

MEMORIAL DE INGENIEROS.

MEMORIAL
DE INGENIEROS
DEL EJÉRCITO.

COLECCIÓN DE MEMORIAS.

CUARTA ÉPOCA.—TOMO XXII.

(LX DE LA PUBLICACIÓN.)

Año 1905.

MADRID
IMPRESA DEL MEMORIAL DE INGENIEROS
1905

REPORT

ON THE

PROGRESS

OF THE

COMMISSION

IN

1880

1881

1882

1883

1884

INDICE

DE LAS OBRAS SUELTAS QUE COMPRENDEN LAS ENTREGAS

DEL

MEMORIAL DE INGENIEROS DEL EJÉRCITO

publicadas en el año 1905.

BARUTELL.—*Estudio sobre las aplicaciones del obús de posición de 15 centímetros*, por D. Carlos Barutell y Power, primer teniente de Ingenieros.—Consta de 73 páginas, con 15 figuras intercaladas en el texto.

GOÑI.—*Obras del saneamiento de la I. villa de Bilbao*, por D. Emilio Goñi y Urquiza, capitán de Ingenieros.—Consta de 69 páginas y 13 láminas.

KINDELÁN.—*Las ascensiones libres en la Compañía de Aerostación*, por D. Alfredo Kindelán y Duany, capitán de Ingenieros.—Consta de 71 páginas, con 4 figuras intercaladas en el texto y 3 láminas.

RIVAS.—*Chimeneas de fábrica.—Teoría, Cálculo de sus dimensiones, Estabilidad, Construcción*, por D. Manuel de las Rivas y López, comandante de Ingenieros.—Consta de 136 páginas y 33 figuras intercaladas en el texto.



ESTUDIO

SOBRE

LAS APLICACIONES DEL OBÚS DE POSICION DE 15 CENTÍMETROS

ESTUDIO

SOBRE LAS

APLICACIONES DEL OBÚS DE POSICIÓN DE 15 CENTÍMETROS

POR

D. CARLOS BARUTELL Y POWER,

Primer teniente de Ingenieros



MADRID

IMPRENTA DEL MEMORIAL DE INGENIEROS DEL EJÉRCITO

—
1905



ESTUDIO

SOBRE

LAS APLICACIONES DEL OBÚS DE POSICIÓN DE 15 CENTÍMETROS



PRELIMINARES

DE día en día se pone más de relieve la necesidad de la aplicación de los obuses de tiro rápido llamados de campaña, material del que disponen todos los ejércitos de organización moderna, arma nueva nacida de las nuevas ideas y sistemas de fortificación provisional.

Un ejército que ocupa una posición y le precisa conservarla aumenta el valor pasivo del obstáculo acreciéndole constantemente, y aquél, en un principio constituido por simple línea de trincheras, acaba por componerse de obras inexpugnables al actual cañón de campaña, que exigen para su ataque regular proyectiles de más peso y que alcancen los blancos con grandes ángulos de caída, tanto más favorables á su efecto cuanto más se aproximen á la incidencia normal.

Esta nueva necesidad de la guerra contemporánea se suple con la aplicación de obuses de suficiente movilidad para acompañar al cañón de tiro rápido; pero al tratar de aquéllos hay que deslindar en primer término dos cuestiones distintas en absoluto, y que erróneamente pueden considerarse agrupadas dentro del mismo asunto.

Nos referimos al obús ligero y pesado.

El primero es material apto, ó debe serlo, para evolucionar con el cañón de campaña y capaz de completar sus efectos.

El obús pesado pertenece á esa moderna artillería de posición, término medio entre la ligera, transportada á caballo, y la tradicional de

sitio, característica de la guerra moderna, en que á veces se decide el combate con el éxito de pequeños sitios parciales, artillería, en fin, que si tiene movilidad suficiente, es impropia, sin embargo, no sólo para preceder, sino para acompañar al cañón de 7,5 centímetros.

El obús ligero tiene calibres de 10, 10,5, 11 y 12 centímetros, y pesa 1800 kilogramos.

El obús pesado es siempre de 15, y pesa á veces 4 toneladas.

El primero dispara shrapnel de 15 kilogramos, por regla general, y granadas de 18.

El segundo se caracteriza en este punto por lanzar granadas-minas de 40 kilogramos, con 11 y 12 de ácido pícrico como carga interior. Son piezas distintas, por consiguiente, en calibre, peso y proyectil; deben ser distintos sus cometidos, su aplicación; dos cuestiones, al fin, en esencia diferentes.

Además, basta indicar los anteriores datos para encontrarnos ligados á otra cuestión importante.

Una batería de obuses de 15 centímetros ocupa en orden de marcha cerca de un kilómetro; exige numerosísimo ganado, y por ser de gran peso el arrastre total, consume más, aumentándose de un modo considerable, cerca de 600 metros, la columna de subsistencias necesaria.

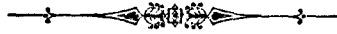
Todo esto pone de manifiesto la imperiosa necesidad de estudiar nuevas orientaciones en cuanto á tracción de campaña se refiere, augurándose mayor porvenir á la que emplea medios mecánicos.

Por último, si estas piezas pueden llevarse al campo de batalla con relativa facilidad y después lanzar proyectiles de 40 kilogramos, se comprende que desde el punto de vista ingeniero no es posible la indiferencia ante un asunto cuyo estudio debe ir á compás del que se haga del obús, por ser tan revolucionarios sus efectos y resultar anticuados hoy los métodos usuales de la desfilada del balín inferior del cono de dispersión del shrapnel arrojado por el cañón de 7,5 centímetros.

El objeto del presente estudio es tratar del obús de posición particularmente; pero como es complementario del cañón y del obús ligero de campaña, y en cuanto á sus cometidos esenciales va ligado íntimamente al último, no podemos menos de referirnos á veces á las dos piezas distintas y comprendidas en el nombre común de obuses de campaña.

Sujetándose á lo indicado ligeramente en las anteriores líneas dividiremos el trabajo en las siguientes cuestiones:

- I. *Breves antecedentes históricos.*
 - II. *El obús.*
 - III. *La tracción.*
 - VI. *Cálculos balísticos.*
 - V. *Influencia del obús pesado en la fortificación de campaña.*
 - VI. *Discusión acerca de la utilidad, eficacia y empleo de los obuses.*
- Conclusiones finales.*



I.

Breves antecedentes históricos.

El tema del trabajo que nos ocupa, es de actualidad en la guerra contemporánea.

Interesa por igual á ingenieros y artilleros, pues si éstos deben conocer la constitución de las obras para disponer los medios de atacarlas, aquéllos deben poseer la esencia y fundamento de los progresos, cambios y tendencias de la artillería, de los que se deriva directamente el valor de la fortificación.

El obús de campaña ha sido consecuencia de un concepto de fuerza llevado al atrincheramiento provisional. Su necesidad ha nacido de la que existe siempre en sostener el perfecto equilibrio entre los medios activos del atacante y los pasivos y meditados del defensor.

Varios hechos de armas lo demuestran y entre ellos se destaca Plewna.

Los turcos en 1877 y en esta plaza, empiezan á marcar el verdadero carácter y esencial de la guerra actual.

Una simple línea de trincheras al principio, una serie de reductos y obras escalonadas después, y la constante y metódica reforma de ellas hasta convertirlas en inexpugnables, son los medios de que se valieron los sitiados para defenderse de los rusos.

Estos se lanzaron á varios asaltos.

El primero, cuando la posición estaba débilmente defendida, fracasó por superioridad numérica de los turcos; el segundo, fracasó también, y en éste tomaron parte 30.000 rusos contra 21.000 turcos; el origen es muy discutido todavía; la falta de dirección, lo erróneo de ésta al lanzar tropa tras tropa sin previa preparación de artillería, ó el mal empleo de ésta, son tres causas que pudieron preparar la derrota.

Hay otra, sin embargo, y á la que se da excepcional importancia.

Se refiere á la ausencia de piezas de fuego curvo, que hubiesen alejado de las obras á los defensores resguardados en los abrigos. Y se acentúa más esta opinión, si se tiene en cuenta que la última tentativa de

asalto fracasó del mismo modo y eso que contaron los rusos con 20 cañones de sitio que bombardearon inútilmente á los turcos.

Puesto á discusión el asunto se ha entablado una verdadera polémica científico-militar, de la que, en el final de esta Memoria, extractaremos las más importantes opiniones, y ahora adelantamos algunas; la cuestión se planteó en los términos siguientes, derivados de las enseñanzas de la guerra turco-rusa:

«Los cañones rusos de campaña no podían por su trayectoria rasante, ni destruir los atrincheramientos ni dañar á las tropas resguardadas en ellos.

»Los asaltantes marchaban así, contra un enemigo moral y materialmente intacto.

»El tiro rasante mejor rectificado es inútil contra la más modesta cubierta de madera y tierra. Es preciso pensar en el tiro curvo. El obús ó el mortero deben proporcionar resultados que jamás pueden alcanzar las actuales piezas de campaña, tanto más, cuanto la instrucción y la extensión de las tropas de Ingenieros, permiten aplicar procedimientos eficacísimos de fortificaciones semi-permanentes (1).»

Y al lado de esa opinión ponemos esta otra contradictoria:

«El obús de campaña no debe nunca su origen á la experiencia de la guerra; únicamente ha nacido por reflexiones más ó menos discretas sobre los medios de combatir en el futuro.

»Se ha interpretado mal el fracaso de los rusos en Plewna, pues la falta no fué del material y sí del supremo mando y de la mala táctica de la artillería asaltante (2).»

Sin adelantar juicios, señalamos el punto de partida de las discusiones y hacemos presente, que poco tiempo después de lo ocurrido en Rusia, los cañones de campaña de todas las naciones buscaron el medio de atacar á los defensores de las obras de fortificación y acudieron, ó bien á *curvar la trayectoria del cañón con menos carga*, ó bien al empleo de fuertes explosivos que en la explosión de la granada abren mucho el cono y lanzan cascós verticalmente.

El primer procedimiento (3) está en descrédito hace tiempo, por su in-

(1) Capitán Wangeman, refiriéndose á opiniones rusas. Berlin, 1904.

(2) Teniente general Georg von Alten. Berlin, 1903.

(3) Procedimiento alemán Leydheker y del coronel italiano Morandotti.

eficacia, por su pequeño ángulo de caída, á pesar de reducir la carga á un medio. Es pretender practicar el tiro indirecto ó curvo, con una pieza que carece de condiciones para ello.

En cuanto á los proyectiles-minas con espoletas de tiempos, tampoco parece resuelven muy bien el problema contra tropas resguardadas, por falta de precisión. Langlois, sin embargo, admite, que sí serán eficaces contra tropas al descubierto, completándose la artillería de campaña con piezas de fuego curvo empleadas contra los atrincheramientos.

Del famoso bombardeo en el que una batería rusa durante 24 horas no logró más que dejar fuera de combate un hombre, según afirma Todleben, surgieron varios proyectos de material, después de rechazar las anteriores soluciones.

Rusia fué la primera en esta nueva orientación con su mortero de 15,2 centímetros que aplicó á siete regimientos, especiales para ellos, de cuatro baterías de á seis piezas cada una, ó sea un total de 168 morteros, cuyo transporte á la Mandchuria se efectuó en el mes de Agosto de 1904; faltando todavía datos suficientes para fallar en pró ó en contra del obús respecto al mortero, en esta clase de tiro de campaña, aunque se espera conocer el mal éxito de los morteros rusos dado su pequeño alcance y mucho peso.

Francia en 1894 introdujo en su artillería el empleo del cañón corto de 12 centímetros.

Inglaterra efectuó en 1895 la agregación de baterías de obuses de 12,5 en la artillería de Cuerpo.

Alemania se retrasó hasta 1898 y Austria hasta 1899, pero después han estudiado el asunto con interés creciente.

Italia marcha igual que España en esta cuestión.

Los éxitos han venido á sancionar el empleo del obús de campaña en la guerra moderna, éxitos que reconoce la prensa militar extranjera profesional, y adjudican al tiro curvo de campaña papel indispensable en absoluto. Se refieren á las operaciones de Peitang en la expedición de los aliados en China y al paso del río Yalú por el ejército japonés, realizada en la actual campaña, y aunque el último es un hecho de armas no confirmado en su desarrollo oficialmente, sin embargo, se ha discutido mucho por ilustres militares y la insistencia de éstos merecen crédito á favor de estas piezas.

Valioso triunfo del obús de campaña fué el obtenido en un episodio de la expedición europea en China.

El 20 de Septiembre de 1900 el capitán prusiano Kremkow, jefe de batería en el batallón de obuses pesados del Asia Oriental, logró, después de grandes trabajos, situar delante del fuerte I de Peitang una batería de obuses correspondientes á los más ligeros.

Los fuegos de los chinos tenían en apurado estado á las avanzadas de los aliados, hasta el punto de contar cien bajas en un corto espacio de lucha.

De madrugada rompió el ataque la batería sembrando el terror entre los chinos, á pesar de estar seguros en sus posiciones; uno de ellos, testigo presencial y prisionero después, dijo que «las granadas las envía el Cielo, destruyen los abrigos, y los cascos vuelan por todas partes».

Previo un combate de tres horas, los chinos abandonaron por fin la posición y al posesionarse los aliados, se encontraron con material Krupp modelo 1898 bien organizado y un sin fin de defensas accesorias que hacían peligrosa la primera posesión.

Hechos recientes de la guerra ruso-japonesa, dan más importancia á los obuses de campaña.

Sosteníase en el mes de Abril de 1905 encarnizado combate sobre el paso del río Yalú, disputándolo tenazmente ambos ejércitos, en puntos próximos á la desembocadura. La posición rusa se extendía desde el mar hasta el río Ai-ho.

Tropas encargadas de sostener el paso eran la 2.^a y 12.^a divisiones de la Guardia del 1.^{er} Cuerpo japonés, afectas á la vanguardia. La 12.^a división, vadeó el río en sitio que no ofrecía peligro, acometiendo el flanco de los rusos.

La 2.^a división tuvo que sostener el ataque de frente para no correr el peligro de ser envueltas ambas y no sólo sostuvo el ataque sino que obtuvo una gloriosa é importantísima victoria para el porvenir de la guerra, gracias á pesados y destructores proyectiles de atrincheramientos y fuertes, gracias á partir aquéllos de sitios cubiertos y desconocidos, imposibles de batir con fuegos directos de cañón.

