

CENTRO DE INVESTIGACION Y MUSEO DE ALTAMIRA

MONOGRAFIAS

N.º 9

**ESTUDIOS FISICO-QUIMICOS
SOBRE LA
CUEVA DE ALTAMIRA**



MINISTERIO DE CULTURA
DIRECCION GENERAL DE BELLAS ARTES Y ARCHIVOS

MADRID, 1983

ESTUDIOS FISICO-QUIMICOS
SOBRE LA
CUEVA DE ALTAMIRA

CENTRO DE INVESTIGACION Y MUSEO DE ALTAMIRA

MONOGRAFIAS

N.º 9

**ESTUDIOS FISICO-QUIMICOS
SOBRE LA
CUEVA DE ALTAMIRA**

**DEPARTAMENTO DE FISICA FUNDAMENTAL
FACULTAD DE CIENCIAS
UNIVERSIDAD DE SANTANDER**

**MINISTERIO DE CULTURA
DIRECCION GENERAL DE BELLAS ARTES Y ARCHIVOS**

MADRID, 1983

Depósito Legal: M. 20873-1983
I.S.B.N.: 84-7483-306-X
Artegraf. Sebastián Gómez, 5. Madrid-26

INDICE

Caracterización cromática del techo policromado de la sala de pinturas de la cueva de Altamira. E. Villar, P.L. Fernández, L.S. Quindós, J.R. Solana, J. Soto	7
Evolución del color de la cierva pintada en la cueva de Altamira. E. Villar, P.L. Fernández, L. Plaza, L.S. Quindós, J.R. Solana, J. Soto	27
Flujos de materia en la cueva de Altamira. E. Villar, P.L. Fernández, L.S. Quindós, J.R. Solana, J. Soto	45
El campo de temperaturas en la cueva de Altamira. E. Villar, P.L. Fernández, L.S. Quindós, J.R. Solana, J. Soto	67

«EVOLUCION DEL COLOR DE LA CIERVA PINTADA EN LA CUEVA DE ALTAMIRA»

E. Villar; P.L. Fernández; L. Plaza*; L.S. Quindós; J.R. Solana y J. Soto**

(*) Instituto de Optica «Danza del Valdés» del C.S.I.C.

(**) Departamento de Física Fundamental. Facultad de Ciencias. Universidad de Santander.

INTRODUCCION

En el proyecto que se elaboró para la conservación de las pinturas de Altamira (1), se contemplaba la medida de las características cromáticas de diversos puntos de las superficies policromadas, tanto en el primero como en el segundo ciclo de medidas. Parece evidente que la caracterización cromática de las superficies pintadas es, en principio, el medio idóneo para estudiar los posibles deterioros que pueden tener lugar en ellas. Debido a que el color es un dato sensible, su apreciación visual puede dar lugar ya a una primera idea acerca del estado de las superficies pintadas. Así, en el caso particular de la cueva de Altamira, la posible decoloración parcial del cuello y cabeza de la figura de la cierva, visible a primera vista por la diferente intensidad que presenta su color a ambos lados de la grieta que cruza su cuerpo, fue el motivo de alarma que indujo a crear en enero de 1976 una Comisión Investigadora para determinar el estado de conservación de las pinturas y proponer posibles medidas a adoptar. Por petición de esta Comisión la entrada del público a la Cueva se limitó fuertemente en el verano de 1976 y se eliminó por completo hasta junio de 1977. Resulta evidente que la medida del color de las pinturas debe ser uno de los métodos para detectar la evolución de estas en el tiempo.

Uno de nosotros, miembro de aquella Comisión, tuvo ocasión de realizar medidas del color de las pinturas en abril de 1976 y abril de 1977 sobre unos mismos puntos de la Cierva (2). El equipo actualmente encargado de las Investigaciones de las Cuevas disponiendo de un instrumento mucho más perfeccionado para la medida del color, ha preparado un plan para la realización sistemática de estas medidas en diversos puntos del techo policromado.

En las primeras medidas realizadas, a finales de enero de 1981, se empleó simultáneamente el instrumento usado en las medidas de 1976 y 1977 con el propósito de poder enlazar y relacionar los resultados obtenidos con los dos instrumentos.

En este trabajo, se presentan los resultados obtenidos en estas medidas para una serie de puntos de la Cierva, así como su relación con los obtenidos en 1976 y 1977 y un análisis e interpretación de los mismos.

ESPECIFICACION Y MEDIDA DEL COLOR

Los problemas de la especificación del color pueden verse en los tratados generales del Color (3). La normativa española a este respecto se contiene en las normas UNE 72.003 y 004 para el color físico; UNE 72.033, 034 y 035 para el color psicofísico y UNE 72.036 para las diferencias de color (4).

Recordemos solamente aquí que:

a) El color físico de un estímulo luminoso se especifica mediante los 40 componentes monocromáticos de la radiancia del estímulo:

$$L_{\lambda}(1), L_{\lambda}(2), \dots, L_{\lambda}(i), \dots, L_{\lambda}(40) \quad (1)$$

siendo $\lambda = 370 + 10i$ la longitud de onda media de cada componente.

b) El color físico de un material, para unas determinadas condiciones e irradiación y observación, puede especificarse por los 40 componentes monocromáticos del *factor de radiancia* correspondiente a dichas condiciones:

$$\beta_{\lambda}(i) \quad (i = 1 \text{ a } 40) \quad (2)$$

c) El color psicofísico de un estímulo luminoso (percibido por un observador patrón que en nuestro caso es el UNE-3, coincidente en la responsividad espectral con el CIE 1931, por subtender los estímulos menos de 4º) se especifica por: la claridad métrica, el croma métrico y el tono métrico.

$$L^*, C^*, H^* \quad (3)$$

d) Estas tres magnitudes se obtienen a partir de las fórmulas:

$$L^* = 116 (F_2 - 0,1379)$$

$$C^* = \sqrt{a^{*2} + b^{*2}} \quad (4)$$

$$H^* = \text{arc. tg} (b^*/a^*)$$

donde:

$$(5) \quad a^* = 500 (F_1 - F_2)$$

$$b^* = 200 (F_2 - F_3)$$

y

$$F_i = G_i^{1/3} \text{ si } G_i > 0,008856 \quad (6)$$

o

$$F_i = 7.787 G_i + 0,1379 \text{ si } G_i \leq 0,008856 \quad (7)$$

siendo

$$G_1 = X/X_n, G_2 = Y/Y_n, G_3 = Z/Z_n \quad (8)$$

X, Y, Z son los valores triestímulos del estímulo y X_n, Y_n, Z_n son los valores triestímulos del blanco.

