min/max): 0.108 seg.
- Clasificación Tipo 4 – (Mínima distancia) :0.35 seg.

El proceso de asociación de prototipos generados con los distintos métodos y los colores de la imagen a procesar, se lleva a cabo manualmente, aproximadamente tarda 600 seg.

Cada método tarda aproximadamente durante su ejecución lo siguiente:

- K- Medios para 60 grupos: 88 seg.
- Gas Neuronal para 60 Grupos y 20 Repeticiones: 96 seg.
- Gas Neuronal para 60 Grupos y 40 Repeticiones: 186 seg.

### 3. CONCLUSIONES.

Los métodos estudiados: K-Medios y Gas Neuronal con crecimiento dinámico logran resolver el problema de identificación de colores en una imagen digital con un porcentaje de acierto en más de un 98%.

Si bien el método de Gas Neuronal realiza una buena partición de la data, incluso en algunos casos con resultados superiores a K-Medios, tiene un algoritmo de mayor complejidad, lo que trae como consecuencia que el tiempo de ejecución con este método sea mayor.

Al comparar los resultados obtenidos con K-Medios y Gas Neuronal contra los resultados del método de umbral se tienen dos resultados: uno en cuanto a la precisión en la identificación de nuevos pixeles y otro referente a la generación de prototipos.

Para el primer caso los métodos K-Medios y Gas Neuronal arrojaron un porcentaje de aciertos entre el 98.8% y el 99%, en contraposición con el método de los umbrales cuyo porcentaje de cierto fue de 97.4% a 98.5%.

Si bien es cierto, que es muy importante la precisión en la clasificación, debe existir un equilibrio entre este valor y el tiempo empleado en la generación de los prototipos. Cada



vez que es necesario reajustar los umbrales en el sistema de visión actual se pueden emplear entre 10 y 30 minutos.

Un ciclo completo de entrenamiento para K-Medios con una imagen de 48300 pixeles y 60 grupos tarda aproximadamente 24 minutos, esto incluye 10 corridas para seleccionar el mejor Ek y el tiempo de la asignación semántica a los prototipos encontrados.

Para el caso de Gas Neuronal, dependiendo de la cantidad de repeticiones de procesamiento de la data, puede estar entre 36 y 41 minutos.

Los futuros trabajos deberían enfocarse a mejorar el equilibrio entre la velocidad de procesamiento y la precisión en la clasificación.

Con respecto a la velocidad, específicamente para el Gas Neuronal, se podría estudiar un generador de números aleatorios de mayor velocidad que el Mersenne Twister [12] utilizado actualmente.

El proceso mediante el cual se le asigna una interpretación semántica a los prototipos es realizado manualmente, se podría mejorar la velocidad del entrenamiento generando una interfaz que permita abrir simultáneamente los archivos involucrados y agilizar el proceso de asociación entre los prototipos y los colores.

Por último, los prototipos iniciales para K-medios, se obtienen aleatoriamente de la data de ajuste, se podría estudiar una estrategia diferente, que permita obtener los resultados mas rápidamente.

#### 4. BIBLIOGRAFÍA.

- [1] <http://www.robocup.org>
- [2] B. Everitt, "Cluster Analysis", Halsted Press, 1980.
- [3] D. Maravall Gomez-Allende, "Reconocimiento de Formas y Visión Artificial", Addison-Wesley Iberoamericana, RA-MA, 1993
- [4] J. Mauldin, "Luz, Láser y Óptica", McGraw-Hill, 1992
- [5] M. Alonso, E. Finn, "Física", Volumen II, Campos y Ondas, Fondo Educativo Interamericano, S.A. 1976.
- [6] G. Shortley, D. Williams, "Física", Tomo III, URMO, 1976,
- [7] Enciclopedia Hispánica, Tomo 4, pp 199-200
- [8] B. Fritzke, "Some Competitive Learning Methods", 5-4-97.
- [9] J. Moreno, Apuntes de Clases. Computación Neuronal, 2001
- [10] O, Pentakalos, D. Menascé, Y. Yesha. Automated Clustering-Base Workload Characterization,
- [11] K. Veropoulos, C. Campbell, N. Cristianini. Controlling the Sensitivity of support vector Machines.
- [12] <http://www.keio.ac.jp/matsumoto/emt.html>

## 5. APÉNDICES.

### 5.1.- Evaluación detallada de la clasificación utilizando el archivo de ajuste A1.bmp con k-medios.

Este Apéndice contiene información detallada por colores de los valores indicados en la tabla 3, la cual muestra los resultados de la clasificación para el grupo de prueba A1 utilizando el método K-Medios para 60 grupos. Las columnas identificadas con P(+) y N(-) indican la cantidad de pixeles clasificados de manera correcta e incorrecta respectivamente para cada tipo de Clasificación.

Archivo de Prueba: A1P1.BMP									
Esquema de Evaluación 1									
60 Grupos		Clasificación 1		Clasificación 2		Clasificación 3		Clasificación 4	
Color	Pixeles	P(+)	N(-)	P(+)	N(-)	P(+)	N(-)	P(+)	N(-)
AZUL	202	47	155	11	191	176	26	173	29
VERDE	217	6	211	18	199	211	6	213	4
AMARILLO	150	4	146	7	143	142	8	142	8
AZUL CLARO	136	13	123	6	130	129	7	136	0
ANARANJADO	19	0	19	2	17	8	11	8	11
BLANCO	1096	626	470	17	1079	924	172	1059	37
CANCHA	46428	46419	9	46424	4	46296	132	46252	176
Total		47115	1133	46485	1763	47886	362	47983	265
Esquema de Evaluación 2									
Sensitividad		0,279079		0,192697		0,857158		0,881167	
Especificidad		0,911747		0,861919		0,986462		0,995808	
Precisión		0,993291		0,989560		0,997856		0,998431	

Tabla 12. Evaluación de la Clasificación de A1P1.bmp. (60 grupos,KM)