El paso del Yalú se debe á cinco baterías de cuatro obuses cada una modelo Krupp, de 12,7 centímetros, adquiridas antes de la campaña por el

Japón. Situadas á cubierto, fuera de las vistas, no sufrieron durante su acción las molestias del fuego enemigo. Batieron obras de posición empleando tiro indirecto contra blancos visibles y á pesar de ser considerado lo último como error, produjo inmejorables resultados. Desalojadas las posiciones de artillería rusa por el obús japonés (cuya existencia desconocían los rusos) y á distancia la infantería por el efecto del cañón, en la mañana del 30 de Abril estuvieron terminados los 400 metros de puente, verificándose el paso en la noche del 1 de Mayo.

II.

El obús.

Pieza.—Proyectil.—Datos.—Armón.

Al hacer el estudio de los obuses pesados en la guerra moderna, conviene presentar algunos detalles de su funcionamiento.

Todas las casas constructoras fabrican obuses de campaña, la Krupp, Saint-Chamond, Erhardt y Schneider-Canet, de distintos calibres; obedientes á las enseñanzas de polígono, atienden al material de tiro rápido con gran interés y se adelantan á las necesidades de la guerra.

En la Exposición de 1900 la casa Schneider presentó cuatro modelos de obuses, correspondientes á los calibres 10,5, 12 y 15 centímetros, más otro del último diámetro sobre afuste-truk.

Esta misma casa ha servido para desarrollar un plan interior defensivo del coronel Du^mBocage, que expondremos más adelante, y en el cual concurre un obús de campaña pesado de 15 centímetros, y á él hemos de referirnos por tratarse de la última palabra sobre el particular.

El obús de 15 centímetros Schneider-Canet, Md. 1904, es de tiro rápido, lanza proyectiles de 40 kilogramos á un alcance próximo á 8 kilómetros.

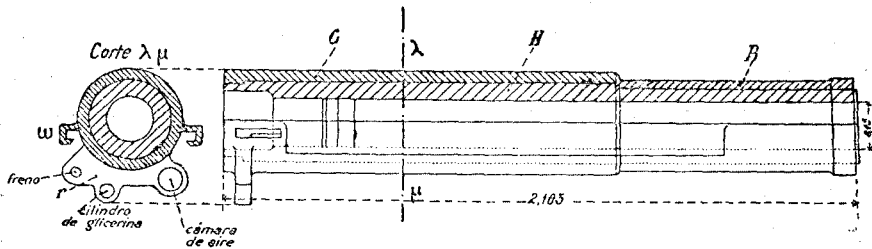
Conservando las tradiciones francesas, el cierre es de tornillo partido, con percutor armado automáticamente durante la apertura del cierre.

El montaje es de campaña, de retroceso independiente, ó sea de cureña inmóvil, á cuya rigidez contribuye el arado de contera, solidario del terreno durante el disparo.

La pieza, mientras tira, puede dejarse en el terreno natural ó apoyarse cada rueda en durmientes que desempeñen el papel de zapatas, contando, claro está, con cierta dureza del suelo para el primer caso y prefiriéndose el segundo, que no representa peso considerable; dado el de la batería, podía transportarse una explanada, pero no es precisa.

Cañón.

Consta de un tubo interior continuo, reforzado en sus dos partes, anterior y posterior, con dos manguitos de tiro y de culata, respectivamente. El último lleva forjadas con él las guías-correderas del afuste, cuyo objeto es servir de base de apoyo y retroceso (fig. 1).

**Fig. 1.**

Longitud 14 calibres: 210 centímetros.

G, manguito de culata.

B, manguito de tiro.

r, plancha forjada con el primer manguito y de la que se hacen solidarios los émbolos del freno y recuperador.

Al tratar detalladamente del freno indicaremos la acción combinada del obús y del soporte-cuna, que no es otra cosa que los cilindros, cuyos émbolos son solidarios de la plancha *r* del obús, enlazados entre sí, y terminando la unión por las lengüetas en que apoyan las guías ω , de longitud igual al retroceso máximo.

El metal de fabricación es acero-níquel, templado; con $Ni < 0,04$ obtiene el acero: $\bar{R} = 80 \text{ kgs.} \times \text{mm.}^2$, $D = 45$ y $\sigma = 20 \times 100$.

Cierre.

Los cierres que coloca en sus piezas esta fábrica son de tornillo partido, adoptando dos modelos diferentes para el de tiro rápido, que, reposando en el mismo principio, varían sólo en detalles.

Puestos muy en boga desde hace quince años, se verifica la operación en tres tiempos ó en dos.

1.º MOVIMIENTO DE ROTACIÓN DEL TORNILLO.—En el modelo del cañón de 7,5 se verifica esa rotación por el intermedio de una cremallera. En los cañones de más calibre se emplea un simple engranaje cónico, y á esta clase pertenece el que nos ocupa.

2.º TRASLACIÓN HASTA QUE EL TORNILLO SALGA DEL INTERIOR DEL ÁNIMA.—En los modelos de 7,5 centímetros, siguiendo el impulso de la palanca, el destornillado se verifica dentro del anillo portacierre á la par que se verifica la rotación, uniéndose este movimiento al primero, de modo que en realidad el tiempo separado no existe. En el cierre de los obuses, la traslación continúa, como en los antiguos, y se verifica mediante un codo de la palanca de maniobra, actuando sobre una ranura del bloque portacierre.

3.º DESPLAZAMIENTO LATERAL.—Este giro á uno de los costados del ánima subsiste en todos los modelos, es siempre igual y conocen nuestros lectores el modo como se realiza.

Existe una pieza esencial al aparato de cierre: el *cerrojo*, que lo inmoviliza dentro de su bloque, sirve de seguro y actúa como gatillo.

El cierre del obús de 15 centímetros Schneider-Canet consta de dos sectores roscados de 90º y ofrece la novedad respecto á los presentados en otras piezas que es de cerrojo horizontal (fig. 2).

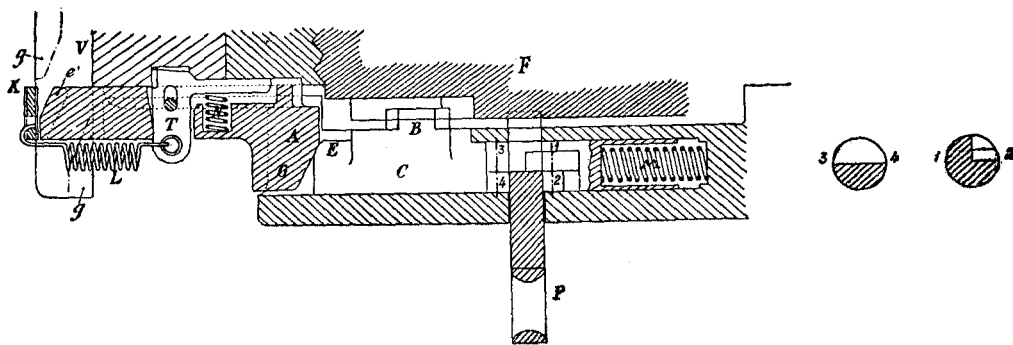


Fig. 2.

El cerrojo resbala dentro del bloque portacierre. Es una pieza cilíndrica que lleva en un extremo vaciado el muelle *M*. La parte central está también vaciada, pero exteriormente; presenta dos secciones: 1-2 que corresponde á la retención del percutor *P*, y la 2-3 á su paso, como agen-

te del disparo. La acción del muelle M es alejar á la izquierda el cerrojo y mantener cerrado el camino al percutor. Más á la izquierda, se encuentra la corredera A , con un tope e' en un extremo, y un plano inclinado en el otro. Esta pieza A resbala á lo largo del plano de culata, y en su centro se encuentra un hueco en el cual se coloca el codo T que entra dentro del manguito de culata; por la acción del muelle L , se aplica el codo contra la pieza A y ésta contra el plano inclinado E , fin del cerrojo.

La varilla V , fija en la cureña, sirve para dar fuego. Tiene dos toques g y g' contra los cuales ha de chocar sucesivamente el tope e' .

Empujando la varilla V , tropieza con el tope e' y entonces la corredera H resbala longitudinalmente y vence la presión del muelle M , escapándose el percutor P , por haberse trasladado el cerrojo C hasta dejar delante de P el hueco $B-A$. La corredera actúa con el cerrojo á modo de gatillo. Con el retroceso, el tope e' choca con el g' de la misma varilla y vuelve la corredera A á su posición primitiva.

Hecho el disparo, al primer tiempo de la palanca de maniobra, una muesca helizoidal lleva el percutor hacia atrás y entonces, por el muelle M , corre el cerrojo, manteniéndose montado el percutor durante los movimientos posteriores.

En el giro de 90° del cierre F , se presenta una muesca delante del tetón B del cerrojo y al continuar abriéndose el aparato, el extremo E resbala á lo largo del plano inclinado G y entonces engrana el tetón del cerrojo y la muesca del cierre, inmovilizándose el tornillo y el bloque portacierre. El desplazamiento es hacia la derecha de la pieza.

Al cerrar se verifica el movimiento inverso. El plano E resbala á lo largo del G y obliga á desprenderse al tetón B , pero cuando ya está todo el tornillo dentro del ánima, y entonces F puede dar el cuarto de giro necesario para que se presente el oído de la pieza delante del percutor P .

La corredera A afirma el cierre á modo de pestillo durante el disparo. Si la explosión no se verifica, P puede montarse á mano mediante un mango exterior y volver á disparar. Si se quiere abrir después de un disparo fallado, hay que valerse del codo, empujándolo hacia la izquierda, con lo cual la corredera deja de apretar el cierre, y de ese modo se suple la acción del retroceso de la pieza. La parte rayada F corresponde al

tornillo partido; á su izquierda se observan los dos cuerpos del obús (manguito y tubo); la parte que rodea al cerrojo *C*, adonde se une el muelle *M* y es atravesada por el percutor *P*, es el bloque que sostiene el cierre; la sección horizontal (fig. 2), corresponde á la altura del cerrojo.

Freno hidráulico y recuperador hidro-neumático.

Ya se dijo que el obús descansa en una cuna, constituida por todos los aparatos destinados á limitar el retroceso y vuelta á batería, ó sea el freno y recuperador reunidos en bloque y situados en éste los muñones que determinan el giro vertical de la pieza (fig. 3).

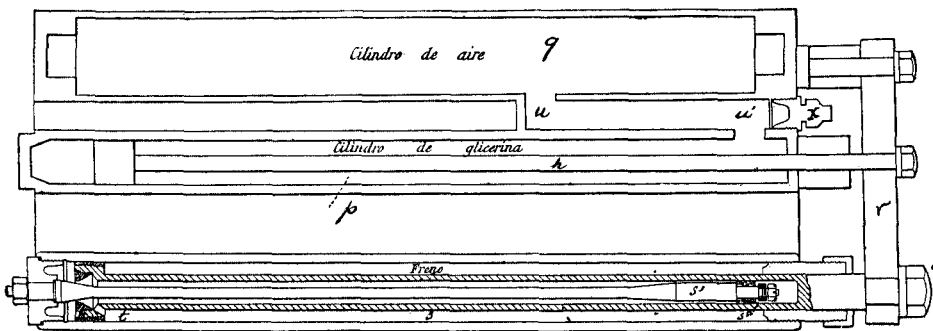


Fig. 3.—ESQUEMA DEL FRENO Y RECUPERADOR.

La plancha *r* es el obús; á ella se sujeta la barra del freno *s*; ésta es hueca y en su interior va la *s'* de émbolo opuesto.

Los orificios *t* permiten el paso del líquido de un cuerpo á otro y el *s''*, de la parte anterior á la posterior del segundo cuerpo, siendo cerrado por una válvula que se abre hacia *r*.

El cilindro *p* es el primero del recuperador de aire; le corresponde el papel hidráulico así como al *q* el neumático. Lleva el *p* una barra de émbolo sencillo y en su extremo está la comunicación con el *q* por intermedio del conducto *u u'*. El cilindro *q* contiene aire comprimido á 40 kilogramos por centímetro cuadrado.

Expuestos los anteriores precedentes, estudiemos lo que ocurre en el retroceso de la pieza.

El cañón lleva tras de sí la plancha *r* y con ella las barras *s* y *h*. El líquido del freno pasa á través de los orificios *t* á ocupar el segundo es-

pacio y la izquierda del cilindro. Venciendo la presión de la válvula que cierra el espacio s'' , pasa también alguna cantidad á la parte derecha del pistón s' . El émbolo h empuja al líquido, mezcla de glicerina y agua, al depósito q de aire, el cual, en virtud de su inicial presión, reacciona y empieza á desarrollar el movimiento inverso.

Así como la resistencia del líquido á pasar por los orificios t moderó el retroceso, ese mismo líquido aprisionado regula la vuelta á batería, y toda vez que la válvula s'' no permite el paso de aquél, tiene que verificarse á través de pequeñísimos orificios practicados en el émbolo. La entrada u' está colocada en tal forma que permanezca cubierta de líquido con el máximo ángulo de tiro; X es la válvula que permite cargar el cilindro á la presión citada. Las uniones de las barras con la plancha r son elásticas y moderan la vuelta á batería.

Cureña.

Consta de dos gualderas unidas por teleras y riostras. A la de cabeza se une el aparato de enganche para el transporte de la batería, terminando las gualderas con la solera de contera. Tiene argollón para la marcha ordinaria o , asas para movimientos laterales F , palanca de puntería en dirección i , y una reja amovible P , que se levanta durante la marcha.

La cureña corresponde á las tipo Armstrong (fig. 4).

F_1 es uno de los hierros en U que forman las gualderas, cosidos al final por una plancha acodada, á la que se adiciona la reja y mediante el pasador H se inmoviliza. O es un rodillo que facilita el poder rodar la cureña cuando la remolque un cable que veremos luego. L es la manivela del freno de camino, de zapatas; M los asientos de los sirvientes, y Ω la del mecanismo de puntería, que no describimos por no salirnos fuera de la índole de nuestro trabajo (1).

