

MEMORIAL
DE
Ingenieros del Ejército

COLECCIÓN DE MEMORIAS

QUINTA ÉPOCA.-TOMO LI
(LXXXIX DE LA PUBLICACIÓN)

AÑO 1934

MADRID
•MEMORIAL DE INGENIEROS DEL EJÉRCITO•

1934

INDICE DE MEMORIAS

PUBLICADAS POR EL

MEMORIAL DE INGENIEROS DEL EJÉRCITO

en el año de 1934

Misión de las tropas de Ferrocarriles en campaña.

Por el comandante de Ingenieros D. LUIS ALVAREZ IZPURA.—
Con 24 páginas y dos figuras.

Esfuerzos secundarios en las estructuras.

Por el teniente de Ingenieros D. LEANDRO CAÑETE HEREDIA.—
Con 56 páginas y 19 figuras.

Defensas antiaéreas y empleo de los humos en campaña.

Por el comandante de Ingenieros D. JOSÉ MARÍA ARBIZU. —
Con 58 páginas y 16 figuras.

Comunicaciones presentadas al Primer Congreso Internacional de Seguridad Aérea celebrado en París del 10 al 23 de diciembre de 1930.

Por el teniente coronel de Ingenieros D. JOSÉ CUBILLO FLUITERS.—Con 38 páginas, 21 figuras y tres fotografías.

Alumbramiento de aguas subálveas por medio de galerías.

Por el capitán de Ingenieros D. RAFAEL CORTADA LEÓN. —
Con 20 páginas y nueve figuras.



LUIS ALVAREZ IZPURA
COMANDANTE DE INGENIEROS

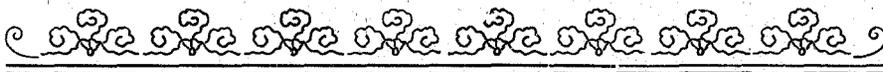
MISION DE LAS TROPAS DE FERROCARRILES EN CAMPAÑA

Extracto de la conferencia
que en el Curso de capitanes
para el ascenso de 1933 se
desarrolló



PUBLICACION DEL «MEMORIAL
DE INGENIEROS DEL EJÉRCITO»
-:- -:- MADRID, 1934 -:- -:-





“Del Curso evolutivo de conferencias seguido por la oficialidad del Regimiento de Ferrocarriles se entresacaron importantes datos con los que fué tarea fácil organizar este trabajo, el cual refleja de este modo la opinión de ese organismo con respecto a este asunto.”

I. Funcionamiento de los servicios.

Principios generales.—No tenemos necesidad de hacer resaltar ahora la importancia, cada vez mayor, de la misión encomendada a estos servicios en las guerras, asunto que, como en el cual no caben improvisaciones, requiere darle en la paz la atención debida, orientando la política ferroviaria en relación con la defensa nacional. Toda guerra va siempre precedida de las siguientes fases: movilización, transportes y concentración, realizándose todas ellas a base del empleo en gran escala de los ferrocarriles. La primera cada día más complicada, ya que a la lucha actual acude la nación entera, que, al imponer la plena actividad de toda la red ferroviaria en este período, absorberá por completo al personal ferroviario civil, originando un retraso en su movilización para convertirlo en agentes ferroviarios militares.

Ampliamente estudiada con todo detenimiento en tiempo de paz por el Estado Mayor, se realizará sin intervención alguna de las fuerzas de ferrocarriles.

° Caso particular de ella es el de los transportes a retaguardia de los elementos vitales de la nación más amenazados por su proximidad al frente, realizándose, por tanto, en análogas condiciones que el anterior.

Pero desde el momento en que empiezan estas operaciones será preciso el transporte rápido de las tropas de ferrocarriles hacia el frente, con objeto de hacerse cargo, lo antes posible, de la parte de la red de los Ejércitos que han de servir, y que, como se sabe, con arreglo a lo prescrito en los Reglamentos, comienza a partir de las estaciones de transición, quedando el servicio a cargo de los ferroviarios civiles solamente hasta ellas.

Empieza, pues, el empleo de las tropas de ferrocarriles en una de sus misiones, que, en su totalidad, son la construcción, entretenimiento y explotación o servicio de las comunicaciones ferroviarias en la zona o sector de los Ejércitos.

Comenzará ya la concentración, tomando en ella parte activa estas fuerzas, que han de desplazar rápidamente hacia el frente los contingentes y armamentos, con objeto de tratar de lograr en esta primera fase o período de guerra superioridad absoluta sobre los contrarios, y, desde entonces, la actividad ferroviaria en el frente se manifestará en todo su apogeo.

El enemigo tratará de dificultarla, amenazando seriamente nuestras comunicaciones, destruyendo, en lo posible, los nudos de vías férreas, al mismo tiempo que los grandes centros productores, las provincias ricas y otros importantes objetivos, en los que con seguridad no dejará de comprender la amenaza a la *capital* de la nación, objetivo *primordial* que se ha manifestado en toda invasión.

De la gran importancia que requiere el asegurar desde el principio de las operaciones todos los medios de la comunicación ferroviaria conviene reflexionar un momento, para estudiar, siquiera ligeramente, la organización que a partir de ese momento convenga darles, sobre todo en las zonas fronterizas, si se quiere preservarles de los efectos de destrucción que contra ellos establecerá inmediatamente el enemigo, tratando de inutilizarles, aunque sea parcialmente, con objeto de retrasar la concentración en el frente. Para ello dispondrá principalmente de la Aviación, a la cual le impondrá como una de sus misiones ésta: dificultar las comunicaciones.

De aquí la necesidad de concentrar nuestra atención en la organización de la rápida retirada a retaguardia de todo el material móvil posible, por lo menos a la línea de estaciones de transición; la diseminación de los depósitos y almacenes de material ferroviario del frente, y traslado hacia atrás de los talleres avanzados. La circulación de trenes será estudiada en forma de no reunir periódicamente, en momentos determinados y fijos, grandes cantidades

de unidades en puntos que puedan considerarse como nudos de comunicación, y que por presentar de esta manera blancos extensos serían objeto de bombardeos.

Dada la diferencia de anchura de nuestra vía normal con respecto a la francesa, esto constituiría en los primeros momentos para nosotros una pequeña ventaja a nuestra defensa, si se tuvo la precaución de retirar de la frontera todo el material móvil y juegos de ejes que allí existan, pues, sin necesidad de tener que levantar la vía, impedirá el avance por ella del material francés, que requeriría, por parte de ellos, el trabajo de ir tendiendo el tercer carril o la modificación de sus ejes, que aunque no insuperable, ni muchísimo menos, siempre constituiría un obstáculo a su avance; pero en la frontera portuguesa no ocurre lo mismo, y habrá que estar dispuesto, en todo momento, a cumplimentar la orden de la Superioridad relativa a la destrucción de una zona de vía en la misma frontera y en la profundidad que aquélla estimara conveniente.

Suponemos ya establecida la organización defensiva del frente, colocadas en primera línea las tropas que quepan, detrás de ellas las de refuerzo, a menos de una jornada, y a tres jornadas (unos 50 kilómetros) otras Divisiones que por carreteras y caminos se desplazarán hacia el frente; por último, más lejos, a unos 80 kilómetros, algunas Divisiones, que podrán ser transportadas en autos. Hasta ellas, por lo menos, ha de llegar la explotación corriente de las redes ferroviarias de la nación, si bien servidas por el Ejército desde la línea de estaciones de transición.

Ya actúan por completo las tropas de ferrocarriles; pero ante las varias misiones a ellas encomendadas, veamos cómo se verifica su disgregación, si han de atender debidamente a esa diversidad de servicios.

Las tropas organizadas tal como están en tiempo de paz marcharon al frente, que lo imaginamos dividido en tres sectores, asignando a cada uno de ellos un Batallón en armas. Se han incautado con toda rapidez de la parte de la red ferroviaria contenida dentro de su sector, y que en lo sucesivo ha de ser explotada por ellos.

Mientras tanto, se está efectuando la movilización de toda o parte de la nación, y, claro está, en ella serán incluidas las reservas de ferrocarriles.

Pero estas tropas activas tienen simultáneamente otros cometidos distintos, para los cuales estarán más capacitadas, como serán: el estudio, trazado, construcción de vías férreas, destrucción de las

mismas, reparación de las obras de arte y explotación de estas líneas de campaña, y, por tanto, conviene sean sustituidas en aquel primer cometido, lo más pronto que se pueda, por otro personal más apto para esta clase de servicios, como serán los movilizados que en este momento estén prestando sus servicios en las líneas civiles, a ser posible en la misma Compañía cuyos trozos hayan de servir, puesto que estarán más familiarizados con la circulación por ellos, ya que no es posible improvisar los múltiples resortes que requieren los servicios para hacer marchar una explotación de ferrocarriles. Incluso alguno de los mandos subalternos de este personal así utilizado debía salir de entre ellos, como estaba muy bien orientado con la Escala de Complemento Honoraria de Ferrocarriles. Queda, pues, la explotación a cargo de las tropas de reserva menores de cuarenta años, encuadradas por oficialidad y clases de Complemento en una determinada proporción, y al mando de oficiales y clases de Ingenieros, a ser posible pertenecientes a Ferrocarriles o habiendo servido en él, componiendo las necesarias Unidades o Compañías administrativas que exija la extensión de la red en los distintos sectores.

Estas Compañías de explotación dependerán directamente de las correspondientes Comisiones de Ferrocarriles de Campaña.

La movilización especial ferroviaria necesaria para el buen funcionamiento de estos servicios era antes facilitada y realizada rápidamente por las suprimidas demarcaciones, a cargo de las distintas Compañías de los Batallones en prácticas y de reserva, que tenían a su cargo el personal del servicio activo que practicaba en las Empresas ferroviarias enclavadas en su zona, y estaban, además, en contacto con todo el que, dependiente de dichas Empresas, se hallaba dentro de la responsabilidad militar; llevaban toda su documentación, anotaban sus vicisitudes marciales y les pasaban las revistas anules.

Hoy día toda la movilización corre a cargo de los Centros de Movilización, que deberán enviar los ferroviarios movilizados a la Plana Mayor del Regimiento, con objeto de que allí hagan su distribución, según sus aptitudes, a los distintos sectores del frente, con el consiguiente retraso de su entrada en servicio y un conocimiento imperfecto de su verdadera aplicación.

Aparece el primer desdoblamiento de las tropas de ferrocarriles al constituir estas Unidades, que, en lo sucesivo, atenderán la explotación y entretenimiento de las redes permanentes, con todos sus

servicios de Vía y Obras, Movimiento y Tracción, así como las pequeñas obras y reparaciones necesarias.

El material que utilicen será el de las Empresas ferroviarias existentes en la zona de los Ejércitos, además del correspondiente a las dotaciones reglamentarias de las Unidades ferroviarias; y para su reposición y aumento se recurrirá, respecto al primero, al de las Empresas ferroviarias de la zona del interior, y en cuanto al segundo, al de los Parques de Ingenieros del Ejército.

El personal que disponga el capitán de la Compañía deberá permitirle, en condiciones normales, asegurar el movimiento a razón de un tren por hora en cada sentido, en vía única, en una extensión que comprenda ocho a diez estaciones militares y una longitud máxima de 30 a 40 kilómetros de vía principal. Las reglas que se deberán aplicar para la circulación de trenes serán, siempre que sea posible, las señaladas por los Reglamentos de las distintas Empresas ferroviarias.

Los servicios de Vía y Obras se limitarán al entretenimiento normal de la superestructura y a la vigilancia y pequeñas operaciones a efectuar en la infraestructura. Gente a sus órdenes vigilará los pasos a nivel.

Para el servicio de Tracción dispondrá de un Parque de máquinas, que le suministrará la Comisión de Ferrocarriles de Campaña de quien dependa. Para las reparaciones organizará un depósito, donde se llevarán a cabo las pequeñas, factibles de hacer en poco tiempo y con los medios de que disponga la Compañía, efectuando también en él el lavado periódico de las calderas.

Hará las pequeñas reparaciones de vagones en las mismas reservas de las redes, con el personal de recorrido y los equipos de tracción, limitándose únicamente a las rápidas que no necesiten piezas de recambio.

El mando absoluto del capitán de la Compañía empezará a partir de la línea de estaciones de transición. Los agentes civiles que continúen su recorrido por esta parte, o cuyo relevo por agentes militares no haya sido posible, estarán por completo a las órdenes de dicho capitán hasta su salida de la línea militar.

De estas Unidades, en su día, se destaca el personal para servir las redes de campaña, en el momento en que lo requieran los trabajos de su construcción, constituyendo con ellos desde entonces una reserva, que el jefe del Servicio Militar de Ferrocarriles emplea, según las necesidades, en la parte avanzada o en la retaguardia de su red.

Estas nuevas Compañías de explotación actuarán con independencia absoluta en todos los servicios de Vía y Obras, Movimiento y Tracción, dentro del trozo que tengan asignado, en una extensión de unos 15 a 20 kilómetros, desempeñando sus capitanes y oficiales los papeles de inspectores e ingenieros de las redes, y organizando sobre el conjunto de líneas encomendadas, todos los servicios.

Los Batallones en armas, que desde el primer momento se concentraron en el frente, reforzados por todo el personal movilizado no empleado en las anteriores Compañías de explotación de nueva creación, constituirán las tropas activas, cuyas misiones variarán según los casos en que se encuentren. Así, en el de movimiento o avance tendrán empleo en el reconocimiento y reconstrucción de las líneas destruidas por el enemigo y la explotación de las líneas más próximas a los frentes de combate. En el período de estacionamiento se ocupan de la ampliación de las líneas para los servicios de los Parques y Depósitos, de la construcción de líneas estratégicas, de la creación de estaciones de maniobra y reguladoras y de la reparación de los daños causados por la Artillería y la Aviación. En el período de retirada evacuan todo el material móvil que les sea posible, destruyen el que no lo sea, e inutilizan las vías evacuadas.

Pero para todos estos cometidos se agrupan en dos clases de Unidades distintas: aquellas que trabajen en la construcción, entretenimiento, reparación o destrucción de vías de ancho normal y las que efectúen esos trabajos en las de 0,60 metros de anchura.

Estas últimas forman una agrupación especial en cada Ejército bajo las órdenes de un jefe de Ingenieros, denominado jefe del Servicio de Ferrocarriles de vía estrecha, el cual recibe las instrucciones convenientes para este servicio del director de Transportes del Ejército, de quien depende; y si se agrupan en Batallones de construcción, los jefes de éstos proceden según las normas directivas de aquél para todas las operaciones que tengan por objeto crear, restablecer y, eventualmente, replegar o destruir las redes ferroviarias del Ejército, creadas a base de las vías de 0,60.

Para la realización de sus operaciones técnicas se ajustan a los mismos principios generales que las Unidades de construcción de vía normal, a saber:

- 1.º Que se efectúen en un tiempo mínimo.
- 2.º Que las soluciones obtenidas puedan ser puestas en servicio gradualmente a medida que se vaya avanzando.

Las soluciones de feliz idea serán siempre admisibles si no se

oponen a perfeccionamientos posteriores, sin necesidad de interrumpir las comunicaciones, teniendo en cuenta que toda vía férrea que sea puesta en servicio está expuesta a recibir inopinadamente una circulación intensa.

Todas las Unidades de construcción tienen una composición uniforme; la repartición de misiones podrá efectuarse simplemente por zonas de acción o por trozos de línea, sin diferencias esenciales de empleo.

Si son necesarias se podrán crear Unidades de especialistas.

Después del tendido de las líneas, una parte del material en exceso deberá ser distribuído, en pequeñas fracciones, sobre puntos designados con anterioridad para los trabajos de entretenimiento. El resto será llevado a los Parques de vía de 0,60 del Ejército.

En la pasada guerra, las tropas de Ferrocarriles estaban directamente a las órdenes del jefe de Ingenieros del Ejército a que correspondían, el cual aconsejaba la extensión en que los ferrocarriles normales debían ser construídos y explotados en la zona del Ejército por el servicio de ferrocarriles, y qué parte construiría el mismo Ejército, sus Cuerpos y sus Divisiones; y esto lo mismo para cuando se trataba de los de vía estrecha.

El entretenimiento de las comunicaciones férreas era deber de las tropas de Ingenieros del Cuerpo de Ejército,* y aun las de las Divisiones suplían a aquéllas en ciertas circunstancias, conviniendo entonces obtener de las tropas de ferrocarriles un jefe de construcción y algunos especialistas para que la obra marchase lo mejor posible.

MISIONES DE LOS JEFES DE GRUPO.—Técnicamente les alcanza:

1.^a Estudiar la repartición de las misiones a fijar a sus Unidades.

2.^a Prever y asegurar la distribución de las reservas.

3.^a Actuar con relación a los comandantes de sus Unidades como un ingeniero jefe respecto a sus subordinados. Su presencia será necesaria en los trabajos cuya misión le haya sido encomendada.

Como las operaciones a llevar a cabo en los caminos de hierro tienen, en general, en campaña un carácter de urgencia absoluta, no podrá siempre acudir al conducto regular para la transmisión de noticias sin originar pérdidas de tiempo considerables; por tanto, el jefe de Grupo no vacilará en delegar por adelantado en los comandantes de Compañía o Destacamento a sus órdenes para en-

trar en relación directa con las diversas autoridades que ejerzan sobre él su dirección, principalmente con los Estados Mayores del Ejército y los representantes civiles de las Empresas ferroviarias, sin perjuicio de que posteriormente, y lo antes posible, se le ponga al corriente a dicho jefe de esta resolución.

Estas medidas son tanto más necesarias cuanto que las tropas de Ferrocarriles que prestan servicio, sobre todo en vías normales, no están sujetas a las mismas normas que las demás, por estar distribuidas generalmente sobre grandes extensiones de redes férreas, en las cuales pueden actuar varios Ejércitos con dificultad de contacto.

En los Grupos de explotación velarán particularmente por las medidas concernientes al empleo del material móvil de las Unidades, cuyas dotaciones pueden ser desiguales, y montar un servicio especial de reparación centralizado en el Batallón.

Si se trata de tropas ferroviarias de construcción, incumbe a su jefe, en unión de la oficialidad, la redacción de los proyectos de obras nuevas, reparaciones y destrucciones, para lo cual, y con objeto de unificar el criterio en los distintos tramos o partes en que distribuya la obra a realizar por las Unidades a sus órdenes, deberá, en general, proceder con arreglo a las normas siguientes:

Aunque la rapidez sea condición esencial en todo trabajo de orden militar, tratándose de obras de ferrocarriles, de por sí, en general, sumamente lentas, ese factor hay que mirarlo con cierta prevención, y, desde luego, huir de ella en los trazados, teniendo en cuenta que del acierto en su elección depende la facilidad de construcción de la línea y, sobre todo, su facilidad de explotación, no olvidando que solamente un concienzudo estudio y una minuciosa preparación y organización del trabajo conducen a una ejecución rápida, decidida, sin detenciones ni entorpecimientos.

Por tanto, procederá a un reconocimiento preliminar del terreno, siguiendo la zona que anteriormente se habrá estudiado sobre los planos, con objeto de:

- 1.º Comprobar con exactitud los datos recogidos sobre los planos y determinar, aproximadamente, la línea más factible.
- 2.º Situar los puntos de paso obligado, naturales y artificiales.
- 3.º Determinar las pendientes máximas y el radio mínimo de las curvas.
- 4.º Estudiar la naturaleza del suelo en que se va a trabajar, determinando las zonas que conviene evitar, al mismo tiempo que

tratando de buscar los materiales necesarios para la construcción y entretenimiento de la línea en puntos próximos a ella (piedra para balasto, madera, etc., etc.).

Además, anotará el probable movimiento de tierras y el número de puentes necesario, así como la importancia de éstos; y ya con esos datos de un trazado provisional podrá, con más conocimiento de causa, dividir el estudio del trazado en zonas lo más compensadas posible, a cargo de las Compañías de construcción de que disponga, para que en esos tramos, ellas con sus medios procedan al estudio detenido del correspondiente proyecto, que una vez debidamente aprobado comenzarán ellas mismas a su ejecución.

Durante la construcción, el jefe de Grupo proporcionará a sus Unidades los elementos que en hombres, herramientas y material vayan necesitando, escalonando sus trabajos de tal forma que aseguren su continuidad a través de sus múltiples fases, tratando siempre de utilizar al personal en sus verdaderas aptitudes, modo de obtener de él su máximo rendimiento.

Su relación con el Mando será informarle debidamente de la naturaleza de las obras a realizar, tiempo y medios en ellas a emplear, así como situación, en todo momento, de los trabajos que tenga en curso.

Tratándose de obras de reparación, las normas serán en un todo análogas.

Para las destrucciones y obstrucciones distribuirá entre sus Unidades los estudios de éstas en las obras de arte, infraestructura y superestructura de la vía, así como del material móvil, con objeto de poder redactar las informaciones de carácter técnico que necesite el Mando; y al recibir ya la orden de su ejecución, la transmitirá, a ser posible, a las mismas Unidades que hicieron su estudio, con objeto de ponerlo rápidamente en práctica.

MISIÓN DE LOS COMANDANTES DE UNIDAD.—Actúan como Ingenieros de Sección en una explotación civil de ferrocarriles, redactando todos los proyectos relativos a su Sección, dirigiendo las obras y organizando los trabajos, así como todos los servicios corrientes de explotación, en la misma forma que se realiza normalmente.

En los servicios de construcción, en circunstancias ordinarias, la Unidad de trabajo será la Compañía, que dispondrá en principio de un tren constituido por vagones acondicionados para el descanso y el transporte de un Parque que le acompaña en todo o en parte por vía férrea y por carretera y de un efectivo organizado en forma

tal que pueda llevar a cabo por sí misma trabajos de relativa extensión (término medio, un kilómetro diario de tendido de vía).

El Batallón tendrá, a su vez, su Parque de material y herramienta, encargándose de él uno de sus capitanes.

Desde el punto de vista técnico, el capitán es ayudado por sus oficiales.

Los de las Compañías de construcción de vía de 0,60 tienen atribuciones análogas. Será útil constituir desde el principio de las operaciones uno o varios equipos especializados en trabajos a ejecutar en obras de arte.

Los capitanes de explotación dirigirán ésta en todos sus detalles sobre la Sección asignada a su Compañía, así como el entretenimiento de la vía en esta Sección de una longitud ya sabida de 15 a 20 kilómetros.

Las Unidades cuya misión implique movilidad estarán dotadas, temporal o permanentemente, de dos locomotoras destinadas a su desplazamiento y el de sus talleres y parques, disponiendo, a título de dotación propia, de un material móvil y de tracción, con arreglo a la importancia de sus necesidades durante un cierto tiempo.

El resto de la herramienta y material de toda naturaleza recibido de retaguardia y no comprendido en la dotación propia de las Unidades será aparcado en el Parque del Batallón.

MÉTODOS DE EMPLEO DEL PERSONAL.—Las Compañías de las distintas especialidades se agrupan en general en Batallones, cuyos jefes las distribuyen en la forma que creen más conveniente, con arreglo a los trabajos a realizar o a las redes a explotar.

Pero los efectivos de las tropas técnicas están frecuentemente expuestos a ser inferiores a las necesidades; por tanto, la economía de personal en la medida precisa se impone para los trabajos en las vías férreas. Los comandantes de Batallón modificarán a este efecto, momentáneamente, sus Unidades, reforzándolas con elementos sacados de otras.

Esta distribución será prevista en la composición de las Unidades, que deberán estar compuestas por escuadras técnicas, susceptibles de ser segregadas del resto de la Unidad, medida utilizada solamente en casos excepcionales por el interés que se debe poner en mantener siempre cada Compañía a las órdenes de su capitán.

Esto se evitaría creando Unidades o Secciones de especialistas que, estando a las órdenes del jefe de Grupo, podrían ser enviadas por éste a los puntos donde creyera conveniente; en Francia se

crearon estas Unidades durante la guerra, estando constituídas por voluntarios procedentes del personal civil de las Empresas, y dieron un excelente resultado.

En la guerra pasada ha habido organizaciones ferroviarias en las que las Compañías eran idénticas, intercambiables, sin especialización; pero después crearon Unidades especializadas. No hubo aumento de fuerzas, pues estas nuevas agrupaciones eran extraídas de las Unidades normales, que, en cambio, perdieron de este modo valiosos elementos.

Así se organizaron Secciones autónomas de albañiles, carpinteros, montadores, equipos de levantamientos, Secciones de trenes auxiliares y Compañías de explotación, que aumentó la dificultad en las operaciones, pues las Compañías, que, a partir de la movilización, disponían de todas las profesiones útiles, divisibles en destacamentos gracias a la abundancia de sus cuadros, resultando aptas para desempeñar todos los papeles que se les podía asignar indiferentemente por tajos o por zonas, suministrándoles, caso de necesidad, ciertos medios suplementarios por el tiempo estricto que durase su cometido, al perder una parte de esos medios para concentrarlos en organizaciones distintas quedaron con más rigidez para el reparto del personal en los tajos.

Y, además, dada la psicología de los trabajadores, se vió que en la casi totalidad de los casos, la unidad de composición y de acción, asegurando la continuidad del trabajo a través de sus múltiples fases, desde su preparación hasta su conclusión, hacía más rápida su ejecución, cualquiera que fuese el método de trabajo.

No obstante todo lo manifestado, no hay unidad de acuerdo en la conveniencia de emplear uno u otro procedimiento, que tienen sus ventajas y sus inconvenientes, resultando con éxito unas veces y otras no, por lo que el criterio del Mando, ante las circunstancias de cada caso, decidirá sobre el mejor método a adoptar.

TRABAJADORES AUXILIARES.—Aquí tienen un gran campo de acción, puestos a disposición del director de Ferrocarriles, para sumarse a las tropas de esta especialidad. Pueden estar integrados por el personal siguiente:

Personal civil, contratado voluntariamente o por requisa, comprendiendo equipos civiles, técnicos o no, y hasta Empresas completas con su personal y material, puestas a la disposición de oficiales de Ferrocarriles para ejecutar ciertos trabajos.

Auxiliares trabajadores militares que se desplazan con las tro-

pas, asegurando el refuerzo sobre tajos sucesivos, a los que los oficiales de Ferrocarriles, ayudados por clases técnicas, fijan sus tareas, horas de trabajo, y contratan eventualmente las bases de su remuneración.

Elementos prestados del Ejército para algunas necesidades, disposición más generalmente adoptada para las redes de 0,60.

Estos agregados auxiliares a las tropas de Ferrocarriles suelen considerarse, como éstas, especializados en sus trabajos, y quedan encuadrados por suboficiales y clases de que se dispone al efecto, para destacarlos eventualmente a las Unidades de otras Armas a fin de asegurar la dirección de un trabajo técnico.

Con los auxiliares de más edad que cumplieron generalmente su servicio activo en Infantería se forman Compañías de excavadores, utilizándoseles, a su vez, para el transporte de materiales. Su capacidad técnica, pequeña al principio, se eleva rápidamente al poco tiempo de estar dedicados a un trabajo continuo.

Las tropas de Infantería, dirigidas por sus oficiales como jefes de tajo, tienen la ventaja de poder trabajar en las condiciones más difíciles del combate, haciendo sea la mano de obra auxiliar más potente por su número y aún más por su calidad.

La tropa que ejecute un trabajo debe ser, en lo posible, la que haya de utilizarlo. Sus jefes directos son los responsables de la policía del tajo, del número de trabajadores presentes y de la buena ejecución del trabajo, ajustándose por completo a las instrucciones técnicas que se les den.

Siempre que se pueda debe ser utilizada la mano de obra civil, con lo que permite dejar un mayor número de elementos militares a disposición del Mando. Su empleo debe ser en las inmediaciones de las localidades donde habiten los trabajadores. En tajos importantes, estos trabajadores se organizan en grupos mandados, dirigidos y, a ser posible, vigilados por cuadros militares; su alimentación y alojamiento deberán estar previstos, y, en gestión directa, nunca sufrirá retraso alguno el pago de sus jornales.

En los trabajos de vanguardia la permanencia de los trabajadores es casi imposible de conseguir, ya que la mano de obra está constituida generalmente por combatientes sometidos al juego de los relevos de orden táctico. Este inconveniente debe tratarse de reducir al mínimo, asegurando la permanencia de los directores de trabajo, proporcionando la mayor protección a los trabajos, efectuando cuidadosa y ordenadamente los relevos, etc., etc.

II. Aspecto general de la red ferroviaria española ante la defensa de sus fronteras.

España está surcada por una serie de vías férreas, de anchura de vías variable, que dificulta grandemente su explotación en caso de guerra.

Ellas, agrupadas en una serie de Compañías concesionarias que las explotan, con sujeción a reglamentos de circulación diversos, constituyen los ferrocarriles de interés o servicio general, los de interés o servicio particular y los ferrocarriles secundarios y estratégicos.

Por último, existen en la actualidad una serie de líneas férreas en construcción, cuyos trabajos podrán ser utilizados en su día por las tropas de Ferrocarriles y otros cuantos trazados en estudio, que servirán para facilitar los proyectos de algunos ferrocarriles en campaña.

Dada esa diversidad de vías de ancho distinto, que hacen muy difícil la aplicación de unas con respecto a las otras, mientras no se llegue a su unificación y el que en su trazado no ha presidido una idea estratégica afortunada, se comprende la dificultad con que han de tropezar las tropas de Ferrocarriles para utilizarlas y ampliarlas en caso de guerra.

Las líneas que de la capital van a las fronteras son de una importancia enorme, y más las que unen Madrid con la frontera francesa, que son, a su vez, normales al segundo frente de la defensa natural, el Ebro en su curso medio, el cual no tiene más comunicación ferroviaria con el centro de la Península que las líneas Zaragoza-Madrid y Miranda de Ebro-Madrid, la primera de ellas todavía con una solución de continuidad en su doble vía desde Baidés a Ricla, 156 kilómetros.

Una línea que pasase por el centro Miranda-Zaragoza tiene una gran importancia estratégica por facilitar de manera extraordinaria la comunicación de aquel frente de tanta longitud sin comunicación intermedia. Esa línea nueva debería llegar hasta Pamplona.

Las vías que tienen doble vía son escasísimas y están distribuidas por trozos interrumpidos, lo que retrasará atrozmente el tráfico ferroviario en caso de guerra.

En general, la densidad de los ferrocarriles españoles en los frentes de las fronteras no será la suficiente, ni mucho menos, pues

en las organizaciones ferroviarias fronterizas, y sobre todo en las montañosas, debe reducirse al mínimo el espacio que haya de recorrerse con otros medios de transporte que no sea el ferrocarril, y, según veremos, nos encontramos hoy día con espacios amplísimos en aquellos lugares en los cuales no hay comunicación alguna ferroviaria establecida, quedando a cargo de las tropas de Ferrocarriles, en caso de una campaña, la abertura de estas vías, necesarias a toda costa para la vida de los Ejércitos defensores de las fronteras, con lo cual se les originará a esas tropas, en momentos difíciles, un trabajo abrumador que no podrán llevarlo a efecto oportuna y debidamente en un relativo corto espacio de tiempo, y que querrá exigírseles cuando ya no es ocasión de ello.

FRONTERA PIRENAICA.—Supondremos ya situadas las fuerzas suficientes para la defensa, dividida con arreglo al criterio generalmente sustentado en tres sectores guarnecidos por tres Ejércitos diferentes, y que la defensa se realiza en los propios Pirineos.

El primer sector comprende desde Fuenterrabía a Roncesvalles. Las bases de la defensa inmediata son Pamplona y San Sebastián. Sector de concentración, la zona San Sebastián-Pamplona-Tafalla-Estella-Vitoria-Bilbao. Línea de estaciones de transmisión, Bilbao-Vitoria-Estella-Tafalla-Sádaba. Límite de la red de los Ejércitos. Santander-Burgos-Soria-Calatayud.

Por tanto, los ferrocarriles que en esta zona corresponderá explotar a las tropas de Ferrocarriles serán los siguientes:

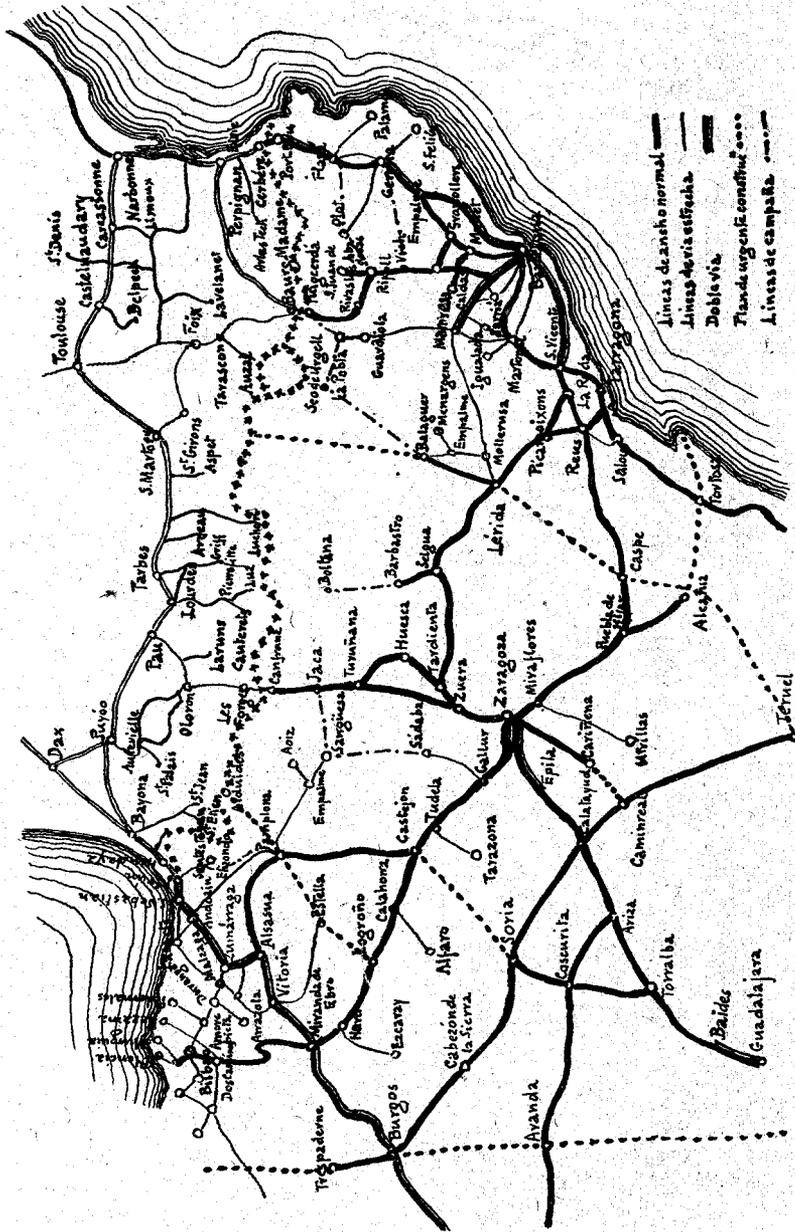
Vía ancha. — (Vitoria-Alsasua, 43 kilómetros, una Compañía.) (Alsasua-Zumárraga, 30 kilómetros, una Compañía.) (Zumárraga-San Sebastián, 55 kilómetros, dos Compañías.) Estos tres sectores con doble vía. (Alsasua-Pamplona-Tafalla, 95 kilómetros, tres Compañías.)

Vía estrecha.—(Bilbao-Malzaga, con los ramales Durango-Arrazola y Amorebieta-Guernica-Pedernales, 90 kilómetros, tres Compañías.) (Zumárraga-Malzaga-San Sebastián, 80 kilómetros, dos Compañías.) (Vitoria-Vergara-Mecolalde, 60 kilómetros, dos Compañías.) (Pamplona-San Sebastián, 95 kilómetros, tres Compañías.)

Ferrocarril eléctrico.—(Pamplona-Sangüesa y ramal a Aoiz, 58 kilómetros, dos Compañías.) (Zumárraga-Zumaya, 37 kilómetros, una Compañía.) (San Sebastián-Tolosa-Hernani, 38 kilómetros, una Compañía.)

En total, 21 Compañías de explotación.

La zona francesa que se corresponde con ésta está surcada con



- Lineas de ancho normal
- Lineas de via estrecha
- Doble via
- Plazas de armeria y condados
- Lineas de campaña

profusión de vías, y muy bien combinadas las de doble vía, que les facilitará grandemente las operaciones.

En nuestra zona se ve la necesidad del ferrocarril de vía ancha Soria-Castejón, mas directa entre Madrid y Pamplona, debiendo ser todo él de doble vía hasta Pamplona, así como completar también la doble vía en el trozo Baidés-Torralba-Soria y Ricla.

Habrà que hacer de vía ancha los trozos Gallur-Sádaba y Sangüesa-Pamplona, uniendo asimismo Sádaba y Sangüesa, y este último punto con Jaca, siguiendo el valle del Aragón.

Unir con doble vía normal Logroño-Estella-Pamplona, cuya prolongación en proyecto hasta Alduides podrá ser de utilidad a la red de vía estrecha que parte de Pamplona. También habrá de unirse con vía de 0,60 Pamplona con Santesteban.

En este sector, no obstante, vemos dominan los servicios de explotación a los de construcción.

En el sector central, Jaca-Barbastro-Balaguer serán las bases. La línea de estaciones de transición, Sádaba-Zuera-Tardienta-Selgua-Lérida-Mollerusa. Límite de la red de los Ejércitos, Zaragoza-Puebla de Híjar-Caspe.

Ferrocarriles a explotar en la zona por las tropas de Ferrocarriles:

Vía ancha. — (Zuera-Ayerbe, 47 kilómetros, una Compañía.) (Zuera-Huesca-Ayerbe, 84 kilómetros, dos Compañías.) (Ayerbe-Jaca, 76 kilómetros, dos Compañías.) (Selgua-Barbastro, 20 kilómetros, una Compañía.) (Lérida-Balaguer, 28 kilómetros, una Compañía.)

Vía estrecha. — (Mollerusa-Balaguer y ramal a Menargens, 30 kilómetros, una Compañía.)

Total, ocho Compañías de explotación.

Convendrá la unión de Caminreal con Cariñena, en proyecto, así como Teruel-Caspe-Lérida, ambos de vía ancha. La doble línea desde Zaragoza a Tardienta, Tardienta-Lérida y Ayerbe-Jaca.

En esta zona el ferrocarril Balaguer-Salau está en construcción.

Este sector tiene muy malas comunicaciones ferroviarias, y habrá que establecer una extensa red de vía de 0,60; así, un ramal indicado será Barbastro-Boltaña.

El sector oriental comprende desde Puigcerdá a Port-Bou, con base en Seo de Urgel y Gerona. La línea de estaciones de transición, Manresa-Granollers-Empalme.

Límite de la red de los Ejércitos, Reus-La Roda-San Vicente.

Ferrocarriles a explotar en la zona:

Vía ancha.—(Granollers-San Juan de las Abadesas, 87 kilómetros, dos Compañías.) (Empalme-Figueras, 71 kilómetros, dos Compañías.) (Ripoll-Puigcerdá, 49 kilómetros, una Compañía.)

Vía estrecha.—(Manresa-Guardiola, 71 kilómetros; Manresa-Suria, 14 kilómetros; Guardiola-Castellar, 12 kilómetros; tres Compañías.) (Olot-Gerona, 55 kilómetros, dos Compañías.) (Gerona-Palamós, 50 kilómetros, dos Compañías.) (Gerona-San Feliú de Guixols, 40 kilómetros, una Compañía.)

Total: 13 Compañías de explotación.

Deberá unirse Balaguer con Seo de Urgel y Puigcerdá, y una de las vías de 0,60 más importantes será Rosas-Figueras-Olot-Ripoll-Guardiola, por la cuenca del río Fluviá, y otra, Gerona-Vich, por la del Ter. Como en las anteriores, la zona francesa está muchísimo más poblada de líneas férreas que marchan paralelas a la frontera, desprendiendo ramales a los pasos obligados.

En general, y como unión importantísima de los tres sectores, deberá existir la doble línea Bilbao-Miranda-Logroño-Castejón-Casetas-Zaragoza-Puebla de Híjar-Caspe-Mora-San Vicente.

FRONTERA PORTUGUESA.—En toda ella no hay un solo trozo de ferrocarril de doble vía, con lo cual se retrasa notablemente la concentración, más complicada todavía, puesto que en dirección de la frontera no se encuentra en sus 984 kilómetros de desarrollo más que los contados ramales que van a Badajoz, Valencia de Alcántara, Fuentes de Oñoro, La Fregeneda y el de Orense-Túy hasta La Cañiza, pues a partir de allí van tan pegados a la frontera que hará sumamente vulnerable su utilización.

Por tanto, será preciso, por lo menos, que las tropas acometan los ramales intermedios Zafra-Badajoz, Plasencia-Coria y Orense-Verín, en contraposición a los de los portugueses existentes.

Aquí el empleo de las tropas de explotación sólo tendrá que hacerse en pequeña escala, teniendo mucha más importancia las de construcción si se sitúa, como es de suponer, la línea de estaciones de transición a partir de Zafra-Mérida-Cáceres-Salamanca-Orense, sensiblemente paralela a la frontera.

III. Las tropas de ferrocarriles durante la retirada.

En toda retirada ha de tratarse de dificultar la persecución que inmediatamente de originada aquélla tratará, en general, de ejercer el adversario, creándole obstáculos que dificulten sus movimien-

tos y perjudiquen el abastecimiento de sus fuerzas en municiones, material, víveres, etc., para lo cual se presenta la necesidad de retardar, en lo posible, la marcha del enemigo y privarle de los recursos que le podría proporcionar la zona evacuada.

He aquí dos fases iniciales de esta decisión, en las cuales juegan un importantísimo papel las tropas de Ferrocarriles, constituyendo, indudablemente, la principal y más delicada actuación de ellas en su imprescindible colaboración ante estas circunstancias.

Por medio de los ferrocarriles se hará el necesario transporte a retaguardia del mayor número de elementos vitales para un Ejército que sea posible evacuar, en el plazo propuesto por la Superioridad; pero esta utilización tiene un límite máximo característico en cada caso particular, el cual no se puede en modo alguno rebasar, y es la capacidad de la red de que se trate.

Con perfecto conocimiento de ella, el Mando dictará las órdenes oportunas, detallando el escalonado empleo de los ferrocarriles, y a las tropas de explotación no les queda más misión que establecer el servicio con una escrupulosa regularidad, tratando por todos los medios de evitar y encauzar sus alteraciones y de obtener el mayor rendimiento.

Una vez realizado este servicio con toda la amplitud posible, entra en acción la otra fase considerada anteriormente, ligada a su vez a ésta, y es la necesidad de la destrucción de las comunicaciones para evitar el abandonarlas en condiciones de ser usadas por el enemigo en su propio beneficio.

Para ello, el Alto Mando, con su criterio perfectamente definido, establece un plan general, meditado con arreglo a sus intenciones de maniobras posteriores, tiempo que quiera ganar y tiempo y medios de que disponga, fijando, a la vista de estos datos, la importancia de las destrucciones que hayan de efectuarse, siendo de éstas las que se relacionen con las vías férreas una parte integrante de ese plan general.

Pero la mayoría de las destrucciones de las vías férreas no se improvisan, pues exigen una acumulación de medios y una ejecución de trabajos muy importante, sometidos a un detenido estudio, que habrá de hacerse con la debida anticipación para que, una vez redactado el proyecto y aprobado por la Superioridad, sean puestos en práctica y queden en condiciones de cumplir su misión en momento oportuno.

En tiempo de paz, se realiza parte de ese estudio y hasta la pre-

paración de las destrucciones de las obras de arte importantes de las líneas férreas de la nación, faltando únicamente la colocación de la carga explosiva, ya calculada, que ha de realizar la destrucción, dejando únicamente para el tiempo de guerra el estudio de las disposiciones improvisadas que dicte el general en jefe o el general del Ejército. La destrucción de las vías férreas se realiza en las obras de arte, en la infraestructura y superestructura de la vía, material de explotación, talleres y fábricas, alcanzando a la totalidad de sus elementos de modo que poco o nada de cuanto exista pueda aprovecharse después.

La vía queda invertida completamente o destruida en su sitio.

En las obras de arte no hay que limitarse a romper puentes, inutilizar túneles, etc., sino que se cortan los pasos a nivel, inferiores y superiores, no sólo rompiéndolos, sino volando a ambos lados de la obra destruida el firme en una longitud no inferior nunca a 200 metros en cada dirección, para evitar la aproximación de los Parques y talleres de reparación.

Los terraplenes y desmontes se inutilizan en todos los puntos que el terreno lo permita, colocando hornillos escalonados que produzcan gran volumen de tierras desprendidas.

Los túneles se vuelan, a ser posible, en la mayor parte de su extensión, dejando en su interior parte del material móvil que no pueda retirarse y que, mezclado luego con los materiales derruidos, dificultará grandemente la nueva horadación. Habrá que organizar en ellos grupos de hornillos casi continuos, y el trabajo de preparación será, generalmente, enorme, necesitando un estudio que procure a toda costa obtener el mayor entorpecimiento con la menor cantidad de explosivo posible, reduciendo al mínimo el trabajo que ocasione la construcción de las cámaras para su alojamiento y su número para obtener el objeto deseado.

Si esta destrucción va acompañada de un cierto número de minas de acción retardada, que producen efecto desmoralizador en las tropas enemigas, retrasando enormemente su marcha por la dificultad que de este modo presentan al restablecimiento de la comunicación interrumpida, supone un verdadero derroche de explosivos.

Esta clase de destrucciones tendrá principal aplicación en las fronteras, con objeto de crear un obstáculo capaz de dar tiempo a la concentración de las fuerzas y presentarlas en condiciones de poder entablar combate.

Los hornillos colocados en los riñones y claves de las bóvedas

tendrán la separación precisa para que las esferas de ruptura se corten.

En los puentes, para evitar que el enemigo pueda aprovechar los elementos del puente volado, deberán destruirse rompiendo las vigas por varias secciones, destruyendo fragmentariamente las pilas y estribos e inutilizando los terraplenes de acceso, si existen, o bien los desmontes, con importantes voladuras en sus taludes que cubran la vía con una enorme cantidad de metros cúbicos de tierras desprendidas.

Para inutilizar la vía, el procedimiento más expedito será hacerla saltar por medio de un petardo, colocados alternadamente en juntas de cada dos carriles, que harán inutilizables una parte de ellos y obligará a cortarles la parte útil para obtener longitudes aprovechables. O con una cadena terminada en un gancho, que, colocado en la cabeza y debajo de los carriles, los levantará al ser arrastrada aquélla por una locomotora; pero en la pasada guerra lo que más usaron fué formar con carriles un triángulo curvilíneo, formado por dos carriles largos rectos, unidos por los extremos, separados por un trozo curvo, que se colocaba debajo de los extremos de los carriles del trozo de vía que se trataba de levantar, y uniendo el vértice formado por los lados rectos por medio de una cadena al gancho de una locomotora, que, al ponerse ésta en marcha, arrancaba grandes extensiones de vía con gran facilidad. A continuación un equipo completaba la destrucción desembridando los carriles arrancados, apilando las traviesas y, sobre ellas, todo el material de hierro arrancado, que, al prender fuego a la madera, quedaba completamente inutilizado. Después otro personal diseminaba el balasto a ambos lados de la vía.

Ahora bien: en estos casos la reposición resulta fácil, pues basta volver a tender nueva vía sobre el balasto existente, que nunca se habrá diseminado lo suficiente. Destruyendo sobre el terreno todo el material de hierro, y en lo que se pueda las traviesas y la explanación, la reparación se complica al tener que desmontar previamente lo que queda de la vía, trabajo superior al de su reposición propiamente dicho.

Las agujas, cruces y aparatos de maniobra se inutilizarán por medio de explosivos.

En la destrucción de *hangares*, que, dada su misión en estos casos, almacenarán grandes cantidades de materias combustibles, como maderas, carbón, grasas, etc., el procedimiento más práctico y to-

tal será el incendio, cortando preliminarmente las tomas de agua que a ellos lleguen.

En las estaciones hay que destruir metódicamente los aparatos, agujas, cruces, señales, enclavamientos, etc.; las conducciones de agua deben demolerse de una manera completa en todas sus partes no enterradas, y los depósitos deben desfondarse; las redes telegráficas y telefónicas son destruidas fácilmente cortando los hilos, con los que se hace una maraña, volando los postes y destruyendo los aparatos. Las edificaciones se inutilizan incendiándolas.

Una parte importantísima de algunas estaciones serán los talleres. Su destrucción se consigue deshaciendo en sus orígenes los manantiales de energía, si aquéllos funcionan eléctricamente, los órganos de transmisión del movimiento, así como las grúas puente. Por último, inutilizando la maquinaria.

Dada la cantidad de material móvil que necesita un Ejército para su servicio se comprende la necesidad de escatimar su destrucción, teniendo en cuenta la facilidad con que se presta a ser retirado de los lugares avanzados; por tanto, en este caso lo primero que habrá que atender es a su retirada, después a su inutilización y, por último, a su destrucción.

En las locomotoras hay órganos tan esenciales que sin ellos resulta imposible su funcionamiento, y otros de menor importancia cuya falta no lleva consigo la inutilización de la máquina, aunque sí su funcionamiento defectuoso. Por tanto, para su inutilización habrá, por lo menos, que recurrir a destruir alguno de los primeros. A su vez los hay los que con su desaparición o inutilización llevan consigo la de la máquina, pero que pueden repararse con relativa facilidad, permitiendo poner a la locomotora nuevamente en condiciones de prestar servicio, y otros en los cuales la avería que producen es de imposible reparación, por lo menos en un plazo de tiempo bastante grande. Estos son los que llevan la inutilización verdadera de la locomotora.

En las distribuciones Stephenson, Gooch o Allan se pueden desmontar con bastante facilidad las excéntricas y sus collares, quedando la máquina por completo inutilizada y de reparación muy difícil de realizar, porque estos órganos han de estar perfectamente ajustados a la máquina y los de una no sirven para otra, aunque sean del mismo tipo. Precisarían proceder con las piezas que hubiera que sustituir a fundirlas, torneárlas, ajustarlas y calarlas, operaciones que requieren mucho tiempo y, algunas de ellas, son de

ejecución muy delicada. Guardando, pues, las piezas desmontadas es muy sencillo, caso de tener que utilizarlas de nuevo, proceder a su rápido montaje. En la distribución Walchaert, las contramanivelas son fácilmente desmontables, y dejan a la máquina inservible y de reparación difícil, por ser dicha pieza de forja muy gruesa que requiere un torneado y ajuste perfecto, aparte de la dificultad de ejecutar la entalladura para que resulte el ángulo de calado que requiere su buen funcionamiento. En cambio, si se tuviera que poner nuevamente en servicio, el montaje de estas piezas para el que las conserva es cuestión de poco tiempo, escasamente una hora.

Pero si no se trata de un abandono circunstancial, o de escasez o carencia de explosivos, conviene ampliar su destrucción, colocando una carga explosiva dentro del hogar, destrucción mucho más importante, o bien deshacer los cilindros.

Toda destrucción, en general, completa, a fondo, se hará empezando por la parcial y ampliándola luego hasta el límite que se desee, cosa que no presenta dificultad alguna disponiendo de tiempo y explosivo.

Los coches y vagones se destruyen con explosivos los ejes o *bogies* sobre los que se apoyan, se rompen los largueros del bastidor o bien se queman las cajas.

Los elementos de la vía normal, por su capacidad, son los que merecen tomarse más en consideración, pues resulta ser el órgano potente y flexible, de importancia primordial en el problema de las comunicaciones, y merced a ella se ejecutan rápidamente los transportes.

La vía métrica tiene ya un rendimiento más limitado, siendo, pues, únicamente un auxiliar por las dificultades enormes que presenta el refuerzo de los recursos de una red con elementos de otra, dada la diversidad de tipos.

