



ANDRES GINES PALMER  
ESPERANZA GALLEGO CONDE  
*Arquitectos*

# El color del vehículo como causa de siniestrabilidad

**E**L presente artículo es un resumen de la Beca de Investigación concedida por la Fundación Mapfre en la convocatoria de 1987, que se ha desarrollado principalmente gracias a la colaboración conjunta del Instituto Tecnológico de Seguridad MAPFRE y la empresa GLASURIT, S. A., que han permitido la utilización de sus instalaciones de Laboratorios de Mediciones de Color y sus medios informáticos para la realización de las pruebas diseñadas para el desarrollo de este estudio.

## OBJETIVOS

La educación de la percepción visual, el estudio diario que la luz, el color, la forma y el ritmo provocan sobre los objetos, es un tema de ca-

pital interés en distintos niveles, y más aún cuando la percepción de tal objeto conlleva un **factor de riesgo** que pone en peligro la propia vida del usuario.

Hoy en día, al ir a comprar un ve-

hículo, el color que se elige para la carrocería ya no es sólo una cuestión de gusto personal. Los colores juegan un papel muy importante en el sector de la seguridad del tráfico, o, más concretamente, en la seguridad de percepción; que nuestro vehículo sea reconocido a tiempo por otras personas que en un momento determinado están utilizando la misma vía constituye, en las condiciones actuales, un importante factor de seguridad.

Con este planteamiento, la finalidad de este Trabajo de Investigación es obtener datos objetivos que per-

TABLA 0  
DIFERENCIAS DE CROMATICIDAD ENTRE LOS COLORES DE CARROCERIA Y LOS COLORES-FONDO ELEMENTALES, SEGUN INCIDAN ILUMINANTE A y D-65

CHAPA DE FONDO Nº	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21
(1) AMARILLO	41,77	66,38	44,19	35,29	39,56	43,29	11,84	20,02	11,96	74,67	86,81	77,00	79,25	81,77	51,71	66,15	62,21	60,28	74,41	66,51	66,60
(2) OCHE	47,75	54,67	57,30	39,45	30,81	44,50	14,34	19,90	5,59	83,48	100,00	86,25	86,31	66,70	66,41	59,50	45,82	52,56	71,35	80,64	73,37
(3) VERDE	37,30	49,79	40,29	23,37	19,57	18,27	37,39	55,49	43,48	36,00	11,23	37,19	37,27	20,54	20,60	17,56	32,72	34,39	27,27	25,81	24,23
(4) ROJO	17,40	11,72	14,18	24,82	31,10	25,81	48,30	79,65	63,47	17,36	49,36	69,22	64,63	44,82	29,60	10,93	70,87	70,54	57,92	65,09	63,16
(5) AZUL	21,85	18,20	17,20	36,59	34,91	31,89	64,17	87,24	79,52	30,09	43,59	64,67	64,30	64,70	37,89	69,81	75,81	75,77	62,82	62,69	62,65
(6) NEGRIZO	32,64	26,03	26,26	26,69	37,71	25,91	50,30	89,30	79,24	36,69	24,42	34,42	34,42	34,42	34,42	34,42	34,42	34,42	34,42	34,42	34,42
(7) NEGRO	36,26	41,21	40,30	37,07	38,16	18,42	37,75	57,55	44,81	44,18	62,54	45,44	24,27	24,88	22,15	18,68	32,94	35,81	22,54	22,88	20,63
(8) ROJO	58,81	62,43	62,96	52,85	46,36	46,42	65,43	58,94	69,69	64,36	76,91	62,42	63,82	62,21	62,34	44,78	61,97	65,71	71,46	72,30	66,32
(9) VERDE	42,17	49,09	42,77	44,54	37,53	35,90	46,38	65,81	53,90	67,68	54,40	67,05	61,72	39,81	38,06	73,10	76,43	54,94	51,53	46,91	
(10) AZUL	10,74	9,98	10,11	19,08	18,30	16,62	37,60	68,05	62,02	34,48	62,51	61,13	47,84	44,37	18,19	39,86	54,34	61,17	49,19	54,24	56,01
(11) GRIS	12,70	9,22	10,53	21,52	20,23	17,44	42,59	74,23	67,71	36,44	47,42	43,02	43,23	36,88	17,36	38,09	63,67	48,46	50,30	34,85	
(12) NEGRO	32,64	26,03	26,26	26,69	37,71	25,91	50,30	89,30	79,24	36,69	24,42	34,42	34,42	34,42	34,42	34,42	34,42	34,42	34,42	34,42	34,42
(13) NEGRO	36,26	41,21	40,30	37,07	38,16	18,42	37,75	57,55	44,81	44,18	62,54	45,44	24,27	24,88	22,15	18,68	32,94	35,81	22,54	22,88	20,63
(14) NEGRO	46,36	49,04	49,51	32,76	25,74	34,60	65,40	72,88	62,09	77,01	42,23	20,55	16,34	15,43	11,98	19,36	56,29	55,20	27,29	34,09	14,26
(15) NEGRO	46,36	49,04	49,51	32,76	25,74	34,60	65,40	72,88	62,09	77,01	42,23	20,55	16,34	15,43	11,98	19,36	56,29	55,20	27,29	34,09	14,26
(16) NEGRO	46,36	49,04	49,51	32,76	25,74	34,60	65,40	72,88	62,09	77,01	42,23	20,55	16,34	15,43	11,98	19,36	56,29	55,20	27,29	34,09	14,26
(17) NEGRO	46,36	49,04	49,51	32,76	25,74	34,60	65,40	72,88	62,09	77,01	42,23	20,55	16,34	15,43	11,98	19,36	56,29	55,20	27,29	34,09	14,26
(18) NEGRO	46,36	49,04	49,51	32,76	25,74	34,60	65,40	72,88	62,09	77,01	42,23	20,55	16,34	15,43	11,98	19,36	56,29	55,20	27,29	34,09	14,26
(19) NEGRO	46,36	49,04	49,51	32,76	25,74	34,60	65,40	72,88	62,09	77,01	42,23	20,55	16,34	15,43	11,98	19,36	56,29	55,20	27,29	34,09	14,26
(20) NEGRO	46,36	49,04	49,51	32,76	25,74	34,60	65,40	72,88	62,09	77,01	42,23	20,55	16,34	15,43	11,98	19,36	56,29	55,20	27,29	34,09	14,26
(21) NEGRO	46,36	49,04	49,51	32,76	25,74	34,60	65,40	72,88	62,09	77,01	42,23	20,55	16,34	15,43	11,98	19,36	56,29	55,20	27,29	34,09	14,26



*El color juega un importante papel en el sector de la seguridad de tráfico; que nuestro vehículo sea reconocido a tiempo por otras personas que utilizan la misma vía constituye en la actualidad un importante factor de seguridad.*

mitan establecer una relación directa entre el color de la carrocería de un vehículo y su potencial factor de riesgo asociado con una mayor o menor percepción de la misma.

Con este objetivo se han realizado ensayos de medición de diferencias bilaterales de cromaticidad entre unos colores-figura representantes del vehículo y unos colores-fondo resultado de la percepción variable que en cada momento tiene el usuario en la conducción. Para ello se han analizado las diferencias de contraste de 21 grupos de color representativos de las carrocerías de las marcas más vendidas en España sobre 10 fondos puros de color representativos de la gama cromática paisajística de la Península, utilizando en cada caso dos tipos de iluminantes-patrón, que han sido el iluminante A y el iluminante D 65.

Igualmente, se han tenido en cuenta otros factores que alteran esta percepción, como son la directriz de la trayectoria y la influencia del factor *Velocidad*, en cuanto que ésta modifica las distancias necesarias para permitir un tiempo de respuesta al conductor.

Como resultado de todo ello, se han creado unos gráficos del índice de visibilidad en circunstancias variables de los diferentes colores de carrocería en los distintos paisajes. De los resultados obtenidos se desprende la influencia «objetiva» del color del vehículo en la siniestralidad, como función inversa al índice de visibilidad del mismo y, en consecuencia, el **factor de riesgo** que la elección personal de un determinado color de carrocería conlleva al usuario.

## EL COLOR

El color es una sensación visual que, para que se produzca, requiere: una fuente luminosa, un objeto que refleje la luz, un ojo que reciba la luz reflejada y un cerebro que interprete el mensaje cromático.

