



AÑO XC

MADRID. = SEPTIEMBRE 1935

NÚM. IX

Consideraciones sobre proyectos de alumbrado

Ya anteriormente, y en el MEMORIAL de abril último, se ha publicado un artículo en el que, con la brevedad impuesta por la naturaleza de la Revista, se trataba el problema de iluminación de interiores. Cada vez es mayor el interés que estos asuntos despiertan, y el campo de la Luminotecnia va siendo con más amplitud y detalle considerado. Pretendo ahora señalar un índice-guía de puntos principales y observaciones que sobre ellos formulan notables técnicos en un proyecto general de alumbrado, por ejemplo, urbano.

Se entiende que estos puntos deben ser:

Condiciones de visibilidad.

Clase de la vía y determinación de su iluminación media.

Elección del tipo de aparato.

Disposición de focos.

Altura de los focos.

Esparcimiento. Coeficiente de uniformidad.

Cálculo de iluminación.

Aspecto artístico de la instalación.

Estudio económico.

1.º Condiciones de visibilidad.

Las condiciones económicas, que influyen siempre muy intensamente, obligan a tener en cuenta ciertas circunstancias especiales que facilitan la visión, no siempre posible con el ideal de iluminación directa. Así:

a) *Efectos de silueta.*—Un objeto lejano se ve destacarse de manera clara no debido a la luz que él refleja, sino por contraste con los planos más iluminados que el que lo rodean. Conviene, pues, estudiar en cada caso el “fondo” sobre el que los objetos han de destacarse, y, si resultara oscuro, es indispensable aumentar el valor de la iluminación. Deberá en los cálculos tantearse el valor del brillo en los puntos más desfavorables, teniendo en cuenta los coeficientes de absorción y reflexión de pavimento y fachada.

b) *Efectos de las sombras.*—Si los puntos luminosos están algo espaciados, los obstáculos (desigualdades, pavimentos, piedras, etcétera), iluminados con bastante oblicuidad, arrojan sombras muy visibles, perjudicando la visión de objetos en movimiento, sobre todo si el observador está también en movimiento, como ocurre a los conductores de automóviles.

c) *Naturaleza del pavimento.*—Recordemos que la iluminación y el brillo son cosas muy diferentes. Entre una calle adoquinada con granito y otra asfaltada, se precisa un alumbrado seis veces más intenso en el segundo caso para obtener el mismo brillo.

Con relación a su poder de reflexión, uno de los factores que más influyen en el brillo, puede establecerse una escala entre las distintas clases de pavimentos, ocupando el primer puesto los de hormigón de cemento (color gris claro) y el último los hechos a base de asfalto.

La superficie de la vía, si está húmeda o muy pulimentada, aumenta su poder de reflexión. Más todavía en tiempo de lluvia. Este pulimento tiende a uniformar el brillo luminoso, aun cuando la iluminación no sea muy uniforme, pues el brillo varía en una proporción mucho menor que la iluminación.

Así, por ejemplo, para una calle con pavimento asfáltico la relación entre el brillo máximo y el mínimo es de 3,70, mientras la relación entre la iluminación máxima y mínima es 12,5. Estos números se convierten en 1,3 y 8,3 para el hormigón de cemento, respectivamente. Mientras la iluminación disminuye alejando el foco y con la mayor oblicuidad de los rayos luminosos, por esta misma última

causa aumenta el brillo; de aquí una compensación que ayuda en cierto modo a lograr la uniformidad de iluminación.

d) Árboles.—Hay que tener en cuenta el efecto de sombra de sus troncos. Si son bajos habrá que desplazar el alumbrado hasta el eje de la calle o colocar las lámparas completamente fuera de los árboles.

e) Iluminación en diferentes planos.—La suficiente para poner de manifiesto las irregularidades del pavimento no es bastante para permitir la visión rápida de objetos, vehículos, personas que se mueven. Hay que estudiar la iluminación en planos verticales hasta una altura equivalente, por lo menos, a la parte trasera de automóviles. La adecuada iluminación de los planos verticales se consigue mediante el empleo de las armaduras asimétricas en las que la mayor parte de luz se envíe en direcciones próximas a la horizontal; estas armaduras llevan refractores de vidrio prismático, y con ellas se evita obtener áreas muy iluminadas al pie mismo de cada unidad de alumbrado, con zonas oscuras entre unidad y unidad y, por tanto, con efectos de deslumbramiento y de contrastes muy marcados.

La distribución horizontal de la luz se debe calcular en forma que las líneas de máxima influencia lleguen en forma oblicua a un conductor de coche, por ejemplo, de manera que no coincidan nunca con su eje de visión y, por tanto, sin producir deslumbramiento.

f) Deslumbramiento.—Sus efectos son muy perjudiciales; sólo se ha conseguido disminuirlos bien reduciendo la intensidad luminosa y el brillo de cada unidad (solución antieconómica), o aumentando la altura de suspensión, o reduciendo el efecto de contraste mediante iluminación de los fondos, sobre los que se destaca cada unidad de alumbrado.

El deslumbramiento se deja sentir fuertemente cuando el punto luminoso se ve bajo un ángulo de 15 grados con la horizontal, aumentando muy rápidamente cuando el foco desciende hasta los 6 ó 7 grados. Según ensayos efectuados, si se toma como unidad de deslumbramiento el producido por un punto luminoso situado a 10 metros de altura para un observador inmóvil, este efecto aumentará en la proporción de dos veces mayor para 6,50 metros de altura, tres veces para 4,80 y 8,5 veces mayor para 3,6 metros de altura.

Esta conveniencia de elevar los focos está, naturalmente, limitada también por razones económicas y estéticas.

En cuanto a evitar los contrastes mediante iluminación de fon-

dos, es imposible tener en cuenta este factor. Por casualidad, la iniciativa particular puede convenientemente, mediante alumbrado de escaparates, etc., contribuir a aminorar el deslumbramiento.

2.° Clase y condiciones especiales de las vías e iluminación media conveniente.

En América del Norte, la Comisión de alumbrado público de la Illuminating Engineering Society hace la clasificación así:

Vías de gran tráfico (más de 1.500 vehículos por hora, en ambas direcciones).

Vías de mediano tráfico (de 800 a 1.200 vehículos por hora, en ambas direcciones).

Vías de poco tráfico (menos de 500 vehículos por hora, en ambas direcciones).

Vías exclusivamente destinadas a vivienda.

Avenidas y parques.

Cárretera.

La iluminación horizontal media recomendada va desde 0,5 a 1,25 lux en vías de poca anchura y circulación, hasta 14 lux o más en vías o sitios de circulación muy intensa.

Con más detalle se puede dar como simple *punto de partida* u orientación en la redacción de un proyecto el cuadro de la página siguiente.

Un aumento de luz no es nunca un gasto en pura pérdida, pues ofrece de contrapartida beneficios muy superiores.

Las indicaciones sobre intensidad son mínimas.

Donde se permita el estacionamiento de vehículos debe aumentarse la iluminación.

Igual en zonas próximas a refugios de peatones.

A igualdad de tráfico, la intensidad de iluminación debe aumentar proporcionalmente a la anchura de la calle.

3.° Aparatos.

La luz debe ser bien aprovechada y dirigida. Con simples lámparas (sin aparato) se pierde en absoluto gran parte de flujo luminoso. La curva de distribución de los aparatos debe caracterizarse por un alargamiento pronunciado, entre los 65 y 75 grados, con la vertical del centro del aparato, y éste tiene, además, que presentar

Población	Clase de calle	Lúmenes por postes	Altura de los postes	Espaciamiento	Colocación	Lúmenes por metro de anchura de calle
100.000 habitantes ó más	Comerciales	10.000-25.000	4,20- 5,40	25- 35	Simétrica (ambos lados).	350-150
	Gran tráfico	6.000-15.000	6 - 7,50	35- 75	Simétrica (ambos lados).	100-350
	Mediano	4.000-10.000	6 - 7,50	35- 75	Alterna (ambos lados).	25- 60
	Bulevares y parques	2.500-10.000	4,20- 6	35- 75	Un solo lado.	15- 60
	Residencias	2.500- 6.000	4,20- 6	35- 75	Alterna (ambos lados).	15- 30
	Carreteras	2.500- 4.000	7,50-10,50	90-180	Centrales.	15- 30
20.000 a 100.000 habitantes	Gran tráfico	4.000-10.000	6 - 7,50	35- 75	Alterna (ambos lados).	25- 60
	Bulevares y parques	2.500-10.000	4,20- 6	35- 75	Un solo lado.	15- 60
	Residencias	2.500- 6.000	4,20- 6	35- 75	Alterna (ambos lados).	15- 40
5.000 a 20.000 ha- bitantes	Gran tráfico	4.000-10.000	6 - 7,50	35- 75	Alterna (ambos lados).	25- 60
	Bulevares y parques	2.500- 6.000	4,20- 5,40	—	Un solo lado.	15- 40
	Residencias	2.500- 4.000	4,20- 5,40	—	—	15- 40

buenas condiciones de aislamiento eléctrico y fácil acceso a su interior para limpieza y recambio de lámparas.

Hay dos grandes grupos de aparatos: de distribución simétrica y de distribución asimétrica.

Dentro de cada grupo pueden ser reflectores y refractores, y todavía en estas clases los hay de tipo industrial y de carácter ornamental o de lujo.

Siempre es esencial la buena colocación y reglaje de la lámpara, pues el cambio de posición del filamento modifica la curva de distribución en mayor o menor proporción.

Aparatos reflectores.—El reflector puede ser de hierro esmaltado, de metal pulimentado, de vidrio azogado o plateado, etc.; se puede dividir en armaduras de radiación profunda, en que el cono de luz proyectado es de ángulo muy cerrado; y armaduras de radiación plana que producen deslumbramientos a cambio de ser más abierto el ángulo del cono de proyección.

Hay aparatos de una, dos o tres lámparas. Es mejor usarlos así que, necesitando menos luz, apagar alternadamente los equipos con destrucción de uniformidad en el alumbrado. A este efecto, también se emplean lámparas de dos filamentos, con casquillo especial de tres contactos.

Contra el deslumbramiento se emplean diferentes artificios, como globos esmerilados o de cristal opal o cilindros de ídem, abiertos por sus extremos. Todos estos aparatos con mecanismo de reglaje de la lámpara.

Para carreteras buscar aparatos de curvas de repartición muy alargadas que permiten gran espaciamento.

Aparatos refractores.—Esencialmente, son dos elementos de cristal prensado, adaptado uno dentro del otro; el interior, con superficie interna lisa, y en la externa una serie de prismas dispuestos en bandas horizontales, calculados en forma que dirijan y repartan convenientemente los rayos de luz; el exterior, en superficie interna tiene serie de prismas en zonas verticales, destinada a difundir la luz, y en su cara externa es liso (evita suciedad y polvo).