En cuanto a la vía de 0,60, sabemos es un órgano de distribución que asegura la prolongación de la vía normal y permite distribuir hasta las Unidades y servicios fijos al terreno los aprovisionamientos necesarios, siendo su rendimiento muy pequeño. Su actuación resulta puramente de carácter local y sin que resuelva ningún otro problema; por tanto, su ocupación, con fines distintos para los que fué proyectada, pierde, en general, de interés, no haciendo necesaria su destrucción total, pues, a poco que sea el obstáculo que en estas condiciones presente al enemigo, éste, desde luego, la abandonará por completo.

Así, pues, el estudio de su destrucción debe limitarse sólo a dejarla en condiciones que no le sean útiles al enemigo el empleo de sus elementos, inutilizando la vía y destruyendo el material móvil, únicos elementos de completa utilización por el enemigo, y que no será, en general, posible retirarlos oportunamente a retaguardia.

Siguiendo las normas anteriores se hará por las tropas de Ferrocarriles el estudio de todas las destrucciones a efectuar en su zona de acción, y, una vez los correspondientes proyectos de éstas sometidos a la aprobación, se recibirán las órdenes oportunas para el comienzo de los trabajos de preparación de aquellas disposiciones de mina permanente que hasta entonces no hayan sido efectuados, quedando, por tanto, para hacer en momento oportuno la carga de estas minas y la ejecución de los trabajos necesarios para poner en acción las disposiciones de mina improvisadas.

Estos estudios habrán sido hechos con todo detalle, fijando el tiempo necesario para llevarlos a cabo en su totalidad, con unos efectivos determinados, clase de explosivo que se va a emplear y cantidad del mismo, y, por último, efectos probables que ha de producir su explosión y extensión de los mismos.

En estudio aparte se someterá a la aprobación de la Superioridad aquel que se refiere a minas de explosión retardada, que se colocarán perfectamente disimuladas, generalmente en aquellos sitios que deliberadamente se trate de abandonar intactos con miras a su recuperación; y estas minas han de establecerse con arreglo a un plan que figure perfectamente detallado en planos exprofeso, con objeto de que, en su día, puedan ser retiradas aquéllas que no hayan tenido tiempo de hacer explosión.

Ante la necesidad de la destrucción de una línea, el Mando fijará la amplitud de la misma y el momento de empezar su preparación, con el orden de urgencia de los trabajos, si no es posible hacerlos todos a la vez, así como el tiempo disponible para ello.

A la ejecución de estos trabajos seguirá, en momento oportuno, la orden de fuego, que se cumplimentará con toda exactitud por los elementos encargados de ello.

Este es un asunto de gran especialización para el personal que ha de ejecutar los trabajos, y, por eso, en la guerra pasada, existían Compañías de Ingenieros encargadas únicamente de efectuar los trabajos preparatorios de todo el plan general de destrucciones, teniendo el capitán de ella, directamente en contacto con el Mando, la responsabilidad de las voladuras.

LEANDRO CAÑETE HEREDIA

-:- TENIENTE DE INGENIEROS -:-

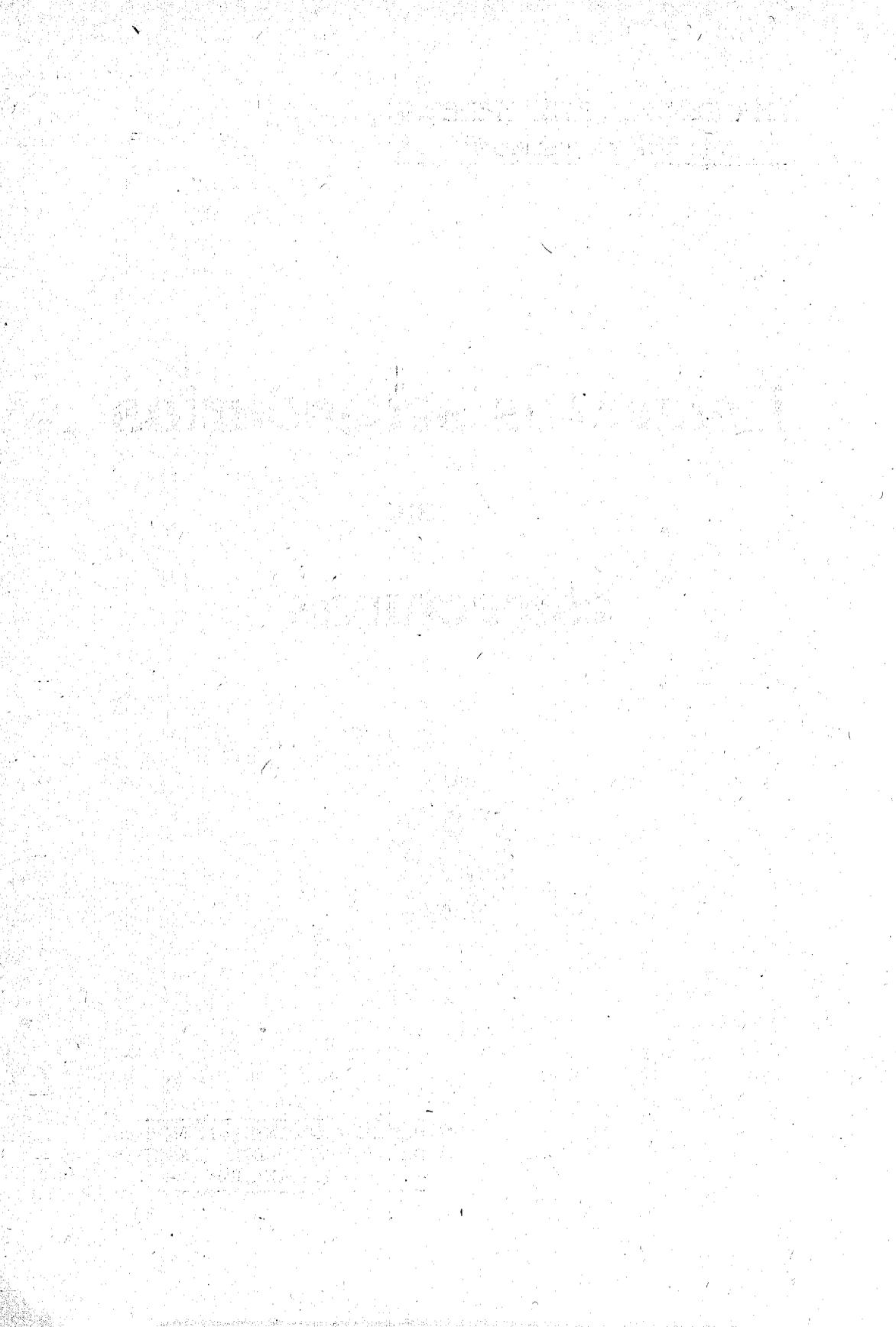
Esfuerzos secundarios

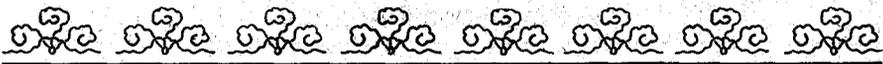
en las

estructuras



PUBLICACIÓN DEL «MEMORIAL
DE INGENIEROS DEL EJÉRCITO»
-:- -:- MADRID, 1934 -:- -:-





1. Naturaleza general del problema.

Los métodos estudiados en la mecánica de la construcción para la determinación de los esfuerzos en una estructura articulada suponen que sus diversos elementos están unidos por articulaciones sin rozamiento, los cuales permiten a las barras ciertos giros para tomar su posición de equilibrio al ser sometida la estructura al régimen de cargas que requiere su empleo.

También se suponen concurrentes los ejes longitudinales que pasan por el centro de gravedad de todas las barras de los nudos, estando situados en dichos puntos de encuentro los ejes de las articulaciones y, además, que las cargas se aplican en los nudos mismos.

Con todas estas hipótesis se encuentran las barras sometidas sólo a esfuerzos de compresión o de extensión, y, por tanto, entre límites sufren sólo deformaciones elásticas, sin dejar de ser recto el eje de las barras entre dos nudos. Los esfuerzos calculados en estas condiciones ideales se llaman "axiales, directos o primarios", y en todo lo que sigue los conoceremos con dicho nombre.

En la práctica, estas condiciones no se realizan. Las articulaciones, lejos de no tener rozamiento, ofrecen, por el contrario, una resistencia al giro de la barra en el nudo tanto mayor cuanto más grande sea el esfuerzo que soporta la barra. Además, no siempre se pueden hacer coincidir los ejes de las piezas, por dificultades de construcción. Por todas estas razones, y otras importantes que estudiaremos después, las condiciones ideales antes expuestas faltan y hacen que las estructuras estén sujetas a unos momentos de flexión y esfuerzos cortantes que dan lugar a las acciones axiales y a otros esfuerzos adicionales, conocidos por el nombre de "secundarios".

Las causas más importantes de los esfuerzos secundarios son debidas a los momentos de flexión de las barras por la rigidez de

las juntas, excentricidad de las articulaciones o de los ejes en las armaduras rígidas, la acción de las cargas no aplicadas en los nudos o el peso propio de las piezas, que produce el mismo efecto. Para dar una idea general de los momentos y esfuerzos adicionales que se originan en las barras por causa de la rigidez de los nudos se dibuja la figura 1, en la cual la línea de puntos es la forma de la viga

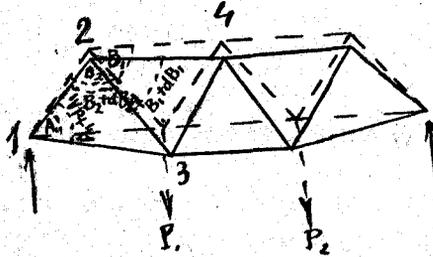


Fig. 1

sin cargar, una estructura Warren, y la línea llena la misma viga cuando se han aplicado las cargas gradualmente, que producen las variaciones de longitud de las barras y la estructura se deforma, según estudiamos ya, pero en la hipótesis de articulaciones sin rozamiento; y ya sabemos que este cambio de forma es debido a la variación de los ángulos de los diferentes triángulos, originada por los cambios de longitud, bajo la acción de los esfuerzos primarios. Así, en el nudo 2, el ángulo B de la figura de trazos viene a ser el $B_1 + d B_1$ de la figura en línea llena. La variación del ángulo lo representamos por $d B_1$, existiendo análogas condiciones en los demás nudos.

El método para calcular la variación de los ángulos se da en el párrafo siguiente.

Cuando las barras en todas las juntas no están preparadas para acomodarse por sí mismas a los cambios angulares, sea por el rozamiento o por la rigidez del nudo en la viga roblonada, los ángulos no pueden cambiar, y como la viga ha de deformarse, como se ve en la figura 1, las barras sufrirán deformaciones, como se ve en la figura 2, dando lugar a momentos de flexión por el cambio de figura de su eje, que no será ya recto. Así, en el nudo 2 (fig. 2), los ángulos B y B_2 son los mismos que los de la figura 1 en línea de trazos. En los extremos de cualquier barra, tal como la 1-2 (fig. 2), las tangentes a la curva elástica, que es el nuevo eje, forman ángulos τ_{12} y τ_{21} con la recta primitiva. La determinación de estos ángulos y de

los momentos de flexión resultantes es lo que tratamos de efectuar, así como el aumento o disminución de los coeficientes de trabajo por los esfuerzos adicionales.

Los esfuerzos secundarios debidos a la excentricidad de los nudos y los causados por el peso propio de los elementos de la estructura tienen una intensidad mayor, por la continuidad de las barras

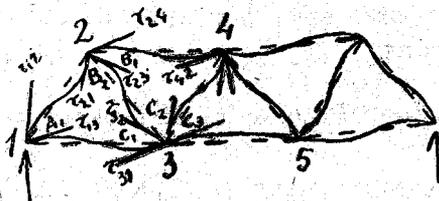


Fig. 2

que les da la rigidez de las uniones. Los momentos de flexión y las acciones unitarias en las fibras de mayor trabajo son a menudo grandes, según se verá en los cálculos y discusión que sigue. En general, hay también esfuerzos secundarios axiales simultáneos con la flexión, pero los secundarios axiales son tan pequeños que se pueden despreciar.

El estudio completo de los esfuerzos desarrollados en una estructura, tal como se lleva a la práctica, no analiza los esfuerzos secundarios, ni se preocupa de su determinación; pero en las estructuras extraligeras empleadas hoy en la Aeronáutica se exigirá siempre un cálculo que muchas veces obligará a ciertas modificaciones y refuerzos, sobre todo en los nudos donde haya montantes empotrados, para aumentar la rigidez, permitiendo aligerar en gran proporción las piezas principales.

Las enseñanzas de la práctica y las conclusiones de la teoría muestran que los esfuerzos secundarios pueden adquirir pequeños valores si se siguen ciertas reglas y se tienen en cuenta las indicaciones dadas al final, aunque no siempre se puede—caso frecuente en Aeronáutica—al proyectar una estructura de importancia, pues los esfuerzos secundarios dependen, en general, de las deformaciones en los elementos de las armaduras y vigas, originadas por los esfuerzos primarios calculados previamente, siendo entonces como resultado de éstos como se pueden obtener los secundarios.

El método para la determinación de los esfuerzos secundarios que vamos a exponer se funda en ciertos principios y estudios he-

chos por el profesor Winkler y publicados en su obra *Brückenbau* (1). Después, el método fué simplificado en su notación y, sobre todo, ordenado, empleando el sistema de tablas, por el profesor Turneame, quien le ha dado una forma práctica y útil, pues permite el desarrollo de cálculos, evitando las equivocaciones, las cuales son difíciles de conocer hasta muy avanzado aquél y de más difícil comprobación, aun sólo por la idea que se tenga del orden de magnitud en ciertos esfuerzos y naturaleza y sentido de las deformaciones en los ejes de las barras.

2. Determinación de los cambios angulares.

En un triángulo de una estructura, por causa de las variaciones de longitud de sus barras, los ángulos sufren variaciones, como se indicó en la figura 1. Supongamos la armadura de la figura 3, viga estrictamente indeformable, sea $A B C$ uno de los triángulos, y llamemos $a b c$ las longitudes de sus lados, y supongamos que F_a , F_b y F_c representan los esfuerzos en cada barra, y que para precisar dichas fuerzas sean de extensión tratemos de calcular y hallemos la expresión del *cambio angular* del ángulo $C A B$ debido a estos esfuerzos. Sea $\alpha = \text{ángulo } C A B$ y $d \alpha$ su cambio angular.

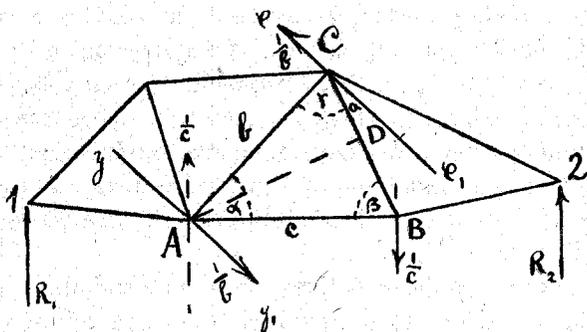


Fig. 3

Puesto que las deformaciones de las barras son siempre muy pequeñas, comparadas con las dimensiones de la estructura, $d \alpha$ puede considerarse como la suma de los ángulos que han girado las barras $A C$ y $A B$. La rotación angular de la barra $A C$ es igual a la deformación de C a lo largo de la línea $\rho - \rho_1$, perpendicular a $A C$,

(1) Construcción de puentes.

más la deformación de A a lo largo de $y - y$, perpendicular también a AC , dividido por b longitud de la barra AC , es decir, camino recorrido partido por el radio, sustituyendo el arco por la perpendicular al radio, pues el error es de orden inferior.

$$\text{Así, pues, } \alpha b = \frac{\Sigma \frac{F l}{S E} u}{b} \quad \text{en lo cual} \quad (1)$$

F = esfuerzo en cualquier barra.

b = longitud de una cualquiera.

S = sección transversal (o máxima).

E = coeficiente de elasticidad.

u = deformación originada por la carga unitaria en la viga.

En este caso se ve que la carga de un kilogramo actuando en las direcciones de $\rho - \rho$ e $y - y'$ se puede sustituir, es decir, produce el mismo efecto si fuera $\frac{1}{b}$ y la fórmula es de la misma forma.

Del mismo modo, la carga $\frac{1}{c}$, actuando en dirección perpendicular a AB , daría la rotación angular de AB , sumando las dos rotaciones obtenidas tendremos:

$$d\alpha = \Sigma \frac{F l}{S E} u \quad [1]$$

en la cual U está determinado por las condiciones de la figura 3.

Los valores de U se obtienen fácilmente y son:

$$u_a = + \frac{1}{c} \operatorname{cosec} \beta \quad u_b = \frac{1}{b} \operatorname{cogt} \gamma \quad u_c = - \frac{1}{c} \operatorname{cotg} \beta$$

El signo + indica extensión y el signo menos compresión. También sabemos que $\frac{F}{S} = R$ o esfuerzo unitario en cualquier barra.

Llamemos r_a , r_b y r_c el coeficiente de trabajo respectivo de ellas.

Sustituyendo estos valores en la ecuación de $d\alpha$ tenemos

$$d\alpha = \frac{1}{E} (r_a a u_a + r_b b u_b + r_c c u_c)$$

o bien

(1) Esta fórmula se halló en el artículo *Deformaciones elásticas de las estructuras*.

$$d\alpha = \frac{1}{E} \left(r_a \frac{a}{c} \operatorname{cosec} \beta - r_b \cotg \gamma - r_c \cotg \beta \right)$$

Si AD es la perpendicular trazada a CB , se ve fácilmente que

$$AD = \frac{a}{\cotg \gamma + \cotg \beta}$$

pero

$$\frac{a}{c} \operatorname{cosec} \beta = \frac{a}{c \operatorname{sen} \beta} = \frac{a}{AD}$$

Así, pues,

$$\frac{a}{c} \operatorname{cosec} \beta = \cotg \gamma + \cotg \beta$$

Poniendo estos valores en la ecuación anterior encontramos finalmente:

$$d\alpha = \frac{1}{E} \left[(r_a - r_c) \cotg \gamma + (r_a - r_c) \cotg \beta \right] \quad [2]$$

De la misma manera obtendremos para los ángulos β y γ los valores

$$d\beta = \frac{1}{E} \left[(r_b - r_a) \cotg \gamma + (r_b - r_c) \cotg \alpha \right] \quad [3]$$

y

$$d\gamma = \frac{1}{E} \left[(r_c - r_b) \cotg \alpha + (r_c - r_a) \cotg \beta \right] \quad [4]$$

Estos cambios angulares serán positivos o aumentan si el signo del resultado es positivo y disminuye si su signo es negativo.

Como comprobación del cálculo de los cambios angulares en un triángulo tendremos:

$$d\alpha + d\beta + d\gamma = 0$$

puesto que la suma de los ángulos es constante y su diferencia debe ser cero.

Ejemplo. — Supongamos que el triángulo de la figura 4 forma parte de una viga, con las dimensiones y coeficientes de trabajo indicados sobre la figura. Se pide calcular los cambios angulares.

$$\left. \begin{array}{l} \cotg \alpha = 0,75 \\ \cotg \beta = 0 \\ \cotg \gamma = 1,33 \end{array} \right\} \text{el valor de } E = 22 \times 10^5 \text{ kgs.} \times \text{cm.}^2 \left\{ \begin{array}{l} r_a = + 11,25 \text{ kgs. m/m.}^2 \\ r_b = - 5,62 \text{ } > \\ r_c = + 7,20 \text{ } > \end{array} \right.$$

$$d\alpha = \frac{1}{22 \times 10^5} [(1125 + 562,5) 1,33 + (1125 - 720) \times 0] = + 0,001015$$

radiantes igualmente $d\beta = - 0,001454 \text{ rad.}$ y $d\gamma = + 0,00044 \text{ rad.}$

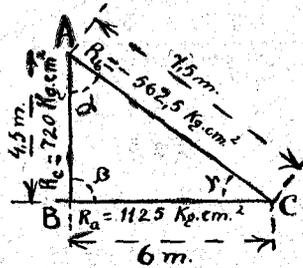


Fig. 4

y cuya suma es igual a cero. Si multiplicamos por 57°,3 tendremos el cambio angular en medida circular $d\beta =$ cinco minutos de arco.

3. Momentos en los extremos de una barra.

Según expusimos, los ejes de las barras dejaban de ser rectos. Las tangentes en los extremos formaban ángulos con la dirección primitiva de la barra, los cuales conoceremos con el nombre de “deformaciones angulares”. Estos daban lugar a momentos de flexión en los extremos de cada barra, y cuya expresión vamos a hallar en función de las deformaciones angulares.

La figura 5 muestra una barra, 1-2, aislada de la estructura. Las tangentes a la curva elástica en los extremos forman los ángulos τ_{12} y τ_{21} con el eje primitivo 1-2. La barra no puede tomar la forma indicada en la figura si no se aplican a sus extremos los momentos M_1 y M_2 y los esfuerzos cortantes C_1 y C_2 . Como las deformaciones son relativamente pequeñas en la barra, podremos prescindir del efecto de los esfuerzos primarios o axiales para la determinación de los momentos.

Si en la figura 5 tomamos los ángulos por sus tangentes tendremos:

$$\tau_{21} = \frac{\Delta_1}{l} \quad \text{y} \quad \tau_{12} = \frac{\Delta_2}{l}$$

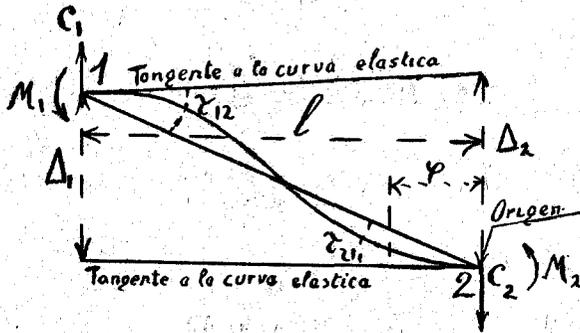


Fig. 5

Los valores de Δ_1 y Δ_2 pueden determinarse aplicando la ecuación $\frac{d^2 y}{d\varphi^2} = \frac{M}{EI}$ ecuación general de la curva elástica. Si tomamos como origen el punto 2, el momento en φ , debido a las fuerzas de la derecha, es:

$$M_\varphi = M_2 - \gamma_2 \varphi$$

Del momento en el extremo 1 sacamos $C_2 = \frac{M_1 + M_2}{l}$

y sustituyendo

$$M_\varphi = M_2 - (M_1 + M_2) \frac{\varphi}{l}$$

Si ponemos este valor en la ecuación de la curva elástica

$$EI \frac{d^2 y}{d\varphi^2} = M_2 - (M_1 + M_2) \frac{\varphi}{l}$$

integrando dos veces

$$EI \frac{dy}{d\varphi} = M_2 \varphi - (M_1 + M_2) \frac{\varphi^2}{l} + C_1$$

$$E I y = \frac{M_2 \varphi^2}{2} - (M_1 + M_2) \frac{\varphi^3}{6 l} + C_1 \varphi + C_2$$

Para de terminar las constantes de la integración notaremos que para

$$\varphi = 0, y = 0, \frac{d y}{d \varphi} = 0,$$

Así, pues,

$$C_1 = C_2 = 0$$

y como (fig. 5) para

$$\varphi = l \quad y = \Delta_1$$

Tendremos finalmente

$$\tau_{21} = \frac{\Delta_1}{l} = \frac{l}{6 E I} (2 M_2 - M_1) \quad [5]$$

Por el mismo procedimiento podemos demostrar que

$$\tau_{12} = \frac{\Delta_2}{l} = \frac{l}{6 E I} (2 M_1 - M_2) \quad [6]$$

Ahora resolviendo las ecuaciones [5] y [6] con relación a M_1 y M_2 , tenemos [7]

$$M_1 = \frac{2 E I}{l} (2 \tau_{12} + \tau_{21}), \quad y \quad M_2 = \frac{2 E I}{l} (\tau_{21} + \tau_{12}) \quad [8]$$

En las ecuaciones [5] a [8] se suponen positivos los ángulos y los momentos en sentido contrario de las agujas de un reloj.

Las expresiones [7] y [8] eran las que buscábamos, y en ellas entran los valores de τ_{21} y τ_{12} de las deformaciones angulares de las tangentes en los extremos de la barra, los cuales pueden ser positivos o negativos.

El carácter de los momentos [7] y [8] y la forma de la curva elástica depende, pues, de la magnitud y naturaleza de la deformación de dichos ángulos. En la figura 6 se indican los tres casos tí-

picos que pueden encontrarse, notándose que para cada uno de ellos existe el simétrico, es decir, caso en el cual las deformaciones angulares en los extremos tienen signos opuestos a los dados.

Los casos I y III son de doble curvatura, y el caso II de simple curvatura. Un caso especial del II ocurre cuando τ_{21} es negativo e igual a $2\tau_{12} = \tau_{21}$; entonces, de la ecuación [7] tenemos $M_1 = 0$, o bien el punto 1 es una rótula o articulación. Así, pues, cuando sólo actúa un momento, por estar articulado un extremo, la deformación angular de éste es la mitad de la del otro extremo.

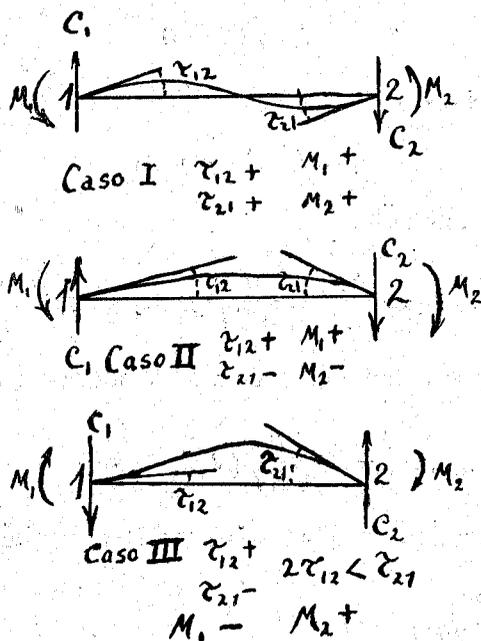


Fig 6

De los casos II y III se deduce que la naturaleza de los momentos en los extremos de una barra no pueden determinarse por los signos del ángulo en su extremo respectivo, sino que debe deducirse de las ecuaciones [7] y [8] por el efecto combinado de los signos de las deformaciones angulares en los dos extremos. Haremos resaltar esto por la facilidad con que se presta a equivocaciones y por la importancia que lleva consigo un error de esta índole al empezar a determinar los esfuerzos secundarios.

Ejemplo. — Supongamos que los cambios angulares calculados

para la figura 4 los tomamos para la barra AC , y vamos a calcular los momentos de flexión en los extremos de la barra, siendo su momento de inercia 177.000 cm^4 . Observaremos que las condiciones sueltas no son ciertas, pues los cambios angulares de la figura 4 afectan a ambas barras de cada nudo, según la rigidez propia de cada una. Llamemos τ_{AC} = deformación angular en A (fig. 4) y τ_{CA} a la de C . De los resultados obtenidos antes tenemos

$$\tau_{AC} = d\alpha = +0,001015 \quad \text{y} \quad \tau_{CA} = d\gamma = +0,00044$$

Tomando

$$E = 22 \times 10^5 \text{ kgs.} \times \text{cm.}^2 \quad I = 177.000 \text{ cm.}^4 \quad l = 750 \text{ cm.}$$

de las ecuaciones [7] y [8] sacamos

$$M_A = M_1 = \frac{2 \times 22 \times 10^5 \times 177 \times 10^3}{750} [2 \times 0,001015 + 0,00044] = \\ = 25700 \text{ kgcm.}$$

$$M_B = M_2 = 200000 \text{ kgcm.}$$

Como los momentos son positivos y los dos ángulos positivos también, este caso es el I de la figura 6.

4. Equilibrio de un nudo.

Si la estructura está en equilibrio, cada una de sus partes lo estará igualmente. Sea la figura 7 un nudo de una viga Warren, supuesto aislado del resto de la viga y bajo la acción de todas las fuerzas que en ella actúan. Suponiendo que los esfuerzos primarios se encuentren en el punto 2, su momento con relación a este punto es nulo y el nudo está en equilibrio bajo la acción de los momentos inducidos por la flexión de las barras y por los debidos a los esfuerzos cortantes en las barras actuando a las distancias d_1 , d_2 etc. de la intersección de las barras. Estos momentos y esfuerzos cortantes son iguales y opuestos a los considerados en los extremos de la barra de la figura 5. En general, ya dijimos que los momentos causados por los esfuerzos cortantes son muy pequeños y que pueden despreciarse sin gran error. En esta idea, las condiciones de equilibrio del nudo 2 son tales que

$$\Sigma M_2 = M_{24} + M_{23} + M_{21} = 0 \quad [9]$$

en cuya ecuación M_{24} = momento en el nudo 2 de la barra 2—4, y con arreglo a dicho convenio M_{42} = momento en 4 de la barra 2—4 notación que adoptaremos para todo el resto del artículo.

Las condiciones de equilibrio expresadas por la ecuación [9] pue-

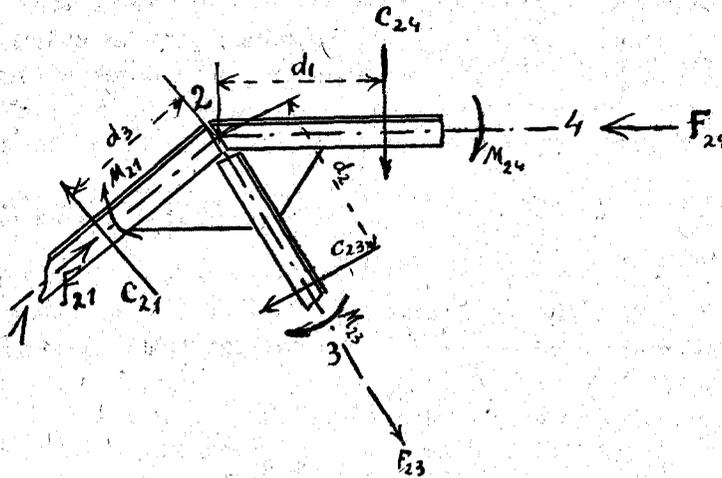


Fig. 7

den también expresarse en función de las deformaciones angulares de los extremos, sustituyendo, en lugar de M , sus valores dados por las ecuaciones [7] y [8]. Para asegurar la uniformidad de notación de ángulos y momentos llamaremos τ_{24} = deformación angular en 2 para la barra 2—4 y lo mismo para los otros ángulos. Tendremos entonces, en vez de la ecuación [9],

$$\Sigma M_2 = \frac{2 E I_{24}}{l_{24}} (2 \tau_{24} + \tau_{42}) + \frac{2 E I_{23}}{l_{23}} (2 \tau_{23} + \tau_{32}) + \frac{2 E I_{21}}{l_{21}} (2 \tau_{21} + \tau_{12}) = 0$$

Cada término de esta ecuación contiene el factor $\frac{I}{l}$. Si llamamos $K = \frac{I}{l}$ con un subíndice, indicando la barra en cuestión y dividimos por $2 E$, podremos escribirla.

$$K_{24} (2 \tau_{24} + \tau_{42}) + K_{23} (2 \tau_{23} + \tau_{32}) + K_{21} (2 \tau_{21} + \tau_{12}) = 0 \quad [10]$$

Esta ecuación es la condición fundamental que expresa el equilibrio de cada nudo en función de las deformaciones angulares de los extremos de las barras que concurren en el nudo.

Una ecuación análoga a la [10] podemos escribirla para cada nudo de la estructura, dando un número fijo de ecuaciones; pero los valores de τ en la ecuación [10] son todos desconocidos, y como hay dos valores de τ para cada barra, en una estructura estrictamente indeformable, habrá $2(2_m - 3)$ incógnitas, para las cuales hallaremos sólo m ecuaciones [10] de condición, y los valores de τ no pueden determinarse sólo por las ecuaciones de equilibrio, siendo preciso determinar otras relaciones que permitan resolver el sistema.

5. Deformación angular en función de los cambios angulares.

El número de incógnitas τ o deformaciones angulares en cada nudo puede reducirse a una por medio de ciertas relaciones geométricas que existen entre los diferentes ángulos de un nudo.

La figura 8 representa la deformación del nudo 2 (fig. 7), en la cual B_1 y B_2 son los ángulos primitivos entre las barras 2—4 y 2—3 (figura 8), el primero, y entre 2—3 y 2—1 el otro. Los cambios angulares de ellos están representados por $d B_1$ y $d B_2$; las deformaciones angulares en los extremos de las barras son los ángulos

τ_{24} , τ_{23} y τ_{21} .

Observando la figura se nota

$$B_1 + \tau_{23} = (B_1 + d B_1) + \tau_{24} \text{ o bien } \tau_{23} = \tau_{24} + d B_1 \quad [11]$$

Pero, a su vez,

$$\tau_{21} + B_2 + B_1 = (B_2 + d B_2) + (B_1 + d B_1) + \tau_{24}$$

o sea:

$$\tau_{21} = \tau_{24} + d B_1 + d B_2 \quad [12]$$

En las ecuaciones [11] y [12] el valor de una deformación angular cualquiera está expresado en función de una deformación angular (la cual podemos llamar "deformación de referencia" para el nudo) y de la suma de los cambios angulares entre las barras, cuyas deformaciones angulares en sus extremos buscamos.

Los valores angulares de los cambios angulares $d B_1$ y $d B_2$ de las ecuaciones [11] y [12] se pueden calcular por las ecuaciones [2], [3] ó [4] tan pronto como se conozcan las condiciones de carga

y la estructura de la viga; por tanto, todas las deformaciones angulares de las barras de un nudo pueden determinarse en función de una sola incógnita de referencia y de los valores conocidos de los cambios angulares. De este modo, el número total de incógnitas para la viga entera se reduce hasta ser igual al número de ecuaciones y el sistema es determinado.

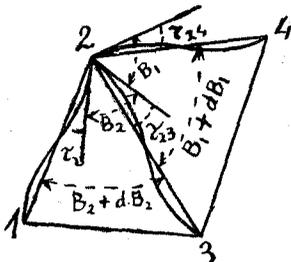


Fig. 8

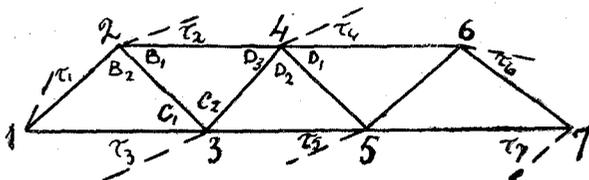


Fig. 9

Para referencia angular del nudo debe elegirse la deformación angular más conveniente, con miras a simplificar las ecuaciones de condición; pero también debe tenerse en cuenta que para evitar equivocaciones con la notación y facilitar la ordenación del cálculo por medio de tablas, lo mejor es tener un método para la elección de las referencias angulares y aplicarlo a todos los nudos. Nosotros adoptaremos la regla siguiente en este trabajo: Como "referencia angular" en cada nudo se tomará la deformación angular de la primera barra, encontrada pasando alrededor del nudo en el sentido de las agujas de un reloj, empezando por el exterior de la viga. La referencia angular la designaremos por τ , con el subíndice correspondiente al nudo. Así, en la figura 9, τ_1 , τ_2 , τ_3 , etc., indican las referencias angulares elegidas según la regla anterior.

La notación que se deduce de la regla para las referencias angulares la introduciremos en las ecuaciones [11] y [12]; pero primero adoptaremos una forma simplificada para la suma de los cambios angulares que aparece en las citadas ecuaciones. Llamaremos

$\sum_{2-3}^{2-4} d B =$ suma de los cambios angulares del ángulo entre las barras 2-4 y 2-3, que entran en el nudo 2, el cual, en este caso, es el ángulo B , figura 9; también $\sum_{2-1}^{2-4} d B =$ suma de los cambios angulares de todos los ángulos entre las barras 2-1 y 2-4 (fig. 9) del nudo 2, y formados por todas las barras que en él concurren, es decir, ahora son los ángulos B_1 y B_2 .

Entonces las ecuaciones [11] y [12] toman la forma:

$$\tau_{23} = \tau_2 + \sum_{2-3}^{2-4} d B \quad \text{y} \quad \tau_{21} = \tau_2 + \sum_{2-1}^{2-4} d B \quad [13]$$

6. Ecuación de equilibrio para cualquier nudo.

Si sustituímos los valores [13] en la ecuación [10] tendremos la ecuación de equilibrio de una junta en función de las referencias angulares, únicas incógnitas que deben quedar en el sistema. Ahora bien: examinando la ecuación [10] se nota entran en ella las deformaciones angulares de los nudos 1, 3 y 4, las cuales podremos expresar en la forma [13] mediante las condiciones de la figura 9.

$$\begin{aligned} \text{Nudo 1 } \tau_{12} &= \tau_1 \\ \text{Nudo 3 } \tau_{32} &= \tau_3 + \sum_{3-2}^{3-1} d C \\ \text{Nudo 4 } \tau_{42} &= \tau_4 + \sum_{4-2}^{4-6} d D \end{aligned}$$

Sustituyendo estas relaciones en la ecuación [10] tenemos:

$$\begin{aligned} K_{24} \left(2 \tau_2 + \tau_4 + \sum_{42}^{46} d D \right) + K_{23} \left(2 \tau_2 + 2 \sum_{23}^{24} d B + \tau_3 + \sum_{32}^{31} d C \right) + \\ + K_{21} \left(2 \tau_2 + 2 \sum_{21}^{24} d B + \tau_1 \right) = 0 \end{aligned}$$

Esta ecuación se transforma fácilmente en esta otra:

$$\begin{aligned} 2 \tau_2 (K_{21} + K_{23} + K_{24}) + 2 \left(K_{21} \sum_{21}^{24} d B + K_{23} \sum_{23}^{24} d B \right) + \tau_1 K_{21} + \\ + \left(K_{23} \tau_{23} + K_{23} \sum_{32}^{31} d C \right) + \left(K_{24} \tau_{24} + K_{24} \sum_{42}^{46} d D \right) = 0 \quad [14] \end{aligned}$$

La ecuación [14] es la forma general de la ecuación del equilibrio del nudo 2, figura 9, considerado aislado, y contiene como incógnitas la referencia angular del nudo 2 y las referencias angulares de todos los nudos donde terminan las barras que concurren en el nudo 2. La ecuación contiene también ciertas cantidades conocidas, las cuales dependen de los valores K y de las deformaciones angulares en los extremos de todas las barras del nudo.

Si la ecuación [14] se aplica al nudo n con varias barras, obtendremos la forma general más conveniente para deducir todos los de una viga como sigue:

$$2 \left[(\Sigma K) \tau_n + \Sigma (K \Sigma d <) \right] + \left[K_{m n} \tau_m + K_{m n} \sum_{m n}^{\tau_m} d < \right] + [15]$$

+ (los términos similares de las otras barras formando el nudo n) = 0. La notación es como sigue: n es el número del nudo, por ejemplo, 2, figura 9; $m n$ representa una barra cualquiera que concurre en el nudo, es decir, la 4-2, figura 9; y comparando la [14] y la [15] se ve en seguida la trasposición de términos para obtener el general, diferente sólo en los subíndices m , que es el tercer término de la [15], es decir, que la ecuación general de cada nudo tendrá tantos términos como barras más dos.

Al aplicar esta teoría a un problema se verá claramente. Aplicando la ecuación [15] a cada nudo de la estructura tendremos un sistema de ecuaciones lineales simultáneas, conteniendo tantas incógnitas o referencias angulares como nudos, y puede resolverse fácilmente.

7. Momentos y coeficientes de trabajo.

Una vez resuelto el sistema de ecuaciones simultáneas [15] y conocidos todos los valores de τ , las deformaciones angulares en los extremos de cada barra se determinan por las ecuaciones [13], y sustituyendo sus valores en las ecuaciones [7] y [8] se pueden determinar los momentos en los extremos de las barras, y de éstos se pasa a los valores de r rápidamente.

Para una barra $m n$, el momento en n es:

$$M_{n m} = 2 E K_{n m} (2 \tau_{n m} + \tau_{m n}) \quad [16]$$

en la cual $K_{nm} = \frac{I}{b} =$ momento resistente para la fibra en peores condiciones de trabajo. Si llamamos r_{nm} el coeficiente de trabajos debido a los esfuerzos secundarios, tendremos:

$$r_{nm} = \frac{Mc}{I} = \frac{2EC}{l} (2\tau_{nm} + \tau_{m'n}) \quad [17]$$

en la cual $C =$ distancia del eje neutro a la fibra más alejada.

8. Disposición del cálculo.

La determinación de los esfuerzos secundarios por medio de las ideas expuestas arriba se facilita mucho, y sobre todo evitan equivocaciones, puesto que la notación es lo más liso, utilizando un método sistemático de tablas, muy conveniente para ordenar los cálculos. Para mayor claridad en el ejemplo de aplicación que sigue dividiremos el cálculo en grupos:

A) Determinación de los esfuerzos unitarios, valores de R , debidos a las cargas aplicadas.

B) Cálculo de los cambios angulares por medio de [2], [3] y [4].

C) Tablas y cálculos de $\Sigma d B$, $\Sigma d C$, etc., de la ecuación [14], a la cual nos referimos con el signo $\Sigma d <$.

D) Planteamiento de las ecuaciones lineales para cada nudo, ecuación [15].

Resolución del sistema de ecuaciones [15] simultáneas.

F) Valores, momentos secundarios y determinación de r .

Con la aplicación que sigue se verá la importancia de los esfuerzos secundarios, y también no es mucha la dificultad para determinarlos.

9. Esfuerzos secundarios en una viga Warren roblonada.

Los esfuerzos secundarios en las barras de la figura 10 se calcularán suponiendo que la viga está cargada con 50 toneladas = 50.000 kilogramos en cada nudo del cordón inferior. La tabla A da las dimensiones de los distintos elementos de la viga y su composición; $C =$ distancia de la fibra más alejada al eje neutro, donde la barra

Tabla A
Elementos de la viga

Barra	Sección — Cms. ²	Longitud — Cms.	I Cms. ⁴ — 1.000		$K = \frac{I}{l}$	$2 \frac{C}{l}$	R — Kgs. cm. ²	Composición
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1-3	382	1.185	141,8	S — 20,7 I — 32,2	119,8	0,035 0,054	— 446	3 platabandas y 4 ángulos.
3-4 4-7	356	800	133	S — 20,8 I — 31,9	166,2	0,052 0,079	— 518	3 platabandas y 4 ángulos.
1-2 2-5	229	800	82,5	26,8	98	0,067	502	4 ángulos y 2 platabandas.
5-6	395	800	126	26,8	158	0,067	524	4 ángulos y 4 platabandas.
2-3	121	870	4,65	15,4	5,35	0,035	414	4 ángulos y 1 platabanda.
4-5 6-7								
3 5	212	1.185	9,2	15,8	7,75	0,026	484	4 ángulos y 1 platabanda.
5-7	184	1.185	31,5	18,7	26,6	0,032	183 —	2 — □

es disimétrica con relación al eje neutro; S denota el valor de C para la fibra superior, e I para la inferior.

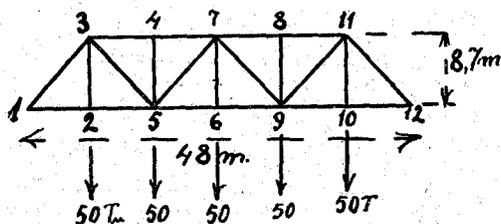


Fig. 10

En la numeración de los nudos en la viga se verá es conveniente seguir el orden en el cual se encontrarán para la determinación de los esfuerzos primarios, y así se ha hecho en la figura 10.

10. a) Esfuerzos primarios.

Puesto que la viga y sus cargas son simétricas con relación al centro de la armadura, no necesitamos determinar sino los esfuerzos en la mitad de la estructura, según se ve en el diagrama de la figura 10 b). Los coeficientes de trabajo en las barras de la mitad izquierda de la viga se indican en la columna 8 de la tabla A. Todas las unidades empleadas son las mismas, así como la notación usada en las ecuaciones [2], [3] y [4], lo cual ayudará mucho a familiarizarse con el método del cálculo.

11. b) Cambios angulares.

Con el mismo fin de ayudar a seguir el método, los ángulos de la figura 11 han sido designados correspondiéndose con la notación utilizada al hallar las ecuaciones [2], [3] y [4], y cada triángulo se designa por una letra mayúscula.

Como los ángulos en todos los triángulos son iguales, los valores $\cotg. \alpha$, $\cotg. \beta$ y $\cotg. \gamma$ se han calculado de una vez para todos y se han colocado para tenerlos bien presentes. Los cálculos se han hecho en la tabla B que sigue, y se notará que la suma de los cambios angulares en cada triángulo es igual a cero.

Al hacer el cálculo de los cambios se ha prescindido del valor E , por ahora; por esto hay que cuidar en el orden de magnitud de ellos, es decir, la colocación de la coma decimal y, además, luego después,

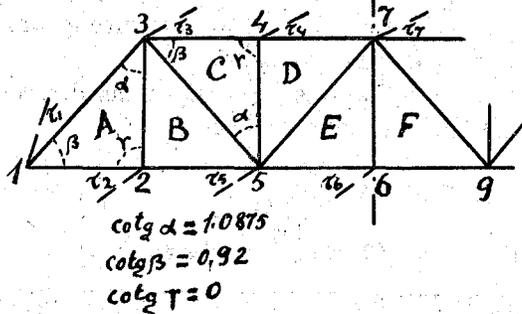


Fig. 11

al hallar los momentos y valores de r hay que multiplicar por E , con lo cual se simplifica el cálculo.

12. c) Valores de $\Sigma d <$ y de $K \Sigma d <$

Ya hemos dicho que por ser la viga y su sistema de carga simétrico, incluiremos en la tabla C solamente los nudos hasta el centro de la viga.

La columna 2 contiene los ángulos del nudo, empezando con el que está más próximo al de referencia τ de dicho nudo. Así para el nudo 3 la figura 11 muestra el orden de los ángulos empezando por la referencia angular τ_3 , es 435-532 y 231, orden en el cual se han colocado en la tabla C .

La columna 3 contiene los cambios angulares " $d <$ " tomados de la tabla B , donde se calcularon.

En la columna 4 se tienen los valores de $\Sigma d <$, de los ángulos de la columna 3; así, para el nudo antes considerado el cambio angular para el ángulo 435 es -524 , y para el 235 el cambio angular es $+17$, su suma algebraica -507 , y se coloca a la altura del ángulo 235. Una *muy cuidadosa* atención debe ponerse al signo del resultado, en cada caso, por su influencia en el resto del cálculo. La columna 5 lleva las barras que concurren en cada nudo, colocados en el orden resultante de la misma regla dada en los cambios angulares, o sea, pasando alrededor del nudo en el sentido de las agujas

de un reloj; se notará también que el número del nudo empieza primero al poner cada barra, y se observa igualmente que el ángulo entre cada dos barras está inscrito en la misma línea que la barra más lejos al ángulo de referencia. Así, en el nudo 3 ya citado, el ángulo 235, comprendido entre las barras 3-5 y 3-2, se escribe a la misma altura que la barra 3-2, la cual está situada más lejos de la referencia angular τ_3 que la barra 3-5.

La columna 6 da los valores de K para las diferentes barras y están tomados de la columna 6, tabla A.

Tabla B
Cambios angulares

Triángulo	Angulo	$r_a - r_b$	Cotg <	$r_o - r_c$	Cotg <	$d <$
A	132 = $d\alpha$ 213 = $a\beta$ 321 = $d\gamma$	+ 502 + 446 + 414 + 446 - 446 - 414	0,92 1,087 1,087	- 446 - 502	0,92	+ 870 + 930 - 1.805
B	235 352 523	+ 502 - 484 + 414 - 484 + 484 - 414	0,92 1,087 1,087	+ 484 - 502	0,92	+ 1,7 - 75,3 + 58,5
C	354 435 543	- 518 - 484 - 484 + 484	0,92 1,087 1,087	+ 484 + 518	0,92	- 920 - 524 + 1.420
D	457 574 745	- 518 + 183 + 183 - 183	0,92 1,087 1,087	- 183 + 518	0,92	- 304 200 104
E	576 657 765	+ 524 + 183 + 414 + 183 - 183 - 414	0,92 1,087 1,087	- 183 - 524	0,92	+ 650 + 650 - 1.300

Por último, la columna 7 da los productos de los valores contenidos en las columnas 4 y 6, es decir, son las cantidades $K \Sigma d <$ de la ecuación [15].

Tabla C
Valores de $\Sigma d <$ y de $K \Sigma d <$

Nudo	<	$d <$	$\Sigma d <$	Barra	K	$K \Sigma d < : 100$
1	2	3	4	5	6	7
1	213	+ 930	+ 930	1-3 1-2	119,8 98 <hr/> 217,8	+ 911 <hr/> + 911
2	321 523	- 1.805 + 58,5	- 1.805 - 1.746,5	2-1 2-3 2-5	98 5,35 98 <hr/> 201,35	- 96,4 - 1.713 <hr/> - 1.809,4
3	435 235 132	- 524 + 17 + 870	- 524 - 507 + 363	3-4 3-5 3-2 3-1	166,2 7,75 5,35 119,8 <hr/> 299,10	- 40,6 - 27 + 435 <hr/> + 368,6
4	745 543	104 + 1.420	+ 104 + 1.524	4-7 4-5 4-3	166,2 5,35 166,2 <hr/> 337,75	+ 5,56 + 2.535 <hr/> + 2.540,56
5	352 354 457 657	- 75,3 - 920 - 304 + 650	- 75,3 - 995,3 - 1.299,3 - 649,3	5-2 5-3 5-4 5-7 5-6	98 7,75 5,35 26,6 158 <hr/> 295,70	- 5,85 - 53,2 - 332 - 1.030, <hr/> - 1.421,05
6	765 769	- 1.300 - 1.300	- 1.300 - 2.600	6-5 6-7 6-9	158 5,35 158 <hr/> 321,35	- 69,5 - 4.110 <hr/> - 4.179,5
7	879 976 576 574	+ 200 + 650 + 650 + 200	+ 200 + 850 + 1.500 + 1.700	7-8 7-9 7-6 7-5 7-4	166,2 26,6 5,35 26,6 166,2 <hr/> 390,95	+ 53,2 + 45,4 + 398 + 2.030 <hr/> + 3.327,6

En las mismas columnas 7 y 6 se tienen las sumas de los valores de K y de $K \Sigma d <$ correspondientes a cada nudo.

13. d) Planteamiento de las ecuaciones.

Ya hemos dicho que había una ecuación independiente para cada nudo de la estructura.

Sin embargo, si la viga y el sistema de cargas son simétricos con relación al centro de la armadura, habrá alguna barra cuya posición respecto al eje de simetría de la viga sea tal que las deformaciones angulares de sus extremos puedan determinarse por la naturaleza de la flexión a la cual la barra está sujeta. Así en la figura 10 la barra vertical 6-7 no sufre deformaciones angulares bajo el sistema de cargas simétrico. Es evidente, por tanto, cuando se considere el efecto de las deformaciones en los elementos a la izquierda de la barra 6-7, aquél ha de ser simétricamente igual y opuesto al de las barras situadas a la derecha de 6-7, es decir, ésta sufrirá sólo un alargamiento elástico y las deformaciones angulares τ_{37} y τ_{76} de sus extremos son ambas iguales a cero. Entonces, como veremos en seguida, los valores de τ_6 y τ_7 pueden determinarse inmediatamente.