Archivo de prueba: A1P2.BMP									
Esquema de Evaluación 1									
60 Grupos		Clasificación 1		Clasificación 2		Clasificación 3		Clasificación 4	
Color	Pixeles	P(+)	N(-)	P(+)	N(-)	P(+)	N(-)	P(+)	N(-)
AMARILLO	133	5	128	6	127	133	0	133	0
AZUL	153	29	124	10	143	144	9	147	6
AZUL CLARO	158	10	148	5	153	151	7	153	5
VERDE	205	6	199	17	188	203	2	198	7
ANARANJADO	12	0	12	1	11	9	3	8	4
BLANCO	1105	646	453	21	1078	949	150	1088	11
CANCHA	46488	46460	28	46483	5	46259	229	46226	262
Total		47156	1092	46543	1705	47848	400	47953	295
Esquema de Evaluación 2									
Sensitividad		0,272414		0,189626		0,927958		0,93514	
Especificidad		0,913709		0,862076		0,990286		0,99833	
Precisión		0,993533		0,989903		0,997631		0,99825	

Tabla 13. Evaluación de la Clasificación de A1P2.bmp. (60 grupos,KM)

Archivo de prueba: A1P3.BMP									
Esquema de Evaluación 1									
60 Grupos		Clasificación 1		Clasificación 2		Clasificación 3		Clasificación 4	
Color	Pixeles	P(+)	N(-)	P(+)	N(-)	P(+)	N(-)	P(+)	N(-)
AZUL	122	42	80	10	112	115	7	116	6
AZUL CLARO	130	19	111	2	128	130	0	130	0
FUCSIA	131	26	105	27	104	129	2	131	0
AMARILLO	131	2	129	3	128	130	1	130	1
ANARANJADO	12	0	12	2	10	10	2	10	2
BLANCO	1121	692	414	24	1082	954	152	1083	23
CANCHA	46616	46606	10	46607	9	46433	183	46373	243
Total		47387	861	46675	1573	47901	347	47973	275
Esquema de Evaluación 2									
Sensitividad		0,332803		0,216362		0,944528		0,964359	
Especificidad		0,925732		0,863153		0,989497		0,997993	
Precisión		0,994901		0,990685		0,997945		0,998372	

Tabla 14. Evaluación de la Clasificación de A1P3.bmp. (60 grupos,KM)

Archivo de prueba: A1P4.BMP									
Esquema de Evaluación 1									
60 Grupos		Clasificación 1		Clasificación 2		Clasificación 3		Clasificación 4	
Color	Pixeles	P(+)	N(-)	P(+)	N(-)	P(+)	N(-)	P(+)	N(-)
FUCSIA	341	57	284	69	272	331	10	334	7
AZUL	350	93	257	18	332	312	38	305	45
AZUL CLARO	340	27	313	8	332	330	10	340	0
AMARILLO	336	2	334	7	329	324	12	318	18
VERDE	394	11	383	71	323	373	21	370	24
ANARANJADO	70	0	70	5	65	57	13	59	11
BLANCO	1012	618	392	21	989	916	94	990	20
CANCHA	45407	45379	28	45374	33	44977	430	44970	437
Total		46187	2061	45573	2675	47620	628	47686	562
Esquema de Evaluación 2									
Sensitividad		0,269677		0,196229		0,931928		0,943731	
Especificidad		0,910726		0,883670		0,992234		0,994885	
Precisión		0,989321		0,986139		0,996746		0,997088	

Tabla 15. Evaluación de la Clasificación de A1P4.bmp. (60 grupos,KM)

Archivo de prueba : A1P5.BMP									
Esquema de Evaluación 1									
60 Grupos		Clasificación 1		Clasificación 2		Clasificación 3		Clasificación 4	
Color	Pixeles	P(+)	N(-)	P(+)	N(-)	P(+)	N(-)	P(+)	N(-)
VERDE	597	18	579	89	508	578	19	576	21
AZUL	547	135	412	21	526	416	131	438	109
AMARILLO	471	3	468	10	461	411	60	385	86
FUCSIA	470	53	417	66	404	429	41	415	55
BLANCO	1039	622	413	14	1021	923	112	999	36
CANCHA	45128	45116	12	45120	8	44974	154	44890	238
Total		45947	2301	45320	2928	47731	517	47703	545
Esquema de Evaluación 2									
Sensitividad		0,332798		0,227079		0,900406		0,904315	
Especificidad		0,878031		0,844089		0,981768		0,983812	
Precisión		0,984103		0,979771		0,996428		0,996235	

Tabla 16. Evaluación de la Clasificación de A1P5.bmp. (60 grupos,KM)

Archivo de prueba: A1P6.BMP									
Esquema de Evaluación 1									
60 Grupos		Clasificación 1		Clasificación 2		Clasificación 3		Clasificación 4	
Color	Pixeles	P(+)	N(-)	P(+)	N(-)	P(+)	N(-)	P(+)	N(-)
VERDE	571	21	550	74	497	556	15	552	19
AZUL	453	137	316	23	430	379	74	372	81
AMARILLO	422	2	420	9	413	392	30	359	63
FUCSIA	428	49	379	57	371	410	18	399	29
AZUL CLARO	475	50	425	10	465	447	28	463	12
BLANCO	1059	654	403	19	1038	944	113	1030	27
CANCHA	44842	44802	40	44799	43	44385	457	44347	495
Total		45715	2533	44991	3257	47513	735	47522	726
Esquema de Evaluación 2									
Sensitividad		0,311648		0,196135		0,931598		0,929861	
Especificidad		0,895550		0,865223		0,990439		0,991084	
Precisión		0,985000		0,980713		0,995648		0,995701	

Tabla 17. Evaluación de la Clasificación de A1P6.bmp. (60 grupos,KM)

Archivo de prueba : A1P7.BMP									
Esquema de Evaluación 1									
40 Grupos		Clasificación 1		Clasificación 2		Clasificación 3		Clasificación 4	
Color	Pixeles	P(+)	N(-)	P(+)	N(-)	P(+)	N(-)	P(+)	N(-)
VERDE	833	18	815	110	723	804	29	809	24
AZUL	770	166	604	38	732	624	146	659	111
BLANCO	1076	652	418	28	1042	950	120	1044	26
CANCHA	45575	45567	8	45558	17	45368	207	45287	288
Total		46403	1845	45734	2514	47746	502	47799	449
Esquema de Evaluación 2									
Sensitividad		0,461591		0,301800		0,914721		0,949104	
Especificidad		0,828147		0,766636		0,974407		0,985981	
Precisión		0,980880		0,973947		0,994798		0,995347	

