



UNIVERSIDAD NACIONAL  
AUTÓNOMA DE  
MÉXICO

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

PROGRAMA DE MAESTRIA Y DOCTORADO EN  
INGENIERIA

FACULTAD DE INGENIERIA

ANALISIS DE LOS DIAGRAMAS DE COLOR DE LA  
CIE EN LA TELEVISION

TESIS

QUE PARA OPTAR POR EL GRADO DE:

MAESTRO EN INGENIERIA

INGENIERIA ELECTRICA — TELECOMUNICACIONES

P R E S E N T A:

ING. FRANCISCO EMMANUEL CASILLAS SALAZAR

TUTOR:

DRA. FATIMA MOUMTADI

2008

**JURADO ASIGNADO:**

Presidente: Dr. Oleksandr Martynyuk

Secretario: Dr. Javier Gómez Castellanos

Vocal: Dra. Fatima Moumtadi

1<sup>er</sup>. Suplente: Dr. Bohumil Psenicka

2<sup>do</sup>. Suplente: Dr. Esau Vicente Vivas

Lugar o lugares donde se realizó la tesis:

C. U., México D.F.

**TUTOR DE TESIS:**

***Dra. Fatima Moumtadi***

---

FIRMA

## Análisis de los diagramas de color de la CIE en la Televisión

### AGRADECIMIENTOS:

Quiero dedicar este logro tan importante en mi vida:

A mi padre Francisco Javier Casillas Vioratto, siempre tuvimos presente tus palabras del 14 de Febrero "Apóyalo para que termine la maestría" y hoy te dedico este logro, se que lo deseabas tanto como yo, y hoy es un buen día para escribirte lo siguiente: Papa te admiro y te amo, creo que casi nunca o nunca lo digo pero quiero que lo sepas, eres mi mayor admiración como hombre, como amigo y como padre, me enseñaste a jamás rendirme, a ser un hombre de bien, a trabajar, a luchar. Te amo y mil gracias por todo tu apoyo, tu amor, tu tiempo, porque hoy miro hacia el pasado y soy feliz por ser tu hijo. Gracias.

A mi madre Yolanda Salazar Munive, por ser la mejor madre del mundo, te ADORO Yolanda, eres una mujer especial, linda, fuerte, trabajadora, inteligente, hermosa. Quiero que sepas que en cada paso de mi vida tú estas presente, que cada victoria es tuya y en mis derrotas eres la fuerza del corazón que me impulsa a levantarme y seguir. Te AMO

A mi esposa Cynthia Rocio Ramirez Gallardo, mi amor, este logro también es tuyo, tu fuiste mi motor cuando estuve a punto de claudicar, gracias por estar a mi lado, por impulsarme, por cuidarme, por escucharme, por abrazarme, por amarme como me amas, soy muy feliz porque dios te puso en mi camino. Eres la luz que ha iluminado mi vida, me has llenado de bendiciones. Te AMO

A mis hermanos, porque son mi eterna inspiración para ser un hombre mejor, quiero que sepan que son grandiosos y se que llegaran muy lejos, los AMO y cuentan conmigo, yo daría mi vida por ustedes.

A Fatima Moumtadi, doctora mil gracias por impulsarme, por su amistad, sus consejos y su cariño. Quiero que sepa que es un ejemplo para mi y que me siento un hombre afortunado de haber realizado esta tesis con su apoyo.

A mis tíos y Abuelo, gracias por todo su amor, yo también los amo a TODOS.

A los que ya no están...

A mis amigos, soy un hombre de hermanos más que amigos, porque cada uno de ustedes son más que un simple amigo, los quiero machísimo y mil gracias por cada instante.

A la UNAM, mil gracias por todo lo que he aprendido y aprenderé.

A DIOS, gracias por darles salud a las personas que más AMO y gracias por darme salud y fuerza para lograr mis objetivos.

## GRACIAS

**Índice:**

<b>INTRODUCCIÓN</b>	6
<b>OBJETIVO</b>	7
<b>1. LA COLORIMETRÍA EN LA TELEVISIÓN</b>	8
1.1. EL OJO HUMANO Y LA PERCEPCIÓN DEL COLOR	8
1.2. ¿QUE ES LA COLORIMETRÍA?	17
1.2.1. Breve Historia de la Colorimetría	18
1.3. Colorimetría del Color	21
1.4. Estándares de Colorimetría	23
1.4.1. Estándares de Colorimetría en la Televisión	23
1.5. Evolución de la Colorimetría	25
1.6. ¿Por qué dependemos de la Colorimetría en la Televisión a Color?	30
<b>2. CARACTERÍSTICAS DE LA RECEPCIÓN Y REPRODUCCIÓN DEL COLOR EN LA TELEVISIÓN</b>	32
<b>3. IMPORTANCIA DE LOS DIAGRAMAS DE LOS COLORES BÁSICOS CIE PARA COLORES DISCRETOS DEL SINTETIZADOR</b>	41
<b>4. DIAGRAMAS DE COLORES BÁSICOS CIE</b>	43
4.1. Investigaciones en 1931	43
4.2. Diagrama de cromaticidad XYZ de la CIE	44
4.3. Definición del Espacio de Color XYZ de la CIE	46
4.4. Ley de Grassmann's	48
4.5. Construcción del espacio de color XYZ de la CIE desde los datos Wrigh-Guild	48
4.6. Diagrama curvilíneo de la cromaticidad Mac-Adam $\epsilon, \eta$	51

## Análisis de los diagramas de color de la CIE en la Televisión

5.	ANÁLISIS DE LOS DIAGRAMAS DE COLOR BÁSICO CIE PARA EL ANÁLISIS DE LA IMÁGEN EN SISTEMAS DE TELEVISIÓN.	52
5.1.	Análisis del Diagrama Tricomático estándar de colores básicos XYZ CIE-1931	55
5.2.	Análisis del Diagrama de Color Básico UVW CIE-1960	60
5.3.	Desarrollo de la práctica de conversión de Diagramas Básicos de Colores CIE-1931 y 1960 no lineales.	65
5.4.	Análisis del Diagrama de Crominancia Curvilíneo	68
6.	PROGRAMA DE TRANSFORMACION DE ESPACIO CIE 1931 (XYZ) A ESPACIO MCADAM	76
6.1.	DIAGRAMA DE FLUJO DEL PROGRAMA	76
6.2.	RESUMEN DE PROGRAMAS	77
6.3.	PRESENTACIÓN DE RESULTADOS	77
7.	CONCLUSIONES	86
8.	BIBLIOGRAFÍA	88
9.	REFERENCIAS	89
10.	ANEXOS	89

## INTRODUCCIÓN

Para los seres humanos es muy importante la percepción de cierta banda del espectro de la radiación electromagnética, ya que es ahí donde se encuentra la luz visible. Dicha luz consta de tres dimensiones: el color, la saturación y la luminosidad.

Es la colorimetría la ciencia que estudia los colores, los cuantifica así como estudia las características de los mismos, y sus mezclas. Los colores que el ser humano percibe en un objeto están directamente relacionados con la naturaleza de la luz reflejada por el mismo.

Actualmente el color puede ser reproducido por medio de una cámara de televisión, la cual consiste en tres cámaras en una, cada una con señales de video separadas, la señal llega a un lente principal o lente de captura el cual la divide en 3, cada una pasa por un filtro (R, G y B). Dichas señales posteriormente se combinan en proporciones específicas dentro del transmisor para generar las señales de luminancia y de crominancia. El receptor de televisión a color es esencialmente el mismo que para uno blanco y negro, únicamente se le agregan circuitos para la decodificación de color.

Para el estudio de la percepción de color, se creó la definición de espacios de color, y una de las primeras definiciones fue la propuesta por la CIE, el espacio de color XYZ o también conocido como espacio de color de la CIE de 1931 (CIE o comisión internacional de iluminación).

Dicho espacio es muy especial ya que se basa en mediciones directas del ojo humano, y es la base para la definición de otros espacios de color. Y se produjo gracias a una serie de experimentos realizados en la década de 1920 por Wright y Guild, los cuales originaron el espacio de color RGB y a su vez derivó el espacio XYZ.

Dicho diagrama representa todas las cromaticidades que son visibles para el ojo humano, y dicha región es conocida como gama de visión humana, la cual aparece con forma de herradura de color.

Tomando como base el espacio de color XYZ se realizaron ciertas modificaciones al mismo y se dio origen al espacio de color UVW o también

conocido como espacio de la CIE de 1960, pero de igual forma no es posible la transformación de las elipses a figuras geométricas cercanas a círculos de diámetros iguales.

Pensando en una mejora a dichos espacios apareció McAdam, el cual en base a experimentos prácticos con ayuda de unos observadores, creó el diagrama de cromaticidad curvilíneo  $\xi, \eta$ , dicho espacio indudablemente posee mejores características en comparación con cualquier espacio de colores de la CIE, pero por el momento no se trata de un estándar.

En la siguiente tesis, se realiza un estudio y un análisis de la historia, así como del desarrollo que ha experimentado la colorimetría desde sus orígenes hasta este momento.

Por otro lado y como principal objetivo de la tesis se describe cada uno de los espacios de color de la CIE y el de McAdam, y se realiza una extensa comparación entre los mismos. Y se comprueba la gran aportación y mejoras del diagrama de color de McAdam sobre las demás, apoyándonos con un programa de computación el cual simula las operaciones y las gráficas de resultados del estudio desarrollado por McAdam. Esto con el fin de apoyar y demostrar dicha aportación al área de la Colorimetría.

## **OBJETIVO**

Investigar, explicar y analizar el desarrollo de la Colorimetría, así como de los espacios de color de la CIE. También analizaremos y demostraremos el espacio de color de McAdam, apoyándonos con un programa computacional, para poder ver los beneficios y avances del mismo contra los espacios de color de la CIE.

# 1. LA COLORIMETRÍA EN LA TELEVISIÓN

## 1.1 EL OJO HUMANO Y LA PERCEPCIÓN DEL COLOR

Los ojos detectan la presencia de la luz. Para los seres humanos la luz es una estrecha banda del espectro de la radiación electromagnética. Cuando esta radiación tiene una longitud de onda comprendida entre 380 y 760 nm resulta visible para nosotros.

Otros animales pueden detectar rangos diferentes de radiación electromagnética. Por ejemplo, las abejas pueden detectar diferencias en la radiación ultravioleta reflejada por flores que a nosotros nos parecen blancas. El rango de longitudes de onda que denominamos luz no es cualitativamente diferente del resto del espectro electromagnético; es simplemente la parte del espectro electromagnético que los humanos podemos ver.

El color de la luz que percibimos viene determinado por tres dimensiones: el color, la saturación y la luminosidad. La luz viaja a una velocidad constante de aproximadamente 300 000 kilómetros por segundo. Así si la frecuencia de oscilación varía, la distancia entre los picos de las ondas varía, la distancia entre los picos de las ondas varia de forma similar, pero de modo inverso.

Las oscilaciones más lentas implican ondas de longitud mas larga, y las ondas mas rápidas implican ondas de longitud mas cortas. Las longitudes de onda determinan la primera de las tres dimensiones perceptivas de la luz: el color. El espectro visible muestra el rango de colores que nuestros ojos pueden detectar.

La luz puede variar también en intensidad, lo que corresponde a su segunda dimensión perceptiva: la luminosidad. Si aumenta la intensidad de la radiación electromagnética, la luminosidad aparente también aumenta. La tercera dimensión, la saturación, hace referencia a la pureza relativa de la luz que se percibe. Si toda a radiación es de una misma longitud de onda, el color que se percibe es puro, o totalmente saturado. Contrariamente, si la radiación contiene todas las longitudes de onda, no produce sensación de color –parece luz blanca-. Los colores con cantidades intermedias de saturación consisten en mezclas de longitudes de onda diferentes.

### **Anatomía del sistema visual**

Para que un individuo pueda ver, una imagen debe enfocarse en la retina. La capa interna del ojo. Esta imagen origina cambios en la actividad eléctrica de millones de neuronas de la retina, lo que resulta en mensajes que se envían por el nervio óptico al resto del cerebro.

### **Los ojos**



Se encuentran suspendidos en órbitas, cavidades óseas de la parte frontal del cráneo, también se sostienen en su sitio y se mueven mediante seis músculos extraoculares sujetos a la rígida y blanca capa externa de cada uno de ellos, denominada esclerótica. Normalmente, no se puede mirar detrás de los globos oculares y ver esos músculos por que su unión con los ojos está oculta por la conjuntiva. Esta membrana mucosa forma el y se pliega hacia atrás sujetándose al globo ocular.

Los ojos realizan tres tipos de movimientos: convergencia, sacádicos y de búsqueda. Los movimientos de convergencia son movimientos cooperativos que mantienen la fijación de ambos ojos sobre el mismo objetivo (o más exactamente, que mantienen la imagen de objeto en partes correspondientes de ambas retinas). Si situamos un dedo frente a nosotros, lo miramos y luego nos lo acercamos al rostro, los ojos realizarán movimientos convergentes hacia la nariz. Si miramos entonces a un objeto del otro lado de la habitación, nuestros ojos girarán hacia el exterior y veremos una doble imagen borrosa del dedo.

Cuando examinamos la escena que hay frente a nosotros, la mirada no vaga lenta y continuamente recorriendo su contenido. En lugar de ello, los ojos realizan movimientos sacádicos espasmódicos (movemos bruscamente la mirada de un punto a otro). Cuando se lee la línea de un libro, los ojos se detienen varias veces, moviéndose muy rápidamente entre cada parada.

No podemos controlar conscientemente la velocidad de esos movimientos, durante cada movimiento sacádico los ojos se mueven tan rápidamente como pueden. Sólo cuando realizamos movimientos de búsqueda, como seguir a un dedo con la mirada mientras lo movemos de un lado a otro, podemos hacer que los ojos se muevan más lentamente.

La capa externa de la mayor parte del ojo, la esclerótica, es opaca y no deja pasar la luz. Sin embargo, la córnea, la capa externa de la parte frontal del mismo, es transparente y si la deja pasar. La cantidad de luz que entra en el ojo es regulada por el tamaño de la pupila que es una abertura del iris, el aro de músculos pigmentados situados detrás de la córnea.

El cristalino, que está inmediatamente detrás del iris, consiste en una serie de capas como las de una cebolla, transparentes. Su forma puede ser alterada por la contracción de la musculatura ciliar. Estos cambios de forma permiten al ojo enfocar imágenes de objetos próximos o alejados, proceso llamado acomodación.

Después de pasar por el cristalino, la luz atraviesa el interior del ojo, que contiene el humor vítreo. Éste es un líquido vidrioso, claro, gelatinoso, que proporciona al ojo su volumen. Después de atravesarla, la luz se proyecta sobre la retina, la capa interna de la parte posterior del ojo. En ella se localizan las células receptoras, los bastones y conos (denominados así por su forma), conocidos en su conjunto como fotorreceptores.

La retina humana tiene aproximadamente 120 millones de bastones y 6 millones de conos. A pesar de que hay muchos más bastones, los conos nos proporcionan la mayor parte de la información sobre nuestro entorno. En concreto, son responsables de la visión diurna. Nos suministran información sobre los detalles del entorno; por ello son los responsables de la visión más nítida o agudeza visual. La fovea, región central de la retina, media nuestra visión más aguda y sólo tiene conos. Los conos son también los responsables de la visión a color. La capacidad para discriminar luces de diferentes longitudes de onda. Aunque los bastones no detectan los diferentes colores y proporcionan una visión poco aguda, son más sensibles a la luz.

En un ambiente débilmente iluminado usamos la visión de los bastones; por ello con luz débil somos ciegos al color y carecemos de visión foveal. Si estamos en el exterior en una noche oscura y miramos directamente una luz y distante (es decir, centrando su imagen en la fovea) ésta desaparece.

Otra característica de la retina es el disco óptico, lugar donde los axones que llevan la información visual se reúnen y salen del ojo formando parte del nervio óptico. El disco óptico origina un punto ciego, porque en él no se localizan los receptores. Normalmente no percibimos los puntos ciegos, pero su presencia puede demostrarse.

Un examen más minucioso de la retina muestra que ésta consiste en varias capas de cuerpos celulares de neuronas. Sus axones y dendritas y los fotorreceptores. Éstos forman sinapsis con las células bipolares, neuronas cuyos dos brazos conectan las capas más superficial y más profunda de la retina. Sucesivamente, estas neuronas forman sinapsis con las células ganglionares, neuronas cuyos axones viajan por el nervio óptico (segundo par craneal) llevando la información visual al cerebro.

Además, la retina tiene células horizontales y células amarrinas; ambos tipos transmiten información en dirección paralela a la superficie de la retina, combinando así los mensajes de los fotorreceptores adyacentes.

### **Conexiones entre los Ojos y el Cerebro**

Los axones de las células ganglionares de la retina llevan información al resto del cerebro. Ascenden a través de los nervios ópticos y alcanzan el núcleo geniculado lateral dorsal del tálamo. Este núcleo se llama así por su semejanza con una rodilla doblada y tiene seis capas de neuronas, cada una de ellas recibe información de un solo ojo.

Las neuronas de las dos capas internas tienen cuerpos celulares más grandes que las de las cuatro capas externas. Por esta razón, las dos capas internas se denominan capas magnocelulares y las cuatro capas externas capas parvocelulares. Estos dos conjuntos de capas pertenecen a sistemas diferentes, que son responsables de diferentes tipos de información visual. Asimismo, reciben inputs de diferentes tipos de células ganglionares retinianas.

Las neuronas del núcleo geniculado lateral dorsal envían sus axones vía las radiaciones ópticas de la corteza visual primaria, una cisura horizontal localizada en el lóbulo occipital posterior y medial. La corteza visual primaria se denomina con frecuencia corteza estriada, por que tiene una capa de células que se tiñe oscuramente.

Los nervios ópticos se juntan en la base del cerebro para formar el quiasma óptico, estructura en forma de X. En él los axones de las células ganglionares que llevan la información de la mitad interna de la retina cruzan a través del quiasma y ascienden hacia el núcleo geniculado lateral dorsal del lado contrario del cerebro. Los axones de la mitad externa de la retina permanecen en el mismo lado del cerebro.

Además de la vía primaria retino-genículo-cortical, las fibras de la retina dan lugar a otras vías diferentes. Por ejemplo, una vía que va al hipotálamo sincroniza los ciclos de actividad de un animal al ritmo de 24 horas del día y la noche. Otras vías, especialmente las que viajan al tectum óptico y los núcleos pretectales, coordinan los movimientos de los ojos, controlan los músculos del iris (con ello el tamaño de la pupila) y la musculatura ciliar (que controla el cristalino) y ayudan a dirigir nuestra atención a los movimientos en la periferia del campo visual.

### **Codificación de la Luz y la Oscuridad**

Uno de los métodos más importantes para codificar la fisiología del sistema visual es la utilización de microelectrodos para registrar la actividad eléctrica de una única neurona. La cual comunican. El campo receptor de una neurona del sistema visual es la parte del campo visual que la neurona "ve", es decir, la zona sobre la cual la luz tiene que incidir para que se estimule esa neurona.

Obviamente, la localización del campo receptor de una neurona determinada depende de la localización del fotorreceptor que le proporciona la información visual. Si una neurona recibe información de fotorreceptores localizados en la fóvea, su campo receptor estará en el punto de fijación (el punto al cual está mirando el ojo). Si la neurona recibe información de los fotorreceptores localizados en la periferia de la retina, su campo receptor estará localizado fuera y a un lado de ese punto.

En la periferia de la retina muchos receptores individuales convergen en una única célula ganglionar, llevando información de un área relativamente grande del campo visual. Sin embargo, la visión foveal es más directa, con aproximadamente

igual número de células ganglionares y de conos. Esta relación receptor-célula ganglionar explica el hecho de que la visión foveal sea muy aguda, mientras que la visión periférica es menos precisa-

Hace más de sesenta años, Hartline (1938) descubrió que la retina de la rana tenía tres tipos de células ganglionares. Las células ON respondían con una descarga excitadora cuando se iluminaba la retina, las células OFF respondían cuando la luz se apagaba y las células ON/OFF respondían brevemente cuando se encendía y también cuando se apagaba.

Kuffler (1952, 1953), registrando células ganglionares de la retina del gato, descubrió que sus campos receptores consistían en un centro aproximadamente circular, rodeado por un aro. La estimulación de los campos central o circundante tenía efectos contrarios: las células ON se excitaban cuando la luz incidía en el campo central (centro) y se inhibían cuando lo hacía en el campo circundante (periferia), mientras que las células OFF respondían de forma contraria.

Las células ganglionares ON/OFF, se excitaban brevemente cuando la luz se encendía y apagaba. En la retina de los primates, estas células ON/OFF proyectan principalmente al colículo superior; así pues, no parecen tener un papel directo en la percepción de la forma.

Las neuronas cuya actividad es inhibida mientras la luz está encendida mostrarán una breve excitación cuando aquella se apaga. Por el contrario, las neuronas cuya actividad aumenta con la luz encendida mostrarán un periodo de inhibición cuando se apague.

Las dos categorías principales de células ganglionares y la organización de sus campos receptores en un centro y una periferia contrastados proporcionarán información útil al resto del sistema visual.

Consideremos en primer lugar, los dos tipos de células ganaglionares. Como indica Schiller (1992) las células ganglionares normalmente descargan a una tasa relativamente baja. Luego, cuando el nivel de iluminación en el centro de sus campos receptores aumenta o disminuye (por ejemplo, cuando un objeto se mueve el ojo realiza un movimiento sacádico), señalan el cambio. En particular, las células ON señalan incrementos y las células OFF señalan decrementos - pero ambas lo hacen mediante un aumento en la tasa de descarga -. Un sistema como éste es particularmente eficiente.

Teóricamente, un solo tipo de célula ganglionar puede descargar a una tasa intermedia e indicar cambios en el nivel de iluminación aumentando o disminuyendo su tasa de respuesta. Sin embargo, en este caso la tasa promedio del millón de axones de cada nervio óptico tendría que ser mucho más alta.

Diversos estudios han mostrado que las células ON y las OFF, efectivamente, señalan clases diferentes de información. Schiller, Sandell y Maunsell (1986)

inyectaron APB (2- amino-4-fosfonobutirato) a monos, una droga que bloquea selectivamente la transmisión sináptica de las células bipolares ON. Observaron que los animales eran poco capaces de detectar puntos más luminosos que el fondo pero no tenían dificultad para detectar puntos ligeramente más oscuros que éste.

Además, Dolan y Schiller (1989) hallaron que una inyección de APB bloqueaba completamente la visión con luz tenue, que normalmente está mediada por los bastones. Así, las células bipolares de los bastones deben de ser todas del tipo ON. Esta organización tiene sentido; con luz muy tenue somos más capaces de ver objetos luminosos sobre un fondo oscuro que objetos oscuros sobre un fondo luminoso.

La segunda característica de los campos de las células ganglionares - su organización centro-periférica - aumenta nuestra capacidad para detectar los contornos externos de los objetos incluso cuando hay poco contraste en el objeto y el fondo.

### **Codificación del Color**

Hasta ahora se han examinado las propiedades monocromáticas de las células ganglionares, es decir, sus respuestas a la luz y oscuridad. Pero, por supuesto, los objetos de nuestro entorno absorben selectivamente algunas longitudes de onda de la luz y reflejan otras, lo que proporciona a nuestros ojos la sensación de colores diferentes.

A pesar de que la visión monocromática (blanco y negro) es perfectamente adecuada para la mayoría de los propósitos, la visión del color nos proporciona, por ejemplo, la capacidad de distinguir la fruta madura de la inmadura y hace que sea más difícil para otros animales esconderse a través del camuflaje. Las retinas de los humanos, los monos del Viejo Mundo y los simios contienen tres tipos diferentes de conos, que les proporcionan la forma de visión del color más elaborada.

Sobre la visión del color se han propuesto desde hace años varias teorías (mucho antes de que se pudieran rechazar o validar a través de la fisiología). En 1802, Thomas Young, físico y médico británico, propuso que los ojos detectan colores diferentes por que tienen tres tipos de receptores, cada uno de ellos sensible a un único color. Su teoría fue denominada teoría tricromática. Fue sugerida por el hecho de que, para un observador humano, cualquier objeto puede ser reproducido mezclando diferentes cantidades de tres colores acertadamente seleccionados de puntos distintos del espectro.

Hay que remarcar que mezcla de colores es diferente de mezcla de pigmentos. Si se combinan pigmentos amarillos y azules la mezcla resultante es verde. La mezcla de colores se refiere a la adición de dos o más fuentes de luz. Si proyectamos un rayo de luz roja y otro de luz verde azulada, juntos sobre una

pantalla blanca, veremos luz amarilla. Si mezclamos luces amarilla y azul, obtendremos luz blanca. Cuando el blanco aparece en una pantalla de televisión en color o en el monitor de un ordenador, en realidad consiste en puntos muy pequeños de luz roja, azul y verde.

Otro factor de la percepción visual sugirió el fisiólogo alemán, Edward Hering (1905-1965) que el color debería estar representado en el sistema visual en forma de colores oponentes. Los humanos han considerado desde hace mucho los colores amarillo, azul rojo y verde como primarios. (El negro y el blanco son también primarios, pero los percibimos como incoloros). Todos los demás colores pueden ser descritos como mezclas de estos colores primarios.

El sistema tricromático no puede explicar por qué el amarillo se incluye en este grupo. Además algunos colores parecen mezclarse, mientras que otros no. Por ejemplo, se puede hablar de un verde azulado o un verde amarillento y el anaranjado parece tener cualidades rojas y amarillas. El púrpura parece rojo y azul. Sin embargo, intentemos imaginar un verde rojizo o un amarillo azulado. Es imposible; son colores que parecen opuestos entre sí. Estos hechos tampoco son explicados por la teoría tricromática.

### **Fotorreceptores: Codificación Tricromática**

Las investigaciones fisiológicas de los fotorreceptores de la retina de los primates superiores dieron la razón a Young: tres tipos diferentes de fotorreceptores (es decir, tres tipos diferentes de conos) son responsables de la visión del color.

Los investigadores han estudiado las características de absorción de cada uno de ellos, determinando la cantidad de luz de las diferentes longitudes de onda que es absorbida por los fotorreceptores. Estas características son controladas por el tipo de opsina que tiene cada fotorreceptor; diferentes opsinas absorben determinadas longitudes de onda más eficazmente. Los picos de sensibilidad de los tres tipos de conos son aproximadamente 420 nm (azul-violeta), 530 nm (verde) y 560 nm (amarillo-verde).

El pico de sensibilidad del cono de longitud de onda corta es realmente 440 nm en el ojo intacto, por que el cristalino absorbe algo de longitud de onda corta. Por conveniencia, los conos de longitudes de onda corta, media y larga son tradicionalmente denominados, conos "azules", "verdes" y "rojos", respectivamente. La retina tiene aproximadamente el mismo número de conos "rojos" y "verdes" pero un número menor de "azules" (aproximadamente el 8 por ciento del total).

Los defectos genéticos en la visión del color parecen ser resultado de anomalías en uno o más de los tres tipos de conos (Boynton, 1979; Nathans y cols., 1986). Los dos primeros tipos de defectos en la visión del color que aquí se describen implican genes del cromosoma X; por ello como los varones sólo tienen un cromosoma X, tienen más predisposición a sufrir esta anomalía, mientras que las

mujeres tienen la probabilidad de tener un gen normal en uno de sus cromosomas X, lo que compensa al defectuoso.

Las personas con protanopia (defecto del primer color) confunden el rojo y el verde. Ven el mundo en sombras de amarillo y azul; tanto el rojo como el verde les parecen amarillentos. Su agudeza visual es normal, lo que sugiere que sus retinas no carecen de conos "rojos" y "verdes". Este hecho y su sensibilidad a las luces de diferentes longitudes de onda, sugiere que los conos "rojos" están rellenos de opsina de los conos "verdes". Las personas con deuteranopia (defecto del segundo color) también confunden el rojo y verde y tienen una agudeza visual normal. Sus conos "verdes" parecen estar rellenos de opsina de los conos "rojos".

La tritanopia (defecto del tercer color) es rara, afecta a menos de una de cada 10.000 personas. Esta anomalía implica un gen defectuoso no localizado en el gen X; así, predomina igual en hombres que en mujeres. Las personas con tritanopia tienen dificultades con los colores de longitudes de onda corta y ven el mundo en verdes y rojos. Para ellos, un cielo azul claro es de un verde brillante, y el amarillo parece rosa. Sus retinas parecen carecer de conos "azules". Debido a que la retina tiene pocos de estos conos, su ausencia parece no afectar a la agudeza visual de forma notoria.

### **Células Ganglionares de la retina: codificación por procesos oponentes**

A nivel de las células ganglionares de la retina, el código de tres colores cambia a un sistema de oposición al color. Daw (1968) y Gouras (1968) observaron que estas neuronas responden específicamente a pares de colores primarios, con el rojo oponiéndose al verde y el azul al amarillo. Así, la retina tiene dos tipos de células ganglionares sensibles al color: rojo – verde y amarillo – azul. De este modo, la retina tiene dos tipos de células ganglionares sensibles al color responden de manera centro periférica. Por ejemplo, una célula se excitaría con el rojo y se inhibiría con el verde en el centro del su campo receptor, mientras que mostraría la respuesta opuesta en el aro periférico.

Otras células ganglionares que reciben inputs de los conos no responden diferencialmente a las diferentes longitudes de onda, limitándose a codificar luminosidades relativas en el centro y la periferia. Estas células sirven como detectoras de "blanco y negro".

Las características de respuesta de las células ganglionares de la retina a la luz de diferentes longitudes de onda son determinadas, obviamente, por los circuitos particulares que conectan los tres tipos de conos con los dos tipos de células ganglionares. Estos circuitos implican diferentes tipos de células bipolares, amadrinas, y horizontales.

A pesar de que se han hecho progresos (Dacey, 1996; Dacey y cols., 1996), el circuito retiniano sigue siendo desconocido. La detección y codificación de luces rojas, verdes o azules puras son lo más fácil de entender. Por ejemplo, la luz roja, excita a los conos "rojos", lo que causa la excitación de las células ganglionares rojo-verdes. La luz verde excita a los conos "verdes", lo que causa la inhibición de las células rojo-verdes.

