



AÑO LXXXVIII

MADRID. — SEPTIEMBRE 1933

NÚM. IX

Influencia de la capa ionizada de la alta atmósfera sobre la propagación de las ondas electromagnéticas

(Conclusión.)

Estudio teórico de la propagación de las ondas electromagnéticas en un medio ionizado.

Constante dieléctrica de un gas ionizado.—Supongamos que en un gas ionizado se produzca un campo eléctrico de alta frecuencia $F = F_0 \text{ sen. } \omega t$. Este campo origina, como sabemos, una corriente de desplazamiento que por ser igual a $\frac{K}{4\pi} \cdot \frac{dF}{dt}$ está en adelanto de $\frac{\pi}{2}$ con relación a F (K constante dieléctrica del medio).

Llamemos q a la carga de un electrón y m a su masa. Bajo la acción del vector F (fuerza de la unidad de carga), el electrón está sometido a una fuerza $F \cdot q$; sea v la velocidad que adquiere bajo la acción de esta fuerza, en la dirección de F . Aplicando la fórmula de mecánica que liga a la fuerza con la masa y la aceleración se puede escribir:

$$m \frac{dv}{dt} = Fq \quad [1]$$

de donde:

$$v = \frac{q}{m} \int F_0 \text{sen. } \omega t \, dt = -\frac{q}{m\omega} F_0 \text{cos. } \omega t =$$

$$-\frac{q}{m\omega^2} \cdot F_0 \text{cos. } \omega t (d\omega \, dt) = -\frac{q}{m\omega^2} \frac{d(F_0 \text{sen. } \omega t)}{dt} = -\frac{q}{m\omega^2} \cdot \frac{dF}{dt} \quad [2]$$

Considerando, como se ha dicho antes, que los iones negativos son electrones, y teniéndolos solamente en cuenta, ya que los iones positivos, a causa de su gran masa, desempeñan un papel despreciable, se deduce que, en el medio que se considera, los iones libres entran en oscilación forzada bajo la acción del campo y que su velocidad v está en retardo de $\frac{\pi}{2}$ con relación a F .

El flujo de electricidad negativa que atraviesa una superficie de un centímetro cuadrado en un segundo, es decir, la corriente debida a los iones, tiene por valor:

$$N \cdot q \cdot v = -\frac{Nq^2}{m\omega^2} \cdot \frac{dF}{dt} \quad [3]$$

en oposición de fase con la corriente de desplazamiento. Resulta, por tanto, el mismo efecto que si la corriente de desplazamiento disminuyese a un valor:

$$\frac{K}{4\pi} \cdot \frac{dF}{dt} - \frac{Nq^2}{m\omega^2} \cdot \frac{dF}{dt} = \frac{K - N \frac{4\pi q^2}{m\omega^2}}{4\pi} \cdot \frac{dF}{dt} \quad [4]$$

lo cual equivale a una disminución del poder inductor específico del medio, que pasa de K a

$$K' = K - N \frac{4\pi q^2}{m\omega^2} \quad [5]$$

Velocidad de propagación en un medio ionizado.—Sabemos que la velocidad de propagación de las ondas electromagnéticas en un medio aislador es:

$$\gamma = \frac{1}{\sqrt{K\mu}} \quad [6]$$

inversamente proporcional a la raíz cuadrada de la constante dieléctrica del medio que se considere (μ permeabilidad magnética del medio).

Se acaba de ver que en un medio ionizado la constante dieléctrica disminuye ($K' < K$), luego llamando γ' a la velocidad de propagación en este medio:

$$\frac{\gamma'}{\gamma} = \frac{\frac{1}{\sqrt{K'\mu}}}{\frac{1}{\sqrt{K\mu}}} = \sqrt{\frac{K}{K'}}$$

dé donde:

$$\gamma' = \gamma \sqrt{\frac{K}{K'}} > \gamma \quad [7]$$

Se deduce que la ionización de un medio tiene por efecto *aumentar en él la velocidad de propagación de las ondas electromagnéticas*.

Este resultado parece, a primera vista, paradójico, porque γ , velocidad de la luz en el vacío, es la mayor velocidad que puede existir en la Naturaleza. Para explicarlo debe hacerse presente que la fórmula [6] de la velocidad de propagación, inversamente proporcional a la raíz cuadrada de la constante dieléctrica del medio, se ha deducido de la integración de las ecuaciones de Maxwell, considerando dos instantes y dos puntos del espacio en que el vector del campo eléctrico tiene el mismo valor, o sea, la onda la misma fase; dicha fórmula [6] es, por tanto, la de la *velocidad de fase*. Pero se demuestra, por consideraciones de que prescindiremos para no alargar mucho este estudio, que hay que distinguir varias clases de velocidad de propagación, de las que sólo mencionaremos aquí:

1.^a La *velocidad de propagación del frente de una onda*, que se define como el cociente de la distancia entre dos puntos sucesivamente alcanzados por el frente de una onda, por el tiempo invertido en dicho paso. Esta velocidad no puede ser nunca mayor que la velocidad de la luz.

2.^a La *velocidad de fase*, que es aquella con que se propaga la fase de una oscilación de una onda sinusoidal infinita en el tiempo y en el espacio. Es en estas condiciones como se estudia la velocidad de propagación en un medio aislador, en las cuales las ecuaciones de Maxwell son aplicables.

La primera se refiere a la propagación de una perturbación a que se somete el medio; la segunda, a un régimen ya establecido, a una onda que existe ya en el espacio.

Refracción iónica.—Supongamos que una onda plana, formada por los rayos de propagación aa' , bb' , cc' ... penetra en un medio de ionización creciente, de AB a $A'B'$ (fig. 5).

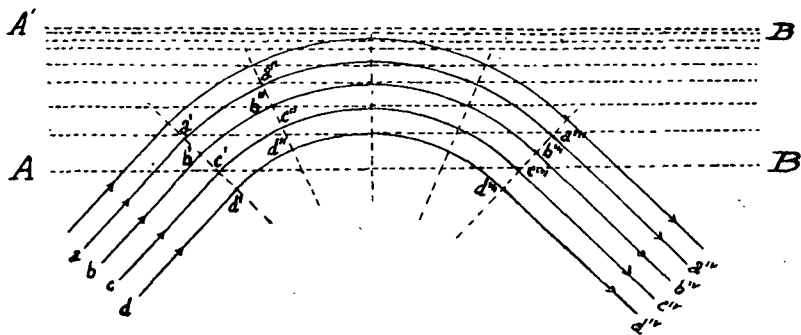


Fig. 5

Se ha visto anteriormente, fórmula [5], que la disminución de la constante dieléctrica en un medio ionizado es tanto mayor cuanto más grande es el número N de electrones por cm^3 , es decir, cuanto mayor es el grado de ionización. Por tanto, en el medio que consideramos, el poder inductor específico disminuye progresivamente de AB a $A'B'$, resultando que los rayos tienen una velocidad de propagación tanto más grande cuanto más penetran en dicho medio, es decir, que su velocidad aumenta con la altura. Así, pues, el rayo $a'a'$, por haber penetrado más, recorre un camino $a''a''$ mayor que el $c'c''$ recorrido por el rayo $c'c'$, y el efecto es el mismo que si, al penetrar en el medio ionizado, los rayos sufriesen una *refracción*.

La refracción iónica puede producir, como indica la figura, una *incurvación* del haz de rayos que forman la onda plana, que penetrando en el medio con la dirección $a'a'$ salen del mismo con la dirección $a''a''$.

Influencia de los choques moleculares sobre la refracción iónica.—En el estudio que precede se ha prescindido de varias causas

que perturban la refracción iónica, a saber, la influencia de los choques moleculares, de la frecuencia de las ondas que se propagan y de la absorción de la energía radiada por el medio ionizado. Estas causas modifican los resultados obtenidos, como vamos a comprobar.

Consideremos primero la influencia de los choques moleculares. Es sabido que las moléculas están sometidas, de un modo continuo, a movimientos de traslación desordenados y que en los gases perfectos la distancia de los átomos es muy grande con relación a sus dimensiones.

En los razonamientos anteriores se ha supuesto que los iones eran completamente libres, pero no sucede así en la realidad, ya que participan de los choques moleculares. Así, pues, dichos razonamientos sólo serán válidos en el intervalo de tiempo que media entre dos choques.

En particular, la fórmula [5] que da el valor de K' no tiene ningún sentido si el intervalo de tiempo que separa dos choques es inferior al período de la onda. Por tanto, para que la refracción iónica pueda producirse, es necesario que este período sea inferior a la duración del recorrido libre de las moléculas del gas.

Consideremos, para fijar las ideas, el recorrido libre de una molécula de hidrógeno, gas que, como se indicó antes, es el que se supone forma las capas elevadas de la atmósfera. Dicho recorrido es, a la presión existente a la altura de 100 kilómetros, aproximadamente del orden del centímetro; su duración, igual al cociente de esta longitud por la velocidad de agitación molecular, del orden de 16×10^4 , puede estimarse en 10^{-5} de segundo.

La duración del recorrido libre de un electrón es unas cincuenta veces más pequeño, o sea, 2×10^{-7} de segundo.

A una altura de 200 kilómetros, esta duración es unas siete veces mayor, o sea, 14×10^{-7} de segundo.

Ahora bien; los períodos de las ondas de 5.000 y 715 kc/s. (60 y 420 metros de longitud, respectivamente) son iguales a:

$$\frac{1}{5 \times 10^6} = 2 \times 10^{-7} \quad \text{y} \quad \frac{1}{715 \times 10^3} = 14 \times 10^{-7}$$

de donde se deduce que los razonamientos referentes a la refracción iónica sólo son razonablemente válidos para las ondas de mayor frecuencia que las que acaban de citarse, y sólo pueden, por consiguiente, aplicarse a las ondas cortas e intermedias.

Influencia de la frecuencia de las ondas sobre la refracción iónica.—La frecuencia de las ondas no ejerce solamente su influencia sobre la refracción iónica desde el punto de vista de los choques moleculares, como vamos a comprobar.

Recordando que la pulsación $\omega = \frac{2\pi}{T} = \frac{2\pi\gamma}{\lambda}$ la fórmula [5], que da el valor de K' , puede escribirse así:

$$K' = K - N \frac{4\pi q^2}{m \frac{4\pi^2 \gamma^2}{\lambda^2}} = K - N \frac{q^2 \lambda^2}{\pi m \gamma^2} \quad [8]$$

Pero en unidades electro-estáticas, $K = 1$; además, $q_s = q_m \gamma(1)$, luego en dichas unidades la fórmula anterior puede expresarse así:

$$K' = 1 - N \frac{q^2 \lambda^2}{\pi m} U. E. E. \quad [9]$$

fórmula que demuestra que para un valor suficientemente grande de λ , K' puede anularse y hasta llegar a ser negativo.

Para $N = 10^5$ valor que puede aceptarse a la altura de 100 kilómetros, K' se reduce a cero para $\lambda = 110$ metros.

Ahora bien, en el caso de ser K nulo o despreciable, es decir, cuando se trata de un medio relativamente conductor, sin efecto dieléctrico, se deduce de la integración de las ecuaciones de Maxwell que no hay propagación de la energía eléctrica por radiación. A igual resultado se llegaría si se tomase para K un valor negativo.

En estas condiciones, al llegar las ondas procedentes de la baja atmósfera, es decir, de un medio que, por su pequeño grado de ionización, puede considerarse como inerte, al límite inferior de la capa ionizada, los correspondientes rayos de propagación sólo penetran en ella en un pequeño espesor y son reflejados, pues la capa hace el efecto de un medio conductor.

Resulta de estas consideraciones que las ondas cortas son las únicas cuyas trayectorias pueden sufrir una refracción en la alta atmósfera y ser incurvadas hacia la tierra; las de las ondas largas son, en cambio, reflejadas.

Influencia de la densidad iónica.—Por otra parte, un aumento

(1) q_s y q_m representan las medidas de q en unidades electroestáticas (U. E. E.) y electromagnéticas (U. E. M.), respectivamente.

grande del número de iones da lugar a los fenómenos de la conductividad metálica. La cuestión es compleja, porque este aumento daría siempre una corriente $-\frac{Nq^2}{m\omega^2} \cdot \frac{dF}{dt}$ (fórmula [3]) en retardo de $\frac{\pi}{2}$ con relación al campo y no en fase con él, como sucede aplicando la ley de Ohm a los cuerpos conductores. Pero un estudio más a fondo de la cuestión, en el que no podemos entrar aquí, que tuviese en cuenta los choques moleculares, daría para la velocidad, v , de los iones y, por tanto, para la corriente, un término en $\cos. \omega t$, es decir, en retardo de $\frac{\pi}{2}$ con respecto al campo y otro en $\sin. \omega t$ o sea, en fase con el mismo. La preponderancia de uno u otro de estos términos será causa de que haya refracción o de que el medio se comporte como un conductor, produciéndose la reflexión. El primer término es preponderante cuando el recorrido libre de los iones es grande. Si la densidad iónica es elevada o, lo que es lo mismo, si, como sucede en los metales, el recorrido libre es pequeño, la corriente de conducción, en fase con el campo, es la que tiene mayor importancia.

Absorción, por el medio ionizado, de la energía radiada.—Para formarse una idea de las magnitudes que intervienen en la absorción, por el medio ionizado, de la energía radiada, recordemos que, en virtud del teorema de Poynting, la energía que atraviesa una superficie de un cm.^2 , normal al rayo de propagación, en un segundo, es igual a:

$$\frac{1}{4\pi} HF = \frac{1}{4\pi} \cdot \frac{1}{\chi} F^2 = \frac{1}{4\pi\chi} \cdot \frac{F_o^2}{2} = \frac{F_o^2}{8\pi\chi} U. E. M. \quad (1) \quad [10]$$

Por otra parte, en virtud del tercer miembro de las igualdades [2], el valor máximo de la velocidad que puede tomar un ión bajo la acción del campo es:

$$v. \text{ máx.} = -\frac{q}{m\omega} F_o = -\frac{q\lambda}{2\pi m\zeta} F_o \quad [11]$$

Luego el de la energía que adquiere será, en U. E. M.:

(1) H y F representan, respectivamente, los vectores magnético y eléctrico de la onda. Sabemos que $H = \frac{1}{\chi} \cdot F$

$$\frac{1}{2} m v. \text{m}áx.^2 = \frac{q^2 \lambda^2}{8\pi^2 m \gamma^2} F_o^2 \quad [12]$$

Si n es la frecuencia de los choques moleculares, y si se admite que toda la energía de un ión se disipa en el momento de un choque, la pérdida de energía por cm^3 y segundo será:

$$n N \frac{q^2 \lambda^2}{8\pi^2 m \gamma^2} F_o^2 \quad [13]$$

Luego el coeficiente de absorción por centímetro de longitud, contado sobre el rayo de propagación, puede expresarse por:

$$\xi = \frac{n N \frac{q^2 \lambda^2}{8\pi^2 m \gamma^2} F_o^2}{\frac{F_o^2}{8\pi \gamma}} n N \frac{q^2 \lambda^2}{\pi m \gamma} \quad [14]$$

valor desde luego mayor que el real, por haberse supuesto que toda la energía de un ión se disipa en el momento del choque y por haberse tomado, para su velocidad, el valor máximo. Pero, aun así, la fórmula de ξ hace ver que la absorción es proporcional a la densidad iónica y al cuadrado de la longitud de onda. Se ve, pues, cuán aptas son las ondas cortas para propagarse en un medio ionizado.