Tabla 18. Evaluación de la Clasificación de A1P7.bmp. (60 grupos,KM)

**5.2.- Evaluación detallada de la clasificación utilizando el archivo de ajuste A1.bmp con gas neuronal.**

Este Apéndice contiene información detallada por colores de los valores indicados en la tabla 4, la cual muestra los resultados de la clasificación para el grupo de prueba A1 utilizando el método de Gas Neuronal para 60 grupos con 20 repeticiones. Las columnas identificadas con P(+) y N(-) indican la cantidad de pixeles clasificados de manera correcta e incorrecta respectivamente para cada tipo de Clasificación.

Archivo de Prueba: A1P1.BMP									
Esquema de Evaluación 1									
60 Grupos 20 Rep		Clasificación 1		Clasificación 2		Clasificación 3		Clasificación 4	
Color	Pixeles	P(+)	N(-)	P(+)	N(-)	P(+)	N(-)	P(+)	N(-)
AZUL	202	34	168	9	193	178	24	175	27
VERDE	217	7	210	9	208	210	7	212	5
AMARILLO	150	11	139	1	149	144	6	143	7
AZUL CLARO	136	14	122	24	112	130	6	136	0
ANARANJADO	19	0	19	2	17	10	9	8	11
BLANCO	1096	522	574	53	1043	978	118	1063	33
CANCHA	46428	46420	8	46414	14	46199	229	46202	226
Total		47008	1240	46512	1736	47849	399	47939	309
Esquema de Evaluación 2									
Sensitividad		0,264708		0,203212		0,882647		0,883243	
Especificidad		0,903650		0,864793		0,990197		0,995297	
Precisión		0,992657		0,989720		0,997637		0,998170	

**Tabla 19. Evaluación de la Clasificación de A1P1.bmp (60 grupos,20 rep, GN).**



Archivo de Prueba: A1P2.BMP									
Esquema de Evaluación 1									
60 Grupos 20 Rep		Clasificación 1		Clasificación 2		Clasificación 3		Clasificación 4	
Color	Pixeles	P(+)	N(-)	P(+)	N(-)	P(+)	N(-)	P(+)	N(-)
AMARILLO	133	7	126	3	130	133	0	133	0
AZUL	153	24	129	7	146	145	8	146	7
AZUL CLARO	158	15	143	26	132	149	9	153	5
VERDE	205	4	201	13	192	196	9	201	4
ANARANJADO	12	0	12	1	11	10	2	8	4
BLANCO	1105	549	550	51	1048	1001	98	1087	12
CANCHA	46488	46469	19	46472	16	46202	286	46214	274
Total		47068	1180	46573	1675	47836	412	47942	306
Esquema de Evaluación 2									
Sensitividad	0,260440		0,203668		0,940694		0,936135		
Especificidad	0,905941		0,865449		0,993608		0,998145		
Precisión	0,993012		0,990081		0,997560		0,998188		

Tabla 20. Evaluación de la Clasificación de A1P2.bmp (60 grupos,20 rep, GN).

Archivo de Prueba: A1P3.BMP									
Esquema de Evaluación 1									
60 Grupos 20 Rep		Clasificación 1		Clasificación 2		Clasificación 3		Clasificación 4	
Color	Pixeles	P(+)	N(-)	P(+)	N(-)	P(+)	N(-)	P(+)	N(-)
AZUL	122	28	94	12	110	121	1	118	4
AZUL CLARO	130	32	98	16	114	128	2	125	5
FUCSIA	131	22	109	23	108	131	0	131	0
AMARILLO	131	15	116	0	131	129	2	131	0
ANARANJADO	12	0	12	0	12	11	1	10	2
BLANCO	1121	602	504	62	1044	969	137	1083	23
CANCHA	46616	46611	5	46600	16	46372	244	46357	259
Total		47310	938	46713	1535	47861	387	47955	293
Esquema de Evaluación 2									
Sensitividad	0,328900		0,207532		0,964102		0,962248		
Especificidad	0,918991		0,866986		0,994024		0,997852		
Precisión	0,994445		0,990910		0,997708		0,998265		

Tabla 21. Evaluación de la Clasificación de A1P3.bmp (60 grupos,20 rep, GN).

Archivo de Prueba: A1P4.BMP									
Esquema de Evaluación 1									
60 Grupos 20 rep		Clasificación 1		Clasificación 2		Clasificación 3		Clasificación 4	
Color	Pixeles	P(+)	N(-)	P(+)	N(-)	P(+)	N(-)	P(+)	N(-)
FUCSIA	341	61	280	66	275	338	3	334	7
AZUL	350	77	273	21	329	315	35	310	40
AZUL CLARO	340	41	299	52	288	330	10	338	2
AMARILLO	336	32	304	1	335	326	10	331	5
VERDE	394	12	382	47	347	367	27	377	17
ANARANJADO	70	0	70	6	64	57	13	56	14
BLANCO	1012	520	490	30	980	928	82	989	21
CANCHA	45407	45382	25	45368	39	44880	527	44949	458
Total		46125	2123	45591	2657	47541	707	47684	564
Esquema de Evaluación 2									
Sensitividad	0,269934		0,205414		0,935624		0,946300		
Especificidad	0,908039		0,884709		0,992893		0,995624		
Precisión	0,988999		0,986233		0,996337		0,997078		

Tabla 22. Evaluación de la Clasificación de A1P4.bmp (60 grupos,20 rep, GN).