Pero consideremos ahora el efecto de la luz amarilla. Debido a las longitudes de onda que producen la sensación de amarillo son intermedias entre el rojo y el verde, esta luz estimulará igualmente a los conos "rojos" y a los "verdes". Las células ganglionares amarillo-azules son excitadas por los conos "rojos" y "verdes".

Sin embargo, las células ganglionares rojo-verdes son excitadas por el rojo e inhibidas por el verde, así que sus tasas de actividad no cambian. El cerebro detecta un aumento en la tasa de actividad de los axones de las células ganglionares amarillo-azules, lo que interpreta como amarillo. La luz azul simplemente inhibe la actividad de las células ganglionares amarillo-azules.

El sistema de oposición al color empleado por las células ganglionares explica por qué no se puede percibir un color verde rojizo o un amarillo azulado: un axón que señala rojo o verde (o amarillo o azul) puede aumentar o disminuir su tasa de actividad; no puede hacer ambas cosas a la vez. Un verde rojizo tendría que ser señalado por una célula ganglionar descargando lenta y rápidamente al mismo tiempo, lo que es obviamente imposible.

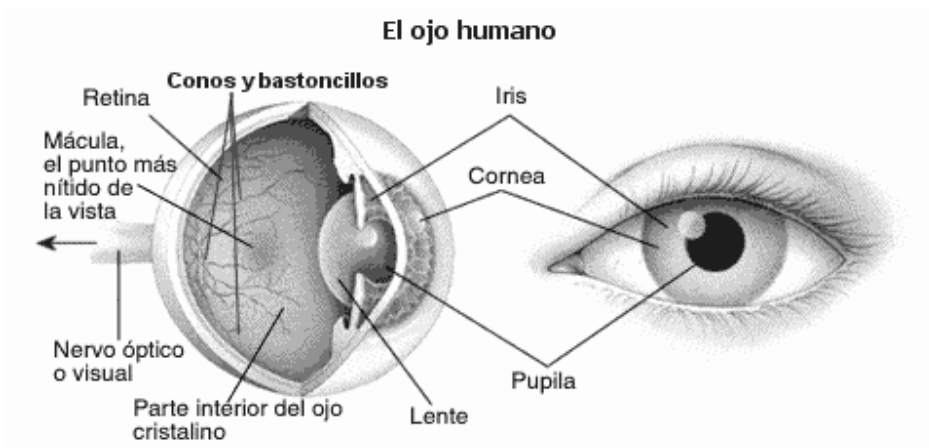


Figura 1. Ojo Humano

## 1.2 QUE ES LA COLORIMETRÍA



La colorimetría tricromática, tal como se la conoce actualmente, no tiene muchos años de existencia, aunque los primeros intentos por medir y comprender los conceptos relativos al color se remontan a Aristóteles (384-322 a. C.).

Se entiende como **Colorimetría** la ciencia que estudia los colores, caracterizándolos mediante números, para que una vez que se encuentran cuantificados poder operar con ellos y deducir características de los colores obtenidos mediante mezclas, así como para averiguar las cantidades que hay que mezclar de varios colores elegidos y considerados como primarios para obtener el color deseado.

Básicamente, los colores que el ser humano percibe en un objeto están determinados por la naturaleza de la luz reflejada del objeto. El color del objeto no sólo depende del objeto en sí, sino de la fuente de luz que lo ilumina, del color del área que le rodea y del sistema visual humano (el mecanismo ojo-cerebro).

La luz visible se compone de una banda de frecuencias relativamente estrecha en el espectro de la energía electromagnética. Un cuerpo que refleja luz que tiene más o menos todas las longitudes de onda visibles, aparece como blanco al observador. Sin embargo, un cuerpo que es propicio a reflejar un rango limitado del espectro visible muestra algunas tonalidades de color. Por ejemplo, los objetos verdes reflejan luz con longitudes de ondas principalmente entre los 500 y 570 nm, mientras que absorben la mayoría de la energía a otras longitudes de onda.

El *Tono* es un atributo asociado con la longitud de onda dominante en una mezcla de ondas de luz. Así, el tono representa el color percibido por el observador; cuando llamamos a un objeto rojo, naranja o amarillo estamos especificando el tono.

La *Saturación* se refiere a cómo de puro es el color, es decir, cuánto blanco se mezcla con él. Se parte del color blanco hasta llegar al color totalmente saturado.

La *Claridad* implica la noción que percibimos de la intensidad de luz en un objeto reflectante, es decir, que refleja la luz pero no tiene luz propia. El intervalo de claridades está comprendido entre el blanco y el negro pasando por todos los grises.

El *Brillo* se usa en lugar de la claridad para referirse a la intensidad percibida por un objeto con luz propia (emitida y no reflejada), tal como una bombilla, el Sol, etc...

La *Crominancia* engloba la información que aportan el tono y la saturación, por lo que podemos considerar un color caracterizado por su brillo y crominancia.

### 1.2.1 Breve Historia de la Colorimetría

Los primeros intentos por abordar el tema del color fueron abordados por Aristóteles (384-322 a.C.), Newton con su obra "Óptica" (1704), Dalton (1794), Young (1802), Grassman (1853), Maxwell (1860), Rayleigh (1882), König (1897)... y así hasta llegar a 1913 a la creación de la Comisión Internacional de Iluminación o CIE y más concretamente a la reunión en Cambridge de 1931 en que el comité técnico del CIE en "Visión y Color" definió unos patrones para la especificación numérica del color.

En 1666 Isaac Newton mostró que cuando un rayo de luz traspasaba un prisma de cristal, el rayo de luz de salida no era blanco, sino que estaba formado de un espectro continuo de colores que iban desde el violeta al rojo; el espectro de color podía dividirse en 6 regiones: violeta, azul, verde, amarillo, naranja y rojo. Ningún color del espectro termina tajantemente sino se combina suavemente con el siguiente.

Los colores que percibe el ser humano están determinados por la naturaleza de luz reflejada en el objeto, el color depende de la fuente de luz que lo ilumina, del color del área que lo rodea y del sistema visual humano.

La luz visible se compone de una banda de frecuencias relativamente estrecha en el espectro de la energía electromagnética. Un cuerpo que refleja luz que tiene más o menos todas las longitudes de onda visibles aparece como blanco al observador. Sin embargo, un cuerpo que es propicio a reflejar un rango limitado del espectro visible muestra algunas tonalidades de color.

### **La Rueda de Color de Newton (1700)**

Se utilizó como un sistema cuantitativo para medir el color, usando siete tonos primarios en un círculo. Posteriormente, surge la rueda de Newton modificada, que incluía púrpuras (mezcla de rojo y violeta) pero todavía no era un método totalmente exacto.

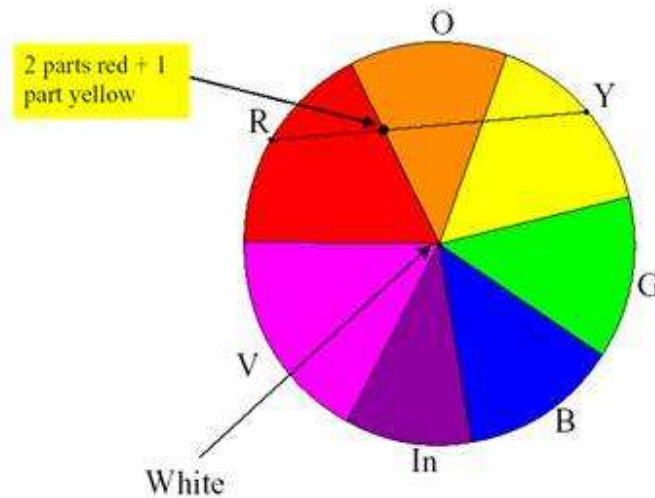


Figura 2. Rueda de Newton Modificada.

### Sistema Munsell (1915)

Se crea a partir de datos preceptuales. Consiste en asignar una variable a cada atributo, de forma que los escalones de las mismas sean perceptivamente iguales en cada una de ellas. Se obtiene la siguiente tabla:

Tabla 1. Sistema Munsell

Atributo	Variable Munsell	No. De Escalones
Brillo	Valor	0-10
Tono	Tono	0-100
Saturación	Croma	0-20 (¿ilimitada?)

Los tonos están contenidos en un círculo, donde una rotación de 20° causan siempre el mismo cambio (que se traducen en cambios en la percepción) independientemente de dónde comience el círculo. La saturación y el brillo permanecen sin alteración. Los tonos que aparecen son R (rojo), YR (amarillo-rojo), Y (amarillo), GY (verde-amarillo), G (verde), BG (azul-verde), B (azul), PB (púrpura-azul), P (púrpura) y RP (rojo-púrpura).

El brillo se mide por la altura, de modo que si se mueve verticalmente en el mismo eje no cambian la saturación ni el brillo; la saturación se mide por la distancia desde el centro del círculo hacia el exterior, siendo más saturado cuanto más alejado se esté del centro. En el espacio 3D se pueden distinguir más niveles de saturación de azul que del amarillo.

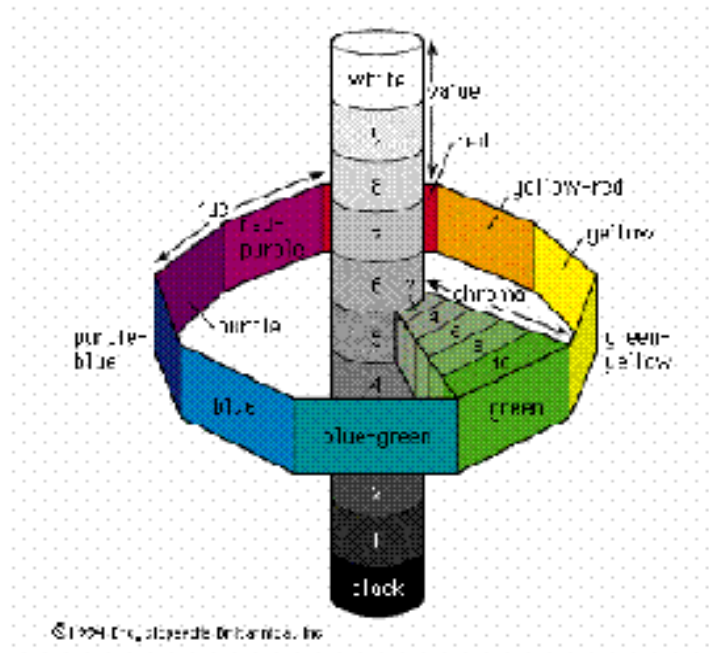


Figura 3. Tonos sistema Munsell



Figura 4. Diagrama sistema Munsell

## El libro de color de Munsell

Se estima que un observador normal puede distinguir en condiciones muy favorables de observación y por comparación directa, hasta 10 millones de colores diferentes; estableciendo los escalones (lo más iguales posibles) basados en los cambios mínimos perceptibles del color. Así, se diseña un atlas Munsell con muestras de colores clasificados (si fuera necesario, pueden añadirse más) por los valores de las variables Munsell, de forma que se puede definir un color de forma diferenciada del resto.

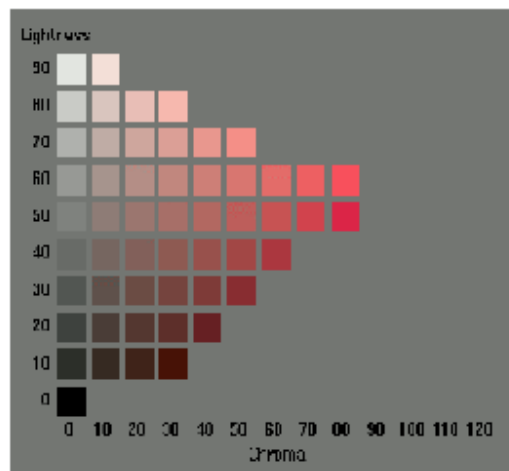


Figura 5. Libro de color Munsell

## 1.3 Colorimetría del Color

La filosofía de la colorimetría tricolor puede asentarse en unas pocas reglas, las cuales son expresiones formales de los resultados de experimentos y son estrictamente verdaderas sólo bajo las limitadas condiciones de las mediciones de color:

Estas reglas o axiomas son:

1. Cualquier color puede ser combinado por una mezcla de no más de tres luces de colores. Este principio fundamental fue determinado por Wünsch en 1792. Así como lo había señalado Maxwell, se requiere interpretación en algunos casos.
2. Una combinación hecha por un nivel de radiancia abarca un amplio rango de niveles de radiancia. Esta regla fue derivada de la aplicación repetida de las reglas 5 y 6 que se mencionan a continuación. Esto ha fallado en muy altos o muy bajos niveles de iluminación.

3. Los componentes de las mezclas de luces de colores no puede ser resuelta sólo por el ojo humano. Este hecho fue conocido desde hace mucho tiempo, ya que está establecido en los escritos de Newton.
4. La luminancia de una mezcla es igual a la suma de las iluminancias de sus componentes. Esta es una de las afirmaciones hechas por Grassmann, con sus observaciones y experimentos y ha sido demostrada por Abney y Festing. Ello fue considerado un axioma durante largo tiempo.
5. Las combinaciones de colores obedecen a la ley de la adición, esto es, si el color (*M*) combinaciones de color (*N*) y si el color (*P*) combina al color (*Q*), entonces la mezcla aditiva de colores (*M*) y (*P*) combina la mezcla aditiva de colores (*N*) y (*Q*). Esta regla es conocida como la regla de Grassmann.
6. Las combinaciones de color obedecen a la sustracción; esto es, si la mezcla aditiva de colores (*M*) y (*P*) combinan la mezcla aditiva de colores (*N*) y (*Q*) y si el color (*P*) combina al color (*Q*), entonces el color (*M*) combina al color (*N*).
7. Las combinaciones de color obedecen a la ley transitiva, esto es, si el color (*M*) combina al color (*N*) y si el color (*N*) combina al color (*P*), entonces el color (*M*) combina al color (*P*). Este establecimiento fue hecho por Newton y Maxwell, de acuerdo a sus resultados experimentales. Fue utilizado por Grassmann en su análisis complementario de colores. Helmont lo estableció explícitamente.
8. Una combinación de color puede iniciarse en una ecuación de color. Por ejemplo, el color (*C*) es combinado por la mezcla aditiva de unidades *M* de color (*M*), unidades *N* de color (*N*) y *P* unidades de color (*P*), puede ser descrito como:

$$(C) = M (M) + N(N) + P(P)$$

Si interpretamos el signo = como “combinaciones de color”, el signo + como una “aditividad mezclada con”, esta ecuación es una abreviación obvia del enunciado. De cualquier modo, la ecuación del color tiene mayores implicaciones que estas. Si asumimos la existencia de un espacio de color, cada color es representado como un punto en dicho espacio de color. Las coordenadas del punto correspondiente al color (*C*) son dadas por las cantidades *M*, *N* y *P*, donde los símbolos (*M*), (*N*) y (*P*) representan vectores a lo largo de los ejes en los cuales dichas coordenadas son medidas. Estas cantidades (*M*), (*N*) y (*P*) son operadores análogos a los vectores en esta ecuación de interpretación del color. Estas ecuación es fueron utilizadas, en primer sentido por Grassmann y posteriormente por Maxwell.

Se espera que la Colorimetría responda a la cuestión: cual es la fuerza, intensidad, *c* de los 3 receptores primarios, los cuales, en una mezcla aditiva proporcionan combinaciones de colores y dan una composición de radiancia a la cámara de la televisión. En la quinta regla, estas mezclas de color obedecen a ley de la adición. Podemos aplicar esta regla para considerar separadamente todas las mezclas de color posibles en el espectro de color, correspondiente a

las radiancias dadas en estrechas bandas extendidas en  $\lambda - (\Delta\lambda/2)$  a  $\lambda + (\Delta\lambda/2)$ . La fuerza de cada primario para mezclar toda la distribución es dada por la suma de todas las longitudes de onda para todos estos componentes.

Obviamente, este cálculo puede llevarse a cabo sólo si se conocen las fuerzas de los primarios requeridos para las mezclas del espectro de colores. Estos datos, denominados “Valores Triestímulo para Estímulos Espectrales de Misma Radiancia”, son fundamentales en Colorimetría.

## 1.4 Estándares de Colorimetría

El espectro electromagnético visible para el ojo humano ocupa aproximadamente un octavo, de 380 nm a 760 nm. La forma en que el sistema visual humano percibe la luz es por asociación de colores por frecuencias. El ojo tiene una sensibilidad máxima por el color verde y una menor por el color azul y rojo.

La percepción de color está asociada a un conjunto de 6 a 7 millones de células ubicadas en la retina, llamadas conos. Los estudios indican que hay tipos especializados de conos que responden a estímulos rojos, verdes o azules. Los conos tienen una baja sensibilidad a las bajas intensidades de luz. Tienen aún una baja sensibilidad a los detalles de los estímulos visuales.

Para las bajas intensidades de luz se encuentran en el ojo el segundo tipo de células llamadas bastones, también situadas en la retina y existen entre 110 y 130 millones. Los bastones tienen una alta sensibilidad y una alta resolución para percibir detalles de los estímulos visuales.

### 1.4.1 Estándares de Colorimetría en la Televisión

La televisión a color cuenta con propiedades que controlan la sensación visual conocidas como brillo, matiz y saturación. Todos los colores visibles del espectro pueden ser generados por una combinación de 3 colores primarios.

La reproducción fotográfica de colores está basada en el proceso de sustracción de colores. Una luz blanca iluminando una superficie iluminada da como resultado que se absorban todas las longitudes de onda, excepto una, la cual es reflejada e identifica el color del objeto.

Los colores primarios de la televisión son el rojo, con una longitud de onda de 700 nm, el verde, con una longitud de onda de 546 nm y el azul, con una longitud de onda de 435.8 nm.

Los estándares de colorimetría definen lo siguiente:

1. *Las coordenadas x,y de los colores primarios y el blanco como referencia.* Esto involucra las especificaciones de las coordenadas x, y y, representando los colores primarios y el blanco como referencia.
2. *Las características transferibles.* La característica transferible de la CRT es inherentemente no lineal. La función de transferencia es aproximadamente exponencial y comúnmente referida como la curva "gamma". La función gamma es principalmente una función de la reproducción de la luz de la CRT. Para poder conservar todas las características lineales de transferencia, la no linealidad de la CRT es compensada por otra parte del sistema.

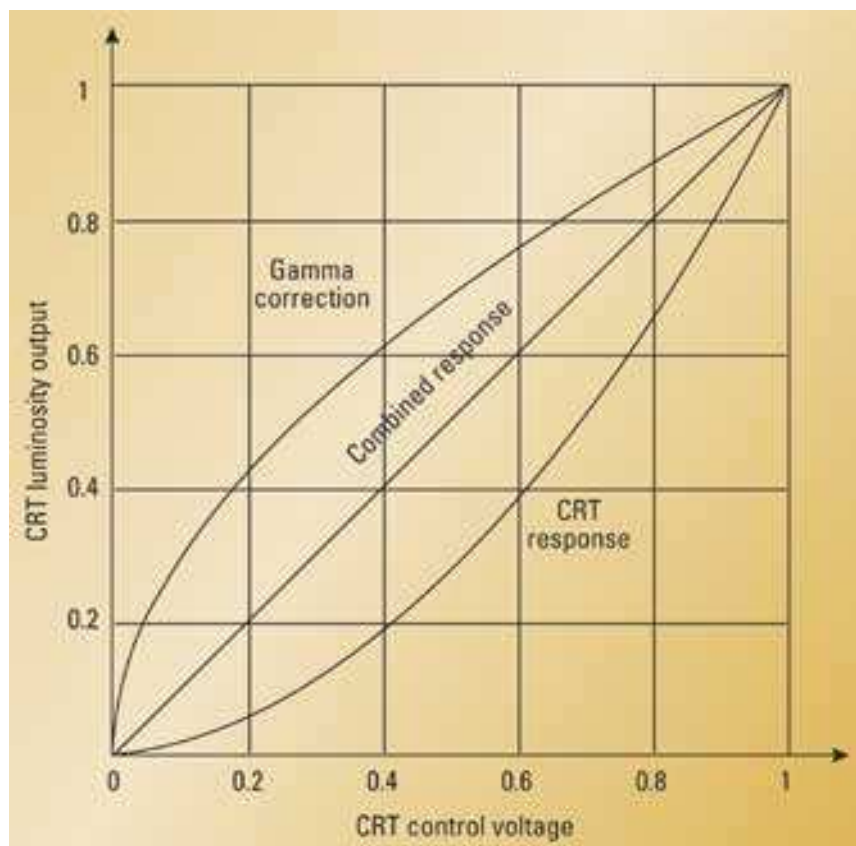


Figura 6. Características de la función CTR

La figura 6 muestra como una no lineal CRT es compensada por una pre-corrección de una señal original. Históricamente la compensación es aplicada en la cámara y se refiere a una corrección gamma. Este resultado pre-distorsionado en las señales rojas, verdes y azules para conformar las características de la CRT como se muestra:



$$\begin{aligned}G_{transmit} &= G_{pickup}^{1/Y} = E'_G \\B_{transmit} &= B_{pickup}^{1/Y} = E'_B \\R_{transmit} &= R_{pickup}^{1/Y} = E'_R\end{aligned}$$

El estándar NTSC tiene definida una gamma de 2.2, mientras que los estándares PAL y SECAM tienen una gamma de 2.8. Nótese que la ITU-R BT.601 no especifica las coordenadas x, y ni la gamma. Algunas organizaciones utilizan los valores de NTSC y otras los del PAL. Estándares más recientes, tales como ITU-R BT.709M, especifican expresiones matemáticas complejas, las cuales son aplicadas a las señales no lineales R, G, B para compensar las no linealidades definidas por la CRT. Éstas pueden tener un efecto positivo en la influencia de ruido en la reproducción de la imagen. El ojo humano es más sensible a percibir ruido en áreas oscuras, donde el comportamiento de la Gamma de la CRT reduce la visión.

La ITU-R.BT. 470-4(NTSC1953) define parámetros del sistema NTSC de Televisión a color, adoptados para la transmisión en los Estados Unidos en 1953. Estos parámetros son un reflejo de la tecnología existente en la CRT. Posteriormente las versiones de los sistemas PAL y SECAM utilizaron los mismos parámetros y las tecnologías CRT utilizaron fósforos con diferentes cromaticidades. Ello requirió una revisión y actualización de los estándares de colorimetría. La ITU-R.BT.470-4 (PAL B,G) utilizaron parámetros diferentes. Las especificaciones de la NTSC fueron redefinidas en 1995 como SMPT 170M y usaban parámetros similares a aquellos utilizados por PAL y SECAM. El estándar de ITU-R BT.601 especifica los parámetros del formato de componente digital SDTV.

Nota que los factores de escala de diferencia de color son ligeramente diferentes a aquellos utilizados por NTSC y PAL. Ello debido a que estas señales tienen una amplitud de señal pico a pico igual a la de señal de luminancia que no es como la de NTSC y PAL. El estándar ITU-R.BT.709 es la versión para el HDTV.

Las señales que usan el estándar NTSC 1953 difieren considerablemente de las que utilizan los nuevos estándares, los cuales tienen mayores diferencias.

## 1.5 Evolución de la Colorimetría

Las coordenadas primarias de cromaticidad R, G, B especificadas por la NTSC/FCC en diciembre de 1953, proveen una amplia gama de color. Los primarios fosforescentes utilizados en los rayos catódicos, han cambiado a lo largo de los años y aún siguen cambiando, usualmente para proveer imágenes más brillantes a expensas de la reducción de la gama de color. Las coordenadas (x, y) para fosforescencias verdes utilizadas en 1973 por la NTSC/FCC son más

utilizadas que las fosforescencias rojas y azules. Las coordenadas de cromaticidad de algunos pasos representativos de la evolución de los primarios se muestran en la siguiente tabla:

Tabla 2. Cromaticidades Fosforescentes representativas.

Conjunto de Fosforescencias Datos usados		Coordenadas de cromaticidad					
		R		G		B	
		X	Y	x	Y	x	y
NTSC		.670	.330	.210	.710	.140	.080
54	1954	.674	.326	.218	.712	.146	.052
61	1961	.673	.337	.285	.600	.155	.060
64	1964	.650	.325	.260	.600	.157	.047
69	1969	.628	.337	.300	.600	.150	.068
70	1970	.640	.335	.330	.590	.150	.070
71	1971	.623	.342	.326	.591	.155	.067
72-1	1972/3	.638	.334	.324	.591	.149	.074
72-2	1972/3	.625	.339	.337	.574	.151	.070
72-3	1972/3	.618	.339	.316	.592	.153	.074

Los iluminantes blancos normalizados especificados por la NTSC/FCC de diciembre de 1953 es el iluminante C (correlacionado con temperatura de color a 6770 K). La temperatura del iluminante blanco o de color, la cual recibe, ha sido modificada a lo largo de los años. Información disponible sugiere que el color de temperatura nominal fue cerca de los 8500 K ( $x = 0.287$ ,  $y = 0.316$ ) aunque hasta 1960 se recorrió a 9300 K + 27 MPCD ( $x = 0.281$ ,  $y = 0.311$ ). En 1973 aparecen los comienzos para la iluminante de 6500 los cuales en la práctica son los estándares para monitores de color. El iluminante D6500 es preferible en puntos fijos de colorimetría, con esto se pueden desechar prácticas con fosforescencias en boga en 1972 /3. Esto no era correcto hace unos años.

Los receptores de televisión a color fueron diseñados para proveer de codificadores a la NTSC. A principios de 1960 las ganancias y ángulos de demodulación del color empezaron a ser modificados empíricamente para mejorar el color de las imágenes en los receptores los cuales utilizaban fosforescencias que no eran las coordenadas de cromaticidad NTSC/FCC y eran conjuntos nominales de 9300 K + 27 MPCD blanco.

Un documento presentado y publicado en 1966 por N. W. Parker describe una técnica donde los errores de color pueden ser reducidos utilizando un blanco no estandarizado. Los efectos de la corrección de la gama de la cámara y la gama de los tubos de rayo catódico se incluyeron. Las ganancias y ángulos de la demodulación de color fueron dados por una operación con 9300 K y utilizando un juego de fosforescencias cuyas coordenadas de cromaticidad eran muy diferentes de aquellas utilizadas comúnmente en aquellos tubos de imágenes en 1972/3.

El Sub-Comité de Colorimetría del Sistema de Televisión del Comité de Televisión SMPTE recientemente ha examinado a detalle la corrección de las características

## Análisis de los diagramas de color de la CIE en la Televisión

colorimétricas que con estándares que no son de la NTSC/FCC comparando los datos proporcionados por el Doctor L.E. DeMarsh muestran errores de colores residuales en sistemas que utilizan matrices correctivas calculadas de diferentes formas llego a la conclusión de que operando con D6500 se tienen mejores resultados que utilizando cualquier otra transformación directa.

La matriz correctiva puede ser un estándar, excepto para algunos modelos introducidos en 1970, tengan usos estrictamente decodificadores de acuerdo a la NTSC.

La tabla 3 muestra la demodulación de color deseada al utilizar D6500, versus la evolución fosforescente. LA matriz correctiva  $[K]$  fue calculada por un método de transformación directa y después convertida a ganancias y ángulos de demodulación:

Tabla 3. Demodulación de color deseado vs. Evolución fosforescente, calculada para D6500

Conjunto de Fosforescencias	Demodulación del color	R-Y	G-Y	B-Y
54	Ganancia	1.201	.5688	2.011
	Ganancia Normalizada	1.0	.4735	1.674
	Ángulo	92.47	247.1	-.1542
61	Ganancia	1.773	.6204	2.182
	Ganancia Normalizada	1.0	.3498	1.23
	Ángulo	92.11	247.1	1.056
64	Ganancia	1.585	.568	2.296
	Ganancia Normalizada	1.0	.3584	1.449
	Ángulo	94.35	252.5	.6288
69	Ganancia	1.87	.714	2.189
	Ganancia Normalizada	1.0	.3818	1.17
	Ángulo	94.35	244.5	-.2632
70	Ganancia	2.301	.6954	2.124
	Ganancia Normalizada	1.0	.3022	.9233
	Ángulo	87.9	243	-.2954
71	Ganancia	2.307	.7242	2.143
	Ganancia Normalizada	1.0	.3139	.9288
	Ángulo	89.87	246.6	-.5369

La tabla 4 muestra datos similares a 9300 K, calculados para un error 0 antes de Parker.

## Análisis de los diagramas de color de la CIE en la Televisión

Tabla 4. Demodulación del color deseado vs. La evolución fosforescente, calculada para 9300K

Conjunto de Fosforescencias	Demodulación del color	R-Y	G-Y	B-Y
54	Ganancia	1.787	.6292	2.427
	Ganancia Normalizada	1.0	.352	1.358
	Ángulo	111.1	260.1	-8.404
61	Ganancia	2.725	.6834	2.657
	Ganancia Normalizada	1.0	.2508	.975
	Ángulo	110.5	260.6	-6.107
64	Ganancia	2.449	.6592	2.83
	Ganancia Normalizada	1.0	.2691	1.156
	Ángulo	112.3	266	-6.028
69	Ganancia	2.825	.7625	2.68
	Ganancia Normalizada	1.0	.2699	.9486
	Ángulo	108.1	258.3	-7.698
70	Ganancia	3.538	.7338	2.587
	Ganancia Normalizada	1.0	.2074	.7313
	Ángulo	106.6	256.4	-8.052
71	Ganancia	3.619	.7882	2.616
	Ganancia Normalizada	1.0	.2178	.7231
	Ángulo	108.5	260.9	-8.257

La tabla 5 muestra la demodulación deseada de color con D6500 para 3 diferentes conjuntos de fosforescencias utilizadas en 1972/3. Tablas 4, 5 y 6 muestran el color dado por la temperatura, muestran también el color deseado por los cambios en la demodulación con cromaticidades de los primarios.