El coeficiente de absorción es también proporcional al número, n , de choques por segundo, es decir, al número de moléculas por centímetro cúbico y, por tanto, a la presión. La absorción disminuye, pues, muy rápidamente en las capas más elevadas de la alta atmósfera, porque la presión decrece exponencialmente con la altura. Esta consideración explica la disminución considerable del alcance de día, durante el cual la capa ionizada baja, como se verá más adelante.

Debe hacerse presente que los razonamientos desarrollados en este estudio teórico no pueden aplicarse más que a la alta atmósfera. En la baja atmósfera la densidad iónica es muy pequeña y la masa de los iones muy grande (la proporción de grandes iones es elevada); el coeficiente de absorción es, consiguientemente, muy pequeño. Por otra parte, los fenómenos estudiados sólo pueden verificarse, como se ha dicho, si el intervalo de tiempo que separa dos choques es superior al período de la onda; como en las grandes presiones

de las capas inferiores la frecuencia de los choques es muy grande, resulta que la baja atmósfera es inerte para las ondas electromagnéticas.

Influencia del campo magnético terrestre sobre la propagación de las ondas en un medio ionizado.—El estudio de la influencia del campo magnético terrestre sobre la propagación de las ondas es muy complicado; por cuya razón, nos limitaremos a dar sobre ella unas ligeras nociones para hacer ver cómo puede producir la rotación del plano de polarización del vector del campo eléctrico o su polarización elíptica, fenómenos de que dimos cuenta anteriormente al tratar del resultado de las observaciones.

Consideremos primero el caso de que el rayo de propagación de las ondas sea paralelo al campo magnético terrestre. Sea Oz y (fig. 6) el plano del frente de la onda, Ox la dirección del rayo de

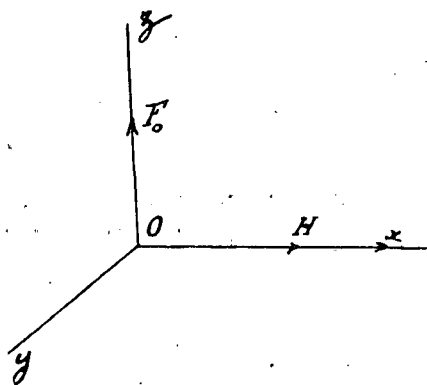


Fig. 6

propagación, OF_0 la amplitud del vector eléctrico y OH la intensidad del campo magnético terrestre.

Recordemos que, en virtud de la fórmula de Laplace, una corriente situada en un campo magnético está sometida a una fuerza proporcional al producto de la intensidad de la corriente por la intensidad del campo y por el seno del ángulo que forman sus direcciones. El sentido de esta fuerza se obtiene aplicando la regla de Fleming con la mano izquierda.

Bajo la acción de la fuerza eléctrica $F = F_0 \text{ sen. } \omega t$ los iones oscilan, como se ha visto, produciendo una corriente de valor determinado por la fórmula [3].

Ahora bien; es sabido que la fuerza F , cuyo valor, de dirección

Oz , varía sinusoidalmente, puede descomponerse en dos fuerzas centrípetas de valor constante $\frac{F_o}{2}$ que giran en sentidos opuestos con la velocidad de rotación ω (fig. 7). Un ión, que se supusiese

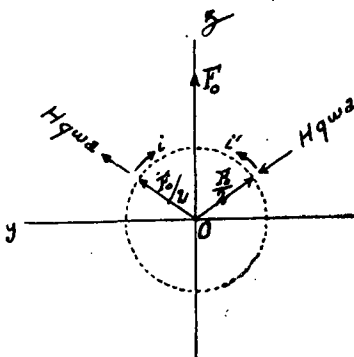


Fig. 7

arrastrado por uno de estos movimientos circulares, estaría, por tanto, sometido a una fuerza eléctrica constante $\frac{F_o}{2}$; llamando v' a su velocidad lineal y a al radio de giro, $v' = \omega a$ y la intensidad de la corriente originada por el movimiento del ión sería igual a $q v' = q \omega a$.

Pero las corrientes circulares de sentidos opuestos que así se originan, se encuentran bajo la acción del campo magnético terrestre, normal a su dirección; el seno del ángulo que forman es igual a la unidad, luego cada una de estas corrientes está sometida a una fuerza $H q \omega a$. La aplicación de la regla de Fleming demuestra que para las corrientes de un sentido esta fuerza es centrípeta y para las del sentido opuesto centrífuga; su representación general es, por tanto, $\pm H q \omega a$.

Como la fuerza resultante a que un ión está sometido es de la forma $m \frac{v'^2}{a} = m \frac{\omega^2 a^2}{a} = m \omega^2 a$, se puede escribir:

$$m \omega^2 a = \frac{F_o}{2} \cdot q \pm H q \omega a = q \left(\frac{F_o}{2} \pm H \omega a \right)$$

de donde se deducen dos valores para a , es decir, dos movimientos circulares de distinto radio (fig. 8). Su composición produce un

movimiento elíptico de los iones, cuyo eje mayor está en la dirección del campo eléctrico y el menor en la del campo magnético de la onda.

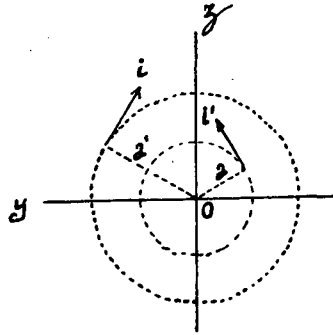


Fig. 8

Pero lo que nos interesa son los movimientos componentes, cada uno de los cuales corresponde a una polarización rotatoria de la corriente iónica que se resta de la corriente de desplazamiento; siguiendo razonamientos análogos a los hechos al tratar de la constante dieléctrica y de la velocidad de propagación en un medio ionizado se llegarían a obtener, en resumen, dos campos rotatorios que se propagan con velocidades diferentes.

El campo magnético terrestre desempeña también un papel importante, que no nos detendremos a examinar en la absorción; haremos presente solamente que en ciertas ondas, en particular las que difieren poco de 200 metros, una de las ondas circulares es absorbida por el medio ionizado mucho más fácilmente que la otra, quedando un solo campo polarizado circularmente.

Si el campo magnético terrestre es paralelo al vector del campo eléctrico, el seno del ángulo que forman es igual a cero y la acción de aquél sobre éste nula.

Si se estudiase el caso más general, aquel en que el campo magnético terrestre forma un ángulo cualquiera con la dirección de propagación, se obtendrían también dos ondas, pero polarizadas elípticamente, en general.

Explicación de los resultados experimentales.

Refracción y reflexión de las ondas. — La acción de un medio ionizado sobre las ondas electromagnéticas, cuyo estudio teórico aca-

bamos de realizar, permite dar una explicación aproximada de los resultados de la observación de que antes dimos cuenta.

Consideremos primero las ondas cortas: son aquellas que, según se expuso anteriormente, son refractadas por la capa ionizada de la alta atmósfera y las que sufren menos de los efectos de absorción de la misma.

Sea (fig. 9) un emisor de esta clase de ondas AB , que supo-

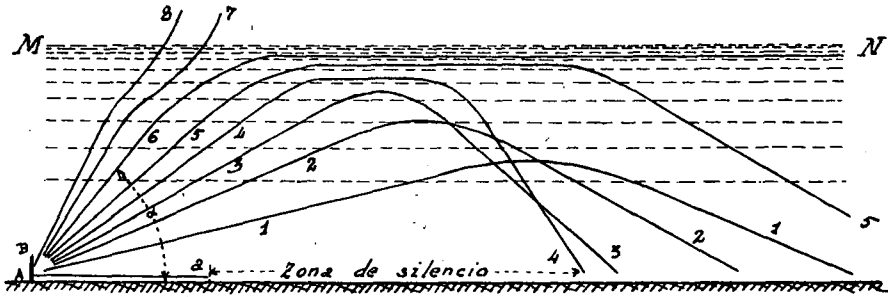


Fig. 9

nemos lanza rayos de propagación con distintas inclinaciones; una antena unifilar que vibre con un armónico impar de la onda fundamental, por ejemplo. Representemos por MN la capa de ionización creciente con la altura de la alta atmósfera.

De dichos rayos, el Aa , paralelo al terreno, que llamaremos *rayo directo*, es rápidamente absorbido por aquél debido a la inclinación del vector de Poynting en el sentido de la propagación, efecto tanto más pronunciado cuanto más cortas son las ondas. A una distancia determinada, Aa del emisor, que disminuye al aumentar la frecuencia, el rayo directo se amortigua, por consiguiente, de un modo completo.

A medida que los ángulos de emisión aumentan, y en tanto que los rayos de propagación 1, 2, 3... no llegan a penetrar en una zona de concentración iónica máxima y sensiblemente constante, es decir, mientras atraviesan un medio en que la densidad varía rápidamente, sus curvaturas se acentúan con rapidez y son arrojados al suelo en puntos cada vez más próximos de la estación emisora. Si dichos ángulos siguen creciendo, los de incidencia sobre la zona de concentración máxima serán cada vez más débiles, y como en ella la densidad iónica varía insensiblemente, los rayos llegarán a inflexionarse muy poco y podrán recorrer, paralelamente a la tierra, distancias considerables (rayos 4 y 5). Para cierto ángulo α , llamado *ángulo crítico*, el rayo no sale ya de la capa ioni-

zada; se propagaría en ella indefinidamente si no se amortiguase.

Más allá del ángulo crítico (rayos 7 y 8) las ondas atraviesan la capa ionizada, sufriendo sólo una ligera desviación y continuando su marcha rectilínea.

Observemos que el aumento de la velocidad de propagación, que origina la refracción de las ondas, es tanto más pronunciado cuanto más pequeño es ω (fórmula [5]). Cuanto más corta sea la longitud de las ondas, menor será, por tanto, el efecto de la refracción y mayor la distancia del pie de la antena al punto en que el rayo de propagación llega al terreno; como al mismo tiempo que λ disminuye, A decrece, resulta que la anchura de la *zona de silencio* aumenta con la frecuencia. Para las ondas de frecuencia menor de 4.000 kc/s. ($\lambda > 75$ metros) no hay zona de silencio y existen puntos del terreno en que un receptor recibirá simultáneamente el rayo directo y rayos refractados o *indirectos*.

La refracción de las ondas depende esencialmente de la densidad iónica, representada por N (fórmula [5]); así, pues, de la ley de variación de dicha densidad con la altura dependerá la forma de los rayos electromagnéticos de distintas incidencias. Sólo si se conociese exactamente la densidad iónica de la alta atmósfera a diferentes alturas sería posible fijar las trayectorias de los rayos, y, para un alcance determinado, deducir cuál sería la inclinación de efectos óptimos; se podría así, en cada caso, constituir la antena de emisión de modo que emitiese, con preferencia, rayos de dicha inclinación. Pero debe tenerse en cuenta que, lógicamente pensando, la alta atmósfera no puede estar constituida por franjas horizontales de densidad iónica constante; es más admisible suponer que lo que existe en ella son como especies de nubes de ionización, irregularmente dispuestas; las densidades iónicas a distintas alturas, que se darán más adelante, sólo pueden, pues, admitirse como una aproximación. Estas consideraciones hacen ver cuán complejos son los fenómenos que estudiamos; así, por ejemplo, a distancias pequeñas del emisor, del orden de los 10 kilómetros, la observación delata, a veces, la existencia de un rayo indirecto, aun en las ondas de frecuencia elevada, fenómeno que demuestra que la refracción viene, en algunos casos, acompañada de una reflexión más o menos completa, como sucede en óptica.

En cuanto a las ondas largas, ya se dijo anteriormente que son reflejadas por la capa ionizada. Esta es la razón por la cual no existe, con estas ondas, zona de silencio.

Influencia de la curvatura de la Tierra.—En las consideraciones

precedentes se ha prescindido de la curvatura de la Tierra. Pero, al tenerla en cuenta, se ve (fig. 10) que de los ángulos de incidencias crecientes α'' , α' , α que emanan de un emisor situado en A , el máximo es el que corresponde al rayo AP , tangente a la superficie del terreno en el emisor. Como a medida que la longitud de onda disminuye el efecto de la refracción decrece, se concibe que las ondas muy cortas no puedan dar grandes alcances, porque al ser dicho ángulo máximo de incidencia (de unos 80° para la altura de 100 kms.) demasiado grande y el efecto de refracción de dichas ondas muy pequeño, los rayos no podrán adquirir la curvatura suficiente para volver a la Tierra. Tal es el caso de las ondas de longitud inferior a 10 ó 12 metros.

