



## Técnica del alumbrado: El Foco

### Fiat lux.

Sea la luz, y se hizo la luz. Y la tenemos en abundancia. Pero como también se crearon cosas opacas, y nos encerramos dentro de ellas, y se creó el día, y trabajamos por la noche, necesitamos mucha luz artificial, y la tenemos mala y cara. Mala, porque no es comparable con la luz solar en su inmensa variedad de radiaciones, ni tiene su color, ni produce sus saludables efectos; cara, porque el rendimiento luminoso, aun en las mejores luces empleadas, es no sólo bajo, sino que llega a desastroso. Mucho se ha progresado en este respecto, pero estamos todavía en el principio del camino.

En el estado actual de la ciencia del alumbrado, la producción de luces económicas es el problema de las temperaturas elevadas. Se produce la luz por incandescencia, ya sea del manguito Auer cuando se emplea el gas, ya sea del filamento encerrado en una bombilla de vidrio cuando se emplea la corriente eléctrica. En las lámparas eléctricas se logran más altas temperaturas valiéndose de filamentos muy refractarios, como los de tungsteno, encerrados en ampollas vacías o llenas de un gas inerte y poco conductor, como el nitrógeno, el argón, el criptón, y reduciendo el volumen ocupado por el filamento para disminuir la pérdida de calor por convección.

El cuerpo incandescente es el que emite la luz, y estudiadas las circunstancias que regulan esta emisión se dedujo que la energía total emitida (entre todas las radiaciones, visibles e invisibles), es proporcional a la cuarta potencia de la temperatura absoluta del cuerpo emisor (ley de Stefan y Boltzmann) y que el máximo de energía radiada se desplaza hacia el violeta aproximándose hacia la parte más luminosa del espectro dentro de las temperaturas hasta hoy día conseguidas (ley del desplazamiento de Wien). Luego el rendimiento luminoso es proporcional a la potencia quinta, por lo menos, de la temperatura absoluta del cuerpo incandescente.

Todavía el uso de temperaturas elevadas tiene otra ventaja, que ya hemos dejado translucir al enunciar la ley de Wien. Refiriéndonos a cuerpos que radíen de una manera normal (como los cuerpos negros), y que son precisamente los que siguen

con exactitud las dos leyes antes citadas, como su temperatura no ha podido alcanzar la del Sol, la luz que emiten es muy diferente de la de este astro, y siempre pobre en radiaciones de pequeña longitud de onda, o, dicho en términos vulgares, es una luz rojiza. A medida que se vaya elevando la temperatura alcanzada y aproximándose a la del Sol (de unos 5600° C.), se obtendrá, a la vez que un gran incremento en el rendimiento luminoso, una luz más blanca. Los últimos progresos en la fabricación de focos luminosos de pequeña y mediana potencia han sido en este sentido: las lámparas Nitra, de mayor rendimiento y de luz más blanca, son también las en que alcanza el filamento una temperatura más elevada (unos 2400° C.).

Mas no todos los cuerpos radían de una manera normal; en algunos es muy marcada su radiación selectiva, es decir, que dejan de emitir ciertas radiaciones, y emiten otras de preferencia. La explicación y leyes del fenómeno deben buscarse en los trabajos de Kirchhoff, Stokes y Rubens. Kirchhoff deduce que todo cuerpo es absorbente para las radiaciones que emite, y transparente para las que no emite; Stokes, estudiando los cuerpos fosforescentes, deduce que aun iluminándolos con luz monocromática, la luz que luego emiten es generalmente compleja, y siempre de longitudes de onda más largas que aquella, es decir, más hacia el lado rojo del espectro. Fundándose en estos principios estudió Rubens diversos óxidos metálicos, viendo que el óxido de torio es, a elevada temperatura, transparente para todas las radiaciones, menos el infrarrojo extremo, mientras que el óxido de cerio es opaco para todo el espectro visible, y muy transparente para el infrarrojo medio. De aquí nació la idea de mezclar los dos óxidos, y se vió que con una gran cantidad de torio y otra muy pequeña de óxido de cerio (1 % del conjunto) se obtenía un cuerpo opaco para el espectro visible y muy transparente para el infrarrojo. A esta absorción selectiva de la mezcla corresponde una emisión selectiva de la misma clase, y consumiéndose la energía de preferencia en radiaciones visibles, se obtendrá una luz económica. Así, logróse un adelanto grandísimo en el alumbrado por gas, teniendo en cuenta la época, con la aparición de los manguitos Auer impregnados de dicha mezcla.



Y en el mismo principio tal vez, además de poder conseguir por entonces mayor temperatura, se inspiraron las lámparas eléctricas Nernst, con su bastoncito o filamento de óxidos de tierras raras. En nuestros días, y tal vez sin razón, se ha abandonado este camino, y es él probablemente el que conducirá a nuevos progresos en la construcción de lámparas, no solamente por lo que se refiere a obtener un mejor rendimiento, sino también una luz más blanca, bajo la cual los colores de los objetos no sufran modificación. Hoy se consigue luz blanca mediante pantallas o filtros de color azulado, que absorben parte de las radiaciones disminuyendo todavía el ya escaso rendimiento de los focos.

...

Estudiadas las influencias que ejercen en el rendimiento luminoso y en el color de la luz la temperatura y la naturaleza del cuerpo incandescente, queda por tratar la forma del mismo, que determina la distribución de la luz alrededor del foco desnudo (esto es, sin globos ni pantallas).

Un punto luminoso y, por simetría, una esfera luminosa, proporcionan una distribución de luz uniforme, de tal modo, que si la intensidad, en todas las direcciones, es de  $I$  bujías, el flujo luminoso total radiado es de  $4\pi I$  luces. Para las demás formas de superficies será preciso el estudio del elemento

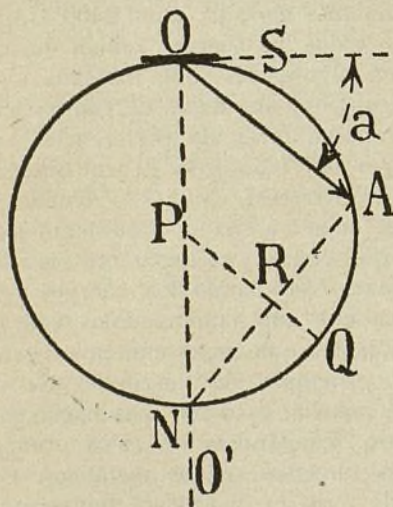


Figura 1

plano de superficie; y, suponiendo como es corriente que la superficie del cuerpo incandescente radia como un cuerpo mate, se podrá aplicar la ley de radiación de Lambert. Según éste, una superficie mate emisora  $dS$  que emite normalmente  $e$  bujías por centímetro cuadrado ( $e$  brillo), envía normalmente  $e dS$  bujías, y en otra dirección formando un ángulo  $a$  con dicha superficie envía  $e dS \text{ sen. } a$  bujías.

Imagínese un pequeño plano  $S$  luminoso por su cara inferior (fig. 1) de brillo  $e$ ; emitirá normalmente  $eS = I$  bujías; y si desde su centro  $O$  trazamos en cada dirección una recta que a escala de-

terminada represente la intensidad de luz emitida, se obtendrá en el espacio una forma de revolución alrededor de un eje  $OO'$  o *superficie fotométrica* esférica, puesto que su meridiana, representada en la figura, es una circunferencia. En efecto, trazando el radio  $PQ$  paralelo a  $OA$  es evidente que

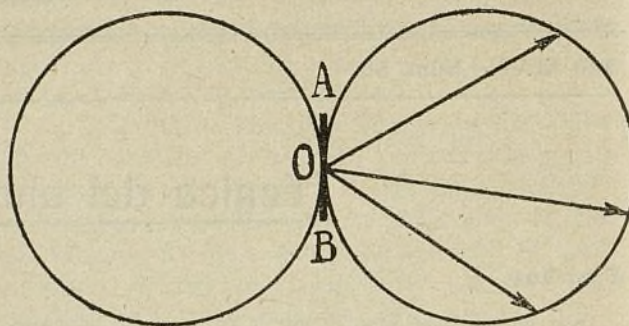


Figura 2

$PR = \frac{1}{2} ON \cos. b = \frac{1}{2} eS \text{ sen. } a$ , y como  $OA$  es el doble de  $PR$ , queda así demostrado que  $OA = eS \text{ sen. } a$ .

Si consideramos un *bastoncito luminoso*  $AB$  (figura 2), y, despreciando las superficies que lo cierran

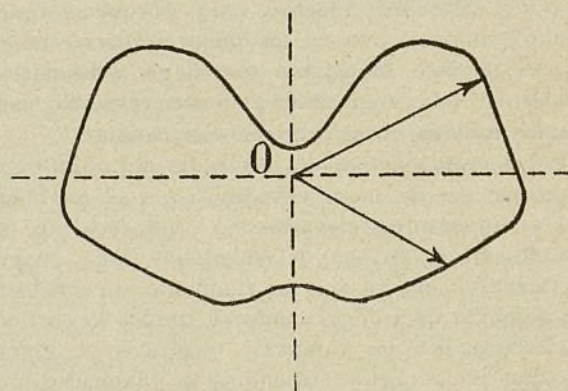


Figura 3

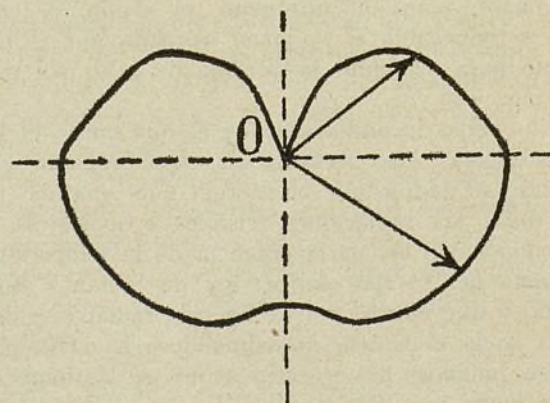


Figura 4

por debajo y por encima, comparamos con el caso anterior es fácil ver que las intensidades en el plano de la figura darán una curva fotométrica compuesta de dos círculos iguales tangentes a  $AB$  y que la superficie fotométrica de este foco es el toro que resulta al girar estos círculos sobre el eje  $AB$ .



Tanto el manguito Auer como las lámparas eléctricas de incandescencia se aproximan al caso de un bastoncito vertical, con la sola modificación de dar además un poco de luz hacia abajo y hacia arriba, bastando observar las figuras 3 y 4 que representan las curvas fotométricas de una lámpara de filamento de carbón y de una lámpara nítida, y contrastarlas con la figura 2 para convencerse de lo acertado de la comparación.