Particularizando estos elementos a nuestro caso de estudio, la fuente luminosa sería fundamentalmente la luz solar, el objeto que refleja la luz sería el vehículo como objeto puntual y el ambiente como fondo coloreado, el ojo humano sería el receptor y el conductor desempeñaría la labor de interpretación del color.

Como puede deducirse de lo expuesto, el *color* es un tema de investigación complejo, y para abordarlo debemos recurrir a tres campos diferentes: la Física, la Fisiología y la Psi-

cología, y desde ellos hemos planteado las hipótesis de nuestro estudio.

## Física del color

Como fenómeno físico, el color es el resultado de la luz reflejada por un objeto.

Cuando la luz blanca incide sobre un cuerpo se dan tres fenómenos:

— Por un lado, el objeto absorbe parte de la luz que lo ilumina: **absorción**.

— Si el objeto es opaco, refleja la energía luminosa que no absorbe: **reflexión**.

— Si el objeto es transparente, permite el paso a través de él de parte de esa energía luminosa: **transmisión**.

Nuestro ojo ve solamente los colores del espectro visible, que van de los 380 nm a los 760 nm de longi-

**Gráfico 1**  
**SENSIBILIDAD RELATIVA DEL OJO HUMANO**  
**AL COLOR EN VISION DIURNA**

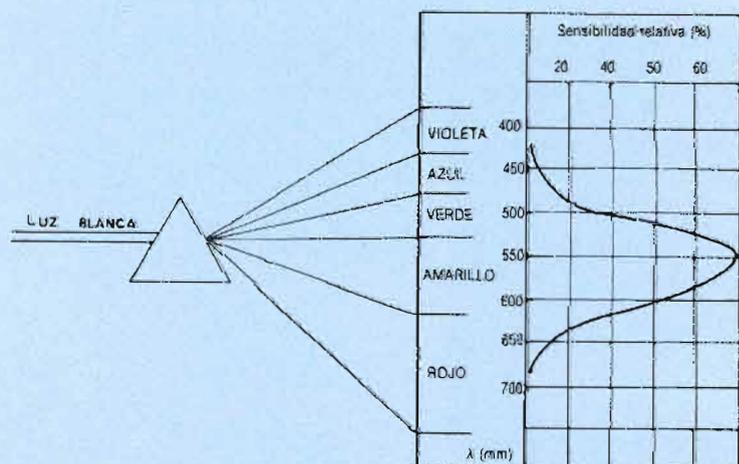
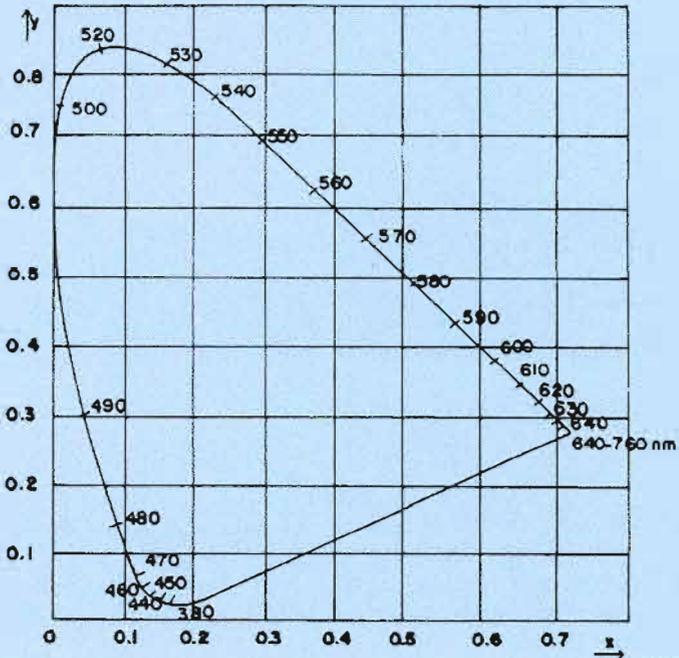


Gráfico 2  
DIAGRAMA CIE DE CROMATICIDAD



tud de onda, y que constituyen los límites entre la luz infrarroja y la ultravioleta. Entre estos dos extremos se sitúan los colores espectrales.

En el gráfico 1 se indica la sensibilidad del ojo humano a los distintos colores: como puede apreciarse, nuestro ojo es más sensible al color amarillo-verde (550-560 nm) y su sensibilidad va disminuyendo hacia los dos lados del espectro.

**Colorimetría**

Físicamente, un color queda definido por tres parámetros:

- una longitud de onda ( $\lambda$ ), que nos da el **tono**,
- un factor de luminancia, que define la **intensidad** y
- un factor de pureza, que indica el grado de  **saturación**.

El conjunto de estas características colorimétricas constituye la cromaticidad de un objeto y su medida es la base de la **colorimetría**.

En efecto, la caracterización numérica de un color puede medirse matemáticamente de forma totalmente precisa, estableciendo unos colores-patrón de referencia, con sus características propias de longitud de onda e intensidad energética espectral. Este criterio fue el que llevó a la CIE (Commission Internationale d'Éclairage) a la normalización de los parámetros colorimétricos en base a un sistema establecido, al que denominó **Sistema Tricromático**.

Al comprobar el espectro de la luz blanca, se descubrió que consiste en una mezcla de azul, rojo y verde; cuando una parte de esta luz, por ejemplo el rojo, es absorbida por la superficie del objeto, esa parte falta en la luz reflejada, y así obtendremos entonces una tonalidad visual verde azulada. Esta propiedad, por la cual cualquier color puede obtenerse por síntesis

aditiva o sustractiva de tres colores básicos —azul (B), verde (G) y rojo (R)—, es el fundamento del sistema tricromático, y la función matemática que lo define es

$$(S) = r(R) + g(G) + b(B).$$

denominada «función de mezcla», siendo (R), (G) y (B) los centros de sensación de los colores rojo, verde y azul, respectivamente, obtenidos de las curvas de distribución de la sensibilidad del ojo «normalizado» a la luz reflejada (ExR).

Esta función de mezcla así definida (S), tenía el inconveniente de usar coeficientes negativos para los colores obtenidos por síntesis sustractivas, por lo que se fijaron otras funciones que la caracterizasen mediante la definición de los «valores triestímulos espectrales» obtenidos por las sumas de los centros de sensación del azul, verde y rojo.

$$X = a(R) + b(G) + c(B)$$

$$Y = d(R) + e(G) + f(B)$$

$$Z = g(R) + h(G) + i(B)$$

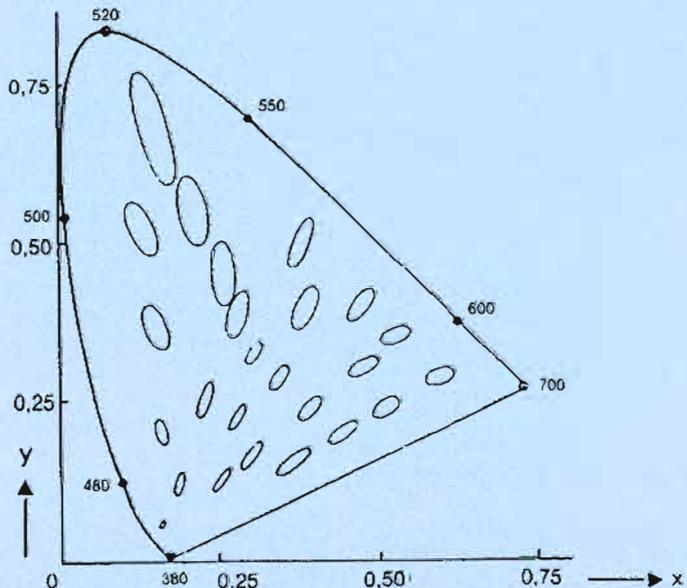
Eligiendo convenientemente los coeficientes a, b, c... h, i, los coeficientes x, y, z resultan positivos y la función de mezcla queda

