





UNIVERSIDAD DE GRANADA

FACULTAD DE CIENCIAS

---

INFLUENCIA DE LAS CONDICIONES EXPERIMENTALES

EN LOS UMBRALES DIFERENCIALES DE COLOR

Memoria presentada por

ENRIQUE F. HITA VILLAYERDE

para optar al Grado de

Doctor en Ciencias

Sección de Físicas



INFLUENCIA DE LAS CONDICIONES EXPERIMENTALES  
EN LOS UMBRALES DIFERENCIALES DE COLOR

Visado en Granada a 9  
de Junio de 1975.

DIRECTORES DE LA TESIS

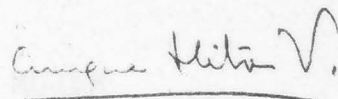


Firmado: Prof. Dr. D.  
Gerardo Pardo Sanchez,  
Catedrático de Termo-  
logía y Jefe del Depar-  
tamento de Física, y Dr.  
D. Manuel Alvarez-Claro  
Irissarri, Prof. Adjunto  
de Optica.

Facultad de Ciencias de  
la Universidad de Gra-  
nada.

Trabajo presentado para  
aspirar al Grado de DOC-  
TOR EN CIENCIAS.

Granada, 9 de Junio de  
1975



Firmado: Enrique F. Hita  
Villaverde, Licenciado en  
Ciencias.



A MIS PADRES

Y A MI MUJER



INFLUENCIA DE LAS CONDICIONES EXPERIMENTALES EN LOS UMBRALES  
DIFERENCIALES DE COLOR

Tesis presentada para aspirar al grado de Doctor en Ciencias,  
Sección de Físicas

por

ENRIQUE F. HITTA VILLAVERDE

Realizada bajo la dirección del Catedrático de Termología, Prof. Dr. D. Gerardo Pardo Sánchez, en la Facultad de Ciencias de la Universidad de Granada y como Co-director Dr. D. Manuel Alvarez-Claro Irissarri Profesor Adjunto de Optica en la Facultad de Ciencias de la Universidad de Granada, y juzgada el día 23 de Junio de 1975 en dicha Facultad, por el siguiente tribunal.

PRESIDENTE: Prof. Dr. D. GERARDO PARDO SACHEZ  
Catedrático de Termología. Facultad de Ciencias.  
Universidad de Granada

VOCALES: Prof. Dr. D. JOSE BARCALA HERREROS  
Profesor Agregado de Optica. Universidad de  
Salamanca.

Prof. Dr. D. FRANCISCO SANCHEZ MARTINEZ  
Catedrático de Astrofísica. Facultad de Ciencias.  
Universidad de La Laguna.

Prof. Dr. D. MANUEL RODRIGUEZ GALLEGO  
Catedrático Director del Departamento de Mineralo-  
gía y Cristalografía de la Facultad de Ciencias.  
Universidad de Granada.

SECRETARIO: Prof. Dr. D. MANUEL TELLO LEON.  
Profesor Agregado de Termología. Facultad de Cien-  
cias. Universidad de Granada.

Calificación obtenida:  
SOBRESALIENTE " CUM LAUDE "



Durante la realización de ésta Memoria, la colaboración de mis compañeros ha sido un factor determinante. No puedo, pues, más que sentir un profundo agradecimiento hacia determinadas personas, y es para mí motivo de satisfacción el que se sepan partícipes de éste trabajo.

Por ello, deseo expresar mi agradecimiento a D. Gerardo Pardo, Catedrático de Termología y director de éste trabajo, por su constante ayuda y sin cuya colaboración no hubiera sido posible su realización.

A Manuel Alvarez-Claro, codirector, por sus constantes estímulos y entrega total, habiendo sido un ejemplo de compañerismo y al que debo mi iniciación en ésta rama de la Física.

A Fernando González Caballero, por su prestación incondicional a la realización de la Memoria, e igualmente a José Morales Bruque y Rafael Martínez García.

A Enrique Jiménez Gómez, por su gran colaboración en el montaje del dispositivo y en la realización de las medidas.

A D. Rafael Martínez Aguirre, D. Miguel Giménez Yanguas y al Observatorio Universitario de Cartuja, en las personas de Ángel Rolland, José María Quintana y H. Merlo, por la cesión



de componentes para este trabajo.

A Plácido Reyes, realizador de los dispositivos electrónicos empleados, por su gran ayuda y por sus constantes sugerencias, siempre tan objetivas.

A D. Miguel Cabrerizo, Jefe de Taller de éste Departamento, por la excelente realización mecánica de los colorímetros.

Al Departamento de Electricidad y Electrónica, en la persona de D. Bernardo García, por sus constantes sugerencias.

A la Escuela de Maestría Industrial, en la persona de D. Luis Bueno, Director de la misma, por haber cedido sus talleres para la realización de la esfera integrante.

Igualmente, deseo agradecer a Eduardo Battaner, Ramón Román, y Eugenio Fernandez las ayudas prestadas; finalmente, al Centro de Cálculo de ésta Universidad, en la persona de Miguel Montoya.

INDICE



# I N D I C E

## CAPITULO PRIMERO

- I.1.- Planteamiento general
- I.2.- Isomerismo y metamerismo
- I.3.- Umbrales diferenciales
- I.4.- Métrica del espacio de color

## CAPITULO SEGUNDO

- II.1.- Planteamiento histórico del problema
- II.2.- Análisis del problema

## CAPITULO TERCERO

- III.1.- Estudio teórico
  - III.1.1.- Espacio de sensaciones
  - III.1.2.- Espacio de estímulos y su relación al de sensaciones.
  - III.1.3.- Espacio sicofísico

## CAPITULO CUARTO

- IV.1.- Introducción. Dispositivo experimental
  - IV.1.1.- Sistema para producir el estímulo de referencia

- IV.1.2.- Producción de estímulos variables por mezcla espacial
- IV.1.3.- Producción de estímulos variables por mezcla temporal.
- IV.1.4.- Sistema de observación
- IV.2.- Puesta a punto del sistema experimental
  - IV.2.1.- Alineación de componentes
  - IV.2.2.- Estabilización de las fuentes luminosas
  - IV.2.3.- Constancia en los estímulos
  - IV.2.4.- Ajuste de distancias
  - IV.2.5.- Regulación de tiempos de observación
  - IV.2.6.- Eliminación de luces parásitas
- IV.3.- Calibrados
  - IV.3.1.- Calibrado del sistema
  - IV.3.2.- Calibrado en longitudes de onda
  - IV.3.3.- Causas de error
- IV.4.- Justificación de las condiciones experimentales
  - IV.4.1.- Lámparas
  - IV.4.2.- Obtención de estímulos
  - IV.4.3.- Elección de primarios y estímulos de referencia
  - IV.4.4.- Procedimiento seguido en la realización de las medidas
  - IV.4.5.- Campo visual de observación
  - IV.4.6.- Nivel de luminancia
  - IV.4.7.- Condiciones psicológicas del observador

## CAPITULO QUINTO

V.1.- Realización de las observaciones

V.2.- Análisis de los resultados

V.3.- Resultados

## CAPITULO SEXTO

VI.1.- Conclusiones

## APENDICES

A.1.- Programa de cálculo de los elipsoides de error

A.2.- Dispositivos electrónicos

A.3.- Tablas complementarias

## BIBLIOGRAFIA



CAPITULO   PRIMERO

## CAPITULO PRIMERO

### I.1.- PLANTEAMIENTO GENERAL

En la respuesta que da un observador a un estímulo que excita su órgano visual, podemos distinguir diversos aspectos, tales como forma, tamaño, textura etc. Algunos de ellos, al poder percibirse por sentidos distintos del de la vista, los relacionamos directamente con el objeto del que proviene dicho estímulo; en cambio otros, como el color, los consideramos intrínsecamente visuales.

De todos los parámetros físicos que definen un estímulo luminoso es, sin duda, su distribución espectral energética el que más relacionado se encuentra con la sensación de color. No obstante, no es el único que determina dicha sensación, pues la experiencia nos obliga a afirmar que la percepción de color depende de otras muchas variables tales como estado previo de adaptación del ojo, presencia simultánea de otros estímulos, tamaño de la zona retiniana estimulada etc.

A aquellos estímulos que poseen idéntica composición espectral se les denomina isómeros. Por otro lado, se denominan metámeros a aquellos que siendo de distinta composición espectral, producen igual sensación de color.

Un aspecto esencial en la teoría del color es la distinción entre aquellas experiencias que se refieren a la percepción de color, y aquellas otras en las que se emplea el sistema visual como instrumento de comparación, dando como única respuesta la igualdad o desigualdad en color de los estímulos a comparar (además de tales juicios pueden también establecerse grados de semejanza o diferencia). La comparación de los estímulos puede realizarse simultánea o sucesivamente, y la experiencia conduce al hecho de que el sistema visual consigue distinguir un número mayor de colores diferentes si trabaja por comparación simultánea.

Por lo tanto, si admitimos como únicas experiencias objetivas las de comparación, hemos de estudiar tanto el metamerismo como el isomerismo en estas condiciones, y prescindir de la percepción del color en sí.

Aunque la capacidad de diferenciación de colores, por parte del observador, sea óptima por comparación simultánea, aún en éste caso está sometida a limitación. El sistema visual no es capaz de distinguir entre colores de estímulos de composición espectral ligeramente diferentes. Incluso, y este es el punto de partida de nuestro trabajo, tal poder de discriminación varía con múltiples factores que podemos englobar en dos grandes grupos:

- 1) Aquellos que se refieren a las condiciones experimentales.
- 2) Aquellos que se refieren al propio observador.



A nuestro juicio, uno de los puntos más interesantes, en lo que se refiere a condiciones experimentales, es la influencia que pudiera tener en los estímulos presentados al observador, su obtención por mezcla aditiva en fusión temporal (Guild, Parra), o bien por fusión simultánea (Donaldson). Esta limitación en el poder de discriminación afecta tanto a las igualaciones metámeras como a las isómeras. En la literatura científica sobre discriminación cromática, se ha estudiado casi invariablemente a partir de igualaciones isómeras o casi isómeras. Nosotros nos proponemos su estudio tomando como base igualaciones metámeras. La importancia que estos trabajos tienen se pone de manifiesto en dos aspectos. El primero de ellos, de índole práctica, en relación con la fijación de tolerancias en la especificación del color y el segundo, en lo referente al establecimiento de una posible métrica en el espacio cromático, problema éste aún ampliamente debatido.

## I.2. ISOMERISMO Y METAMERISMO

Una vez delimitado el problema, resulta conveniente establecer las implicaciones a que da lugar el hecho de que las igualaciones sean isómeras o metámeras. Ello nos conduce a tener que considerar las llamadas curvas de mezcla del observador, relacionadas con las propiedades tricromáticas del mismo.

Un observador normal puede igualar una amplísima gama de colores mediante la adición de tres estímulos llamados primarios. Dentro

de ciertos límites, (nivel luminoso, dimensión del campo visual, etc) esta igualación posee las propiedades de linealidad (proporcionalidad y aditividad) que podemos enunciar del siguiente modo:

a) Una igualación entre cualquier pareja de colores se mantiene, si los correspondientes estímulos se aumentan o disminuyen en un factor constante, independientemente de sus distribuciones energéticas espectrales.

b) Si los colores A y B se igualan, y los colores C y D también, las mezclas de A+C y B+D también son iguales.

Si  $\vec{Q}$  es un color y elegimos tres primarios, tales como  $\vec{R}, \vec{G}, \vec{B}$ , podemos establecer entonces:

$$\vec{Q} = R\vec{R} + G\vec{G} + B\vec{B}$$

que expresa que el color  $\vec{Q}$  se iguala con una mezcla aditiva de las cantidades R, G, B, de los respectivos primarios. El hecho de expresar los colores como vectores, proviene de la linealidad expresada en a) y b). A R, G y B se les denomina valores triestímulo del color  $\vec{Q}$  respecto de los primarios  $\vec{R}, \vec{G},$  y  $\vec{B}$ .

Cualquier color  $\vec{Q}$ , cuyo correspondiente estímulo tiene una distribución energética espectral  $L_{e\lambda}$  puede ser obtenido como mezcla aditiva de colores  $\vec{Q}_\lambda$ , siendo los correspondientes estímulos las componentes monocromáticas del estímulo original. Si llamamos  $R_\lambda, G_\lambda$  y  $B_\lambda$  los valores triestímulos del color  $\vec{Q}_\lambda$ , según hemos visto se cumple:

$$\vec{Q}_\lambda = R_\lambda \vec{R} + G_\lambda \vec{G} + B_\lambda \vec{B}$$

Como 
$$\vec{Q} = \int \vec{Q}_\lambda d\lambda$$

$$\vec{Q} = \int R_\lambda d\lambda \cdot \vec{R} + \int G_\lambda d\lambda \cdot \vec{G} + \int B_\lambda d\lambda \cdot \vec{B}$$

Luego: 
$$R = \int R_\lambda d\lambda$$

$$G = \int G_\lambda d\lambda$$

$$B = \int B_\lambda d\lambda$$

que serán los valores triestímulo del color  $\vec{Q}$ .

Si denominamos  $\vec{q}_\lambda$  al color espectral cuyos correspondientes estímulos son monocromáticos y de radiancia unidad, y por  $\bar{r}_\lambda$ ,  $\bar{g}_\lambda$  y  $\bar{b}_\lambda$  los valores triestímulo correspondientes a dichos colores, entonces:

Como 
$$\begin{aligned} \vec{Q} &= \int L_{e\lambda} \vec{q}_\lambda d\lambda = \int L_{e\lambda} (\bar{r}_\lambda \vec{R} + \bar{g}_\lambda \vec{G} + \bar{b}_\lambda \vec{B}) d\lambda = \\ &= \int L_{e\lambda} \bar{r}_\lambda \vec{R} d\lambda + \int L_{e\lambda} \bar{g}_\lambda \vec{G} d\lambda + \int L_{e\lambda} \bar{b}_\lambda \vec{B} d\lambda \end{aligned}$$

Luego 
$$R = \int L_{e\lambda} \bar{r}_\lambda d\lambda$$

$$G = \int L_{e\lambda} \bar{g}_\lambda d\lambda$$

$$B = \int L_{e\lambda} \bar{b}_\lambda d\lambda$$

Se definen las coordenadas de cromaticidad del color  $\vec{Q}$  en el sistema  $\vec{R}$ ,  $\vec{G}$ ,  $\vec{B}$  como



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

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

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

Naturalmente,  $r + g + b = 1$ . A las funciones  $\bar{r}_\lambda$ ,  $\bar{g}_\lambda$ ,  $\bar{b}_\lambda$  se las denomina curvas de mezcla.

Podemos establecer, por tanto, que las propiedades de un observador normal en lo que se refiere a igualaciones de color, y siempre que se cumpla la aditividad y proporcionalidad de tales igualaciones, quedan especificadas por las mencionadas curvas de mezcla.

Si elegimos otro conjunto de primarios, estas curvas serán diferentes, pero la linealidad de las leyes de mezcla impone una fuerte restricción: el nuevo conjunto de curvas será combinación lineal del conjunto de curvas anteriores.

Sean:

$$\bar{R} = a_{11}\bar{R}' + a_{12}\bar{G}' + a_{13}\bar{B}'$$

$$\bar{G} = a_{21}\bar{R}' + a_{22}\bar{G}' + a_{23}\bar{B}'$$

$$\bar{B} = a_{31}\bar{R}' + a_{32}\bar{G}' + a_{33}\bar{B}'$$

las ecuaciones de transformación de un sistema de primarios  $(\bar{R}', \bar{G}', \bar{B}')$  a otro  $(\bar{R}, \bar{G}, \bar{B})$ .

El color  $\vec{q}_\lambda$ , en función de  $\vec{R}$ ,  $\vec{G}$ ,  $\vec{B}$ , era

$$\vec{q}_\lambda = \bar{r}_\lambda \cdot \vec{R} + \bar{g}_\lambda \cdot \vec{G} + \bar{b}_\lambda \cdot \vec{B}$$

En función de  $\vec{R}'$ ,  $\vec{G}'$ , y  $\vec{B}'$  será:

$$\begin{aligned} \vec{q}_\lambda &= \bar{r}_\lambda \cdot (a_{11}\vec{R}' + a_{12}\vec{G}' + a_{13}\vec{B}') + \bar{g}_\lambda (a_{21}\vec{R}' + a_{22}\vec{G}' + a_{23}\vec{B}') \\ &\quad + \bar{b}_\lambda (a_{31}\vec{R}' + a_{32}\vec{G}' + a_{33}\vec{B}') = \\ &= (a_{11}\bar{r}_\lambda + a_{21}\bar{g}_\lambda + a_{31}\bar{b}_\lambda) \vec{R}' + (a_{12}\bar{r}_\lambda + a_{22}\bar{g}_\lambda + a_{32}\bar{b}_\lambda) \vec{G}' \\ &\quad + (a_{13}\bar{r}_\lambda + a_{23}\bar{g}_\lambda + a_{33}\bar{b}_\lambda) \vec{B}' \end{aligned}$$

Luego:

$$R' = \int L_{e\lambda} \cdot \bar{r}'_\lambda \cdot d\lambda$$

$$G' = \int L_{e\lambda} \cdot \bar{g}'_\lambda \cdot d\lambda$$

$$B' = \int L_{e\lambda} \cdot \bar{b}'_\lambda \cdot d\lambda$$

Siendo  $\bar{r}'_\lambda = a_{11}\bar{r}_\lambda + a_{21}\bar{g}_\lambda + a_{31}\bar{b}_\lambda$

$$\bar{g}'_\lambda = a_{12}\bar{r}_\lambda + a_{22}\bar{g}_\lambda + a_{32}\bar{b}_\lambda$$

$$\bar{b}'_\lambda = a_{13}\bar{r}_\lambda + a_{23}\bar{g}_\lambda + a_{33}\bar{b}_\lambda$$

Si dos estímulos son isómeros, sean cuales fueren las curvas de mezcla del observador, está claro que dichos estímulos producirán idéntica sensación de color:

$$\int L_{e\lambda} \bar{r}'_\lambda d\lambda = \int L_{e\lambda} \bar{r}_\lambda d\lambda$$

$$\int L_{e\lambda} \bar{g}_\lambda d\lambda = \int L'_{e\lambda} \bar{g}_\lambda d\lambda$$

$$\int L_{e\lambda} \bar{b}_\lambda d\lambda = \int L'_{e\lambda} \bar{b}_\lambda d\lambda$$

para todo conjunto de curvas  $\bar{r}_\lambda, \bar{g}_\lambda, \bar{b}_\lambda$ , ya que  $L_{e\lambda} = L'_{e\lambda}$

Por lo tanto, para el observador patrón C.I.E., caracterizado por unas curvas de mezcla especiales, también la igualdad será válida.

Cuando un observador iguala en color dos estímulos de composición espectral diferente, (igualación metámera), en general para otro observador no se mantendrá, necesariamente, la igualdad. Esto quiere decir que si las funciones  $\bar{r}_\lambda, \bar{g}_\lambda$  y  $\bar{b}_\lambda$  de un observador son tales que hacen iguales las integrales:

$$\begin{aligned} \int L_{e\lambda} \bar{r}_\lambda d\lambda &= \int L'_{e\lambda} \bar{r}_\lambda d\lambda \\ \int L_{e\lambda} \bar{g}_\lambda d\lambda &= \int L'_{e\lambda} \bar{g}_\lambda d\lambda \\ \int L_{e\lambda} \bar{b}_\lambda d\lambda &= \int L'_{e\lambda} \bar{b}_\lambda d\lambda \end{aligned} \quad [1]$$

otro observador cuyas de mezcla sean  $\bar{r}'_\lambda, \bar{g}'_\lambda, \bar{b}'_\lambda$  no tendrá por qué hacer iguales estas integrales. Este hecho tendrá importancia al analizar los resultados, pues las igualaciones metámeras obtenidas por los observadores que han intervenido en este trabajo, no tienen por qué coincidir entre sí ni con el ob-

-servador patrón C.I.E. Por último, si a un observador que compara estímulos se le somete a diferentes condiciones de observación, la sensación de color de cada uno de ellos se modifica, pero en general se ha comprobado (aunque no exhaustivamente) que las igualaciones persisten (19). Ello indica que las curvas de mezcla del observador se modifican, pero las nuevas curvas dan lugar a que sean iguales las integrales mencionadas.

### I.3. UMBRALES DIFERENCIALES

Cuando decimos que un observador iguala dos estímulos que se le presentan en campos visuales yuxtapuestos, queremos decir en realidad que los dos campos presentan igual claridad, el mismo tono e idéntica saturación. No obstante, en muchas ocasiones puede ser de interés especial la igualación solamente de algunos de estos aspectos. Es bien conocida la dificultad de tales observaciones.

Si, por algún procedimiento, variamos la radiancia en uno de los campos (multiplicando la curva  $L_{e\lambda}$  por un factor) puede que se destruya la igualación previamente establecida o que no ocurra así. Si sucede esto último, decimos que no se ha superado el umbral diferencial de luminancia.

Variando la distribución espectral de la función  $L_{e\lambda}$  pero



manteniendo constante el área bajo la curva  $L_{e\lambda}$ , es decir, el nivel de energía, puede ocurrir que observemos una variación en cromaticidad en dicho campo respecto al otro, o que esto no suceda. Decimos entonces, que se ha superado, o no, el umbral diferencial de cromaticidad (propiedad relacionada con el tono y saturación).

En general, si al variar  $L_{e\lambda}$  no se mantiene constante el nivel energético del estímulo, aparecerá, o no, una desigualdad en el aspecto de ambos campos. A priori, no podemos conocer, si la variación va a ser de luminancia o de cromaticidad, en caso de destrucción de la igualdad. Podríamos llamar a este último caso umbral diferencial global.

En los trabajos realizados sobre umbrales diferenciales, suelen estudiarse los umbrales de luminancia separadamente de los de cromaticidad. No obstante, en algunas ocasiones (Brown-MacAdam, Wyszecky) se han estudiado simultáneamente, es decir, lo que llamamos umbrales diferenciales globales.

El estudio de los umbrales diferenciales, cuya existencia da lugar a que un observador posea un poder de discriminación limitado, tiene aplicación en la fijación de tolerancia de color en la industria y el comercio, así como en el posible establecimiento de una métrica del espacio de color a la que nos referiremos a continuación.

#### I.4. METRICA DEL ESPACIO DE COLOR

Hemos creído interesante entresacar algunas frases de Judd (28), ya que por su claridad sitúan la problemática del mismo.

"Dado que la sensación de color posee tres grados de libertad (Sicológicamente, claridad, tono y saturación), es posible representar tales sensaciones por puntos en un espacio tridimensional". "A tal representación espacial de sensaciones de color se le llama "sólido" sicológico de color. Si esta representación tiene también la propiedad de que la distancia entre dos puntos cualesquiera es proporcional a la perceptibilidad de la diferencia entre dos colores representados por puntos, puede decirse que este espacio es homogéneo e isótropo".

"El espacio de color homogéneo e isótropo es solamente una idea que encuentra su expresión práctica en la construcción de escalas de color uniformes. La construcción de una escala tridimensional y uniforme sería un resultado importante tanto desde el punto de vista comercial como científico".

Un modo de enfocar el problema de la medida de distancias en el espacio de color que corresponde a las diferencias percibidas entre colores, hace uso de la noción matemática de elemento de línea del espacio. Según sea el tipo de espacio que se postule, el elemento de línea,  $ds$ , podrá expre-

sarse en función de las diferencias de coordenadas  $dx_i$  por diversas relaciones. Así, para un espacio riemanniano se tendrá:

$$ds^2 = \sum g_{ij} dx_i dx_j$$

y como caso particular, para un espacio euclídeo será:

$$ds^2 = \sum dx_i^2$$

El elemento  $ds$  representaría el umbral diferencial.

Otra alternativa para abordar el problema consistiría en establecer directamente distancias entre puntos que correspondan a colores sensorialmente bien diferenciados, es decir, fuera del umbral.

CAPITULO   SEGUNDO

## CAPITULO SEGUNDO

### II.1. PLANTEAMIENTO HISTORICO DEL PROBLEMA

El primer estudio riguroso sobre los umbrales de discriminación cromática fué realizado por MacAdam (8). Los resultados obtenidos parecen indicar el hecho de que estos umbrales pueden ser representados por elipses en el diagrama cromático C. I.E., tal como se observa en la Fig7.

En principio, si se acepta la realidad de estas elipses, es admisible la posibilidad del establecimiento de una métrica riemanniana del espacio de color. Si bien MacAdam inició sus estudios sobre umbrales en cromaticidad, posteriormente los amplió a la determinación de umbrales globales, estableciéndolos como elipsoides, (7), (8). No obstante, con posterioridad han aparecido una serie de trabajos al respecto que apuntan la posibilidad de que dichos umbrales no sean precisamente elipses y, naturalmente, se plantea la necesidad de una investigación más profunda sobre el conocimiento de los factores que puedan influir en la determinación de los mismos. Los trabajos de Wyszecki (1), Crawford (2), Parra (3) y Le Grand (4) son los que más esclarecen el problema planteado.



Wyszecki y Fielder (1) proponen la correlación de los resultados obtenidos por otros autores ( MacAdam (6), Wright ( ), etc) en sus experiencias sobre igualaciones en color. Para estas investigaciones emplean dos colorímetros tipo Donaldson (Fig.2). El tipo de visión es monocular y los campos de observación son yuxtapuestos y de forma octogonal, utilizando un diámetro angular de 3 °. El campo circundante es blanco y de 40° de diámetro angular. La luminancia del campo de referencia es de 12 Cd/m<sup>2</sup>. Interesa subrayar que las igualaciones que realizan son casi isómeras y que el propio observador es el que, durante las operaciones de medida, y manejando los tres primarios de uno de los colorímetros, establece la igualdad entre estímulos y, tras su destrucción, repite la experiencia hasta treinta veces por sesión, sobre un mismo estímulo de referencia.

Una vez calibrados los colorímetros, adoptan como sistema de representación el C.I.E. Como las experiencias que realizan no se hacen a luminancia constante, los resultados que obtienen constituyen una nube de puntos en el espacio X,Y,L, al cual ajustan un elipsoide de error que contiene el 95% de las igualaciones en su interior. Con el fin de separar el problema de los umbrales de cromaticidad del de luminancia, cortan el elipsoide por una sección recta paralela a L=constante a través

del centro del mismo, obteniendo elipses que son utilizadas como una medida de la precisión del observador en la igualdad de la cromaticidad del color de referencia. Estos resultados los interpretan indicando que los datos de igualaciones visuales de color, obtenidos por el mismo observador, en diferentes ocasiones, pero en idénticas condiciones de observación, parecen ser menos reproducibles de lo que indicaría un análisis estadístico normal (Fig.1).

Sugieren que el funcionamiento del mecanismo visual pueda estar afectado por parámetros que dependan del tiempo y posiblemente por otras circunstancias que no se toman en cuenta por los métodos estadísticos. Las diferencias encontradas entre distintos observadores indican que pueden deberse a las diferencias existentes en los procedimientos experimentales, y apuntan la necesidad de experiencias específicamente diseñadas para estudiar las variaciones en las condiciones de observación.

Crawford (2) propone como objetivo la medida directa de los cambios de cromaticidad empleando en sus experiencias un colorímetro tipo Donaldson de seis estímulos y visión monocular. El campo de observación es de  $10^\circ$  y el circundante oscuro, manteniendo constante la luminancia del semicampo de referencia.

En el proceso de medida se parte de igualaciones isómeras en ambas partes del campo de observación y se añade a una de ellas una cantidad controlada de radiación de banda espectral estrecha hasta que aparecê una diferencia de cromaticidad justamente perceptible en ambas mitades. Si antes de aparecer una diferencia de cromaticidad lo hace una de luminancia, el observador la elimina mediante un control específico, reduciéndola con la inclinación de una lámina de vidrio.

Se emplea también el sistema C.I.E. en la representación de los resultados y se encuentra que al unir los extremos de los desplazamientos umbrales en diferentes direcciones del espacio aparece una figura poligonal que puede ser ajustada a una elipse cuyo centro no coincide con la cromaticidad del estímulo de referencia, apareciendo una asimetría con respecto al mismo; esta asimetría tiene implicaciones muy significativas, tanto en los aspectos prácticos de igualaciones de color como en la teoría de los mecanismos de discriminación del mismo.

Se observa, por otro lado, que en ciertas direcciones, los desplazamientos de cromaticidad justamente perceptibles, varían con la composición espectral del estímulo de referencia incluso aunque la cromaticidad de éste permanezca constante. Esta cuestión apunta la necesidad de una investigación exhaustiva de los efectos del metamerismo sobre las tolerancias en las igualaciones de co

lor en relación a problemas prácticos. En algunos casos, Crawford analiza la variación diaria de los umbrales diferenciales de color y observa que cuando aparecen tales variaciones, parecen afectar a todos los acimut igualmente contrayéndose o dilatándose, lo que indicaría un cambio en el "ruido" retinal o de transmisión, o bien un cambio en la sensibilidad del receptor, pero en éste último caso afectaría igualmente a los diversos receptores de color, suponiendo que tal variedad de receptores exista.

En las figuras 3 y 4 pueden observarse, tanto el dispositivo empleado por Crawford como los resultados obtenidos. Los resultados más sorprendentes, en relación a este problema, tal vez sean los obtenidos por Parra (3); de ellos se desprenden implicaciones muy sugestivas, tanto bajo el punto de vista práctico como teórico, en lo referente al establecimiento de una métrica del espacio de color, objetivo inicial de su investigación, centrada sobre la medida de umbrales diferenciales de cromaticidad. Parra empleó un colorímetro diferencial que realizaba la mezcla de estímulos por fusión temporal. El tipo de visión es también monocular y el campo de visión presenta un diámetro angular de  $3^{\circ}50'$  en total, diferenciándose de las investigaciones anteriores al utilizar un campo de referencia y uno variable concentricos. El diámetro angular del campo circundante es de  $52^{\circ}$ . La luminancia del campo de observación permanece constante en los dos estímulos que estudia (rojo y azul). Con este tipo de colorímetro

,figura 5,el punto del diafragma cromático alrededor del cual se trabaja queda determinado por la abertura relativa de tres semisectores interiores.Los tres semisectores exteriores,coincidentes en principio con los correspondientes interiores,se mueven simultáneamente siguiendo una ley que permite desplazarse en una dirección determinada del diafragma cromático, manteniendoeel nivel de luminancia constante.

En la expresion de sus resultados empleó tambien el sistema G.I.E., encontrandose la existencia de direcciones privilegiadas, que hacen que la curva de contorno no sea concava hacia el interior como en las elipses, sino convexa. Otra conclusion interesante, es la diferencia de umbral, para desplazamientos en dos sentidos opuestos a partir de una igualación en un punto del diagrama cromático.

En la figura 6 pueden observarse los resultados mencionados.



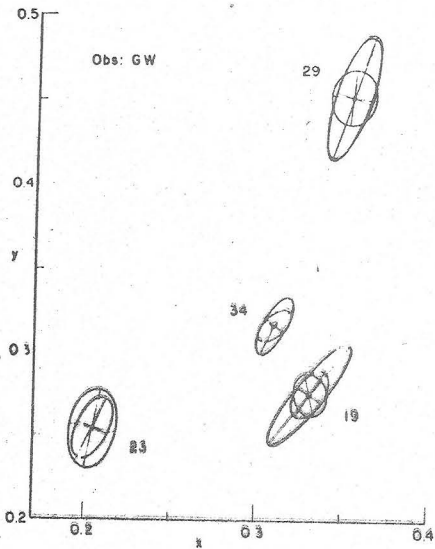


Fig. 5. Portion of CIE 1931 chromaticity diagram showing cross-sections ( $l = \text{const } 0.2158$ ) of color-matching ellipsoids obtained in  $(x, y, l)$ -space for the same observer (GW) producing sets of color matches at different occasions but otherwise identical observing conditions.

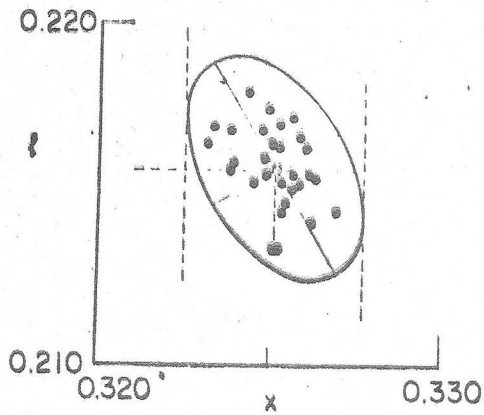


Fig. 3. Portion of  $(x, y, l)$ -space, in its three main projections, showing the distribution of points (solid dots) corresponding to color matches made by observer GW on a given test color (open circle). The ellipses (solid lines) are projections of the corresponding color-matching ellipsoid (with  $(dl)^2 = 7.81$ ) into the respective coordinate planes. The ellipse (dashed line) in the  $(x, y)$ -plane is the cross-section through the center of the ellipsoid with  $l = \text{const } 0.2158$ .

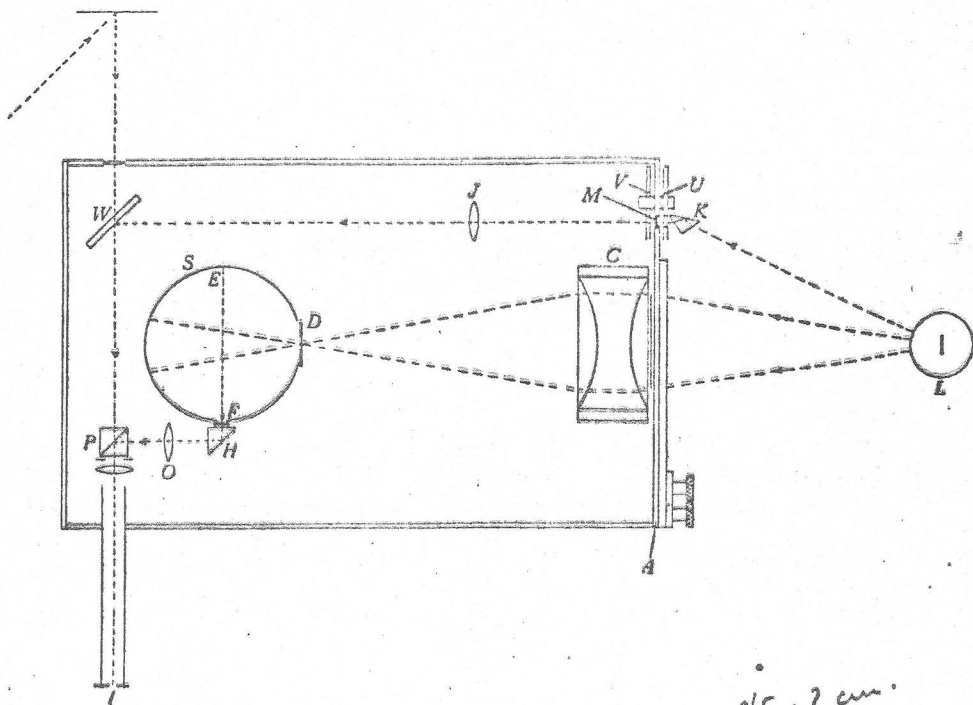


Figure 1.

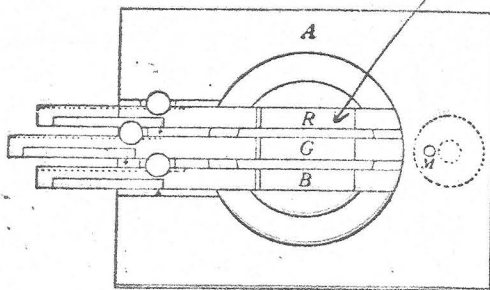


Figure 1 a.

FIGURA 2

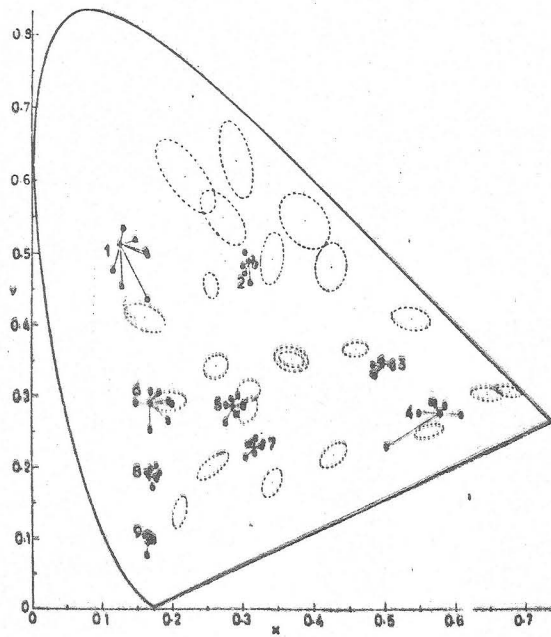


Fig. 3. Just perceptible chromaticity shifts compared with the Brown ellipses

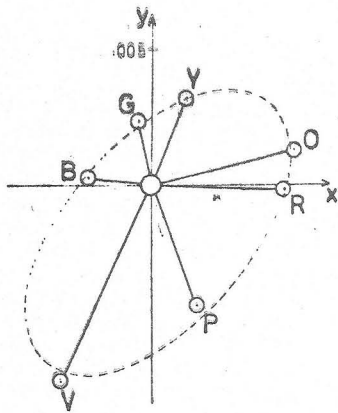


Fig. 4. Asymmetry of just perceptible chromaticity shifts: field colour No. 5

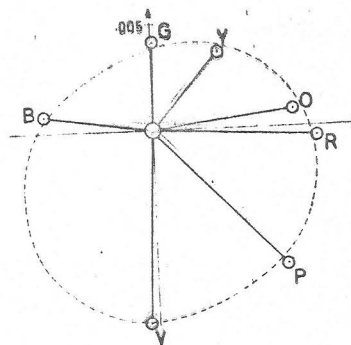


Fig. 5. Asymmetry of just perceptible chromaticity shifts: field colour No. 6

FIGURA 3

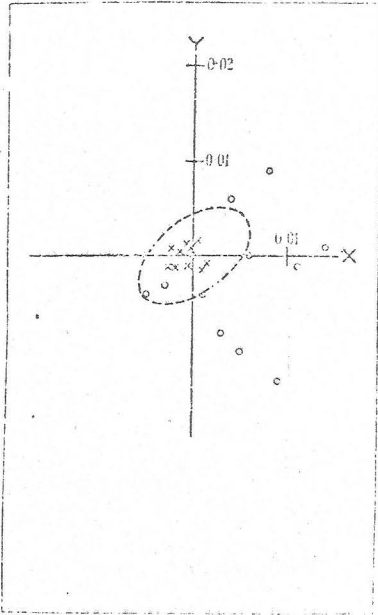


Figure 5. Errors in colour-measurement.

Yellow

$$0.6000X + 0.3993Y + 0.0007Z$$

- X 6-stimuli instrument.
- O 3-stimuli instrument.
- MacAdam ellipse.

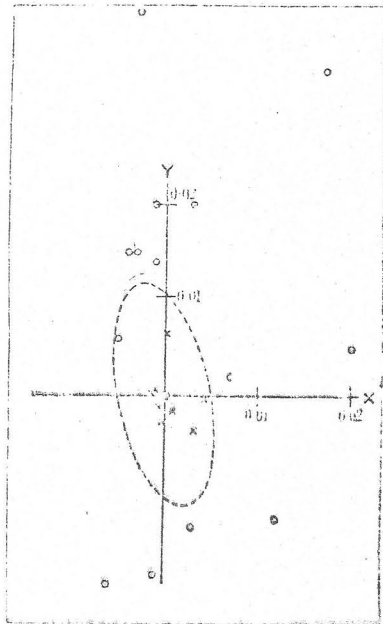


Figure 6. Errors in colour-measurement.