Un reflector puesto encima del foco, al echar la luz hacia abajo, aproxima la distribución de la luz al caso de la figura 1. En cambio, los globos difusores generalmente empleados igualan la distribución de la luz, y aproximan la superficie fotométrica a un esfera con su centro en el foco. Pero antes de analizar detalladamente el efecto que producen los reflectores y los difusores, convendrá estudiar cuál es la distribución de luz más conveniente; esto es, la forma ideal de la superficie fotométrica; o, imaginando para simplificar el problema, que debe haber un eje vertical de simetría, buscaremos la mejor figura de la curva fotométrica.

♦ ♦ ♦

En los grandes salones donde se requiere una iluminación general, bastará proveer los focos de globos para proteger la vista de su brillo, o ponerlos muy altos para que sean poco visibles, o escondidos por pantallas, procurando que la luz se distribuya con uniformidad; pero en las fábricas, talleres, oficinas, etc., se procura que la luz se dirija preferentemente hacia las máquinas y mesas de trabajo, estudiándose la iluminación sobre un *plano de trabajo*, que es un plano horizontal colocado generalmente a 1 metro sobre el suelo. En las calles interesa una iluminación uniforme hasta una cierta altura, procurando que pueda leerse a 1'50 metros del suelo, y extender la iluminación hasta 3 metros de altura por lo menos. En las calles toda luz que

se dirija desde los focos hacia arriba debe considerarse como perdida, y por tanto se han de colocar sobre el foco reflectores o difusores opacos que envíen dicha luz hacia el hemisferio inferior.

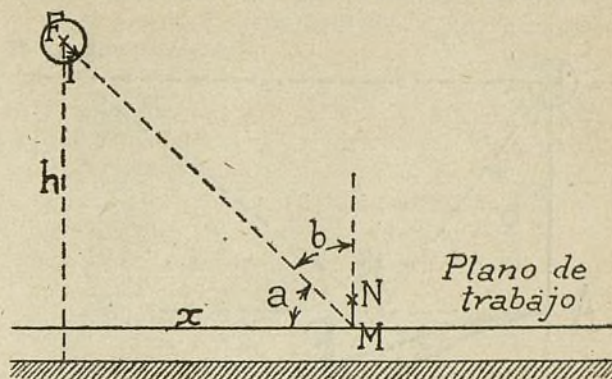


Figura 5

Consideremos un foco uniforme F de intensidad luminosa I bujías, situado a una altura h sobre el plano de trabajo (fig. 5). La iluminación que produce sobre un punto M de dicho plano vale

$$E = \frac{I \sin a}{FM^2} :$$

en función de la distancia x de M al pie del foco valdrá

$$\frac{Ih}{(h^2 + x^2)^{3/2}} ,$$

y en función del ángulo b (complementario de a), vale

$$\frac{I \cos^3 b}{h^2} .$$

Las mismas fórmulas son aplicables a focos no uniformes, pero entonces I no será constante.

Si sobre el punto M levantamos a la traza del plano de trabajo una perpendicular MN cuya lon-

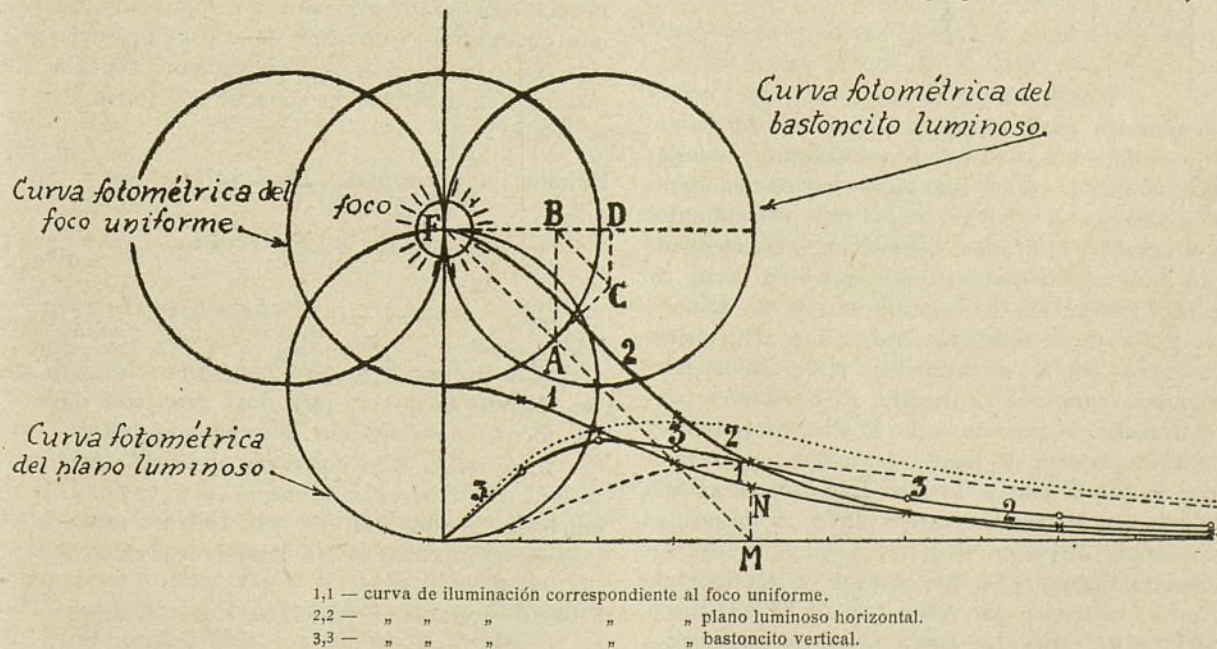


Figura 6



gitud sea igual al valor de la iluminación en este punto, y hacemos lo mismo a diversas distancias del pie del foco, uniendo los puntos así obtenidos por un trazo continuo obtendremos la llamada *curva*

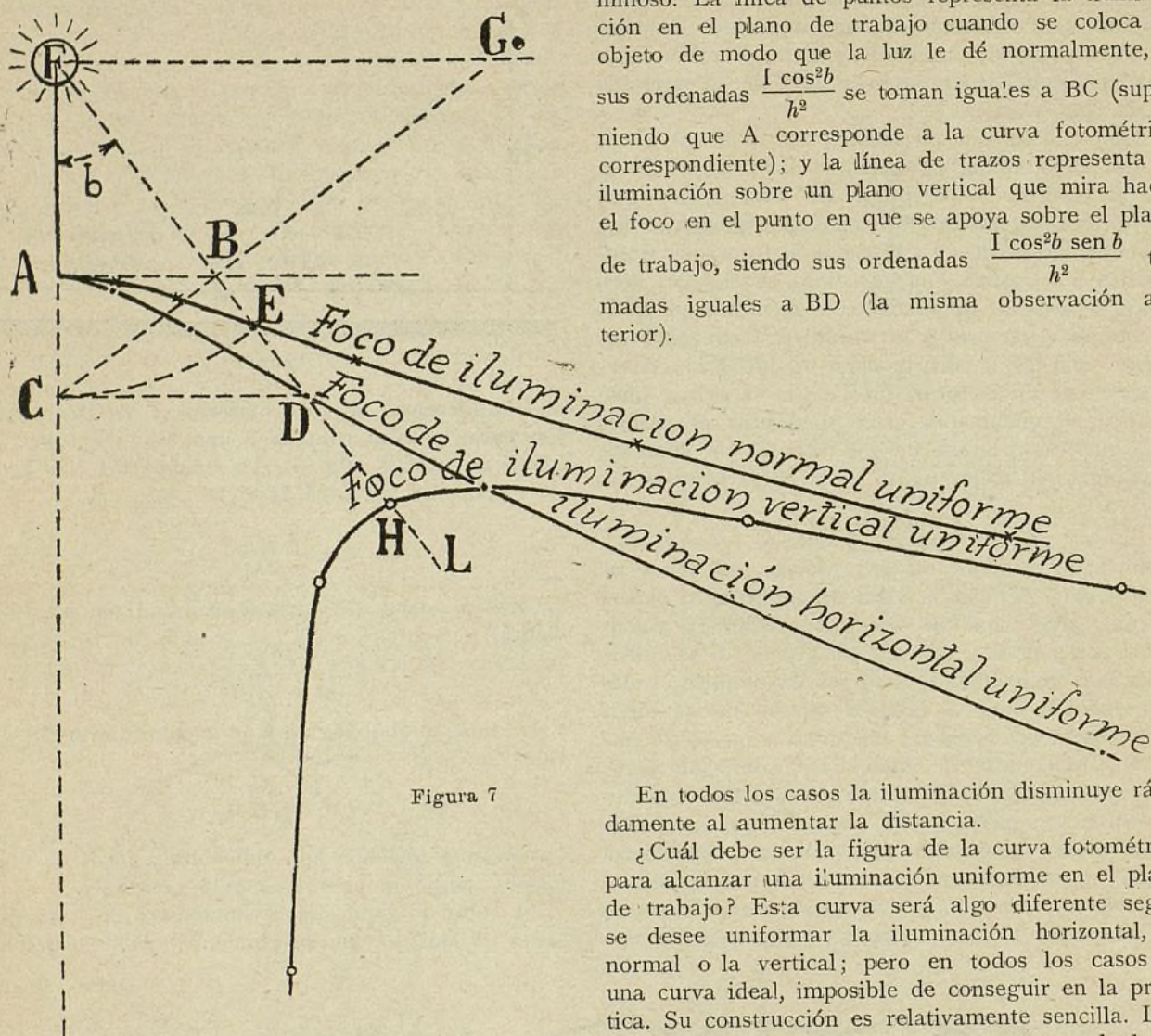


Figura 7

de iluminación sobre el plano horizontal. Aplicando este procedimiento a los tres focos tipo antes citados (punto luminoso, plano luminoso, bastoncito luminoso), en el caso de dar los tres el mismo flujo entre todo el hemisferio inferior, obtendremos las tres curvas de iluminación que se representan en la fig. 6. Para la construcción de esta figura se ha tomado  $h=1$ , y por tanto todas las ordenadas MN vienen multiplicadas por  $h^2$ ; esto no tiene importancia, pues es sólo una variación de escala, y en cambio facilita el trazado. Hemos tomado la curva fotométrica más baja tangente al plano de trabajo para operar con la escala mayor posible. Las ordenadas MN se calculan gráficamente proyectando la intensidad  $I=FA$  en la dirección de M, tres veces consecutivas con un ángulo  $b$ , lo que equivale a multiplicarla por  $\cos^3 b$ ; es decir, que  $AB=I \cos b$ ,  $BC=I \cos^2 b$ ,  $CD=I \cos^3 b=MN$ . La curva 3 indica que de los tres focos citados es el bastoncito luminoso el que

produce una iluminación menos desigual sobre el plano de trabajo.