e) Los valores triestímulos de un estímulo se calculan a partir de su color físico por las fórmulas:

$$X = \sum_{i=1}^{40} L_c(i) \cdot X(i)$$

$$Y = \sum_{i=1}^{40} L_c(i) \cdot Y(i)$$

$$Z = \sum_{i=1}^{40} L_c(i) \cdot Z(i)$$

donde X (i), Y (i), Z (i) son los componentes monocromáticos de la responsividad de cada uno de los tres detectores del observador UNE-3.

f) Se puede calcular el color físico (y por tanto el psicofísico) de la luz que emite un material en una dirección dada, cuando es irradiado, en condiciones geométricas dadas, por un iluminante de color conocido (especificado por los componentes monocromáticos E (i) de la irradiancia), si se conoce el color físico del material en el sentido del apartado b): $\beta(i)$ por la fórmula:

$$L(i) = \beta(i) \cdot E(i) / \pi \quad i = 1 \text{ a } 40 \quad (10)$$

lo que da idea del interés que tiene el poder conocer el color físico $\beta(i)$, de las pinturas del techo policromado de las Cuevas.

g) La diferencia de color entre dos estímulos (L^*_1, C^*_1, H^*_1) y (L^*_2, C^*_2, H^*_2) está dada por $D = (DL^{*2} + DC^{*2} + DH^{*2})$, es decir:

$$D = [(L^*_1 - L^*_2)^2 + (C^*_1 - C^*_2)^2 + 4 \cdot C^*_1 \cdot C^*_2 \cdot \text{sen}^2 [1/2 (H^*_1 - H^*_2)]]^{1/2} \quad (11)$$

DISPOSITIVOS EMPLEADOS EN LAS MEDIDAS

Dispositivos de irradiación

Se empleó el mismo que en los años 76 y 77; una sombrilla blanca de las usadas en los estudios de fotografía se colocaba abierta en el suelo y era fuertemente iluminada por un iluminador, también de fotografía, con lámpara de iodo-cuarzo de 1.000 W. Se procuró que la situación del iluminador y la sombrilla fuera parecida a la de las mediciones anteriores. Se obtiene así sobre la cierva una iluminación difusa que puede suponerse como bastante uniforme en toda la zona de medición. El color físico del iluminante que se obtuvo, ya que se midió al disponer una placa de blanco de barita bastante cerca del techo de la Cueva, resultó ser continuo y muy parecido al del radiador completo de 3250°K de temperatura de color.

Instrumentos de medida

Como ya se indicó en la introducción se utilizaron simultáneamente dos instrumentos: a) un colorímetro de tipo analógico ya empleado en las medidas de los años 76 y 77 y b) un espectralradiancímetro que actúa a la vez como colorímetro de tipo digital. Este nuevo instrumento es de la misma casa que el primero y se deriva de él, añadiéndole en la parte óptica un monocromador, perfeccionando los dispositivos electrónicos de toma de datos y empleando un pequeño ordenador, que por una parte sirve para que las sucesivas operaciones (en la realización de una medida) en el instrumento se efectúen sin fallo, y por otra para elaborar los datos recogidos, suministrando los resultados deseados en una impresora y en un plotter.

Por tanto, ambos aparatos tienen unas partes fundamentales comunes que son:

a) Objetivo con lentes de alta resolución y posibilidad de enfoque desde 1,22 m a infinito. Forma la imagen de la escena sobre el segundo elemento b).

b) Espejo portador de aperturas. Lleva en él 5 aperturas que se pueden situar alternativamente, al girarlo, en el eje óptico del objetivo. Estas aperturas definen el campo de medida, ya que por ella pasa la luz hacia el detector. Los campos son circulares de 2', 6' y 20', 1º y 3º. El resto de la imagen es enviada por el espejo hacia un visor que permite al experimentador ver la escena con una zona negra en el centro que corresponde a la superficie medida.

c) Disco 1, de filtros, que, mediante giro, interpone alternativamente en el haz de luz que va al detector filtros grises de transmitancia, que varía aproximadamente en décadas. Evidentemente existe en el disco una apertura libre para las medidas sin filtro.

d) Disco 2 que, mediante giro, puede situar en el eje óptico una fuente de luz luminiscente (para el calibrado al iniciar las medidas) y tres filtros con transmitancia espectral tal que, en combinación con la responsividad espectral del detector usado, tratan de imitar las responsividades espectrales de los detectores del observador CIE 1931.

e) Un detector muy sensible, de bajo ruido y especialmente seleccionado por su alta estabilidad, constituido por un fotomultiplicador del tipo S-20.

f) Un sistema electrónico de amplificación en varios pasos que da la respuesta del detector, con digitalización y visualización de aquella.

En el espectralradiancímetro existen además los siguientes elementos fundamentales:

g) Monocromador con un sistema óptico que permite que el haz de luz pase por él, a voluntad, sustituyendo a uno de los filtros del Disco 2. Se puede realizar un barrido entre 370 nm y 730 nm, pudiendo usarse anchuras de banda de 10,5 a 1 nm.

h) Sistema electrónico de control de monocromador, combinado con el de detector, que por una parte realiza el barrido en forma continua y por otra registra la longitud de onda media de la banda donde se realiza la lectura.

i) Microordenador con un programa especial, en el que se han recogido todas las correcciones a realizar según la posición de los discos o del mando de anchura de banda, y que además de elaborar

posteriormente las respuestas del detector, permite controlar sin fallo los sucesivos pasos en la preparación de la medida y realizar está automáticamente. Lleva una impresora incorporada.

Datos que se obtienen en las medidas con estos dispositivos

a) Con el colorímetro, en cada medida se obtienen 3 datos que se denominan P, R, y B (con el filtro fotópico, con el rojo y con el azul) de los cuales se pueden deducir, con cierta aproximación, los valores triestímulos del estímulo considerado, por las fórmulas:

$$X = a_{11}R + a_{12}B, Y = a_2P, Z = a_3B \quad (12)$$

donde a_{11} , a_{12} , a_2 y a_3 son constantes de calibración. Con esto en realidad lo que se define es un observador teórico que coincide exactamente con el patrón para el estímulo que se utilice en la calibración. Dará una respuesta suficientemente aproximada a la del patrón para estímulos que tengan colores físicos no muy diferentes del de calibración, pero puede dar respuestas bastante diferentes para otros estímulos. A partir de XYZ se obtienen L^* , C^* y H^* por las fórmulas (4) una vez dado el blanco X_n , Y_n , Z_n .

b) El espectralradiancímetro da directamente:

1. El color físico del estímulo luminoso $L_i(i)$, $i = 1$ a 36, (no da las 4 últimas componentes que no son de importancia en la gran mayoría de los casos), y

1. Los valores triestímulos X, Y, Z.

Si se le introduce en el ordenador el blanco puede dar inmediatamente L^* , C^* , H^* .