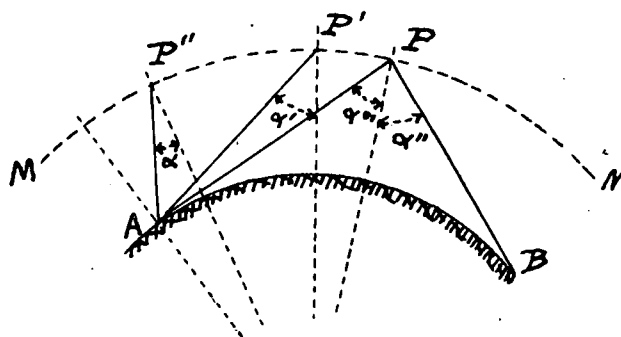


Fig. 10

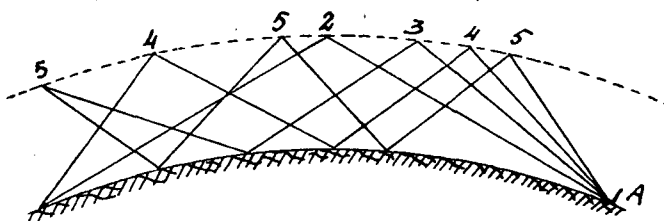


Fig. 11

Parece lógico pensar que la curvatura de la Tierra debe influir en el alcance de las ondas de cualquier longitud; ya se trate, en efecto, de rayos reflejados o refractados en la alta atmósfera, el alcance máximo sólo puede corresponder a un ángulo de reflexión doble del máximo del de incidencia o de uno ligeramente superior, es decir, a una distancia AB . Los mayores alcances sólo pueden explicarse, por tanto, por la acción, sobre el receptor de los rayos que realizan largos recorridos en la capa ionizada, como el 5 de la

figura 9, o por una serie de refracciones y reflexiones sucesivas de los rayos en la alta atmósfera y en la superficie de la Tierra, respectivamente.

Ecos.—Las refracciones y reflexiones sucesivas de que acaba de hacerse mención son una de las causas de los *ecos*. En efecto, un emisor colocado en A (fig. 11) lanza al espacio, como se ha visto, ondas que forman con la horizontal ángulos diferentes; cada uno de los correspondientes rayos de propagación recorre, para llegar al receptor, caminos distintos, y así resulta que cada señal del emisor produce en el receptor señales múltiples, espaciadas en tiempo.

Por tanto, de las distintas señales que reciba un receptor, correspondientes a una sola del emisor, la primera es debida, sin duda, al rayo de propagación que, caminando por la alta atmósfera, pasa en un solo salto de éste a aquél; las siguientes corresponden a rayos que sufren refracciones y reflexiones múltiples. A las distancias de las transmisiones trasatlánticas pueden recibirse hasta seis ecos, espaciados próximamente una milésima de segundo; un análisis de los intervalos de tiempo entre unos y otros, realizado en transmisión transatlántica con onda de 22 metros, ha puesto de manifiesto cuatro o cinco rayos reflejados por la Tierra y refractados por la alta atmósfera a una altura de 340 kilómetros; más adelante interpretaremos este resultado.

La existencia de los ecos puede hacer la radiotelefonía inaudible e imponer una importante reducción a la velocidad de transmisión radiotelegráfica, con el fin de que la lectura de las señales Morse no se haga imposible; en radiofototelegrafía ocasiona una superposición, no exacta, de las imágenes correspondientes a cada una de las señales múltiples. Para evitar estos inconvenientes sería preciso poder proyectar un tipo de antena que concentrase los rayos en un haz muy estrecho, resultado que aún no ha podido conseguirse.

En las transmisiones a pequeña velocidad la energía de las señales múltiples se suma en el receptor; los ecos son entonces beneficiosos.

Como son debidos a las características del medio en que la propagación se realiza, el análisis de los intervalos de tiempo que separa las distintas señales ha permitido a los geofísicos estudiar la composición de la alta atmósfera.

En cuanto a los ecos retardados o de gran duración, el mismo Stormer, que los descubrió, justifica su existencia por el hecho de que las partículas cósmicas lanzadas por el Sol forman, al llegar a

la Tierra, al modo de anillos de corpúsculos electrizados, situados a una altura de varios radios terrestres; ciertos rayos electromagnéticos que lograsen atravesar la capa ionizada se reflejarían en dichos anillos, dando lugar a los ecos de referencia. Debe tenerse en cuenta, sin embargo, que los rayos que lograsen atravesar toda la capa ionizada sufrirían mucho a causa de la absorción y no podrían manifestarse con la considerable energía con que llegan a los receptores. Van der Pol explica estos ecos por la propagación de las ondas en regiones de la alta atmósfera fuertemente ionizadas que se comportarían como un medio de conductividad metálica; no existe entonces propagación propiamente dicha, según se vió anteriormente, y la velocidad con que camina el frente de la onda, que es la velocidad que aquí se considera, puede llegar a ser muy pequeña; el caso es análogo al de la propagación de una señal en un cable submarino, que puede tardar casi un segundo en atravesar el Atlántico. A esta teoría de Van del Pol se le puede hacer la misma objeción que a la de Stormer, pues una fuerte disminución de la velocidad del frente de la onda tiene que venir acompañada de una fuerte absorción.

Variación del alcance en las distintas estaciones del año y horas del día.—En invierno, los rayos solares llegan con mayor inclinación a la Tierra; se produce entonces una recombinación de los iones en las franjas más bajas de la capa ionizada, que son aquellas donde la acción solar llega más atenuada; la altura de la capa aumenta y el alcance de los rayos que, en un solo salto, van del transmisor al receptor, pasa de AB a AB' (fig. 12); esta razón justifica el aumento del alcance en dicha estación del año.

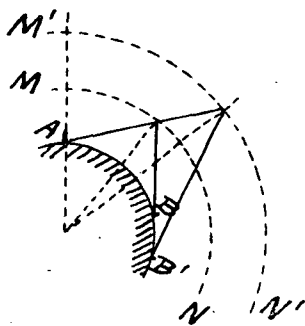


Fig. 12

Durante la noche, los rayos solares dejan de efectuar su acción ionizante; a causa de la extrema rarefacción gaseosa en la alta

atmósfera el proceso de recombinación se verifica lentamente y la ionización subsiste, pero la densidad iónica disminuye tanto más cuanto mayor es la presión, es decir, en las franjas más bajas. El efecto es el de una elevación de la capa ionizada, como en invierno.

Más adelante insistiremos sobre esta cuestión.

Efecto "fading".—Dentro de la zona de alcance del rayo directo puede coincidir con éste, en un punto, un rayo indirecto; según sea la diferencia de fase de las ondas correspondientes, al llegar a dicho punto la coincidencia originará un reforzamiento o una debilitación de la intensidad de recepción. La debilitación será máxima si la diferencia de recorrido de los rayos es igual a $\frac{\lambda}{2}$, en

cuyo caso las oscilaciones estarán en oposición de fase; la intensidad de la recepción será entonces nula si, además, son iguales las amplitudes de las dos oscilaciones en el punto donde se encuentra el receptor. Así, pues, si se mantuviesen invariables los elementos que intervienen en la propagación, la recepción en tal punto sería indefinidamente imposible; debe, sin embargo, tenerse presente, para explicar la accidentalidad de los desvanecimientos, la constitución irregular de la capa ionizada, como antes se indicó, y sus cambios continuos de grado de ionización a distintas alturas.

Más allá del alcance del rayo directo, y pasado el límite de la zona de silencio, los desvanecimientos se explican por variaciones de la densidad de ionización a distintas alturas, que hacen variar, a su vez, la inclinación con que los rayos llegan a tierra y la amplitud de sus oscilaciones. Además, se ha visto al tratar de los ecos cómo pueden coincidir, en un punto, rayos de distintas inclinaciones procedentes de una misma señal; según sean las fases de las oscilaciones, al llegar al receptor, así pueden producirse debilitaciones o reforzamientos. Estas explicaciones son también aplicables a los "desvanecimientos selectivos", toda vez que, en los grandes alcances, ondas de frecuencia muy poco diferente pueden seguir caminos distintos o no propagarse a la misma velocidad, lo que dará origen a diferencias en la intensidad de la recepción de unas con relación a otras y la consiguiente distorsión de la modulación telefónica.

Densidad iónica de la capa a distintas alturas. — El grado de ionización de la alta atmósfera es diferente a distintas alturas. Para formarse una idea de la distribución de densidades se han hecho numerosas medidas, cuyo fundamento estriba en que las ondas de diferentes frecuencias necesitan una diferente densidad iónica para

refractarse. En líneas generales, estas medidas se reducen a recibir las ondas directa y refractada, correspondientes a una misma señal; del intervalo de tiempo que separa estas recepciones se deduce la diferencia $ACB - AB$ de los caminos recorridos (fig. 13), lo que permite calcular la altura CD . Se hace después una corrección para tener en cuenta que la onda se refracta siguiendo una curva EF .

Aunque no existe completa unanimidad entre los autores de estas investigaciones, puede asegurarse que el grado de ionización de la alta atmósfera no crece progresivamente con la altura. Hay en

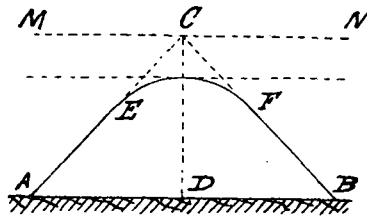


Fig. 13

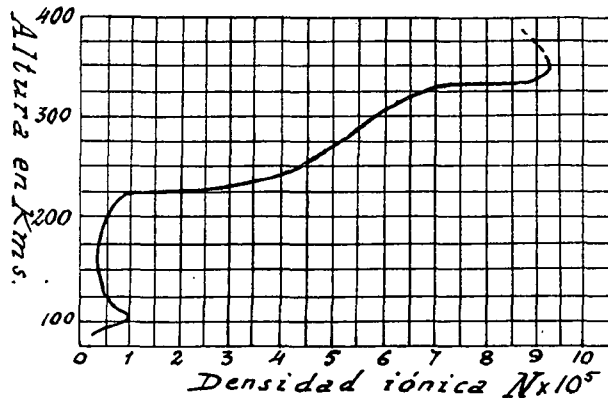


Fig. 14

la capa ionizada franjas de ionización máxima bastante bien definidas, que son las que ejercen efectos preponderantes en la propagación de las ondas.

Appleton y Bureau admiten la existencia de tres franjas: una situada a 120 kilómetros de altura; otra, de mayor grado de ionización, a los 240 kilómetros; y una tercera por debajo de la primeramente citada y de menor densidad.

El diagrama de la figura 14 indica el grado de ionización de la alta atmósfera a distintas alturas sobre la Tierra, trazado por Dowsett. Se aprecia en él una ionización creciente a partir de los 80 kilómetros de altura; pasados los 100 kilómetros, a cuya altura la densidad iónica es igual a 10^{-5} la concentración decrece para aumentar bruscamente hacia los 240 kilómetros.

La ionización crece después progresivamente, llegando a 9×10^{-5} a los 340 kilómetros.

Las consideraciones hechas al tratar de la influencia de los choques moleculares de la frecuencia de las ondas y de la densidad iónica sobre su refracción y absorción demuestran que en una franja de densidad determinada no penetran los rayos de propagación de ondas suficientemente largas. Cuanto más cortas sean las ondas más pueden penetrar en las franjas de densidad creciente de la alta atmósfera y más pequeña es su absorción por el medio. Para que la refracción se realice es necesaria una concentración iónica tanto más fuerte cuanto más corta sea la onda, y, por último, aparte del de refracción, el efecto del medio es solamente de absorción para las ondas que penetran en él.

Las ondas más largas se reflejan todas en la franja a 100-120 kilómetros de la alta atmósfera; de las ondas de longitud mayor de 1.000 metros ningún rayo atraviesa esta franja, que las hace sufrir fuertemente los efectos de la absorción; así, pues, cuanto menores sean los ángulos con que se emiten estas ondas, mayores serán los caminos que recorran antes de llegar a la alta atmósfera y menor su amortiguamiento.

Las ondas de longitud menor de 1.000 metros pueden ya dejar que se escapen algunos rayos a través de la franja a 100-120 kilómetros. Sin embargo, todas las ondas mayores de 200 metros son, casi en su totalidad, reflejadas por esta franja.

La franja a 240 kilómetros provoca la refracción de las ondas menores de 100 metros, para las cuales la franja a 100-120 kilómetros sólo ejerce efectos de absorción.

La refracción en una u otra franja depende, como se vió anteriormente, del ángulo de emisión. Los rayos de las ondas de 100 a 70 metros, lanzados con pequeños ángulos, pueden refractarse en la franja más baja; los de ángulos más grandes pueden atravesarla y sufrir la refracción en la otra. La gama de longitudes de onda 100-70 metros es la que proporciona señales múltiples en mayor escala.

Las ondas comprendidas entre 70 y 9 metros de longitud, emi-

tidas con ángulos pequeños, se refractan en la franja a 100-120 kilómetros; los rayos de ángulo mayor, en la franja a 240 kilómetros. Las ondas más cortas de esta gama, lanzadas con ángulos grandes, pueden atravesar esta segunda franja y sufrir la refracción en la situada a los 340 kilómetros, donde la densidad iónica alcanza 9×10^{-5}

Las ondas de longitud menor de 9 metros pueden atravesar toda la capa ionizada.

Las cifras que preceden, que se refieren a observaciones de *día* y en *invierno*, sólo pueden considerarse como una indicación; las discrepancias entre los investigadores son, en este punto, importantes.

En *verano*, *durante el día*, las causas de la ionización se ejercen más fuertemente, y los "techos" de las franjas están más bajos. Como la densidad iónica es mayor, rayos de emisión que en invierno atraviesan las franjas son, en verano, refractados por ellas; los ecos se multiplican y las ondas más cortas no atraviesan tan fácilmente las franjas, sufren menos los efectos de la absorción y son más aprovechables para las comunicaciones a gran distancia.

Durante la noche se produce una recombinación de los electrones y de los iones positivos. Resulta una disminución de la densidad iónica de las franjas; la situada a 240 kilómetros pasa a desempeñar el papel de la franja más baja, pues un número mayor de rayos que durante el día, de los emitidos con grandes ángulos, atraviesan esta última, cuyos efectos de absorción disminuyen también.

De aquí se deduce que habrá menos ecos, que las señales de las ondas más cortas serán más débiles, y más fuertes, en cambio, las de las ondas largas.

El proceso de la ionización y recombinación es aún casi completamente desconocido.

Propiedades de las ondas extracortas. — La transmisión con ondas extracortas, denominación que se da a las menores de 10 metros (1), sólo es posible utilizando el rayo directo y separándole lo más posible del terreno.

En efecto; ya se dijo al tratar de la influencia de la curvatura de la Tierra que no hay que contar, en esta clase de ondas, con el rayo refractado por la alta atmósfera, lo que confirma la experiencia. Pruebas realizadas con un aeroplano, al que se transmitía con

(1) En la figura 1 se indica la clasificación de las ondas establecida por el "Comité Consultivo de Radioelectricidad", reunido en El Haya en 1928.

onda de tres metros, han demostrado que en cuanto el receptor entra en la zona de sombra determinada por la superficie terrestre, la intensidad de las señales se reduce rápidamente; en otras pruebas se ha colocado el transmisor en una altura, y alejando al receptor progresivamente, la intensidad de la recepción se anula, así que éste pasa del horizonte de aquél. No hay, además, precedentes, excepto en casos excepcionales, de haberse recibido ondas de esta clase refractadas por la capa ionizada.