Sobre el mismo gráfico se han trazado otras dos curvas de iluminación referentes al bastoncito luminoso. La línea de puntos representa la iluminación en el plano de trabajo cuando se coloca el objeto de modo que la luz le dé normalmente, y sus ordenadas  $\frac{I \cos^2 b}{h^2}$  se toman iguales a BC (suponiendo que A corresponde a la curva fotométrica correspondiente); y la línea de trazos representa la iluminación sobre un plano vertical que mira hacia el foco en el punto en que se apoya sobre el plano de trabajo, siendo sus ordenadas  $\frac{I \cos^2 b \sin b}{h^2}$  tomadas iguales a BD (la misma observación anterior).

En todos los casos la iluminación disminuye rápidamente al aumentar la distancia.

¿Cuál debe ser la figura de la curva fotométrica para alcanzar una iluminación uniforme en el plano de trabajo? Esta curva será algo diferente según se desee uniformar la iluminación horizontal, la normal o la vertical; pero en todos los casos es una curva ideal, imposible de conseguir en la práctica. Su construcción es relativamente sencilla. Llamemos E la iluminación constante, y tomando  $h=1$  se tendrá:

$$\begin{aligned} \text{Iluminación horizontal... } E &= I \cos^3 b \dots\dots I = \frac{E}{\cos^3 b} \\ \text{» normal ..... } E &= I \cos^2 b \dots\dots I = \frac{E}{\cos^2 b} \\ \text{» vertical ..... } E &= I \cos^2 b \sin b \dots\dots I = \frac{E}{\cos^2 b \sin b} \end{aligned}$$

En la figura 7 se han construido las tres curvas, siendo fácil ver, para una dirección dada FL (F, foco), cómo se han determinado los tres puntos D, E y H; sólo conviene observar, como aclaración, que  $FA=E$  representa la intensidad de iluminación y que  $FH$  se ha tomado igual a  $CG$ . Pueden comprobarse las igualdades siguientes:

$$FB = \frac{FA}{\cos b} \quad FC = \frac{FA}{\cos^2 b} \quad FD = \frac{FA}{\cos^3 b} \quad CG = \frac{FA}{\cos^2 b \sin b}$$

♦ ♦ ♦



Vista la distribución de la luz en los focos desnudos, pasemos a estudiar la influencia que ejercen sobre ellos los globos difusores y los reflectores. Estos accesorios absorben siempre alguna fracción de la luz, y por tanto su empleo tendrá por objeto mejorar la distribución, disminuir el brillo o modificar el color, pero nunca aumentar la cantidad de flujo total emitido, que queda por el contrario más o menos disminuída.

Cuando la luz va provista de reflectores opacos, por ejemplo de hierro esmaltado, que es el material práctico en las instalaciones industriales, la curva fotométrica pasa del tipo bastoncito al tipo plano luminoso, y todavía sufre modificaciones más pronunciadas. En la figura 8 se indica el efecto de tres formas típicas de reflectores aplicados a lámparas de filamento metálico, y está sacada del «Standard Handbook of Electrical Engineer».

En resumen, los reflectores opacos dirigen luz hacia abajo, y si son muy cóncavos de este lado únicamente pueden dar iluminación algo uniforme cuando los focos están muy elevados o muy cercanos unos de otros. No obstante, en la generalidad de los casos convendrá colocarlos (pero siendo por debajo muy poco cóncavos o siendo planos o convexos) con el fin de enviar al hemisferio inferior toda la luz, procurando por otra parte que la curva fotométrica no se aleje demasiado de la curva ideal cuando se trate de alumbrado público. Este último caso es el principal que consideramos porque en la iluminación de interiores la distribución de la luz queda muy modificada por el efecto del techo y

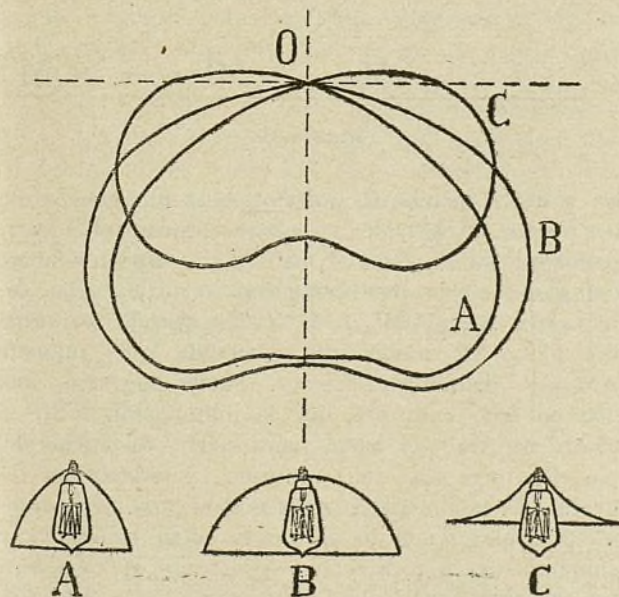


Figura 8

de las paredes, y la curva fotométrica del foco tiene poco interés, a excepción del caso considerado de iluminar un cierto plano de trabajo mediante una red espesa de focos con reflectores que envíen la luz hacia abajo, que tampoco constituye el sistema más recomendable.

El estudio de la influencia de los globos difusores, de una manera general y científica, no se encuentra en las obras más corrientes y en los manuales que tratan de la iluminación, limitándose unas y otros a sentar *datos prácticos*. Puede acometerse del modo siguiente:

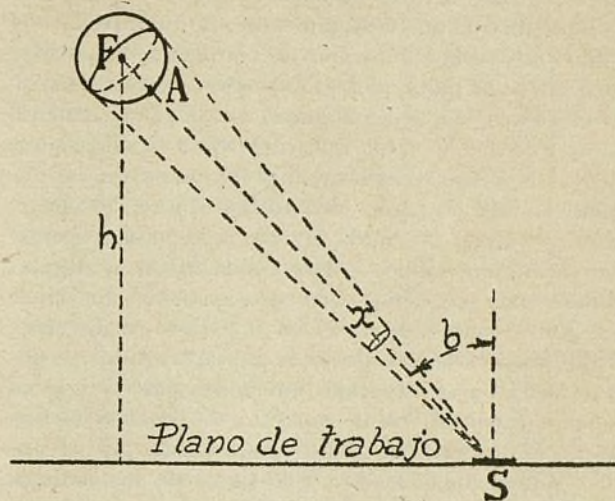


Figura 9

Imaginemos un foco luminoso F de intensidad luminosa I bujías, rodeado de un globo difusor esférico de radio  $r$  (figura 9). Este globo se encontrará uniformemente iluminado con una intensidad de iluminación  $I/r^2$ . El flujo total emitido por el foco es de  $4\pi I$  luces, y suponiendo que el globo devuelva al exterior todo este flujo que recibe por su cara cóncava será fácil calcular su brillo. En cualquier dirección el globo radia como un disco plano de su mismo brillo  $e$ , y como la superficie de este disco plano es  $\pi r^2$ , la intensidad en esta dirección será  $\pi r^2 e$ , y el flujo total radiado  $4\pi \cdot \pi r^2 e = 4\pi I$ , de donde se deduce para valor del brillo  $e = \frac{I}{\pi r^2}$ . Se determina la iluminación que el globo produce en un punto S del plano de trabajo, en este como en otros casos, imaginando que en S hay un plano de extensión  $S=1$  con el mismo brillo del foco (es decir, del globo, que ahora hace sus veces), y determinando el flujo que este plano envía al globo, y el valor de este flujo mide numéricamente la intensidad de iluminación producida por el globo en el punto S del plano de trabajo (1).

Pero según el principio de Lambert el flujo enviado por  $S=1$  sobre el globo, visto desde S dentro de un ángulo sólido  $x$ , y siendo el brillo de S igual a  $\frac{I}{\pi r^2}$  valdrá

$$eS \cos b \cdot x = \frac{I}{\pi r^2} \cos b \cdot x$$

y si llamamos R la distancia FS, el valor del ángulo sólido  $x$  es  $\frac{\pi r^2}{R^2}$  y substituyéndolo en la fórmula

(1) El flujo que va desde un elemento de superficie S de brillo  $e$  a otro elemento de superficie  $S'$  es el mismo que iría de  $S'$  a S si el brillo de  $S'$  fuese también  $e$ . Ver la demostración en J. Mañás, Óptica aplicada, pág. 52.



anterior se obtiene para el valor del flujo, o sea para la iluminación buscada,

$$I \cos b / R^2$$

la misma como si no existiese el globo, tal como en este caso era de presumir.

Si el foco F no fuese uniforme, la iluminación del globo no sería uniforme, ni tampoco su brillo; pero en cada punto del globo esférico (con su foco en el centro) su brillo seguiría siendo  $I/\pi r^2$ , con tal de aplicar a I el valor que tuviese en la correspondiente dirección. Para calcular el valor de la iluminación en el plano de trabajo sobre la superficie  $S=1$ , de la citada figura 9, se podría considerar el ángulo sólido  $\alpha$  descompuesto en  $n$  ángulos sólidos más pequeños que dividirían la superficie del globo visible desde S en  $n$  partes de diferente brillo. Para cada uno de estos ángulos sólidos se podría determinar el flujo enviando por  $S=1$  en aquella dirección, en el supuesto de tener S el brillo de la región del globo interceptada por el ángulo sólido considerado; y la suma de los  $n$  flujos así obtenidos daría la iluminación en S.

Así pues, a la iluminación del punto S contribuye ahora no sólo la intensidad del foco desnudo en la dirección FS, sino que también contribuyen las intensidades en las diferentes direcciones desde F a todos los puntos del globo visibles desde S, y por tanto el efecto del globo difusor esférico ha de tender a uniformar la distribución de la luz, o sea a hacer la curva fotométrica más cercana a un círculo con centro en F (tipo de punto luminoso).

Con todo, en cada dirección, los  $n$  ángulos sólidos con vértice en S se apoyan en una mayor parte en la superficie del globo que rodea al polo A (intersección del globo con FS), luego el brillo de este polo debe intervenir como un sumando muy influyente en el valor de la iluminación en S.