Los hay simétricos, con inconveniente de enviar demasiada luz a la zona inmediatamente inferior—escalonados (banda con prismas en parte superior y zona inferior lisa, esmerilada) de rendimiento menor—, tipo cúpula, etc.

También asimétricos de dos o cuatro direcciones, para centro de calle los primeros y en cruces los segundos.

Curvas de distribución.—Indican la densidad del flujo en varias direcciones a la unidad de distancia del punto luminoso. La densidad en los aparatos industriales varía para las distintas direcciones.

La cantidad de flujo total se obtiene sumando el emitido en las distintas zonas.

Hay que tener muy presente que el área abarcada por la curva no tiene relación directa con la cantidad de lúmenes emitidos.

Recordemos que un punto luminoso cuya intensidad en todas direcciones sea de una bujía decimal, emite 4π ó 12,57 lúmenes, y que habiendo 4π ángulos sólidos en una esfera de radio unidad se emitirá un lumen de cada uno de estos ángulos sólidos.

Inversamente, el número de lúmenes emitido por un foco a través de un ángulo sólido es igual a la intensidad media en todas direcciones dentro del ángulo sólido considerado. El flujo en cada zona será la intensidad media multiplicada por el número de ángulos sólidos-unidad que comprende.

Hay factores correspondientes a distintas zonas:

Ángulos	Zona	Factor
5	0- 10	0,0954
25	20- 30	0,4630
45	40- 50	0,7740
68	60- 70	0,9920
85	80- 90	1,0910
105	100-110	1,0580
115	110-120	0,9920
125	120-130	0,8970
145	140-150	0,6280
165	160-170	0,2834
175	170-180	0,0954

Los intermedios, aproximadamente interpolados.

Para la zona 0-10, por ejemplo, se multiplicará el valor de la intensidad en la dirección media, 5 grados, que es 1150 supuesto (en la curva) por su factor 0,0954 y tendremos el número de lúmenes correspondientes.

Para la zona 0-20 se multiplicará el valor de 15°-1150 por el correspondiente factor. Y así hasta los 90°.

Sumando estos resultados parciales se obtendrá el flujo total de la armadura.

En las asimétricas se tiene que emplear más de una curva.

Sistemas para formar idea de la distribución:

- a) Por curvas isolux. (Ya se verá posteriormente.)
- b) Por estudio sólido fotométrico.
- c) Y definir la armadura por tres curvas en diferentes planos verticales: uno que forma un ángulo de 20 a 22° con el eje de alineación de los aparatos, otro en dirección a los edificios y otro dirigido normalmente al eje de la calle. Debe acompañar una distribución horizontal tomada a la altura en que la intensidad luminosa es mayor, generalmente entre los 65 y 70 grados, como ya se dijo.

4.º Colocación de los focos.

Distribución axial: Para vías de anchura superior a 20 metros. En las calles estrechas suele usarse esta disposición con las armaduras suspendidas de un cable que atraviese la vía.

Distribución paralela simétrica: Aparatos a ambos lados de la vía y uno frente a otro. En vías anchas: Pueden quedar en la vertical de su soporte o avanzar hacia la calzada mediante brazos.

Distribución paralela alterna: En calles estrechas.

Sistema mixto: Combinación del axial con cualquiera de los paralelos. En vías de gran tráfico, con alumbrado muy intenso.

En vías en curva el alumbrado alterno no es recomendable; debe ir repartido simétricamente a ambos lados o sobre un solo lado en la parte exterior de la curva.

En los finales de vías sin salida debe aumentarse extraordinariamente la intensidad alumbrado.

5.º Altura de los focos sobre el pavimento.

Imposible dar reglas fijas. Es función de anchura de calle, espaciamiento de focos, potencia, etc., pero la altura no debe ser inferior a 4,50 metros a causa de deslumbramiento, a menos que éste se evite por disposiciones especiales. Si el espacio entre lámparas es mayor de 50 metros, la altura de focos no debe ser inferior a 6 metros, y esta misma altura se recomienda para equipos con lámparas de 500 o más vatios (8.000 lúmenes).

6.º Espaciamiento de los puntos luminosos.

Esto debe ser resultado del cálculo. La relación de 8 a 1 entre el espaciamiento y la altura focos es recomendable.

El espaciamiento influye en la mayor o menor uniformidad de la iluminación, que es importantísimo estudiar.

Coefficiente de uniformidad $U = \frac{E \text{ máximo}}{E \text{ mínimo}}$. Es condición im-

puesta por la rapidez actual de la circulación. Si el alumbrado está mal distribuído, los contrastes son duros, y si bien se beneficia la visión por los efectos de silueta, en cambio perjudica al obligar a los ojos a rápido trabajo de acomodamiento al pasar de zonas iluminadas a oscuras, y viceversa. Un conductor de auto, marchando a 40 kilómetros por hora en vía con farolas cada 40 metros, tendrá que pasar 32 veces por minuto de zona máxima iluminación a mínima; visión defectuosa.

$E m$ = "Iluminación media". "Diferencia de iluminación" igual a $E - E m$.

En una superficie S será coeficiente de uniformidad de iluminación $U = 1 - \frac{\sum (E - E m) \Delta S}{E m \times S}$ y variará de 1 a 0. Si $E = E m$.

$U = 1$ y la distribución será uniforme.

Variando U con la separación d de los aparatos y con la altura h , se puede trazar para h constante la curva de variación de U con relación a d , teniendo así de una vez trazada la curva característica de un aparato.

Dos sistemas de alumbrado pueden tener igual coeficiente de uniformidad y ser la distribución de luz muy distinta. Muy conveniente considerar así valores intermedios.

El cálculo de los reflectores de uniformidad debe abreviarse estudiando las iluminaciones sobre una línea que coincida en dirección con el eje de una zona de terreno. Prácticamente, la distancia comprendida entre los focos se divide en n partes iguales. Se calcula la iluminación media $E m$ y, para cada división, la diferencia $E - E m$.

Se hace la suma de estas diferencias en valores absolutos y se divide por $n \times E m$, obteniéndose la diferencia relativa media $\frac{D m}{E m}$

y, por tanto, U .

Imposible obtener uniformidad de iluminación con armaduras corrientes de distribución simétrica. Indispensable dirigir la luz extendiendo la influencia de cada unidad en el sentido conveniente.

7.º Cálculos de iluminación.

Potencia de los focos luminosos.—La iluminación en un punto de una superficie normal a la dirección del rayo luminoso tiene por expresión

$E = \frac{I}{d^2}$, siendo I la intensidad en la dirección considerada

y d la distancia del punto al foco. Si I viene en bujías internacionales y d en metros, E será en *lux*.

Si la superficie es oblicua al rayo, caso el más frecuente, la fórmula será $E = \frac{I}{d^2} \times \cos \alpha$ y α el ángulo que forma la superficie con la normal al rayo luminoso.

Cálculo de la iluminación horizontal.—El foco situado a una altura h sobre la calle y el punto a distancia α del pie del foco. Fórmula

$E_h = \frac{I}{h^2} \cos^3 \alpha$ — fundamental. Su aplicación permite calcular por *puntos* la iluminación horizontal de una superficie, conocida la posición y altura de los focos, la curva fotométrica del aparato y la potencia de la lámpara empleada.

α puede determinarse gráficamente por su tangente o por tablas y gráficos existentes que dan el valor del $\cos \alpha$ y $\cos^3 \alpha$; α es el ángulo que forma la normal al suelo, desde el foco, con el rayo.

I se deduce de la curva fotométrica del aparato una vez conocido α . Para ello basta ver el punto en que el rayo, cuya inclinación corresponde al valor de α , corta a la curva y leer en el eje vertical las bujías que le resultan. Las curvas vienen trazadas para lámparas de 1.000 lúmenes; a distinto flujo hay que modificar proporcionalmente los valores.

A partir de 84 grados los cosenos cubos pueden despreciarse.

El valor de h se suele tomar hasta el “plano de utilización”, que se supone a un metro del suelo.

Puede venir determinada la lámpara en vatios, por su consumo, hallándose en seguida el número que corresponde en lúmenes.

Cálculo de la iluminación vertical.—Ahora el valor de h es variable. La iluminación en un punto perteneciente a un plano vertical

por un foco situado a distancia d del plano es $E = \frac{I d}{(l^2 + d^2 + h^2)^{\frac{3}{2}}}$

Para determinar el valor de I precisa obrar como cuando era horizontal la iluminación y conocer el valor del ángulo φ del rayo luminoso con la vertical $\cos \varphi = \frac{h}{\sqrt{l^2 + h^2 + d^2}}$, l es la distancia, en el

plano, desde el punto cuya iluminación se desea obtener hasta el pie de la perpendicular trazada por el punto que sobre la vertical del foco señala la altura de utilización, ya consignada como variable cada vez ahora.

Si se trata de una armadura de distribución asimétrica para poder determinar la curva de distribución conveniente entre las que nos da el aparato en distintos planos, es necesario conocer el ángulo β , cuyos $\cos \beta = \frac{d}{\sqrt{l^2 + d^2}}$, formado por la perpendicular al plano

y la recta que va al punto de iluminación que se busca desde el que, sobre la vertical del foco, marca la altura de utilización.

Potencia de los aparatos. Coeficiente de utilización. — Del flujo producido por la lámpara hay parte absorbida en el aparato y parte perdida en las paredes próximas al foco, y que no llega al plano horizontal que se trata de iluminar. De aquí los conceptos de flujo útil y coeficiente de utilización de los aparatos.

$$K \text{ (coeficiente de utilización)} = \frac{F u \text{ (útil)}}{F \text{ (total)}}. \text{ Oscila entre 0,20 y } 0,60 \text{ por } 100.$$

Mínimo para aparatos muy cerca de las paredes y máximo con aparatos no muy elevados o refractores de *luz dirigida* (distribución asimétrica). Se calcula por fórmula complicada y procedimiento pesado y laborioso en función de la posición del aparato. En la práctica los vendedores facilitan este dato de sus aparatos con curvas especiales a ellos correspondiente.

$$E m \text{ (iluminación media de una superficie } S) = \frac{F u}{S}.$$

$$Y F = \frac{E m \times S}{K}. \text{ Esta fórmula permite determinar la potencia por foco y número de los necesarios para obtener una iluminación dada.}$$

Por ejemplo: si tenemos una calle de 15 metros de anchura y de-

seamos iluminación de 4 lux, el flujo útil que necesitará recibir la calle por metro será de $4 \times 15 = 60$ lúmenes.

Si el coeficiente de utilización es de 0,30, el flujo total por metro de anchura será $\frac{60}{0,3} = 200$ lúmenes por exceso. Si empleamos lámparas de 500 vatios, aproximadamente 10.000 lúmenes, el esparcimiento entre ellas deberá ser $\frac{10.000}{200} = 50$ metros.