$$x(X) + y(Y) + z(Z) = 1(S),$$

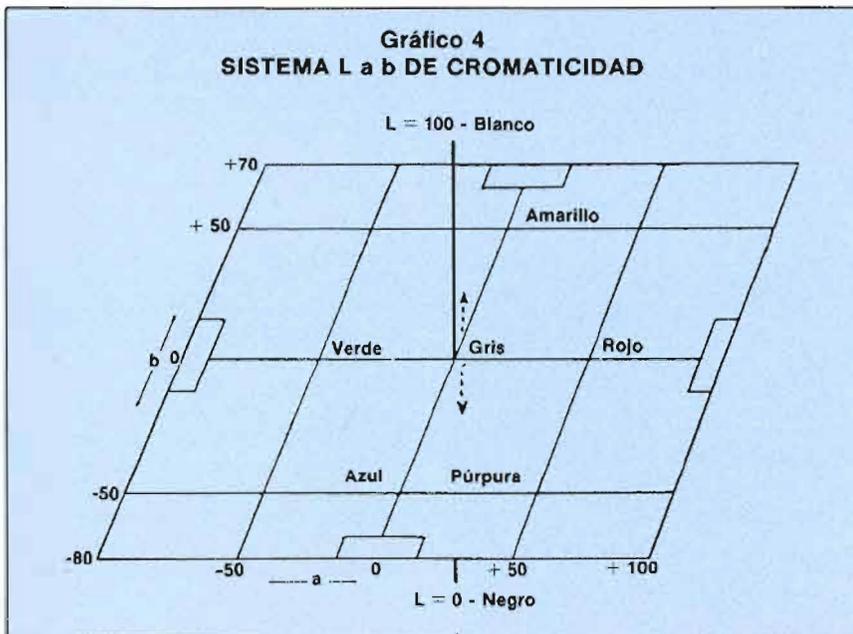
o, lo que es igual,

$$x + y + z = 1,$$

Gráfico 3  
DIAGRAMA DE ELIPSES DE MAC ADAM



**Gráfico 4**  
**SISTEMA L a b DE CROMATICIDAD**



*El tópic del color blanco como el que ofrece una mejor percepción queda desmentido en conducción diurna, donde presenta unos valores de contraste medio-bajo, frente a amarillos o rojos intensos, que presentan excelentes condiciones de visibilidad.*

ecuación con la que se obtiene el diagrama CIE de cromaticidad (gráfico 2).

Esta representación gráfica es una de las que hemos utilizado en las pruebas que hemos realizado, ya que de este modo cada color queda representado por dos parámetros  $x$  e  $y$ , que definen el tono, presentando así la ventaja de la exactitud matemática, pero omitiendo el factor de luminancia  $Y$ , que debe ser imaginado como eje perpendicular que atraviesa el triángulo cromático en el punto determinado.

Otro inconveniente que el sistema CIE presentaba para nuestro estudio es que las distancias matemáticamente iguales dentro del triángulo cromático no las percibe el ojo humano como iguales; así, dentro del espacio azul-violeta, las separaciones matemáticamente más pequeñas se reconocen como diferentes, mientras que en la zona verde no se perciben separaciones matemáticamente mayores.

Este problema de percepción relativa por parte del conductor de diferencias cromáticas medidas en términos absolutos, nos llevó a completar nuestro gráfico mediante la definición de separaciones para colores conforme a los sentidos, y para ello nos apoyamos en los gráficos de Mac-Adams, que reproducen mediante elipses las diferencias cromáticas perceptibles por el ojo humano (gráfico 3).

Sin embargo, este sistema de medición seguía sin incluir el valor de la luminancia  $Y$  que considerábamos fundamental en la investigación, lo que nos obligaba a buscar otros sistemas colorimétricos que al mismo tiempo existiesen en el mercado actualmente.

Por ello utilizamos en nuestros cálculos el sistema  $Lab$  tridimensional, en el que el valor  $L$  indica la posición en el eje claro-oscuro, el valor  $a$ , la posición en el eje rojo-verde, y el valor  $b$ , la posición en el azul-amarillo (gráfico 4).

El sistema  $Lab$ , en cuanto a percepción, es particularmente ilustrativo, ya que permite reconocer diferencias cromáticas de un modo matemático simple, mediante el cálculo espacial del teorema de Pitágoras, y hallar la diferencia de cromaticidad ( $\Delta E$ ) de dos colores teniendo en cuenta todos sus parámetros.

$$(\Delta E) = \sqrt{(\Delta L)^2 + (\Delta a)^2 + (\Delta b)^2}$$

Este fue, pues, el sistema que elegimos para desarrollar la prueba científica de medición de diferencias de color.

Llegados a este punto, sólo quedaba por definir las hipótesis de cálculo a utilizar en cuanto a iluminantes y geometría de la medición, ya que los factores fisiológico y psicológico quedaban incluidos al utilizar los diagramas de la CIE, convencionalmente desarrollados en base a las experiencias de un conjunto de observadores y a la definición del «observador-patrón».

#### **Factores que afectan a la medición de un color**

En Colorimetría es importante definir los parámetros que se van a utilizar en la medición a efectuar. Por ello, antes de enfrentarnos con la prueba objetiva de contraste de color, es-

tudiamos cómo y cuáles de estos parámetros afectaban a nuestra investigación.

En primer lugar, era necesario definir la luz incidente sobre el vehículo y el fondo, para lo cual analizamos los fenómenos luminosos que se daban en la conducción y elegimos como iluminantes-patrón los definidos por la CIE como Iluminante D65, representativo de la luz-día con una temperatura de color de 6.500 K, y el Iluminante A, representativo de la luz de incandescencia, con una temperatura de color de 2.850 K.

Con los datos que estos dos iluminantes nos proporcionaban, éramos capaces de reproducir la conducción diurna, tanto en las horas centrales como en las condiciones de amanecer-atardecer, mediante el uso de los iluminantes D65 y A.

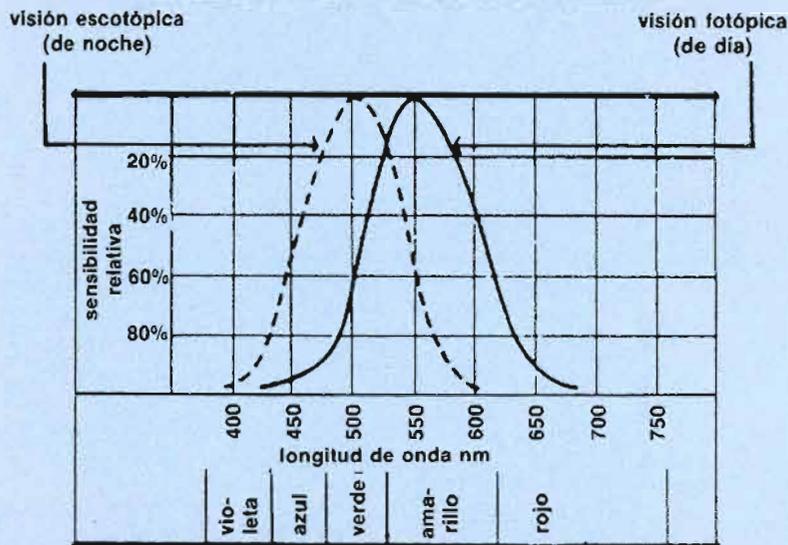
Además, la conducción nocturna podíamos analizarla con el gráfico de sensibilidad relativa del ojo humano en visión diurna (fotópica) y nocturna (escotópica), reproducido en el gráfico 5.

En segundo lugar, era necesario fijar la geometría de la medición, es decir, el ángulo bajo el cual se ilumina el objeto.

En nuestro caso, y dado el equipo informático con que contábamos, utilizamos un iluminante con un ángulo de entrada de  $8^\circ$  y midiendo la remisión en todos los ángulos del espacio, ya que de este modo reproducíamos de forma más fidedigna la visión humana del color.

En tercer lugar, hay que indicar el ángulo de observación del sujeto-observador respecto al objeto coloreado. Nosotros, en nuestra experiencia, hi-

**Gráfico 5  
DESPLAZAMIENTO DE LA CURVA DE SENSIBILIDAD VISUAL EN FUNCIÓN DE LA LUZ AMBIENTE**



Sensibilidad relativa del ojo humano en visión diurna (fotópica) y nocturna (escotópica).

cimos la prueba bajo un ángulo de 2° alrededor del eje de visión, dado que es bastante adecuado para reproducir el ángulo que el conductor tiene, en una distancia media (aproximadamente 100 m) y a una velocidad media (aproximadamente 90 Km/h), del vehículo que se le acerca en sentido contrario.

**Contraste de color en la conducción**

Definidos ya los factores que afectan a la medición del color, el estudio del contraste del color en la conducción nos ha llevado a la medición de las diferencias cromáticas entre el color de la carrocería del vehículo y el fondo paisajístico sobre el que se mueve.

**Material utilizado**

Para la realización de la prueba hemos necesitado de la utilización de una carta de colores completa de las pinturas utilizadas por las marcas de automóviles más vendidos en España; esta carta nos ha sido facilitada por la firma Glasurit, S. A.