Por otra parte, las transmisiones con ondas extracortas cerca del suelo se apagan rápidamente, porque los rayos de propagación están muy inclinados, aparte de que a frecuencias tan elevadas las propiedades dieléctricas del terreno desempeñan un papel muy importante, disminuyendo considerablemente la intensidad del campo.

Su empleo es, en cambio, muy ventajoso cuando la propagación se realiza entre dos puntos elevados, como los vértices de dos montañas, siempre que no existan obstáculos intermedios. Su absorción por la atmósfera es insignificante, bastando cantidades sumamente pequeñas de energía para mantener una buena comunicación, por lo que reemplazan ventajosamente a los medios de transmisión óptica, cuando pueden emplearse en las condiciones que se acaban de indicar.

GUSTAVO DE MONTAUD.

Los nuevos procedimientos de la Mecánica de las Construcciones

El método de Henneberg-Müller Breslau

Expuesto en nuestro artículo anterior (1) el método de la articulación ficticia, seguimos con el que encabeza estas líneas, como otro de los métodos generales que pueden emplearse en la resolución de estructuras cuya organización no sea la elemental de yuxtaposición de triángulos.

(1) MEMORIAL de noviembre de 1932.

Conviene insistir un poco sobre las condiciones de indeformabilidad y determinación estática o *isostatismo* de una estructura plana.

Hablando de estas condiciones, que, dicho sea de paso, aunque se cumplan *simultáneamente* por una estructura plana, son, como se dijo, consecuencia de principios *diferentes*, hablando de estas condiciones, decimos, nos aparecerá la idea de la permutación de barras, de la que ya tratamos en nuestra primera serie de artículos sobre el mismo tema general que éstos, publicada en esta Revista desde abril de 1923.

Una estructura elemental se constituye por las barras *a*, *b*, *c* (fig. 1), que forman el triángulo 1, 2, 3, al que se yuxtaponen sucesivamente, para que resulte una figura geoméricamente determinada, los triángulos que determinan los nudos 4, 5, 6...

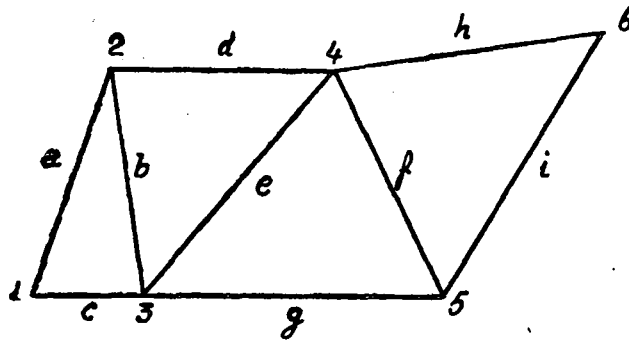


Fig. 1

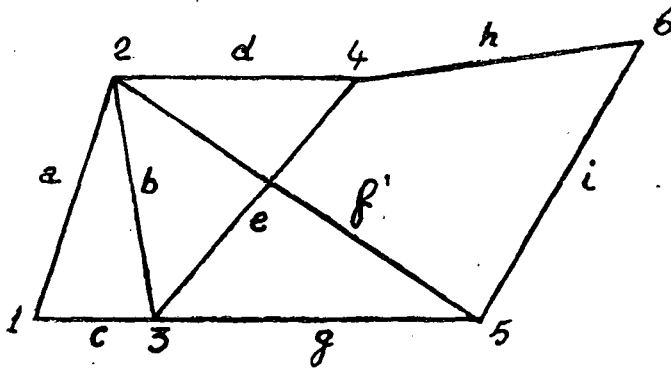


Fig. 2

Pero es evidente que formada esta retícula se puede suprimir la barra *f*, por ejemplo, y en su lugar insertar la *f'*, figura 2; ello equivale a determinar el nudo 5, enlazándole a los nudos 2 y 3 en

vez de a los 3 y 4; esta conducta repetida varias veces nos llevaría siempre a organizar estructuras isostáticas que no tendrían constitución elemental, y en las que se presentaría frecuentemente el caso de que en un nudo concurren más de dos barras desconocidas.

Entonces, siguiendo el procedimiento inverso, se podrá llegar desde una estructura isostática no elemental a la simple correspondiente, y se verá la importancia de esta permutación cuando se haga ver que del conocimiento de los esfuerzos de la simple se puede deducir los de otra cualquiera derivada de ella por permutación de barras, siguiendo el método que se va a exponer:

Sea, por ejemplo, la estructura de la figura 3 a, organizada por

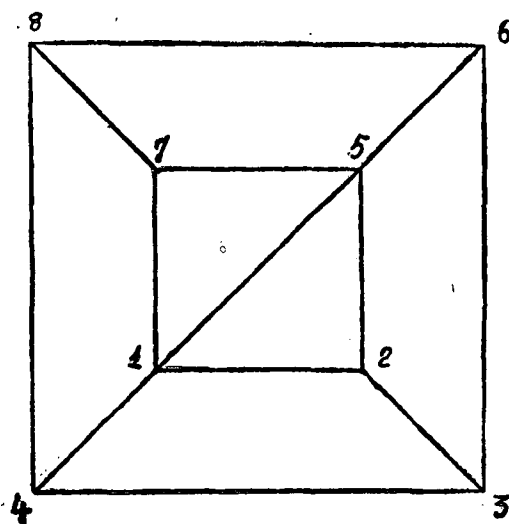


Fig. 3 a

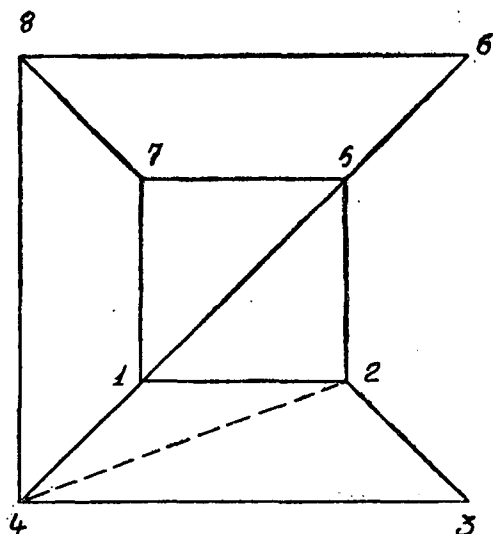


Fig. 3 b

el método poligonal, que en nuestro artículo anterior se expuso; al polígono 1, 2, 3, 4 le falta una barra para ser indeformable; se enlazan a él los nudos 5, 6, 7 y 8 por medio de los pares de barras correspondientes, y por fin se inserta una barra, la 6, 8, y no la diagonal del cuadrilátero de partida, con lo que resulta una retícula indeformable no elemental, viéndose así confirmada, en otro caso, la regla expuesta en nuestro anterior artículo.

Esta estructura, si está sometida a fuerzas en equilibrio que actúen en los nudos, no es susceptible de resolverse gráficamente por los métodos elementales, pues en cada uno concurren tres barras; habrían de calcularse por alguno de los procedimientos que se van exponiendo.

Aplicamos la permutación de barras para llegar a una estructura elemental.

Empezámos para ello por el nudo 3, y prescindimos de la barra 3, 6, con lo que la figura es deformable, pero insertándola en 2, 4 recobra la indeformabilidad.

Entonces, en el nudo 2 hay tres barras; por igual razonamiento se prescinde de la barra 2, 5 y se coloca en 4, 7, e igualmente con la 1, 5, que resulta en 6, 7; se ha llegado así a la estructura elemental que indica la figura 3 d por la permutación de tres barras; se comprende que partiendo de esta última figura, por procedimiento inverso, se llegaría a la estructura de la figura 3 a.

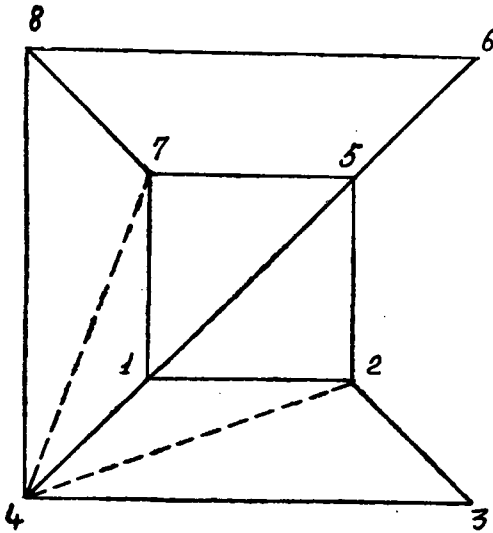


Fig. 3 c

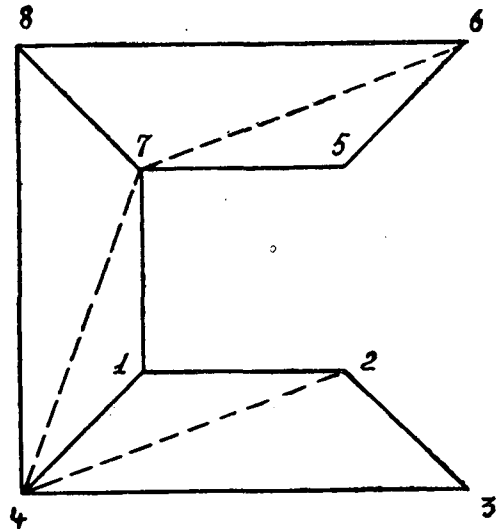


Fig. 3 d

Es esta permutación el fundamento del método de resolución que se va a exponer:

Método de Henneberg: 1) *Caso de una sola permutación.*—Sea una estructura en la que, con sólo una permutación, se convierte en otra elemental.

Se resuelve ésta trazando un polígono de fuerzas que designaremos por F , y a una pieza de esta estructura que tenga el número k , le corresponderá el esfuerzo F_k ; es evidente que en este polígono de fuerzas aparecería la correspondiente a la barra introducida, pero faltaría la de la sustituida.

Para determinar la influencia que la presencia de la barra en su verdadera posición ejerce sobre los esfuerzos de las demás, su-

pongamos una *carga unidad* en los nudos extremos de la referida barra y en la dirección de ella con sentidos opuestos, y al mismo tiempo que las cargas reales desaparecen.

Podremos determinar todos los esfuerzos en las demás barras por un polígono que llamaremos de las U , y la barra designada por k tendrá, en este nuevo estado de sollicitación, un esfuerzo U_k .

Admitida la ley de Hooke, si la barra de que se trata en la estructura dada y bajo las cargas supuestas sufriera el esfuerzo desconocido X , los esfuerzos U vendrían multiplicados por X ; la barra k sufrirá la acción $X u_k$ y, en definitiva, el método de superposición de efectos, de permitida aplicación por la dependencia lineal de esfuerzos y deformaciones, nos dice que en una barra k , de la estructura dada, el esfuerzo total, si actuasen X y las cargas dadas, será:

$$f_k = F_k + u_k X$$

En esta fórmula, haciendo variar k , de 1 a l , para una estructura de l lados, se obtienen los esfuerzos de todas las barras cuando X sea conocido.

Hallar X , que es la incógnita que, conocida, resuelve el problema, es fácil si se observa que la estructura dada tiene efectivamente la barra que se permuta, pero no la introducida; el esfuerzo X será tal que permita la no existencia de esta barra, que llamaremos i , y ello no podrá ser sino siendo *nulo* el esfuerzo que soporte, pues entonces podrá suprimirse sin alterar el estado de sollicitación de las demás piezas de la estructura; la condición, pues, que determina X será:

$$f_i = F_i + u_i X = 0,$$

de donde

$$X = - \frac{F_i}{u_i}$$

En la práctica no será necesario completar los polígonos F y U ; bastará trazar de ellos lo indispensable para conocer X ; después se dibujará completamente un tercer polígono en el que se parta ya del conocimiento de las fuerzas exteriores y de X , y este polígono resolverá la estructura, teniendo, como es natural, la comprobación de ser cerrado su trazado.

Aplicando este método, el caso de excepción se presentará cuando $X = \infty$, o, lo que es igual, $U_i = 0$, que se apreciará al ejecutar el trazado del polígono U ; pero se ve la diferencia entre este método y el anterior expuesto, de la articulación ficticia, para apreciar el momento de presentarse el caso de excepción; este método de la permutación no permite conocer, *a priori*, como el de la articulación ficticia, si se está en un caso de imposibilidad; la superioridad del primero en este sentido es evidente.

2) *Caso de dos permutaciones.*—Si para llegar a una estructura elemental fuesen necesarias dos permutaciones de barras, entonces el método puede aplicarse de igual modo, pero con el trazado de un segundo polígono de fuerzas auxiliar; el de las V , resultante de aplicar la fuerza unidad a los nudos que comprenden la segunda barra permutada.

Entonces tendremos en la barra k un esfuerzo expresado por:

$$f_k = F_k + u_k X + v_k Y$$

llamando Y al esfuerzo en la segunda barra.

La determinación de X e Y requiere ahora dos ecuaciones que se obtienen expresando que el esfuerzo en las barras introducidas es nulo, es decir:

$$f_i = F_i + u_i X + v_i Y = 0$$

$$f_g = F_g + u_g X + v_g Y = 0$$

cuya resolución daría los valores de X e Y , que serían finitos y determinados si la determinante

$$\begin{vmatrix} u_i & v_i \\ u_g & v_g \end{vmatrix}$$

no es nula.

El método se ve que es independiente del número de barras permutadas; únicamente se va haciendo prolijo en cuanto el número de barras aumenta; en los casos de la práctica, sin embargo, es ya raro que sean precisas dos permutaciones, bastando generalmente con una; bien entendido, que en estructuras planas, pues en las *estéreas*, en las que también es aplicable, suele ser necesario mayor número de permutaciones o sustituciones de barras.

Comparación entre los procedimientos de Henneberg y de Müller-

Breslau.—Conviene, ahora que está conocida la esencia del procedimiento, insistir algo sobre el modo de desarrollarle, ya con las directrices de quien la dió a conocer primeramente, Henneberg, ya con las introducidas por Müller-Breslau.