Si se trata de un estímulo luminoso que procede de una superficie material no luminosa por sí misma, y se hace otra medida disponiendo un difusor perfecto en su lugar (muy aproximado es disponer una placa de barita lo más cerca posible de la superficie material), se puede obtener inmediatamente el color físico de la superficie material:

$$\beta_i(i), i = 1 \text{ a } 36$$

Como antes faltan los cuatro últimos componentes, sin importancia en la mayoría de las aplicaciones (por ejemplo, en la industria textil generalmente no se usan las 7 últimas componentes, ni las 2 primeras).

Si después de realizada la medida de un estímulo luminoso 1 se realiza la de otro 2 puede dar inmediatamente la diferencia de color entre ambos: D (1, 2); la diferencia de claridad: DL^* (1-2); la diferencia de croma: DC^* (1-2) y la diferencia de tono: DH^* (1-2). El segundo color puede ser no medido, sino introducido numéricamente en el ordenador por L^* (2), C^* (2), H^* (2).

ZONAS DE LA CIERVA EN LAS QUE SE REALIZARON MEDIDAS

En la serie de medidas realizadas a finales de enero de 1981, aunque dentro del plan general, dado su carácter comparativo con medidas anteriores, se tomaron en la Cierva las mismas zonas que se habían medido en 1977 y en 7 de éstas también se tenían medidas en 1976. Por esta misma razón se usan en este trabajo, para especificar las zonas, los mismos números que se emplean en la publicación antes mencionada (2), aunque en trabajos posteriores se emplee una designación más lógica desde el punto de vista del plan general.

Estas zonas especificadas por los números 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 15, 18, 19 y 26 pueden verse en la figura 1.

Las zonas 1, 7 y 10 corresponden a la parte del cuerpo aparentemente no deteriorado, habiéndose tomado la 1 muy cerca de la grieta de separación con la parte deteriorada. La zona 2 está a la otra parte de la grieta y muy cerca. Las 8 y 9 también están en esta parte del cuerpo deteriorada. La zona 6 corresponde a la cabeza. Las zonas 15 y 26 son dos zonas muy cercanas del fondo situado por detrás de las patas delanteras. La zona 3 se encuentra en la parte posterior del cuerpo y las 4 y 5 en unas

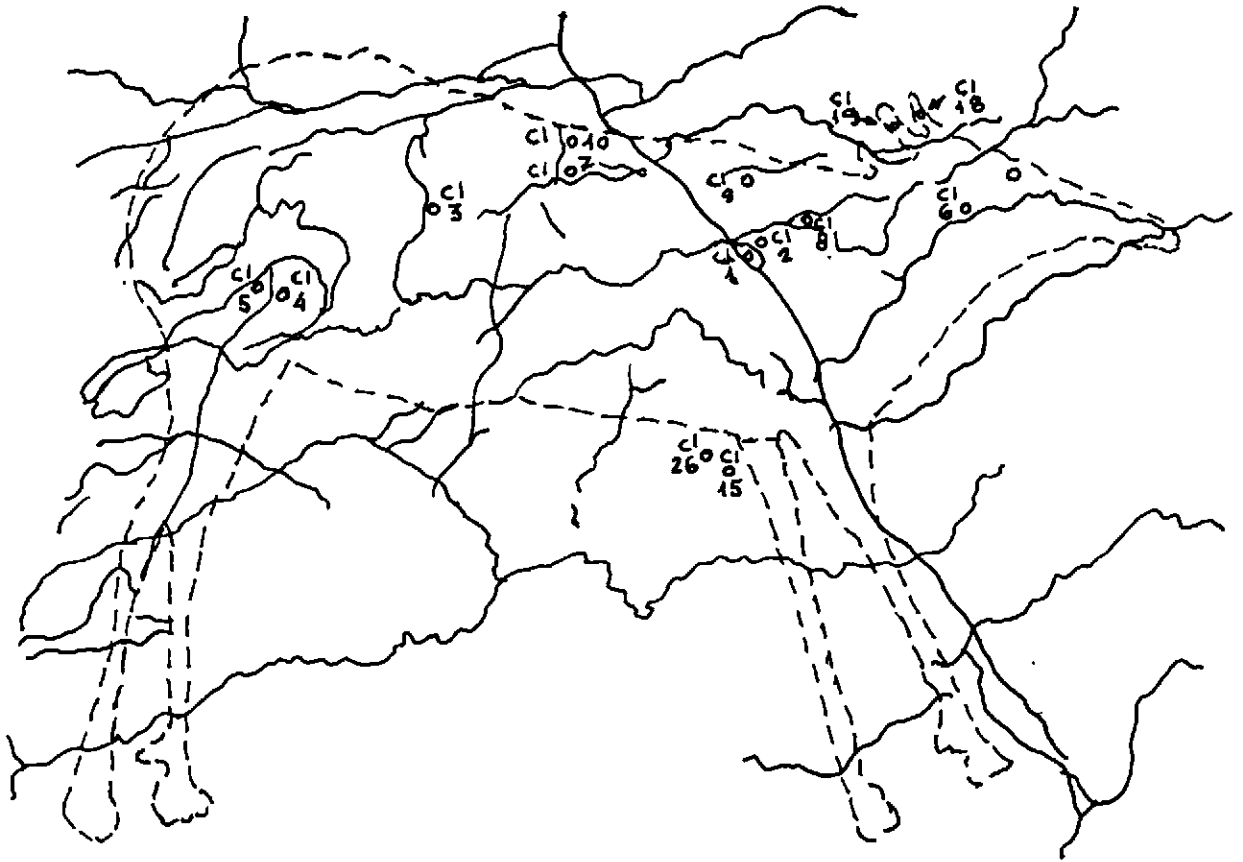


Figura 1.—Localización de las zonas de color medidas en la figura de la Cierva, (Enero, 1981).

manchas situadas en el arranque de las patas traseras. Las zonas 18 y 19 corresponden a las orejas y, finalmente, la 11 está situada en la mancha roja existente en la zona media de las patas traseras.

Es interesante hacer notar que, aunque se procuraba que los dos instrumentos apuntasen a la misma zona, la coincidencia exacta es casi imposible, dada las distintas posiciones de los dos aparatos para poder realizar la medida simultánea. Esto hace por otra parte que, aunque las condiciones de irradiación eran idénticas, las de observación variaban bastante en el ángulo acimutal y un poco en la vertical, que se procuraba estuviese cerca de los 45° por término medio. No obstante, dadas las características físicas de la superficie, bastante rugosa, no brillante, es de esperar que los estímulos correspondientes a las dos direcciones de observación fueran casi iguales.