Supongamos (figura 10) un elemento de super-

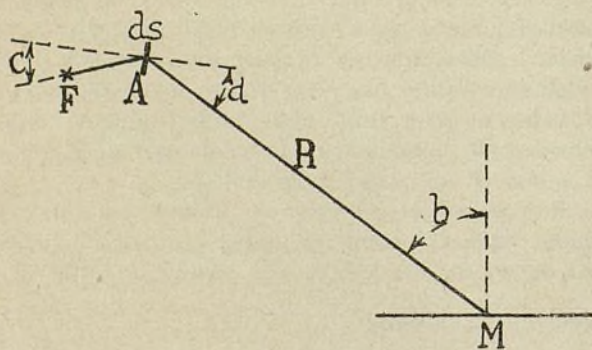


Figura 10

ficie  $ds$  correspondiente a un globo difusor (no precisamente esférico) iluminado por su foco F, que envía luz a un punto M del plano de trabajo; llamando  $r=FA$ ,  $R=MA$ , y con las notaciones de la figura, se tendrá:

$$\text{Flujo recibido de F por } ds \dots \frac{I \cos c \cdot ds}{r^2} \left\} e = \frac{I \cos c}{\pi r^2} \right.$$

$$\gg \text{ total emitido por } ds \dots \pi e ds \quad (1)$$

$$\text{Intensidad emitida por } ds \text{ en la dirección AM} \dots \frac{I \cos c \cdot ds}{\pi r^2} \cdot \cos d$$

$$\text{Iluminación en M} \dots \frac{I \cos c \cdot ds \cos d}{\pi r^2 R^2} \cos b$$

Esta fórmula demuestra la gran influencia de los globos difusores en la distribución de la luz, pues indica que la iluminación que llega al punto M de cada elemento de superficie del globo difusor, depende no solamente de la intensidad I del foco en la dirección FA, sino también de la inclinación de dicho elemento y de su distancia al foco. Pero como la parte de superficie del globo que más influye en la iluminación de M es aquella normal a AM ( $d=0$ ), todavía caben otras consideraciones más concretas.

Sea  $ss$  (figura 11) la superficie difusora del glo-

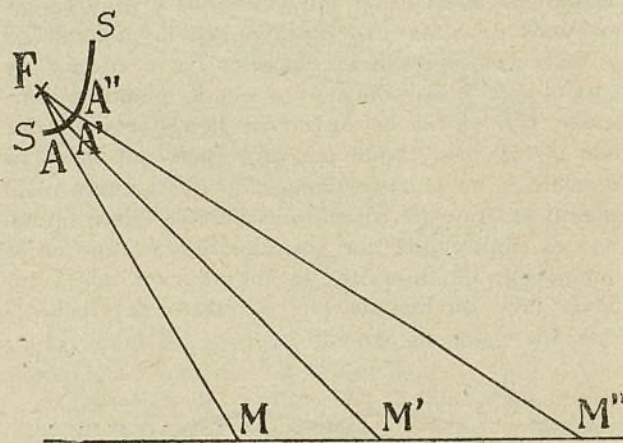


Figura 11

bo y PQ el plano de trabajo. A la iluminación de los puntos M, M', M'',... de este contribuyen principalmente las regiones A, A', A'',... respectivamente del globo cuyas superficies son normales a las direcciones AM, A'M', A''M''... Estudiando la forma del globo de modo que a medida que aumente  $AM=R$  disminuya  $FA=r$ , puede lograrse, aun con un foco uniforme, que la iluminación sobre el plano de trabajo hasta una cierta distancia del pie del foco sea casi uniforme; y todavía se logrará más fácilmente si el foco tiene una curva fotométrica que recuerde algo a la ideal estudiada, o simplemente la forma correspondiente al caso bastoncito luminoso, o las muy parecidas a ésta que poseen las lámparas eléctricas hoy en uso.

Hemos supuesto que los globos difusores no absorben luz; mas como absorben, en los últimos cálculos deben multiplicarse las fórmulas por un factor de rendimiento, que generalmente es de 0.80, o algo más pequeño; es decir, que la pérdida de flu-

(1) Para la demostración puede consultarse J. Mañas, l. c.



jo es de 20 % o más. Pero por otro lado debe tenerse en cuenta que un reflector situado dentro del globo y encima del foco luminoso, dirige hacia el hemisferio inferior casi la mitad del flujo, que de otro modo se dirigiría hacia arriba y podría considerarse como perdido.

\*\*\*

Observará el lector que en este estudio del foco luminoso no hemos particularizado; ha sido con el fin de no vernos obligados a alabar unas cosas, a censurar otras, degenerando en una propaganda de ciertos sistemas de lámparas y accesorios, lo que no constituye el objeto de este artículo. Lo que sí haremos es condensar todos los puntos desarrollados, que podrían parecer divagaciones, en las conclusiones siguientes:

1ª Los progresos en el rendimiento de las lámparas y en el color de su luz deben buscarse en la mayor temperatura del cuerpo incandescente y en una radiación selectiva. Entre tanto un color algo azulado de los globos difusores es la solución más recomendable.

2ª La forma del cuerpo incandescente determina la manera de distribuirse la luz en las diversas direcciones del espacio, y por tanto la curva fotométrica del foco desnudo.

3ª Cuando convenga dirigir la luz hacia abajo convendrán reflectores opacos algo cerrados para que oculten la lámpara de la vista, o aún cerrados por debajo con un vidrio difusor plano, horizontal, o de pequeña curvatura.

4ª Cuando convenga una distribución de luz uniforme (iluminación general de espacios cerrados) se emplearán globos difusores esféricos; pero con las lámparas de tipo bastoncito luminoso se obtendrá una distribución más uniforme colocando la luz no en el centro del globo, sino un poco más baja, o empleando globos achatados por abajo.

5ª En el alumbrado de calles y plazas, en que se desea una iluminación lo más uniforme posible en un espacio comprendido entre el suelo y unos tres metros por encima de él, en vez de elevar los

focos para conseguirlo, lo que obliga a aumentar su potencia para que llegue al suelo una iluminación suficiente, resultando mucho mayor gasto de fluido, es más práctico colocar los focos a menor altura; emplear lámparas de tipo bastoncito u otras que distribuyan la luz de preferencia en dirección horizontal; proveerlas de reflectores para aprovechar toda la luz en el hemisferio inferior, y encerrarlas en globos difusores de forma alargada, con el foco hacia la parte superior, con lo cual la curva fotométrica se acercará más hacia la curva ideal para iluminación uniforme.

6ª Como en todos los casos la visión del cuerpo incandescente produce como una ceguera que disminuye la acuidad visual, se hace preciso el uso de globos o pantallas difusores; y esto sentado, nada más lógico que estudiar detenidamente su forma en cada caso particular para modificar con ellos la curva fotométrica de la manera que más nos convenga, y darle un color conveniente para que la luz quede más blanca.

7ª En la iluminación de interiores puede aprovecharse el efecto difusor del techo y paredes (cuyo estudio nos alejaría del foco propiamente dicho); pero también en este caso, así como (con ciertas dificultades) en el alumbrado público, cabe obtener un efecto parecido combinando un globo algo translúcido, abierto por arriba, que hace de reflector (aunque deja pasar una parte de luz), enviando luz hacia arriba, en donde un reflector o difusor opaco, de forma adecuada, refleja o difunde la luz, produciendo el efecto de un techo artificial. Este sistema de alumbrado, llamado semi-indirecto, está muy extendido en las grandes oficinas, y quizás con ciertas modificaciones sería útil en el alumbrado público.

Si este modesto trabajo induce a estudiar más científicamente el alumbrado, acabando con la anarquía que se observa en casi todas las instalaciones, y logra enviar aunque sea un solo rayo de luz que rasgue las tinieblas de algunas de nuestras calles, su autor se dará por satisfecho: *Fiat Lux*.

JOSÉ MAÑAS.

Al presente trabajo le fué otorgado por unanimidad el segundo premio en el Concurso de «Técnica» del pasado mes de Octubre, junto con el publicado en nuestro número anterior.



## NOTAS DE HIDRÁULICA

### Números característicos en las turbinas Pelton

En el artículo anterior nos ocupamos de las turbinas Francis y en este nos ocuparemos de las turbinas Pelton siguiendo con la clásica teoría del filete medio que todavía no ha sido sustituida por otra mejor.

Teniendo en cuenta que hoy día sólo se usa el distribuidor *Doble*, la velocidad de salida de dicho distribuidor vale:

$$V = \psi \sqrt{2gH}$$

con:

$$\psi = 0.97 \div 0.98$$

y siendo H la altura útil.

Al número  $\psi$  se le puede llamar *velocidad específica de salida*.

Designando por  $c$  la velocidad periférica correspondiente a la circunferencia (de diámetro D) tangente al filete medio del chorro y por  $\rho$  el rendimiento hidráulico, la fórmula de la velocidad de máximo rendimiento es:

$$Vc = \rho gH$$

de la que teniendo en cuenta el valor de V resulta:

$$c = \frac{\rho}{2\psi} \sqrt{2gH} = c' \sqrt{2gH}$$

con:

$$c' = \frac{\rho}{2\psi}$$

El número  $c'$  puede llamarse *velocidad específica de circulación*.

Conviene observar que teniendo en cuenta el valor de V resulta:

$$c = \frac{\rho}{2\psi^2} V$$

#### NÚMERO ESPECÍFICO DE VUELTAS

Designando por  $n$  el número de vueltas es:

$$n = \frac{60 \cdot c}{\pi D}$$

y teniendo en cuenta el valor de  $c$ :

$$n = \frac{60 \sqrt{2g}}{\pi} c' \frac{\sqrt{H}}{D} = \frac{30 \sqrt{2g}}{\pi} \frac{\rho}{\psi} \frac{\sqrt{H}}{D}$$

$$n = n' \frac{\sqrt{H}}{D}$$

con:

$$n' = \frac{30 \sqrt{2g}}{\pi} \frac{\rho}{\psi} = 42.3 \frac{\rho}{\psi}$$

al número  $n'$  se le llama *número específico de vueltas*.

#### RELACIÓN DE DIÁMETROS

Si  $d$  es el diámetro del chorro, ordinariamente se tiene:

$$m = \frac{D}{d} = 12 \div 15$$

Experiencias de Reichel Wagenbach (Zeit deis Vereines deutscher Ingenieure) asignan:

$$m = 8 \div 22$$

con buenos rendimientos, si se ha tenido cuidado en una buena confección de las cucharas y de la turbina en general. Tomaremos pues la oscilación:

$$m = 8 \div 22$$

entendiendo que el mejor rendimiento corresponde al intervalo anteriormente señalado.

#### NÚMERO CARACTERÍSTICO DE VUELTAS

Designando por N la potencia efectiva de la turbina; por  $\varphi$  el rendimiento total y por Q el gasto en m.<sup>3</sup>, se tiene:

$$N = \frac{1000 QH}{75} \varphi$$

y eliminando Q, D y  $d$  entre la anterior y las relaciones:

$$n = n' \frac{\sqrt{H}}{D} \quad m = \frac{D}{d} \quad Q = \frac{\pi d^2}{4} V = \frac{\pi d^2}{4} \psi \sqrt{2gH}$$

resulta finalmente después de sustituir  $n'$  por su valor hallado anteriormente:

$$n = 30 \sqrt{2g} \sqrt{\frac{20g}{3\pi}} \frac{\rho}{m} \sqrt{\frac{\varphi}{\psi}} H \sqrt{\frac{V_N}{N}}$$

o sea:

$$n = n_c H \sqrt{\frac{V_H}{N}}$$

con:

$$n_c = 30 \sqrt{2g} \sqrt{\frac{20g}{3\pi}} \frac{\rho}{m} \sqrt{\frac{\varphi}{\psi}} = 288 \frac{\rho}{m} \sqrt{\frac{\varphi}{\psi}}$$

que es lo que se llama *número característico de vueltas*.

