

Balizamiento nocturno de carreteras

La circulación nocturna por carretera puede decirse que era prácticamente nula, mientras se ha empleado únicamente la tracción animal, y aun en el caso de transitar de noche, se comprende que era a velocidades reducidas, no siendo, por consiguiente, necesario preocuparse de que las señales diversas empleadas en las carreteras fueran claramente visibles de noche; pero hoy en día, con el desarrollo que ha tomado la circulación de automóviles, el *balizamiento nocturno de las carreteras* va tomando un aspecto nuevo y un interés siempre creciente, que creemos conveniente hacer resaltar, valiéndonos para ello de los datos que amablemente nos ha facilitado el ingeniero D. Andrés Garbarini.

Señales corrientes.—Las señales que se emplean en las carreteras son de dos clases:

1.º Las que sirven para prevenir los diversos accidentes de la carretera, como cruzamientos, curvas y pendientes peligrosas, pasos a nivel, badenes, etc.

2.º Postes indicadores de travesías con los nombres de las poblaciones, empalmes de carreteras, distancias kilométricas, etc.

Es, pues, necesario ocuparse con toda urgencia de las primeras, teniendo en cuenta las grandes velocidades con que circulan los vehículos modernos, resolviendo el problema de la manera más eficaz y sencilla.

Aun admitiendo que un automóvil que marcha a 100 km por hora pueda detenerse en 100 m de distancia, es preciso que el conductor esté advertido con suficiente anticipación del peligro que se acerca, por medio de una señal que se presente a su vista de una manera clara e imperativa.

No es posible pensar en dotar dichas señales de alumbrado permanente, que sería preciso encender y conservar en sitios muchas veces alejados de poblados, pues, además de lo costoso que esto resultaría, no ofrece garantías de seguridad; pues no es posible mantener una vigilancia constante, y un indicador de peligro que se apague, viene a agravar éste.

Hay, pues, que pensar en utilizar los aparatos de alumbrado de que han de ir provistos los vehículos que circulan de noche por las carreteras, y en especial los potentes faros que llevan los automóviles, para reconocer el camino que recorren y accidentes que puedan presentarse.

Veamos cómo puede utilizarse la luz de los faros de los automóviles para las señales en carretera.

Consideremos un indicador corriente, que consta de un poste de madera o hierro, al que va adosada la placa donde se ha pintado la señal correspondiente. ¿Cuál será la visibilidad de ese indicador?

Esta visibilidad depende de varios factores:

- 1.º Potencia del foco luminoso.
- 2.º Distancia a que se encuentre del indicador.
- 3.º Clase de pintura empleada.
- 4.º Oblicuidad del indicador con relación a las direcciones de los rayos luminosos y del punto de observación.

Dejando para más adelante lo referente a los dos primeros factores, examinemos primero los relativos al indicador propiamente dicho.

Supongamos (fig. 1.ª) una placa o pantalla de dimensiones indefinidas, iluminada por un flujo de luz, cuya dirección forme un ángulo i con la normal IN , en el punto de incidencia. Dicha placa difundirá *hacia adelante*, y en todas direcciones, la luz que recibe, pero con intensidades variables.

Consideremos una dirección cualquiera que forme el ángulo i' con la normal. Si marcamos en ella, a partir del punto I , un vector IR , proporcional al resplandor o claridad e aparente de la placa; si hacemos lo mismo para todas las direcciones de observación i , el lugar geométrico de todos los puntos R es una superficie que se denomina *indicatriz de difusión con incidencia constante*.

En el caso de un difusor perfecto (como, por ejemplo, nevada reciente, papel secante blanco, precipitado pulverulento reciente en superficie plana, pintura perfectamente mate), la claridad o intensidad es igual en todas las direcciones en que se observe, la indicatriz de difusión con incidencia constante es en este caso una superficie esférica de centro I y radio e .