El peso de la cureña de este modelo es de 2 toneladas. Se ha de tener presente que se trata de verdadero obús pesado, casi material de sitio. Los otros obuses pesan menos. La cureña del ligero Schneider-Canet de 10,5 pesa 540 kilogramos. La de el de 12 centímetros, 645 kilogramos, y la de el de 15, Md. 1900, 1050.

(1) Las figuras del obús y la posterior del camión están tomadas de una notable Memoria, de Mrs. Ferrús y Curey, inserta en la *Revue d'Artillerie*, 1901.

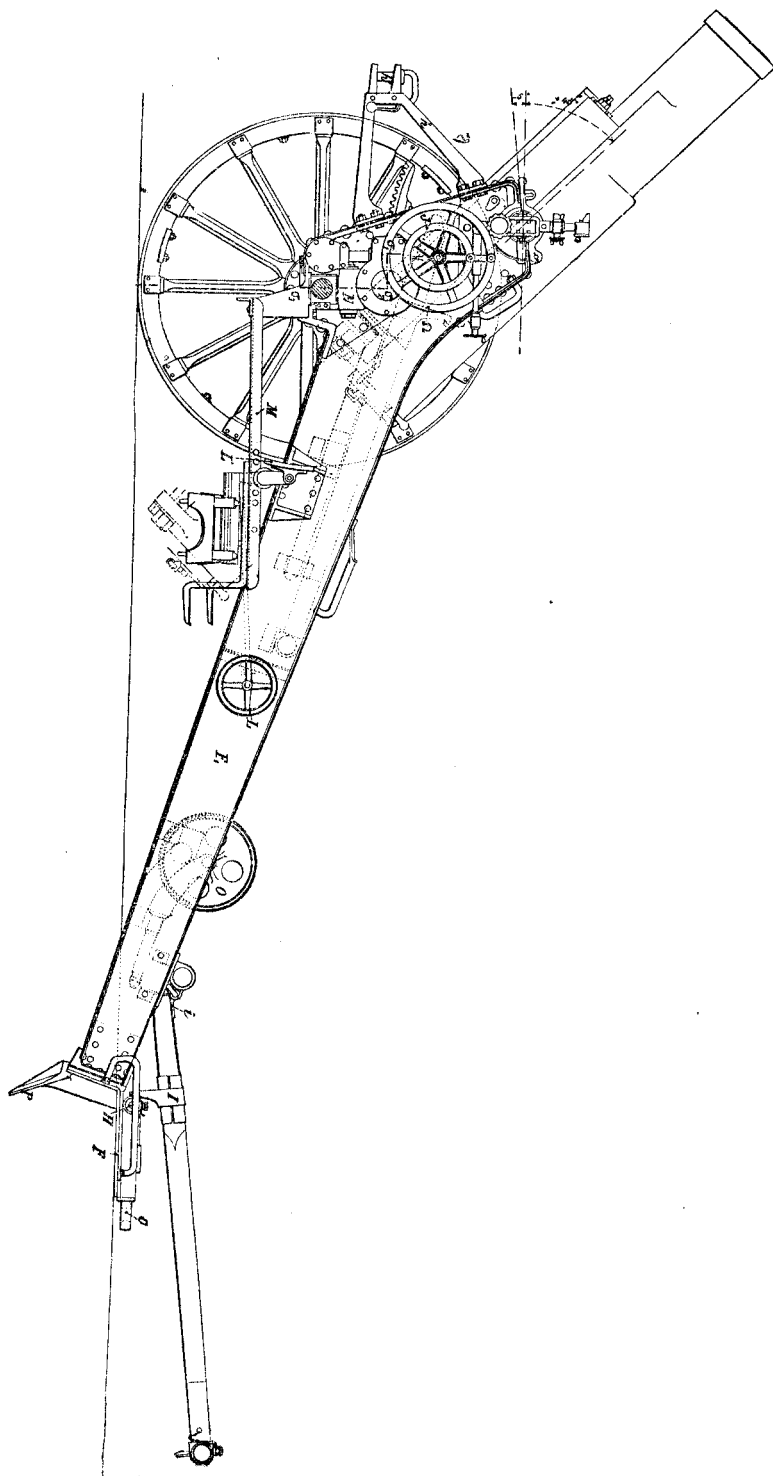


Fig. 4.-CARRERA.

Proyectiles.

Así como el cañón dispara exclusivamente contra tropas, el obús de campaña dispara contra aquéllas y contra toda clase de obras semipermanentes.

Para batir tropas se vale del shrapnel ó de la granada con carga interior de fuerte explosivo y poco peso.

El shrapnel alemán del obús de 10,5 centímetros lleva espoleta de doble efecto y produce un cono de explosión de 20° á 2000 metros, mientras el del cañón es de 15° á esa distancia, aparte de un pequenísimos ángulo de caída, que no llega á sumar con el semiángulo 18° , pudiendo alcanzar esta suma 38° ó más grados en el obús ligero. Los artilleros franceses emplean siempre la espoleta de tiempos para esta clase de tiro.

Sin embargo, el shrapnel del obús es de mucho menor efecto que el del cañón de campaña por pequeñez de zona batida, más estrecha que la alcanzada por aquél y, además, con menor velocidad remanente. Pudiera creerse que ya que el obús de 10,5 centímetros dispara shrapnel y tiene análoga movilidad que el cañón de 7,5 centímetros, debía adoptarse como pieza única de campaña. Es un absurdo suponerlo, pues nunca el obús tiene la rapidez, precisión, eficacia y movilidad, cualidades necesarias para batir tropas al descubierto, y que en tan alto grado posee el cañón de tiro rápido de los modelos modernos.

Entre las granadas de violentas cargas interiores para batir tropas, está la francesa de melinita. La dispersión es de 20° y muy eficaz en su parte inferior. Contra atrincheramientos se necesita que la explosión sea en la cresta, y como esto es difícil de conseguir, resulta más bien un tiro teórico.

El tiro de desmonte se consigue con verdaderas granadas-torpedos ó minas que disparan todos los obuses, variando su carga interior con el calibre y peso. Los obuses ingleses llevan en su proyectil-mina 2,22 kilogramos de lyddita y atraviesan muros de 1^m,8 de espesor, desportillando un lienzo de cerca de 8 metros cuadrados.

Otra cuestión distinta es el reparto que debe hacerse de las granadas dentro de la batería. Se dijo que había dos clases distintas de piezas comprendidas dentro de la denominación única de obuses de campaña.

El mayor Nicolls admite para el obús ligero mitad de shrapnel, mitad de granadas-minas; para el de posición el 100 por 100 de las últimas.

Otros afirman más en absoluto, que el shrapnel pertenece al cañón y la granada-mina al obús, cualquiera que sea su calibre.

El obús austriaco de 10,4 centímetros tiene como reglamentaria la granada de ruptura y espoleta de doble efecto, por satisfacerse así, según la Comisión de Tiro, las condiciones que requiere el ataque. El shrapnel se considera en esta artillería como excepcional.

En la dotación total de municiones de tres baterías de seis obuses de 10,5 centímetros en Alemania entran:

$$\left. \begin{array}{l} 1368 \text{ Shrapnel.} \\ 2664 \text{ Granadas.} \end{array} \right\} \text{Total, 4032. Por pieza, 224.}$$

La relación es superior á 1,9, es decir, que dobla el número de granadas al shrapnel. Tratándose de obuses de 15 centímetros, la proporción es mucho mayor, y se admite que debe ser única la primera.

Los franceses dan preponderancia mayor al shrapnel; emplean también la granada de fundición endurecida. El bote de metralla es rechazado siempre en el municionamiento del obús de campaña y de posición.

Todos los shrapnels que disparan los obuses son de carga posterior; por regla general, de acero duro y ojiva roscada, también de acero.

Los balines son de plomo endurecido; pesan 20 gramos á lo sumo, y nunca menos de 16, y entran de 350 á 400 en cada proyectil.

El obús ligero de 10,5 centímetros Schneider-Canet, Md. 1900, dispara un shrapnel organizado en la forma siguiente:

Peso total	16.000	gramos.	
Carga interior	180	gr.	}
Espoleta	800	»	
Balines (400 á 16 gr.)	6.400	»	
Peso de la envuelta	8.620	gramos (1).	

El proyectil explosivo de igual calibre é igual pieza se organiza del siguiente modo:

(1) Según se afirma, de los 16 kilogramos sólo son útiles los 6,4 que componen los balines.

Peso completo.	16.000	gramos.
Espoleta	800	gr. } 3.000 »
Carga explosiva.	2.200	» }
Envuelta.	<u>13.000</u>	gramos.

Los obuses pesados disparan proyectiles que pueden encerrar 11 y 12 kilogramos de explosivo violento, siendo 40 el peso total de ellos.

Respecto á cargas interiores, podemos presumir su peso; en líneas generales puede señalarse que:

El proyectil del cañón de 7,5 cm. logra	
alcanzar una carga interior explosiva de	850 gramos.
El del obús de 10,5 centímetros.	3.000 »
» de 12 » 	5.000 »
» de 15 » 	12.000 »

En las figuras 5 y 6 indicamos las dimensiones de los proyectiles del

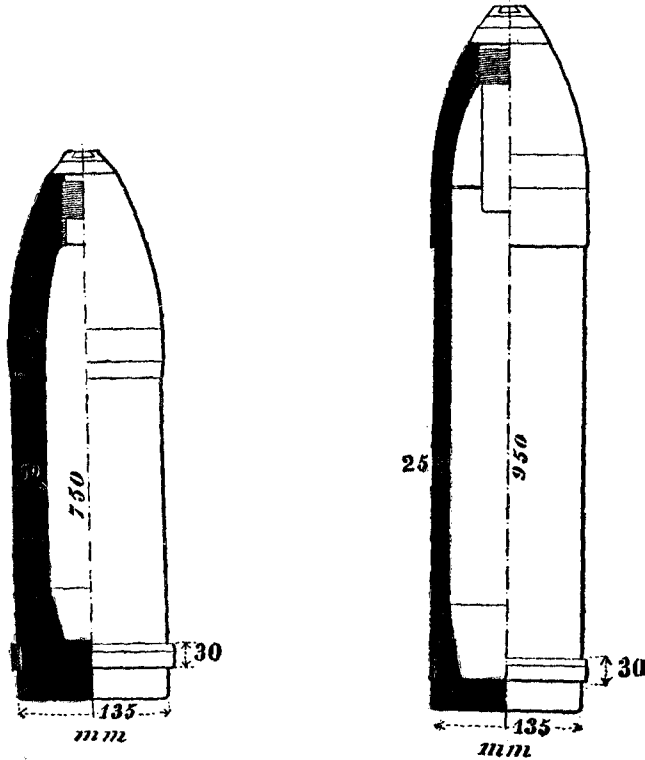


Fig. 5.— GRANADA ORDINARIA.

Fig. 6.— GRANADA-MINA.

obús de 15 centímetros Schneider, Md. 1900, que son los mayores de los de esta clase de piezas, de organización semejante á las anteriores. Se indican las dimensiones para que se puedan calcular las de repuestos de batería.

Datos comparativos de algunas piezas.

A continuación se expresan los datos balísticos de algunos obuses. Se añaden, además, los mismos antecedentes de un cañón de campaña, para completar la comparación.

La casa Krupp es la que ha tanteado más respecto al calibre; los 13,5 y 15 centímetros son, desde luego, piezas pesadas, que pueden agruparse solas, con los dos modelos Schneider y Ehrhardt de 15 centímetros, dentro de la artillería de posición.

Datos comparativos de algunos obuses de campaña,

MODELO	Calibre.	Cierre.	PESOS			Velocidad inicial máxima.	Alcances máximos.
			Pieza.	Proyectil.	Carga de proyección.		
	cm.		kg.	kg.	gr.	m×1''	m.
Austriaco, Md. 1899.	10,4	Tornillo	395	15	310	312	6000
Krupp.	10	Cuña.	290	12	290	300	6150
Idem	10,5	Idem.	340	14	340	300	6260
Idem	11	Idem.	390	16	390	300	6320
Idem	12	Idem.	500	21	500	300	6480
Idem	13,5	Idem.	715	30	710	300	6700
Idem	15	Idem.	950	41	950	300	6870
Schneider-Canet, Md. 1900. .	10,5	Tornillo	380	16	470	300	6500
Idem íd.	12	Idem.	495	21	500	300	6650
Idem íd.	15	Idem.	750	40	825	250	5500
Idem Md. 1904.	15	Idem.	1335	40	1625	350	7600
Ehrhardt, Md. 1904.	10,5	Cuña.	350	15	320	300	»
	15	Horizontal.	900	42	800	300	»
Cañón de campaña Schneider-Canet, Md. 1900.	7,5	Tornillo	445	6,5	644	500	5700

Armón.