Para una cierta turbina conocidos  $\rho$ ,  $\varphi$ ,  $\psi$  y  $m$ , en virtud de las fórmulas anteriores quedan determinados los restantes números característicos.

Los valores de  $\rho$  y  $\varphi$  no pueden ser determinados teóricamente sino experimentalmente, así como también los valores más adecuados de  $m$  y  $\psi$  según sea la turbina considerada.

Los constructores de turbinas son los que en posesión de los datos estadísticos correspondientes a



las turbinas construídas pueden determinar con suficiente aproximación los valores más adecuados a dar a dichos números orientándose para ello con el valor de  $n_c$ :

$$n_c = \frac{n}{H} \sqrt{\frac{N}{\sqrt{H}}}$$

que tiene con aquellos íntima dependencia.

De todos modos, dentro de la zona de aprovechamiento de las Pelton, la oscilación correspondiente a los valores de  $\rho$  y  $\varphi$  es muy pequeña y por lo tanto, de un modo suficientemente aproximado, podemos operar con sus valores intermedios para la obtención de las fórmulas de uso corriente en el terreno industrial.

Aceptando los valores medios:

$$\psi = 0.975 \quad \rho = 0.87 \quad \varphi = 0.83$$

resulta en virtud de las anteriores:

$$V = 0.975 \sqrt{2gH} \quad c' = 0.41 \quad c = 0.456 \cdot V$$

$$n' = 38 \quad n_c = 288 \frac{0.87}{8 \div 22} \sqrt{\frac{0.83}{0.975}} = 29 \div 10.5$$

Corrientemente los valores adoptados para  $n_c$  son los comprendidos entre 14 y 16 con tendencia a aumentar lo más posible siempre que dicho aumento sea compatible con las condiciones constructivas (montaje de las cucharas, esfuerzos excesivos debidos a la fuerza centrífuga, etc.).

Con el fin de aumentar algo el número de vueltas algunos aceptan:

$$n' = 39.$$

Con lo cual resulta:

$$n_c = \frac{237}{m}$$

Para aumentar el número de vueltas se recurre a la disposición con más de un distribuidor no pasando de 2 distribuidores y sólo en casos rarísimos 3. Se consigue con esto el aumentar  $n_c$  (los otros números no varían), resultando en el caso de 2 distribuidores y como fácil es verlo:

$$n_c = (10.5 \div 29) \sqrt{2} = 14.8 \div 41$$

aunque prácticamente y por razones constructivas no se pasa de:

$$n_c = 37.$$

En el caso rarísimo de 3 distribuidores resulta:

$$n_c = 20 \div 55$$

no pasando prácticamente de 52.

Se encuentra algún ejemplo de Pelton con 4 distribuidores siempre de eje vertical.

Es digno de observar que la tendencia moderna es la de sustituir las ruedas con 2 distribuidores por dos ruedas con un solo distribuidor para cada una. Con esto se consigue mayor sencillez en la construcción junto con una mejor regulación y rendimiento del grupo.

JOSÉ GALÍ

Profesor de hidráulica de la Escuela  
de Ingenieros Industriales  
e I. C. de la P. F. M.

## La evolución de la construcción de ferrocarriles y de puentes de ferrocarril en Norteamérica

Conferencia dada por el Dr. J. A. L. Waddell, Ingeniero Consultor, en la Real Academia de Ciencias y Artes de Barcelona, bajo los auspicios de la Asociación de Ingenieros Industriales, el día 21 de Abril de 1922.

(Continuación)

### Perfeccionamientos en la disposición.

Poco después de regresar a los Estados Unidos en 1886, empecé la práctica privada como Ingeniero Consultor en la ciudad de Kansas, representando al mismo tiempo a la «Phoenix Bridge Company» para el Oeste del río Misisipí. En mi doble ocupación empecé inmediatamente a desarrollar un trabajo considerable, al principio para la compañía constructora principalmente, pero poco después para clientes particulares.

Durante los cuatro años de mi residencia en el Japón habían sido introducidas algunas mejoras en la práctica americana de puentes; principalmente

en las estructuras de tablero inferior, el roblonado de las vigas del piso con los montantes verticales, en lugar de sostenerlas por medio de piezas suspendidas de los ejes de las articulaciones de la cabeza inferior, y el roblonado de los largueros con el alma de las vigas transversales, en lugar de apoyarlos sobre las cabezas de éstas. Sin embargo, el estado general del estudio y disposición de los puentes en 1886, era casi tan tosco y poco científico como anteriormente.

En un principio, al desarrollar planos para concursos de puentes en interés de mi Compañía, fué necesario adoptar la práctica corriente en las disposiciones; pero pronto empecé a analizar los deta-



lles, aprendiendo a seguir los efectos de las cargas desde su punto de aplicación en el tramo hasta el lugar de su transmisión a la infra-estructura, y a esforzarme en asegurar que todo detalle de unión fuese tan resistente, que en el caso de que el puente fuera cargado hasta su destrucción, la ruina sobreviniese por rotura de alguna pieza principal antes que por la de una unión. Este es el primer principio fundamental en el cálculo de puentes; pero hasta aquel entonces no había sido establecido o siquiera reconocido.

A medida que fui estudiando la sistematización del cálculo de puentes, elevándolo a la categoría de una ciencia, mis estructuras fueron siendo más pesadas y mayor la desventaja de las condiciones de mi trabajo para concursos de obras, resultando de ello que, mientras mi práctica privada iba en aumento, el número de contrataciones obtenidas disminuía en proporción, hasta que, pocos años después, mi conciencia de ingeniero, obligándome a introducir tantos perfeccionamientos en la práctica ordinaria, me impidió seguir compitiendo. Y al cabo de cinco años me vi obligado a renunciar a la dirección de la Compañía, dedicándome por completo al trabajo de consultor.

Mis primeros esfuerzos fueron dirigidos principalmente hacia el perfeccionamiento de los métodos y disposiciones adoptados para puentes de carretera, y sobre este tema escribí varias memorias técnicas y publiqué un largo folleto; pero los males del negocio de puentes de carretera estaban tan arraigados, que mis repetidos esfuerzos resultaron casi inútiles.

Volviendo hacia el cálculo de puentes de ferrocarril, como campo ofrecedor de mejores frutos, escribí una memoria para la Sociedad Americana de Ingenieros Civiles sobre el tema «Some Disputed Points in Railway Bridge Designing» («Algunos puntos discutidos en el cálculo de puentes de ferrocarril»), llamando la atención en forma categórica sobre todas las características criticables de la práctica corriente, e invitando a su discusión. De cuarenta a cincuenta ingenieros respondieron a mi llamamiento para una discusión completa, y el asunto quedó tan bien desmenuzado, que la memoria con sus discusiones señaló el origen de una nueva época en la construcción de puentes en América. Después de leída la memoria e impresa en las «Transactions», no existió excusa de validez para adoptar en los proyectos las defectuosas disposiciones que hasta aquel entonces habían prevalecido.

### Ferrocarriles elevados.

-Poco tiempo después, con motivo de la construcción de dos o tres ferrocarriles elevados en Chicago, en los cuales era Ingeniero consultor tanto para los proyectos como para las obras, hallé, o mejor, me creé una oportunidad para hacer en el cálculo y disposición de los ferrocarriles elevados, lo que acababa de hacer para los puentes de ferrocarril; y al proceder así, ocurrió que casi perdí mi destino, por gastar el dinero de la Compañía en aprender

«cómo debía no hacerlo», o sea en desechar soluciones defectuosas, y porque las *potencias* pensaban que yo debía «saber todo lo referente al asunto» antes de aceptar el cargo.

Fué necesario empezar por hacer un estudio especial de los diversos tipos de ferrocarriles elevados de Nueva York y de Brooklyn, descubriendo sus numerosos y ostensibles defectos, investigando sus faltas de economía, y anotando todos los resultados en un informe dirigido al Presidente de la Compañía. Este documento comprendía tablas con las cantidades de todos los materiales que podían emplearse en la obra, y los costes por pie lineal de trece tipos diferentes de estructura, de los cuales se recomendaban tres para la construcción, desechando los restantes. Una vez más estuve a punto de conseguir mi dimisión; pues se consideró como un malgasto de mi tiempo y del dinero de la Compañía el haber llevado a cabo tantas valoraciones. ¿Por qué no había yo reconocido de antemano que los tipos desechados eran antieconómicos?; ¡cualquier ingeniero, buen conocedor de los asuntos de su profesión hubiera sabido esto! No obstante, después de muchas explicaciones, los enfurruñados Miembros del Consejo llegaron a convencerse de que mis investigaciones merecieron realmente ser llevadas a cabo, y durante algún tiempo me permitieron continuar sin trabas mi trabajo sobre los planos y condiciones para la subasta.

### Subpunzonado y escariado.

El pliego de condiciones para la obra metálica de este ferrocarril elevado establecía que todos los agujeros para los roblones debían ser punzonados con diámetro inferior al definitivo, o sea, subpunzonados (como traducción de «subpunching») y repasados después con el taladro, o escariados. En el pliego aparecía además una cláusula general estipulando que no se permitiría modificación alguna en las condiciones fijadas, y que serían desechadas todas las ofertas basadas en cualquier variación de las condiciones. Uno de los licitadores presentó una oferta a base de punzonar los agujeros de diámetro definitivo, ofreciendo en cambio un precio inferior de la unidad de peso de la obra, que hubiera reducido considerablemente el coste de la estructura. El Presidente de nuestra Compañía se inclinó a otorgar la contrata a este licitador, con motivo del precio reducido que ofrecía; pero yo me opuse tenazmente a ello; primero, por resultar antieconómico aceptar un trabajo de inferior calidad bajo condiciones cualesquiera y, segundo, por no ser esto justo para los otros licitadores. Defendí mi punto de vista hasta el último extremo, presentando mi dimisión en el caso de que se aceptara tal oferta. Con el tiempo, después de largos y sostenidos esfuerzos, mi opinión prevaleció, y la contrata, que importaba millón y medio de dólares, fué otorgada al verdadero mejor postor, que fué una sociedad integrada por la «Union Bridge Company», de la cual era presidente el Dr. Charles Macdonald, y la «Elmira Bridge Company». El contrato de la obra, que redacté yo mismo, fué firmado con gran solemnidad.



dad en reunión general, y pasado de manos de nuestro presidente, Mr. Louderback, al Dr. Macdonald, con las siguientes palabras: «Ahora, Dr. Macdonald, que ya tiene usted su contrato firmado, sellado y expedido, cuando ya no es posible introducir variación alguna sin acuerdo mutuo, deseo formularle una pregunta: «Nuestro ingeniero consultor, desde el principio hasta el final, ha insistido en que toda la obra metálica debe ser subpunzonada y escariada; ayer estaba dispuesto a dimitir si sus condiciones se cambiaban omitiendo esta prescripción. Deseo conocer su sincera opinión sobre este extremo. ¿Es necesario o aconsejable subpunzonar y escariar los agujeros en una obra metálica?» A lo cual el Dr. Macdonald contestó: «Mr. Louderback, éste es el único procedimiento apropiado para construir estructuras de acero». Pronto llegó a ser bien conocido este incidente entre los ingenieros, tendiendo en gran manera a establecer el subpunzonado y el escariado como una necesidad para todo puente de importancia, marcando así otro paso en el desarrollo de la ciencia de la construcción de puentes.