## Análisis de los diagramas de color de la CIE en la Televisión

Tabla 5. Demodulación del color deseado vs. Diferentes fosforescencias 1972/3 en D6500

Conjunto de Fosforescencias	Demodulación del color	R-Y	G-Y	B-Y
NTSC	Ganancia	1.14	.7025	2.03
	Ganancia Normalizada	1.0	.6162	1.781
	Ángulo	90	235.7	0
72-1	Ganancia	2.176	.7143	2.142
	Ganancia Normalizada	1.0	.3283	.9847
	Ángulo	87.45	241.3	-.3081
72-2	Ganancia	2.547	.7314	2.174
	Ganancia Normalizada	1.0	.2872	.8539
	Ángulo	87.67	244.2	-.3837
72-3	Ganancia	2.103	.7563	2.181
	Ganancia Normalizada	1.0	.3597	1.037
	Ángulo	89.01	243.5	-.6551

La tabla 6 muestra la demodulación del color deseado por una sola fosforescencia versus el color blanco y la gama del sistema. Es evidente que la decodificación del color deseado es un poco diferente para D6500 y blanco de 9300 K.

Tabla 6. Demodulación del color deseado para conjunto de fosforescencias 72-1 vs color blanco y gama del sistema.

Color blanco	Gama del sistema	Demodulación del color	R-Y	G-Y	B-Y
D6500	1 (Transformación directa)	Ganancia	2.176	.7143	2.142
		Ganancia Normalizada	1.0	.3283	.9847
		Ángulo	87.45	241.3	-.3081
D6500	1	Ganancia	2.176	.7143	2.142
		Ganancia Normalizada	1.0	.3283	.9847
		Ángulo	87.45	241.3	-.3081
D6500	1/2.2 (Cámara) 2.2 (pantalla)	Ganancia	2.126	.7301	2.184
		Ganancia Normalizada	1.0	.3435	1.027
		Ángulo	85.12	240.9	.07825
9300	1	Ganancia	3.944	.6841	2.46
		Ganancia Normalizada	1.0	.1735	.6238
		Ángulo	110.9	257.9	-6.75
9300	1/2.2 (Cámara) 2.2 (pantalla)	Ganancia	3.299	.7411	2.613
		Ganancia Normalizada	1.0	.2246	.792
		Ángulo	106.2	254.4	-7.981

## 1.6 ¿Por qué dependemos de la Colorimetría en la Televisión a Color?

El estrecho paralelismo entre la demostración de Maxwell sobre color de fotografía y la televisión a color fue destacada. Actualmente no podemos encontrar la respuesta para los problemas de color en la televisión aunque en la fotografía hay cada vez más aditivos para el color.

Actualmente F.E.Ives utiliza emulsiones fotográficas que entran en el espectro humano visible, repitiendo la demostración de Maxwell en 1888. Posteriormente, en ese mismo año, se indicó que las características de sensibilidad espectral en los canales de la cámara deben asemejarse a las características de mezclas de color que Maxwell midió y se corrigió su técnica para darle más exactitud. Más tarde se lanzaron al mercado 3 cámaras de color, proyectores, monitores, para color aditivo de fotografía. Dichos aparatos eran complicados y requerían manipularse con cuidado, por consecuencia no tuvieron mucha demanda comercial. Posteriormente unas pantallas de color fotográfico se lanzaron pero estas técnicas de color eran empíricas.

Las relaciones fundamentales asentadas por F.E.Ives entre las características de visión y sensibilidad de los canales fueron utilizadas por su hijo Herbert E. Ives en el diseño del sistema de la televisión a color en 1929. De cualquier modo, estos principios no recibieron consideración hasta que en 1937 Hardy y Wurzburg escribieron un documento que contenía las bases teóricas para las leyes de reproducción aditiva del color en la ciencia de la Colorimetría.

El color de las impresiones era un proceso subtractivo, diluido con algunas características del proceso aditivo, en consecuencia, mucho de este desarrollo ha sido a lo largo de líneas empíricas. Ha habido un poco de impaciencia por que ha sido demasiado complicado modificar la teoría aditiva del color por que hay procesos de híbridos en el color, además de que se prevén escasas ganancias comerciales debido a la gran complejidad de la teoría. Ha sido reciente que a través de métodos de escáner se cree color, con la ventaja de cualquier otra teoría del color que sea realizado con impresión subtractiva de color.

Todo este desarrollo de técnicas de reproducción de color desde 1937 se ha basado en el conocimiento del campo de la Colorimetría. Los primeros intentos modernos de medición de color fueron hechos simultáneamente con las primeras nociones de reproducción aditiva del color. Maxwell y Grassmann sugirieron que cualquier color especificado en términos de mezcla de colores puede aparecer con ésta. Maxwell, en dos documentos expresa que cualquier color puede ser especificado en términos de una mezcla de tres colores estándar con los cuales se combina.

Grassmann recomienda la especificación del color en términos de la mezcla de blanco con luz de color saturado. Esta saturación de luz es identificada como la longitud de onda del espectro. En la actualidad podemos encontrar estos métodos para especificación de color.

La especificación del color en términos numéricos hubiese perdido seguimiento de la reproducción aditiva del color si Abney y un poco más tarde F.E. Ives no lo destacan al mismo tiempo que la especificación empezaba a tener una importancia comercial importante. La Colorimetría es una ciencia es una ciencia que está continuamente desarrollándose, perfeccionándose hasta este milenio.

La reproducción aditiva del color y la Colorimetría tienen un inicio común en los trabajos de Maxwell. Un proceso de color no aditivo ha aparecido y con suficiente importancia comercial y apunta al desarrollo de una corriente teórica aparte. La Colorimetría, en contraste, con un interés comercial fuerte en la especificación del color ha tenido un continuo crecimiento en cuanto a lo teórico y también en las técnicas de medición. Afortunadamente, es posible aplicar mucha de la teoría de esta ciencia al problema de la reproducción aditiva del color.

## 2. CARACTERÍSTICAS DE LA RECEPCIÓN Y REPRODUCCIÓN DEL COLOR EN LA TELEVISIÓN

### Cámara de televisión a color

La cámara de color en realidad consiste de 3 cámaras en una, cada cual con salidas de señales de video separadas. Una cámara de estudio típica contiene tres tubos de captura, uno para cada color primario. En la siguiente figura se ilustran los componentes básicos de una cámara de color:

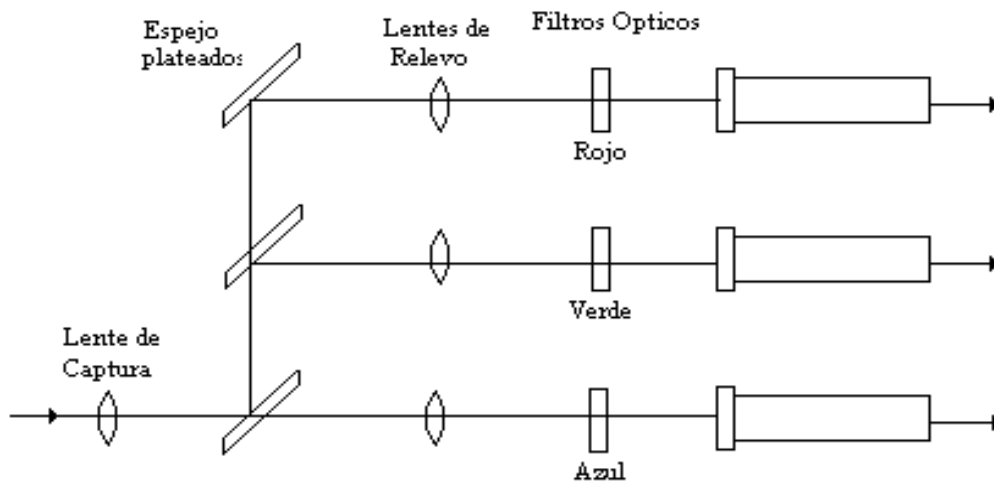


Figura 7. Componentes básicos de una cámara de color

Un separador óptico, compuesto de espejos plateados y que se encuentra detrás del lente principal o lente de captura, divide en partes la luz incidente, estos espejos dejan pasar una parte de luz hacia los otros espejos y reflejan el resto.

Después se hacen pasar por unos filtros que se encuentran justo antes de los tubos de captura y los cuales están diseñados bandas estrechas de longitudes de onda y que están centradas, cada uno respectivamente. Por lo tanto se usan diferentes preamplificaciones y procesos para manejar estas señales que se conocen como R, G y B. Debido a que mediante esta técnica se producen muchas pérdidas, se hace el uso especial de unos espejos llamados espejos dicróicos, los cuales resuelven los problemas de pérdidas. En la siguiente figura se puede ver la forma en que estos usualmente se arreglan:



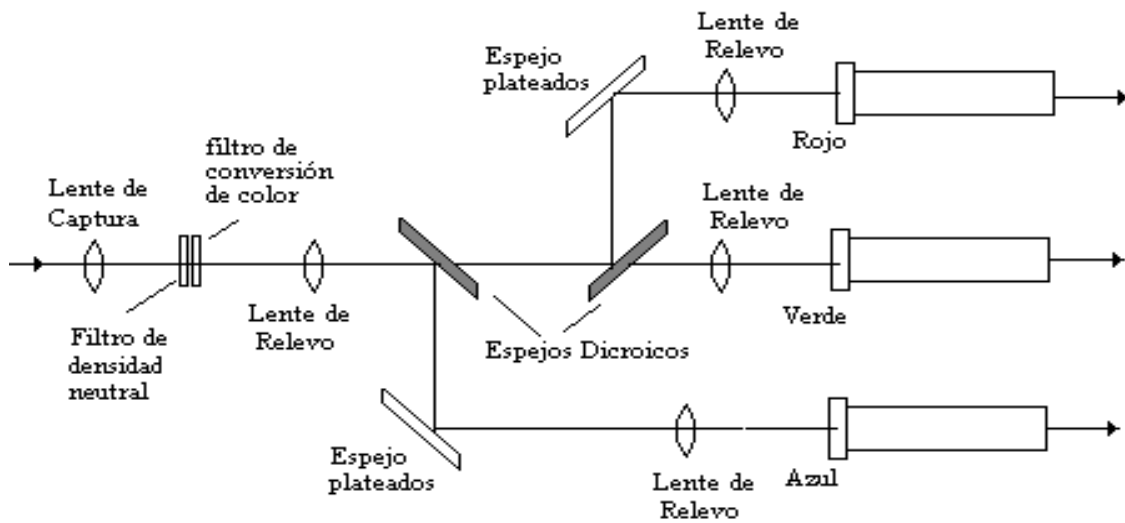


Figura 8. Arreglo de espejos dicróicos

Básicamente mediante estos espejos dejan pasar solamente cierta banda de longitud de onda y las demás se reflejan. De esta manera el primer espejo dicróico, refleja solo la banda de la señal B o azul, donde después se refleja totalmente en un espejo hacia un tubo de captura. El segundo espejo dicróico solo refleja la señal la banda de la señal R o roja e igualmente después se refleja totalmente hacia otro tubo de captura. Para la banda de la señal G o verde esta se obtiene directamente después de pasar por los espejos dicróicos y así llega a otro tubo de captura. De esta manera se obtienen las señales RGB.

Las señales RGB son después combinadas en proporciones específicas en una matriz de color dentro del transmisor para producir las señales de luminancia (brillantes) o señal Y, así como también las señales de crominancia (color) I y Q.

La señal de luminancia corresponde a la señal de video monocromática.

Señal de Luminancia. Esta señal o señal Y es formada a partir una combinación del 30% de la señal de video R, 59% de la señal G, y 11% de la señal B.

$$Y = 0.30R + 0.59G + 0.11B$$

Estos porcentajes corresponden al brillo relativo de los tres colores primarios, de esta manera la escena reproducida en blanco y negro tiene el mismo brillo que la imagen original. La señal Y es transmitida con un ancho de banda de 0 a 4 MHz, sin embargo la mayoría de los receptores la limitan a 3.2 MHz para minimizar interferencia con la señal de color.

Señal de Crominancia. La señal de crominancia o señal C es una combinación de las señales de color Q e I. La señal I o señal de color en fase es producida combinando 60% de la señal R, 28% de la señal G, y 32% de la señal invertida de video B.

$$I = 0.60R + 0.28G - 0.32B$$

La señal Q o la señal en cuadratura de color se produce combinando 21% de la señal R, 52% de la señal invertida de video G, y 31% de la señal B.

$$Q = 0.21R - 0.52G + 0.31B$$

Después la señal I y Q son combinadas para producir la señal C, y como I y Q son señales en cuadratura, la señal C es la suma fasorial de las dos.

$$C = \sqrt{I^2 + Q^2}$$

La señal I es transmitida con un ancho de banda de 1.5 MHz, mientras que la señal Q es transmitida con un ancho de banda de 0.5 MHz. Sin embargo, la mayoría de los receptores limitan a ambas señales a 0.5 MHz.

### **Cámara de televisión para estándar NTSC/FCC y Matriz de Corrección**

Una cámara de televisión a color se desea que provea canales de voltaje R, G y B disponibles para mostrar las coordenadas de cromaticidad primaria y el blanco como referencia. Los estándares NTSC/FCC definen las cromaticidades primarias como:

$$R: x = 0.67, y = 0.33$$

$$G: x = 0.21, y = 0.71$$

$$B: x = 0.14, y = 0.08$$

Los estándares NTSC/FCC dan valores numéricos para las especificaciones las cuales asumen el blanco como referencia para el iluminante C ( $x = 0.3101$ ,  $y = 0.3163$ ). El iluminante D6500 ( $x = 0.3127$ ,  $y = 0.3291$ ) en la practica generalmente ha remplazado al iluminante C como referencia blanca para monitores de color. La señal de especificaciones no cambia.

El color que ilumina una imagen puede diferir sustancialmente dependiendo de la escena si es un espacio cerrado o es un campo abierto.

La sensibilidad del espectro de R, G, B requiere que la cámara de la televisión tenga una perfecta fidelidad la cual especifique el conjunto de colores primarios y normalizando el iluminante blanco puedan ser calculadas por un sistema lineal como se muestra. Se ha demostrado que para la pantalla:

## Análisis de los diagramas de color de la CIE en la Televisión

$$[S] = [A][V]$$

$$\text{Donde } [S] = \begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix}, [A] = \begin{bmatrix} Cr.xr & Cg.xg & Cb.xb \\ Cr.yr & Cg.yg & Cb.yb \\ Cr.zr & Cg.zg & Cb.zb \end{bmatrix} \text{ y } [V] = \begin{bmatrix} Vr \\ Vg \\ Vb \end{bmatrix}$$

Desde  $[S] = [A][V]$ , entonces  $[V] = [A]^{-1}[S]$

Los canales de voltaje R, G, B requeridos son, dados por:

$$\begin{bmatrix} Vr \\ Vg \\ Vb \end{bmatrix} = [A]^{-1} \begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix}$$

La Matriz  $[A]^{-1}$  calculada para los primarios de la NTSC/FCC y el iluminante D6500 ( $x = 0.3127$ ,  $y = 0.3291$ ,  $z = 0.3582$ ) indica que para una reproducción correcta:

$$\begin{aligned} R &= 1.972 X - 0.5497 Y - 0.2975 Z \\ G &= -0.9534 X + 1.936 Y - 0.02741 Z \\ B &= 0.0638 X - 0.1295 Y + 0.9821 Z \end{aligned}$$

Las sensibilidades espectrales de R, G, B requeridas para la cámara para una perfecta fidelidad del color (en un sistema lineal) se obtienen sustituyendo X, Y, Z en las ecuaciones anteriores por valores triestímulos  $\bar{x}(\lambda)$ ,  $\bar{y}(\lambda)$  y  $\bar{z}(\lambda)$ , respectivamente, de los estándares de la CIE 1931 la siguiente figura muestra los requerimientos espectrales de sensibilidades los cuales incluyen lóbulos negativos. Para los lóbulos positivos en la figura, se ha dado la siguiente matriz de corrección:

$$\begin{bmatrix} R \\ G \\ B \end{bmatrix}_{\text{salida}} = \begin{bmatrix} 1.0563 & -0.1238 & 0.0675 \\ -0.0641 & 1.2155 & -0.1514 \\ -0.0012 & -0.0516 & 1.0528 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} R \\ G \\ B \end{bmatrix}_{\text{entrada}}$$

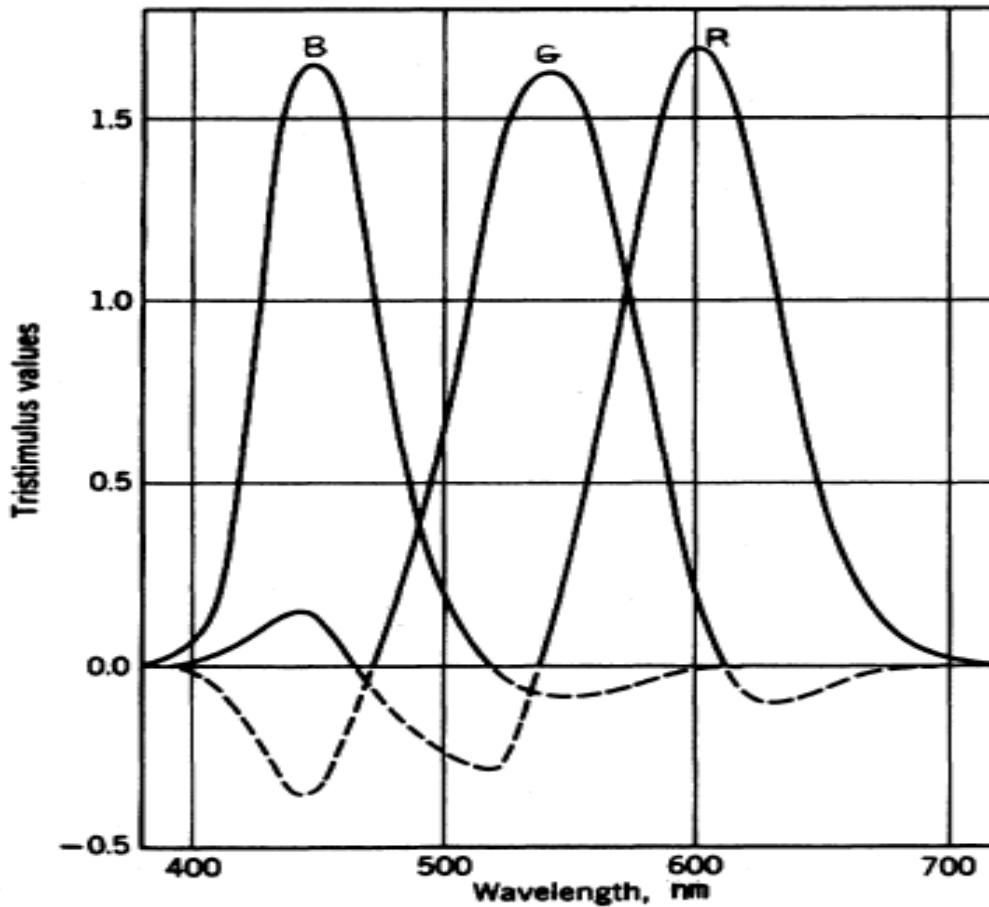


Figura 9. Requerimientos espectrales de sensibilidades R, G y B

La mayoría de las cámaras de color en uso incluyen algunas de las matrices de corrección para los lóbulos negativos. Las pérdidas de los lóbulos negativos pueden ser parcialmente compensadas en el diseño de la cámara.

### **Multiplexación de las señales de luminancia y crominancia**

La transmisión en color incluye la transmisión simultánea de las componentes de luminancia y crominancia de una imagen en color. La señal de luminancia Y se transmite directamente de la misma forma que se hace en el sistema monocromático. En cuanto a la componente de crominancia primero hay que realizar un procesamiento mediante la extracción de la componente de luminancia de cada color primario, resultando en lo que se conoce como señales de diferencia de color (R-Y, G-Y y B-Y). Como la señal de luminancia se compone de la suma de la señal RGB, entonces solo se necesitan dos señales de diferencia de color para transmitirse. Para que esta información adicional, R-Y y B-Y se pueda añadir

a la señal monocromática sin causar interferencia se necesita de una modulación en cuadratura (QAM). Esto se puede observar en el siguiente diagrama:

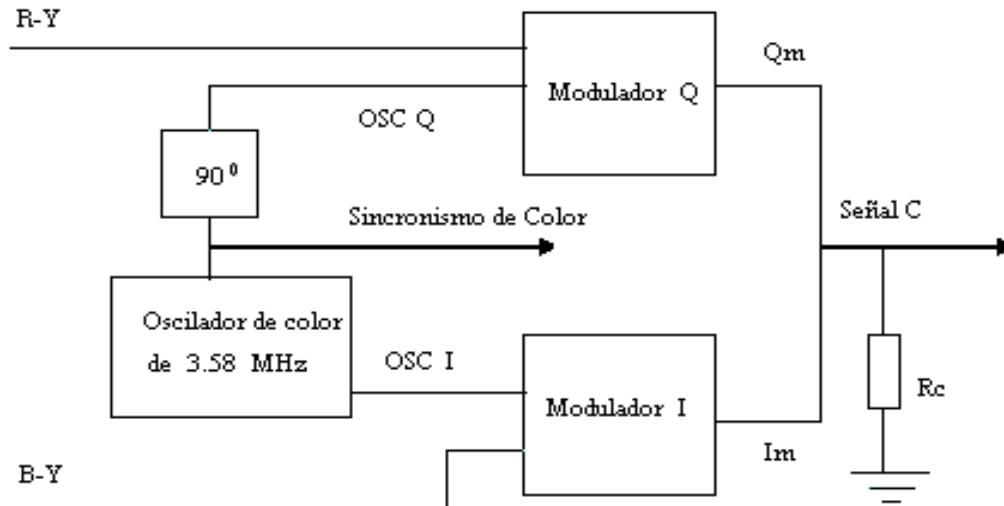


Figura 10. Modulación en cuadratura (QAM)

Donde  
 OSC I = Salida del oscilador a 3.58 MHz en fase  
 OSC Q = Salida del oscilador a 3.58 MHz en cuadratura  
 Im = Señal subportadora I modulada en amplitud  
 Qm = Señal subportadora Q modulada en amplitud

El realizar la modulación de la señal de subportadora con dos diferentes fase mantiene a las señales B-Y y R-Y. El ángulo de 90° provee la separación máxima en fase entre las dos señales.

Las señales R-Y y B-Y son transmitidas como las bandas laterales moduladoras de una subportadora de 3.58 MHz, la cual a su vez modula la portadora principal de imagen. La salida del oscilador de color de 3.58 MHz (subportadora) es acoplada con los moduladores Q e I.

También en estos moduladores se presentan como entradas las señales Q e I provenientes de la matriz. Cada circuito produce modulación de amplitud de la señal subportadora de 3.58 MHz. A la salida de estos moduladores, las señales, por lo tanto ya moduladas son combinadas a la salida, la cual forma la señal de crominancia (C) modulada de 3.58 MHz.

Para realizar posteriormente la transmisión de la señal de video, la señal de luminancia y de crominancia se mandan en un adicionador o multiplexor de color el cual multiplexa ambas señales sin que se presenten interferencias entre ellas y después las manda al transmisor, esto se puede observar en la siguiente figura:

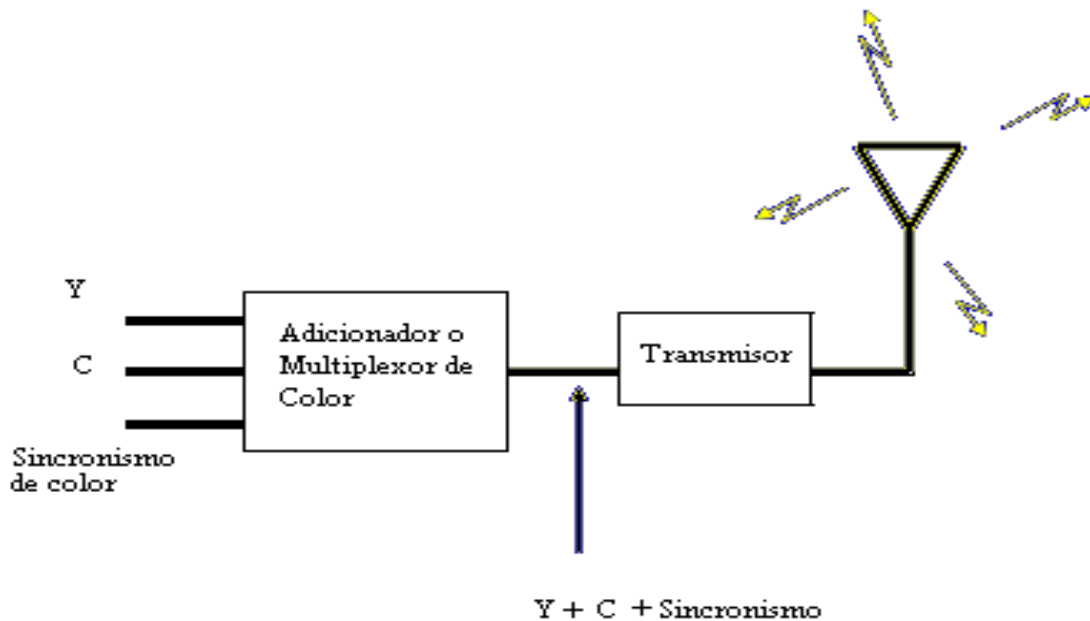


Figura 11. Transmisión de señal de video

De esta manera, ambas señales multiplexadas, C y Y, modulan a la portadora principal de la imagen. El ancho de banda de la señal de crominancia o de la subportadora se limita aproximadamente a 1MHz en cada banda lateral de la portadora de color.

Como ya se mencionó, la señal de luminancia se compone de la suma de un determinado porcentaje de la señal RGB, por lo tanto es posible enviar ambas señales para después separarlas en el receptor. Sin embargo, para que un sistema de televisión sea compatible para señales monocromáticas y cromáticas, se hace necesario que la transmisión cromática deba de incluir la información monocroma sin que haya ninguna interferencia entre las dos señales.

Debido a que la portadora de color se elige para que esté incluida en el espectro de frecuencias monocromas con el fin de no incrementar el ancho de banda de la señal, se tiene un solape de las señales crominancia y parte de las señales de luminancia. Esta interferencia se evita mediante lo que se conoce como el entrelazado de frecuencias.

## Detección de la señal de color en un receptor de televisión

Un receptor de televisión a color es esencialmente el mismo que el receptor blanco y negro, excepto por el tubo de imagen y la adición de los circuitos para la decodificación del color.

Empezando en la antena receptora, la señal portadora de la imagen es amplificada en las etapas de RF y de FI. Después, esta señal de imagen de AM es rectificadora en el detector de video.

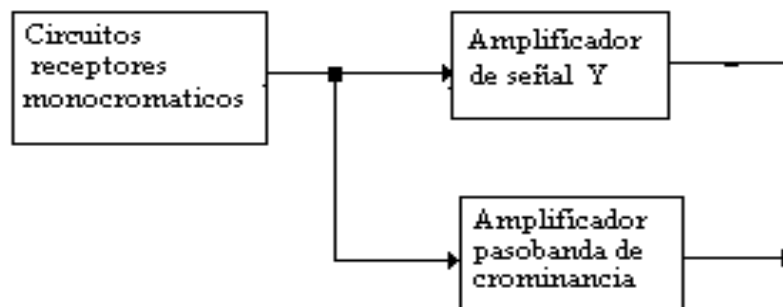


Figura 12. Recepción de señal de video

La salida del detector de video es la señal total de video multiplexada, por lo tanto incluye a las componentes de Y y C. Después del detector de video y luego de los amplificadores de video, los circuitos dividen la señal en dos caminos. Un camino para la señal de luminiscencia Y, y otro para la señal C. Esto se puede ver en el siguiente diagrama de bloques:

La señal C es enviada hacia un amplificador pasobanda de crominancia, el cual esta sintonizado para la subportadora de 3.58 MHz y con una banda de paso de 0.5 MHz. Por lo tanto, la única señal C es amplificada y pasada a unos demoduladores de B-Y y de R-Y. Esta parte de tratamiento de la señal de color se puede observar en la siguiente figura:

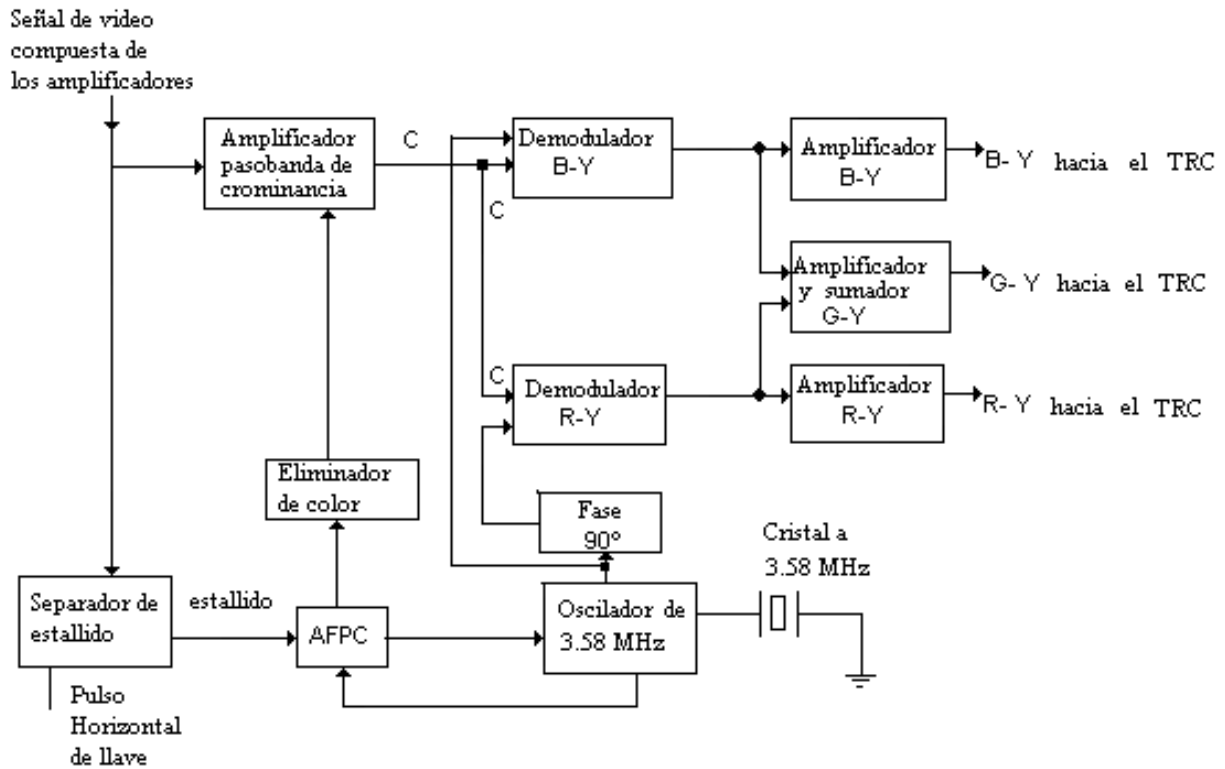


Figura 13. Sintonización de señal a color

Otra parte es enviada hacia un separador de estallido. Este estallido de color de 3.58 MHz es separado del pulso de borrado horizontal solo durante el tiempo de retraso. Después, una subportadora de color de 3.58 MHz es reproducida en el circuito de color AFC, el cual consiste de oscilador de color de 3.58 MHz y un circuito de color AFPC (Automatic Frequency and Phase Control). El eliminador de color apaga el amplificador pasobanda de crominancia durante la recepción monocromática.