Se usó siempre un campo de 20', que corresponde a un área sobre la superficie de la pintura de alrededor de los 40 mm², es decir, aproximadamente un círculo de 3,6 mm de radio, salvo en la zona 26 que se empleó un campo de 1°.

RESULTADOS OBTENIDOS

Color sicofísico de las zonas obtenido con el espectro-radiacímetro

Los colores sicofísicos se dan, mediante la especificación normalizada; claridad, croma y tono (L*, C*, H*), en la Tabla I. No se dan en orden numérico de la designación de la zona, sino en el orden que parece más lógico para la discusión e interpretación, y que coincide con el seguido en la descripción de las zonas del párrafo 4, anterior.

Se ha usado como blanco el estímulo correspondiente a la medida con el blanco de barita.

$$X_n=118,9 \quad Y_n=112,8 \quad Z_n=50,6$$

Color sicofísico de las zonas para el observador C2, introducido para el colorímetro

Se menciona en el título el observador, que es el que corresponde a las constantes (a_{11} , a_{12} , a_2 y a_3) usadas en la fórmula (12), para hacer resaltar que puede ser bastante diferente del obtenido con el instrumento anterior, para estímulos de color físico bastante diferente del usado para el calibrado. Se ha utilizado para éste un estímulo de color físico intermedio entre los correspondientes a las zonas 1 y 2 ya que eran las que más interesaban.

Sin embargo para el blanco que es un estímulo de color físico muy diferente, se ha realizado el calibrado directo haciendo coincidir los valores triestímulos que deben resultar de las fórmulas (12) con los obtenidos simultáneamente con el espectrorradiancímetro, definiendo así el observador C3 que para estímulos blancos, luz incandescente, responde como el UNE-3.

El valor de las constantes para ambos casos se da en el cuadro siguiente:

	C1	C2	C3
a_{11}	2,593	2,670	2,828
a_{12}	0,153	0,207	0,188
a_2	1,005	1,050	1,007
a_3	0,753	1,020	0,927

Donde puede apreciarse la variación no sólo entre ellos, sino también con los correspondientes al observador C1, usado en los años 76 y 77, cuando no teniendo la posibilidad de un calibrador directo, se usaron las constantes que para estímulos medios se venían empleando hasta entonces.

Los resultados se dan en la Tabla II, en el mismo orden que en la Tabla I. Se añade una columna con la diferencia de color entre cada zona y la correspondiente medida con el espectrorradiancímetro.

Color físico de las superficies materiales de las zonas de medidas

Aunque se tienen los 36 valores de $\beta_i(i)$ para cada una de las zonas, no vamos a darlos aquí en forma de tablas. Se aprecian mucho mejor las similitudes y variaciones en la especificación gráfica que se da en las figuras 2 y 3.

En la figura 2 se dan solamente los colores físicos de las zonas 1, 2, 6, 7, 8, 9 y 10 por una parte, para poder usar una escala doble de la ordenada y así poder diferenciar unos colores de otros. Se han añadido también las zonas 18 y 19 que por corresponder a estímulos muy oscuros, les conviene una representación a esta escala y por otra parte no estorban a las demás.

En la figura 3, se dan los estímulos 3, 5, 11, 15 y 26 y se vuelven a repetir 7, 9 y 18 como representantes de los 3 grupos de la figura 3 y el 6 como estímulo especial. No se da el 4 por ser similar al grupo de 7 de 550 hacia arriba y al 6 de 550 hacia abajo.

ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS

Comparación de los instrumentos

Del examen de la última columna de la Tabla II, que da la diferencia de color entre los resultados obtenidos con los dos instrumentos, se saca la conclusión de que para el grupo de estímulos con color físico parecido que son los 7 primeros, los resultados son muy coincidentes ya que la mayor diferencia de color es de 3,8 para la zona 9; la mayor diferencia de claridad es 1,1 para las zonas 7 y 8; la mayor diferencia de croma es de 2,4 para la zona 10 y la mayor diferencia de tono es de 3,7 para la zona 9. Esto nos indica una incertidumbre aleatoria bastante pequeña para ambos instrumentos, ya que al estar en distinta posición los estímulos reales podían diferir un poco para algunas sumas.

TABLA I

Especificación del color obtenida con espectroradiómetro.

<u>Zona</u>	<u>L</u>	<u>C</u>	<u>H</u>
1	51.2	33.8	63.2
7	51.1	36.0	58.7
10	49.6	34.0	60.2
2	58.1	28.2	60.9
8	56.1	30.6	60.7
9	58.7	27.4	57.8
6	51.2	29.5	67.3
15	74.2	43.7	68.8
26	74.0	40.8	71.1
3	44.7	28.4	48.0
4	51.0	30.8	58.7
5	72.5	22.2	64.2
18	26.6	22.2	43.5
19	31.3	24.3	67.4
11	53.6	47.3	46.0

TABLA II

Especificación del color obtenida con el colorímetro y diferencia con la obtenida con el espectroradiómetro.

<u>Zona</u>	<u>L</u>	<u>C</u>	<u>H</u>	<u>D (E-C)</u>
1	51.8	33.3	63.1	0.8
7	50.0	35.0	57.4	2.0
10	48.9	32.6	60.6	2.5
2	57.7	28.5	60.7	0.4
8	57.2	31.2	59.3	1.9
9	58.3	26.8	61.5	3.8
6	51.9	29.7	65.8	1.6
15	74.5	37.6	71.5	6.7
26	77.1	36.8	72.7	5.3
3	44.4	27.6	46.4	1.8
4	52.7	29.4	57.8	2.4
5	74.5	16.7	64.0	5.8
18	27.3	21.5	39.6	4.0
19	33.1	23.1	67.4	2.2
11	54.7	45.8	41.6	4.8

Si se toman para cada instrumento las medias de los tres primeros estímulos 1, 7 y 10 (representantes de la parte supuestamente no deteriorada) y llamamos A al color resultante y la media de los tres siguientes 2, 8, 9 (representantes de la parte supuestamente deteriorada) y llamamos B al color resultante, obtenemos el siguiente cuadro.

	<u>L*</u>	<u>C*</u>	<u>H*</u>	<u>D(AE-AC)</u>
Color A con espectroradiómetro	50,6	34,6	60,7	1.1
Color A con colorímetro	50,2	33,6	60,4	
Color B con espectroradiómetro	57,6	28,7	59,8	0.7
Color B con colorímetro	57,7	28,8	60,5	

con una buena coincidencia.

Aún añadiendo al segundo grupo la zona 6, por estar también en la zona deteriorada, y llamada C a este color medio, se obtiene

	<u>L*</u>	<u>C*</u>	<u>H*</u>	<u>D(CE-CC)</u>
Color C con E R	56.1	28.9	61.7	0.2
Color C con C R	56.3	29.0	61.8	

con una coincidencia también casi perfecta.