Henneberg expuso su método, en 1886, en la obra titulada *Statik der starren Systeme*, por donde se ve el tiempo tan enorme que es necesario para la difusión de las ideas, sobre todo las que pertenecen al campo de la especulación.

Henneberg razonaba del modo siguiente: una estructura de n nudos y $2n-3$ barras ha de tener, por lo menos, un nudo de segundo orden; en efecto, si todos fuesen de tercero, es decir, de cuatro barras, sería $4n$ el número total de barras que concurrirían en todos los nudos y el de barras de la estructura $\frac{4n}{2} = 2n$, lo que es imposible por la relación supuesta entre los números de barras y de nudos.

Siendo O el nudo de segundo orden, formado por las tres barras oA , oB , oC (no nos auxiliamos de figura por no ser necesario), se podría suprimir el nudo O con sus tres barras oA , oB y oC e introducir en su lugar la barra AB , por ejemplo, determinándose así una estructura de $n-1$ nudos, sobre la que demostraba Henneberg que si se podían determinar los esfuerzos de sus barras quedaban conocidos los de la primera, empleando para ello razonamientos análogos a los expuestos anteriormente.

Se ve fácilmente que lo dicho equivale a permutar la barra oA por la AB , pero habría muchas conductas que poder seguir, según que dentro de escoger la barra oA para ser permitida, la introducida fuese la AB dicha o las AC o BC , y después, análogamente, si la escogida para permutar fuese la oB o la oC , y esto habiendo un solo nudo de segundo orden, que la indeterminación en la elección sería mayor si su número fuese elevado, y más aún si el orden de los nudos fuese mayor.

Müller-Breslau modificó el método, no obligando a hacer la permutación sistemática y repetida que traía consigo la regla de Henneberg, sino estudiando la estructura y determinando así el número *estricto* de permutaciones para que sea claramente indeformable e isostática.

Tal es la conducta seguida en el ejemplo de la figura 3, mientras que si se hubiese seguido el método puro de Henneberg, hubiésemos podido prescindir de la barra 3, 2 e introducir la 4, 6, y aun habiendo prescindido de la 3, 6, se podía haber introducido la 4, 6 ó la 2, 6; cualquier otra solución hubiese sido más larga que la seguida

en ese caso; mucho más lento resulta aún el método de Henneberg en las estructuras *estéreas*.

Finalmente, indicaremos que la condición de isostatismo es evidentemente, en el caso general, la de que no sea nula la determinante del sistema de ecuaciones establecido para hallar los esfuerzos en las barras permutadas.

Ejemplo.—Una ménsula disimétrica, y, por tanto, indeformable, está sometida a una carga de 6.000 kilogramos, aplicada en el nudo *A* (fig. 4 *a*).

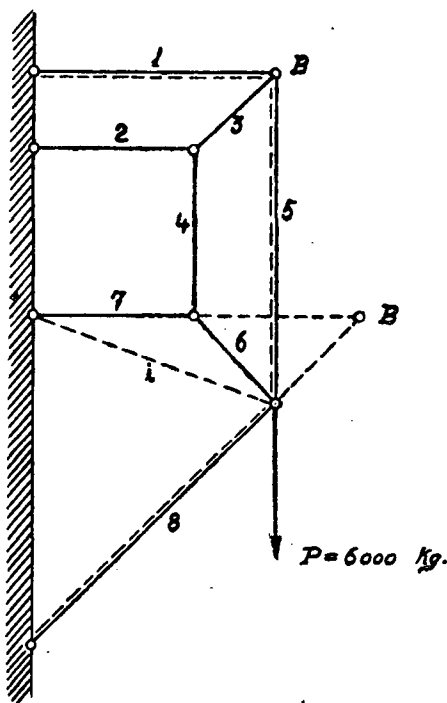


Fig. 4 *a*

Para resolver esta estructura por el método expuesto, en vista de que todos los nudos son de segundo orden, se prescinde, en el de aplicación de la carga, de la barra 5, introduciendo la *i*; se dibuja el polígono *F* que en la estructura simple que ha resultado es muy sencillo; solamente el triángulo *P i 8*, pues el nudo superior *B*, ahora de primer orden, en el que no hay carga, nos indica que los esfuerzos 1 y 3 son nulos; siendo 3 nulo lo son 2 y 4, por serlo 4, también lo son 7 y 6; la carga *P* se descompone, pues, según la figura 4, 8 e *i*, que da para *i*, $F_i = + 4.760$ kgs.

Se prescinde ahora de la carga P y se consideran las cargas 1 en el lugar de la barra 5; se dibuja el polígono U y resulta $u_1 = + 0,78$, de donde la condición

$$4.760 + 0,78 X = 0, \text{ o bien: } X = - \frac{4.760}{0,78} = 6.000 \text{ kgs.}$$

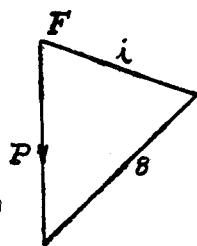


Fig. 4 c

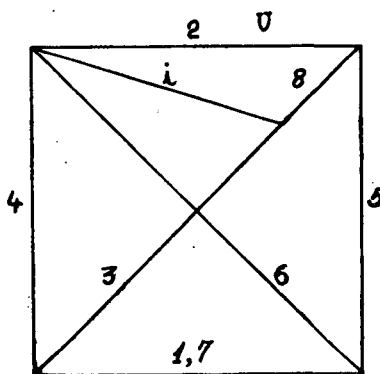


Fig. 4 d

Puesto que los esfuerzos F para las barras 1, 2, ... 7 son nulos, bastará para obtener los definitivos multiplicar por X los del polígono de las U , obteniéndose sucesivamente:

$$- 6.000, + 6.000, + 8.460, + 6.000, + 8.460, + 6.000$$

La pieza 8 está solicitada por:

$$f_8 = F_8 + u_8 X = - 6.380 - 0,346 \times 6.000 = - 8.460$$

quedando así conocidos todos los esfuerzos.

En un próximo artículo expondremos, por fin, el tercer método que anunciamos o método cinemático de Müller-Breslau, con el que daremos por terminada esta exposición de nuevas concepciones en el cálculo de las estructuras planas.

JOSÉ CUBILLO FLUITERS.

Las aleaciones ligeras y sus nuevas características

I

En el día, en pleno hervor nacionalista, todos los inventos están sometidos a una especie de investigación de la paternidad. De ahí la fiebre de los centenarios y cincuentenarios. De ahí la revisión de fechas y de antecedentes. No se trata de ensalzar las figuras pretéritas por darlas un brillo póstumo, que en vida no tuvieron o quizá fué negado. Trátase de glorificar el presente con laureles seculares. Así hemos visto en estos diez años últimos celebrarse, entre muchos, los centenarios de las experiencias llamadas de la mesa y los cuadros de Ampère que fundamentan la electrodinámica; las de Faraday, con los carretes que sirven de base a la inducción y el recorrido de la locomotora "Cohete", de Stephenson.

Mucho más serio y, desde luego, mucho más técnico es historiar, no la ciudad natal del inventor, sino los inventos mismos, investigando los que les sirvieron de base, los progresos y perfeccionamientos de órganos y detalles que, en conjunto, han permitido alcanzar los grandes adelantos. Seguir esa investigación en ese sentido es aplicar, valga la frase, el concepto matemático de las funciones derivadas, distinto completamente a la rebusca de manuscritos que parece labor de finalidad erudita.

Si al progreso de la Aeronáutica toda, íntegra y total, se aplica ese criterio nos encontramos como "primera diferencial" al motor, mejor dicho, a su *potencia másica*; nos encontramos, citando un modelo como ejemplo, al motor "Napier" de 1.400 CV., que ganó en Aviación la Copa Schneider en 1929—análogo en marca y características al propulsor del auto *Pájaro Azul*, que con el piloto Malcolm Campbell en el mismo año y en la playa de Daytona (EE. UU.) marcó la velocidad de los 395 kilómetros por hora—, motor que pesa 325 gramos por caballo indicado (1).

(1) Las locomotoras "Montañas" del Norte y M. Z. A., tipo que se considera como uno de los vértices del sistema "Stephenson", para los 2.250 CV. del remolque de 400 toneladas a 95 kilómetros-hora, pesa 64 tn. adherentes, y como este peso mecánicamente es preciso, resultan, por lo menos, unos 30 kilogramos \times CV.

Sin discusión posible la "primera diferencial", al calcular la segunda nos encontramos con dos variables: una, desde luego, el ciclo del motor de explosión, que logra rendimientos globales o totales del 0,3 cuando la mejor locomotora de vapor no rinde el 0,10 como máximo. Pero ese ciclo quedaría sin utilizar en toda su extensión, en Aviación, por ejemplo, si no fuese por una segunda variable: porque ha podido ligarse con los modernos progresos de la metalurgia, que han permitido obtener fácilmente aceros especiales y aleaciones ligeras que hacen compatibles los grandes esfuerzos mecánicos y térmicos con la finura y ligereza del material.

La utilización industrial de las aleaciones ligeras está jalonada en tres etapas: primera, la utilización primaria del aluminio; segunda, la de las aleaciones *con* aluminio; y, tercera, las aleaciones del aluminio como base, que son las que acusan el poco peso y robustez de característica.

El aluminio en sí tiene propiedades verdaderamente extraordinarias; es dúctil y maleable; fundido (700° C.) tiene la dureza poco menos que la de la fundición. La conductibilidad térmica es doble de la del hierro y la mitad de la del cobre, y la eléctrica es aproximadamente el 0,8 de la del cobre. (Un alambre de aluminio de cuatro milímetros cuadrados de sección admite una corriente máxima de 20 amperios; si es de cobre, 25; de cinc, 13; y de hierro, 10.)

Seguir paso a paso las vicisitudes del coste del kilogramo de aluminio puro serviría de programa a un curso sobre el progreso industrial del siglo XIX. En 1859, para una producción de 100 kilogramos el coste unitario era de 1.050 francos. En 1875 ya sólo valía 100; diez años después, la mitad; en 1902 el coste era de 3,5 francos; en 1914 valía 2 francos-oro, que es poco más o menos su coste actual. En 1913 su consumo era el del estaño; en 1930 era igual al del plomo y pronto será el mismo que el del cinc. En el curso de unos años compartirá con el hierro la supremacía en todas las aplicaciones industriales.

La ventajosa propiedad de la ligereza del aluminio y de sus aleaciones merece un ligero examen. Para la aplicación eléctrica basta decir que una línea de cobre de 16 milímetros cuadrados, cuyo peso kilométrico es de 150 kilogramos, admite una carga máxima de 73 amperios; y 100 kilogramos, o sea, dos terceras partes del peso anterior, que en aluminio los pesa el kilómetro de un conductor de 35 milímetros cuadrados, permite un amperaje de 80. En las aplicaciones al automovilismo, en el que tanto vale la reducción de pesos, me-

cánicamente se pensó en principio que el campo de acción de las aleaciones ligeras estaría limitado al de todas aquellas piezas de los motores que no desempeñaran el activo papel de trabajo, por ejemplo los cárter, llegándose a las sustituciones que revela el siguiente cuadro referente a un motor de 10 CV. en el que las envueltas se han constituido todas ellas del material duraluminio fundido.

PIEZA	Material usado anteriormente	Peso anterior Kilogramos	Peso nuevo Kilogramos	Economía en peso Kilogramos
Cárter superior del motor.	Fundición	14	5,500	8,500
Idem inferior.	Palastro	4	2,500	1,500
Cubierta de distribución.	Fundición	2,500	1	1,500
Cárter de velocidades.	Idem	12	4,500	7,500
Idem de dirección.	Idem	2,500	1,500	1
		35	15	20

Las mismas consideraciones mecánicas llevaron al ensayo de la citada utilización en todas aquellas piezas de equipos móviles cuyos movimientos alternativos muy rápidos desarrollan grandes fuerzas de inercia y cuya reducción se traduce en desgaste menor de cojinetes, menos ruidos y vibraciones y, por tanto, aumento de potencia. Y los ensayos se extendieron a utilizar también el aluminio para los pistones mismos, fundándose en que por su gran conductibilidad no se elevaba, en ciclos de trabajo, su temperatura a límites superiores de 200°, cuando para trabajos análogos los pistones de fundición llegan a 400°, lográndose o viéndose factible un aumento de la compresión y, por tanto, otro motivo para el posible aumento de potencia con el material ligero. La reducción o aligeramiento-tipo realizable y resultante de cuanto queda dicho en el citado motor de cuatro cilindros es de 50 kilogramos, diferencia entre los 180 que pesaba uno antiguo y los 130 que pesa uno moderno.

Desde el aspecto puramente económico también tienen estas aleaciones especial interés; dice un autor francés que el aluminio y sus derivados son los *materiales de las Colonias...*; quiere decirse con ello que considerado el precio de un material manufacturado como suma de su precio de fabricación y el de su transporte, en Europa este sumando segundo es de poca importancia dentro de los mercados nacionales; si ese motor que acaba de reseñarse, con 50 kilo-

gramos de menor peso, se supone que deba trasladarse a una de las lejanas colonias de Francia, entonces habrá que contar con el coste del flete marítimo y del traslado posterior (unos siete francos por kilogramo según el autor de quien se transcriben estos datos); la diferencia es, por tanto, considerable, pues representa 350 francos sólo por este concepto del transporte. Fundados en estas consideraciones, en la Exposición Colonial de París de 1931 se presentó el Pabellón del Aluminio, en el que, tanto el material constructivo como los muebles, y el servicio, era todo de este metal y aleaciones derivadas.

La segunda etapa, decimos, es la de las aleaciones con aluminio, tales como los bronce, en los que aquél entra en proporciones hasta del 12 por 100 con 88 de cobre, y que presenta múltiples aplicaciones, sobre todo en piezas de calderas, aparatos de telegrafía, utensilios domésticos y resortes de reloj.