La señal C es demodulada en los demoduladores B-Y y R-Y por una combinación con la subportadora de fase coherente de 3.58 MHz. Las señales B-Y y R-Y producen la señal de video R y B combinándose con la señal Y de la siguiente manera:

$$B - Y + Y = B$$

$$R - Y + Y = R$$

Mientras que la señal de video G es producida por la combinación de las señales B-Y y R-Y en proporciones adecuadas.



### 3. IMPORTANCIA DE LOS DIAGRAMAS DE LOS COLORES BÁSICOS CIE PARA COLORES DISCRETOS DEL SINTETIZADOR

Un monitor de televisión a color, usualmente de tubo de rayo catódico, proporciona luces de color rojo, verde y azul como recursos de colores primarios controlados por tres cantidades eléctricas. Las coordenadas de la cromaticidad de las R, G y B primarias pueden ser definidas como  $(x_r, y_r, z_r)$ ,  $(x_g, y_g, z_g)$  y  $(x_b, y_b, z_b)$  respectivamente. Los valores triestímulo  $(X, Y, Z)$  para el proyector son las sumas de los triestímulos para cada uno de los primarios.

$$X = X_r + X_g + X_b$$

$$Y = Y_r + Y_g + Y_b$$

$$Z = Z_r + Z_g + Z_b$$

Si  $Cr = X_r + Y_r + Z_r$  etc., y

$$x_r = \frac{X_r}{X_r + Y_r + Z_r} \text{ etc.,}$$

Y se asume que las salidas primarias son linealmente relacionadas a los voltajes del canal  $V_r$  etc., entonces:

$$X = Cr \cdot x_r \cdot Vr + Cg \cdot x_g \cdot Vg + Cb \cdot x_b \cdot Vb$$

$$Y = Cr \cdot y_r \cdot Vr + Cg \cdot y_g \cdot Vg + Cb \cdot y_b \cdot Vb$$

$$Z = Cr \cdot z_r \cdot Vr + Cg \cdot z_g \cdot Vg + Cb \cdot z_b \cdot Vb$$

Esto puede reescribirse en notación matricial como:

$$[S] = [A][V]$$

$$\text{Donde } [S] = \begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix}, [A] = \begin{bmatrix} Cr \cdot x_r & Cg \cdot x_g & Cb \cdot x_b \\ Cr \cdot y_r & Cg \cdot y_g & Cb \cdot y_b \\ Cr \cdot z_r & Cg \cdot z_g & Cb \cdot z_b \end{bmatrix} \text{ y } [V] = \begin{bmatrix} Vr \\ Vg \\ Vb \end{bmatrix}$$

La matriz  $[A]$  puede ser escrita como el producto de una coordenada de cromaticidad fosforescente  $[xp]$  una matriz constante triestímulo  $[C]$ :

## Análisis de los diagramas de color de la CIE en la Televisión

$$[A] = [xp][C] \text{ Donde } [xp] = \begin{bmatrix} xr & xg & xb \\ yr & yg & yb \\ zr & zg & zb \end{bmatrix} \text{ y } [C] = \begin{bmatrix} Cr & 0 & 0 \\ 0 & Cg & 0 \\ 0 & 0 & Cb \end{bmatrix}$$

La Matriz  $[C]$  puede ser determinada por los requerimientos de la normalización deseada para la iluminación para los canales del mismo voltaje. Si los valores triestímulo normalizados son definidos como  $[S_w]$ , entonces:

$$[S_w] = \begin{bmatrix} X_w \\ Y_w \\ Z_w \end{bmatrix} = C_w \begin{bmatrix} x_w \\ y_w \\ z_w \end{bmatrix} = \frac{Y_w}{y_w} \begin{bmatrix} x_w \\ y_w \\ z_w \end{bmatrix} = \frac{1}{y_w} \begin{bmatrix} x_w \\ y_w \\ z_w \end{bmatrix}$$

Donde  $C_w = X_w + Y_w + Z_w$ ,

$$y_w = \frac{Y_w}{X_w + Y_w + Z_w} \text{ etc. ,}$$

Y la luminancia esta normalizada a  $Y_w = 1.0$

$$\text{También } [S_w] = [A][V_w] = [xp][C] \begin{bmatrix} 1 \\ 1 \\ 1 \end{bmatrix} = [xp] \begin{bmatrix} Cr \\ Cg \\ Cb \end{bmatrix} \text{ donde los canales de voltaje son}$$

igual y normalizados a 1.

$$\text{Por lo tanto } \frac{1}{y_w} \begin{bmatrix} x_w \\ y_w \\ z_w \end{bmatrix} = [xp] \begin{bmatrix} Cr \\ Cg \\ Cb \end{bmatrix} \text{ o } \begin{bmatrix} Cr \\ Cg \\ Cb \end{bmatrix} = \frac{1}{y_w} [xp]^{-1} \begin{bmatrix} x_w \\ y_w \\ z_w \end{bmatrix}$$

Finalmente, la matriz normalizada  $[A]$ , para las coordenadas de cromaticidad dadas para las sustancias fosforescentes y la iluminación normalizada, puede ser calculada como:

$$[A] = [xp][C] \text{ Donde } [C] = \begin{bmatrix} Cr & 0 & 0 \\ 0 & Cg & 0 \\ 0 & 0 & Cb \end{bmatrix}$$

## Análisis de los diagramas de color de la CIE en la Televisión

Por ejemplo, la matriz  $[A]$  calculada por NTSC/FCC y D6500 ( $x=0.3127$ ,  $y=0.3291$ ,  $z=0.3582$ ) indica que los valores de la normalización triestímulo son:

$$\begin{aligned} X &= 0.5879 R + 0.1792 G + 0.1831 B \\ \text{Luminancia} = Y &= 0.2896 R + 0.6058 G + 0.1046 B \\ Z &= 0 + 0.06826 G + 1.02 B \end{aligned}$$

Los coeficientes difieren un poco de los valores triestímulos normalizados para una iluminante C normalizada ( $x = 0.3101$ ,  $y = 0.3163$ ,  $z = 0.3736$ ) de los cuales son:

$$\begin{aligned} X &= 0.6067 R + 0.1736 G + 0.2001 B \\ \text{Luminancia} = Y &= 0.2988 R + 0.5868 G + 0.1144 B \\ Z &= 0 + 0.06612 G + 1.115 \end{aligned}$$

Si las unidades son insertadas para R, G y B las cantidades triestímulos normalizadas X, Y y Z se pueden obtener.

## **4. DESCRIPCIÓN E HISTORIA DE LOS DIAGRAMAS DE COLORES BÁSICOS CIE Y CONVERSIÓN NO LINEAL DE LOS DIAGRAMAS DE LOS COLORES BÁSICOS CIE - 1931 Y 1960**

### **4.1 Investigaciones en 1931**

En el estudio de la percepción de color, una de las primeras definiciones de espacios de color fue el espacio de color XYZ de la CIE (también conocido como espacio de color de la CIE 1931), creado por la comisión internacional de iluminación (CIE) en 1931.

El ojo humano tiene receptores para pequeñas, medianas y largas longitudes de onda, también conocido como receptores rojos, verdes y azules. Esto significa que, en principio, necesitamos 3 parámetros para describir la sensación de color. Un método específico para asociar 3 números (o valores triestímulos) con cada color es llamado espacio de color: el espacio de color XYZ de la CIE es uno de muchos espacios. El espacio de color XYZ de la CIE es especial porque se basa de mediciones directas del ojo humano, y sirve como una base para la definición de otros espacios de color.

El espacio de color XYZ de la CIE se derivó de una serie de experimentos realizados en la década de 1920 por W. David Wright (Wright 1928) y John Guild (Guild 1931). Sus resultados experimentales se combinaron dentro de las especificaciones del espacio de color RGB de la CIE, del cual el XYZ de la CIE se derivó.

### **4.2 Diagrama de cromaticidad XY de la CIE**

El concepto de color puede ser dividido en dos partes: luminocidad y cromaticidad, por ejemplo, el color blanco es luminoso, mientras que el color gris es considerado como una versión menos brillante del propio blanco. En otras palabras, la cromaticidad del blanco y el gris es la misma pero sus brillos difieren.

El espacio de color XYZ de la CIE fue deliberadamente diseñado para que el parámetro Y fuera una medición del brillo o luminosidad del color. La cromaticidad del color fue especificada por 2 parámetros derivados X y Y, 2 de los 3 valores normalizados son funciones para todos los valores triestímulos X, Y y Z:

$$x = \frac{X}{X + Y + Z}$$

## Análisis de los diagramas de color de la CIE en la Televisión

$$y = \frac{Y}{X+Y+Z}$$
$$z = \frac{Z}{X+Y+Z} = 1 - x - y$$

El espacio de color derivado formado por  $x$ ,  $y$  e  $Y$  es conocido como el espacio de color de la CIE  $xyY$  y es ampliamente utilizado en la práctica para especificar colores.

El  $X$  y  $Z$  valores triestímulos pueden ser calculados por los valores de cromaticidad  $x$ ,  $y$  y el valor triestímulo  $Y$ :

$$X = \frac{Y}{y} x$$
$$Z = \frac{Y}{y} (1 - x - y)$$

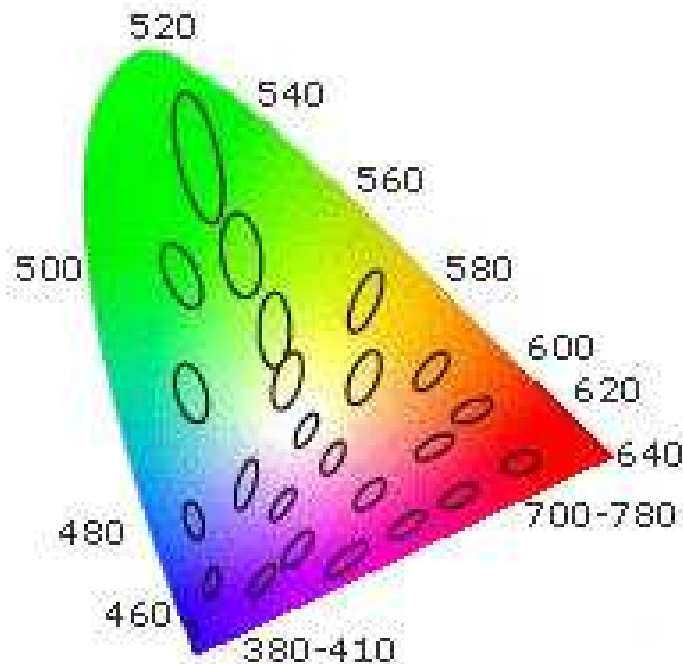


Figura 14. Espacio de color XYZ de la CIE

Matemáticamente,  $x$  y  $y$  son coordenadas proyectivas y los colores del diagrama ocupan una región del plano real proyectivo. El diagrama de cromaticidad ilustra interesantes propiedades del espacio de color de XYZ de la CIE:

1. El diagrama representa todas las cromaticidades promedio que son visibles para el humano. Éstas se muestran en color y dicha región es llamada *gama de visión humana*. La gama de todas las cromaticidades visibles en la CIE aparece con forma de una herradura de color. La orilla de color de la gama se llama *locus espectral* y corresponde a la luz monocromática, con longitudes de onda medidas en nanómetros. La línea recta que aparece en la parte inferior es denominada la *línea púrpura*. Estos colores, aunque se encuentran en el borde de la gama, no tienen contraparte en la luz monocromática. Colores con menos saturación de color aparecen en el interior de la figura con blanco en el centro.
2. Éste muestra todas las cromaticidades visibles que corresponden a valores no-negativos de  $x$ ,  $y$ , y  $z$ . (Y, por consiguiente, a valores no-negativos de  $X$ ,  $Y$ ,  $Y Z$ .)
3. Si uno escoge alguno de los dos puntos del diagrama de cromaticidad, entonces todos los colores que se pueden formar mezclando estos dos colores, descansan entre estos dos puntos, en una línea recta que los conecta. Ello debido a que la gama de colores debe ser en una forma convexa. Todos los colores que se pueden formar mezclando los tres recursos se encuentran dentro del triángulo formado por los puntos formados en el diagrama de cromaticidad.
4. Una mezcla uniforme de dos brillos uniformes de color no descansan generalmente a medio punto de ese segmento. En términos más generales, una distancia en el diagrama de cromaticidad  $xy$  no corresponde a los grados de diferencia entre dos colores. Otros espacios de color (CIELuv y CIELab en particular) han sido diseñados para abordar este problema).
5. Se puede observar que, dados los tres recursos reales, dichos recursos no pueden cubrir la gama de visión humana. Establecido geoméricamente, no hay tres puntos sin la gama que forma un triángulo que incluye la gama entera; en otras palabras, la gama de visión humana no es triangular.
6. La luz con el plano de espectro de energía corresponde al punto  $(x,y)=(1/3, 1/3)$ .

### 4.3 Definición del Espacio de Color XYZ de la CIE

#### Resultados experimentales- El espacio de color RGB de la CIE

En la década de los 20`s, W. David Wright (Wright 1928) y John Guild (1931) llevaron a cabo una serie de experimentos de la visión humana, de los cuales dispuso la fundación para la especificación del espacio de color XYZ de la CIE.

Los experimentos fueron conducidos utilizando una pantalla circular dividida en dos grados de tamaño, la cual es el tamaño del ángulo de la fovea humana. En un lado del campo un color se proyectó y en el otro se proyectó un color ajustable por el observador. El color ajustable fue una mezcla de los tres colores primarios, cada uno con cromaticidad fija, pero con brillo ajustable. El observador alternaría el brillo de cada uno de los colores primarios hasta que su destello fuera como el del color mostrado al otro lado.

No todos los colores podían ser comparados con esta técnica. Cuando ése era el caso, una cantidad variable de uno de los primarios podía agregarse, y el restante de la combinación de ambos fue aplicado con la variable de marca de color. Para estos casos, la cantidad de primario agregada fue considerada un valor negativo. De esta forma, el rango entero de percepción humana se cubrió. Cuando el color examinado fuera monocromático, el plano se podía hacer con la cantidad de color primario utilizado como función de la longitud de onda del color examinado. Estas tres funciones son denominadas *funciones de colores combinados* para el experimento en particular.

Aunque los experimentos de Wright y Guild's fueron aplicados utilizando varios primarios en diversas intensidades y un número de diferentes observadores, todos sus resultados son resumidos por la estandarización de RGB de la CIE, en funciones de combinaciones de color  $\bar{r}(\lambda)$ ,  $\bar{g}(\lambda)$  y  $\bar{b}(\lambda)$  obtenidas utilizando los tres primarios monocromáticos en 700 nm (rojo), 546.1 nm (verde) y 435.8 (azul). Las funciones de combinación de color son las cantidades de primarios que se necesitan para la comparación del examen monocromático.

Nótese en la figura 15 que  $\bar{r}(\lambda)$  y  $\bar{g}(\lambda)$  son cero a 435.8,  $\bar{r}(\lambda)$  y  $\bar{b}(\lambda)$  son cero en 546.1 y  $\bar{g}(\lambda)$  y  $\bar{b}(\lambda)$  son cero en 700 nm, desde entonces en estos casos el color examinado es uno de los primarios. Los primarios con longitudes de onda 546.1 y 435.8 fueron escogidos por que son líneas monocromáticas fácilmente reproducibles por una descarga de vapor de mercurio. Las longitudes de onda de 700 nm, las cuales fueron difíciles de reproducir en 1931 como un destello monocromático, fueron escogidas por que la percepción del ojo es un poco menos cambiante ante esta longitud de onda y más aún, pequeños errores en la longitud de onda en este primario pueden tener un pequeño efecto en los resultados.

Las funciones de combinación de colores y primarios fueron ordenados por la CIE en una comisión especial posterior a una deliberación (Fairman 1997). Los cortes de las pequeñas y largas longitudes de onda al lado del diagrama son elegidas arbitrariamente; el ojo humano puede percibir luz con longitud de onda arriba de los 810 nm, pero con una sensibilidad que es algunas miles de veces menor que la luz verde. Estas funciones de combinaciones de color se definen en el "1931 CIE Estandarizaciones de observación". Nótese que antes de esa especificidad del brillo de cada primario, la curva es normalizada en un área por debajo de ésta. Esta área es definida por un valor particular para especificarla:

$$\int_0^{\infty} \bar{r}(\lambda) d\lambda = \int_0^{\infty} \bar{g}(\lambda) d\lambda = \int_0^{\infty} \bar{b}(\lambda) d\lambda$$

El resultado de la normalización de las funciones de combinación de color son escaladas en la proporción r: g: b de 1:4.5907:0.0601 para recursos de iluminación y 72.0962:1.3791:1 para recursos de poder radiante, para reproducir el color verdadero de las funciones de combinación. Para la propuesta de que los primarios fuesen estandarizados, la CIE establece un sistema internacional de notación de color objetivo.

Dada esta escala de funciones de combinación, los tri-estímulos RGB de valores para color con un poder espectral de distribución  $I(\lambda)$  pueden ser dadas por:

$$R = \int_0^{\infty} I(\lambda) \bar{r}(\lambda) d\lambda$$

$$G = \int_0^{\infty} I(\lambda) \bar{g}(\lambda) d\lambda$$

$$B = \int_0^{\infty} I(\lambda) \bar{b}(\lambda) d\lambda$$

#### 4.4 Ley de Grassmann's

¿Por qué es posible que los resultados de Wright y Guild puedan ser resumidos utilizando diferentes primarios y distintas intensidades desde aquellos usados actualmente? ¿Qué hay acerca de combinaciones de colores examinados que no son monocromáticos? La respuesta para ambas cuestiones descansa en la linealidad de la percepción humana del color. Esta linealidad es expresada en la Ley de Grassmann's.

El espacio RGB de la CIE puede ser utilizada para definir la cromaticidad en la forma usual: las coordenadas de cromaticidad son  $r$  y  $g$  cuando:

$$r = \frac{R}{R + G + B}$$

$$g = \frac{G}{R + G + B}$$



## 4.5 Construcción del espacio de color XYZ de la CIE desde los datos Wrigh-Guild

Habiendo desarrollado un modelo RGB de la visión humana utilizando las funciones de combinación RGB de la CIE, los miembros de la comisión especial desearon desarrollar otro espacio de color relacionado con el espacio de color RGB de la CIE. Éste asumió la ley de Grassmann's y el nuevo espacio puede ser relacionada con los espacios de RGB de la CIE con una transformación lineal del espacio. Este nuevo espacio puede definirse en términos de tres nuevas funciones de combinación  $\bar{x}(\lambda)$ ,  $\bar{y}(\lambda)$  y  $\bar{z}(\lambda)$ . Los valores triestímulos XYZ correspondientes de un color con una distribución espectral de potencia  $I(\lambda)$  pueden ser dados por:

$$X = \int_0^{\infty} I(\lambda)\bar{x}(\lambda)d\lambda$$

$$Y = \int_0^{\infty} I(\lambda)\bar{y}(\lambda)d\lambda$$

$$Z = \int_0^{\infty} I(\lambda)\bar{z}(\lambda)d\lambda$$

El nuevo espacio de color puede ser elegido desde estas anheladas propiedades:

1. Las nuevas combinaciones de color deben ser mayores o igual a cero. En 1931, cómputos fueron hechos a mano o con regla de cálculo y la especificación de valores positivos fue una utilidad de simplificación computacional.
2. La función  $\bar{y}(\lambda)$  de combinaciones de color puede ser exactamente igual para la función de eficiencia de luminosidad fotópica  $V(\lambda)$  para los "CIE estándares fotópicos de observadores" (CIE 1926). La función de luminosidad describe la variación de brillo percibida con longitud de onda. El hecho de que la función de luminosidad puede ser construida por una combinación lineal de las combinaciones de color RGB no es garantizada a toda costa, pero se puede esperar que se acerque a lo exacto de la proximidad-lineal de la visión humana. De nuevo, la principal razón para este requerimiento es la simplificación computacional.
3. Para la constante de energía en *punto blanco*, se requiere que  $x = y = z=1/3$ .
4. Por virtud de definición de cromaticidad y los requerimientos de valores positivos de  $x$  y  $y$ , se puede ver en la gama de colores los puntos que se encuentran en el triángulo  $[1,0]$ ,  $[0,0]$ ,  $[0,1]$ . Se requiere que la gama llene este espacio completamente.

- Se encontró que la función  $\bar{z}(\lambda)$  de combinaciones de color pueden ser colocados a cero sobre 650 nm mientras se encuentre dentro de los límites del error experimental. Por simplicidad computacional, se especificó que esto puede ser de ese modo.

En términos geométricos, eligiendo el nuevo espacio de color equivale a elegir el nuevo triángulo en espacio cromático en *rg*. En la siguiente figura, la coordenada de cromaticidad es mostrada en dos ejes en negro, junto con la gama de las observaciones estándar de 1931. Se muestran en rojo los ejes de cromaticidad de *xy* de la CIE, los cuales fueron determinados por los requerimientos ya mencionados.

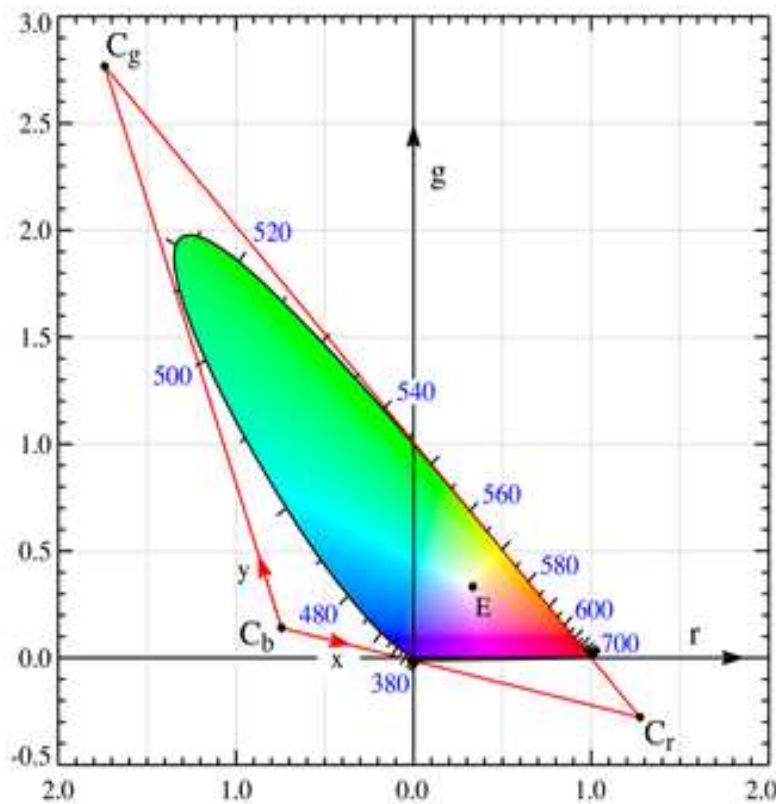


Figura 15. Espacio de color CIE 1931

El requerimiento de que las coordenadas XYZ sean no-negativas significa que el triángulo formado por  $C_r$ ,  $C_g$  y  $C_b$  debe circundar toda la gama de observaciones estándar. La línea que conecta  $C_r$  y  $C_b$  está determinada por el requerimiento de que  $\bar{y}(\lambda)$  sea igual que la función de luminosidad. El requerimiento de que la función  $\bar{z}(\lambda)$  sea cero por encima de los 650 nm significa que la línea de conexión  $C_g$  y  $C_r$  debe ser tangente de la gama en la región de K. Esto define la ubicación

del punto  $C_r$ . El requerimiento de que el equivalente al punto de energía es definida por  $x=y = 1/3$  pone una restricción en la línea de  $C_b$  y  $C_g$  y finalmente, el requerimiento de que la gama llene al espacio pone una segunda restricción en esta línea para estar muy cercano a la gama de la región verde, donde especifica la ubicación de  $C_g$  y  $C_b$ .

La transformación ya mencionada es una transformación lineal de espacio RGB a espacio XYZ. La transformación estandarizada es colocada por la comisión especial de la CIE como sigue:

$$\begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix} = \frac{1}{b_{21}} \begin{bmatrix} b_{11} & b_{12} & b_{13} \\ b_{21} & b_{22} & b_{23} \\ b_{31} & b_{32} & b_{33} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} R \\ G \\ B \end{bmatrix} = \frac{1}{0.17697} \begin{bmatrix} 0.49 & 0.31 & 0.20 \\ 0.17697 & 0.81240 & 0.01063 \\ 0 & 0.01 & 0.99 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} R \\ G \\ B \end{bmatrix}$$

Las integrales de las funciones de combinaciones de color XYZ deben ser iguales, debido al requerimiento 3 ya mencionado, y este se coloca por la integral de eficiencia de luminosidad fotópica, debido al requerimiento 2 ya descrito. Debe denotarse que las curvas tabuladas de sensibilidad pueden ser medidas con una exactitud razonable.

De cualquier modo, la curva de luminosidad en su totalidad (la cual de hecho es una ponderada suma de las tres curvas) es subjetiva, desde que implica respuestas de una persona a un experimento si dos recursos brillantes tienen la misma luminosidad, aún si ellos son colores completamente diferentes. Siguiendo estos parámetros, las magnitudes relativas de las curvas de X, Y, y Z, son arbitrarias. Una podría definir un espacio de color válido con una sensibilidad de curva X, que tiene doble amplitud. Este nuevo espacio de color podría tener una forma diferente. Las curvas de sensibilidad de la CIE en 1931 y 1964 de los espacios de color son escalados para tener las mismas áreas bajo las curvas.

#### 4.6 Diagrama curvilíneo de la cromaticidad Mac-Adam $\xi, \eta$

En el estudio de la percepción del color, una elipse de Mac Adam es la región en un diagrama cromático que contiene todos los colores que son imperceptibles para el ojo humano, del color del centro de la elipse. Como se define el concepto de distancia en el espacio del color.

¿Qué tan lejos se encuentran dos colores en un espacio de color? Esta pregunta fue abordada por D.L. Mac Adam y sus resultados fueron publicados en 1942. Mac Adam realizó un experimento en el cual dio entrenamiento a observadores para distinguir 2 diferentes colores. Uno de estos colores estaba compuesto (un color de prueba), pero el otro fue ajustado por el observador, y se le preguntó al

## Análisis de los diagramas de color de la CIE en la Televisión

observador como ajusto el color hasta igualar el color compuesto (color de prueba). El resultado de este experimento tuvo una exactitud limitada debido a las limitaciones de percepción del ojo humano.

De cualquier modo, todas estas comparaciones del observador cayeron en una elipse en el diagrama de cromaticidad de la CIE. Las mediciones se efectuaron en 25 puntos en el diagrama de cromaticidad, y se encontró que el tamaño de las elipses del diagrama variaban a lo ancho dependiendo del color, estas 25 elipses estudiadas por McAdam, por un observador particular (fue nombrado "PGN").

## 5. ANÁLISIS DE LOS DIAGRAMAS DE COLOR BÁSICO CIE PARA EL ANÁLISIS DE LA IMÁGEN EN SISTEMAS DE TELEVISIÓN.

En la televisión, el análisis final está destinado por el espectador. Para evaluar el grado de diferencias de color recibidas por el observador se utilizan las siguientes unidades de sensación de color. Las más pequeñas (difícilmente perceptibles) que son capaces de hacer cambios en la sensación, experimentada por el observador son llamadas umbral y se caracteriza por una unidad mínima de color.

Al transferir de un color a otro, el número de umbrales de cambio en la sensación de color depende de las condiciones de observación (brillo, y la dimensión angular del objeto, luminancia y la crominancia) y desde la selección de la forma en que pasa un color a otro más. La trayectoria más corta en el espacio de color, es la que contiene el mínimo número de umbrales de sensación de color, la cual no es necesariamente lineal.