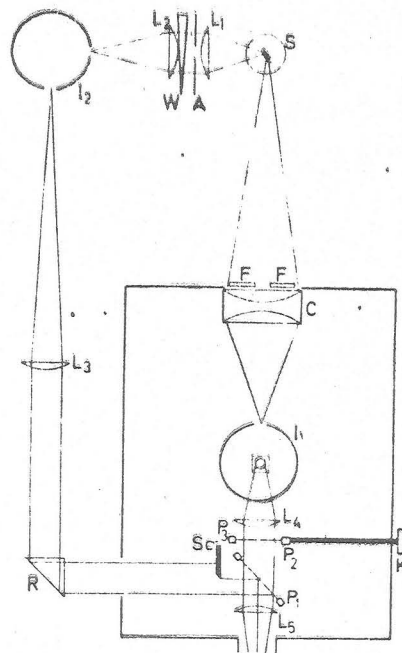
Blue-green

$$0.1918X + 0.3976Y + 0.4106Z$$

- X 6-stimuli instrument.
- O 3-stimuli instrument.
- MacAdam ellipse.

Fig. 1. Plan of apparatus  
(not to scale)

- S light source
- F colorimeter filters  
(two of the six)
- C condenser lens;
- I<sub>1</sub>, I<sub>2</sub> integrating spheres
- P<sub>1</sub> pellicle mirror
- P<sub>2</sub>, P<sub>3</sub> pellicle attenuators
- K knob for rotating P<sub>2</sub>
- Sc opaque screen
- L<sub>1</sub> to L<sub>5</sub> lenses
- R reflecting prism



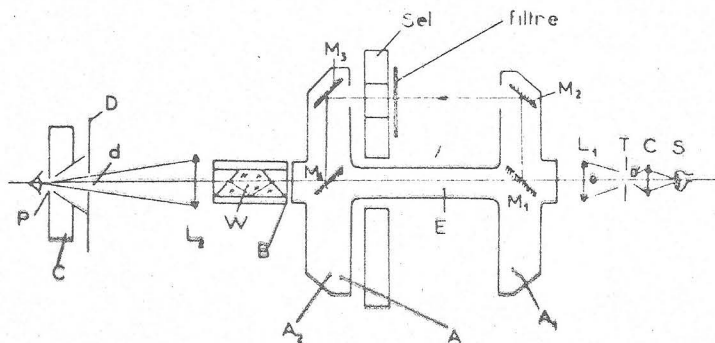


Fig. 1. Schéma du colorimètre différentiel

- S Source étalon A
- C condenseur
- T trou source de 2,5 mm de diamètre
- L<sub>1</sub> collimateur
- P pupille de sortie
- M<sub>1</sub>, M<sub>2</sub>, quatre miroirs, deux à deux, qui permettent au faisceau F de tourner autour de l'axe et balayant le système de modulation de flux (Sel) muni de trois filtres Wratten rouge, bleu, vert
- A<sub>1</sub>, A<sub>2</sub> deux boîtiers solidaires, tournant à une vitesse variable de 0 à 3000 tours/min
- B boîtier tournant destiné à redresser le champ
- L<sub>2</sub> lunette d'observation
- D diaphragme
- C boîtier permettant la réalisation du champ environnant

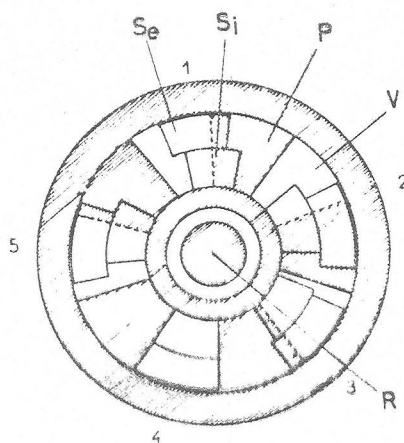


Fig. 2. Schéma du sélecteur (Sel) de la fig. 1. Cinq secteurs pleins, dix demi-secteurs mobiles (Les secteurs 3 et 4 sont fermés pendant la mesure du seuil)

FIGURA 5



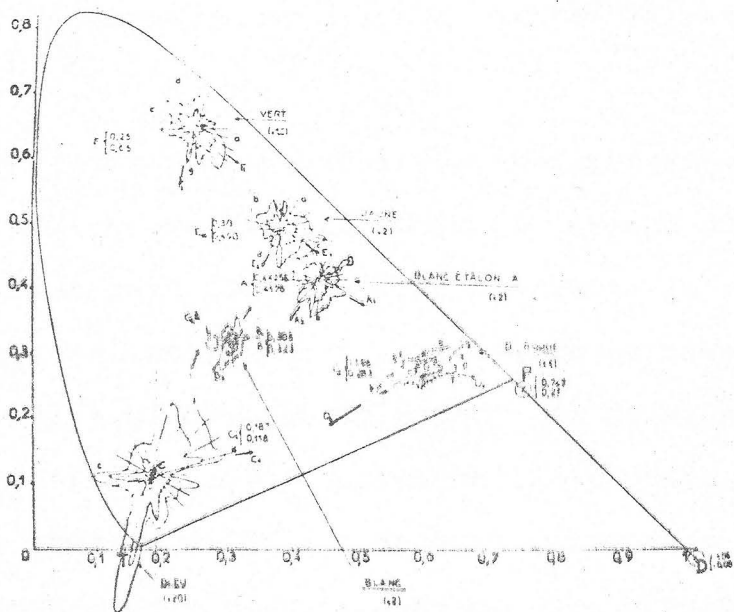


Fig. 4. L'ensemble des seuils dans 13 directions autour de six points

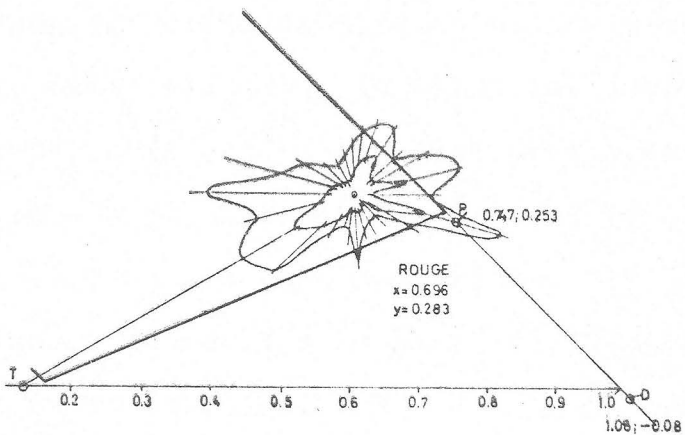


Fig. 5. Les résultats les plus récents concernant le rouge D  
( $x = 0.596$ ;  $y = 0.283$ )

**FIGURA 6**

En el trabajo de Le Grand se revisa la definición clásica de métrica de color, y se pone de manifiesto la dificultad de fundar sobre una base puramente matemática una teoría razonable de dicha métrica.

En primer lugar, se aclara que no se trata de representar un mundo del color percibido, ya que tal conjunto depende de muchos más de tres parámetros; pensemos en los problemas de adaptación temporal, espacial, etc. No se trata, pues, de metrizar el conjunto de colores percibidos, sino únicamente el de aquellos estímulos cuya sensación de color correspondiente pueda ser representada por tres números, dando así lugar a un espacio tridimensional. Desde el punto de vista fisiológico, este espacio dependerá exclusivamente de los tres fotorpigmentos existentes en los tres tipos de conos generalmente admitidos. En efecto, dos estímulos metaméricos son, por definición, aquellos que provocan los mismos efectos en estos tres fotorpigmentos. Del hecho de este punto de partida común, estos estímulos serán obligatoriamente vistos como idénticos cualesquiera que puedan ser los códigos nerviosos posteriores. El ojo, en suma, no serviría más que de aparato de cero para poner de manifiesto esta identidad de efectos iniciales puramente fotoquímicos.

Mediante ciertos convenios (leyes de Grassman) que están casi de acuerdo con la experiencia, el espacio de los colores poseerá ciertas propiedades afines simples, por ejemplo las reglas

de los centros de gravedad en las mezclas. Pero existe una infinidad de espacios geométricos, tales que todos los estímulos metámeros correspondan a un solo punto de este espacio; espacios que derivan unos de otros por transformaciones lineales.

En principio, aquel espacio cuyos primarios sean los fundamentales, derivados de los espectros de acción de los tres fotopigmentos, es lógicamente más fisiológico que los otros, aunque en apariencia nada le distingue especialmente. Para particularizar estos espacios es necesario imponer una métrica, es decir, definir el elemento de longitud. Hasta ahora, el único método seguido consiste en suponer por convenio que una métrica no es satisfactoria bajo el punto de vista fisiológico más que si dos estímulos justamente discernibles quedan representados por puntos separados una distancia constante. Este principio admite, pues, que las propiedades afines de los espacios de color reposan sobre los estímulos metámeros y que la métrica está fundada sobre el umbral diferencial. Dos caminos se abren principalmente para aplicar este principio, uno matemático y el otro fisiológico.

En el primero se considera que, siendo la distancia elemental entre dos puntos, función de las diferenciales  $dx_i$  entre las coordenadas de los puntos extremos del elemento de longitud considerado, la forma de esta función caracteriza la métrica del espacio. Por ejemplo, en los espacios de Riemann, el  $ds^2$  es una función

de segundo grado de los  $dx_i^2$  y el caso más simple de éste género es el espacio euclidiano usual donde, por una elección conveniente de los ejes,

$$ds^2 = \sum dx_i^2$$

Afirma Le Grand que para que éste método sea aplicable a la métrica del espacio de color, es necesario admitir un postulado que generalmente queda sobreentendido y que, sin embargo, está lejos de ser evidente:

"De la misma forma que la distancia entre dos puntos se representa como una función de las diferencias de coordenadas de estos puntos, se supone que la sensación de diferencia entre dos colores es una función de las diferencias entre las sensaciones correspondientes a estos colores". En particular, el umbral correspondería a una cierta función de las diferencias elementales, por ejemplo aquellas que son relativas a los tres fundamentales.

Si este postulado es falso, está claro que el problema de la métrica del color no tiene significado; sería imposible definir en el dominio de los colores una diferencia elemental, ya que el umbral diferencial, a pesar de su nombre engañoso, no puede relacionarse con la diferencia entre dos estímulos.

Apoya Le Grand esta afirmación refiriéndose a una serie de fenómenos fisiológicos de la visión que parecen probar la existen

-cia de mecanismos específicos sensibles a un cambio y que no funcionan por diferencias de respuestas estables. El umbral diferencial sería, en realidad, el umbral absoluto de estos mecanismos especiales y solamente las leyes de este umbral podrían proporcionar una base a una futura métrica del color.

En lo referente a métodos fisiológicos, estos no tratan la sensación diferencial como una diferencial de sensación. Se intenta, por el contrario, esquematizar un mecanismo de umbral cromático a partir de leyes razonables de la codificación del color y deducir directamente el elemento diferencial que servirá de base a la métrica. Es cierto que en este camino se puede esperar fundar sobre bases razonables una métrica del espacio de color.

Desgraciadamente, la mayor parte de los trabajos toman como base experimental las elipses de MacAdam (7) (Fig. 7) que parecen estar sujetas a crítica, ya que el procedimiento para analizar sus resultados es el de el error medio y forzosamente son simétricas con respecto al punto central.

Por último, el autor se refiere a un problema práctico diferente al que llama la "métrica finita", es decir, la distribución en el diagrama cromático de los colores que parecen igualmente separados unos de otros. No se trata aquí del elemento diferencial, sino de una distribución finita y muy por encima del umbral entre los colores. Este problema presenta, evidentemente, un interés técnico.



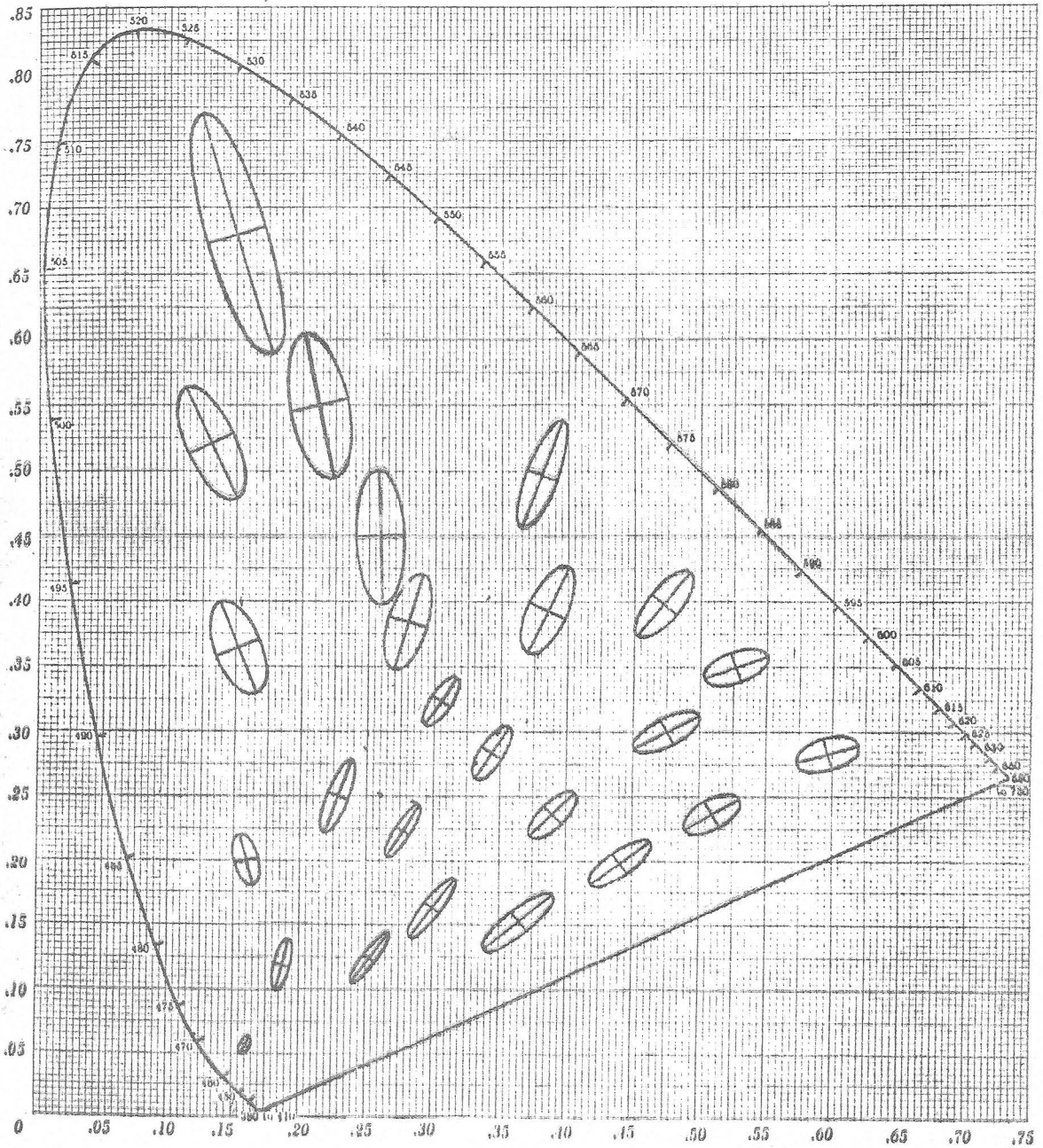


Fig. 48. Standard deviations of chromaticity from indicated standards, represented ten times actual scale on I.C.I. 1931 standard chromaticity diagram, observer: PGN.

FIGURA 7

-nico puesto que permite realizar atlas de muestras racionalmente separadas, entre si. La pretensión de que ésta métrica resultase de una generalización de la infinitesimal, suponiendo que las líneas de igual tono en el diagrama cromático son geodésicas, que unen el blanco a un punto del lugar espectral por el mínimo número de escalones, no parece estar confirmada por la experiencia.

## II.2. ANALISIS DEL PROBLEMA

De lo anteriormente expuesto se desprende que la matemática del espacio de color no está suficientemente desarrollada e incluso se pone en duda hasta la posibilidad de su estructuración. Además, el conjunto de los resultados experimentales obtenidos hasta ahora no presenta la coherencia deseable para servir de base al estudio de las propiedades de dicho espacio, es decir, es claramente insuficiente.

Como se puede deducir de los resultados obtenidos, tanto en los trabajos específicos sobre el tema como en otros complementarios (5), (6), (7), (9), (10), debe ser objeto de mayor atención el estudio de las variaciones en las condiciones experimentales de las observaciones.

Paralelamente a este análisis experimental, debe desarrollarse la base teórica, a cuya luz sea posible interpretar los datos que se vayan obteniendo. Esta teoría puede tomar dos vertientes, bien de índole biofísica o bien de índole sicofísica.

En el primer aspecto interesa el conocimiento de los mecanismos reales por los cuales el estímulo luminoso crea una excitación y la posterior transmisión de la misma hasta el cerebro. En el segundo, nos basta conocer la relación estímulo-respuesta, independientemente de estos mecanismos. En tanto que la biofísica necesitaría de auténticas teorías fisico-químicas para explicar dichos procesos, a la sicofísica le basta un modelo matemático que de cuenta de los resultados de las experiencias realizadas.

Es importante hacer constar, que la investigación en el terreno de la biofísica no anula a la que se lleva a cabo en el campo de la sicofísica, debido a varios motivos, de los que entresacamos dos. En primer lugar, una auténtica teoría de los mecanismos internos del receptor visual debe dar cuenta de los resultados que relacionan directamente el origen del proceso, es decir, el estímulo con el resultado mismo, o sea, la respuesta; una teoría que no cumpla este requisito sería incompleta.

Por otra parte, y refiriéndonos a los problemas prácticos de la colorimetría, le es imprescindible a ésta el conocimiento, lo más exacto posible, de cómo responde un observador a determinados es

-tímulos y sus posibles variaciones, ya sea por causa del estímulo, ya lo sea por causa del observador.

En general, la investigación biofísica ha obtenido una gran masa de resultados en animales de visión cromática parecida a la del hombre, dada la dificultad de aplicación de sus métodos al mismo. En cambio, los métodos sicofísicos presentan también dificultades en su aplicación a los animales, lo que conduce a la situación particular de que ambos conjuntos de datos no sean susceptibles de correlación debido a su peculiar procedencia.

No obstante, cuando estas comparaciones se establecen, se ha llegado a conclusiones verdaderamente interesantes, como por ejemplo la discutida existencia de los tres tipos de conos, cada uno con fotopigmentos diferentes, como se postula en la primitiva teoría de Young.

Todo esto nos conduce a afirmar que la investigación en el terreno del color debe ser consciente de los diferentes métodos de experimentación y no tratar de aventurar teorías, ya sean sicofísicas o biofísicas, sin apoyo mutuo. No podemos omitir una nueva aportación al problema que, aunque proviene de principios científicos diversos, puede ser de capital importancia en la clasificación de ideas. Nos referimos aquí a la cibernética en el sentido de la creación de modelos de comportamiento similar al del cerebro vivo. Trataremos, en función de todo lo expuesto, de concretar los objetivos de nuestra investigación, de la que este trabajo constituye un primer paso.

CAPITULO TERCERO



## CAPITULO TERCERO

### III.1. ESTUDIO TEORICO

#### III.1.1. ESPACIO DE SENSACIONES

Antes de pasar a la descripción del dispositivo experimental, así como de las medidas realizadas, vamos a exponer algunas ideas acerca de la base teórica que ha guiado esta línea de investigación.

En los problemas de color existen dos conjuntos básicos, que difícilmente pueden ser estudiados con independencia: el de los estímulos físicos y el correspondiente de las sensaciones de color provocadas por aquellos. Además, y este es uno de los puntos más debatidos, existe un amplio conjunto de formas de presentar los estímulos al observador, a las que hay que añadir la variedad de éstos.

Las definiciones de estímulo y sensación propuestas por la C.I.E. han sido ampliamente aceptadas y por ello las indicamos a continuación:

- Se denomina *estímulo de color* a aquella radiación, física - mente definida, que penetra en el ojo y produce sensación de color. Y *color* (o *sensación de color*) a aquel aspecto de la



percepción visual que permite al observador distinguir diferencias entre dos objetos de iguales dimensiones, de idéntica forma e igual estructura, siendo estas diferencias de la misma naturaleza que aquellas que produciría una diferencia de composición espectral de la radiación que interviene en la observación. Esta definición incluye, pues, la posibilidad de que influyan factores diferentes de la composición espectral, tales como estados previos de adaptación del ojo, contraste simultáneo, etc. A una composición espectral determinada del estímulo le corresponderían así diversas sensaciones, según sean las condiciones experimentales. Además, como la visión cromática de todos los observadores no es idéntica, aún cuando sólo consideremos observadores "normales", estímulos que para un observador producen sensación de color, no la producen en otros. Teniendo en cuenta estos dos hechos, nos restringimos desde un principio al conjunto  $E$  de los estímulos que producen en un observador  $O$  determinado un conjunto de sensaciones,  $S$ , bajo unas condiciones experimentales dadas.

Como resulta que el número de sensaciones diferentes que un observador puede percibir depende de si se le presentan los estímulos sucesiva o simultáneamente, y que en éste último caso es cuando dicho número es mayor, nos restringiremos a la observación simultánea de campos contiguos. En éste caso, el sistema visual puede emitir juicios de igualdad o desigualdad

o bien de diferencias de color. Ambos casos son de gran interés, tanto desde un punto de vista práctico, como teórico.

En todo caso, se observa que el número de sensaciones posibles consideradas como distintas, es *finito*, mayor o menor, según el poder de discriminación del observador.

Aunque nos interese fundamentalmente la comparación de estímulos y no la propia sensación evocada por aquel, sí, en cambio, es útil resaltar que en toda sensación conviene distinguir tres aspectos que nos ayuden a su clasificación: El tono, la claridad y la saturación. Estas cualidades nos permiten en la práctica clasificar y ordenar las sensaciones, estableciendo atlas de color.

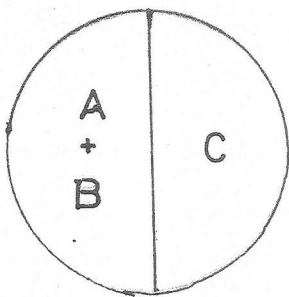
La clasificación u ordenación de acuerdo a un sólo atributo (claridad, tono o saturación), es difícil pero podemos definir relaciones de equivalencia tales como "tener igual claridad", y de orden, como "tener mayor o igual claridad". En el caso de las ordenaciones, estas son totales, debido a que cualquier sensación puede compararse con todas las demás.

Si se quiere pasar del conjunto  $S$  al espacio  $S$  de las sensaciones (espacio psicológico), habrá que dotar al conjunto de alguna estructura matemática. Dos estructuras han sido adscritas a este conjunto: la de espacio vectorial y la de espacio métrico. El uso de la estructura de espacio vectorial se ha li

-mitado a representar por vectores las diferentes sensaciones (tal como se hizo en la introducción I.2) y por ecuaciones vectoriales las igualaciones colorimétricas. Esta representación proviene del carácter tricromático, así como de la aditividad y proporcionalidad mencionadas en I.2. No obstante, la estructura de espacio vectorial exige una serie de condiciones que no parece cumplir el conjunto S. En efecto, admitiendo como ley de composición interna la suma de colores, entendiendo por tal la modificación de aspecto que sufren cuando mezclamos estímulos de colores diversos, deben cumplirse las cinco condiciones siguientes:

1.- Carácter único y cerrado de la operación.

A cada par de colores A y B le corresponde una única sensación suma C, es decir, que si en uno de los campos de comparación situamos la suma A + B y en el otro C, esta igualdad se



mantiene, independientemente de las condiciones experimentales, siempre estas se mantengan dentro de la linealidad de las igualaciones (Principio de persistencia de Von Kries( )).

Si se cambia de observador esta igualdad, en general, no se mantiene .

2.- Asociatividad, proviene de las leyes de Grassman.

3.- La conmutatividad, igualmente

4.- Existencia de elemento neutro.

La experiencia enseña que no existe sensación de color que, sumada a un color cualquiera, produzca éste mismo (pensemos que las sensaciones acromáticas son un caso particular de aquellas, y pertenecen por lo tanto al conjunto  $S$ ). Esta afirmación sigue siendo válida aunque tal elemento fuese uno acromático pues, en éste caso, modificaría la saturación del color elegido. Se podría pensar en incluir el negro dentro del conjunto  $S$ , ya que sería un elemento neutro, pero esto introduce nuevos problemas, como veremos a continuación.

5.- Todo color debe poseer su opuesto. Esto significa otro color, que sumado a él proporcione el elemento neutro. Si algún blanco cumpliera la condición de ser elemento neutro, se podría cumplir esta propiedad con los llamados colores complementarios. Con la inclusión del negro como elemento neutro en  $S$  no se cumpliría esta quinta condición, pues al sumar dos colores la claridad del color obtenido nunca es nula, como ocurre en un negro. De lo anterior se desprende que el conjunto  $S$  no tiene estructura de grupo y por tanto no forma espacio vectorial. Al no admitir más que las propiedades 2 y 3, su estructura es de semigrupo abeliano.

Para tratar de la métrica del espacio de color, debemos definir en éste una función de  $S \times S$  en  $R^+$  que cumpla las siguientes

condiciones:

$$1^\circ d(s_i, s_j) \geq 0 \text{ y } d(s_i, s_i) = 0$$

$$2^\circ d(s_i, s_j) = d(s_j, s_i)$$

$$3^\circ d(s_i, s_j) \leq d(s_i, s_k) + d(s_k, s_j)$$

$$4^\circ d(s_i, s_j) = 0 \text{ implica } s_i = s_j$$

donde  $d(s_i, s_j)$  es la distancia entre los puntos  $s_i, s_j$ .

Si a cada color le queremos hacer corresponder un punto de un cierto espacio  $S$ , la distancia entre cada dos puntos debe ser proporcional a la diferencia percibida entre los colores correspondientes, es decir, se debe establecer una correspondencia entre los elementos abstractos (distancia) y los experimentales (diferencia percibida). La correspondencia no es una mera asignación, sino que debe reunir las condiciones formales que se exigen a toda distancia:

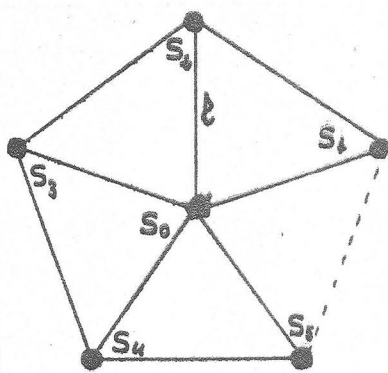
1 a.- La condición  $(s_i, s_i) = 0$  sí que la satisface, pues la diferencia percibida entre un color y el mismo es nula

1 b.- La condición  $d(s_i, s_j) \geq 0$  también se cumple, ya que realizamos juicios de comparación entre los colores  $s_i$  y  $s_j$ , que deben representar la diferencia percibida entre ellos cuando están situados en campos contiguos.

2 .- La equivalencia  $d(s_i, s_j) = d(s_j, s_i)$  la dejamos para analizarla cuando se haya hablado de la propiedad triangular.

3 .- La condición  $d(s_i, s_j) \leq d(s_i, s_k) + d(s_k, s_j)$ , es decir, que la distancia  $d(s_i, s_j)$  debe ser menor o igual que la suma de

diferencias percibidas (distancia) entre  $S_i$  y  $S_k$  y entre  $S_k$  y  $S_j$ , no se ha comprobado experimentalmente, aunque sin embargo Judd (28) y Wyszecki (18) han realizado un tipo de medidas del que pueden sacarse conclusiones interesantes a este respecto. La intención de sus medidas era determinar la curvatura de Gauss del espacio de color, con objeto de saber si es euclídeo, riemanniano o de otro tipo; para ello comienzan partiendo de un color  $S_0$  y de otro  $S_1$  entre los que existe una diferencia determinada, después buscan un color  $S_2$  cuya diferencia en color con  $S_0$  y  $S_1$  sea idéntica a la que existe entre  $S_0$  y  $S_1$ . A continuación buscan un nuevo color  $S_3$ , cuya diferencia con  $S_2$  y  $S_0$  sea idéntica a la que hay entre  $S_2$  y  $S_0$ ,



y así sucesivamente. Todos estos colores se mantienen con claridad constante. La pregunta que se debatía era si la sensación de color  $S_5$  es igualmente diferente de la  $S_1$  como lo es de  $S_0$  y  $S_4$ . Aunque estas medidas,

que enjuician la igualdad de diferencias de color y no la igualdad o desigualdad misma de los colores, están sujetas a mayores errores que éstas, se deduce que, generalmente, la diferencia  $S_1-S_5$  es superior a las anteriores, que denominaremos 1, por ser todas iguales (dentro del error de las medidas). Des-



-pués de este resultado, cabe preguntarse si  $d(S_5 - S_1) = d(S_5, S_0) + d(S_0, S_1) = 2, 1$ . Si esto ocurre así (y no parece nada probable), carece de sentido hablar de distancias entre los puntos en el espacio de color, y hasta el propio concepto de esta métrica cae por su base. Esto, naturalmente, no quiere decir que no sean posibles otros tipos de métricas. Pero si sus distancias no representan diferencias percibidas de color, carecen de utilidad. En la condición 2),  $d(S_j, S_i)$  representaría la distancia entre las sensaciones  $S_i$  y  $S_j$ , cuando vamos de una a otra desde  $S_j$  a  $S_i$ . Si estas distancias se mantienen, o no, está por probar.

4 .- La condición 4 la analizamos en el espacio de estímulos, ya que se relaciona con el de sensaciones.

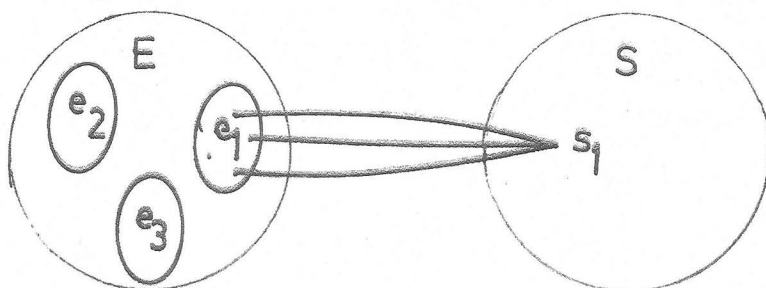
### III.1.2.- ESPACIO DE ESTIMULOS Y SU RELACION AL DE SENSACIONES

Hasta ahora hemos analizado el conjunto S de las sensaciones de color que un observador determinado puede percibir como diferentes, por comparación simultánea de campos contiguos. Veamos qué propiedades posee el correspondiente conjunto de estímulos, E.

Si caracterizamos físicamente a los estímulos de color por su

distribución espectral, prescindiendo de otras características, un mismo estímulo, fijadas las condiciones experimentales de observación, produce una sola sensación. Entre el conjunto E y el S existirá, pues, una correspondencia unívoca. Por definición de estímulo de color, todo elemento de E posee su imagen en S. Prescindiendo de las sensaciones de color producidas por causas distintas de la energía radiante, la correspondencia será de E sobre S. La correspondencia entre E y S será, pues, una sobreyección. Para que fuese biyectiva haría falta que la correspondencia fuera inyectiva, pero esto no ocurre así debido a dos fenómenos: el metamerismo y la discriminación.

Estímulos de distinta composición espectral (y por lo tanto diferentes) pueden producir la misma sensación. Además, debido al poder de discriminación limitado, estímulos de  $L_e(\lambda)$  muy próximos pueden producir la misma sensación. De un modo convencional, representamos en el diagrama de Venn del conjunto E los estímulos próximos a los  $e_i \in E$  en el interior de unos recintos que contienen a  $e_i$  y que simbolizaremos por  $R(e_i)$ .



Naturalmente, y debido al "ruido" propio de cada sistema visual, el paso del interior al exterior de estos recintos se hace de un modo gradual y no bruscamente, por la aleatoriedad del fenómeno. Makowski (35) llama "estímulo múltiple" al conjunto de estímulos próximos a  $e_i$ , es decir, aquellos que se encuentran en el interior de  $R(e_i)$ . Y con objeto de establecer una biyección, llama "estimulador" al subconjunto de los estímulos que producen la misma sensación en el sistema visual, incluyendo, por lo tanto, a los estímulos metámeros y a los múltiples.

Cuando realizamos una igualación de color entre estímulos de idéntica composición espectral, variando ligeramente la de uno de los campos, seguimos viéndolos iguales, salvo si traspasamos el umbral. Podremos saber cuál es la igualación isómera y cuál es la igualación debida al límite de discriminación, midiendo la radiancia espectral de ambos campos. Todas aquellas igualaciones en que difieran los estímulos no son isómeras. Sin embargo, cuando hacemos una igualación con estímulos de muy diferente composición espectral, si variamos uno de estos ligeramente, seguiremos, en general, manteniendo la igualación. Si mantenemos como definición de estímulos metámeros la propuesta por la C.I.E. (estímulos de diferente composición espectral que dan igual sensación de color), nunca podremos distinguir entre una igualación metámera de la que no lo es, en el sentido de estar producidas estas por ligeras variaciones en las

ya diferentes distribuciones espectrales. Sólo si convenimos, como algunos autores hacen, en definir los pares metámeros en un sentido más concreto, como aquellos que poseen iguales valores triestímulo en un sistema tricromático determinado, podremos discernir entre metamerismo y discriminación. El metamerismo resulta, de este modo, independiente de los primarios del sistema. En efecto, si calculamos R, G y B, dados por las ecuaciones |1| del apartado I.2., para las curvas de mezcla de un observador dado, tomando como primarios R, G, B y pasamos a los R', G' y B', las nuevas funciones de mezcla son combinaciones lineales de las anteriores. Y como, si un sistema de funciones de mezcla hacen iguales las integrales anteriores, también las hará iguales cualquier combinación de ellas, se mantendrá el metamerismo. Esto último se prueba fácilmente.

Todas aquellas parejas de estímulos que no verifiquen las integrales |1| y se vean, sin embargo, iguales en color, será debido a un proceso de falta de discriminación, y no a metamerismo. El concepto de estimulador, pues, no tiene mucho interés si se puede distinguir entre los procesos; además, engloba este concepto en uno fenómenos que probablemente tengan causas diferentes. Aquí radica el gran interés de estudiar experimentalmente la discriminación a partir de estímulos metámeros, aunque los resultados no sean comparables entre distintos observado

-res, lo cual no elimina su importancia.

En resumen, para cada observador se puede definir una aplicación sobreyectiva  $\phi$  que relacione el conjunto de los estímulos de color al de las sensaciones correspondientes, siempre que se fijen las condiciones experimentales. Simbólicamente:

$$S_i = \phi(e_i, \lambda_{j1}, \lambda_{j2}, \lambda_{j3} \dots \lambda_{jn})$$

donde  $S_i \in S$ ,  $e_i \in E$ , y  $\lambda_{jk} \in \Lambda$ , el conjunto de condiciones experimentales posibles. Las  $\lambda_{jk}$  actúan de modo de parámetros en la función  $\phi$ .

### III.1.3.- ESPACIO SICOFISICO

En todo estudio experimental se necesita un sistema de representación de los resultados. El sistema C.I.E., en general, es el más usado y, por tanto, se va a analizar.

En primer lugar, es preciso hacer notar que no se trata de un espacio de representación puntual de los diferentes colores, sino más bien un modo de representar los propios estímulos, naturalmente, de acuerdo a su capacidad de producir sensación de color. Así, a cada estímulo le corresponde un único punto de dicho espacio (aunque no a la inversa), no ocurriendo así para las



sensaciones, pues a cada una de ellas le corresponde un recinto de puntos (los que representan a los estímulos próximos a uno dado). Este espacio es, por lo tanto, de índole sicofísica. En relación a la métrica de éste espacio, se puede indicar que escribir un elemento de línea mediante

$$ds^2 = \sum g_{ijk} dx_i dx_j dx_k$$

equivale a afirmar que  $ds^2$  es función de los incrementos de las variables independientes (valores triestímulo), es decir, de las diferencias entre los estímulos "próximos". La diferencia con el espacio sicofísico de sensaciones es que en éste, entre cada dos sensaciones, existen un número finito de ellas, en cambio, entre dos puntos del espacio sicofísico (definidos por  $X_1, X_2, X_3$ ) existen infinitos. El problema radica, como afirma Le Grand, en la representación de los umbrales diferenciales por  $ds$ , pero no sólo por la razón que él apunta (sensación de diferencia distinta de la diferencia de sensaciones), que es de índole sicofísica, sino porque al asignarle a  $ds$  el significado de sensación de diferencia (o diferencia de sensaciones), se pierde su carácter de distancia entre puntos infinitamente próximos en el espacio C.I.E. y ocurrirá igual con puntos no necesariamente próximos del mismo (calculada su distancia integrando el elemento de línea a lo lar



-go de la geodésica que pasa por ellos)

En efecto:

1.- La distancia entre  $A(X_1, X_2, X_3)$  y  $A(X_1, X_2, X_3)$  (diferencia de sensación) es nula.

2.- La distancia (diferencia de sensaciones) entre  $A(X_1, X_2, X_3)$  y  $B(X_1+dX_1, X_2+dX_2, X_3+dX_3)$ , distinto de A, puede ser nula si B pertenece a  $R(A)$ .

3.- Según Crawford y Parra (2), (3), el umbral diferencial varía cuando nos movemos en sentidos opuestos. Esto puede poner en duda el cumplimiento de que la distancia entre A y B es igual a la que hay entre B y A.

4.- De la propiedad triangular afirmamos lo mismo que se dijo en el espacio de sensaciones.

Aunque se cumplen las propiedades 1, 3 y 4, como no se cumple la 2 ( $d(A, B) = 0$ , si y sólo si  $A = B$ ), el espacio sería semimétrico y la distancia, una semidistancia, (Zamansky, (32)). Creemos, pues, con Le Grand, que no es correcto el uso del elemento de línea, y si interesa hablar de distancias, es por lo introducido que está este lenguaje, ya que no cumple los requisitos matemáticos. No obstante, estas afirmaciones han de ser aún objeto de estudio experimental para llegar a razones más firmes, aunque las ya expuestas sean de suficiente fuerza.

Aunque nos hemos referido al sistema C.I.E., todo lo dicho es válido en otro sistema.

CAPITULO CUARTO

## CAPITULO CUARTO

### IV.1.- INTRODUCCION

Creemos necesario, antes de describir el dispositivo experimental empleado en este trabajo, hacer un esquema de las posibles condiciones experimentales para, posteriormente, indicar las elegidas, y su justificación. Este análisis se realiza de acuerdo con las distintas condiciones empleadas por los autores, y su esquematización la hemos hecho en función de las partes esenciales de los dispositivos colorimétricos.

#### a) Campo de observación:

Forma

Tamaño

Simultaneidad o sucesión

Línea de separación

Tiempo de presentación

#### b) Métodos de obtención de estímulos:

Mezcla aditiva espacial

Mezcla aditiva temporal

Mezcla sustractiva

- c) Modos de apariencia del estímulo
  - Modo de apertura
  - Modo de objeto
- d) Tipo y tiempo de adaptación previa
- e) Campo circundante
- f) Fijación de cabeza y ojos
- g) Nivel de luminancia
  - De campo de observación
  - De campo circundante
- h) Realización de las igualaciones por parte del observador, manejando uno, dos o tres mandos.
- i) Condiciones psicológicas del observador
  - Hora en que se realizan las medidas
  - Duración de la sesión
- j) Presentación de los estímulos al observador
  - A luminancia constante
  - A luminancia variable
- k) Caracter de las igualaciones
  - Metámeras
  - Isómeras
- l) Elección de primarios y, por lo tanto, composición espectral de los estímulos de referencia.

## DISPOSITIVO EXPERIMENTAL

El conjunto experimental empleado ha sido diseñado y construido, en su parte mecánica, especialmente para este trabajo, y su realización se ha llevado a cabo en los talleres del Departamento de Física de esta Facultad.

Consta, esencialmente, de cuatro partes bien diferenciadas, y su descripción la haremos en este orden.