En la edición última (1916) de la *Mecánica* del General Marvá se citan las características de los llamados bronce y latones de aluminio. El bronce, como se sabe, es la aleación de cobre y estaño (el de cañones: Cu 0,89 y Sn 0,11) y pesa 8.760 kilogramos el metro cúbico; el aluminio hace al bronce más fusible y más inoxidable. Un bronce con 0,115 de aluminio da en pruebas un coeficiente de fractura de 83 kilogramos por milímetro cuadrado, con alargamiento de 0,5. Rebajada la dosificación del aluminio a 0,053 el alargamiento sube hasta 64, bajando el valor de R a 44. A la vista de estos datos pudiera parecer existe una especie de parentesco de este material con las modernas aleaciones de aluminio; no lo hay, sin embargo, pues se trata de material cuyo peso específico es superior a 8,25, más que el del acero, como tampoco se puede invocar como precedente el metal delta (aleación de hierro, cinc y cobre), que tiene valores de $R = 88$ kilogramos por milímetro cuadrado y $A = 12,9$; su peso específico, 8,4, también es grande, y su esencial propiedad la constituye el ser inoxidable.

El tercer período es el de las aleaciones ligeras, en las que la base de la aleación es el aluminio, y los agregantes son el cobre, silicio, manganeso y, en algunos casos, el hierro. El duraluminio es la aleación más corriente y generalizada y representa con relación al aluminio lo mismo que el acero respecto al hierro.

Lo mismo exactamente que las capacidades de fusión y de forja sirven para delimitar productos siderúrgicos, en las aleaciones ligeras, siempre a base del aluminio, se distinguen también las del tipo de fusión y las de forja.

Las de fusión se dividen en varias clases: *a*), aluminio-cobre (éste entre 0,04 y 0,12); *b*), aluminio-silicio (Si 0,13), que es la llamada Alpax; *c*), aluminio-silicio-cinc y cobre (Cu 0,03, Zn 0,13); *d*), aluminio-cobre-magnesio; *e*), aluminio-cobre-níquel-magnesio, que es la aleación Y. El tipo más acabado de las primeras es el "alpax", aleación binaria, que con 10 a 12 por 100 de silicio da 19 kilogramos de carga de rotura y un alargamiento de 4. Resulta muy fluida, se contrae débilmente, 1,1 por 100, gracias a la fuerte proporción de silicio, que se dilata durante la solidificación. Una vez solidificada, por su buena resistencia ofrece seguridad y garantía, por lo que es de valor inestimable para aquellas piezas de complicado moldeo o muy finas de espesor, reservándose para estas aplicaciones como única a utilizar favorablemente.

También se operan en este grupo el Thalassal (aluminio con 0,15 de manganeso, 0,02 de magnesio y 0,02 de antimonio), que se utiliza para resistir a la corrosión del agua del mar debida a una capa que se forma en la superficie de oxiclورو de antimonio; el Aeral, la misma anterior, con cadmio, para igual fin; la A-P-33, de aluminio, cobre y titanio de gran resistencia (Cu 0,04 y Ti 0,003).

Entre las de forja, la aleación verdaderamente preponderante es el duraluminio, producto de historial reciente. En 1911 fué señalado por Wilm, pero no se industrializó hasta después de 1922, en cuyo año, Jeffries en América y Portevin en Francia dícese que simultáneamente descubrieron la facilidad de actuar sobre él con los tratamientos térmicos de temple y revenido.

La fábrica "Dürener Metallwerke" patentó con ese nombre la aleación de: aluminio 94 por 100, cobre 4,5; 0,5 magnesio y otros, 0,5 manganeso y silicio; su peso específico es de 2,80 (el del aluminio puro es de 2,70); resistencia a la tracción 26 kilogramos por milímetro cuadrado y alargamiento 17 por 100.

Esta aleación adquiere el temple con temperatura de 500° de colada en baño salino de sosa y nitrato potásico, con brusco enfriamiento posterior. De este modo el coeficiente de fractura se eleva a 41 kilogramos, el alargamiento de fractura a 23 y la dureza de Brinell a 110. Particularidad saliente de ese temple es el que no es efectivo hasta dos o tres días de la operación (o sea, una especie de fraguado) y el que desaparece con un revenido posterior que pase de los 170° C., circunstancia muy de tener en cuenta después en el trabajo a seguir con el material.

El horno eléctrico, como se sabe, es el tipo de mejor conducción en cuanto a registro de sus temperaturas, pero resulta enormemen-

te caro, tratándose de fundir o caldear piezas gruesas. De ahí el subterfugio que se cita de caldear en baño de nitrato sódico, cuyo papel puede parecer químico y es sólo físico. En efecto, a 310° C. esa sal se funde y sigue luego una elevación gradual que da calor estable, sin hervir hasta pasados los 510°. Es un baño lo que se dice "pirometrado". Con estas aleaciones de aluminio o de metales blancos no cabe la observación visual y clásica de rojos cerezas, blanco, etc., peculiares de los cuerpos negros que condicionan su color con su temperatura.

El duraluminio es susceptible de todo trabajo de taller mecánico. Se cepilla, fresa y tornea sin necesidad de lubricantes; admite el barrenado y el estirado con engrases de colza o agua de jabón, así como el esmerilado y laminado en frío, si bien requiere mayores cantidades de aceites minerales.

La observación del "revenido espontáneo" del duraluminio de ese tan extraño fenómeno como el fraguado tiene la explicación siguiente, debida al ingeniero M. Hubert (1), ligada con la de la facultad de templarse (2).

En todas las apuntadas aleaciones figuran el magnesio y el cobre. El aluminio comercial contiene siempre silicio, que, combinándose con el magnesio adicionado, da origen al compuesto definido $Mg^2 Si$; con el cobre, el aluminio forma también el compuesto $Al^2 Cu$, y uno y otro coexisten en las dobles aleaciones de aluminio, cobre y magnesio, o sean los duraluminos; ambos presentan la misma curva de solubilidad en función de la temperatura.

Al calentar la aleación total para iniciar el tratamiento del temple, ambos compuestos binarios se van disolviendo en la masa hasta la sobresaturación de la misma. El enfriamiento brusco, a pesar de las distintas solubilidades de los compuestos binarios y ternarios, mantiene esa sobresaturación característica del temple, en el que se

(1) *La Nature*. 1932. Abril.

(2) Conviene no olvidar en el tratamiento térmico del acero la diferencia de las tres operaciones: recocido, temple y revenido. El recocido es el calentamiento elevado por encima de la temperatura de transformación y posterior enfriamiento lento. El temple difiere en que el enfriamiento es brusco, más o menos, pero siempre rápido. El revenido es complementario del temple, y lleva el calentamiento siempre por bajo del punto de transformación. A título de ejemplo se puede presentar el tratamiento térmico total de un acero cromo-níquel de aleación media que se recuece a 860°; se temple a la misma temperatura y se reviene a 600°. (A 650, rojo oscuro, empieza la disociación de los carburos; a los 800, rojo cereza, se ha verificado la transformación del hierro α en hierro β .)

consigue que las aleaciones Si Mg² y Al² Cu, que estaban en estado ordinario mezcladas, ahora queden disueltas; y se modifican por el revenido posterior, en el que se comportan de modo diferente.

A una temperatura de revenido alrededor de los 150°, tanto uno como otro cuerpo precipitan bajo forma de partículas muy finas que se interponen entre los cristales de la aleación total; esas partículas, de gran dureza, a modo de mortero, contribuyen a impedir el resbalamiento oponiéndose a la deformación, de donde resultan los aumentos de \bar{R} y de \bar{D} . Desempeñan, por decirlo así, el papel del carburo Fe₂ C en el acero, o sea de la cementita que rodea los gránulos de hierro en sus estados alotrópicos, según la teoría de Osmond.

Aleaciones de forja.

ALEACIÓN	Composición — Por ciento	Carga de fractura — Kgs. por mm. ²	Límite elástico — Kgs. por mm. ²	Alargamiento — Por ciento
Duraluminio.	Cu — 4 Mg — 0,5 Mn — 0,5 Si — 0,6	40 — 42	20 — 25	18 — 22
Lantal (Alemania)	Cu — 4,75 Si — 0,75 Mn — 0,75 Mg — 0,6	38 — 40	16 — 20	18 — 22
Anticorodal (Suiza)	Mg — 0,6 Si — 1 Mn — 0,6	24 — 28	20	18 — 22
Almasilium (Francia)	Mg — 1 Si — 2	25 — 27	16	30
Almelec (Francia)	Mg — 0,7 Si — 0,6 Fe — 0,3	35	24	6
Referencia: Acero níquel de elementos del cañón de campaña (sin templar) español ...	C — 0,82 Si — 0,20 Mn — 0,55 Ni — 2,10	50	34	26

Ahora bien: dentro del tratamiento general reseñado se admite o se supone que el Si Mg² continúa precipitando a la temperatura ordinaria; en esto difiere del Al² Cu, que sólo lo hace a alta temperatura, y de ahí nace el proceso llamado de modos distintos: revenido espontáneo, envejecimiento o "fraguado" del duraluminio.

Las últimas pruebas, más recientes y en estudio corresponden a nuevas aleaciones a base del aluminio, para ser utilizadas en forma de palastros por sucesivos laminados, a fin de no requerir tratamientos térmicos que encarecen estas aplicaciones. Con 0,01 de magnesio y 0,02 de manganeso se llega a coeficientes de fractura de 40 kilogramos por milímetro cuadrado.

En el cuadro de la página 386 se exponen las principales aleaciones ligeras del tipo de forja a base del aluminio, reseñándose también sus principales características mecánicas, carga de fractura, límite elástico y alargamiento total, y, además, la composición de los agregantes del aluminio.

El duraluminio, como se ve, es el más resistente; el lantal se indica, como el anticorodal, para las piezas más expuestas a la corrosión; el almasilium se presta muy bien a los trabajos de embutición, y el almelec para cables eléctricos; posee el 0,90 de la resistividad del aluminio puro y le duplica en resistencia mecánica.

II

A nuevos materiales que modifican conceptos bases de mecánica corresponden nuevas características que interpretan los nuevos esfuerzos. La ligereza debe entrar en las fórmulas como cualidad saliente y a relacionar con los coeficientes clásicos. A este fin debe separarse el examen de las características mecánicas del de las físicas.

La carga de rotura, como todas las usuales características mecánicas, se refieren al volumen y se cifran con respecto a la sección resistente. Supongamos la conocida—que estas nuevas relaciones no alteran en lo más mínimo los conceptos clásicos, sino que los completan—y hagamos la referencia en una serie de materiales de igual sección y densidad distinta, o sea, relacionemos los valores de

$$\frac{\text{Carga de fractura}}{\text{Densidad}} = \frac{\bar{R}}{\Delta}$$

Acero dulce:	$\frac{40}{7,8} = 5,12$
Acero extraduro:	$\frac{100}{7,8} = 12,8$

$$\text{Aluminio:} \quad \frac{20}{2,7} = 6,66$$

$$\text{Alpax:} \quad \frac{20}{2,6} = 7,7$$

$$\text{Duraluminio:} \quad \frac{40}{2,8} = 14,3$$

Estas relaciones, con ser muy expresivas, no lo son tanto como otras dos que directamente relacionan el trabajo de flexión y la rigidez. Sean dos vigas de materiales distintos, A y B , que cumplen las condiciones siguientes: primera, igual luz, l , e igual peso, p . Segunda, semejanza de perfiles, que para facilitar el cálculo supondremos rectangulares, $a \times b$ y $a' \times b'$. La semejanza trae aparejada, por tanto, la relación

$$\frac{a}{b} = \frac{a'}{b'} = r$$

De la hipótesis de igualdad de peso, siendo Δ y Δ' las densidades respectivas, se deduce:

$$a \cdot b \cdot l \cdot \Delta = a' \cdot b' \cdot l' \cdot \Delta'$$

de donde

$$\frac{a b}{a' b'} = \frac{\Delta'}{\Delta} = r^2 (\alpha)$$

Los momentos de flexión en ambas vigas estarán en las siguientes relaciones:

$$\begin{aligned} \frac{M}{M'} &= \frac{R \frac{I}{V}}{R' \frac{I'}{V'}} = \frac{R \frac{a b^2}{6}}{R' \frac{a' b'^2}{6}} = \frac{R}{R'} \times r^3 = \frac{R}{R'} \times \frac{\Delta'}{\Delta} \times \frac{\sqrt{\Delta'}}{\sqrt{\Delta}} = \\ &= \frac{R}{R'} \times \frac{\Delta'^{\frac{3}{2}}}{\Delta^{\frac{3}{2}}} \end{aligned}$$

o lo que es lo mismo:

$$\frac{M}{M'} = \frac{R}{\Delta^{\frac{3}{2}}} \times \frac{\Delta'^{\frac{3}{2}}}{R'} = \frac{R}{\Delta^{\frac{3}{2}}} : \frac{R'}{\Delta'^{\frac{3}{2}}}$$

El valor $\frac{R}{\Delta^{\frac{3}{2}}}$ es otra de las nuevas características.

Y como los valores de M y M' , al relacionarlos, pueden quedar sólo los valores de las cargas, puesto que su actuación con respecto a la luz se supone la misma, se tendrá en definitiva

$$\frac{P}{P'} = \frac{\frac{R}{\Delta^{\frac{3}{2}}}}{\frac{R'}{\Delta'^{\frac{3}{2}}}}$$

Veamos el alcance de estas cifras. Para el duraluminio tendremos:

$$\begin{aligned} \bar{R} &= 40 \\ R &= 8 \text{ (coeficiente de seguridad 5)} \\ \Delta &= 2,8 \end{aligned}$$

Para el acero

$$\begin{aligned} \bar{R}' &= 50 \\ R' &= 10 \\ \Delta' &= 7,8 \end{aligned}$$

Llevado el cálculo como antecede resultará:

$$\frac{P}{P'} = \frac{8 : 2,8^{\frac{3}{2}}}{10 : 7,8^{\frac{3}{2}}} = \frac{1,707}{0,451} = 3,72$$

Es decir, que la viga A , de duraluminio, debe soportar una carga 3,72 mayor que la B de acero.

En los problemas de la flexión se comprenden dos: el de la resistencia y el de la rigidez. Examinemos las relaciones que a ésta se refieren, poniéndolas en función de las densidades. Para que con dos cargas, P y P' , aplicadas en puntos iguales referidas a la luz, las flechas sean las mismas, debe verificarse:

$$K \cdot \frac{P \cdot l^3}{E \cdot I} = K \cdot \frac{P' \cdot l^3}{E' \cdot I'}$$

o sea:

$$\begin{aligned} \frac{P}{P'} &= \frac{E \cdot I}{E' \cdot I'} = \frac{E}{E'} \times \frac{a b^3}{a' b'^3} = \frac{E}{E'} \times r^4 = \frac{E}{E'} \times \frac{\Delta^2}{\Delta'^2} = \frac{E}{\Delta^2} \times \frac{\Delta'^2}{E'} = \\ &= \frac{E}{\Delta^2} : \frac{E'}{\Delta'^2} \end{aligned}$$

La fracción $\frac{E}{\Delta^2}$ resulta, por tanto, característica de la rigidez.