Para precisar la estimación de la diferencia de color entre dos colores es necesario considerar la diferencia en sus saturaciones y luminancias, por ejemplo, para evaluar la distancia entre colores en un espacio de color, el umbral de distancia  $d_s$  en el sistema XYZ CIE -1931, puede ser descrita como sigue:

$$dS = \sqrt{dx^2 + dy^2},$$

Donde los umbrales  $dx$  y  $dy$  cambian en las coordenadas  $x$ ,  $y$ . Desde el plano XY no hay un plano para luminancia constante, entonces el paso de un tono  $dy$  a  $dy_2$  va acompañado de un cambio en el luminancia. El eje X asegura la retención de la luminancia, en este caso la coordenada de la colorimetría Y no cambia. Para precisar las diferencias de estimación de dos colores cercanos  $dy$  y  $dy_2$  es necesario tomar en cuenta la diferencia en su crominancia y luminancia. Por ejemplo, para evaluar la distancia entre los colores en un espacio de color, el umbral de distancia  $dS$  en un sistema XYZ CIE-1931, se puede describir de la siguiente forma:

$$n = \sqrt{(\Delta C)^2 + a(\Delta L)^2}$$

Donde  $\Delta$  es la diferencia en el número de umbrales en la crominancia y luminancia, respectivamente,  $a$  es una constante de proporcionalidad. No todos y cada uno de los observadores pueden notar la diferencia entre colores, las cuales son umbrales mínimos de color. Aunque se han introducido características de

probabilidad en el umbral promedio de color, se lleva a cabo una desviación estándar para dichos errores en las sensaciones.

El problema de la determinación de las distorsiones de color permisibles en la televisión, en las imágenes transmitidas ha sido abordado por un gran número de investigadores. Los valores de las distorsiones usualmente se expresan con las unidades de diferencias de color, las cuales utilizan las unidades de McAdam, el umbral de color de Judd, CIE y NBS.

La unidad CIE es aquella establecida por la expresión de diferencias de color de acuerdo con la fórmula CIE 1964. Mediante esta fórmula, las diferencias de color son determinadas en un contraste de igualdad del sistema básico de color UVW. Para los promedios en la luminancia del color de la unidad CIE, éstos corresponden a los umbrales 4,3 de Judd, o bien, se aproximan a la unidad NBS.

Es importante hacer notar que el umbral de McAdam es aproximadamente igual a 11 umbrales de Judd, o 2,5 unidades de CIE. La propuesta del sistema de parámetros con los que se puedan evaluar las elipses, describen la dependencia experimental de umbrales de diferencias de percepción en el espectro de colores, en distintas partes del diagrama de colores básicos de color CIE. En el centro de las elipses, se encuentran las coordenadas de valores  $x_i$ ,  $y_i$ . La forma de las elipses es caracterizada por el largo y ancho de los ejes. Las elipses, se pueden determinar con la siguiente expresión:

$$a = \sqrt{(x_2 - x_1)^2 + (y_2 - y_1)^2},$$
$$b = \sqrt{(x_4 - x_3)^2 + (y_4 - y_3)^2},$$

Donde las coordenadas corresponden a las crestas de las elipses (A, E, y F, respectivamente). La orientación de las elipses relativas a los ejes  $x, y$  es asignada por el ángulo, el cual es calculado como sigue:

$$\vartheta = \arctg \frac{y_2 - y_1}{x_2 - x_1}$$

La proporción de compresión (diferencia) de las elipses, desde el círculo puede ser caracterizada como la proporción de los ejes  $d=b/a$  elipses de dispersión por excentricidad  $e$ , lo cual se expresa de la forma:

$$d = b/a, \quad e = \sqrt{1 - \frac{b^2}{a^2}}.$$

La proporción de los ejes  $d$ , se encuentran dentro de los límites de uno (por el círculo) a cero (para la línea recta, la cual coincide con el transverso). Excentricidad  $e$ , por el contrario, varía en los límites de cero (para el círculo) a uno (para la línea recta la cual coincide con el transverso).

Para las características de las elipses sobre el área del gráfico de color, se utiliza un sistema de coordenadas polares. Se selecciona el punto de color blanco  $s$  del polo de coordenadas polares de sistemas de coordenadas. Una coordenada indica la posición del radio vector, el cual conecta el punto  $s$  y el centro de la elipse. Se determinaría la longitud del radio vector, la variación del color. Entonces, el radio vector puede ser el valor simple característico del centro de las elipses. Lo anterior, se describe de la siguiente forma:

$$\varphi = \operatorname{arctg} \frac{y_i - y_c}{x_i - x_c} = \operatorname{arctg} \frac{y_i - 0.316}{x_i - 0.310}$$

Donde  $x_i$ ,  $y_i$  y  $x_c$ ,  $y_c$ , son coordenadas del centro de la elipse y el punto de color blanco es  $s$ , respectivamente. La coordenada en el sistema polar tendrá un color que dependerá de la selección del punto de color. Los materiales experimentales del estudio de percepción de umbrales de diferencias en saturaciones en distintas partes del diagrama de Colores Básicos XYZ CIE – 1931 son representados usualmente en forma de tablas, en las cuales cada elipse es caracterizada por parámetros de  $x_i$ ,  $y_i$ , en otros sistemas de coordenadas es necesario por cada elipse encontrar los puntos de coordenadas de las elipses A, E y F con auxilio de las fórmulas, las cuales son:

$$\begin{aligned} x_{1,2_i} &= x_i \mp \frac{a}{2} \cos \theta; \\ y_{1,2_i} &= y_i \mp \frac{a}{2} \sin \theta; \\ x_{3,4_i} &= x_i \mp \frac{ad}{2} \sin \theta; \\ y_{3,4_i} &= y_i \pm \frac{ad}{2} \cos \theta; \end{aligned}$$

## **5.1 Análisis del Diagrama Tricromático estándar de colores básicos XYZ CIE-1931**

El Diagrama de Colores Básicos XYZ CIE – 1931 está basado en datos empíricos del pequeño campo de visión humana y es considerado suficiente en cuanto a medidas del rango angular de 1° a 4°.

En conexión con el factor que en varias instancias de aplicación y examinación de colores con el largo de los ángulos visuales, en 1951 se llevaron a cabo experimentos con observadores reales donde se introdujeron correcciones en las longitudes de onda cortas del espectro en el campo en dimensiones mayores a 4°. En 1964 la CIE aceptó el estándar preciso de Sistema Tricromático de Color XYZ CIE-1964, basado en los resultados del ángulo de visión a 10°. Las formas de los diagramas de 1931 y 1964 son muy similares, pero no son idénticos.

De acuerdo con los parámetros visuales estandarizados para terminales de video en ángulos de visión (campo visual) que no excedan los 40°. Entonces, para el campo de visión de 1° y 10° corresponden en la pantalla fragmentos de imágenes con tamaños de 190 y 19 líneas de televisión, respectivamente. En el primer caso, corresponde a los elementos de la imagen a detalle, en el segundo caso al largo de los campos. Desde que la imagen de televisión es caracterizada por altos grados de detalle, en este caso se presta más atención al Diagrama de Cromaticidad XYZ de CIE-1931.

La contemplación de resultados experimentales de umbrales diferenciales de percepción en la saturación en distintas partes del Diagrama de Colores Básicos XYZ CIE-1931 fueron manejados muchos años. Unos de los resultados más representativos de estudios experimentales están descritos en las Tablas 7 y 8., así como en la Figura 16 y 17. Éstos están representados, correspondientemente, de manera transversal, también con la proporción de ejes d. Desafortunadamente, es posible establecer que las desviaciones estadísticas de resultados experimentales, obtenidos mediante diferentes procedimientos de medición y aún los resultados experimentales, obtenidos por uno de los mismos observadores con las condiciones variadas de observación, se caracterizan por pequeñas repeticiones. Ello designa que el mecanismo funcional de percepción visual depende de tiempo y circunstancias, factores no considerados en los modelos de condiciones de observación. La diferencia indicada consta de más de 20%.

Teniendo en cuenta que el sistema de televisión es el campo de los estudios que se han mencionado, se definirán concretamente el círculo de tareas resueltas y nos limitaremos a aquellos estudios en la gráfica de color XYZ.



Análisis de los diagramas de color de la CIE en la Televisión

Tabla 7. Los parámetros de las elipses de umbrales diferenciales de percepción en el Diagrama Básico de Color XYZ CIE-1931[5].

	X	Y	A	d = b/a
1	0,4786	0,4327	0,050	0,116
2	0,3909	0,4375	0,072	0,165
3	0,4932	0,3462	0,075	0,217
4	0,3079	0,3595	0,032	0,089
5	0,4458	0,4809	0,088	0,183
6	0,4382	0,3417	0,046	0,135
7	0,3822	0,3372	0,038	0,113
8	0,2295	0,2987	0,035	0,117
9	0,3310	0,2749	0,045	0,164
10	0,2766	0,2551	0,033	0,129
11	0,2054	0,2544	0,032	0,126
12	0,5868	0,3360	0,089	0,265
13	0,3545	0,4518	0,076	0,168
14	0,2618	0,2912	0,047	0,161
15	0,3101	0,3163	0,033	0,104
16	0,3251	0,3325	0,022	0,066
17	0,2959	0,3009	0,024	0,080
18	0,3144	0,3355	0,018	0,054
19	0,3425	0,5280	0,093	0,176
20	0,3022	0,4725	0,069	0,146
21	0,4873	0,3994	0,044	0,110
22	0,5428	0,3776	0,059	0,156
23	0,2670	0,4240	0,056	0,132
24	0,3753	0,3867	0,054	0,140
25	0,5242	0,3140	0,080	0,255

Análisis de los diagramas de color de la CIE en la Televisión

Tabla 8. Los parámetros de las elipses de umbrales diferenciales de percepción en el Diagrama Básico de Color XYZ CIE-1931[6].

	X	Y	A	D = b/a
1	0,4220	0,3300	0,040	0,121
2	0,3640	0,5050	0,034	0,067
3	0,3700	0,2180	0,038	0,174
4	0,3080	0,4200	0,040	0,095
5	0,3140	0,1830	0,040	0,219
6	0,2210	0,1480	0,018	0,122
7	0,4840	0,2670	0,043	0,161
8	0,4360	0,3660	0,038	0,104
9	0,5520	0,2900	0,030	0,103
10	0,2490	0,2040	0,035	0,172
11	0,2680	0,3220	0,043	0,134
12	0,3100	0,2880	0,040	0,139
13	0,2550	0,2550	0,036	0,141
14	0,3830	0,4890	0,026	0,053
15	0,3230	0,5580	0,045	0,081
16	0,3540	0,3580	0,038	0,106
17	0,4160	0,2360	0,025	0,106
18	0,4730	0,3170	0,023	0,073
19	0,3580	0,2300	0,033	0,143
20	0,3210	0,4910	0,038	0,077
21	0,2940	0,3670	0,030	0,082
22	0,2940	0,3670	0,078	0,213
23	0,3850	0,4000	0,028	0,070
24	0,1990	0,5240	0,072	0,444
25	0,2120	0,6420	0,118	0,203

## Análisis de los diagramas de color de la CIE en la Televisión

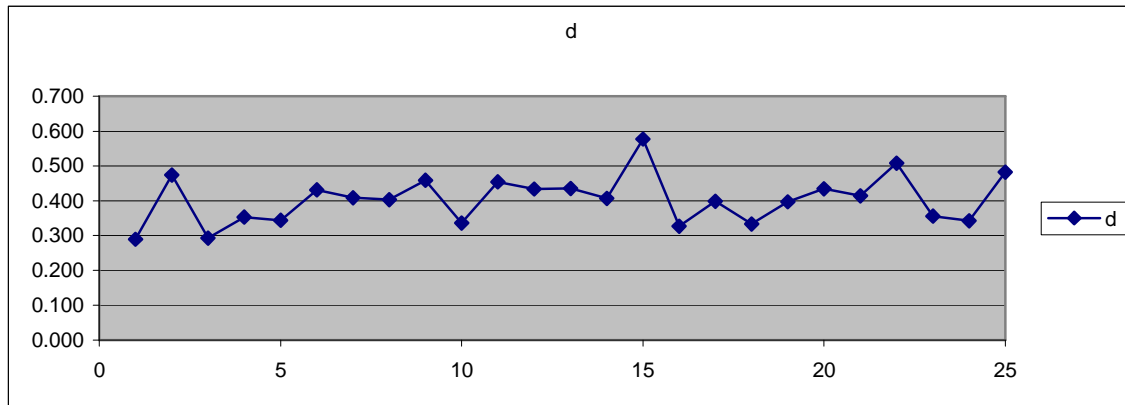
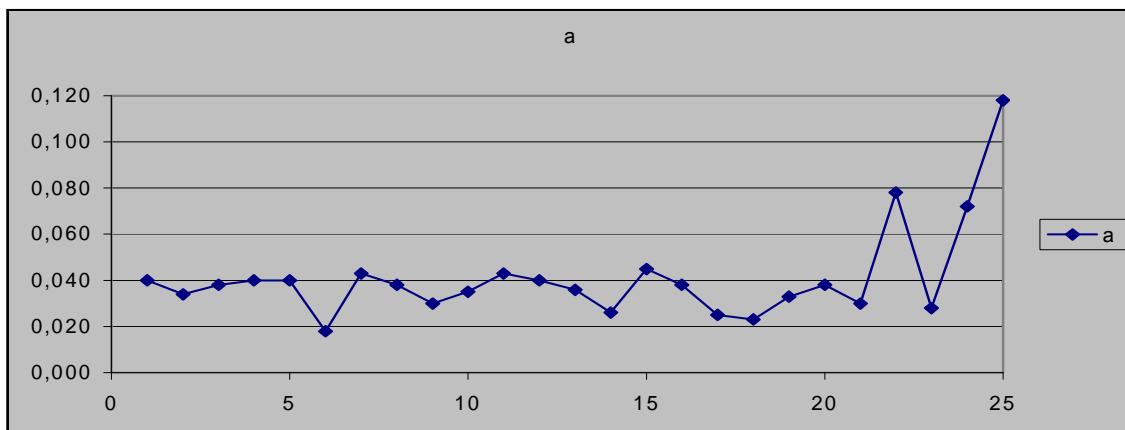


Fig. 16. Dependencia de los parámetros de elipses de dispersión de umbrales diferenciales en el Diagrama de Colores Básicos de Color XYZ CIE-1931[5].



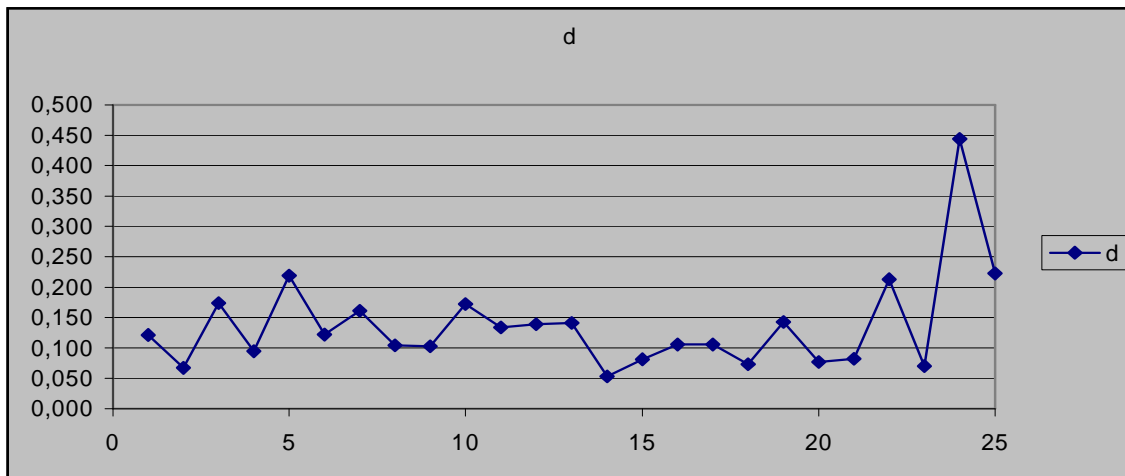


Fig. 17. Dependencia de los parámetros de elipses de dispersión de umbrales diferenciales en el Diagrama de Colores Básicos de Color XYZ CIE-1931[6].

Con el área del triángulo de colores básicos del receptor, dentro del cual los cambios relativos en los parámetros de las elipses de dispersión son mínimos.

Discutiendo sobre las razones para una no uniformidad en el Diagrama Básico de Color XYZ CIE-1931. La orientación de los ejes del Diagrama de Colores Básicos seleccionados como el siguiente plano:  $X+Y+Z=1$  con su proyección en el plano XY puede brindar el triángulo correcto llamado Diagrama de Cromaticidad. De cualquier modo, esto no significa que la coordenada sea proporcional a la luminancia.

Ésta determina que la luminancia sólo es para colores simples, los vectores descansan en el plano simple. Mientras que para ellos  $y=Y$  en casos generales el punto en el diagrama es un trayecto de la intersección del plano simple con el vector de este color y éste nada nos dice acerca de la longitud de este vector. La parte de la línea de saturación espectral de 380 a 540nm es considerablemente inclinada.

Ello significa que las combinaciones aditivas de los pares espectrales de estímulo en este rango del espectro no son iguales en la saturación para emisiones espectrales intermedias. En la base del Diagrama de Colores Básicos XYZ CIE-1931 descansa el principio de máxima simplicidad y claridad para el detrimento.

Ello confirma que el factor de el locus de terminales de los vectores, los cuales corresponden a estímulos monocromáticos con una radiación constante forman la curva muy compleja de espacio, la cual comienza cerca de cero – las coordenadas originales – para el color con longitud de onda de 400nm y concluye aproximadamente para la longitud de onda de 700nm.

Por ejemplo, el Diagrama de Color Básico XYZ CIE-1931 posee un área con distribución no uniforme de saturación y contraste desigual. Éste es un dibujo de fondo en el diagrama y no hace posible su uso para el análisis de la calidad de saturación de color en la imagen discreta sintetizada para los sistemas de televisión interactiva.

## 5.2. Análisis del Diagrama de Color Básico UVW CIE-1960

Para verificar el Diagrama de Color Básico UVW CIE-1960 se utilizaron los resultados de estudios experimentales de umbrales diferenciales en la saturación de color, presentado previamente. La transferencia de elipses de dispersión del sistema de coordenadas  $x$  y en  $u$   $v$  nos permite producir, con el apoyo de expresiones la evaluación cuantitativa del Diagrama de Colores Básicos.

Los resultados de los cálculos de UVW CIE-1960 son dados en las tablas 9 y 10. y son representados en las Fig 19 y 20 las cuales representan los principales ejes (a) y la relación entre los ejes de las elipses (d).

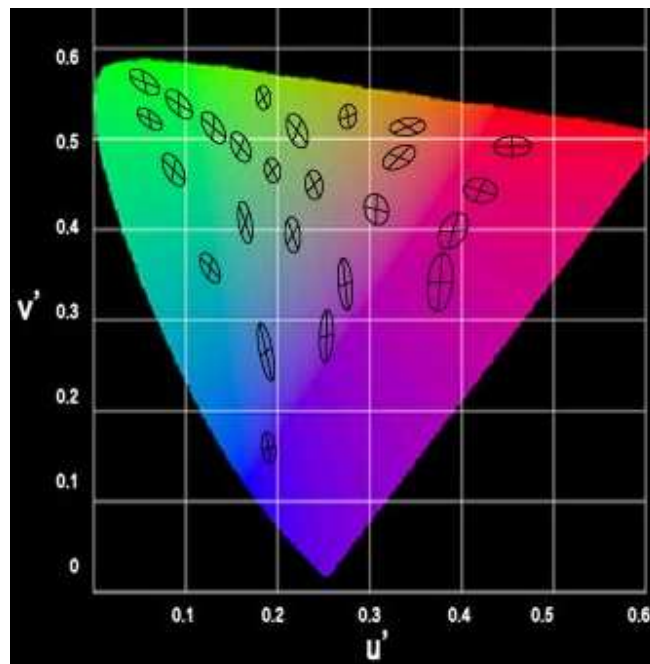


Fig. 18. Diagrama de Color CIE UVW, 1964

## Análisis de los diagramas de color de la CIE en la Televisión

Tabla 9 Los parámetros de las elipses de percepción de umbrales diferenciales en el Diagrama de Colores Básicos UVW CIE-1960[5].

	U	V	A	D = b/a
1	0,0540	0,3710	0,0725	0,3214
2	0,1578	0,3305	0,0613	0,5905
3	0,2295	0,3527	0,0460	0,7065
4	0,2780	0,2210	0,0674	0,4258
5	0,3930	0,2710	0,0513	0,7018
6	0,3950	0,3531	0,0652	0,3696
7	0,3636	0,2257	0,1040	0,5192
8	0,2465	0,2973	0,0331	0,7160
9	0,4307	0,2955	0,0632	0,4130
10	0,1830	0,1015	0,0398	0,6533
11	0,1803	0,1785	0,0743	0,4280
12	0,4642	0,3340	0,0887	0,2672
13	0,2725	0,3577	0,0435	0,5816
14	0,3361	0,3316	0,0650	0,3154
15	0,0860	0,3107	0,0748	0,3890
16	0,2519	0,1920	0,0662	0,4305
17	0,1745	0,2743	0,0581	0,4372
18	0,0918	0,3584	0,0658	0,3754
19	0,1845	0,3725	0,0334	0,7036
20	0,3075	0,2874	0,0437	0,5789
21	0,1963	0,3095	0,0391	0,4450
22	0,1340	0,3430	0,0641	0,5023
23	0,2120	0,2690	0,0463	0,4341
24	0,1232	0,2307	0,0558	0,4319
25	0,0556	0,3490	0,0512	0,4375

## Análisis de los diagramas de color de la CIE en la Televisión

Tabla 10. Los parámetros de las elipses de percepción de umbrales diferenciales en el Diagrama de Colores Básicos UVW CIE-1960[6].

	U	V	A	d = b/a
1	0,4220	0,3300	0,0792	0,4276
2	0,3640	0,5050	0,0905	0,6380
3	0,3700	0,2180	0,0936	0,7457
4	0,3080	0,4200	0,0956	0,5820
5	0,3140	0,1830	0,0430	0,4494
6	0,2210	0,1480	0,0507	0,4645
7	0,4840	0,2670	0,1210	0,4370
8	0,4360	0,3660	0,0885	0,2540
9	0,5520	0,2900	0,0839	0,4129
10	0,2490	0,2040	0,0342	0,6327
11	0,2680	0,3220	0,0568	0,6599
12	0,3100	0,2880	0,0601	0,6999
13	0,2550	0,2550	0,0972	0,4032
14	0,3830	0,4890	0,0488	0,2604
15	0,3230	0,5580	0,0339	0,4835
16	0,3540	0,3580	0,0652	0,5220
17	0,4160	0,2360	0,0602	0,2588
18	0,4730	0,3170	0,0895	0,3979
19	0,3580	0,2300	0,0709	0,3352
20	0,3210	0,4910	0,0597	0,2292
21	0,2940	0,3670	0,0640	0,3127
22	0,2940	0,3670	0,0853	0,1298
23	0,3850	0,4000	0,0518	0,7346
24	0,1990	0,524	0,0478	0,3981
25	0,2120	0,642	0,0321	0,8403

## Análisis de los diagramas de color de la CIE en la Televisión

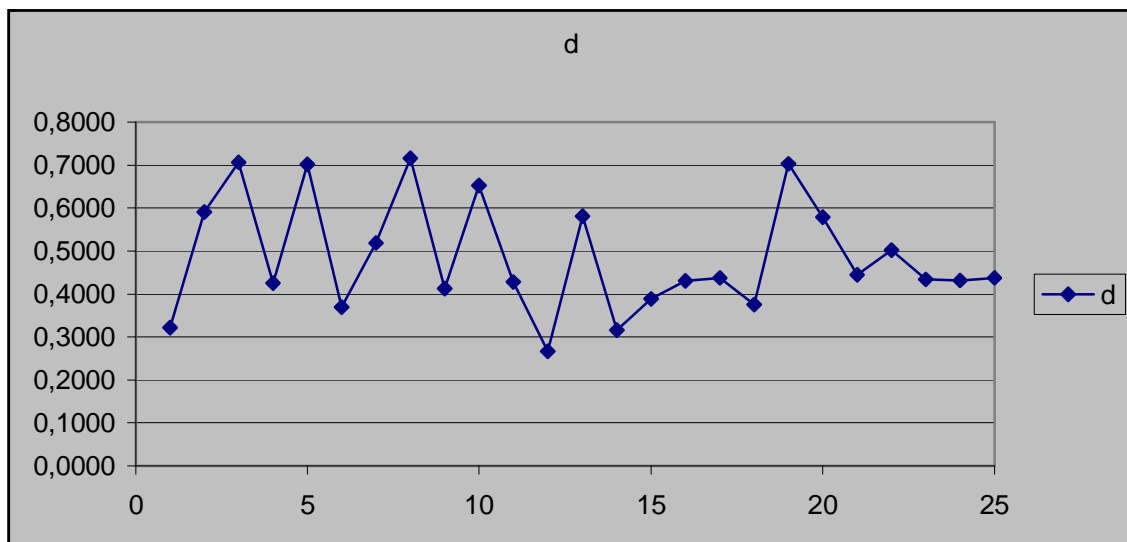
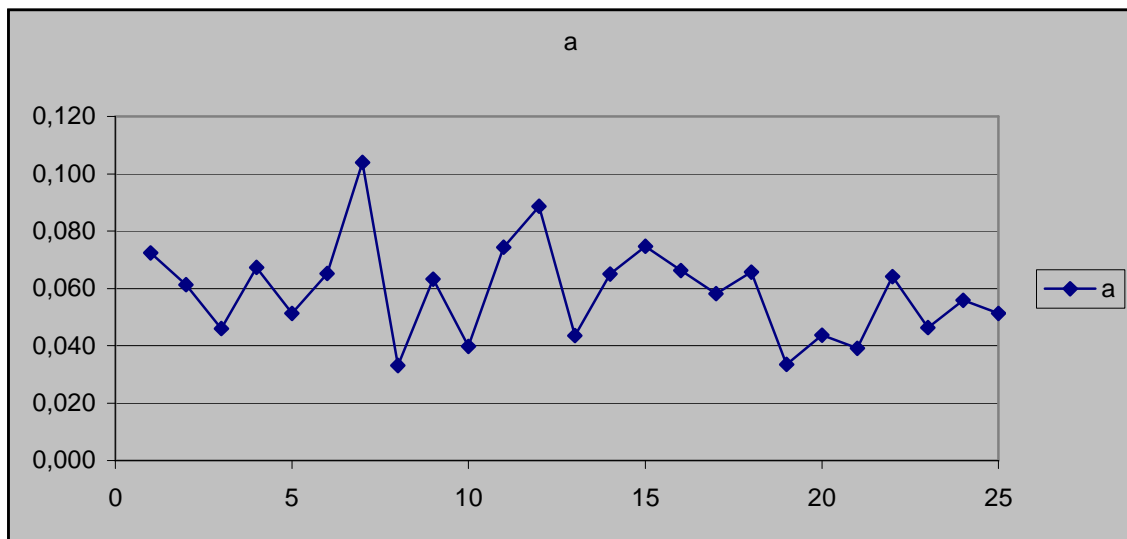


Fig. 19. Dependencia de los parámetros de las elipses de dispersión de umbrales diferenciales en la saturación de color en el Diagrama Básico de Color UVW CIE-1960 de acuerdo con los datos [5].



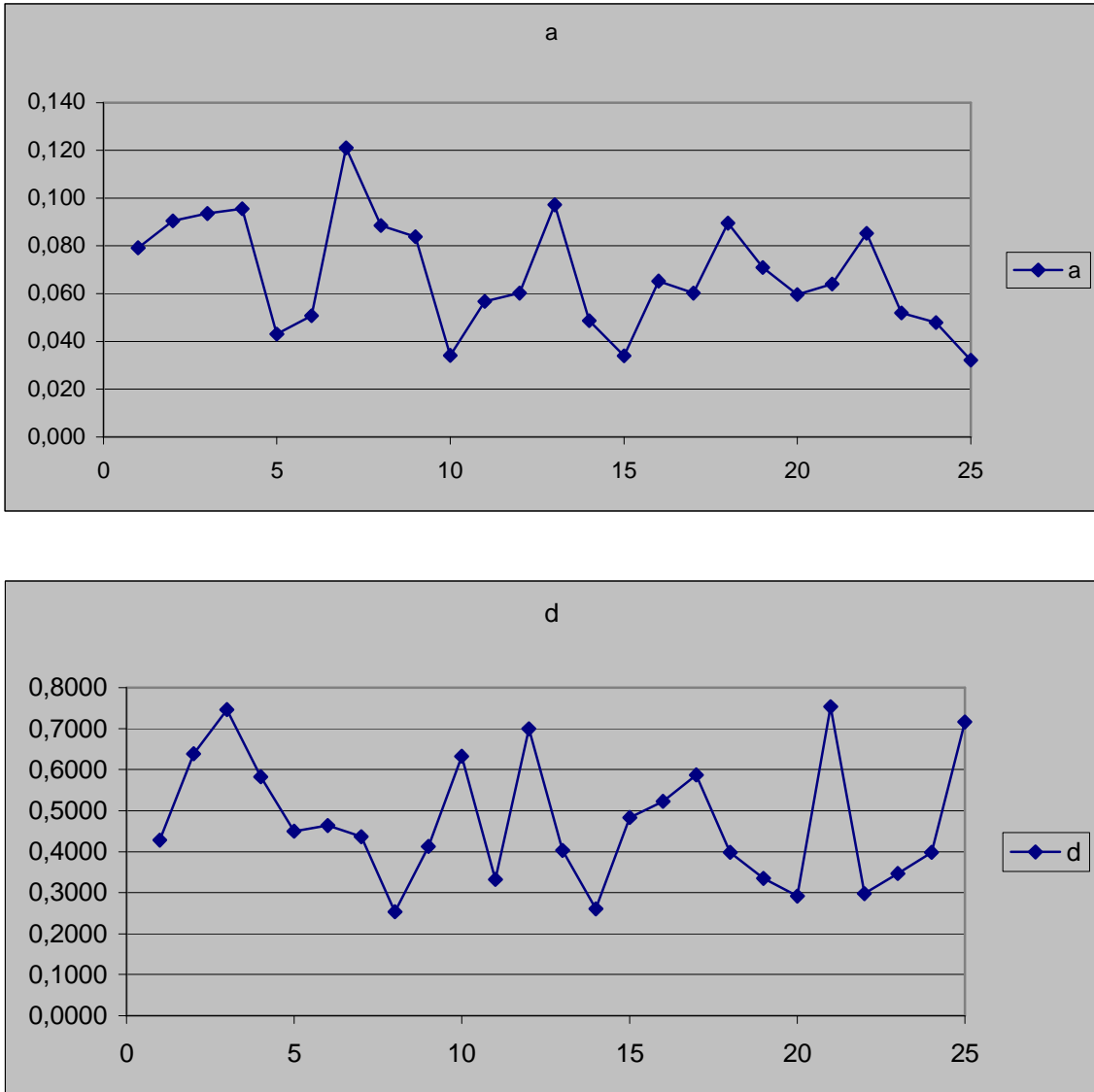


Fig. 20. Dependencia de los parámetros de las elipses de dispersión de umbrales diferenciales en la saturación de color en el Diagrama Básico de Color UVW CIE-1960 de acuerdo con los datos [6].