Supongamos ahora que la barra vertical 6-7 no existe en la viga y que la parte central de la estructura está formada por el triángulo 5-7-9; entonces la flexión en la barra 5-9 es la misma en cada extremo, y la naturaleza de su deformación está comprendida en el caso II (fig. 6), lo cual da la condición de ser $\tau_{59} = -\tau_{95}$ y asimismo $\tau_{75} = -\tau_{57}$; así, pues, será posible determinar los valores de τ_7 y τ_9 en función de τ_5 . Las ecuaciones pueden resolverse como en el problema allí considerado.

Para plantear las ecuaciones de la viga de la figura 10 explicaremos con detalle la correspondiente al nudo 3, por ejemplo. Fijándonos que las barras de dicho nudo 3 son 3-4, 3-5, 3-2 y 3-1, la ecuación [15] tomará la forma:

$$\begin{aligned}
 2 \times [\tau_3 (\Sigma K \text{ para el nudo 3}) + \Sigma (K \Sigma d <) \text{ para el nudo 3}] + \\
 + [\tau_4 K_4 + K_{43} (\Sigma d < \text{ para la barra 4-3}) + \\
 + [\tau_5 K_{53} + K_{53} (\Sigma d < \text{ para la barra 5-3}) + \\
 + [\tau_2 K_{23} + K_{23} (\Sigma d < \text{ para la barra 2-3}) + \\
 + [\tau_1 K_{12} + K_{12} (\Sigma d < \text{ para la barra 1-3})] = 0
 \end{aligned}$$

Todos los valores que intervienen en ella están hallados en la ta-

bla *C*. Así, para (ΣK para el nudo 3) y $\Sigma (K \Sigma d <)$ se encuentran respectivamente en las columnas 6 y 7 de dicha tabla *C*.

El primer término será 2 [299,10 τ_3 + 36860].

Los términos restantes se encontrarán bajo el nudo cuyo número aparece primero en la notación de la barra y en la línea de dicha barra; así, para la barra 4-3 lo encontraremos en el nudo 4 y el valor de la barra 4-3, que tiene $K = 166.2$ y $K \Sigma d < = 253500$, y el término completo debido a dicha barra será:

$$166,2 \tau_4 + 253500$$

Los valores de las otras barras serán como sigue:

Barra 5-3 — $K = 7,75$ $K \Sigma d < = -585$ término $7,75 \tau_5 - 585$;
barra 2-3 — $5,35 \tau_2 + 9640$, término completo; y la barra 1-3 el término es $119,8 \tau_1 + 0$.

Sumando, ordenando los términos y combinando los diversos términos independientes tendremos finalmente como ecuación [15]:

$$119,8 \tau_1 + 5,35 \tau_2 + 598,2 \tau_3 + 166,2 \tau_4 + 7,75 \tau_5 = -316995$$

ecuación del equilibrio independiente del nudo 3.

Sin duda la tabla más conveniente es la que ordena estos cálculos o tabla *D*, que se explica a continuación.

La columna primera da el nudo para el cual se obtienen los valores y la segunda las barras cuyos valores se requieren.

Para cada nudo, la primera cantidad escrita es el doble de la suma dada para el nudo en cuestión en las columnas 6 y 7, tabla *C*.

Los valores calculados de los nudos 6 y 7 de la viga no se han puesto, por las consideraciones anteriores, sobre la simetría de la estructura, y que para nuestras circunstancias particulares se podían obtener de las ecuaciones de condición

$$\text{nudo 6} \text{ — } \tau_{67} = 0$$

$$\text{nudo 7} \text{ — } \tau_{76} = 0$$

Los valores de τ_6 y τ_7 se sacan de la ecuación [13] y con ayuda de la tabla *C*, la cual da en la columna 4, para cualquier barra, el valor correspondiente de $\Sigma d B$ que entra en dicha ecuación [13]; así, para la barra 6-7 se puede escribir

$$\tau_{67} = \tau_6 - 1300 = 0$$

y para la barra 7-6 lo mismo $\tau_{76} = \tau_7 + 850 = 0$, es decir,

$$\tau_6 = + 1300 \text{ y } \tau_7 = - 850$$

Tabla D
Formulación de las ecuaciones

	Nudo	Barra	τ	Término independiente
	1	2	3	4
Ecuación del nudo 1	1	2 Σ	435,6 τ_1	+ 182.200
	3	3-1	119,8 τ_3	+ 43.500
	2	2-1	98 τ_2	
	$435,6 \tau_1 + 119,8 \tau_3 + 98 \tau_2 = - 225.700$ (1)			
Ecuación del nudo 2	2	2 Σ	402,7 τ_2	- 361.880
	1	1-2	98 τ_1	+ 91.100
	3	3-2	5,35 τ_3	- 2.700
	5	5-2	98 τ_5	+ 91.100
$98 \tau_1 + 402,7 \tau_2 + 5,35 \tau_3 + 98 \tau_5 = + 273.480$ (2)				
Ecuación del nudo 3	3	2 Σ	598,2 τ_3	+ 73.720
	4	4-3	166,2 τ_4	+ 253.500
	5	5-3	7,75 τ_5	- 585
	2	2-3	5,35 τ_2	- 9.640
	1	1-3	119,8 τ_1	- 10.225
$119,8 \tau_1 + 5,35 \tau_2 + 598,2 \tau_3 + 166,2 \tau_4 + 7,75 \tau_5 = - 316.995$ (3)				
Ecuación del nudo 4	4	2 Σ	675,5 τ_4	+ 508.112
	7	7-4	166,2 τ_7	+ 283.000
	5	5-4	5,35 τ_5	- 5.320
	3	3-4	166,2 τ_3	+ 791.112
$166,2 \tau_3 + 675,5 \tau_4 + 5,35 \tau_5 + 166,2 \tau_7 = - 785.792$ (4)				
Ecuación del nudo 5	5	2 Σ	591,4 τ_5	- 284.210
	2	2-5	98 τ_2	- 171.300
	3	3-5	7,75 τ_3	- 4.060
	4	4-5	5,35 τ_4	+ 556
	7	7-5	26,6 τ_7	+ 39.800
	6	6-5	158 τ_6	+ 40.356
$98 \tau_2 + 7,75 \tau_3 + 5,35 \tau_4 + 591,4 \tau_5 + 158 \tau_6 + 26,6 \tau_7 = + 419.214$ (5)				

Las ecuaciones [4] y [5] de la tabla D contienen τ_6 y τ_7 , las cuales son ya cantidades numéricas. Incluidos en ellas y pasándolas al segundo miembro se tiene el sistema simultáneo de ecuaciones lineales, expresando el equilibrio de cada nudo.

$$\left. \begin{aligned}
 435,6 \tau_1 + 98 \tau_2 + 119,8 \tau_3 &= -225.700 \quad (1) \\
 98 \tau_1 + 402,7 \tau_2 + 5,35 \tau_3 + 98 \tau_5 &= 273.480 \quad (2) \\
 119,8 \tau_1 + 5,35 \tau_2 + 598,2 \tau_3 + 166,2 \tau_4 + 7,75 \tau_5 &= -317.000 \quad (3) \\
 166,2 \tau_3 + 675,5 \tau_4 + 5,35 \tau_5 &= -644.200 \quad (4) \\
 98 \tau_2 + 7,75 \tau_3 + 5,35 \tau_4 + 519,4 \tau_5 &= 236.000 \quad (5)
 \end{aligned} \right\} [18]$$

Los coeficientes, términos independientes y valores de τ , conocidos ya, son cantidades tan grandes, debido a las unidades empleadas, aunque el error es del mismo orden de magnitud, utilizando la regla de cálculo, aun cuando se empleen en vez de R , expresado en kg./cm.² su valor en kg./mm.², y no olvidando la homogeneización de las fórmulas y ecuaciones.

14. e) Resolución del sistema de ecuaciones (18).

En realidad, este párrafo sobra, puesto que cualquiera que haga aplicación de estas ideas empleará, para resolver el sistema [18], el método que considere más oportuno; sin embargo, nosotros, al añadir estas observaciones, nos inspiramos en evitar trabajo y hacer que todos se aprovechen de la experiencia adquirida. Por esto explicaremos con detalle la aplicación del método de igualar los coeficientes, el cual se presta mejor, por la forma de las ecuaciones incomplejas, a una ordenación grande, calculando las diversas operaciones evitando equivocaciones y permitiendo un retroceso rápido y a su vez ordenado para encontrar los valores τ , al momento de llegar a una ecuación con una incógnita, permitiendo hallar la primera solución.

Para conseguir el orden de eliminación que nos dé la mayor uniformidad y seguridad, se llevan los cálculos como se indica en la tabla *E*.

Se han elegido primero todas las ecuaciones en las cuales entra τ_1 ; éstas son las [1], [2] y [3]. Se han dividido cada una de ellas por el coeficiente de τ_1 respectivo; el resultado aparece en la tabla *E* como las ecuaciones [1'], [2'] y [3'] y para eliminar la incógnita τ_1 ; de estas tres ecuaciones bastará restar la que tenga menores coeficientes de las otras dos, pero por una sencilla notación puede determinarse el orden más conveniente de eliminación, es decir, la segunda columna indica la ecuación a la cual reemplaza en el sistema [18], y la primera columna la ecuación por la cual se sustituye; así, las ecuaciones [1'], [2'] y [3'] son las equivalentes a las [1], [2] y [3], cuyos números los llamaremos de "referencia"

Tabla E
Resolución del sistema de ecuaciones (18)

Ecuación	Número de referencia	τ_1	τ_2	τ_3	τ_4	τ_5	Término independiente
1	2	3	4	5	6	7	8
1	1	435,6	98	119,8			- 225.700
2	2	98	402,7	5,35		98	+ 273.480
3	3	119,8	5,35	598,2	166,2	7,75	- 317.000
1'	1	1	0,225	0,275			- 518
2'	2	1	4,02	0,0546		1	+ 2.780
3'	3	1	0,0446	5,00	1,39	0,0648	- 2.650
a	2		3,795	- 0,2204		1	+ 3.298
b	3		- 0,1804	4,725	1,39	0,0648	- 2.132
5	5		98	7,75	5,35	591,4	+ 236.000
a'	2		+ 1	- 0,0582		0,264	+ 871
b'	3		- 1	26,25	7,70	0,36	- 11.800
5'	5		+ 1	0,0792	0,0548	6,04	+ 2.410
c	3			26,1918	7,75	0,624	- 10.929
d	5			0,1374	0,0548	5,776	+ 1.539
4	4			166,2	675,5	5,35	- 644.200
c'	3			1	0,294	0,0238	- 4,15
d'	5			1	0,399	4,21	+ 11,220
4'	4			1	4,06	0,0322	3,880
c	5				0,105	42,0762	+ 11.635
f	4				3,766	0,0084	- 3.397
c'	5				1	420	+ 111.000
f'	4				1	0,00223	- 903
g	5					419,99777	+ 111.903
g'	5					1	+ 267

de la ecuación, y como los coeficientes de la ecuación [1'] son los más pequeños, los restaremos de los de las otras dos, y así obtene-

mos la ecuación $[a] = [2'] - [1']$ y la $[b] = [3'] - [1']$ como sus equivalentes; por esto les damos en la segunda columna los mismos números de "referencia" que los de las ecuaciones de donde proceden.

De la misma manera hemos pasado al grupo siguiente de ecuaciones para conseguir la eliminación de τ_2 ; observando la tabla se ve entra dicha incógnita en las ecuaciones $[a]$, $[b]$ y $[5]$; dividiendo otra vez por sus coeficientes respectivos encontramos las ecuaciones $[a']$, $[b']$ y $[5']$, y cuyos números de "referencia" son 2, 3 y 5, columna 2, tabla *E*; y como la $[a']$ tiene menores coeficientes, la hemos restado de las otras. En general, siempre que se pueda restaremos la ecuación de menor número de referencia de las otras; en nuestro ejemplo así ha ocurrido siempre y se ha aplicado siempre esta regla, llegando a determinar el valor de τ_5 , según se ve en la tabla *E*.

Los otros valores de τ se obtienen haciendo las sustituciones sucesivas, retrocediendo en orden inverso en la tabla; pero para elegir la ecuación en la cual vamos a calcular un nuevo valor de τ , tomaremos aquella ecuación en la cual su coeficiente es mayor con relación a los otros términos numéricos que figuran en ella. De este modo, cualquier error cometido en el proceso de eliminación tendrá menor valor. Dicha ecuación será probablemente la primera que se encuentre empezando por la parte inferior de la tabla, la cual tenga el mismo número de referencia que el subíndice del valor de τ buscado.

Por tanto, elegiremos las ecuaciones siguientes para las otras incógnitas.

Para τ_4 utilizaremos la $[f']$, con el número 4 de referencia; para τ_3 se empleará la $[c']$, número de referencia 3; para τ_2 , la ecuación $[a']$, referencia 2; y, por último, τ_1 sale de la $[i']$. Como ejemplo del método usado para determinar los diferentes valores de τ consideraremos el de τ_4 . La ecuación $[f']$ es

$$\tau_4 + 0,00223 \tau_5 = -903$$

y como tenemos en la tabla *E* ${}_5\tau = +267$, tendremos sustituyendo $\tau_4 = -903 - 0,00223 \times 267 = -903,6$.

Los demás valores se obtienen del mismo modo, y la solución completa es:

$$\begin{array}{rcl} \tau_7 = -850 & \succ & \tau_6 = -1.300 \\ \tau_5 = +267 & \succ & \tau_4 = -903,6 \\ \tau_3 = -165,35 & \succ & \tau_2 = +809,2 \succ \tau_1 = -652,4 \end{array}$$

Llevando el cálculo en la forma desarrollada en la tabla E es muy conveniente hacer frecuentes comprobaciones del mismo. Para esto se determinará un valor de τ en una de las ecuaciones que no hayamos empleado al ir retrocediendo en la sustitución, y de ser posible elegir una ecuación cuyos coeficientes sean grandes para los valores de τ ya determinados, y de ese modo cualquier error cometido aparecerá abultado. También puede sustituirse en una ecuación los valores hallados de todas sus incógnitas, calcular así el término independiente y compararlo con el que en dicha ecuación tiene la tabla E . Así, habiendo calculado los valores de τ_2 y τ_5 se pueden comprobar por medio de la ecuación $[b']$. Tal sustitución da 12013, cuya comprobación resulta muy satisfactoria. Si las dos cantidades difieren por un exceso mayor del 5 por 100 de dicho término independiente, habrá que buscar la causa del error, procedente, sin duda, del cálculo.

Es de advertir que en unos cálculos tan largos como el proceso desarrollado en la tabla E es necesario mantener la misma exactitud o igual error relativo a través de todo el cálculo; y como por la índole de los coeficientes, importancia relativa de los valores de r que se buscan y las muchas operaciones a realizar estos cálculos se adaptan bien al empleo de la regla, cualquier número tomado de ella tiene, generalmente, incierta la última cifra significativa; así, pues, para conseguir mantener el mismo grado de exactitud conviene retener siempre el mismo número de cifras, sin fijarse en la posición de la coma de decimales. Estos detalles se han tenido en cuenta al desarrollar el cálculo de la tabla E , resolviendo el sistema de ecuaciones lineales.

15. f) Cálculo de los esfuerzos secundarios.

Una vez determinados los ángulos de referencia de cada nudo podemos calcular las deformaciones angulares en los extremos de cada barra; de la ecuación [16] se obtendrán los momentos en sus extremos, y de la [17] las ecuaciones unitarias. Ya dijimos en el párrafo 11 haber prescindido del valor de E , que dividía los valores de τ , y ahora podemos operar con los valores hallados y deberemos multiplicar por dicho valor.

Aquí también es conveniente formar una tabla para desarrollar el cálculo de las deformaciones angulares, momentos y coeficientes de trabajo; y para ello hemos hecho la tabla F , en la cual la colum-

Tabla F
Coefficientes de trabajo por los esfuerzos secundarios

Nudo	Barra	τ_n	$\Sigma d <$	τ_{nm}	$2\tau_{nm} + \tau_{mn}$	K	M	$\frac{2c}{l}$	r	R	$\frac{r}{R} = 100$	Barra
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	1-3	- 652,4	0	- 652,4	-1.107,15	119,8	- 266	0,035	- 39 S	- 446	8,73	1-3
	1-2		+ 930	+ 277,6	+1.364,4	9,8	+ 267	0,054	+ 60 I		13,4	
2	2-1		0	+ 809,2	+1.896	98	+ 362	0,067	+ 127	+ 502	25,3	2-1
	2-3	+ 809,2	- 1.805	- 995,8	-2.664	5,35	- 28,6	0,035	- 92,8	- 414	22,4	2-3
	2-5		- 1.746,5	- 937,3	-1.601,6	98	- 315	0,067	- 108	502	21,5	2-5
3	3-4		0	- 165,35	+ 290,7	166,2	+ 97,9	0,052	+ 151 S	- 518	2,92	3-4
	3-5		- 524	- 689,35	-1.187	7,75	- 18,4	0,079	- 230 I		4,5	
	3-2	- 165,35	- 507	- 672,35	-2.340,5	5,35	- 25	0,027	- 32	+ 484	6,6	3-5
	3-1		+ 363	+ 197,65	-2.257,1	119,8	- 61,7	0,035	- 82	+ 414	19,8	3-2
4	4-7		0	- 903,6	- 967,2	166,2	- 3,22	0,052	S - 47	- 518	9,1	4-7
	4-5	- 903,6	+ 104	- 800	2.328,3	5,35	- 24,8	0,079	I + 71,5		13,8	
	4-3		+ 1.524	+ 620,4	+1.075,45	166,2	+ 3,56	0,035	- 82			4-5
5	5-2		0	+ 267	- 403,3	98	- 7,9	0,079	I + 85,5	- 518	16,5	4-3
	5-3		- 75,3	+ 191,7	- 306	7,75	- 4,75	0,052	S - 56,2		10,9	
	5-4	+ 267	- 995,3	- 728,3	-2.256,6	5,35	- 24,1	0,067	- 27	+ 502	5,4	5-2
	5-7		+ 1.299,3	-1.032,3	-1.414,6	26,6	- 75,2	0,027	- 8,3	+ 484	1,7	5-3
	5-6		- 649,3	- 382,3	+ 555,4	158	+ 169	0,035	- 79	- 183	24,8	5-4
6	6-5	+ 1.300	0	+1.300	+2.217,7	158	+ 700	0,032	+ 35,8	+ 524	5,4	5-6
	6-7		1.300	0	0	5,35	0	0,067	+ 149	+ 414	28,5	6-5
7	7-6		+ 850	0	0	5,35	0	0,035	0	+ 414		7-6
	7-5	- 850	+1.500	+ 650	+ 267,7	26,6	+ 14,7	0,032	+ 8,6	- 183	4,7	7-5
	7-4		+1.700	+ 850	+ 796,4	166,2	+ 255	0,079	I + 63	- 518	12,2	7-4
								0,052	S - 41,5		8	

Los valores de M , en la columna 7, vienen expresados en kilos por centimetro, y hay que multiplicarlos por 1.000.
Los valores de R y r están expresados en kilos por centimetro cuadrado.

na 1 da las barras de los distintos nudos, colocadas en el mismo orden de la tabla C. La columna 2, tabla F, contiene los valores de las referencias angulares τ para cada nudo, encontradas últimamente. La columna 3 da los valores de $\Sigma d <$, tomados de la tabla C. La 4 da el valor de las "deformaciones angulares" en el extremo de cada barra, los cuales son calculados por la ecuación [13], la cual podemos escribir en otra forma.

$$\tau_{nm} = \tau_n + \Sigma d <$$

Es decir, para la barra 4-5 del nudo 4:

$$\tau_4 = \tau_4 = - 903,6 \quad \text{y} \quad \Sigma d < = + 104$$

así, pues:

$$\tau_{45} = - 903,6 + 104 = - 800$$

Los otros valores se calculan del mismo modo.

La columna 5, tabla F, contiene los valores de la expresión $(2 \tau_{nm} + \tau_{mn})$, contenidos en las ecuaciones [16] y [17]; la cual, aplicada a cualquier barra, por ejemplo 2-3 del nudo 2, se convierte en $(2 \tau_{23} + \tau_{32})$. El valor de τ_{23} se halla en la tabla F, columna 4, barra 2-3, nudo 2, y es de $\tau_{23} = - 995,8$; el de τ_{32} se encuentra en el nudo 3 para la barra 3-2, y da $\tau_{32} = - 672,35$. Entonces:

$$2 \tau_{23} + \tau_{32} = 2 (- 995,8) - 672,35 = - 2664$$

valor escrito en la tabla.

En la columna 6 están los valores de K, tomados de la tabla A.

La séptima da el valor de los momentos en los extremos de las barras, determinados por la ecuación [16] en kg./cm., y son el doble del producto de las cantidades escritas en las columnas 6 y 7. En la columna 7 tenemos la primera comprobación del trabajo, pues si las operaciones están bien efectuadas, la suma de los momentos en los extremos de las barras de una junta tendrá un valor cero, puesto que hemos planteado las ecuaciones de equilibrio independiente para cada nudo, núm. [15]. Si se observan los valores contenidos en dicha columna 7 se notará que los errores han sido muy pequeños y pueden admitirse. El convenio de los signos es el admitido en la figura 6: positivos en sentido contrario del de las agujas de un reloj.

La columna 8 da los valores de la expresión $2 \frac{C}{l}$, los cuales han sido tomados de la columna 7, tabla A.

En la columna 9 se han calculado los coeficientes de trabajo r en kg./cm.² para las fibras más alejadas del eje neutro, debido a los esfuerzos secundarios, determinados por la ecuación [17], o sea, los productos de los números escritos en las columnas 8 y 5, tabla *F*.

El convenio de signos es el mismo de siempre: signo + indica extensión, y el *menos*, compresión. Las acciones unitarias secundarias se dan para cualquier barra en el orden también fijado, en el cual se encuentran al pasar alrededor del nudo en el sentido de las agujas de un reloj, y subsiste el convenio para las fibras que primero se encuentran en cada barra. Así, para la barra 1-2, la cual tiene signo + o tensión en las fibras superiores, se debe a ser las fibras altas las primeras encontradas al llegar a la barra 1-2; haciendo el recorrido alrededor del nudo 1 en el sentido dicho, las fibras inferiores trabajan a compresión.

Cuando hay barras disimétricas, como en los casos de 1-3, 3-4 y 4-7, se dan los valores de r para las dos fibras, indicadas por las iniciales mayúsculas *S* e *I*, y la naturaleza de los esfuerzos se determina por la regla anterior.

La columna 10 da los coeficientes de trabajo, R , causados por los esfuerzos primarios, y están tomados de la columna 8, tabla *A*.

En la columna 11 se ha hallado el tanto por ciento debido a los esfuerzos secundarios en cada barra, es decir, el coeficiente de los números $\frac{r}{R}$ de las dos columnas 9 y 10, tabla *F*. El tanto por ciento mayor llega al 28,5 por ciento, según se ve para la barra 6-5 del nudo 6, valor nada despreciable.

La figura 12 representa, con mucha exageración, la naturaleza

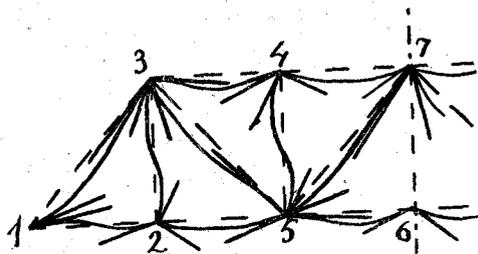


Fig. 12

de los momentos secundarios, calculados para los extremos de cada barra, debidos al sistema de cargas aplicadas. Dicha figura indica claramente los momentos de las barras o curvaturas de sus ejes,

pero no quiere decir representen las condiciones de la viga, y, por tanto, no son tampoco las condiciones en los nudos; por ejemplo: en el nudo 6, las tangentes en los extremos de las curvas elásticas de las barras 6-5 y 6-7 no forman el ángulo de la figura 12, sino que forma una sola horizontal continua. Esto es lógico, pues hemos dibujado la viga de la figura 12 recta, y para hallar la situación y circunstancias exactas de cada nudo sería preciso: primero, determinar la deformación elástica de toda la viga por medio del diagrama "Williot-Mohr", ya explicado, y, después, dibujar las curvas de las barras según la figura 12, y aun así no se tendría la representación exacta de las condiciones de la viga por la pequeñez de las deformaciones de los nudos, comparadas a las dimensiones

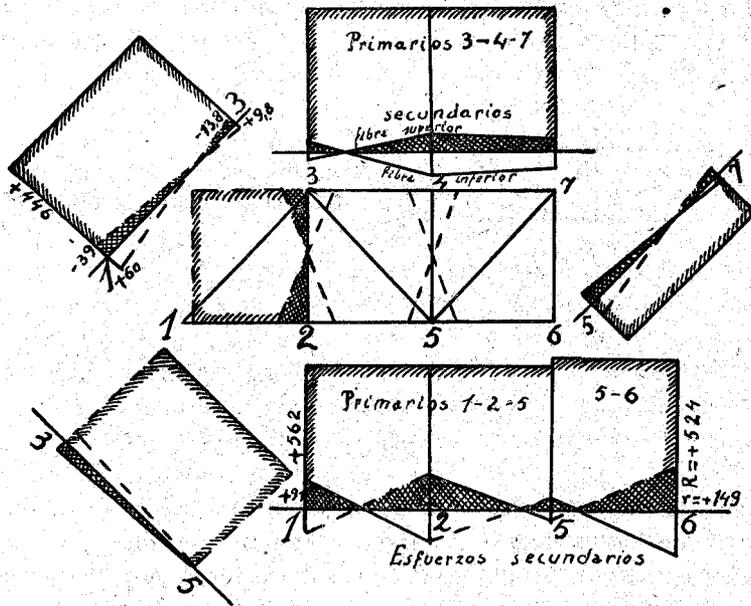


Fig. 13

de la estructura; por esto hemos preferido indicar el carácter individual de los momentos en las barras, como en la figura 12, y no la naturaleza de dichos momentos en unas barras con relación a los de las otras del mismo nudo, pues para ello se indica mejor por la figura 13, la cual representa los valores de r para todas las barras en la misma escala, y donde se han dibujado también los valores de R en cada una, siendo las áreas rayadas las acciones unita-

rias secundarias de la misma naturaleza que la de los esfuerzos primarios.

16. Máximo de los esfuerzos primarios y secundarios combinados.

El mejor modo de determinar la posición más desfavorable de un sistema de cargas para producir en la viga el máximo de los esfuerzos secundarios es el uso de las líneas de influencia. Estas se determinan para todas las barras y se trazan aplicando una fuerza de un kilogramo, sucesivamente, en todos los nudos inferiores. El método para su cálculo es el mismo indicado en los párrafos anteriores.

La figura 14 representa las líneas de influencia para varias barras. La figura 14 a es la del trozo de cordón inferior 6-5 de la figura 10. El triángulo abc es la línea de influencia para los esfuerzos

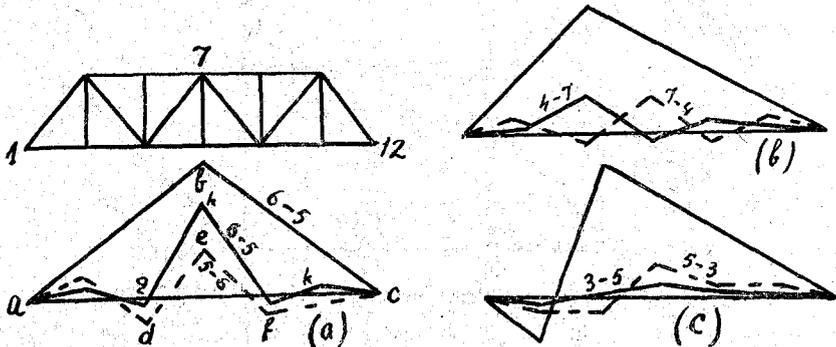


Fig. 14

primarios en dicha barra, y la línea quebrada $adefc$ la línea de influencia de los esfuerzos secundarios en 6-5, es decir, en aquella que daba el mayor % del coeficiente de trabajo por los esfuerzos secundarios y la línea llena $aghk$ es la línea de influencia para los esfuerzos secundarios de la barra 5-6. Como puede observarse mirando las tres líneas de influencia, tienen la misma forma, de modo que cuando la viga tenga su carga total los esfuerzos secundarios serán máximos en las barras de los nudos 2, 6 y 10. Sin embargo, como generalmente los esfuerzos secundarios son pequeños comparados con los directos, se encontrará el máximo del coeficiente de trabajo debido a los esfuerzos axiales y secundarios combinados en la posición que dé el máximo de esfuerzos primarios, como es lógico, toda vez que las acciones secundarias nacen por las deforma-

ciones causadas por los primarios, evitando así muchos cálculos laboriosos y cuyo resultado final será variar muy poco el % del coeficiente de trabajo.

La figura 14 b representa las líneas de influencia para la barra de compresión 4-7 en el cordón superior, y la figura 14 c las mismas líneas para la barra diagonal 3-5.

En general, se encontrará que los esfuerzos secundarios calculados como arriba, con la viga sometida al sistema completo de cargas, dará una aproximación muy aceptable de dichos esfuerzos secundarios bajo un sistema de cargas diferente, pues siendo un tanto por ciento de los esfuerzos primarios en cada barra, le afecta poco la posición de las fuerzas en la viga, es decir, que los valores calculados en la tabla F se pueden tomar como un máximo probable de los % para otras condiciones de cargas.

17. Efecto producido por la excentricidad de las juntas.

En los cálculos hechos en los párrafos anteriores se ha supuesto que los ejes principales de inercia a lo largo de las barras pasan por los nudos, es decir, que los ejes de todas las barras de un nudo son concurrentes en un punto. En general, en las estructuras corrientes de la práctica puede hacerse; pero en Aeronáutica ocurre con mucha frecuencia la imposibilidad de hacerlo, pues por la misma ligereza de sus armaduras es preciso darles una gran rigidez, y entonces, por necesidades de construcción, para la debida resistencia de los ensambles, por roblones o encoladuras, la barra de celosía en costillas y largueros de ala, no son concurrentes, dando lugar a esfuerzos secundarios mucho mayores de los antes calculados. Otro caso, también frecuente en las alas con perfil de espesor relativo medio, ocurre en las estructuras que contrarrestan los esfuerzos horizontales, pues entonces se colocan muchas veces dos planos de arriostramiento a la altura de cada uno de los cordones de los largueros, para evitar las deformaciones por causas accidentales (calor, humedad, etc.), siendo origen de esfuerzos secundarios de compresión en la celosía y flexión de los largueros.

La figura 15 representa estas condiciones en un nudo de la viga donde los ejes de las barras no se cortan en un mismo punto. Supongamos que el de la barra horizontal $A C$ se haya colocado en la línea $A_1 C_1$, y que la barra inclinada $a b$ diste la magnitud e_1 de su verdadera posición. Sean F_1 y F_2 los esfuerzos directos en dichas barras. Siendo esfuerzos interiores sus momentos con relación a un

punto los supondremos positivos en el sentido de las agujas de un reloj. Tomando los momentos con relación al punto A tenemos:

$$M_e = \text{momento de excentricidad} = + \times F_1 e_1 - F_2 e_2$$

Al escribir la ecuación de equilibrio del párrafo cuatro, los momentos tales como M_e anterior deben incluirse entre los momentos

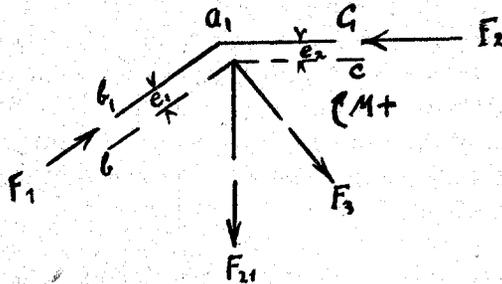


Fig. 15

de los extremos de las barras. Por la excentricidad del nudo, la ecuación [9] se puede escribir:

$$\Sigma M_2 = M_{24} + M_{23} + M_{21} + M_e = 0$$

Sustituyendo en vez de M sus valores en función de las referencias angulares, y siguiendo exactamente el mismo proceso dado en el párrafo seis, encontraremos en lugar de la ecuación [15] esta otra:

$$2[(\Sigma K) \tau_m + \Sigma (K \Sigma d <)] + \left[K_{mn} \tau_m + K_{mn} \sum_{mn} \tau_m d < \right] + \\ + [\text{términos análogos de las otras barras}] + \frac{M_e}{2E} = 0$$

notando que la ecuación anterior difiere de la [15] por la edición del término $\frac{M_e}{2E}$.

Para ilustrar el método de los esfuerzos secundarios, calculados cuando hay nudos con barras excéntricas, supondremos que los ejes de las barras de todo el cordón superior se han colocado 15 milímetros más alto que el nudo, y que los ejes de las barras extremas distan 20 milímetros del punto de concurso de las otras, todo bajo el

sistema de cargas supuesto en el párrafo nueve, de 50 toneladas por nudo del cordón inferior.

La figura 16 indica los nudos en los cuales las barras son excén-

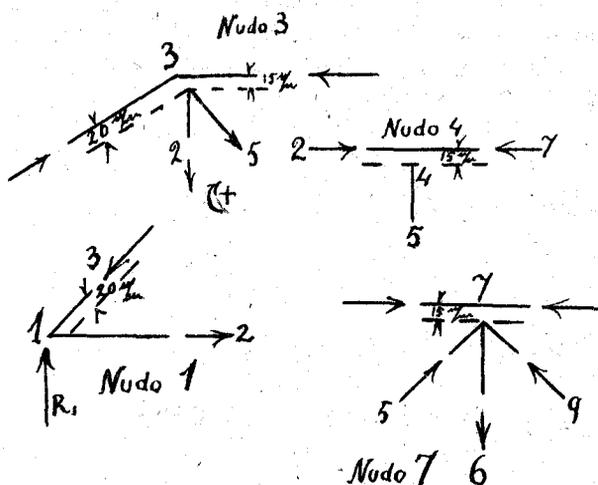


Fig. 16

tricas; en cada una se ha puesto el esfuerzo debido a las cargas. Los momentos de excentricidad en los diversos puntos es como sigue:

Junta 1, figura 16 (d):

$$M_e = -170.000 \text{ kg.} \times 2 \text{ cm.} = -340.000 \text{ kg./cm.}$$

Junta 3, figura 16 (a):

$$M_e = +170.000 \times 2 - 18.500 \times 1,5 = +62.000 \text{ kg./cm.}$$

Junta 4 y 7, figura 16 (b y c):

$$M_e = 0$$

Puesto que todas las barras de la viga sufren los mismos esfuerzos que los obtenidos en el párrafo nueve, todos los valores de $\Sigma d <$, y también los de $K \Sigma d <$, serán los mismos que los de la tabla C. Se nota igualmente que el planteamiento de las ecuaciones en función de τ , debido a los esfuerzos primarios, serán iguales a los de la tabla D; sólo en los nudos donde haya excentricidad habrá que tomar en consideración los momentos calculados.

En la evolución del término $\frac{M_e}{2E}$ de la ecuación [19] la cantidad E podemos suprimirla, como se hizo en el cálculo de los cambios angulares. Por tanto, para tener en cuenta el efecto de la excentricidad en una junta sumaremos la mitad del momento M_e a los valores de la tabla D , modificando la ecuación de equilibrio en dicho valor absoluto $-\frac{M_e}{2}$, es decir, que sólo las ecuaciones [1] y [3] del sistema [18] deberán modificarse.

En el nudo 1 la cantidad a sumar será:

$$-\frac{1}{2} \times (-340.000) = +170.000 \text{ kg./cm.}$$

En la ecuación [3] añadiremos:

$$-\frac{1}{2} (-62.000) = -31.000 \text{ kg./cm.}$$

Las ecuaciones se convierten:

$$(18) \ a \ \begin{cases} 435,6 \tau_1 + 98 \tau_2 + 119,8 \tau_3 = -557.000 \quad (1) \\ 98 \tau_1 + 402,7 \tau_2 + 5,35 \tau_3 + 98 \tau_5 = +273.480 \quad (2) \\ 111,8 \tau_1 + 5,35 \tau_2 + 598,2 \tau_3 + 166,2 \tau_4 + 7,75 \tau_5 = -348.000 \quad (3) \\ 166,2 \tau_3 + 675,5 \tau_4 + 5,35 \tau_5 = -644.200 \quad (4) \\ 98 \tau_2 + 7,75 \tau_3 + 5,35 \tau_4 + 591,4 \tau_5 = +236.000 \quad (5) \end{cases}$$

Los métodos empleados para resolver estas ecuaciones y la determinación de los esfuerzos secundarios resultantes son los mismos explicados en los artículos anteriores. La solución completa del problema no ofrecería, por tanto, dificultad alguna.

Se encontrará que el efecto de los momentos exteriores en cualquier punto o nudo, debidos a la excentricidad de las conexiones, son más pequeños para todas las barras, excepto aquellas que no concurren y en las cuales los momentos M_e de excentricidad tienen lugar, donde, por el contrario, sufren un gran aumento de esfuerzos secundarios; por esta razón, cuando no se puede evitar la excentricidad de las barras, nunca deberá dejarse sin hacer el cálculo de los esfuerzos secundarios.

18. Vigas articuladas y sus esfuerzos secundarios.

Las vigas o armaduras cuyas barras están unidas por pasadores redondos en sus extremos, teóricamente articulados, no están,

en general, en condiciones de tomar libremente las deformaciones elásticas por el diagrama "Williot-Mohr", debido al enorme rozamiento entre las horquillas y los pasadores.

La figura 17 representa las condiciones en que se encuentra una

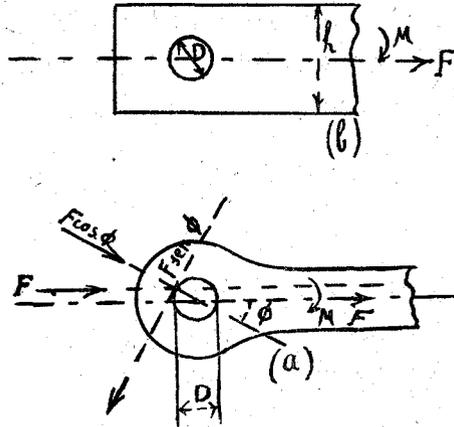


Fig. 17

barra articulada cuando se considera la acción del rozamiento, pues produce el mismo efecto que una excentricidad en el nudo. En el punto *a*, donde la línea de acción de *F* corta el eje de las articulación se descompone en las direcciones normal y tangencial a la superficie del pasador. Estos componentes son $F \cos \Phi$ y $F \sin \Phi$, siendo Φ el ángulo de fricción entre los dos metales de las superficies en contacto. El momento resistente al giro de la barra es debido a la fuerza $F \sin \Phi$ con relación al punto *c*, centro del pasador de diámetro *D*, y cuyo valor será:

$$M = \frac{F D}{2} \operatorname{sen} \Phi$$

Siendo pequeño el valor de Φ , el coeficiente de rozamiento $k = \operatorname{tg} \Phi$, podemos sin error sensible tomar $\operatorname{sen} \Phi = k$, y entonces el valor de

$$M = \frac{F D}{2} k \quad [20]$$

y el esfuerzo secundario en la fibra más alejada de la barra, debido a este momento de flexión, será:

$$r = \frac{M v}{I} = \frac{F D}{4 I} k h$$

siendo h = la altura de la barra, y suponiendo a ésta simétrica con relación al eje longitudinal principal de inercia.

Si llamamos S la sección transversal y ρ radio de inercia, $I = S \rho^2$, y tendremos:

$$r = \frac{F D}{S 4 \rho^2} k h \quad [21]$$

pero en la ecuación [21] el coeficiente $\frac{F}{S} = R$, coeficiente de trabajo por causas de los esfuerzos primarios, y entonces el tanto por ciento debido a los secundarios será:

$$\frac{r}{R} = \frac{D}{4 \rho^2} k h \quad [22]$$

El coeficiente de rozamiento podemos tomarlo $k = 0,2$; para el ojo de las barras que se indican en la figura 17 (a), se suele tomar $D = 0,6$ a $0,75 h$, relación entre el pasador y la barra; en las vigas roblonadas como la figura 17 (b), $D = 0,8 h$, aproximadamente. En las primeras, $\rho = 0,29 h$, y en las segundas, $\rho = 0,4 h$. Si se sustituyen estos valores en la ecuación [22] tendremos:

En las barras de ojo,

$$\frac{r}{R} = 35 \text{ por } 100 \text{ al } 46 \text{ por } 100$$

Y en las vigas roblonadas,

$$\frac{r}{R} = 10,5 \text{ por } 100$$

Es decir, las barras articuladas no son tales, pues no podrán girar hasta que las acciones unitarias, secundarias en las fibras de mayor trabajo, alcancen un valor σ por ciento muy elevado del de los esfuerzos primarios.

En general, las barras articuladas suelen ser flexibles, y es poco

probable que los esfuerzos secundarios alcancen, en condiciones ordinarias de servicio, un tanto por ciento superior a la mitad del valor encontrado, pero se tiene casi la seguridad de no girar la barra alrededor del pasador. En cambio, las vigas roblonadas son, generalmente, muy rígidas, y es posible que los esfuerzos secundarios en estructuras bien proyectadas lleguen a ser del 20 por 100 de los esfuerzos directos, y, por tanto, es casi seguro, en las vigas de cordones rígidos, el giro de las barras unidas por un pasador.

En el caso de las armaduras articuladas, y ante la incertidumbre de girar o no las barras, lo mejor será calcular los esfuerzos secundarios, suponiendo que el giro no se realice, y se conocerá el por ciento del coeficiente de trabajo por los esfuerzos secundarios en las fibras en peores condiciones, comparándolos con los dados por las ecuaciones [20] ó [22], y entonces conoceremos las verdaderas condiciones de los nudos, haciendo intervenir o no el valor del momento dado por ecuación [20].

En las estructuras compuestas con algunas barras articuladas, el cálculo de los esfuerzos secundarios puede hacerse, suponiendo el momento de inercia, en las barras libres de girar igual a cero, o, lo que es lo mismo, en tales barras $K = 0$. Pero el cálculo de los cambios angulares de los distintos triángulos debe hacerse incluyendo todos los sujetos o libres de girar.

Generalmente, las vigas articuladas tienen los cordones continuos y roblonados en toda su longitud, y sólo las barras verticales y diagonales están articuladas en los nudos, y, por lo menos, el cordón trabajando a compresión siempre es rígido.

Aplicamos estas ideas a un ejemplo suponiendo que la viga de la figura 10 está toda articulada, excepto el cordón superior, rígido desde los nudos 3 a 11, en los cuales también hay pasadores; calcularemos los esfuerzos secundarios para las mismas cargas de allí, o sea de 50 toneladas por cada nudo inferior. Estudiaremos también el efecto de la excentricidad de las articulaciones en el cordón superior, haciendo primero el cálculo de los pasadores concéntricos.

1.º *Articulaciones concéntricas en los nudos.*—En estas condiciones se calculan los esfuerzos secundarios, suponiendo que todas las barras giran en los nudos, menos las del cordón superior, lo cual se tendrá en cuenta considerando $K = 0$ para todas las barras, menos para las citadas del cordón de compresión.

Los valores de $d <$ y $\Sigma d <$ serán los mismos que los calculados en la tabla C, pero sólo se aplicarán dichos valores en los nudos 3, 4 y 7, y para ello hemos formado la tabla G.

Tabla G
Vigas articuladas

Nudo	<	$d <$	$\Sigma d <$	Barra	K	$K \Sigma d < : 100$
1	2	3	4	5	6	7
3	435	- 524	- 524	3-4	166,2	0
	532	+ 17	- 507	3-5	0	
	231	+ 870	+ 363	3-2	0	
				3--1	0	
						0
4	745	+ 104	+ 104	4-7	166,2	+ 2.535
	543	+ 1.420	+ 1.524	4-5	0	
				4-3	166,2	
				332,4	+ 2.535	
7	879	+ 200	+ 200	7-8	166,2	+ 2.830
	976	+ 650	+ 850	7-9	0	
	675	+ 650	+ 1.500	7-6	0	
	574	+ 200	+ 1.700	7-5	0	
				7-4	166,2	
					+ 2.830	

En el nudo 3 sólo la barra 3-4 se considera, y tenemos:

$$2 K_{34} \tau_{34} + K_{43} \tau_{43} = 332,4 \tau_3 + 166,2 \tau_4 + 253.500 = 0$$

de la cual

$$332,4 \tau_3 + 166,2 \tau_4 = - 253.500 \quad (1)$$

En el nudo 4 sólo se utilizan las barras 4-3 y 4-7, y para ellas da:

$$2 \times 332,4 \tau_4 + 2 \times 253.500 + 166,2 \tau_3 + 166,2 \tau_7 + 283.000 = 0$$

Por la simetría de la estructura y del sistema de cargas, lo mismo que en la viga roblonada, tenemos:

$$\tau_{76} = 0. \text{ Así, pues, } \tau_{76} = \tau_7 + 850 = 0. \tau_7 = 850.$$

Sustituyendo el valor de τ_7 en la ecuación del nudo 4 se tiene:

$$166,2 \tau_3 + 664,8 \tau_4 = -790.000 \quad (2)$$

Resolviendo las ecuaciones [1] y [2] encontramos:

$$\tau_3 = -190 \quad \text{y} \quad \tau_4 = -1.140$$

Los esfuerzos secundarios determinados con estos valores se hallan en la tabla *H*, reproducción de la tabla *F*.

2.º *Articulaciones excéntricas*.—Haciendo las mismas hipótesis que en el párrafo 17, es decir, el cordón superior está situado 15 milímetros por encima del punto donde se cortan las barras diagonales, vamos a calcular los esfuerzos secundarios en las barras de compresión.

En las condiciones supuestas, el momento debido a la excentricidad en el nudo 3 existe y tiene el mismo valor que vimos en la figura 16 (*a*), y, como antes, los momentos en los nudos 4 y 7 son cero. La ecuación [1] de antes se modifica por la adición del término $-\left(\frac{1}{2}\right) \times (-340.000) = +170.000$ al término independiente, y las ecuaciones de condición son:

$$\begin{aligned} 332,4 \tau_3 + 166,2 \tau_4 &= -835.000 \\ 166,2 \tau_3 + 664,8 \tau_4 &= -790.000 \end{aligned}$$

Resolviendo estas ecuaciones se encuentra:

$$\tau_3 = +390 \quad \text{y} \quad \tau_4 = -1.285$$

Los esfuerzos secundarios resultantes se han calculado en la tabla *I*.

Se notará que el momento en la barra 3-4 del nudo 3 es precisamente igual y opuesto al momento debido a la excentricidad.

También se observa que por ser la viga articulada el tanto por ciento de los esfuerzos secundarios es muy pequeño, puesto que el máximo probable es del 15 por 100 solamente.

19. Esfuerzos secundarios debidos al peso propio de los elementos.

En la figura 18 se supone la barra 1-2 sometida a la acción del peso propio, el cual obra como una carga uniformemente repartida

Tabla H
Vigas con articulaciones concéntricas. Esfuerzos secundarios.

Nudo	Barra	τ_n	$\Sigma d <$	τ_{nm}	$2\tau_{nm} + \tau_{nm}$	K	$M: 1.000$	$\frac{2c}{l}$	r	R	$\frac{r}{R} = \%$	Barra
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	
3	3 - 4	- 190	0	- 190	0	166,2	0	$\left. \begin{array}{l} S - 0,052 \\ I - 0,079 \end{array} \right\}$	0	- 518		3 - 4
4	4 - 7	- 1.140	0	- 1.140	- 1.430	166,2	- 475	$\left. \begin{array}{l} S - 0,052 \\ I - 0,079 \end{array} \right\}$	$\left. \begin{array}{l} - 74,5 \\ + 113 \end{array} \right\}$	- 518	14,3	4 - 7
	4 - 3		+ 1.524	+ 384	+ 578	166,2	+ 192	$\left. \begin{array}{l} I - 0,079 \\ S - 0,052 \end{array} \right\}$	$\left. \begin{array}{l} + 46 \\ - 30 \end{array} \right\}$	- 518	5,7	4 - 3
7	7 - 4	- 850	1.700	850	560	166	186	$\left. \begin{array}{l} I - 0,079 \\ S - 0,052 \end{array} \right\}$	$\left. \begin{array}{l} - 44,5 \\ - 29,2 \end{array} \right\}$	- 518	5,7	7 - 4

Tabla I
Esfuerzos secundarios en las vigas con articulaciones excéntricas

Nudo	Barra	τ_n	$\Sigma d <$	τ_{nm}	$2\tau_{nm} + \tau_{mn}$	K	$M : 1.000$	$\frac{2c}{l}$	r	R	$\frac{r}{R} = \%$	Barra
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	
3	3-4	+ 390		+ 390	+ 1.020	166,2	+ 340	S - 0,052 I - 0,079	+ 17,7 - 27	- 518	5,2	3-4
4	4-7	- 1.285	+ 1.524	- 1.285	- 1.720	166,2	- 572	S - 0,052 I - 0,079	- 29,8 + 45,3	- 518	5,8	4-7
	4-3			+ 240	+ 1.330	166,2	+ 442	I - 0,079 S - 0,052	+ 35 - 23	- 518	4,45	4-3
7	7-4	- 850	+ 1.700	+ 850	+ 415	166,2	+ 138	I - 0,079 S - 0,052	+ 10,9 - 7,2	- 518	1,4	4-7

de un kilogramo por metro lineal, dando lugar a momentos de flexión y esfuerzos cortantes, los cuales se precisa considerar.

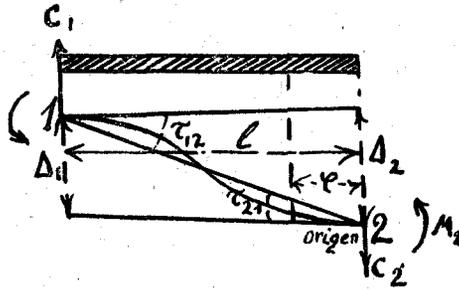


Fig. 18

El momento en un punto a la distancia x del extremo derecho de la barra es:

$$M_{\varphi} = M_2 - (M_1 + M_2) \frac{\varphi}{l} + \frac{p l \varphi}{2} - \frac{p \varphi^2}{2}$$

Procediendo como en el párrafo 3 se llega fácilmente a encontrar:

$$x_1 = \frac{\Delta_2}{l} = \frac{1}{EI} \left[(2M_1 - M_2) \frac{l}{6} - \frac{p l^2}{24} \right]$$

y

$$\tau_2 = \frac{\Delta_1}{l} = \frac{1}{EI} \left[(2M_2 - M_1) \frac{l}{6} + \frac{p l^2}{24} \right]$$

De estas ecuaciones se obtiene, resolviéndolas con relación a M_1 y M_2 :

$$\left. \begin{aligned} M_1 &= \frac{2EI}{l} (2\tau_1 + \tau_2) + \frac{1}{12} p l^2 \\ M_2 &= \frac{2EI}{l} (2\tau_2 + \tau_1) - \frac{1}{12} p l^2 \end{aligned} \right\} [23]$$

Los últimos términos de las ecuaciones [23] son los momentos en los extremos debidos al peso propio de la barra. Utilizando la misma notación que antes, si llamamos m = al momento en el ex-

tremo de la barra, debida a su carga uniformemente repartida, y se considera como positivo el momento cuando obra en el sentido de las agujas del reloj, podremos escribir:

$$M_{nm} = \frac{2EI}{l}(2\tau_{nm} + \tau_{mn}) - m_{nm} \quad [24]$$

Teniendo en cuenta el término del momento m en las ecuaciones [15] se encontrará como ecuación del equilibrio del nudo.

$$2[(\Sigma K)\tau_n + \Sigma(K\Sigma d<)] + [K_{mn}\tau_{mn} + K_{mn}\Sigma d<] + \\ + [\text{términos análogos de las otras barras}] - \Sigma \frac{m_{nm}}{2E} = 0 \quad [25]$$

El coeficiente de trabajo, r , en el extremo de la barra para la fibra más alejada, debida al momento de la ecuación [24], será:

$$r_{nm} = 2 \frac{C}{l}(2\tau_{nm} + \tau_{mn}) - m_{nm} \frac{C}{I} \quad [26]$$

Vamos a determinar los esfuerzos secundarios en el cordón superior de la viga de la figura 10, suponiéndole como en los casos del párrafo 18, es decir, toda articulada, salvo el cordón que trabaja a compresión; por tanto, los valores de $d<$, $\Sigma d<$ y $K\Sigma d<$ son los mismos de la tabla G.