De este modo seleccionaron 21 colores diferentes, representativos de toda la gama de pinturas de carrocería de automóviles existentes en el mercado. Sin embargo, se excluyeron las pinturas metalizadas, debido a que en ellas no se pueden indicar valores absolutos respecto a la facilidad de

*La medición de contrastes con el colorímetro bajo la incidencia de iluminantes A y D65 y mediante la utilización del sistema L a b nos ha permitido calcular las diferencias de cromaticidad ( $\Delta E$ ) de 21 colores de carrocería sobre 10 fondos elementales.*

*Se intenta, pues, establecer una relación directa entre el color de un vehículo y el factor de riesgo que lleva asociado.*

reconocimiento, ya que las partículas metálicas contenidas en su pintura reflejan la luz de manera diferente según el ángulo visual del observador.

Con estos 21 colores-representantes se realizaron, con la ayuda del personal de Itsemap, unas probetas de chapa de 5 x 7 cm, opacas, y cada una pintada usando los mismos procedimientos que se emplean en las carrocerías de automóviles, para conseguir los mismos efectos.

La relación de colores utilizados se recoge en el gráfico 6

Por otro lado, se seleccionaron 10 colores-fondo elementales que se consideran representativos de la gama cromática de los distintos paisajes españoles. Para estos fondos se utilizó papel opaco de diferentes tonalidades, con un grado medio de saturación.

La relación de fondos empleados es la siguiente:

- a) colores fondo de terreno: amarillo (1), ocre-rojizo (2), marrón (3), pardo (10);
- b) colores fondo de cielo: azul grisáceo (4), azul vivo celeste (5);
- c) colores fondo de vegetación: verde vivo (6), verde hoja (9);
- d) gris claro (7), gris violáceo (8).

Con este material de base nos dispusimos a llevar a cabo la prueba informática mediante el espectrofotómetro.

**Equipo y características del mismo**

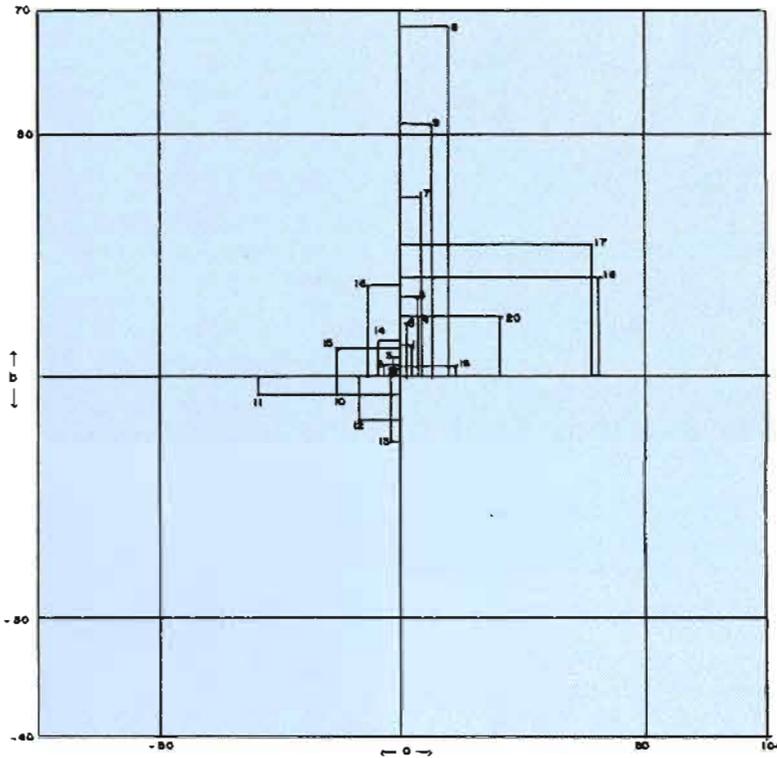
Como base de la prueba utilizamos el equipo de colorimetría de las instalaciones de laboratorio de la empresa Glasurit, S. A., en su central de Guadalajara.

El equipo utilizado constaba de un colorímetro RFC-16 de la casa Zeiss, que iba asociado a un ordenador Hewlett Packard 1000.

El sistema de medición se realiza por un conjunto de 16 filtros de color que permiten obtener curvas de reflectancia de los colores entre los 400 y 700 nm. El objeto que se desea examinar se ilumina con la luz definida; en nuestro caso, iluminantes A y D65. La luz remitida pasa entonces a través de los 16 filtros, cuyas curvas de sensibilidad corresponden a valores espectrales previamente definidos. La fotocorriente captada detrás del filtro mediante una fotocélula corresponde a valores mediante los cuales el colorímetro nos da las coordenadas de color en sistema L a b, así como las diferencias cromáticas entre dos muestras mediante el cálculo espacial del Teorema de Pitágoras:

$$(\Delta E) = \sqrt{(\Delta L)^2 + (\Delta a)^2 + (\Delta b)^2}$$

Gráfico 6  
COLORES DE CARROCERIA  
MUESTRA SELECCIONADA SEGUN CARTA COLORIMETRICA  
DE GLASURIT, S. A.



Colores de carrocería

		L	a	b
1. Blanco Alaska 1197 (AC-077)	Citroën	85,39	1,11	6,13
2. Blanco RE-355 1270	Renault	86,45	-2,67	1,44
3. Blanco RE-319 1187	Renault	87,04	-1,57	3,57
4. Marfil 214 1922	Motor Ibérica	89,24	4,02	12,61
5. Belge Nevada 055 1871	Volkswagen	70,46	3,33	16,51
6. Belge claro 532 1554	Seat	87,22	1,48	12,06
7. Amarillo 119 4220	Motor Ibérico	84,90	4,00	37,64
8. Amarillo mimosa GDL 4336 (AC-033)	Citroën	78,10	9,28	68,38
9. Amarillo California 297/4384	Seat	80,73	6,39	52,53
10. Azul azurite 6737 (AC-650)	Citroën	47,00	-4,70	-13,81
11. Azul competición	Renault	49,53	-4,61	-28,45
12. Azul turquesa 6554	Volkswagen	38,44	-9,61	-9,55
13. Azul océano 6526 XSC 1765-A	Ford	38,29	-2,04	-13,07
14. Verde hoja 344 5627	General Motors	43,06	-4,75	6,76
15. Verde serio 5790	Santana L.R.	60,53	-9,80	5,60
16. Verde musgo 5368	Seat	41,73	-8,02	18,09
17. Rojo candente anaranjado 7227	Seat	45,74	38,95	27,12
18. Rojo 755 7328	Renault	41,82	40,71	20,93
19. Rojo Burdeos 1335 7511	Peugeot	30,83	11,16	2,97
20. Rojo óxido 163 7595	Seat	34,77	20,99	12,03
21. Negro 694 2440	Renault	42,73	-1,70	-0,07

*Dentro de una misma gama de color se perciben mejor aquellos colores que son más intensos y saturados frente a los más oscuros y pálidos.*

se utiliza, ya que el efecto de éste es poco significativo (tabla 0).

Con este criterio y los resultados de  $\Delta E$  obtenidos se trazan unos gráficos de barras que representan el **grado de contraste** de carrocería sobre un fondo determinado.

Llegados a este punto podemos citar, a la vista de los resultados, unas primeras conclusiones preliminares de la investigación:

1. Sobre los colores representativos del *terreno*, como ocres, pardos y marrones, se distinguen fundamentalmente los colores más intensos y puros, independientemente de la longitud de onda predominante; así, los amarillos, rojos, naranja, azulón y blanco contrastan fácilmente con los colores terrosos y ofrecen un buen grado de visibilidad para el conductor, mientras los tonos menos saturados, como pardos, verdes, azules, grises..., conllevan un alto factor de riesgo en paisajes con escasa vegetación y donde haya un predominio de los colores del terreno.

2. Sobre los fondos representativos de la *calzada* se distinguen fundamentalmente los colores más intensos y saturados, de mayor longitud de onda (amarillos, naranjas y rojos brillantes), mientras que los tonos verdes, azules, grises y negros presentan dificultades de visibilidad. El color blanco y los tonos beige ofrecen un grado de contraste medio en relación con la calzada.

3. Un efecto similar ocurre con los fondos representativos del *cielo*, donde verdes, azules y grises, e incluso blancos, presentan dificultades de reconocimiento, más aún si se trata de una iluminación débil o con un cielo cubierto.