- 1.- Sistema de producción del estímulo de referencia.
- 2.- Producción de estímulos variables por mezcla espacial.
- 3.- Producción de estímulos variables por mezcla temporal.
- 4.- Sistema de observación

### IY.1.1.- SISTEMA PARA PRODUCIR EL ESTIMULO DE REFERENCIA

En la Fig. 8, puede observarse el esquema de este dispositivo. La fuente luminosa (12), es una lámpara de bajo voltaje (Magda 6,3V, 0,3A), cuyo filamento se representa por medio de un condensador (14), sobre una abertura circular de 0,5 mm de diámetro (15) en la que va situada una lámina traslúcida a fin

de borrar la imagen del filamento.

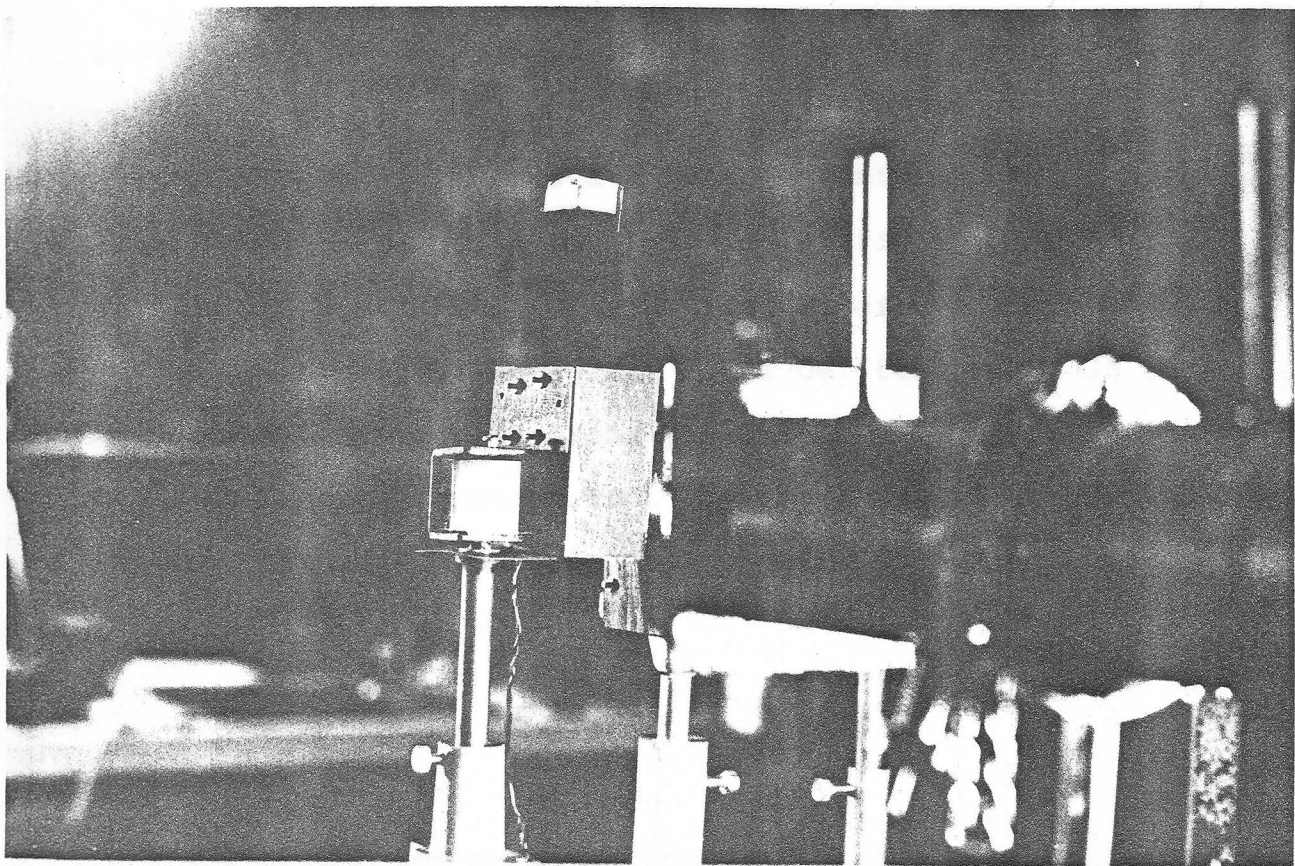
La estabilización en tensión (0,3%) se realiza mediante un estabilizador de tensión de corriente alterna cuyas características se darán posteriormente.

Un doblete, (16), en cuyo foco se encuentra la abertura circular, produce un haz colimado que atraviesa un filtro de vidrio (Schott) (12), que será el responsable de la cromaticidad del campo de referencia.

La regulación de la radiancia total, que incide sobre el filtro, se realiza mediante un diafragma iris (13) centrado y situado aproximadamente a mitad de distancia entre la lámpara y el condensador.

Todo este sistema, desde la lámpara hasta el filtro, va montado solidariamente en un tubo cilíndrico de hierro de 7,5 cm de diámetro exterior y 7 cm de interior. La base de la lámpara (rosca tipo Edison), está acoplada en el centro de una placa circular que queda ajustada a uno de los extremos del tubo. El resto de las componentes, tanto ópticas como metálicas, van acopladas en arandelas de bronce con diámetro interior el de la componente y exterior el diámetro interior del tubo. Estas arandelas tienen un espesor de 1,5 cm con el fin de dar suficiente rigidez al montaje.





SISTEMA PARA PRODUCIR EL ESTIMULO DE REFERENCIA

Las arandelas quedan fijadas al tubo mediante tornillos prisioneros exteriores. Las arandelas correspondientes al doblete y al condensador pueden desplazarse a lo largo del tubo afin de conseguir la puesta a punto del sistema. Esto se consigue mediante ranuras realizadas a tal fin en el tubo, por las que se permite el desplazamiento longitudinal de los tornillos prisioneros. La longitud total del tubo es de 35 cm y se encuentra pintado interior y exteriormente de negro mate, así como la tapa circular. Todo el tubo va montado sobre un soporte solidario a un banco que se encuentra fijo en la mesa sustrato de todo el equipo.

#### IV.1.2.- PRODUCCION DE ESTIMULOS VARIABLES POR MEZCLA ESPACIAL.

El esquema del dispositivo puede observarse en la Fig.8. La fuente luminosa (2) es una lámpara de Iodo-Cuarzo, marca Sylvania, 230 V., 500 watt tipo FFX de proyección. Esta va montada sobre un soporte regulable en altura, en el extremo del cual hay colocado un casquillo de porcelana. Dado que esta lámpara posee dos patillas por las que, cuando está en régimen, circula una intensidad apreciable, el acople del casquillo se realiza

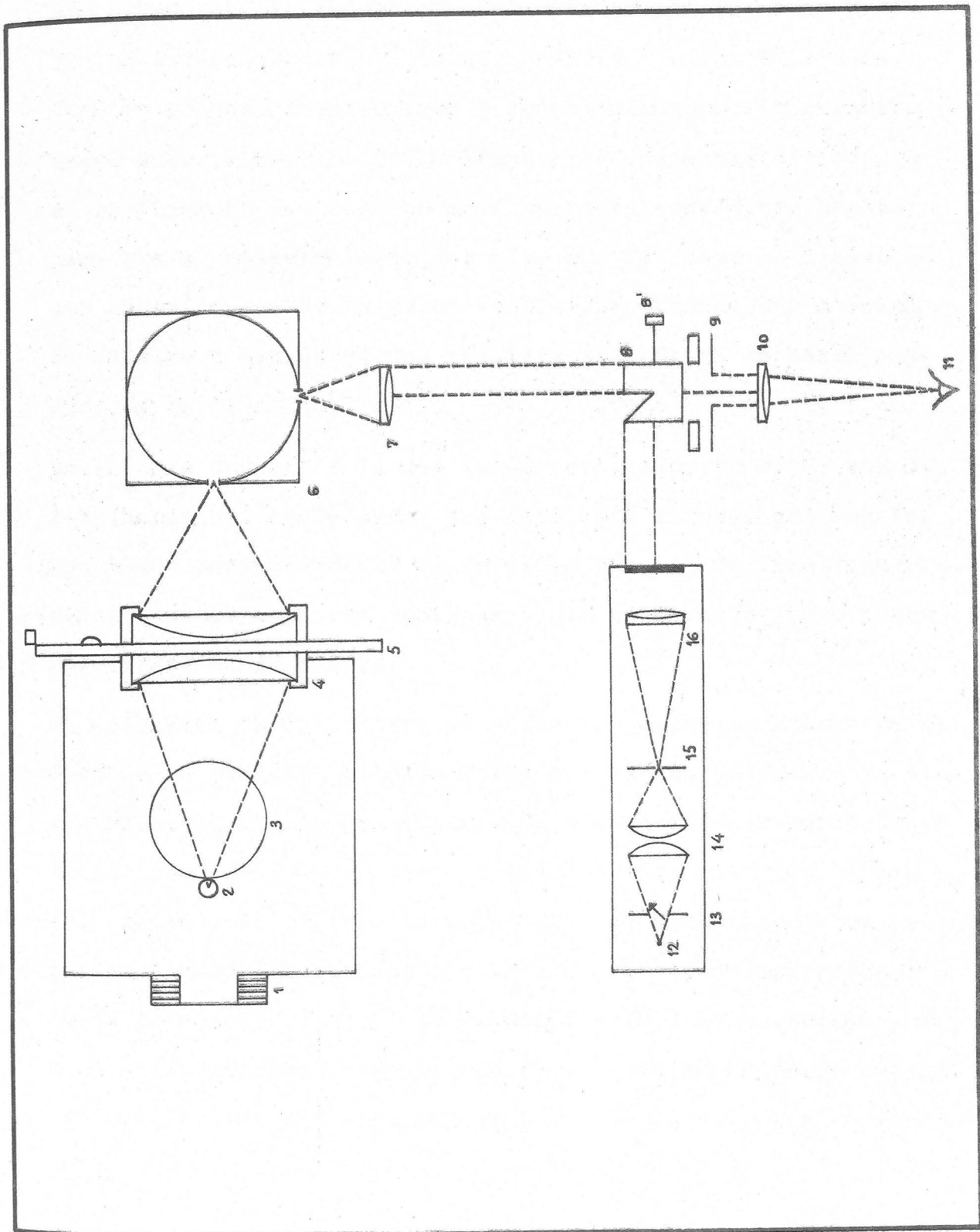


FIGURA 8 -

procurando que la superficie de contacto sea lo mayor posible. La estabilización en la alimentación de la lámpara es, como en el caso anterior, del 0,3% producida por el estabilizador Boar ya mencionado. La lámpara se encuentra situada en el interior de una carcasa metálica suficientemente amplia para que el calentamiento del aire que la rodea no llegue a ser excesivo. Además, un turbo-ventilador, produce una corriente de aire a través de una abertura situada en la parte superior de la misma (3).

En la cara opuesta a la del turbo-ventilador, se sitúa una de las lentes del condensador (4). Este, está formado por dos lentes plano convexas de 15 cm de diámetro y 30 de focal que presentan sus superficies convexas hacia el interior, como puede observarse en la figura.

El filamento de la lámpara se sitúa muy aproximadamente en el foco de la primera lente, de forma que el haz emergente de ella sea paralelo al eje del sistema. Este requisito es conveniente cuando, como en nuestro caso, utilizamos entre las dos lentes del condensador filtros interferenciales para formar los estímulos primarios del sistema. Los filtros van acoplados a una placa de bronce, Fig. 9, de 50 cm de diámetro y 2 cm de espesor, obtenida por fundición y mecanizada. Para utilizar la parte central del condensador, los filtros, que son circulares y con un diáme-

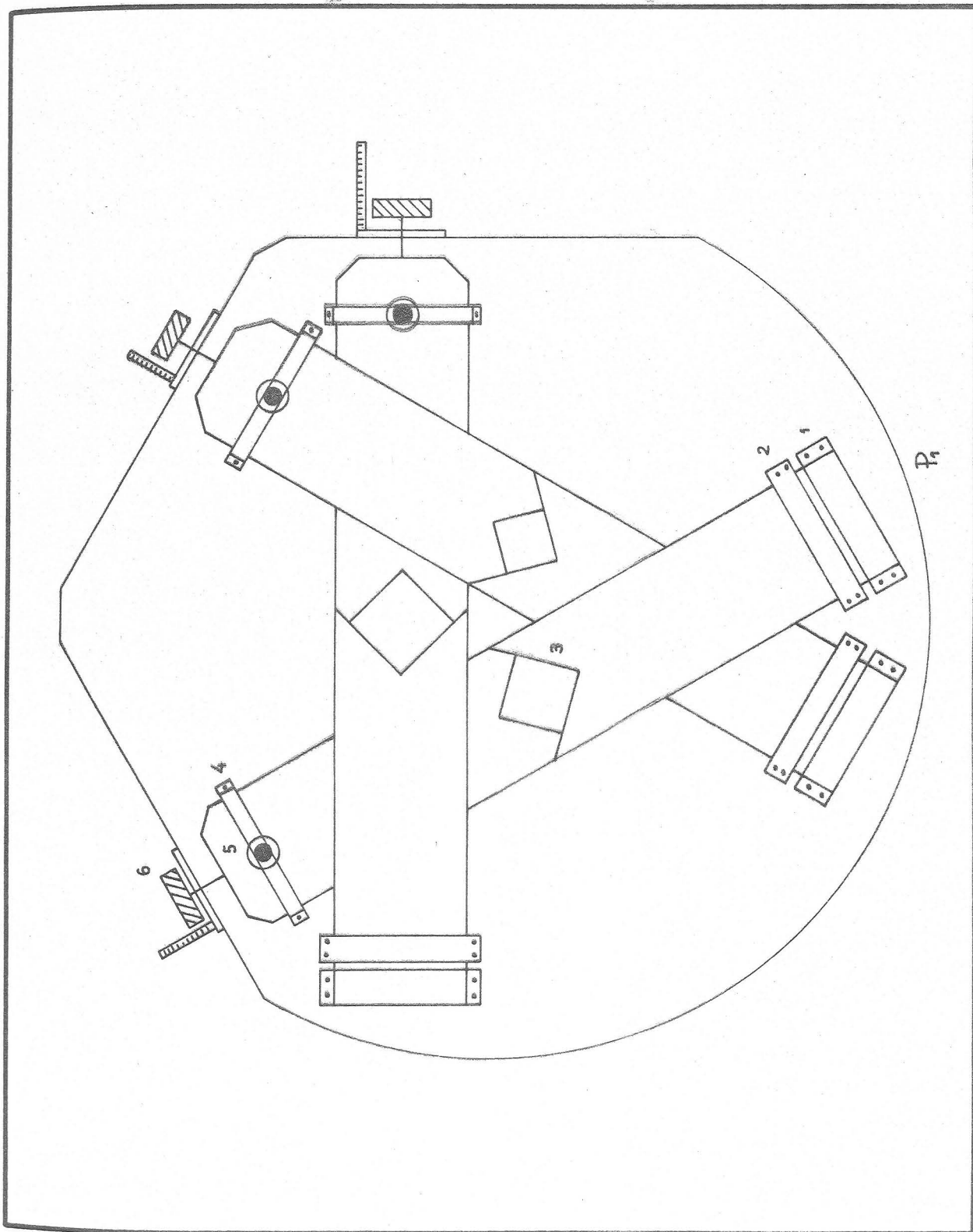
tro de 5 cm, se sitúan con sus centros en una circunferencia de radio 5 cm y formando un triángulo equilátero.

Los filtros interferenciales empleados son de la casa Schött y sus especificaciones pueden observarse en la Tabla 1.

En la Fig. 10 se pueden observar las curvas de transmitancias de los mismos realizadas con un espectrofotómetro Beckman mod. Acta C III.

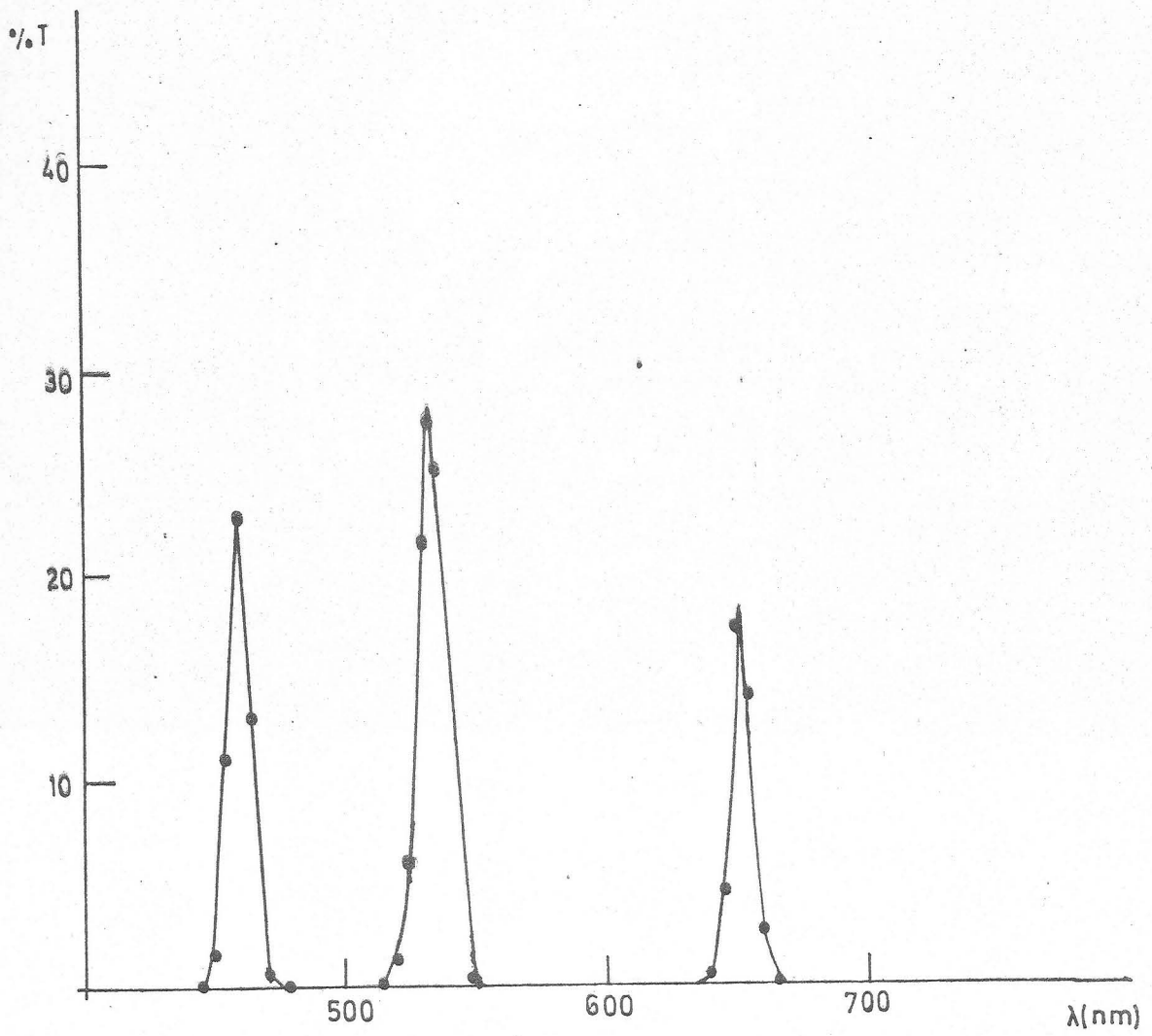
Las variaciones de radiancia de cada uno de los primarios se realiza mediante unos diafragmas variables diseñados del siguiente modo. Se han escogido láminas de latón de 0,1 mm de espesor con suficiente resistencia y flexibilidad. Como puede observarse en la Fig. 9 (3), se realizan en cada una de las láminas sendos cortes formando ángulos rectos y doblándola, de modo que éstos ángulos presenten cara uno al otro, formando cuadrados de diferentes áreas al deslizar una mitad respecto de la otra. Uno de los extremos de cada lámina va sujeto a un muelle (5) y el otro extremo, después de pasar por tres rodillos (1, 2, 4) que, además de permitir el deslizamiento, presionan para que ambas mitades de la lámina se adapten a la superficie mecanizada de la placa de bronce, se une a un dispositivo de tracción. Los dispositivos de tracción de cada lámina están formados por tornillos de paso de rosca 1 mm y con una cabeza de diámetro 5 cm, dividida en 50 partes, lo que da lugar a que, cuan



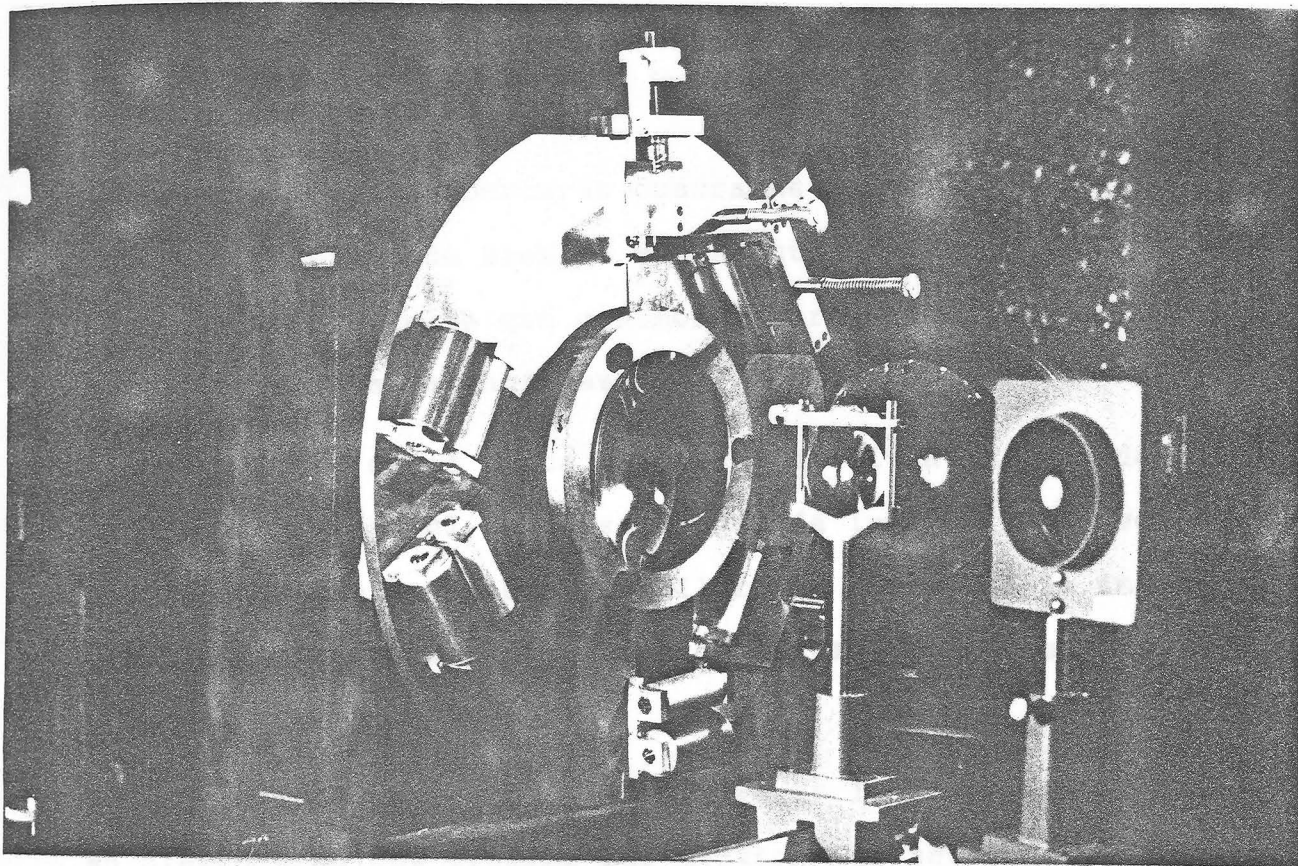


- FIGURA 9 -





- FIGURA 10 -



COLORIMETRO DE MEZCLA ESPACIAL

do se gira el tornillo una de estas divisiones, el incremento en la diagonal del cuadrado sea de  $2/50$  mm, pues el sentido de avance de ambas mitades de la lámina es opuesto.

Los centros de las aberturas cuadradas coinciden con el de los filtros de forma que siempre que se utiliza la parte central de los mismos, detalle que creemos importante cuando se utilizan filtros interferenciales.

A continuación de la placa de bronce se situa la segunda lente plano-convexa del condensador que da lugar a la convergencia del haz que atraviesa los filtros y que forma la imagen del filamento sobre el orificio de entrada de una esfera integrante (Fig. 8, (6) ).

La esfera integrante, con un diámetro de 15 cm, está realizada en hierro y en dos mitades que ajustan perfectamente. A fin de evitar posibles oxidaciones se ha cromado interna y externamente. Sobre la capa interior de cromo se ha depositado una capa de óxido de magnesio por condensación de los humos producidos al quemar cintas de magnesio, según las instrucciones de Beckman Instruments citadas en la Ref. (15). Tanto el orificio de entrada (2,5 cm de diámetro) como el de salida (0,2 cm de diámetro) se han tapado mediante sendas láminas de vidrio suficientemente delgadas, para evitar la entrada de polvo al interior.

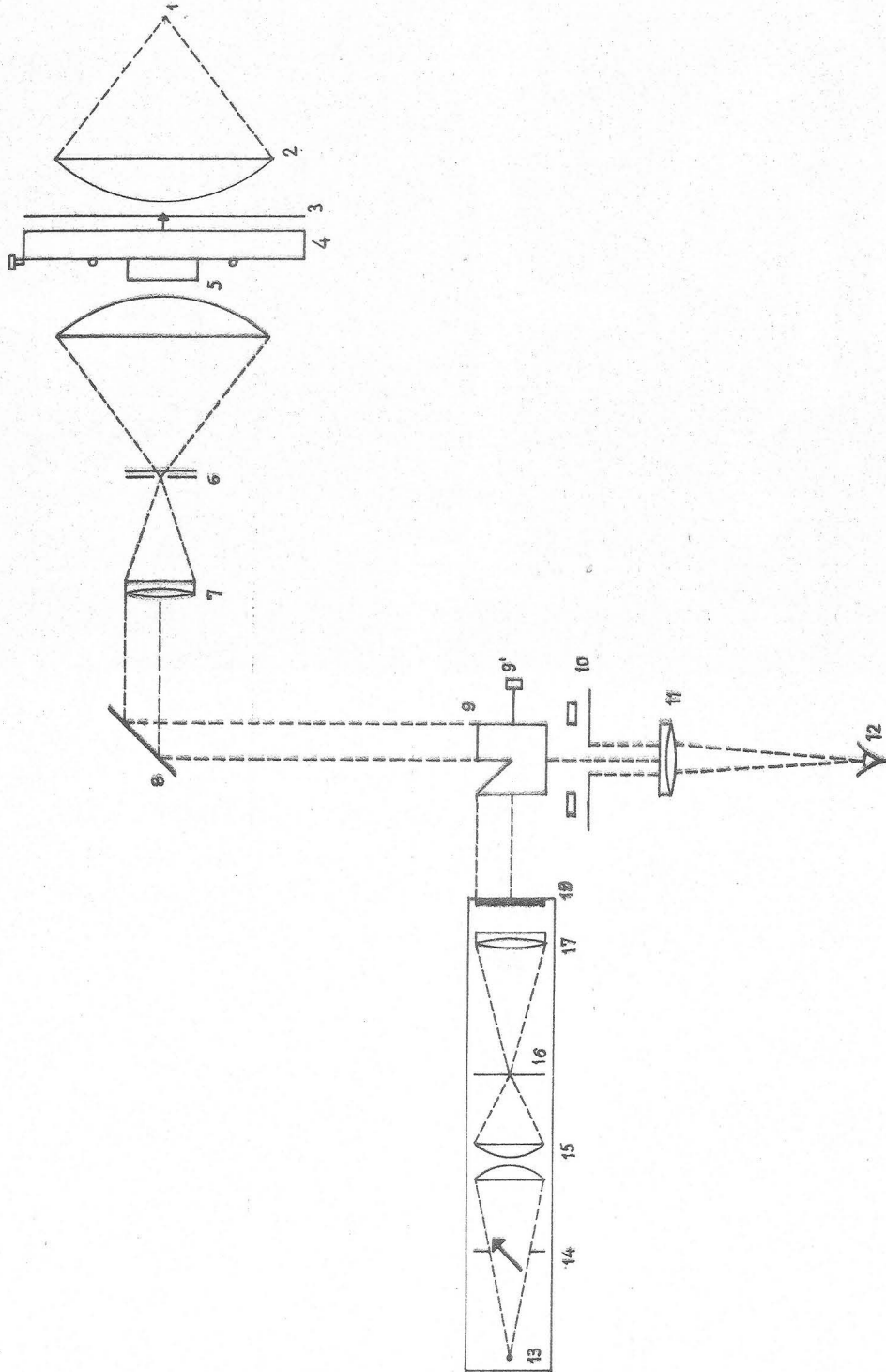
Como puede observarse, el sistema es de tipo Donaldson con algunas variantes, entre las que destacamos la disposición del orificio de salida que, en lugar de encontrarse en la parte superior de la esfera, se encuentra en el mismo plano horizontal que el orificio de entrada y formando un ángulo de  $90^\circ$  con éste.

Con objeto de conseguir un haz paralelo, se situó un doblete (7) (focal 10 cm y 5 cm de diámetro), cuyo foco se encuentra en el plano del orificio de salida.

#### IY.1.3.- PRODUCCION DE ESTIMULOS VARIABLES POR FUSION TEM- -PORAL.

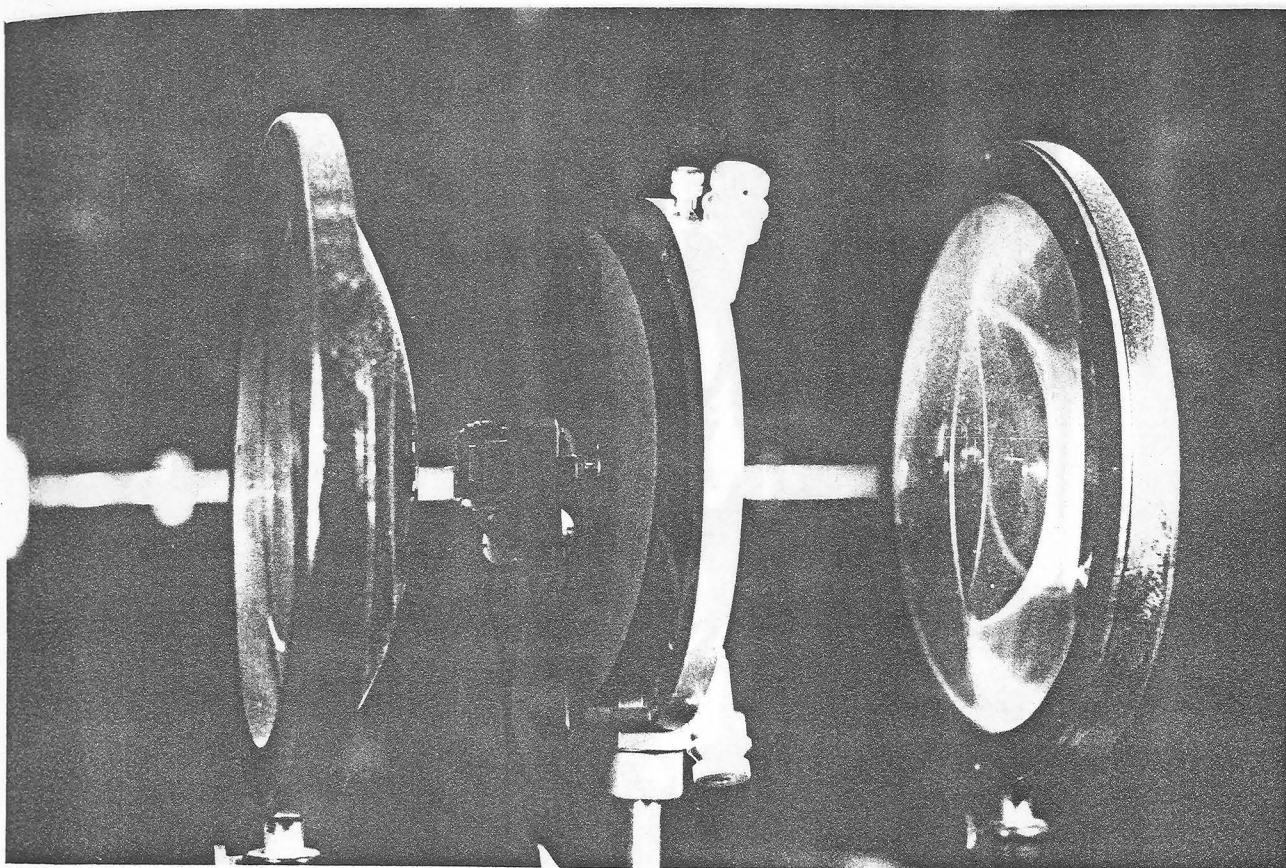
El esquema de este dispositivo puede observarse en la Fig.11.

La fuente luminosa es una lámpara de proyección de 230 V, 500 W Magda. Teniendo en cuenta que ésta lámpara posee un filamento menos compacto que la de iodo-cuarzo, nos interesó utilizar como sistema de iluminación el conjunto óptico de un proyector Prado (marca Lietz). El haz emergente de su objetivo incide sobre una de las lentes del condensador formado por dos lentes plano convexas de focales 37,5 y 47,5 cm y de diámetro 20 cm (2). Entre ambas lentes se sitúa la placa



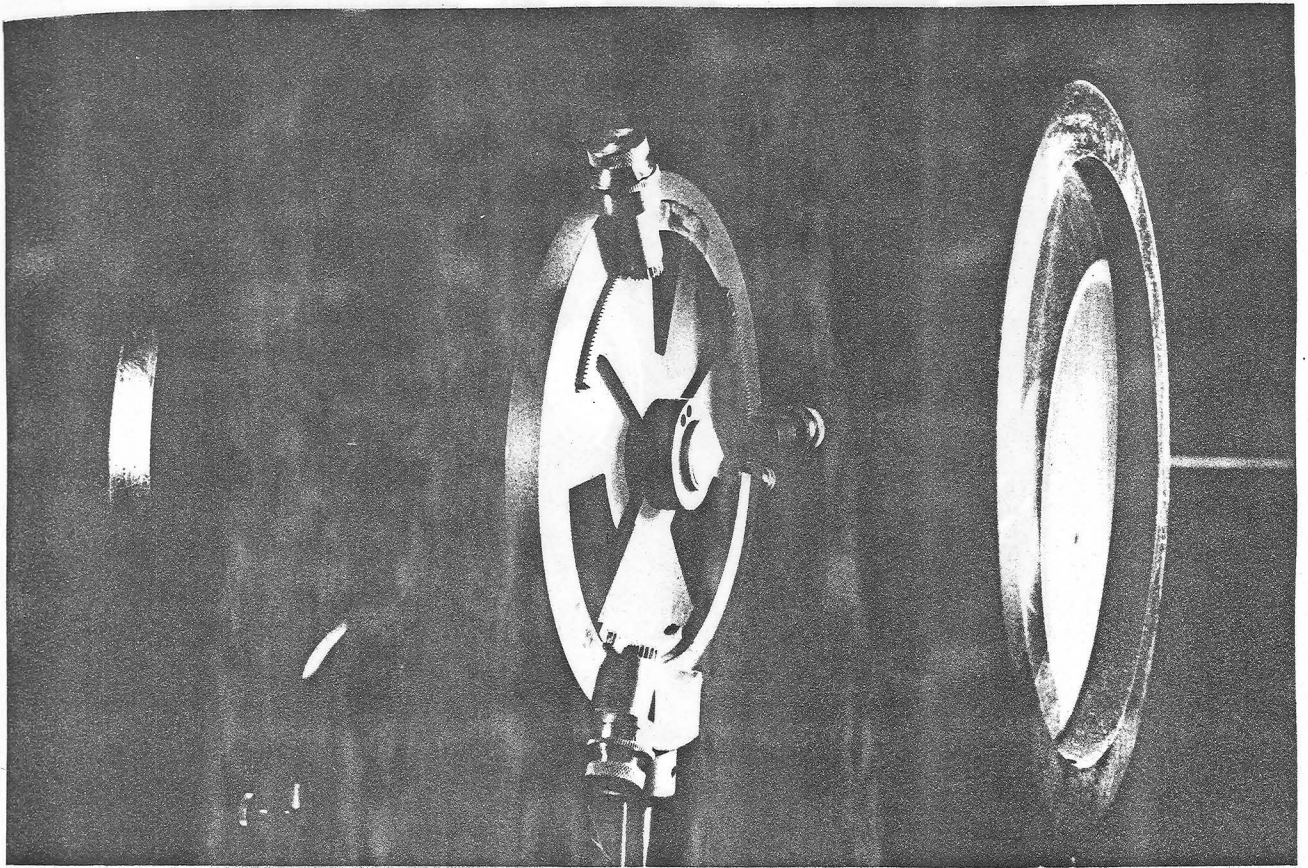
† FIGURA 11 -



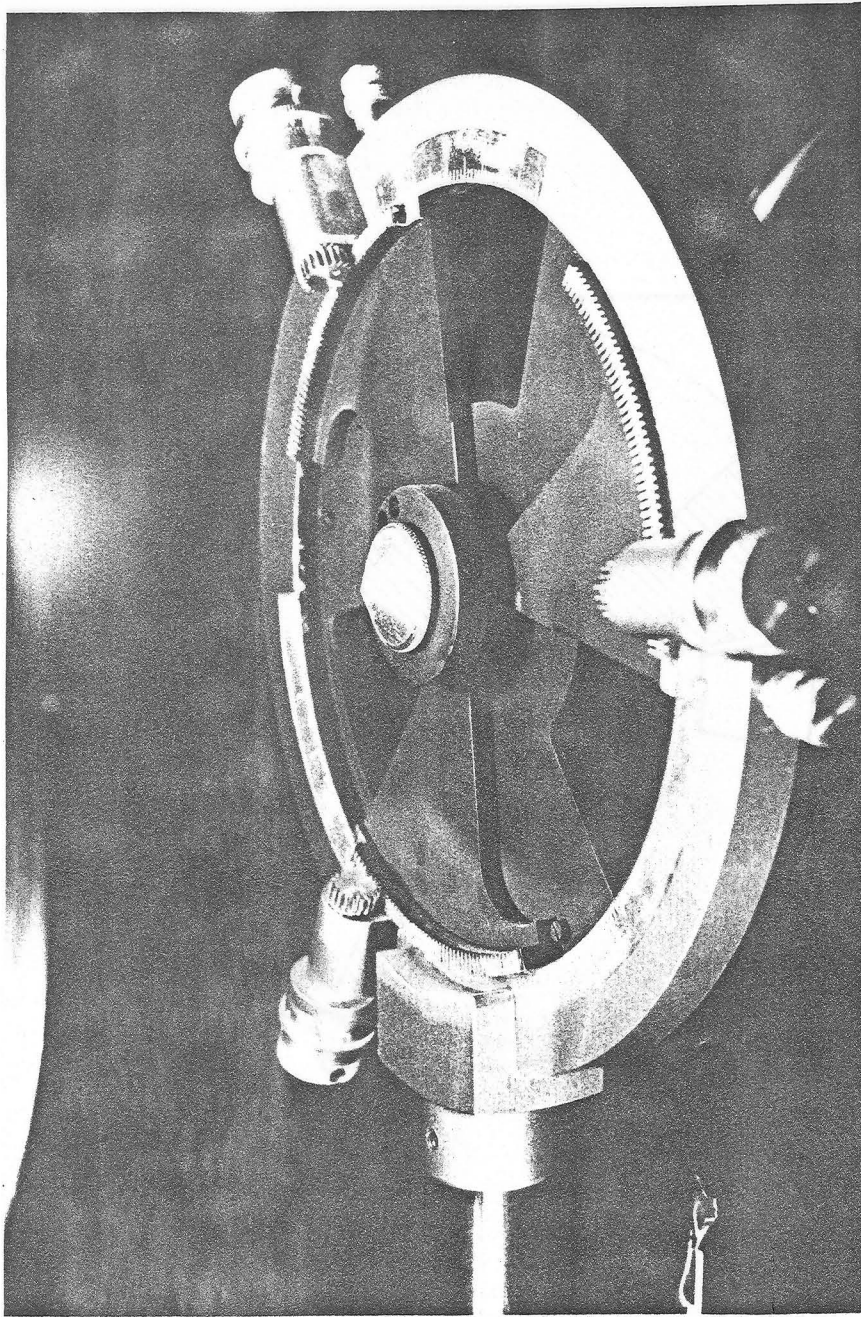


COLORIMETRO DE MEZCLA TEMPORAL (1)