Para plantear las ecuaciones [25] se toman las cantidades que allí entran del problema resuelto en el párrafo 18, agregando sólo los términos de la forma m_{nm} . En la tabla A tenemos la sección transversal del cordón superior, 356,00 centímetros cuadrados. Aumentando el 15 por 100 para tener en cuenta las chapas de empalme, roblones y detalles, tendremos el peso por metro lineal:

$$3,56 \times 10 \times 7,6 \times 1,15 = 320 \text{ kgs. por metro lineal}$$

El momento en el extremo fijo de una barra 3-4, por ejemplo, cuya longitud es de ocho metros:

$$M_{nm} = -\frac{1}{12} \times 320 \times 8^3 \times 100 = -171.000 \text{ Kg./cm.}$$

y la cantidad a sumar al término independiente es $\frac{1}{2} m_{nm} =$

Tabla J
Articulaciones concéntricas

Nudo	Barra	τ_n	$\Sigma d <$	τ_{nm}	$2\tau_{nm} + \tau_{mn}$	K	$M: 1.000$	$\frac{I}{v}$	r	R	$\frac{r}{R} = \%$	Barra
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	
3	3-4	- 510	0	- 510	- 510	0	0			- 518		3-4
4	4-7	- 1.070	0	- 1.070	- 1.260	166,2	422	6.400 - 4.150 - I	- 66 + 102	- 518	12,8	4-7
	4-3		+ 1.524	+ 464	+ 410	166,2	+ 137	S 6.400 I - 4.150	- 21,5 + 33	- 518	4,15	4-3
7	7-4	- 850	+ 1.700	+ 850	+ 430	166,2	+ 143	S - 6.400 I - 4.150	- 22,3 + 34,5	- 518	4,4	7-4

= - 85.500 kg./cm. para la ecuación del nudo 3, y cero para la del nudo 4, pues según se ve por las ecuaciones [23], los términos m_{nm} son iguales y opuestos en las barras 4-3 y 4-7.

Las ecuaciones de equilibrio en el caso de las articulaciones concéntricas serán, por tanto:

$$332,4 \tau_3 + 166,2 \tau_4 = - 253.500 - 85.500 = 339.000 \quad (1)$$

$$166,2 \tau_3 + 664,8 \tau_4 = - 790.000$$

Resolviendo estas ecuaciones se halla:

$$\tau_3 = - 510 \quad \text{y} \quad \tau_4 = - 1.070$$

Lo mismo que antes, hemos formado la tabla J para calcular los esfuerzos secundarios resultantes. Para determinar los valores de M , dados en la columna 7, se multiplican los números escritos en las columnas 5 y 6, y se combinarán con el término $-m_{mn}$, el cual en este caso es $-(-171.000) = +171.000$. Conforme a la regla dada para las ecuaciones [23] le asignaremos un $+$ para las barras 3-4 y 4-7, y un *menos* para las barras 4-3 y 7-4, observando que esta misma notación de los signos se siguió al plantear las ecuaciones de equilibrio, dadas más arriba.

Los coeficientes de trabajo r para las fibras más alejadas se pueden obtener de la ecuación [26] o directamente de la tabla J , dividiendo los momentos de la columna 7 por los valores de I , escritos en la columna 8.

Si suponemos ahora que las articulaciones estén colocadas con la misma excentricidad del ejemplo del párrafo 18 (2.º), las ecuaciones de equilibrio se pueden obtener de las allí dadas, agregando sólo el término m_{nm} , y tendremos:

$$332,4 \tau_3 + 166,2 \tau_4 = - 83.500 - 85.500 = - 169.000 \quad (1)$$

$$166,2 \tau_3 + 664,8 \tau_4 = - 790.000 \quad (2)$$

Hallando los valores de las dos incógnitas resulta:

$$\tau_3 = - 1.060 \quad \text{y} \quad \tau_4 = + 21$$

Como antes, los valores secundarios se han hallado en la tabla K y sus valores se han hallado lo mismo que para la tabla J .

Comparando el valor de los esfuerzos secundarios encontrados en las tablas H e I , debidos a la rigidez de la junta, con los de las

Tabla K

Articulaciones excéntricas. Esfuerzos secundarios, considerando el peso propio de la viga.

Nudo	Barra	τ_n	$\Sigma d <$	τ_{nm}	$2\tau_{nm} + \tau_{mn}$	K	$M : 1.000$	$\frac{I}{v}$	r	R	$\frac{r}{R} = \%$	Barra
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	
3	3-4	+ 21		+ 21	+ 506	166,2	+ 169	S - 6.400 I - 4.150	+ 26,5 - 40,8	- 518	7,9	3-4
4	4-7	- 1.060		- 1.060	- 1.270	166,2	- 422	S - 6.400 I - 4.150	- 66 + 102	- 518	12,8	4-7
	4-3		+ 1.524	+ 464	+ 950	166,2	+ 154	S - 6.400 I - 4.150	- 24 + 37	- 518	4,65	4-3
7	7-4	850	+ 1.700	+ 850	+ 640	166,2	+ 213	S - 6.400 I - 4.150	- 33,3 + 51,5	- 518	4,2	7-4

tablas *J* y *K*, en las que se ha tenido en cuenta el peso propio combinado con el anterior, se notará el efecto favorable del peso de las barras, pues ha reducido mucho los esfuerzos secundarios en los nudos. Esto se debe, primero, al hecho de tener poca curvatura la línea de deformación de la viga por causa de la rigidez del cordón superior. Esta pequeña flexión produce, a su vez, pequeños esfuerzos de compresión en las fibras superiores de dicho cordón, y, además, cuando se incluye el peso propio de las barras las acciones unitarias se reducen en el extremo y, como es lógico, aumentan en el centro de la barra, pues siendo una carga uniformemente repartida sobre una viga apoyada, su momento máximo corresponde al centro con el valor $\frac{1}{8} p l^2 = m$.

La figura 19 muestra la variación del coeficiente de trabajo *r* en dichas condiciones, siguiendo la curva de los momentos de flexión.

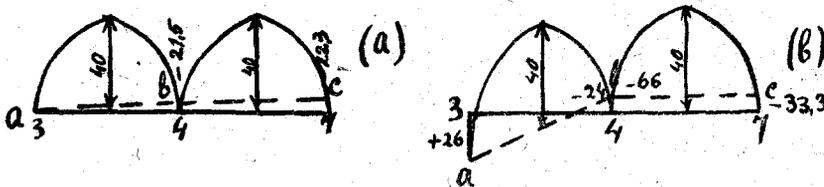


Fig. 19

Los diagramas (a) para las articulaciones concéntricas y (b) para las excéntricas se trazan partiendo de los momentos dados en las tablas *J* y *K* para las fibras superiores y marcan la línea de base en trazos, y sobre ellas las parábolas correspondientes al peso propio *a d b* y *b e c*. El máximo se halla $\frac{1}{8} p l^2 =$

$$= \frac{320 \times 64 \times 100}{8} = 256.000 \text{ Kg./cm.}$$

El coeficiente de trabajo *r* debido a este momento y para las fibras superiores es: $r = \frac{256.000}{6.400} = -40 \text{ kg./cm.}^2$ en compresión,

es decir, $\frac{r}{R} = 8 \%$, valor tomado en *d* y *e*, por ser iguales para las barras 3-4 y 4-7.

En cuanto a los esfuerzos cortantes secundarios por el peso propio en las barras tenemos:

$$\frac{1}{2} p l = \frac{320 \times 8}{2} = 1.280 \text{ Kg.}$$

Y como la sección en las barras del cordón superior es $S = 356 \text{ cm.}^2$

$$r = 1280 : 356 = 3,6 \text{ kg./cm.}^2$$

y el tanto por ciento

$$\frac{r}{R} = \frac{3,6}{518} = 0,7 \text{ por 100 despreciable.}$$

20. Condiciones generales.

En los artículos precedentes hemos considerado algunas de las más importantes causas de los esfuerzos secundarios y se han aplicado los procedimientos para la determinación de dichos esfuerzos. Examinando dichas fórmulas y los cálculos de los ejemplos de aplicación hechos arriba se nota el efecto considerable en los esfuerzos secundarios por la composición de la barra y, sobre todo, su altura, pues por la ecuación [17] se ve que el coeficiente de trabajo r , para un momento de flexión determinado, varía directamente con dicha dimensión; por tanto, cuanto menor altura tengan las barras en el plano de la flexión tanto menores serán los esfuerzos secundarios, y así se encontrará, para una barra cuya altura es menor del $\frac{1}{10}$ de la longitud, que los esfuerzos secundarios rara vez serán superiores al 25 por 100 de los esfuerzos primarios, y por el contrario, cuando se emplean barras muy altas y de poca longitud, como, por ejemplo, en los cordones superiores de las vigas de puente, con los tableros del piso roblonados directamente a dichas barras, los esfuerzos secundarios llegan a tener valores iguales o mayores que los primarios en muchas ocasiones. En tales casos habrán de calcularse siempre los esfuerzos secundarios, y al proyectar la sección se tendrá en cuenta el aumento de sección en previsión a dichos esfuerzos.

Un caso posible y que generalmente se presta poca atención es el paso de ríos con puentes del momento, con ligaduras de cuerdas o cables; por la rigidez de los rollizos o tablonés, que deben aprovecharse, los esfuerzos secundarios se traducen en un aumento de

tensión en las cuerdas o cables, llegándose a producir la rotura de algún ramal de la ligadura, sin una causa clara o precisa, por la desigual repartición de los esfuerzos entre los distintos ramales, etcétera, debiendo ponerse mucha atención al realizar las ligaduras y, en general, en los puentes provisionales por las acciones de los esfuerzos secundarios.

En general, se encontrarán esfuerzos secundarios más reducidos en las estructuras simples o sencillas, como la Pratt o Warren, que en aquellas más complicadas compuestas o de tramos divididos tipo Baltimore.

Una de las principales causas de grandes esfuerzos secundarios en las vigas de tramos subdivididos es la flexión del cordón, debido a la presencia de las péndolas o barras extendidas, como ocurre en la viga Warren, reforzada con barras verticales, representada en la figura 12, pues la existencia de grandes ángulos de deformación en las barras del cordón, uniendo los nudos 2 y 6, indica que estas barras se curvan fuera de la línea que uniría los nudos 1 y 5 y los 5 y 5'. Esta flexión es debida al alargamiento de las barras verticales 2-3 y 6-7, trabajando a extensión por el sistema de cargas aplicadas. En el nudo 4 las barras del cordón superior 3-4-7 están también sometidas a grandes esfuerzos secundarios por causa de la presencia de la barra vertical 4-5, aunque esta barra no sufra esfuerzo directo alguno y, por tanto, no está alargada, pero obliga a las barras 3-4-7 a seguir la deformación y movimiento del nudo 5, teniendo lugar una deformación mayor en el cordón superior.

Con estos ejemplos tratamos sólo de dar una idea de las causas de los esfuerzos secundarios, su naturaleza y las condiciones en las cuales se producirán los mayores valores, así como unos valores probables que permitan juzgar del orden de magnitud de los mismos para poder tenerlos en cuenta al proyectar estructuras importantes o donde sea preciso llevar al extremo la ligereza porque lo requiera la índole de la construcción.

Para profundizar en estos estudios se recomienda o la obra ya citada del profesor Winkler, *Brückenbau*, o leer la parte referente a esto en el libro *Modern Structure*, parte II, de Johnson, Bryan and Turneaure, donde se encontrará una discusión más completa.

Nosotros nos limitamos a exponer las aplicaciones hechas y las consecuencias prácticas que han resultado.



JOSÉ M.^a ARBIZU PRIETO
-- COMANDANTE DE INGENIEROS --

Defensas antiaéreas y empleo de los humos en campaña

Proyectores y Localizadores de sonidos



PUBLICACIÓN DEL «MEMORIAL
DE INGENIEROS DEL EJÉRCITO»
-- MADRID, 1984 --





Consideraciones preliminares.

Consideremos los medios a emplear para la defensa local de sectores contra aviones que ataquen directamente objetivos dentro de estas áreas, sin estudiar las operaciones ofensivas o defensivas que por vía aérea puedan efectuar las Aviaciones combatientes contra los aeródromos.

La defensa aérea comprende todos los medios empleados por una nación para impedir los ataques aéreos de otra enemiga. Estos ataques pueden dirigirse contra ciudades importantes u otros puntos vulnerables dentro o fuera de la metrópoli, cuyas defensas sean de naturaleza permanente, sobre el sector que comprenda las líneas de comunicaciones de un Ejército, y sobre el terreno ocupado por los Ejércitos en campaña.

La organización de las defensas aéreas tendrá que hacerse desde el momento que se hagan tirantes las relaciones diplomáticas con otra nación, y su entretenimiento y conservación se continuará durante toda la campaña, pues no sólo precisará proteger a las tropas de la observación y ataque aéreos, sino será primordial que la movilización y concentración de las tropas en los sectores de operaciones no se impida o perjudique por los ataques aéreos.

La nación que posea al entrar en lucha una flota poderosa de bombardeo podrá, por la destrucción de puentes, ferrocarriles, puertos de embarque y sectores de movilización, retardar de tal modo la concentración estratégica de las tropas que el resultado de la campaña quede afectado seriamente. Será esencial, por tanto, organizar defensas antiaéreas convenientes antes de la ruptura de hostilidades para proteger la concentración inicial y el transporte de las tropas, debiendo excluirse de los planes de movilización y concentración los puntos particularmente vulnerables que no puedan

defenderse eficazmente. Se atenderá, ante todo, a la defensa anti-aérea de localidades vulnerables principales, tales como la capital de la nación, arsenales, factorías y talleres que fabriquen material de guerra, etc. Un gran ataque aéreo sobre esos puntos al principio de la campaña podría paralizar temporalmente la eficiencia combativa de los Ejércitos en campaña.

La defensa antiaérea, siendo esencialmente defensa de grandes zonas de terreno, no se presta generalmente a que las Unidades antiaéreas que la constituyen se distribuyan entre los Cuerpos y Divisiones que formen un Ejército, sino que deben formar Unidades independientes de los Cuerpos y Divisiones, aunque, naturalmente, el número de éstos servirá para determinar la proporción de Unidades antiaéreas que corresponda a la fuerza total en campaña.

Para que la defensa antiaérea sea eficaz será preciso:

1.º Un estrecho enlace entre las Unidades del Ejército en campaña.

2.º Un sistema eficaz de captación y distribución rápida de los informes referentes a los movimientos de la Aviación enemiga.

Armas antiaéreas.—Las armas de la defensa antiaérea son:

1.ª Ametralladoras en aviones de caza.

2.ª Artillería antiaérea.

3.ª Proyectores y localizadores de sonidos (como arma auxiliar).

El mayor enemigo de estas armas es la niebla. En tiempo despejado y durante el día habrá poca dificultad para apuntar al blanco. Con niebla o nubes habrá que valerse de algún procedimiento para la puntería; para esto sirven los localizadores de sonidos durante el día, y durante la noche los proyectores y localizadores combinados.

Las condiciones atmosféricas varían tanto que las visibilidades son muy variables, de modo que para obtener en todo tiempo buenos resultados será necesario que el sistema de enlace entre todas las Unidades de la defensa sea eficaz y rápido.

Las defensas antiaéreas podemos clasificarlas en activas y pasivas. Las activas son:

1.ª Ametralladoras en aeroplanos.

2.ª Cañones antiaéreos.

3.ª Armas automáticas en el terreno.

4.ª Proyectores (como auxiliar de las tres anteriores) de noche.

5.ª Localizadores de sonidos (como auxiliar de las cuatro anteriores).

Las defensas pasivas son:

- 1.^a Globos y obstáculos aéreos.
- 2.^a Alteración del paisaje y organización de sectores de terreno falsos o disimulados.
- 3.^a Oscurecimiento de luces.
- 4.^a Pantallas de humos.

Las tres Armas, Infantería, Artillería e Ingenieros, coadyuvarán, pues, a la defensa con las armas automáticas, cañones y proyectores y localizadores de sonidos, respectivamente.

La Artillería antiaérea no se presta bien para trabar combate con aviones a poca altura; unos 1.500 metros de altura se requiere, por lo menos. Sus funciones son: destruir la Aviación enemiga, romper las formaciones de combate de las escuadrillas atacantes para que los aviones defensores combatan con ventaja con las escuadrillas desorganizadas del enemigo, proteger la Aviación propia cuando combate con desventaja, y formar el único medio de defensa cuando por niebla o nubes no puedan actuar los aparatos defensores o no tengan tiempo para tomar las alturas de combate.

La Artillería antiaérea es de dos clases: Pesada y ligera. La pesada se emplea en los sectores de retaguardia, defensas de puntos vulnerables en las líneas de comunicaciones, bases navales y puntos alejados del teatro de la lucha. La ligera acompaña a la Artillería de campaña y se emplea tanto en las zonas de vanguardia como en las de retaguardia.

Los proyectores, localizadores de sonidos y los puestos de observación aéreos están a cargo de los Ingenieros en Inglaterra (es el material de los Batallones de Ingenieros antiaéreos). Los proyectores y localizadores operan con enlaces con la Artillería antiaérea y la Aviación defensora. Estas fuerzas de Ingenieros tendrán camiones-talleres para la reparación de sus instalaciones técnicas.

Los proyectores antiaéreos cumplen con tres fines distintos:

1.º Indicar de noche a la Aviación las posiciones reales o aproximadas de los blancos.

2.º Iluminar de noche los aviones atacantes para que la Artillería los pueda atacar con fuego directo.

3.º Informar de noche del avance de la Aviación enemiga.

Los localizadores de sonidos y sus cuatro cometidos son:

1.º Como escuchas avanzados para dar pronto aviso del apromche de la Aviación enemiga.

2.º Calcular aproximadamente la altura y dirección de los aparatos enemigos.

3.º Indicar a los proyectores la dirección de sus haces luminosos a los blancos o a sus proximidades.

4.º Indicar el rumbo aproximado de aparatos invisibles a la Artillería antiaérea.

Estas cuatro funciones de los localizadores son distintas y no hay que confundirlas. Cada cometido exige un tipo de localizador, pues localizadores bien asentados para una función de las dichas pueden resultar mal situados para las otras.

En estas defensas los enlaces rápidos serán de gran importancia debido a la diseminación en que se encuentran los componentes de la fuerza defensora y a los movimientos rápidos y al gran radio de acción de que es capaz la Aviación.

Como es esencial el principio de la economía de fuerzas tanto en aparatos defensores como en su personal, será impracticable, por tanto, mantener constantemente en el aire patrullas ni aun en los períodos de ataques probables. Por consecuencia convendrá tener informes precisos con tiempo suficiente para que los aparatos defensores puedan ganar sus alturas de combate con la suficiente antelación. Lo mismo convendrá respecto a los avisos a la población civil y fábricas expuestas a ataques aéreos. Para esto será necesario que los mensajes y órdenes que se den sean claros y precisos, teniendo que estar siempre dispuestas las comunicaciones telegráficas y de radio. Para conseguir gran velocidad de transmisión habrá que usar codes sencillos y mapas cuadrículados. Habrá que evitar las confusiones con las órdenes y despachos de uso general entre las demás fuerzas terrestres; se usarán distintas señales para los usos aéreos.

Organización de las defensas.—Las defensas antiaéreas comprenderán operaciones de día y de noche.

Durante el día se emplearán todas las armas antiaéreas, excepto los proyectores. Durante la noche se emplean todas. Durante el día esperará la defensa ver primero el blanco, pero lo oirá frecuentemente antes. Durante la noche lo oirá siempre antes de verlo, y habrá que dirigir los proyectores a los blancos para buscarlos, que es trabajo que exige gran práctica. Durante el día, la Artillería forma la fuerza de sostén y facilita la concentración de los aviones defensores para los contraataques.

De noche, la oscuridad permite al enemigo concentrar sus aparatos sin ser vistos, y habrá que enfilarlos con los proyectores.

Los requisitos necesarios de una organización defensiva típica

antiaérea podemos resumirlos como sigue (fig. 1) : Debe haber primero una zona exterior de escucha y observación, es decir, una zona lo más silenciosa posible. Detrás de esta zona habrá otra de batalla y persecución, en cuyo lindero avanzado traba combate la Artillería antiaérea durante el día; en el interior de esta zona patrullan y se concentran los aparatos defensores antes de combatir. Luego viene otra vez de fuego de Artillería, lo más cerca posible de los puntos vulnerables, en cuya zona la defensa aérea es apoyada fuertemente por el fuego antiaéreo, lo mismo de día que de noche. Este fuego irá dirigido a los aviones enemigos que hayan conseguido atravesar la zona de batalla hacia sus objetivos.

Durante la noche, la Artillería emplazada en el lindero avanzado de la zona de batalla no toma parte activa; la defensa se concentra

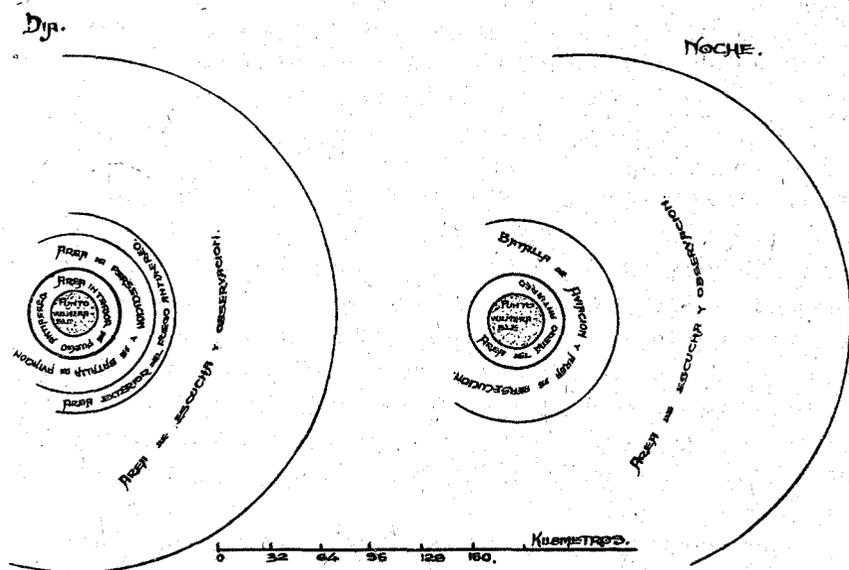


Fig. 1.—Disposición general de las defensas antiaéreas.

sólo en la zona de escucha y observación (fig. 1) y en la Artillería antiaérea de la zona de retaguardia.

La zona de persecución y batalla de Aviación tendrá, por lo menos, 18 kilómetros de anchura, de los cuales requieren unos 12 kilómetros las patrullas aéreas defensoras. Rara vez excederá de unos 23 kilómetros el *raid* que efectúe una patrulla aérea.

Los proyectores se distribuyen por toda la zona de persecución

y batalla, por la zona de la retaguardia de fuego antiaéreo y por toda el área vulnerable.

Para que los proyectores cumplan los tres cometidos que dijimos anteriormente deben operar de noche, principalmente, con enlaces con las patrullas aéreas defensoras y, en segundo lugar, con la Artillería antiaérea. Las zonas en que operan los proyectores se llaman las zonas iluminadas. Estas zonas pueden distribuirse para que operen solamente los proyectores con enlaces con las patrullas aéreas defensoras o para operar conjuntamente con la Artillería y Aviación. La separación de los asentamientos será de unos 2.500 metros. Cuando los proyectores se agrupan para operar sólo con enlaces con la Aviación debe haber, por lo menos, tres líneas de proyectores entre el lindero a retaguardia de la zona de escucha y observación y la zona de las patrullas aéreas defensoras.

Si operan los proyectores con enlaces sólo con la Artillería o con la Artillería y Aviación se situarán, por lo menos, a unos 300 metros de los asentamientos de los cañones.

Los proyectores, a causa de sus asentamientos y cometidos, proporcionan la información más importante durante el progreso del ataque aéreo, excepto en los sectores de vanguardia. Será de gran importancia, por tanto, la organización de un sistema rápido de transmisiones que enlace los proyectores con las demás armas antiaéreas. Para esto, cada Sección de proyectores, al mando de un oficial, formará un centro de información de Sección. Si la Sección consta de cuatro proyectores, por ejemplo, se agrupan de dos en dos con enlaces con el centro de información de Sección. Por la misma razón cada Compañía de proyectores formará un centro de información de Compañía, unido telefónicamente a sus centros de Sección.

Cuando operen los proyectores sólo con enlaces con la Artillería, o con la Artillería y Aviación en combinación, entonces los centros de información de Sección se situarán generalmente en posiciones convenientes de la Artillería antiaérea; los centros de información de Compañía se situarán en las P. M. de los Grupos de Artillería.

Cuando los proyectores operen sólo con la Aviación se situarán los centros de información de Sección en los lugares convenientes, para que cumplan con sus cometidos y economícen circuitos telefónicos; el centro de información de Compañía se situará en el aeródromo a que pertenezca la escuadrilla a que esté afecta la Compañía de proyectores.

Las P. M. de las escuadrillas, Compañías de proyectores y Grupos de baterías se conectarán telefónicamente a los C. G. de las Brigadas de defensa antiaéreas a que pertenezcan. En cada C. G. de Brigada de defensa antiaérea habrá una estación central para el control de la Artillería, proyectores, aeroplanos, información (civil y militar) y para el aviso de los ataques aéreos. Los cuarteles generales de las Brigadas de defensa antiaérea estarán unidos por hilo directo con los C. G. de las Divisiones de defensa antiaérea, y así sucesivamente.

La información primera que se consiga por el cordón avanzado de los puestos de observación aérea se transmitirá, en primer lugar, a los C. G. de las Brigadas de defensa antiaérea. Para economizar circuitos telefónicos sólo se pondrán los puestos de observación aéreos precisos, agrupados en número conveniente, los cuales comunicarán con los centros de información del cordón avanzado de escuchas y éstos, a su vez, comunicarán ya directamente con los C. G. de las Brigadas antiaéreas.

La composición de estas Brigadas en el Ejército británico es la siguiente:

1.º Escuadra de dos a cinco escuadrillas de aeroplanos; si se destina a la defensa más de una escuadrilla.

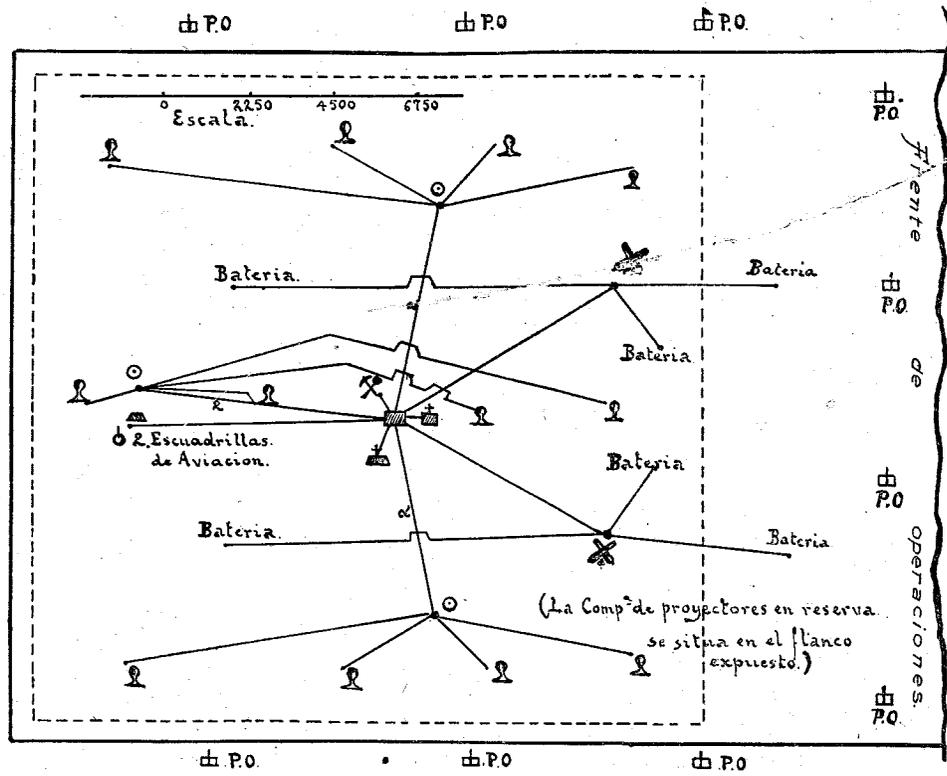
2., Grupos de Artillería formado de dos a cinco baterías, cada una con ocho cañones. En los Grupos de dos baterías una de ellas es de Artillería ligera antiaérea, y en los de cinco baterías hay dos baterías ligeras antiaéreas.

3.º Batallones de Ingenieros antiaéreos, compuestos de cuatro a seis Compañías de proyectores, compuesta cada una de 24 proyectores, y de una Sección de localizadores de sonidos para los observadores aéreos con sus cometidos especiales de localizar sonidos. Tendrá también la Compañía sus talleres técnicos.

Las Escuadras de aparatos, Grupos de Artillería y Batallones de Ingenieros se agrupan en Brigadas mixtas de defensa antiaérea, bajo el mando de un general de Brigada cada una.

La agrupación de dos a cinco de estas Brigadas mixtas forma la División de defensa antiaérea. La proporción de Artillería e Ingenieros en las Brigadas antiaéreas variará según las necesidades de los teatros de operaciones.

El tipo normal de Brigada en el Ejército británico se compone de las siguientes fuerzas: Una o más escuadrillas de Aviación, dos Grupos de Artillería antiaérea (una batería ligera en cada grupo),



Leyenda.

Composición de una Brigada de Defensa antiaérea.

- Cuartel General.
 - 10... Puestos de observación antiaérea.
 - 2... Grupos de Artillería antiaérea.
 - 1... Bón de Ingenieros de proyectores con cuatro Com^º y una en reserva.
 - 1... Escuadrilla de Aviación ó más.
 - 1... Sección de enlaces.
- Cometidos de la Sección de enlaces.

Todas las líneas de la Brigada.
 Líneas de los Grupos a las Baterías.
 Línea del Bón de Ingenieros a las Secciones de Proyectores.
 Líneas de la P. M. de la Aviación a las Escuadrillas.
 Telegrafía de Radio.
Signos Convencionales.

- P.O. ... Puerto de observación
- ☐ ... Telegrafía sin hilos.
- ... Teléfono sin hilos.
- ⊗ ... Sección de Proyectores P. M.
- ... Comp^º de Proyectores P. M.
- ✕ ... Grupo de Artillería P. M.
- ✕ ... Bón de Ingenieros P. M.
- ☐ ... C. G. Brigada antiaérea.
- △ ... Escuadra de Aviación P. M.
- △ ... Escuadrilla de Aviación P. M.
- ▭ ... Área iluminada.

Fig. 2. — Diagrama típico de distribución de las Unidades constitutivas de una Brigada de defensa antiaérea en un frente de 18 kilómetros.

un Batallón de Ingenieros antiaéreo, una Sección de transmisiones. Véase en la figura 2 el esquema de distribución de armas para una Brigada de defensa antiaérea, según las normas del Reglamento inglés *Anti-aircraft defences* (Part. 1. Ground Units).

Localizadores de sonidos.

Localización de aviones por el sonido. Consideraciones generales.—El sonido se propaga por las ondas sonoras y sólo puede transmitirse a través de medios materiales como el aire, el agua o los cuerpos sólidos. Las ondas sonoras ponen en vibración las partículas del medio transmisor análogamente a lo que sucede en el agua con el viento, es decir, la sección de una capa de agua alterada por el viento tomará la forma que indica la figura 4, y lo mismo pasa en el aire con las ondas sonoras. Sin embargo, hay una diferencia

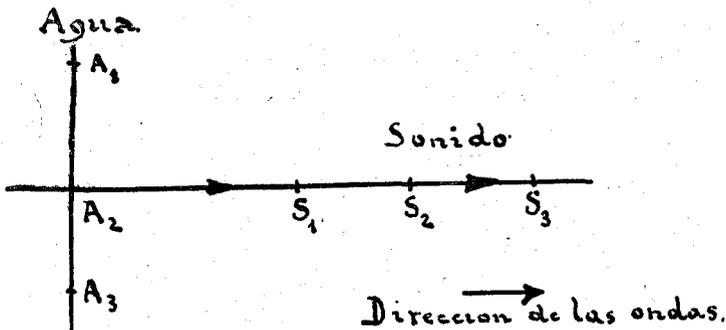


Fig. 3

entre los movimientos vibratorios acuosos y sonoros: las ondas acuosas que causa el viento se producen, por decirlo así, (fig. 3), en un plano vertical (A_1 , A_2 , A_3 representa la oscilación de la partícula A_2 , supuesta en la superficie del agua, hasta que vuelve a su posición primitiva A_2) de modo que un cuerpo que flote en el agua no se moverá con las ondas acuosas, sino que es meramente llevado hacia arriba y abajo sin desplazamiento en ninguna dirección horizontal debido al movimiento ondulatorio de ascenso y descenso que el viento produce en el agua. En las ondas sonoras, el movimiento vibratorio producido por el sonido es a lo largo del camino que siguen estas ondas, es decir, cada partícula aérea oscila hacia adelante y atrás a lo largo de la dirección del sonido, hasta detenerse en su posición

primitiva (fig. 3). S_1 , S_2 , S_3 representa la oscilación de la partícula S_2 , sujeta al movimiento ondulatorio sonoro. La serie de ondas así producidas tendrán nodos y vientres, llamándose longitud de onda la distancia entre dos nodos o vientres consecutivos o entre dos puntos cualesquiera en fase.

Los sonidos producen diferentes longitudes de ondas, según sus orígenes y naturaleza. Los que provienen de aeroplanos volando están constituidos de una mezcla de sonidos con longitudes diferentes de ondas. El tiempo que tarda el sonido en recorrer una distancia dada es independiente de su longitud de onda, y por esta razón los dimanentes de aviones en vuelo, aunque de diferentes longitudes de ondas, llegarán al oído del escucha en el mismo instante.

La velocidad del sonido en condiciones normales es de 336 metros por segundo.

Si pudiéramos aislar y estudiar gráficamente una longitud de

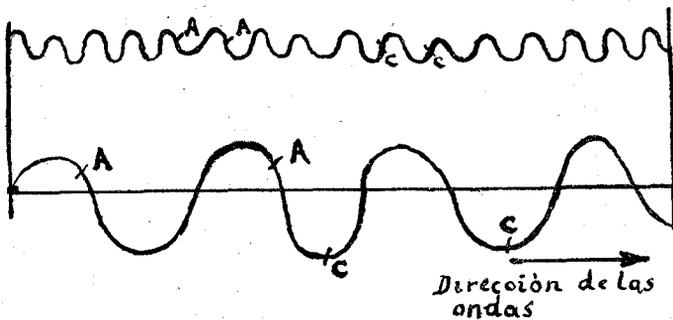


Fig. 4

onda de 336 metros, veríase una serie de vibraciones como en la figura 4, dependiendo la rapidez vibratoria de la clase de sonido.

Supongamos que en la longitud 336 metros hay n vibraciones, es decir, n longitudes tales como AA y CC , entonces la longitud de onda de esta serie de vibraciones será $\frac{336}{n}$ metros.

Las longitudes de ondas de sonidos perceptibles al oído humano varían desde 8 milímetros hasta 21 metros; los sonidos producidos por aeronaves tienen longitudes de onda que varían desde 3 metros a 4,50 metros.

Las ondas sonoras se refractan al pasar de un medio a otro más o menos denso y también pueden reflejarse totalmente en cier-

tas superficies y, por tanto, los sonidos que recorren el espacio estarán a veces afectados de desviaciones que pueden llegar en algunos casos hasta 5 grados.

En medios uniformes los sonidos caminan a velocidad constante, no así su dirección, que dependerá de la velocidad del viento y de las variaciones de temperatura, y habrá que hacer las correcciones debidas a estos factores para poder determinar con exactitud la posición en el espacio de un aeroplano por medio del sonido.

Localizadores de sonidos. Descripción.—El sonido se recoge en estos aparatos mediante dos pares de bocinas y se conduce a los oídos del escucha por tubos y estetoscopios. Un par de estas bocinas con sus ejes paralelos están montadas, cada una de ellas, en los extremos de un brazo horizontal que gira alrededor de su centro. El otro par de bocinas está montado en otro brazo perpendicular al primero y giran en un plano vertical, estando unidas también por tubos y estetoscopios a los oídos de un segundo escucha. Estos aparatos son bastante exactos, de fácil fabricación y fácilmente portables. El oído humano percibe las diferencias de fase de las ondas sonoras al entrar en ambos oídos; y así si un escucha mira a una dirección tal que las ondas sonoras que entren en ambos oídos están en fase, creará instintivamente que el sonido procede directamente de un origen enfrente de él. Este es el método para localizar sonidos con sólo el oído; de modo que si el nodo de una onda sonora llega al oído derecho antes que al izquierdo, por ejemplo, sabrá instintivamente el escucha que el sonido emana desu derecha.

Para emplear el localizador se harán girar las bocinas horizontales hasta que parezca que el sonido viene directamente del frente del escucha, lo cual sucederá cuando al girar ligeramente las bocinas hacia la derecha o hacia la izquierda el sonido parezca trasladarse igualmente en la cabeza del escucha en igual dirección. Con este giro de las bocinas se obtendrán ángulos limitadores en el azimut del blanco, y por esta razón se llaman las bocinas horizontales.

El otro par de bocinas que giran en un plano vertical se usan del mismo modo que las anteriores y darán los ángulos limitadores de elevación, y se llaman las bocinas verticales.

Los ángulos limitadores medios de rumbo y elevación se leen en pletinas graduadas fijas al montaje y sobre las cuales se mueven indicadores fijos a partes móviles del aparato.

Los localizadores llevan montada también una mira que se llama la mira circular y sirve para corregir la línea de mira, pues ésta

queda modificada por el movimiento del blanco durante el tiempo que tarda el sonido en llegar a las bocinas y por las variaciones en la densidad de la atmósfera, suponiendo para el blanco una velocidad determinada. Captada la dirección del origen del sonido por las bocinas horizontales resultará que el camino que siga el sonido del aeroplano será la línea prolongada que va de la mira posterior al cruce de los hilos de la mira circular delantera cuando las bocinas están bien orientadas al origen. Pero como durante el tiempo que tarda en llegar el sonido habrása movido el aeroplano una cierta distancia dependiente de su velocidad, y suponiendo que vuela a altura constante y que la velocidad calculada sea correcta, resultará que el blanco estará en un cierto punto de la circunferencia de la mira circular delantera. Luego la línea que une ese punto con el centro de la mira delantera será el rumbo aparente del blanco, y el centro de esa mira tenderá a moverse a lo largo de esa línea.

A medida que cambie la posición del blanco también variará su posición en la circunferencia de la mira y su rumbo aparente.

Este error es pequeño relativamente y se cubrirá con la dispersión ordinaria del haz luminoso de los proyectores, siempre que el blanco no siga un rumbo demasiado irregular (como veremos después).

En las defensas antiaéreas se emplean estos aparatos para determinar, como hemos dicho, la posición aproximada de los aviones tanto en elevación como en rumbo cuando se oyen sin ser visibles. Determinada la dirección del camino de las ondas sonoras se hacen las correcciones necesarias y se calcula la dirección real del blanco.

Estos aparatos están proyectados para amplificar la intensidad de los sonidos y ejecutar las operaciones necesarias para localizar sonidos a distancias impracticables al oído solo.

Los localizadores deben asentarse fuera del alcance de sonidos perturbadores, tales como motores, talleres, alambres telegráficos, ferrocarriles, cañones, etc., para que puedan percibirse todos los sonidos oíbles a su alcance; hasta el croar de las ranas en terrenos pantanosos ha neutralizado el papel de los localizadores.

Pueden originarse grandes errores por la recepción de ondas sonoras que hayan sido previamente reflejadas por alguna superficie intermedia entre el origen del sonido y el aparato.

De aquí se deduce que la elección de los asentamientos es asunto de gran importancia y se situarán, desde luego, lejos de árboles, cercas y casas.

Empleo de los localizadores como escuchas o centinelas.—El objeto de estos escuchas es:

- 1.º Dar pronto aviso de la proximidad de aeroplanos.
- 2.º Dar pronta información de la nacionalidad, tipo y número de aviones, si es posible.
- 3.º Informar respecto al rumbo y, a ser posible, algunas indicaciones de la altura y velocidad del aparato o aparatos.

Los localizadores-centinelas se asentarán bien a vanguardia de las líneas de aproche del sector defendido. Mientras mayor sea la distancia de estos centinelas al sector defendido más pronto será el aviso que se reciba de la aproximación del enemigo y más tiempo habrá para hacer la información respecto al rumbo, nacionalidad y tipo de los aparatos atacantes, con tal que la distancia no sea tan excesiva que el escucha pierda el enlace con el avión antes de llegar éste al sector defendido.

En estas escuchas habrá gente de guardia de día y de noche, y siempre habrá un observador de servicio escuchando con los estetoscopios a frecuentes intervalos, y si oye sonidos de Aviación lo comunicará y localizará el origen. Los ángulos medios de rumbo y elevación así obtenidos lo transmitirá al centro de información a que pertenezca y continuará transmitiendo informes a los intervalos que se le haya ordenado hasta que el avión esté fuera del alcance (lo que comunicará) *o hasta que reciba órdenes de dejar de observar esa máquina en particular.* Después de unas cuantas lecturas, y por los cambios observados en rumbos y elevaciones, tendremos datos para determinar el rumbo aproximado. Si las observaciones pueden continuarse y registrarse durante un período suficientemente largo, se podrá determinar el rumbo de los aeroplanos con bastante exactitud. Si se conoce la velocidad del blanco, podremos calcular la altura a que vuela por los cambios del ángulo de elevación.

El tipo inglés de localizador tiene poca amplificación para los ruidos de bajo tono de los areoplanos, y, debido a los sonidos que produce el viento al soplar a través de las bocinas, no es muy conveniente para este fin de centinela avanzado.

Comparando la percepción de sonidos por el localizador con la localización de ruidos, por un hombre entrenado, con sólo el oído se observa lo siguiente:

- 1.º El localizador es algo mejor para indentificar ruidos como los de la Aviación. El alcance máximo es de unos nueve kilómetros.
- 2.º Muy ligera ventaja para decidir nacionalidad y tipo, pero casi ninguna para decidir el número de aviones en vuelo.

3.º El período en que se obtienen las lecturas basta para dar una indicación aproximada del rumbo.

Cálculo de la altura, velocidad y rumbo de los aeroplanos por medio de los localizadores de sonidos.—Para calcular por medio de estos aparatos las alturas, velocidades y rumbo de los aviones para el control del fuego antiaéreo, se tendrá en cuenta que los rumbos y elevaciones medias determinados por los localizadores no son los rumbos y elevaciones verdaderas del origen del sonido sino los calculados al llegar el sonido a las bocinas.

Para conseguir exactitud habrá que tener en cuenta los siguientes factores:

1.º El intervalo de tiempo que tarda el sonido en llegar al localizador.

2.º El viento.

3.º Las variaciones de temperatura.

4.º La presencia de capas de vapor de agua en la atmósfera.

Para corregir las tres primeras causas de error se emplean dos métodos.

El primer método consiste en un instrumento de trazar montado en un tablero de dibujo. El instrumento se sitúa en una estación conectada telefónicamente con dos o más localizadores. A medida que se van recibiendo las observaciones de los localizadores se hacen las correcciones necesarias, y así podrá obtenerse un gráfico del rumbo del avión en una carta geográfica que será lo bastante exacto. La altura del avión se puede encontrar por medio de observaciones simultáneas hechas en cada una de dos estaciones situadas en los extremos de una línea base ya calculada. Este método es algo lento en la práctica, puesto que las correcciones hay que hacerlas mientras se hace el trazado, y, además, introduce complicaciones la necesidad de hacer observaciones simultáneas para determinar la altura.

El segundo procedimiento difiere del anterior en que las observaciones de rumbo y elevación que transmiten los localizadores se trazan directamente en un mapa que ha sido preparado antes de empezar el trazado, teniendo en cuenta las condiciones atmosféricas existentes. Así resultará, naturalmente, un trazado más rápido del rumbo del avión. La altura en metros del avión se mide directamente por medio de una escala gráfica, teniendo en cuenta las observaciones recibidas de los localizadores, y no hay necesidad de hacer observaciones simultáneas. Los mapas que se emplean en este procedimiento sirven también para predecir el tiempo que tarda un aeroplano en cruzar una línea dada y el punto de cruce. Para que

esta predicción sea más exacta habrá que tener en cuenta la velocidad del avión y el tiempo del recorrido del sonido. Estas correcciones vienen dadas en ábacos de predicción y en tablas de recorridos de sonidos que se han calculado para este objeto. Este segundo método es más conveniente que el anterior; no se requiere aparato de trazar y las correcciones vienen ya dadas en cartas y ábacos preparados previamente, ni se necesita tampoco la sincronización de las observaciones.

Como ejemplo de la aplicación de este método supongamos que hay que defender un sector por medio de un barraje de fuego anti-aéreo controlado por localizadores de sonidos. Estos sirven para que el oficial que mande el fuego anti-aéreo calcule:

- 1.º A qué sector se aproxima la Aviación enemiga.
- 2.º La altura a que vuela la Aviación.
- 3.º El tiempo que tarden los aeroplanos en situarse a la distancia eficaz de las explosiones de las granadas.

Los localizadores se asientan en una línea a vanguardia de los emplazamientos de Artillería y a una distancia de seis a ocho kilómetros de las baterías para que el aviso sea eficaz, y separados entre sí unos tres o cuatro kilómetros. En el puesto de mando de las baterías estará la central de trazado unida telefónicamente a los localizadores. Además de estos aparatos distantes se requerirán uno o más localizadores más cercanos al sector de fuego de Artillería.

Los lejanos nos darán los avisos y alturas, y los más cercanos al sector de fuego de las baterías los datos para el control del fuego, graduación de espoletas y el punto exacto de aproche.

El localizador de servicio en el Ejército británico es muy útil para los grandes sistemas defensivos anti-aéreos, debido a su portabilidad y utilidad para todos los rumbos y gran exactitud para ángulos de elevación desde 40 a 90 grados. Tiene, sin embargo, el inconveniente de requerir mucho personal.

Empleo de los localizadores en combinación con los proyectores.—Cuando el escucha del localizador indica que ha captado el origen del sonido, el apuntador que mira a lo largo de las miras del localizador, después de alguna práctica, podrá darse cuenta de la dirección de movimiento del centro de la mira circular delantera y calcular, por tanto, el punto de la circunferencia de esa mira en donde debe encontrarse el blanco.

Este apuntador ordena entonces que el proyector correspondien-

te descubra el haz, y mediante pequeños movimientos de éste se corrija su rumbo y ángulo hasta que el cilindro de luz sea tangente a la circunferencia de la mira circular en el punto elegido.

A medida que se mueve el localizador, el haz luminoso se mantiene tangencial a la mira por órdenes convenientes a los encargados del proyector.

Con la práctica podrá el operador del proyector mover también el haz de un lado a otro a lo largo del rumbo aparente del blanco, y de esta manera se podrá neutralizar, en cierto grado, los errores que pueda haber habido al calcular la velocidad del blanco.

El "tanteamiento" se continúa hasta que el blanco se encuentre en el haz de uno de los proyectores del grupo o hasta que pase fuera del área eficaz del proyector correspondiente.

Instrucción del personal de los localizadores de sonidos.—El objeto de los métodos de instrucción de los escuchas aéreos consistirá en desarrollar velocidad y exactitud en la localización de orígenes de sonidos combinado con el movimiento menor posible del localizador, es decir, con un mínimo de horquilla.

Para elegir el personal para estos cometidos se escogerán hombres que no tengan defectos auditivos, habiéndose comprobado que los de salud mediana o torpes no sirven para buenos escuchas.

La instrucción consistirá en:

1.º Conferencias explicativas sencillas referentes a los localizadores y principios en que se funda.

2.º Prácticas de escuchas.

Esta práctica comprenderá gradualmente la localización de sonidos, primero de día y después de noche.

La escuela práctica constará de lo siguiente:

1.ª Con los ojos vendados y con el oído sólo se señalarán orígenes de sonidos fijos y en movimiento. Con este ejercicio se desarrolla la costumbre de volver la cara hacia el sitio donde parece proceder el sonido. Si no se consigue perfeccionar este hábito, puede decirse que el educando no sirve como buen escucha para localizar sonidos.

2.ª Con el localizador se ejercitará el educando en la fijación de un origen fijo de sonido, que debe estar al principio al mismo nivel de las bocinas horizontales del aparato. Después se practica con otros sonidos fijos en el aire para practicar en el empleo de los dos pares de bocinas del localizador.

3.ª Localización de orígenes móviles de sonidos.

La pericia del educando se comprueba por medio de un localizador manejado por escuchas expertos.

Se suprimirán los movimientos y charlas innecesarias cerca del aparato, pues son distracciones para los escuchas y pueden causar errores. Por la misma razón nadie sino el escucha debe tocar el aparato al hacerse las observaciones.

Proyectores.

Para cumplir el triple fin que deben representar los proyectores en estas defensas, según dijimos anteriormente, se les alejarán lo más posible de toda clase de sonido terrestre perturbador, pero en posiciones desde donde puedan cooperar con los más cercanos. Deben estar conectados telefónicamente a un centro de información donde puedan los informes de los distintos proyectores coordinarse y clasificarse.

El personal de proyectores, que no será numeroso, debe estar instruido en localizar sonidos, ayudado o no por localizadores, en motores, en telefonía, en los empleos de los haces luminosos cuando operen en unión de la Aviación o Artillería antiaérea, reparaciones en las instalaciones de proyectores y, finalmente, en el modo de operar sin ayuda en el caso de interrupción de las transmisiones.

Estos cometidos exigen un personal inteligente y que no tengan defectos auditivos ni visuales.

Modo de buscar los blancos con los proyectores.—Hay tres métodos para buscar de noche aeroplanos oíbles, pero invisibles: 1.º, Cuadriculando la porción del ciclo donde el blanco se supone se mueve. 2.º, Por una búsqueda metódica a través del camino futuro supuesto del blanco. 3.º, Por conjeturas o práctica personal.

En los tres métodos, la unidad del movimiento es la anchura del haz aparente de luz como se ve por el personal del proyector, y se la llama "la anchura del haz" o "desplazamiento del haz". Su magnitud angular al pie del proyector es, generalmente, entre 2,50 y 3 grados. Ningún movimiento de búsqueda debe ser mayor que un "desplazamiento del haz" en tres segundos.

Método 1.º Puesto el localizador en el rumbo aparente del sonido, se descubre el haz luminoso y se enfila a la posición supuesta del blanco, moviéndolo rápidamente cinco desplazamientos de haz lateralmente y otros cinco verticalmente hasta el punto donde co-

mienza la búsqueda, es decir, el punto de partida en la atmósfera (figura 5).