Respecto del transporte del obús (fig. 7) parecen presidir iguales

DE 15 CENTIMETROS

25

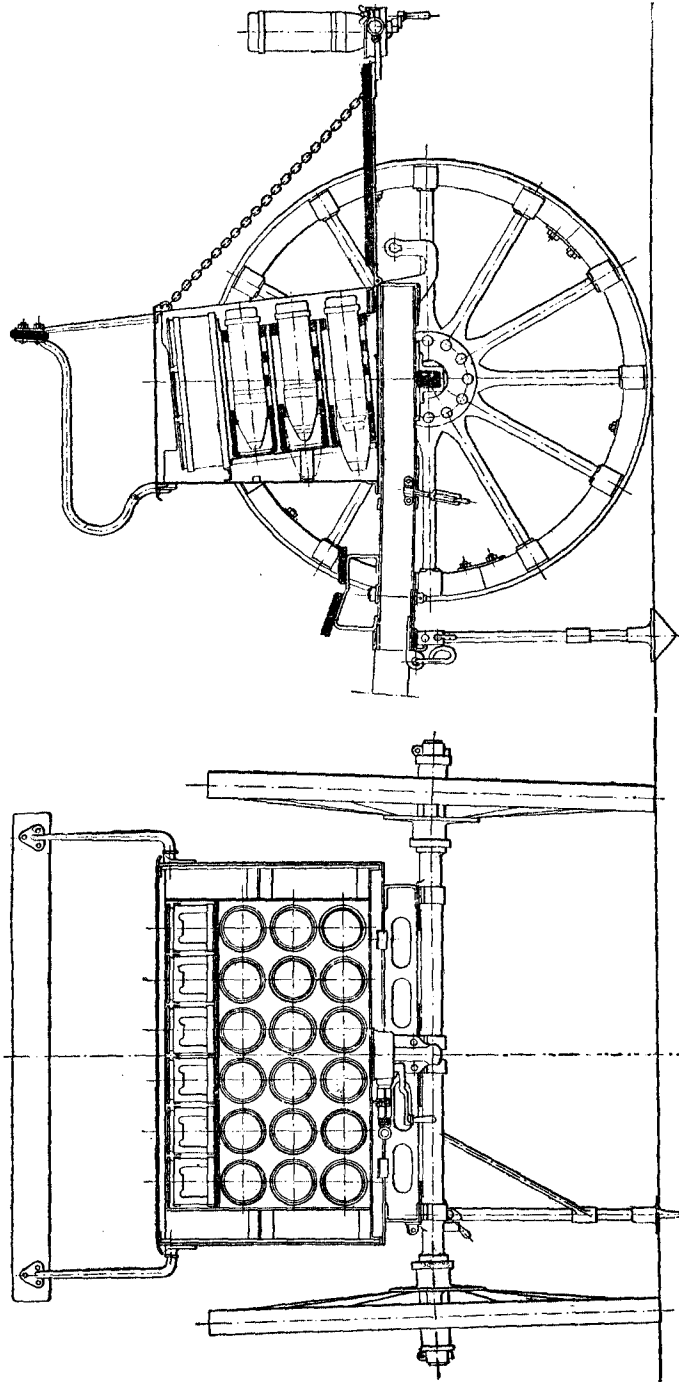


Fig. 7.— AVANTRÉN PARA OBUSES DE 12 CENTÍMETROS SCHNEIDER.

tendencias que en el del cañón de campaña. Avantrán y pieza de un lado; avanzrán y carro de otro, intercambiables los primeros.

Es de palastro de espesor reducido. Se constituye en igual forma que los empleados actualmente para cañones de campaña, conocidos de nuestros lectores, y de ellos no difiere más que en el número de disparos que transporta; los proyectiles se aislan unos de otros por medio de un almohadillado de caucho, indicado claramente en la figura; también se observa que la forma tronco-piramidal permite colocar inferiormente las granadas-minas debajo de los shrapnel más cortos en longitud.

En todos los carros destinados á transporte de municiones, el peso del avanzrán depende de varios factores. Como no se puede pasar de un cierto número de pares de tiro, que llevan un peso fijo, y de él hay que descontar el de la pieza y su cureña, y el de los sirvientes, sólo puede aplicarse al avanzrán el resto, del cual hay que restar el peso propio para venir á obtener por último el que pueden tener las municiones.

La potencia del cañón aumenta con el calibre; pero también aumenta su peso y el de la cureña, disminuye en razón inversa el del avanzrán y tiene que reducirse mucho el número de disparos de éste. Las indicadas dificultades se pueden armonizar en el cañón de 7,5 por su poco peso; pero se convierten en insuperables al tratar del obús, y obligan á organizar defectuosamente los avanzranes ó armones, como lo demuestra el siguiente cuadro:

ARMONES para obuses *Schneider-Canet*, modelo 1900.

Calibre.	Cañón.	Cureña.	Avantrén vacío.	Número de disparos.	Avantrén cargado.	TOTAL
cm.	kg.	kg.	kg.		kg.	kg.
10,5	380	540	420	21 [2]	800	1720
12	495	645	435	18	885	2025
15	750	1050	350	6 [3]	600	2400
<i>Avantrén del cañón de 7,5 centímetros Schneider.</i>						
7,5	365	615	445	38 [1]	770	1750

Basta comparar [1], [2] y [3] para comprender cuán defectuoso es el avanzrán de municiones de los obuses pesados.

En el del obús ligero se llevan 21 disparos, y el peso total del carruaje es de 1720 kilogramos, próximo á los 1750 del cañón. Esto puede admitirse; pero en el obús de 15 centímetros el peso total es de 2400 kilogramos, llevando sólo seis proyectiles.

Esta diferencia nace de querer transportar con igual facilidad el obús de 15 centímetros, que arroja granadas de 40 kilogramos, que el cañón de 7,5 que lanza proyectiles de 6. Tratándose del obús de 15 centímetros, Md. 1904, ese método de transporte sería imposible, pues sólo la pieza pesa 1335 kilogramos.

Expuestos estos detalles, verán claramente nuestros lectores que para transportar en el primer escalón de combate estas piezas de posición, *tendrá que valerse la artillería moderna de otros sistemas que los preponderantes para las piezas actuales de campaña*. Al tratar de la tracción insistiremos en este punto concreto.

Esta cuestión del municionamiento presenta dificultades cada vez mayores; pero no es sólo éste el escollo de una guerra; es el parque total de campaña, que aún se encuentra en los albores y en estudio en casi todas las naciones.

III.

La tracción.

Tracción mecánica y de sangre.—Transporte de municiones.—Clasificación.—Condiciones que se imponen á un camión tractor para usos militares.—Ideas del coronel Du Bccage.—Tractor Brillié.—Pruebas y resultados.

Ligadas íntimamente se encuentran en el día las cuestiones del empleo de los obuses en campaña y de su transporte al campo de operaciones.

Todos los ejércitos *á la europea*, dedican á la tracción mecánica preferente estudio, y no es sólo por su utilidad ya demostrada, sino también por el cambio que ejercerá en la constitución del material que ha de transportarse.

Una división en campaña está compuesta de heterogéneos elementos, en cuanto á su avituallamiento, que se agrupan en dos categorías: tren de combate y convoy propiamente dicho.

Para su transporte se emplean dos medios: la tracción animal, que es la exclusiva del primero (1) por sus dos condiciones características, flexibilidad y ligereza; y la tracción mecánica aplicable al convoy (2), al par que en sí, por requerir su transporte fuerza considerable de arrastre y convenir que disminuya lo posible la profundidad del grueso de la columna.

A la vez dentro del tren de combate existen diferencias, pues con sólo iniciar el cometido de la artillería de campaña se echa de ver la necesidad actual de piezas de distintos pesos.

Entre ellas está el obús de campaña, que no es pieza de tiro directo, sino de fuego curvo y de alcance, y aunque se coloca lejos de la vanguar-

-
- (1) Parques de municiones de infantería.
Columnas de artillería y de sus municiones.
Parques á lomo, y de compañía de zapadores.
Id. volantes de sanidad.
Material telegráfico de todas clases, y especialmente el de montaña.
 - (2) Trenes de sitio, de puentes, de ferrocarriles y de globos.
Columnas pesadas de municiones.
Parques de vestuario, equipo é intendencia.

dia, sin embargo la acompaña en el ataque. No posee la extremada movilidad del cañón de 7,5 centímetros; pero si bien está excluído del primer escalón de fuego, no debe contársele formando parte del tren de sitio.

Y dentro del obús de campaña están las dos especies diferentes. Uno el ligero, el de 10,5 centímetros, con el que se pretende acudir á la primera línea, y otro el de 15, verdadera pieza de posición, más apta para figurar entre las unidades de sitio que entre las de campaña.

Como unidades pesadas, las baterías de obuses de 15 requieren para su transporte caminos bien organizados. Los de 10,5 podrán figurar tal vez al lado del cañón de 7,5 de campaña, pero no debe buscarse seguir esos derroteros con el obús de 15.

Tratándose de tracción sobre caminos cuya constitución se aproxima á la ordinaria, claro es que se puede aplicar bien la tracción mecánica; y no sólo debe aplicarse al obús, sino también á los carruajes destinados á su municionamiento.

Los mayores defectos que se ponen á estas piezas se derivan de pretender darlas igual forma de arrastre que á las más ligeras. Efecto de ello, vimos en un cuadro anterior que el obús de 15 centímetros Schneider-Canet llevaba seis proyectiles, y para tan excaso municionamiento, un armón.

Es parecer general, que debe llevarse el obús pesado á campaña; pero como tal, y no pretendiendo que marche como artillería á caballo.

Transportar artillería de sitio mecánicamente y formar un carro ó un camión que transporte, mecánicamente también, varios disparos, es problema militar de los más interesantes.

El servicio automóvil puede agruparse del modo siguiente:

- I. Transporte del personal. (Carruajes automóviles.)
- II. Conducción de cargas. (Camiones.)
- III. Arrastre de carros y de piezas de artillería. (Tractores.)
- IV. Unión de los II y III. (Camiones-Tractores.)

El porvenir indudablemente es del último, por los complejos servicios que está destinado á prestar. Tienen además otra aplicación, la de remolcadores, cuando las pendientes son considerables: calzadas las ruedas, actúa el motor sobre un torno, que transporta la carga más fácilmente, aliviado del peso propio del camión.

Examinemos una nueva orientación relativa al armamento móvil de plazas fuertes, que ha señalado recientemente el coronel de ingenieros del ejército portugués M. Carlos Roma Du Bocage, coincidiendo con las opiniones del coronel alemán von Bernhardt; orientación en la cual el arrastre mecánico se lleva á la tracción de piezas pesadas de campaña, y de su examen puede desprenderse que los principios técnicos que han presidido en su estudio pueden generalizarse á la guerra de campaña en determinados casos.

Dice el citado ingeniero militar:

«La transformación sufrida por la artillería en estos cincuenta últimos años y el perfeccionamiento paralelo de las armas portátiles han determinado en el arte de la fortificación un cambio, cuyos efectos son más sensibles por llegar los contingentes á desconocidas proporciones.

»El ingeniero tiene hoy que aumentar la resistencia de la fortificación permanente y defender el dilatado frente de combate.

»Entre unos y otros elementos fortificados, hay que establecer comunicaciones *rápidas, fáciles y seguras*, bien sea para movimientos de tropas, ya para transporte del material.

»Estas comunicaciones son un nuevo elemento defensivo-ofensivo, el más esencial de todos. En terreno favorable, bien elegido y estudiado, un sistema completo de comunicaciones y armamento apropiado, puede disminuir la resistencia intrínseca del obstáculo sin perder ventajas el defensor sobre el atacante.

»Es, á nuestro juicio, *la movilidad del armamento, la garantía más segura de su conservación y eficacia, y único medio de obtener preponderancia numérica sobre un punto determinado sin que sea preciso disponer de enorme cantidad de artillería, difícil de adquirir, aprovisionar é instruir*».

Sólo con lo expuesto basta para indicar cuán grande debe ser la importancia de los actuales transportes en campaña, pues la movilidad citada no puede conseguirse más que á expensas de un material ligero de ferrocarril de vía estrecha, ó por medio de locomóviles que permitan conducir la artillería á sus posiciones y cambiarla de continuo.

Al aceptar las ideas del ilustre coronel Du Bocage se ha de tener en cuenta que representan innovaciones de importancia.

Desde luego el material de plaza se modifica en cuanto al montaje, pre-

sentándose con evidente claridad el porvenir que espera al afuste-truc. También se ha de modificar el montaje de la artillería de campaña. Las variaciones de uno y otro son hoy objetivos preferentes de varias casas constructoras. La misma Schneider-Canet tiene un obús de 15 centímetros sobre afuste-truc.

Convenientemente elegidas las posiciones preponderantes de la defensa de una plaza, se las debe unir por comunicaciones que permitan que acuda la artillería en defensa de los objetivos sucesivos del ataque.

Esas comunicaciones podrán establecerse de dos maneras: ó bien por líneas de hierro ó por simples carreteras.

Los trabajos de la explanación son análogos para una ú otra empresa. El ferrocarril exige balasto, como la carretera exige firme.

Tiene en su contra el primero exigir material de vía y ser menos flexible, pues no admite pendientes más que muy pequeñas, ni curvas de mucho radio; es más *de campaña* el firme que el balasto.

Todas estas consideraciones, sugeridas como resultado de las ideas del coronel Du Bocage, nos llevan á pensar en el porvenir de las tropas técnicas de ferrocarriles. Atraviesan por una transformación, derivada del arrastre mecánico actual.

Subsistirán siempre tropas instruídas que durante una campaña conduzcan y mantengan el servicio ferroviario dentro del teatro de operaciones.

Para el transporte del convoy podrá substituirse el ferrocarril por cuantos medios dé la tracción mecánica en el porvenir, aplicada sobre explanación préviamente afirmada.

El tiempo resolverá; y desde luego afirmese que el ejército que marche hoy más adelantado estará transformándose más.

Siguiendo las ideas expuestas por el coronel Du Bocage, resume en la forma siguiente sus conclusiones táctico-estratégicas:

«Si transportar rápidamente la artillería por medio de líneas férreas es un relativo progreso en el arte de la fortificación, donde no existan fortificaciones, ó el terreno presente grandes obstáculos á la rápida construcción del ferrocarril, será preferible poder transportar en caminos ordinarios y por medios mecánicos las complejas unidades de artillería pesada de campaña.

»En pocas palabras se puede plantear el problema:

»Crear una batería automóvil de obuses de 15 centímetros, de 14 calibres, que disparen proyectiles de 40 kilogramos á la velocidad inicial de 350 metros, y hacerla recorrer varios cientos de kilómetros en invierno y contra todas las inclemencias del tiempo.

»Es necesario que el camino sea lo que se llama una buena carretera. Este es un punto esencial en el cual conviene insistir. La citada batería pesa 26 toneladas al completo, y este peso no se transporta fácilmente y *con relativa velocidad* sobre un camino medianamente entretenido, ni aun empleando la tracción de sangre.»

Antes de pasar adelante, conviene fijar las ideas sobre estos carruajes automóviles; y para ello no tenemos más que seguir el programa de un concurso militar inglés propuesto por el *War Office*. Inglaterra hizo muchas pruebas en el África Austral; pero como la industria perfecciona cada vez más el automóvil en todas sus manifestaciones, el Estado, cuidadoso más que otros de sus intereses militares, abre concursos para ensayos del material, y á uno de éstos, realizado en 1903, nos referimos.

Condiciones impuestas á un tractor-camión para usos militares.

I. Soportar un peso total de 13 toneladas, con agua, combustible y todas las herramientas necesarias para su uso en carretera, siendo independiente de toda máquina exterior en cuanto á recepción de fuerza motriz.

II. Remolcar 25 toneladas en 64,4 kilómetros (40 millas) de carretera con pendientes ordinarias y velocidad media de 5 kilómetros, aprovechando exclusivamente el agua y combustible que pueda llevar el camión, sin obtener aumentos por aprovisionarse en otros carruajes, ni aun por los remolcados por el mismo camión.