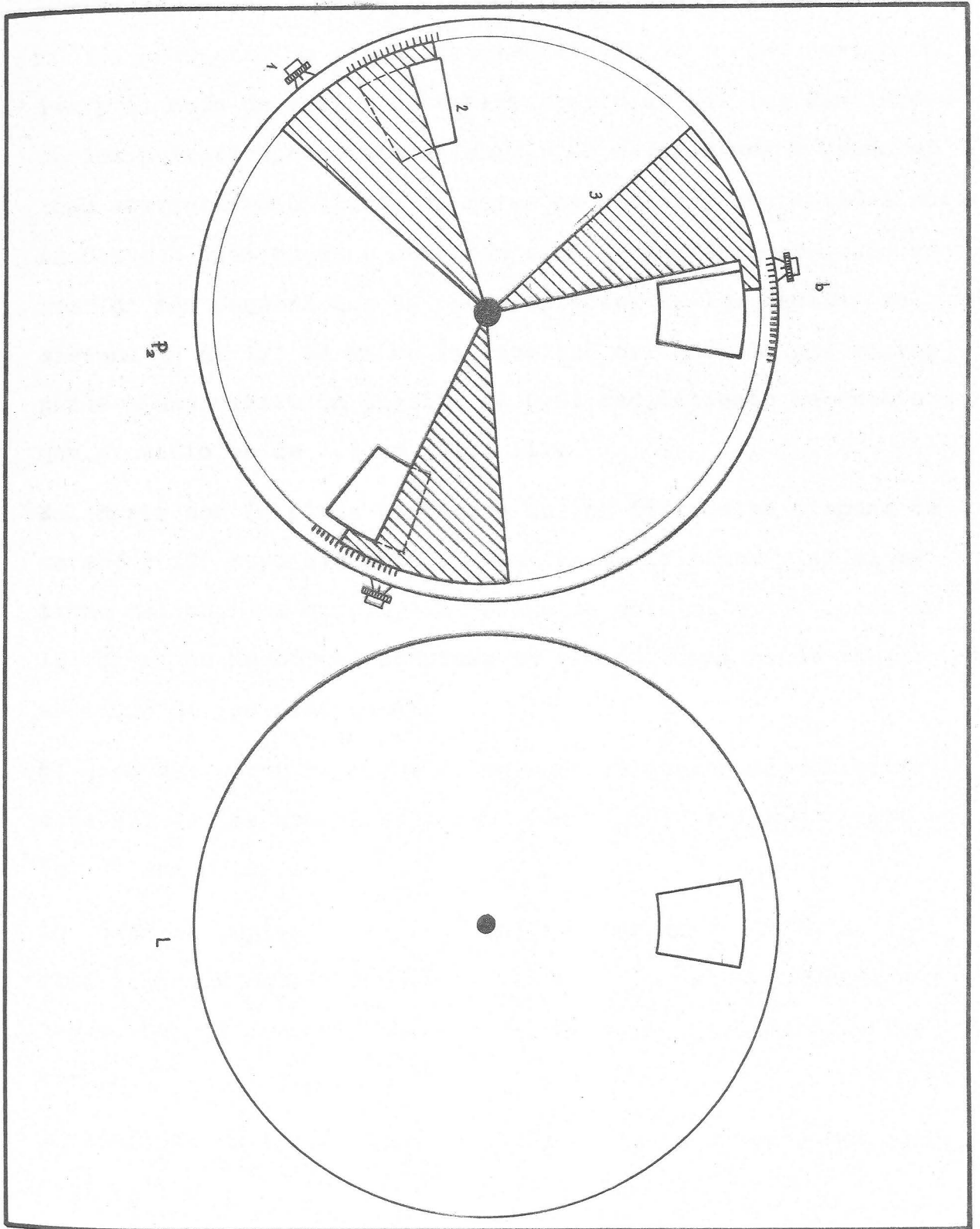




COLORIMETRO DE MEZCLA TEMPORAL (2)



PLACA DEL COLORIMETRO DE MEZCLA TEMPORAL



- FIGURA 12 -

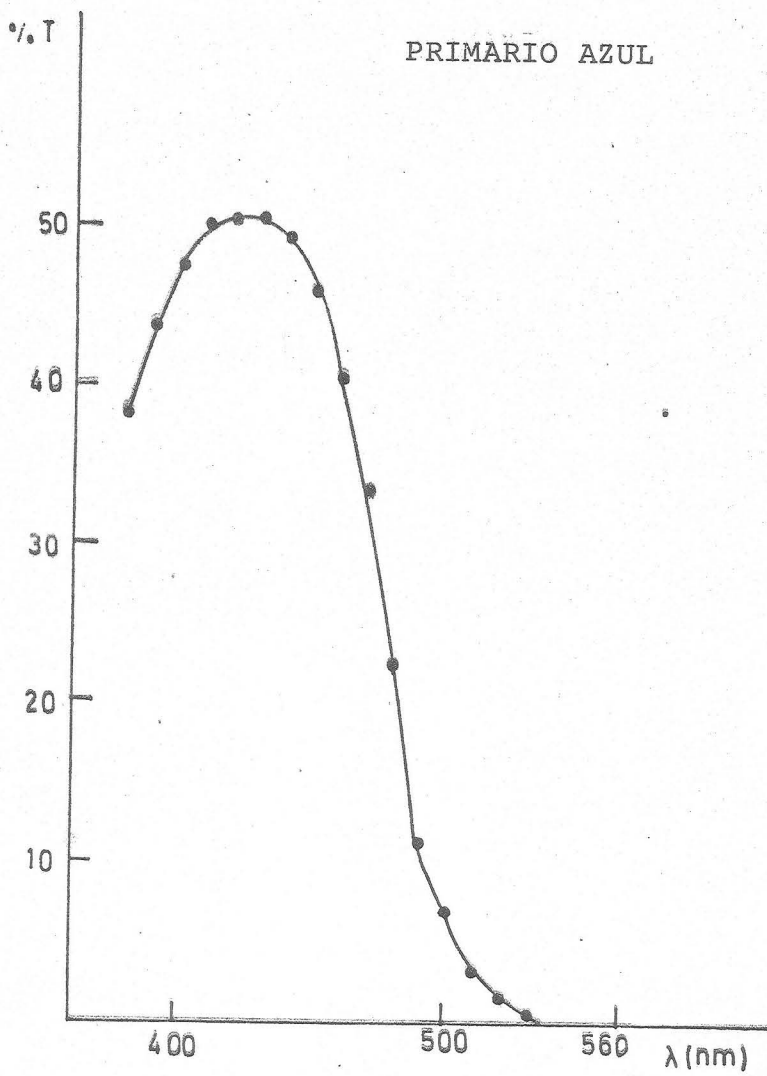
portadora de los filtros (4). Como puede observarse en la fig. 12, las aberturas de los diafragmas son en este caso, semisectores y el modo de variar su área y controlar así las cantidades de los primarios, consiste en cubrir, en mayor o menor grado, dichas aberturas con placas en forma de sector y controladas por mandos que disminuyen o aumentan el área de la abertura. La variación más pequeña que se puede apreciar en las escalas del sistema es de  $1/3$  de mm en la longitud del arco, lo que corresponde a una variación angular de  $0,05$  rad, teniendo en cuenta que el radio es de  $7,5$  cm (Fig. 11).

Solidario con la placa portadora de los filtros, se dispone de un motor (5) cuyo eje coincide con el de la placa y en el extremo del cual se acopla una lámina de celuloide (3) opaca en la que se ha hecho una abertura de tamaño igual al de máxima abertura de los diafragmas.

El giro del motor hace que sucesivamente queden descubiertas cada una de las aberturas, produciéndose así la fusión temporal de los primarios.

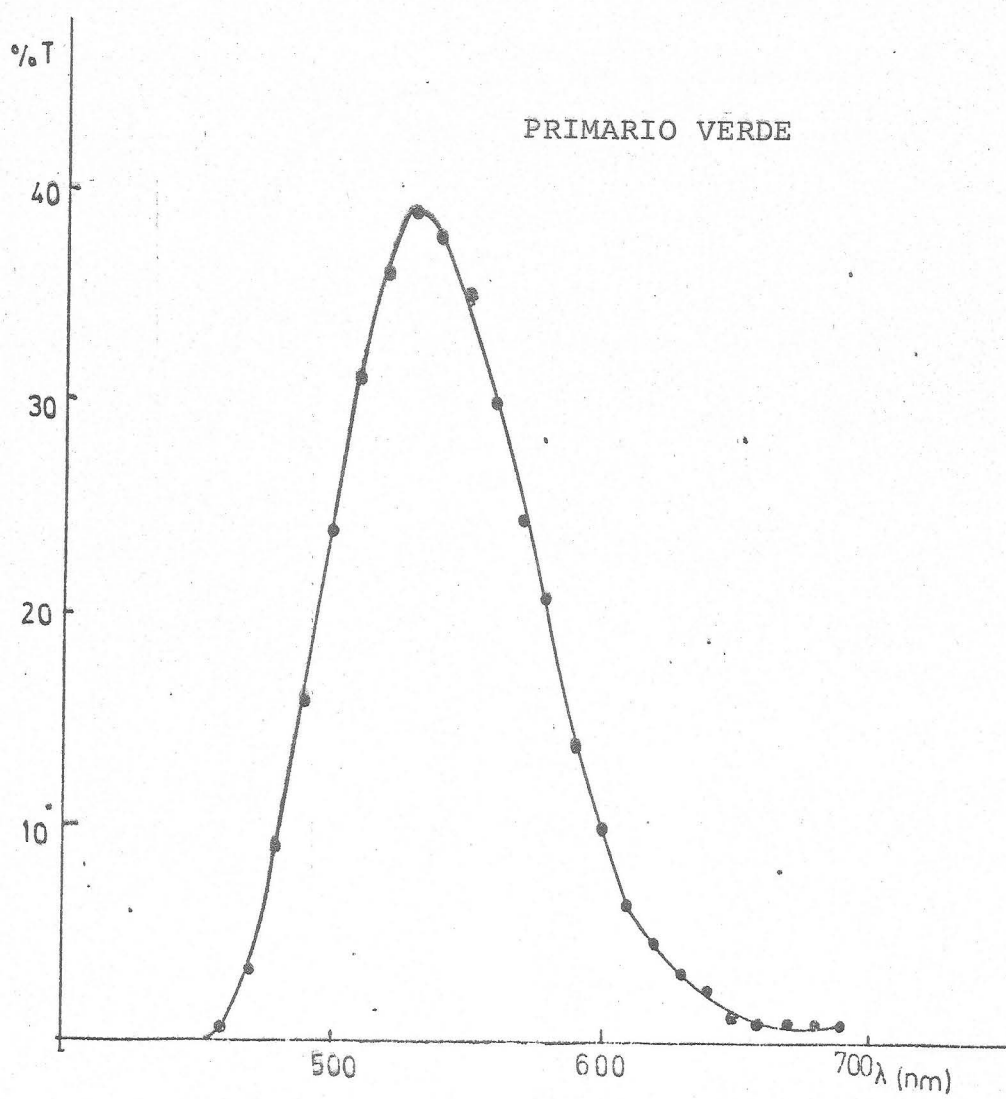
Los filtros empleados en este colorímetro son también de la casa Schott, y en las figuras 13, 14 y 15, se dan sus curvas de transmitancia realizadas con el mismo espectrofotómetro antes citado.

A continuación de la placa se sitúa la segunda lente del con



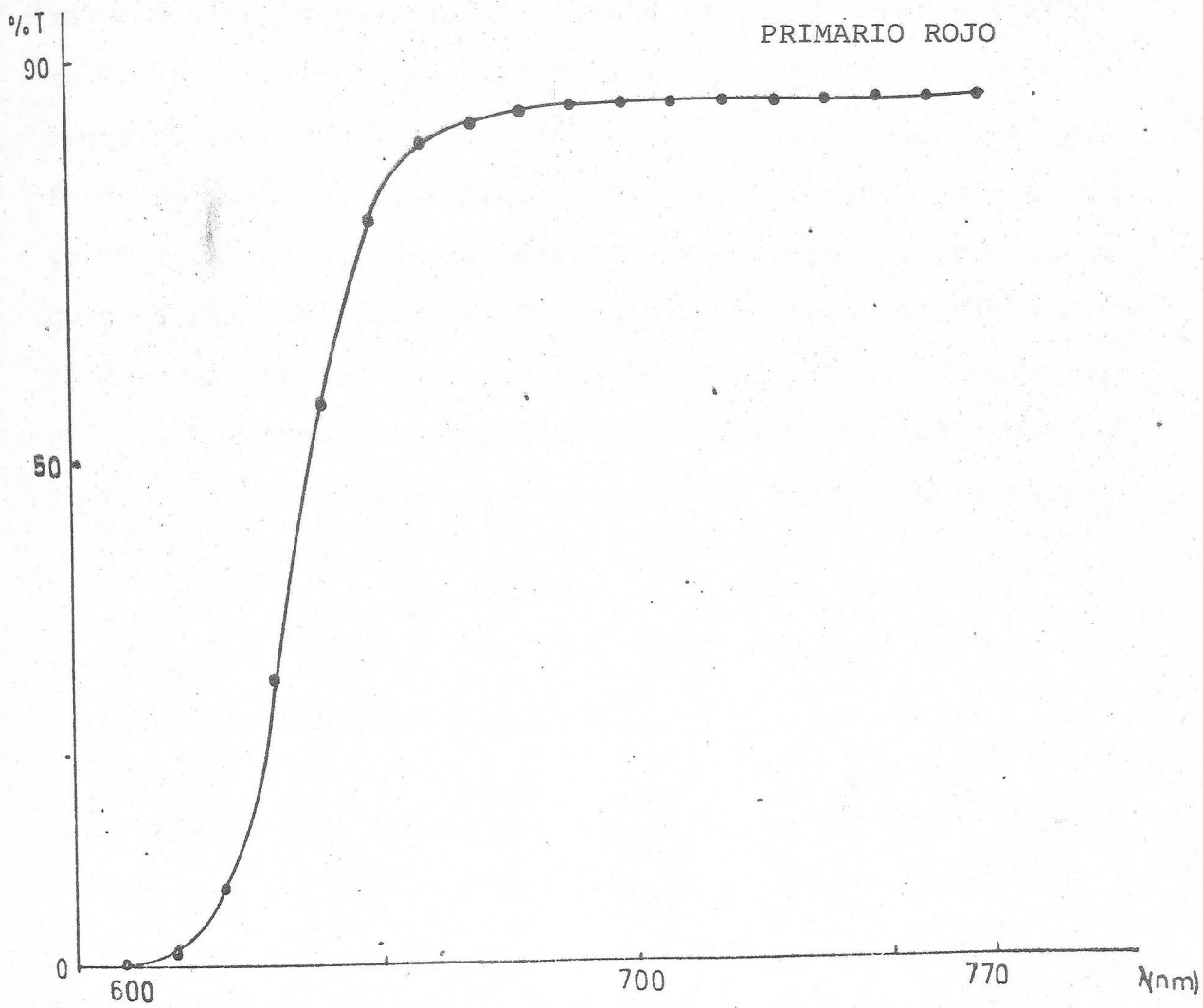
- FIGURA 13 -





- FIGURA 14 -





- FIGURA 15 -

-densador. Esta hace converger el haz y, en el plano donde la sección de éste es mínima se sitúa una abertura rectangular de 0,5 mm de ancho por 5 mm de largo (6). Antes de la abertura de salida se coloca una delgada lámina de vidrio sobre la que se depositó una capa de óxido de magnesio y posteriormente se recubrió de otra lámina de vidrio, quedando así el óxido de magnesio protegido de las posibles impurezas de polvo. Al igual que en el sistema de mezcla espacial, para conseguir un haz suficientemente paralelo la abertura se encuentra en el plano focal de un doblete de focal 10 cm y 7 cm de diámetro. Las lentes del condensador, la placa y el resto del conjunto están colocados sobre un banco de hierro mediante soportes de gran rigidez.

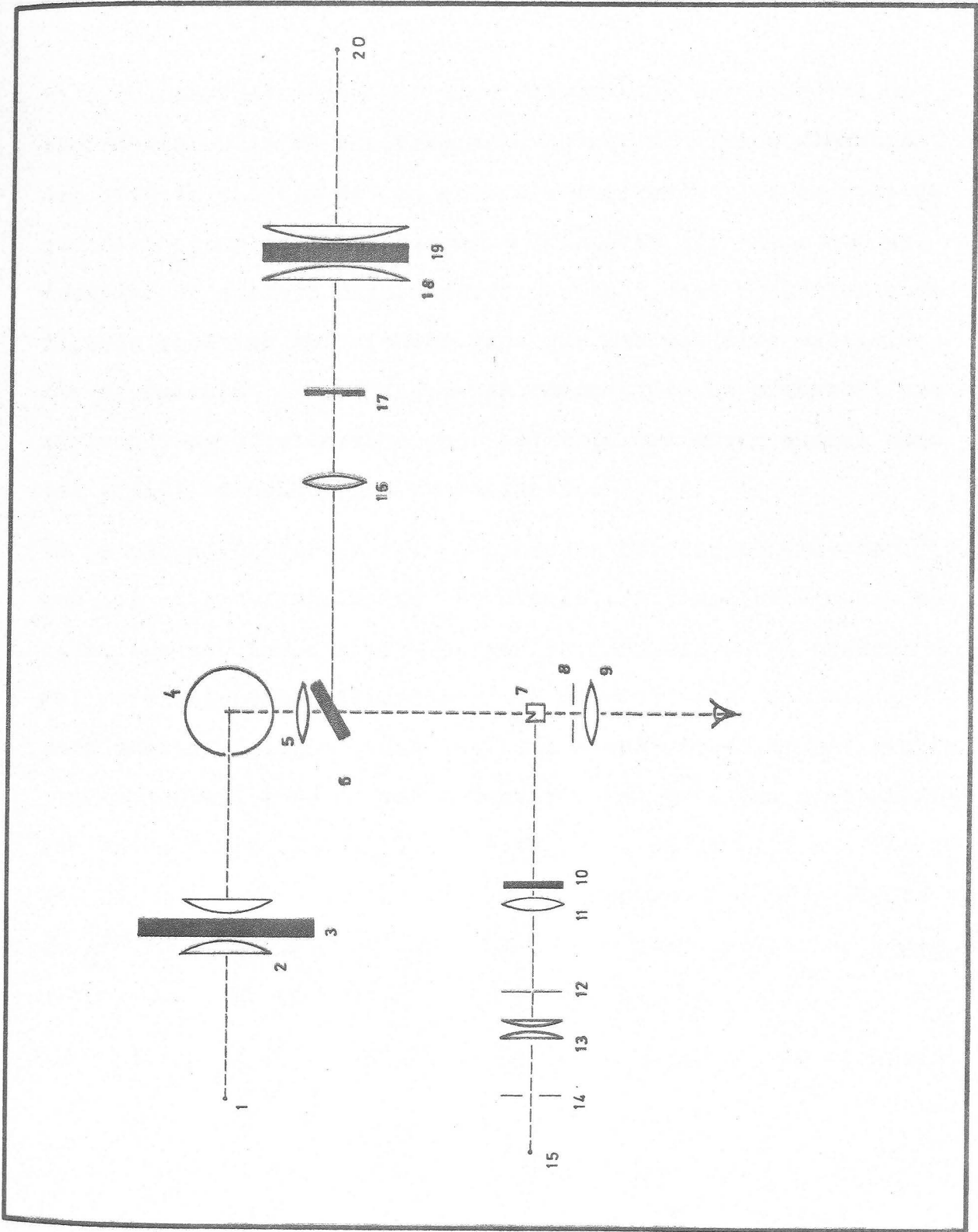
#### IV.1.4.- SISTEMA DE OBSERVACION

Para presentar al observador los estímulos procedentes de cada uno de estos sistemas, se utilizó la disposición general que se representa en la Fig.16. En ella podemos observar que los haces de salida de cada uno de los sistemas se pueden dirigir en una misma dirección hacia el observador.

En el caso del sistema de mezcla espacial, el haz incide directamente sobre el cubo fotométrico, mientras que el haz proce-

« dente del sistema de fusión temporal precisa de un espejo (6) que desvía  $90^\circ$  el mismo, y así incida en la misma dirección que el haz del sistema anterior. Como también puede observarse, el haz que procede del campo de referencia, al llegar al cubo fotométrico, se desvía también, por reflexión total, un ángulo de  $90^\circ$  iluminando el semicampo de visión de la izquierda, mientras que los otros dos haces pueden iluminar el semicampo de la derecha.

Los haces luminosos emergentes del dado, que seguirán siendo paralelos, son diafragmados convenientemente por la abertura circular variable (8), incidiendo sobre un doblote (9) en el foco del cual se situa una pupila artificial de 3 mm de diámetro para, de éste modo, fijar la posición del ojo. Todo este conjunto queda dispuesto, como se indica en la Fig. 16, sobre una mesa a la que se ha fijado un tablero de 5 cm de espesor y sobre la que se apoyan los bancos correspondientes a los sistemas estudiados, fijados por tornillos de presión. El conjunto adquiere, pues, una rigidez más que suficiente para nuestro trabajo.



- FIGURA 1.6 -

#### IV.2.- PUESTA A PUNTO DEL SISTEMA EXPERIMENTAL

El problema fundamental de todo dispositivo experimental óptico-mecánico es el ensablamiento de los distintos elementos, así como la calidad de los mismos. Naturalmente, los requisitos que deben cumplir tales sistemas dependerá del fin a que se destinen. En nuestro caso, debemos mantener unas condiciones de rigidez mecánica suficientes, para que las posibles variaciones de posición de los distintos componentes no produzcan una variación detectable, tanto por parte de los observadores como del equipo fotoeléctrico de calibrado.

En lo que se refiere a las componentes ópticas, podemos decir que las características de las mismas, así como los ajustes ópticos que se lleven a cabo, no han de producir en el observador perturbaciones adicionales que provengan de fenómenos complementarios, como pueden ser las aberraciones cromáticas de las lentes. Así pues, no es necesario que las lentes condensadoras estén corregidas de acromatismo dada la función que realizan, pero en cambio sí interesa su corrección cuando se trata de la lente que produce directamente el campo visual al observador, tal como la número 10 de la Fig.8.

En lo referente a los problemas de estabilidad en las condicioo

-nes de iluminación del campo de observación y, por lo tanto, del sistema visual debemos tener en cuenta las normas que para las medidas fotométricas establece la C.I.E.

#### IV.2.1.- ALINEACION DE LAS COMPONENTES

Teniendo en cuenta que cada dispositivo de los descritos previamente va sobre un banco, el primer problema que se presenta es conseguir un eje paralelo al mismo y, a continuación, situar las componentes de forma que este eje sea común a todas. Para ello se ha utilizado el haz emitido por un laser de He-Ne (0,5 mW) de la Metrologic Instrument Inc., mod. 310. En un extremo del banco situamos un espejo y en el otro extremo, el laser. Sobre el banco se situaban dos diafragmas de abertura circular de diámetro similar al del haz. Cuando el haz reflejado por el espejo pasa por los orificios de los diafragmas, el haz es paralelo al banco; para comprobarlo se desplazaban a lo largo del mismo ambos diafragmas, comprobándose que el haz reflejado seguía pasando por los orificios.

Para situar una lente sobre el eje (haz laser), se sitúa sobre el banco, desplazándola transversalmente hasta que las reflexiones en las distintas superficies de la misma se hacían coinci-



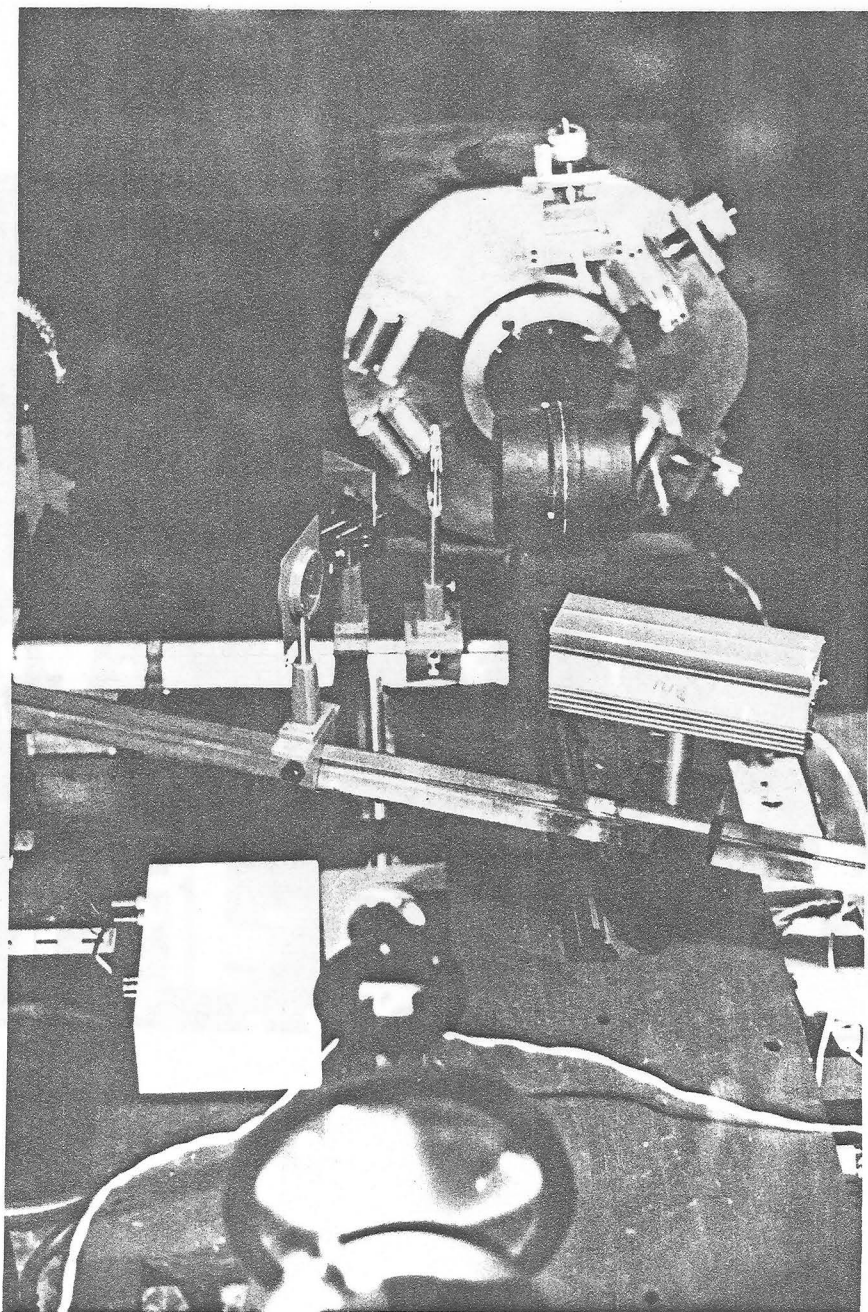
-dir con el haz de referencia.

Para conseguir que los ejes de los tres sistemas estuviesen en un mismo plano horizontal a la vez que se alineaban las componentes, se situaba el láser delante de una rendija, tal como se muestra en la fotografía de la página siguiente, procediendo en primer lugar a materializar el eje del banco tal como se acaba de indicar. En el extremo del mismo banco se coloca un espejo, y el haz reflejado en éste incide en la línea divisoria del dado fotométrico, con lo cual el haz se divide en dos; uno de ellos se dirige al positivo que produce el estímulo de referencia mientras que el otro lo hace hacia el orificio de entrada de la esfera integradora, alineándose todas las componentes, quedando, pues, en un mismo plano.

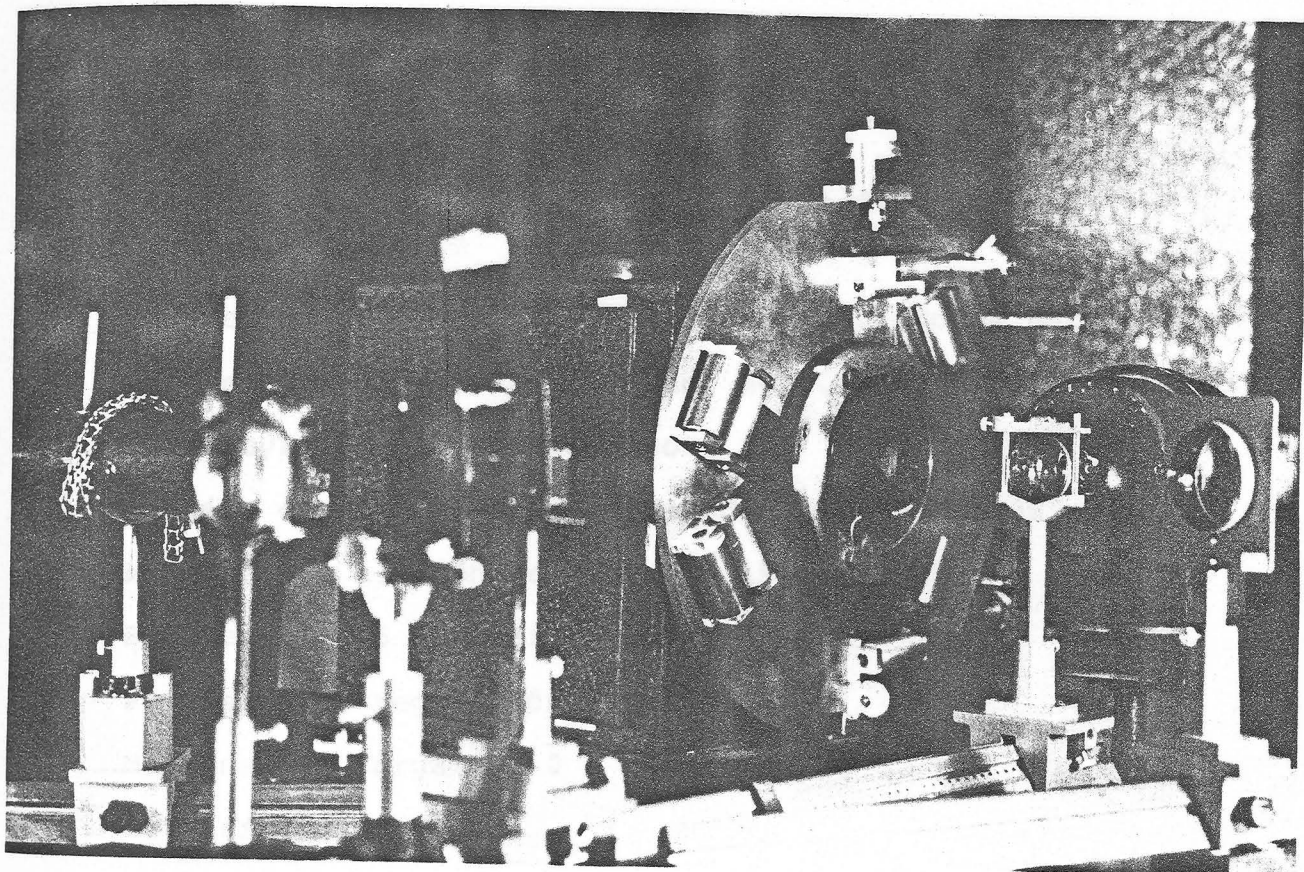
Sin modificar ninguna componente, se coloca el espejo ( nº6 en la Fig.17), con lo que el haz que se dirigía hacia la esfera se desvía  $90^\circ$  y se dirige hacia la abertura de salida del dispositivo de mezcla por fusión temporal, alineándose las diversas componentes del mismo.

#### IV.2.2.- ESTABILIZACION DE LAS FUENTES LUMINOSAS

Como ya hemos indicado, el máximo de variación en la tensión de alimentación que se permite, en trabajos de este tipo, es del 0,3%



ACOPLE DE LOS COLORIMETROS



CONJUNTO EXPERIMENTAL

para que el flujo no varíe en más del 1%, según se desprende de:

$$\left| \frac{V + \Delta V}{V} \right|^n = \frac{\phi + \Delta \phi}{\phi}$$

$$\frac{\Delta V}{V} = \left( 1 + \frac{\Delta \phi}{\phi} \right)^{1/n} \approx 0,3\%$$

En nuestro caso y para conseguir este grado de estabilización, se dispone de un regulador de corriente alterna marca Boar, cuyas características son:

Tensión de salida: 220 V ajustable entre 210, 230

Márgenes de tensión de entrada: 190 a 260 V

Frecuencia: 45 - 55 Hz

Precisión de regulación: 0,3%

Márgenes de carga: de 0 a plena carga

Potencia: 1000 W

Coefficiente de temperatura: menor de 50 mV/grado

Este dispositivo está colocado de forma que la alimentación de las lámparas se obtiene de él en paralelo. No obstante se dispone de voltímetros a la entrada de cada una de ellas a fin de controlar las posibles distorsiones en los pasos intermedios. La alimentación de la lámpara del dispositivo para establecer el estímulo de referencia se realiza mediante un regulador de tensión, colocado después del esta



- bilizador. El motor que acciona la lámina del colorímetro de mezcla temporal debe girar a velocidad constante, y para ello el motor está alimentado con la misma fuente estabilizada. Igualmente, se tomó del estabilizador la alimentación para el dispositivo electrónico del regulador de tiempos de observación, del que hablaremos posteriormente.

#### IV.2.3.- CONSTANCIA EN LOS ESTIMULOS

Aunque los colorímetros fueron diseñados para obtener una buena reproducibilidad en su funcionamiento, fué necesario hacer una comprobación experimental de la misma. Para ello los haces emergentes de ambos sistemas se hicieron llegar a la ventana de un fotomultiplicador, midiéndose las señales obtenidas para cada uno de los filtros (cerrados los demás) en función de las aberturas de los diafragmas correspondientes. El equipo receptor y de medida utilizado fué el que se empleó en los calibrados y que describiremos posteriormente.

Los resultados obtenidos, realizando las operaciones tanto en el sentido de apertura como en el de cierre de los diafragmas, han indicado la bondad de la reproducibilidad.

#### IV.2.4.- AJUSTE DE DISTANCIAS

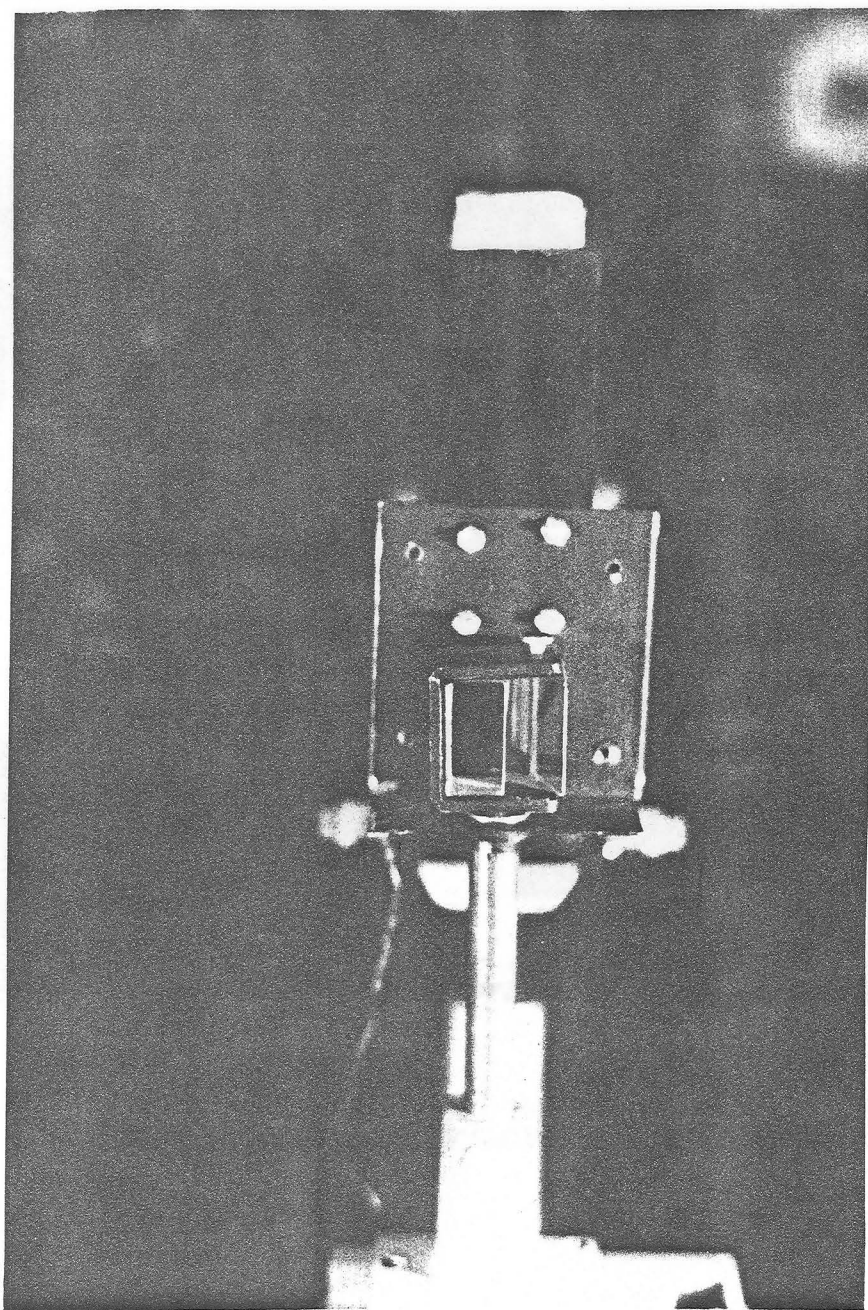
Las distintas componentes ópticas del sistema deben guar -

-dar entre sí una relación de distancias propia de cada caso. Así, por ejemplo, para la obtención de haces paralelos, posición de la pupila artificial en la visión maxweliana, etc., hubo que hacer determinados ajustes para conseguir las posiciones correctas. Prácticamente, todas las operaciones se han reducido a situar aberturas, filamentos, etc., en los planos focales de determinadas lentes. Para ello, se ha utilizado un anteojo previamente enfocado al infinito. Dada la abertura del objetivo del anteojo, para obtener una precisión adecuada en su puesta a punto al infinito, escogimos como objeto distante el pico Veleta. Con este sistema, situando el anteojo en el eje de la lente correspondiente, se consiguió situar en su plano focal el objeto que se pretendía.