Desde el punto de partida en la atmósfera se mueve el haz muy

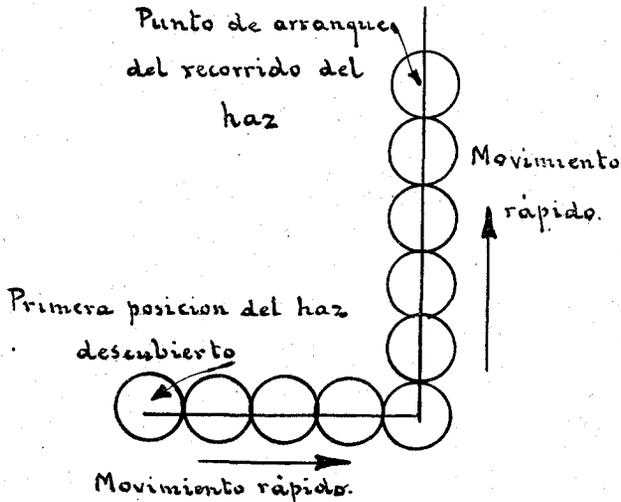


Fig. 5

lento y lateralmente a un lado y a otro, a través de cinco series horizontales de diez desplazamientos de haz cada una, y hacia abajo o hacia arriba un desplazamiento de haz entre cada serie (fig. 6). Esta figura indica gráficamente el recorrido del haz para blancos

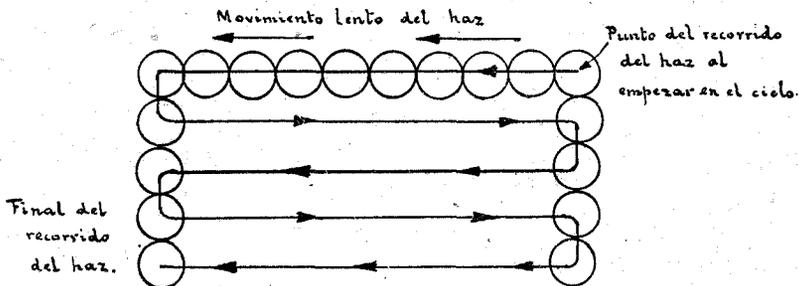


Fig. 6

que se aproximen o crucen directamente u oblicuamente a la derecha. Para blancos que se muevan directamente u oblicuamente a la izquierda, el movimiento inicial del haz hacia el punto de partida en el cielo será a la izquierda. Para blancos que desciendan, el se-

gundo movimiento del haz hacia el punto de partida en el cielo será hacia abajo.

Si este primer recorrido del haz no tiene éxito, se repite el procedimiento desde el principio sobre la nueva posición supuesta del blanco.

El recorrido del haz cubre un gran espacio en el cielo, y es sencillo de ejecutar y fácil de aprender y recordar.

Método 2.º Lo mismo que en el método anterior, se enfila el proyector según las indicaciones del localizador y se descubre el haz. Después se mueve el haz vertical o lateralmente en un espacio de

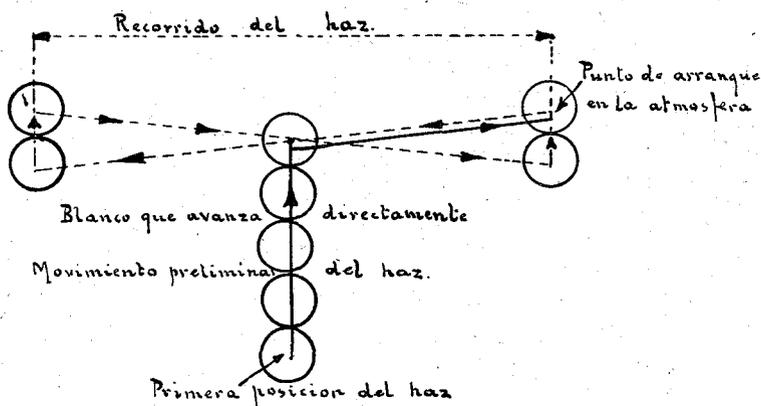


Fig. 7

cinco "desplazamientos de haz" para ponerlo enfrente del blanco (figuras 7 y 8).

Hecho esto se mueve lateralmente el haz como indican las figu-

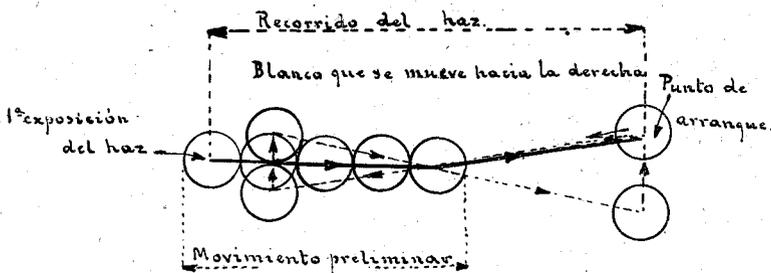


Fig. 8

ras 7 y 8, y así sucesivamente. La búsqueda se mantiene sobre estas líneas hasta que el blanco se descubra o se suponga su posición

en otra parte de la región del recorrido del haz. Los movimientos lentos del haz lo indican las líneas de puntos, y los rápidos las líneas llenas de las figuras.

Las dificultades de este método estriban en que el haz tiene que moverse diagonalmente durante las búsquedas laterales, y que éstas varían en longitud.

Método 3.º Se ha comprobado que después de una gran práctica hay hombres que adquieren la facultad de *sentir* la posición de aviones invisibles, pero oíbles, con bastante exactitud. Este método de trabajo puede decirse consiste, aproximadamente, en exponer el haz luminoso, durante poco tiempo, hacia la posición supuesta del blanco y después de mover el haz constantemente y con movimientos muy lentos y pequeños, sobre todo el sector inmediato adyacente y la posición inicial de iluminación. No es método que convenga, por regla general, y debe restringirse para aquellas unidades de proyectores que hayan demostrado pericia en su uso.

El método 2.º vamos a discutirlo y explicarlo con detenimiento por ser el más generalmente empleado. Lo principal que habrá que tener en cuenta al hacer el recorrido con el haz será que ningún aeroplano cuyo rumbo conduce a través de la zona que se registra, pase sin ser iluminado. Los movimientos del proyector al hacer las búsquedas serán sencillos de entender y fáciles de ejecutar con exactitud.

Para conseguir esto es necesario tener en cuenta una serie de factores que son independientes del haz del proyector. Estos factores son: el rumbo, velocidad y altura del blanco.

Para que el método sirva para todos los blancos, se considerarán sus dimensiones como despreciables. El grado de oblicuidad con el que el blanco se aproxime o aleje habrá que tenerlo en cuenta. La velocidad máxima y la altura mínima se combinan para producir las condiciones menos favorables para el trabajo con los proyectores; por tanto, se considerarán la velocidad máxima y la altura mínima probables.

Cuando se oye un aeroplano será posible, generalmente, determinar con cierta exactitud su rumbo y elevación. Este grado de exactitud dependerá del método empleado (localizadores de sonidos o el oído sólo) y de la instrucción del personal. Este grado de exactitud en la determinación del rumbo y elevación no bastará, generalmente, para dirigir directamente el haz luminoso sobre el blanco, y será preciso buscarlo en el espacio. El arco que tenga que re-

correr el haz depende del error probable cometido en la determinación original del rumbo del blanco. Siempre que la búsqueda empiece con una elevación que asegure que empieza enfrente del blanco, no importará mucho la exactitud del rumbo de éste, siempre que los límites de error sean correctos.

Refiriéndonos a la figura 9 (supongamos primero un blanco S_1

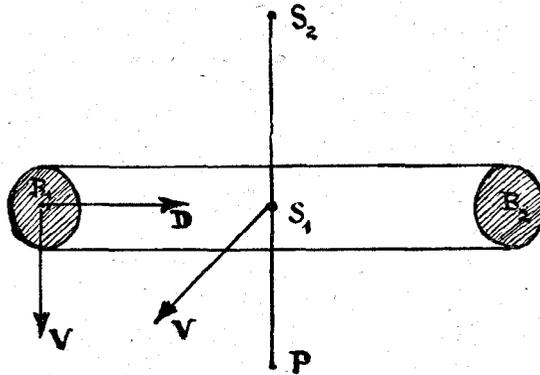


Fig. 9

que se aproxima directamente al proyector P con una velocidad V , y sea B_1 la sección del haz luminoso en el plano horizontal que contiene a S_1 , entonces si B_1 se mueve en la dirección D quedará raramente iluminado S_1 . Si el blanco S_1 está fijo, permaneciendo constantes las demás condiciones, entonces quedará iluminado, desde luego, S_1 si las posiciones relativas son las indicadas.

Si, por último, B_1 y S_1 se mueven con igual velocidad V en la misma dirección y además B_1 se mueve con la velocidad D , también quedará iluminado el blanco S_1 .

Sin embargo, en la práctica puede estar el blanco en la posición S_2 , en cuyo caso, si las condiciones son las dichas últimamente, B_1 cruzará la línea S_2P delante del blanco y no lo encontrará el proyector. De aquí se deduce que el haz debe moverse a un lado y a otro a través de la línea S_2P . Esto no bastará, sin embargo, pues si el haz B_1 tiene una velocidad V paralela a la del blanco, siempre continuaría el haz pasando y repasando a través de la línea S_2P delante del blanco. Para vencer esta dificultad será preciso que el haz se mueva atrás hacia el blanco en alguna parte del ciclo de búsqueda.

Por consiguiente, para satisfacer todas las condiciones habrá que

mover el haz con la velocidad V paralela a S_2P , en tanto se hace desde B_1 una búsqueda, al final de ésta se desplaza el haz hacia S_2 , y después se hace otra búsqueda contraria que tenga la velocidad V hacia el proyector, es decir, paralela a la velocidad del blanco.

El blanco quedará iluminado siempre que el tiempo que se tarde en hacer una búsqueda, más el tiempo del desplazamiento posterior del haz hacia el blanco, no exceda al tiempo que tarde éste en recorrer una distancia igual al eje mayor de la sección elíptica del haz. Si estos tiempos son iguales, entonces la distancia recorrida por el haz en la dirección S_1P durante una búsqueda será casi igual a la longitud del eje mayor de la sección elíptica del haz. Esto indica que el haz, durante la búsqueda, debe elevarse un desplazamiento de haz. El desplazamiento posterior del haz al final de la búsqueda será, por tanto, una depresión igual a un desplazamiento de haz. Para estudiar el recorrido del haz más detenidamente y de un modo más claro, supondremos que el camino del centro del haz en el plano que contiene el blanco es una línea recta y que se desprecia la pausa, en el proyector, de un segundo, al final de cada búsqueda. La primera hipótesis no afecta a los resultados prácticos, pero la segunda habrá que incluirla en los cálculos del recorrido del haz para cumplir las condiciones de la práctica (como veremos a continuación).

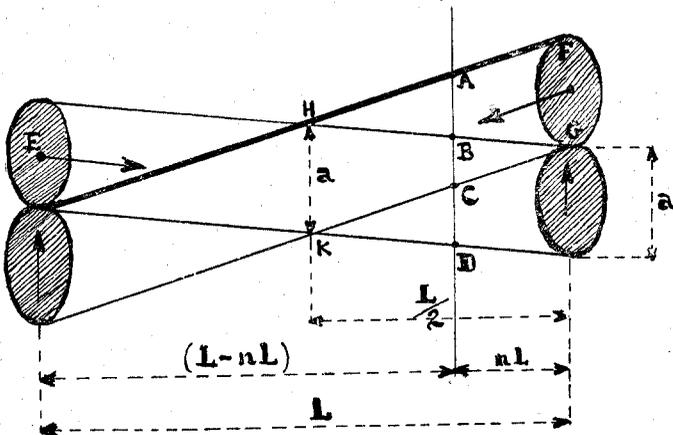


Fig. 10

Refiriéndonos a la figura 10: sea L la anchura del sector que se registra en el espacio y a el eje mayor de la sección elíptica del haz hecha por el plano horizontal que contiene el blanco. Supongamos

que $A B C D$ sea el camino que sigue el blanco en una dirección paralela a $H K$ que atraviesa el área que se registra. Si $n L$ es la distancia desde $A B C D$ hasta un extremo de este área, siendo n cualquier valor positivo menor que la unidad, tendremos que la distancia de $A B C D$ al otro extremo del área registrada será $(L - nL)$.

Considerando el triángulo $G H K$, resulta que como $B C$ es para-

lelo a $H K$, tendremos que $\frac{BC}{a} = \frac{\frac{nL}{L}}{2} = 2n$, de donde $BC = 2na$ y $AD = 2a - BC = 2a - 2na = 2a(1 - n)$.

Se pueden considerar dos casos: 1.º Cuando se pierde en A el blanco y el haz luminoso se mueve de derecha a izquierda; y 2.º Cuando se pierde el blanco en B y el haz se mueve de izquierda a derecha.

En el primer caso se iluminará el blanco si el tiempo que tarda el haz para moverse desde AC a E y vuelta a BD es menor que el tiempo que tarda el blanco para ir desde A a D .

En el segundo caso se iluminará el blanco si el tiempo que tarda el haz para ir desde BD a F y vuelta a AC es menor que el que tarde el blanco para moverse desde B a C .

Si suponemos en el primer caso que T segundos sea el tiempo que tarda el haz para completar el ciclo, entonces la distancia recorrida por segundo será $\frac{2L}{T}$ y el tiempo que tarda el haz para moverse desde AC a E será

$$\frac{L(1-n)}{\frac{2L}{T}} = \frac{T}{2}(1-n)$$

Por tanto, el tiempo que tardará el haz para moverse desde AC a E y vuelta a BD será $T(1-n)$ segundos.

Ahora bien: el tiempo que tarda el blanco para recorrer una distancia a , es decir, el eje mayor de la sección elíptica del haz debe ser, según dijimos anteriormente, igual, a lo más, a lo que se tarda en una búsqueda, o sea $\frac{T}{2}$. Luego si el blanco recorre a metros

en $\frac{T}{2}$ segundos, la velocidad será de $\frac{2a}{T}$ metros por segundo. Y

para recorrer la distancia AD , que es igual a $2a(1-n)$, necesitará $\frac{T}{2a} \times 2a(1-n)$ segundos, o sea $T(1-n)$ segundos, que es el mismo que el que tarda el haz, y, por tanto, se cumplen las condiciones requeridas, es decir, son iguales los tiempos del recorrido del haz y el que necesita el blanco para recorrer una distancia igual al eje mayor de la sección elíptica del haz.

En el segundo caso, el tiempo que tarda el haz para moverse desde BD a F y vuelta a AB , es igual a $\frac{2nL}{T} = nT$ segundos. El tiempo que tarde el blanco para ir desde B a C una distancia $2na$

será $\frac{2na}{T} = nT$ segundos.

Vemos, por consiguiente, que en ambos casos los tiempos son iguales, de modo que un blanco que se pierda en A se cogerá en B , y un blanco que se pierda en B se cogerá en C .

Un recorrido del haz de esta clase es eficaz, por lo que hemos demostrado, en todo su alcance. Los blancos que se muevan más despacio que los considerados anteriormente quedarán, desde luego, iluminados con este recorrido del haz, mientras que los que caminen más de prisa se pueden perder. Este recorrido del haz debe calcularse, por tanto, teniendo en cuenta la velocidad máxima probable de la Aviación atacante.

Ahora bien: las dimensiones de la sección del haz aumentan con el alcance de éste; de modo que a mayor alcance del haz, las distancias AD y BC (fig. 10), serán mayores que las consideradas anteriormente y el tiempo que tarde el blanco en recorrer estas distancias será mayor, mientras que el tiempo que tarda el haz para ir desde AC a E y vuelta a BD en el primer caso estudiado, y desde BD a F y vuelta a AC en el segundo caso, permanecería el mismo, es decir, no excede al tiempo que tarda el blanco y quedará iluminado.

Para un ángulo dado de elevación, el recorrido del haz tendría así un margen de seguridad, que aumenta a medida que la altura del blanco lo hace también. Por esta razón, los cálculos se basarán en la altura mínima probable del blanco.

Para tener en cuenta la pausa de un segundo, que hemos despre-

ciado al hacer estos cálculos, en el extremo de cada búsqueda y la ligera falta de simetría que se introduce por eso, se harán las siguientes modificaciones: 1.^a Si el tiempo de un ciclo es igual a T , y el tiempo que tarda el blanco para recorrer la distancia $a = \frac{T}{2}$,

entonces el tiempo de una búsqueda será $\frac{T-2}{2}$, acortándose así

la búsqueda ligeramente, comparada con la considerada anteriormente. 2.^a Debe instruirse al encargado del control del proyector que reduzca la elevación de un desplazamiento de haz e invierta simultáneamente la dirección del recorrido del haz al final de una búsqueda. Con práctica se podrá conseguir que la duración de la pausa al final de una búsqueda sea menor que un segundo.

Defensas antiaéreas pasivas.

Obstáculos aéreos.—Los obstáculos suspendidos de globos pueden servir para proteger de noche localidades especiales. Su objeto es actuar de valla a los aviones que desciendan para bombardear a poca altura, desde donde la puntería es más exacta, y también sirven para producir efecto moral en los pilotos, lo que hará que éstos dejen caer las bombas fuera del punto atacado. Tienen el inconveniente de ejercer también efecto moral, perjudicial en los pilotos de los aviones defensores. Estas vallas tienen también la desventaja de limitar las alturas, entre las cuales hay que patrullar, y en cierto grado hay el riesgo para los aviones defensores de quedar apasionados entre los obstáculos aéreos y los aparatos enemigos.

El objeto de estas defensas será proporcionar la mayor cantidad de obstáculo en la altura que se requiera, teniendo en cuenta el número de hombres disponibles y cantidades de gas y otros materiales a emplear.

Hay dos formas principales de obstáculos de globos, llamados el sistema de valla y el sistema francés.

En el primer sistema se emplean unidades de gran número de globos. Una valla consiste en tres globos unidos en línea, de una capacidad, cada globo, de 850 a 1.130 metros cúbicos. Entre los cables principales de los globos se extiende otro cable horizontal, del cual cuelgan redes de alambre que sostienen pequeños pesos en sus extremos inferiores para el atirantado de la valla.

El sistema francés consiste en unidades pequeñas de uno o dos

globos, cada uno de ellos de unos 1.500 metros cúbicos. Estos llevan sólo un cable, al cual, si se emplean dos globos, se unen en tandem.

El volumen de los globos y, aproximadamente, su fuerza ascensional, varía como el cubo de sus dimensiones lineales. El peso del material usado y las presiones del viento varían sólo como el cuadrado de sus dimensiones lineales. Por tanto, en principio, será más económico emplear globos de gran volumen en vez de pequeños para elevar un peso dado.

Se necesita una cierta altura, por varias razones aeronáuticas sin relación con las defensas de globos, bajo la cual no podrán volar los pilotos para expediciones de bombardeo a larga distancia. En cualquier sistema defensivo de esta clase, el obstáculo de alambre en el aire bajo esta altura será inútil. En el sistema de valla, la cantidad de cable en el aire cerca del terreno es muy pequeña en proporción del obstáculo total suspendido.

En este sistema, la profundidad de la valla, es decir, la parte más tupida y principal del obstáculo es sólo igual a la longitud de las partes colgantes de las redes. La valla puede colocarse a la altura que se requiera, casi hasta la máxima altura de los globos, y el efecto desmoralizador producido existirá en toda la amplitud de la altura. Aunque los globos se vean, serán invisibles a los pilotos los alambres de la valla, que sólo sabrán debe estar en alguna parte el obstáculo entre la línea de los globos y el terreno.

Para comodidad en el montaje y manejo de estas vallas es mejor en la práctica subir los globos hasta unos 60 metros antes de unir la valla, la cual no podrá, por tanto, elevarse tan alta como los globos.

El globo central de este sistema soporta la mitad del peso de la valla, mientras que los otros dos globos soportan, cada uno, un cuarto del peso. Luego el globo central debe tener más fuerza ascensional que los otros.

El sistema de valla requiere una comarca muy despejada; si el terreno es de bosques o interceptado por caminos y ferrocarriles, convendrá instalar obstáculos de globos del sistema francés.

Todas las defensas dependientes de globos son muy vulnerables.

Alteración del paisaje y empleo de sectores de terreno falsos o simulados. — Dentro del terreno de operaciones convendrá, de cuando en cuando, engañar a los aviadores enemigos por medio de caminos simulados, obras enmascaradas, etc., teniendo en cuenta que estos disfraces no servirán durante un período largo de tiempo.

El servicio de información del enemigo o la observación revelarán pronto el engaño, y, por estas razones, sólo se harán estas obras durante cortos períodos de tiempo y con un objeto especial.

En el caso de defensas fuera del teatro inmediato de operaciones, el empleo de sectores falsos se limitará probablemente a la instalación de fábricas simuladas y terrenos poblados simulados, que se usarán de noche. Una fábrica puede fácilmente simularse por medio de luces y la producción de humo o vapor. La simulada se debe establecer cerca de la fábrica que se intenta imitar, pero no tan cerca que las bombas dirigidas a una alcancen a la otra, bastando con una distancia de dos a tres kilómetros. La fábrica simulada debe protegerse con proyectores y fuego antiaéreo. Situadas a la distancia dicha, los proyectores y cañones que protegen la fábrica real podrán usarse contra los aviones atacantes a la simulada.

El establecimiento de estos falsos sectores puede presentar dificultades ajenas a las consideraciones militares. Puede ser difícil encontrar en la proximidad de una ciudad importante terrenos tan desprovistos de habitantes, que sus ocupaciones y necesidades puedan desprejarse. Sin embargo, algo podrá hacerse en este aspecto si los terrenos simulados o falsos se cambian constantemente y se guarda el secreto debido.

Obscurecimiento de las luces.—Las ciudades y pueblos pequeños que no se descubran por la línea de un río u otras señales exteriores, pueden ocultarse por completo con el apagado total de las luces exteriores.

Las grandes poblaciones no pueden ocultarse de este modo, y más bien la completa obscuridad puede tener más inconvenientes que las ventajas que se ganen por el ocultamiento. Esta clase de ciudades, aun con poco alumbrado y con una atmósfera diáfana, son visibles desde el aire hasta distancias de 60 a 80 kilómetros. Además, las luces de las calles y las interiores derivan, generalmente, del mismo sistema de distribución eléctrica y, por tanto, al apagar unas se apagarían también las otras, lo cual presenta serias dificultades.

La explotación de los sistemas ferroviarios convendrá mantenerla durante la campaña y no deberán obscurecerse sus luces; las luces de los semáforos no son visibles a cierta altura, no muy grande. Sin embargo, un tren en marcha se descubre por el resplandor del hogar, y las chispas de los trenes eléctricos y tranvías son visibles a una gran altura.

Las luces de los vehículos carreteros, si se enmascaran convenientemente, son apenas visibles.

La comarca se dividirá en sectores, organizando metódicamente el tráfico y el trabajo para que la mera amenaza de un raid aéreo no paralice toda la vida de la región.

Si se emplea un buen sistema de obscurecimiento, no será preciso apagar las luces ni dar aviso final sino cuando los aviones enemigos estén entrando en el sector que se considera. El sistema civil de comunicaciones de aviso debe ser siempre distinto del sistema empleado en los sectores de combate.

Humos.— El enmascaramiento por humos en las defensas anti-aéreas permanentes hay que efectuarlo en gran escala si se quiere sea útil. Cubrir con humos una fábrica de poca extensión es, sencillamente, llamar la atención de los pilotos de un punto digno de bombardear. Será también inútil borrar con humos una pequeña señal, tal como el recodo de un río, si se deja visible el resto de él. Si se desea obscurecer una señal guiadora, como, por ejemplo, la línea de un río largo, será preciso una organización en gran escala por humos para efectuar la protección (como veremos a continuación).

Cuando se emplean las cortinas de humos, se procurará no entorpecer los medios activos de protección, tales como cañones anti-aéreos y patrullas de aeroplanos.

Empleo de los humos en campaña.

Consideraciones tácticas.— Los objetos principales del empleo de las cortinas de humos son, en primer lugar, efectuar sorpresas y, en segundo, reducir las bajas. Estos dos efectos se combinan al emplear los humos para ocultar tropas en movimiento. El fundamento de la táctica de humos es impedir al enemigo la puntería o la observación, o ambas, sin dificultar la acción de las tropas propias. Estos principios pueden aplicarse a casi todas las situaciones tácticas, y su aplicación satisfactoria descontará la necesidad de efectuar ataques nocturnos o al amanecer.

Al considerar el empleo en gran escala de las granadas de humos habrá que tener en cuenta en qué extensión nos podrán ser beneficiosas la noche, niebla, polvo, atc., así como el efecto cubridor producido por las explosiones de los *shrapnels* o las granadas de alto explosivo.

En el empleo de los humos será un factor importante el tiempo

y el estado del terreno. Con tiempo seco y en terreno polvoriento, el humo y el polvo causados por las granadas de *shrapnel* y de alto explosivo son tales que rodean a la Infantería en combate con una bruma que, sin necesidad de humos, impedirá grandemente ver los incidentes de la lucha como la observación de su avance. Sin embargo, los observadores situados fuera de la inmediata zona de batalla podrán observar el progreso general de ésta, y serán necesarias las cortinas de humo para obstruir su observación.

En tiempo muy seco y en comarcas de alta hierba seca, cardos, etcétera, habrá que tener en cuenta las propiedades incendiarias de ciertas sustancias fumíferas como el fósforo blanco.

Naturalmente que la dirección del viento será lo más importante e indicará si los fuegos de pastos afectan desfavorablemente a nuestras tropas.

Los humos pueden dispararse por granadas de artillería, bombas de Aviación y morteros, tubos de escape de los tanques, granadas de fusil, bujías de humos y generadores flotantes y fijos de varias clases.

Vemos que, prácticamente, todas las Armas pueden emplear los humos lo mismo aisladamente que en combinación con las demás. Cada Arma debe saber, por tanto, por qué medios y en qué grado pueden ayudarle las otras en la producción de humos.

El fuego mal dirigido y vacilante pocas bajas causa y más bien tiende a animar al enemigo, haciéndole creer que su oponente está debilitado.

Los humos bien empleados disminuyen la eficacia del fuego enemigo y también su moral, ya que la ansiedad del enemigo, por no saber lo que sucede tras las cortinas de humos, aumentará.

La mera aparición de una nube de humos no querrá decir necesariamente que le siga un ataque. Puede ser una artimaña deliberada para distraer la atención del enemigo del punto real de ataque o para descubrir detalles de sus planes de defensa o solamente hacerle gastar municiones.

Si a una nube de humos sigue un ataque resultará difícil, durante un cierto tiempo, o hasta imposible, averiguar su fuerza y dirección, con la ventaja, además, de mantener a las tropas defensoras en constante incertidumbre.

Por estas razones los humos contribuirán a descaminar y cegar al enemigo.

Sin embargo, hay que tener en cuenta que el momento de un

ataque no podrá ocultarse por los humos. Por el contrario, la aparición de humos colocará al enemigo en guardia, haciéndole ver la inminencia de él.

Los humos en el ataque.—En el ataque convendrá segar centros de resistencia o, sobre todo en comarcas llanas y despejadas, formar cortinas tras las cuales puedan avanzar las tropas, tanto durante el despliegue como en la batalla.

Los humos pueden también ser útiles para ocultar los flancos de unidades atacantes o para cegar posiciones de blanco ocupadas por el enemigo. Los humos serán muy útiles en las luchas por la posesión de bosques y pueblos. Si ha habido tiempo para poner tales posiciones en estado de defensa, será empresa costosa atacarlas de frente, y será mejor, generalmente, rebasarlas y atacarlas por retaguardia. En estas operaciones y en las luchas que sobrevendrán, dentro de los bosques y pueblos, darán los humos una decidida ventaja al atacante. Podrá aproximarse éste sin ser visto, y los tiradores escogidos, situados en posiciones dominantes dentro del perímetro defensivo, perderán la mayor parte de sus ventajas.

El humo queda suspendido en los bosques y en alguna extensión en los pueblos durante cierto tiempo.

El empleo de los humos ofrece evidentes oportunidades en las operaciones necesarias para cruzar ríos anchos que sean obstáculo serio. Con esto se pretenderá sorprender al enemigo respecto al punto principal de paso y, al mismo tiempo, disminuir las bajas durante el ataque. Las operaciones referentes a la construcción, paso o demolición de un puente serán menos costosas si el fuego enemigo puede cegarse por humos.

Los humos en la defensa. — En la defensa habrá que emplear con gran prudencia los humos, ya que es esencial que los defensores vean bien sus blancos. Pueden usarse, para ocultar los movimientos de las reservas, tropas de contraataque, o para proteger una retirada.

Se tendrá siempre en cuenta que, en la mayor parte de las comarcas, es fácil frecuentemente improvisar humos, aun no habiendo en el lugar dispositivos para ello. Un montón de paja incendiado produce una buena humareda, y otros expedientes análogos pueden encontrarse con frecuencia.

Empleos de los humos.—Los empleos de los humos son muchos, tales como interrumpir materialmente la observación terrestre y aérea, ocultar las concentraciones de tropas, lugares de formación,

aproxches, cuadrillas de trabajadores, baterías en acción en posiciones peligrosas y los *raids* en campañas estabilizadas.

Ya se ha indicado el empleo de los humos como finta o añagaza. Generalmente, los humos enervarán al enemigo y pueden emplearse por eso para inducirle a guarnecer sus defensas y exponerle así a los efectos de las granadas. Cuando se consideren los humos para emplearlos en las operaciones siguientes a un período de campaña estabilizada, habrá que descargar previamente nubes de humos, sin que tenga lugar después ninguna acción, para aquietar al enemigo, engañándolo con una falsa sensación de seguridad.

Cuando haya que ocultar el avance de tropas en la batalla, convendrá generalmente que las cortinas de humos se hagan en una alineación tal que los tiradores enemigos, observadores, etc., sufran lo más posible, en tanto que las tropas propias avanzan todo lo que puedan detrás de las cortinas, pero no dentro de la humareda.

De aquí se deduce que con viento de flanco habrá que formar las cortinas de humos de modo que caminen cerca del frente de la línea enemiga a ocultar.

Con viento favorable habrá que formar las cortinas a gran distancia del objetivo para asegurar la formación completa y eficaz de la cortina antes de llegar al enemigo. Las distancias reales a los objetivos varían con los medios empleados de producción de humos, pudiendo darse, como regla aproximada, en el caso de granadas de humos de Artillería y bombas de morteros, la de 400 metros.

Las tentativas para ocultar por humos tropas en estacionamiento habrá que hacerlas con precauciones. Es de prever que las cortinas de humos serán, por regla general, combatidas por la Artillería enemiga, y, por tanto, deberán formarse a alguna distancia, unos 500 metros, si es posible, de los blancos a ocultar. Las disposiciones que se tomen dependerán, naturalmente, de las consideraciones topográficas.

En todas las operaciones de humos deben entrar en juego constantemente la imaginación y la variedad para que el enemigo nunca esté seguro de lo que espere. En el transcurso de una batalla, una iniciativa razonable en el empleo de los humos en los momentos críticos conducirá a disminuir las bajas y a evitar interrupciones en el avance constante del ataque.

Vantajas e inconvenientes de los humos.—Los humos tienen las ventajas inherentes a su buen empleo, pero tienen ciertos inconvenientes que hay que considerar. Para la Infantería y tanques acom-

pañadores, los humos pueden hacer difícil que las tropas sigan la dirección que se les indique, y favorecerán a que hombres decididos se aproximen a los tanques a cubierto de las cortinas y los ataquen con bombas. También puede perjudicarse seriamente la observación artillera y aérea, lo mismo que los reconocimientos durante la batalla y las comunicaciones heliográficas.

Es evidente, por las razones dichas, que será preciso una sólida instrucción en las tropas para que saquen provecho de los humos, ya que deben prepararse para sufrir pérdidas de contacto y apoyo por las otras Armas y, en cierta medida, falta de mando.

La imposibilidad de confinar una cortina de humos a la localidad o sector que se requiera hará necesario que el empleo de los humos lo regule el Alto Mando, porque usado con ventaja en un sector del frente de batalla podría ser su presencia en otra parte perjudicial al éxito de las operaciones.

Debe recordarse también que las cortinas espesas de humos pueden, en todo tiempo, tapar las contra-baterías, debido al movimiento de los humos a campo traviesa.

Si se producen los humos muy cerca de las tropas propias hay el inconveniente de que pueden ocultarse por estos humos las unidades contra-atacantes enemigas y podrán aproximarse sin descubrirse desde el aire o desde el terreno.

Transporte de los humos.—La proporción entre las armas productoras de humos y las de fuego que pueden transportarse en el campo de batalla requiere consideración especial.

El peso que puede llevar un soldado de Infantería sin disminuir su eficiencia, el número de proyectiles que acompaña a una batería y el peso que puede transportar un aeroplano representan ciertas cifras que no se pueden exceder normalmente, aunque tales cifras podrán variar con el teatro de operaciones, los perfeccionamientos en el equipo, etc.

Cuando se presenten casos especiales en campaña respecto a la cantidad de armas productoras de humos a emplear, el Mando, después de contrapesar las ventajas e inconvenientes ya explicados, tendrá en cuenta que los artificios productores de humos sólo podrán llevarse, por regla general, descartando un peso igual de armas mortíferas, municiones u otro material esencial.

Enlaces.—Como dijimos anteriormente, los humos hacen difícil la transmisión de mensajes por medios visuales. En todas las operaciones con humos, lo mismo las iniciadas por el enemigo que por

las tropas propias, las señales luminosas, se ha comprobado, son los medios mejores para los enlaces. Sin embargo, como el enemigo, en tales circunstancias, puede usar también las mismas, será necesario preparar de antemano un alfabeto sencillo de señales que se explicará a los individuos del servicio de enlaces. Si se trata sólo de seguir un barraje móvil de humos no habrá que prever ninguna dificultad en los enlaces para las tropas que siguen el barraje, a no ser en caso de cambio en la dirección del viento.

Consideraciones técnicas.

Factores naturales.—La eficacia de una cortina de humos depende, aparte de la perfección técnica de los artificios empleados, de las condiciones meteorológicas, tales como la dirección y velocidad del viento, temperatura, humedad y presión barométrica, y también, en cierto grado, de los accidentes topográficos. La velocidad del viento y la dirección son las primordiales.

Es imposible establecer reglas definidas respecto a espesor, área y duración de una cortina de humos, pues hasta el presente el empleo de los humos en campaña ha sido muy limitado. Los párrafos siguientes sólo se tomarán como guía general, ya que es asunto que requiere experiencia e investigación científica.

Dirección del viento. Viento de flanco.—Un viento de esta clase favorece la penetración en las líneas. Por regla general, las cortinas de humos podrán colocarse con la mayor eficacia cuando el viento sople desde un flanco y no haya riesgo de cegar los objetivos de las tropas vecinas. Las pantallas frontales podrán con tal viento formarse eficaz y económicamente.

Viento favorable.—Los vientos de esta clase favorecen el envolvimiento. Es el viento mejor cuando se usen los humos para apoyar ataques contra una línea de puntos de apoyo o cuando se deseen establecer cortinas a los flancos. Por tanto, servirá este viento para apoyar *raids*, pues los flancos podrán más fácilmente taparse con cortinas de humos. Estos vientos tienen el inconveniente de exigir un gran consumo de humos.

Viento de cara.—Un viento de esta clase siempre presenta un problema difícil, debiéndose emplear las granadas de humos o las bombas de mortero con mucho cuidado por temor de cegar las tropas propias. Las nubes de humos producidas por el fósforo blanco pueden ser eficaces en condiciones favorables hasta distancias de

1.000 metros; de aquí que las probabilidades de hacer más daño que provecho al atacante son muy grandes.

Las pantallas de humos para cubrir tropas atacantes con viento de cara no deben intentarse, excepto en los casos que expresamente lo deseen las tropas después de tener en cuenta los riesgos a que se exponen; de todas maneras, en estos casos se formarán estas nubes sólo por medio de granadas de humos de Artillería. Estas granadas no deben emplearse con viento de cara sobre objetivos que estén a menor distancia de 1.000 metros de las tropas atacantes.

Si hay que formar pantallas de humos con vientos de cara, sea por Infantería, Artillería, Zapadores u otras Armas, se dispararán estas granadas lo suficientemente lejos del enemigo para asegurar que no cegarán al ataque ni dejen al enemigo en atmósfera clara. Como regla aproximada, las granadas fumíferas de fusil deben estallar a unos 25 a 30 metros detrás de la posición atacada.

Los humos pueden emplearse con viento de cara para tapar los flancos de un ataque, procurando abatirlos a la distancia conveniente de los flancos para evitar el peligro de envolvimiento por las tropas atacantes.

Viento de través.—Con esta clase de viento variarán las soluciones con la oblicuidad con que sople. Sin embargo, habrá que cuidar no dejar brechas en las cortinas (fig. 11). Si el ángulo que hace

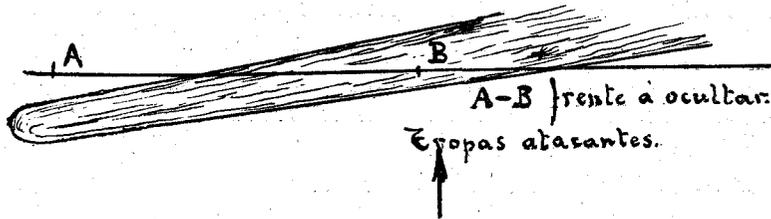


Fig. 11

la dirección del viento con el frente a oscurecer es pequeño y la extensión de él es también pequeña, entonces se tratará el problema como para un viento de flanco.

Si el ángulo mencionado es grande, se tratará el asunto como para un viento favorable, sea cualquiera la longitud a ocultar (figura 12).

Si el ángulo es de unos 45 grados (fig. 13), entonces, aunque las pantallas de humos *P* y *R* ocultarían al enemigo, situado entre *A* y *D* (a las tropas atacantes que avancen en la dirección de la

flecha), las tropas hostiles situadas entre *B* y *C* podrían ver el avance de tropas entre *E* y *F*.

De consiguiente, el callejón oblicuo habrá que llenarlo por la pantalla (de puntos) *Q*. La cantidad de municiones requeridas pue-

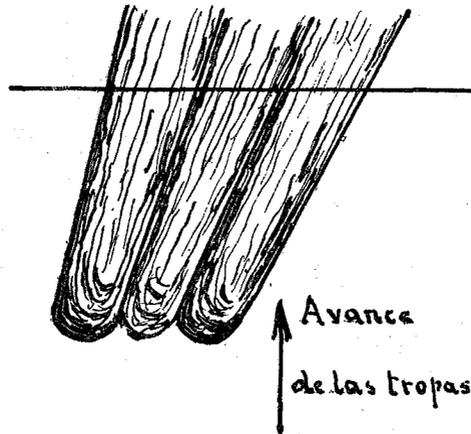


Fig. 12

de calcularse como para un viento favorable (ver el ejemplo 4.º de cortinas de humos al final de esta parte), pero si cada uno de los callejones dichos se forma con granadas del obús de 11,3 centímetros, por ejemplo (ver tabla III), tendrán las cortinas una anchura

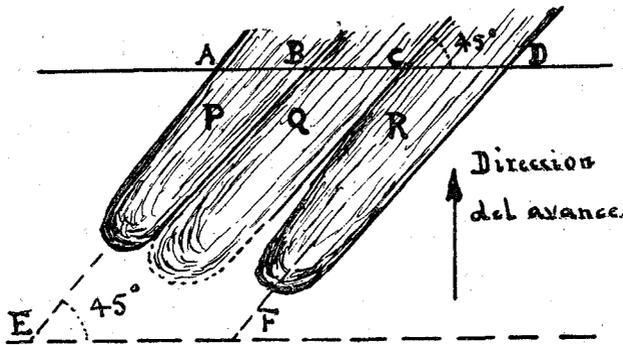


Fig. 13

de 30 metros y oscurecerán una extensión algo mayor (unos 35 metros) en *A B*. Es decir, se requerirán menos municiones que para un viento favorable. (Nos referimos al material artillero inglés, que

emplea proyectiles fumíferos por desconocer el empleado en nuestro Ejército.)

Velocidad del viento.—El espesor de una nube de humos depende, en gran escala, de la velocidad del viento. Si ésta es mayor o menor que 13 a 26 kilómetros por hora, habrá necesidad de consumir una gran cantidad de municiones de humos para producir una cortina eficaz. En la tabla de la página 39 damos la conocida de Beauford de velocidades de viento con una columna indicativa del flamear de banderas con los vientos:

En la guerra de movimiento no debe intentarse la producción de cortinas de humos con vientos de más de 24 kilómetros por hora ni cuando sean adversas las condiciones atmosféricas. El pequeño efecto de ocultamiento producido con un viento violento no compensa el gran gasto de municiones que se requiere.

Las condiciones ideales para producir cortinas de humos son un viento de 12 a 18 kilómetros por hora, nublado y atmósfera húmeda.

Las condiciones desfavorables son vientos suaves y constantes de menos de 3 kilómetros por hora y vientos violentos de más de 35 kilómetros por hora; en estas condiciones será difícil establecer una cortina eficaz, y la gran cantidad de municiones que se requiere sólo permitiría hacer la tentativa en campañas estabilizadas. Cuando no hay viento y hace mucho calor o mucho Sol será imposible establecer cortinas de humos.

La anchura de una pantalla de humos debe ser, por regla general, de dos a tres veces la anchura del objeto a ocultar.

En la tabla de la página 40 se da una lista de los artificios productores de humos, con sus pesos y alcances, reglamentarios en el Ejército británico:

Estos tipos y calibres de piezas son material inglés reglamentario. La eficacia de los varios proyectiles que contienen fósforo blanco varía casi en razón directa de la cantidad de fósforo que contengan. El fósforo blanco, al inflamarse, produce una nube de humos inicial muy densa, y es la sustancia más eficaz conocida para este fin.

Se pueden improvisar otros medios productores de humos tales como la inflamación de fósforo rojo al aire libre o prendiendo fuego a paja empapada en sacos o heno húmedo, barriles de alquitrán, madera verde, etc.

Bujías fumíferas y granadas de fusil y de mano fumíferas.—La granada ordinaria de mano y de fusil puede emplearse como granada de humos dotándola de un disparador especial. Empleada co-

TABLA I

ESCALA DE VIENTOS DE BEAUFORD

Número de Beauford	Nombre del viento	OBJETOS NATURALES	BANDERAS	Velocidad aproximada a 1,80 metros del suelo, en kms. por hora
0	Calma	El humo se eleva verticalmente	No hay movimiento	0
1	Aire ligero	El humo deriva con este viento, pero las veletas no se mueven	No hay movimiento	3
2	Brisa ligera	Se siente el viento en la cara; las hojas susurran; las veletas corrientes se mueven	Ligero movimiento	6
3	Brisa suave	Las hojas y tallos pequeños se mueven constantemente	Las banderas flamean tres cuartos	12
4	Brisa moderada...	Levanta polvo y papeles; las pequeñas ramas se mueven	Sube y baja con frecuencia ..	18
5	Brisa fresca	Los árboles pequeños con hojas empiezan a oscilar; se forman ondulaciones en las aguas de los ríos.	Sube y baja con menos frecuencia	24
6	Brisa fuerte	Se mueven las grandes ramas; se oye el silbido de alambres telegráficos	Sube y flamea constantemente	33
7	Viento violento...	Se mueven los árboles enteros; se siente molestia al caminar contra el viento		42
8	Temporal	Rompe las ramas pequeñas de los árboles; no se puede caminar generalmente		56
9	Fuerte temporal.	Ocurren daños en los edificios (chimeneas y tejas se desprenden)		65
10	Huracán	Rara vez ocurre en los continentes; los árboles se arrancan de raíz y grandes daños en los edificios.		78

TABLA II

ARTIFICIOS DE HUMOS	SUSTANCIA QUE PRODUCE EL HUMO		PESO MEDIO TOTAL	ALCANCE	OBSERVACIONES
	Peso	Naturaleza	Llena con espoleta y pintada		
Granada de mano y de fusil	355 grmos.	Fósforo blanco ..	0,900 kgs..	120 mts..	Puede arrojarse a mano a una distancia de 50 metros.
Bujía de humos	1,127 kgs..	Sustancia fumífera	1,640 kgs..		
Bomba de mortero de 7,5 centímetros (Stokes)	1,100 kgs..	Fósforo blanco ..	5,398 kgs..	750 mts..	Con carga de cordita o tetralita
Bomba de mortero (Stokes) de 10 centímetros	3,540 kgs..	Fósforo blanco ..	11,176 kgs..	1.150 mts..	
Granada de obús de 9,3 centímetros	0,965 kgs..	Fósforo blanco ..	9 kgs..	5.900 mts..	
Granada de cañón de 83 centímetros	0,364 kgs..	Fósforo blanco ..	8 455 kgs..	9.500 mts..	
Granada de obús de 11,3 centímetros	2 kgs..	Fósforo blanco ..	16,500 kgs..	7.000 mts..	
Flotante de humo tipo "Admiralty"	45,4 kgs..	Tetracloruro de carbono	72,430 kgs..		

mo granada de mano puede arrojarse a unos 50 metros. Al explotar esta granada esparce fósforo ardiendo sobre un círculo de unos 15 a 20 metros de radio (nos referimos a las reglamentarias en Inglaterra). Con viento de flanco, de 13 a 26 kilómetros por hora, un grupo de ocho granadas, disparadas o arrojadas cada minuto, mantiene una cortina eficaz sobre unos 300 metros.

Con viento favorable, de 13 a 24 kilómetros por hora, 16 granadas por minuto pueden mantener una cortina eficaz en un frente de unos 40 metros.

Las bujías de humos se pueden utilizar, en grandes cantidades, en ciertas condiciones de campaña, y si bien la bujía es menos eficaz como productora de humos que la granada fumífera de fusil, un cierto número de bujías forma una pantalla muy eficaz con viento de flanco. Una bujía de humo arde durante unos tres minutos, mientras que el humo eficaz de una granada se produce por completo durante medio minuto o menos.

Como las bujías no podrán lanzarse de cualquier manera, su situación y empleo dependerá de la dirección del viento. En los ataques deben encenderse dentro de la línea avanzada de Infantería, y, por tanto, tienden a revelar las posiciones ocupadas.

Si se emplean las bujías con viento de flanco es estrecha la cortina resultante, y con viento de cara hará difícil para las tropas que avancen en la estela de la cortina mantener su dirección.

Las bujías fumíferas pueden emplearse por todas las Armas, aunque las tropas estén poco adiestradas en su uso. Son útiles para ocultar los fogonazos de las baterías, puntos importantes en los sectores de retaguardia y defensas fijas. Arrojadadas encendidas en los abrigos subterráneos los despejarán eficazmente, ya que el humo producido es muy espeso y desagradable de respirar.

Con viento favorable, una bujía por minuto por cada 12 metros de frente es lo eficaz. Con viento de flanco de 13 a 20 kilómetros por hora, seis bujías por minuto deben mantener una cortina eficaz sobre unos 150 metros.

Para formar pantallas con granadas fumíferas de fusil o con cualquier otra forma de generador de humos será necesario organizar cuidadosamente la formación de las cortinas de humos para obtener el resultado mejor posible con la mayor economía de material. El personal dedicado a este cometido debe instruirse de antemano en el empleo del material a emplear, y será muy conveniente la práctica de las tropas en estos ejercicios.

El programa especificará el gasto que puede hacerse de sustancias fumíferas, y se dará por escrito al personal en cada puesto de humos.

Proyectiles fumíferos. — Los proyectiles de los obuses de poco calibre son más eficaces y económicos que los de los cañones ligeros, con los cuales, en ciertas condiciones atmosféricas, es impracticable la formación de opacas cortinas de humos.

Se empezará para hacer la cortina con una salva, siguiendo después un fuego metódico. La experiencia demuestra que se mantiene mejor la cortina por fuego de batería que por salvas, es decir, pieza a pieza. Los proyectiles fumíferos y las bombas de mortero son de gran efecto incendiario en tiempo seco, esparciéndose, ardiendo o inflamándose, las partículas del fósforo que contienen sobre un área de 15 a 20 metros de radio.

Para determinar el método y velocidad de fuego que hay que adoptar para establecer cortinas de humos con proyectiles fumíferos, los principales factores que habrán que tener en cuenta son la clase de pieza empleada, la dirección y velocidad del viento y las corrientes de aire ascensionales que se forman en tiempo caluroso y soleado. Será necesario crear las nubes de humos a alguna pequeña distancia a barlovento del blanco a cegar, y por eso no será eficaz la cortina hasta pasados uno o dos minutos después de abierto el fuego.

Cuando los proyectiles fumíferos se usen en pequeñas operaciones, la distancia a que deben estallar a barlovento del objetivo depende del estado del viento y del calibre del proyectil empleado. Esto último condiciona la velocidad del fuego; a mayor calibre empleado menos efecto tendrán las condiciones atmosféricas adversas.

Si el terreno está muy mojado o fangoso convendrá, al usar *shrapnel*, elegir una graduación de espoleta que dé un porcentaje algo menor de explosiones rasantes que de ordinario, y, al mismo tiempo, emplear un cierto número de proyectiles fumíferos para aumentar el efecto ocultador de las cortinas rastreras.

Con casi todas las piezas, el proyectil fumífero tiene alcances diferentes a los otros tipos de proyectiles usados. Por consiguiente, las piezas que disparen granadas fumíferas, en planes artilleros ya preparados, no se les debe hacer que disparen al mismo tiempo otras municiones. En las cortinas rastreras, el fuego fumífero debe superponerse al ordinario de las otras piezas y, si es necesario, debe ser rasante para mantener a nivel la pantalla de humos.

En el ejemplo 4.º, al final de esta parte, se da la guía general para formar cortinas de humos con proyectiles fumíferos.

Morteros.—Las bombas fumíferas de los morteros son muy eficaces, pero, generalmente, sólo se emplearán en las condiciones de campaña estabilizada. Con respecto al frente a cubrir, se debe poner un mortero de 10 centímetros para cada 90 metros de frente con viento de flanco, y por cada 45 metros con viento favorable.

Las bombas fumíferas del mortero de 7,5 centímetros cargadas con 1,100 kilogramos de fósforo blanco son análogas a las anteriores, con la diferencia de mayor velocidad de fuego y su material menos pesado que el de 10 centímetros. Con respecto al frente a cubrir, debe haber un mortero de 7,5 por cada 50 metros con viento de flanco, y a cada 25 metros con viento favorable. Lo mismo en uno que en el otro tipo se debe empezar la cortina con dos disparos de fuego rápido por cada mortero empleado. En los ejemplos tercero y cuarto, al final de esta parte, se dan ejemplos para formar cortinas con las bombas de estos morteros.

Tanques.—Puede ser posible con viento de flanco ocultar el avance de la Infantería y tanques descargando humos por el tubo de escape de los tanques guías. Pero hay que recordar que un tanque que esparza humos con viento de flanco presenta un blanco muy característico, y debe, por tanto, si es posible, cubrirse por otras cortinas de humos.

A continuación se dan ejemplos prácticos de cortinas de humos producidas en distintas condiciones y por diversos medios:

Primer ejemplo. — Bujías de humos es el material empleado. *Objetivo a ocultar:* Sector de concentración en un frente de 2.000 metros. *Dirección del viento:* Paralelo al frente enemigo y constante. *Velocidad del viento,* 9 a 12 kilómetros por hora. *Material disponible:* Bujías de humos de las indicadas en la tabla II.

Debe formarse una cortina de humos de 4.500 metros de largo y a 400 metros enfrente de la línea avanzada del sector de concentración, según dijimos en párrafos anteriores.