Los valores anteriores llevados a esta relación nos dan:

$$\frac{P}{P'} = \frac{7.500}{(2,8)^2} : \frac{22.000}{(7,8)^2} = \frac{956}{360} = 2,65$$

que indica que la carga P que produce la flecha f en la viga de duraluminio es 2,65 mayor que la carga P' que produce igual flecha en la viga de acero.

El cálculo expuesto, aplicado a secciones rectangulares, es general referido al valor de r , relación de semejanza; por sucesivas descomposiciones de figuras, se puede establecer esa relación en forma igual a como se calculan, por ejemplo, los momentos de inercia de los perfiles laminados en T y doble T.

* * *

Todas estas relaciones, aun siendo interesantes, no lo son tanto como las de carácter físico, sobre todo en piezas que han de soportar distintos trabajos térmicos como los de émbolos y cilindros. En este sentido cabe distinguir los coeficientes de conductibilidad térmica y de dilatación, ambos con el calor específico estudiados desde muy antiguo, y otro nuevo llamado de "difusibilidad" que enlaza los anteriores.

El coeficiente de conductibilidad térmica mide la cantidad de calor en pequeñas calorías que en 1" atraviesa un cubo de un centímetro de arista cuando entre las dos caras opuestas se acusa una diferencia de temperatura de 1° (1).

El cobre figura en primera línea como el mejor conductor, 1,04; siguen la plata y el oro, con 0,96 y 0,76; luego el aluminio, con 0,50; y salta ya al cinc y al hierro, con 0,26 y 0,20. El vidrio deja pasar solamente 0,0014.

El coeficiente de dilatación lineal se mide por el alargamiento correspondiente a 100° de elevación de la temperatura en una barra de un centímetro. El cinc es el más dilatado, 31×10^{-6} de centímetro; el aluminio tiene 22×10^{-6} ; el cobre se dilata menos, 17×10^{-6} ; y el hierro menos todavía, 12×10^{-6} .

Por último, el calor específico se mide por la cantidad de calor en pequeñas calorías, que es necesario comunicar a un gramo de un cuerpo para elevar su temperatura 1° C. El hierro tiene el valor 0,11; el cobre, 0,09; y el aluminio, 0,21. A la vista de estas cifras resulta que para el aluminio puro y duraluminio el coeficiente de dilatación es de 22×10^{-6} ; en las aleaciones de fuerte proporción con silicio desciende a 19×10^{-6} . Con arreglo a estas cifras resultarían desventajosas las aplicaciones a émbolos y cilindros cuyo ajuste tiene que ser muy preciso; pero esa desventaja queda compensada con la gran conductibilidad térmica de esas aleaciones, pues pesando tan poco caben aumentos en las secciones de escape y una repartición de calor más uniforme.

En régimen variable se considera el coeficiente de "difusibilidad térmica" medido por la fracción:

$$\frac{A}{C \Delta} = \frac{\text{Cte. conductibilidad}}{\text{Calor específico} \times \text{densidad}}$$

cuyo valor claramente se ve que influye en todos aquellos fenómenos en los cuales se manifiestan oscilaciones instantáneas de temperatura, y de su valor dependen las contracciones térmicas que ocasionan la desigual repartición de temperaturas en la masa del metal.

(1) La nivelación de la temperatura en los sólidos es una consecuencia de la teoría cinética del calor fundamentada en el principio de la equipartición de la energía debido a Maxwell y Boltzmann, modificado actualmente por la consideración de ser los electrones, y no las moléculas, los igualadores de la temperatura, ya que se les supone con igual energía media que aquéllas.

Sólo el cobre tiene ese coeficiente mayor que el del aluminio, como expresan las relaciones siguientes:

$$\text{Cobre} \quad \frac{1,04}{0,09 \times 8,9} = 1,3$$

$$\text{Aluminio} \quad \frac{0,5}{0,2 \times 2,7} = 0,90$$

$$\text{Hierro} \quad \frac{0,26}{0,11 \times 7,8} = 0,33$$

Como se ve, resulta preponderante la menor densidad del aluminio. Entre las relaciones de pérdidas de calor, la que supone el calentamiento innecesario de la masa del motor, ligada con el denominador, para el aluminio y derivados es 0,567; y en el cobre es 0,801, equilibrándose con ello la desventaja del menor numerador.

Es curioso observar que dentro de un motor de émbolos y cilindros se simboliza un hecho que se observa en el fenómeno de la vida. Así como en la masa humana hay individuos, muchos, muchísimos, que arrastran su existencia de modo estático, hay otros, los menos, que se mueven de manera inusitada y que llevan al conjunto en direcciones diversas: son los dinámicos, que en la organización social hacen el papel de los émbolos y de las bielas propulsoras de los motores y que necesitan para moverse una masa mucho mayor de piezas fijas. Para que sea mayor la similitud, ese conjunto de órganos suele tener movimientos alternativos y rápidos, con desarrollo de grandes fuerzas vivas que deben amortiguarse, fuerzas vivas que representan energías que se pierden en rozamientos nocivos, que acaban por desgastar y hundir a los órganos propulsores.

Y llevando el símil más adelante, si esos órganos de propulsión son ligeros y hasta cierto punto elásticos y flexibles, entonces los rozamientos son menores, las fuerzas vivas son menores también por menor masa, y por ello el motor puede girar más de prisa y rendir más.

Estas consideraciones nos llevan a la deducción de que las aleaciones ligeras que acaban de reseñarse contribuyen a facilitar el dinamismo de la época presente. El siglo XIX dicen que lo simboliza una locomotora, y que el XX ha de simbolizarlo un avión, siempre que sea, claro es, de estos modernos de alas y fuselajes de materia-

les ligeros. Por donde el material duraluminio viene a contribuir a formar un esquema integrante de nuestros días, en los cuales se cumple fielmente el concepto del filósofo Bergson, que dice que el crecimiento perpetuo de la movilidad es la esencia del progreso de los seres vivientes.

CARLOS BARUTELL.

SECCIÓN DE AERONÁUTICA

Doble travesía del Atlántico norte por una escuadra aérea italiana.

La Aviación militar italiana ha marcado una nueva etapa en la brillante marcha que la ha colocado en pocos años a la cabeza de todas las del Mundo, prueba de lo que pueden la persistencia, el trabajo y la cooperación, y de que estos resultados colectivos no están vedados a razas de tipo meridional y mediterráneo y que, por ello, son consideradas como adecuadas solamente para acciones brillantes, producto de la viveza y de la iniciativa individual.

Esta deducción es la primera que salta a la vista por encima de otras de carácter técnico y la que tiene mayor importancia, pues de un país agotado por la guerra han surgido en pocos años organizaciones que otros con mayores riquezas y energías naturales no han sido capaces de acometer, y que por estar sus etapas a la vista del Mundo entero demuestran que los resultados no son debidos a un feliz azar.

Progresivamente han ido ensayando la eficacia de masas de aviones, tomando primero como teatro el *Mare nostrum*, comenzando por un circuito localizado en la parte occidental entre las costas de Italia y las nuestras, apoyándose en las islas de Mallorca y Cerdeña. En su estancia en Los Alcázares llamó la atención de nuestros aviadores la rígida disciplina a que estaban sometidos sus colegas italianos, que llegaba a hacerles responsables de fallos del material que parecen inevitables y fuera de la voluntad humana.

El año siguiente realizaron una nueva hazaña colectiva, tomando como base el Mediterráneo oriental y Mar Negro, en la cual se pusieron en contacto con los países en que nació nuestra civilización y con el destacamento más avanzado de los latinos, hacia oriente. El

número de hidros fué menor en este segundo circuito, pero el recorrido total (4.700 kilómetros) y algunas de las etapas superaban mucho al anterior.

No parece que se fijó el gran público en lo que estos *raids* tenían de importancia, pero cuando al año siguiente acometieron la empresa de atravesar con una formación aérea el Atlántico sur, empresa realizada entonces muy contadas veces y siempre por "ases" aislados, ya hubo de reconocerse por todos que la herramienta que estaba forjándose era algo excepcional. Su efecto potencial, coincidiendo con las teorías de *guerra integral* de Douhet, que entonces estaban en plena discusión, no podía menos de influir eficazmente para prestigiar el valor de Italia como potencia.

Realizado el vuelo al Brasil, cerca de 11.000 kilómetros, que terminaron 11 hidros de los 14 que lo emprendieron, empezaron nuevamente a trabajar para preparar el nuevo, que acaba de terminar felizmente el 12 del pasado agosto. Por su recorrido, de un cuadrante terrestre, en el que han vencido dificultades de toda índole (paso de altas montañas, zonas de hielos, nieblas y borrascas, mares difíciles), y por la seguridad de su realización, es esta hazaña de tal índole que, según frase de una autoridad aeronáutica, se tardará por lo menos un decenio en realizar otra que la supere.

Esta gran hazaña, que ha conmemorado el décimo año del régimen fascista, ha sido bautizada *Crociera del Decennale*, y en su llegada a Chicago ha coincidido con la gran Exposición histórica del progreso moderno.

Según Balbo, se había pensado en hacer una vuelta al Mundo con una masa de hidros, habiéndose hecho estudios directos de los amarajes en las Aleutianas, pero el estado de guerra entre China y Japón y la gran crisis económica redujeron este plan a un viaje trasatlántico como más factible y económico.

Indiquemos ligeramente las características del material empleado, la organización y agrupación de las unidades aéreas y las etapas recorridas.

La escuadra estaba constituida por aparatos homogéneos; eran hidros de proyecto y construcción netamente italianos, que habían constituido el núcleo de los *raids* anteriores: el "Savoia Marchetti S. 55", cuyas características son:

Envergadura	24	metros.
Longitud	16,50	metros.
Altura	5	metros.

Superficie sustentadora ..	92	metros cuadrados.
Peso, en vacío	5	toneladas.
Peso total máximo	9	toneladas.
Velocidades	236 - 109	kilómetros - hora.
Potencia	Dos motores "Fiat 24 A. R." de 700 CV.	

Monoplano de ala gruesa.

Casco doble de madera en chapas.

Aplicación militar, bombardeo y torpedero.

Todos los aparatos llevan radio y aparatos para vuelo sin visibilidad exterior.

La organización de la escuadra y el sistema de identificación de los aparatos es muy interesante. Estaba formada por 24 hidros, divididos en dos grupos, denominados con el gráfico nombre de *stormi* (bando), y éstos a su vez en dos escuadrillas. Los colores rojo, blanco y verde (la bandera nacional), más el negro, servían para diferenciar cada escuadrilla; y dentro de ella, cada patrulla de tres llevaba círculos o estrellas, en número de uno para el jefe (centro), dos el avión de la derecha y tres el de la izquierda. Esta notación permitía conservar las formaciones o reconstituirlas rápidamente cuando la visibilidad escasa obligara a diseminarse.

Normalmente iba cada patrulla en cuña, con los aviones de flanco un poco más altos que el del jefe, y una patrulla detrás de otra, siendo la separación variable, según que se volase sobre lugares habitados con tiempo claro, con niebla o en la tempestad; la evolución para ensanchar las distancias estaba perfectamente estudiada y ensayada, y de su acierto fué muestra el éxito logrado en la etapa de Islandia a Labrador, la más dura de todo el viaje.

En cada aparato iba un capitán, primer piloto y jefe; un teniente, segundo piloto; un radiotelegrafista y un motorista. Para toda la escuadra iba un técnico para dirigir las reparaciones importantes, que incluso daba indicaciones por radio en pleno vuelo a los mecánicos de los aparatos si le comunicaban la existencia de alguna avería.

La organización meteorológica estaba especialmente cuidada; varios submarinos y balleneras estaban destacados entre Islandia, Groenlandia y Labrador que dieron datos de previsión, siempre acertados.

Un extracto de los comunicados oficiales, completados con alguna indicación de los que figuran en los informes especiales al Duce

que al acabar algunos grupos importantes de etapas hacía Balbo a Mussolini, permiten formarse idea de la importancia y de las dificultades del viaje.

1.ª etapa: Orbetello-Amsterdam. 1 de julio.

Salieron 25 hidros, los 24 de las cuatro escuadrillas más uno taller, a las cinco y veintinueve de Greenwich. A las dos horas y quince minutos de viaje estaban sobre el paso de la Spluga, con buen tiempo. El paso de los Alpes hubieron de hacerlo a la brújula por estar en parte cubierto. Pasaron por Zurich y Basilea, y luego siguieron el Rhin, con nubes bajas y atmósfera agitada. Al amarrar capotó el aparato del capitán Baldini, muriendo el sargento motorista Ugo Quitavalle.

2.ª etapa: Amsterdam-Londonderry. 2 de julio.

El hidro taller sustituye al destruido. Salida a las siete horas y cuarenta y cinco minutos (las salidas son las del último aparato; toda la escuadra empleaba en despegar más de media hora); vuelo bajísimo hasta Ijmuiden por debajo de las nubes, que estaban a unos doscientos metros; la travesía sobre el Mar del Norte encontró un tiempo estupendo; sobre Escocia e Irlanda, niebla. Amaraje a las diecinueve horas y diecinueve minutos de Greenwich.

3.ª etapa: Londonderry-Reykjavik. 5 de julio.

Al oeste de Groenlandia se anunciaba un mínimo, que persistió varios días. Ante el temor de quedar bloqueado por el tiempo, que tendía a empeorar, salió a las doce horas y siete minutos, encontrando dos horas de buen tiempo, atravesando luego una zona de 350 kilómetros de niebla, de ellos 200 kilómetros volando a ciegas por su interior; después viento y mar gruesa; no vieron Islandia hasta estar encima; amaraje difícil por el viento en quince minutos, a las diecisiete horas y cincuenta minutos.

4.ª etapa: Reykjavik-Cartwright. 12 de julio.

La partida fué difícil por exigir la dirección del viento operaciones previas de remolque; las primeras dos horas fueron muy duras: cielo plúmbeo y nubes sobre el mar; de la tercera a la quinta hora, niebla tan espesa que no se veían los extremos de las alas. Cinco horas de vuelo a 800 metros con cielo claro; al final viento contrario; emplearon en total doce horas.