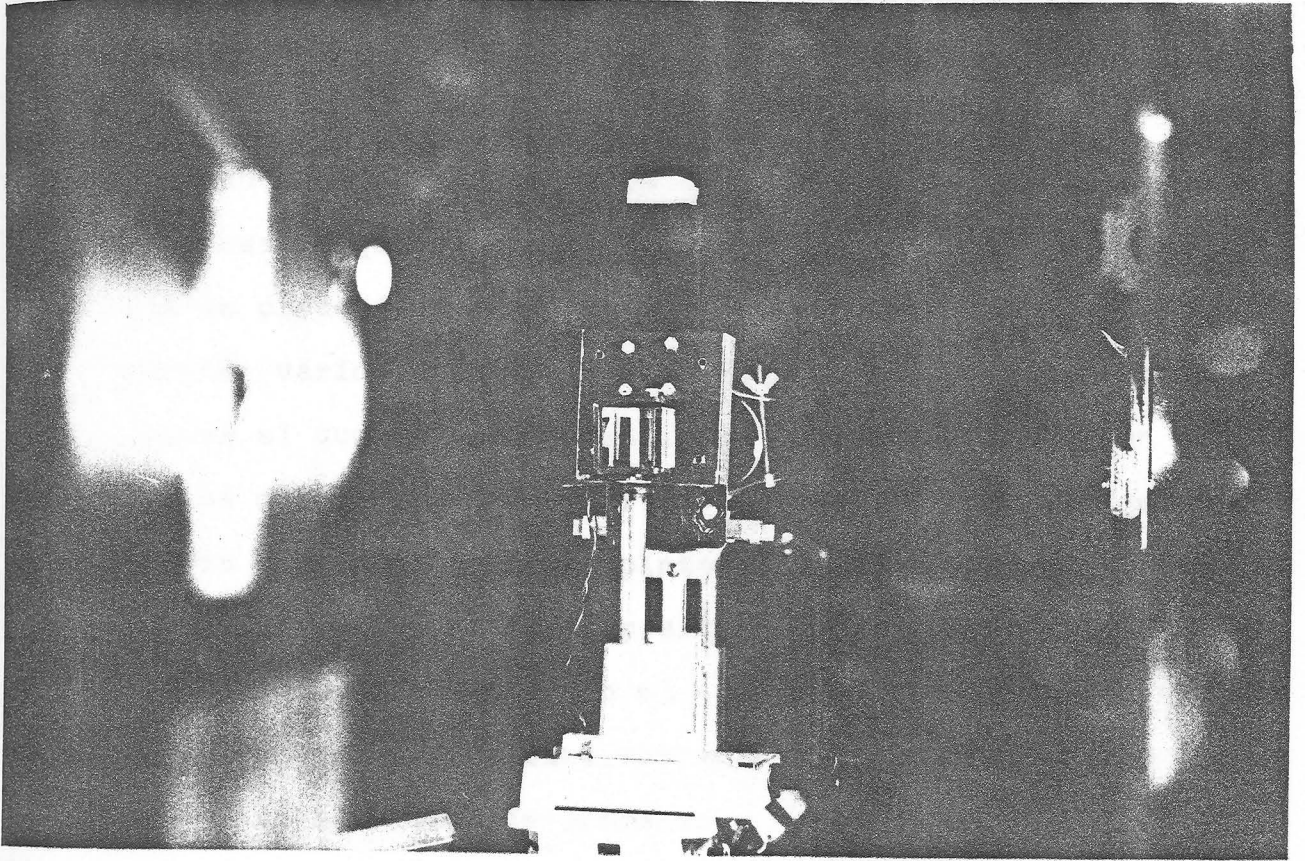
#### IV.2.5.- REGULACION DE TIEMPOS DE OBSERVACION

Para controlar los tiempos, tanto de observación como de adaptación previa, se emplea el dispositivo electrónico cuyo diagrama de bloques se muestra en el Apéndice. Un obturador electrónico cierra el campo de visión durante un periodo y lo vuelve a presentarlo pasado éste. Dadas sus características, permite regular el tiempo de observación desde 0,2 sg. a 2 segundos, con intervalos de adaptación de 5 a 50 segs. El tiempo de observación puede regularse con una precisión de





DADO FOTOMETRICO Y OBTURADOR DE CAMPO



SISTEMA DE OBSERVACION

1/50 segundos. El periodo se puede regular a 0,5 segundos.

#### IV.2.6.- ELIMINACION DE LUCES PARASITAS

Para un análisis correcto de los estímulos, es requisito indispensable que el observador no reciba más estímulo que el que se pretende analizar; además, y en nuestro caso, en el que existen varios dispositivos de iluminación, es requisito adicional el que no puedan mezclarse estímulos de uno con los de los otros. Para conseguir ambas cosas, se han blindado mediante carcargas de madera pintadas de negro mate cada una de las partes, así como el dispositivo de observación, que se ha aislado completamente. Todo el sistema experimental se ha ubicado en una cámara oscura, ubicación de características idóneas para este tipo de trabajos.

#### IV.3.- CALIBRADOS

##### IV.3.1.- CALIBRADO DEL SISTEMA

En los trabajos sobre visión cromática es esencial el conocimiento, lo más objetivamente posible, de los estímulos que se presentan al observador. Generalmente, se utilizan dos métodos para su especificación, bien expresar los estímulos

en el propio sistema del colorímetro o bien en el sistema internacional C.I.E.

Para lo primero, hay que buscar una unidad de cada uno de los primarios, por ejemplo, igualando una mezcla de los tres a un blanco previamente especificado y tomando como unidades las cantidades de cada uno de ellos en dicha igualación. En cambio, en el sistema C.I.E. es preciso conocer la radiancia espectral de los estímulos. Si nos basta saber las coordenadas de cromaticidad del campo, es suficiente con medir la radiancia espectral relativa, si además quisiéramos conocer con exactitud la luminancia de cada uno de los estímulos, en valor absoluto, deberíamos medir la radiancia espectral absoluta. Por la índole de nuestro trabajo, que trata de comparar el comportamiento de los observadores ante diferentes condiciones experimentales, nos basta con la radiancia espectral relativa.

Para la medida de la misma se ha seguido el siguiente procedimiento (Fig. 17): en lugar de medir la radiancia espectral de la lámpara del colorímetro, la transmitancia espectral de los filtros y de las demás componentes selectivas y, por cálculo posterior, conocer la radiancia espectral del haz que incide sobre el ojo, hemos preferido utilizar el sistema de analizar directamente la salida y así poder prescindir de las particularidades propias de cada componente.

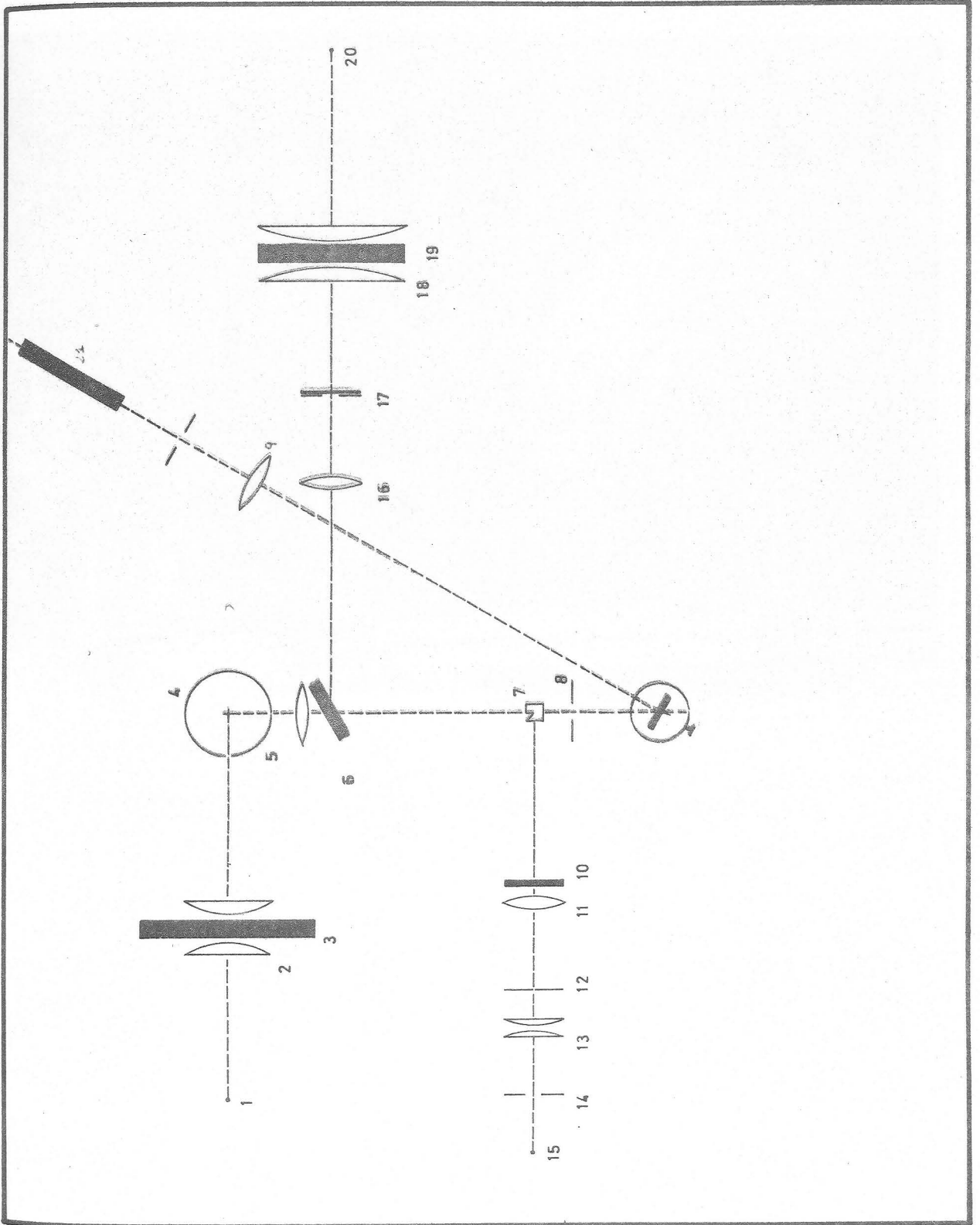
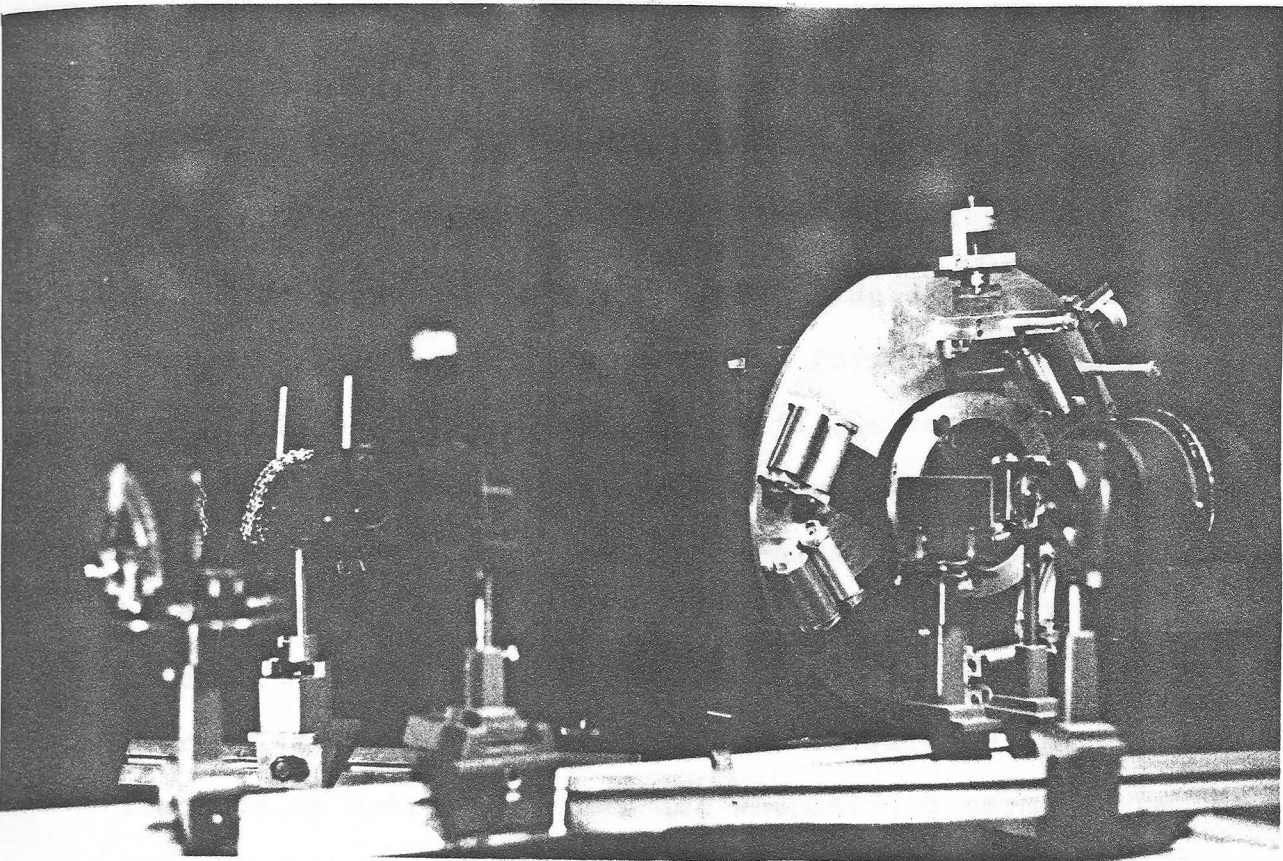


FIGURA 17 -





DISPOSICION DEL EQUIPO PARA EL CALIBRADO



Teniendo en cuenta que en el caso de la esfera un orificio circular no es la abertura conveniente para formar un espectro adecuado, se utilizó una rendija en su mismo plano, a partir de la cual se produce un haz colimado que, después de pasar por el dado, incide sobre una red de difracción.

El haz emergente de la red de difracción, descompuesto espectralmente, incide sobre la lente que forma en su plano focal las múltiples imágenes de la rendija, que constituyen el espectro. En este plano focal se sitúa una segunda rendija que aisla adecuadamente la anchura espectral de cada una de las bandas que han de incidir sobre el fotocátodo del fotomultiplicador (21). El paso de las distintas longitudes de onda por la rendija se lleva a cabo mediante el giro de la red de difracción. La extrema rigidez del dispositivo permite que la luz que emerge de la rendija de salida cubra siempre idéntica zona en el fotocátodo.

Para que el espectro sea normal, la dirección de incidencia del haz es tal que el haz emergente es perpendicular a la red para una radiación centrada en el espectro visible. En los calibrados de los diferentes sistemas, y en su propio calibrado, la red mantuvo su posición respecto de los haces incidente y emergente.

Es obvio que necesitamos conocer, para cada uno de los ángu-

los girados por la red, la longitud de onda de la radiación incidente sobre la rendija de salida, lo que a su vez requiere el calibrado espectral de la red, del que nos ocuparemos posteriormente.

Para cada una de las longitudes de onda, la respuesta que proporciona el aparato de medida conectado a la salida del fotomultiplicador (Apendice A,2), no representa aún la radiancia espectral del campo del colorímetro en estudio, pues, para calcular ésta, hemos de tener en cuenta la curva de sensibilidad espectral del fotomultiplicador (Apéndice A3). Así, si llamamos  $R_\lambda$  a la respuesta dada por el fotomultiplicador y  $S_\lambda$  a la sensibilidad espectral del mismo, la radiancia espectral vendrá dada lógicamente por la expresión:

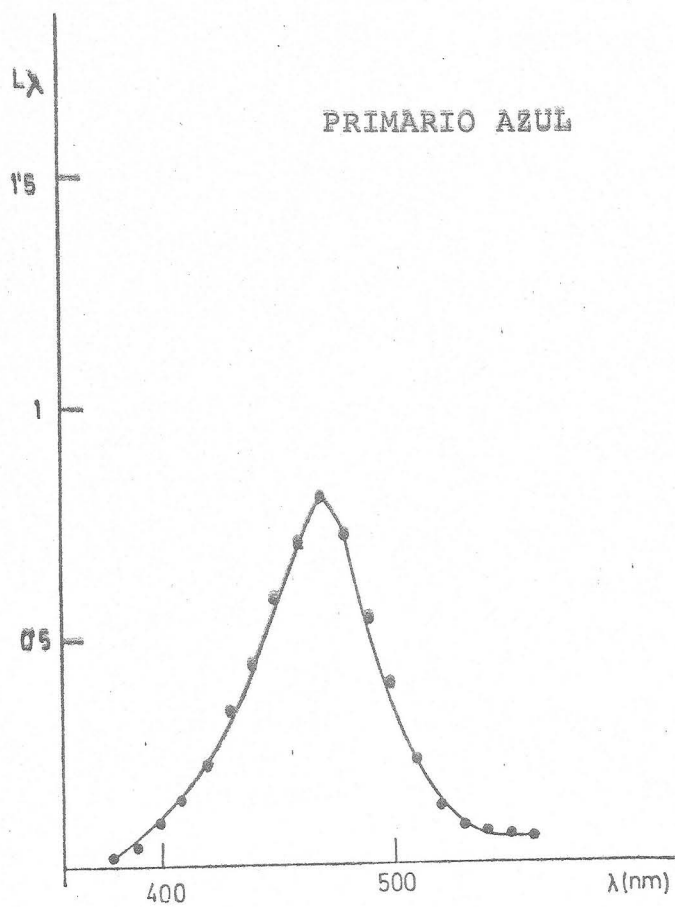
$$L_\lambda = R_\lambda / S_\lambda$$

Aunque hemos hablado de radiancia espectral del campo de observación, no se debe pensar que las curvas  $R_\lambda$  medidas se refieran al caso en que ya está hecha la mezcla de los distintos primarios de cada colorímetro, sino que nos referimos a las correspondientes cuando el campo está iluminado únicamente por cada uno de los primarios del sistema por separado. En el caso de los primarios del sistema de mezcla espacial, al ser obtenidos mediante filtros interferenciales, poseen una

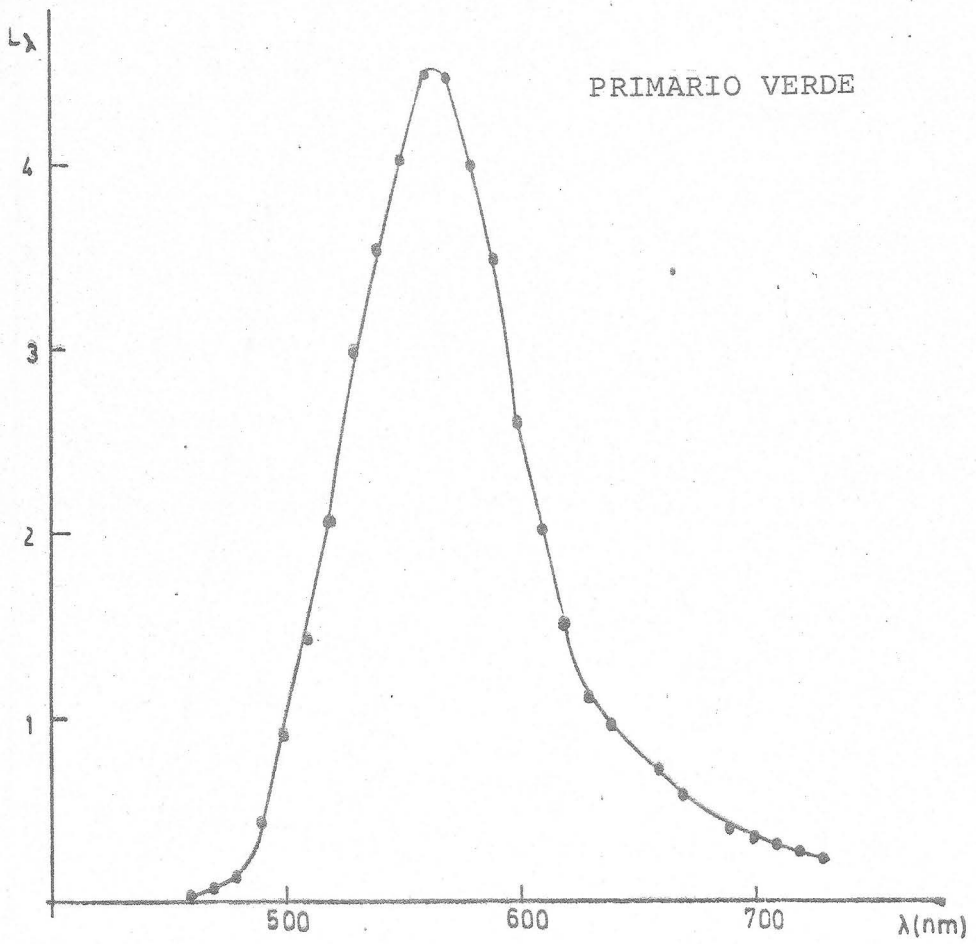
banda relativamente estrecha de longitudes de onda, en cambio, en el campo de referencia fijo y del colorímetro de mezcla temporal tenemos respuesta en una gran zona del espectro visible. Ello explica que hayamos obtenido, para cada uno de los filtros empleados, una curva  $R_\lambda$  para el conjunto de las aberturas posibles de los diafragmas. Estas curvas están hechas de 10 en 10 nm para los filtros de color normales, dada la suavidad que presentan. En cambio, para los filtros interferenciales, se han tomado de 5 en 5 nm debido a que la anchura media de su curva de transmitancia espectral es de alrededor de 10 nm. En las figuras 18, 19 y 20 se puede observar las curvas  $L_\lambda$  en función de  $\lambda$  para cada uno de los primarios de los colorímetros .

Llamamos  $L_{Ri}$ ,  $L_{Gj}$  y  $L_{Bk}$  a las radiancias espectrales obtenidas para cada uno de los primarios por separado, para el colorímetro de mezcla espacial y  $L'_{Ri}$ ,  $L'_{Gj}$  y  $L'_{Bk}$  a las correspondientes radiancias espectrales del colorímetro de fusión temporal. A efectos de cálculo posterior, es cómodo emplear la disposición matricial, tomando tantas filas como valores de la longitud de onda nos interesen y tantas columnas como posiciones de los mandos utilizemos.

Estas curvas nos han puesto de manifiesto, como era de esperar, que la composición espectral no varía con el área de las

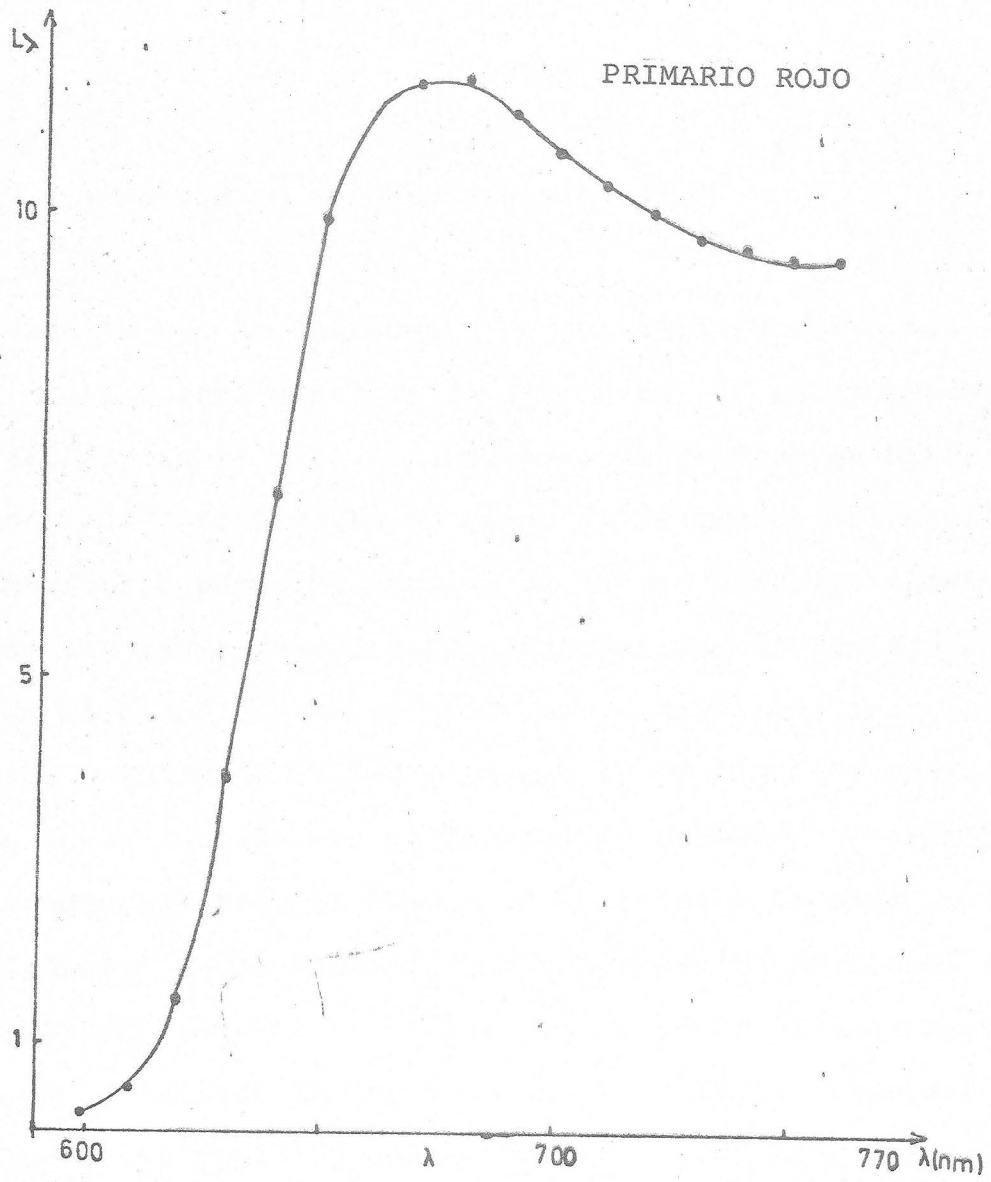


- FIGURA 18 -



- FIGURA 19 -





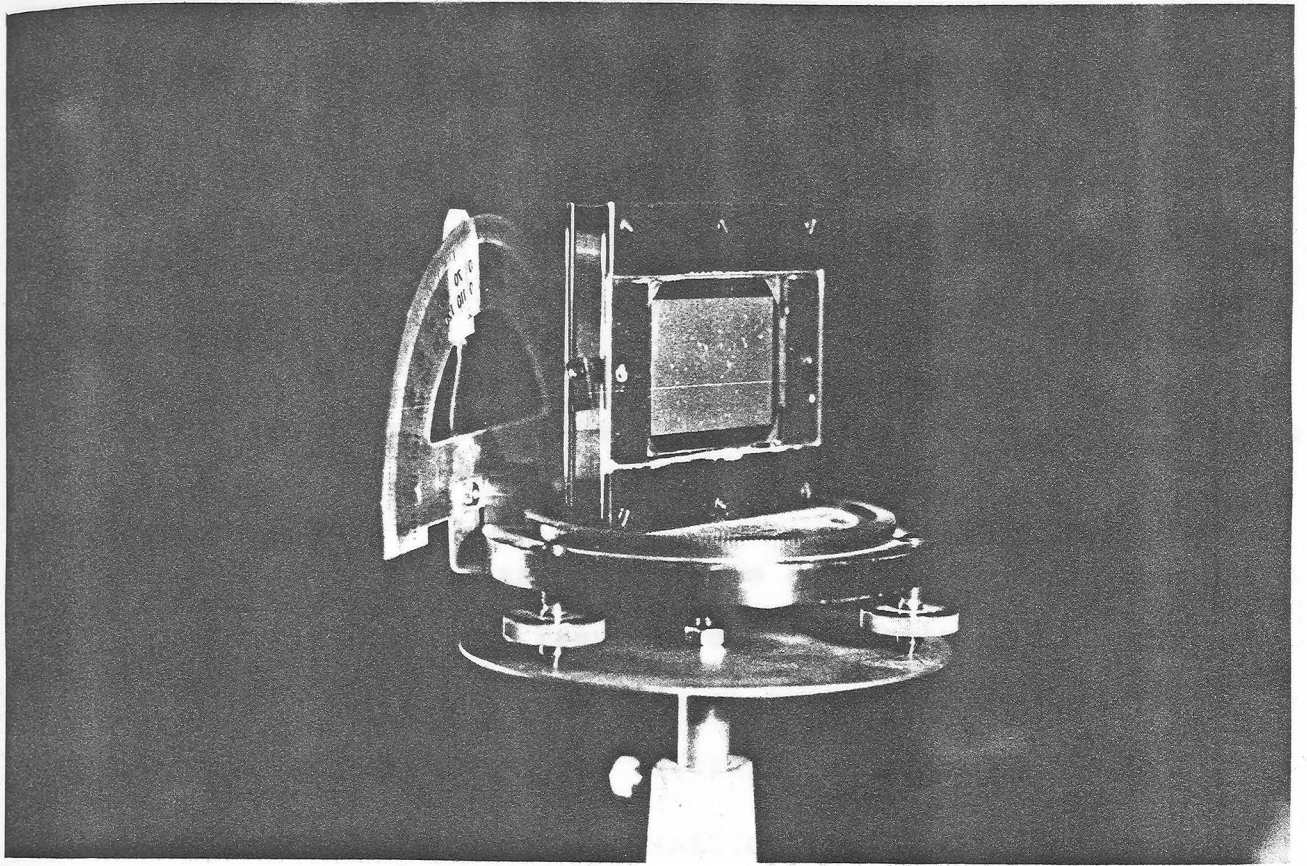
- FIGURA 20 -

aberturas.

#### IV.3.2.- CALIBRADO EN LONGITUDES DE ONDA

Situada la red de difracción en condiciones idénticas a las que tiene cuando analiza la salida de los colorímetros, se ha ce incidir sobre ella luz paralela procedente de diferentes lámparas espectrales. En el plano de formación del espectro, se ha medido la posición angular de la red correspondiente al pa so de las rayas espectrales, conocidas por la rendija de sali da. De este modo se ha obtenido una función que expresa la po sición angular de la red frente a la longitud de onda. La grá fica de la función es una recta, cuya pendiente y ordenada en el origen, así como el número de longitudes de onda utilizadas, se expresan en la Tabla 5. Como comprobación adicional se midió la posición angular de la red para algunas líneas espectrales más. En la Tabla 5 se expresan los resultados obtenidos a par tir de dicha recta de regresión, de diez en diez nanómetros.

Las posiciones angulares de la red se varían mediante un in dicador que se mueve sobre una escala circular graduada (ver fotografía de la página siguiente), en la que se aprecia 1/2 de



RED DE DIFRACCION

grado, suficiente para nuestro trabajo.

#### IV.3.3.- CAUSAS DE ERROR

Naturalmente, es necesario un análisis de las causas de error y de su posible influencia en los resultados obtenidos, tanto en lo referente al observador como en el sistema fotoeléctrico de medida.

En realidad, las causas posibles de error son múltiples, y a fin de hacer un análisis riguroso de las mismas hemos preferido estudiarlas separadamente y luego tratar de ver su influencia en la determinación de los valores.

1.- Errores por falta de estabilidad en la tensión de alimentación de las lámparas .

Como ya se mencionó, la variación máxima que nos asegura el estabilizador empleado es del 0,3%. A fin de conocer si esta variación afecta al observador o al aparato de medida, se ha realizado la siguiente prueba. Manteniendo fijas determinadas posiciones de los mandos, se ha comprobado que la respuesta del fotomultiplicador es constante. Esta prueba es suficiente, teniendo en cuenta que se emplea el mismo fotomultiplicador que en el calibrado del aparato.

2.- Errores originados por los diafragmas y mandos correspon

-dientes.

En primer lugar, pudiera suceder que al situar el mando en una posición determinada, la abertura del diafragma correspondiente no fuese la misma en diversas ocasiones. Y en segundo lugar que, durante las sesiones de presentación de estímulos, se cometiese un error posicional, es decir, que no haya coincidencia entre las divisiones del mando y la escala.

Con respecto al primer punto, se han repetido las medidas para los diafragmas en los dos sentidos, teniendo como receptor el fotomultiplicador, comprobándose que siempre que se pasaba por una misma división del mando, la respuesta del fotomultiplicador era la misma, dentro de la sensibilidad del aparato de medida.

### 3.- Errores en el dispositivo de medida.

Las causas de error que pueden aparecer como consecuencia del dispositivo de medida, se engloban en dos grandes grupos. El primero engloba la corriente de oscuridad del fotomultiplicador, las derivas térmicas del amplificador y la estabilización en la alta tensión del fotomultiplicador, y el segundo se refiere al propio aparato de medida. Con respecto al primer grupo, el dispositivo presenta un ajuste de cero que permite sustraer la señal producida por la corriente de oscuridad. Para evitarla, se intercepta el haz a medir antes de incidir



sober la red de difracción y de esta forma se ajusta el cero. Para evitar las perturbaciones producidas por las derivas, se conecta el equipo con la ventana de entrada al fotocátodo ta pada, el indicador del aparato se coloca en una división deter minada de la escala y se anotan periódicamente las señales lei das; las medidas se realizaron en condiciones estacionarias y, por seguridad, cada pareja de medidas implica un ajuste del ce ro. La estabilización en la alta tensión es de un orden tal que supone una variación despreciable en la señal de salida. El aparato de medida es un microamperímetro con un cuadro de señal a fondo de escala de  $100 \mu\text{A}$ , lo que da un error a fondo de escala de  $1 \mu\text{A}$ .

#### 4.- Errores en el calibrado espectral de la red.

Nos interesa conocer cual es el intervalo de longitudes de on da que a través de la rendija del dispositivo incide sobre el fotomultiplicador con objeto de conocer la precisión conseguida en la curva de radiancia espectral. Para ello, operamos a par tir de la recta de calibrado, pasando de ella a la que da las po siciones en el espectro de cada una de las longitudes de onda, necesitándose conocer por tanto la focal de la lente empleada para formar dicho espectro.

Si llamamos  $f$  a la focal de la lente, la distancia  $d$  entre cada dos longitudes de onda sobre el espectro viene dada por el

producto  $f \cdot \theta = d$ , siendo  $\theta$  el ángulo girado por la red al pasar de una ranura a otra.  $\theta$  no tiene por qué coincidir con el ángulo que marca el indicador, si bien ambos son proporcionales. Del hecho de que la curva de calibrado sea una recta podemos deducir que:

$$d\theta / d\lambda = m/K \cos\theta$$

El valor del coseno es prácticamente la unidad, dadas las condiciones experimentales elegidas y, por lo tanto,

$$\theta = f(\lambda)$$

A partir de la expresión anterior resulta,

$$\theta = \lambda/K - \lambda_0/K$$

pues trabajamos en el primer orden ( $m=1$ ). Si multiplicamos esta expresión por la focal  $f$  quedará:

$$d = (\lambda - \lambda_0) f/m$$

Expresión que nos permite determinar el  $\Delta\lambda$  que corresponde a un  $\Delta d$  igual a la anchura de la rendija de salida según:

$$\Delta d = \frac{f}{K} \Delta\lambda$$

#### IV.4.- JUSTIFICACION DE LAS CONDICIONES EXPERIMENTALES ELEGIDAS.

Con el fin de conseguir un estudio sistemático de las condiciones de observación, trataremos de analizarlas desde el punto de vista experimental, es decir, desde la producción de los estímulos, hasta la presentación de los mismos al observador. En este sentido, lo primero que interesa estudiar es el foco emisor de luz, del que posteriormente se extraerán los estímulos deseados.

##### IV.4.1.- LAMPARAS

Desde el punto de vista del color, una lámpara debe poseer una emisión espectral continua con una estabilización en su alimentación eléctrica suficiente para que las variaciones en la emisión no provoquen variaciones en el color del estímulo, fijadas las restantes variables. El grado de estabilización exigido en fotometría visual, para una lámpara, es del 0,3% en las mejores condiciones, no variando el flujo en más del 1% si se adopta esta estabilización.

Entre las diferentes lámparas que ofrece el comercio, las hay

de alto y bajo voltaje, de filamento más o menos disperso, con diferente tipo de atmósfera, etc., Creemos que, si la lámpara produce una emisión adecuada en el dominio espectral de interés, las restantes condiciones no son esenciales. En determinadas ocasiones, puede interesar, debido al método específico de calibrado, el conocimiento de la temperatura de color de la lámpara. En nuestro caso, debido al tipo de calibrado elegido, basta con su constancia en la emisión. Para este trabajo hemos empleado una lámpara de halógeno de filamento bastante concentrado y de alto voltaje, otra de proyección normal de filamento más extenso y una de bajo voltaje, estabilizadas convenientemente en su tensión de alimentación, todas ellas por el mismo estabilizador.

#### IV.4.2.- OBTENCION DE ESTIMULOS

Fundamentalmente, existen dos procedimientos de obtención de estímulos, por mezcla de primarios (ya sea temporal o espacial) y por filtrado.

En nuestro caso, empleamos todos los procedimientos. Para la obtención del estímulo de referencia, el de filtrado; para uno de los colorímetros, la mezcla aditiva espacial por esfera y para el otro, integrante, la mezcla aditiva temporal por sector giratorio. La razón de emplear estos tres sistemas en

particular y sobre todo el de fusión espacial y temporal, reside en la idea de que las diferencias encontradas por Parra (3) frente a los resultados de MacAdam (7) pudieran proceder en alguna medida, del sistema de obtención de primarios. La razón de obtener el estímulo de referencia por filtrado está relacionada con que las igualaciones sean fundamentalmente metámeras y no isómeras, como veremos posteriormente.

#### IV.4.3.- ELECCION DE PRIMARIOS Y ESTIMULOS DE REFERENCIA

Teniendo en cuenta, como indicábamos en la introducción, que el problema de la discriminación en color prácticamente sólo se ha estudiado a partir de igualaciones isómeras (lo que ofrece grandes ventajas para el posterior análisis de los resultados), creemos necesario, como ha sugerido Crawford (2), estudiar el proceso de discriminación a partir de igualaciones metámeras. Dado que en nuestras experiencias se estudia el mismo punto del espacio de color, utilizando el colorímetro de fusión temporal o bien el de fusión espacial, pero no ambos simultáneamente, comparando los estímulos producidos por cada uno de ellos con un mismo estímulo de referencia, hemos querido que los primarios de aquellos no sean los mismos, con objeto de que el grado de metamerismo no sea el mismo en uno y otro caso. Además de la diversidad de condiciones experimentales



-tales estudiadas, hemos creído conveniente analizar dos estímulos de referencia, uno de ellos de tono verde y otro de tono amarillo anaranjado. Con vista al posterior análisis de los resultados, y teniendo en cuenta la confluencia en las medidas de los diferentes grados de metamerismo, junto a los distintos métodos de fusión, se manifiesta la posibilidad de que en caso de resultados en desacuerdo, puedan atribuirse estos a una u otra causa. En cambio, si el desacuerdo en los resultados proviene del estímulo en estudio, puede ponerse de manifiesto, dada la elección hecha de los mismos. Hemos enfocado así el problema, ya que en caso de no aparecer desacuerdos, sería innecesario el análisis por separado de ambos factores.

En las Tablas 6 (Apendice A.3) se dan las  $L_{\lambda}$ , para cada estímulo, en las condiciones de observación.

#### IV.4.4.- PROCEDIMIENTO SEGUIDO EN LA REALIZACION DE LAS MEDIDAS.

Ante la posibilidad de que el propio observador fuese quien realizara el control de los primarios y efectuara así las igualaciones en color con el estímulo de referencia, como se ha hecho en la mayor parte de los trabajos sobre discrimina-

-ción, preferimos que el observador no tomara parte más que en el juicio acerca de la igualdad o desigualdad de los se micampos presentados.

Tenemos varias razones para justificar esta elección. En primer lugar, se puede conseguir de esta forma controlar perfectamente las condiciones en que el ojo se encuentra antes de realizar cada medida, lo que no podría conseguirse caso de que fuese el propio observador el que realizara la igualación, ya que al manipular en los primarios se presentarían en su campo de visión estímulos que, aunque parecidos en color, no son idénticos. Además, en el proceso de igualación el ojo se adapta a un color próximo al de referencia, luego al cambiar éste es evidente que modificamos el estado de adaptación previo a la realización de la medida.

Por consiguiente, podemos elegir con completa libertad el estado previo de adaptación y, aunque en este trabajo se ha elegido la adaptación a la obscuridad, existe la posibilidad real de estados previos de adaptación cromática.

Por otro lado, con éste sistema, que ha sido utilizado en otro tipo de investigaciones, se puede controlar, y de hecho nosotros contamos con esta posibilidad, la influencia que el tiempo de observación pueda tener en el proceso de discriminación. La elección de los tiempos de presentación y adaptación pre-

-via se ha hecho de acuerdo con el criterio seguido por Cruz y Alvarez-Claro (19).

En lo que respecta al análisis de los resultados, cuando el observador realiza la igualación obtiene una serie de puntos, definidos por las cantidades de los correspondientes primarios, en los que considera de igual color el estímulo del campo variable y el de referencia. Sin embargo, con este sistema, cada punto correspondiente a los estímulos presentados al observador, rodeando al de referencia, presenta como función de peso el número de veces que el observador ha respondido afirmativamente acerca de la igualdad de ambos campos. Esto, aunque no esencialmente, modifica el esquema de interpretación de los resultados.