Se colocarán grupos de dos hombres, separados, cada grupo, 150 metros en la línea de la cortina que se intenta hacer. Cada grupo encenderá seis bujías de humos cada minuto. De este modo, si hay que mantener la cortina durante dos horas, se requerirán 21.600 bujías, puesto que habrá 30 grupos (o sea 4.500, dividido por 150), y como cada grupo encenderá 720 bujías, los 30 grupos gastarán 21.600.

El personal que se requerirá será, pues, 60 hombres, aparte de los dedicados al transporte del material. Los hombres deben aprovecharse de las protecciones disponibles, y cada grupo, si es posible, debe llevar un reloj.

Ejemplo segundo.—Objetivo a ocultar: Área de concentración en un frente de 2.000 metros. *Dirección del viento:* Hacia el enemigo y constante. *Velocidad del viento:* 9 a 12 kilómetros por hora. *Material disponible:* Bujías de humos del mismo tipo que el anterior. Debe formarse una cortina de 4.500 metros de longitud y a 400 metros enfrente de la línea avanzada del área de concentración.

Se colocarán los hombres, separados unos de otros, 25 metros a lo largo de la línea de la cortina de humos que se proyecta. Cada hombre encenderá dos bujías cada dos minutos y las arrojarán de tal modo que no dejen brecha. Si la cortina hay que mantenerla durante dos horas, se necesitarán 21.600 bujías.

El personal requerido será: 180 hombres, aparte de los destinados al transporte del material. Esta cortina es más eficaz que la descrita en el ejemplo anterior.

*Ejemplo tercero.—*El objeto de la operación es ocultar un *raid* de la observación enemiga durante el avance y la retirada.

El viento es favorable, de 12 a 18 kilómetros por hora; siendo el material disponible ocho morteros con bombas de humos. Se dis-

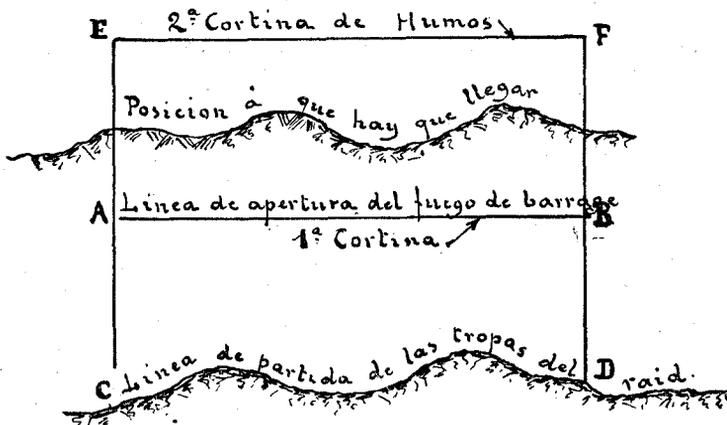


Fig. 14

tribuirán del siguiente modo: cuatro morteros para formar la cortina frontal, dos morteros para el flanco *CE* (fig. 14) y otros dos para el flanco *DF*.

Sobre AB se harán dos disparos por mortero para oscurecer la observación desde la posición a que hay que llegar en el *raid*; después se eleva el tiro a EF y se disparan dos disparos por mortero por minuto.

Para formar las cortinas de los flancos se dispararán dos ráfagas sobre CE y DF , y después dos disparos por minuto por mortero.

Se debe crear una cortina de humos suplementaria al mismo tiempo a 200 ó 400 metros sobre los flancos para atraer el fuego y descaminar al enemigo respecto al lugar efectivo del *raid*.

En este ejemplo se debe establecer una mayor velocidad de fuego para formar las pantallas ordinarias de humos que las que se dan en el ejemplo cuarto siguiente, porque los humos podrán producirse generalmente cerca del frente del objetivo a ocultar, y de este modo los disparos aislados tienen poco tiempo para extenderse y solaparse.

Ejemplo cuarto.—Formación de cortinas de humos con cañones de 8,3 centímetros, obuses de 9,3 centímetros y de 11,3 centímetros y morteros de 7,5 centímetros y 10 centímetros. (Véase tabla II.) Sustancia fumífera empleada: fósforo blanco (ver fig. 15).

Si la velocidad del viento aumenta o disminuye marcadamente habrá que aumentar el consumo de municiones, aumentando la velocidad de fuego si es posible.

Si aumenta la temperatura o hace mucho sol habrá que aumentar también el consumo de municiones (aumentando, si es posible, la velocidad de fuego).

TABLA III

CLASE DE PIEZA	Velocidad de fuego de batería (Por pieza)	Caso A de la figura 15 Longitud de X , en metros	Caso B de la figura 15 Anchura Y , en metros
Obús de 11,3 cms...	15 segundos.	1.000	30
Obús de 9,3 cms...	7 segundos.	750	20
Cañón de 8,3 cms...	3 segundos.	500	15
Mortero de 7,5 cms.	10 segundos.	500	25
Mortero de 10 cms.	30 segundos.	1.000	45

Si en el caso B de la figura 15 se emplea menor número de piezas habrá que reducir proporcionalmente la velocidad de fuego.

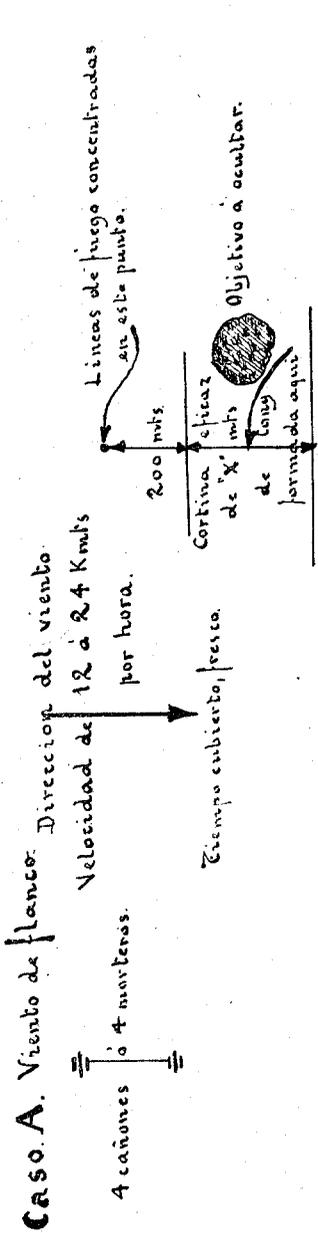


Fig. 15

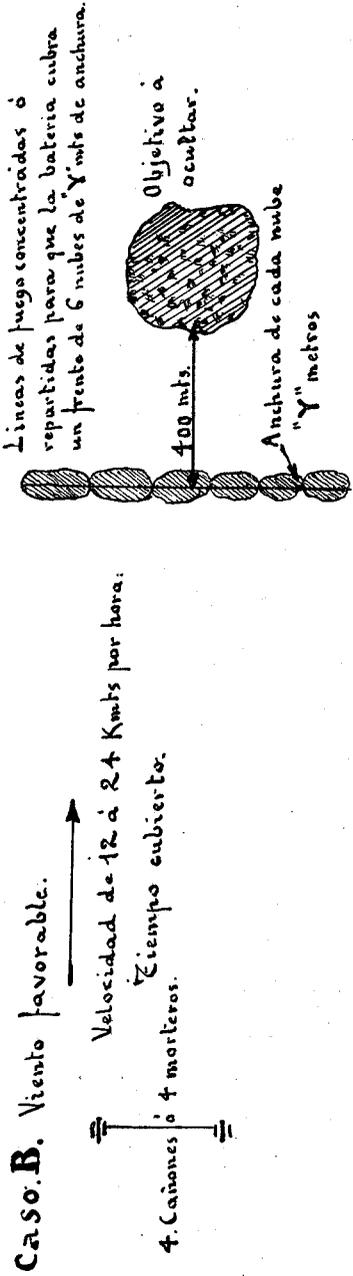


Fig. 15

Si la batería tiene seis piezas habrá que aumentar proporcionalmente la velocidad de fuego para que no se disminuya la velocidad de tiro por pieza. En el cuadro de la página 45 se especifican las velocidades de fuego de las piezas empleadas y longitudes y anchuras de las cortinas de humos resultantes.

Empleo de los humos por la Infantería y Zapadores.

Observaciones generales. — Al arma de Infantería y a los Zapadores les interesa en particular la táctica fumífera, pues los movimientos de la Infantería y tanques acompañadores, lo mismo que el trabajo del zapador, quedan desenfilados por el ocultamiento que los humos proporcionan. No sólo las tropas atacantes podrán ocultarse por los humos, sino que al enemigo podrá engañársele, respecto al punto de partida y dirección del ataque, desarrollando volúmenes adecuados de humos en frentes distintos al de ataque real.

Por medio de los humos, convenientemente empleados, se podrá imponer al enemigo artificialmente las condiciones de la noche durante un período del ataque, en tanto que las ventajas del día quedan a favor de las tropas atacantes. Podrá conseguirse también en menos tiempo y con menos bajas acercarse al enemigo, teniéndolo en la incertidumbre con avances que pudieran venir de direcciones insospechadas. También se facilita mucho la infiltración en las líneas enemigas por pequeños grupos de hombres decididos.

Para emplear la táctica fumífera con éxito será preciso la instrucción adecuada. El empleo de los artificios productores de humos lo deben practicar todas las clases y no confiarla a unos pocos individuos adiestrados.

Artificios fumíferos para Infantería y Zapadores. — La granada de humos de fusil sirve principalmente como arma de la Infantería para operaciones ofensivas tanto como artefacto incendiario como productor de humos. Es muy a propósito para incendiar abrigos, cegar puestos de ametralladoras o para ocultar pequeños ataques, pero es difícil transportar muchas granadas en el campo de batalla y resulta antieconómico usarlas en la formación de las grandes cortinas de humos.

Si un ataque es detenido por las ametralladoras enemigas se podrá indicar la posición de éstas disparando granadas de fusil fumíferas hacia ellas, estableciéndose así puntos de referencia hacia donde las otras armas del ataque pueden dirigir sus fuegos.

El mortero de 7,5 centímetros (Stokes), que acompaña a la Infantería en el Ejército británico, dispara bombas fumíferas de más alcance que la granada fumífera de fusil.

Tiene propiedades tácticas parecidas a la del mortero de 10 centímetros (véase tabla II), aunque de menos volumen productor de humos, estribando su principal debilidad en su falta de suficiente movilidad, pero aun así puede acompañar en los ataques a la Infantería.

Las bujías de humos se transportan fácilmente en la guerra de movimiento y las emplean la Infantería y los Zapadores en las operaciones activas. Sirven también para cegar emplazamientos de ametralladoras o para tapar ataques locales, aunque son menos útiles para este fin que las granadas de humos de fusil. El contenido de las bujías es mucho menos incendiario que el fósforo blanco, que es el contenido de las granadas fumíferas.

Táctica fumífera de la Infantería en el ataque.—Las pantallas de humos pueden formarse localmente durante el avance de la Infantería por medio de las granadas de fusil y bujías de humos cuando se encuentren dificultades imprevistas, aunque estas cortinas se establecen más fácilmente por el fuego fumífero de la Artillería y los morteros.

Pelotones atacantes pueden emplear las granadas de humos para cubrir su avance en terreno despejado y expuesto al fuego, para cubrir flancos al descubierto y proteger patrullas de *raids* en la guerra de posiciones.

Las granadas de humos de la Artillería no deben dispararse únicamente enfrente de la Infantería atacante, sino de modo que proporcionen una cortina de la profundidad suficiente.

La Infantería sabrá que un bombardeo preliminar nunca garantiza la destrucción total de los asentamientos de ametralladoras establecidos por el enemigo, lo mismo en guerra de movimiento que estabilizada, y que, por tanto, debe estar preparada la Infantería para luchar con aquellos emplazamientos que queden con sus propias armas, apoyada por los humos de los morteros o Artillería de campaña que haya disponible. El avance se apoyará eficazmente si tales puestos quedan rápidamente cegados, pues así no tendrá eficacia el fuego enemigo.

Será mejor, generalmente, envolver los puestos defendidos a cubierto del humo y después tomarlos por retaguardia; por otra parte, los ataques frontales se apoyarán mejor por medio de granadas

fumíferas de fusil disparados antes de cada asalto, distribuyéndose el fuego de ellas hacia un flanco o a lo largo de la línea, según la dirección del viento. Cerca del objetivo, las granadas fumíferas de fusil se arrojan como granadas de mano.

Si hay que emprender obras de consolidación en la línea tomada, las cortinas de humos colocadas lejos de la línea ganada permitirán el establecimiento de puestos avanzados y que la obra de reconstrucción se complete con un mínimo de pérdidas por el fuego enemigo eficaz. Pero habrá que tener gran cuidado que no sirva también el humo al enemigo como pantalla para ocultar la reunión y avance de sus tropas contraatacantes. Las granadas fumíferas de fusil serán útiles para estos o similares fines.

En campañas estabilizadas los humos podrán emplearse con más amplitud, habrá más tiempo para la preparación de planes de ataque locales y podrá definirse con precisión el papel que ha de representar cada arma.

El empleo de los humos facilita indudablemente el éxito de los *raids* de día, que, de otro modo, sólo serán factibles protegidos por la oscuridad. La Artillería y los morteros podrán intervenir en estas operaciones, y en campañas estabilizadas no habrá dificultades para proporcionar los proyectiles fumíferos necesarios.

En estos *raids* será conveniente, por lo general, las cortinas cerradas de humos combinadas con ataques fumíferos simulados en uno o en ambos flancos, pues no sólo el fuego enemigo encontrará dificultades por esto, sino que también los esfuerzos de sus tiradores escogidos quedarán reducidos a un estado de relativa impotencia.

Táctica fumífera en la defensa.—En las operaciones defensivas, los humos pueden representar un gran papel en los contraataques, regulándose su empleo por los principios y métodos que se aplican al ataque. Deben evitarse las descargas prematuras de humos, ya que será casi seguro entonces atraer un fuego violento en el momento más inoportuno.

En las retiradas, los humos evitan bajas, permiten a las patrullas protectoras permanecer más tiempo en las pendientes avanzadas y retirar también las tropas en formaciones más compactas y más en la mano del Mando. En estos casos se dispararán los humos por ráfagas.

Sin embargo, las posibles desventajas del empleo de los humos en las retiradas habrá que tenerlas muy en cuenta, sobre todo con

respecto a sus posibles perjuicios en la cooperación de las otras armas. (Ver Ventajas e inconvenientes de los humos en párrafos anteriores.)

Es necesario distinguir claramente entre la conducta de una acción de retaguardia prolongada, emprendida deliberadamente por razones estratégicas, y las circunstancias de una retirada precipitada obligada por el éxito táctico temporal de un enemigo superior en número. En el primer caso hay que presuponer un plan de operaciones coordinado, de modo que cada Unidad opere con órdenes dadas y pueda emplear confiadamente todas las armas a su disposición sin temor de impedir la acción de las otras.

En las retiradas precipitadas, la coordinación de las armas dependerá, a lo mejor, de la cooperación de mandos subordinados, y en tales casos el empleo de los humos por un arma sin referencia a las otras puede acarrear el fracaso de todas sin poder sacar todo el partido de la potencia de fuego a su disposición.

Cooperación y enlaces entre las armas.—En todos los casos donde se usen los humos en la guerra de movimiento es esencial el enlace más estrecho entre la Infantería y Artillería.

La Infantería y los tanques sabrán que la Artillería no puede apoyarles por completo, seguir su avance y aprovechar las oportunidades pasajeras, si se oscurece la observación artillera por los humos o al menos se perjudique por ellos. De aquí que haya que estudiar de antemano las disposiciones convenientes para los enlaces, y la extensión en que cada unidad pueda emplear los humos habrá que considerarla teniendo en cuenta el efecto que puede producir en las otras armas.

Las granadas fumíferas y las bombas puede emplearlas a veces la Infantería como medio indicador de blancos a la Artillería de sostén. Sin embargo, tales medios de comunicación suelen conducir a incertidumbres y errores, y no se deben emplear a menos que sea propiamente comprendido por todas las Unidades interesadas.

Empleo de los humos por la Artillería.

Observaciones generales.—Los proyectiles fumíferos sirven para oscurecer la visión y no para causar bajas en el personal. Se disparan para cumplir los objetivos principales siguientes:

1.º Para preparar el camino de un ataque o contraataque y apoyar los asaltos.

- 2.º Para proteger una retirada.
- 3.º Como finta y, a veces, como señales.

Hablando en general, la ocasión principal para el empleo de proyectiles fumíferos es inmediatamente antes y durante el movimiento de la Infantería y tanques acompañadores. Sin embargo, como el fuego destructor de Artillería es primordial, no se emplearán más que las piezas precisas para disparar proyectiles fumíferos, a fin de mantener la cortina de humos del suficiente espesor durante el período de tiempo requerido.

En la guerra de movimiento no es probable que la Artillería transporte gran cantidad de proyectiles fumíferos; serán sólo los necesarios para cegar puestos defendidos o para ocultar flancos al descubierto durante períodos breves de tiempo. Todas las armas se darán cuenta que con material artillero fumífero limitado las cortinas de fuego y los planes fumíferos en gran escala no serán practicables, que son la táctica corriente de la guerra estabilizada.

Táctica fumífera de la Artillería en el ataque.—Los humos son con frecuencia útiles en el ataque, ya que ayudan a ocultar los movimientos de la Infantería y a facilitar el acercamiento con la Infantería de la defensa.

Todas las cortinas de humos deben, en principio, prolongarse más allá de los límites del frente elegido para el ataque, de modo que el enemigo quede en duda respecto al punto real de peligro.

El empleo de los humos no debe descuidarlo la Artillería por interés propio, sobre todo respecto al ocultamiento de los fogonazos en los disparos. Las baterías podrán cambiar de posiciones o cruzar terreno expuesto, con menos pérdidas, empleando cortinas protectoras de humos que lo que sería de otro modo. A veces será posible ocultar en el combate el avance de la Artillería hacia posiciones expuestas, encendiendo bujías fumíferas antes de aproximarse a esas posiciones. De todos modos habrá que proteger las baterías del fuego eficaz enemigo durante los períodos críticos de desatallar.

En los ataques preparados apoyados por tanques será preciso, generalmente, espesar con proyectiles fumíferos la cortina que precede a los tanques-guías, además de las cortinas fijas de humos que se subiesen ordenado. En los períodos iniciales de esta clase de ataques se proporcionará una cortina eficaz si la Artillería ligera dispara un 10 a 15 por 100 de proyectiles fumíferos. Estas cifras sólo se considerarán como guía general y habrá que variarlas para adaptarse a las condiciones tácticas, meteorológicas y otras.

En las últimas etapas de estos ataques pueden surgir circunstancias en que los proyectiles fumíferos apoyen a la Infantería en su tarea. Entonces las condiciones se aproximarán a las de la guerra de movimiento y habrá que mantener, por tanto, el más estrecho enlace entre los cuerpos designados para el avance, de Artillería e Infantería, a fin de que puedan tomarse las medidas inmediatas que hagan frente a emergencias repentinas, sea por medio de proyectiles fumíferos u otros proyectiles, sin detrimento de la acción de las Unidades próximas.

Táctica fumífera en la defensa.—En la defensa puede ser desastroso el empleo sin método de los humos.

Pueden surgir ocasiones en que el empleo de proyectiles fumíferos, en casos de contraataques deliberados, tengan aplicación, procurando en estos casos no obstruir la visión de los otros Cuerpos de Infantería, todavía en sus posiciones, de los tanques y Artillería ligera.

En las retiradas, el objeto primario de la Artillería es forzar al enemigo a detenerse y desplegar para el ataque lo más frecuente y a la mayor distancia posible. Puede ser, por último, cometido de la Artillería sostenerse en sus posiciones hasta el final a la mayor costa posible del enemigo. Para estos fines sólo serán eficaces los proyectiles mortíferos y no los fumíferos.

Cooperación y enlaces.—Los proyectiles fumíferos pueden utilizarse en ocasiones como señales para la Infantería y tanques; por ejemplo: para marcar una línea definida de fuego de cortina o cambiar su dirección, aumentando o disminuyendo repentinamente el número de proyectiles fumíferos disparados por minuto. Sin embargo, tales señales se pueden pasar por alto en la batalla real y no hay que confiar mucho en ellas.

En la guerra de movimiento pueden ser útiles ráfagas de proyectiles fumíferos para marcar el cambio hacia un flanco en la dirección de avance de un ataque.

Cuando la observación sea difícil pueden los proyectiles fumíferos ayudar a los observadores terrestres o aéreos a localizar el sitio de la caída de las granadas.

Empleo de los humos con los morteros.

Observaciones generales.—En el Ejército británico, el mortero de 10 centímetros (Stokes) (ver tabla II) es destinado para formar el material de guerra de Unidades especiales que se agregan a los

Cuerpos combatientes, según lo exijan las necesidades. La organización conveniente es la Compañía de cuatro secciones y cada sección en tres pelotones. Cada pelotón es mandado por un oficial, equipado con cuatro morteros. Los sirvientes de cada mortero son cinco, los cuales se requieren para transportar el mortero, montaje y placa de fundación.

Además de estos sirvientes habrá en estas compañías el número suficiente de hombres para el acarreo de municiones, etc., para no recurrir a las otras Armas. El tipo de 10 centímetros del Ejército inglés no tiene montaje en ruedas y no sirve para la guerra de movimiento ni para acompañar a la Infantería en los ataques preparados en guerra estabilizada, debido al peso del mortero y municiones. Un hombre sólo puede llevar dos bombas de 11 kilos (que es el peso de las bombas de este tipo de mortero) una distancia reducida. El otro tipo de 7,5 centímetros (Stokes) se ha tratado ya de él en páginas anteriores.

Bombas fumíferas.—El empleo táctico de las bombas fumíferas de los morteros es, en principio, idéntico al de los proyectiles fumíferos.

Los morteros no tienen, naturalmente, el alcance de la artillería, pero las bombas de ellos pueden explosionar más certeramente sobre las tropas atacantes que los proyectiles de artillería. Estas bombas tienen casi doble cantidad de fósforo que los proyectiles fumíferos del obús de 11,3 centímetros (ver tabla II) y son, por tanto, económicamente más eficientes, lo mismo en este respecto que en el de no emplear nunca artillería (y, por consiguiente, desgaste de piezas, etc.) en cometidos que otras Armas pueden hacer igual o mejor. Además, el estrecho enlace con las tropas atacantes se facilita con estas armas, pues los morteros hay que asentarlos necesariamente en la proximidad de la línea de avance.

Por las razones dichas serán muy útiles los morteros de 7,5 y de 10 centímetros en las condiciones de guerra estabilizada. Sobre todo, prestarán un gran servicio en los *raids* de día, en que serán convenientes las cortinas cerradas de humos para cubrir el avance y retirada de los grupos que los efectúen. Por regla general, se debe crear una cortina de humos auxiliar a unos centenares de metros, hacia un flanco del *raid*, a fin de descaminar al enemigo y atraer una parte de su fuego. En tiempo seco, las bombas fumíferas, en unión de los proyectiles de Artillería, poseen un gran efecto incendiario.

Conviene asentar los morteros en grupos de a cuatro para facilitar el mando. Se emplazarán de modo que no entorpezcan los movimientos de la Infantería; las bifurcaciones en las trincheras de comunicación son convenientes para este objeto.

Es esencial una instrucción especial para el personal destinado a operaciones con los humos. De los oficiales y clases no adiestrados en esta táctica no puede esperarse nada de ellos, y todavía menos que sepan apreciar los factores meteorológicos.

Empleo de los humos por los tanques.

Observaciones generales.—Los tanques o carros de asalto, tales como los existentes hoy día, son muy vulnerables al fuego de artillería, de tal modo que hasta ahora el cañón es indudablemente la principal arma antitanque.

El tanque ofrece un blanco grande y característico, visto fácilmente por los observadores terrestres y aéreos, y aunque a prueba contra los cascós y balines de *shrapnel*, se pone fácilmente fuera de combate por los impactos directos.

El mayor peligro para los tanques es el fuego directo sobre las mirillas, lo mismo de las baterías que de las armas especiales antitanques.

Por consiguiente, los tanques exigen en todo momento consideración especial respecto al ocultamiento, tanto en reposo como en movimiento. En el último caso, los humos prestarán un buen servicio. Para que las operaciones con tanques sean satisfactorias, habrá que tener en cuenta: 1.º El avance inicial de los tanques debe ser invisible al enemigo. 2.º La puntería de la artillería enemiga que se emplee en fuego antitanque, hay que entorpecerla por todos los medios posibles, incluso con los humos.

Táctica fumífera de los tanques en el ataque.—En las primeras etapas de un ataque combinado de infantería y tanques, la acción de la artillería de sostén será similar a la establecida para un ataque de infantería, excepto que una proporción adecuada de proyectiles fumíferos, si los hay, sea siempre incluida en el fuego protector de la artillería. La proporción de proyectiles requeridos dependerá del estado del tiempo y del terreno (ver páginas anteriores).

Si se emplean los fuegos de cortina, habrá que distribuir el fuego fumífero uniformemente para que no queden brechas en las cortinas que se establezcan.

Las cortinas de humos pueden ser valiosas si se establecen sobre posiciones que puedan proteger armas antitanques y, si no se puede emplear fuego de cortina, para oscurecer los tanques al cruzar una cresta o descendiendo por pendientes avanzadas.

Sin embargo, los jefes de tanques tendrán en cuenta lo que dijimos en páginas anteriores, o sea, que en la guerra de movimiento poca ayuda puede esperarse del bombardeo fumífero de la Artillería. Es decir, los tanques deben prepararse para ayudarse por sí mismos en la guerra de movimiento con los recursos de que puedan disponer.

Enlaces de los tanques con las otras armas. — La Infantería, igual que la Artillería, tratará de proteger a los tanques del fuego de la artillería ligera combinando los fuegos, los movimientos y los humos. Podrá suceder que la Artillería no pueda proveer una cortina de humos, y habrá que recurrir entonces a las granadas de fusil y bombas fumíferas de mortero que pueda haber disponibles con la Infantería.

Si los tanques quedan envueltos por los humos, quedarán sus tripulaciones inutilizadas para usar sus armas. Además, un enemigo decidido puede aproximarse a pie a cubierto del humo y atacarlos con bombas. En tales circunstancias, será deber de la Infantería más cercana actuar en seguida para socorrerlos.

Los tanques pueden descargar cortinas de humos de sus escapes, pero hay que tener cuidado al emplear este procedimiento. Las descargas de humo de esta naturaleza, en operaciones en gran escala, hay que estudiarlas de antemano, y no se les permitirá dejar escapar humos a voluntad de sus jefes individuales; de otro modo, resultarán invariablemente interferencias con la acción de otras armas o de otros tanques.

Sin embargo, con vientos convenientes se podrán disparar útilmente los humos por los tanques que por razones de distancia u otras causas no puedan cubrirse por proyectiles fumíferos. Cuando se hayan conseguido los objetivos inmediatos y los tanques han sido localizados por el enemigo, entonces las descargas de humos por los escapes apoyarán la retirada de éstos a los puntos de abastecimiento para equiparlos para ulteriores acciones ofensivas. Con viento de flanco será posible ocultar el avance de la Infantería y tanques descargando humos por escape de los tanques guías. Las granadas fumíferas pueden transportarse en los tanques y servirán frecuentemente en unión de los humos de los escapes o aisladamente.

Empleo de los humos por la Aviación.

Observaciones generales.—El fundamento del empleo de los humos por la Aviación será proporcionar ocultamiento a las fuerzas terrestres en las ocasiones en que, por razones de distancia u otras consideraciones, tales fuerzas son incapaces de apoyarse en el grado necesario.

Los humos pueden usarse por la Aviación:

1.º Como cortina tenue en largas alineaciones para ocultar la Infantería en el avance.

2.º Para oscurecer la puntería de las armas antitanques del enemigo.

3.º Como cortina espesa para tapar puntos fijos durante un cierto período de tiempo.

El primer uso se aproxima al empleo de los proyectiles fumíferos de la Artillería en las cortinas rastreras. A la Aviación le puede ser posible en la batalla, en ciertas condiciones, proporcionar la masa de humos necesaria para ocultar el avance inmediato de las tropas atacantes si hay poca Artillería y la situación es tal que se juzga preciso un máximo de fuego destructor. Esta operación exigirá gran cantidad de aeroplanos, desviándose a la Aviación de otros cometidos, y por eso sólo se recurrirá a ello en casos de emergencia.

Enlaces de la Aviación con las otras Armas.—La protección satisfactoria de los tanques contra las armas antitanques, que abren el fuego sólo a pequeñas distancias relativamente, es un problema todavía por resolver. Será practicable, rara vez, luchar contra tales armas por medio del fuego de Artillería, dependiente de largos enlaces sobre el terreno o por el aire, ni tampoco podrán contar los tanques con el apoyo inmediato de la Artillería divisionaria en un frente extenso o a pequeñas distancias. En la guerra de movimiento los cañones serán insuficientes en cantidad, y, además, la Artillería que se haga avanzar es fácilmente puesta fuera de combate por el fuego de ametralladoras. Si la Aviación llega a descubrir armas antitanques se podrá ayudar a los tanques atacantes por medio del armamento de los aviones, incluso con bombas fumíferas, y podrá conseguirse de este modo disminuir el poder de la defensa antitanque.

Pueden surgir ocasiones en que la Aviación podrá emplear los humos para ocultar terreno elevado distante u otros puntos importantes dominantes a los que no llega la Artillería o porque convenga ésta en otros cometidos.

En los desembarcos a viva fuerza y en el ataque a defensas costeras puede utilizarse la Aviación para suplir las armas fumíferas de las unidades terrestres. La Aviación puede requerirse, a veces, para dejar caer bombas fumíferas como señales convenidas para indicar blancos antitanques, por ejemplo, o para otros fines especiales. Es esencial, desde luego, que tales señales sean de fácil significación y que sea claramente entendida de antemano a todos a los que respecta.

Defensas fijas y zonas de retaguardia.

Observaciones generales.—El empleo de los humos en los sectores de retaguardia o para proteger defensas permanentes presupone el abastecimiento de grandes cantidades de material productor de humos.

Los humos empléanse eficazmente para ocultar la actividad artillera en comarcas llanas y despejadas, donde serían visibles de otro modo los fognazos de las piezas. Podrá ser ventajoso en ocasiones ocultar de la observación aérea operaciones importantes tales como la instalación de cañones de grueso calibre, construcción de puentes u otras obras, en las defensas permanentes o en zonas de retaguardia, que pueden después enmascararse. En estos casos habrá que considerar de antemano si el uso de los humos para estos fines puede hacer más daño que provecho por atraer la observación aérea y posiblemente también el fuego.

Puede requerirse, en ocasiones, ocultar una concentración de tropas de la observación aeróstera enemiga. Entonces, si se interpone terreno elevado será posible formar sobre él una cortina de humos que se eleve a la altura suficiente para oscurecer la visión desde el globo.

En terreno llano se podrá obtener un cierto efecto oscurecedor a la visión aeróstera, explotando bombas de mortero en el aire, pero este método es costoso y hasta ahora no puede confiarse en él.

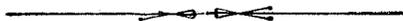
En todos los casos habrá que tener en cuenta las condiciones meteorológicas, no sea que los humos envuelvan a las tropas concentradas.

Empleo de los humos en las defensas costeras.— En el ocultamiento de defensas costeras contra los bombardeos navales se presentan también oportunidades para el empleo de los humos. Los humos forman defensas relativamente económicas y pueden, si se uti-

lizan hábilmente, cegar la observación no sólo de los buques atacantes, sino también de las aeronaves que cooperan con ellos. Las nubes de humos así empleadas deben formarse por encima de las defensas, puesto que si bien las formadas entre las defensas y los buques oponentes no entorpecerían las actividades de la observación aérea, cegarían la observación no sólo de las fuerzas navales enemigas, sino también la de las piezas de costa.

Los flotantes de humos tipo "Admiralty" (véase Tabla II), colocados 10 metros separados y a 500 metros de la zona a ocultar, crean nubes satisfactorias en condiciones favorables.

Pueden emplearse los humos en la defensa de puertos, sobre todo de noche, contra los *raids* de los torpederos. Si estos barcos tienen que luchar con el paso de densos cinturones de humos, además de sus otras dificultades, se reducirán en gran escala las probabilidades de entrar en el puerto, aunque, naturalmente, será necesario distribuir de tal modo las cortinas de humos para que el armamento antitorpedo de la defensa pueda actuar con eficacia entre ellas.



1.º Congreso Internacional de Seguridad Aérea celebrado

-:- en París del 10 al 23 de Diciembre de 1930 -:-

COMUNICACIONES PRESENTADAS

POR EL

TENIENTE CORONEL DE INGENIEROS

D. JOSÉ CUBILLO FLUITERS



PUBLICACIÓN DEL « MEMORIAL
DE INGENIEROS DEL EJÉRCITO »

-:- -:- MADRID, 1934 -:- -:-



Estas comunicaciones fueron presentadas por su autor al referido Congreso, escritas en el idioma patrio y en francés; las números 2, 3, 4 y 5 fueron resumidas por los relatores del Congreso, con especial mención de la 5, que motivó el que otro congresista hiciese un resumen de los conocimientos sobre el estado eléctrico de la atmósfera que en dicha comunicación se daban por establecidos. La comunicación número 1 se consideró tan interesante que fué explicada personalmente por su autor en el citado Congreso.

Esta comunicación número 1 fué publicada en el MEMORIAL, en forma de artículo, en el número de noviembre de 1933.

Para que el MEMORIAL recoja todas las manifestaciones de la actividad profesional de los miembros del Cuerpo, se completa ahora la publicación de los referidos trabajos.

COMUNICACION NUMERO 2

SOBRE GRUPO B.—5.^a SECCIÓN.—5.^a CUESTIÓN

Modo de exponer los informes Meteorológicos en los Aeródromos

El asunto que encabeza este tema es uno de los más importantes en el problema fundamental de las relaciones entre la Aviación y la Meteorología.

No creemos que nuestra exposición dé a conocer aspectos absolutamente nuevos, pero sí que sea de utilidad el exponer el modo cómo se ha resuelto este problema en la Aviación Militar Española, en la que, hasta ahora, lo realizado ha dado buenos resultados.

Es claro que no en vano han transcurrido ocho años del momento en que un libro (1) prologado por personalidad tan relevante como el Ministro del Aire Francés, M. Laurent-Eynac, se decía: (página 54). "Numerosos son los pilotos que consideran la Meteorolo-

(1) *La navigation aérienne*, por Duval y Hébrard. 1922.

gía como una ciencia confusa y vaga, y al predictor en particular, como una persona que da avisos ambiguos que no hay por qué escuchar”.

La Meteorología, en su aplicación a la Aeronáutica, ha tomado un carácter especial que la ha hecho una ciencia eminentemente práctica y capaz de rendir los más excelentes servicios.

De varias clases han de ser los informes que estén al alcance del piloto que ha de emprender un viaje, y a este efecto supondremos que se trata de un viaje normal, es decir, no de un *raid* de gran importancia, sino del recorrido de una ruta ordinaria:

1.º *Informes estadísticos*.—Estos han de presentarse en forma adecuada para la Aviación, o sea, en tanto por ciento de probabilidad de presentación de los fenómenos.

2.º *Informes de previsión*.—Podrán ser a base de las cartas sinópticas del tiempo, sea isobáricas o de otra clase.

3.º *Informes del estado atmosférico de la ruta*.—Estos informes han de versar sobre las dos clases de factores fundamentales que interesan a la Aviación:

- a) Sobre la posibilidad.
- b) Sobre la economía.

Los informes a) se condicionan por el estado higrométrico.

Los informes b) se refieren a la Aerología.

Para que los factores de los puntos 2.º y 3.º sean útiles al aviador, han de estar a su disposición antes de emprender el vuelo; lo que condiciona el problema de comunicaciones que resulta de esta necesidad.

En nuestra Aviación, los informes del punto 2.º son formulados mediante la recepción del Servicio internacional; los del punto 3.º, constituyen un servicio organizado y sostenido por la Aviación Militar, ya que la hora y el modo de utilización ha de estar bajo la misma dirección que la de los vuelos.

Comprenden los informes a) los datos del estado del cielo, cantidad de nubosidad, altura de nubes, precipitación y visibilidad, más la circunstancia del paso de la sierra en los observatorios de montaña.

En España, el sistema orográfico constituye un obstáculo importante al pasar de una cuenca a otra, por lo que esos observatorios dan cuenta de si las nubes dejan o no libre el paso de la sierra y muchas veces, esta observación, en un punto de una ruta, determina la posibilidad del viaje.

Los informes *b)* resultan de los sondeos aerológicos hechos hasta 3.000 metros en los aeródromos; limitándose a esta altura y escogiendo el sondeo hecho con globo de 200 metros minuto para conseguir rapidez. Se emplean los generadores de hidrógeno H. I. C. para facilitar el problema de abastecimiento, siendo los ejecutantes soldados, para los que se han hecho instrucciones y gráficos cuyo empleo es sumamente sencillo.

Los informes *a)* son suministrados por varios procedimientos: En donde hay estación de Aviación, por el personal del aeródromo; después, por la red militar de Radiotelegrafía, la Marina y, finalmente, el Cuerpo de Telégrafos o particulares.

En total se reciben informes de 72 puntos de la Península y Africa: correspondiendo 15 a Aviación, 10 al Regimiento de Radio, 2 a la Marina y 45 a Telégrafos (1).

El plan de concentración y difusión de avisos se ha hecho de modo que, a la hora y cuarto de la observación, se conoce su resultado en todos los aeródromos.

Las horas de observación son las seis en verano y las siete en invierno y otra noticia siempre a mediodía para los vuelos de la tarde. Se concentran los avisos en el mismo edificio en donde está la estación central de Radio de Aviación, lo que ha permitido obtener la velocidad indicada, sin olvidar también el entusiasmo que han puesto las entidades que colaboran en este Servicio.

Para poner al alcance de los pilotos todos estos datos, se emplea el procedimiento siguiente:

1) Para los informes del punto 1.º:

Carta de las trayectorias de las depresiones de Van Bebber.

Tipos de tiempo en España.

Láminas con la estructura de los frentes caliente y frío y una depresión.

Láminas con los efectos de las brisas locales.

Gráficos con los tantos por ciento de nubosidad, viento y niebla en los aeródromos, clasificados por meses.

Gráficos con los tantos por ciento de probabilidad de rutas practicables por meses, de los que se trata especialmente en otro trabajo.

2) Para los informes del punto 2.º:

Los mapas sinópticos del tiempo.

(1) Se habla de la fecha del Congreso; en la actualidad son más de 100 los observatorios.

3) Para los informes del punto 3.º:

a) Mapa mural de la Península Ibérica, en escala de 1 : 500.000, en el que están señaladas las rutas habituales y los informes correspondientes, mediante el Código del C. I. N. A. Un reloj sobre él marca la hora de los informes. (Figs. 1 y 2.)

En este mapa se señala el viento en el suelo.

Perfiles a la misma escala, cubiertos con cristal y en los que se señala la situación atmosférica de cada ruta.

Carta de nubosidad, poniéndose a la vista también la de la observación anterior para poder compararlas.

Carta de tendencia del tiempo clasificada en *mejorar*, *empeorar*, *dudoso* y *estacionario*.

Gráfico de la marcha de nubosidad y visibilidad en el mes corriente.

b) En un mapa de mesa en escala de 1 : 1.000.000 hay en cada lugar de sondeo una varilla con muescas a las alturas de 200, 500, 1.000, 1.500, 2.000 y 3.000 metros, en las que se sujetan las flechas que con su posición indican el viento y con su color, la velocidad. (Fig. 3.)

De este modo, de una simple ojeada el piloto se hace cargo de la situación aerológica rápidamente en este mapa, que viene a ser un *relieve aerológico*.

Se traza también el mapa de *isolianas* como complemento.

Informe a los pilotos.—Pero, además, al emprender el viaje cada piloto, recibe una hoja de ruta meteorológica, en la que, además de llevar escritas las indicaciones correspondientes a los observatorios de la ruta, las llevan gráficamente en distintos planos, que también indican la altitud del terreno para la Aerología y en perfil, los datos de nubosidad y paso de sierra. Lleva también una parte para que el piloto consigne sus observaciones relativas al viaje.

Todos estos trabajos se hacen simultáneamente, con lo que a la hora y cuarto de la observación se puede dar en cualquier aeródromo la información correspondiente.

Así se hizo también durante el circuito "Challenge", aunque fueron numerosos los aviones que partieron simultáneamente. Cada piloto recibió la hoja de ruta correspondiente a las siete de la mañana con el tiempo de las cinco y media.

Como informe complementario se colocan, también en el suelo, unas cifras de 3 metros de altura que se renuevan de hora en hora y que indican la velocidad del viento en el suelo para tenerla en

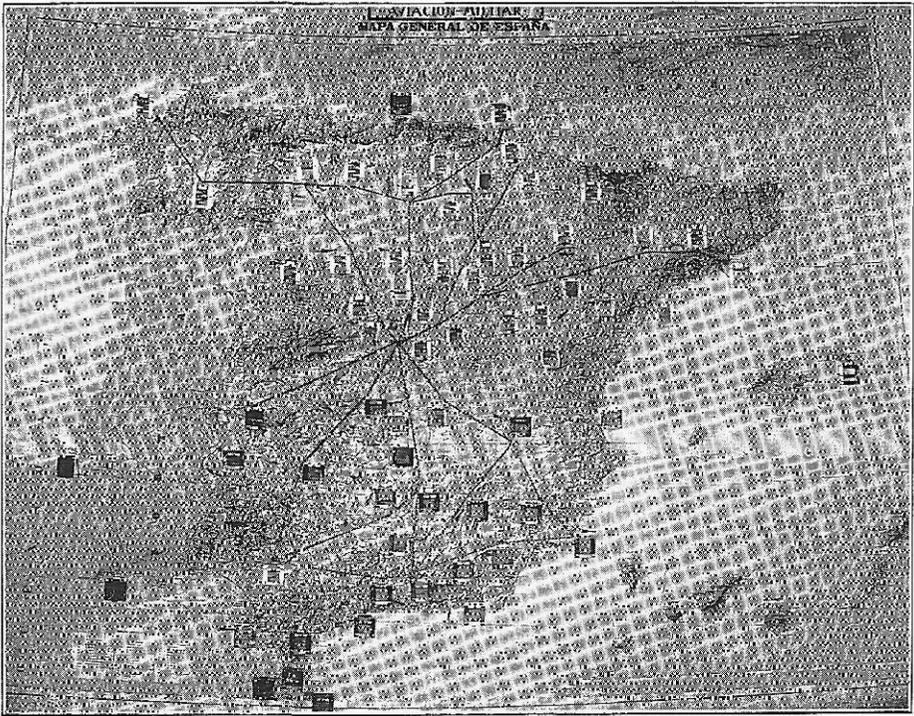


Fig. 1

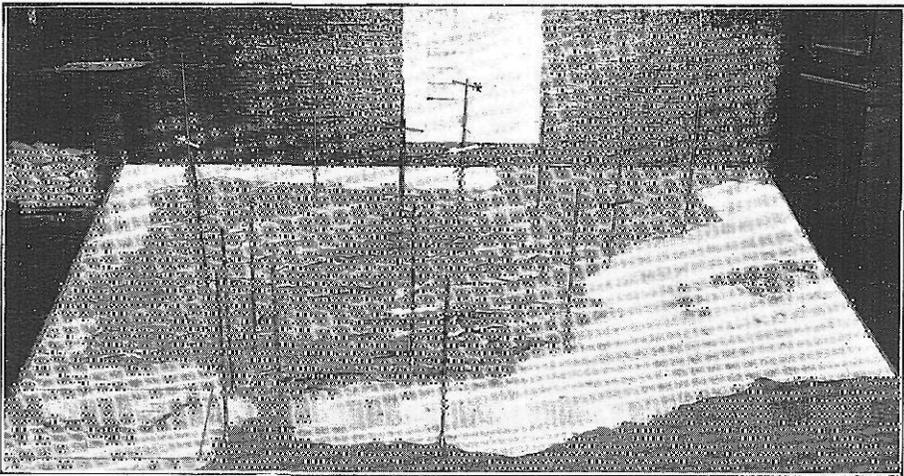


Fig. 3

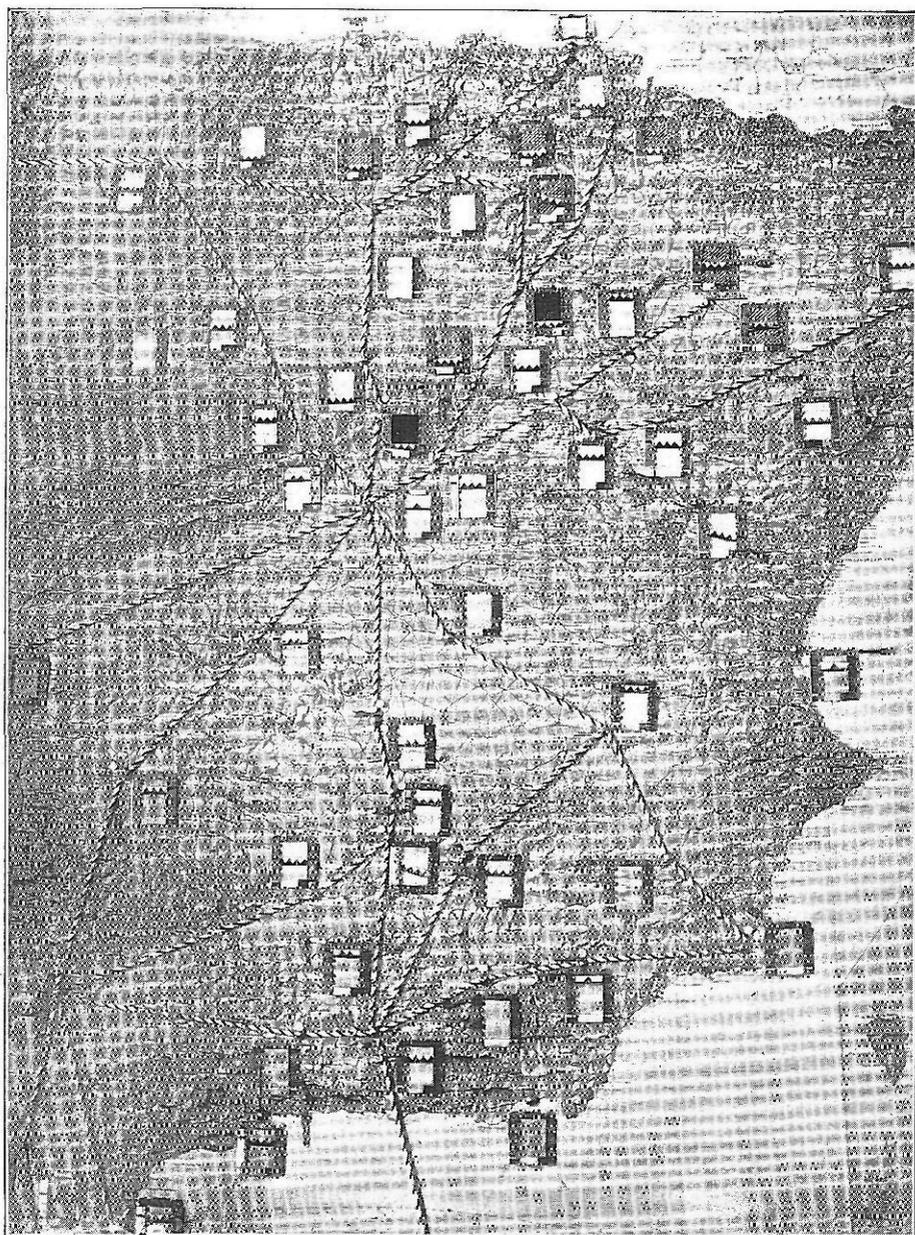


Fig. 2

cuenta en el aterrizaje. Además se indica también el coeficiente de Dines en el viento medio a veinte metros sobre el suelo.

Por último se ha compuesto una película cinematográfica explicando el funcionamiento del Servicio, para que divulgada entre los pilotos puedan éstos apreciar los trabajos que supone el poder dar la información y haya una compenetración mayor entre la Meteorología y los que la utilizan.

Se ve con este procedimiento que, como la mayor parte de la información es gráfica, el piloto se hace cargo en seguida de la situación atmosférica y conociendo la evolución general del tiempo por la previsión, como el estado atmosférico reciente al emprender el viaje le da el punto de partida, realiza la navegación con toda la garantía necesaria en lo que se refiere al conocimiento del estado atmosférico. Así la Meteorología convive con el aviador y se ha llevado a los aeródromos, instalando en lugar de fácil acceso todo lo que la Meteorología práctica puede dar en el momento actual.

Pero aún está el propósito de llevar más adelante esta orientación; está el propósito de intensificar la Meteorología del relieve y a este respecto, el autor se permite llamar la atención sobre la conveniencia de hacer esta clase de estudios ensayando aerodinámicamente el terreno a los vientos dominantes para que los datos de laboratorio completados por los obtenidos directamente con campañas de sondeos, permitan formular las cartas de turbulencia de cada región con los vientos que predominen, lo que será un poderoso auxilio para el conocimiento aerológico de la atmósfera baja, que es la que hoy interesa más a la Aviación.

Y en este sentido cree también el autor que los informes recientes con un plan de comunicaciones que radique en los mismos aeródromos para obtener el máximo de velocidad y observatorios bien escogidos, será superior a los informes de previsión que no pueden llegar, a lo menos en el estado actual de la ciencia, a la precisión del informe reciente.

En apoyo de este aserto, citamos el caso de un piloto en la carrera "Challenge" que no habiéndose informado convenientemente se dirigió de Madrid a Zaragoza por Sigüenza; la previsión indicaba probables tormentas en las cordilleras; el informe de las doce horas señalaba en Sigüenza $4/4$ de nubosidad; 100 metros de altura de nubes; viento 5 kilómetros hora, tendencia tormentosa y paso de la sierra dudoso. Al norte de Sigüenza otro observador daba chaparrones, paso de la sierra cerrado; al sur, otro observador daba

2/4 de nubosidad, 1.000 metros de altura de nubes: es decir, con esta información se sabía que a las tres de la tarde no se podría pasar por Sigüenza y el paso había que buscarlo al sur, por donde el resto de la información daba camino franco hasta Zaragoza.

El piloto buscó el paso por el Norte, no consiguiéndolo y hubo de volver a Madrid, de donde, convenientemente informado, salió nuevamente, llegando a Zaragoza, pero con la pérdida de tiempo consiguiente. Además, queremos reforzar nuestra opinión con otras más autorizadas y así recordamos las que figuran en la obra anteriormente citada. (Pág. 57):

“No es necesario confundir los avisos meteorológicos de que se ha tratado con las previsiones generales. Estas últimas que suministran los caracteres de conjunto del tiempo para regiones muy extensas y para una duración aproximada de veinticuatro horas, están lejos de tener una precisión suficiente para hacer igual papel que el exigido a los avisos antes citados.”

“Querer utilizarlas con el mismo título que aquéllos sería un grave error y no puede conducir más que al fracaso. La previsión general no es y no debe ser para el piloto una información de seguridad, sino simplemente una comodidad suplementaria que se le da; permite un cierto número de horas antes de una partida proyectada, por ejemplo, la víspera, para una partida prevista para la mañana, saber si el viaje tiene probabilidades de ser o no emprendido y tomar medidas en consecuencia.”

“El aviso preciso a corto plazo juega, pues, un papel primordial en la protección meteorológica.”

Y todavía en 1929, en una obra de un meteorólogo de la talla de M. Baldit, se dice: (Pág. V y VI):

“La previsión del tiempo redactada en términos generales y para una región extensa, tal como era establecida antes por un servicio central, no puede bastar para asegurar una protección eficaz en la Navegación Aérea.”