Hasta ahora hemos tratado sólo del *resplandor o claridad* de la placa. Para apreciar su *visibilidad* hay que tener en cuenta su *superficie aparente*, la cual es tanto menor cuanto más oblicuamente observemos la placa. Para obtener la *indicatriz de visibilidad* de una señal, bastará multiplicar por $\cos i'$ todos los vectores IR deducidos de la indicatriz de difusión; obtendremos así una esfera tangente a la placa en el punto I .

Generalmente, los difusores no son perfectos, ni mucho menos, y, por consiguiente, las indicatrices antes definidas se apartan notablemente de la superficie esférica.

Para las aplicaciones que nos proponemos es suficiente limitar nuestro estudio a lo que ocurre en el *plano de incidencia* NIS, que en la práctica es un plano horizontal.

Las señales o placas son más o menos brillantes, según las pinturas y barnices protectores que se emplean, que son tanto menos eficaces cuanto más mate sean. La placa presenta, pues, un *efecto especular* o reflector parcial, es decir, que en la dirección simétrica a la de la incidencia, la claridad del indica-

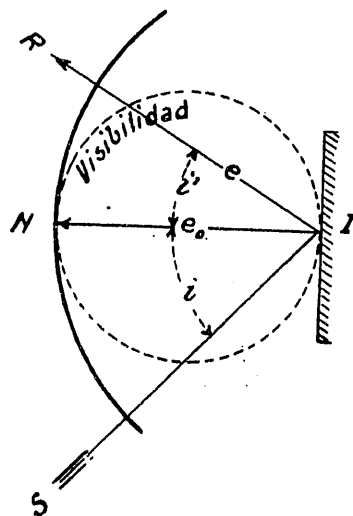
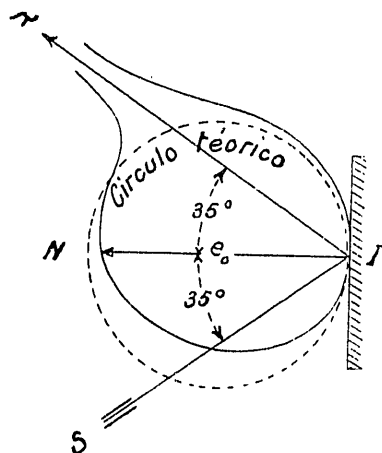


Fig. 1.ª

dor es mucho mayor, en perjuicio, claro está, de la visibilidad en las demás direcciones.

La figura 2.^a representa una indicatriz de difusión con incidencia constante, referente a una placa de palastro, esmaltada y pulimentada, según el estudio hecho por M. A. Blondel. La placa está iluminada

Fig. 2.^a

por un haz de rayos paralelos que forman un ángulo de 35° con la normal. Partiendo de ella puede fácilmente construirse la indicatriz de visibilidad.

Rendimiento de una señal.—La potencia luminosa que recibe una placa no se difunde en su totalidad, sino que una parte más o menos importante es absorbida y completamente perdida

para los efectos de visibilidad. La relación entre la potencia total *difundida* y la potencia incidente, recibe el nombre de **ALBEDO**, variable con el ángulo de incidencia. A continuación damos algunos valores del *albedo* para una iluminación total:

Terciopelo negro	0,4 por 100
Tierra húmeda labrada	8 »
Papel de calco.	22 »
Pared blanqueada con cal (limpia)	50 »
Papel secante blanco	70 a 80 »
Nieve reciente	78 »

Si consideramos el papel secante blanco, la variación del *albedo* a en función del ángulo de incidencia i es la siguiente:

Valores de i ..	0°	15°	30°	45°	60°	90°
Valores de a ..	71	73	74	80	73	73 por 100

Para conocer, pues, el funcionamiento de una señal difusora, precisa trazarse tantas indicatrices de difusión como direcciones de incidencia deban considerarse.

En nuestro caso el problema se simplifica, pues la dirección de observación coincide siempre con la de la iluminación. Supongamos, pues, que sobre cada una de las indicatrices con incidencia constante trazadas para diversas incidencias tomemos la longitud del vector llevada sobre la dirección misma de incidencia, obtendremos así la curva que nos interesa y que se llama *indicatriz de difusión en la dirección de incidencia*.