El juicio que el observador da de cada presentación lo hace mediante un pulsador, por medio de una luz roja o verde, que indica al experimentador el resultado de la comparación, pudiendo éste tomar nota de ello.

#### IV.4.5.- CAMPO VISUAL DE OBSERVACION

El tamaño del campo de observación es tal que permite mantenernos dentro de la fovea, para evitar en principio la intrusión de bastones que modifiquen los resultados.

La elección del tipo de visión maxweliana, escogida en casi todos los trabajos al respecto, está justificada porque permite controlar con gran exactitud el tamaño del área retiniana estimulada, si bien este tipo de visión lleva aparejada la necesidad de fijar convenientemente la posición de la pupila del ojo. Esta fijación se ha conseguido mediante el empleo de una dentonera apropiada, a la que el observador se fija, quedando así la cabeza inmovilizada.

#### V.4.6.- NIVEL DE LUMINANCIA

Los cálculos se realizan con las variaciones del nivel de luminancia con que se han obtenido las observaciones, por lo que el valor absoluto de la misma no es necesario para realizarlos. A ello se debe que en el calibrado, sólo se controle la radiancia espectral relativa del campo de observación y que, por tanto, no se pueda determinar el nivel de luminancia en que operamos.

Como se dijo en la introducción, al observador no se le presentan estímulos a luminancia constante, ya que al presentarlos se modifican las cantidades de los primarios sin controlar la constancia de la misma; ello se debe a que nuestro interés radica en los umbrales diferenciales globales de cro-

-maticidad y luminancia, pues pensamos que, si existe influencia de los factores en estudio, esta debe afectar tanto a unos como a otros.

#### IV.4.7.- CONDICIONES SICOLOGICAS DEL OBSERVADOR

La sicofísica tiene una limitación severa en la fijación de las múltiples variables que influyen en los fenómenos objeto de estudio, aunque sea posible, y eso es lo que se pretende en toda investigación, el que las variables puramente físicas puedan estabilizarse y controlarse hasta un límite óptimo (dependiendo de las condiciones técnicas de cada laboratorio), es obvio que respecto a las variables psicológicas, ya sean de origen físico químico o no, son de muy difícil, prácticamente imposible, control y estabilización con la misma exactitud que las variables físicas. Las desviaciones analizadas por Wyceski (1) y Crawford (2), referentes a las medidas realizadas por un mismo observador en idénticas condiciones experimentales, pero en diferentes ocasiones, ponen de manifiesto que el análisis estadístico generalmente utilizado prescinde variables, como pueden ser hora del día, duración de las sesiones, entrenamiento del observador, etc. Aunque este tipo de control sería más propio de un laboratorio de sicometría que de uno de física, creemos que debe-



-mos controlar de algún modo estas variables con el fin de descubrir las causas que motivan resultados tan sorprendentemente distintos como los mencionados en el apartado II.1. En la página siguiente mostramos el modelo utilizado en el control de las observaciones.



CAPITULO   QUINTO

## CAPITULO QUINTO

### V.1.- REALIZACION DE LAS OBSERVACIONES

Una vez elegida la cromaticidad del estímulo de referencia y el nivel de luminancia adecuado, se hace que el haz procedente del mismo cubra la mitad del campo de observación. Este, de forma circular, se divide en dos semicírculos siendo el de la izquierda el semicampo de referencia. Utilizando el colorímetro de mezcla espacial se hace que el haz emergente de éste llene el semicampo derecho. El sistema de obturación del campo permite, cada 10 segundos (durante los cuales desaparece el mismo), abrirlo durante un segundo, que es el tiempo elegido en nuestro caso. Dado que el observador no controla los primarios y con objeto de presentarle estímulos que rodeen al de referencia, se empieza manteniendo el obturador abierto y el experimentador maneja los controles de los colorímetros hasta que el observador considera que ambos semicampos se han igualado en color.

Aunque estas medidas previas se realizan con adaptación al propio color del estímulo de referencia, sirven de orientación en la confección posterior del conjunto de estímulos a presentar en cada sesión. Al observador se le presentan entonces cada 10 segundos estímulos en el semicampo derecho y tiene que contes

-tar afirmativa o negativamente, pulsando el mando correspondiente, si existe igualación. Por supuesto, el observador ignora totalmente los estímulos que le van a ser presentados. La misión del experimentador consiste en controlar los primarios y confeccionar previamente el orden en que van a ser presentados los estímulos, así como anotar las respuestas del observador.

Las medidas han sido realizadas por dos observadores, E.H., de 27 años y E.J., de 25. El primero de ellos presenta +1 en cada ojo y el segundo sin anomalía detectable, ambos con visión cromática normal según el test S. Ishihara (23).

Como ya se ha indicado, han sido estudiados dos puntos del diagrama cromático, uno de tono verde y otro amarillo anaranjado, por ambos observadores, presentándose en el semicampo derecho, tanto los estímulos procedentes del colorímetro de mezcla espacial, como los del de mezcla temporal.

En las Tablas 8 se presentan las posiciones de los mandos de los diafragmas de ambos colorímetros y para ambos observadores, además de para cada uno de los colores y los valores de  $L_{\lambda}$  para cada uno de ellos. Estas Tablas se han confeccionado de acuerdo con las tablas de calibrado de los aparatos. Todo ello supone un número total de medidas de aproximadamente 12.000, correspondientes a unas 200 sesiones de trabajo.



## V.2.-ANALISIS DE LOS RESULTADOS

Dadas las condiciones en que se han realizado las medidas, se han obtenido como resultados una nube de puntos rodeando a cada uno de los estímulos de referencia estudiados. Como función de peso se asigna a cada uno de estos puntos un número, desde uno a diez, que indica el número de respuestas afirmativas que el observador ha dado al serle presentado un mismo estímulo en diferentes ocasiones.

El problema que se plantea es la elección de un sistema de coordenadas que permita, de forma clara y lo más objetiva posible, representar estos puntos para su posterior análisis. Hemos escogido, como es usual, el sistema internacional C.I.E.

Cuando a un observador se le presentan dos estímulos de idéntica radiancia espectral, es evidente que los verá de igual color. Cualquier otro observador emitirá el mismo juicio, sean cuales fueren sus funciones de mezcla. En particular, una igualación isométrica para un observador lo será también para el observador patrón C.I.E. En cambio, si un observador realiza una igualación en color de dos estímulos de idénticas coordenadas C.I.E., pero de distinta distribución espectral, éstos serán metámeros para dicho observador pero no necesariamente para cualquier otro. Este hecho nos conduce a ser cautos en la representación C.I.E. debido a que las medidas realizadas por distintos observadores

son difícilmente comparables entre sí. No obstante, como nuestro objetivo radica fundamentalmente en poner de manifiesto la posible influencia de las condiciones experimentales (metamerismo y tipo de fusión), no presenta graves problemas para nuestro fin dicha representación, siempre y cuando no se intente la comparación de los resultados para los distintos observadores.

Habiendo elegido, pues, el sistema C.I.E. para nuestras representaciones, vamos a explicar el proceso de cálculo. Para cada uno de los estímulos presentados al observador deberemos conocer su radiancia espectral, que se obtiene a partir de las curvas de calibrado.

Un estímulo viene caracterizado, en cada uno de los colorímetros, por los valores de los controles de primarios del mismo. Para cada uno de estos valores y para cada filtro, hemos obtenido en el calibrado del aparato la radiancia espectral correspondiente y por lo tanto la radiancia espectral del estímulo mezcla será la suma de las radiancias espectrales correspondientes a cada uno de los primarios para las posiciones de los mandos correspondientes.

Si cuando producimos un determinado estímulo, las posiciones de los mandos que controlan los primarios rojo, verde y azul son 3, 7, 1, respectivamente, la radiancia espectral de dicho estímulo,

$L_{\lambda 3,7,1}$  se obtiene por:

$$L_{3,7,1} = L_{R3} + L_{G7} + L_{B1}$$

correspondientes a los tres primarios. Podríamos haber tomado como curvas base las de máxima abertura de los diafragmas y, por el hecho de ser curvas paralelas, obtener las curvas correspondientes a otras aberturas mediante factores a partir de las curvas base.

Para pasar al sistema C.I.E. aplicamos las conocidas expresiones:

$$X = \int L_{\lambda} \bar{x}_{\lambda} d\lambda$$

$$Y = \int L_{\lambda} \bar{y}_{\lambda} d\lambda$$

$$Z = \int L_{\lambda} \bar{z}_{\lambda} d\lambda$$

donde  $L_{\lambda} = L_{\lambda ijk}$ .

Así pues, obtenemos un conjunto de  $x, y, z$ , para cada estímulo estudiado. Teniendo en cuenta que las radiancias espectrales medidas son relativas, los valores de  $X, Y, Z$ , serán también relativos, es decir, múltiplos del mismo factor de los valores triestímulo, ya que:

$$L_{\lambda m} = f L_{\lambda v}$$

donde  $m$  indica el valor medido y  $v$  el verdadero que llega al ojo. No obstante, las coordenadas de cromaticidad  $(x, y)$  son inde

-pendientes de este factor  $f$ , y las variaciones en el valor de  $Y$  (luminancia) son las que interesan y no su valor absoluto. Sin prejuzgar nada sobre la distribución en el espacio  $x, y, Y$  de las nubes de puntos obtenidas y, siguiendo criterios ya establecidos, vamos a ajustar dicha nube de puntos a un elipsoide de error de acuerdo con el cálculo realizado por Cruz y Alvarez-Claro (19). Para sacar conclusiones a partir de estos elipsoides conviene conocer previamente las posibilidades de este tipo de análisis estadístico:

Si para un observador varía apreciablemente el centro del elipsoide cuando utiliza uno u otro de los colorímetros, esto significa que han variado las condiciones de igualación, bien sea por el tipo de fusión o por la elección de primarios.

Si lo que varía es el tamaño del elipsoide, es evidente que ha cambiado la discriminación cromática globalmente. Por último, si varía la orientación de los ejes, se mantiene la igualdad como en el caso anterior, pero variará la discriminación según las posibles direcciones del espacio.

El cálculo del elipsoide de error se realiza mediante el programa que se da en el Apéndice A1. Este nos permite conocer el centro del elipsoide, sus puntos extremos, sus secciones a  $Y=Cte$  y las proyecciones sobre los tres planos ( $x, y, Y$ ).

La representación gráfica del elipsoide sería compleja y por

ello damos para cada observador, estímulo de referencia y tipo de fusión, las elipses resultantes de cortar al elipsoide por planos paralelos a distintos valores de  $Y$ . La primera elipse es la que resulta de cortar por un plano que pasa por el centro del mismo. A fin de poner de manifiesto el elipsoide con respecto al eje  $Y$ , se trazan otras cuatro secciones paralelas a la anterior, dos por encima y dos por debajo, y a distancias de  $1/3$  y  $2/3$  entre el centro y cada uno de los puntos extremos. El ángulo  $\alpha$  formado por el semieje mayor de la sección que pasa por el centro y el eje  $x$ , nos indicará la orientación del elipsoide en el plano  $x, y$ .

### V.3.- RESULTADOS OBTENIDOS

A continuación damos los puntos empleados en cada uno de los casos con su peso correspondiente, representándose por  $XP, x$ ; por  $YP, y$ ; y por  $L$ , el peso correspondiente a cada uno de ellos. También se indican las coordenadas del centro del elipsoide, sus puntos extremos, los semiejes de las secciones, el ángulo  $\alpha$  y los semiejes de la proyección sobre el plano  $x, y$ , así como el ángulo  $\beta$  que forma el semieje mayor de esta proyección con el eje  $x$ . Igualmente, se indica el número de puntos utilizado en cada caso para la obtención del elipsoide correspondiente. Finalmente,



se han dibujado las elipses de la sección principal, así como los ejes de las diferentes secciones.

OBSERVADOR : E. HITTA

=====

ESTIMULO DE REFERENCIA : VERDE

=====

RESULTADOS OBTENIDOS CON EL COLORIMETRO DE MEZCLA ESPACIAL

CENTRO DEL ELIPSOIDE:  $x = 0,384$

$y = 0,568$

$Y = 0,378$

PUNTOS EXTREMOS:

$x_1 = 0,412$

$x_2 = 0,355$

$y_1 = 0,572$

$y_2 = 0,565$

$Y_1 = 0,421$

$Y_2 = 0,336$

SECCIONES:

$\alpha = - 30^\circ$

Semiejes:

$P_0 = 0,052$

$Q_0 = 0,075$

$P_1 = 0,043$

$Q_1 = 0,061$

$P_2 = 0,030$

$Q_2 = 0,043$

PROYECCION (x,y)

$\beta = - 38^\circ$

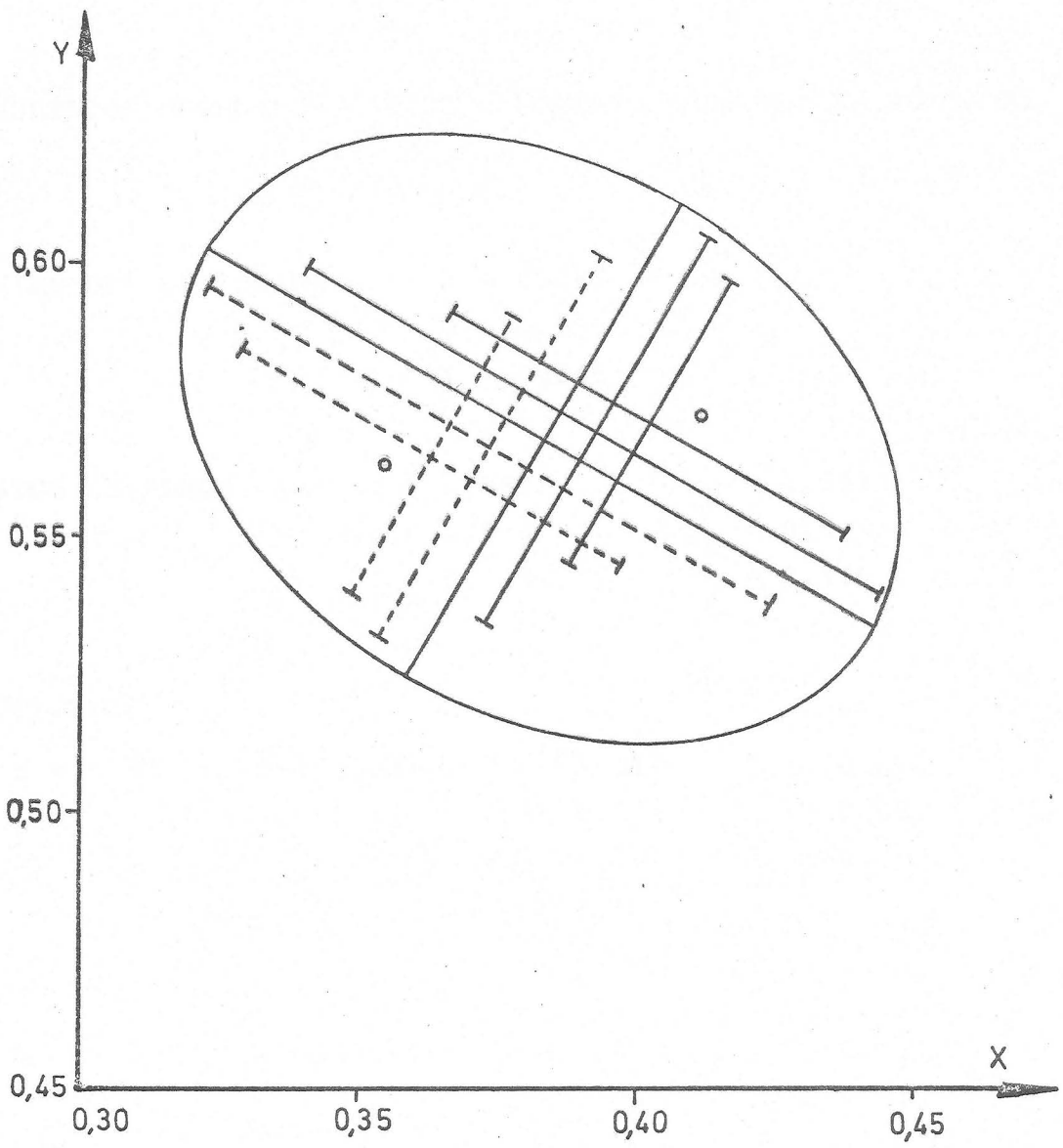
Semiejes:

$P_Y = 0,057$

$Q_Y = 0,077$

Número de puntos utilizados: 713

XP	YP	Y	L	XP	YP	Y	L
.4040	.5793	.78435	6	.3635	.5332	.37995	6
.4036	.5787	.78411	5	.3724	.5317	.38153	9
.4072	.5771	.78327	7	.3861	.5288	.37993	10
.4028	.5775	.78354	6	.4027	.5776	.38355	10
.4024	.5779	.78341	6	.4030	.5773	.38376	10
.4020	.5782	.38312	9	.4059	.5740	.38540	10
.4016	.5786	.38297	10	.4063	.5743	.38500	9
.4011	.5781	.78270	10	.4091	.5716	.38725	9
.4008	.5783	.78254	10	.4095	.5712	.78746	7
.4005	.5797	.78272	10	.4123	.5686	.78915	6
.4001	.5810	.38212	10	.4126	.5683	.78931	3
.3997	.5804	.78192	10	.3897	.5682	.74878	1
.3994	.5807	.78172	10	.3896	.5698	.74828	8
.3990	.5810	.78157	10	.3852	.5699	.38873	7
.3752	.5827	.78312	10	.3875	.5201	.38290	10
.3886	.5807	.77895	10	.3788	.5249	.37221	10
.3896	.5830	.77897	10	.4075	.5762	.37132	10
.3806	.5853	.77975	10	.3857	.5842	.79137	10
.3816	.5875	.77895	10	.3850	.5838	.79157	10
.3322	.5812	.78344	10	.3915	.5882	.40310	10
.3331	.5830	.78374	10	.3918	.5878	.40330	9
.3339	.5801	.78325	10	.3876	.5812	.41408	9
.3348	.5885	.78310	10	.3820	.5814	.41429	7
.3357	.5810	.78307	10	.3839	.5853	.42524	3
.3244	.4472	.38447	10	.4071	.5735	.74048	6
.3374	.5857	.78290	10	.4074	.5779	.75832	8
.3782	.5880	.78291	10	.4064	.5750	.75991	9
.3791	.5702	.78272	10	.4069	.5797	.76092	10
.3799	.5725	.78295	9	.3982	.5818	.39281	10
.3707	.5747	.78257	9	.3970	.5861	.40433	8
.3725	.5824	.77761	9	.3985	.5834	.40597	9
.3422	.5792	.78247	7	.3973	.5874	.41674	6
.3429	.5810	.78250	2	.3961	.5848	.41839	2
.3795	.6008	.78661	5				
.3895	.6009	.78661	10				
.3895	.6009	.78661	10				
.4038	.5765	.77151	10				
.3790	.6008	.74672	10				
.3824	.5966	.77554	10				
.3870	.5923	.72631	2				
.4194	.5819	.38749	6				
.4166	.5845	.38174	10				
.4138	.5872	.38003	10				
.4109	.5899	.78272	10				
.4081	.5725	.78655	10				
.4052	.5752	.78422	10				
.4023	.5780	.78370	10				
.3965	.5835	.78017	10				
.3935	.5862	.77855	8				
.3905	.5890	.77692	7				
.3875	.5918	.77947	8				
.3846	.5946	.77790	6				
.3816	.5974	.77241	5				
.3785	.6002	.77092	1				
.3496	.5267	.77421	1				
.3526	.5247	.77577	5				



ESTIMULO DE REFERENCIA: VERDE  
OBSERVADOR: E. HITA  
COLORIMETRO DE MEZCLA ESPACIAL

OBSERVADOR : E. HITTA  
=====

ESTIMULO DE REFERENCIA: VERDE  
=====

RESULTADOS OBTENIDOS CON EL COLORIMETRO DE MEZCLA TEMPORAL

CENTRO DEL ELIPSOIDE:       $x = 0,387$   
                                  $y = 0,535$   
                                  $Y = 0,245$

PUNTOS EXTREMOS:       $x_1 = 0,381$                        $x_2 = 0,391$   
                                  $y_1 = 0,544$                        $y_2 = 0,525$   
                                  $Y_1 = 0,314$                        $Y_2 = 0,176$

SECCIONES:

$\alpha = - 40^\circ$       Semiejes:       $P_0 = 0,011$                        $Q_0 = 0,102$   
    $P_1 = 0,009$                        $Q_1 = 0,083$   
    $P_2 = 0,006$                        $Q_2 = 0,059$

PROYECCION (x,y)

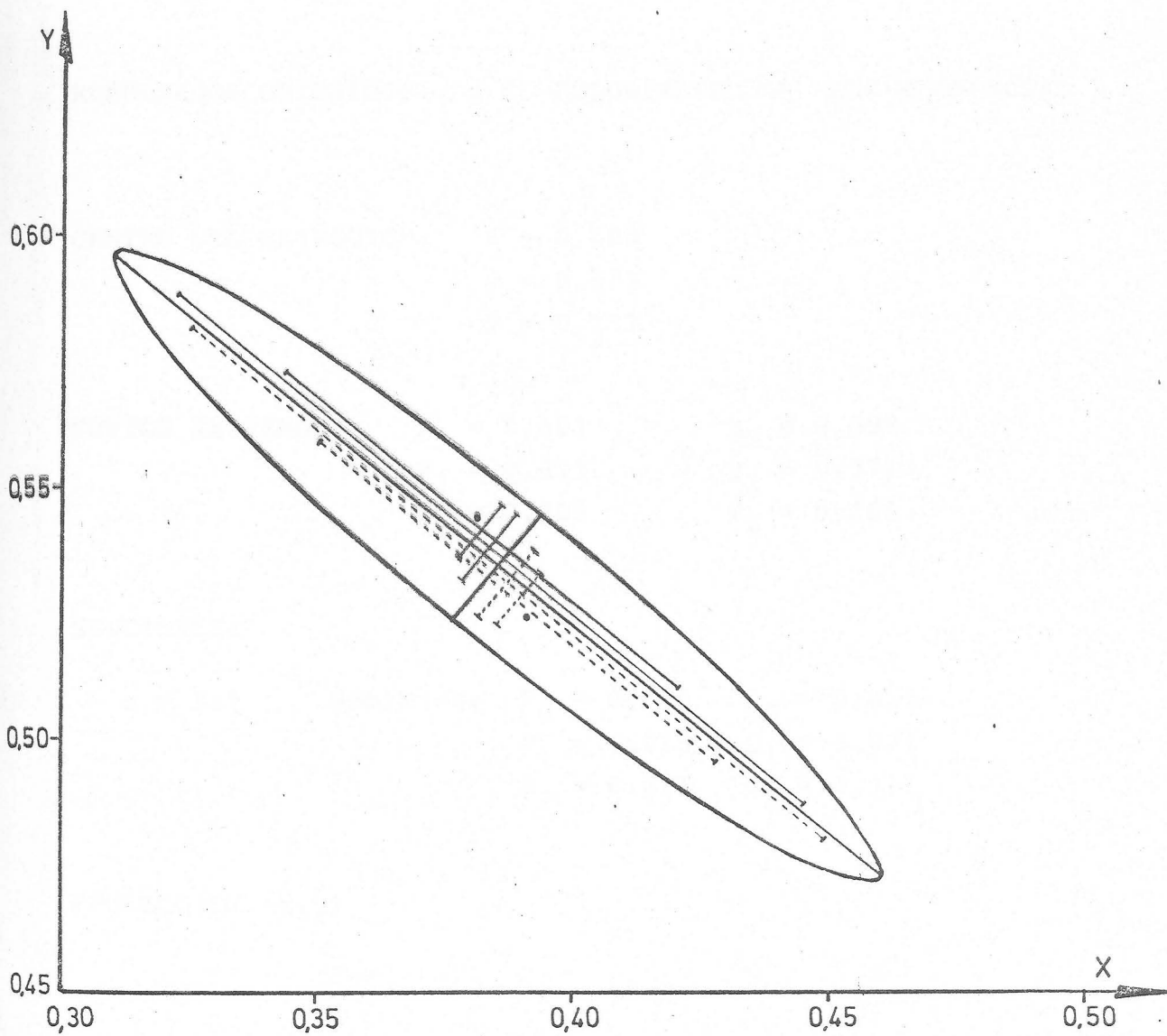
$\beta = - 40^\circ$       Semiejes:       $P_Y = 0,011$                        $Q_Y = 0,103$

Número de puntos utilizados: 726



## OBSERVADOR: E.H. Est.Ref. VERDE C.M.T.

XP	YP	Y	L	XP	YP	Y	L
.3810	.5421	.27595	2	.3835	.5398	.21543	10
.3360	.5848	.33841	6	.3828	.5391	.20774	10
.3804	.5404	.25897	8	.3834	.5402	.20762	9
.3801	.5395	.25053	10	.3841	.5413	.20752	8
.3797	.5386	.24212	10	.3847	.5423	.20741	7
.4517	.4825	.26432	10	.3801	.5395	.25053	10
.3791	.5368	.22556	10	.3806	.5404	.25041	10
.3804	.5345	.21600	10	.3812	.5414	.25028	10
.3796	.5336	.20831	8	.3814	.5422	.25872	8
.3779	.5331	.20133	5	.3367	.5865	.33817	3
.3883	.5321	.24548	2	.3370	.5873	.33807	5
.4000	.5538	.24136	0	.3374	.5881	.33795	3
.3824	.5366	.24313	10	.3377	.5890	.33783	1
.3775	.5403	.24127	10	.3381	.5898	.33772	2
.3773	.5404	.24118	7	.3801	.5395	.25053	10
.3793	.5334	.24261	10	.3795	.5388	.25066	10
.3776	.5351	.24259	10	.3790	.5377	.25075	5
.3782	.5358	.24226	10	.3794	.5387	.25919	5
.3787	.5368	.24235	10	.3789	.5377	.25911	6
.3792	.5377	.24225	10	.3349	.5824	.33855	3
.3803	.5396	.24201	10	.3346	.5818	.33887	1
.3809	.5405	.24188	10	.4511	.4818	.26445	10
.3814	.5415	.24178	10	.4505	.4812	.26455	10
.3820	.5425	.24166	10	.3779	.5346	.22579	9
.3825	.5435	.24155	10	.3792	.5324	.21623	2
.3831	.5444	.24143	9	.3786	.5313	.21614	8
.3836	.5453	.24133	5	.3780	.5306	.21646	4
.3842	.5463	.24122	2	.3799	.5363	.21649	5
.3763	.5328	.24288	9	.3770	.5288	.21665	3
.3759	.5321	.24295	0	.3765	.5280	.21675	2
.3755	.5314	.24305	4	.3818	.5357	.24326	10
.3751	.5308	.24315	5	.3813	.5348	.24336	10
.3801	.5395	.25053	10	.3808	.5338	.24327	9
.3779	.5412	.24969	9	.3837	.5317	.24440	3
.3778	.5413	.24959	8	.3832	.5310	.24472	1
.3782	.5421	.25802	8	.3849	.5352	.24475	3
.3783	.5420	.25812	5	.3822	.5294	.24491	2
.3339	.5865	.33747	5	.3818	.5287	.24502	4
.4534	.4812	.26533	10	.3814	.5281	.24509	1
.4553	.4798	.26646	6	.3763	.5394	.24140	4
.3850	.5322	.22770	5	.3764	.5385	.24150	3
.4030	.5568	.21523	3	.3759	.5374	.24141	1
.4502	.4835	.26347	10	.3829	.5376	.24302	10
.3767	.5384	.22471	8	.3835	.5385	.24289	9
.3765	.5385	.22462	4	.3864	.5363	.24402	2
.3824	.5366	.24317	10	.3780	.5413	.24116	7
.3826	.5376	.25154	10	.3786	.5422	.24103	7
.3854	.5355	.25257	3	.3790	.5433	.24083	5
.3856	.5365	.26111	2	.3796	.5443	.24072	3
.3803	.5396	.24201	10	.3801	.5453	.24060	7
.4523	.4831	.26421	10	.3807	.5462	.24049	6
.4529	.4838	.26408	10	.3812	.5472	.24039	5
.3803	.5386	.22532	10	.3818	.5482	.24028	7
.3809	.5397	.22522	0				
.3823	.5377	.21566	10				
.3829	.5367	.21554	10				



ESTIMULO DE REFERENCIA: VERDE

OBSERVADOR: E. HITA

COLORIMETRO DE MEZCLA TEMPORAL

OBSERVADOR: E. HITA

ESTIMULO DE REFERENCIA: AMARILLO NARANJA

RESULTADOS OBTENIDOS CON EL COLORIMETRO DE MEZCLA ESPACIAL

CENTRO DEL ELIPSOIDE:  $x = 0,600$   
 $y = 0,373$   
 $Y = 0,187$

PUNTOS EXTREMOS:  $x_1 = 0,601$                        $x_2 = 0,598$   
 $y_1 = 0,373$                                        $y_2 = 0,371$   
 $Y_1 = 0,209$                                        $Y_2 = 0,165$

SECCIONES:

$\alpha = 11^\circ$             Semiejes:  $P_0 = 0,019$              $Q_0 = 0,026$   
 $P_1 = 0,015$              $Q_1 = 0,021$   
 $P_2 = 0,011$              $Q_2 = 0,015$

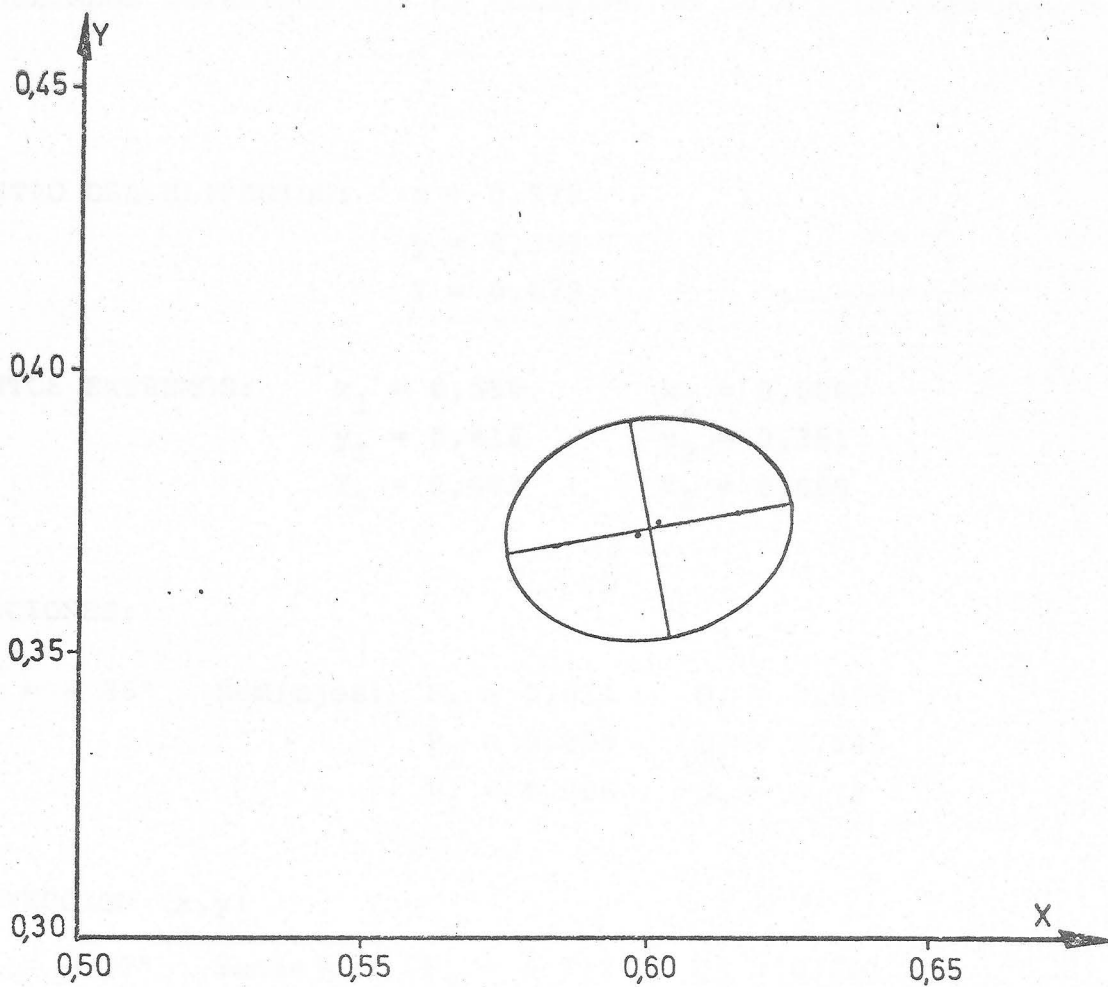
PROYECCION (x,y)

$\beta = 11^\circ$             Semiejes:  $P_Y = 0,019$              $Q_Y = 0,026$

Número de puntos utilizados: 768

## OBSERVADOR : E.H. Est.Ref. Am. Nar. C.M.E.

XP	YP	Y	L	XP	YP	Y	L
.6106	.3808	.18575	5	.6071	.3726	.18998	10
.6102	.3805	.18576	10	.6100	.3747	.18989	9
.6098	.3801	.18578	10	.6133	.3718	.19399	8
.6093	.3798	.18572	10	.6150	.3738	.19390	9
.5999	.3727	.18609	10	.6191	.3709	.19804	10
.6083	.3791	.18582	10	.6212	.3724	.19797	9
.6078	.3788	.18584	10	.6014	.3683	.19018	10
.6072	.3782	.18586	10	.5950	.3637	.19040	10
.6065	.3777	.18588	10	.5987	.3612	.19450	8
.6059	.3772	.18590	10	.5913	.3558	.19477	7
.6052	.3767	.18592	10	.5873	.3690	.18242	10
.6044	.3761	.18595	10	.5832	.3718	.17854	7
.6036	.3755	.18598	10	.5752	.3655	.17881	5
.6028	.3748	.18600	10	.5708	.3682	.17500	1
.6019	.3742	.18607	10	.6046	.3695	.17903	10
.6009	.3735	.18606	10	.5990	.3739	.17317	9
.5999	.3727	.18610	10	.6051	.3680	.16802	5
.5988	.3719	.18613	10	.6082	.3667	.18301	8
.5977	.3711	.18617	10	.5972	.3774	.19326	10
.5965	.3702	.18621	10	.6026	.3731	.19937	9
.5953	.3693	.18625	10	.5972	.3783	.20473	10
.5935	.3680	.18631	10	.6041	.3728	.21308	10
.5927	.3673	.18634	10	.5989	.3778	.21860	8
.5913	.3663	.18639	10	.5972	.3803	.19121	9
.5891	.3647	.18646	10	.5916	.3858	.19657	6
.5884	.3641	.18649	10	.5951	.3886	.19644	5
.5858	.3629	.18654	8	.6083	.3895	.18096	10
.5852	.3617	.18650	7	.6142	.3838	.17581	8
.5836	.3605	.18656	7	.6181	.3866	.17569	7
.5819	.3592	.18672	5	.6234	.3616	.17124	1
.5801	.3579	.18678	4	.6032	.3657	.18113	8
.5794	.3566	.18685	4	.5966	.3609	.18134	1
.5765	.3552	.18691	2	.6022	.3765	.19137	10
.5747	.3538	.18698	1	.5860	.3717	.19159	9
.5850	.3862	.17057	1	.5806	.3771	.19695	1
.5892	.3828	.17441	9	.5929	.3786	.18201	10
.5913	.3812	.17630	10	.6029	.3809	.18192	10
.5933	.3798	.17821	10	.5991	.3841	.17803	10
.5952	.3780	.18016	10	.6020	.3864	.17794	7
.5972	.3765	.18210	10				
.5990	.3750	.18407	10				
.6027	.3721	.18805	10				
.6045	.3706	.19007	10				
.6062	.3693	.19210	9				
.6079	.3679	.19417	9				
.6096	.3666	.19621	8				
.6112	.3653	.19831	6				
.6128	.3640	.20041	3				
.6144	.3628	.20251	1				
.6173	.3574	.17142	3				
.6122	.3624	.17588	7				
.6064	.3681	.18102	10				
.5954	.3789	.19127	10				
.5898	.3844	.19667	9				
.5842	.3899	.20215	6				
.6036	.3755	.18598	10				



ESTIMULO DE REFERENCIA: AM. NAR.