En los aparatos de distribución simétrica (aparatos con un eje de revolución vertical) se puede calcular directamente su flujo útil y la iluminación media sobre una superficie partiendo de la curva fotométrica, deduciendo el flujo producido en las diferentes zonas, calculando el coeficiente de utilización correspondiente a ellas, y el flujo útil será la suma de los productos de cada flujo zonal por su factor correspondiente.

Armaduras asimétricas.—Para éstas, prácticamente se calcula la iluminación media partiendo de las curvas de iluminación o de las isolux, según ya veremos, o se calcula por puntos partiendo, para obtener el valor I , bien de curvas de distribución de intensidad tomadas en distintos planos verticales o del sólido fotométrico de la armadura en estudio, en el que van marcadas las curvas de “igual intensidad”. Mediante los valores de los ángulos φ y β , cuyas fórmulas se determinaban antes, se puede “situar” el rayo luminoso que interese en el interior del sólido fotométrico determinando la curva de intensidad que dicho rayo cortaría y que daría el valor de I para el punto cuya iluminación se desea calcular. La otra fórmula permitirá, conocido I , deducir el valor de E .

Curvas de iluminación.—Se toman como abscisas las distancias al foco y como ordenadas la iluminación correspondiente a cada punto. Las curvas así obtenidas darán clara idea de la variación de la iluminación sobre el pavimento y en una dirección determinada. Si en vez de un solo foco se tratase de varios, no hay más que hacer en cada punto la suma de ordenadas correspondientes. El “coeficiente de uniformidad” es resultado de dividir la iluminación máxima por la mínima, y estudiando las curvas anteriores se ve cómo puede conducir a errores al apreciar la forma de distribución de un alumbrado, pues curvas muy diferentes tienen idénticos valores extremos de iluminación.

Curvas isolux o de igual iluminación.—Dan idea exacta y rápida

del reparto de iluminación. Representan el papel de las curvas de nivel en un plano topográfico.

En el caso de una sola unidad se calcula la iluminación horizontal sobre el plano de utilización en puntos situados sobre líneas radiales separadas de 10 en 10 grados y trazadas tomando como centro la proyección del foco—coordenadas polares lux y distancia—y uniendo los puntos de igual iluminación.

Si se trata de dos focos se obra como si estuviese cada foco solo y se unen luego aquellos puntos de *coincidencia* de estas curvas para los cuales la *suma* de valores de iluminación por las dos curvas que en él se cortan tengan un mismo valor determinado.

Si fueran cuatro focos se calcula la iluminación de los puntos correspondientes a los vértices de una cuadrícula de tres a cinco metros de lado, establecida en el espacio que limitan los cuatro focos. Basta aquí hacer el trazado en 1/4 de la superficie entre focos y calcarlo y repetirlo con la orientación correspondiente en el resto, ya que el trazado es simétrico.

La iluminación será mejor cuando resulten las curvas isolux más espaciadas y su dirección aproximadamente paralela al eje de la calle. Si la uniformidad se obtiene según líneas perpendiculares al eje de la calle, no interesa, ya que el trabajo no se efectúa en este sentido transversal, sino a lo largo de la calle.

Con estas curvas se puede calcular la iluminación media. Trazando una cuadrícula de cuadrados iguales sobre las curvas, tomando la iluminación en el centro de cada uno de esos cuadrados; sumando estos valores y dividiendo por el número de ellos, se obtiene lo que se pretendía, con la ventaja de aplicarse igualmente a aparatos de distribución simétrica o asimétrica.

8.º Aspecto artístico.

Es problema, el de proyectar soportes o columnas para aparatos modernos de alumbrado, más de arquitecto que de decorador—hay que encontrar la *escala* conveniente—; es cuestión de proporciones. No se va en la visión de conjunto de una vía, en que no puede prescindirse de las columnas, a apreciar el detalle. La ornamentación debe ser sencilla y ligera. Recargando adornos inútiles por la repetición acaban por llamar la atención, ofreciendo un conjunto pesado. La aplicación de forma *standard*, sistema que siguen los americanos, eligiendo una o varias “familias” de equipos que aplican

según las condiciones de la calle, no resultaría recomendable en nuestro país por abundar los lugares históricos de gran valor artístico; precisa resolver dando armonía, conseguida sólo con estrecha colaboración el arquitecto y el técnico de la luz.

9.º Estudio económico.

Hay que determinar el precio de coste del lumen-hora:

Factores: Coste de la energía eléctrica. (Cargas fijas por amortización.)

Coste de la renovación de lámparas. (Limpieza de aparatos y entretenimiento.)

Observaciones.

Punto 1.º Una reducción de sólo 1 por 100 en el voltaje de régimen de las lámparas reduce su potencia luminosa en un 3 por 100, sin más reducción que un 1 por 100 en la potencia consumida.

Punto 2.º Sobre la distribución en serie o derivación sólo las condiciones de cada caso permitirán decidir. Muy equilibradas y discutidas están las ventajas e inconvenientes.

Las lámparas en serie de filamento corto y grueso son menos susceptibles de rotura por choques, vibraciones, etc.

Punto 3.º Las instalaciones se calculan para muy larga duración; las cargas por amortización del primer establecimiento deben ser despreciables.

Punto 4.º Gran cantidad de polvo se acumula en los aparatos y disminuye enormemente el poder luminoso. Por ensayos hechos en América se ha visto que resulta *económica* la limpieza completa de los aparatos con agua y jabón, efectuada cada diez o doce días. Por lo menos, debe hacerse cada tres meses.

JULIO SAN MARTÍN.

Viga continua sobre flotantes

Compuertas.

En la teoría de las estructuras, se llama apoyo flotante a toda sustentación que, bajo la acción de una fuerza vertical dirigida de arriba hacia abajo, desciende una cantidad proporcional a dicha fuerza sin dejar huella de deformación permanente.

A falta de conocimiento más perfecto, suele admitirse que el terreno sustentador de una cimentación y el balasto de una vía férrea se deforman o asientan proporcionalmente a las acciones verticales que soportan; así, es de sobra sabido que carriles y traviesas, y también las cimentaciones de algunas construcciones, suelen calcularse como vigas sobre apoyos flotantes, o como vigas directamente flotantes sobre el elemento sustentador.

El terreno o el balasto se miran como líquidos sustentadores de una densidad extraordinaria. Esta densidad se define mediante el *coeficiente de balasto*, β , que es la fuerza unitaria que produce el descenso unidad

$$\beta = \frac{R : S}{b}$$

en donde b es el asiento; R , el esfuerzo absoluto, y S , la superficie en que se carga o se reparte dicho esfuerzo.

Consideremos ahora una viga continua apoyada sobre barcas o flotantes cualesquiera, es decir, la viga auténticamente flotante: En este caso, β vale la unidad, pero vale la unidad en tanto que exista correlación entre la unidad de peso y la unidad de extensión adoptadas; así, si la carga se expresa en gramos por centímetro cuadrado, $\beta = 1$, pero si consideramos la carga en kilogramos por centímetro cuadrado, $\beta = 1 \times 10^{-3}$, porque el kilogramo es correspondiente al decímetro cúbico. Cuando las sustentaciones son literalmente flotantes, β recibe el nombre de *coeficiente de boyancia*, con más propiedad que el de coeficiente de balasto.

Antes de tratar de la aplicación de la viga flotante al caso particular de la viga continua sobre barcas o pontones, apoyos genui-

namente militares, nos permitiremos recordar, quizá con molestia del lector, los fundamentos de la correspondiente teoría.

Fundamento del cálculo de la viga flotante.

Consideremos (fig. 1) una viga sustentada sobre barcas, *a*, *b*, *c*, etcétera, y otras más a derecha e izquierda de las que marca la figu-

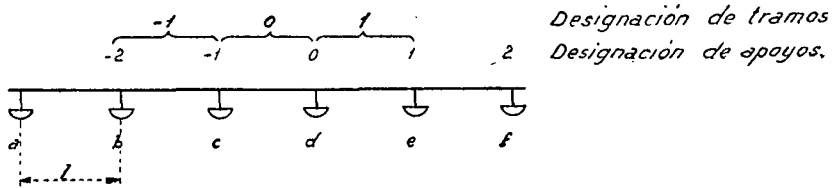


Fig. 1

ra; las sustentaciones las suponemos todas homogéneas y las luces de los tramos iguales entre sí.

Las ecuaciones necesarias para el cálculo se establecen expresando la igualdad de la deformación angular del extremo derecho de un tramo con la del izquierdo del tramo contiguo. En cada una de estas ecuaciones aparecen como incógnitas cinco momentos hiperestáticos, correspondientes: uno, al apoyo en que se expresa, mediante la ecuación, la igualdad de deformación; dos, a los apoyos inmediatos de la derecha, y otros dos, a los inmediatos de la izquierda.

Esos cinco momentos los designaremos por $m_0, m_1, m_2, m_{-1}, m_{-2}$. Al plantear la ecuación de cada apoyo será necesario hacer uso de los momentos isostáticos de dos tramos, los contiguos al apoyo a que corresponde la ecuación, y los llamaremos m_{i+1} y m_{i+0} ; sus subíndices son indicadores del tramo a que afectan (véase fig. 1). Las reacciones hiperestáticas se representarán por la letra v , con el subíndice correspondiente, y las isostáticas por v_i . Reservamos las letras mayúsculas para designar los momentos y reacciones verticales totales. Los asientos b llevarán también el subíndice propio del apoyo correspondiente.

Las fuerzas y deformaciones verticales son positivas de arriba hacia abajo, los momentos y variaciones angulares en el sentido de las agujas del reloj; los momentos se considerarán a la izquierda de la sección a que afectan. Las distancias positivas, de izquierda a derecha.

Por ser muy conocidas y de cómodo empleo, usaremos las notaciones μ y μ' , con los subíndices correspondientes a su tramo, para designar los llamados *momentos de carga*, que pueden definirse así:

μ' = momento de carga derecho = momento estático del área de momentos isostáticos con relación al extremo derecho, multiplicado por $\frac{6}{l^2} = \frac{6}{l^2} \int_0^l m_i (l-x) dx$.

μ = momento de carga izquierdo = momento estático del área de momentos isostáticos con relación al extremo izquierdo multiplicado por $\frac{6}{l^2} = \frac{6}{l^2} \int_0^l m_i x dx$.

Llamemos γ a la variación angular del extremo izquierdo del tramo *de* (tramo 1) y γ' a la del extremo derecho del tramo *cd* (tramo 0).

La variación angular γ es debida a tres causas:

1.^a La acción isostática de las cargas del tramo 1.

$$\gamma_{mi} = \frac{1}{E I l} \int_0^l m_{i+1} (l-x) dx$$

2.^a Los momentos hiperestáticos que actúan en los extremos del tramo como consecuencia de la continuidad de la viga

$$\gamma_m = \frac{l}{6 E I} (2 m_0 + m_1)$$

E = módulo de elasticidad. I = momento de inercia constante en la viga continua.