Y después de desarrollar esta idea con razones incontestables, dice más adelante:

“Así, el problema de la protección aérea considerado desde su aspecto utilitario comprende dos partes: dar con la precisión mayor posible los valores de los elementos atmosféricos actuales en los diferentes puntos del recorrido; buscar cómo estos valores se modifican a partir del momento presente según la evolución general de la situación isobárica.”

Estamos completamente de acuerdo con estas razones y aún hemos de añadir algo más.

Aunque claro es que una vez en el aire un Aéreo ya ha de luchar con el mismo elemento, la cosa no es la misma cuando se considera cada uno de los tres modos de aparatos aéreos: el globo, el dirigible y el aeroplano; tres fases del mismo problema como en síntesis afortunada explicaba ya M. Soreau hace más de veinte años.

El globo y el dirigible se pueden pasar menos sin la carta isobárica que el aeroplano, el cual por desarrollar gran velocidad y hacer de ordinario, trayectos de corta duración, puede muy bien realizar el viaje solamente con avisos de carácter de diagnóstico, si los datos son de hora muy reciente al emprender el viaje.

En cambio el globo y el dirigible necesitan más de la situación general; el primero porque abandonado a sí mismo, recorre una trayectoria del aire que si, el régimen es estable, se confunde poco más o menos con una isobara, de lo que es un ejemplo notable el viaje de Venstra en la Copa Gordon Bennet de 1925 y si la situación no lo es, la puede deducir más o menos aproximadamente el piloto según el estudio de todos los datos a la vista; y el dirigible porque teniendo radio de acción suficiente, puede hacer rodeos, tomar decisiones con toda calma, puesto que las condiciones a bordo son otras, etc.

Es decir, el piloto de globo esférico ha de ser más meteorólogo que el aviador: falta el sitio y no pueden dividirse los cargos; en el dirigible se puede resolver el problema como se hace ya; llevando a bordo el meteorólogo y siendo así el dirigible una estación meteorológica móvil que recoge el servicio general y hace ella misma su predicción.

Lo expuesto antes puede, pues, decirse que se aplica más especialmente precisamente a la Aviación y volvemos a decir que la Meteorología Aeronáutica y ésta misma, han de ser un todo homogéneo, han de tener una compenetración íntima, sin la cual toda la eficacia de los avisos queda perdida en cuanto no tengan la primera condición, que es la de oportunidad. Es más: creemos que del mismo modo que las Compañías ferroviarias tienen servicio propio de telégrafos porque la seguridad de la circulación lo exige y no pensaron nunca en utilizar la red pública, la Meteorología no debe ser entidad separada de la explotación de una línea aérea; la dirección de la explotación debe tener acción inmediata sobre la organización meteorológica, ya para tener los informes cuando con-

venga a la explotación ya para poder separar al personal que, por sus errores, sea causa de accidente o pérdidas económicas.

Claro es que necesitando, por ahora, las Compañías aéreas subvención del Estado no han pensado en tener servicio propio de Meteorología y le reciben del Estado siendo así un medio indirecto de subvención.

Sin embargo, la L. A. P. E. española organizó su servicio propio de información de estado de la ruta.

Pero además, no hay que olvidar una circunstancia muy importante en las relaciones de la Meteorología y la Aeronáutica: el informe no debe ser empleando calificativos sobre el estado del tiempo; bueno, regular o malo; el informe debe ser puramente descriptivo y el pronóstico en el sentido de darle, siempre que se pueda, carácter cuantitativo o cuando menos cualitativo sobre los elementos base del diagnóstico: por ejemplo, decir: la altura de las nubes disminuirá, etc.

La decisión y la apreciación corresponden siempre al piloto, que es el que, conociendo las condiciones del aparato que ha de dirigir, sabe si podrá luchar o no con los elementos y con qué grado de facilidad: es decir, está en el mismo caso que un capitán de buque que no recibe de nadie la indicación de la ruta que ha de seguir ni de las decisiones que ha de tomar.

Claro es que el papel de profeta es muy difícil; pero, sin duda, los progresos de la Navegación Aérea harán que deba irse modificando la modalidad de la Meteorología; el vuelo ciego, dirigido por radiogoniometría, la posibilidad de modificar la visibilidad sobre los aeródromos y tantos otros progresos, son circunstancias que quizás, en plazo no muy lejano, obliguen a cambiar los procedimientos de protección, que hoy no pueden ser otros a nuestro juicio que los que se han descrito.

COMUNICACION NUMERO 3

SOBRE GRUPO B.—5.^a SECCIÓN.—3.^a CUESTIÓN

Climatología de las líneas aéreas

No pretendemos, ni mucho menos, considerar resuelto el problema que lleva consigo el título de este trabajo con las ideas y procedimientos que en él exponemos; será en todo caso un ensayo, una contribución a un asunto de tanta importancia.

Dividiremos en dos partes el estudio: 1.^a, Elementos fundamentales de la Climatología y 2.^a, aplicación a un ejemplo:

1.^a *Elementos fundamentales de la Climatología*.—Cuatro grados pueden considerarse en el problema general de la Climatología, que se distinguen principalmente en la extensión a que se refieren, aunque también pueden diferenciarse en la clase de elementos u observaciones que la sirven de base.

La *Macroclimatología* o *Climatología de la Tierra* entera, ya tomando como base la repartición de los distintos elementos atmosféricos que caracterizan el tiempo, ya al modo dinámico con frentes, inversiones y discontinuidades, como preconiza Tor Bergeron.

La *Climatología nacional* o simple *Climatología*, cuando se aplica lo anterior a una nación o país.

La *Microclimatología*, si se considera sólo dentro de un país, una región determinada: de bosques, cultivos, etc., en cuyo problema, perdiendo importancia los factores geográficos y estadísticos, lo van ganando las condiciones físicas para que, a medida que se particulariza, llegar a la

Física del clima, cuando sólo se analizan fenómenos aislados en localidades determinadas.

La Navegación Aérea exige, según estas consideraciones, una *clase especial de Microclimatología* puesto que abarca una zona determinada desde un punto de vista especial y ganará tanto más en carácter físico y aerodinámico cuanto más se hagan intervenir, en el establecimiento de esa Climatología, los elementos que se consideran en lo que puede llamarse "Meteorología del relieve", hoy cada vez más necesaria para satisfacer las exigencias de la Navegación Aérea.

Puesto que son de dos géneros las influencias que el tiempo atmosférico puede tener sobre la Navegación Aérea, la Climatología ha de hacerse, a nuestro juicio, con esa misma clasificación:

a) Unos elementos influyen sobre la posibilidad, es decir, son fundamentales: los que dependen principalmente del estado higrométrico, nubosidad, precipitaciones, visibilidad,

b) Otros influyen sobre la economía: El viento.

La estadística ha de hacerse, por tanto, tomando como base esas dos clases de elementos y hacen falta razones que justifiquen el modo de hacer uso del material de observaciones que se tenga a disposición.

Esto podría llevarnos demasiado lejos, si empezásemos por jus-

tificar, como desde luego sería necesario, el número de años que deberían abarcar las estadísticas para considerar que los resultados representaban efectivamente el tiempo medio probable; haría falta empezar por fijar el período, ya tomando como base la ley de Brückner o cualquiera otro de los períodos que se consideran como realmente establecidos y después, numerados los años dentro de cada ciclo, tomar una cantidad suficiente de años del mismo número para que la estadística que cada año se utilizara, fuese la media de los años de igual numeración que la suya dentro del ciclo. Esto sería un ideal que, por hoy, es imposible conseguir, no tanto por no disponerse de observaciones, cuanto por no estar suficientemente establecidos los períodos y ser además éstos realmente la superposición de períodos de diferente amplitud. Por tanto podremos decir, que a falta de este fundamento, bastará acumular datos del mayor tiempo posible y cuando menos, de un grupo de once años que coincidan poco más o menos con un ciclo de manchas solares.

Fijado el número de años hay que decir el criterio para combinar las observaciones y desde luego, quedan desechados, por ser hoy evidente en la Meteorología Aeronáutica, los valores medios anuales: es preferible hacer la combinación en tanto por ciento de probabilidad de presentación de los fenómenos y esto por meses dentro del año, con lo que se tiene una idea más clara del tiempo probable en cada época.

A este efecto, parece conveniente confeccionar gráficos en los que figuren en línea horizontal los observatorios de la ruta escogida y sobre cada uno, levantar rectángulos, cuya altura sea proporcional al tanto por ciento de veces que la nubosidad haya sido $1/4$, $2/4$, $3/4$ ó $4/4$ ó bien despejado: añadiendo en las cabeceras de la línea el tanto por ciento de visibilidad y de niebla puesto que estos datos son interesantes más especialmente en los puntos de aterrizaje. Sobre estos rectángulos se indicará también el número de días de precipitación y de tormenta.

Haciéndose los gráficos para cada mes del año y puestos en la sala de información, según el mes que corresponda.

c) *Viento*.—Para poder representar este elemento, desde luego se ve que conviene hacer lo que ya se practica, mediante rosas de viento, cuyas flechas tengan longitud proporcional a la frecuencia y con círculo central que contenga el número indicador de las calmas; esto hecho a las distintas alturas, es decir, en el suelo, a 500, 1.000, 1.500, 2.000 y 3.000 metros, poniendo la rosa de vientos en

los puntos situados en posición sobre las rutas. Junto a cada flecha que indique la dirección del viento se indicará también la intensidad del mismo observada en la dirección correspondiente, incluyendo la velocidad media de esa dirección y la máxima, por ser este dato muy importante y no el de los recorridos totales del viento, que dan solamente una idea muy poco clara del régimen desde el punto de vista aerotécnico.

Además, es muy conveniente separar los vientos en *favorables* y *desfavorables* respecto a la ruta y para fijar el criterio que ha de servir de base a esta clasificación es preciso hacer algunas observaciones.

Clasificación de los vientos.— Para hacerla se recordará que,

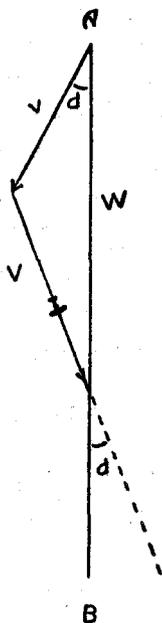


Fig. 4

tratándose de aeroplanos, cuya velocidad prácticamente es invariable la derrota del mínimo consumo, es la de mínima duración y entonces si se imagina el triángulo de velocidades (fig. 4), siendo AB la ruta, V la velocidad del aparato, v la velocidad del viento y W la absoluta con el ángulo α del viento, respecto a la ruta, se obtiene,

$$W = v \cos. \alpha + \sqrt{V^2 - v^2 \sin^2 \alpha}$$

Considerando que el viento es favorable, mientras la velocidad absoluta no sea inferior a la propia del aparato bastará hacer $W = V$ y deducir α y así resulta

$$\cos. \alpha = \frac{v}{2V}$$

cuya fórmula hace ver que el ángulo límite depende de la relación entre la velocidad del viento y la del aparato.

El lugar geométrico de los índices del vector viento, para este caso, es una circunferencia, como se deduce fácilmente aplicando a la ecuación $\rho = \text{constante} = V$ de una circunferencia referida a su centro, el cambio de coordenadas a un origen A , situado en la misma línea (fig. 5), pero advirtiéndose que esta curva tiene una parte parásita en el lugar que nos ocupa que es toda la semicircunfe-

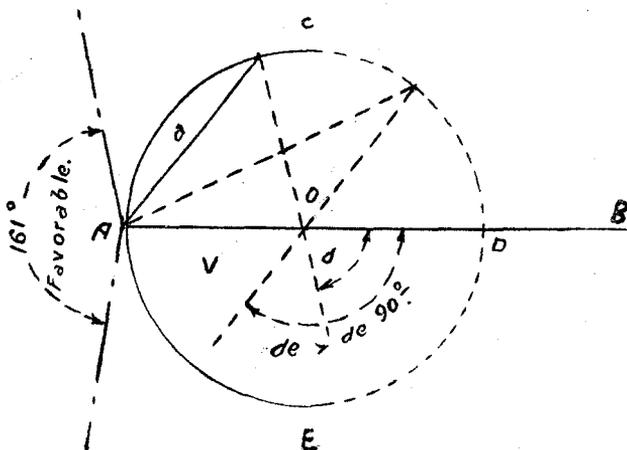


Fig. 5

rencia CDE , puesto que, el ángulo de deriva es en cada caso el d , suplemento del doble del formado por el viento y más allá del punto C el ángulo d es superior a 90° , es decir, corresponde a casos en que el viento tiene valor tal que, aun volando el aeroplano en sentido contrario, es arrastrado con la velocidad V .

Las consideraciones generales sobre la navegación aérea a que

daría lugar este estudio, están ya admirablemente desarrolladas en diferentes trabajos del teniente coronel Herrera; nos limitaremos a fijar un criterio para escoger el ángulo que se desea.

Si se tienen en cuenta las circunstancias de viento en España se puede suponer que un valor medio del viento será la tercera parte de la velocidad propia del aeroplano, en cuyo caso, $\cos. \alpha = 1/6$ y $\alpha = 80^\circ 30'$, por tanto el sector favorable será de 161° y el desfavorable, por consiguiente, 199° .

Gráfico de nubosidad en % de días en que el citado elemento tiene los valores que se indican. (Tomado de Resumen de observaciones del Servicio Meteorológico Nacional, en los años de 1918 al 1923 inclusive), en Zaragoza.

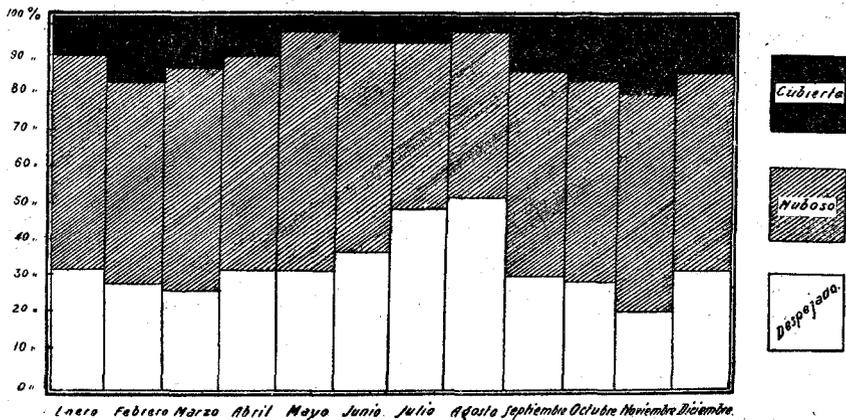


Fig. 6

Bastará con este criterio dividir la rosa de los vientos dibujada en cada punto del trayecto en dos partes que tengan el valor indicado. Finalmente, bastará recordar que la ganancia de tiempo con un viento que se llame favorable no compensa la pérdida de tiempo con el mismo viento en la ruta inversa; la velocidad absoluta del viaje de ida y vuelta es siempre menor que la del aparato, aun cuando el ángulo del viento sea nulo, lo que debe tenerse presente para calificar el estado de una ruta que debe ser recorrida en ambos sentidos, en los servicios muy intensos; en efecto, el tiempo de ida y vuelta vale

$$\frac{2 d \sqrt{V^2 - v^2 \text{sen}^2 \alpha}}{V^2 - v^2}$$

cuya fórmula comprueba lo dicho.

Fijado así el efecto del viento en cada punto, veamos ahora el criterio para calificar la totalidad de ellas.

Gráfico de los datos de viento por recorridos mensuales, y en % de días de cada mes en que los recorridos diarios están comprendidos en los límites que se indican, en **ZARAGOZA**.
(Tomado de "Resumen de Observaciones del Servicio Meteorológico Nacional en los años 1918 a 1923 inclusive).

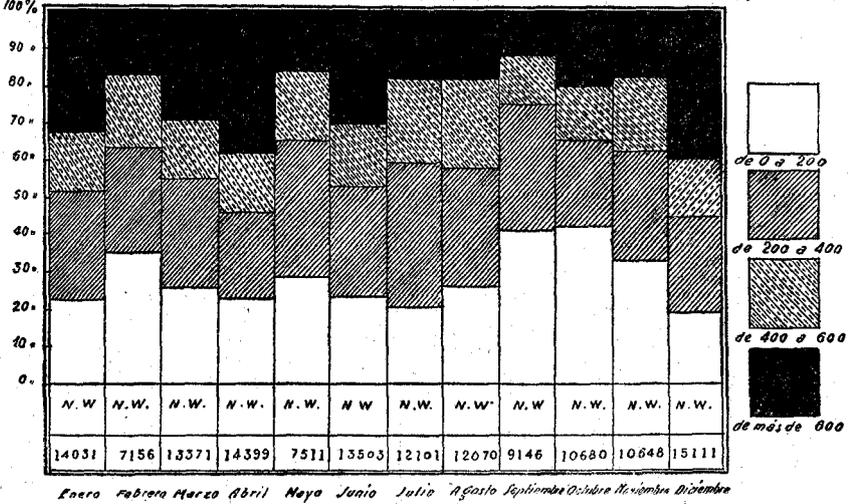


Fig. 7

Convendrá establecer el criterio de considerar observaciones simultáneas y calificar cada una con la idea anterior; después se calificará el estado aerológico de la ruta en:

Gráfico de niebla en % de días en que el citado elemento tiene los valores que se indican. Tomado de "Resumen de Observaciones del Servicio Meteorológico Nacional en los años de 1918 a 1923 inclusive"; en **ZARAGOZA**.

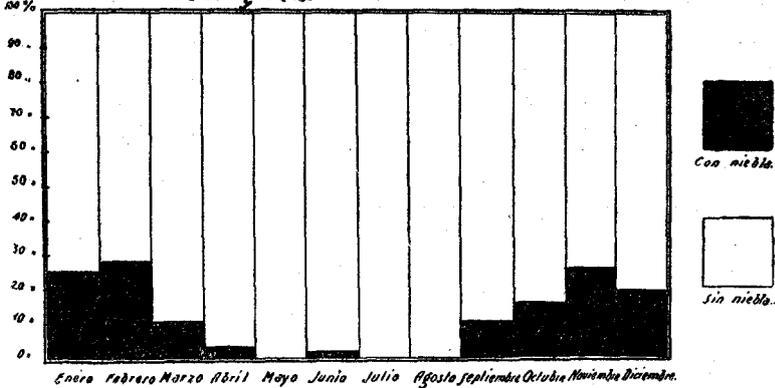


Fig. 8

- 1) Excelente.
- 2) Buena.
- 3) Pasable.
- 4) Mala.

Gráfico climatológico de la ruta aérea de Madrid a Sevilla por "Déspeñaperros".

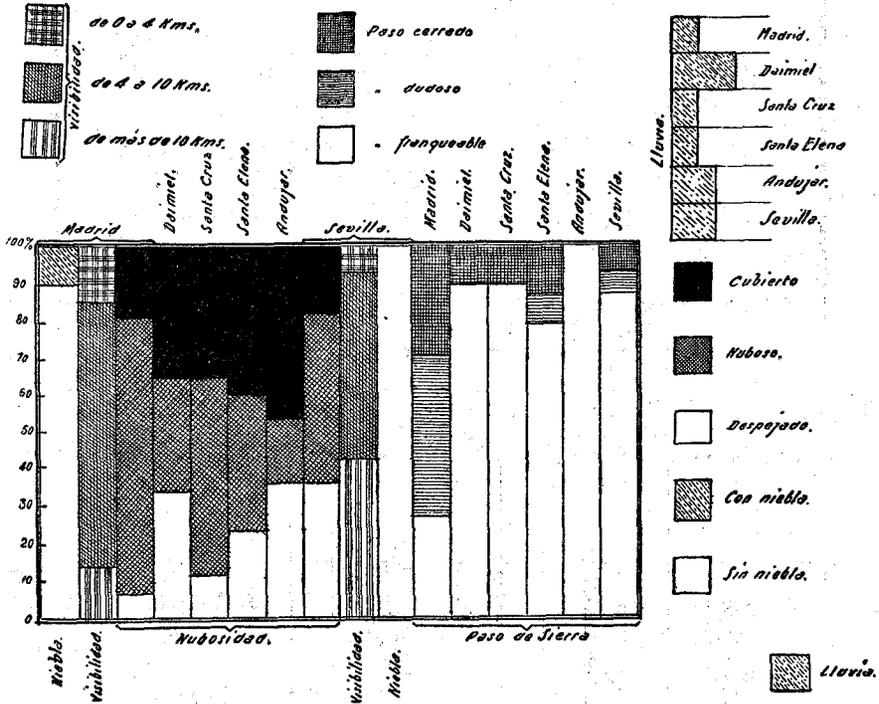


Fig. 9

según que los vientos sean:

- 1) Calma o todos favorables.
- 2) El 75 por 100 de los observados calma o favorable.
- 3) El 50 por 100 de los observados favorable.
- 4) Inferior a este limite, favorable.

Con estos resultados se podrán dibujar rectángulos cuya altura sea proporcional al tanto por ciento de días de cada clase, para cada mes y, de ese modo, se tendrá una idea muy clara del tiempo en las distintas épocas.

Y todavía se podrá tener un estudio más completo de la Climatología de las líneas cuando se tenga hecho el ensayo aerodinámico.

co de las cadenas de montañas que se encuentran en la ruta como base del estudio completo de la influencia local que ejercen, deter-

Gráfico de frecuencia de vientos en las rutas aéreas de Madrid a Sevilla.

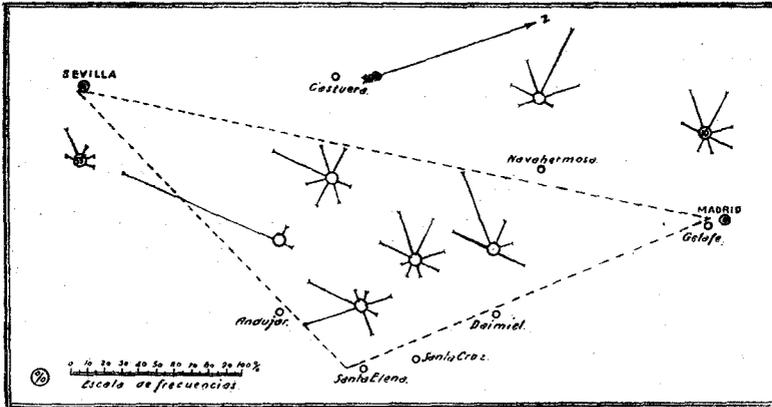


Fig 10

Gráfico de probabilidad de estado general de vientos de la ruta aérea de Madrid a Sevilla por la recta.

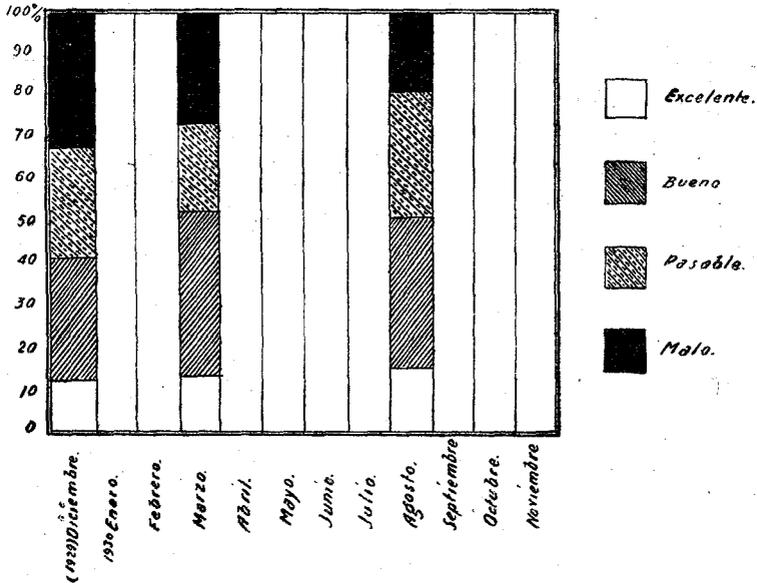


Fig. 11

minando para los vientos dominantes la distancia y altura de influencia, las zonas de remolinos, ya estacionarios, ya móviles; aná-

logamente la influencia de sus costas, de lo que existe un caso bien típico en España con el Estrecho de Gibraltar en el que, por desgracia, han ocurrido accidentes importantes; la acción de los valles y después, iguales influencias en lo que se refiere a la nubosidad, elemento importantísimo, pues, como hemos dicho, esta circunstancia puede ser determinante de la posibilidad del viaje.

2.^a *Ejemplo*.—No es posible en el momento actual presentar un trabajo completo sobre una ruta en España, por no llevar establecido este Servicio el tiempo necesario; sólo se dispone, en el momento de redactar este trabajo, de las observaciones de once meses, pero siendo nuestra idea principalmente exponer el criterio para la formación de la Climatología, consideramos suficientes a este fin los gráficos que acompañan a este trabajo. (Figs. 6, 7, 8, 9, 10 y 11.)

COMUNICACION NUMERO 4

SOBRE GRUPO G.—I.—GLOBO LIBRE.—1.^a CUESTIÓN

Estadística de accidentes. Anejo. Empleo del globo en Meteorología.

Aunque el título de esta cuestión no hace referencia al anejo, por considerar que nuestro pensamiento sobre la idea contenida en él no ocupa espacio bastante en su desarrollo para merecer un capítulo aparte, que por otro lado, no está explícitamente expresado entre los temas que figuran en el Grupo, lo incluimos a continuación del tema principal que nos proponemos tratar en este trabajo.

1.^o ESTADISTICA DE ACCIDENTES

a) *Noticia histórica*.—Nos referimos exclusivamente a la Aerostación militar, sintiendo que la falta de tiempo no nos permita abarcar la Aerostación civil.

En el Ejército español, fué en 1884 cuando se dispuso que la 4.^a compañía del Regimiento de Telégrafos tuviese a su cargo las experiencias de Aerostación, que se empezaron en 1889.

El 19 de julio de 1889 tuvo lugar la primera ascensión libre, pilotada por el teniente Sánchez Tirado y tomando parte el coronel Ayllón, teniente coronel Pérez de los Cobos y capitán Aranguren.

Al año siguiente, en la Escuela Práctica, se incendió el globo,

iniciándose así la serie de múltiples averías de este género que había de tener la Aerostación militar española y, sin hacer experiencias importantes, se llega a 1896, en cuyo año se organizó la Aerostación como Unidad independiente bajo el mando del entonces comandante Vives, hoy general de la Reserva, cuya figura, tan conocida es en el mundo aeronáutico y el capitán Jiménez; empezó empleando el globo esférico y generador Ion y luego se usaron los tubos de hidrógeno comprimido y, desde 1900, el globo cometa sistema alemán, haciéndose el 11 de diciembre de dicho año la primera ascensión libre con globo provisto de banda de desgarre, tripulada por los citados jefe y oficial y ya, desde entonces, se ha seguido de modo regular verificando ascensiones libres, de las que no descendemos a detalles, salvo la cita de las más importantes, bastando indicar que la figura 12 representa el número de ascen-

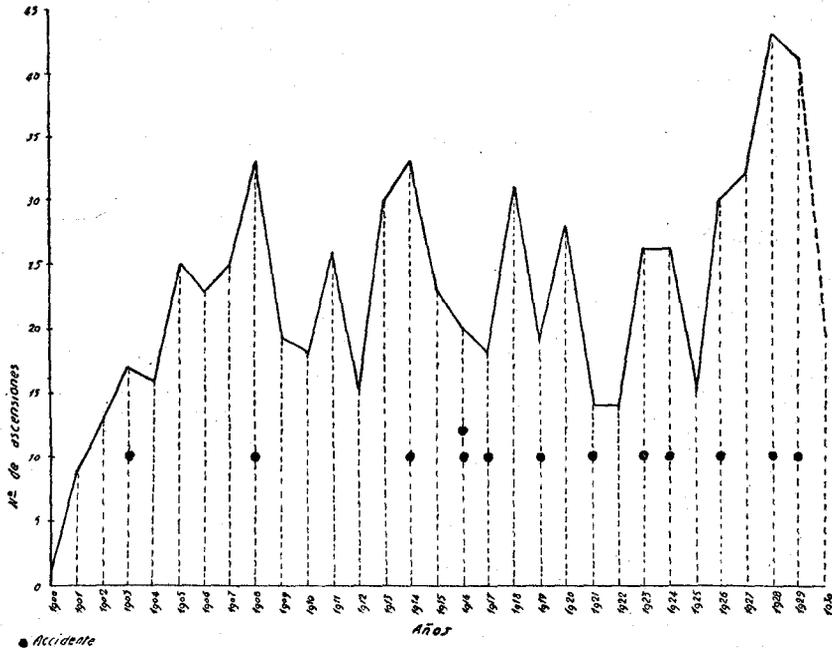


Fig. 12. — Gráfico del número de ascensiones libres efectuadas por años.

siones efectuadas por años, siendo el total de las verificadas hasta la fecha el de 701 (*).

En estas ascensiones empezaron a consagrarse como figuras del

(*) Se recuerda nuevamente la fecha de este trabajo.

aire, el citado general Vives, general Kindelán y teniente coronel Herrera, así como el malogrado capitán Gordejuela, cuyo fallecimiento prematuro privó a la Aerostación de uno de sus más valiosos elementos y tantos otros que se distinguieron en ella, cuya cita omitimos por no hacer interminable el relato, pero sin dejar pasar en silencio la del coronel de Ingenieros Rojas, cuyos trabajos en el orden científico, puede decirse que fundaron el cuerpo de doctrina de Aerostación en España.

b) *Ascensiones notables.*—Las ascensiones más notables son:

Capitán Kindelán, de Guadalajara a Lugo.

Capitán Herrera, de Guadalajara a Portugal.

Capitán Herrera, de Guadalajara a cerca de Málaga.

Capitán Herrera, de Madrid a cerca de Alicante.

Capitán Kindelán, de Madrid a bahía de Setúbal.

Capitán Susanna, de Guadalajara a cerca de Barcelona.

Capitán Martínez Sanz, de Guadalajara a Almería.

Comandante Molas, de Guadalajara a Portugal.

Teniente Herrera, desde Barcelona, llegando a la vista de Marsella y tomando tierra en la costa francesa, cerca de la frontera española.

Capitán Kindelán, desde Valencia llegando a la vista de las Islas Baleares, recogido por un buque inglés, después de haber producido ansiedad nacional durante varios días.

Capitán Gordejuela, atravesando el Pirineo desde Jaca a Pau, siendo ésta de las pocas veces que se ha atravesado el Pirineo en globo.

Merecen también citarse la del capitán Herrera desde París a Moravia, en 1905, con motivo del "Grand Prix" del Aero Club de Francia.

La del capitán Kindelán, en la copa "Gordon-Bennet", al año siguiente, atravesando el Canal de la Mancha.

La del capitán Herrera, en la copa "Gordon-Bennet" de 1908, corrida en Berlín, en donde sufrió la avería de despegarse la banda de desgarré.

Se acompaña un mapa indicador de las principales ascensiones. (Figura 13).

En ellas se echa de ver cómo los pilotos españoles, siempre que las circunstancias meteorológicas lo han permitido, aprovechan todo el territorio nacional, llegando lo más cerca posible de la costa y contando con que, puede decirse, que casi todas las ascensiones me-

3. 26 de mayo de 1914.—Rotura de pierna en el aterrizaje. Teniente coronel García del Campo.

4. 27 de junio de 1916.—Rotura de pierna del capitán Jiménez Millas. (Este oficial encontró la muerte en aeroplano terminando su aprendizaje de piloto.)

5. 12 de julio de 1916.—Rotura de pierna del capitán Ortiz Echagüe.

6. 28 de agosto de 1917.—Rotura de pierna del teniente Santos. (Por rotura de la válvula.)

7. 12 de marzo de 1919.—Rotura de la muñeca izquierda. Capitán Gautier.

8. 17 de julio de 1921.—Dislocación pie. Comandante Cubillo.

9. 21 de junio de 1924. — Rotura dedo pie. Comandante Zamorra.

10. 20 de abril de 1926. — Fuertes contusiones. Comandante González Ortega.

11. 23 de septiembre de 1923.—Descarga eléctrica. Muerte del capitán Peñaranda y rotura de pierna del capitán Gómez Guillamón.

12. 12 de julio de 1925.—Explosión del globo al tomar tierra. Ilesos los tripulantes.

13. 15 de septiembre de 1928.—Muerte por asfixia comandante Molas. 10.500 metros de altura.

14. 29 de septiembre de 1929.—Contusión y distensión en un pie. Teniente coronel La Llave.

Incluimos en esta relación, por su importancia, el número 12, aunque no tuvo consecuencias para las personas.

Clasificando los accidentes podemos hacer tres clases:

a) Por avería del material	2
b) Por arrastre en el suelo	9
c) Por causa eléctrica	2

Quedando sin clasificar el número 13, puesto que fué un intento de *record* que se sale del carácter de las ascensiones ordinarias.

La probabilidad, por tanto, de accidentes mortales será de 1/700; de accidentes sin consecuencias graves, 11/700, o sea, en tanto por ciento:

De muerte, 0,1 por 100.

De accidente, 1,5 por 100.

De ileso, 98,4 por 100.

Claro es que ha de tenerse presente que las ascensiones no son

hechas de un modo continuo por las mismas personas, pero teniendo en cuenta que el material es el mismo y los procedimientos iguales, se pueden aplicar estos tantos por ciento como probabilidades de una sola ascensión, ya que si bien es cierto que la leyes de Bernouilli que relacionan la probabilidad simple con la de repetición, exigen número infinito de experiencias para ser ciertas, el número relativamente elevado de ascensiones permite hacer la referida aplicación.

Presentaremos el asunto de otro modo, tomando como base las fórmulas de "Psicofísica" desarrolladas ya por Boussinesq y después por Fechner, y de las que el teniente coronel Herrera, en el *Boletín Oficial del Aero Club*, hizo en 1920 una curiosa aplicación, en la que nos inspiramos ahora.

Le ley de la sensación, de temor al peligro o *miedo* da la expresión:

$$M = EH \log P = \log PEH$$

en donde M es el temor, P el peligro, E un coeficiente personal de sensibilidad y H otro de habituación al peligro.

La intensidad de miedo la llama el teniente coronel Herrera "metio", y es claro que la cantidad será en "metios-hora".

La unidad de peligro será aquella que cause, según la fórmula indicada, un temor o miedo igual a 0, es decir, que $PEH = 1$, cuya cantidad puede suponerse que es la que resulta de viajar en ferrocarril, en donde una persona normal (E normal) habituada al viaje en tren (H normal) no siente ninguna sensación desagradable, y la no habituada siente algo que raya en miedo.

Como, según las estadísticas españolas, se produce un muerto por cada ciento treinta millones de viajero-kilómetro, admitiendo que es 43 kilómetros-hora la velocidad media de los trenes, resulta un muerto por cada tres millones de viajeros-hora, es decir, que la unidad de intensidad de peligro antes aludida es la de una persona que tiene una probabilidad de morir de 1/3.000.000 cada hora.

Recordemos a este propósito, como curiosidad, que la probabilidad de morir un adulto de edad indeterminada en una cierta hora de un día del año es, aproximadamente, de 1/365.000, y, sin embargo, con esa sola probabilidad de vida que resulta citamos a un amigo por la mañana con toda certeza de acudir a la cita a las cuatro de la tarde.

Para llegar a unidades homogéneas, si admitimos que es de seis

horas la duración media de las 700 ascensiones, resulta que en 4.200 horas de vuelo en globo se produce un accidente mortal; por tanto, si es 1 el peligro de ir en tren, el de ir en globo es de 714; el de volar, en el año de 1920, que se registraba un muerto por ochocientas horas de vuelo, estaba medido por 3.750; si hoy se admite que por los continuos perfeccionamientos ha disminuído la probabilidad de accidente hasta llegar a 1 mortal por cada 2.000 horas de vuelo, el peligro de volar será de 1.500

Según esto, el "metio" del aviador será:

$$1 = E H \log 1.500$$

o sea, que el valor del producto $E H$ en un aviador valdrá:

$$E H = \frac{1}{3.176}$$

por tanto, el miedo en globo será de

$$M = \frac{1}{3.176} \log 714 = 0,898 \text{ "metios"}$$

y la cantidad de miedo en una ascensión de seis horas:

$$0,896/6 = 0,149 \text{ "metio-hora"}$$

d) *Accidentes en globo cautivo.*—Aunque no entra esta materia bajo el epígrafe de este trabajo, consideramos de interés citar el número de accidentes en globo cautivo, accidentes, naturalmente, fuera de los peligros derivados de campaña.

Con ello, divulgando que los accidentes procedentes del uso de aparatos aéreos no son en número superior al de los producidos por otras muchas actividades humanas, se llevará al ánimo del público este convencimiento que producirá la confianza del uso de los medios aéreos.

Así, el número de accidentes que provienen de usar el material y efectuar ascensiones en globo cautivo, sin intervenir los medios de guerra de un contrario, es pequeño, como corresponde a los coeficientes de seguridad del material empleado:

Del cable de retención	3
Cordaje de retención	10
De la tela	10
Del cordaje de suspensión	20

Conviene recordar ahora que el coeficiente de seguridad usado en las construcciones habitables es de 4.

El número total de horas de globo cautivo en la Aerostación militar española puede estimarse, hasta el momento actual, en doce mil, y no hay que registrar accidente alguno de importancia en maniobras; solamente han ocurrido los siguientes:

1. 12 de julio de 1906.—Rotura del cable de retención usando globo cometa alemán, con cable de elementos, de 100 metros. Tripulante, teniente Herrera; toma de tierra sin accidente, salvo arrastre.

2. 7 de agosto de 1908.—Desgarro del timón del globo cometa *Sigsfeld*. Tripulante, capitán Gordejuela. Inversión de la barquilla; el tripulante se hace firme y toma tierra sin accidente.

3. 14 de octubre de 1913.—Rotura del cable de retención. Tripulante, teniente Cervera.

4. 12 de octubre de 1929.—Rotura del cable de retención del globo dilatante con cable continuo al pasar un obstáculo. Tripulante, teniente Román.

Como se ve, es tan pequeño el número de accidentes que no merece tomarse en consideración.

La observación importante que debe hacerse es la de señalar que siempre se han tomado todas las precauciones debidas en el uso del material, sin olvidar las previsiones meteorológicas.

2.º USO DE LA AEROSTACION CON FINES METEOROLOGICOS

a) *Noticia histórica.* — Desde 1903 fué miembro la Aerostación militar española de la Comisión Internacional de Aerostación Científica, presidida por el Dr. Hergessell, haciendo observaciones de las capas superiores de la atmósfera por medio de globos sondas y pilotos y aprovechando las ascensiones de entrenamiento de los pilotos militares para estos fines, haciéndose ascensiones libres, en las que se llegaba a 4.000 y 5.000 metros, los primeros jueves de cada mes; una ascensión de este género fué realizada por el que esto escribe el 2 de febrero de 1906.

Se completaban los resultados de estas ascensiones con observaciones repetidas en tierra durante los tres días anteriores y posteriores al de la ascensión, cuyas observaciones eran remitidas a dicha Comisión Internacional, siendo de notar que, precisamente en el Tratado del ilustre meteorólogo Bjerknes, *Dynamische Meteorologie und Hydrographie*, en la página 20 de la segunda parte, figuran, entre las observaciones utilizadas para un ejemplo fundamental de diagnosis de Cinemática atmosférica, las observaciones de Guadalajara, suministradas por la Aeronáutica militar española.

Entre los trabajos más importantes realizados figuran las ascensiones verificadas en Burgos durante el eclipse total de Sol de 30 de agosto de 1905, que fueron tres, pilotadas por los entonces teniente coronel, capitán y teniente, respectivamente, Vives, Kindelán y Herrera, llevando el primero como pasajero al profesor alemán Berson, poseedor, con el Dr. Süring, del *record* de altura en globo libre, habiendo sido éstas las primeras observaciones de un eclipse realizadas, empleando en gran escala los globos de diversas clases, cuyas ascensiones comprobaron, entre otros fenómenos, el de que las sombras volantes, al acercarse la totalidad, se presentan también a las grandes alturas.

Después, cuando la Meteorología empezó a tomar desarrollo propio y, sobre todo, al variar las cosas en la guerra europea, se ha dejado de intervenir en este campo.

b) *Propuesta de empleo de la Aerostación.*—El autor de esta Memoria se permite llamar la atención acerca de la conveniencia de seguir empleando la Aerostación con estos fines.

Es cierto que las condiciones hoy no son las de 1900; las organizaciones meteorológicas disponen de medios abundantes para la exploración vertical diaria de la atmósfera, pero, sin embargo, no por eso dejaría de ser interesante el aprovechar las ascensiones libres que se realizan con fines de entrenamiento para este otro objeto; de modo que si no sería económico el empleo sistemático de los globos montados sólo con fines meteorológicos, es lástima no aprovechar las ascensiones que se realizan; el globo libre puede hacer investigaciones preciosas a poca costa, sobre todo en países de montañas, para el conocimiento de la Meteorología, del relieve, puesto que puede ser usado tanto tomando como base el método de Euler como el de Lagrange para el estudio de los medios continuos y puede servir para fijar las distancias de influencia horizontal y vertical de una cadena de montañas, siendo un auxiliar poderoso de otros

medios de investigación que pueden emplearse; las ascensiones de Ficker y Voyer son un modelo de este empleo.

Asimismo, la Aerostación puede ser una excelente escuela de aprendizaje de navegantes aéreos, y aunque no se vislumbran transformaciones esenciales en el material del globo libre, su estado actual permite ampliamente su empleo para los fines indicados.

Bien de actualidad es el proyecto del Dr. Piccard, de la Universidad de Bruselas, (*) pretendiendo llegar a los 15.000 metros en globo libre, empleando barquilla esférica de aluminio de dos metros con cincuenta centímetros de diámetro; esto prueba que, por hoy, es todavía el globo libre un precioso y, a veces, único medio para ciertas investigaciones como ésta, en la que se pretende observar las radiaciones cósmicas.

Así, pues, creemos que el globo libre no debe perder importancia ante los otros medios de navegación aérea, y el Congreso de Seguridad Aérea puede ser una excelente ocasión para establecer las bases de un acuerdo con el fin de obtener del globo libre el máximo rendimiento.

COMUNICACION NUM. 5

Accidentes de origen eléctrico.

El estudio del estado eléctrico de la atmósfera nos llevaría demasiado lejos. Será suficiente partir de algunos hechos que se consideran hoy admitidos hasta que, naturalmente, nuevas investigaciones de física atmosférica establezcan otro modo de considerar la cuestión.

Pero antes de entrar en el asunto empezaremos por citar los accidentes ocurridos en la Aerostación Militar Española que pueden atribuirse a causa eléctrica.

ACCIDENTES

1. Al efectuar la recarga de un globo cometa, el día 10 de agosto de 1915, se incendia el globo. Muerto, un cabo. Heridos, un oficial, varios sargentos, cabos y soldados.

(*) Se recuerda la fecha de redacción de este trabajo.

2. 20 de mayo de 1924.—a) Un globo cautivo tipo "Caquot", estando en lastre, rompe el cable de retención; al descender es arrasrado contra una línea de alta tensión y explota; sólo quedaron algunos restos de la válvula.

b) El mismo día, otro globo de igual tipo, al sufrir un bandazo por el viento, roza con el barracón y se rasga; empieza a salir gas y a poco hace explosión, no resultando accidente alguno de personas.

3. El 25 de septiembre de 1926 un globo tipo dilatante está anclado. Una tormenta hace arrancar el globo, que se rasga, y la fuga de gas explota.

4. Idem el 16 de junio de 1927.

5. 23 de septiembre de 1923. Copa Gordon-Bennet.

Globo *Polar*. Descarga eléctrica sobre Heyst-op-den-Berg (Malinas) (Bélgica). Muerte del capitán Peñaranda; fractura de pierna del capitán Gómez Guillamón.

Este mismo día el *Genève* (suizo) y el *U. S. Army* (americano), son destruídos por el rayo.

6. 12 de julio de 1925. Globo *General Vives*; al tomar tierra hace explosión, resultando ilesos los tripulantes.

Pero si se enumerasen los múltiples incendios que sin consecuencias han ocurrido, entonces la relación sería interminable. Lo citado es lo más saliente de lo ocurrido, pues pequeños incendios, o hasta ya llegados a la manga de inflación, ocurren a diario, sobre todo en tiempo seco y caluroso.

De todos ellos existe uno, que es el señalado con el número 5, cuya explicación es la más natural.

Un día de tormenta el globo, al tener una subida brusca por no poder graduar el arrojado de lastre a causa de estar mojada la arena, se acerca a la nube tormentosa y es alcanzado por el rayo.

Claro es que existen razones para que la chispa eléctrica escoja preferentemente el camino que pase por el globo, pero fuera de esta particularidad, se trata de un fenómeno completamente claro y explicable.

Lo mismo ocurre en el caso 2 a). Es un globo que toca una línea de 60.000 voltios; es completamente natural lo ocurrido.

Clasificación de los accidentes.—Pero no es lo mismo con los demás casos; con ellos podemos hacer dos grupos: en el primero, considerar el caso 1 y los numerosísimos no detallados de incendios al abrir los tubos de hidrógeno, o sea, para llenar o recargar globos

libres o cautivos; y en el segundo, los demás casos que representan salidas de gas en grande abertura y sin presión.

Explicación de los accidentes.—Diversas son las teorías expuestas para explicar la combustión espontánea del hidrógeno, que pueden clasificarse en teoría eléctrica, teoría catalítica y teoría mecánica.

Desde luego que es necesario que el oxígeno y el hidrógeno estén en una cierta proporción. Empieza a ser peligrosa la mezcla cuando el hidrógeno está en la proporción de 8 por 100 en volumen, y deja de serlo cuando la proporción de aire es inferior al 20 por 100. Dentro de estos límites, la mezcla se inflama si se eleva la temperatura a 550 grados.

Pero en los incendios ocurridos no ha habido manifiestamente una causa inmediata de elevación de temperatura hasta ese grado; es preciso, pues, que otra causa lo haya producido, siquiera en un punto, pues empezada la combustión, ésta se propaga con velocidades muy grandes, hasta de 1.000 y 3.000 metros por segundo, si bien se han medido en laboratorio velocidades menores de sólo 2,5 metros por segundo cuando en tubo abierto se inicia la combustión por la boca del tubo.

Examinemos ahora un poco de cerca el fenómeno químico de la combinación. Sabido es que la afinidad entre dos cuerpos o tendencia a combinarse se exalta por diversas causas. Estas causas son unas que acortan las distancias moleculares, facilitando así la atracción atómica que determina la combinación, como la pulverización, la disolución, la presión, etc.; otras, provocando una agitación molecular que favorece el contacto de unas con otras, como el calor, la luz y la electricidad, que son movimientos vibratorios, que se diferencian sólo en sus características del éter en que están sumergidos los cuerpos y cuyos torbellinos son los electrones que constituyen los átomos.

ANÁLISIS MECÁNICO DE UN CHORRO DE GAS

Entonces, si se analiza el fenómeno de la salida de un chorro o masa de hidrógeno en el aire, que es lo general, puesto que el papel de combustible y comburente es sólo relativo, se ve que, en primer lugar, no hay producción espontánea de calor, pues que, en efecto, de las dos clases de salidas de hidrógeno que hemos señalado, la primera, es decir, aquella en que el hidrógeno procede de un recipiente comprimido, no puede producir calor, aunque se trate de velocidades muy grandes, puesto que el aire contra el que choca es,

por una parte, fluido compresible, y por otra, según explica la mecánica de los medios continuos, tanto por la diferencia de velocidades como por tratarse de un conjunto baroclino, se producen torbellinos de velocidad y se originan selenoides isobárico-isostéreos que ocasionan variaciones de circulación, es decir, torbellinos también y toda la capa de transición entre ambos fluidos es lugar de torbellinos con los que se realiza la mezcla, absorbiéndose toda la energía en esos movimientos de torbellino.

Y en el segundo grupo la salida del gas es con velocidad tan pequeña que no hay lugar a considerar la causa que se analiza, quedando únicamente los torbellinos procedentes del carácter baroclino, que son los que realizan la mezcla rápidamente y que explican el gran poder difusivo del hidrógeno en el aire.

El hecho de que haya incendio lo mismo en un caso que en otro hace pensar en que la causa es otra que la salida rápida del gas.

Desde luego, hay que contar que siempre habrá una zona en la que la proporción de la mezcla sea explosiva, puesto que la difusión del hidrógeno en el aire es muy rápida, según se ha dicho, y si no hay fundamento para pensar en una elevación de temperatura, habrá que atribuir el fenómeno a otra de las causas que exaltan la afinidad, y para nosotros esa causa es la eléctrica.

En primer lugar, la tierra actúa como un cuerpo cargado de electricidad negativa, cuyo origen no interesa ahora precisar, puesto que es un hecho de experiencia; puede ser la hipótesis de lord Kelvin de haber recibido la carga eléctrica al separarse del Sol; la, también idea del mismo físico, de que las crestas de las olas del mar entretienen la carga; puede ser originada la electricidad por las ra-

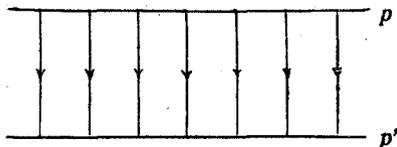


Fig. 14. — Campo eléctrico uniforme.

daciones de diferentes clases que llegan a la tierra, por la presión de la radiación solar, etc. El hecho es, decimos, que la atmósfera es un campo eléctrico con líneas de fuerza generalmente verticales y, por tanto, equipotenciales horizontales, como superficies de nivel. Y en este campo, la tierra es la que actúa como conductora y el aire como dieléctrico, y, por tanto, las fuerzas eléctricas se manifestarán en la masa del aire y en la superficie de la tierra.

Este campo, en una porción pequeña, puede mirarse como uniforme, y está, por consiguiente, caracterizado por su gradiente que, cerca del suelo, tiene un valor medio de 100 V. por m., pero cuyo valor tiene grandes variaciones por la situación geográfica y topográfica; es en los continentes mayor que cerca de las costas; en Kew, 304 V.; en Potsdam, 250 V.; en Trieste, 73 V.; y en Tortosa, 114 V.

Pero el elemento electricidad es el más sensible de la atmósfera, y ese gradiente puede tener variaciones muy grandes; desde luego, diurnas y anuales, cuyo análisis no haremos, y, además, variaciones irregulares, aun en días muy serenos; variaciones que han llegado a ser acusadas por 5.000 V. medidos a uno o dos metros sobre el suelo, cuyas variaciones es más probable que ocurran en los terrenos con vegetación arborescente y en días secos; en las estepas desérticas, por relatos de viajeros, se sabe que se siente el crepitar de las chispas que salen de los dedos o de los vestidos al rozar los arbustos.

Por otro lado, en la atmósfera existen iones libres, cargas eléctricas, puesto que se deduce fácilmente de la fórmula de Poisson, que relaciona la divergencia del campo con la densidad o masa de volumen,

$$\frac{\partial^2 V}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 V}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 V}{\partial z^2} = -4\pi\rho$$

y como las superficies equipotenciales son horizontales,

$$\frac{\partial^2 V}{\partial x^2} = \frac{\partial^2 V}{\partial y^2} = 0$$

y esa fórmula se convierte en

$$\frac{d}{dz} \left(\frac{dV}{dz} \right) = -4\pi\rho$$

en la que z es la altura; siendo un hecho de experiencia que el gradiente $\frac{dV}{dh}$ no es constante sino que disminuye con la altura (a 1.000

metros es sólo de 40 a 50 V.; a 6.000 de 8 V.) resulta $\frac{dv}{dh} < 0$ y para ρ un valor positivo que prueba la existencia de esas cargas.

Entonces se ve que, según la intensidad de ionización del aire, será la distancia de las equipotenciales y esa ionización puede proceder, como antes se ha dicho, de las radiaciones o del frotamiento y, si el aire está seco y es poco conductor, pueden permanecer y acumularse las cargas.