OBSERVADOR: E.HITA

COLORIMETRO DE MEZCLA ESPACIAL



OBSERVADOR: E. HITA  
=====

ESTIMULO DE REFERENCIA: AMARILLO NARANJA  
=====

RESULTADOS OBTENIDOS CON EL COLORIMETRO DE MEZCLA TEMPORAL

CENTRO DEL ELIPSOIDE: x = 0,578  
y = 0,399  
Y = 0,079

0'079  
7  

---

0'158

PUNTOS EXTREMOS: x<sub>1</sub> = 0,556      x<sub>2</sub> = 0,500  
y<sub>1</sub> = 0,416      y<sub>2</sub> = 0,381  
Y<sub>1</sub> = 0,093      Y<sub>2</sub> = 0,065

SECCIONES:

α = - 36°    Semiejes: P<sub>0</sub> = 0,011      Q<sub>0</sub> = 0,055  
P<sub>1</sub> = 0,009      Q<sub>1</sub> = 0,045  
P<sub>2</sub> = 0,006      Q<sub>2</sub> = 0,32

PROYECCION (x,y)

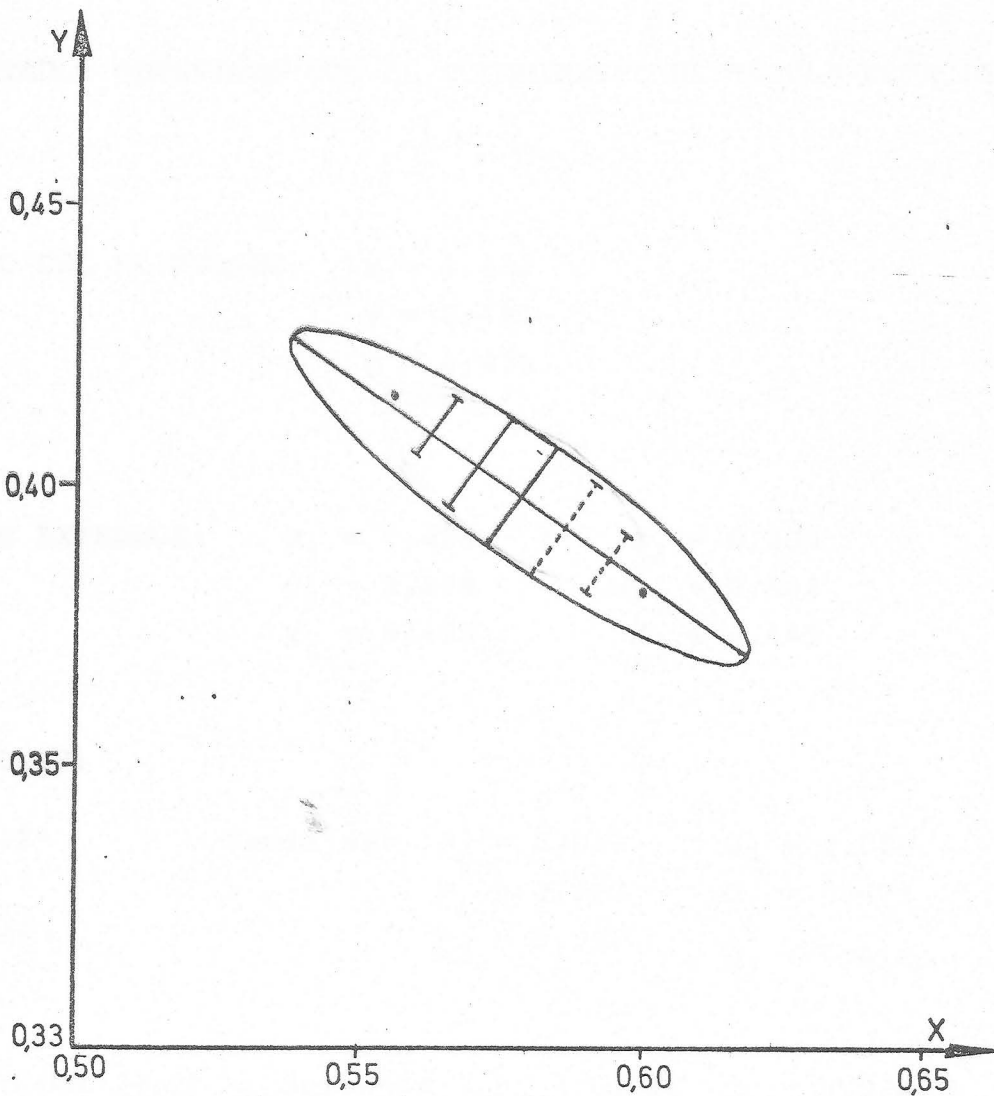
β = - 37°    Semiejes: P<sub>Y</sub> = 0,011      Q<sub>Y</sub> = 0,061

Número de puntos utilizados: 858



## OBSERVADOR: E.H. Est.Ref. Am. Nar. C.M.T.

XP	YP	Y	L	XP	YP	Y	L
.5745	.4046	.07741	10	.5815	.3945	.08161	8
.5681	.4102	.08122	10	.5804	.3939	.08167	7
.5660	.4120	.08049	10	.5823	.3924	.08248	6
.5615	.4182	.08431	5	.5812	.3917	.08253	5
.5841	.3949	.06674	10	.5830	.3902	.08336	4
.5798	.3985	.06522	6	.5818	.3896	.08344	2
.5781	.4038	.07812	10	.5830	.3882	.08426	2
.5778	.4036	.07814	10	.5824	.3874	.08432	2
.5773	.4032	.07816	10	.5841	.3861	.08514	2
.5765	.4028	.07821	10	.5830	.3854	.08522	3
.5747	.4016	.07830	10	.5847	.3841	.08606	1
.5736	.4010	.07836	10	.5765	.4028	.07821	10
.5726	.4002	.07841	10	.5757	.4053	.07734	10
.5714	.3995	.07846	10	.5734	.4042	.07753	10
.5702	.3988	.07854	10	.5726	.4033	.07750	10
.5689	.3979	.07860	10	.5705	.4051	.07670	10
.5676	.3971	.07868	9	.5700	.4055	.07656	9
.5663	.3963	.07875	8	.5689	.4048	.07663	9
.5650	.3955	.07882	6	.5678	.4041	.07668	9
.5639	.3947	.07888	9	.5640	.4072	.07526	2
.5625	.3939	.07896	6	.5752	.4050	.07736	10
.5614	.3931	.07901	5	.5736	.4071	.07655	9
.5601	.3924	.07910	5	.5701	.4084	.08209	10
.5590	.3915	.07915	4	.5691	.4081	.08220	10
.5659	.4119	.07428	5	.5663	.4059	.08229	6
.5681	.4100	.07506	9	.5652	.4051	.08234	7
.5719	.4068	.07648	10	.5609	.4113	.08616	4
.5724	.4063	.07662	10	.5598	.4106	.08624	2
.5745	.4046	.07741	10	.5630	.4128	.08606	3
.5790	.4008	.07919	10	.5620	.4121	.08611	3
.5805	.3995	.07982	10	.5616	.4028	.08256	7
.5824	.3979	.08064	10	.5604	.4020	.08262	5
.5842	.3963	.08147	10	.5592	.4012	.08270	3
.5860	.3947	.08228	10	.5581	.4004	.08275	1
.5878	.3932	.08310	10	.5629	.4036	.08248	2
.5895	.3917	.08393	6	.5717	.4034	.08200	9
.5912	.3903	.08476	6	.5671	.4156	.08582	10
.5929	.3889	.08559	3	.5949	.3870	.07062	10
.5945	.3876	.08641	3	.5954	.3873	.07060	10
.5998	.3842	.08672	2	.5958	.3876	.07059	10
.5904	.3906	.07062	9	.5921	.3917	.07053	6
.5940	.3866	.07067	10	.5963	.3847	.07165	10
.5831	.3982	.08059	10	.5977	.3835	.07229	10
.5836	.3986	.08057	10	.5995	.3820	.07310	8
.5854	.3970	.08139	10	.6012	.3806	.07393	7
.5872	.3954	.08221	9	.6028	.3792	.07474	4
.5880	.3939	.08303	8	.6045	.3778	.07557	4
.5893	.3941	.08302	8	.6061	.3765	.07639	2
.5910	.3926	.08384	8	.5726	.4063	.08307	10
.5927	.3912	.08467	7	.5741	.4050	.08370	10
.5876	.3956	.08219	7	.5716	.4095	.08834	10
.5858	.3972	.09128	7	.5760	.4034	.08451	10
.5939	.3888	.08055	8	.5779	.4018	.08534	10
.5820	.4004	.07974	7	.5798	.4002	.08616	10
.5806	.3967	.08072	9	.5816	.3987	.08698	10
.5796	.3961	.08079	7	.5850	.3957	.08863	10
.5867	.3943	.08946	10				
.5883	.3929	.09029	4				



ESTIMULO DE REFERENCIA: AM. NAR.

OBSERVADOR: E. HITA

COLORIMETRO DE MEZCLA TEMPORAL

OBSERVADOR: E.JIMENEZ

ESTIMULO DE REFERENCIA: VERDE

=====

=====

RESULTADOS OBTENIDOS CON EL COLORIMETRO DE MEZCLA ESPACIAL

CENTRO DEL ELIPSOIDE:  $x = 0,412$   
 $y = 0,491$   
 $Y = 0,471$

PUNTOS EXTREMOS:  $x_1 = 0,423$                        $x_2 = 0,400$   
 $y_1 = 0,479$                                        $y_2 = 0,504$   
 $Y_1 = 0,498$                                        $Y_2 = 0,445$

SECCIONES:

$\alpha = 42^\circ$                       Semiejes:  $P_0 = 0,010$                        $Q_0 = 0,028$   
 $P_1 = 0,008$                                        $Q_1 = 0,023$   
 $P_2 = 0,006$                                        $Q_2 = 0,016$

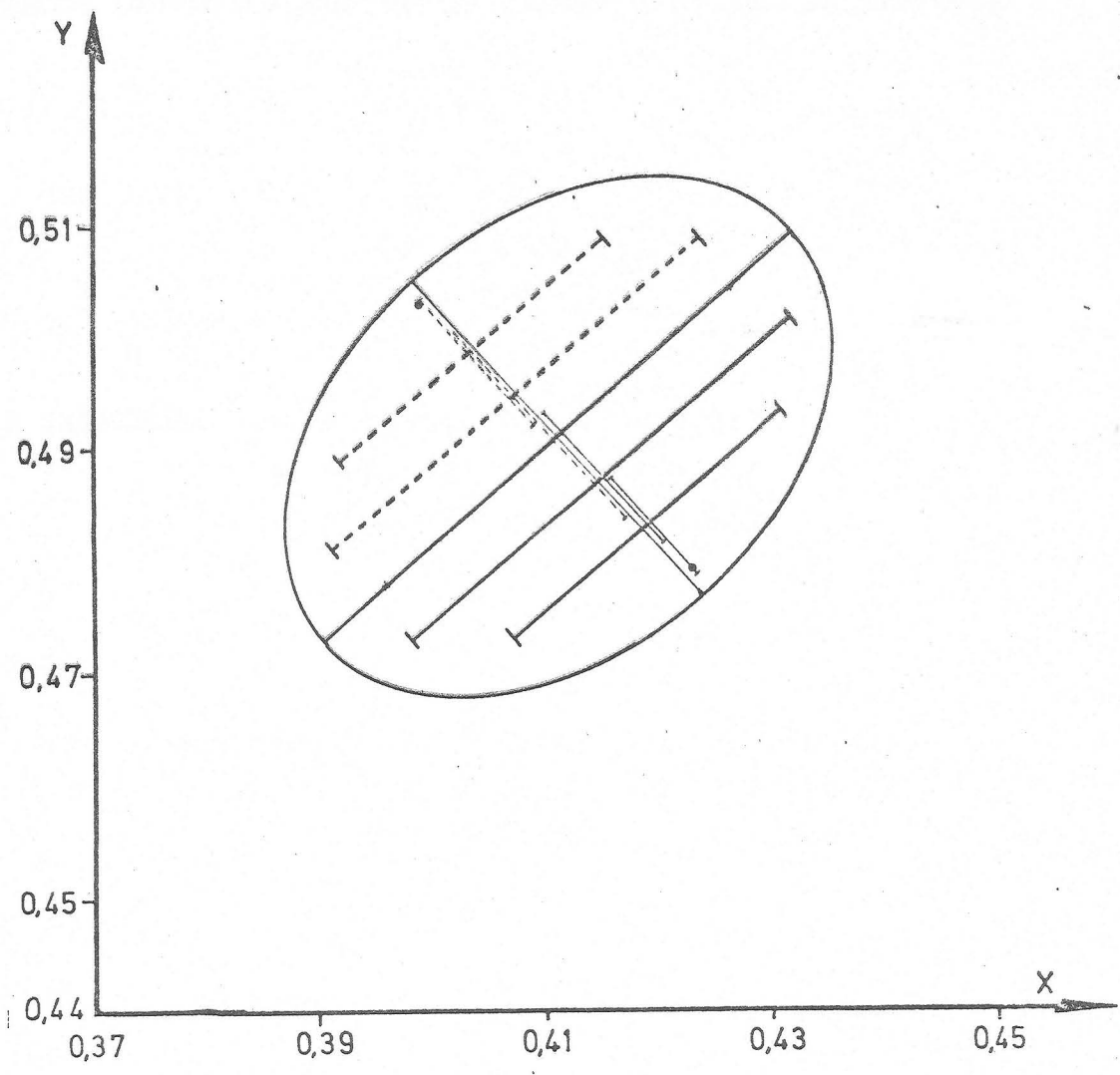
PROYECCION (x,y)                      Semiejes:  $P_Y = 0,010$                        $Q_Y = 0,022$

$\beta = 41^\circ$

Número de puntos utilizados: 800

## OBSERVADOR: E.J. Est.Ref. VERDE C.M.E.

XP	YP	Y	L	XP	YP	Y	L
.4018	.5141	.46822	1	.4143	.4940	.46760	10
.4009	.5124	.46832	4	.4133	.4923	.46770	10
.4035	.5105	.47031	8	.4048	.4976	.49032	10
.4026	.5088	.47041	10	.4036	.4959	.49043	5
.4051	.5070	.47240	10	.4004	.5002	.50189	3
.4042	.5053	.47249	9	.3998	.4991	.50195	3
.4067	.5035	.47451	9	.3965	.5033	.51357	2
.4058	.5019	.47451	10	.3955	.5013	.51372	3
.4083	.5001	.47654	10	.4049	.5084	.50136	7
.4074	.4984	.47675	10	.4040	.5068	.50146	9
.4099	.4967	.47881	10	.4074	.5026	.49001	10
.4079	.4933	.47807	10	.4064	.5010	.49011	10
.4104	.4916	.48107	10	.4113	.4989	.46781	10
.4094	.4899	.48113	10	.4103	.4872	.46802	9
.4118	.4883	.48328	10	.4137	.4828	.45707	9
.4112	.4872	.48334	10	.4131	.4817	.45713	9
.4136	.4855	.48544	10	.4165	.4772	.44645	8
.4125	.4837	.48559	10	.4153	.4752	.44659	3
.4135	.4830	.48644	9	.4152	.4823	.42940	5
.4123	.4809	.48657	9	.4117	.4869	.44006	5
.4057	.4831	.44875	6	.4142	.4852	.44208	8
.4082	.4914	.45074	7	.4108	.4897	.45276	10
.4098	.4879	.45287	3	.4133	.4879	.45479	10
.4133	.4879	.45479	10	.4098	.4824	.46574	10
.4158	.4862	.45686	10	.4079	.4876	.49226	10
.4182	.4845	.45890	10	.4046	.5018	.50372	9
.4207	.4829	.46100	10	.4070	.5001	.50581	4
.4231	.4812	.46310	7	.4266	.4768	.45242	1
.4242	.4805	.46395	1	.4242	.4785	.45032	8
.4284	.4855	.46021	1	.4207	.4829	.46100	10
.4275	.4940	.46030	2	.4182	.4846	.45890	10
.4266	.4925	.46040	4	.4148	.4890	.46985	10
.4256	.4909	.46049	3	.4030	.5010	.48815	7
.4247	.4893	.46059	7	.3997	.5053	.49960	4
.4237	.4878	.46069	8	.4219	.4970	.48551	2
.4227	.4861	.46079	9	.4210	.4955	.48561	5
.4217	.4845	.46083	10	.4199	.4962	.48475	7
.4207	.4829	.46100	10	.4190	.4947	.48485	6
.4197	.4812	.46110	10	.4160	.4964	.48275	10
.4187	.4795	.46121	10	.4157	.4948	.48285	10
.4180	.4784	.46127	9	.4132	.4966	.48075	10
.4168	.4765	.46147	9	.4123	.4950	.48086	10
.4155	.4744	.46155	8	.4054	.4950	.47695	10
.4144	.4725	.46167	3	.4045	.4933	.47707	10
.4134	.4708	.46179	2	.4020	.4950	.47504	10
.4174	.4778	.46149	2	.4014	.4938	.47510	10
.4112	.4673	.46207	1	.3999	.4955	.47309	9
.4229	.4772	.43551	4	.3977	.4935	.47322	10
.4193	.4818	.44617	8	.3952	.4952	.47123	6
.4158	.4862	.45686	10	.3940	.4930	.47137	1
.4123	.4906	.46780	10	.3915	.4945	.46938	1
.4089	.4950	.47802	10				
.4055	.4993	.48072	8				
.4022	.5035	.50167	4				
.4188	.4912	.45655	3				
.4178	.4896	.45665	2				



ESTIMULO DE REFERENCIA: VERDE

OBSERVADOR: E. JIMENEZ

COLORIMETRO DE MEZCLA ESPACIAL

OBSERVADOR: E.JIMENEZ      ESTIMULO DE REFERENCIA: VERDE  
=====      =====      =====

RESULTADOS OBTENIDOS CON EL COLORIMETRO DE MEZCLA TEMPORAL

CENTRO DEL ELIPSOIDE:       $x = 0,384$   
    $y = 0,529$   
    $Y = 0,221$

PUNTOS EXTREMOS:       $x_1 = 0,386$        $x_2 = 0,383$   
    $y_1 = 0,532$        $y_2 = 0,527$   
    $Y_1 = 0,257$        $Y_2 = 0,185$

SECCIONES:

$\alpha = - 43^\circ$       Semiejes :       $P_0 = 0,005$        $Q_0 = 0,007$   
    $P_1 = 0,004$        $Q_1 = 0,006$   
    $P_2 = 0,003$        $Q_2 = 0,004$

PROYECCION (x,y)

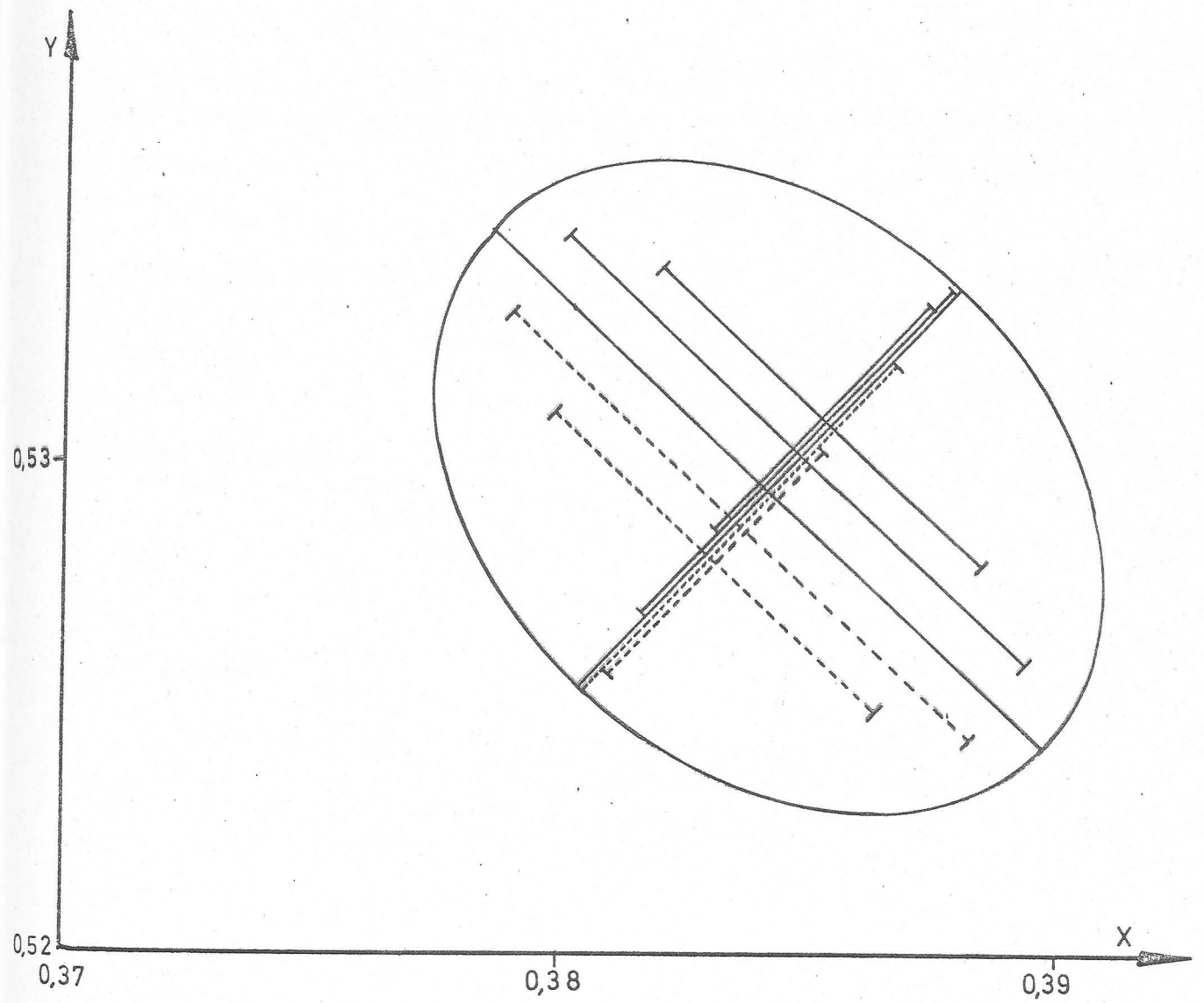
$\beta = - 43^\circ$       Semiejes:       $P_Y = 0,006$        $Q_Y = 0,007$

Número de puntos utilizados: 527



## OBSERVADOR: E.J. Est. Ref. VERDE C.M.T.

XP	YP	Y	L	XP	YP	Y	L
.3775	.5419	.25017	2	.3804	.5406	.21459	5
.3759	.5377	.25014	5	.3810	.5417	.21458	7
.3754	.5357	.24177	6	.3816	.5428	.21446	2
.3759	.5374	.24141	7	.3820	.5303	.20945	2
.4486	.481F	.26362	7	.3789	.5325	.20844	6
.4491	.4822	.26370	9	.3797	.5334	.21613	10
.3755	.5384	.22494	9	.3759	.5375	.22475	10
.3761	.5374	.22494	10	.4485	.4829	.26351	9
.3773	.5357	.21529	10	.3758	.5325	.24131	4
.3763	.5344	.20750	10	.3772	.5407	.24971	2
.3770	.5355	.20746	5	.3744	.5307	.21571	6
.3752	.5351	.20042	2	.3739	.5239	.21581	5
.3759	.5362	.20037	1	.3735	.5292	.21589	7
.3799	.5448	.25777	1	.3730	.5284	.21598	8
.3795	.5440	.24933	3	.3726	.5277	.21608	7
.3790	.5430	.24944	2	.3727	.5276	.21612	1
.4514	.4849	.26323	4	.3813	.5335	.22670	2
.3780	.5413	.24116	6	.3785	.5356	.22569	7
.4508	.4842	.26376	7	.3762	.5345	.20750	7
.4502	.4835	.26347	8	.3744	.5341	.20952	4
.3757	.5334	.20762	10	.3738	.5329	.19252	4
.3739	.5329	.20071	9	.3732	.5314	.18471	2
.3734	.5317	.20092	10	.3873	.5327	.21701	1
.3727	.5303	.19262	7	.3804	.5345	.21500	3
.3721	.5295	.19301	4	.3795	.5344	.21528	10
.3848	.5269	.21329	2	.3760	.5333	.21520	8
.3816	.5292	.21715	10	.3754	.5325	.21552	8
.3821	.5303	.21724	10	.3773	.5373	.21555	8
.3792	.5324	.21627	10				
.3797	.5324	.21617	10				
.3771	.5354	.21510	10				
.3777	.5365	.21506	10				
.3783	.5375	.21490	4				
.3827	.5313	.21714	1				
.3797	.5334	.21617	10				
.3778	.5411	.23825	8				
.3774	.5402	.24291	7				
.3759	.5394	.24140	3				
.4496	.4829	.26391	10				
.3745	.5340	.20061	10				
.3740	.5327	.19262	6				
.3734	.5313	.18490	7				
.3727	.5298	.17595	3				
.3720	.5282	.16913	2				
.3712	.5264	.16131	1				
.3732	.5287	.21609	1				
.3741	.5298	.21591	2				
.3745	.5306	.21589	5				
.3774	.5372	.21564	5				
.3756	.5324	.21561	9				
.3762	.5332	.21529	9				
.3767	.5343	.21579	10				
.3773	.5364	.21515	10				
.3795	.5374	.21504	10				
.3791	.5385	.21481	8				
.3798	.5396	.21491	9				



ESTIMULO DE REFERENCIA: VERDE

OBSERVADOR: E. JIMENEZ

COLORIMETRO DE MEZCLA: TEMPORAL

OBSERVADOR: E.JIMENEZ  
=====

ESTIMULO DE REFERENCIA: AMARILLO NARANJA  
=====

RESULTADOS OBTENIDOS CON EL COLORIMETRO DE MEZCLA ESPACIAL

CENTRO DEL ELIPSOIDE:  $x = 0,602$   
 $y = 0,374$   
 $Y = 0,185$

PUNTOS EXTREMOS:  $x_1 = 0,610$        $x_2 = 0,595$   
 $y_1 = 0,368$        $y_2 = 0,379$   
 $Y_1 = 0,204$        $Y_2 = 0,166$

SECCIONES:

$\alpha = -34^\circ$       Semiejes:  $P_0 = 0,017$        $Q_0 = 0,026$   
 $P_1 = 0,013$        $Q_1 = 0,021$   
 $P_2 = 0,010$        $Q_2 = 0,015$

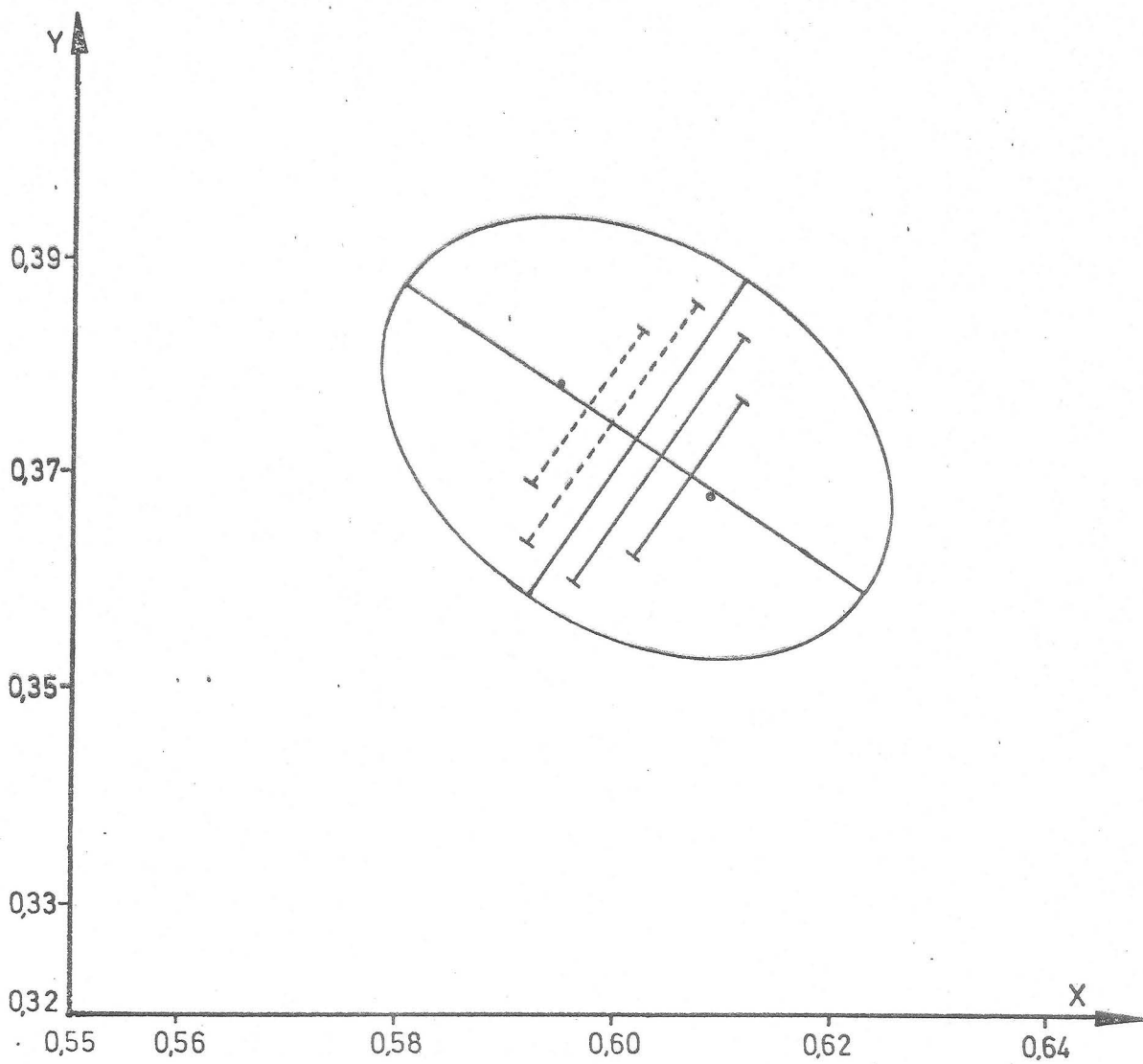
PROYECCION (x,y)

$\beta = -34^\circ$       Semiejes:  $P_Y = 0,017$        $Q_Y = 0,028$

Número de puntos utilizados: 457

OBSERVADOR : E.J. Est.Ref. AM.Nar. C.M.E.

XP	YP	Y	L	XP	YP	Y	L
.5783	.3915	.18518	1	.5852	.3817	.18660	3
.5806	.3897	.18700	2	.5835	.3805	.18666	2
.5828	.3879	.18882	4				
.5850	.3862	.17007	5				
.5871	.3845	.17252	5				
.5892	.3828	.17441	7				
.5913	.3812	.17530	8				
.5933	.3796	.17821	10				
.5952	.3780	.18015	10				
.5972	.3765	.18210	10				
.5990	.3750	.18407	10				
.6009	.3735	.18606	10				
.6027	.3721	.18805	10				
.6045	.3706	.19007	10				
.6062	.3693	.19210	10				
.6079	.3679	.19417	10				
.6096	.3666	.19621	10				
.6112	.3653	.19831	8				
.6128	.3640	.20041	6				
.6144	.3628	.20251	5				
.6159	.3615	.20465	3				
.6283	.3466	.18225	1				
.6227	.3521	.16685	6				
.6173	.3574	.17142	7				
.6122	.3624	.17598	10				
.6064	.3681	.18102	10				
.5954	.3789	.19127	10				
.5898	.3844	.19607	2				
.6115	.3915	.18572	10				
.6103	.3906	.18575	10				
.6106	.3908	.18575	10				
.6102	.3905	.18575	10				
.6098	.3901	.18578	10				
.6093	.3798	.18572	10				
.5992	.3727	.18609	10				
.6083	.3791	.18582	10				
.6078	.3788	.18594	10				
.6072	.3782	.18595	10				
.6072	.3782	.18585	10				
.6059	.3772	.18590	10				
.6052	.3767	.18592	10				
.6044	.3761	.18595	10				
.6038	.3755	.18598	10				
.6028	.3749	.18600	10				
.6019	.3742	.18607	10				
.5999	.3727	.18610	10				
.5988	.3719	.18617	10				
.5977	.3711	.18617	10				
.5965	.3702	.18621	10				
.5953	.3693	.18625	9				
.5942	.3680	.18631	8				
.5927	.3673	.18634	6				
.5912	.3663	.18632	7				
.5891	.3647	.18640	5				
.5884	.3641	.18642	3				
.5868	.3629	.18654	4				



ESTIMULO DE REFERENCIA: AM. NAR.

OBSERVADOR: E. JIMENEZ

COLORIMETRO DE MEZCLA ESPACIAL

OBSERVADOR: E.JIMENEZ ESTIMULO DE REFERENCIA:AMARILLO NARANJA  
=====

RESULTADOS OBTENIDOS CON EL COLORIMETRO DE MEZCLA TEMPORAL

CENTRO DEL ELIPSOIDE:  $x = 0,590$   
 $y = 0,388$   
 $Y = 0,071$

PUNTOS EXTREMOS:  $x_1 = 0,600$   $x_2 = 0,579$   
 $y_1 = 0,377$   $y_2 = 0,399$   
 $Y_1 = 0,078$   $Y_2 = 0,064$

SECCIONES:

$\alpha = -43^\circ$  Semiejes:  $P_0 = 0,009$   $Q_0 = 0,032$   
 $P_1 = 0,007$   $Q_1 = 0,026$   
 $P_2 = 0,005$   $Q_2 = 0,018$

PROYECCION (x,y)

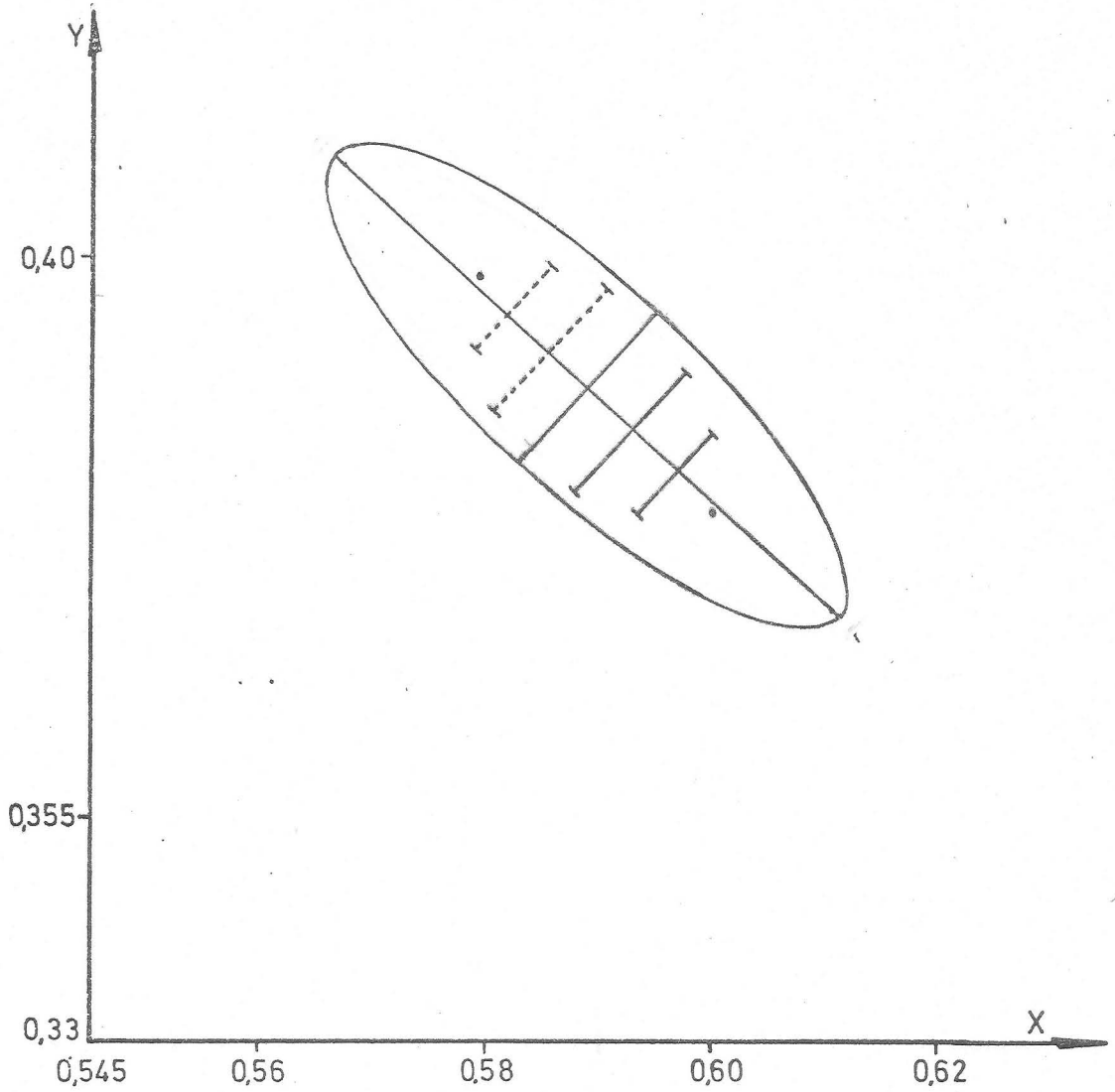
$\beta = -43^\circ$  Semiejes:  $P_Y = 0,009$   $Q_Y = 0,028$

Número de puntos utilizados: 663



## OBSERVADOR: E.J. Est. Ref. Am. Nar. C.M.T.

XP	YP	Y	L	XP	YP	Y	L
.5776	.4004	.06445	2	.5881	.3835	.06915	10
.5798	.3985	.06522	5	.5876	.3889	.06902	9
.5820	.3967	.06597	5	.5864	.3882	.06909	8
.5841	.3949	.06674	8	.5816	.3903	.06772	6
.5862	.3931	.06752	7	.5930	.3886	.06982	10
.5897	.3902	.06824	7	.5916	.3906	.06901	9
.5902	.3898	.06909	10	.5911	.3910	.06887	8
.5921	.3881	.06988	10	.5915	.3913	.06885	6
.5940	.3866	.07057	10	.5920	.3908	.06899	4
.5963	.3847	.07165	7	.5940	.3866	.07067	10
.5977	.3835	.07229	6	.5949	.3870	.07062	10
.5995	.3820	.07310	4	.5971	.3851	.07160	9
.5979	.3859	.06597	1	.5976	.3854	.07158	9
.5884	.3923	.06982	9	.5994	.3845	.07220	8
.5745	.4046	.07741	7	.6012	.3830	.07301	8
.5681	.4102	.08129	3	.5940	.3798	.07335	7
.5939	.3892	.06979	10	.5952	.3843	.07177	10
.5935	.3889	.06980	10	.5956	.3832	.07240	10
.5930	.3886	.06982	10	.5957	.3823	.07237	10
.5910	.3878	.06999	10	.5946	.3817	.07243	9
.5901	.3869	.06996	10	.5952	.3796	.07330	8
.5889	.3862	.07002	10	.5940	.3798	.07335	7
.5877	.3855	.07007	10	.5949	.3870	.07062	10
.5864	.3847	.07013	10	.5971	.3851	.07160	9
.5851	.3840	.07021	9	.5976	.3854	.07158	9
.5836	.3831	.07026	8	.5994	.3845	.07220	8
.5822	.3823	.07034	7	.6012	.3830	.07301	8
.5808	.3815	.07041	5	.5940	.3866	.07067	10
.5793	.3807	.07049	4	.5958	.3775	.07418	7
.5780	.3798	.07054	2	.5975	.3761	.07499	8
.5766	.3790	.07063	2	.5962	.3755	.07507	6
.5753	.3782	.07067	2	.5949	.3747	.07513	3
.5739	.3775	.07077	1				
.5884	.3927	.06982	9				
.5872	.3919	.06997	8				
.5967	.3855	.06605	10				
.5957	.3846	.06602	3				
.5892	.3927	.06977	9				
.5928	.3863	.06589	10				
.5930	.3886	.06982	10				
.5752	.4050	.07736	9				
.5757	.4053	.07734	8				
.5692	.4110	.08122	6				
.5967	.3855	.06605	10				
.5901	.3869	.06996	10				
.5726	.4033	.07750	10				
.5716	.4027	.07756	10				
.5653	.4023	.08144	7				
.5642	.4075	.08149	2				
.5904	.3906	.07062	9				
.5864	.3940	.06903	8				
.5959	.3876	.06514	1				
.5902	.3898	.06909	10				
.5724	.4053	.07562	4				
.5963	.3847	.07165	7				
.5890	.3894	.06912	10				



ESTIMULO DE REFERENCIA : AM. NAR.

OBSERVADOR: E. JIMENEZ

COLORIMETRO DE MEZCLA TEMPORAL

CAPITULO      SEXTO

## CAPITULO SEXTO

### VI.1.- CONCLUSIONES

Los resultados generales que hemos obtenido en relación a la influencia de las condiciones experimentales en los umbrales diferenciales de color, se basan en el estudio de la influencia del metamerismo y del método de fusión de estímulos que hemos realizado.

Las conclusiones que se deducen de este trabajo las concretamos en los siguientes puntos:

1.- Se ha diseñado y construido un dispositivo experimental muy versátil, ya que permite el estudio de los umbrales diferenciales de color para diferentes grados de metamerismo, diferente tipo de fusión de estímulos, diferentes adaptaciones, etc.

2.- Los resultados se han obtenido, no solamente para dos puntos del diagrama cromático, sino con dos observadores diferentes, lo que permite una mejor crítica y, por lo tanto, mayor fiabilidad en los mismos.

3.- Se observa, para ambos observadores, ligeras variaciones en las posiciones de los centros de los elipsoides ob

-tenidos por los diferentes métodos experimentales estudiados, lo que indica que prácticamente se mantiene el metamerismo.

4.- Las dimensiones de los elipsoides encontrados para cada uno de los estímulos estudiados, relativos a los dos procedimientos experimentales empleados, indica la no existencia de variaciones sensibles en el caso del observador E. Hita. Para el observador E. Jimenez se han encontrado variaciones algo superiores, aunque tampoco pueden considerarse importantes. Ello parece indicar que la discriminación de cada observador es independiente de los métodos experimentales utilizados.

5.- Las direcciones de mayor o menor discriminación varían con el tipo de fusión (espacial o temporal), o bien con los primarios elegidos, ya que se detectan variaciones muy apreciables en la orientación de los elipsoides obtenidos, para ambos observadores.

6.- La versatilidad de nuestro dispositivo experimental, aunque no ha permitido comprobar directamente la no convexidad encontrada por M. Parra, ha hecho posible determinar la influencia de las condiciones experimentales en las direcciones de discriminación del observador, lo que nos permite sugerir que los resultados de dicho autor se deben al sistema de mezcla utilizado o a los primarios elegidos.

7.- Se han obtenido elipsoides distintos en Posición y en tamaño para ambos observadores, lo primero consecuencia del caracter metamérico de nuestras observaciones y lo segundo, del diferente grado de discriminación de cada observador.

8.- Definir el espacio de los estímulos o de las sensaciones de color, exige dotar a los conjuntos correspondientes de alguna estructura matemática.

Debido al poder limitado del sistema visual y al metamerismo, el conjunto de las sensaciones de color es finito, no sucediendo así con el de los estímulos,

El conjunto de las sensaciones de color no presenta estructura de grupo para la ley de composición interna definida por la mezcla aditiva de colores. En cambio, sí admite estructura de semigrupo abeliano para esta ley de composición interna. De ello se desprende la imposibilidad de definir dicho conjunto como espacio vectorial.