Después de terminar los planos de detalle para los ferrocarriles elevados de Chicago, y de introducir en éstos nuevos perfeccionamientos tanto en la disposición general como en los detalles de las uniones, preparé una extensa memoria sobre «Ferrocarriles Elevados» para la Sociedad Americana de Ingenieros Civiles, y solicité de sus miembros, por medio de numerosas cartas y peticiones verbales, una discusión completa de la materia. Mi invitación fué coronada por el éxito, y la memoria y su discusión dieron por resultado la reforma de los toscos métodos previos seguidos en los proyectos de ferrocarriles elevados, convirtiéndolos en una ciencia. Aunque desde que se construyeron estas estructuras ha transcurrido más de un cuarto de siglo, ninguna mejora digna de mención ha sido introducida en los proyectos o en la construcción de la obra metálica de los ferrocarriles elevados.

#### **Planos y ofertas en competencia.**

El desarrollo de la construcción de puentes en América debe ciertamente algo a la adopción del método del concurso, basándose las ofertas en los planos preparados por los licitadores, dado que este método excitó el ingenio y la claridad de visión de los proyectistas competidores; sin embargo, este método tuvo un efecto deplorable sobre la eficacia de las estructuras así construídas, haciéndolas ligeras, flojas de uniones y vibratorias. Los concursos fueron extensamente empleados durante veinte años, hasta que sus deplorables resultados se hicieron ver en el deterioro rápido de las estructuras construídas con arreglo a los mismos. Tampoco era posible corregir al momento esta práctica antieconómica, pues la opinión pública tenía que ser ilustrada para comprender que, en un buen proyecto, la rigidez es precisamente una condición tan importante como la simple resistencia teórica, y que es necesario emplear bastante metal demás, para que una estructura resista apropiadamente a la acción de las

vibraciones y de los choques. Los ingenieros de ferrocarriles fueron poco a poco conociendo dónde debía colocarse este metal demás, y a distribuirlo del mejor modo posible. Entonces el péndulo empezó a ir demasiado lejos en su oscilación en sentido contrario, pues algunos proyectistas de puentes de ferrocarril hicieron un empleo excesivo del acero, colocándolo en lugares donde no aprovecharía gran cosa, sin tener en cuenta el aumento de gastos que esto originaba.

Ultimamente llegó a ser necesario el estudio de la verdadera economía en los proyectos de puentes, a fin de obtener estructuras de primera clase con el mínimo coste permisible, según puede deducirse de la lectura de mi nuevo libro, ya mencionado, sobre «Economía de Puentes».

Que el método pseudo-económico del concurso de proyectos, con todos sus perniciosos resultados, no ha sido definitivamente abandonado, lo demuestra el concurso para el puente sobre el río Amarillo, convocado hace un año por el Gobierno chino. De este concurso no pudo obtenerse una solución satisfactoria; se presentaron casi cincuenta proyectos y ofertas, de los cuales sólo tres podían ser considerados como buenos, y aun estos tres proyectos eran abiertamente antieconómicos. Los restantes proyectos, en general, eran toscos, costosos, poco científicos y hasta ridículos. Los resultados del concurso aún están por ver y, mientras tanto, el Gobierno chino ha gastado una importante suma y ha motivado aún mayores gastos a ingenieros y contratistas de todo el mundo, con resultados negativos. Este fracaso ha demostrado lo que la triste experiencia enseñó en América hace muchos años, o sea, que el único medio para obtener algún beneficio de la competencia en las proposiciones para construcción de puentes, es que el dueño tenga los planos y condiciones correctamente preparados por un experimentado especialista, sacando a subasta la obra con estricta sujeción al proyecto.

#### **Cargas dinámicas.**

Antes de ser conocida la fórmula de los esfuerzos dinámicos, el proyectista de puentes concienzudo estaba obligado a adoptar diversas intensidades para los coeficientes de trabajo de las diferentes clases de miembros, y hasta para los miembros de la misma clase en tramos de luces diferentes. Ninguna de las prescripciones hasta entonces dadas permitía tener debidamente en cuenta esta variación, por lo cual cada proyectista tenía su receta propia, y el ajuste de los coeficientes de trabajo resultaba pesado y poco satisfactorio.

Hace unos veinticinco años alguien observó que si el efecto dinámico de una carga móvil pudiera reducirse a una carga estática equivalente, se economizaría mucho trabajo en el cálculo de puentes y se obtendrían muchos importantes perfeccionamientos del mismo. Con este motivo se realizaron diversos intentos para establecer un método satisfactorio de reducción; el primero de éstos, que ha sido empleado durante largo tiempo, a despecho de su evidente torpeza e incorrección, consistió en



suponer que para todas las piezas de todos los tramos la carga dinámica es precisamente dos veces tan efectiva o destructiva como la carga estática. Personalmente me opuse siempre a esta solución, alegando que, de ser correcta para los soportes de las vigas del tablero, es a todas luces inapropiada para la cabeza inferior de las vigas de un tramo largo. Era más lógico hacer variar el factor de reducción con la longitud de tramo ocupada por la carga móvil cuando la pieza que se considera se halla sometida al esfuerzo máximo, y bajo esta base C. C. Schneider estableció su conocida fórmula, que fué empleada durante muchos años. Al escribir «De Pontibus» adopté una fórmula análoga con la idea de que se ceñiría a las condiciones medias reales con mayor aproximación. Ambas fórmulas han sido extensamente empleadas en los proyectos de puentes americanos.

Algunos ingenieros, entre ellos yo mismo, realizaron de tiempo en tiempo, aprovechando la ocasión, experimentos inconexos sobre los valores reales de las cargas dinámicas en los puentes de ferrocarril; pero hasta que la «American Railway Engineering Association» llevó a cabo sus elaboradas y sistemáticas series de pruebas, no fué posible establecer fórmulas dignas de crédito para las cargas dinámicas. Estas pruebas se practicaron principalmente en puentes de vía única para tracción por vapor, pero algunas se practicaron en puentes de doble vía, y un reducido número en puentes de ferrocarril eléctrico.

En mi concepto, las fórmulas para cargas dinámicas dadas en «Bridge Engineering» para puentes de ferrocarril de vapor y para puentes de carretera, son tan buenas como cualesquiera otras desarrolladas para puentes de número de vías diferentes o de diferente ancho del camino; pero la fórmula allí dada para puentes de ferrocarril eléctrico da resultados demasiado grandes, según los últimos experimentos del profesor Turneaure; por consiguiente, en la actualidad mi fórmula para puentes de carretera también la aplico en los puentes de ferrocarril eléctrico.

El establecimiento de la fórmula para cargas dinámicas, permitiendo la reducción de éstas a sus equivalentes estáticas, fué el paso más importante dado para llevar el cálculo de puentes a una base científica, pues encierra el único método correcto posible para proporcionar las secciones con los esfuerzos debidos a las cargas móviles.

#### **Desarrollo de la infra-estructura.**

Hace medio siglo o más, muchas pilas de puentes consistían simplemente en una serie de pilotes de madera coronados y arriostrados con maderos; la vida de estas pilas estaba limitada de ordinario a unos diez años, aunque la cuidadosa selección de los materiales y los buenos métodos de construcción con frecuencia la alargaban considerablemente.

También fueron extensamente empleados en los puentes de ferrocarril los pilares de mampostería apoyados sobre un lecho de roca o arcilla dura, o bien sobre un emparrillado de madera o sobre pilo-

tes. Cuando se empleaban pilotes, en un principio se acostumbraba a serrar sus cabezas a la misma altura, en lo posible, cubriéndolos con una plataforma de madera mejor o peor enlazada a aquéllos por medio de pernos; de este modo se confiaba principalmente en el rozamiento para impedir el deslizamiento de la plataforma por la presión debida a la corriente o al choque de maderos flotantes o de témpanos de hielo. Siempre me opuse resueltamente contra este tipo de construcción, substituyéndolo por una masa de hormigón que cubría las cabezas de los pilotes, en una extensión de 3'50 a 4'50 metros por lo menos, estando a su vez el macizo de hormigón confinado en una caja de madera. De este modo el macizo, el cajón y los pilotes actuaban como una unidad para distribuir la carga y para impedir el asiento desigual de la fundación. Actualmente empleo este método, pues en cualquier caso en que sea aplicable constituye el tipo más económico y eficaz para la cimentación de pilas sobre materiales blandos.

#### **Atagüas.**

Cuando se puede cimentar en buenas condiciones a una profundidad de seis metros aproximadamente por bajo del nivel más alto que el agua pueda alcanzar durante la ejecución de la obra, la atagüa es generalmente el método más económico para cimentación que puede emplearse; pero si se presentan muchos cantos rodados en el terreno o se encuentran manantiales, los inconvenientes que pueden sobrevenir motivarán que este método resulte en algunas ocasiones sumamente costoso.

Las atagüas pueden construirse con tablestacas de Wakefield o metálicas, o bien de paredes dobles de madera con relleno de arcilla intermedio. Este último método se empleaba antes de mis tiempos, pero desde entonces han entrado en uso el de Wakefield y el de las tablestacas metálicas, siendo éste relativamente moderno; este método es sumamente seguro y económico bajo ciertas condiciones, especialmente cuando no es de temer el encuentro de obstáculos serios que dificulten la hinca.