4. En los colores de fondo representativos de la *vegetación* ocurren

**METODO. DISEÑO DE LA PRUEBA**

La prueba diseñada consta de dos fases:

**1.ª fase:**

Se analizan las diferencias cromáticas medidas matemáticamente mediante el colorímetro entre los colo-

res-tipo de las carrocerías de automóviles y cada uno de los fondos elementales seleccionados con cada uno de los dos iluminantes citados.

A la vista de los resultados numéricos se observa que los valores obtenidos para cada pareja de color de carrocería y fondo son prácticamente independientes del iluminante que

**TABLA 1**  
**PORCENTAJES DE INTERFERENCIA DE LOS FONDOS ELEMENTALES EN EL CAMPO VISUAL DEL CONDUCTOR, SEGUN LOS DISTINTOS PAISAJES**

TOPOGRAFIA		DISTANCIAS	LARGAS	MEDIAS	CORTAS
			(MAYOR 500 M)	(100-500 M)	(MENOR 100 M)
Paisajes llanos			50% cielo 50% calzada	50% lateral 50% calzada	100% lateral
Paisajes de valle	PEND.+		100% calzada	80% lateral 20% calzada	100% lateral
	PEND.—		100% cielo	80% cielo 20% calzada	100% lateral
Paisajes de ladera	PEND.+		100% calzada	80% cielo 20% calzada	100% cielo
	PEND.—		100% cielo	80% cielo 20% calzada	100% cielo
Paisajes de puente			50% cielo 50% calzada	80% cielo 20% calzada	100% cielo

dos efectos diferentes: mientras sobre el verde vivo de zonas de regadío prácticamente todos los colores presentan un buen grado de contraste, excepto los tonos verdes que se mimetizan con el fondo, sobre el verde oscuro propio de vegetaciones de bosque atlántico o del interior, la gama de verdes, azules y sobre todo el negro presentan un alto factor de riesgo para el conductor, debido a su dificultad de reconocimiento, frente a los colores más intensos que presentan

igualmente un buen índice de visibilidad.

#### 2.º Fase

Se analiza ahora el contraste del color del vehículo, no ya sobre un fondo homogéneo, sino sobre la globalidad del ambiente en que se mueve. Para ello distinguimos dos tipos de conducción:

a) Para conducción **diurna**, fijamos un método de medición que nos permite conjugar de manera adecuada

los colores de fondo elementales. Ello nos lleva a las distintas visiones que del objeto se tienen sobre el paisaje a medida que éste se acerca y a la variación de comportamiento que como color-móvil aparece en cuanto a facilidad de reconocimiento.

De este modo definimos tres posiciones o intervalos de estudio como «corta distancia» (hasta 100 m), «media distancia» (de 100 a 500 m) y «larga distancia» (mayores de 500 m).

Después de proyectar cada sec-

**TABLA 2**  
**CONFIGURACION DE LOS PAISAJES-TIPO EN FUNCION DE LOS COLORES-FONDO ELEMENTALES DOMINANTES**

		LATERALES		CALZADA	CIELO
		VEGETACION	SUELO		
Pradera cantábrica y atlántica		Verde vivo (6)	Marrón oscuro (3)	Gris (8)	Azul grisáceo (4)
Depresiones del Guadalquivir y el Ebro		Manchas salpicadas verde oscuro (9)	Marrón (3)	Gris (8)	Azul celeste (5)
Campos de cereales de Castilla		Verde vivo (6) Ocres (2)	Pardos (10)	Gris (8)	Azul celeste (5)
Regadío levantino		Verde vivo (6) Verde oscuro (9)	Marrón (3)	Gris (8)	Azul celeste (5)
Bosques caducifolios de la España Atlántica (primavera)		Verde oscuro (9)	Marrón (3)	Gris (8)	Azul celeste (5)
Bosques caducifolios de la España Atlántica (otoño)		Ocres (2)	Marrón (3)	Gris (8)	Gris azulado (7)
Sierras de la meseta y Andalucía interior		Gris (7)	Gris (7)-Pardo (10)	Gris (8)	Azul celeste (5)
Cordilleras mediterráneas		Manchas dispersas verde oscuro (9) gris (7)	Gris (7)-Pardo (10)	Gris (8)	Azul celeste (5)