3.^a La diferencia de asientos de los extremos, que, dada la pequeñez del ángulo, puede ponerse así:

$$\gamma_b = \frac{b_1 - b_0}{l} = \frac{1}{\beta} \frac{V_1 - V_0}{S l}$$

pero

$$V_1 = v_{i+1} + v_1 = v_{i+1} + \frac{m_2 - m_1}{l} + \frac{m_0 - m_1}{l}$$

$$V_0 = v_{i+0} + v_0 = v_{i+0} + \frac{m_1 - m_0}{l} + \frac{m_{-1} - m_0}{l}$$

luego

$$\gamma_b = \frac{1}{\beta S l} \left[v_{i+1} - v_{i+0} + \frac{1}{l} (m_2 - 3 m_1 + 3 m_0 - m_{-1}) \right]$$

Las deformaciones angulares correspondientes al extremo derecho del tramo (0) son las que siguen:

$$\gamma'_{mi} = - \frac{1}{E I l} \int_0^l m_{i+0} x dx$$

$$\gamma'_m = - \frac{l}{6 E I} (m_{-1} + 2 m_0)$$

$$\gamma'_b = \frac{1}{\beta S l} \left[v_{i+0} - v_{i-1} + \frac{1}{l} (m_1 - 3 m_0 + 3 m_{-1} - m_{-2}) \right]$$

Igualando las dos variaciones angulares γ y γ' después de multiplicar todo por $\frac{6 E I}{l}$ se llega a

$$\begin{aligned} \frac{1}{l} \frac{6 E I}{\beta S l^2} m_{-2} - \left(4 \frac{1}{l} \frac{6 E I}{\beta S l^2} - 1 \right) m_{-1} + \left(\frac{6}{l} \frac{6 E I}{\beta S l^2} + 4 \right) m_0 - \\ - \left(4 \frac{1}{l} \frac{6 E I}{\beta S l^2} - 1 \right) m_1 + \frac{1}{l} \frac{6 E I}{\beta S l^2} m_2 = - \frac{6 E I}{\beta S l^2} \\ (v_{i-1} - 2 v_{i+0} + v_{i+1}) - (\mu'_{i+1} + \mu_{i-1}) \end{aligned}$$

Vamos a llamar k al coeficiente $\frac{6 E I}{\beta S l^2}$

$$k = \frac{6 E I}{l^2} : \beta S$$

Escribimos así este coeficiente para hacer notar que es la relación entre una expresión significativa de la rigidez de la viga y otra que expresa la propensión de los apoyos para el descenso; encierra en sí la indicación de las condiciones mecánicas de la estructura y no depende de las cargas; tiene dimensión de longitud.

Haremos también $V''_0 = -(v_{i-1} - 2v_{i+0} + v_{i+1})$ y $\mu''_0 = -(\mu_{i+1} + \mu_{i-1})$ estas expresiones no dependen de las cualidades mecánicas de la estructura, sino de las cargas y de su forma de repartición; V''_0 tiene dimensiones de peso y μ''_0 de momento.

La ecuación fundamental toma esta forma:

$$\frac{1}{l} k m_{-2} - \left(\frac{4}{l} k - 1\right) m_{-1} + \left(\frac{6}{l} k + 4\right) m_0 - \left(\frac{4}{l} k - 1\right) m_1 + \frac{1}{l} k m_2 = k V''_0 + \mu''_0 = S_0$$

o aún más simplemente:

$$A m_{-2} + B m_{-1} + C m_0 + B m_1 + A m_2 = S_0$$

con

$$A = \frac{1}{l} k \quad ,, \quad B = 1 - \frac{4}{l} k \quad ,, \quad C = \frac{6}{l} k + 4 \quad (*)$$

Normas para aplicar la ecuación obtenida.

Con la ecuación obtenida se resuelve el problema de la viga flotante con cualquier número de tramos.

Para fijar ideas tomemos ocho tramos, es decir, una viga que empieza en a y termina en i (fig. 1).

Dadas dimensiones a la estructura que se ha de comprobar, se calculan k y A, B, C . Con el sistema de cargas que trata de aplicar se se pueden calcular V'' y μ'' para cada apoyo.

Apliquemos la ecuación fundamental al apoyo b : el índice 0 coincidirá con él, el índice (-1) cae en a , el (-2) se sale de la viga,

(*) Nótese que con $k = 0$ (rigidez enorme o apoyos amovibles), la ecuación de cinco momentos se convierte en la clásica de tres momentos de la viga continua.

los (1) y (2) corresponden a c y d ; escribimos así la siguiente ecuación:

$$C m_b + B m_c + A m_d = S_b$$

corriendo la plantilla de índices de b a c se forma:

$$B m_b + C m_c + B m_d + A m_e = S_c$$

por este camino llegamos al siguiente sistema:

$$\begin{aligned} S_b &= C m_b + B m_c + A m_d \\ S_c &= B m_b + C m_c + B m_d + A m_e \\ S_d &= A m_b + B m_c + C m_d + B m_e + A m_f \\ S_e &= A m_c + B m_d + C m_e + B m_f + A m_g \\ S_f &= A m_d + B m_e + C m_f + B m_g + A m_h \\ S_g &= A m_e + B m_f + C m_g + B m_h \\ S_h &= A m_f + B m_g + C m_h \end{aligned}$$

Pero la matriz de los coeficientes es simétrica respecto al centro c ; sumando y restando 1 y 7, 2 y 6 y 3 y 5, se obtienen los dos sistemas que siguen:

$$\begin{aligned} S_b + S_h &= C (m_b + m_h) + B (m_c + m_g) + A (m_d + m_f) \\ S_c + S_g &= B (m_b + m_h) + C (m_c + m_g) + B (m_d + m_f) + 2 A m_e \\ S_d + S_f &= A (m_b + m_h) + B (m_c + m_g) + (C + A) (m_d + m_f) + 2 B m_e \\ S_e &= A (m_c + m_g) + B (m_d + m_f) + C m_e \\ S_b - S_h &= C (m_b - m_h) + B (m_c - m_g) + A (m_d - m_f) \\ S_c - S_g &= B (m_b - m_h) + C (m_c - m_g) + B (m_d - m_f) \\ S_d - S_f &= A (m_b - m_h) + B (m_c - m_g) + (C - A) (m_d - m_f) \end{aligned}$$

Si el sistema primitivo tuviese número par de ecuaciones, ambos sistemas contarían con número igual de ecuaciones.

Si la distribución de cargas en la viga fuese simétrica, el segundo sistema desaparecería y el primero tomaría forma más simple, a saber:

$$\begin{aligned} S_b &= C m_b + B m_c + A m_d \\ S_c &= B m_b + C m_c + B m_d + A m_e \\ S_d &= A m_b + B m_c + (C + A) m_d + B m_e \\ S_e &= A m_c + B m_d + C m_e \end{aligned}$$

Aplicaciones prácticas.

Los cálculos que aquí recordamos no encajan dentro del marco de los llamados cálculos de campaña; éstos han de ser breves, simplificados por el uso de tablas y aun suprimidos totalmente. La aplicación de cuanto aquí se expone hay que buscarla con preferencia al redactar proyectos para material reglamentario de puentes pesados o para el estudio de alguna operación especial de campaña que permita disponer de tiempo y en la que halle ventaja, sobre otras, la solución de la viga flotante. Para los puentes pesados, una de las grandes dificultades estriba en el gran volumen y peso de los flotantes. Este peso puede reducirse por descomposición del flotante en varios cuerpos, pero esta solución inspira desconfianza. La viga más o menos rígida sobre flotantes puede repartir una carga superior a la de flotación de un soporte entre varios de ellos; de aquí que esta solución merezca siempre ser atendida.

Aparte de esto, se presentan ocasiones en las que es preciso improvisar compuertas de maniobra con barcas pequeñas para soportar en el centro un peso superior a la capacidad de flotación de dos barcas.

La solución de este último problema requiere la determinación de soluciones explícitas, que con un pequeño trabajo de regla de cálculo nos den los resultados.

Hoy vamos a dar forma práctica a esta última cuestión, dejando para mejor ocasión el estudio del puente propiamente dicho.

Resolución del problema de compuerta.

Caso 1.º—Compuerta de tres flotantes.—Carga unidad en el centro, fig. 2 (a).

$$k = \frac{6EI}{\beta S l^2} \quad ,, \quad m_b = \frac{2kl}{6k + 4l}$$

$$V_a = V_c = \frac{m_b}{l} \quad ,, \quad V_b = 1 - 2V_a$$

Haciendo el cálculo con kgs. y metros, debe tomarse:

$$\beta = 1.000.$$

E = coeficiente de elasticidad en kg. por m.²

I = momento de inercia que suman todas las vigas en m^4

l = luz del tramo en metros.

S = superficie media del flotante en m^2

Caso 2.º—Compuerta de cuatro flotantes, fig. 2 (b).

$$m_b = \frac{0,5 k l - 0,375 l^2}{5 l + 2 k} = m$$

$$V_a = V_d = \frac{m_b}{l} \quad ,, \quad V_b = V_c = 0,5 - V_a$$

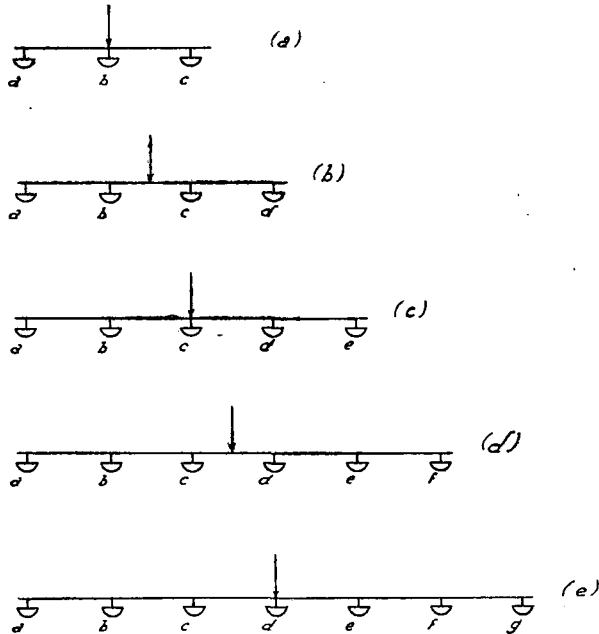


Fig. 2

Caso 3.º—Compuerta de cinco flotantes, fig. 2 (c).

$$m_b = \frac{2 k^2 l - 6 k l^2}{10 k^2 + 68 k l + 14 l^2} = m_d$$

$$m_c = \frac{6 k^2 l + 10 k l^2}{10 k^2 + 68 k l + 14 l^2}$$

$$V_a = V_e = \frac{m_b}{l} \quad ,, \quad V_b = V_d = \frac{m_c - m_b}{l} - V_a$$

$$V_c = 1 - 2(V_a + V_b)$$

Caso 4.^o—Compuerta de seis flotantes, fig. 2 (d).

$$m_b = \frac{0,5 k^2 l - 4,125 k l^2 + 0,375 l^3}{3 k^2 + 44 k l + 19 l^2} = m_e$$

$$m_c = \frac{1,5 k^2 l + 0,25 k l^2 - 1,5 l^3}{3 k^2 + 44 k l + 19 l^2} = m_d$$

$$V_a = V_f = \frac{m_b}{l} \quad ,, \quad V_b = V_e = \frac{m_c - m_b}{l} - V_a$$

$$V_c = V_d = 0,5 - (V_a + V_b)$$

Caso 5.^o—Compuerta de siete flotantes, fig. 2 (e).

$$m_b = \frac{6 l^3 k - 36 l^2 k^2 + 2 k^3 l}{14 k^3 + 392 k^2 l + 386 k l^2 + 52 l^3} = m_f$$

$$m_c = \frac{-24 l^3 k - 58 l^2 k^2 + 38 l k^3}{14 k^3 + 392 k^2 l + 386 k l^2 + 52 l^3} = m_e$$

$$m_d = \frac{38 l^3 k + 98 l^2 k^2 + 12 l k^3}{14 k^3 + 392 k^2 l + 386 k l^2 + 52 l^3}$$

$$V_a = \frac{m_b}{l} \quad ,, \quad V_b = V_f = \frac{m_c - m_b}{l} - V_a$$

$$V_c = V_e = \frac{m_d - m_c}{l} - \frac{m_c - m_b}{l}$$

$$V_d = 1 - 2(V_a + V_b + V_c)$$

Descensos y flechas máximas.—El descenso de cada flotante es
 fácil de determinar, pues es sencillamente $b = \frac{V : S}{\beta}$.