#### **Cajones neumáticos.**

El empleo de cajones neumáticos para las pilas de puentes es anterior a mi experiencia personal, pero durante los últimos cuarenta o cincuenta años se han introducido muchos perfeccionamientos en este método de cimentar pilas, tendiendo a la economía de trabajo y de tiempo y a la disminución del peligro. Cuando por este método se puede llegar al lecho de roca, debe ser adoptado, a pesar de que, en términos generales, resulta algo costoso. En rigor, si se trata de llevar un cajón a descansar sobre la roca, estimo casi esencial la adopción del método del aire comprimido, a fin de obtener un apoyo igual alrededor del borde cortante del cajón. Si el lecho de roca se halla demasiado profundo para poder alcanzarle por el método del aire comprimido, el cajón puede descansar a no mucha altura sobre la roca, con preferencia en una masa de cantos rodados.



### **Cajones sin fondo.**

El hundimiento de cajones sin fondo a grandes profundidades, excavando en el interior y sacando los materiales a través de chimeneas, fué un método que se empezó a aplicar poco después de terminar mis estudios, o acaso un poco antes. Empleé este método por primera vez antes del año 1890, y obtuve tan buenos resultados, que he continuado aplicándolo siempre en los Estados Unidos, Canadá y México. Este método siempre me ha dado buenos resultados, y con frecuencia me ha permitido economizar grandes sumas en favor de mis clientes, además de permitirme alcanzar profundidades bajo el agua imposibles de alcanzar por el método del aire comprimido. Probablemente he sido el ingeniero que más extensamente ha aplicado este método y, por consiguiente, mi sancionamiento debe ser de peso.

### **Puentes metálicos de arco.**

Los arcos de acero son en Europa mucho más corrientes que en América, siendo probablemente la razón de ello que los ingenieros europeos han prestado mayor atención a las cuestiones de estética que sus hermanos americanos, quienes han considerado principalmente la economía en la construcción o, al menos, así han creído considerarlo. Confesando la verdad, ninguno de nosotros tenía idea alguna sobre los costes comparativos de los puentes de arco con los de tramo recto hasta hace unos tres años, cuando presenté en la «American Society of Civil Engineers» una memoria sobre el tema «Economics of Steel-Arch Bridges» (Economía de los puentes de arco de acero), en la cual resolvía todos los problemas económicos que pude imaginar se presentarían en el estudio de estructuras de esta clase. Según está demostrado en la memoria mencionada, resulta para el arco de acero, en comparación con el tramo recto correspondiente, una mayor economía de metal y de coste que la supuesta previamente por la generalidad de los ingenieros de puentes; por lo cual espero que en el futuro se construirán en América muchos más puentes de arco que hasta el presente, pues el arco es un tipo mucho más estético que el tramo recto simple.

### **Puentes cantilever.**

La construcción de los puentes cantilever en América y en algún otro país, se inició hacia el tiempo de la terminación de mi carrera; en un principio se aplicó este tipo de estructura para satisfacer condiciones especiales de erección, pero posteriormente como verdadera manía, pues ciertos proyectistas parecían tener la idea de que existía alguna virtud propia de este tipo, que en realidad no posee. El cantilever es una solución económica que debe adoptarse en condiciones poco frecuentes y no buscando la economía de metal, a no ser que la luz media de los tramos de la obra sea mayor de 180 metros aproximadamente. Esta cuestión está tratada extensamente en «Economics of Bridge-work».

### **Puentes semi-cantilever.**

El método de construir tramos ordinarios enlazando los adyacentes durante la construcción, como si se tratase de un cantilever, y construyendo en voladizo, retirar después las piezas de unión provisionales para dejar los tramos independientes, fué primeramente proyectado por mí hace unos veinticinco años, aunque no se me presentó ocasión de utilizarlo en mi práctica provisional hasta algunos años más tarde. Mi experiencia demuestra que este método es a la vez práctico y económico. Este método fué desarrollado con motivo de la construcción de ciertos puentes que proyecté para un ferrocarril del Japón.

### **Tramos continuos.**

Con excepción de los puentes giratorios, se encuentran muy pocos puentes de vigas continuas en los Estados Unidos; y esto es tal cual debe ser, puesto que no tienen estos tramos virtud alguna especial, exceptuando, bajo ciertas condiciones, una economía de peso de metal en los puentes de gran luz. Por el contrario, existe una formal objeción contra su empleo, de no ser que las pilas estén cimentadas sobre roca sólida u otro material duro; pues un ligero asiento de una pila es causa de que cambie de una manera importante la distribución de los esfuerzos en las vigas, lo cual no ocurriría en el caso de ser independientes los tramos.

Uno de los diez grandes problemas económicos que debía ser resuelto como preparatorio para la redacción de mi obra «Economics of Bridgework» era el estudio económico comparativo de las vigas continuas y no continuas. Esto lo llevé a término calculando una serie de puentes de grande y mediana luz, de longitudes y cargas análogas para los dos tipos, y hallando los pesos de metal requeridos en cada caso. Los resultados de la investigación se hallan expuestos en mi libro, por lo cual no necesito repetirlos aquí; baste con decir que rara vez, si no nunca, hallarán ustedes realmente ventajoso el enlace de los tramos adyacentes sobre las pilas para convertirlos en continuos.

### **Puentes colgantes.**

Durante mi tiempo han sido pocos los progresos hechos en América en la construcción de puentes colgantes, debido a haber sido construídos muy pocos puentes de esta clase, de los cuales casi ninguno ha sido para ferrocarril. Mis últimas investigaciones económicas han demostrado que, dentro de sus límites practicables, el tipo cantilever es más económico que el suspendido para puentes de ferrocarril, además de ser mucho más rígido. Solamente para luces superiores a 600 metros en puentes de ferrocarril es cuando merece atención el puente colgante; y hasta para luces mayores resultará menos económico que el cantilever si se emplean aceros especiales.

Por la traducción,  
S. O. R.

(Continuará).



## CRÓNICA DE LA AGRUPACIÓN

### Los Ingenieros Industriales y los de Minas

La Asociación de Ingenieros Industriales de Bilbao, ha acordado protestar, por todos los medios a su alcance, contra el Real Decreto de 14 de Noviembre último, regulador de la Inspección Técnica ejercida en Fábricas y Talleres metalúrgicos, y que constituye una grave ofensa para la dignidad profesional y un atropello de los derechos e intereses de los Ingenieros Industriales en favor de los de Minas, así como causa también un perjuicio, notoriamente injusto, a la industria metalúrgica.

Se sienta en la parte expositiva del mencionado texto legal un principio peligrosísimo que es de todo interés combatir, y es el de que los gastos originados por los servicios de inspección en las Fábricas, deben ser sufragados por los industriales inspeccionados.

Es vicio tradicional en España, siempre denunciado y nunca seriamente combatido, el de procurar vivir, directa o indirectamente, a costa del presupuesto; y consecuencia obligada de este vicio, el enorme exceso de personal existente en todos los servicios del Estado.

Todavía, si el pago de los empleados ha de hacerse con cargo al presupuesto, las angustias del déficit prestan alientos a los gobernantes para resistir mejor o peor a las sugerencias influyentes, personales o colectivas, interesadas en la creación de cargos nuevos; pero encontrada la fórmula salvadora, de que sean los industriales mismos los que directamente paguen a los empleados, es de temer que la invención de cargos y funciones continúe indefinidamente, llegando a constituir en el porvenir un gravamen realmente serio para las industrias.

Pasando a hacer un ligerísimo examen de la parte dispositiva del R. D. que nos ocupa, hemos de hacer observar que se dice en el apartado c) del artículo 1º que los gastos ocasionados con la inspección de generadores y motores y reconocimiento previo obligatorio de máquinas, aparatos, vías, conducciones de agua, talleres, etc., etc., serán sufragados por los industriales, corriendo la inspección a cargo de la Jefatura de Minas. Y en el artículo 4º se impone a los industriales metalúrgicos la obligación de tramitar en los Gobiernos civiles por conducto de

las Jefaturas de Minas, los expedientes relativos a instalaciones nuevas o modificaciones de las existentes en sus talleres, debiendo ser firmados por ingenieros de minas los proyectos correspondientes.

Fácilmente se adivina el objeto perseguido que no es otro, que el de encontrar un medio indirecto de retribución para el personal afecto a las Jefaturas de Minas y el de imponer solamente a los industriales el nombramiento de ingenieros de minas para los cargos activos de los talleres metalúrgicos, por razones que excluyen la libre elección fundada en el mérito personal.

Jamás hemos pretendido nosotros que el título de ingeniero industrial tuviera carácter de exclusivo para el desempeño de cargos técnicos en las industrias, entendiéndose por el contrario que la idoneidad de la persona, demostrada como fuera, debe ser considerada suficiente y esto nos coloca en mejor situación para oponernos a imposiciones como las combatidas que para nosotros significan una preterición injusta y para los industriales metalúrgicos una coacción limitadora de su libertad al elegir el personal.

Bien fácil sería si los propósitos del R. D. que combatimos no fueran los enunciados, el atender a las necesidades de la inspección técnica, realmente existentes y no solamente desde el punto de vista de la seguridad del trabajo sino en otros aspectos igualmente interesante, sin imponer nuevas gabelas a las industrias.

Bastaría para ello con reorganizar la actual inspección del trabajo exigiendo a los inspectores una competencia industrial y ampliar si fuera absolutamente necesario el número de titulares, pero siempre por cuenta del Estado.

Es, por ejemplo, de una injusticia insoportable el que un ingeniero industrial Director de una fábrica y que llegó a ocupar su cargo sin imposición ni ayuda alguna oficiales, se vea precisado a recurrir para la firma de un proyecto a un ingeniero de minas posiblemente sin ninguna experiencia industrial y a quien su carrera preparó peor para alcanzarla.

Hemos de añadir que nuestra Junta Superior ha tomado cartas en el asunto presentando las oportunas instancias a los señores Ministros de Fomento y de Trabajo y que asimismo esta Agrupación de Barcelona se ha sumado a la protesta cursando los oportunos despachos e interesando en la cuestión a otras Corporaciones.

### Revista de Revistas

#### Ibérica

Conocen ya nuestros lectores esta sólida publicación científica que contribuye admirablemente a la obra del engrandecimiento y del prestigio de España.

Con el número extraordinario que llega a nuestra redacción, entra «Ibérica» en su año X de publicación, y cuantos conocen lo penoso e ingrato de la labor periodística técnica podrán hacerse car-

go del tenaz esfuerzo realizado por nuestro estimado colega y del mérito de sus trabajos, en los cuales han colaborado las firmas más eminentes de nuestra Patria, y muchos hombres de ciencia extranjeros.