Si siguiendo los parámetros de las elipses, los intervalos que corresponden a cambios idénticos en los umbrales de saturación son 10 veces más pequeños que los parámetros análogos del Diagrama XYZ de CIE-1931. Entonces, por instancia, los máximos cambios en la longitud de los principales ejes y elipses dentro de los límites del área del triángulo de colores básicos del receptor se comprimen, de acuerdo a los datos [5] 3,142:1 y la razón de los ejes  $d$  varía de 0.267 a 0.716 y se compone de 2.68 veces, de acuerdo a los datos [6], correspondiendo 3,774:1 y

2,967 veces. Desde entonces, el diagrama de Colores Básicos UVW CIE-1960 posee indudablemente las mejores características que el Diagrama XYZ de CIE - 1931.

De cualquier modo, podemos establecer que las elipses de Judd o de McAdam construyen igualdad del diagrama de contraste uv, entonces son isométricos circulares con alta exactitud. De manera particular, entre la saturación del púrpura y rojo descansa un 49 % de promedio en umbrales de color, mientras que en el amarillo y azul -25.

En la Figura 21 los ejes de elipses de McAdam son también incrementadas 10 veces en comparación con sus valores actuales. Todo esto confirma el aproximado natural entre el Diagramas Básicos de Color UVW CIE-1960. Éste indica la necesidad de construir un diagrama de contraste de igualdad en conexión con el análisis.

Este diagrama puede mostrar qué tan adecuada es la saturación de las imágenes, entonces se hace necesario, principalmente con los ejes violeta-verde-amarillo del Diagrama Básico de Color UVW CIE-1960. Entonces, los resultados de los estudios mostrados por las transformaciones lineales del Diagrama Básico de Color XYZ CIE-1931 no posibilitan la transformación de las elipses a figuras geométricas, cerrando los círculos dentro de diámetros iguales.

La escala de color tridimensional recibida por iguales contrastes no puede ser el único y principal logro científico, pero su uso puede darnos datos más confiables para la selección del conjunto de sistemas de televisión.

### **5.3. Desarrollo de la práctica de conversión de Diagramas Básicos de Colores CIE-1931 y 1960 no lineales.**

Como se ha notado hasta ahora, en orden con las superficies bidimensionales de la diferencia con respecto a la saturación de color, evaluada por observadores, para representar como líneas de longitudes idénticas, la superficie debe ser como la de un domo. Para ello la mitad de las partes de la gráfica debe ser menor a la mostrada en la Fig. 20. Durante los siguientes estudios del Diagrama, Fig. 20, las regularidades siguientes se abren: los principales ejes de las elipses de la periferia del diagrama, en esencia son dirigidas hacia el centro, lo que coincide con el punto de soporte que es el color blanco.

En este caso, en orden con la gráfica bidimensional, la igualdad recibida en las diferencias de saturación representada por líneas de misma longitud, es necesario colocar secciones radiales y extender las perpendiculares. Ello hace de nuevo necesario privarse del plano.

De cualquier modo, con la estructura de domo en la superficie en el centro de la sección de distancias radiales incrementan en comparación con las distantes, lo cual contradice completamente el tipo de superficie requerida. Por ejemplo, es necesaria la superficie con la curvatura negativa cuya forma de superficie es de silla. Lo anterior hace posible compensar la ondulación en las orillas de la superficie bidimensional, descubierta por McAdam, la cual presenta la distribución de la saturación del color de acuerdo con las observaciones.

De cualquier modo, se debe apuntar que ambas, la convexa en el centro y la ondulación en las orillas están conectadas con las propiedades del ojo, bien conocidas de acuerdo a otros datos, obtenidos de experimentos de igualación en discriminación de color. Condiciones favorables para detectar las diferencias en la saturación del color se dan cuando los cambios del medio ambiente tienen casi la misma saturación de color como en dos estímulos comparados.

La adaptación del observador en los experimentos de McAdam es determinada por la superficie del campo del entorno, la cual presenta luz del día. En conexión con lo anterior, las líneas de diferencias constantes en la saturación del color deben ser menores y más cercanas al centro ( $X = Y = 0,3$ ) que las de la periferia, las cuales muestran extensiones de forma convexa (pendiente positiva) en el centro de la superficie bidimensional. Respecto a las desviaciones en la saturación del color, las cuales difieren considerablemente de desviaciones bajo las condiciones de luz del día, se debe notar que el observador, adaptado a la luz del día, recibirá las desviaciones radiales como diferencias en el color.

Cuando el observador construye una de dos tonalidades de color, las cuales causan la percepción de diferencia de color, entonces debido a la adaptación local el receptor de color comienza a decrementar. Esto continúa hasta que el punto de fijación de visión cambia con el parpadeo.

La reducción en la saturación de acuerdo a Munsell puede hacer que la adaptación local al color sea muy buena. Puede ser 10 veces más que las más notables diferencias en la saturación de acuerdo a Munsell. Cuando el observador mira primero una mitad de un campo, entonces el otro medio es percibido como otro campo, entonces cualquiera de ellos es examinado por la fovea de la retina, adaptada a la luz del día del campo del entorno.

Por consiguiente cada mitad del campo en turno aparece más saturado que otro y la diferencia en la saturación de acuerdo con Munsell, la cual corresponde a la comparación de dos medios campos por la igualdad de secciones de la retina es ilegible. Estos análisis y explicaciones sobre el campo del medio ambiente se deben abordar en la comparación de colores.

Si dos tonalidades de color son distinguidas en la periferia y no en la dirección radial, entonces el efecto de interferencia en la forma de la luz del día en el campo circundante se torna mínimo. De cualquier modo, la fovea que es la parte más adaptada de la retina para la comparación de tonalidades, las diferencias de tono

de color son más explícitas. Esto ocurre hasta que la completa adaptación local de tonos de color sea adicional. Uno esperaría precisamente el mismo resultado, tal como lo muestra la mayoría de las elipses a la periferia Figura 20.

Las diferencias radiales no se describen exactamente como las diferencias representadas por los vectores, perpendiculares a un radio. Ya que uno esperaría, que las diferencias recibidas por el mismo color fijo cercano a la periferia fuera representado por elipses en los ejes principales, alargadas en las direcciones del color, a lo cual se adapta el observador. Esto explica la ondulación en el borde de la superficie de dos dimensiones, construido por McAdam.

El estudio de las elipses de Stayl lleva a la conclusión de que en el plano no es posible representar estas elipses como círculos ideales. Sin embargo, como Stayl mostró, su plano difiere significativamente del arreglo, propuesto por McAdam. Se calcula que la curvatura de superficie de Stayl siempre es negativa, mientras que la de McAdam es positiva en algunas regiones y negativa en otras.

Entre las imágenes de estas dos superficies se revelan divergencias importantes. Sin embargo, las más agudas comparaciones entre las elipses de McAdam y Stayl dan la posibilidad de una correspondencia entre ellas, en particular, si hacemos una corrección en los datos obtenidos experimentalmente (por observación), en los cuales se basan estas elipses. Actualmente, en comparación con las elipses, presentadas por otros investigadores, estas dos son las que mayor correspondencia tienen.

Esta interesante correspondencia fue notada por Vyshetskim y Filderon. Esto probablemente significa que no se le debe dar un valor muy significativo a la forma (curvatura) de la superficie, sobre la cual aparecen la totalidad de las elipses, obtenidas en experimentos de igualar el color, dando la apariencia en su totalidad de círculos ideales.

En relación a estos trabajos tenemos el trabajo de Farnsvorta, el cual describe una versión curvilínea del diagrama XYZ de la CIE 1931, el cual corresponde a la distribución del color de aquellos obtenidos experimentalmente por diferentes autores, incluyendo a Wright, McAdam y Judd. Cada grafica curvilínea es plana. De cualquier forma, esto solo es posible bajo la suposición de que los datos experimentales de los observadores cambio 20 %, debido a la naturaleza de los datos, una variación así es completamente razonable. Esto le permitió a Farnsvortu transformar las elipses de McAdam en círculos, sin ser cambiadas de espacio. Subsecuentemente, Farnsvort mostró que los espacio de Wright, McAdam y Munsell difieren principalmente en términos de grados en los ejes. Consecuentemente, tres graficas curvilíneas correspondientes no pueden ser combinadas con el apoyo de simples transformaciones lineales. Se asumen como razón de las diferencia, a las condiciones de observación, las cuales son usadas en cada una de estos casos.

Esto muestra que con la ayuda de la conversión curvilínea de los diagramas del sistema estándar tricromático de colores básicos XYZ CIE 1931 y del diagrama UVW de la CIE 1960 se puede lograr una compatibilidad sin tener que cambiar de plano únicamente modificando de manera parcial la forma de la curvatura en el plano.

De cualquier forma, para hacer esto posible, sólo con la suposición de que los datos experimentales de los observadores tienen una posible variación del 20%, como ya se mencionó. Los resultados experimentales de los estudios de colorimetría dependen de muchos factores. Primeramente del propio observador, su edad, su estado físico y su agudeza visual. Más aún un efecto esencial para la repetición de resultados son: el factor temporal de observación, el intervalo de tiempo entre las medidas, la condición en que se llevan a cabo dichas medidas, la instrumentación y por supuesto, el procedimiento para obtener los datos y medidas. Todos estos factores determinan la misma variación de 20% en los resultados experimentales, los cuales son asumidos para las investigaciones de zonas de igual contraste de la variación de elipses de igual número de umbrales de color.

Los estudios de McAdam se basan en el caso obvio de la diferencia en las medidas experimentales, reflejados en los diagramas de la CIE 1931-1964. Estas diferencias son determinadas, en primer plano, por la forma de medición.

#### 5.4. Análisis del Diagrama de Crominancia Curvilíneo

McAdam, quien utilizó la conversión no lineal para el estándar del diagrama tricromático de colores básicos XYZ CIE-1931. El objeto de nuestros análisis es un diagrama curvilíneo de cromaticidad. Para la transformación de coordenadas X, en el diagrama básico de color XYZ CIE-1931, dentro del sistema de coordenadas, de acuerdo a sus expresiones que a continuación se muestran, es necesario realizar un gran número de cálculos con el auxilio de la tecnología de las computadoras.

$$a_1 = \frac{10 x}{2.4 x + 34 y + 1}$$
$$b_1 = \frac{10 y}{2.4 x + 34 y + 1} \dots(a)$$
$$a_2 = \frac{10 x}{4.2 y - x + 1}$$
$$b_2 = \frac{10 y}{4.2 y - x + 1}$$

$$\begin{aligned} \xi &= 3751 a_1^2 - 10 a_1^4 - 520 b_1^2 + 13295 b_1^3 + 32327 a_1 b_1 - 25491 a_1^2 b_1 \\ &- 41672 a_1 b_1^2 + 10 a_1^3 b_1 - 5227 \sqrt{a_1} + 2952 \sqrt[4]{a_1}; \quad \dots(b) \\ \eta &= 404 b_1 - 485 b_2^2 + 52 b_2^3 + 69 a_2 (1 - b_2^2) - 3 a_2^2 b_2 + 30 a_2 b_2^3 \end{aligned}$$

Donde:

Para la tesis se desarrollo un algoritmo por un programa para computadora para convertir el espacio de color de la CIE XYZ al propuesto por McAdam. Con el apoyo del subprograma para la graficación automática, se obtendrá el espacio de color que se muestra en las figura 21.

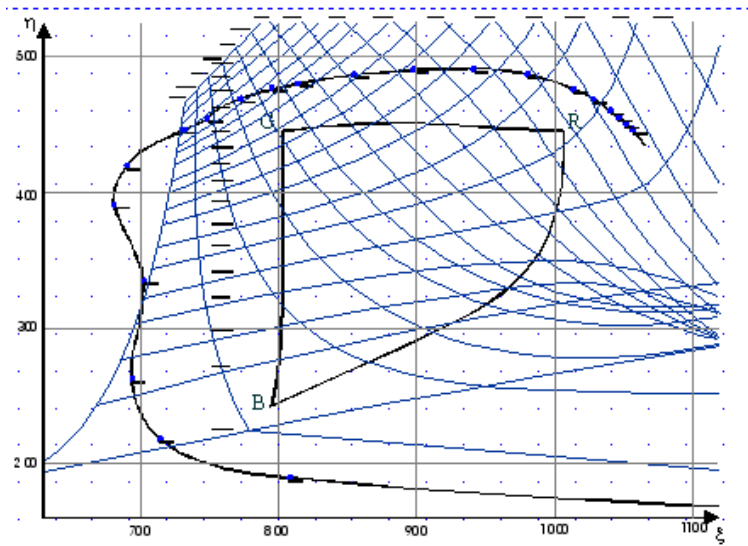


Fig. 21. Espacio de color de acuerdo a las modificaciones de McAdam

En el lado derecho de la coordenada de sistema, se nota el cruce de coordenadas de líneas X que indica la imposibilidad de utilizar la coordenada de sistema para la adecuación del sistema x de coordenadas u, en esta parte del diagrama básico de color XYZ CIE-1931. De cualquier modo, lo anterior no es de vital importancia, desde esta zona localizada más allá de los límites del área del triangulo de colores básicos del receptor. En este caso en el área de triángulo de colores básicos del receptor la nueva coordenada del sistema está ubicada en la región relativa de distribución de coordenadas de líneas X, u. Esta circunstancia hace posible esperar la posibilidad de aplicar la proyección curvilínea de conversiones para calcular los parámetros del conjunto de colores del sintetizador para el sistema de televisión.

Los valores de las señales del conjunto de sintetizadores discretos de color son asignados por las coordenadas de los puntos de su saturación de color. Por ejemplo, los parámetros de color simple. Las distancias entre las saturaciones

adyacentes deben ser constantes, asegurando una constante de contraste de color. Por ejemplo, diferencias iguales de color deben ser reflejadas por las secciones de misma longitud y las elipses de McAdam deben ser transformadas en círculos.

De cualquier forma, en el plano, las distancias entre las coordenadas de líneas  $X$ ,  $u$ , no son constantes en los límites del área de triángulo de colores básicos del receptor. El grado de inclinación del plano puede ser calculado de acuerdo a los grados de aproximación con las zonas de diferencias de color, caracterizado por las elipses de McAdam convertidas en círculos.

Las desviaciones estándar promediadas son representadas por unidades de escalas a lo largo de los ejes  $\xi$ ,  $\eta$ , los cuales son iguales en la Varianza

La del locus difiere significativamente de forma análoga de las figuras al diagrama básico de color XYZ CIE-1931 y el triángulo básico de color de la figura curvilínea.

Se debe hacer notar lo siguiente: la complejidad de las expresiones, que describe el algoritmo de la conversión del sistema de coordenadas  $x$  y  $y$  a coordenadas de sistema  $\xi$ ,  $\eta$ , no hace posible producir transformación inversa analíticamente. Por lo tanto, la presencia de los parámetros calculados de las líneas de valores constantes de referencia  $X$ ,  $u$ , nos da la posibilidad de convertir fácilmente de gráfico a analítico sin la aplicación de programas complejos de tecnologías de computadora de coordenadas del diagrama básico de color XYZ CIE-1931 dentro del sistema de coordenadas curvilíneas y viceversa.

Para revisar la inclinación del diagrama de cromaticidad curvilíneo  $\xi$ ,  $\eta$ , se retomará a McAdam con una analogía, en la cual se utilizan los resultados experimentales de estudios de umbrales diferenciales en la saturación de color, representados en las tablas 7. y 8. En la figura 20 sobre el área del triángulo de colores básicos el color del receptor, la forma de las elipses se caracteriza por zonas de saturación de color. Éstas se encuentran cerca de los círculos. Los resultados de los cálculos de conversión de las elipses de acuerdo a saturación de color y grados de su diferencia con los círculos son dados en las tablas 11 y 12, éstas son representadas en los gráficos de las Fig. 22 y 23.

La región de saturación de color en el diagrama de cromaticidad curvilíneo  $\xi$ ,  $\eta$  ha comenzado a ser investigado, McAdam nos permite limitarlos al área del triángulo de colores básicos del receptor (Fig. 21), dentro del cual los cambios relativos en los parámetros de las elipses de dispersión son mínimos. En la Fig. 22 y 23 Son representadas dos líneas salientes (mostradas como unas líneas de puntos continuos), las cuales son proporcionales a los principales ejes y elipses, así como a la proporción de los ejes  $d$ .

## Análisis de los diagramas de color de la CIE en la Televisión

En nuestro caso, la heterogeneidad del campo de saturación de color es determinada por el grado de desviación del círculo de las figuras, dentro del cual son transformadas las elipses, y los radios de los cuales corresponden a cambios de la saturación de color de un intervalo específico.

Desde las tablas 11 y 12 y Fig. 22 y 23, estableciendo que los grados de desviación de los parámetros de las elipses del círculo, dentro de los límites del campo del triángulo de colores básicos del receptor, son aproximadamente un 13%. Como se establece en el parte del diagrama deromaticidad curvilíneo  $\xi$ ,  $\eta$ , éste posee una indudable mejoría en sus características, en comparación con todos los diagramas básicos de color CIE.



Análisis de los diagramas de color de la CIE en la Televisión

Tabla 11. Parámetros de las elipses de percepción de umbrales diferenciales del diagrama de cromaticidad curvilíneo  $\xi, \eta/5]$

	$\epsilon$	$\eta$	A	d = b/a
1	975,282	356,783	19,8720	0,9750
2	812,023	447,312	19,9523	0,9240
3	920,023	353,222	19,6981	0,9720
4	1046,553	350,998	18,9682	0,8730
5	858,659	423,659	19,0654	0,9250
6	1003,332	415,066	19,0096	0,9010
7	907,215	396,667	19,6810	0,9320
8	809,020	381,006	19,3200	0,9820
9	905,004	460,021	19,7026	0,9910
10	803,245	414,756	19,4170	0,9710
11	906,992	307,557	19,2160	0,9350
12	868,768	252,340	18,9565	0,8950
13	1007,326	447,653	19,8300	0,9130
14	942,699	387,099	19,5500	0,9860
15	1052,258	385,221	19,7990	0,9620
16	829,124	435,223	19,2716	0,9800
17	931,212	430,997	19,2815	0,9850
18	883,225	296,326	19,0061	0,9740
19	829,611	327,256	19,6769	0,9630
20	882,347	411,563	19,6940	0,9540
21	1040,714	240,0211	19,8752	0,9820
22	966,774	452,267	19,2770	0,9170
23	874,652	352,455	19,8873	0,9830
24	992,623	373,144	19,5994	0,9640
25	1064,984	426,754	19,3779	0,9430

## Análisis de los diagramas de color de la CIE en la Televisión

### 12. Parámetros de las elipses de percepción de umbrales diferenciales del diagrama de cromaticidad curvilíneo $\xi, \eta[6]$

	$\epsilon$	$\eta$	A	d = b/a
1	851,120	270,202	19,4740	0,8749
2	954,629	377,197	19,2479	0,9037
3	1039,076	386,475	19,4697	0,9747
4	871,724	270,640	19,9747	0,9937
5	935,085	264,951	19,3156	0,9100
6	813,676	327,820	19,0989	0,9881
7	855,999	311,945	19,0065	0,9709
8	944,616	366,556	19,3644	0,9530
9	979,364	393,035	19,0778	0,9696
10	894,605	328,186	19,6957	0,9389
11	919,011	231,256	19,0553	0,9530
12	1037,352	316,591	19,0868	0,9352
13	837,768	400,554	19,7716	0,9007
14	938,933	415,190	19,1087	0,9603
15	995,501	299,206	19,2103	0,9915
16	890,627	322,178	19,5215	0,9703
17	1018,848	274,441	18,9856	0,9658
18	924,536	298,986	19,0050	0,9043
19	906,183	318,258	19,7100	0,9350
20	949,923	333,084	19,2108	0,9528
21	911,897	455,320	19,3366	0,9247
22	977,515	299,708	19,0401	0,9389
23	997,812	467,324	19,6272	0,9320
24	982,952	276,829	19,4542	0,9649
25	942,057	310,009	19,4377	0,9679

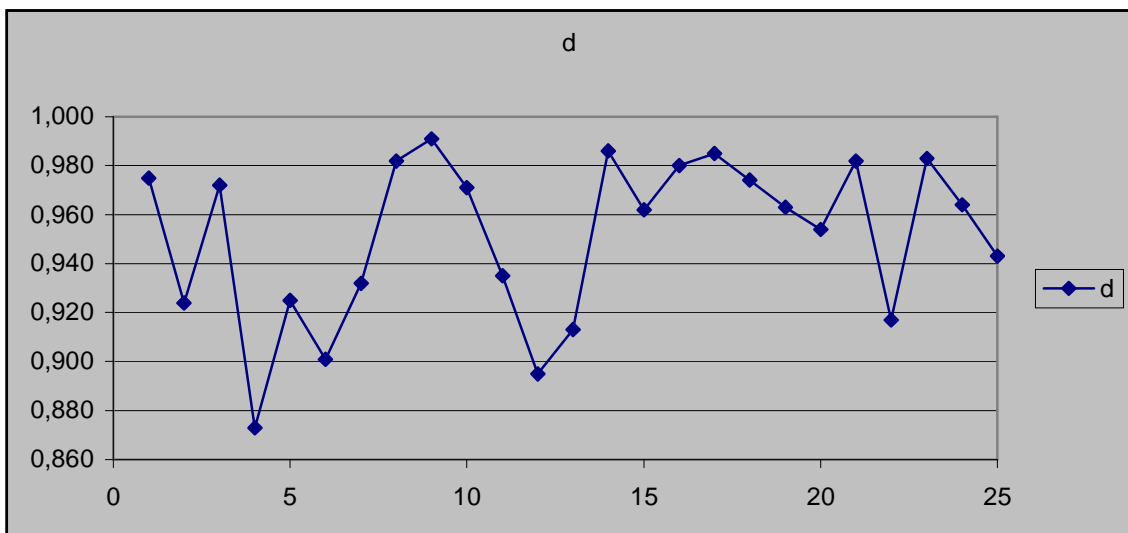
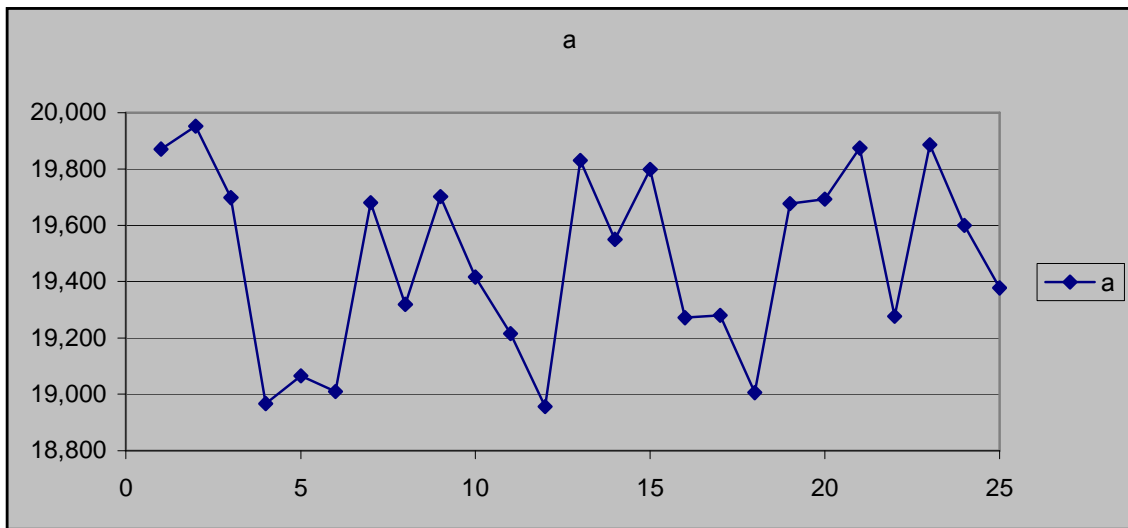


Fig. 22. Dependencia de los parámetros de las elipses de dispersión de umbrales diferenciales de saturación de color en el diagrama Curvilíneo de Color  $\xi, \eta, Mc$  Adam[5]

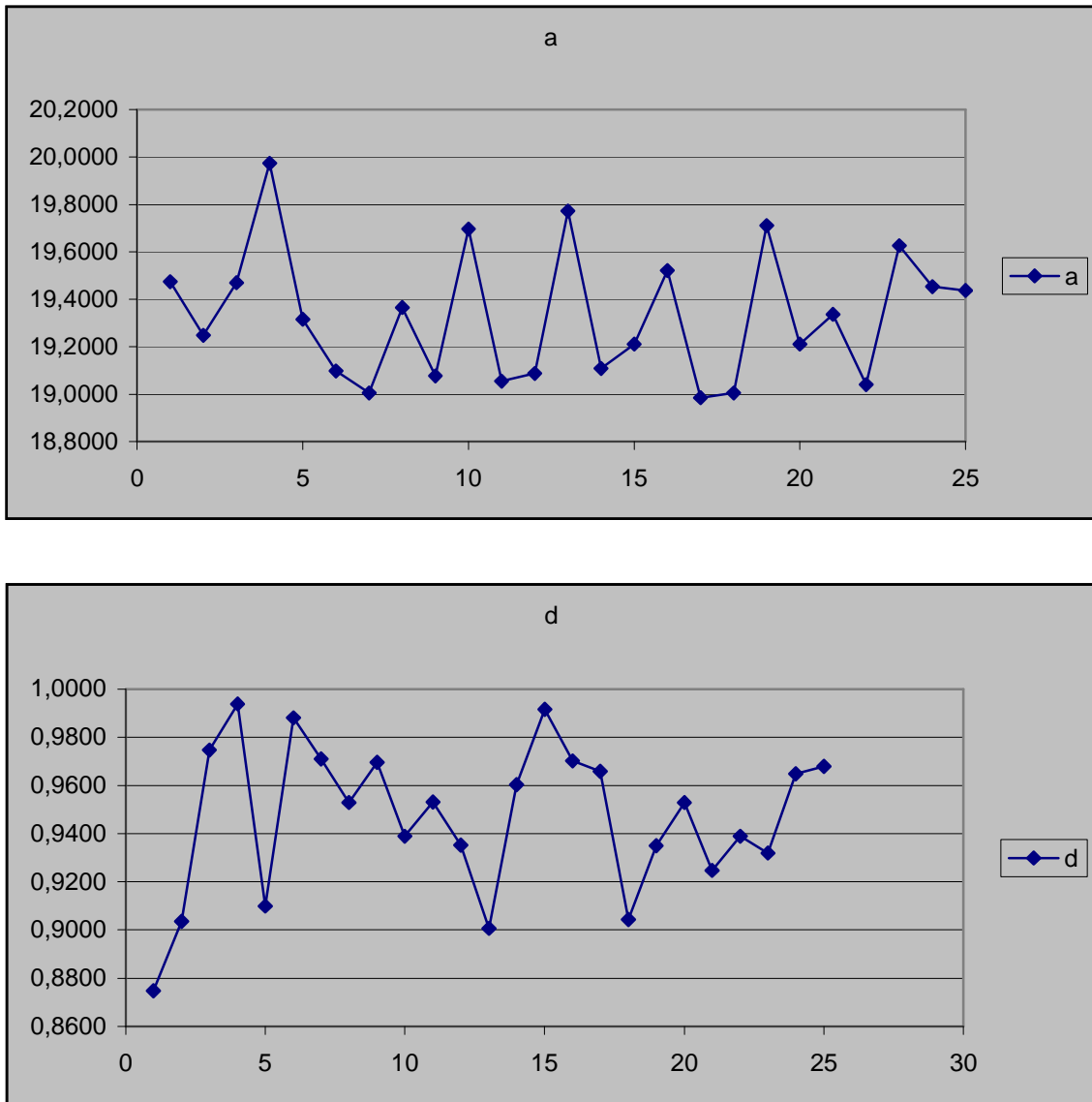


Fig. 23. Dependencia de los parámetros de las elipses de dispersión de umbrales diferenciales de saturación de color en el diagrama Curvilíneo de Color  $\xi, \eta, Mc$  Adam[6]

Puede ser utilizada para calcular los parámetros del conjunto discretos de color del sintetizador del sistema de televisión. Desafortunadamente, no pueden ser completamente excluidas las diferencias residuales entre las elipses y los círculos ideales de diámetros idénticos.