La flecha máxima corresponde al punto medio de las vigas; si el número de flotantes es impar, la flecha en este punto es igual a la diferencia de descensos del flotante central y de los flotantes extremos.

Si el número de flotantes es par, la flecha en el centro puede descomponerse en tres sumandos: uno es la diferencia de asiento entre los flotantes centrales y los extremos; otro, la flecha que se produce en el tramo central a consecuencia de los momentos hiperestáticos que obran en los apoyos centrales, y, por último, otro es la flecha, dentro de ese mismo tramo, debida a la fuerza que actúa en el centro considerando su acción isostática.

La flecha máxima puede, pues, expresarse así:

a) *Número impar de flotantes:*

$$f = b_c - b_e$$

b) *Número par de flotantes:*

$$f = b_c - b_e + \frac{1}{EI} \left[\frac{m_c}{8} + \frac{P l^3}{48} \right]$$

Designando con el subíndice c los valores que corresponden a los apoyos centrales, y por la letra e los de los extremos; con P designaremos el peso central diferente de la unidad.

Observaciones de interés.

Es difícil encontrar en las aplicaciones prácticas viguetas de madera y hierros perfilados de longitud tal que puedan cubrir el ancho de siete, seis y aun cinco barcas, por lo que las soluciones correspondientes a estos números de flotantes serán de escaso uso.

Veamos ahora qué grado de repartición se consigue en un caso concreto:

Supongamos barcas de unos 10 metros cuadrados de superficie media y viguetas cuyo momento de inercia en conjunto sea 0,000075 m.⁴ (el de tres viguetas doble T de 160 × 160); sea 3 m. la luz de cada tramo. En estas condiciones,

$$k = \frac{6 \times 22 \times 10^9 \times 75 \times 10^{-6}}{10^3 \times 10 \times 9} = 110 \text{ m.}$$

En los casos resueltos, los resultados son (ver fig. 2) con $P = 1.000$ kg.

Compuerta de tres flotantes:

$$m_b = 982 \text{ m.-kg.} \quad ,, \quad V_a = V_c = 327 \text{ kg.} \quad ,, \quad V_b = 346 \text{ kg.}$$

la repartición es bonísima.

Compuerta de cuatro flotantes:

$$m_b = m_c = 686 \text{ m.-kg.} \quad ,, \quad V_a = V_d = 227 \text{ kg.} \quad ,, \quad V_b = V_c = 273 \text{ kg.}$$

la repartición es muy aceptable.

Compuerta de cinco flotantes:

$$m_b = m_d = 462 \text{ m.-kg.} \quad ,, \quad m_c = 1584 \text{ m.-kg.} \quad ,, \quad V_a = V_e = 154 \text{ kg.} \\ V_b = V_d = 220 \text{ kg.} \quad ,, \quad V_c = 252 \text{ kg.}$$

aún la repartición es aceptable.

Compuerta de seis pontones:

$$m_b = m_e = 271 \text{ m.-kg.} \quad ,, \quad m_c = m_d = 1.063 \text{ m.-kg.} \\ V_a = V_f = 90 \text{ kg.} \quad ,, \quad V_b = V_c = 201 \text{ kg.} \quad ,, \quad V_e = V_d = 209 \text{ kg.}$$

la repartición perfecta daría 166,6 kilogramos por flotante; por tanto, los flotantes extremos sólo absorben un 60 por 100 de esa carga.

Compuerta de siete pontones:

$$m_b = m_f = 119 \text{ m.-kg.} \quad ,, \quad m_c = m_e = 626 \text{ m.-kg.} \quad ,, \quad m_d = 1.760 \text{ m.-kg.} \\ V_a = V_g = 39 \text{ kg.} \quad ,, \quad V_b = V_f = 130 \text{ kg.} \quad ,, \quad V_c = V_e = 209 \text{ kg.} \\ V_d = 244 \text{ kg.}$$

la repartición perfecta daría 143 kilogramos por flotante; aquí los extremos absorben una carga muy escasa.

Cuando los valores de k son pequeños, la repartición desmerece mucho; así para valores algo inferiores a $k = 60$, en el caso último, la carga soportada por los pontones extremos sería nula; si k bajase aún más, llegarían a producirse reacciones negativas; con un gran número de flotantes se notarían las ondulaciones características de la viga directamente flotante.

Hay que notar que la resolución de los casos anteriores está hecha para el supuesto de que las vigas apoyen en el eje de los flotan-

tes y no en las bordas; en las compuertas con material de requisa, es frecuente emplear la primera disposición; por lo demás, el apoyo en las bordas no modifica sensiblemente las reacciones de cada flotante, y las fórmulas obtenidas pueden aplicarse en todo caso.

El momento máximo en el caso de barca central es el calculado para el apoyo del medio; en otro caso, para calcular este momento basta aumentar al momento de los apoyos más próximos al cen-

tro $\frac{1}{4} P l'$, siendo l' la separación de las cumbreras centrales.

Las operaciones de los cálculos propuestos para compuertas se hacen con toda rapidez valiéndose de la regla de cálculo, la que, a mi juicio, nunca debería faltar en el bolsillo del zapador.

J. A. P.

De perspectiva

El procedimiento que vamos a indicar no es un método *perspectivo nuevo*; es únicamente un medio práctico y sencillo de hallar, por puntos, la perspectiva de una figura cualquiera, basándose en los principios clásicos.

La perspectiva de un punto A (fig. 1) es, según se sabe, la intersección a del rayo visual OA con el plano del cuadro C ; trazando el *rayo principal* OV , perpendicular al cuadro y la *línea de horizonte* HH , la perspectiva a quedará determinada cuando se conozcan vh y ha .

La abscisa vh es igual a $v'h'$, obtenida trazando las proyecciones horizontales $O'A'$ y $O'V'$ de los rayos visual y principal; por tanto (fig. 2), si $H'H'$ es la traza del cuadro sobre el geometral, y A' , O' y $O'v'$, las proyecciones horizontales de A , O , y Ov , respectivamente, bastará unir A' con O' para encontrar la abscisa $v'h'$.

Para hallar la ordenada ha , observemos (fig. 1) que los pares de triángulos rectángulos semejantes $OA A''$, Oah , y $OA''V$, Ohv , dan:

$$\frac{ha}{AA''} = \frac{Ov}{OV};$$

esta cuarta proporcional se construye en la misma figura 2, bajando desde A' la perpendicular $A'V'$, llevando sobre ella, a partir de V' , la longitud $V'A'$ igual a la altura $A''A$ del punto sobre el horizonte, y uniendo A' con O' , obteniéndose en $v'a$ la *ordenada superior* buscada.

sición *a*) y se lee la abscisa (2,7); colocando el hilo sobre la graduación correspondiente a la altura (2,00) de *A'* sobre el horizonte (posición *b*), tendremos en (1,4) la *ordenada superior*, y poniéndolo en la profundidad (1,5) de *A'* bajo el horizonte, se encontrará en (1,1) la *ordenada inferior* (posición *c*).

Si el punto cuya perspectiva se busca es el *M*, a la izquierda de *O'v'*, se coloca la \perp en la posición de puntos; esta es la razón de tener graduados sus dos bordes, pudiéndose, si se prefiere, graduar uno sólo, por el derecho y por el revés, para que la \perp pueda invertirse.

En posesión ya de las coordenadas, resulta fácil dibujar la perspectiva valiéndose del papel milimetrado y pasar luego el dibujo al papel blanco; pero si se quiere emplear directamente éste, conviene disponer las cosas de la siguiente manera (fig. 4): se traza la línea de horizonte *HH* fijando

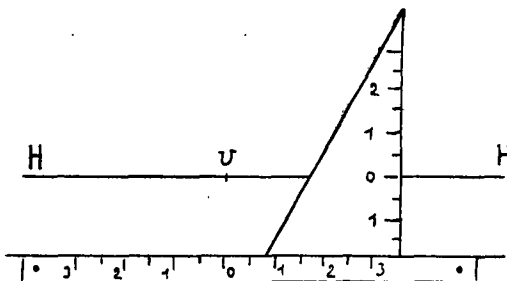


Fig. 4

sobre ella el punto de vista *v*; por debajo, y a una distancia algo mayor que la altura *OO'* (fig. 1) del punto de vista sobre el geometral, se le traza una paralela colocando sobre ésta una regla, en cuyo borde se pega una tira, destinada a contar abscisas, idéntica a la que se fijó sobre *HH'* en la figura 3; las ordenadas se miden sobre las dos graduaciones del borde de una escuadra, cuyo cero está a la altura de *HH*; este conjunto de regla y escuadra puede ser sustituido (fig. 5) por una T, cuya muleta corra a lo largo del borde inferior del tablero, colocando entonces en *HH* la tira de papel milimetrado.

Para facilidad en el trabajo es conveniente determinar primero la abscisa, y fijar en ella la escuadra, y luego obtener las dos ordenadas y señalar las perspectivas, geometral y del espacio.

Quando se busque la perspectiva de un cuerpo cualquiera, se necesita una proyección horizontal lo más exacta posible, pero basta con que el alzado sea un ligero croquis en el cual se anoten las alturas sobre y bajo el horizonte de los puntos esenciales.