En el número extraordinario se publica el siguiente sumario:

La locomotora «Mastodonte».—La energía eléctrica en España.—México. Excursión por la costa



occidental, Gastón Bonnier.—La emisión de luz en la luciérnaga.—Fotoconductibilidad.—Helicóptero tripulado por dos hombres.—El vidrio «Pyrex».—A través del Asia.—Comunicación radiotelefónica entre América y Europa.—La luz de la luna y la germinación de las semillas.—Reconocimiento médico de los conductores de automóviles.—Máquina para hundir estacas.—La fotoforesis.—Coloración de los metales por electrolisis.—La explosión de Ordebroek.—Fenómenos de correlación en el reino vegetal, J. Ma de Barnola, S. J.—Excursión a las cuevas de Artá, A. F. Linari, S. J.—Relieves geográficos, científicos y artísticos «Wenschow», J. María Torraja.—J. G. Mendel. II. Sus leyes, J. Ma Ibero, S. J.—Las costas de la muerte, R. Gil.—Bibliografía.—Suplemento técnico-industrial de publicidad, F. de B.

Acompañan al número un suplemento técnico-industrial de gran interés, y primorosas páginas de publicidad en varios colores, formando un conjunto tipográfico excelente.

Damos la enhorabuena a «Ibérica» y sinceramente recomendamos a nuestros lectores la lectura de esta sólida y hermosa revista técnica nacional, que con tanto empuje entre en la segunda década de su existencia.

### La Exposición Internacional de Fundición París, 1923

Nuestro distinguido colaborador D. J. M. España, Gerente de la S. A., Establecimientos Ph. Bonvillain & E. Ronceray, de París, núm. 3, rue Paul Carle Choisi-le-Roi, nos envió la carta que a continuación transcribimos, la que llegó a nuestro poder con enorme retraso y que por su innegable interés reproducimos íntegra:

«Sr. D. Jaime Font Mas.

Director-Delegado de TÉCNICA.

París-3-11-1922.

» Muy señor mío:

» Le envío traducción del editorial de «The Foundry Trade Journal» relativo a este Congreso.

» Los lectores de este periódico están al corriente del Congreso y Exposición Internacional que debe tener lugar en París durante la segunda semana de Septiembre próximo.

» Autorizadamente se anuncia la participación efectiva de más de 50 fundidores Norteamericanos. Los americanos se ocupan activamente de ello. ¿Qué hacen los propietarios británicos?

» Sin embargo, no hay que perder de vista que es principalmente debido a la iniciativa de los señores Stubbs, Flagg, Estep, Ronceray, Ramas y Leonard que el Congreso Internacional tendrá lugar.

» ¿Qué providencias está tomando la Institución de Fundidores británicos? En la última Asamblea General del Comité, una invitación de reunir la Conferencia en París fué desechada por considerar que no sería suficientemente representativa.

» Los americanos envían una delegación de más de 50 fundidores estando distantes de muchos millares de kilómetros y los gastos de dichos delegados serán pagados por los propietarios de las fundiciones. ¿Están preparados los propietarios de fundiciones británicas a enviar sus Directores, Contra-maestros o Especialistas a algunas centenas de kilómetros? Si a pesar de los gastos los americanos consideran que es ventajoso para sus intereses di-

cho viaje, no hay duda que debe serlo también para los británicos. Contestar que esta cuestión puede considerarse más tarde es peligroso, porque solamente los esfuerzos combinados de todos los fundidores franceses podrán arreglar las cosas convenientemente para la recepción de los extranjeros. Además, la cooperación produce economía y con frecuencia comodidad.

» Los fundidores franceses en sus reuniones anuales comprenden como especialmente interesante visitas de fábricas y en los alrededores de París abundan fundiciones excelentes, la industria automóvil y otras especiales están bien representadas.

» Además, París puede considerarse no solamente como la capital de Francia sino de la Europa continental, porque de allí las vías férreas irradian a todos los países y atraen expositores y compradores. No es el caso de estudiar si se puede ir o no, sino de darse cuenta que no se puede quedar en casa y que en último caso hay que estar representado.

» Para esta reunión particular hacemos un llamamiento especial a los profesores metalúrgicos; en primer lugar la Exposición y el Congreso tendrán lugar en la Escuela de Artes y Oficios de París que posee el modelo de fundición más perfecto de Europa; en segundo lugar el trato con hombres prácticos durante algunos días les atraerá a una Asociación directa con la industria a que se dedican.

» Hasta ahora la Institución no ha anunciado su intención de organizar una visita, creemos que esto debe incumbir a «The Foundry Trade Journal».

» El programa en París se hará en cooperación con la Asociación de Fundidores franceses.

» Nos agradaría conocer quienes se interesan en esto para conocer lo antes posible si vale la pena de organizar algo.

» Indudablemente el hecho de enviar su nombre no obliga a quien lo envíe a hacer el viaje.

» Para facilitar estas cosas hemos impreso al pie de la página 16 un boletín que basta llenar y que debemos recibir antes del primero de...

» Consideramos que la ocasión es de una importancia suficiente para que se discuta en cada fundición de Gran Bretaña el mejor medio de asegurar el máximo de representación de cada fundición.

» Finalmente, si estos gastos y trabajos se consideran como útiles por los norteamericanos para enviar una representación tan numerosa, serán necesarias muy pocas palabras para decir también será útil para todos los fundidores británicos el asistir.

» Si fuese necesario añadir algo a lo que el editor de «The Foundry Trade Journal» dice a los fundidores británicos para dirigirnos a los fundidores españoles, encontramos que basta con traducir como lo hemos hecho, dicho editorial y rogar a cada fundidor español que dé una ojeada compare rápidamente la situación de las fundiciones británicas y de las fundiciones españolas. Si los norteamericanos aceptan los gastos elevadísimos, las incomodidades del viaje y una ausencia relativamente larga, si los británicos creen necesario hacer un llamamiento general a sus compatriotas fundidores, haciéndoles resaltar las ventajas que obtendrán, ¿qué tendríamos nosotros que decir a los fundidores españoles?

» Sinceramente creemos que es necesario hacer un esfuerzo para que los fundidores españoles envíen a la próxima Exposición Internacional de París de 1923 lo mejor de su corporación, y si por razones que comprendemos muy bien la mayoría de entre ellos no pueden soportar los gastos de una exposición *personal*, muy conveniente sería que unie-



sen sus esfuerzos a fin de presentar decorosamente una exposición común, para la gestión de la cual a título absolutamente gratuito y desinteresado estamos dispuestos, a fin de que nuestro país no esté ausente de esa manifestación en la que se desea afirmar algo más importante que los deseos de hacer negocios como individuo, pues la emulación va convirtiendo estas manifestaciones en certificaciones de la existencia nacional y de sus progresos.

» Quedo suyo affmo. s. s. q. e. s. m.

J. M. ESPAÑA.»

*Société Anonyme des Etablissements Ph. Bonvillain & E. Ronceray, Rue Paul Carle prolongée, Choisy-le-Roi (Seine).*—La Asamblea general extraordinaria convocada para el 17 de Enero en su domicilio social, ha reconocido la sinceridad de subscripción que ha aumentado el capital social de 1.200.000 francos a 3.200.000 francos.

Casi toda la totalidad de accionistas estuvieron presentes o representados en esta Asamblea, y después varios accionistas visitaron los talleres donde reina una gran actividad.

## BIBLIOGRAFÍA

*Geometría Descriptiva*, por D. FRANCISCO GÓMEZ CARBONELL.—Hemos recibido el libro en que resumiendo sus explicaciones en la cátedra de la Escuela de Ingenieros Industriales de Barcelona, ha publicado obsequiándonos con él, nuestro compañero D. Francisco Gómez Carbonell.

Los que conocemos la labor pedagógica del señor Gómez no hemos de hacer elogios excesivos de su libro que ofenderían su modestia, a más de no ser necesarios por resaltar en alto grado de la simple lectura del mismo y cuya importancia se comprende con lo que exponemos a continuación:

La mayor parte de los libros similares que emprenden el estudio de la ciencia proyectiva, se ciñen exclusivamente a dar la teoría de la Representación con todo detalle; pero en el libro que nos ocupa, no solamente se detallan los fundamentos y aplicaciones de las representaciones proyectivas, sino que por la íntima relación que en la resolución de los principales problemas tiene la Geometría de posición, se dan amplios detalles de la misma combinándolos y dando las demostraciones precisas para su más amplia comprensión.

No se ha excedido el Sr. Gómez en añadir bajo este aspecto erudición inútil al libro de que tratamos, sino que los principios que de la Geometría de posición añade al libro de ciencia proyectiva que nos ocupa, son sólo los indispensables y necesarios para que resulte una Geometría Descriptiva completa desde el punto de vista representativo y de proyección.

Felicitamos cordialmente a nuestro compañero y le damos gracias por el obsequio.

J. I. M.

*Apuntes sobre telefonía*, por D. IGNACIO M<sup>a</sup> ECHAI-DE, Ingeniero Director de la Red Telefónica de Guipúzcoa.—Editada por la Diputación de Guipúzcoa ha visto la luz esta obrita en la que con singular

acierto se expone ayudándose con numerosos esquemas, lo que es un teléfono y lo que es una red y una central telefónica moderna.

Sólo se propuso su autor al escribir el libro, ofrecer con la mayor claridad y sencillez posible en el estudio del aparato telefónico, una serie de esquemas que permitieran revelar de un solo golpe de vista lo que en otras publicaciones parecen intrincados laberintos, y puede asegurarse que ha logrado cumplidamente su objeto.

*Aide-Mémoire de l'Ingénieur-Constructeur en Béton Armé*, par M. EDOUARD PERRIN.—Librairie Polytechnique, Ch. Beranger.—París.

Hemos recibido el primer fascículo de la obra que lleva el título que antecede, en el que el autor tras de mostrarnos su propósito referente al plan que piensa seguir en el desarrollo de la obra, nos ofrece ya una muestra de forma completísima y detallada con lo que quiere hacer.

Su propósito, según dice, es reunir los conocimientos teóricos y prácticos necesarios para el estudio de las obras corrientes dedicadas a los Ingenieros con práctica repetida en las construcciones de cemento armado, dando ya medios sobrados para resolver directamente algunos proyectos sencillos, y fundamentar otros más complicados.

El primer fascículo viene dedicado a los problemas más corrientes de estudio de la Resistencia de Materiales, dividiendo el estudio dedicado exclusivamente al cálculo estático, en tres partes que titula Equilibrio externo, Equilibrio interno, y piezas isostáticas.

Nos felicitamos muy de veras de la aparición de este libro esperando con verdadero deseo la aparición de los sucesivos fascículos de los que daremos oportuna noticia a nuestros lectores.

J. I. M.

### Fábrica Española de Automóviles "ELIZALDE"

Turismo : 6/8 — 15/20 — 18/30 HP. (4 cilindros)  
20/30 y 50/60 HP. (8 cilindros)

Industria : 6/8 HP. para 500 kilogramos.  
15/20 HP. para 1,000 y 1,500 kilogramos,

Talleres y Despacho: Paseo S. Juan, 149 - BARCELONA