Por otro lado, si se tiene un campo uniforme, la presencia de un cuerpo en él modifica la posición de las superficies equipotenciales y esa modificación depende de la naturaleza y estado eléctrico del cuerpo. Si es conductor en estado neutro (fig. 15), las líneas de fuerza se interrumpen en él y el campo es nulo en su interior; es la electrización por influencia; la densidad aumenta en la parte negativa

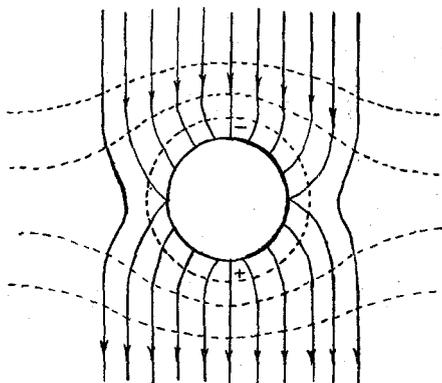


Fig. 15.—Deformación de un campo eléctrico por la presencia de un conductor.

y la electricidad se va escapando poco a poco hasta que el cuerpo toma el estado positivo al potencial medio de la región; pero si el conductor tiene un campo propio divergente o sea, con mayor potencial que la región del dieléctrico, entonces, las líneas equipotenciales se inflexan y se acercan entre sí resultando más fuerte el gradiente en la parte positiva, ocurriendo al contrario si el cuerpo tiene potencial menor (figs. 16 y 17).

Un chorro de gas hidrógeno, que es cuatro veces y media más conductor que el aire, actúa como un cuerpo conductor y producirá una aproximación de las superficies equipotenciales del aire, cuya aproximación si es tal que, con el gradiente existente, llega al valor de los treinta KV. por cm., que es el gradiente *explosivo* del aire, producirá la chispa disruptiva por exceder la tensión eléctrica de la elasticidad de la materia y, esa chispa eléctrica, determinará la agitación molecular necesaria para la combinación del hidrógeno con

el oxígeno del aire; si el chorro de gas ha salido por tubos metálicos estrechos, entonces, a la acción dicha, se sumará la resultante del frotamiento, con lo que la modificación del campo atmosférico

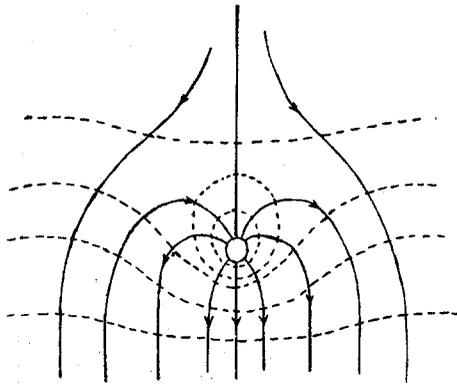


Fig. 16.—Deformación de un campo eléctrico por un conductor cargado positivamente.

será mayor aún, según se ha dicho para el caso de un cuerpo electrizado y, por tanto, será más probable que se alcance en algún sitio el gradiente explosivo.

Pero tal vez sin que llegue a ser explosivo el gradiente, *con sólo el movimiento invisible de las cargas eléctricas* será lo bastante para producir la agitación molecular necesaria a una combinación tan

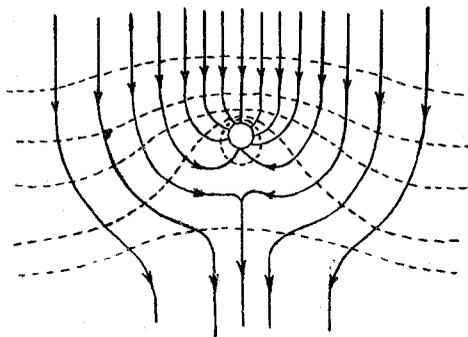


Fig. 17.—Deformación de un campo eléctrico por un conductor cargado negativamente.

exotérmica como la del hidrógeno y oxígeno, materias de tal afinidad que han producido en las edades geológicas la enorme cantidad de cuerpo tan estable como el que forma los océanos.

Así se explican, a nuestro juicio, los incendios espontáneos del hidrógeno al escaparse de un recipiente o de un globo y el que sucedan en días en que es más probable concurren las circunstancias explicadas.

Efectos de los movimientos verticales de un aéreo.—Las indicaciones hechas permiten también ver que, si un globo libre, se mueve verticalmente en la atmósfera modifica el campo eléctrico teniendo en cuenta que, al subir, pasa de regiones de menos potencial a de mayor o al contrario y, por tanto, será como si las equipotenciales fuesen materiales y elásticas y cediesen a la presión del movimiento (fig. 18); el gradiente será mayor por encima o por debajo del globo en cada caso, cuyas modificaciones han sido experimentalmen-

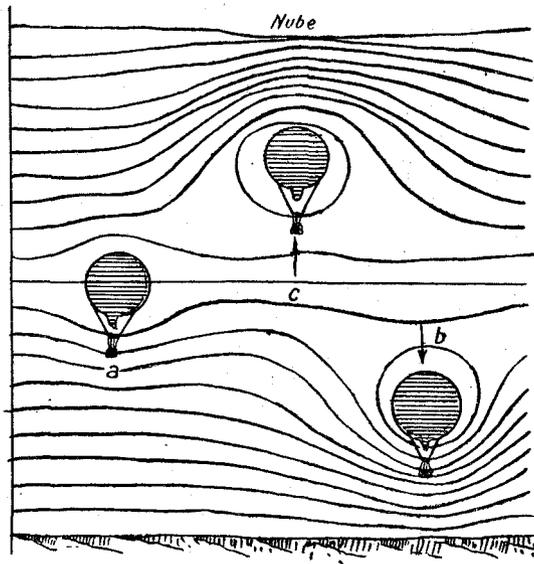


Fig. 18 (*).—Campo eléctrico atmosférico normal deformado por un globo - *a* equilibrado - *b* al descenso - *c* al subir.

te comprobadas en laboratorio por Ebert y Lutz de Strasburgo colocando un pequeño modelo de globo entre las armaduras de un condensador de placas paralelas.

Si el globo pierde gas por la válvula o por el apéndice, el chorro de gas puede determinar los efectos dichos antes (fig. 19) y así se explica el caso de la chispa eléctrica que alcanzó al *Polar* y a los otros globos en la Copa Gordon-Bennet de 1923 y la explosión del

(*) Las figuras 18 y 19 están tomadas de un estudio del Tte. Coronel Herrera.

General Vives al tomar tierra el 12 de julio de 1925, como las demás citadas (fig. 20).

Claro es que siempre es necesario, para temerse la explosión, que exista la mezcla conveniente de aire e hidrógeno y que haya el movimiento de las cargas eléctricas.

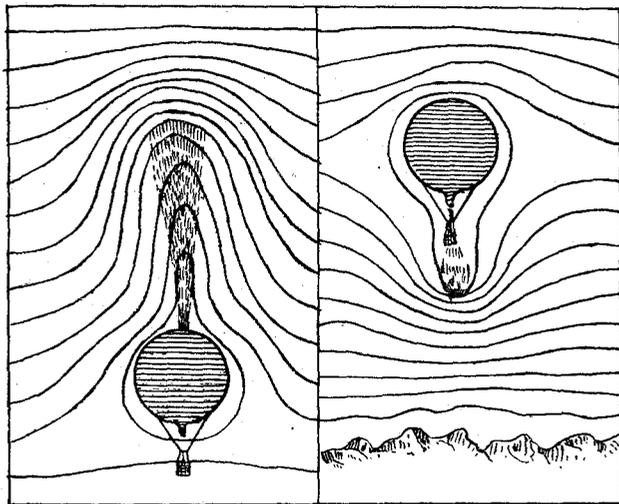


Fig. 19.—Deformación del campo eléctrico por un chorro de gas.

El dirigible alemán *Bodensee* fué alcanzado por una chispa eléctrica que encontró franco el paso por la armadura metálica y no se produjo explosión: el gas encerrado en los sacos de *boudruche* completamente impermeable, no tenía cantidad alguna de aire.

El remedio, pues, para evitar estos efectos será, aparte de tratar cuidadosamente de que no haya salidas de gas en días de perturbación eléctrica y de que los movimientos verticales sean muy lentos para dar tiempo a establecerse el equilibrio, el de que exista buena comunicación eléctrica entre todas las partes de un aéreo. La válvula del globo libre debería ir provista de puntas o pararrayos de penacho; una capa de aluminio en buen estado para hacer conductora la tela y en comunicación con el interior del globo sería también conveniente.

Pero evitar la formación de condensador, es decir, no recubrir las partes conductoras con materiales aisladores; entonces, como el caso es asimilable a potencial constante, el dieléctrico de mayor permitividad absorbe menos tensión y hace sufrir al otro la mayor fatiga, provocando *antes* la disrupción del aire (fig. 21).

El procedimiento, pues, es el de favorecer el equilibrio eléctrico y que el aéreo nunca pueda presentar diferencias de potencial.

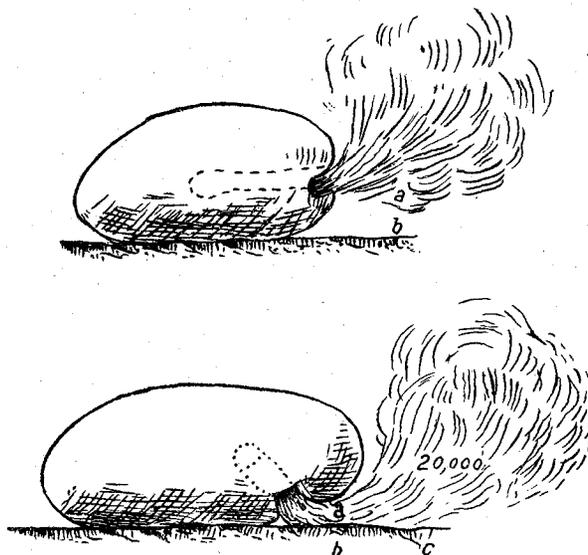


Fig. 20.—Explicación de la explosión del globo «General Vives». El chorro de gas a gran potencial al dirigirse hacia el suelo por el giro del globo, determina en *a b* el movimiento eléctrico que ocasiona el incendio.

Si el incendio se presenta estando en el aire es interesante hacer constar que, de no ir los tripulantes provistos de paracaídas individual o bien paracaídas de barquilla, la conducta que siguió el ca-

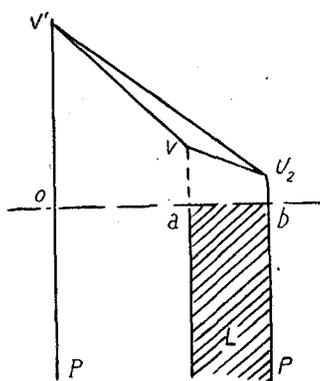


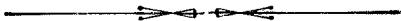
Fig. 21.—Un dieléctrico *L* de mayor permitividad hace repartir desigualmente la tensión: la región *o a* tiene mayor gradiente que la *a b*.

pitán Gómez Guillamón, maniobrando la banda de desgarre al ver el incendio del apéndice es la más oportuna: el globo se vacía y su-

primido el combustible la tela no arde y puede servir de paracaídas, como ocurrió en este caso. El capitán Peñaranda había quedado muerto en la descarga, pero el capitán Guillamón salvó la vida, aunque con una pierna fracturada.

Disposición cortafuego.—En el Regimiento de Aerostación existe, como material reglamentario, un cortafuegos para evitar la propagación del incendio que pueda producirse en los tubos, llenadores o manga y que consiste en un cajón cuyo fondo está formado por dos portezuelas sujetas por un pasador: en él se echa arena y por debajo pasa la manga; a la voz de *¡fuego!* dada por el primero que ve el incendio, el soldado encargado maniobra el pasador y se estrangula la manga con la carga de arena.

Claro es que el empleo del helio, si fuera posible, evitaría por completo este peligro, que es uno sobre los que menos acción puede tener el navegante aéreo.



RAFAEL CORTADA LEÓN

-- CAPITÁN DE INGENIEROS --

Alumbramiento de aguas subálveas por medio de galerías



PUBLICACIÓN DEL «MEMORIAL
DE INGENIEROS DEL EJÉRCITO»
-- -- MADRID, 1954 -- --

INTRODUCCION

Desde que, con motivo de unos estudios sobre el tema que encabeza este artículo, tuve necesidad de enfrentarme con el problema de la circulación del agua subterránea, me formé el propósito de dar a conocer a los lectores del MEMORIAL los frutos de mis modestas experiencias, persiguiendo el principal objetivo de que pudieran éstas tener aplicación tal vez en la vertiente mediterránea de nuestro Marruecos, tan semejante en su constitución a las costas meridionales de nuestra Península, a las que pertenecen los terrenos objeto de mis estudios.

Mi buen deseo dábase ya por vencido, cuando llegó a mis manos el número del MEMORIAL correspondiente al mes de abril del corriente año, con un artículo del capitán Adrada sobre descubrimiento de aguas subterráneas. El título me sorprendió agradablemente, y hasta me creí relevado del compromiso que había contraído conmigo mismo, suponiendo que en dicho artículo se contendrían todas las enseñanzas que yo pudiera mostrar.

Pero, después de leerlo, vi que la orientación que Adrada sigue en su trabajo—interesantísimo, por otra parte—no es la de encaminarse a un fin esencialmente práctico, sino más bien la de recordar los conceptos generales que nos fueron enseñados, y exponerlos en forma asequible, incluso para los que no han recibido ninguna clase de enseñanza académica.

Consecuencia de mi lectura del trabajo de Adrada fué llevar a la realidad el propósito que ya casi se había desdibujado en mi memoria. En su vista, he redactado estos apuntes, en los que estudio exclusivamente la captación de las aguas subálveas por medio de galerías, teniendo en cuenta la mira principal, ya expuesta, que persigo con ellos.

Partes que comprende este trabajo.

Adelantando un poco las ideas, hagamos patente el error en que muchos incurren al atribuir al agua subálvea, por el solo hecho de ir por debajo de un río, unas circunstancias de movimiento absolutamente falsas: en Madrid se ha casi consagrado la frase que dice que “por entre las arenas del lecho del Manzanares va otro río mucho más caudaloso que el arroyuelo de encima”. Incluso los que he-

mos recibido enseñanzas técnicas sobre el asunto, después de trabar conocimiento teórico con los drenes y capas freáticas sacamos la idea de importantes corrientes subterráneas, falso concepto que es el primero que tenemos que desechar, ya que el terreno permeable juega más bien el papel de una inmensa esponja, empapada de agua prácticamente en reposo.

Para sentar claramente este concepto, y otros fundamentales, copiaremos las fórmulas que estrictamente puedan servir para demostrar una idea o para ser aplicadas en un proyecto.

Partiendo de que la pérdida de carga es proporcional al caudal de circulación del agua por un tubo capilar, y de que esta proporcionalidad subsiste cuando se sustituye un solo tubo por un haz de ellos, o bien por los intersticios que dejan entre sus granos las arenas, se llega a establecer la fórmula fundamental que da la velocidad virtual de circulación de las aguas a través de un terreno permeable, y que es la siguiente:

$$v = K i \quad [1]$$

en la que i es la pendiente de la superficie freática.

El valor de K , constante para un terreno de composición y consistencia uniformes, se llama *permeabilidad*. Tiene las dimensiones de una velocidad y se define como la que obtendrían las aguas al

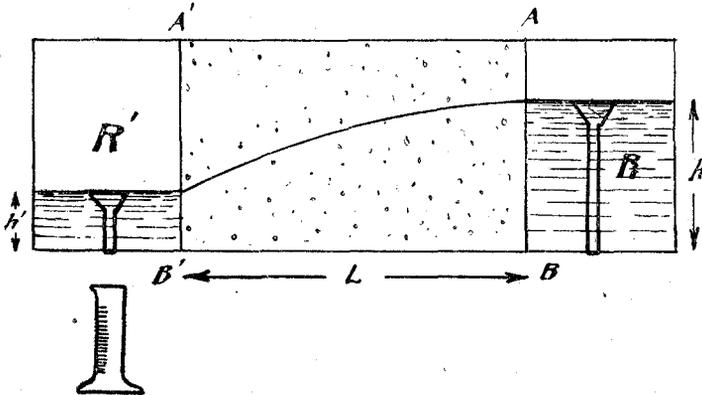


Fig. 1.

filtrar a través del terreno de que se trate, con pendiente unidad. Puede obtenerse su valor por medio del aparato que se describe esquemáticamente en la figura 1.

La muestra de arena se encierra entre las mallas metálicas $A B$

y $A' B'$, en un recipiente de sección recta S . Por R entra un caudal constante que, al establecerse el régimen uniforme, saldrá por el sobrante de R' , recogiendo en una probeta para ser medido cuidadosamente.

Aplicando la fórmula [1], resultará:

$$Q = v s = s K \frac{h - h'}{L}$$

de donde se despeja K .

Este experimento, tan sencillo en apariencia, difícilmente conducirá a un valor aceptable. En primer lugar, el funcionamiento ha de prolongarse varios días para que se garantice el establecimiento del régimen definitivo de circulación; además, el rozamiento del agua con las paredes del aparato falsea notablemente el resultado; y, por último, es absolutamente imposible que las arenas encerradas en la caja conserven la misma compacidad que tenían en el terreno.

Puede también obtenerse K por medio de pozos hechos en la capa permeable, a distancia conocida unos de otros, en dirección de la corriente, y midiendo con cuidado la diferencia de altura de agua entre cada dos inmediatos.

Si hay tiempo y medios para aplicar este procedimiento, siempre será más recomendable, principalmente porque se podrá tomar un valor para K , medio entre los que se obtengan, con el que se contrarrestarán las inevitables variaciones de permeabilidad entre una zona y otra de un mismo terreno.

De todos modos, se comprende que el valor obtenido no puede ser mucho de fiar, porque siempre puede haber alteraciones de composición; por ejemplo: lenguas de arcilla, que son muy frecuentes en el seno de los acarreos permeables del fondo de los ríos, producidas, durante los períodos de formación del relleno del cauce por los desbordamientos saturados de materias terrosas de los barrancos de las márgenes, lenguas que disminuyen extraordinariamente la permeabilidad.

Esta indeterminación en el valor de K , así como la irregularidad de forma del terreno y la dificultad de representarlo exactamente con los datos de los sondeos, son las principales causas de la prudencia con que debemos aplicar las fórmulas que van a citarse.

Afortunadamente, cuando el valor de K podría preocuparnos por no haber elegido uno verdadero, es en el momento en que el caudal captado empieza a ser escaso; y entonces es precisamente cuando aquel valor influye poquísimamente en la circulación del agua.

Además, en la aplicación a un caso práctico, veremos que la obra puede hacerse fácilmente perfectible, es decir, que si, por error de apreciación, hubiésemos pecado por defecto de caudal captado, puede ampliarse la obra de un modo progresivo hasta llegar al rendimiento máximo que sea capaz de aportar la zona afectada por los trabajos.

Por último, hagamos una observación importante respecto al valor de K : Para determinarlo, vemos que interviene la sección de paso. Pero observemos que esta sección puede ser la subálvea total S , o la efectiva de paso de agua s , es decir, la superficie de huecos de arena. Y como pueden seguirse los dos caminos, puede llegarse, para una misma K , a dos valores que estarán en la relación $\frac{S}{s}$, detalle que hay que tener en cuenta si se consultan los libros que tratan del asunto.

Nosotros nos ocuparemos de la sección efectiva, para lo cual necesitamos determinar otro coeficiente, que es la *porosidad*.

Esta constante es el volumen de huecos que hay en la unidad de volumen de la arena de que se trate; la llamaremos p .

Su valor no sólo puede determinarse con más exactitud que el de K , sino que, además, varía muy poco de unos terrenos a otros, siempre alrededor de $p = 0,30$; afortunadamente, porque con él y con unos sondeos suficientemente cuidadosos puede llegar a determinarse con exactitud el volumen de agua almacenado en la zona a que pensemos afectar con el alumbramiento, y ver, por consiguiente, si ese volumen basta o no para cubrir las necesidades que deban atenderse con la obra.

Con estos datos podemos ya entrar a determinar las condiciones en que se mueve una masa de agua que empapa el fondo permeable de un río que no lleva aguas superficiales más que en los períodos de lluvias abundantes.

Suponiendo el lecho constituido por arena de grueso regular, se puede hacer $K = 0,002$ metros por segundo; y, siendo el río torrencial, puede alcanzar una pendiente de $i = 0,01$. Si, por último, $p = 0,30$, se tiene

$$v = 0,002 \times 0,01 = 0,00002 \text{ metros por segundo}$$

o sean 7 centímetros en una hora.

En una sección del río en la que el acarreo tenga 20 metros de profundidad, con un ancho uniforme de 100 metros, la sección efectiva de paso del agua será

$$s = 0,30 \times 100 \times 20 = 600 \text{ m.}^2$$

y el caudal subálveo

$$Q = 600 \times 0,00002 = 12 \text{ litros por segundo,}$$

insignificante, a pesar de lo considerable de la sección de paso.

Si ahora advertimos que los datos que hemos supuesto son corrientes en la realidad, y que más bien nos hemos colocado en condiciones desfavorables, porque la pendiente de 0,01 y el valor dado a K serán casi siempre menores en la práctica, se comprenderá fácilmente que las aguas subálveas están prácticamente en reposo, siendo totalmente falso el concepto vulgar que hicimos resaltar en la introducción.

Repitamos, pues, porque es interesante: la corriente subálvea de un río es insignificante por la escasísima velocidad de sus aguas; éstas están casi en quietud, de modo que el terreno permeable es a modo de una inmensa esponja saturada; o, dicho de un modo más ingenieril y sugerente: donde quiera que haya aguas subálveas tenemos un embalse sin necesidad de construir presa, porque las arenas, con la resistencia que ofrecen al movimiento de aquéllas, las embalsan. Veamos ahora cómo nos arreglamos para derivar las aguas de tan original embalse:

Supongamos primero una superficie horizontal completamente impermeable $M M'$ (fig. 2) sobre la que descansa una capa de acarreos

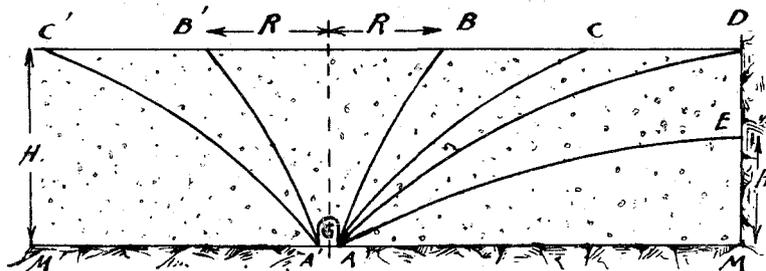


Fig. 2.

de profundidad H constante, de modo que las aguas que rellenen completamente los huecos estarán en absoluto reposo, puesto que $i = 0$.

En estas condiciones, una galería, G , de paredes y techo absorbentes, abierta en dirección normal al plano de la figura, empezará en seguida a captar aguas de las que empapan la capa de acarreos. Primero, el agua que gravita directamente sobre ella filtrará con una velocidad que puede deducirse haciendo en la fórmula [1] $i =$

= l , aunque esta decisión es bastante discutible; pero, puesto que la velocidad así deducida será menor que la verdadera, hagámoslo, y nos colocaremos en condiciones desfavorables. Se tendrá:

Velocidad de la filtración vertical:

$$v' = 0,002 \text{ metros por segundo.}$$

Como esta velocidad es grande, en comparación de la que antes hemos deducido, se desecará en seguida la zona BGB' de sobre la galería, y las zonas mojadas, a uno y otro lado, quedarán limitadas por las superficies de depresión, cuyas secciones rectas son las curvas AB , $A'B'$.

Estas curvas son parábolas, cuya ecuación se deduce fácilmente por integración, y es, en el caso en que toda el agua que pase a la galería se evacue inmediatamente, la que sigue:

$$q = \frac{K p h^2}{2 R} \quad [2]$$

que expresa, al mismo tiempo, el caudal que pasa a la galería por unidad de longitud.

La tangente en cada punto de estas curvas es la pendiente i , de la que resultará un valor para v en cada sección, a virtud del cual las aguas seguirán filtrando a la galería, y dichas curvas extendiéndose a AB , AC , etc., indefinidamente.

Pero, a medida que se extienden, la pendiente va disminuyendo, de modo que el caudal que pasa a la galería irá siendo menor, como se ve también por [2], que nos dice que dicho caudal varía en razón inversa de R , según la conocida propiedad de la parábola.

Por otra parte, el tiempo necesario para obtener iguales incrementos de R , va siendo cada vez mayor. Su valor es

$$T = \frac{p R^3}{3 K H} \quad [3]$$

Todo lo dicho lo ha sido en la hipótesis de que la capa permeable se extiende indefinidamente. Si no fuese así y en DM hubiese una pantalla impermeable, la línea de carga se extendería hasta AD según las leyes que acabamos de establecer; pero, al llegar aquí, descendería tomando posiciones tales como la AE . En esta segunda etapa se puede aplicar también la expresión [2], pero teniendo en cuenta que el valor H es ahora una variable.

El tiempo que tarda la línea de carga en pasar de la posición AD a una tal como la AE , viene expresado por

$$T_h = \frac{4 p L^2}{3 K} \left[\frac{1}{h} - \frac{1}{H} \right] \quad [4]$$

En esta expresión se ve que no puede agotarse toda el agua, pues para ello sería preciso un tiempo infinito.

Si volvemos ahora al caso de masa permeable ilimitada, pero con una pendiente en el sentido de la flecha (fig. 3), el agua subálvea, según hemos dicho, circulará, aunque lentamente, y dará un rendimiento. Entonces, la rama de parábola de aguas arriba se irá ex-

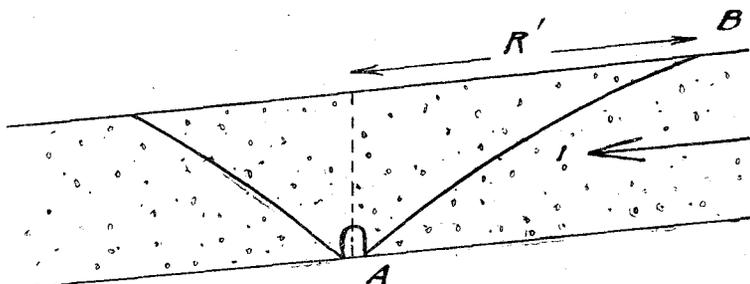


Fig. 3.

tendiendo en la forma dicha, hasta que el caudal que suministre sea igual al que aporta la corriente subálvea, y en esta posición $A B$ quedará estacionada la parábola, filtrando constantemente el mismo caudal. Ese régimen se establece para el valor de R

$$R' = \frac{H K p}{z} \quad [5]$$

siendo z el rendimiento unitario de la corriente subálvea, es decir, el caudal subálveo por unidad de sección.

Dando valores prácticos en las fórmulas [2] y [3] se vería que el caudal filtrado es al principio muy grande, quizá excesivo para nuestras necesidades; pero que, a medida que se extiende la parábola, lo hace más lentamente y dando menos agua, con una disminución tan sensible por ambos conceptos que, en un tiempo relativamente breve, el caudal captado llegaría a ser despreciable. Esta observación es muy importante porque nos fuerza a buscar un medio de regular la salida de agua por la galería.

Todo lo dicho se verifica en el supuesto de que la masa permeable no recibe alimentación extraña. Pero si se produce una lluvia suficientemente abundante que, por la precipitación directa unida al descorrimiento subsiguiente, sea capaz de empapar toda la tierra desecada, lo hará rápidamente, puesto que su velocidad de filtra-

ción es del orden de 100, 1.000 ó más veces mayor que la de la corriente subálvea, y, una vez empapado el terreno y terminada la lluvia, volverá a repetirse el fenómeno de filtración en la misma forma que hemos explicado.

Esto mismo, aplicado al caso de un río con corriente superficial perenne, nos lleva a la importante conclusión de que en esta clase de ríos es absolutamente inútil pretender captar aguas subálveas mientras existan aguas vistas, pues éstas, en virtud de su velocidad de filtración incomparablemente mayor que la de las subálveas, penetrarán de modo continuo en la galería, formando una corriente in-

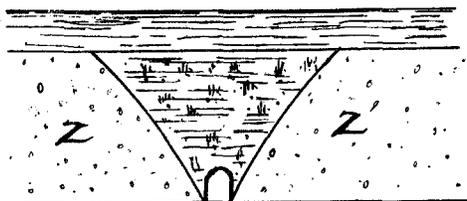


Fig. 4.

cesante que pasa entre dos masas Z y Z' de agua comparativamente en reposo (fig. 4).

Esto explica el magnífico rendimiento de los pozos abiertos junto al lecho de algunos ríos: como que su caudal procede directamente del inagotable que llevan aquéllos.

Procedimientos generalmente empleados para alumbrar aguas subálveas.

Estos son tres: Por medio de presa enterrada, por pozos y por galerías.

Presa subálvea. — Aunque ya hemos mencionado su inutilidad, vamos a hacerla patente otra vez de una manera más gráfica, pues aún hay quien proyecta alumbramientos por presa, a pesar de todo.

Supongamos construída la presa P (fig. 5) cimentada de un modo perfecto sobre el terreno impermeable. (Esta obra, en la práctica, es difícilísima.)

No cabe duda de que, en estas condiciones, quedan detenidas las aguas subálveas. Pero, al practicar una galería, G , para recogerlas, según lo que hemos dicho, se absorberán inmedatamente las de la zona Z , y las arenas empapadas quedarán limitadas superiormente

por la superficie AB , que se irá alejando cada vez más de la presa, en tanto ésta no juega papel ninguno. Incluso el momentáneo que, aparentemente desempeña al principio, es también ilusorio, pues, como hemos dicho, las aguas, en virtud de su velocidad despreciable, no necesitan presa para estar embalsadas: empapan la esponja del terreno permeable.

Más aún: esa presa no sólo es inútil, sino perjudicial porque, constituyendo un tabique perfectamente estanco, impide que se es-

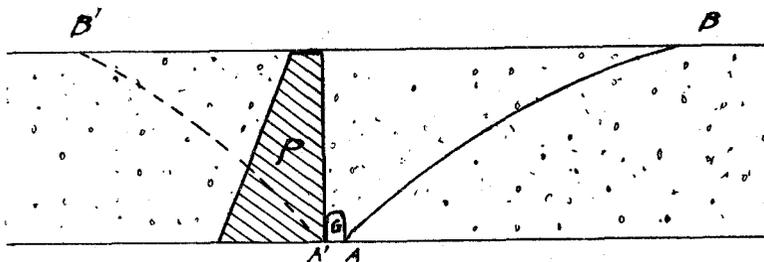


Fig. 5.

tablezca la parábola $A'B'$ de aguas abajo, restando una fracción importante del caudal total al alumbramiento.

A trueque de incurrir en pesadez, esperamos haber conseguido que nadie que quiera orientarse por estos modestos apuntes para proyectar una obra subálvea se exponga al fracaso técnico y constructivo que arrastran fatalmente consigo esta clase de presas.

Pozos.—Pueden ser un procedimiento conveniente, preferible o no al de galerías, según las condiciones económicas y del terreno.

Como por sí constituyen materia abundante de estudio, los pasamos por alto, entrando de lleno en el objeto principal de este trabajo, que es el de describir el procedimiento de alumbramiento por

Galerías.—Partiendo de que éste es el procedimiento insustituible para las condiciones de terreno que suponemos generalmente en Marruecos, vamos a imaginar un caso con datos verosímiles, y sobre él explicaremos la manera de proceder, desde un principio.

Se trata de un río de la vertiente mediterránea marroquí, de régimen torrencial, con el lecho seco, salvo en los períodos de lluvias intensas, y con su fondo constituido por una capa de acarros muy profunda en el llano, y probablemente también, aunque menos, en la primera zona del monte, por atravesar una importante falla.

Próximo al mar, hay a orillas de este río un poblado, cuya dotación de agua le es suministrada por pozos y manantiales bastante modestos.

En la figura 6 damos en croquis las supuestas circunstancias de la comarca.

Durante la estación seca, esas fuentes se agotan en su mayor parte, y convendría completar la dotación del pueblo con $0,5 \text{ m.}^3$ por segundo en esa época.

Veamos, pues, si los tiene la esponja del fondo del río:

Duración del estiaje.—La primera cuestión, importantísima, que se presenta es la de saber, con la mayor exactitud posible, cuántos

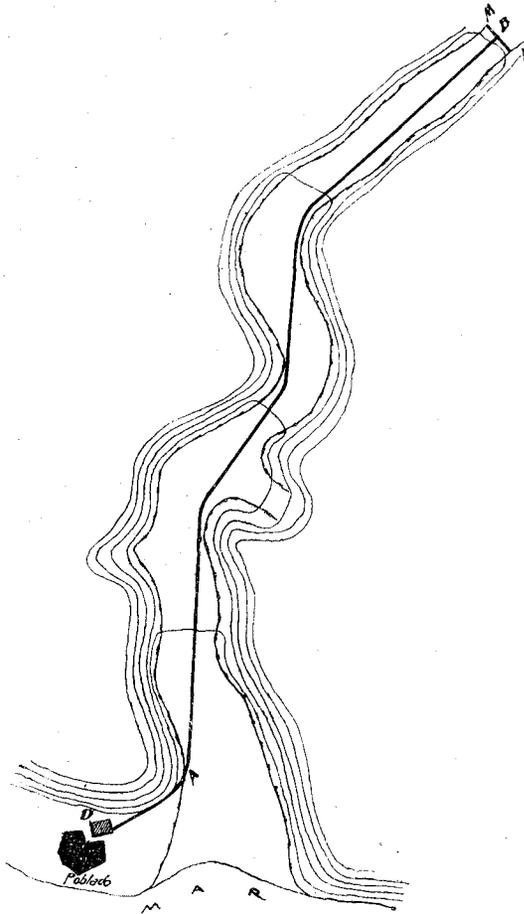


Fig. 6.

días abarca el período durante el cual no cae una gota de agua, en la cuenca, para ver si, durante él, podemos asegurar el gasto necesario. Una vez que caigan las primeras lluvias, acrecerán en seguida

las existencias subálveas y se incrementarán los caudales alumbrados. En Marruecos faltarán probablemente observaciones pluviométricas. Por referencias, observaciones directas o por el procedimiento que sea, llegamos a averiguar que el máximo período de tiempo durante el cual no llueve en absoluto, es de tres meses.

Volumen de agua necesario.—Antes de pasar adelante, supongamos que hemos resuelto favorablemente el problema, y vamos a anticipar una somera descripción de la obra de alumbramiento, empezando desde aguas abajo.

D es el depósito donde van a parar las aguas alumbradas para su distribución; a él llegan por medio de *DA*, conducto en forma de tubo, canal, galería o lo que convenga en cada caso, y cuya misión es exclusivamente colectora.

En las proximidades de *A* este conducto debe ir lo suficientemente enterrado para que, al entrar en el río, no le dañen las aguas violentas de las crecidas.

Desde *A* hacia aguas arriba ya es galería absorbente-colectora. Con la pendiente estrictamente indispensable para el desagüe, avan-

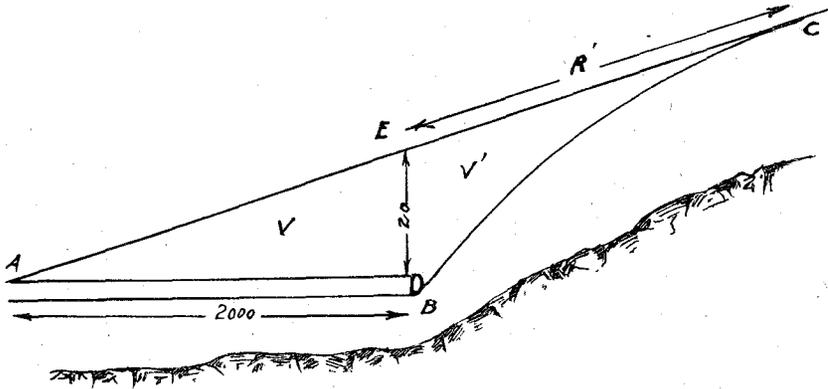


Fig. 7.

za por debajo del lecho, alcanzando rápidamente gran profundidad, puesto que la pendiente del álveo ($i = 0,01$) es grande.

Veremos que con dos kilómetros de galería tenemos suficiente, con lo cual hemos llegado al punto *B*, en el que proyectamos otra galería transversal cortando el río en todo su ancho, y cuya principal misión es la de captar todo el caudal de la corriente subálvea.

En la figura 7 hemos pintado el perfil longitudinal del río y de la obra a partir de *A*.

El caudal subálveo que entra en la galería transversal, teniendo en cuenta que en *B* el río tiene 100 metros de ancho, será:

Sección de paso	$0,30 \times 20 \times 100 = 600 \text{ m.}^2$.
Velocidad subálvea	$0,002 \times 0,01 = 0,00002 \text{ m. por segundo}$
Caudal	$0,00002 \times 600 = 0,012 \text{ m.}^3 \text{ por segundo.}$

Como de este caudal se dispone permanentemente, no tenemos necesidad de buscar en los acarreo más que

$$0,500 - 0,012 = 0,488 \text{ m.}^3 \text{ por segundo.}$$

Ahora bien; para asegurar esta dotación durante los noventa días, necesitamos disponer de un volumen de agua de

$$0,488 \times 60 \times 60 \times 24 \times 90 = 3.794.688 \text{ m.}^3$$

y el volumen de arenas que empapa ese agua será ($p = 0,30$)

$$3794688 : 0,30 = 12.960.000 \text{ m.}^3$$

Para ver si el río las tiene, hemos de entrar en el capítulo más delicado de los estudios:

Sondeos.—Hay que procurarse una sonda, buena o mala, porque con ella no sólo tendremos la forma y capacidad exactas del volu-

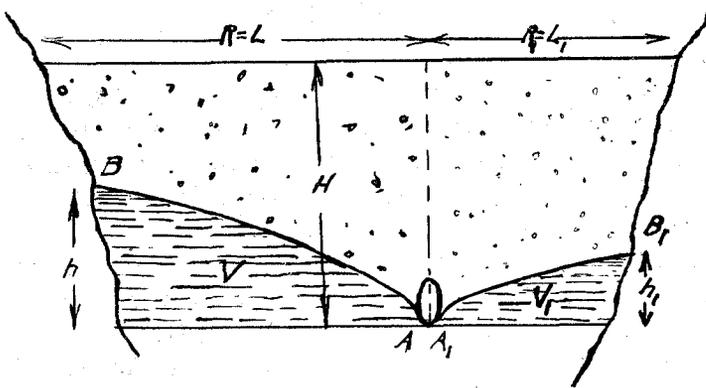


Fig. 8.

men de acarreo, sino que nos dará también datos preciosos sobre la constitución del mismo, diciéndonos, por ejemplo, dónde se acumulan los cantos rodados gruesos para huir de ellos al emplazar la galería.

Con los sondeos, y, si no se puede, por la inclinación de las laderas, se dibujan una serie de perfiles transversales de la zona *AB*,

limitados por la profundidad de la galería, y de una forma parecida a la indicada en la figura 8.

Estos perfiles nos darán el volumen ABE (fig. 7) y el del agua que en él se almacena, que suponemos es de 2.620.000 m.³

Por otra parte, la galería transversal desecará el volumen BEC hasta que se estacione la línea de carga BC , evaluándose dicho volumen por el cálculo de $EC = R'$ en la expresión [5]:

$$R' = \frac{20 \times 0,002 \times 0,30}{0,12 : 2000} = 2000 \text{ m.}$$

Podemos, pues, establecer:

Volumen de agua en ABF	2.620.000
Volumen en BEC : $1/3 \times 20 \times 100 \times 2.000$	1.333.333
Volumen almacenado en las galerías llenas	2.100
Volumen almacenado en los pozos registros	200
<hr/>	
Volumen total embalsado afectable por la obra.....	3.955.633 m. ³
<hr/>	

Como no necesitamos más que 3.794.688, tenemos como reserva

$$Q_r = 200.945 \text{ m.}^3$$

que ya veremos el papel que juegan.

Comprobación de la capacidad de la obra.—Como el agua que pasa a la galería decrece muy acentuadamente con el tiempo, pudiera ocurrir que, transcurridos los tres meses, quedase aún sin filtrar un volumen considerable del total necesario por bajar demasiado lentamente la línea de depresión.

Para averiguarlo, se divide la zona en fajas limitadas por perfiles transversales, de modo que en cada uno la distancia orilla-galería pueda tomarse igual a la media por cada lado. Con esos valores se entra en [3] y se obtiene T . Este tiempo se resta de noventa días reducidos a segundos, y el resto se pone en [4] en lugar de T_h ; se despeja h y se dibuja en el perfil transversal medio la parábola correspondiente (fig. 8), que será AB . Análogamente, en la otra orilla tendremos la A_1B_1 . Así para cada faja podremos calcular los volúmenes rayados V y V_1 , y si se verifica

$$p \times \Sigma (V - V_1) < Q_r,$$

no debemos preocuparnos porque el tiempo sea insuficiente.

Esto es lo que generalmente ocurre, como se ve si tomamos una sección media en condiciones desfavorables: $L = 150$ m. y $H = 10$ m. $T = 0,30 \times 150^2 : 30,002 \times 10 = 112.500$ seg. = 31 horas.

Y para que $h = 1$ m., transcurrirán

$$T_h = \frac{4 \times 0,30 \times 150^2}{3 \times 0,002} \left[1 - \frac{1}{10} \right] = 4.050.000 \text{ segdos.} = 1125 \text{ horas;}$$

es decir, que en menos de dos meses las aguas han bajado a la insignificante altura de un metro.

En [3] y [4] se ve que cuanto mayor sea L más aumentará el tiempo. Desde este punto de vista conviene que la galería vaya por el centro del río, para que L y L_1 sean iguales, y mínimos por consecuencia.

No basta el resultado favorable obtenido para dar el asunto por resuelto, pues, aunque toda el agua se filtre dentro de los tres meses, puede ocurrir que, a partir de una cierta h , el caudal filtrante no llegue al mínimo necesario, a pesar de quedar aún bastante agua en el embalse. Veamos cómo se comprueba:

Las galerías filtran por ambos costados en toda su longitud, de modo que el caudal que debe filtrar por metro lineal, para tener la dotación, es

$$q = 0,488 : 2 \times 2.000 + 200 = 0,00012 \text{ m.}^3 \text{ por segundo.}$$

Este valor se pone en [2] y se deduce h , con lo que calcularemos volúmenes V y V_1 , igual que hemos hecho antes. Y si $p \times \Sigma (V - V_1) < Q_r$, el problema está resuelto. Veamos el mismo ejemplo para tener una idea:

$$0,00012 = 0,002 \times 0,30 \text{ h.}^2 : 2 \times 150,$$

de donde $h = 8$ metros, muy grande, como lo será en general.

Es decir, que, al contrario de lo que ocurre con el tiempo, en la mayoría de los casos se habrá llegado al caudal mínimo necesario sin haber agotado el volumen disponible del embalse.

Para evitarlo hay que aumentar la longitud de galería, con lo que q disminuirá; esto se consigue con otras transversales que desembocuen en la principal.

La expresión de q también nos aconseja que la obra vaya por el centro del cauce.

Trazado práctico de la galería.—Siguiendo la última regla que acabamos de dar, el trazado queda perfectamente determinado, así

como la longitud, en lo que respecta a la galería principal. Pero esta prescripción no es preciso seguirla al pie de la letra, pues pudieran surgir dificultades para ello; por ejemplo: se asegura que, debido al proceso de formación de estos lechos, es precisamente en el centro de ellos donde se acumulan los bloques más gruesos de piedra, los cuales, si son abundantes, pueden incluso imposibilitar la excavación de la obra. Y como, según hemos dicho, es difícil que podamos eludir la construcción de las transversales, aunque la principal vaya por el centro, vale la pena hacer el trazado de ésta por el camino más corto y más fácil que nos indiquen los sondeos, y luego repartir las transversales con un criterio lógico.

A mayor abundamiento, téngase en cuenta que en la zona de río considerada habrá más agua que la deducida teóricamente: los barrancos que en él desemboquen, así como las laderas, más o menos porosas, alojarán otros tantos mantos de aguas ocultas que, con velocidades más o menos grandes, irán a engrosar el rendimiento subálveo con caudales imposibles de prever.

De modo que, en términos generales, el criterio de conducta debe ser el de trazar la galería por el camino más corto, y, una vez terminada, ver cómo se comporta; en el caso de que su longitud resulte escasa, se proyectan las transversales, para lo cual tendremos en cuenta los mismos conceptos expuestos, y agregaremos ahora tan sólo que, si tenemos dos galerías, G y G' (fig. 9), sus curvas de de-

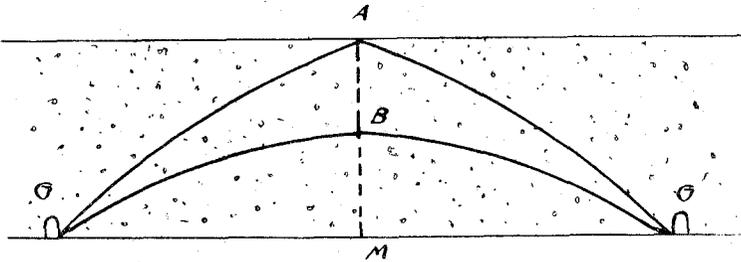


Fig. 9

presión, que al principio no se influyen, llega un momento en que se encuentra en A ; y a partir de él, bajará la altura común a ambas, comportándose cada una como si en AM hubiese encontrado un obstáculo impermeable.

Construcción.—No hay que pensar en recurrir a costosos procedimientos por aire comprimido ni con grandes agotamientos porque entonces el coste sería prohibitivo.

Para hacer la obra con medios modestos se empezará por el extremo de aguas abajo, avanzando paso a paso, con lo que el agua que vaya brotando desaguará por sí sola por la parte de obra ya hecha; no habrá que agotarla e incluso podrá utilizarse desde luego.

Del depósito, *D* y del colector *DA* no tenemos nada que decir. La galería absorbente ha de tener dimensiones mínimas para que en ella puedan trabajar los obreros y para que sea visitable. Esto hace que su capacidad, en general, sea más que suficiente.

Se le dará una pendiente lo más pequeña posible para ganar pronto gran espesor de acarreos y para que la velocidad máxima de las aguas no sea tan grande que dañe al revestimiento; en cuanto al límite inferior de *v* puede ser bastante bajo, pues, establecido el régimen normal, habrá poco arrastre a la galería.

Esta debe tener forma redonda u oval para que resista a las presiones de las arenas mojadas, y como en éstas la excavación y entibación han de ser algo dificultosas, conviene revestir lo más pronto posible la parte que se vaya excavando, y para ello lo mejor es hacer la galería con bloques de hormigón de forma apropiada, que se colocan sin mortero. Puede emplearse la piedra si abunda y si el hormigón resulta caro; pero el bloque siempre será constructivamente preferible porque por su forma regular queda más rápida y perfectamente colocado.

Entre cada dos bloques contiguos deben quedar las juntas verticales con una anchura proporcionada al tamaño de las arenas para que sirvan de intersticios filtrantes. Pueden aumentarse éstos agujereando los bloques antes de endurecerse.

La excavación se empezará a cielo abierto hasta que la profundidad, el coste o la dificultad de entibación de la zanja nos obligue a emboquillar la mina. Como ésta no se ataca más que por la boca de aguas abajo, el avance será bastante lento, pero con la ventaja de que lo que se vaya haciendo da inmediatamente rendimiento.

Cuando todavía la profundidad sea pequeña, puede trabajarse en todo tiempo, salvo en período de lluvias. Pero al aumentar aquélla habrá que proceder con gran cuidado si se trabaja fuera de la estación seca, pues una lluvia repentina podría invadir la galería con la presión correspondiente a la altura.

Para facilitar la evacuación de escombros y el suministro de materiales deben hacerse pozos-lumbreras a distancias convenientes. Estos pozos cumplen las siguientes importantes misiones:

- 1.ª Durante la construcción son bocas de evacuación y suministro.

2.^a Terminada la obra, quedan como registros para inspección. Su boca, cubierta perfectamente con una losa, debe quedar uno o dos metros por debajo del cauce para que no le dañen las crecidas.

3.^a Dejando barbacañas en su revestimiento, contribuyen a absorber aguas subálveas, papel que puede llegar a ser importantísimo porque, como absorben en toda su altura, pueden contrarrestar las diferencias de permeabilidad de las distintas capas del acarreo, sobre todo en el caso en que se interponga una de esas lenguas de arcilla de que hemos hablado, que sería como un techo impermeable por encima de la galería.

4.^a Aunque poca, almacenan agua durante el período de lluvias, contribuyendo a enriquecer el volumen embalsado.

Para construirlos, lo mejor será la hınca por el procedimiento indio, a menos que abunden los bolos gruesos. Como los primeros pozos son de poca profundidad, pueden servir de experimento para elegir en los sucesivos el procedimiento más adecuado.

Para acelerar la construcción de la galería parece que los pozos debieran abrirse con la anticipación suficiente para que el trozo de galería comprendido entre dos inmediatos pudiera atacarse por ambos extremos. Pero entonces tendríamos que agotar en la hınca; así es que ésta irá avanzando en seco (o casi) si se cuida de que no sobrepase la zona desecada por la acción de la galería, zona que será más profunda a medida que la galería avance: de modo que el pozo llegará a su final o punto de encuentro al mismo tiempo o, mejor poco después que ésta.

Por tanto, cada pozo no da servicio durante la obra más que al trozo de galería inmediato a él por la parte de aguas arriba.

Si hubiera que construir galerías transversales, pueden hacerse en la misma forma que la principal, con pendiente hacia ésta. Pero quizá la iniciativa del ingeniero encuentre medio de hacerlas más baratas. Por ejemplo, sólo a título de ensayo, y sin garantizar el resultado, por no haber pasado de idea, puede indicarse el siguiente: Tubos viejos de agotamiento o de aire comprimido se cortan en trozos de medio metro o menos; se acribillan de pequeños orificios y se disponen de modo que puedan enchufarse por sus extremos con una unión sólida, aunque no sea primorosa; a uno de ellos se le provee de un azuche bien afilado y se clava a golpes en el sitio donde hubiera que hacer la galería transversal; una vez casi hincado, se le enchufa un segundo, y así se continúa hasta alcanzar la longitud requerida. Si sale bien, suplen a la galería transversal.

No se nos oculta que el procedimiento puede tener muchos motivos de fracaso; por eso lo citamos sólo a título de ensayo, aunque no sea más que porque pudiera estimular la iniciativa del proyectista.

Regulación del caudal.—Por último, hemos dicho que hay que regular la salida del agua por la boca de la galería, debido a la desigualdad con que la filtración se produce en los distintos períodos. Se consigue esa regulación con una simple compuerta. Y, aunque a primera vista el procedimiento de tapar una galería llena de agujeros parezca de una eficacia semejante al de poner puertas al campo, téngase en cuenta que los agujeros de esa galería no sirven para que salga el agua, sino todo lo contrario, para que entre en ella, de modo que, al cerrarla, cortamos la única salida al agua que, no lo olvidemos, está embalsada por las arenas.

Conclusión.—Con lo dicho creo haber expuesto las ideas fundamentales que pueden servir de orientación al enfrentarse con un problema de esta naturaleza. Mi intención era rematar este trabajo con una aplicación análoga al caso de un río con corriente superficial perenne. Pero, habiéndome alargado excesivamente, desisto de mi idea pensando que ese caso, aparte de reducirse fácilmente al estudiado, no ofrece tanto interés por presentarse con mucha menos frecuencia en nuestras tierras de Marruecos.