Una vez fijada la posición del cuadro, se le trazarán perpendiculares desde los puntos extremos de la planta, quedando así determinada la anchura de aquél; el punto de vista se sitúa en el centro del cuadro y a una distancia de él que suele variar de una a dos veces su anchura, siendo esta última proporción la más empleada, pues con ella se obtienen corrientemente agradables perspectivas; la altura del punto de vista sobre el geometral, es decir, la altura de horizonte, suele ser de ordinario de 1,50 metros (a no ser que se trate de encontrar efectos perspectivos especiales),

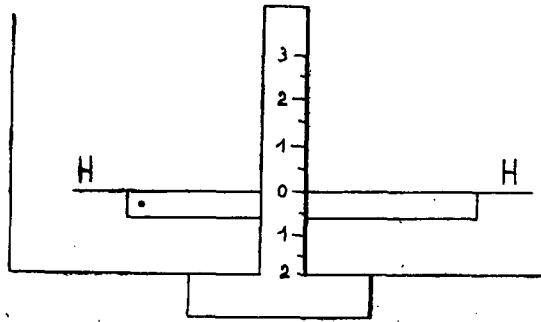


Fig. 5

y este es el motivo de que el cero de la graduación de la escuadra esté tan cerca de uno de los extremos, siendo claro que a medida que suba el punto de vista, dicho cero se irá desplazando hacia el otro extremo.

El procedimiento que acabamos de exponer resulta de tan fácil empleo, que aun los no *iniciados* obtienen desde el primer momento perspectivas perfectas; no obstante, al principio, conviene comprobar, aplicando alguna de las reglas que vamos a recordar:

- a) Las perspectivas de rectas paralelas concurren en un punto.
- b) Las perspectivas de rectas paralelas horizontales tienen su punto de concurso en la línea de horizonte; y
- c) Las perspectivas de rectas perpendiculares al cuadro concurren en el punto de vista.

ENRIQUE BARRERA.

SECCIÓN DE AERONÁUTICA

El Servicio de Protección del Vuelo.

Misión general.—El hecho de volar, como manifestación de la actividad humana que es, lleva consigo un *peligro*, el cual proviene o de la imperfección de las obras humanas o de la acción de las fuerzas naturales, que ya por no ser del todo conocidas, ya porque, aunque lo sean, tienen enorme intensidad, resulta que no es posible resistirlas.

Entonces, el hombre, con su inteligencia, cuando sus obras no llegan a tener resistencia capaz de soportar las acciones naturales, se arregla de modo que puedan ser *eludidas*, buscando otros artificios.

Estas ideas, que son completamente generales, en cualquier actividad humana, cuando se aplican a los medios de transporte, dan lugar a una misión característica que se llama *Seguridad del Tráfico* y, por tanto, a una organización compuesta de personal y material que lleve a cabo esa misión.

El *tráfico aéreo* no solamente cae dentro de esos principios sino que requiere, en el más alto grado, el cumplimiento de esa misión y, como abarca tantas misiones particulares, ha sido preciso *especializar* y, así, se ha llegado a formar una sola misión con el conjunto de todos los medios que tienen por objeto *evitar los peligros* de la ejecución del vuelo, que vienen de *fuera del avión*.

Caracteres del Servicio.—Como el medio de transporte aéreo participa de los caracteres de las vías terrestres y de las vías marítimas: de éstas en lo que se refiere a *no necesitar* preparación de la vía y sólo *adaptación del vehículo*; de aquéllas en que hay una organización *lineal* que en las terrestres está en la vía misma y en las aéreas, en la *proyección* de la vía sobre el suelo y, de unas y otras, el ser precisa la organización de los puntos terminales de las rutas, resulta que el Servicio de que se habla tiene caracteres comunes a *todos* los medios de transporte.

Así, en los ferrocarriles existen señales diurnas y nocturnas: existe telégrafo que liga las estaciones, etc.; en los transportes por mar, existe el Servicio de Señales marítimas, las estaciones radiotelegráficas costeras y a bordo, etc. y, en uno y otro transporte, existen *estaciones y puertos*.

Misiones. Composición del Servicio.—Pues bien; en el transporte aéreo es preciso que exista comunicación entre estaciones; entre éstas y los vehículos, cosa que es necesaria también en el mar y sólo un lujo en los ferrocarriles: es preciso saber el estado de la atmósfera porque las fuerzas naturales tienen en este medio de transporte aún más efecto, si cabe, que en el marítimo y, finalmente, hay que hacer señales diurnas y nocturnas, por medios ópticos o electromagnéticos, etc.

Resulta de aquí: un servicio que se titula "Protección del Vuelo" que es una parte de la Seguridad del Tráfico, con unas misiones que se concretan en las tres que se van a citar en seguida diciendo, antes de seguir adelante, otra idea esencial.

Aunque lo que se va exponiendo parece que tiene un carácter *comercial* es, sin embargo, de la misma necesidad en las aplicaciones militares de la Aviación puesto que el avión, en el aire, soporta las mismas acciones y tiene las mismas exigencias cualquiera que sea el objetivo del vuelo.

Las misiones a que antes se hacía referencia y que son la base de la organización del Servicio son de tres caracteres;

- 1) Transmisiones.
- 2) Meteorología.
- 3) Señales y energía.

Bastando su enunciación, pues no es posible desarrollar aquí la teoría de la organización de uno de los Servicios de más trascendencia de la Aviación: el objeto de esta nota es solamente dar a conocer la forma en la que este Servicio se lleva a cabo en nuestro país.

Organización.—No es necesario razonar para justificar la existencia de tres misiones generales que son independientes de la *modalidad* de un Servicio:

- 1) Funciones directivas.
- 2) Ejecución del Servicio en tiempo de paz (aerodromos permanentes).
- 3) Ejecución del Servicio en tiempo de guerra o Servicio de Campaña.

Se deduce que debe haber:

- 1) Servicio Central.
- 2) Servicio en los Aerodromos.
- 3) Unidades de Campaña.

El Servicio Central se compone de las siguientes partes, cuyo simple enunciado basta para comprender su misión:

Jefatura

Secretaría y Parque.

1.^a Sección.—*Transmisiones.*—Jefatura.

Secretaría y Servicio de orientación.

Subsección R. T. Radiotelegrafía terrestre.

Subsección R. A. Radiotelegrafía aérea.

Subsección T. T. Telefonía y taller.

2.^a Sección.—*Meteorología.*—Jefatura.

Subsección I. P. Información y Previsión.

Subsección L. T. Laboratorio y Tarado de instrumentos.

Subsección C. E. Climatología y Estadística.

3.^a Sección.—*Alumbrado, Balizamiento y Energía.*

Subsección A. S. Alumbrado y Señales.

Subsección E. Energía.

Servicio en los aerodromos.—El Servicio en los aerodromos consta de los elementos, que es ocioso enumerar después de ver el mapa que se acompaña y que representa, las estaciones radiotelegráficas que posee la Aviación en los aerodromos, con los observatorios que sostiene y dirige, a lo que hay que añadir 40 estaciones radioaéreas.

Existe, pues, un oficial por aerodromo, generalmente capitán, al frente de todo el Servicio, para dirigirle y entretener el material que existe en él, ayudado del personal de tropa necesario.

Para formar una idea de su importancia basta decir que entre las instalaciones permanentes y de campaña, importa el inventario de este Servicio 6.000.000 de pesetas en números redondos.

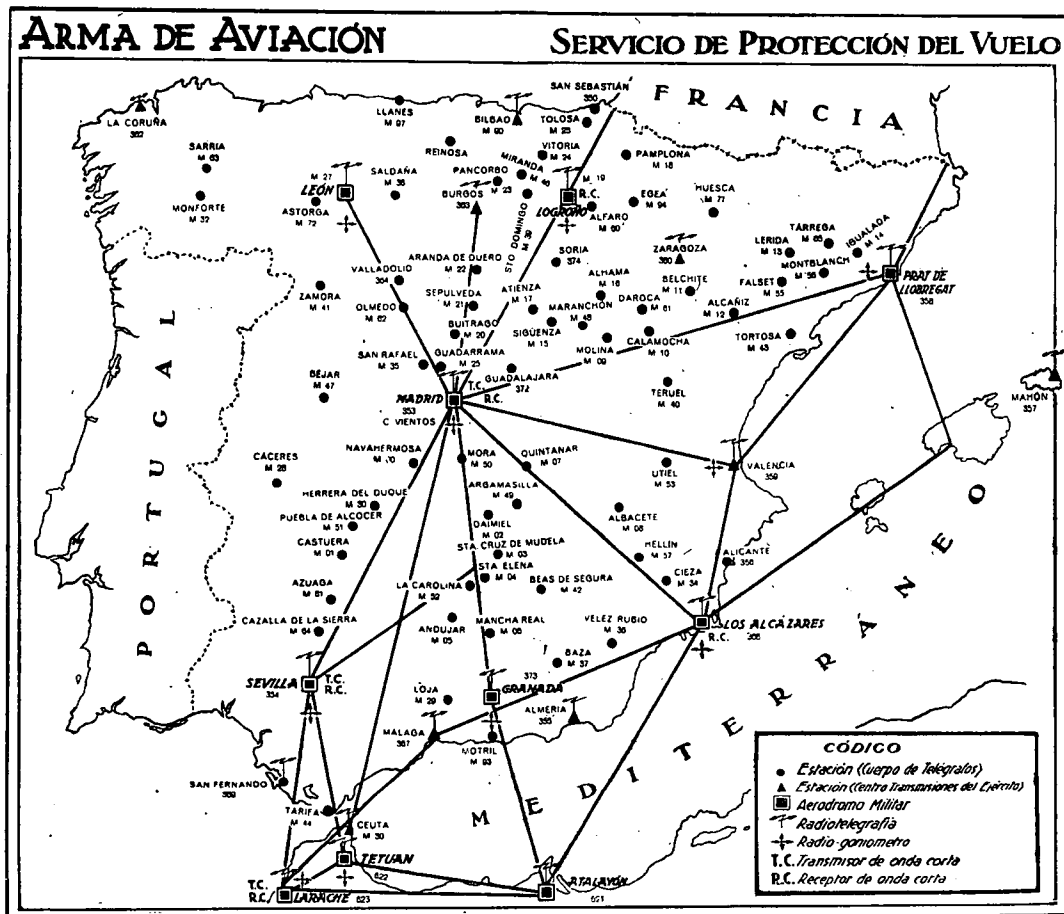
Las ondas que se emplean son las que están asignadas en los convenios internacionales y, salvo las horas en las que se transmiten *meteoramas*, toda la red está a la escucha en onda de 900 metros.

Está en vías de ejecución el establecimiento de una segunda red completa de onda corta para el servicio *meteo*, de cuya red existen actualmente las estaciones que se ven en el citado mapa.