III. Remolcar 12 toneladas sobre carretera en buen estado con una velocidad de 12,875 kilómetros por hora; el *minimum* de esta experiencia ha de ser una hora sin interrupción.

IV. Remolcar 12 toneladas en rampas de $\frac{1}{6}$ que son 167 milímetros por metro. En estas dos experiencias (III y IV) se supone el camión-tractor en plena carga.

V. Construcción que permita al tractor atravesar por toda clase de

carreteras y de terrenos blandos sin averías ni choques en las partes próximas al suelo, y poder efectuar un paso con una altura de agua de 0^m,60.

VI. Marchar en los dos sentidos, poseer frenos en todas las ruedas y montar los ejes todos sobre resortes.

VII. Poder ser conducido por un sólo maquinista y exigir á lo más dos para practicar todas las maniobras.

VIII. El sitio del maquinista estará perfectamente definido, resguardado de la intemperie, y desde él debe maniobrase las palancas de velocidad, embrague, el volante, los frenos, encendido y engrasadores.

IX. El camión-tractor debe estar provisto de un torno y de un cable de acero de 57 milímetros de diámetro y 70 metros de longitud, con poleas de dirección que permitan aplicarlo tanto en uno como en otro sentido, respecto á la marcha y al camión.

X. A las ruedas motrices se les exige un diámetro de 1^m,90 y 45 centímetros de anchura de las llantas; ruedas anchas sin cámaras ni envueltas.

Entre la parte más baja del tractor-camión y el suelo debe quedar libre 457 milímetros.

XI. Para dimensiones generales de estos carruajes se fija:

Alturas. . .	}	Del cuerpo principal	2,74 metros.
		Chimeneas ó techos.	3,66 »
Anchura máxima			2,24 »
Longitud id.			6 »

XII. No se reglamenta la naturaleza del motor y *se prohíbe el blindaje del camión como inútil.*

XIII. De emplearse motores de vapor deben practicarse determinadas pruebas respecto á calderas, y á la alimentación, que debe ser doble. Las chimeneas deben organizarse para que en ningún caso expulsen chispas.

XIV. Empleándose motores de gas, aparte de carecer, dentro de lo posible, de ruidos y trepidaciones, no sólo en marcha, sino también durante el tiempo en que se efectúen maniobras, se exige que funcionen con cualquier mezcla detonante.

XV. Durante la marcha deben poder revisarse casi todos los engranajes y embragues.

Hechas públicas estas condiciones que acabamos de resumir, se exigió á los concursantes que acompañasen á la petición, planos completos y perfectamente acotados de todo el mecanismo, ya fuese por separado ó en conjunto, con una detallada Memoria y el precio del carruaje.

Tanto los planos como las Memorias se consideran confidenciales, hasta después del concurso, y si el Estado compra un camión-tractor la casa constructora está obligada á guardar el secreto, recibiendo en cambio los derechos de la patente.

El poseer los camiones-tractores ruedas de gran diámetro y superficie de rodadura, no obedece más que á la necesidad de darles estabilidad contra los baches y pequeñas ondulaciones del terreno.

El programa anterior retrata la tendencia inglesa en cuanto se refiere á automóviles militares de arrastre. Disponer de carruajes que remolquen *grandes pesos á pequeñas velocidades*, procurando eludir las dificultades del camino con amplias ruedas y chasis de pequeña superficie relativa á la carga.

El coronel Du Bocage ha seguido la iniciada tendencia de aplicar un camión-automóvil á la tracción. M. Scotte inició hace tiempo los primeros pasos de la cuestión con un tractor de vapor. Mrs. Turgan-Foy, efectuaron en 1901 el transporte de París á Niza en un camión de vapor remolcando cuatro carruajes.

La naturaleza del motor es discutida.

El ilustre coronel del cuerpo Sr. Marvá clasificó la naturaleza de los motores con arreglo á las condiciones que se exigían al carruaje (1).

El motor eléctrico, sencillo, silencioso, indicado para el interior de las poblaciones, por su poco radio de acción, es inútil militarmente por su gran peso.

Los de petróleo y derivados, excesivamente complicados, únicos para satisfacer la necesidad de las grandes velocidades, ideal *del amateur*.

Y el de vapor, motor muy pesado, pero en cambio útil á la industria por su fuerza, seguridad y robustez.

Indicó el coronel Marvá los inconvenientes que el vapor presenta en los automóviles militares. Exigen pesado combustible, repuestos de agua,

(1) Ateneo de Madrid. *Ciencias aplicadas á la guerra*.—Año 1901.

renovada con frecuencia, y producen humo y chispas, el primero denuncia la presencia del tractor por su visualidad y las chispas encierran peligros.

Las equivalencias son aproximadamente:

1 caballo-hora gasta 15 kilogramos de vapor.

15 kilogramos de vapor exigen para producirse 3 kilogramos de cok.

Un camión-tractor de 40 caballos exigirá por consiguiente:

600 kilogramos de agua (más de $\frac{1}{2}$ metro cúbico).

120 id. de cok.

De gasolina puede calcularse:

De 0,50 á 0,50 litros por caballo-hora,

ó sea un total de 60 litros como máximo.

Lo que ya indicó el citado jefe ha sido comprobado y experimentado en repetidas ocasiones, y como consecuencia existen camiones muy perfeccionados de gasolina que lleva en sí ventajas de ligereza, pequeño aprovisionamiento y ausencia de humo y de chispas á cambio de la sencillez y seguridad.

Dice un autor francés, defensor del automóvil de vapor, que es en sí *rústico* y conocidísimo. Confiesa, sin embargo, que tanto uno como otro exigen un *chauffeur* hábil y con ello rebate su argumento en contra del motor de petróleo.

Iniciada la corriente en favor del camión de petróleo, al proyectar el coronel Du Bocage su batería, eligió un tipo de camión-tractor con motor de gasolina. Examinando algunos modelos se acogió á los de la casa Eugenio Brillió.

Este constructor, de Nancy, había fabricado en los talleres de la casa un camión para transporte del mineral de unas minas de los Pirineos, el cual dió buenos resultados en unas pruebas, recorriendo, sin interrupciones de importancia y cargado con 5 toneladas, los trayectos de Nancy á Beauvais y de éste á París.

El primitivo proyecto fué de un camión-tractor de 12 caballos y de 4 toneladas para arrastrar cuatro piezas, formando un peso total de 8960 kilogramos, sin incluir 2 toneladas que debía llevar el tractor

de carga, y se aprovechó para las pruebas el modelo de la casa construido para transporte de mineral.

En vista de los buenos resultados, y conforme el Gobierno portugués con las ideas del Coronel Du Bocage, se estudiaron las siguientes baterías automóviles, de las que la última ha sido construída y ensayada.

Baterías que componen la defensa móvil de una plaza fuerte.

Batería de cuatro cañones de 10,5 centímetros.

- » de tres cañones de 12 »
- » de cuatro obuses de 12 »
- » de cuatro obuses de 15 »

adoptándose para todas el tractor Brillié.

Tractor Brillié.

La figura 8 indica la forma en que se hace la distribución en el camión-tractor.

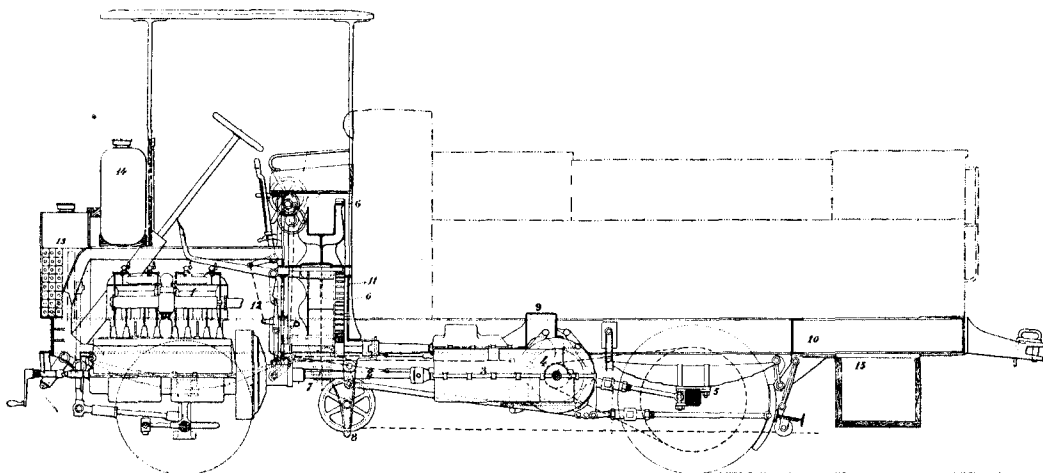


Fig. 8.

En su parte anterior se sitúa el pescante con todos los aparatos, viniendo á corresponderse casi verticalmente el motor colocado debajo; detrás se encuentra la plataforma destinada á la carga.

El conjunto descansa en dos grandes largueros en \square , de 23,5 centí-

metros de alma, más otros dos perpendiculares de igual sección, asegurando el conjunto un atirantado, de acero, como toda la armazón.

Dos viguetas Ξ , sujetas en la parte anterior, sostienen el cajón del motor, y la tapa sirve de suelo al maquinista.

El motor I transmite el movimiento al eje 2 por el intermedio del cono de embrague, maniobrado por el pedal correspondiente.

Este árbol 2 se prolonga hasta entrar dentro del cajón del mecanismo de velocidad 3 y transmite su movimiento al árbol 4 (el del diferencial), y éste á su vez al 5 , que es el eje motor del carruaje.

El puente 9 sostiene los cojinetes del eje diferencial y el cajón del mecanismo.

Como el cajón es solidario del puente 9 y éste del chasis, resulta que puente y cajón tienden á indeformabilizar el conjunto.

La parte más interesante del camión es el torno para el remolque.

Este se encuentra debajo del asiento; tiene su eje de giro en la dirección del carruaje y á la altura del 11 . En la derecha de la figura está la rueda dentada $6-6$, que mueve el tambor por el intermedio de un piñón, movido por un eje que está colocado encima del 2 . Debajo del asiento se ve el hueco en V , en el que se arrolla el cable. En la vertical se encuentra la línea de puntos que indica el cable y que sale por el pivote 7 , que describiremos luego.

El 13 es el depósito de gasolina; el 14 , el de agua; y el 15 , el de arena.

Indicada cuál es la distribución, examinemos, de sus diversas partes, aquéllas que ofrezcan novedad ó sean más esenciales.

MOTOR (fig. 9).—Es de cuatro tiempos. Tiene los cuatro cilindros de que consta acuñaos 180° dos á dos en el cigüeñal. Los 1 y 4 marchan juntos, 2 y 3 , invertidos con relación á los anteriores.

Cada motor P comprende dos válvulas: la A de admisión y la E de escape. C es el árbol de levas á media velocidad del eje motor, y á su vez las levas están opuestas en el diámetro mismo, ya que su misión es abrir las válvulas una vez por cada dos vueltas del árbol principal. Actuando la leva mayor sobre el rodillo de la barra E , vence la acción del resorte y se levanta toda la varilla y con ella el platillo superior, poniéndose en comunicación la parte de arriba del cilindro con el conducto de escape.

La leva análoga para la admisión actúa sobre otra varilla, ésta,

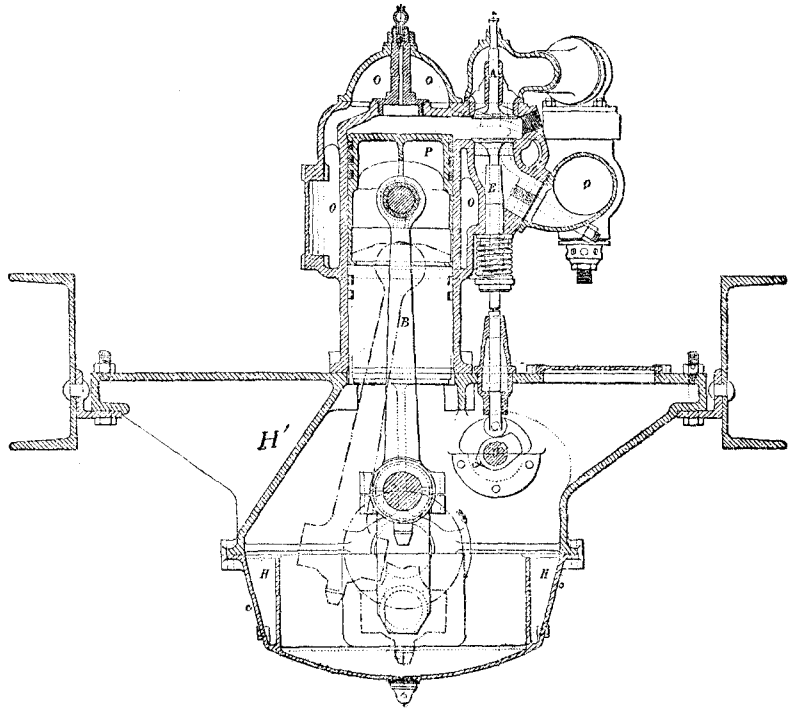


Fig. 9.—MOTOR.

mediante un codo, sobre la *A*, descendiendo su platillo y se permite la entrada de la mezcla que proviene del carburador.

H' es la envuelta común á las bielas de dos cilindros consecutivos acodados 180° ; el acoplamiento en cajas es de I y II y en otra caja el III y IV. Aquéllas tienen inferiormente tabiques *H*, que aíslan los codos á su vez dentro de cada cual; el engrase se distribuye al exterior y penetra por pequeños orificios, quedando así todos los codos motores igualmente engrasados, á pesar de las desnivelaciones de la marcha. Estos tabiques se quitan al separar el carter, de cuya tapa *cc* son solidarios.

La leva *C'* corresponde á la puesta en marcha, y está montada en el mismo árbol *C*, movido en el sentido de su longitud. El objeto de esa leva es disminuir el período de compresión cuando el movimiento del árbol principal se hace á mano, para la puesta en marcha, ahorrando trabajo al maquinista para practicar la maniobra, por encontrarse gran

esfuerzo en la compresión de la mezcla. Ya en marcha el motor, se corre el árbol horizontalmente hasta que coincida en su verdadera posición.