Sin embargo, para los otros estímulos las diferencias que se obtienen son en algunos casos bastante grandes, hasta de 6 unidades en la diferencia de croma y 6,7 en la diferencia de color, lo que nos confirma que el colorímetro es un instrumento que precisa un calibrado especial para cada tipo de color físico de los estímulos.

En la figura 4, que representa una parte ampliada del correspondiente diagrama de cromacidad, se han dibujado los puntos correspondientes a la cromacidad (tono y croma) de cada zona (encerrados en un círculo los puntos referentes al espectrorradiómetro). Puede verse muy claramente lo anteriormente deducido.

Diferencia de color entre las partes más o menos afectadas de la grieta y de estas con el fondo

Del análisis anterior se concluye que es posible tomar el color A como representante de la zona izquierda de la grieta y el color B, o el C, como representante de la zona derecha de la grieta (según se considera el color C en lugar del B), y se ve que prácticamente no existe diferencia de tono y la diferencias son las siguientes:

<u>ZONAS</u>	<u>D</u>	<u>DL*</u>	<u>DC*</u>	<u>DH*</u>
A-B	9,2	- 7	5,9	- 0,5
A-C	7,9	- 5,5	5,7	0,6
B-C	1,8	- 1,5	0,2	0,9

La diferencia de color entre ambos lados de la grieta es, pues, de 9,2 unidades (o de 8 si se considera el color C en lugar del B), y se ve que prácticamente no existe diferencia de tono y la contribución a la diferencia total de las diferencias de claridad y croma es muy similar.

Es interesante ver las diferencias de color entre estas zonas y la correspondiente al fondo (que designamos por F) para el que se toma como color la media entre los correspondientes a las zonas 15 y 26 (que por otra parte, como puede verse en la Tabla I, se diferencian muy poco entre sí):

L* = 74,1 C* = 42,2 DH* = 70,0

Resulta el siguiente cuadro:

<u>ZONAS</u>	<u>D</u>	<u>DL*</u>	<u>DC*</u>	<u>DH*</u>
F-A	25,5	23,5	7,6	6,2
F-B	22,2	16,5	13,5	6,2
F-C	22,9	18,0	13,3	5,0

Como era de esperar, la parte supuestamente más deteriorada, zonas B y C, se diferencian menos del fondo que la zona A, aunque ahora este incremento negativo de diferencia es solo de unas 3 unidades, pero es muy interesante el que la contribución a esta diferencia de la diferencia en croma sea casi tan importante como la contribución de la diferencia de claridad. Prácticamente es el doble en porcentaje de la contribución de la diferencia del croma en la zona A.

6.3 Relación entre los resultados obtenidos y los referentes a 1976 y 1977

El análisis del apartado 6.1 nos indica que las medidas del color de las mismas zonas en los tres años, 1976, 77 y 81, pueden interrelacionarse si se toman debidas precauciones en el calibrado y se

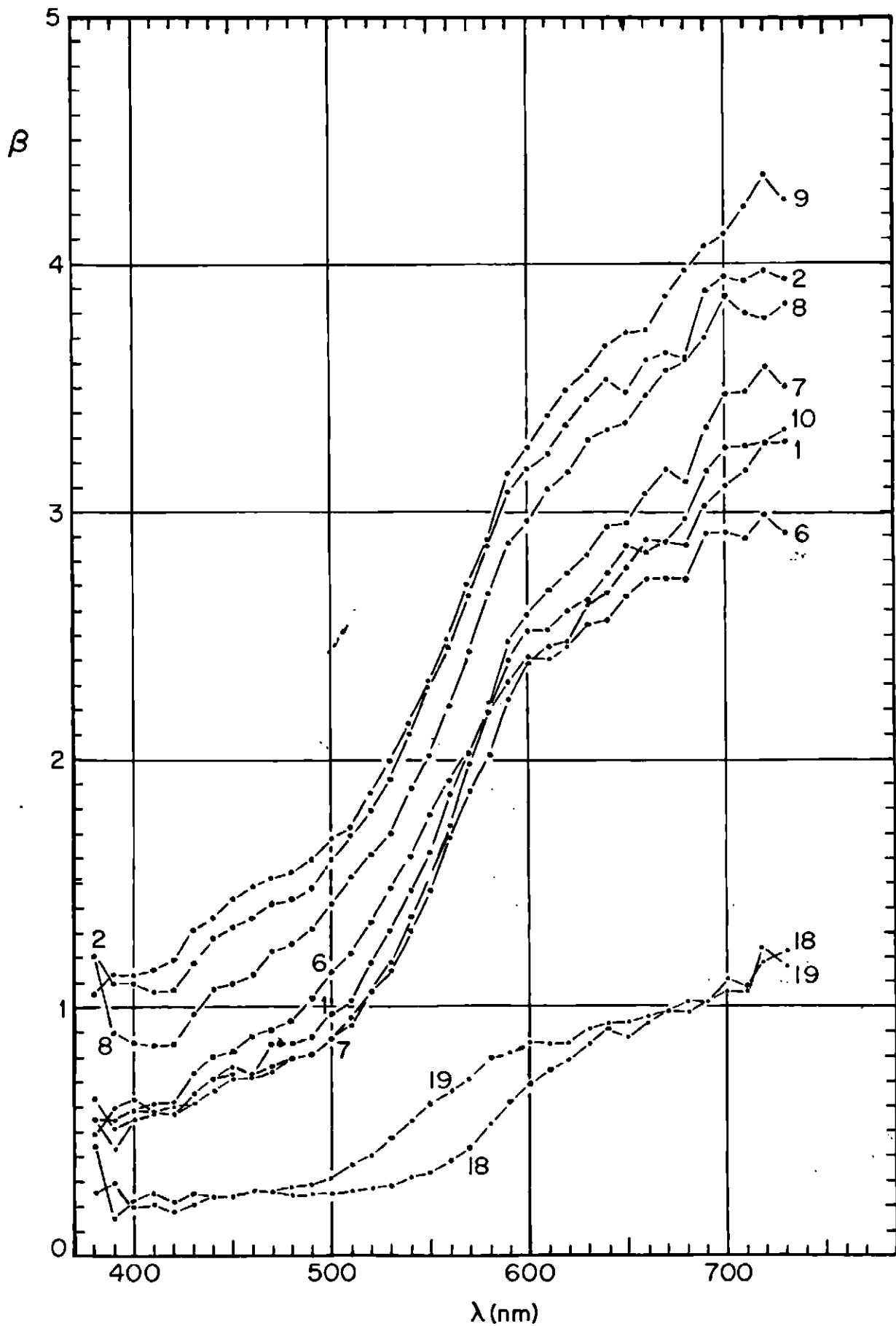


Figura 2.—Especificación gráfica de los colores físicos $\beta_c(\lambda)$ de las zonas que se indican.