Tratándose de un difusor perfecto, dicha indicatriz sigue siendo un círculo tangente en I al plano de la señal indicadora, y viene a representar su *intensidad*. Para apreciar la visibilidad, habrá que multiplicar el resplandor por la superficie aparente, que disminuye con $\cos i$, cuando aumenta el ángulo de incidencia. La indicatriz en la dirección de incidencia es una superficie de revolución, que tiene por eje la normal. Si hay *efecto especular*, la indicatriz se alarga más o menos en la dirección de dicha normal, y en este caso la visibilidad sólo es suficiente para señales iluminadas en dicha dirección. Este es el motivo por el que,

en general, se emplean placas desprovistas de todo efecto reflector.

Del examen de las indicatrices de difusión con incidencia constante se deduce el escaso rendimiento de una señal corriente, pues la mayor parte de la luz incidente es difundida en todas direcciones y sólo una ínfima parte es recibida por el observador situado al lado del foco emisor.

Para salvar este inconveniente, no hay más que una solución: concentrar toda la luz difundida en una sola dirección y que ésta coincida con la de incidencia.

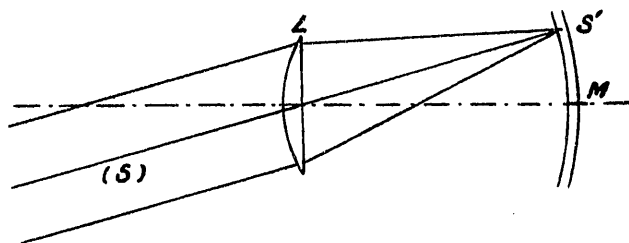
Concentrar todo el flujo difundido en una dirección única es extremar el efecto reflector, y que se obtendría simplemente reemplazando la señal por un espejo plano. Pero, desgraciadamente, esta solución sencilla no puede admitirse, pues la dirección del flujo reflejado será simétrica de la de incidencia, y no coincidirá con ella más que en el caso de que el eje del proyector sea exactamente normal a la placa indicadora, cosa que no ocurrirá en la práctica más que en algún caso verdaderamente excepcional.

Los catafotos.—La solución completa y eficaz del problema antes expuesto se obtiene con el empleo de dispositivos ópticos especiales, llamados *catafotos* (de $\gamma\alpha\tau\alpha$, al encuentro, y $\varphi\omega\tau\iota\varsigma$, luz), que gozan de la propiedad de REFLEJAR LA LUZ CONSTANTEMENTE EN LA DIRECCIÓN DEL FOCO EMISOR.

Viene a ser una modificación perfeccionada de la *mira autocolimadora de Fizeau* (empleada en 1849 para determinar la velocidad de la luz entre Suresne y Montmartre), a fin de extender su campo de aplicación, haciéndole aplicable al balizamiento óptico nocturno, sin foco luminoso propio.

Las señales que pueden formarse con elementos *catafóticos* resplandecen brillantemente, de la misma manera que los ojos de los animales que se ven brillar en la noche, cuando está uno situado en la proximidad de un foco luminoso, aunque sea de poca intensidad (¿a qué automovilista no le ha chocado, al atravesar de noche un monte, el resplandor de los ojos de los conejos, sorprendidos en un viraje?)

Los catafotos se reducen, en principio, a una lente L (fig. 3.^a) de distancia focal muy corta y de un

Fig. 3.^a

espejo M , colocado en la proximidad del foco, y cuyo radio de curvatura es igual a la distancia focal de la lente.

Supongamos un foco luminoso S , situado a gran distancia de la lente. Esta nos da una imagen S' en la superficie del espejo M , que a su vez refleja hacia la lente la luz que recibe de ella, y que, evidentemente, tomará la dirección de S , pues ésta es conjugada de S' , como S' lo era de S .