O es la envuelta para la refrigeración y el tubo que comunica con la salida de gases.

PIVOTE DEL TORNO (fig. 10).— El pivote es un tronco de cono recto *A*,

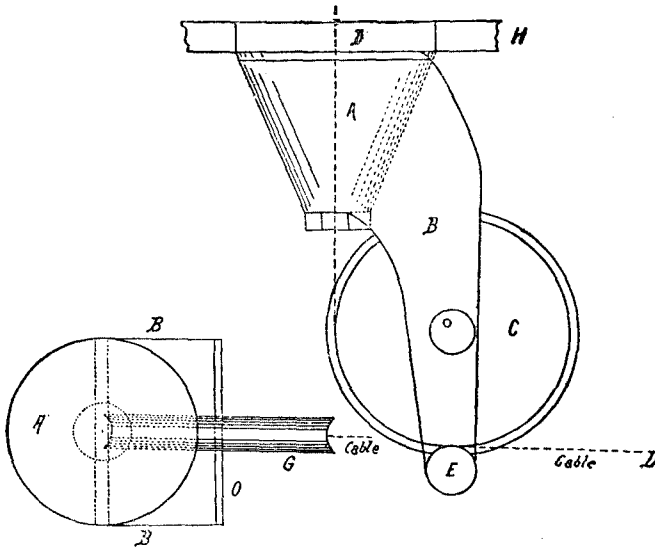


Fig. 10.—PIVOTE DEL TORNO.

con la base menor en la parte más próxima al suelo. Lateralmente tiene dos soportes *B* que terminan en un eje, sobre el cual se monta el rodillo *E*. A mitad de su altura pasa el eje *O*, sobre el cual va la polea *C* con su garganta correspondiente.

El pivote está hueco, y á través de él pasa el cable *D*, que cae tangencialmente á la polea para salir entre la garganta de *C* y el rodillo *E*. Se apoya el cono en la armadura del camión, y mediante el giro de 360°, en la plataforma *H*, el cable puede situarse y ejercer la tracción en uno ú otro sentido de la marcha, á uno y otro lado del carruaje.

La longitud del cable son 180 metros.

La sección circular tiene 16 milímetros de diámetro.

CAJÓN DEL MECANISMO DE VELOCIDAD (fig. 11).—Consta de tres ejes principales: Motor, cambios y torno. La rueda *a*, es siempre fija y montada sobre el árbol motor; la *b*, va sobre el eje de los cambios que actúa

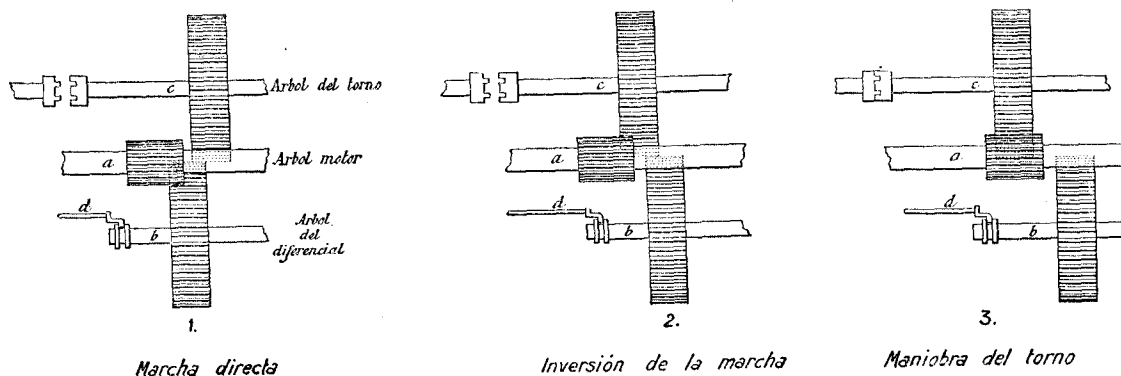


Fig. 11.— ESQUEMAS DEL CAJÓN DE MECANISMO DE VELOCIDAD.

ya directamente sobre el árbol del diferencial por medio de un engranaje cónico que va en la envuelta; puede tener tres posiciones, que corresponden á tres objetos distintos.

En 1 á la marcha directa y primera velocidad.

En 2 se interpone la rueda *c*, por medio de otra varilla análoga á la *d*, cuyo círculo exterior es tangente á la *b*. Mediante esa interposición, la rueda *b* gira en sentido inverso y corresponde á la marcha hacia atrás. Nótese que en los mecanismos ordinarios es preciso introducir un piñón para la inversión de la marcha, y aquí el constructor se vale de la rueda del árbol del torno para conseguir aquel efecto, y que además, el mecanismo del cambio empieza á desenvolverse desde el árbol motor.

Mediante el cerrojo *d*, la rueda *b* rebasa por completo la *a* y la *c*, y entonces, embragando las dos prolongaciones, se mueve el árbol del torno 3.

No están representadas en la figura, que es un esquema, más que las ruedas *a* y *b* de primera velocidad; existen otros tres pares, correspondientes á las otras tres velocidades.

CIGÜEÑAL (fig. 12).— Cuando se trata de un motor de cuatro cilindros, es indispensable reglarlo ó equilibrarlo, pues aunque teóricamente el trabajo total es suma de los cuatro trabajos, y debe ser independiente, sea cual sea, de la marcha de los cilindros, en la práctica no es así, porque si un cilindro tiene sus períodos motores unidos á los de otro, las vibraciones se suman y pueden perjudicar al ajuste del mecanismo total y á la

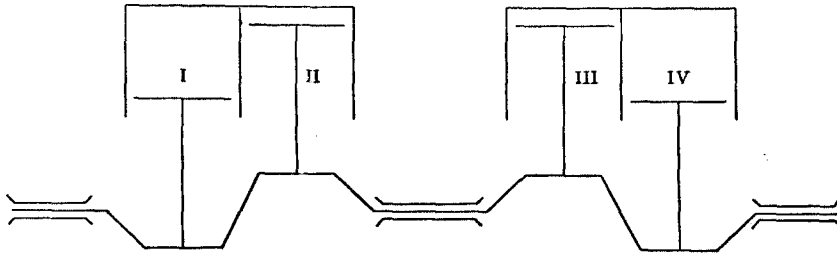


Fig. 12.— CIGÜEÑAL.

resistencia del árbol, á expensas de aumentar únicamente el ruido, tan molesto en los carruajes de petróleo.

Siendo cuatro cilindros, cuatro los períodos y de ellos uno sólo motor, conviene, para el equilibrio del carruaje, que cada 180° de revolución del árbol suceda una explosión, y para el trabajo á que somete aquél, constituirlo con cuatro codos, dos á dos en oposición.

Dispuestos de esta manera los tiempos de los cuatro cilindros, se distribuyen en la forma siguiente:

Grados de revolución en el árbol motor.	I	II	III	IV
180	T	<i>C</i>	<i>E</i>	<i>A</i>
360	<i>E</i>	T	<i>A</i>	<i>C</i>
180	<i>A</i>	<i>E</i>	<i>C</i>	T
360	<i>C</i>	<i>A</i>	T	<i>E</i>

T, Explosión. *E*, Escape. *A*, Admisión. *C*, Compresión.

EMBRAGUE.—Es del tipo de cono invertido (fig. 13); *V* es el volante solidario del árbol motor. *G* es el cono invertido de embrague, de delgado palastro que ya en sí actúa de resorte tendiendo á abrirse y apretar á la roldana de cuero *a*, á cuya acción favorece, por otra parte, el resorte *R*, que tiene un extremo en el volante y otro en el manguito en que termina el cono *G*.

Apretando el platillo *b'* corre todo el manguito, el resorte *R* se comprime y el motor se encuentra entonces desembragado. En la posición

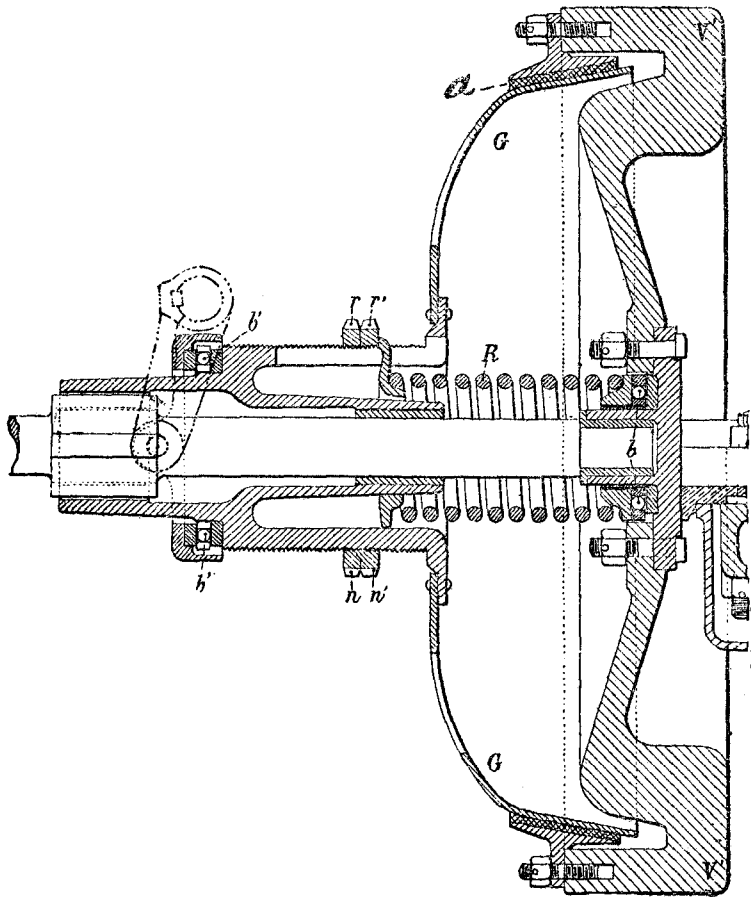


Fig. 13.—EMBRAGUE.

natural el resorte mantiene el embrague que puede regularse por las tuercas *r r'*.

OTROS ÓRGANOS.—El carburador encendido y columna de enfriamiento son análogos á los usuales en automóviles.

El carburador es una bomba, cuya velocidad está ligada con la del regulador; el tubo de salida atraviesa el colector del escape y con ello el combustible se calienta antes de su ingreso en el cilindro, disposición ventajosa. La aspiración de aire es constante en este sistema y se regula el trabajo por aumento ó disminución de gasolina; pero puede substi-

tuirse por los modelos de carburadores en los que la regulación se hace sobre la mezcla á su llegada al cilindro.

El encendido se hace eléctricamente. Todos los lectores conocen este mecanismo. Un acumulador sirve para mantener un circuito primario de un transformador, cuyo circuito secundario tiene el voltaje suficiente para hacer saltar la chispa en un momento dado entre dos puntas que entran en el cilindro, provocando la explosión, regulándose el momento de ésta con arreglo al trabajo que deba desarrollar el motor.

Como se trata de un carruaje de poca velocidad la corriente de agua de enfriamiento del cilindro necesita un ventilador que actúa cuando sale del radiador.

Las ruedas son de palastro; las directrices tienen 0^m,90 de diámetro y las motrices 1^m,05. Su anchura es, respectivamente, 200 milímetros y 320 milímetros. Se discute mucho actualmente la constitución de las ruedas. Las de cámara de aire no pueden utilizarse por el peso que tienen que soportar; en cambio con las ordinarias padece el mecanismo, dado el aumento de choques con el suelo.

Los frenos que posee el tractor-camión son de igual disposición que los ordinarios en automóviles; uno que actúa en el árbol diferencial accionado por el pedal izquierdo y enclavado con el desembrague, y otro de zapatas, que ejercen su acción sobre las ruedas motrices y que se maniobran por medio de una palanca colocada á la derecha del conductor.

En las pendientes se pisa siempre el pedal izquierdo, el del desembrague, y se gradúa el descenso con el freno del árbol diferencial; el último freno sólo debe maniobrarse cuando se quiera efectuar la detención completa.

MARCHA.— El tractor Brillié pesa en marcha 12 toneladas, repartidas en la forma siguiente:

Chassis	5.200	kilógramos.
Cajas	1.500	»
Útiles y aprovisionamiento.	300	»
64 municiones á 40 kg.	2.560	} 5.000 »
Armamento y personal.	2.440	
TOTAL.	<u>12.000</u>	<u>kilógramos.</u>

Las velocidades que obtiene, calculadas, se indican á continuación:

CAMIÓN SOLO, EN CARGA

Número de la velocidad.	Velocidad — Kms. por hora.	Relación entre sí.
1	1,860	1
2	4,185	2,25
3	7,254	3,90
4	11,160	6

CAMIÓN-TRACTOR EN CARGA

CARGA	PERFIL	VELOCIDAD en kilómetros por hora.	
		Camino seco y duro.	Camino húmedo y blando.
Carga. 5 ton.	Horizontal.	5,040	2,880
Remolca. . . . 14 »	Pendiente, 3 por 100.	2,232	1,650
$P = 7 \text{ ton.} + 5 + 14 = 26 \text{ ton.}$	» 5 »	1,650	1,440
	» 7 á 9 »	Torno.	Torno.

Consumo de gasolina, supuesta la carga completa.

Litros por kilómetro.	2	} Radio de acción 90 km. (1)
Número de litros del aprovi-		
sionamiento.	180	

Las experiencias portuguesas las han resumido Mrs. Curey y Ferrus, en la forma siguiente:

«Sobre una carretera plana y entretenida, una batería automóvil puede sacar de 6 kilómetros de velocidad á 7 por término medio».

«Cuando las pendientes son del 5 por 100 la velocidad ha disminuído á 3 kilómetros» (2).

(1) Puede suponerse mucho mayor desde el momento en que lleve gasolina de repuesto, lo que se consigue con mucha facilidad y sin peligro.

(2) Este aumento de velocidad, relativo á la que se deduce de las fórmulas, no puede provenir mas que del buen estado del firme en que se hizo la experiencia.

«Sirve para carreteras en mal estado, húmedas y llenas de barro, pero en este caso, así como en el de pendientes del 8 al 12 por 100 es preciso recurrir al cable, subiendo el camión-tractor preliminarmente y acuñándolo».