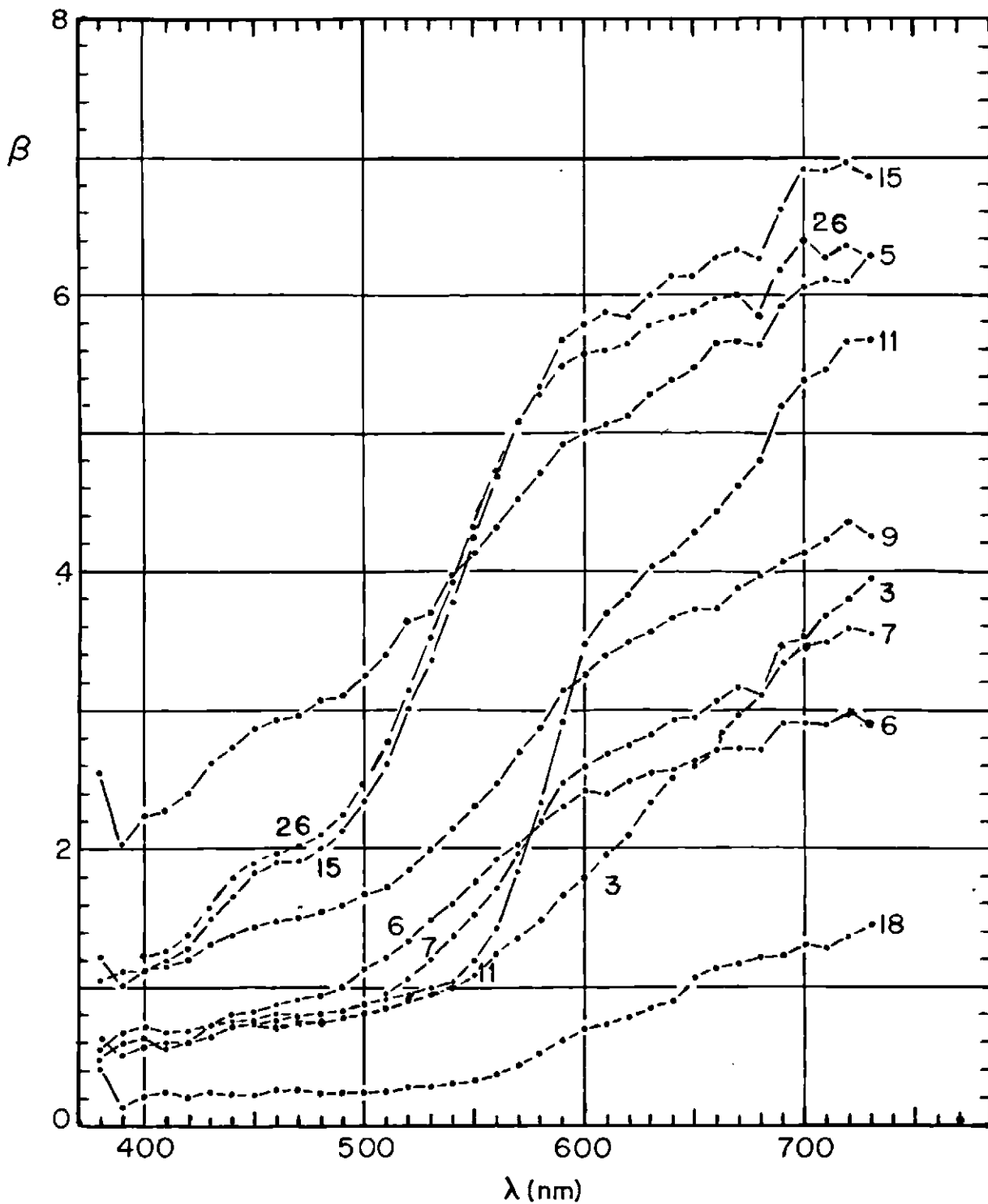


Figura 3.—Especificación gráfica de los colores físicos $\beta_c(\lambda)$ de las zonas que se indican.

realizan las correcciones correspondientes a los distintos iluminantes empleados en cada caso (la lámpara puede cambiar, el voltaje aplicado puede no ser el mismo y la posición de la sombrilla e iluminador no son repetibles con exactitud).

En todos los casos se hicieron medidas sobre el banco de barita pero la posición no era la misma, por ello como blanco se ha tomado en cada caso al definido por los valores triestímulos calculados multiplicados por el factor $Y_n(81)/Y_n$ para unificar el nivel de los blancos. Asimismo las lecturas P, R, y B del instrumento se multiplican en cada caso por un factor que se obtiene por $P_m(81)/P_m(A)$ donde P_m representa la media de los valores P correspondientes a las 7 primeras zonas (1, 2, 6, 7, 8, 9 y 10) y A puede ser 76 ó 77. Estos factores resultan ser:

$$\begin{aligned} Y_n(81)/Y(76) &= 0.6836 & Y_n(81)/Y_n(77) &= 0.8057 \\ P_m(81)/P(76) &= 0.5721 & P_m(81)/P_m(77) &= 0.9176 \end{aligned}$$

Con esto se unifican los niveles de iluminación llevándolos todos a coincidir con los del año 81.

Por otra parte se aplican ahora las nuevas constantes (a^{11} , a^{12} , a^2 , a^3) tanto en caso de los blancos como en el de los colores. Para los blancos se obtienen los siguientes valores y estímulos:

	<u>X_n</u>	<u>Y_n</u>	<u>Z_n</u>
B-76	122.1	112.8	55.3
B-77	121.2	112.8	53.6
B-81	118.9	112.8	50.6

Este último ya lo teníamos del punto 5.1, pero es interesante repetirlo junto a los otros, para ver la variación que ha habido en el iluminante empleado.

Aunque no es necesario damos a continuación el color de estos con el blanco correspondiente al iluminante equienergético de la misma claridad. Son los siguientes:

	<u>L^*</u>	<u>C^*</u>	<u>H^*</u>
B-76	100	44,4	72,4
B-77	100	45,6	74,6
B-81	100	47,7	79,3

Todos estos colores caen dentro de la especificación nominal amarillo-naranja medio. Las variaciones son en el sentido de aumentar el croma y ángulo de tono, siendo la más fuerte 77 y 81, probablemente debido a que se había cambiado de lámpara.