Archivo de Prueba: A1P5.BMP									
Esquema de Evaluación 1									
60 Grupos 20 rep		Clasificación 1		Clasificación 2		Clasificación 3		Clasificación 4	
Color	Pixeles	P(+)	N(-)	P(+)	N(-)	P(+)	N(-)	P(+)	N(-)
VERDE	597	21	576	45	552	580	17	589	8
AZUL	547	103	444	29	518	419	128	399	148
AMARILLO	471	37	434	10	461	442	29	436	35
FUCSIA	470	63	407	54	416	424	46	418	52
BLANCO	1039	529	506	44	991	928	107	1000	35
CANCHA	45128	45107	21	45106	22	44775	353	44801	327
Total		45860	2388	45288	2960	47568	680	47643	605
Esquema de Evaluación 2									
Sensitividad	0,324453		0,217757		0,911146		0,915004		
Especificidad	0,874282		0,843128		0,982841		0,984750		
Precisión	0,983502		0,979550		0,995302		0,995820		

Tabla 23. Evaluación de la Clasificación de A1P5.bmp (60 grupos,20 rep, GN).

Archivo de Prueba: A1P6.BMP									
Esquema de Evaluación 1									
60 Grupos 20 Rep		Clasificación 1		Clasificación 2		Clasificación 3		Clasificación 4	
Color	Pixeles	P(+)	N(-)	P(+)	N(-)	P(+)	N(-)	P(+)	N(-)
VERDE	571	23	548	50	521	557	14	561	10
AZUL	453	122	331	38	415	382	71	373	80
AMARILLO	422	43	379	9	413	400	22	408	14
FUCSIA	428	74	354	39	389	407	21	401	27
AZUL CLARO	475	68	407	40	435	441	34	449	26
BLANCO	1059	560	497	26	1031	952	105	1039	18
CANCHA	44842	44803	39	44786	56	44285	557	44324	518
Total		45693	2555	44988	3260	47424	824	47555	693
Esquema de Evaluación 2									
Sensitividad		0,322354		0,198780		0,933459		0,946616	
Especificidad		0,894861		0,865447		0,989156		0,991571	
Precisión		0,984870		0,980695		0,995120		0,995896	

Tabla 24. Evaluación de la Clasificación de A1P6.bmp (60 grupos,20 rep, GN).

Archivo de Prueba: A1P7.BMP									
Esquema de Evaluación 1									
60 Grupos 20 rep		Clasificación 1		Clasificación 2		Clasificación 3		Clasificación 4	
Color	Pixeles	P(+)	N(-)	P(+)	N(-)	P(+)	N(-)	P(+)	N(-)
VERDE	833	20	813	54	779	796	37	819	14
AZUL	770	119	651	47	723	640	130	609	161
BLANCO	1076	557	513	48	1022	1005	65	1053	17
CANCHA	45575	45570	5	45530	45	45224	351	45220	355
Total		46266	1982	45679	2569	47665	583	47701	547
Esquema de Evaluación 2									
Sensitividad		0,424752		0,292434		0,929575		0,937606	
Especificidad		0,815334		0,763698		0,978478		0,981579	
Precisión		0,979460		0,973377		0,993958		0,994331	

Tabla 25. Evaluación de la Clasificación de A1P7.bmp (60 grupos,20 rep, GN).

### 5.3.- Evaluación detallada de la clasificación utilizando el archivo de ajuste A2.bmp con k-medios.

Este Apéndice contiene información detallada por colores de los valores indicados en la tabla 5, la cual muestra los resultados de la clasificación para el grupo de prueba A2 utilizando el método K-Medios para 60 grupos. Las columnas identificadas con P(+) y N(-) indican la cantidad de pixeles clasificados de manera correcta e incorrecta respectivamente para cada tipo de Clasificación.

Archivo de Prueba: A2P1.BMP									
Esquema de Evaluación 1									
60 Grupos		Clasificación 1		Clasificación 2		Clasificación 3		Clasificación 4	
Color	Pixeles	P(+)	N(-)	P(+)	N(-)	P(+)	N(-)	P(+)	N(-)
VERDE	450	18	432	14	436	356	94	357	93
AZUL	473	189	284	32	441	384	89	377	96
AZUL CLARO	425	133	292	39	386	357	68	372	53
BLANCO	922	600	322	23	899	696	226	779	143
CANCHA	36769	36607	162	36741	28	35990	779	36115	654
Total		37547	1492	36849	2190	37783	1256	38000	1039
Esquema de Evaluación 2									
Sensitividad		0,479774		0,242943		0,8353		0,858557	
Especificidad		0,883801		0,809785		0,9620		0,967491	
Precisión		0,984713		0,977561		0,9871		0,989354	

Tabla 26. Evaluación de la Clasificación de A2P1.bmp. (60 grupos,KM)

Archivo de Prueba: A2P2.BMP									
Esquema de Evaluación 1									
60 Grupos		Clasificación 1		Clasificación 2		Clasificación 3		Clasificación 4	
Color	Pixeles	P(+)	N(-)	P(+)	N(-)	P(+)	N(-)	P(+)	N(-)
VERDE	500	36	464	29	471	479	21	470	30
AZUL	457	212	245	23	434	441	16	437	20
AZUL CLARO	476	159	317	72	404	419	57	447	29
FUCSIA	434	49	385	103	331	419	15	423	11
ANARANJADO	86	0	86	10	76	68	18	69	17
BLANCO	879	626	253	16	863	731	148	831	48
CANCHA	36207	36138	69	36200	7	35678	529	35842	365
Total		37220	1819	36453	2586	38235	804	38519	520
Esquema de Evaluación 2									
Sensitividad		0,384728		0,233029		0,910913		0,935372	
Especificidad		0,913148		0,870019		0,990523		0,994753	
Precisión		0,986687		0,981074		0,994116		0,996194	

Tabla 27. Evaluación de la Clasificación de A2P2.bmp. (60 grupos,KM)