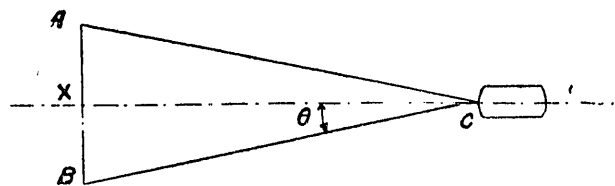
Funcionamiento de los catafotos.—El funcionamiento de los catafotos se caracteriza por dos propiedades fundamentales independientes:

- Campo de utilización.
- Divergencia.

a) *Campo de utilización*.—Si nos colocamos, con nuestro foco luminoso, frente a un catafoto y exactamente en su eje óptico, lo veremos brillar. Separándonos ahora paulatinamente del eje y marchando con nuestro foco en dirección perpendicular al mismo, el catafoto sigue brillando con el mismo resplandor o intensidad, y esta desviación respecto del eje óptico puede ser bastante grande, sin que por ello dejemos de percibir la luz reflejada por el aparato. Sin embargo, en un momento dado, la claridad cesa bruscamente, cuando es interceptada por el soporte metálico.

El *campo de utilización* se mide por la relación entre la extensión total del desplazamiento transversal AB (fig. 4.^a) y la distancia CX del catafoto.

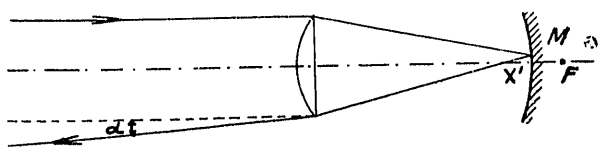
Es muchas veces interesante obtener el mayor campo posible. Con catafotos sencillos, formados

Fig. 4.^a

de una lente con espejo, se llega fácilmente a un campo de utilización del orden de 400 a 500 milésimas; es decir, que a 100 metros, un catafoto de esta clase, cuyo eje coincida con el de una carretera, refleja la luz recibida de todos los puntos situados en una anchura de 50 m.

La extensión del campo puede aun aumentarse, empleando catafotos especiales, esféricos, tetraédricos, etcétera.

b) *Divergencia*.—Supongamos que, como en el caso de la célebre experiencia de Fizeau, el espejo está colocado exactamente en el foco de un objetivo perfecto. La luz volverá reflejada exactamente al foco emisor, y para percibirla sería preciso que el ojo estuviera exactamente detrás de él. La divergencia del

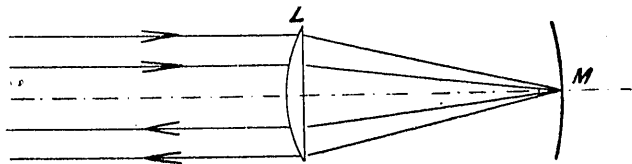
Fig. 5.^a

haz reflejado, es nula; puede tener un gran alcance; es lo que buscaba Fizeau, y después de él Cornu, que aumentó las distancias de observación de la señal, sucesivamente, de 8 a 21 km, y hasta 45 km, en las pruebas realizadas en el Observatorio de Niza, con Perrotin.

Actualmente se trata de llegar a la distancia de 250 km y medir la velocidad de la luz entre los Alpes y Córcega.

En la práctica, las imperfecciones que puede tener el instrumento y la *refracción de la luz*, contribuyen a ensanchar el haz emergente, *divergiéndolo* ligeramente, y se apercibe aun el catafoto desplazándose un poco a un lado del foco emisor, pero siempre demasiado poco para su aplicación en las señales de las carreteras, pues el conductor se encuentra siempre a una distancia de su faro que, contada normalmente a la dirección del haz luminoso, es de 0,50 a 1 m.

En estas condiciones, para que el catafoto pueda verse con seguridad, se introduce ya la divergencia sistemáticamente, es decir, que colocando, por ejemplo, el espejo M (fig. 5.^a) un poco delante del foco F ,

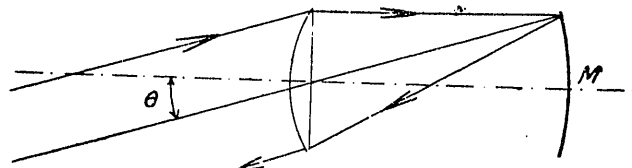
Fig. 6.^a

se obtiene la divergencia del haz reflejado, con lo cual se consigue una abertura angular conveniente para su fácil percepción.