A pesar de la dispersión de la escuadra, según la maniobra prevenida para el vuelo en la niebla, llegaron en pocos intervalos y con las escuadrillas compactas sin perder el contacto de sus aparatos.

Velocidad media escasa: 200 kilómetros por hora.

5.^a etapa: *Cartwright-Shediac*. 13 de julio.

Partida a las trece horas y veinticinco minutos de Greenwich; llegada a las diecinueve horas y treinta y siete minutos de Greenwich, con brisa y sol brillante.

6.^a etapa: *Shediac-Montreal*. 14 de julio.

Viaje con viento contrario, todo sobre las selvas canadienses; nubes bajas.

7.^a etapa: *Montreal-Chicago*. 15 de julio.

Partida a las quince horas y cuarenta y siete minutos de Greenwich; pasos por Kingston (Lago Ontario) a las diecisiete horas; por Owen Sound (Lago Huron) a las diecinueve horas y veinte minutos; por Port Wayne a las veintiuna hora y treinta minutos. Amaraje en Chicago a las veinticuatro horas y catorce minutos.

8.^a etapa: *Chicago-Nueva York*. 19 de julio.

Salida a las doce horas y quince minutos de Greenwich, escoltada por 36 aparatos americanos; pasos por Toledo, Erie, Niágara, Oswego, Kingston; amaraje a las veinte horas y un minuto.

9.^a etapa: *Nueva York-Shediac*. 22 de julio.

Salida a las catorce horas y dieciséis minutos de Greenwich. Hasta Boston viento contrario; poca visibilidad; en la bahía Fundy mejora el tiempo; amaran, a las diecinueve horas y cincuenta minutos, 22 aparatos; dos quedan rezagados por falta de combustible; provisionados en los amarajes eventuales, se incorporan dos horas después.

10.^a etapa: *Shediac-Shoal Harbor*. 26 de julio.

Partida a las doce horas y cuarenta y seis minutos de Greenwich; amaraje a las diecisiete horas y treinta y un minutos; media horaria: 245; cielo cubierto, tiempo mediano, visibilidad deficiente.

Un aparato amaró en Cabo Traverse con avería en el motor pos-

terior; fué remolcado a Vitoria, donde reparó la avería y se incorporó.

Se anunció insistentemente mal tiempo, esperando Balbo a tener noticias francas de la ruta septentrional, teniendo que resistir a los deseos de sus subordinados. Al fin se decidió a hacer la vuelta por la ruta Azores-Lisboa.

11.ª etapa: Shoal Harbor-Punta Delgada. 8 de agosto.

Partida a las siete horas y cuarenta y cinco minutos de Greenwich. A las dieciséis horas y cincuenta minutos pasaba por Horta, donde amararon nueve aparatos al mando del general Pellegrini, por ser insuficiente la bahía de Punta Delgada para todos. A las diecinueve horas y veintidós minutos amaraban estos quince aparatos restantes en el último punto.

En la ruta encontraron fuerte depresión, con nubes bajas que tocaban el agua, situación meteorológica que esperaba Balbo por la información recibida, pero quiso asegurarse la partida y la llegada, ambas difíciles y que aquel día facilitaba la dirección del viento.

12.ª etapa: Punta Delgada-Lisboa. 9 de agosto.

Las tres patrullas de Horta salieron a las cinco horas y veintidós minutos (hora local). Las cinco de Punta Delgada, al amanecer. Capota el aparato del capitán Ranieri; muere el teniente piloto Enrique Squaglia. Los tres últimos aparatos reciben orden de no despegar mientras no se retiren los restos del destruido. A las siete horas y cincuenta y cinco minutos, locales, estaban en vuelo.

Los primeros aparatos amararon en Lisboa a las quince horas y cuarenta y un minutos; los últimos, a las diecisiete horas y cincuenta y cinco minutos.

13.ª etapa: Lisboa-Roma. 12 de agosto.

Salida a las seis horas y cuarenta minutos (Greenwich). Paso por Cabo San Vicente, a las siete horas y veintitrés minutos; por Adra, a las diez horas y treinta y siete minutos; por Palos, a las doce horas y doce minutos; por Formentera, a las doce horas y cuarenta minutos; por Cabrera, a las trece horas y ocho minutos; a las quince horas y cuarenta minutos, por Porto Torres, amarando en Orbetello a las diecisiete horas y treinta minutos.

Son de notar la resistencia de los motores, que no tuvieron avería importante, haciéndoseles sólo en Estados Unidos pequeños repasos. Los radiotelegrafistas, en especial el del hidro de mando, tu-

vieron un trabajo abrumador, pues Balbo estuvo constantemente en contacto con sus subordinados.

Señala como un gran peligro pasado la aparición de numerosos aviones a la llegada a Chicago, con operadores cinematográficos, que se aproximaban tanto que hicieron temer colisiones.

Italia está justamente radiante con su éxito, que es de todos sus brillantes aviadores, pero de un modo especial de su jefe Balbo, el primer mariscal del aire.

J. LL. S.

REVISTA MILITAR

Transporte y avituallamiento de tropas por aviones.

Durante la guerra, sólo de un modo excepcional se han empleado los medios aéreos como auxiliares para el transporte de personal; se citan algunos casos de alemanes e italianos que fueron llevados a la retaguardia enemiga para producir destrucciones o adquirir informes.

En las guerras de tipo colonial posteriores a 1919 se ha hecho alguna aplicación en Mesopotamia e Irak y en Marruecos, siendo notable el transporte llevado a cabo el pasado año por los ingleses desde El Cairo, al Sudán y Ciudad del Cabo, que en tres aparatos llevaron un efectivo de casi una compañía, y otro en que condujeron de Egipto al Irak 600 hombres, haciendo tres viajes con nueve biplanos "Vickers Victoria".

En las maniobras francesas de 1932 también se hicieron ensayos de depositar en la retaguardia una sección para atacar por sorpresa a fuerzas enemigas durante un alto y para destruir comunicaciones.

Respecto al empleo para el avituallamiento, en lo cual nuestra Aviación ha sido seguramente la precursora, durante la época más dura de las posiciones sitiadas en Marruecos, los modernos aparatos gigantes dan posibilidades extraordinarias. Las doce toneladas de carga del "Do. X" permiten aprovisionar con dos kilogramos de víveres y otros dos de municiones a 3.000 hombres. En la India inglesa se ha hecho un ensayo para aprovisionar a 1.500 hombres de todos los elementos necesarios en una región montañosa. Los grandes "Ford 14 A" para 38 pasajeros, el "Focker F. XII" para 32 y el "ANT. 14", ruso, para 34, pueden ser objeto de esta aplicación militar tan interesante. □

La crisis de efectivos en el Ejército francés.

Sigue preocupando en Francia la disminución de efectivos por la baja de la natalidad. Según una proposición de ley presentada en el final de la legislatura, necesita para conservar los efectivos actuales 106.000 profesionales y 240.000 de reemplazo, siendo así que las *clases* para los años próximos se pondrán:

1934	234.000
1935	149.000
1936	117.000
1937	126.000
1938	145.000
1939	158.000

Aun reduciendo el número de Divisiones a quince, como se planea, el déficit llega algunos años a la mitad.

La solución que propone el diputado Bernier es distribuir en más años el déficit, para lo cual se retrasaría la incorporación de la quinta de 1934 cuatro meses y medio, constituyendo así un remanente que serviría para cubrir la falta de los dos años graves (1935-36). Para no aumentar la duración del servicio, a lo que hay gran resistencia en los medios militares y políticos franceses, durante esos dos años se reduciría el contingente en filas a 200.000, cifra que se considera como un mínimo. El proponente considera que esta solución u otra análoga debía haber sido aplicada ya desde el año actual, pero aun limitándose al próximo se puede lograr un remanente de 90.000.

Se observa con esto que se trata de resolver el problema inmediato, el de la conservación de los efectivos en situación activa, pues el de la disminución de los hombres movilizables no tiene, naturalmente, solución. Al ver expresado en cifras el efecto demográfico de los años intensos de la guerra es cuando se puede apreciar toda su intensidad y hasta qué punto los países beligerantes, y de un modo más señalado Francia, consumieron en la gran hecatombe no solamente sus reservas de energías, sino parte de las futuras. □

Datos sobre el armamento anticarro.

	TIPO	Calibre mm.	Peso pieza Kgs.	Velocidad inicial	Peso proyectil	Velocidad fuego	PENETRACIÓN	
Cañones	Francia	40		840			Chapa 25 mm. a 450 mts.	
	Inglaterra . . .	Beardmore	47	235	494	1,4		40'
		Vickers Armstrong L/20	47	254	488	1,5		
	EE. UU.	M. 25	37	163	610	0,8		
	Polonia	Pocisk	47		465	1,5		
	Checoeslovaquia	Skoda L/22.	37	81	175	0,6		
		Bofors L. 23	47	320	560	1,5		20'
Skoda L. 22.		47	265	560	1,5			
Ametralladoras	Francia	Hotchkiss.	20		1.000	0,165	30 mm. a 200 mts.	
	Inglaterra.	Oerlikon M. G.	20		875	0,142	15 mm. a 500 mts.	
	Holanda	Maadtschappy			750	0,144	32 mm. a 300 + 20 mm. a 400.	
	Dinamarca	Maadscu	20		675	0,065	150	

□

CRONICA CIENTIFICA

El combustible de aceite y carbón pulverizado.

Desde algún tiempo acá se ocupan las revistas técnicas de un nuevo combustible, formado por la mezcla de aceite y carbón pulverizado, susceptible de producir un abaratamiento de importancia en la térmica industrial y doméstica. El primer lugar corresponde aquí al aceite, es decir, no se trata de mejorar el empleo del carbón pulverizado con la adición de aceite, sino de incorporar al combustible aceite otro adicional y más barato. Con arreglo a esto, la aplicación del nuevo combustible será para los casos en que venía empleándose el aceite vegetal o mineral: en la navegación, en las automotoras de ferrocarriles y también en la industria siderúrgica. Naturalmente, los países como el nuestro que no tienen petróleos de producción nacional, y en cambio disponen de carbones de difícil colocación, deben dedicar una atención preferente al nuevo producto, no sólo por razones de economía, sino también por otras que no escapan a la penetración del lector.

No hay duda de que una mezcla de cincuenta partes, en peso, de aceite mineral y otras cincuenta de carbón pulverizado puede quemarse en mecheros tan fácilmente como el aceite puro, y aun podría forzarse la cantidad de carbón sin mengua de la combustibilidad. Los ensayos efectuados por una Sociedad minera del Ruhr y otras pruebas realizadas en hogares de barcos confirman el anterior aserto. La única dificultad que hasta ahora se ha encontrado es la de evitar la separación de las dos sustancias durante el almacenamiento, y más aún en los transportes que ocasionen mucha agitación. Para remediar el mal se han propuesto varios paliativos, uno de los cuales es la molturación finísima del carbón; pero tal expediente resulta muy costoso y no puede garantizarse su eficacia. Lo que ya se emplea prácticamente son los "estabilizadores", que son materias cuya adición en pequeña cantidad impide la separación del aceite y del carbón. Se han propuesto como estabilizadores el jabón, la disolución de caucho, los ácidos grasos, las bases orgánicas, el amoníaco y otros. Estas adiciones, así como el molido fino del carbón, que es indispensable, implican gastos de consideración y, en definitiva, no se puede asegurar desde ahora que se haya dado un gran paso en el camino de la economía; todo dependerá de que se encuentre el estabilizador barato y de la relación que en el mercado nacional exista entre el coste del carbón y el del aceite mineral. △

Adición de nitrógeno a varios aceros especiales.

El nitrógeno, en proporciones de 0,20 a 0,30 por 100, empleado en aleación homogénea en los aceros al cromo y al cromo-níquel, se ha visto que produce efectos tan beneficiosos que aseguran a esos nuevos aceros una gran difusión en el mercado. Las investigaciones sobre este punto han sido practicadas en la *Unión de Laboratorios del Carburo*, de Nueva York, y están descritas en

un número reciente de *Iron Age*. No sólo los aceros moldeados, sino también los forjados, responden perfectamente a la adición de nitrógeno. Cuando se trata de piezas moldeadas de acero al cromo, con alto contenido de este metal, el producto que se obtiene permite trabajos rudos y violentos sin que se presenten grietas, y por ello están muy indicados para fabricación de émbolos de bombas impelentes con grandes diferencias de sección transversal. Si los aceros son al cromo-níquel, la adición de nitrógeno hacen que sean más fáciles de trabajar con máquinas y permite la obtención de piezas moldeadas no magnéticas, dotadas de gran tenacidad relativa. En todas las aleaciones de esta clase con bajo contenido de carbono la adición del nitrógeno da lugar al aumento de ductibilidad y tenacidad, y, si el material es forjado, se obtiene un producto con elevado límite elástico, *maquinable* y resistente a corrosión y polución. El nitrógeno se añade en forma de ferro-cromo, con gran contenido de nitrógeno.

△

Un procedimiento ingenioso para preservación de maderas.

En Alemania se ha sacado patente de un nuevo y curioso procedimiento para preservación de maderas destinadas a labrar postes de telégrafo o traviesas de ferrocarril. Consiste en inyectar la sustancia impregnadora, no en la madera muerta, sino en la savia misma del árbol vivo. No pueden usarse para ello los preservativos corrientes—creosota, sulfato de cobre, *avenarius*, etcétera—porque se incorporan a la savia muy imperfectamente o no se incorporan en absoluto; pero, según la revista *Telegraphen-und Fernsprech-Technik*, los ácidos arsenioso y arsénico, así como sus sales solubles, son arrastrados fácilmente por la savia desde la base del tronco hasta las puntas de las ramas más finas.

El *modus operandi* es el siguiente: En la parte inferior del tronco se practican taladros que se llenan con el material de impregnación, que puede ir en forma de pasta sólida o de solución concentrada. Los orificios se cierran con tapones de madera, arcilla o yeso; los compuestos arsenicales se difunden a lo largo de la corriente ascensional de la savia y el árbol muere al poco tiempo, ya completamente impregnado; no hay inconveniente en que permanezca en pie hasta que convenga derribarlo. El coste del tratamiento puede reducirse mezclando con los compuestos arsenicales otras materias más baratas que, empleadas solas, no serían arrastradas por la savia. Parece ser que se han obtenido satisfactorios resultados con una mezcla de setenta y cinco partes de ácido arsénico con veinticinco partes de fluoruro sódico y también con una mezcla de arsenito y benzoato sódico en partes iguales.

△