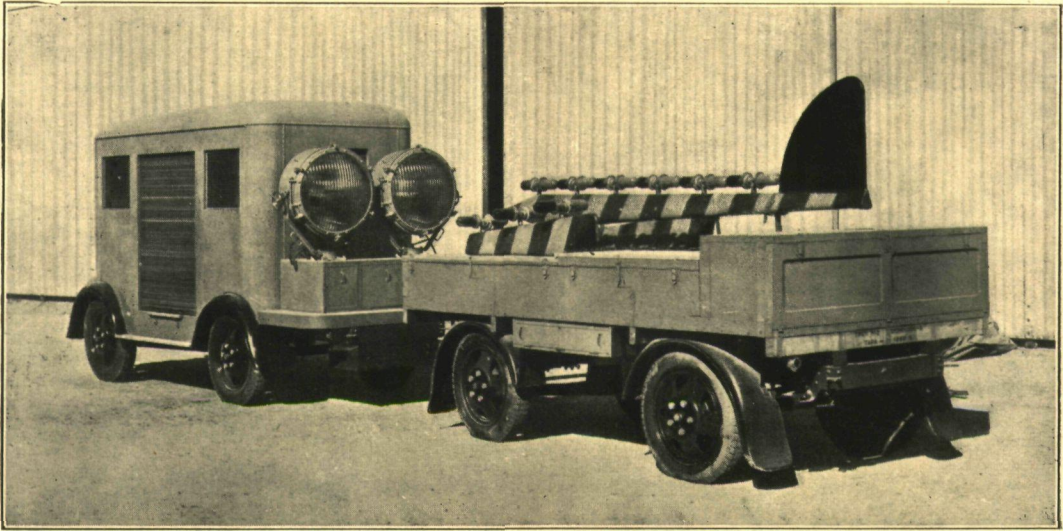
En la actualidad el servicio *meteo* se hace con transmisor *automático*, a 28 palabras por minuto y *tres* veces al día.

La red radiogoniométrica es de las más densas de Europa.

Existe también telégrafo en los aerodromos de Cuatro Vientos, Getafe, Sevilla y León y se extenderá sucesivamente a los demás, cuyo telégrafo, aunque servido por el personal de Aviación, es tam-



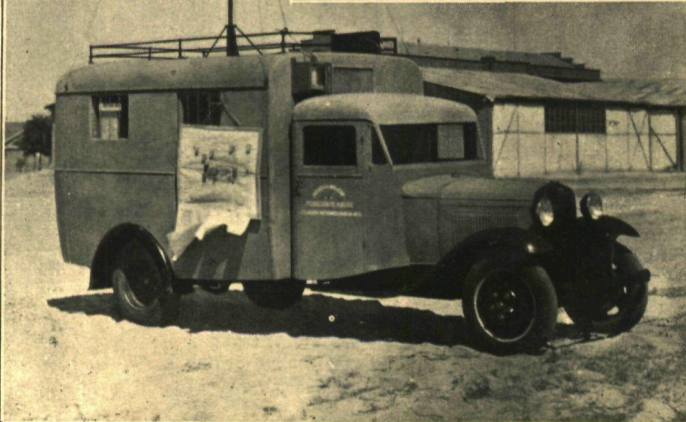
bién público y tiene por objeto hacer, por él, todo el tráfico terrestre para dejar la red radiotelegráfica sólo para el tráfico aéreo: se tendrán, pues, tres redes de comunicación, como pasa en las principales naciones, que tienen además red de cable subterráneo, cosa muy costosa para España, que ha recurrido al telégrafo del Estado para tener ese tercer medio de transmisión.



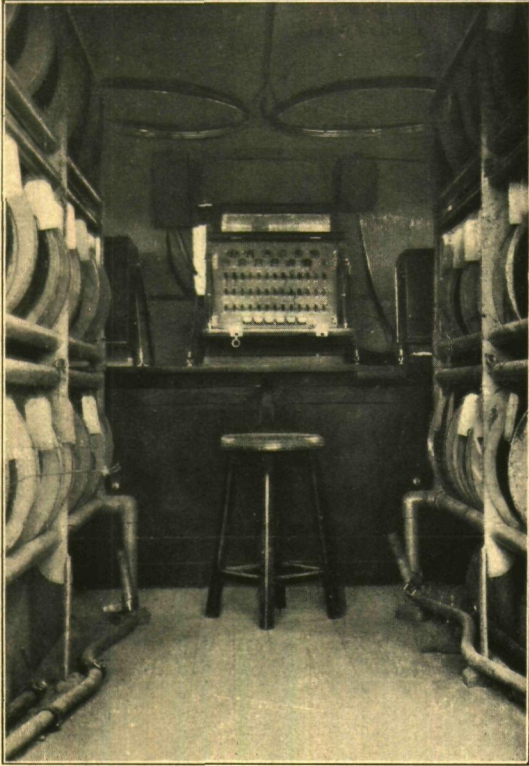
Proyectores de aterrizaje y T luminosa.



Camión telefónico.



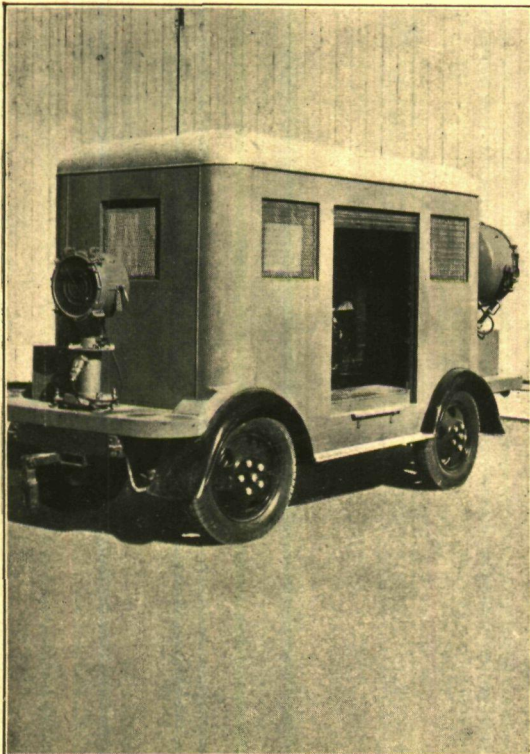
Camión meteorológico.



Camión telefónico. Interior.



Camión meteorológico. Interior.



Tren de alumbrado mostrando el proyector para altura de nubes.



Estación radiotelegráfica automóvil.

Disposiciones ministeriales permiten a la Aviación emplear toda la red del Estado, si la es necesaria, para la protección del vuelo, siendo en este sentido brillantísima la colaboración que viene prestando, el Cuerpo de Telégrafos desde hace *seis* años.

En cuanto a Meteorología se dirá que las observaciones, que son tres al día, se radian a ocho horas, diez horas y trece horas en invierno y a siete horas la primera en verano, conteniendo datos tomados *una hora* antes, es decir que se concentran los partes de;

Nueve aerodromos, transmitidos por radio de Aviación.

Nueve Observatorios complementarios, por radio del Centro de Transmisiones y,

Sesenta y ocho por telégrafo del Estado.

Es decir; en total 86 partes de Observatorios que cada uno contiene datos de; *dirección y fuerza* del viento; estado del cielo; cantidad y altura de los pisos de nubes; visibilidad y estado de la Sierra próxima; transmitidos con clave.

Todo ello se recibe y prepara para su transmisión automática en una hora y contando con los veinte minutos que dura la transmisión, resulta que los *datos tomados en 86 lugares de España, a la hora y veinte minutos* de ser obtenidos, *son conocidos en todos los aerodromos.*

Realmente no puede pedirse más al ajuste de los diversos medios de transmisión empleados y ello pone muy alto el valor de la eficacia de los Servicios del Estado.

Además los radiotelegrafistas están instruídos en el Código internacional *Q* para conversaciones, y suministro de noticias a las aeronaves.

En cuanto a *Alumbrado*, tienen instalación permanente los aerodromos de Sevilla, Los Alcázares y Larache y, de Campaña, Cuatro Vientos, Getafe y Logroño así como Sevilla; debiendo advertir que, los aerodromos esencialmente militares, obedeciendo a principios elementales de estrategia aérea, no han de tener más que Alumbrado de Campaña.

Servicio de Campaña.—Este Servicio ha de estar satisfecho en campaña por medio de Unidades compuestas de Secciones organizadas para cada una de las tres misiones dichas, cuyas Secciones han de poder funcionar autónómicamente, puesto que podrán existir campos de Aviación que sólo requieran una o dos de las misiones señaladas.

Con ello resultará la elasticidad necesaria para una acertada distribución de estos elementos.

La composición de las Secciones será la siguiente:

a) *Sección de Transmisiones.*

1. Camión estación radiotelegráfica.
2. Remolque con la estación para el segundo escalón de ondas.

3. Camioneta telefónica (estación de 12 direcciones y 40 kilómetros de línea).

b) *Sección de Meteorología.*

1. Camión meteorológico.
2. Camioneta con toldo para receptor radioteleográfico, torre anemométrica, etc.

c) *Sección de Alumbrado.*

1. Camión con proyectores de aterrizaje.
2. Segundo camión (para elasticidad de iluminación va el alumbrado en dos elementos).
3. Remolque con T luminosa. Faro de señales. Proyector de altura de nubes, etc.
4. Aerofaro.
5. Generador eléctrico y equipo de alumbrado del campamento.

Además los elementos de mando e impedimenta correspondientes pues sólo se han citado los elementos técnicos.

Como se comprende, todo este material necesita un personal relativamente numeroso para su servicio; obreros contratados, tropa, etcétera.

En la actualidad existen: dos Secciones de Transmisiones, una de Meteorología y tres de Alumbrado, esperando llegar, tan pronto lo permita el presupuesto, a disponer de cuatro Unidades completas afectas; una por cada una de las tres Escuadras y otra al Servicio Central.

Se comprende, por lo dicho, el desarrollo que, en breve tiempo, ha tomado este servicio cuya historia es la que se resume a continuación.

Resumen histórico.—Desde 1918, en cuya fecha se voló con un aparato "Farman" provisto de estación radiotelegráfica, puede decirse que empezó rudimentariamente este Servicio.

Posteriormente se instalaron estaciones radiotelegráficas en Cuatro Vientos y Getafe y Dirección de Aeronáutica Militar, residente entonces en la calle de Serrano.

En el año 1921 se montaron tres estaciones de medio kilovatio en Sevilla, Los Alcázares y Cuatro Vientos, quedando así iniciada la red radiotelegráfica de Aviación, que sucesivamente ha llegado a la situación antes descrita.

Posteriormente, en 1929, se organiza el Servicio meteorológico, que empezó a funcionar el 20 de septiembre de dicho año, cumpliendo así, en el actual, el sexto año de su existencia, en cuyo tiempo ha tenido ocasión de intervenciones delicadas como fueron: la Vuelta a Europa (*Challenge*) de 1931; la preparación e informe del viaje de los capitanes Rodríguez y Haya a Guinea y la de los malogrados Barberán y Collar.

En el Servicio Radio, aparte de la callada labor diaria, están las marcaciones radiogoniométricas hechas a aviones extranjeros con las que se han evitado catástrofes, especialmente a la línea alemana de Sudamérica.