La divergencia se mide por la relación entre el diámetro de la sección recta del haz emergente a la distancia CX del catafoto.

Es evidente que la introducción de la divergencia es contraria al principio catafótico, y cuya consecuencia es la disminución del brillo de las señales, siendo, pues, necesario reducirla al mínimo estrictamente necesario.

En la práctica, para la circulación por carretera, se ha observado que se obtienen buenos resultados con una divergencia de 30/1 000, que corresponde, por ejemplo, a una visibilidad perfecta, desde una

Fig. 7.^a

gran distancia hasta acercarse a 50 m para un *chauffeur* que esté separado lateralmente 0,75 m de un faro.

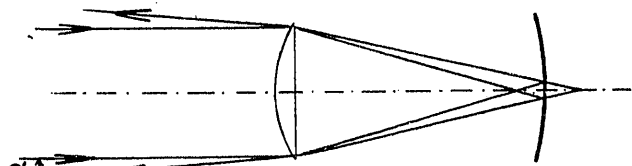
En las figuras siguientes puede verse la marcha de los rayos luminosos y las propiedades de los campos de utilización y divergencia, en los casos siguientes:

Figura 6.^a—Caso de un haz incidente situado en el eje de un catafoto con divergencia nula.

Figura 7.^a—Catafoto sin divergencia, con haz incidente de 10° de oblicuidad.

Figura 8.^a—Catafoto con divergencia 2α , siendo $\text{tg } \alpha = 16/1\,000$. Este caso corresponde a la visibilidad hasta acercarse a la señal a una distancia de 50 m para un observador, cuyo ojo esté desplazado 80 cm del eje del foco emisor.

Faros de automóviles.—Para este caso es evidente que del tipo de faros depende evidentemente el buen

Fig. 8.^a

funcionamiento de las señales catafóticas, puesto que éstos reflejan una fracción constante del *flujo luminoso incidente*, siendo conveniente que dicho *flujo* sea lo más intenso posible en la proximidad del eje del haz luminoso, y ya sabemos que las necesida-

des de la circulación nocturna por carretera obliga a disponer de faros potentes.

De otra parte, la visibilidad de los catafots depende directamente del *coeficiente de utilización* de las superficies donde van montados, es decir, de la relación entre la superficie efectivamente ocupada por los catafots y la total de la placa.

En los pasos a nivel, equipados actualmente, la señal lleva un elemento por decímetro cuadrado, lo que corresponde a un coeficiente de utilización de 4 por 100 solamente, y, sin embargo, su visibilidad es perfecta en condiciones normales, aun para faros de mediana potencia.

Aplicaciones generales de los catafots.—El rendimiento luminoso considerable de los *catafots* los hace, pues, indispensables para el balizamiento nocturno de las carreteras, para señales de pasos a nivel,

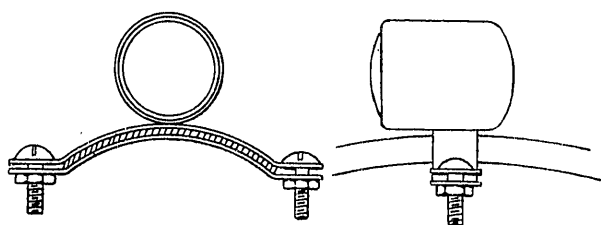


Fig. 9.ª

curvas peligrosas, badenes, tramos en obra, travessías, cruzamientos de carreteras, indicadores de dirección, etc., y hasta para los postes kilométricos. Su potencia luminosa llama poderosamente la atención de los conductores aun de los coches más rápidos, permitiéndoles hacer con tiempo las maniobras necesarias.