En pendientes del 7 por 100 puede remolcar las 14 toneladas que componen el tren con una velocidad próxima á 3 kilómetros por hora.

Si á estas consideraciones unimos el que el camión-tractor en esas últimas condiciones puede remolcarse así mismo, dando un anclaje fijo al cable en su extremo superior, comprenderemos que la tracción mecánica de los obuses de 15 centímetros debe ser preferida.

Para baterías automóviles en la defensa de plazas no debe haber duda alguna en su aplicación.

Para baterías de un regimiento de artillería pesada, es asunto digno de algún estudio, y á ello debe encaminarse la experiencia.

Las velocidades que para las diferentes marchas del camión-tractor Eugenio Brillié hemos especificado, las hemos deducido de la siguiente fórmula de Mallant, relativa á la potencia necesaria de un motor para efectuar el arrastre del carruaje á que se aplica:

$$E = \frac{P \cdot V}{10} (k \pm 3 b);$$

en la cual,

E = caballos efectivos, ó sean 0,75 de los indicados.

P = peso que se trata de remolcar expresado en toneladas.

V = velocidad en metros por segundo.

b = pendiente máxima, centímetro por metro.

k = coeficiente variable que depende del estado de la carretera: oscila entre los valores 7 ó 13, adoptándose el primero para caminos bien conservados.

Tratándose de el tractor de 35 caballos, el valor de E será 26,25 y para P se debe tomar el valor del peso total que es preciso arrastrar.

Antes de finalizar este estudio, conviene sentar la idea de que el tren de obuses remolcado por el Brillié no obedece en su constitución á las ideas que han presidido en la del tren del coronel Mr. Ch. Renard, ni es parecido á éste, al cual caracteriza el cumplir dos condiciones derivadas de otras dos combinaciones cinemáticas.

Primera: Transmisión continua de fuerza ó de propulsión, lograda por medio de un árbol que corre á lo largo del tren. Y segunda: vuelta perfecta por el enganche de dirección, que no es otra cosa que unir el extremo de cada coche, por medio de una biela, al eje delantero del coche siguiente, el cual tiene, como todos los automóviles, ruedas articuladas en codos extremos.

Estas condiciones corresponden á ideas teóricas de indiscutible acierto. Se sabe que la locomotora, por ejemplo, dispone en sí del peso adherente necesario para la tracción total del tren, sin cuyo peso las ruedas patinarían sobre los carriles. Puede comprenderse que en vez de aplicar toda la potencia á las ruedas motoras podía hacerlo á un árbol y éste, por medio de correas, transmitir el movimiento á cada coche, los cuales desde ese momento entran de lleno en la naturaleza de carruajes automotores, y su peso propio es peso adherente, útil para la marcha.

En esta cuestión estriba la desventaja y mayor inconveniente de los tractores y camiones propiamente dichos.

El tractor, ó arrastra mucho peso ó arrastra poco. Si es lo primero, requiere un peso propio ó muerto muy grande, y no encontrará firmes capaces de sostenerle, perjudicándose notablemente las carreteras por donde circule; si arrastra poco, el tractor será ligero, pero entonces la carga útil se reduce hasta hacerse insignificante.

Establecidas las premisas en esta forma, parece á simple vista un retroceso la idea del tren Brillié. No es tal. En primer término, los resultados que dé en la práctica el tren Renard son dudosos todavía, y por otra parte el tren Brillié se destina á baterías móviles en plazas fuertes, para circular solas por caminos especiales y militares, cuya existencia suple á los ferrocarriles. La fabricación del camión es muy esmerada, simplificada y moderna, estando, por consiguiente, reducidos al mínimo los pesos muertos, pudiendo en cambio transportarse mucha cantidad de municiones y herramientas, aparte de bastante personal.

La segunda é interesantísima cuestión de las vueltas y viradas nace de considerar el tren en marcha, y requerirse que en una vuelta todos los coches pasen por la misma pista: suplir, en una palabra, los carriles por medio del enganche de dirección.

Respecto á las viradas del tren Brillié puesto en camino, remolcando

ó bien cuatro piezas, ó bien cuatro carros, dicen Mrs. Ferrus y Curey en su Memoria que no pudieron construirse atalajes especiales por las circunstancias determinadas de forma que concurren en las piezas, y no precisa más que alguna práctica en el *chauffeur* para tomar las curvas 1 metro por fuera de la circunferencia interior. Por otra parte, tampoco se vé la necesidad de los atalajes de dirección para el tren Brillié, pues además de las razones aducidas referentes al perfil del camino, la moderada velocidad del tren le pone al abrigo de cualquier entorpecimiento.

IV.

Cálculos balísticos.

Al investigar los medios de prevenirse en la fortificación de campaña contra el efecto del tiro de los obuses, se hace preciso estudiar su trayectoria en primer término, y de ahí deducir cuál es la velocidad remanente máxima, y cuál el mayor ángulo de caída, condiciones que se reúnen en el tiro curvo; á 45° tiene la pieza su máximo alcance, y si aumenta el ángulo crece el de caída, pero disminuye la distancia.

Para deducir los datos precisos, hay que seguir el método especial de Siacci, pues el procedimiento general sólo es exacto para $\varphi < 20^\circ$, y el método de Otto sólo es aplicable para $V < 300$. Se trata, en el presente caso, de una pieza que puede disparar con $\varphi = 45^\circ$ y $V = 350$ y por tanto, no son aplicables uno y otro y precisa acudir al de la división de la trayectoria en arcos y tener en cuenta el factor β en el denominador del coeficiente balístico.

Indicaremos la manera de establecer los cálculos, aplicados á este ejemplo, á fin de facilitar la resolución de problemas semejantes.

Tratándose de obtener una solución aproximada, supondremos dividida la trayectoria en varios arcos:

1.º Desde la salida de la boca de la pieza hasta tomar sobre la horizontal el ángulo 15°.

2.º Desde el último punto hasta el vértice.

3.º Hasta volver á tomar la inclinación 15° (1).

Por tanteos, y con relación á la ordenada máxima ó flecha, deducir límites para el ángulo de caída y igualmente para el alcance.

Estudio del primer arco:

$$J(u_m) = J(V_{m-1}) + \frac{2 \cos^2 \theta_{m-1}}{C_{m-1}} (\text{tag } \theta_{m-1} - \text{tag } \theta_m).$$

(1) Dentro de cada división, para mayor exactitud, hay que establecer subdivisiones de 5 en 5 grados ó de 3 en 3 (OLLERO: *Balística exterior*). La marcha es igual á la que se indica.

En esta fórmula entran $J(u_m)$, $J(V_{m-1})$, y que son funciones que determinan las tablas de Siacci, y

C_{m-1} = coeficiente balístico en el punto de partida.

θ_{m-1} = ángulo de proyección.

θ_m = ángulo en que termina el arco.

$$V_{m-1} = 350 \text{ metros.}$$

$$\theta_{m-1} = 45^\circ \left\{ \begin{array}{l} \text{tag } \theta_{m-1} = 1. \\ 2 \cos^2 \theta_{m-1} = 1. \end{array} \right.$$

$$\theta_m = 15^\circ \quad \text{tag } \theta_m = 0,26.$$

$$C_{m-1} = \frac{p}{\beta_{m-1} \delta_{m-1} n R^2}$$

$$p = 40 \text{ kilogramos.}$$

$$\delta_{m-1} = 1.$$

$$\beta_{m-1} = \sec \theta_{m-1} = \sqrt{2} = 1,41.$$

$$n = 1000.$$

$$R = 0,0075.$$

$$C_{m-1} = 10,26 \gg \frac{1}{10,26} = 0,097.$$

A 350 corresponde un valor para $D(350)$ (1), y á éste otro $J(350) = 0,0552$.

$$J(u_m) = 0,0552 + 0,097(1 - 0,26) = 0,1269,$$

á $J(u_m) = 0,1269$ corresponde $D(u_m) = 1167$ y á éste $u_m = 266$.

El valor de la abscisa es

$$\left. \begin{array}{l} x_m = x_{m-1} + \Delta x_m \\ x_{m-1} = 0 \text{ (por ser el punto de partida)} \end{array} \right\} x_m = \Delta x_m$$

$$\Delta x_m = C_{m-1} [D(u_m) - D(V_{m-1})].$$

$$\Delta x_m = C_{m-1} [D(266) - D(350)] = 10,26 [1169,41 - 783,04] = 3964 \text{ m.}$$

La ordenada en ese punto es

$$\left. \begin{array}{l} y_m = y_{m-1} + \Delta y_m \\ y_{m-1} = 0 \end{array} \right\} y_m = \Delta y_m.$$

(1) LA LLAVE: *Balística abreviada: Tablas C y E.*

$$\Delta y_m = \Delta x_m \operatorname{tag} \theta_{m-1} - \frac{C_{m-1}^2}{2 \cos^2 \theta_{m-1}} [A(u_m) - A(V_{m-1}) - J(V_{m-1}) [D(u_m) - D(V_{m-1})]].$$

$$\left. \begin{array}{l} \Delta x_m = 3964 \\ \operatorname{tag} \theta_{m-1} = 1 \\ C_{m-1}^2 = 105,26 \\ A(u_m) = 53182 \\ A(V_{m-1}) = 19,577 \\ J(V_{m-1}) = 0,551 \\ D(u_m) - D(V_{m-1}) = 213 \end{array} \right\} \Delta y_m = \left\{ \begin{array}{l} 3964 \\ -1294 \end{array} \right\} = 2670.$$

La velocidad remanente se calcula por la fórmula

$$\left. \begin{array}{l} V_m = \frac{u_m \cos \theta_{m-1}}{\cos \theta_m} \\ \cos \theta_{m-1} = 45^\circ = \frac{1}{\sqrt{2}} = \frac{1}{1,41} \\ \cos \theta_m = \cos 15^\circ = 0,96 \\ u_m = 266 \end{array} \right\} V_m = 161 \text{ metros.}$$

Para el valor $\theta = 0$ desde el $\theta = 15$, en alcance, resultan 652 metros más, y para ordenada 401,52, y por consiguiente,

$$\frac{X}{2} = 3964 + 625 = 4589 \quad (1).$$

$$Y = 2670 + 401,72 = 3071,72.$$

$$V_r = 146,80.$$

A partir del último arco de la trayectoria hay que tantear el valor del ángulo de caída con arreglo al valor suma de los que se obtengan para Y .

Valor $\theta = 45$, y resulta menor que la ordenada máxima, y para $\theta = 50$ resulta mayor. Como lo que nos interesa buscar es la penetración sobre macizos de tierra, y ésta es función directa del ángulo de caída en cuanto á incidencia, y de la velocidad remanente en cuanto

(1) Si no hubiese resistencia en el aire.

á esfuerzo, aceptaremos el valor de $\theta = 50^\circ$ por ser máximos para él, ω (por hipótesis) y V_r propiedad característica del tiro de obús ó mortero.

Las condiciones en las cuales se verifica el choque máximo son

$$\varphi = 45^\circ (1) \left\{ \begin{array}{l} \omega = 50^\circ \\ V_r = 276 \times 1'' \\ C = 7,14 (2) \end{array} \right.$$

siendo X igual, aproximadamente, á 7472 metros.

El coronel Du Bocage admite que el efecto de estas baterías es casi igual al de las antiguas de obuses de plaza y sitio.

A fin de comprobarlo, examinemos las circunstancias que concurren en el tiro del obús de acero Schneider y las piezas antiguas que tiene nuestro reglamento, tomando como tipo el tiro con ángulo máximo para el máximo alcance.

COMPARACIÓN del obús de acero de 15 centímetros y las piezas de bronce reglamentarias para sitio.

$$\varphi = 45^\circ$$

PIEZAS	Peso de la pieza kg.	Peso del proyectil. kg.	Alcance. m.	Velocidades		Angulo de caída.	Energía.	
				Inicial m. \times 1''	Remanente m. \times 1''		En la boca. tm.	En el blanco. tm.
O. B. C. 15 cm, Md. 1891 . . .	1190	35	6000	218	204	45°	171	72
O. B. 21 cm, mo- delo 1885. . . .	3010	78,70	6820	315	225	53°	396	202
O. A. S. 15 cm, Md. 1904. . . .	1335	40	7472	350	276	45°	244	152

Del cuadro adjunto se desprende: superioridad absoluta del obús de

(1) Es el máximo que permite el montaje.

(2) C también es mayor para $\theta = 50$ que para $\theta = 45^\circ$.

En efecto,

$$C = \frac{p \cdot \beta_m \delta_m}{\pi R^2} \left\{ \begin{array}{l} \\ \\ \end{array} \right. \left. \begin{array}{l} \\ \\ C_{50^\circ} > C_{45^\circ} \end{array} \right.$$

$$\beta_m = \sec \theta_m$$

$$\sec 50^\circ > \sec 45^\circ$$

acero sobre su análogo en calibre, de bronce, como no podía menos de suceder; aunque la pieza en sí es más pesada, no sucede lo propio durante la marcha, por llevar el obús de acero cureña de las modernas, no sólo más ligeras, sino también porque evitan la explanada, teniendo en cuenta la perfección de los frenos. El efecto balístico es más del doble.

Comparado el obús de 15 centímetros de acero con el de bronce, también resulta superior, pues aparte de mayor movilidad y alcance, el menor efecto que pueda producirse por disminución de fuerza viva queda compensado con la buena organización del proyectil de acero del obús de 15 centímetros, que encierra 12 kilogramos de carga violenta, superior en peso á la que lleva el proyectil del obús de 21 centímetros.

No queda duda de que la moderna artillería de posición equivale, ó es superior, á la antigua de plaza: á la antigua, entiéndase bien, pues hoy se proyectan y construyen en España obuses de acero, capaces de batir acorazados en sus puentes, de 12 y hasta 15 centímetros, y de cuyas piezas huelga pensar qué efecto harían sobre las obras semipermanentes.

Antes de terminar haremos dos observaciones: 1.^a No se ha citado nada respecto á rapidez de tiro del obús pesado; es innecesario, según nuestra modesta opinión. Se dice que el cañón de 7,5 centímetros debe practicar el tiro rápido en casos excepcionales, y sólo cuando tenga formada la horquilla; bate blancos en movimiento. El obús pesado bate obras, las cuales no requieren doce disparos por minuto para su ruina. 2.^a El valor máximo de $Y = 3000$ parece excesivo; pero debe tenerse en cuenta que el obús de H. S. de 21 centímetros del modelo español, anterior al citado, con igual proyectil de 95 kilogramos para

$$\varphi = 45^\circ \text{ y } V_i = 204 \times 1'' \left\{ \begin{array}{l} X = 4420. \\ Y = 1497. \end{array} \right.$$

En el caso presente existe parecida relación.