En las Tablas III y IV se dan las especificaciones de color obtenidas a partir de los datos de 1976 y 77, para las siete zonas que se midieron en los tres años, así como los colores medios A, B y C definidos en el apartado 6.1. Se añade una última columna donde se da la diferencia de color con el color en 1981 de la zona correspondiente. De la comparación de estas Tablas con la Tabla II y sobre todo, del examen de la figura 5, en la que se representan los puntos correspondientes a la cromacidad de estas zonas en los tres años, en una zona ampliada en el diagrama de cromacidad (en un recuadro interior se dibujan los puntos correspondientes a la claridad), se pueden deducir interesantes consecuencias.

Para facilitar el examen de la figura se han unido mediante líneas continuas los puntos correspondientes a una misma zona, de uno y otro lado de la grieta, formándose dos triángulos por cada año (en el caso de la zona de la derecha de la grieta para el año 81, el triángulo se convierte en una recta). Los centros de estos triángulos representan las cromacidades de las zonas imaginarias A y B, y se han unido, también con línea continua todos los A por una parte y los B por otra.

Se observa claramente un desplazamiento, al pasar los años, de estos triángulos (y de los puntos A y B correspondientes) en dos direcciones bastantes constantes y que parecen converger hacia una cromacidad muy cercana a la zona 7 en el año 81 y que podemos definir, en números redondos, por: $C^* = 40$, $H^* = 58$.

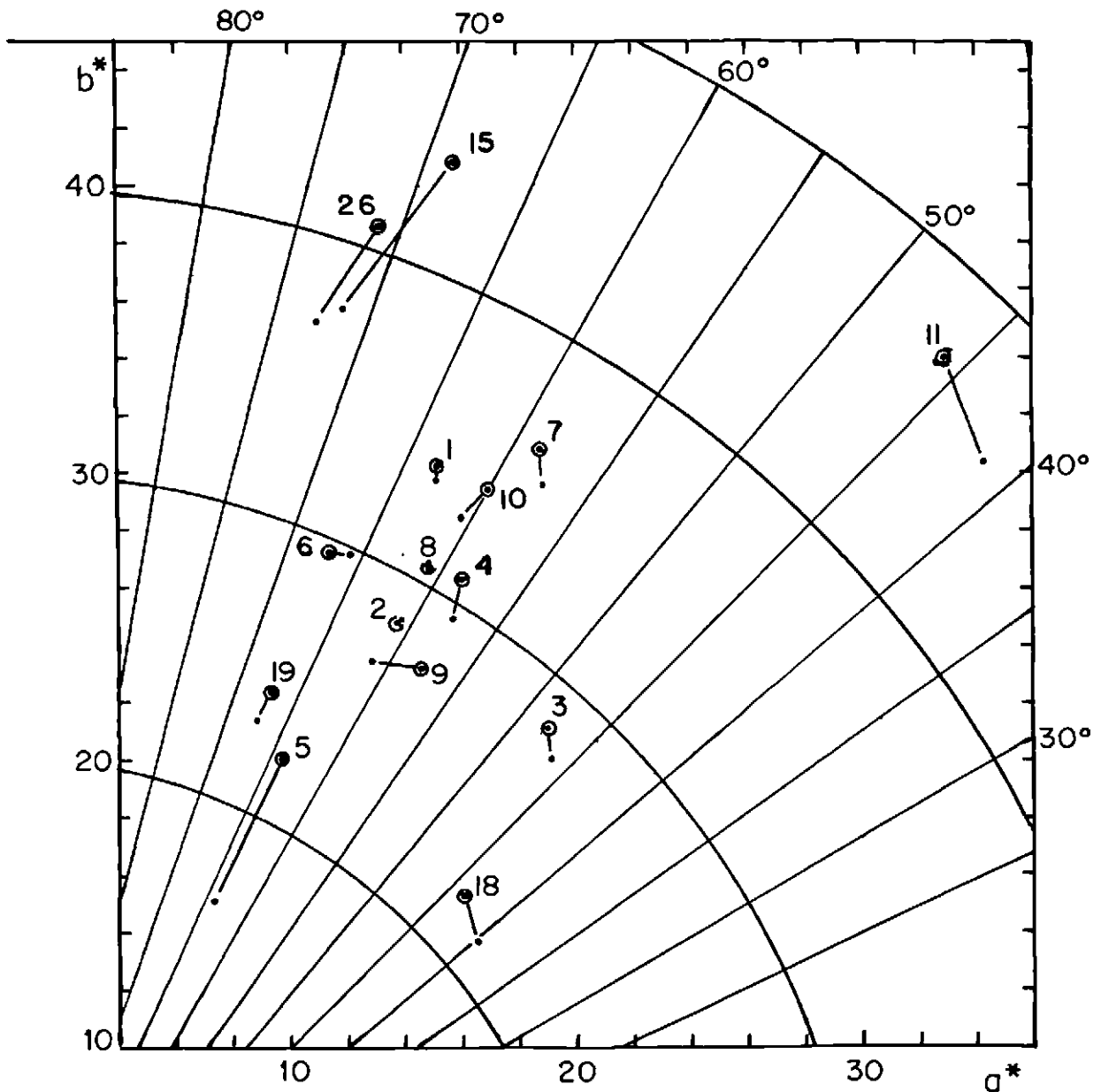


Figura 4.—Coordenadas de cromacidad de las diferentes zonas medidas, según los dos instrumentos de medida empleados (espectrorradiómetro y colorímetro).

Las variaciones en claridad no son tan sistemáticas, pero las zonas de la izquierda de la griega parecen converger hacia 50 (precisamente la claridad de la zona 7) y las zonas de la derecha hacia 57.

De la figura 5 se deduce que la variación que ha experimentado la zona A es fundamentalmente en tono y la de B es fundamentalmente en croma, aunque la de tono de B es del mismo orden que la de A.

En la misma figura 5 se reflejan los resultados para la zona imaginaria C, para la cual podría hacerse el mismo análisis anterior, pero como puede apreciarse por la figura (en la que se dibujan a rayas las líneas que convierten en cuadrilátero los triángulos B y las líneas que unen los puntos representativos de la cromacidad y claridad) el resultado sería prácticamente el mismo.

7. CONCLUSIONES

1. Se ha puesto a punto el nuevo dispositivo para la determinación del color físico y psicofísico de los estímulos luminosos procedentes de las pinturas del techo policromado de la cueva de Altamira, que permite determinar también el color físico intrínseco del material que las constituye.

2. Se ha realizado el enlace con las determinaciones efectuadas en 1976 y 1977 con un dispositivo menos desarrollado, al realizar medidas simultáneas con ambos.

3. Del análisis de los resultados se deduce que la diferencia de color entre las partes A y B, de uno y otro lado de la grieta que separa la parte aparentemente más deteriorada del resto de la cierva es de 9,2 unidades, aproximadamente la mitad de la diferencia de cada una de ellas con el fondo.