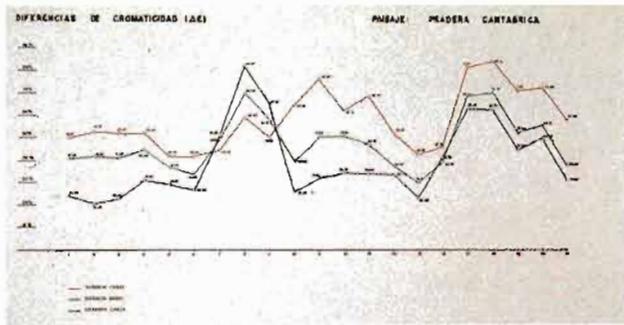


Foto 1

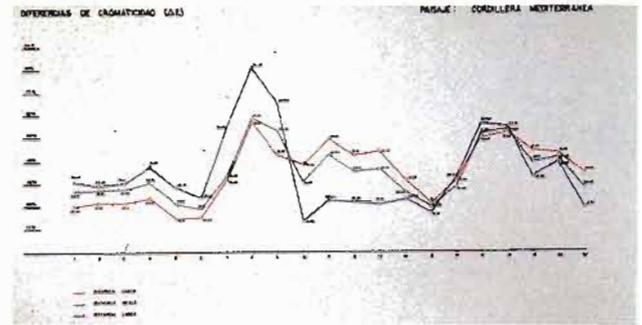


Foto 6

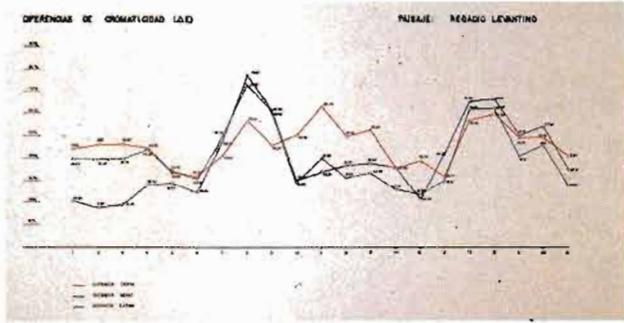


Foto 2

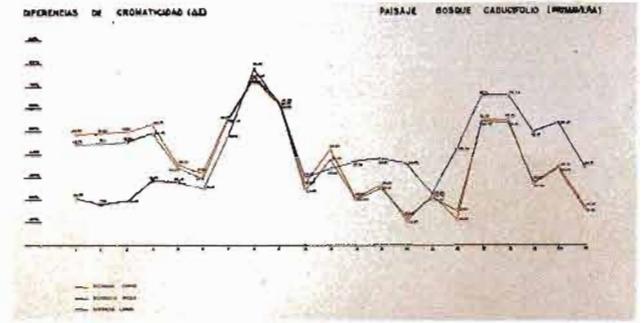


Foto 7

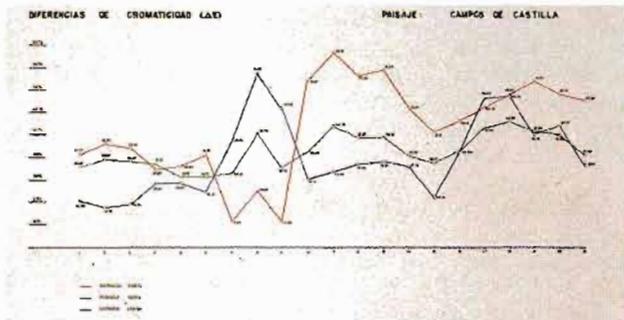


Foto 3

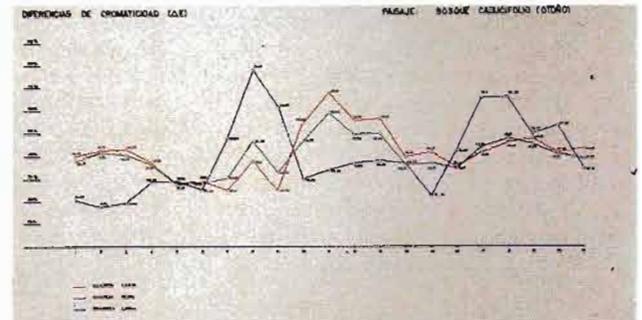


Foto 8

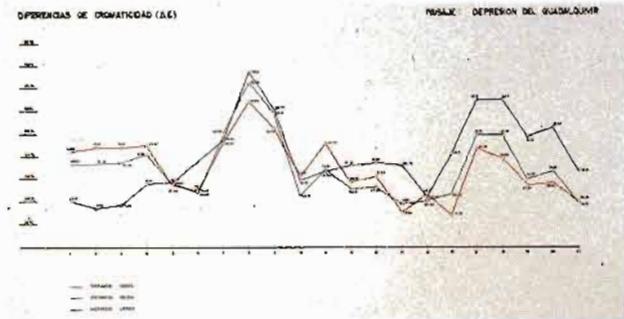


Foto 4

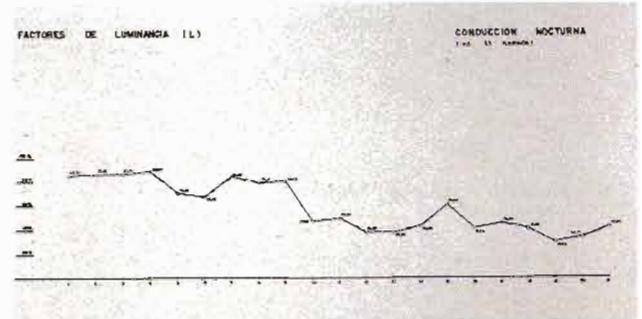


Foto 9

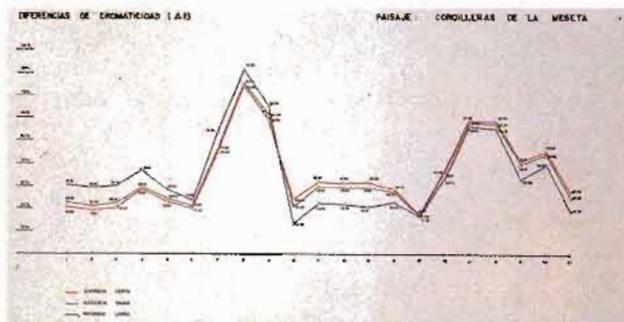


Foto 5

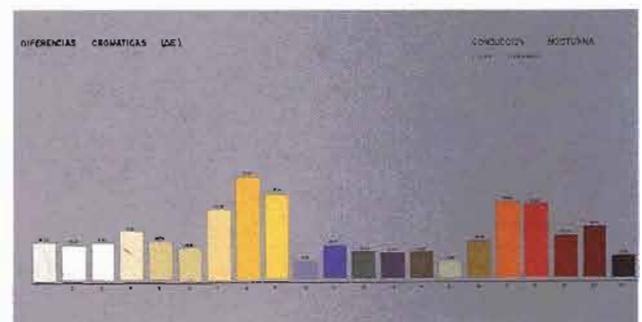
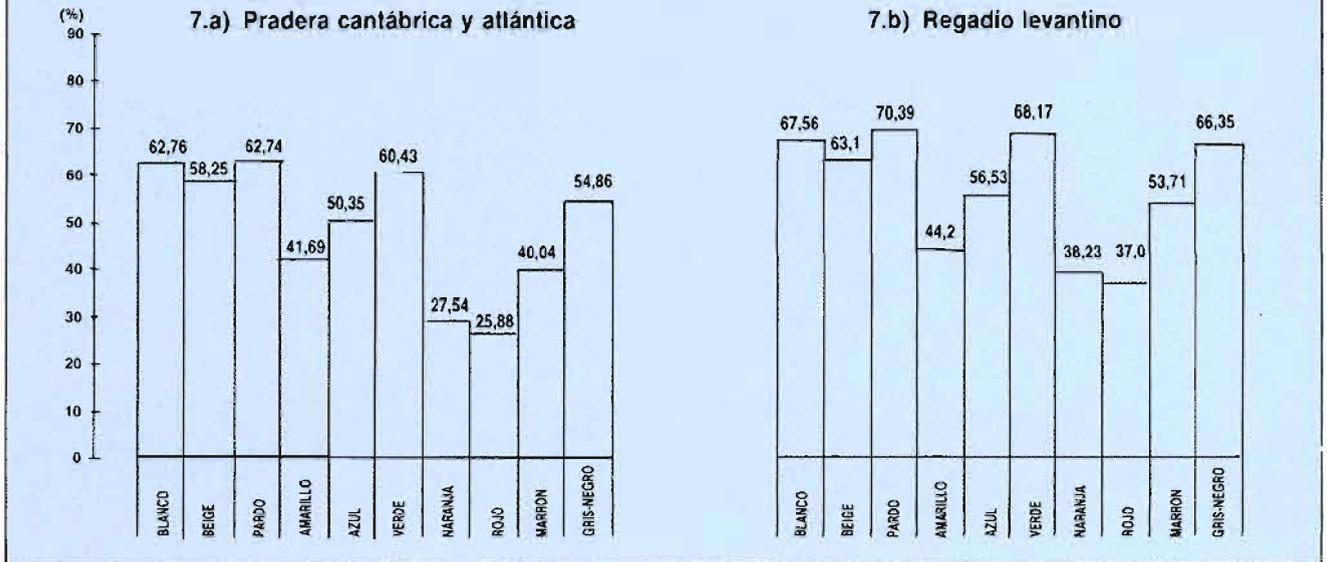


Foto 10

Gráfico 7  
FACTOR DE RIESGO ASOCIADO A UN COLOR.  
CONDUCCION DIURNA



ción de paisaje a estudiar sobre la figura del campo visual, definimos las proporciones de cada fondo elemental a tener en cuenta en cada configuración ambiental. Estas proporciones aparecen reflejadas en la tabla 1.

Con este criterio elaboramos los distintos gráficos de contraste por cada paisaje, que se definen matemáticamente como media ponderada de los contrastes sobre fondos individuales, considerando en cada caso los fondos que aparecen en la tabla 2.

b) Para conducción nocturna elaboramos dos tipos distintos de gráficos:

— En vías iluminadas consideramos como fondo ambiental un color gris oscuro y calculamos el porcentaje de contraste con iluminante A, que reproduce la iluminación de las vías de circulación.

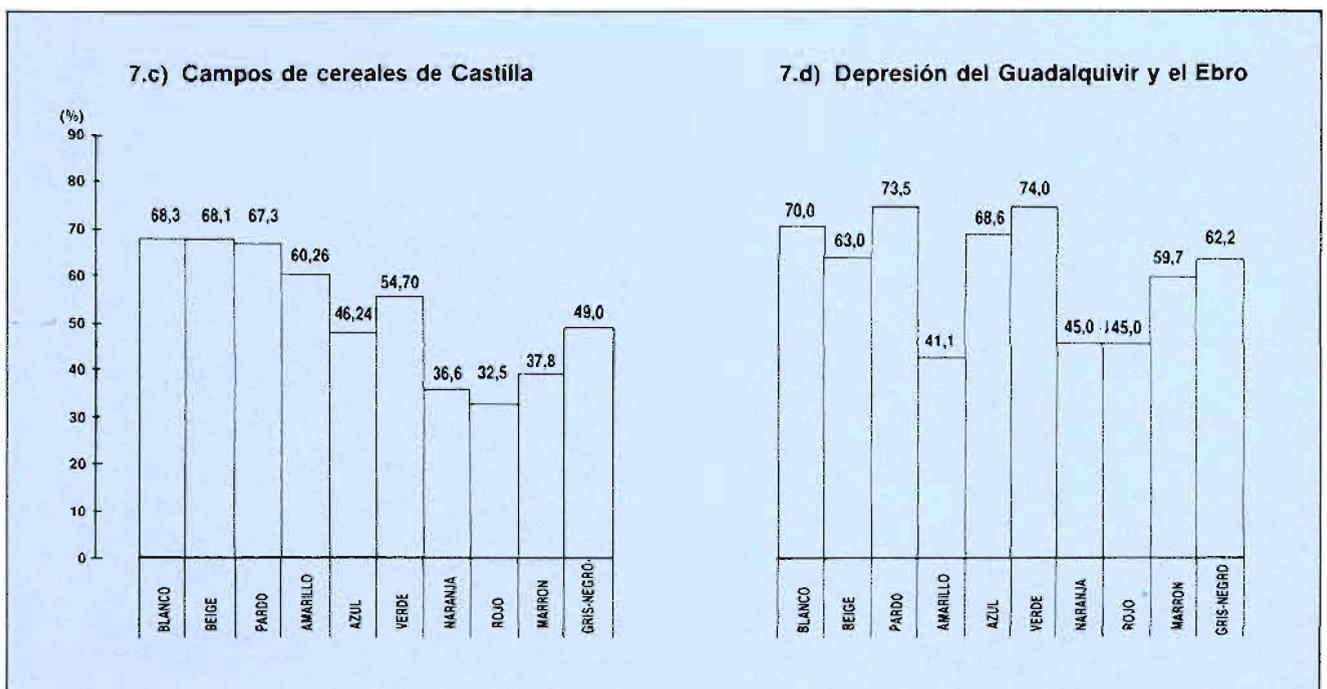
— En vías no iluminadas elaboramos un gráfico de luminancias relativas L de los distintos colores de carrocería, ya que en visión escotópica la acción de los conos queda inhibida y sólo actúan los bastones,