Archivo de Prueba: A2P3.BMP									
Esquema de Evaluación 1									
60 Grupos		Clasificación 1		Clasificación 2		Clasificación 3		Clasificación 4	
Color	Pixeles	P(+)	N(-)	P(+)	N(-)	P(+)	N(-)	P(+)	N(-)
VERDE	454	18	436	9	445	427	27	450	4
BLANCO	1009	665	344	14	995	862	147	972	37
CANCHA	40611	43417	48	43443	22	43337	128	43338	127
Total		44100	828	43466	1462	44626	302	44760	168
Esquema de Evaluación 2									
Sensitividad		0,565871		0,344398		0,930632		0,983866	
Especificidad		0,822361		0,671741		0,960714		0,990584	
Precisión		0,987714		0,978306		0,995519		0,997507	

Tabla 28. Evaluación de la Clasificación de A2P3.bmp. (60 grupos,KM)

Archivo de Prueba: A2P4.BMP									
Esquema de Evaluación 1									
60 Grupos		Clasificación 1		Clasificación 2		Clasificación 3		Clasificación 4	
Color	Pixeles	P(+)	N(-)	P(+)	N(-)	P(+)	N(-)	P(+)	N(-)
VERDE	531	25	506	11	520	478	53	482	49
AZUL CLARO	552	206	346	122	430	513	39	538	14
BLANCO	942	698	244	16	926	835	107	900	42
CANCHA	40043	42851	52	42902	1	42780	123	42793	110
Total		43780	1148	43051	1877	44606	322	44713	215
Esquema de Evaluación 2									
Sensitividad		0,540008		0,314673		0,928270		0,958802	
Especificidad		0,864868		0,768743		0,977682		0,990184	
Precisión		0,987224		0,979111		0,996416		0,997607	

**Tabla 29. Evaluación de la Clasificación de A2P4.bmp. (60 grupos,KM)**

Archivo de Prueba: A2P5.BMP									
Esquema de Evaluación 1									
60 Grupos		Clasificación 1		Clasificación 2		Clasificación 3		Clasificación 4	
Color	Pixeles	P(+)	N(-)	P(+)	N(-)	P(+)	N(-)	P(+)	N(-)
VERDE	521	17	504	15	506	411	110	425	96
AZUL	508	227	281	18	490	438	70	436	72
AZUL CLARO	503	153	350	71	432	375	128	389	114
ANARANJADO	107	0	107	8	99	67	40	73	34
BLANCO	1104	756	348	12	1092	846	258	963	141
CANCHA	39325	42033	152	42153	32	41475	710	41550	635
Total		43186	1742	42277	2651	43612	1316	43836	1092
Esquema de Evaluación 2									
Sensitividad		0,410806		0,215042		0,795374		0,831140	
Especificidad		0,904072		0,840804		0,967979		0,973436	
Precisión		0,987076		0,980332		0,990236		0,991898	

**Tabla 30. Evaluación de la Clasificación de A2P5.bmp. (60 grupos,KM)**

**5.4.- Evaluación detallada de la clasificación utilizando el archivo de ajuste A2.bmp con gas neuronal.**

Este Apéndice contiene información detallada por colores de los valores indicados en la tabla 6, la cual muestra los resultados de la clasificación para el grupo de prueba A2 utilizando el método Gas Neuronal para 60 grupos con 40 repeticiones. Las columnas identificadas con P(+) y N(-) indican la cantidad de pixeles clasificados de manera correcta e incorrecta respectivamente para cada tipo de Clasificación.

Archivo de Prueba: A2P1.BMP									
Esquema de Evaluación 1									
60 Grupos 40 rep		Clasificación 1		Clasificación 2		Clasificación 3		Clasificación 4	
Color	Pixeles	P(+)	N(-)	P(+)	N(-)	P(+)	N(-)	P(+)	N(-)
VERDE	450	18	432	23	427	354	96	355	95
AZUL	473	77	396	16	457	349	124	325	148
AZUL CLARO	425	43	382	31	394	311	114	338	87
BLANCO	922	587	335	17	905	681	241	770	152
CANCHA	36769	36696	73	36742	27	36309	460	36315	454
Total		37421	1618	36829	2210	38004	1035	38103	936
Esquema de Evaluación 2									
Sensitividad		0,387728		0,235117		0,796475		0,818816	
Especificidad		0,863744		0,807856		0,954411		0,958489	
Precisión		0,983422		0,977356		0,989395		0,990410	

**Tabla 31. Evaluación de la Clasificación de A2P1.bmp. (60 grupos,40 rep,G.N)**

Archivo de Prueba: A2P2.BMP									
Esquema de Evaluación 1									
60 Grupos 40 Rep.		Clasificación 1		Clasificación 2		Clasificación 3		Clasificación 4	
Color	Pixeles	P(+)	N(-)	P(+)	N(-)	P(+)	N(-)	P(+)	N(-)
VERDE	500	33	467	35	465	478	22	471	29
AZUL	457	100	357	11	446	384	73	347	110
AZUL CLARO	476	43	433	55	421	392	84	406	70
FUCSIA	434	38	396	23	411	406	28	413	21
ANARANJADO	86	0	86	10	76	63	23	63	23
BLANCO	879	603	276	33	846	725	154	812	67
CANCHA	36207	36175	32	36197	10	35996	211	36018	189
Total		36992	2047	36364	2675	38444	595	38530	509
Esquema de Evaluación 2									
Sensitividad		0,306834		0,202308		0,872401		0,879567	
Especificidad		0,899123		0,866137		0,985830		0,987175	
Precisión		0,985019		0,980423		0,995645		0,996275	

**Tabla 32. Evaluación de la Clasificación de A2P2.bmp. (60 grupos,40 rep,G.N)**

Archivo de Prueba: A2P3.BMP									
Esquema de Evaluación 1									
60 Grupos 40 rep		Clasificación 1		Clasificación 2		Clasificación 3		Clasificación 4	
Color	Pixeles	P(+)	N(-)	P(+)	N(-)	P(+)	N(-)	P(+)	N(-)
VERDE	454	18	436	32	422	440	14	450	4
BLANCO	1009	696	313	22	987	850	159	946	63
CANCHA	40611	43416	49	43440	25	43337	128	43345	120
Total		44130	798	43494	1434	44627	301	44741	187
Esquema de Evaluación 2									
Sensitividad		0,576104		0,363904		0,936212		0,975330	
Especificidad		0,829196		0,678781		0,960281		0,984492	
Precisión		0,988159		0,978722		0,995534		0,997225	