Los *catafots* tienen la ventaja sobre las lamparillas que hoy se emplean, pues sólo en raras excepciones puede utilizarse el alumbrado eléctrico, de no nece-

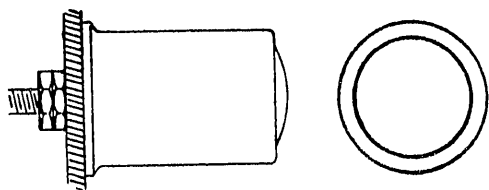


Fig. 10

sitar encendido, conservación ni vigilancia, pues están siempre en perfecto estado de funcionamiento, que es una garantía esencial para una señal de peligro.

Pueden también utilizarse en las grandes poblaciones para marcar los sitios de refugio, de disminución de marcha, etc., principalmente en las calles de mucho tránsito.

Se han aplicado también en algunas señales de ferrocarriles, habiéndose empleado en las Compañías del Norte francés y de la Alsacia-Lorena y Estado belga.

Sustituyen con ventaja a los pilotos en las bicicletas y automóviles, construyéndose tipos especiales (figuras 9.ª, 10 y 11), siendo este último especial para coches rápidos, recibiendo esta disposición el nombre de *Supercatafoto*. Se ha observado que con alumbrado por proyector el catafoto-piloto es muy visible hasta

350 m, siendo así que el piloto con bombilla eléctrica de 6 bujías era invisible a partir de 250 m.

Los *catafots* solucionan también el problema de la circulación por vías oscuras y accidentadas, como galerías de mina, trincheras, balizamiento de vías navegables, etc.

También pueden tener aplicación en la aviación, pues los *catafots* permitirían señalar por la noche

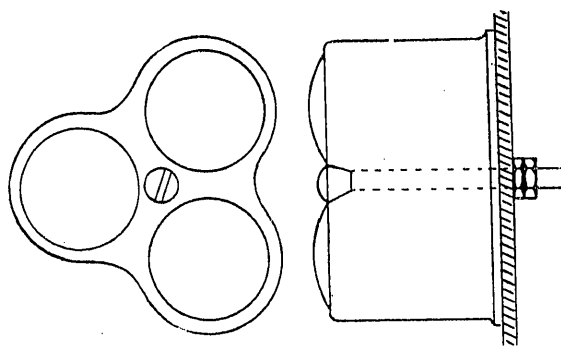


Fig. 11

la dirección del viento, campos de aterrizaje, nombres de poblaciones, etc.

En los campos de aviación, las superficies autocolimadoras estarían colocadas al ras del suelo, de distancia en distancia. El aerodromo no necesitaría sostener fuegos permanentes, que serían, por su tamaño, incluso peligrosos. Bastaría para ello que las aeronaves fueran provistas de un foco luminoso que pudiera dirigir el haz luminoso verticalmente. Varios *catafots*, situados a distancias exactamente medidas y conocidas, permitirían a un observador provisto de un dispositivo telemétrico sencillo calcular exactamente la altitud sobre el terreno y poder aterrizar de noche con toda seguridad.

Prescindiendo ya de las aplicaciones que pudiéramos llamar técnicas, no cabe duda que los *catafots* tienen una excelente aplicación comercial, para anuncios luminosos, incluso en las propias carreteras, para indicar los depósitos de gasolina, garajes, etc.

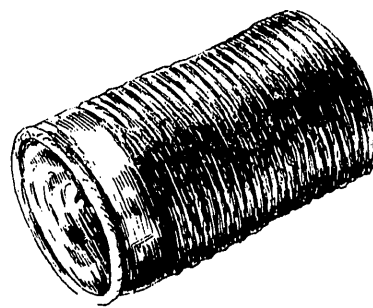


Fig. 12

En la figura 12 hemos representado un elemento *catafoto*, de tamaño natural, para que puedan apreciarse sus reducidas dimensiones.

Como ya indicamos antes, en el Extranjero se va extendiendo el empleo de estos dispositivos ópticos en sus diversas aplicaciones, existiendo también algunos anuncios con *catafots* en los alrededores de Barcelona.