Por entenderlo de interés se ha hecho esta nota de divulgación de este Servicio para la debida apreciación de los valores nacionales que, muchas veces, no son tan inferiores como suele creerse.

C.

REVISTA MILITAR

Los transportes de tropas por avión. ("La France Militaire", junio 1935.)

Esta cuestión preocupa seriamente a las diversas naciones interesadas en el desarrollo de la Aviación Militar. Inglaterra es la primera que se ha ocupado de este problema, ya que posee un inmenso imperio colonial, donde las sublevaciones, siempre posibles, deben ser rápidamente dominadas.

En América uno de los aviones especialmente construido para el transporte de tropas, el "Fairchild XC 31", puede transportar un piloto y 14 hombres.

También se ha realizado una experiencia de transporte por avión de una batería de obuses con municiones y personal al completo hasta una posición determinada de antemano. Se utilizaron para ello seis grandes aviones, que transportaron cada uno 1.500 kilogramos de carga útil, o sea, una capacidad total de transporte de 9.000 kilogramos. La carga y la descarga se efectuó con gran éxito, y quince minutos después del aterrizaje la batería (al parecer compuesta tan sólo de dos piezas) estaba dispuesta a hacer fuego sobre el emplazamiento designado. La experiencia se realizó a una velocidad de 150 a 200 kilómetros por hora y sin utilizar para nada la red de caminos; sólo el avión es capaz de tales transportes.

En Inglaterra se han limitado hasta el presente a ejecutar transportes de tropas, especialmente en las colonias. Aunque Inglaterra utilizó para ello los

grandes aviones de su poderosa Compañía, de Aviación, la Imperial Airways, ha pensado también en construir aviones especializados para esta misión; en lo que a rendimiento se refiere, tendrán el mismo valor que los de la Imperial Airways, y sólo se diferenciarán en la disposición de los locales de transportes. Para poder transportar objetos voluminosos es necesario disponer de portones de carga que, habilitados generalmente en la parte inferior del fuselaje, facilitan la entrada y salida en el aparato de los objetos que hay que transportar, pero imponen a veces algunas modificaciones en la construcción del fuselaje. Algunos aparatos "Vickers", equipados con dos motores "Bristol Pegasus" de 500 CV., son susceptibles de transportar 24 hombres con armamento y equipo completo, comprendiendo las ametralladoras y los morteros necesarios. Este efectivo representa ya un cierto potencial de combate; puede ser llevado a los puntos amenazados y puede completarse, en caso necesario, mediante transportes análogos, sucediéndose a cadencia rápida. En caso de guerra, con objeto de proteger tales transportes, deben ir acompañados por aviones de caza.

Generalmente se admite hoy día que un avión de transporte, provisto de tres motores, puede, a una velocidad de 250 kilómetros por hora, transportar una carga útil de 2.000 kilogramos a 4.000 ó 5.000 metros de altura y con un radio de acción de 1.000 kilómetros. Es fácil, por tanto, darse cuenta del rendimiento que puede obtenerse con estos aviones utilizando los datos siguientes, que dan los pesos corrientes de algunos elementos de guerra:

Un infante con equipo de campaña, 250 cartuchos y dos granadas de mano: 100 kilogramos.

Una ametralladora ligera: 50 kilogramos.

Una ametralladora pesada, con su cochecillo y municiones: 750 kilogramos.

Un cañón de campaña, con avantrén y municiones: 2.000 kilogramos.

Un obús en las mismas condiciones: 2.300 kilogramos.

Mil cartuchos de infantería: 30 kilogramos.

Mil granadas de mano: 700 kilogramos.

Una Sección de Zapadores, de 24 hombres, con material: 8.000 kilogramos, o sean, cuatro aviones de transporte.

Una Sección química, de 18 hombres, con material: 6.000 kilogramos, o sean, tres aviones.

Hay que reconocer que si se quisiesen asegurar transportes aéreos importantes sería preciso disponer de un gran parque de aviones especializados. Es posible que en un porvenir próximo se realicen grandes progresos en la técnica de la construcción aeronáutica y que estos transportes lleguen a ser corrientes, pero en la actualidad hay que atenerse a límites modestos.

Los rusos, considerando que tales transportes sólo son posibles interiormente o para reforzar una parte del frente amenazado, han renunciado a los desembarcos de tropas para realizar una acción sobre la retaguardia del adversario, y prefieren la solución del envío de tropas con paracaídas; de aquí que el adiestramiento del personal en la utilización del paracaídas goza de gran favor en Rusia, habiéndose obtenido ya resultados verdaderamente extraordinarios. Los rusos hacen practicar en masa el salto con paracaídas, creyendo, merced a este procedimiento, poder reunir en un punto dado una tropa combatiente.

U.

CRONICA CIENTIFICA

En la proximidad del cero absoluto.

Desde que recibimos las primeras nociones de física llegó a nuestro conocimiento el hecho, fecundo en consecuencias, de que las temperaturas no tienen límite superior, pero que su descenso tiene un límite teórico expresado por el número $-273,1^{\circ}$, llamado *cero absoluto*, que corresponde al estado de reposo de las moléculas. La temperatura de ebullición del más volátil entre los gases, el helio, corresponde a cuatro grados sobre el cero absoluto; reduciendo la presión sobre la superficie del helio líquido, se ha conseguido alcanzar la temperatura de $+0,7^{\circ}$, pero ésta no es la ínfima conseguida hasta el día, según veremos. Lo que podríamos llamar la conquista del cero absoluto ha realizado progresos importantes en los últimos años, de los que nos hemos ocupado recientemente en esta misma sección. Volvemos sobre el tema para dar noticia de las investigaciones realizadas por F. Simon, que han sido objeto de una comunicación a la Royal Institution de Londres, en la que hace notar el contraste entre la facilidad de obtención de las temperaturas muy elevadas y la extrema resistencia que opone la aproximación al límite teórico inferior. La elevación de la temperatura en un cuerpo aumenta su energía y, a la vez, su desorden molecular, mientras que en los gases el desorden molecular es completo; cuando se enfría una materia en grado suficiente para cristalizar, se verifica en ella una ordenación molecular en mayor o menor grado, y, según hace notar Simon, es más fácil desordenar que ordenar. Si en un recipiente que contiene bolas de distintos colores sometidas a una cierta ordenación se agitan las esferas, sacudiéndolas, por ejemplo, es casi imposible que la ordenación se acreciente, y, por el contrario, casi seguro que disminuirá.

Como ejemplo, analizó el disertante la técnica seguida para la licuefacción del helio. Se comprime primeramente el gas; la disminución de su volumen tiende a aumentar el orden de las moléculas; en cambio, la agitación térmica tiende a aumentar el desorden, y de ello resulta una elevación de temperatura. Seguidamente un enfriamiento del gas origina un aumento de orden en sus moléculas, y la expansión siguiente, que da lugar al decrecimiento de orden, debido al aumento de volumen, causa un descenso térmico. Por otra parte, la técnica sólo es útil cuando la temperatura de origen es ya baja, mientras que en las condiciones ordinarias de temperatura los efectos del enfriamiento serían casi anulados por la capacidad calorífica, muy preponderante, de los recipientes; tal obstáculo desaparece cuando la temperatura es baja; a 12° absolutos, por ejemplo, un centímetro cúbico de gas helio bajo presión de cien atmósferas posee una capacidad calorífica comparable a la de un kilogramo de cobre.

La reducción de presión sobre el helio líquido permite alcanzar el $0,7$ absoluto, pero no más; para conseguir mayor descenso es menester servirse de sistemas desordenados distintos de los gases, tales como las sustancias paramagnéticas, compuestas de uniones elementales orientadas al azar de la agitación térmica; si se aumenta el ordenamiento magnético de esa materia, la formación de un campo magnético rebaja en ella la ordenación térmica determinando

una elevación de temperatura; al enfriar seguidamente en un ambiente acondicionado se aumenta su ordenación, y la supresión posterior del campo magnético origina una caída de temperatura. La aplicación de este método, valiéndose de campos magnéticos potentes y sirviéndose del alumbre de hierro y amonio, ha permitido alcanzar la temperatura de $0,04^{\circ}$ absolutos, y con alumbre de cromo y potasio la de $0,015^{\circ}$ absolutos.

Con las temperaturas últimamente indicadas el aislamiento térmico no ofrece dificultades por la razón de que la pérdida por radiación se hace insignificante, y, por otra parte, debido a la baja temperatura, a la cual corresponden tensiones de vapor reducidísimas, la sustancia se encuentra prácticamente a un grado de vacío muy avanzado. El helio, cuya tensión de vapor es la más elevada entre todas las de los gases, cuando se alcanza la temperatura de $0,03^{\circ}$ absolutos tiene una tensión de vapor expresada por $6,10^{-103}$ mm. de mercurio.

A la inmediación del cero absoluto, donde es ya inaplicable el termómetro de gas, las temperaturas se calculan en función de las susceptibilidades magnéticas, según la ley de Curie, con arreglo a la cual la susceptibilidad de una sustancia paramagnética es inversamente proporcional a la temperatura absoluta. Este método tiene la gran ventaja de que su sensibilidad aumenta a medida que nos aproximamos al cero absoluto.

El conferenciante hizo la observación curiosa de que las temperaturas obtenidas por la técnica magnética son inferiores a todas las observadas hasta ahora en la Naturaleza. En los espacios interestelares mismos se estima que la radiación mantiene una temperatura en la materia presente de unos 2° absolutos. Δ

BIBLIOGRAFIA

Un cuerno de doctrina sobre el trazado de proyectiles, por el General de Brigada de Artillería D. Darío Díez Marcilla. 96 páginas y 12 láminas. Obra premiada por la Academia de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales, de Madrid, en el concurso de 1934, y editada por la Academia.

La excelente obra del General Díez Marcilla está inspirada en la frase que estampa en la advertencia con que encabeza su trabajo: "La experiencia sin la teoría, es ciega; la teoría sin la experiencia, queda incompleta." En los preliminares sienta la necesidad de llegar al estudio completo del proyectil en todos sus aspectos, ya que, como dice magistralmente, el proyectil, y sólo el proyectil, es quien justifica la existencia de la profesión artillera.

Divide el autor su trabajo en cinco partes:

- 1.ª Mis ideas sobre proyectiles huecos.
- 2.ª Proyecto de granada rompedora para el cañón de campaña de 75 mm.
- 3.ª Resistencia del proyectil dentro del ánima de la pieza.
- 4.ª Centro de gravedad del proyectil y momentos de inercia axial y transversal.
- 5.ª Balística exterior.—Trayectorias.

Un apéndice y una tabla de coeficientes completan este detenido y concienzudo estudio, que revelan en el autor las dotes de un profundo teórico y un hábil experimentador que hermanando hábilmente teoría y experiencia, ha logrado presentar un trabajo extraordinario y a todas luces digno del galardón con que ha sido premiado. U.