**Tabla 33. Evaluación de la Clasificación de A2P3.bmp. (60 grupos,40 rep,G.N)**



Archivo de Prueba: A2P4.BMP									
Esquema de Evaluación 1									
60 Grupos 40 rep		Clasificación 1		Clasificación 2		Clasificación 3		Clasificación 4	
Color	Pixeles	P(+)	N(-)	P(+)	N(-)	P(+)	N(-)	P(+)	N(-)
VERDE	531	26	505	35	496	486	45	491	40
AZUL CLARO	552	32	520	112	440	436	116	467	85
BLANCO	942	701	241	10	932	830	112	877	65
CANCHA	40043	42864	39	42897	6	42824	79	42827	76
Total		43623	1305	43054	1874	44576	352	44662	266
Esquema de Evaluación 2									
Sensitividad		0,462547		0,319822		0,896093		0,924978	
Especificidad		0,843953		0,769820		0,969501		0,979411	
Precisión		0,985477		0,979144		0,996083		0,997040	

**Tabla 34. Evaluación de la Clasificación de A2P4.bmp. (60 grupos,40 rep,G.N)**

Archivo de Prueba: A2P5.BMP									
Esquema de Evaluación 1									
60 Grupos 40 rep		Clasificación 1		Clasificación 2		Clasificación 3		Clasificación 4	
Color	Pixeles	P(+)	N(-)	P(+)	N(-)	P(+)	N(-)	P(+)	N(-)
VERDE	521	15	506	30	491	420	101	425	96
AZUL	508	94	414	9	499	373	135	338	170
AZUL CLARO	503	39	464	57	446	339	164	361	142
ANARANJADO	107	0	107	8	99	68	39	75	32
BLANCO	1104	735	369	20	1084	816	288	952	152
CANCHA	39325	42109	76	42161	24	41750	435	41754	431
Total		42992	1936	42285	2643	43766	1162	43905	1023
Esquema de Evaluación 2									
Sensitividad		0,325887		0,213489		0,763114		0,791971	
Especificidad		0,887324		0,840777		0,962001		0,965485	
Precisión		0,985636		0,980391		0,991379		0,992410	

**Tabla 35. Evaluación de la Clasificación de A2P5.bmp. (60 grupos,40 rep,G.N)**

### 5.5.- Evaluación detallada de la clasificación utilizando el método de umbrales con el grupo A1.

Este Apéndice contiene información detallada por colores de los valores indicados en la tabla 8, la cual muestra los resultados de la clasificación para el grupo de prueba A1 utilizando los valores de umbral predeterminados. Las columnas identificadas con P(+) y N(-) indican la cantidad de pixeles clasificados de manera correcta e incorrecta respectivamente para cada tipo de Clasificación.

Archivo de prueba: A1P1.BMP					
Esquema de Evaluación 1					
Color	Pixeles	Clasificación 1		Clasificación 4	
		P(+)	N(-)	P(+)	N(-)
AZUL	202	187	15	13	189
VERDE	217	180	37	181	36
AMARILLO	150	148	2	148	2
AZUL_CLARO	136	133	3	136	0
ANARANJADO	19	19	0	18	1
BLANCO	1096	775	321	0	1096
CANCHA	46428	46106	322	2912	43516
Total		47548	700	3408	44840
Esquema de Evaluación 2					
Sensitividad		0,917146		0,556459	
Especificidad		0,997312		0,83107	
Precisión		0,995855		0,734467	

**Tabla 36. Evaluación de la Clasificación de A1P1 con método de umbral**

Archivo de prueba : A1P2.BMP					
Esquema de Evaluación 1					
Color	Píxeles	Clasificación 1		Clasificación 4	
		P(+)	N(-)	P(+)	N(-)
AMARILLO	133	132	1	133	0
AZUL	153	147	6	5	148
AZUL_CLARO	158	150	8	155	3
VERDE	205	199	6	188	17
ANARANJADO	12	12	0	12	0
BLANCO	1105	804	295	0	1099
CANCHA	46488	46061	427	3382	43106
Total		47505	743	3875	44373
Esquema de Evaluación 2					
Sensitividad		0,94225		0,571931	
Especificidad		0,997789		0,831158	
Precisión		0,9956		0,737233	

**Tabla 37. Evaluación de la Clasificación de A1P2 con método de umbral**

Archivo de prueba : A1P3.BMP					
Esquema de Evaluación 1					
Color	Píxeles	Clasificación 1		Clasificación 4	
		P(+)	N(-)	P(+)	N(-)
AZUL	122	122	0	8	114
AZUL_CLARO	130	125	5	129	1
FUCSIA	131	114	17	0	131
AMARILLO	131	131	0	131	0
ANARANJADO	12	12	0	12	0
BLANCO	1121	981	125	0	1106
CANCHA	46616	46264	352	9743	36873
Total		47749	499	10023	38225
Esquema de Evaluación 2					
Sensitividad		0,958742		0,466698	
Especificidad		0,998515		0,830974	
Precisión		0,997045		0,77364	

**Tabla 38. Evaluación de la Clasificación de A1P3 con método de umbral**

Archivo de prueba : A1P4.BMP					
Esquema de Evaluación 1					
Color	Píxeles	Clasificación 1		Clasificación 4	
		P(+)	N(-)	P(+)	N(-)
FUCSIA	341	258	83	8	333
AZUL	350	326	24	52	298
AZUL_CLARO	340	338	2	340	0
AMARILLO	336	331	5	333	3
VERDE	394	364	30	311	83
ANARANJADO	70	70	0	67	3
BLANCO	1012	721	289	0	1010
CANCHA	45407	44628	779	6697	38710
Total		47036	1212	7808	40440
Esquema de Evaluación 2					
Sensitividad		0,910978		0,507134	
Especificidad		0,996339		0,872078	
Precisión		0,99372		0,790458	