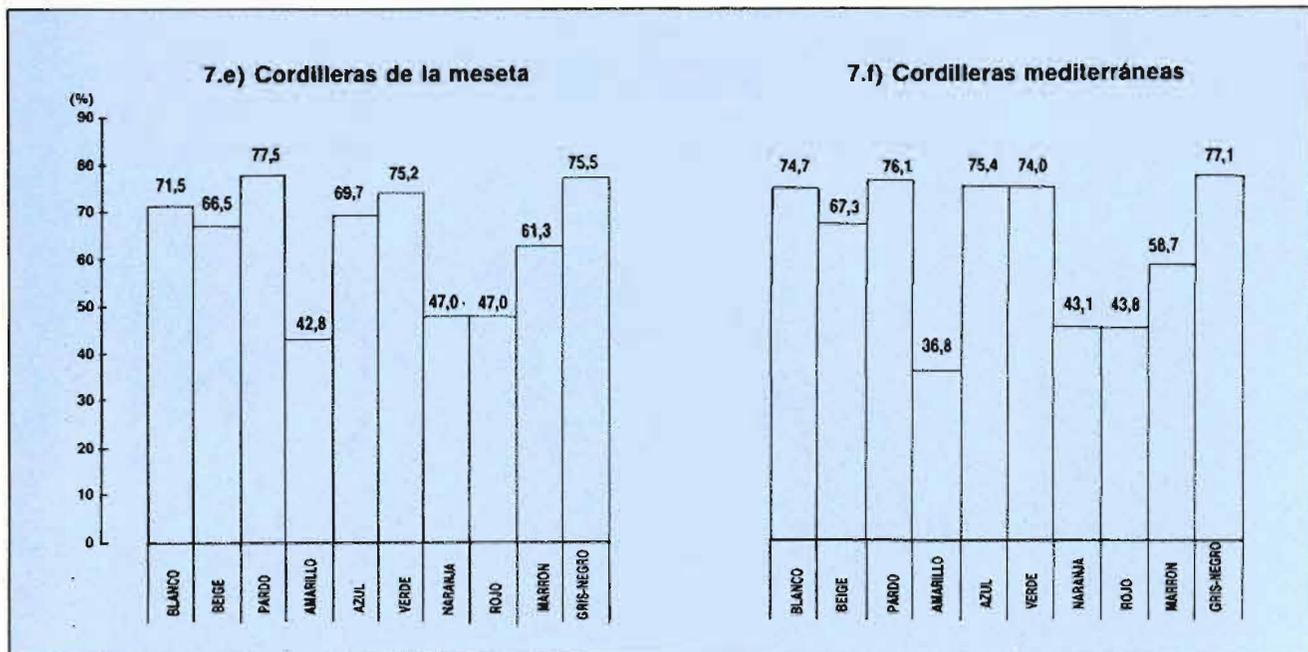
lo que hace que percibamos únicamente relaciones de claro-oscuro.

## RESULTADOS

El resultado de esta investigación nos ha llevado a la creación de unos gráficos que indican el grado de contraste de cada color de carrocería con un determinado paisaje, reflejándose igualmente el cambio en esta percepción a medida que el vehículo se acerca.

Estos gráficos aparecen en las fotografías 1 a 8.





Igualmente, en las fotografías 9 y 10 se representa la conducción nocturna en vías iluminadas y no iluminadas, respectivamente.

De la elaboración de estos resultados se desprenden los gráficos de factor de riesgo asociado a un determinado color en un paisaje definido, según aparece reflejado en los gráficos 7 y 8.

### CONCLUSIONES

El estudio realizado en laboratorio con el colorímetro RFC-16 Zeiss ha permitido, además de confirmar hechos conocidos, como el excelente

factor de luminancia del color blanco, establecer unos criterios de presunción del comportamiento de cada color según el fondo sobre el que se mueve, creando unos factores resultantes de las medidas medias de contrastes obtenidos, que representan a su vez el factor de riesgo «complementario» a este factor de contraste.

Este factor de contraste ambiental es mucho más significativo que las coordenadas de color o las diferencias cromáticas entre dos colores establecidos, ya que permite obtener unos intervalos de comportamiento del móvil en cuanto a facilidad de percepción por el conductor,

pudiendo así catalogar su idoneidad en función de la región geográfica por la que prioritariamente vayan a circular.

El estudio permite, pues, una serie de conclusiones, que se pueden resumir así:

1. *Respecto a la intensidad* de un color, dentro de un mismo tono, presentan mayor riesgo de siniestrabilidad los colores menos intensos, es decir, aquellos que ofrecen un menor factor de luminancia.

En este sentido, la gama más oscura de azules, verdes y grises conllevan un alto factor de riesgo.

2. *Respecto a la pureza* de un color, hemos comprobado que presen-

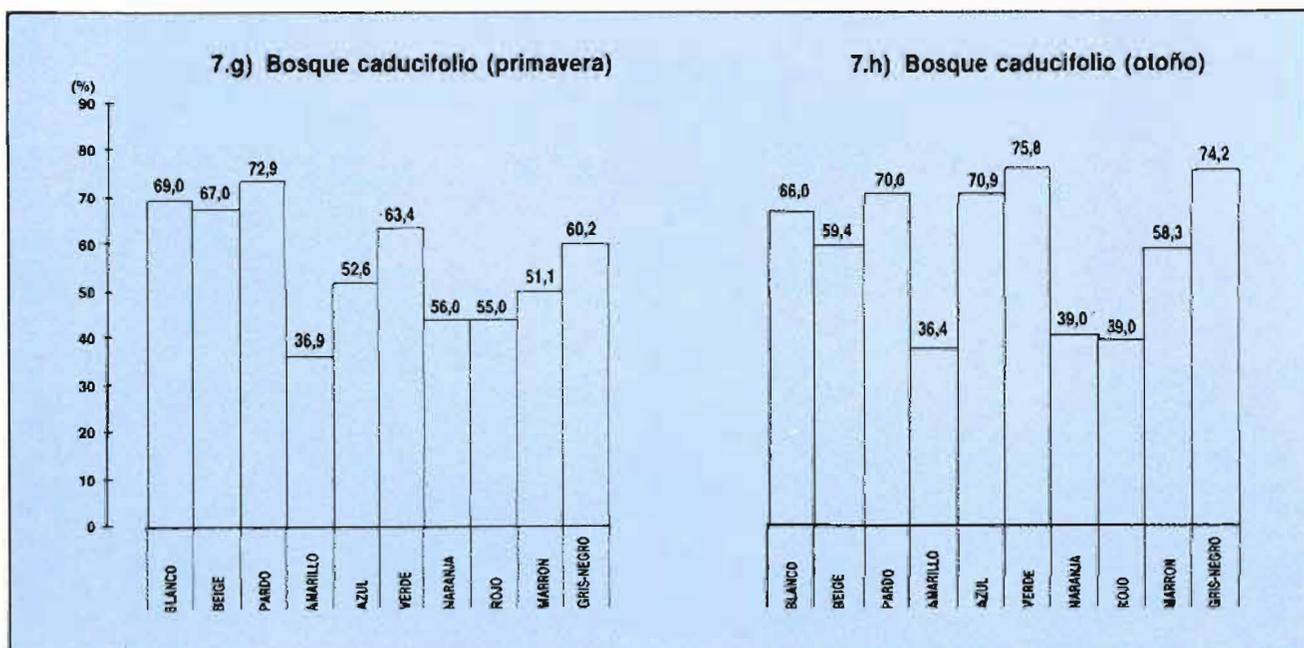
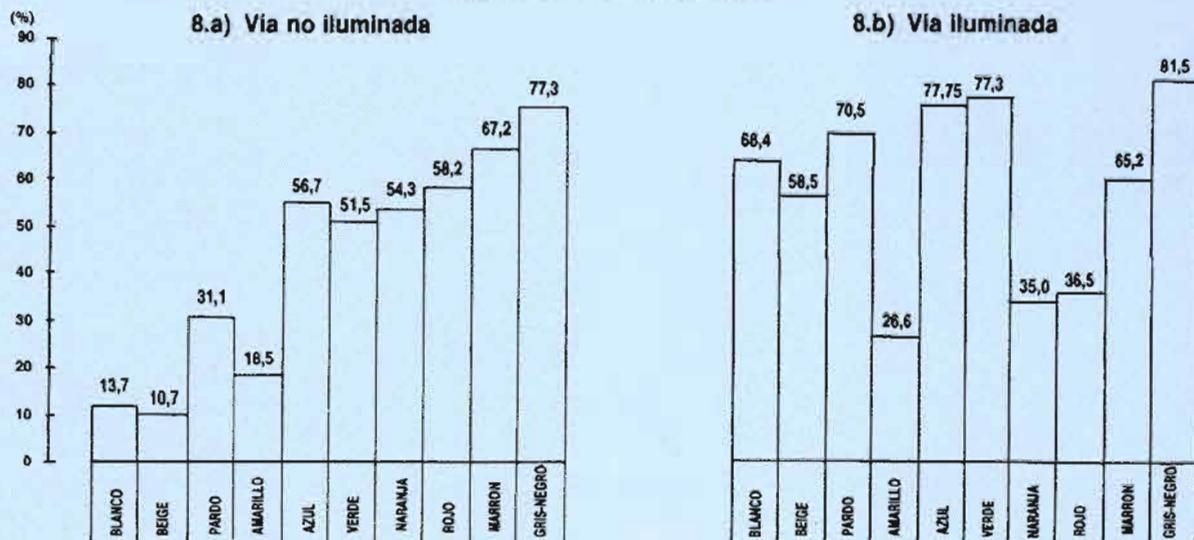