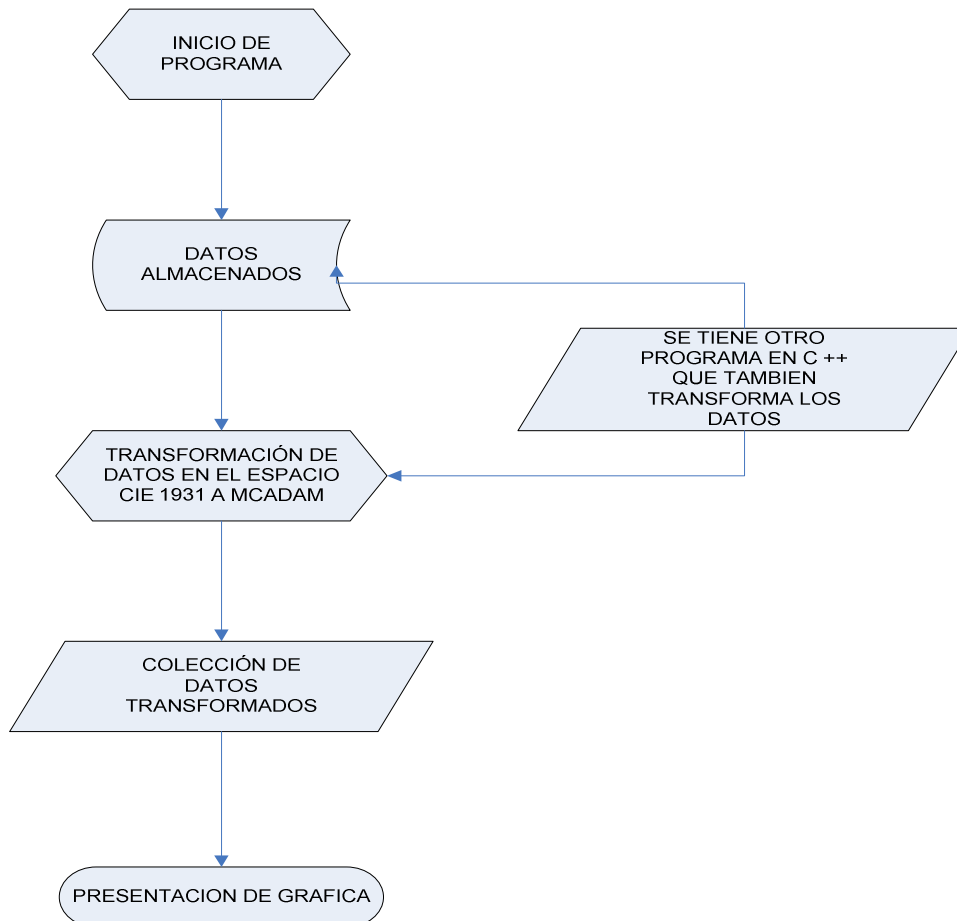
Al mismo tiempo, para aquellas diferencias no se ha revelado alguna tendencia sistemática que brinde la posibilidad de asumir que sin el uso de datos no lineales se archive el óptimo diagrama. Se hace posible considerar incrementar la

exactitud de los cálculos de parámetros de conjunto de colores discretos del sintetizador para los sistemas de televisión; lo cual, a su vez hace posible determinar los parámetros de sistemas de televisión interactiva con una exactitud aceptable, con una constante de contraste de color en todo el intervalo reproducido por el sistema de televisión y, asegurando la mejor calidad de color de imagen, la mejor nitidez de detalles de la secuencia transferida en las imágenes de la televisión.

Entonces, el uso del diagrama de cromaticidad  $\xi$ ,  $\eta$ , McAdam, hace posible desarrollar los aparatos que pronostiquen las diferencias en la saturación de color entre los pares adyacentes de color, lo que haría posible seleccionar el número óptimo de combinaciones de conjuntos de color en los sistemas de televisión.

## 6. PROGRAMA DE TRANSFORMACION DE ESPACIO CIE 1931 (XYZ) A ESPACIO MCADAM

### 6.1 DIAGRAMA DE FLUJO DEL PROGRAMA



### 6.2 RESUMEN DE PROGRAMAS

Se realizaron 2 programas, el primero en C++, el cuál fue creado con la función principal de facilitar el calculo de la transformación de puntos que se encuentren dentro o que formen parte de los limites del espacio de color de la CIE 1931 XYZ al espacio de color curvilíneo de McAdam.

Como ya se menciona en capítulos anteriores dichas transformaciones son matemáticamente complicadas, ya que se llevan acabo en 2 partes, primero transformando a valores de  $a$  y  $b$  con las ecuaciones (a) mencionadas anteriormente.

Y con estas variables se transforman en valores de  $\varepsilon$  y  $\eta$  con las ecuaciones (b) mencionadas arriba.

Los cuales ya son puntos en el espacio. Por tal motivo y pensando únicamente en la obtención de los puntos en el nuevo espacio se desarrollo este primer programa, por otro lado sirve como base para el programa que se describe a continuación.

El siguiente y último programa consta de 3 scripts creados en JAVA, dicha herramienta es actualmente ampliamente utilizada en el ámbito laboral y es por eso que fue seleccionada para el desarrollo del programa.

El primer script en JAVA tiene la misma función que el programa desarrollado en C++, ya que se encarga de realizar la transformación de los puntos del espacio XYZ a puntos en el espacio de McAdam, es importante mencionar que dicho programa fue también modificado para poder presentar simplemente los valores del espacio XYZ al segundo script.

En el segundo script se conjuntan los valores obtenidos en el script anterior y se conforma la grafica, se establecen los valores numéricos de los ejes. En general se configura la forma y figura de la grafica.

Para el tercer script se crea y presenta el llamado lienzo, que no es más que la presentación a nivel ventana de JAVA de la grafica.

### **6.3 PRESENTACIÓN DE RESULTADOS**

A continuación se muestran los resultados del primer programa realizado en el lenguaje C++, dichos resultados representan los 10 puntos que conforman cada uno de los 3 limites que conforman el espacio XYZ (Verde-Azul, Rojo-Azul y Verde-Rojo), y que se transforman a las 3 limites del espacio curvilíneo de McAdam.

Y las pantallas de salida son las siguientes:

Análisis de los diagramas de color de la CIE en la Televisión

N	x	y	p	q
N=1	x=0.276	y=0.546	p=805.087	q=447.922
N=2	x=0.262	y=0.492	p=804.952	q=432.956
N=3	x=0.248	y=0.438	p=804.812	q=416.764
N=4	x=0.234	y=0.384	p=804.661	q=399.274
N=5	x=0.22	y=0.33	p=804.473	q=380.437
N=6	x=0.206	y=0.276	p=804.178	q=360.222
N=7	x=0.192	y=0.222	p=803.574	q=338.542
N=8	x=0.1718	y=0.168	p=795.315	q=313.49
N=9	x=0.164	y=0.114	p=797.841	q=286.813
N=10	x=0.15	y=0.06	p=789.467	q=243.158

\*?@?@- RB

Figura 24. Primer pantalla de salida programa en C++

N	x	y	p	q
N=9	x=0.164	y=0.114	p=797.841	q=286.813
N=10	x=0.15	y=0.06	p=789.467	q=243.158
*?@?@- RB				
N=1	x=0.591	y=0.303	p=1002.38	q=436.726
N=2	x=0.542	y=0.276	p=997.214	q=409.112
N=3	x=0.493	y=0.249	p=990.892	q=386.549
N=4	x=0.444	y=0.222	p=982.982	q=368.616
N=5	x=0.395	y=0.195	p=972.819	q=354.413
N=6	x=0.346	y=0.168	p=959.317	q=342.364
N=7	x=0.297	y=0.141	p=940.584	q=329.939
N=8	x=0.248	y=0.114	p=913.033	q=313.313
N=9	x=0.199	y=0.087	p=869.038	q=286.946

\*?@?@- RB

Figura 25. Segunda pantalla de salida programa en C++



## Análisis de los diagramas de color de la CIE en la Televisión

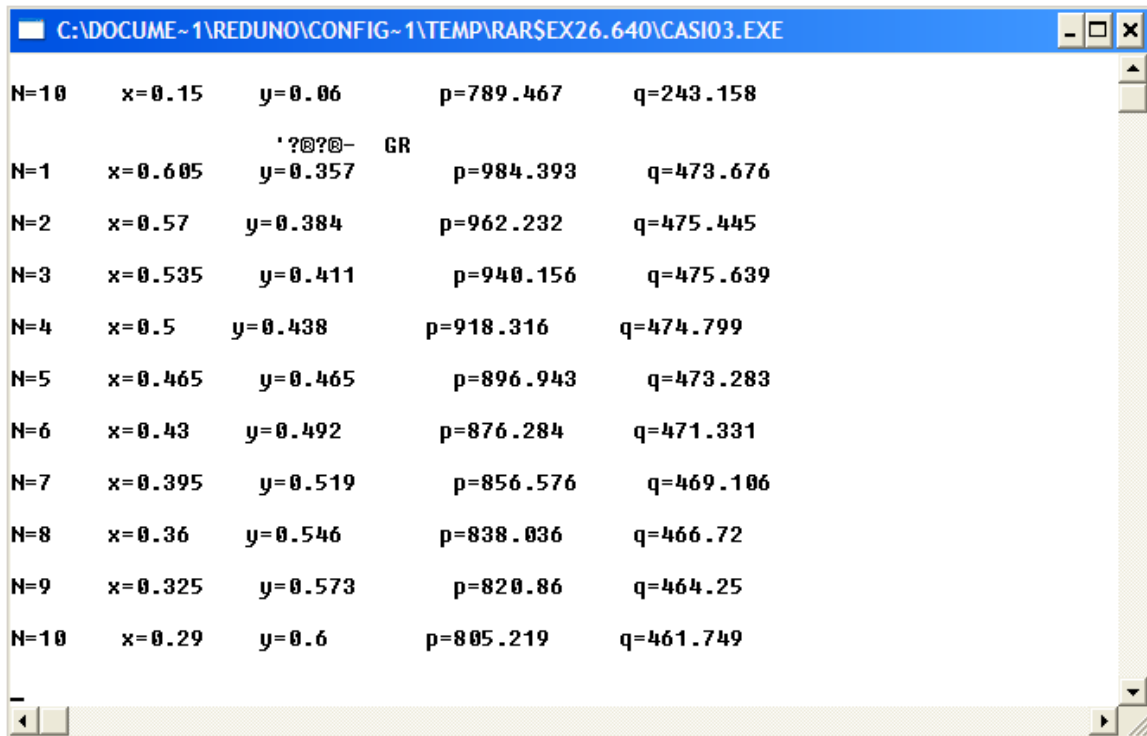


Figura 26. Tercer pantalla de salida programa en C++

Donde  $p = \epsilon$  y  $q = \eta$ , de acuerdo al espacio de color de McAdam.

Con dichos valores se llenan las siguientes tablas, que como se menciono arriba conforman los límites de los espacios de color:

Tabla 13. Limite del espacio, Verde-Azul

№	Limite de Espacio XYZ y transformacion a Espacio McAdam			
	$x$	$y$	$\xi$	$H$
1.	0.276	0.546	805.10	447.92
2.	0.262	0.492	805.00	482.96
3.	0.248	0.438	804.80	416.76
4.	0.234	0.384	804.70	399.27
5.	0.22	0.33	804.50	380.44
6.	0.206	0.276	804.20	360.22
7.	0.192	0.222	803.60	338.54
8.	0.1718	0.168	795.30	313.49
9.	0.164	0.114	797.80	286.81
10.	0.15	0.06	789.50	243.16

Tabla 14. Limite del espacio, Rojo-Azul

№	Limite de Espacio XYZ y transformacion a Espacio McAdam			
	$x$	$y$	$\xi$	$H$
1.	0.591	0.303	1002.40	436.73
2.	0.542	0.276	997.20	409.11
3.	0.493	0.249	990.90	386.55
4.	0.444	0.222	983.00	368.62
5.	0.395	0.195	972.80	354.41
6.	0.346	0.168	959.30	342.36
7.	0.297	0.141	940.60	329.96
8.	0.248	0.114	913.00	313.31
9.	0.199	0.087	869.00	286.95
10.	0.150	0.060	789.50	243.16

Tabla 15 Limite del espacio, Verde-Rojo

№	Limite de Espacio XYZ y transformacion a Espacio McAdam			
	$x$	$y$	$\xi$	$H$
1.	0.605	0.357	1002.40	436.73
2.	0.570	0.384	997.20	409.11
3.	0.535	0.411	990.90	386.55
4.	0.500	0.438	983.00	368.62
5.	0.465	0.465	972.80	354.41
6.	0.430	0.492	959.30	342.36
7.	0.395	0.519	940.60	329.96
8.	0.360	0.546	913.00	313.31
9.	0.325	0.573	869.00	286.95
10.	0.290	0.600	789.50	243.16

### **PROGRAMA EN JAVA DE TRANSFORMACIÓN DE ESPACIO CIE 1931 A ESPACIO CURVILINEO MC ADAM**

A continuación se muestran los resultados del programa realizado en el lenguaje java, como primer paso se realizo la grafica del espacio de color de la CIE 1931 XYZ, que se muestra a la izquierda de la figura 27:

## Análisis de los diagramas de color de la CIE en la Televisión

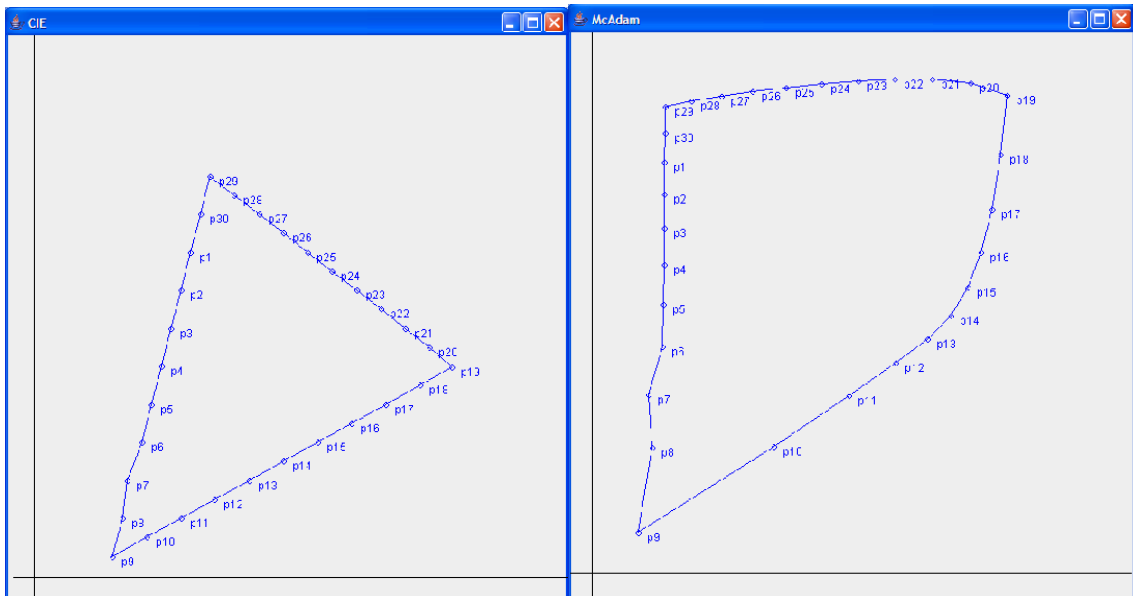


Figura 27. A la izquierda se encuentra el Espacio de Color CIE 1931 (XYZ) y a la derecha una vez realizada la transformación el espacio de McAdam

Después se lleva acabo la transformación del espacio CIE 1931 con ayuda del programa y se obtiene la grafica a la derecha de la figura 27.

En la siguiente grafica se muestra el espacio original de McAdam con lo que podemos comprobar la correcta transformación de los puntos que se introdujeron al script:

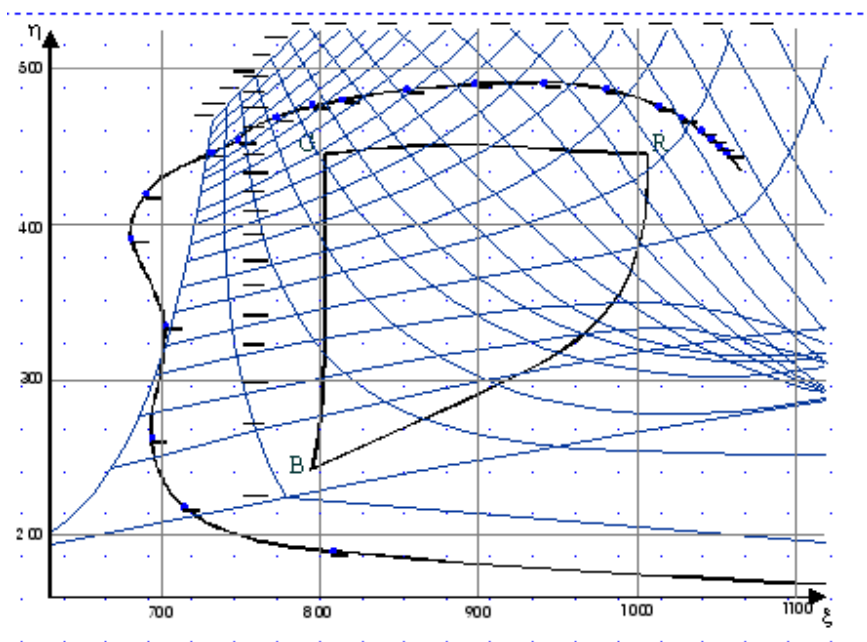


Figura 28. Espacio de Color Curvilíneo McAdam

A continuación se llevan acabo la transformación de algunas esferas contenidas en el espacio de color CIE 1931 XYZ al espacio de color McAdam con ayuda del programa, además de una tabla comparativa donde se presentan los resultados.

Elipse 1 y su respectiva transformación:

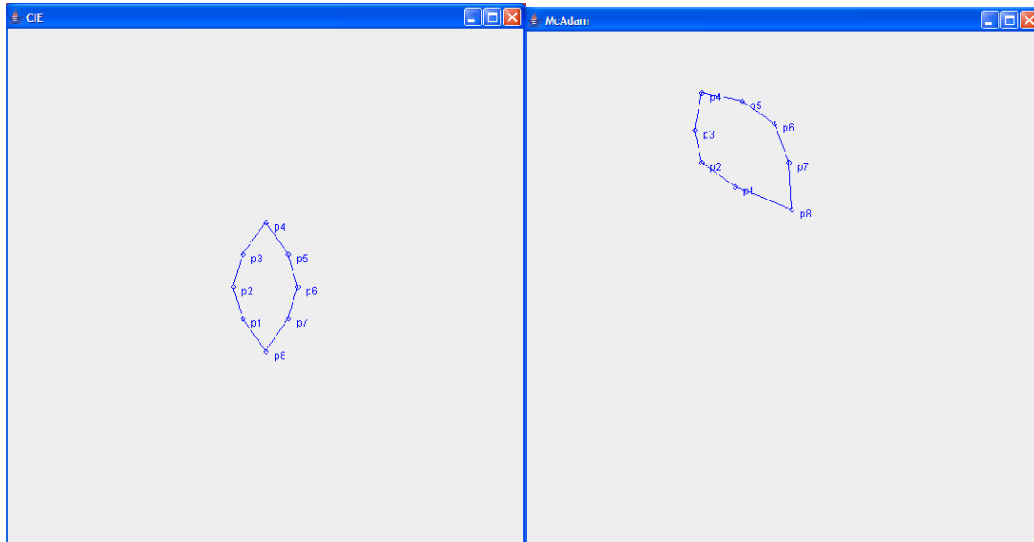


Figura 29. Elipse 1 en el espacio CIE 1931 a la izquierda y a la derecha ya transformada al espacio de McAdam

Elipse 2 y su transformación:

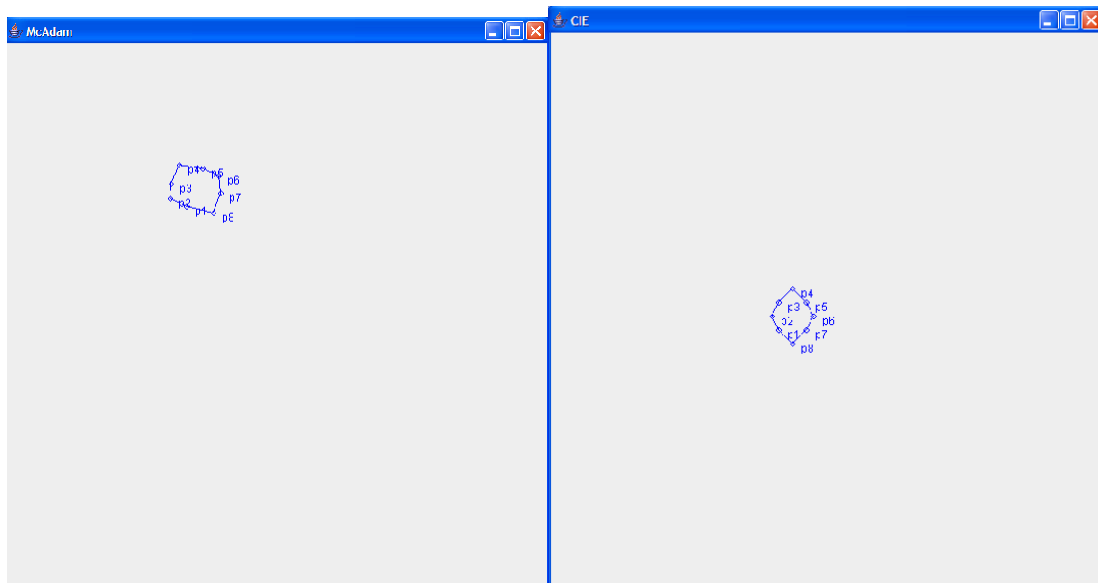


Figura 30. Elipse 2 en el espacio CIE 1931 a la izquierda y a la derecha ya transformada al espacio de McAdam

Elipse 3 y su transformación:

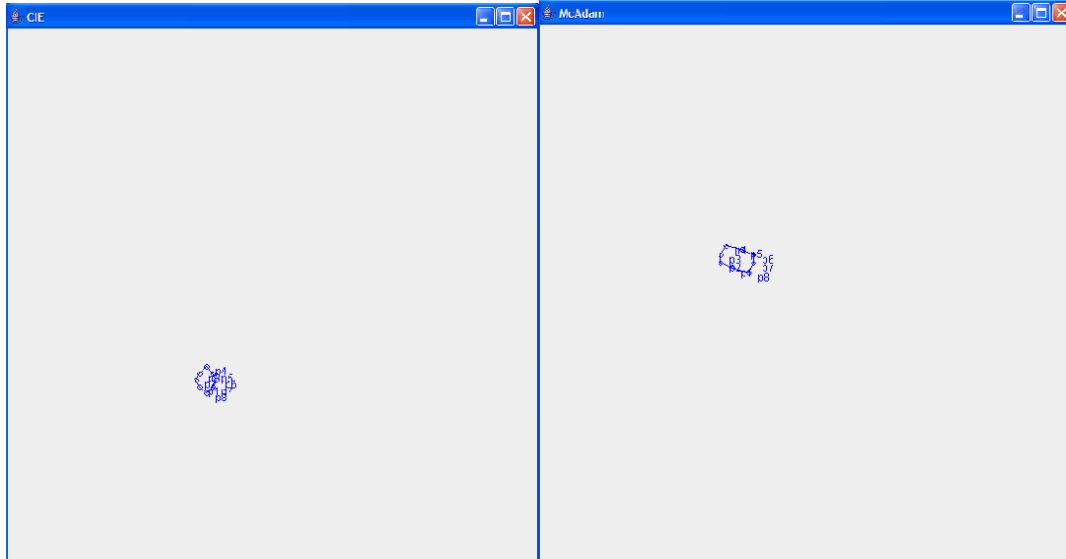


Figura 31. Elipse 3 en el espacio CIE 1931 a la izquierda y a la derecha ya transformada al espacio de McAdam

A continuación se muestran las 3 elipses en el espacio CIE 1931:

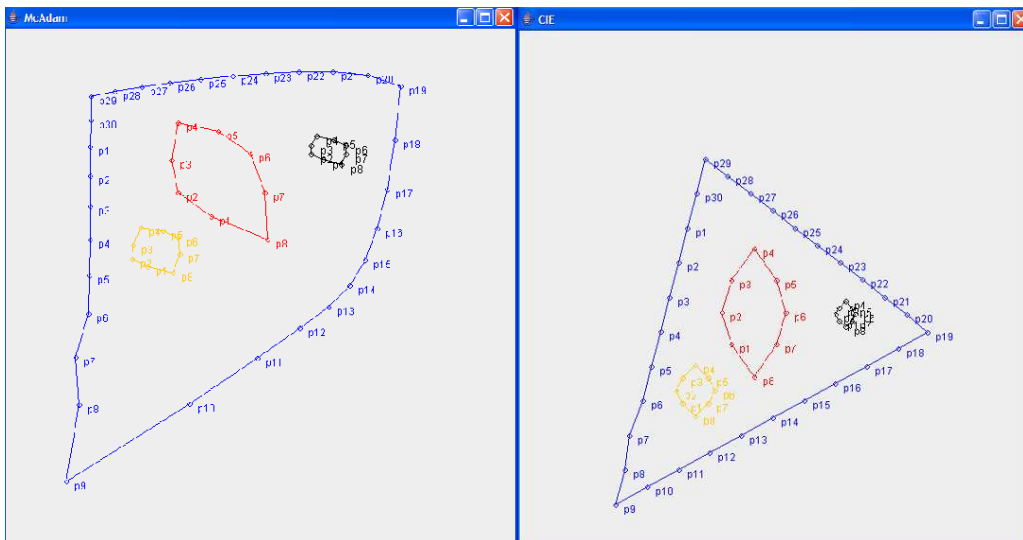


Figura 32. Las 3 Elipse contenidas en el espacio CIE 1931 a la izquierda en el espacio de McAdam y a la derecha en el espacio CIE XYZ (1931)

A continuación Se presentan los resultados numéricos de las elipses y sus transformaciones así como el porcentaje de la proporción de la elipse.

Elipse 1:

ELIPSE 1 SIN TRANSFORMACION	X	Y
Punto 1	0.35	0.4
Punto 2	0.4	0.5
Punto 3	0.45	0.4
Punto 4	0.4	0.3

Se obtienen los siguientes valores  $A = 1$  y  $B = 2$ , y  $D (B/A) = 2$ .

Para el caso de los puntos después de la transformación son los siguientes:

ELIPSE 1 TRANSFORMADA	$\epsilon$	$\eta$
Punto 1	920.2197850278139	399.2195449083815
Punto 2	862.3843920676081	425.9908579930965
Punto 3	862.3621815425481	465.6757382287027
Punto 4	909.1123711920752	448.25296712517326

Se obtienen los siguientes valores  $A = 81.24$  y  $B = 51.89$ , y  $D (B/A) = 1.7$ .

Con una diferencia en porcentaje del 15 %.

Elipse 2:

ELIPSE 2 SIN TRANSFORMACION	X	Y
Punto 1	0.35	0.35
Punto 2	0.32	0.39
Punto 3	0.35	0.43
Punto 4	0.38	0.39

Se obtienen los siguientes valores  $A = 0.6$  y  $B = 0.8$ , y  $D (B/A) = 1.3$ .

Para el caso de los puntos después de la transformación son los siguientes:

Análisis de los diagramas de color de la CIE en la Televisión

ELIPSE 2 TRANSFORMADA	$\epsilon$	$\eta$
Punto 1	875.9725249449243	409.5300927313557
Punto 2	849.5610378243541	416.93503835975287
Punto 3	855.3485864171805	435.0080126973113
Punto 4	879.7637668733146	429.0005297990541

Se obtienen los siguientes valores  $A = 32.52$  y  $B = 32.77$ , y  $D (B/A) = 1.00781$ .

Con una diferencia en porcentaje del 24.4 %.

Elipse 3:

ELIPSE 3 SIN TRANSFORMACION	X	Y
Punto 1	0.3	0.25
Punto 2	0.285	0.27
Punto 3	0.3	0.29
Punto 4	0.315	0.27

Se obtienen los siguientes valores  $A = 0.3$  y  $B = 0.4$ , y  $D (B/A) = 1.3$

Para el caso de los puntos después de la transformación son los siguientes:

ELIPSE 3 TRANSFORMADA	$\epsilon$	$\eta$
Punto 1	879.5936543411669	365.4244064972928
Punto 2	861.9951499412075	370.52017018687906
Punto 3	865.340129538969	379.95066353912034
Punto 4	882.0096717988363	374.90010632870735

Se obtienen los siguientes valores  $A = 20.35$  y  $B = 20.48$ , y  $D (B/A) = 1.0065$ .

Con una diferencia en porcentaje del 24.51 %.

Por tal motivo y comparado con las tablas y las graficas anteriormente mostradas donde existía una variación del 20 %, comprobamos la mejora así como el correcto funcionamiento del programa de transformación.

## 7. CONCLUSIONES

La tesis abarca 4 puntos importantes, el primero que es únicamente una introducción a la historia de la Colorimetría así como la interacción de la misma en el campo de la creación de la imagen a color en la televisión. Para el segundo punto se analiza de manera detallada los espacios de color de la CIE de los años 1931 y 1960 de los cuales podemos concluir lo siguiente:

1. El diagrama de colores básicos XYZ CIE-1931 posee un área de distribución no uniforme de saturación del color, y el contraste no es igual, lo cual no hace posible utilizarlo para el análisis de la calidad del color en los sistemas de televisión.
2. El diagrama básico de color UVW CIE-1960 posee indudablemente las mejores características en comparación con el diagrama XYZ de CIE 1931; de cualquier modo, para las transformaciones lineales del diagrama XYZ de CIE-1931 al diagrama UVW CIE 1960, no es posible la transformación de las elipses a figuras geométricas, cercanas a los círculos de diámetros iguales.
3. Las Observaciones Estándar de la CIE 1960 de las combinaciones de color son definidas por un campo de visión de 10 grados. Las observaciones estándar de 1931 en el campo de visión fue de dos grados que cubren únicamente la fóvea. Para los experimentos de 10 grados, los observadores fueron entrenados para ignorar la marca central de dos grados. En 1964 las observaciones estándar suplementarias son recomendadas para más de 4 grados de campo de visión.

Para la tercer parte de la tesis se tienen las siguientes conclusiones del análisis de los espacios de color lineales de la CIE 1931 y 1960 comparados con el espacio de color curvilíneo de McAdam:

4. El diagrama de cromaticidad curvilíneo  $\xi$ ,  $\eta$  de McAdam posee las mejores características, que todos los restantes diagramas de color CIE, desde el grado de desviación de los parámetros de las elipses del círculo cerca de los límites del triángulo de colores básicos.
5. El diagrama curvilíneo de cromaticidad  $\xi$ ,  $\eta$  de McAdam puede ser utilizado como una mejor herramienta para realizar los calculos de los parámetros para la creación de la imagen a color en lo sistemas de televisión.