9.- Los resultados experimentales sobre discriminación de color parecen sugerir que el conjunto de las sensaciones no admite estructura de espacio métrico, definiendo la distancia entre dos sensaciones de color como proporcional a la diferencia percibida entre los colores correspondientes.



10.- El espacio C.I.E., en el que se representan, no sensaciones, sino estímulos evaluados de acuerdo a la sensación que producirían en un observador patrón, siendo por tanto un espacio sicofísico, no posee tampoco el carácter de espacio métrico sino semimétrico, pues la distancia entre dos de sus puntos puede ser nula aunque estos sean distintos.

APENDICES

PROGRAMA PARA EL CALCULO DE LOS ELIPSOIDES DE ERROR

```

PARAMETER TL= ,SL=
REAL R(TL,SL),G(TL,SL),B(TL,SL),X(TL),Y(TL),Z(TL),U(400),V(400),
AYI(400),PC(3),QC(3),T(400)
INTEGER P,IV(24)
3 READ(5,202)(X(I),Y(I),Z(I),I=1,TL)
202 FORMAT(3F8.6)
READ(5,204)R
READ(5,204)G
READ(5,204)B
204 FORMAT(7F11.6)
N=0
M=25
LL=0

LIN=0
WRITE(6,211)
211 FORMAT(1H1)
WRITE(6,843)
843 FORMAT(' CALCULO ELIPSOIDES DE ERROR*NNN)
8 IF(M-25)7,7,10
7 READ(5,207)(IV(I),I=1,24)
207 FORMAT(6(4I3,1X))
M=1
10 I=IV(M)
IF(I)30,30,15
15 J=IV(M+1)
K=IV(M+2)
L=IV(M+3)
N=N+1
20 XX=0.0
YY=0.0
ZZ=0.0
DO 500 P=1,TL
XX=XX+X(P)*(R(P,I)+G(P,J)+B(P,K))
YY=YY+Y(P)*(R(P,I)+G(P,J)+B(P,K))
ZZ=ZZ+Z(P)*(R(P,I)+G(P,J)+B(P,K))
500 CONTINUE
U(N)=XX*(XX+YY+ZZ)
V(N)=YY*(XX+YY+ZZ)
T(N)=L
LL=LL+L
YI(N)=YY
21 IF(LIN)18,18,19
17 LIN=0
WRITE(6,211)
18 WRITE(6,205)
205 FORMAT('D',2X,1HN,7X,1HR,9X,1HC,9X,1HR,8X,2HXP,6X,2HYP,7X,1HY,6X,1
1HL,N)
19 IF(56-LIN)17,17,23
23 WRITE(6,208)N,XX,YY,ZZ,U(N),V(N),YY,L
208 FORMAT(1X,I4,3F10.4,2X,2F8.4,F9.5,I4)
LIN=LIN+1
M=M+4
GO TO 8
30 SU=0.0
SV=0.0
SY=0.0
DO 35 T=1,N

```

```

SU=SU+U(I)*T(I)
SV=SV+V(I)*T(I)
35 SY=SY+Y(I)*T(I)
GE=LL
UM=SUNGE
VM=SVNGE
YM=SYNGE
CU=0.0
CV=0.0
CY=0.0
CUV=0.0
CUI=0.0
CVY=0.0
DO 36 I=1,N
CU=CU+(U(I)-UM)*(U(I)-UM)*T(I)
CV=CV+(V(I)-VM)*(V(I)-VM)*T(I)
CY=CY+(Y(I)-YM)*(Y(I)-YM)*T(I)
CUV=CUV+(U(I)-UM)*(V(I)-VM)*T(I)
CUI=CUI+(U(I)-UM)*(Y(I)-YM)*T(I)
36 CVY=CVY+(V(I)-VM)*(Y(I)-YM)*T(I)
DELT=CU+CV*CY+CUV+CVY*CUI+CUV+CVY*CUI-CUI*CV+CUI-CUV+CUV+CY-CVY*
1CVY*CU
A=((CV*CY)-(CVY*CVY))*(GE-1.0)/DELT
BE=((CU*CY)-(CUI*CUI))*(GE-1.0)/DELT
C=((CU*CV)-(CUV*CUV))*(GE-1.0)/DELT
D=((CUI*CUI)-(CUV*CY))*(GE-1.0)/DELT
E=((CUI*CUV)-(CU*CVY))*(GE-1.0)/DELT
F=((CUV*CVY)-(CUI*CV))*(GE-1.0)/DELT
A1=A*BE-D**2
B1=BE*C-E**2
C1=C*A-F**2
D1=D*C-E*F
E1=E*A-D*F
F1=F*BE-D*E
ALPHA=(A*F1**2 +2.0*D*C1*F1+BE*E1**2 +C*A1**2 -2.0*F*F1*A1-2.0*E
1*E1*A1)/N(A1**2)
DELTU=SQRT(7.81/ALPHA)
Y1=YM+DELTU
Y2=YM-DELTU
DELTU=-F1*DELTU/A1
U1=UM+DELTU
U2=UM-DELTU
DELTU=-E1*DELTU/A1
V1=VM+DELTU
V2=VM-DELTU
TG2TC=2.0*D/N(A-BE)
TC=28.64789*ATAN(TG2TC)
S=SQRT((A-BE)**2 +4.0*D**2)
DO 37 J=1,3
H=J-1
PC(J)=SQRT((15.62-2.0*ALPHA*H*DELTU**2/N3.0)/N(A+BE+S))
37 GC(J)=SQRT((15.62-2.0*ALPHA*H*DELTU**2/N3.0)/N(A+BE-S))
TG2TY=2.0*D1/N(C1-B1)
TY=28.64789*ATAN(TG2TY)
RY=SQRT((C1-B1)**2 +4.0*D1**2)
PY=SQRT(15.62*CN(C1+B1+RY))
QY=SQRT(15.62*CN(C1+B1-RY))

```

```

TG2 TU=2.0*E1N(C1-A1)
TU=28.64789*ATAN(TG2TU)
RU=SQRT((C1-A1)**2 +4.0*E1**2 )
PU=SQRT(15.62*AN(C1+A1+RU))
QU=SQRT(15.62*AN(C1+A1-RU))
TG2 TV=2.0*F1N(A1-B1)
TV=28.64789*ATAN(TG2TV)
RV=SQRT((A1-B1)**2 +4.0*F1**2 )
PV=SQRT(15.62*BN(A1+B1+RV))
QV=SQRT(15.62*BN(A1+B1-RV))
WRITE(6,211)
WRITE(6,210)
210 FORMAT('D',N)
WRITE(6,212)
212 FORMAT('D',20HCENTRO DEL ELIPSOIDE,N)
WRITE(6,213)UM,VM,YM
213 FORMAT(10X,3HXP=,F9.5,5X,3HY=,F9.5,5X,2HY=,F9.5,N)
WRITE(6,214)
214 FORMAT(' ',27HCOEFICIENTES DE LA ECUACION,N)
WRITE(6,215)A,BE,C,D,E,F
215 FORMAT(5X,2HA=,E12.5,10X,2HB=E12.5,10X,2HC=E12.5N5X,2HD=E12.5,10X,
12HE=E12.5,10X,2HF=E12.5N)
WRITE(6,216)
216 FORMAT(' ',15HPUNTOS EXTREMOSN)
WRITE(6,217)U1,V1,Y1,U2,V2,Y2

217 FORMAT(5H XP1=F8.5,2X,4HY1=F8.5,2X,3HY1=F8.5,4X,4HXPZ=F8.5,
12X,4HY2=F8.5,2X,3HY2=F8.5N)
WRITE(6,218)
218 FORMAT(' ',9HSECCIONESN)
WRITE(6,219)TG2TC,PC(1),QC(1),TC,PC(2),QC(2),PC(3),QC(3)
219 FORMAT(2X,6HTG2TC=F9.5,13X,13HSEMIEJES PC0=F9.6,5X,4HQ0=F9.6N5X,
13HTC=F8.4,26X,4HPC1=F9.6,5X,4HQ1=F9.6N42X,4HPCZ=F9.6,5X,
24HQ2=F9.6N)
WRITE(6,220)
220 FORMAT(' ',12HPROYECCIONES,N)
WRITE(6,221)TG2TY,TY,PY,QY
221 FORMAT(' ',7HTG2TY= F9.5,3X,3HTY=F8.4,4X,13HSEMIEJES PY= F9.6,6X,
13HQY=F9.6)
WRITE(6,222)TG2TU,TU,PU,QU
222 FORMAT(' ',7HTG2TXP=F9.5,3X,3HTX=F8.4,13X,4HPXP=F9.6,5X,4HQXP=
1F9.6)
WRITE(6,223)TG2TV,TV,PV,QV
223 FORMAT(' ',7HTG2TYP=F9.5,3X,3HTY=F8.4,13X,4HPYP=F9.6,5X,4HQYP=
1F9.6)
WRITE(6,224)LL
224 FORMAT('D',29H NUMERO DE PUNTOS UTILIZADOS=,I5,N)
END

```

## A.2.- DISPOSITIVOS ELECTRONICOS

El calibrado energético, es decir, el conocimiento de la radiación espectral del campo del colorímetro se ha realizado haciendo uso de un fotomultiplicador Phillips XP 1002 (Ref.29). El empleo de este tubo fotomultiplicador ha exigido el diseño y montaje de dos circuitos electrónicos: uno, una fuente de alimentación de 1200 V. estabilizada y el otro, un amplificador para medir las débiles intensidades de salida del tubo. A continuación describimos estos dos circuitos.

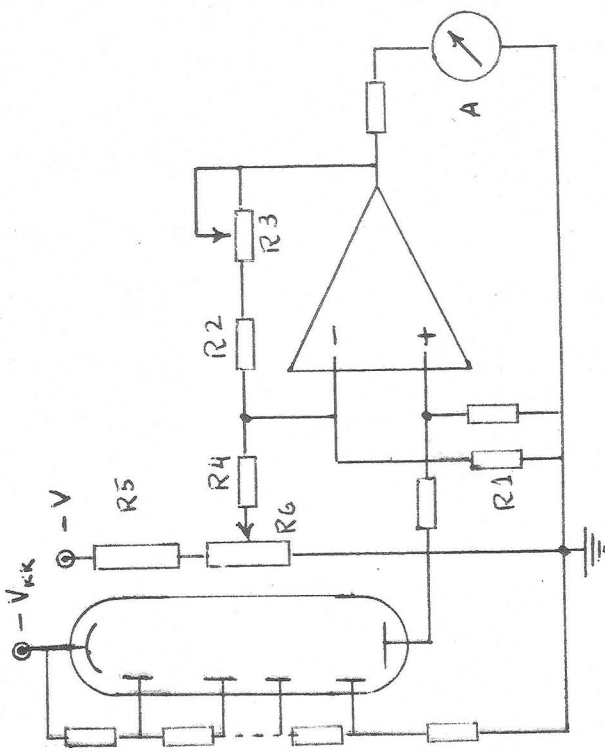
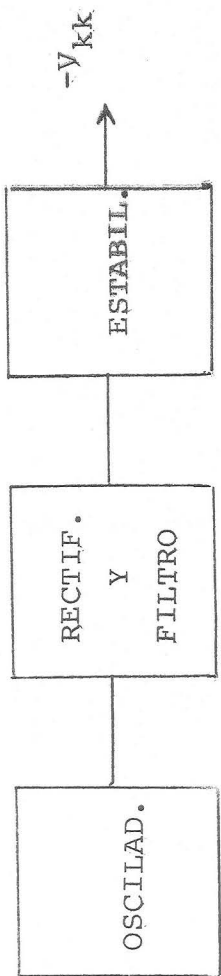
### Fuente de alimentación.-

De acuerdo con las especificaciones del fabricante, el tubo fotomultiplicador debe ser alimentado por una fuente de las siguientes características: tensión alta (elegimos 1200 V), baja potencia, buena estabilidad frente a la entrada y no precisa ser muy estable frente a la carga, ya que esta es sustancialmente constante.

En la Fig. de la página siguiente se representa un esquema de bloques de ésta fuente de alimentación en la que destacamos los siguientes aspectos:

- 1.- Se utiliza un oscilador de frecuencia (8 Kc), en lugar de rectificar a la frecuencia de la red, por la dificultad que representa un buen filtrado a la salida (condensadores de alta tensión, y por tanto, muy voluminosos). A la frecuencia de trabajo





DISPOSITIVO ELECTRONICO DE MEDIDA

-jo, se reduce extraordinariamente la capacidad necesaria para un determinado factor de rizado.

2.- La salida del rectificador se estabiliza como una válvula de descarga gaseosa, del tipo "Corotron" de la firma Victoreen.

#### Amplificador.-

Las corrientes de salida del tubo fotomultiplicador son muy débiles y la medida de las mismas, con un instrumento electromecánico, requiere una previa amplificación lineal con una ganancia estable y variable.

Con este fin, utilizamos un amplificador operacional de Texas Instrument, MA 709, con una ganancia total de 45000. En la Fig. A 1 puede observarse el esquema general, en el que se omiten las alimentaciones, por simplicidad. La realimentación negativa introducida por  $R_2$  y  $R_3$  disminuye la ganancia en tensión al valor

$$G = \frac{R_2 + R_3}{R_1}$$

pero le confiere gran estabilidad. Con los valores elegidos, la ganancia puede variarse mediante  $R_3$  entre 5 y 105. La resistencia  $R_6$  permite efectuar el ajuste de cero del amplificador de modo que la indicación del amperímetro sea cero en régimen de oscuridad. Los valores de  $R_4$ ,  $R_5$  y  $R_6$  son mucho más altos que los de  $R_1$ ,  $R_2$  y  $R_3$  para que no afecten a la ganancia sensiblemente.

TABLA 1  
FILTROS INTERFERENCIALES

Características

Filtro	Tipo	Tm	$\lambda_m$ (nm)	Hw (nm)
Rojo	DIL	19%	652nm	10 nm
Verde	DIL	30%	534nm	10 nm
Azul	DIL	24%	461nm	9 nm

TRANSMITANCIAS

Filtro Rojo

$\lambda$ (nm)	% T
640	0'50
645	4'00
650	17'00
655	14'00
660	2'50

Filtro Verde

$\lambda$ (nm)	% T
515	0'25
520	1'25
525	6'00
530	21'75
535	25'00
540	8'00
545	0'50

Filtro Azul

$\lambda$ (nm)	% T
450	1'50
455	11'00
460	22'75
465	13'00
470	0'50

T A B L A 2

C. M. Temporal                      Filtro    ROJO

Longitud de onda (nm)	% T	L <sub>λ</sub>
600	0'25	0'265
610	1'25	0'500
620	7'50	1'488
630	28'00	3'925
640	55'50	6'973
650	73'75	9'823
660	81'00	11'161
670	83'00	11'357
680	84'00	11'280
690	84'50	11'000
700	84'50	10'600
710	84'50	10'117
720	84'25	9'500
730	84'25	9'521
740	84'25	9'502
750	84'25	10'001
760	84'75	9'500
770	84'75	9'501

T A B L A 3

C. M. Temporal      Filtro      VERDE

Longitud de onda (nm)	% T	L A
450	0'25	0'058
460	0'50	0'088
470	3'25	0'151
480	8'50	0'412
490	16'00	0'811
500	24'00	1'363
510	31'25	2'077
520	36'75	2'972
530	39'00	3'521
540	38'00	4'033
550	35'00	4'419
560	30'00	4'332
570	24'50	3'922
580	18'75	3'376
590	13'75	2'692
600	10'00	2'067
610	6'75	1'583
620	4'75	1'129
630	3'25	0'928
640	2'50	0'733
650	1'75	0'588
660	1'25	0'461
670	1'00	0'357
680	1'00	0'342
690	1'00	0'324
700	0'25	0'103

T A B L A 4

C. M. Temporal      Filtro      AZUL

Longitud de onda (nm)	% T	L $\lambda$
380	39'00	0'010
390	44'75	0'021
400	48'25	0'052
410	50'25	0'070
420	51'25	0'110
430	51'00	0'173
440	49'50	0'226
450	56'00	0'294
460	41'75	0'358
470	33'00	0'404
480	22'00	0'360
490	12'50	0'277
500	7'00	0'200
510	3'00	0'117
520	1'25	0'069
530	0'25	0'042
540	0'2	0'0294
550	0'2	0'031



T A B L A 5

CALIBRADO ESPECTRAL DE LA RED

Calibrado red de difracción

$\lambda$ (nm)	$\theta$ (°)	Lámpara
589'3	91'0	Sodio
643'8	109'0	Cadmio
492'1	60'5	Helio
501'5	63'5	Helio
504'7	64'0	Helio
667'8	116'0	Helio
557'0	81'5	Kripton
587'0	90'5	Kripton
455'5	49'0	Cesio
459'3	51'0	Cesio

Los ángulos correspondientes a las longitudes de onda de 10 en 10 nm serán:

400	31'5	560	82'0
410	33'0	570	85'0
420	37'5	580	88'0
430	41'0	590	91'5
440	44'0	600	94'5
450	47'5	610	97'5
460	50'5	620	101'0
470	53'5	630	104'0
480	57'0	640	107'0
490	60'0	650	110'5
500	63'0	660	113'5
510	66'0	670	117'0
520	69'5	680	120'0
530	72'5	690	123'0
540	76'0	700	126'0
550	79'0		

T A B L A S 6

Estimulo de referencia: VERDE

Longitud de onda (nm)	$L_{\lambda}$
380	0'027
390	0'041
400	0'049
410	0'057
420	0'066
430	0'077
440	0'098
450	0'116
460	0'134
470	0'153
480	0'182
490	0'197
500	0'214
510	0'222
520	0'224
530	0'221
540	0'223
550	0'215
560	0'198
570	0'184
580	0'173
590	0'156
600	0'134
610	0'123
620	0'120

Estimulo de referencia: VERDE. (Continuación)

Lõngitud de onda (nm)	L $\lambda$
630	0'107
640	0'102
650	0'097
660	0'090
670	0'086
680	0'076
690	0'064
700	0'070
710	0'053
720	0'064

Estimulo de referencia: AMARILLO ANARANJADO

Longitud de onda (nm)	L $\lambda$
460	0'009
470	0'015
480	0'022
490	0'028
500	0'035
510	0'049
520	0'063
530	0'073
540	0'091
560	0'120
570	0'144
580	0'172
590	0'192
600	0'222
610	0'258
620	0'286
630	0'320
640	0'346
650	0'391
660	0'429
670	0'475
680	0'533
690	0'581
700	0'615
710	0'700

Estimulo de referencia: AMARILLO (Continuación)

Longitud de onda (nm)	$L \cdot \lambda$
720	0'850
730	1'036
740	1'210
750	1'500
760	1'583
770	2'375

T A B L A 7

Sensibilidad espectral del fotomultiplicador

Longitud de onda(nm)	S <sub>λ</sub>
380	0'87
390	0'92
400	0'96
410	1'00
420	1'00
430	0'98
440	0'97
450	0'94
460	0'92
470	0'90
480	0'86
490	0'84
500	0'80
510	0'77
520	0'74
530	0'71
540	0'86
550	0'64
560	0'62
570	0'59
580	0'55
590	0'52
600	0'49
610	0'46
620	0'43



(Continuación)

Sensibilidad espectral del fotomultiplicador

Longitud de onda (nm)	S <sub>A</sub>
630	0'40
640	0'37
650	0'34
660	0'31
670	0'28
680	0'25
690	0'22
700	0'20
710	0'17
720	0'14
730	0'11
740	0'09
750	0'07
760	0'06
770	0'04

C.M.E. ESTIMULO REFERENCIA AM.NA AMBOS OBSERVADORES

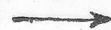
	645	650	655	$\lambda$ nm.
P.M. ↓	MATRIZ DE ROJO			
	1	14.700	34.920	33.200
	2	15.010	35.670	33.920
	3	15.320	36.420	34.650
	4	15.670	37.180	35.390
	5	15.940	37.940	36.140
	6	16.260	38.710	36.900
	7	16.570	39.490	37.670
	8	16.890	40.270	38.450
	9	17.220	41.060	39.240
	10	17.540	41.850	40.040
	11	17.870	42.650	40.850
	12	18.200	43.460	41.670
	13	18.530	44.260	42.500
	14	18.860	45.080	43.340
	15	19.200	45.830	44.190
	16	19.540	46.720	45.050
17	19.870	47.540	45.930	

P.M.



18	20.220	48.370	46.820
19	20.560	48.200	47.730
20	20.900	50.030	48.640
21	21.250	50.870	49.570

$\lambda$  nm.



	525	530	535	540
MATRIZ DE VERDE				
1	1.374	1.684	1.779	1.112
2	1.472	1.812	1.937	1.200
3	1.547	1.959	2.118	1.291
4	1.670	2.105	2.284	1.385
5	1.775	2.225	2.456	1.482
6	1.897	2.412	2.634	1.581
7	2.022	2.574	2.818	1.683
8	2.150	2.741	3.009	1.788
9	2.287	2.914	3.205	1.895
10	2.412	3.073	3.408	2.004
11	2.552	3.227	3.616	2.117

P.M.



	455	460	465
MATRIZ DE AZUL			
1	.000	.000	.000
2	.011	.040	.010
3	.016	.014	.017
4	.022	.023	.024
5	.028	.033	.031
6	.035	.043	.038
7	.042	.050	.046
8	.050	.064	.054
9	.059	.075	.063
10	.068	.087	.072
11	.079	.100	.083
12	.090	.113	.094
13	.102	.127	.105
14	.115	.142	.118
15	.128	.159	.131
16	.143	.176	.145
17	.159	.194	.160

$\lambda$  nm



P.M.



$\lambda$  nm

18	.176	.214	.176
19	.193	.235	.193
20	.212	.259	.211
21	.231	.280	.230
22	.252	.305	.250
23	.274	.331	.271
24	.296	.355	.293
25	.320	.387	.317
26	.345	.417	.341
27	.370	.488	.366
28	.397	.481	.392
29	.425	.515	.419
30	.454	.551	.448
31	.484	.588	.477
32	.515	.627	.507
33	.547	.667	.539
34	.580	.708	.571
35	.614	.751	.605
36	.649	.795	.640

C.M.E. ESTIMULO REFERENCIA VERDE C. HITA

	645	650	655	$\lambda$ nm.
P.M.	MATRIZ DE ROJO			
↓	1	9.210	21.650	20.470
	2	9.450	22.240	20.990
	3	9.700	22.830	21.570
	4	9.950	23.440	22.150
	5	10.210	24.050	22.740
	6	10.460	24.670	23.330
	7	10.720	25.300	23.930
	8	10.990	25.930	24.550
	9	11.250	26.580	25.160
	10	11.530	27.230	25.790
	11	11.800	27.890	26.420
	12	12.090	28.560	27.070
	13	12.360	29.240	27.710
	14	12.640	29.920	28.370
	15	12.930	30.610	29.040
	16	13.220	31.310	29.710
	17	13.510	32.020	30.390



P.M.



18	13.200	32.740	31.080
19	14.100	33.460	31.780
20	14.400	34.190	32.480

$\lambda$  nm

	525	530	535	540
MATRIZ DE VERDE				
1	6.059	8.146	9.058	5.119
2	6.201	8.449	9.394	5.320
3	6.405	8.757	9.738	5.526
4	6.714	9.070	10.084	5.737
5	6.977	9.389	10.433	5.954
6	7.151	9.713	10.799	6.177
7	7.327	10.042	11.166	6.405
8	7.674	10.377	11.539	6.578
9	7.877	10.717	11.918	6.875
10	8.109	11.062	12.304	7.117
11	8.374	11.413	12.696	7.362

P.M.



	455	460	465
MATRIZ DE AZUL			
1	.649	.795	.640
2	.685	.840	.675
3	.723	.887	.712
4	.761	.935	.750
5	.801	.985	.798
6	.841	1.036	.838
7	.882	1.088	.889
8	.925	1.141	.911
9	.968	1.196	.953
10	1.013	1.252	.997
11	1.058	1.310	1.042
12	1.105	1.368	1.088
13	1.153	1.428	1.134
14	1.201	1.489	1.182
15	1.251	1.552	1.231
16	1.301	1.615	1.281
17	1.353	1.680	1.331

$\lambda$  nm



P.M.



18	1.405	1.746	1.383
19	1.459	1.813	1.436
20	1.514	1.882	1.489
21	1.569	1.952	1.544
22	1.625	2.022	1.599
23	1.683	2.095	1.656
24	1.742	2.168	1.713
25	1.802	2.242	1.772
26	1.826	2.316	1.832
27	1.924	2.395	1.892
28	1.996	2.473	1.954
29	2.050	2.552	2.016
30	2.115	2.633	2.080
31	2.180	2.715	2.144
32	2.247	2.798	2.210
33	2.315	2.882	2.277
34	2.383	2.967	2.345
35	2.453	3.054	2.414
36	2.524	3.142	2.484

$\lambda$  nm



C.M.E. ESTIMULO REFERENCIA VERDE E. JIMENEZ

	645	650	655	$\lambda$ nm.
P.M. ↓	MATRIZ DE ROJO			
	1   17.870	42.650	40.850	
	2 18.200	43.460	41.670	
	3 18.530	44.260	42.500	
	4 18.860	45.080	43.340	
	5 19.200	45.890	44.190	
	6 19.540	46.720	45.060	
	7 19.870	47.540	45.930	
	8 20.220	48.370	46.820	
	9 20.560	49.200	47.730	
	10 20.900	50.030	48.640	
	11 21.250	50.870	49.570	

P.M.  
↓

	525	530	535	540	$\lambda$ nm
MATRIZ DE VERDE					
1	7.185	9.713	10.799	6.177	
2	7.394	10.042	11.165	6.405	
3	7.634	10.377	11.539	6.638	
4	7.875	10.717	11.928	6.875	
5	8.122	11.062	12.304	7.117	
6	8.374	11.413	12.696	7.362	
7	8.631	11.768	13.094	7.611	
8	8.894	12.129	13.499	7.862	
9	9.167	12.494	13.910	8.115	
10	9.457	12.865	14.327	8.369	
11	9.731	13.240	14.751	8.623	



P.M.



MATRIZ DE AZUL

455

460

465

$\lambda$  nm



1	1.058	1.310	1.042
2	1.105	1.368	1.088
3	1.153	1.428	1.134
4	1.201	1.489	1.182
5	1.251	1.552	1.231
6	1.301	1.615	1.281
7	1.353	1.680	1.331
8	1.405	1.746	1.383
9	1.459	1.813	1.436
10	1.514	1.882	1.489
11	1.569	1.952	1.544
12	1.625	2.022	1.529
13	1.643	2.095	1.656
14	1.742	2.168	1.713
15	1.802	2.242	1.772
16	1.862	2.318	1.832
17	1.924	2.395	1.892



P.M.  
↓

$\lambda$  nm  
→

18	1.986	2.473	1.954
19	2.050	2.552	2.016
20	2.115	2.633	2.080
21	2.180	2.715	2.144



C.M.T. ESTIMULO REFERENCIA VERDE AMPOS OBSERVADORES

Posiciones del mando

$\lambda_{nm}$	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
MATRIZ DE VERDE	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000
	.0000	.0100	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000
	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000
	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000
	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000
450	.0260	.0170	.0280	.0250	.0310	.0370	.0330	.0350	.0360	.0370	.0390	.0400	.0410	.0430	.0440	.0000	.0000	.0000	.0000
	.0400	.0420	.0440	.0470	.0490	.0510	.0530	.0550	.0570	.0590	.0510	.0640	.0560	.0680	.0700	.0000	.0000	.0000	.0000
	.0720	.0750	.0780	.0800	.0820	.0870	.0980	.1030	.1070	.1110	.1140	.1170	.1200	.1220	.1240	.0000	.0000	.0000	.0000
	.2030	.2170	.2230	.2330	.2430	.2570	.2630	.2740	.2840	.2950	.3060	.3170	.3280	.3390	.3500	.0000	.0000	.0000	.0000
	.4050	.4250	.4450	.4650	.4850	.5050	.5260	.5470	.5680	.5900	.6110	.6330	.6550	.6770	.6990	.0000	.0000	.0000	.0000
500	.6880	.7220	.7560	.7910	.8250	.8600	.8950	.9300	.9650	1.0030	1.0390	1.0750	1.1100	1.1400	1.1800	.0000	.0000	.0000	.0000
	1.0520	1.1040	1.1570	1.2090	1.2620	1.3150	1.3680	1.4210	1.4740	1.5270	1.5800	1.6330	1.6860	1.7390	1.7920	.0000	.0000	.0000	.0000
	1.8030	1.8770	1.9510	2.0250	2.1000	2.1740	2.2480	2.3220	2.3960	2.4700	2.5440	2.6180	2.6920	2.7660	2.8400	.0000	.0000	.0000	.0000
	1.7620	1.8770	1.9580	2.0470	2.1360	2.2250	2.3140	2.4030	2.4920	2.5810	2.6700	2.7590	2.8480	2.9370	3.0260	.0000	.0000	.0000	.0000
	2.0340	2.1350	2.2360	2.3370	2.4380	2.5390	2.6400	2.7410	2.8420	2.9430	3.0440	3.1450	3.2460	3.3470	3.4480	.0000	.0000	.0000	.0000
550	2.2260	2.3350	2.4440	2.5530	2.6620	2.7710	2.8800	2.9890	3.0980	3.2070	3.3160	3.4250	3.5340	3.6430	3.7520	.0000	.0000	.0000	.0000
	2.2060	2.3160	2.4260	2.5360	2.6460	2.7560	2.8660	2.9760	3.0860	3.1960	3.3060	3.4160	3.5260	3.6360	3.7460	.0000	.0000	.0000	.0000







C.M.T. ESTIMULO REFERENCIA AN-NA AMPOS OBSERVADORES

Posiciones del mando

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
MATRIZ DE POJO	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000
λmm.	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000
600	.1170	.1200	.1230	.1270	.1300	.1370	.1360	.1320	.1420	.1460	.1490	.1520	.1560	.1590	.1620	.1660	.1700	.1730	.1770	.0000
	.2240	.2310	.2370	.2440	.2510	.2580	.2650	.2720	.2790	.2860	.2930	.3000	.3080	.3150	.3220	.3290	.3360	.3440	.3510	.0000
	.6630	.6630	.7230	.7220	.7430	.7670	.7830	.8044	.8250	.8450	.8660	.8880	.9090	.9300	.9520	.9770	.9940	.0160	.0370	.0000
	1.76201	.81402	.96601	.91001	.27302	.27002	.09207	.13702	.19302	.24902	.20502	.36202	.41902	.47602	.53302	.59002	.64702	.70402	.7610	.0000
	3.14307	.23302	.27607	.42203	.71603	.61203	.70803	.80607	.90404	.10204	.10204	.20104	.30204	.40304	.50404	.60504	.70604	.80804	.9100	.0000
650	4.42304	.55303	.53704	.82204	.76005	.09005	.22607	.35305	.50105	.64005	.78005	.92106	.06206	.20306	.34506	.48906	.63006	.77006	.9160	.0000
	5.74105	.18905	.33805	.48905	.64005	.79705	.94707	.10305	.25006	.41706	.57606	.73906	.89607	.05707	.21307	.38107	.54307	.70707	.8680	.0000
	5.11805	.26905	.41905	.57205	.72705	.88306	.04007	.19505	.35906	.52006	.68206	.84407	.00807	.17207	.33707	.50207	.66807	.83707	.9990	.0000
	5.19205	.23105	.38105	.53705	.69605	.84105	.99007	.15506	.31406	.47306	.63406	.79606	.95907	.12107	.28507	.44207	.61307	.77707	.9410	.0000
	4.25705	.10305	.25005	.39805	.54805	.69905	.85107	.00507	.15906	.31506	.47206	.63006	.78906	.94707	.10707	.26707	.42707	.58907	.7490	.0000
700	4.77804	.91805	.76005	.20305	.74705	.49705	.84005	.78805	.93006	.08906	.23906	.39206	.54506	.69906	.85207	.00907	.16107	.31507	.4700	.0000
	4.77804	.91805	.76005	.20305	.74705	.49705	.84005	.78805	.93006	.08906	.23906	.39206	.54506	.69906	.85207	.00907	.16107	.31507	.4700	.0000
	4.77804	.91805	.76005	.20305	.74705	.49705	.84005	.78805	.93006	.08906	.23906	.39206	.54506	.69906	.85207	.00907	.16107	.31507	.4700	.0000
	4.77804	.91805	.76005	.20305	.74705	.49705	.84005	.78805	.93006	.08906	.23906	.39206	.54506	.69906	.85207	.00907	.16107	.31507	.4700	.0000





.3330 .4270 .4863 .5347 .5820 .6310 .6810 .7300 .7790 .8000 .8000 .8000 .8000 .8000 .8000 .8000 .8000 .8000 .8000 .8000

.3380 .3777 .4183 .4590 .5000 .5420 .5850 .6270 .6700 .8000 .8000 .8000 .8000 .8000 .8000 .8000 .8000 .8000 .8000 .8000

.2790 .3020 .3347 .3670 .4000 .4340 .4680 .5020 .5360 .8000 .8000 .8000 .8000 .8000 .8000 .8000 .8000 .8000 .8000 .8000

600

.2980 .2220 .2577 .2827 .3170 .3370 .3590 .3850 .4110 .8000 .8000 .8000 .8000 .8000 .8000 .8000 .8000 .8000 .8000 .8000

.1870 .1757 .1947 .2137 .2330 .2520 .2720 .2920 .3110 .8000 .8000 .8000 .8000 .8000 .8000 .8000 .8000 .8000 .8000 .8000

.1120 .1257 .1390 .1527 .1660 .1790 .1930 .2060 .2220 .8000 .8000 .8000 .8000 .8000 .8000 .8000 .8000 .8000 .8000 .8000

.0930 .1040 .1157 .1267 .1370 .1490 .1600 .1720 .1840 .8000 .8000 .8000 .8000 .8000 .8000 .8000 .8000 .8000 .8000 .8000

.0740 .0820 .0910 .1000 .1090 .1180 .1270 .1360 .1450 .8000 .8000 .8000 .8000 .8000 .8000 .8000 .8000 .8000 .8000 .8000

650

.0970 .0970 .0950 .1010 .1070 .1140 .1190 .1240 .8000 .8000 .8000 .8000 .8000 .8000 .8000 .8000 .8000 .8000 .8000 .8000

.0440 .0500 .0560 .0620 .0690 .0750 .0810 .0870 .0930 .8000 .8000 .8000 .8000 .8000 .8000 .8000 .8000 .8000 .8000 .8000

.0760 .0410 .0450 .0490 .0540 .0580 .0630 .0670 .0720 .8000 .8000 .8000 .8000 .8000 .8000 .8000 .8000 .8000 .8000 .8000

.0730 .0757 .0770 .0780 .0790 .0810 .0820 .0830 .0840 .8000 .8000 .8000 .8000 .8000 .8000 .8000 .8000 .8000 .8000 .8000

.0730 .0757 .0770 .0780 .0790 .0810 .0820 .0830 .0840 .8000 .8000 .8000 .8000 .8000 .8000 .8000 .8000 .8000 .8000 .8000

700

.0130 .0117 .0130 .0140 .0150 .0160 .0170 .0190 .0200 .8000 .8000 .8000 .8000 .8000 .8000 .8000 .8000 .8000 .8000 .8000

.0530 .0507 .0500 .0500 .0500 .0500 .0500 .0500 .0500 .8000 .8000 .8000 .8000 .8000 .8000 .8000 .8000 .8000 .8000 .8000

.0530 .0507 .0500 .0500 .0500 .0500 .0500 .0500 .0500 .8000 .8000 .8000 .8000 .8000 .8000 .8000 .8000 .8000 .8000 .8000

.0530 .0507 .0500 .0500 .0500 .0500 .0500 .0500 .0500 .8000 .8000 .8000 .8000 .8000 .8000 .8000 .8000 .8000 .8000 .8000



1. G. W. G. ... 1971

2. ... 1972

3. ... 1973

4. ... 1974

5. ... 1975

B I B L I O G R A F I A

6. ... 1976

7. ... 1977

8. ... 1978



## BIBLIOGRAFIA

- 1.- Wyszecki, G. and Fielder, G.H., *J. Opt. Soc. Amer.*, 61, 1135, (1971).
- 2.- Crawford, B.H., *Proc. of the 'Helmholtz memorial Symposium on color metrics'*, Driebergen, A.I.C./Holland, c/o Inst. for Perception T.N.O., Goesterberg, C-6, 302, (1972)
- 3.- Parra, F., *Color 69*, G-9, 727, A.I.C. Munster-Schmitt, Goettingen, (1970).
- 4.- Le Grand, I., *Proc. of the 'Helmholtz memorial Symposium on color metrics'*, Driebergen, A.I.C./Holland, c/o Inst. for Perception T.N.O., Goesterberg, C-1, 257, (1972).
- 5.- Terstiege, H., *Bundesanstalt für Materialprüfung*, 1, (1969).
- 6.- MacAdam, D.L., *J. Opt. Soc. Amer.*, 32, n°5, (1942)
- 7.- MacAdam, D.L., *J. Opt. Soc. Amer.*, 33, 18, (1943)
- 8.- Brown, W.R., and MacAdam, D.L., *J. Opt. Soc. Amer.*, 39, 808, (1949).
- 9.- Sieberstein, L., and MacAdam, D.L., *J. Opt. Soc. Amer.*, 3, 364, (1945).

- 10.- Priest, I.G., and Brickwedde, F.G., *J. Opt. Soc. Amer.*,  
28, 133, (1938).
- 11.- Donaldson, R., *Proc. Phys. Soc.*, 47, 1068, (1935)
- 12.- Donaldson, R., *Proc. Phys. Soc.*, 59, 554, (1946)
- 14.- De Valois, L., *Color 69, A-1, 29, A.I.C. Munster-Schmitt,*  
Gottingen, (1970).
- 15.- Instruction Manual, No 24500 Reflectance Attachment,  
Beckman Instruments, Inc., Fullerton, Calif.
- 16.- MacLeod, I.A., *J. Opt. Soc. Amer.*, 64, 92, (1964)
- 17.- Witsel, R.F. and Buruham, R.W., *J. Opt. Soc. Amer.* 63,  
615, (1973)
- 18.- Wyszecki, G., *J. Opt. Soc. Amer.*, 62, 117, (1972)
- 19.- Cruz, A. y Alvarez-Claro, M., *Optica Pura y Aplicada*, 6,  
3, (1973)
- 20.- Wyszecki, G. and Stiles, *Color Science*, Ed. J. Wiley, 1967
- 21.- Le Grand, I., *Optique Physiologique (II)*, Ed. Masson & Cie  
1972
- 22.- Bergmans, I.J., *La visión de los colores*, Biblioteca Técnica  
Phillips, (1960)
- 23.- Ishihara, S., *Test for colour blindness*, Kanehara Shuppau  
Co. Ltd., (1973)



- 24.- Keitz,H.A.E.,*Light calculation and measurements*,Phil-lips T. Library,(1955)
- 25.- Kuppers,H.,*Color*,Ed. Lectura,(1973)
- 26.- Cohu,M.,*Sources Lumineuses*,Ed. Masson & Cie,(1961)
- 27.- Wesley,W.M. and Hecht,H.G.,*Reflectance Spectroscopy*,Interscience Publ.,(1966)
- 28.- Judd,D.B.,*Problemas actuales del color*, C.S.I.C.(1954)
- 29.- Photomultiplier Tubes,Phillips Data Handbook,(1968)
- 30.- Vocabulario Internacional de Iluminación,Publicación C.I.E. n°17 (1970)
- 31.- Lipschutz,S.,*General Topology*,Shaum Publ.Co. (1965)
- 32.- Zamansky,M.,*Introducción al álgebra y análisis moderno*,Montaner y Simon,(1967)
- 33.- Kanfman,Ll.,*Sight and Mind*,Oxford Univ.Press (1974)
- 34.- Menger,B.,*Studies in Geometry*,Freeman&Co (1970)
- 35.- Makowski,A.,*Color 69,C-11,343*,A.I.C. Munster-Schmitt,Gottingen, (1970)