**Tabla 39. Evaluación de la Clasificación de A1P4 con método de umbral**

Archivo de prueba : A1P5.BMP					
Esquema de Evaluación 1					
Color	Píxeles	Clasificación 1		Clasificación 4	
		P(+)	N(-)	P(+)	N(-)
VERDE	597	549	48	595	2
AZUL	547	483	64	213	334
AMARILLO	471	428	43	457	14
FUCSIA	470	304	166	138	332
BLANCO	1039	725	310	0	1035
CANCHA	45128	44597	531	6583	38545
Total		47086	1162	7986	40262
Esquema de Evaluación 2					
Sensitividad		0,841138		0,465969	
Especificidad		0,993429		0,80288	
Precisión		0,991972		0,72184	

**Tabla 40. Evaluación de la Clasificación de A1P5 con método de umbral**

Archivo de prueba : A1P6.BMP					
Esquema de Evaluación 1					
Color	Píxeles	Clasificación 1		Clasificación 4	
		P(+)	N(-)	P(+)	N(-)
VERDE	571	536	35	434	137
AZUL	453	436	17	56	397
AMARILLO	422	398	24	414	8
FUCSIA	428	273	155	89	339
AZUL_CLARO	475	434	41	464	11
BLANCO	1059	735	322	0	1057
CANCHA	44842	43864	978	7590	37252
Total		46676	1572	9047	39201
Esquema de Evaluación 2					
Sensitividad		0,867056		0,459826	
Especificidad		0,994504		0,847176	
Precisión		0,990691		0,76786	

**Tabla 41. Evaluación de la Clasificación de A1P6 con método de umbral**

Archivo de prueba : A1P7.BMP					
Esquema de Evaluación 1					
Color	Píxeles	Clasificación 1		Clasificación 4	
		P(+)	N(-)	P(+)	N(-)
VERDE	833	764	69	832	1
AZUL	770	702	68	366	404
BLANCO	1076	788	282	0	1070
CANCHA	45575	44982	593	5126	40449
Total		47236	1012	6324	41924
Esquema de Evaluación 2					
Sensitividad		0,888073		0,39665	
Especificidad		0,992723		0,697073	
Precisión		0,989513		0,565536	

**Tabla 42. Evaluación de la Clasificación de A1P7 con método de umbral**

### 5.6.- Evaluación detallada de la clasificación utilizando el método de umbrales con el grupo A2.

Este Apéndice contiene información detallada por colores de los valores indicados en la tabla 9, la cual muestra los resultados de la clasificación para el grupo de prueba A2 utilizando los valores de umbral predeterminados. Las columnas identificadas con P(+) y N(-) indican la cantidad de píxeles clasificados de manera correcta e incorrecta respectivamente para cada tipo de Clasificación.

Archivo de prueba : A2P1.BMP					
Esquema de Evaluación 1					
Color	Píxeles	Clasificación 1		Clasificación 4	
		P(+)	N(-)	P(+)	N(-)
VERDE	450	209	241	366	84
AZUL	473	275	198	120	353
AZUL_CLARO	425	340	85	391	34
BLANCO	922	729	193	0	922
CANCHA	36769	34320	2449	4314	32455
Total		35873	3166	5191	33848
Esquema de Evaluación 2					
Sensitividad		0,713981		0,420872	
Especificidad		0,962918		0,781032	
Precisión		0,967561		0,653188	

Tabla 43. Evaluación de la Clasificación de A2P1 con método de umbral

Archivo de prueba : A2P2.BMP					
Esquema de Evaluación 1					
Color	Píxeles	Clasificación 1		Clasificación 4	
		P(+)	N(-)	P(+)	N(-)
VERDE	500	264	236	417	83
AZUL	457	303	154	90	367
AZUL_CLARO	476	426	50	458	18
FUCSIA	434	348	86	32	402
ANARANJADO	86	76	10	84	2
BLANCO	879	771	108	0	879
CANCHA	36207	34338	1869	3337	32870
Total		36526	2513	4418	34621
Esquema de Evaluación 2					
Sensitividad		0,799579		0,447966	
Especificidad		0,990685		0,848201	
Precisión		0,981608		0,74662	

**Tabla 44. Evaluación de la Clasificación de A2P2 con método de umbral**

Archivo de prueba : A2P3.BMP					
Esquema de Evaluación 1					
Color	Píxeles	Clasificación 1		Clasificación 4	
		P(+)	N(-)	P(+)	N(-)
VERDE	454	347	107	451	3
BLANCO	1009	850	159	0	1009
CANCHA	40611	43191	274	5086	38379
Total		44388	540	5537	39391
Esquema de Evaluación 2					
Sensitividad		0,86681		0,370135	
Especificidad		0,995939		0,612879	
Precisión		0,991987		0,415494	

**Tabla 45. Evaluación de la Clasificación de A2P3 con método de umbral**

Archivo de prueba : A2P4.BMP					
Esquema de Evaluación 1					
Color	Píxeles	Clasificación 1		Clasificación 4	
		P(+)	N(-)	P(+)	N(-)
VERDE	531	393	138	441	90
AZUL_CLARO	552	485	67	540	12
BLANCO	942	823	119	0	942
CANCHA	40043	42677	226	5586	37317
Total		44378	550	6567	38361
Esquema de Evaluación 2					
Sensitividad		0,871785		0,484743	
Especificidad		0,996897		0,735443	
Precisión		0,993879		0,573084	

**Tabla 46. Evaluación de la Clasificación de A2P4 con método de umbral**

Archivo de prueba : A2P5.BMP					
Esquema de Evaluación 1					
Color	Píxeles	Clasificación 1		Clasificación 4	
		P(+)	N(-)	P(+)	N(-)
VERDE	521	295	226	432	89
AZUL	508	360	148	119	389
AZUL_CLARO	503	370	133	409	94
ANARANJADO	107	78	29	95	12
BLANCO	1104	912	192	0	1104
CANCHA	39325	40548	1637	2886	39299
Total		42563	2365	3941	40987
Esquema de Evaluación 2					
Sensitividad		0,754453		0,472135	
Especificidad		0,974523		0,806505	
Precisión		0,982453		0,695906	

**Tabla 47. Evaluación de la Clasificación de A2P5 con método de umbral**



## 5.7.- Archivo BMP.

Los archivos BMP (*Windows Bitmap*) son utilizados por *Windows* como el formato estándar de imagen. El formato original de estos archivos (*Windows 1.0*) era muy simple: tenía una paleta de colores fija, no se utilizaba compresión en la data, y fue creado para soportar el PC IBM más popular y las tarjetas de video compatibles utilizadas en ese tiempo. Este formato es conocido como el *Windows Device Dependent Bitmap* (DDB).