4. De la comparación de los resultados ahora obtenidos con los deducidos de las determinaciones efectuadas en 1976 y 1977 se deduce, sin lugar a dudas, que:

a) La zona A ha incrementado su tono sin apenas modificar su croma, evolucionando hacia un tono más «rojizo»; esto sugiere una tendencia a la recuperación del tono primitivo.

b) Las zonas B y C han incrementado notablemente su croma, con una variación de tono similar a la zona A; esto sugiere que la parte más deteriorada del cuello de la Cierva, ha recuperado sensiblemente su color en estos cinco últimos años.

5. La evolución temporal de las zonas A y B (ó C) en el diagrama de cromacidad sugiere que el color de ambas tiende a igualarse cada vez más lentamente, por lo que no parece probable una recuperación mucho mayor, sobre todo en el caso de la zona B.

6. Es posible que el estudio del color físico intrínseco de las diferentes zonas de las pinturas sea una clave importante en el descubrimiento de la causa inmediata de la decoloración.

TABLA III

Zona	L	C	H	D (81-76)
1	51.2	29.8	71.6	6.1
7	48.7	33.7	68.4	6.8
10	48.6	30.5	65.6	4.7
A	49.5	31.3	68.5	5.7
2	54.5	19.1	61.8	9.8
8	61.5	18.3	77.4	15.1
9	61.7	12.8	75.6	16.0
B	59.2	16.7	71.6	12.9
6	47.8	18.9	73.4	11.5
C	56.4	17.3	72.0	12.3

TABLA IV

Zona	L	C	H	D (81-77)
1	49.6	33.4	63.5	1.7
7	50.7	33.4	61.7	5.5
10	50.8	31.7	68.6	5.5
A	50.4	32.8	64.6	2.9
2	53.4	24.6	64.9	6.2
8	58.6	24.2	61.4	6.9
9	58.9	21.0	66.8	7.4
B	56.9	23.3	64.4	5.8
6	53.9	23.4	68.9	6.6
C	56.2	23.3	65.5	5.9

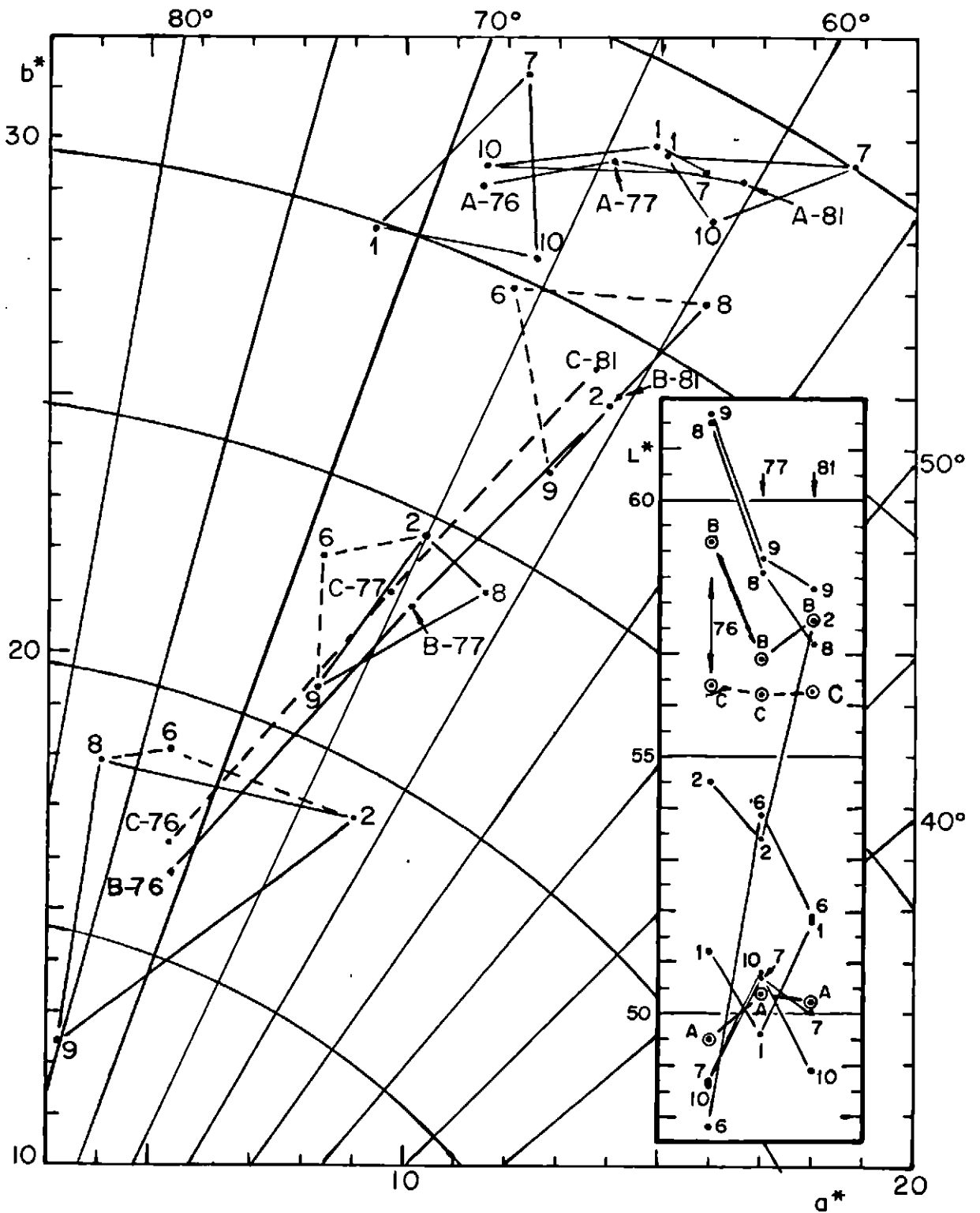


Figura 5.—Coordenadas de cromacidad y claridad de las diferentes zonas muestreadas en los tres años de medida (1976-77-81).

8. BIBLIOGRAFIA

- (1).— E. VILLAR: «Proyecto científico-técnico encaminado a la conservación de las pinturas de las Cuevas de Altamira». Octubre, 1979.
- (2).— L. PLAZA: «La medida de especificación del color en las pinturas rupestres como dato de control de su conservación. Control durante un año en las pinturas de Altamira». Altamira Symposium, 581-89, 1980. Ministerio de Cultura.
- (3).— R.D. LOZANO: «El color y su medición». Editorial Americalee. Tucumán 353 (1049). Buenos Aires.
- (4).— Normas UNE 72.003; 72.004; 72.033; 72.034; 72.035; 72.036. IRANOR, 1980.