6. Con el apoyo del desarrollo del programa de transformación de sistemas de coordenadas XYZ a coordenadas de sistema  $\xi, \eta$ , se realizó una construcción gráfica del diagrama curvilíneo de cromaticidad  $\xi, \eta$  de McAdam con el triángulo de colores básicos.
7. Un problema con el sistema de color de la CIE es que no hay una forma directa para estimar las diferencias de color. Ello puede ser deseable si la distancia en el diagrama de cromaticidad corresponde con el grado de diferencia entre dos colores. La idea de medir la diferencia entre dos colores fue desarrollada por D. L. MacAdam y resumida en el concepto de *Elipse de MacAdam*. Basado en el trabajo de MacAdam, el espacio de color de CIE Luv fue desarrollado en 1960 y replicado más tarde por el espacio de color de CIE Lab, ambos fueron diseñados para tener una distancia igual en el espacio de color correspondiente a las diferencias de color, como la medición de MacAdam. Aunque tienen diferentes mejoras sobre el sistema de la CIE de 1931, no se está totalmente libre de la distorsión.

En el último punto de la tesis se desarrolló 2 programas de apoyo para demostrar la mejora del espacio de McAdam con respecto al espacio de color CIE XYZ, el primero fue desarrollado en C++ y tiene la finalidad de llevar a cabo los complejos cálculos de las transformaciones entre dichos espacios. McAdam obtuvo las ecuaciones para dicha transformación de mediciones que obtuvo con ayuda de observadores que identificaban de manera práctica los cambios en las tonalidades del color. El segundo programa fue desarrollado en JAVA y es la representación gráfica de la transformación de dichos espacios, con lo que se puede observar la tendencia que tienen las elipses a transformarse en círculos. Según los datos obtenidos por McAdam dicha tendencia tiene un valor de aproximadamente 20 % con respecto a las elipses del espacio de color XYZ, por lo cual una vez que se obtuvieron los valores de las elipses en cada uno de los espacios con el programa desarrollado se llevó a cabo un cálculo de dispersión entre las elipses de cada espacio y se pudo comprobar que el valor de dispersión si es de un 20 %.

Por tal motivo se logra cada uno de los objetivos planteados para la tesis, comprobando que el espacio de color de McAdam tiene una amplia ventaja en la generación de la imagen a color en la televisión sobre los espacios de color de la CIE que actualmente se tienen como estándar en la Televisión.

## 10. ANEXO

Script de programa en C++

```
#include<iostream.h>
#include<math.h>
#include<iomanip.h>
#include<conio.h>
void main(void)
{
    clrscr();
    long double p,q,a1,a2,b1,b2;
    double x[30];
    double y[30];
    x[0]=0.276;
    x[1]=0.262;
    x[2]=0.248;
    x[3]=0.234;
    x[4]=0.22;
    x[5]=0.206;
    x[6]=0.192;
    x[7]=0.1718;
    x[8]=0.164;
    x[9]=0.15;
    x[10]=0.591;
    x[11]=0.542;
    x[12]=0.493;
    x[13]=0.444;
    x[14]=0.395;
    x[15]=0.346;
    x[16]=0.297;
    x[17]=0.248;
    x[18]=0.199;
    x[19]=0.15;
    x[20]=0.605;
    x[21]=0.57;
    x[22]=0.535;
    x[23]=0.5;
    x[24]=0.465;
    x[25]=0.43;
    x[26]=0.395;
    x[27]=0.36;
    x[28]=0.325;
    x[29]=0.29;
    y[0]=0.546;
    y[1]=0.492;
    y[2]=0.438;
    y[3]=0.384;
    y[4]=0.33;
    y[5]=0.276;
    y[6]=0.222;y[7]=0.168;
    y[8]=0.114;
    y[9]=0.06;
    y[10]=0.303;
    y[11]=0.276;
    y[12]=0.249;
    y[13]=0.222;
    y[14]=0.195;
    y[15]=0.168;
    y[16]=0.141;
    y[17]=0.114;
    y[18]=0.087;
    y[19]=0.06;
    y[20]=0.357;
    y[21]=0.384;
    y[22]=0.411;
    y[23]=0.438;
    y[24]=0.465;
    y[25]=0.492;
    y[26]=0.519;
    y[27]=0.546;
    y[28]=0.573;
    y[29]=0.6;
```

## Análisis de los diagramas de color de la CIE en la Televisión

```

int N,i,l=0,n=9;
cout<<"          'e@a@- GB"<<endl;
for(N=1,i=0;N<=10;N++,l++,i++)
{
    if(l>n){getch();n+=9;}
    cout<<"N="<<N<<setw(5)<<"x"<<"="<<x[i]<<setw(5)<<setfill('
')<<"y"<<"="<<y[i];
    a1=10*x[i]/(2.4*x[i]+34*y[i]+1);
    a2=10*x[i]/(4.2*y[i]-x[i]+1);
    b1=10*y[i]/(2.4*x[i]+34*y[i]+1);
    b2=10*y[i]/(4.2*y[i]-x[i]+1);
    p=3751*a1*a1-10*pow(a1,4)-520*b1*b1+13295*pow(b1,3)+32327*a1*b1-
25491*a1*a1
    *b1-41672*a1*b1*b1+10*pow(a1,3)*b1-5227*sqrt(a1)+2952*pow(a1,0.25);
    q=404*b2-185*b2*b2+52*pow(b2,3)+69*a2*(1-b2*b2)-3*a2*a2*b2+30*a2
    *pow(b2,3);
    cout<<setw(8)<<"p"<<"="<<p<<setw(6)<<"q"<<"="<<q<<endl;
    cout<<endl;
}
cout<<"          'e@a@- RB"<<endl;
for(N=1;N<=10;N++,l++,i++)
{
    if(l>n){getch();n+=9;}
    cout<<"N="<<N<<setw(5)<<"x"<<"="<<x[i]<<setw(5)<<setfill('
')<<"y"<<"="<<y[i];
    a1=10*x[i]/(2.4*x[i]+34*y[i]+1);
    a2=10*x[i]/(4.2*y[i]-x[i]+1);
    b1=10*y[i]/(2.4*x[i]+34*y[i]+1);
    b2=10*y[i]/(4.2*y[i]-x[i]+1);
    p=3751*a1*a1-10*pow(a1,4)-520*b1*b1+13295*pow(b1,3)+32327*a1*b1-
25491*a1*a1
    *b1-41672*a1*b1*b1+10*pow(a1,3)*b1-5227*sqrt(a1)+2952*pow(a1,0.25);
    q=404*b2-185*b2*b2+52*pow(b2,3)+69*a2*(1-b2*b2)-3*a2*a2*b2+30*a2
    *pow(b2,3);
    cout<<setw(8)<<"p"<<"="<<p<<setw(6)<<"q"<<"="<<q<<endl;
    cout<<endl;
}
cout<<"          'e@a@- GR"<<endl;
for(N=1;N<=10;N++,l++,i++)
{
    if(l>n){getch();n+=9;}
    cout<<"N="<<N<<setw(5)<<"x"<<"="<<x[i]<<setw(5)<<setfill('
')<<"y"<<"="<<y[i];
    a1=10*x[i]/(2.4*x[i]+34*y[i]+1);
    a2=10*x[i]/(4.2*y[i]-x[i]+1);
    b1=10*y[i]/(2.4*x[i]+34*y[i]+1);
    b2=10*y[i]/(4.2*y[i]-x[i]+1);

```

## Análisis de los diagramas de color de la CIE en la Televisión

```
p=3751*a1*a1-10*pow(a1,4)-520*b1*b1+13295*pow(b1,3)+32327*a1*b1-
25491*a1*a1
*b1-41672*a1*b1*b1+10*pow(a1,3)*b1-5227*sqrt(a1)+2952*pow(a1,0.25);
q=404*b2-185*b2*b2+52*pow(b2,3)+69*a2*(1-b2*b2)-3*a2*a2*b2+30*a2
*pow(b2,3);
cout<<setw(8)<<"p"<<"="<<p<<setw(6)<<"q"<<"="<<q<<endl;
cout<<endl;
}
getch();
}
```

Script de programa en JAVA:

```
package javaapplication2;

import java.awt.Container;
import javax.swing.JFrame;

// Referenced classes of package javaapplication2:
//      Lienzo

public class main2
{

    public main2()
    {
        JFrame ventana = new JFrame("McAdam");
        Lienzo lienzo = new Lienzo();
        lienzo.setSize(600, 600);
        ventana.getContentPane().add(lienzo);
        ventana.pack();
        ventana.setVisible(true);
    }

    public static void main(String args[])
    {
        new main2();
    }
}

package javaapplication2;

import java.awt.*;
import java.awt.geom.AffineTransform;
```

```

import java.awt.geom.Point2D;
import java.io.PrintStream;

public class Lienzo extends Canvas
{
    public Lienzo()
    {
        xMin = 750D;
        xMax = 1080D;
        yMin = 210D;
        yMax = 500D;
        puntos = new Point2D[500];
        x = new double[31];
        y = new double[31];
        t = new AffineTransform();
        initVals();
        evalFuntions();
        puntos = points;
    }

    private void drawAxes(Graphics g2)
    {
        axis = new Point2D[4];
        axis[0] = new java.awt.geom.Point2D.Double(getXMin(), 0.0D);
        axis[1] = new java.awt.geom.Point2D.Double(getXMax(), 0.0D);
        axis[2] = new java.awt.geom.Point2D.Double(610D, getYMin());
        axis[3] = new java.awt.geom.Point2D.Double(610D, getYMax());
        axis = transformaPuntos(axis);
        g2.setColor(Color.red);
        g2.drawLine((int)axis[0].getX(), (int)axis[0].getY(), (int)axis[1].getX(),
(int)axis[1].getY());
        g2.drawLine((int)axis[2].getX(), (int)axis[2].getY(), (int)axis[3].getX(),
(int)axis[3].getY());
    }
    public void paint(Graphics g)
    {
        ajustaAffineTransform();
        Point2D puntosTransformados[] = transformaPuntos(puntos);
        g.setColor(Color.blue);
        for(int i = 1; i < 31; i++)
        {
            g.drawString((new StringBuilder()).append("p").append(i).toString(),
(int)puntosTransformados[i].getX() + 10, (int)puntosTransformados[i].getY() + 10);
            g.drawOval((int)puntosTransformados[i].getX() - 2,
(int)puntosTransformados[i].getY() - 2, 5, 5);
        }
    }
}

```

```

        g.drawLine((int)puntosTransformados[i - 1].getX(),
(int)puntosTransformados[i - 1].getY(), (int)puntosTransformados[i].getX(),
(int)puntosTransformados[i].getY());
    }

    drawAxes(g);
}

protected void ponSeno(Point2D puntos[])
{
    double incremento = (getXMax() - getXMin()) / (double)puntos.length;
    double x = getXMin();
    for(int i = 0; i < puntos.length; i++)
    {
        puntos[i] = new java.awt.geom.Point2D.Double(x, Math.pow(x, 3D));
        x += incremento;
    }
}

protected Point2D[] transformaPuntos(Point2D puntos[])
{
    Point2D puntosTransformados[] = new Point2D[puntos.length];
    for(int i = 0; i < puntos.length; i++)
        puntosTransformados[i] = new java.awt.geom.Point2D.Double();

    t.transform(puntos, 0, puntosTransformados, 0, puntos.length);
    return puntosTransformados;
}

protected void ajustaAffineTransform()
{
    t.setToIdentity();
    t.translate(0.0D, getHeight());
    t.scale((double)getWidth() / (getXMax() - getXMin()), (double)(-getHeight()) /
(getYMax() - getYMin()));
    t.translate(-getXMin(), -getYMin());
}

public double functionA1(double x, double y)
{
    double a1 = (10D * x) / (2.3999999999999999D * x + 34D * y + 1.0D);
    return a1;
}

public double functionB1(double x, double y)

```

```

{
    double b1 = (10D * y) / (2.3999999999999999D * x + 34D * y + 1.0D);
    return b1;
}

public double functionA2(double x, double y)
{
    double a2 = (10D * x) / ((4.2000000000000002D * y - x) + 1.0D);
    return a2;
}

public double functionB2(double x, double y)
{
    double b2 = (10D * y) / ((4.2000000000000002D * y - x) + 1.0D);
    return b2;
}

public double Xi(double x, double y)
{
    double Xi = (((((3751D * Math.pow(functionA1(x, y), 2D) - 10D *
Math.pow(functionA1(x, y), 4D) - 520D * Math.pow(functionB1(x, y), 2D)) + 13295D
* Math.pow(functionB1(x, y), 3D) + 32327D * functionA1(x, y) * functionB1(x, y)) -
25491D * Math.pow(functionA1(x, y), 2D) * functionB1(x, y) - 41672D *
functionA1(x, y) * Math.pow(functionB1(x, y), 2D)) + 10D * Math.pow(functionA1(x,
y), 3D) * functionB1(x, y)) - 5227D * Math.sqrt(functionA1(x, y))) + 2952D *
Math.pow(functionA1(x, y), 0.25D);
    return Xi;
}

public double Eta(double x, double y)
{
    double Eta = (((404D * functionB2(x, y) - 185D * Math.pow(functionB2(x, y),
2D)) + 52D * Math.pow(functionB2(x, y), 3D) + 69D * functionA2(x, y) * (1.0D -
Math.pow(functionB2(x, y), 2D))) - 3D * Math.pow(functionA2(x, y), 2D) *
functionB2(x, y)) + 30D * functionA2(x, y) * Math.pow(functionB2(x, y), 3D);
    return Eta;
}

public void evalFuntions()
{
    points = new java.awt.geom.Point2D.Double[31];
    for(int j = 0; j < x.length; j++)
    {
        System.out.println((new      StringBuilder()).append("Xi:").append(Xi(x[j],
y[j])).append(", Eta:").append(Eta(x[j], y[j])).toString());
        points[j] = new java.awt.geom.Point2D.Double(Xi(x[j], y[j]), Eta(x[j], y[j]));
    }
}

```

```
}  
  
public void initVals()  
{  
  
    x[0] = 0.27600000000000002D;  
    y[0] = 0.54600000000000004D;  
    x[1] = 0.26200000000000001D;  
    y[1] = 0.49199999999999999D;  
    x[2] = 0.248D;  
    y[2] = 0.438D;  
    x[3] = 0.23400000000000001D;  
    y[3] = 0.38400000000000001D;  
    x[4] = 0.22D;  
    y[4] = 0.33000000000000002D;  
    x[5] = 0.20599999999999999D;  
    y[5] = 0.27600000000000002D;  
    x[6] = 0.192D;  
    y[6] = 0.222D;  
    x[7] = 0.17180000000000001D;  
    y[7] = 0.16800000000000001D;  
    x[8] = 0.16400000000000001D;  
    y[8] = 0.114D;  
    x[9] = 0.14999999999999999D;  
    y[9] = 0.05999999999999998D;  
    x[10] = 0.19900000000000001D;  
    y[10] = 0.08699999999999994D;  
    x[11] = 0.248D;  
    y[11] = 0.114D;  
    x[12] = 0.29699999999999999D;  
    y[12] = 0.14099999999999999D;  
    x[13] = 0.34599999999999997D;  
    y[13] = 0.16800000000000001D;  
    x[14] = 0.39500000000000002D;  
    y[14] = 0.19500000000000001D;  
    x[15] = 0.44400000000000001D;  
    y[15] = 0.222D;  
    x[16] = 0.49299999999999999D;  
    y[16] = 0.249D;  
    x[17] = 0.54200000000000004D;  
    y[17] = 0.27600000000000002D;  
    x[18] = 0.59099999999999997D;  
    y[18] = 0.30299999999999999D;  
    x[19] = 0.636D;  
    y[19] = 0.329D;  
    x[20] = 0.60499999999999998D;
```



## Análisis de los diagramas de color de la CIE en la Televisión

```
y[20] = 0.35699999999999998D;  
x[21] = 0.56999999999999995D;  
y[21] = 0.38400000000000001D;  
x[22] = 0.53500000000000003D;  
y[22] = 0.41099999999999998D;  
x[23] = 0.5D;  
y[23] = 0.438D;  
x[24] = 0.46500000000000002D;  
y[24] = 0.46500000000000002D;  
x[25] = 0.42999999999999999D;  
y[25] = 0.49199999999999999D;  
x[26] = 0.39500000000000002D;  
y[26] = 0.51900000000000002D;  
x[27] = 0.35999999999999999D;  
y[27] = 0.54600000000000004D;  
x[28] = 0.32500000000000001D;  
y[28] = 0.57299999999999995D;  
x[29] = 0.28999999999999998D;  
y[29] = 0.59999999999999998D;  
x[30] = 0.27600000000000002D;  
y[30] = 0.54600000000000004D;  
}
```

```
public double getXMin()  
{  
    return xMin;  
}
```

```
public void setXMin(double xMin)  
{  
    this.xMin = xMin;  
}
```

```
public double getXMax()  
{  
    return xMax;  
}
```

```
public void setXMax(double xMax)  
{  
    this.xMax = xMax;  
}
```

```
public double getYMin()  
{  
    return yMin;  
}
```

```
public void setYMin(double yMin)
{
    this.yMin = yMin;
}

public double getYMax()
{
    return yMax;
}

public void setYMax(double yMax)
{
    this.yMax = yMax;
}

Point2D axis[];
java.awt.geom.Point2D.Double points[];
private AffineTransform t;
private double xMin;
private double xMax;
private double yMin;
private double yMax;
private Point2D puntos[];
double x[];
double y[];
}

package javaapplication2;

import java.awt.*;
import java.awt.geom.*;
import java.io.PrintStream;
import javax.swing.JFrame;
import javax.swing.JPanel;

public class Main extends JPanel
{

    public void initVals()
    {
        x[0] = 0.27600000000000002D;
        y[0] = 0.54600000000000004D;
        x[1] = 0.26200000000000001D;
        y[1] = 0.49199999999999999D;
        x[2] = 0.248D;
        y[2] = 0.438D;
    }
}
```

## Análisis de los diagramas de color de la CIE en la Televisión

x[3] = 0.23400000000000001D;  
y[3] = 0.38400000000000001D;  
x[4] = 0.22D;  
y[4] = 0.33000000000000002D;  
x[5] = 0.20599999999999999D;  
y[5] = 0.27600000000000002D;  
x[6] = 0.192D;  
y[6] = 0.222D;  
x[7] = 0.17180000000000001D;  
y[7] = 0.16800000000000001D;  
x[8] = 0.16400000000000001D;  
y[8] = 0.114D;  
x[9] = 0.14999999999999999D;  
y[9] = 0.05999999999999998D;  
x[10] = 0.19900000000000001D;  
y[10] = 0.08699999999999994D;  
x[11] = 0.248D;  
y[11] = 0.114D;  
x[12] = 0.29699999999999999D;  
y[12] = 0.14099999999999999D;  
x[13] = 0.34599999999999997D;  
y[13] = 0.16800000000000001D;  
x[14] = 0.39500000000000002D;  
y[14] = 0.19500000000000001D;  
x[15] = 0.44400000000000001D;  
y[15] = 0.222D;  
x[16] = 0.49299999999999999D;  
y[16] = 0.249D;  
x[17] = 0.54200000000000004D;  
y[17] = 0.27600000000000002D;  
x[18] = 0.59099999999999997D;  
y[18] = 0.30299999999999999D;  
x[19] = 0.636D;  
y[19] = 0.329D;  
x[20] = 0.60499999999999998D;  
y[20] = 0.35699999999999998D;  
x[21] = 0.56999999999999995D;  
y[21] = 0.38400000000000001D;  
x[22] = 0.53500000000000003D;  
y[22] = 0.41099999999999998D;  
x[23] = 0.5D;  
y[23] = 0.438D;  
x[24] = 0.46500000000000002D;  
y[24] = 0.46500000000000002D;  
x[25] = 0.42999999999999999D;  
y[25] = 0.49199999999999999D;  
x[26] = 0.39500000000000002D;

```

y[26] = 0.51900000000000002D;
x[27] = 0.35999999999999999D;
y[27] = 0.54600000000000004D;
x[28] = 0.32500000000000001D;
y[28] = 0.57299999999999995D;
x[29] = 0.28999999999999998D;
y[29] = 0.59999999999999998D;
x[30] = 0.27600000000000002D;
y[30] = 0.54600000000000004D;
}

public double functionA1(double x, double y)
{
    double a1 = (10D * x) / (2.3999999999999999D * x + 34D * y + 1.0D);
    return a1;
}

public double functionB1(double x, double y)
{
    double b1 = (10D * y) / (2.3999999999999999D * x + 34D * y + 1.0D);
    return b1;
}

public double functionA2(double x, double y)
{
    double a2 = (10D * x) / ((4.2000000000000002D * y - x) + 1.0D);
    return a2;
}

public double functionB2(double x, double y)
{
    double b2 = (10D * y) / ((4.2000000000000002D * y - x) + 1.0D);
    return b2;
}

public double Xi(double x, double y)
{
    double Xi = (((((3751D * Math.pow(functionA1(x, y), 2D) - 10D *
Math.pow(functionA1(x, y), 4D) - 520D * Math.pow(functionB1(x, y), 2D)) + 13295D
* Math.pow(functionB1(x, y), 3D) + 32327D * functionA1(x, y) * functionB1(x, y)) -
25491D * Math.pow(functionA1(x, y), 2D) * functionB1(x, y) - 41672D *
functionA1(x, y) * Math.pow(functionB1(x, y), 2D)) + 10D * Math.pow(functionA1(x,
y), 3D) * functionB1(x, y)) - 5227D * Math.sqrt(functionA1(x, y))) + 2952D *
Math.pow(functionA1(x, y), 0.25D);
    return Xi;
}

```

```

public double Eta(double x, double y)
{
    double Eta = (((404D * functionB2(x, y) - 185D * Math.pow(functionB2(x, y),
2D)) + 52D * Math.pow(functionB2(x, y), 3D) + 69D * functionA2(x, y) * (1.0D -
Math.pow(functionB2(x, y), 2D))) - 3D * Math.pow(functionA2(x, y), 2D) *
functionB2(x, y) + 30D * functionA2(x, y) * Math.pow(functionB2(x, y), 3D);
    return Eta;
}

public void evalFuntions()
{
    points = new java.awt.geom.Point2D.Double[31];
    for(int j = 0; j < x.length; j++)
    {
        System.out.println((new      StringBuilder()).append("Xi:").append(Xi(x[j],
y[j])).append(", Eta:").append(Eta(x[j], y[j])).toString());
        points[j] = new java.awt.geom.Point2D.Double(Xi(x[j], y[j]), Eta(x[j], y[j]));
    }
}

public Main()
{
    x = new double[31];
    y = new double[31];
    initVals();
    makeUpSomePoints();
}

protected void paintComponent(Graphics g)
{
    super.paintComponent(g);
    Graphics2D g2 = (Graphics2D)g;
    g2.setRenderingHint(RenderingHints.KEY_ANTIALIASING,
RenderingHints.VALUE_ANTIALIAS_ON);
    if(at == null)
        initTransform();
    drawAxes(g2);
    g2.setPaint(Color.blue);
    for(int j = 0; j < points.length; j++)
    {
        java.awt.geom.Point2D.Double p = modelToView(points[j]);
        g2.fill(new java.awt.geom.Ellipse2D.Double(p.x - 2D, p.y - 2D, 4D, 4D));
    }
}
}

```

```

private void makeUpSomePoints()
{
    points = new java.awt.geom.Point2D.Double[40];
    double x = -10D;
    for(int j = 0; j < points.length;)
    {
        double y = x * x;
        points[j] = new java.awt.geom.Point2D.Double(x, y);
        j++;
        x += 0.5D;
    }
}

private java.awt.geom.Point2D.Double
modelToView(java.awt.geom.Point2D.Double pModel)
{
    java.awt.geom.Point2D.Double pView = new
java.awt.geom.Point2D.Double();
    at.transform(pModel, pView);
    return pView;
}

private void initTransform()
{
    int w = getWidth();
    int h = getHeight();
    origin = new Point(w / 2, h / 2);
    double minX = 1.7976931348623157E+308D;
    double minY = 1.7976931348623157E+308D;
    double maxX = 4.9406564584124654E-324D;
    maxY = 4.9406564584124654E-324D;
    for(int j = 0; j < points.length; j++)
    {
        double x = points[j].x;
        double y = points[j].y;
        if(x < minX)
            minX = x;
        if(x > maxX)
            maxX = x;
        if(y < minY)
            minY = y;
        if(y > maxY)
            maxY = y;
    }

    double xScale = (double)w / (maxX - minX);
}

```

```

double yScale = (double)h / (maxY - minY);
at = AffineTransform.getTranslateInstance(origin.x, origin.y);
at.scale(xScale, -yScale);
}

private void drawAxes(Graphics2D g2)
{
    int w = getWidth();
    int h = getHeight();
    g2.draw(new java.awt.geom.Line2D.Double(5D, origin.y, w - 5, origin.y));
    double y1 = origin.y;
    double y2 = origin.y + 2;
    for(int j = 0; j < points.length; j++)
    {
        java.awt.geom.Point2D.Double p =
(java.awt.geom.Point2D.Double)points[j].clone();
        p.y = origin.y;
        p = modelToView(p);
        g2.draw(new java.awt.geom.Line2D.Double(p.x, y1, p.x, y2));
    }

    Font font = g2.getFont().deriveFont(16F);
    g2.setFont(font);
    java.awt.font.FontRenderContext frc = g2.getFontRenderContext();
    g2.draw(new java.awt.geom.Line2D.Double(origin.x, 5D, origin.x, origin.y));
}

private void createQuadCurve()
{
    double x1 = -4D;
    double y1 = x1 * x1;
    double x2 = 4D;
    double y2 = x2 * x2;
    double dx1 = 1.0D;
    double dy1 = 2D * x1;
    double dx2 = 1.0D;
    double dy2 = 2D * x2;
    double desc = dx1 * dy2 - dx2 * dy1;
    double ctrlx = (((x2 * dx1 * dy2 - x1 * dx2 * dy1) + dx1 * dx2 * y1) - dx1 * dx2 *
y2) / desc;
    double ctrly = (((x2 * dy1 * dy2 - x1 * dy1 * dy2) + dx1 * y1 * dy2) - dx2 * y2 *
dy1) / desc;
    java.awt.geom.Point2D.Double p1 = new java.awt.geom.Point2D.Double(x1,
y1);
    java.awt.geom.Point2D.Double cp = new java.awt.geom.Point2D.Double(ctrlx,
ctrly);
}

```

```
        java.awt.geom.Point2D.Double p2 = new java.awt.geom.Point2D.Double(x2,
y2);
        p1 = modelToView(p1);
        cp = modelToView(cp);
        p2 = modelToView(p2);
        quadCurve = new java.awt.geom.QuadCurve2D.Double(p1.x, p1.y, cp.x, cp.y,
p2.x, p2.y);
    }

    public static void main(String args[])
    {
        JFrame f = new JFrame();
        f.setDefaultCloseOperation(3);
        f.getContentPane().add(new Main());
        f.setSize(400, 400);
        f.setLocation(200, 200);
        f.setVisible(true);
    }

    java.awt.geom.Point2D.Double points[];
    Point origin;
    AffineTransform at;
    double maxY;
    java.awt.geom.QuadCurve2D.Double quadCurve;
    final int PAD = 5;
    final int SPAD = 1;
    double x[];
    double y[];
}
```



## Análisis de los diagramas de color de la CIE en la Televisión

## 8. BIBLIOGRAFÍA

[1]. Grob, Bernard. "Basic Television and Video Systems". 5ta edición. 1984. Edit. McGraw-Hill.

[2]. Ibrahim, K. F. "Receptores de Televisión". 1ra Edición. Marcombo Boixareu Editors. Barcelona 1996.

[3]. Thomas, Ronald. "Understanding Telecommunications". Editorial TAB Books Inc., 1989.

[4]. Millar, Gary. "Modern Electronic Communication". Editorial Prentice Hall, 5ta edición. 1996.

[5]. Wyszecki G., Fielder G. New color-matching ellipses. JOSA. – 1971. – V. 61 -- P. 1135-1152.

[6]. Brown W., MacAdam D. L. Visual sensitivities to combined chromaticity and luminance differences. JOSA. – 1949. – V. 39. – P. 808.

[7]. F. Thompson Richard. "Fundamentos de Psicología Fisiológica". Trillas, 6ta reimpresión. 1980

[8]. R. Carlson Neil. "Fisiología de la conducta". Ariel, 1ra reimpresión. 2000

## 9. REFERENCIAS

[http://campusvirtual.uma.es/tdi/www\\_netscape/TEMAS/Tdi\\_23/](http://campusvirtual.uma.es/tdi/www_netscape/TEMAS/Tdi_23/); Consultada el día 15 de Abril 2008

[http://ieeexplore.ieee.org/xpl/freeabs\\_all.jsp?arnumber=4050515](http://ieeexplore.ieee.org/xpl/freeabs_all.jsp?arnumber=4050515); Color Television and Colorimetry, Consultada el día 08 de Febrero 2008

<http://campusvirtual.uma.es/tdi/alumnos/tdi02/>; Consultada el día 04 de Enero 2008

<http://www.colblindor.com/2007/01/23/confusion-lines-of-the-cie-1931-color-space/>; Consultada el día 15 de Abril 2008

<http://www2.lut.fi/~ptoivane/cgiv.pdf>; CHROMATICITY DIFFERENCE FROM SURFACES DEFINED FROM MACADAM ELLIPSES, Consultada el día 05 de Diciembre 2007

<http://ieeexplore.ieee.org/Xplore/login.jsp?url=/iel4/5/15872/00736349.pdf?tp=&isnumber=15872&arnumber=736349>; Introduction to "Color Television-Part I", Consultada el día 19 de Septiembre 2007