El soporte para una paleta de colores programable fue introducido en *Windows 2.0*. Este tipo de *bitmap* es conocido como un *Windows Device Independent Bitmap* (DIB). La paleta de colores programables almacenada con la data del *bitmap* le dió la habilidad de ser independiente del dispositivo a ser desplegado (cualquier tipo de tarjeta gráfica, impresora, etc.). El término “independiente del dispositivo”, significa que el *bitmap* especifica el color de los píxeles de una manera independiente del método usado por el dispositivo para representar el color.

### 5.7.1.-Estructura de los archivos .BMP

El siguiente cuadro contiene una descripción del contenido de los archivos BMP.

<b>Campo</b>	<b>Tamaño en bytes</b>	<b>Descripción</b>	
Identificador	2	Caracteres que identifican el <i>Bitmap</i> . Siempre "BM".	
Tamaño del archivo	4	Tamaño total del archivo en bytes	
Reservado	4	Reservado – Siempre "0"	
Longitud al <i>Bitmap</i>	2	Longitud en bytes desde el inicio del archivo hasta el campo Datos <i>Bitmap</i> .	
Tamaño Encabezado de información	4	Longitud en bytes de los campos utilizados para describir la resolución, compresión, tamaño de la imagen, etc. Abarca desde este campo hasta el campo Paleta, por lo tanto siempre tendrá un valor de "40".	
Ancho	4	Ancho de la imagen en píxeles.	
Alto	4	Alto de la imagen en píxeles.	
Planos	2	Siempre "1".	
Bits por píxel	2	Bits por píxel usados para almacenar las entradas a la paleta de colores. Posibles valores:	
		1	Bitmap monocromático
		4	Bitmap de 16 colores
		8	Bitmap de 24 colores
		24	24 bit ("true color")

Compresión	4	Especifica el tipo de compresión. Posibles valores:	
		0 / BI_RGB	Sin compresión
		1/ BI_RLE8	RLE 8-bit
		2 / BI_RLE4	RLE 4-bit
		3 / BITFIELDS	Bitfield
Tamaño de los datos del <i>Bitmap</i>	4	Tamaño en bytes utilizados por los datos del <i>Bitmap</i>	
Resolución horizontal	4	Resolución horizontal expresada en píxeles por metro.	
Resolución vertical	4	Resolución vertical expresada en píxeles por metro	
Colores	4	Número de índices de colores en la Paleta de colores.	
Colores Importantes	2	Número de índices de colores que son considerados importantes para desplegar el Bitmap. Si está en "0", todos los colores son importantes.	
Paleta	N*4	Especificaciones de la paleta de colores. Cada entrada en la paleta utiliza 4 bytes para describir los valores RGB de los colores en la siguiente manera: 1 byte para el componente azul, 1 byte para el componente verde, 1 byte para el componente rojo y 1 byte de relleno.	
Datos Bitmap	X bytes	Es un arreglo de bytes con los datos de la imagen. Su tamaño va a depender de lo indicado en el campo Compresión y bits por píxel.	

### 5.7.2.-Consideraciones especiales para el manejo de estos archivos.

#### Alineación de bytes.

El tamaño de cada línea se calcula como  $\text{Longitud\_línea} = ((\text{Ancho\_en\_bytes} - 1)/4 + 1) * 4$ , esto se debe a que los bytes vienen alineados a múltiplos de 4.

### **Almacenamiento de las líneas.**

Las líneas de la imagen son almacenadas de abajo hacia arriba, y de izquierda a derecha. El inicio de las coordenadas se sitúa en (0,0).

### **Bits por pixel**

Como se vio en la estructura de archivo .BMP, este campo indica el número de bits que definen cada píxel. Además de manera indirecta indica el número máximo de colores distintos en el *bitmap*. Los distintos casos a considerar son:

- **Cuando este campo es igual a 1**, el *bitmap* es monocromático y la Paleta de colores contiene dos entradas. Cada bit en el campo Datos Bitmap representa un píxel. Si el bit está en "0", el píxel es desplegado con el color de la primera entrada en la paleta, de lo contrario tiene el color de la segunda entrada en la tabla.
- **Cuando el campo es igual a 4**, el *bitmap* tiene un máximo de 16 colores, y la paleta contiene hasta 16 entradas. Cada *byte* en el campo Datos Bitmap almacena dos índices a la Paleta de colores. El *nibble* superior para el primer píxel y el *nibble* inferior para el segundo píxel.
- **Cuando el campo es igual a 8**, el *bitmap* tiene un máximo de 256 colores, y la paleta contiene hasta 256 entradas. En este caso, cada *byte* del campo Datos del Bitmap es un índice dentro de la paleta de colores.

- **Cuando el campo es igual a 24**, el bitmap tiene un máximo de  $2^{24}$  colores, y el campo Paleta no contiene entradas. En el campo Datos Bitmap se almacenan de manera continua bloques de 3 bytes representando las intensidades relativas de azul, verde y rojo respectivamente, para cada pixel de la imagen.

### **Almacenamiento de componentes RGB**

En la Paleta de colores los componentes RGB de cada pixel se almacenan en el orden Azul, Verde y Rojo.

### **Compresión.**

Los archivos de 4 y 8 bits pueden presentar compresión. En estos archivos se usa una forma simple de compresión denominada RLE (*Run Length Encoded*), en vez de almacenar un valor para cada píxel, se almacena un número N seguido por un índice. Esto significa que los próximos N píxeles son del color del índice. Esto trabaja muy bien para aquellas imágenes donde hay grandes extensiones de un mismo color.