Gráfico 8  
**FACTOR DE RIESGO ASOCIADO A UN COLOR.  
 CONDUCCION NOCTURNA**



tan un mejor factor de visibilidad los colores más saturados frente a los lavados con blanco; en este sentido, las gamas más pálidas de azules, verdes y pardos conllevan un alto factor de riesgo para el usuario.

3. Respecto al tono, pueden hacerse tres grandes grupos de estudio:

a) En **conducción diurna**, representada en la prueba de laboratorio por el iluminante D65, los colores «calientes» presentan un buen factor de seguridad, ya que superan generalmente el 60 por 100 de contraste; así, podemos decir que amarillos, anaranjados y rojos, y en general los colores de una longitud de onda entre los 550 y 700 nm, son fácilmente perceptibles en casi cualquier paisaje ambiente.

Por el contrario, los colores de longitudes de onda entre los 400 a 450 nm, definidos como los tonos «fríos» en el espectro, se sitúan alrededor del 35 por 100 de contraste, lo que nos hace catalogarlos como de alto riesgo de siniestralidad. Esto, unido al metamerismo «negativo» que presentan en condiciones de amanecer o atardecer, al volverse más oscuros con la incidencia de tonos anaranjados o violáceos, cuando el factor de luminancia resulta fundamental en condiciones de escasa iluminación, hace que podamos decir de ellos que son tonos desaconsejables desde el punto de vista de la seguridad de percepción.

Los tonos medios del espectro, entre los 450 y 550 nm, que corresponden a la gama espectral de los

*El color juega un importante papel en el sector de la seguridad de tráfico; que nuestro vehículo sea reconocido a tiempo por otras personas que utilizan la misma vía constituye en la actualidad un importante factor de seguridad.*

tonos verdes, presentan un alto riesgo de siniestralidad con un bajo factor de contraste, alrededor del 25 por 100, lo que, unido al mimetismo que sufren en paisajes de vegetación abundante o dispersa, y al metamerismo «negativo» que les convierte en colores similares al negro, al ser iluminados por una luz anaranjada, hace de este color uno de los que presentan un mayor riesgo de siniestralidad en cuanto a dificultad de percepción.

El tópico del color blanco como el que ofrece una mejor percepción queda así desmentido, al obtenerse unos valores de contraste medios (alrededor del 45 por 100), debido fundamentalmente a su dificultad de percepción a largas distancias.

El color negro, en conducción diurna, presenta una visibilidad aceptable: alrededor del 40 por 100 de contraste, lo que, frente a lo que pudiera pensarse, conlleva menor riesgo que otros tonos, debido a su intensidad.

b) En condiciones de **amanecer-atardecer**, que imprime una iluminación rica en tonos infrarrojos y ultravioleta, respectivamente, hay colores que presentan un metamerismo «negativo», en el sentido de que toman la característica de un color que presenta peores condiciones de visibilidad que el color origen; tal efecto ocurre con los tonos verdes, en los que al incidirles una luz anaranjada se vuelven más oscuros, o los tonos azules, que, igualmente toman un aspecto próximo al violeta, con peores grados de contraste.

A este efecto de metamerismo hay que añadir el efecto de mimetismo que se presenta fundamentalmente en los tonos calientes, que se confunden con el paisaje de atardecer o amanecer.

Estos dos efectos, unidos al deslumbramiento posible que tiene el conductor en estas condiciones, hace que, independientemente del color de la carrocería, el riesgo de siniestralidad aumente en estas condiciones, potenciándose los compor-

tamientos de los colores que se han descrito en conducción diurna.

c) En **conducción nocturna**, con iluminación escasa o nula de las vías de circulación, la fotoquímica de la visión hace que sean los bastones los encargados de transmitirnos la percepción de un objeto que se acerca en sentido contrario, y esta percepción es solamente una sensación de claro-oscuro, lo que hace que la investigación en estas condiciones se centre en las diferencias de luminancias L.

Las conclusiones obtenidas corroboran en este punto los tópicos ya conocidos de que los colores oscuros se perciben peor de noche, ya que mientras el color blanco posee un factor de luminancia medio de 86,3 por 100, colores como azules marino, granates, marrones, grises y negro sólo se sitúan en factores de luminancias alrededor del 35 por 100, lo que hace que el grado de contraste disminuya notablemente, mientras aumenta el factor de riesgo de accidentabilidad.

## BIBLIOGRAFIA

- F. W. SEARS: «Optica», 2.ª ed., Madrid, 1960
- W. D. WRIGHT: «The measurement of colour», 4.ª ed. Londres, 1969.
- Y. LEGRAND. «Light, colour and vision», 2.ª ed., N. York, 1969
- G. WYSZECKI Y STILES: «Color in business, science and industry», N. York, 1963.
- NEWHALL Y BRENNAN: «Comparative list of color term». J.S.C.C. Washington, 1949.
- M. RICHTER: «La caracterisation des couleurs à l'aide d'indices ou de cartes de couleurs». Zeits. Deustcj. Ing. 98.
- DIE FARBE: Organe de la Fachnor meausschusses Farbe (seis números de la Oficina Alemana de Normalización de colores).
- EDOUARD FER: Solfège des couleurs, Dunod ed. Paris, 1956.
- M. DERIBERE: «Couleur et lumière». L'officiel de la couleur 1951.
- R. A. HOUSTOVN: «Light and colour».
- I. G. PRIEST: «Une méthode précise pour la reproduction de lumière du jour artificielle». Phys. Rev. 502-511 (1918).
- C. HENRY: «Cercle chromatique».

- C. LACOUTURE: «Répertoire chromatique».
- E. SEGUY: «Code des couleurs».
- M. DERIBERE: «Le système de classification des couleurs». 1955
- A. H. MUNSELL. «A Colour notation». Boston, 1919.
- D. L. MAC ADAM: «Questions actuelles en colorimétrie». Journ. Mot. Piet. Eng. 64, n.º 11. 1955
- J. GILLOD: «La métrique des couleurs». Maison de la chimie, 1957.
- N. CORCORAN: «La Physique de la Couleur».
- DAVIS Y GIBSON: «Filtres pour la reproduction de la lumière du jour et de la lumière solaire».

Además de la citada bibliografía puede consultarse los estudios colorimétricos y su aplicación y modelización informática aplicada al estudio de la medición del color desarrollados por las siguientes firmas:

- TEXINTER
- PACISA.
- LUMAQUIN, S. A.
- MACKBETH, S. A.