Penetraciones.

Las granadas-minas tienen ó actúan con doble efecto sobre el blanco. Primero efectúan la penetración, y después, gracias á la espoleta retardada, se produce la explosión interior.

Tratándose de mamposterías, el efecto de mina es grande; pero casi

despreciable cuando la explosión se verifica dentro de tierras, puesto que unos embudos neutralizan otros, y siempre la tropa que ocupa las obras puede rehabilitarlas inmediatamente.

Cuando puede temerse por la solidez de la obra es cuando la penetración llegue hasta la parte que le sirva de base, por ser posible en este caso su total destrucción. En cuantas obras se construyan y hayan de estar sujetas al ataque de fuertes explosivos, es indispensable detener el proyectil entre tierras y neutralizar así los efectos explosivos de las pólvoras rompedoras.

Calculemos cuál puede ser la penetración de las granadas-minas más pesadas que arroja el obús de 15 centímetros, llamado de campaña:

$$s = C \gamma \log (1 + \varepsilon V_1^2),$$

en la que:

C = coeficiente balístico.

γ y ε = coeficientes que dependen del medio.

V_1^2 = cuadrado de velocidad remanente.

En el tiro del obús, la velocidad remanente crece con el alcance, lo contrario que en el cañón y lo mismo que en el mortero, por ser aditiva la acción de la gravedad. Además, la trayectoria crece cada vez en curvatura, y á mayor alcance se aproxima más á la normal, y por tanto, el choque está en mejores condiciones destructoras.

Para el obús de 15 centímetros Schneider, 1904, proyectil de 40 kilogramos,

$$V_1^2 = 76176.$$

$$C = 7,14.$$

$$\begin{array}{l} \text{Tierras ordinarias [I]} \\ \text{Arena y piedra [II]} \end{array} \left\{ \begin{array}{l} \gamma = 0,8. \\ \varepsilon = 0,00008. \\ \gamma = 0,429. \\ \varepsilon = 0,00006. \end{array} \right.$$

En el caso [I] resultan 4^m,855 de penetración.

En el [II], 2^m,142.

La naturaleza del parapeto queda así bien definida para resistir al choque de estos proyectiles.

γ , comparado su valor en arena y grava, resulta menor en terrenos ordinarios de roca, igual, próximamente, en mampostería de piedra, y mayor en la de ladrillo. El valor de γ en maderas es siempre superior á 0,89, y por tal motivo, no pueden colocarse más que de apoyo, debilitando siempre el punto de la fortificación en que estén emplazadas y necesitando refuerzos. Los valores de ϵ son menores que los citados para el caso de tierra y arena, que en los de madera y mamposterías.

V.

Influencia de los obuses en la fortificación de campaña.

Perfiles defensivos.—Almohadillados duros.—Modelo que se propone.—Baterías.

Punto esencial de nuestro trabajo es el presente. Tarea por otra parte difícil, pues se carece de experiencias que determinen de un modo claro y terminante el efecto de las granadas-minas que lanzan los pesados obuses de campaña sobre las obras corrientes en ella. Todo combate consta de tres partes. Primera, el duelo de artillerías, á fin de preponderar en fuegos y auxiliar á la infantería en el despliegue, que, al combinarlo las tres armas, constituye la segunda fase, preparatoria de la última, del asalto.

El moderno armamento ha introducido cambios, pero las fases siguen siendo las mismas. Al tomar una posición defensiva, el que la posee no se conforma, para robustecerla, con simples obras de campo de batalla. Aplica á ellas atrincheramientos de posición y establece pesadas piezas, que obligan al atacante á guarecerse en obras análogas en el intervalo que dura el combate del cañón. La infantería, por ejemplo, no puede permanecer al aire libre resguardada en una ondulación del terreno, pues si es descubierta por el globo, el tiro directo del cañón con shrapnel ó el del obús con igual proyectil la obligará á dispersarse; lo mismo ocurre con los parques de combate, y todo esto basta para comprender cuanto hay por estudiar y conocer en el arte de la fortificación.

Las consideraciones sobre este tema quedan divididas en dos partes bien puntualizadas:

I. El abrigo blindado para tropas, necesario en el primer período de una batalla.

II. Baterías.

Abrigos blindados.

Para exponer, ó por lo menos indicar, qué modificaciones se han de introducir en la fortificación de campaña por el empleo de los obuses, es preciso referirse á los trabajos y perfiles que propone el Mayor belga V. Deguise en su notable obra *La fortification passagère et la fortification mixte*.

Se clasifican los abrigos blindados, necesarios en el día, en tres clases, correspondientes á otros tantos casos que se presentan en la práctica:

I. El abrigo debe resistir al tiro de shrapnel y cascos de granada, lanzados ambos proyectiles por el cañón de campaña de 7,5 centímetros.

II. Constituir el blindaje para oponerse al choque de granada-mina despedida por cañones de campaña y prestar abrigo contra el shrapnel de obuses y morteros de campaña.

III. Blindajes á prueba por completo contra toda clase de proyectiles que lance la artillería pesada de campaña.

El caso I es el caso general que se emplea hasta la fecha, resuelto por el método de desenfilada al $\frac{1}{6}$ ó $\frac{1}{5}$ (1); facilitan estas obras de campaña la escasa fuerza de penetración de los balines del shrapnel, que son detenidos con poco espesor de tierras ó de maderas.

Además pueden enterrarse, y de este modo resguardarse de las vistas, aún de las del globo, que es su mayor enemigo; pero caso de ser descubiertos, no pueden subsistir ante el ataque de la granada ordinaria empleada para el desmonte.

Los blindajes que señala el caso núm. II son los del tipo medio, y corresponden á una clase de tiro que se emplea raras veces en campaña.

El cañón de 7,5 dispara shrapnel siempre, por admitirse como proyectil característico.

Estas obras, sin embargo, ofrecen considerables dificultades con relación á las comprendidas en el caso I, puesto que hay necesidad de aumentar espesores de la masa cubridora ya que ha de sufrir efectos de

(1) Los ángulos de caída de 10° son los más crecidos á que suele llegar el cañón; si se une con los 8° de abertura del semicono de dispersión, resultan

$$18^\circ = \frac{1}{5} \times 90^\circ.$$

mina, y también se aumentan las dificultades de la desenfilada por la gran abertura del cono del shrapnel lanzado por el obús y por el mayor ángulo de caída de aquél.

El caso del blindaje III es el más interesante y el que entra de lleno en el fondo de nuestro trabajo.

El citado ingeniero militar considera este tercer caso dividido en dos:

1.º Blindaje sin masa protectora.

2.º Blindaje recubierto.

El primero no presenta abrigo de ninguna especie.

Si cae un proyectil en su cubierta, no sólo se destruirá el material en el punto de contacto, sino que se romperá el enlace y ligazón del todo, y las tropas resguardadas quizás no sufran los efectos de los cascos, pero pueden ser aplastadas en cambio por la ruina.

En el segundo caso la capa protectora tiene que ser del espesor suficiente para detener el proyectil antes de la llegada al soporte, puesto que si llega, ocurrirá lo mismo que en el caso precedente, agravado con el peso de las tierras.

Si el espesor es de 5 ó 6 metros resultan dos gravísimos defectos para el blindaje: su visualidad exterior irremediable y el enorme trabajo que supone ejecutarlo, sin que por otra parte el enemigo deba enterarse de su existencia.

Para disminuir espesores propone V. Deguise valerse de un medio que adelante ó provoque la explosión á la entrada de la granada-mina antes de que pueda realizarse en el apoyo del conjunto.

Este almohadillado duro (*matelas dur*) debe componerse, á juicio del notable ingeniero belga, tratándose de resistir al tiro del obús de 10,5 ó 12 (1), de varias capas dispuestas en el orden siguiente:

1.ª	Tres filas de carriles Vignole	0,40 metros.
2.ª	Faginas ordinarias.	0,25 »
3.ª	Tierra apisonada.. . . .	0,25 »
4.ª	Una fila de carriles.	0,13 »
5.ª	Piedra partida	0,50 »
6.ª	Tierra apisonada.. . . .	0,50 »
		2,03 metros.

(1) Granada de 16 kilogramos. Carga explosiva de 5 kilogramos al máximun.

Dos metros de masa protectora dispuesta en esta forma aseguran más el cielo del blindaje que los 5 ó 6 de tierra. Le corresponde un peso total por metro cuadrado de 4390 kilogramos.

Examinando los datos que encabezan este capítulo, vemos que los 5 metros de masa protectora de tierra que propuso en principio el Mayor V. Deguise no son exagerados, pues de los cálculos se desprende que la granada de 16 kilogramos lanzada por el obús ligero de 10,5 atraviesa un espesor de 4,278 metros.

En cuanto al almohadillado nos parece difícil de ejecutar por componerse de materiales diversos y precisar su abundancia, teniendo presente, además, que no es sólo el techo el que así debe organizarse, sino también las paredes laterales.

Indicamos una solución que nos parece puede substituir á los almohadillados propuestos por el Mayor Deguise (fig. 14).

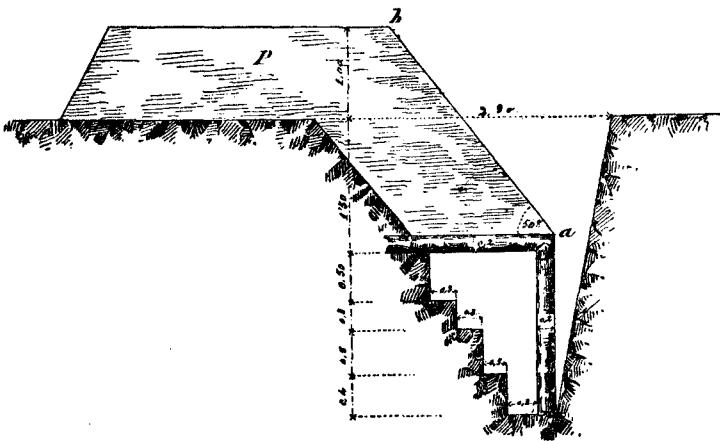


Fig. 14.

Practicada la trinchera con los escalones y siguiendo la forma del terreno que indica la figura, se colocan los pies derechos de 0,2 de diámetro, distanciados de metro en metro; sobre ellos va una carrera que sirve de apoyo á los durmientes, que sostienen el abrigo de arena y piedra. Las piezas tienen igual escuadría.

El parapeto, ó mejor dicho el macizo *P*, está constituido por partes iguales de arena y piedra á $\frac{1}{2}$, apisonado el conjunto. Tiene el talud 50°,

máximo del ángulo de caída (con el máximo de velocidad y alcance), y la longitud de la línea que debe seguir el proyectil es de 3^m,20.

En esas circunstancias, debe provocarse la explosión antes de la llegada del proyectil al apoyo de madera. Decimos esto porque la penetración es sólo de 2,142 (tratándose de la granada de 40 kilogramos que arroja el obús Schneider de 15 centímetros, sobre parapetos especiales), y la cantidad de piedra contenida en el macizo equivale á una capa de 1,60, capaz de adelantar la explosión, por mucho que se retarde la espoleta.

A la izquierda del parapeto y con relación á la vertical del último peldaño no existe todo el espesor de tierra y piedra; pero, en cambio, posee gran parte de tierra sin remover y en todo caso puede aumentarse la trinchera y construirla de nuevo en esa forma.

Este perfil tiene las dimensiones necesarias para guarecer dos filas de hombres y están con arreglo á lo que determina el Mayor belga.

Hemos procurado que el relieve exterior sea muy pequeño; como puede verse es de 1 metro; aunque $\varphi = 54^\circ$ (rozamiento de tierra fuerte y grava) conviene revestir el talud *a b*.

Cubica la trinchera 6,83 metros; y las piezas todas, tienen exceso de resistencia. En cuanto á los arranques nos parece más acertada la idea de que sean enterrados, debiendo practicarse la salida por la contraescarpa.

Es perfil defensivo únicamente porque no puede ser otro, dados los elementos con los cuales se ataca estas obras.

* * *

Cuanto queda dicho, basta para comprender la evolución que produce en los antiguos sistemas defensivos la aparición del obús de campaña.

Lo expuesto sirve para el caso en que estas obras sean atacadas por el obús ligero de 10,5 ó el de 12 y por el de 15 centímetros.

Respecto á la acción destructora que pueda obtener el obús de 15 centímetros con granada explosiva de 40 kilogramos y carga de 12 kilogramos de ácido picrico, dice Mr. Deguise que no se pueden dar reglas, por carecerse de hechos en qué fundamentarlas.

Supuesta la granada dentro del parapeto, actúa como un verdadero

hornillo, ó es de suponer que actúe. Ya se sabe, en efecto, que los explosivos violentos obran en todos sentidos; es decir, que son independientes del ataque y puede prescindirse de él; por esa razón decimos que la carga de 12 kilogramos de la granada viene á hacer el efecto de mina. La línea de mínima resistencia debe estar comprendida fuera de la solera del blindaje.

Según la fórmula de Belidor,

$$C = g h^3$$

para $g = 1,75$ y $C = 12$ kilogramos, $h = 1^m,89$.

A los 2^m,142 de penetración debe sumárseles los 1,89 de la línea de mínima resistencia; pero no lo estimamos necesario y creemos que este blindaje daría buenos resultados, á pesar de faltarle algo más de 50 centímetros, por tres razones:

- 1.^a Se ha supuesto un ángulo de 50°, mayor que el efectivo.
- 2.^a La penetración citada es considerando la mayor velocidad remanente que concurre en el punto de caída de mayor alcance, propiedad del tiro de obús y mortero.
- 3.^a Aun en el caso de admitirse como posibles las dos premisas anteriores, queda la naturaleza del parapeto todavía para oponerse á la penetración calculada y provocar la explosión del proyectil antes de que profundice.

Desde luego conviene advertir que se necesita la experiencia para precisar estas cuestiones, pues teóricamente, sólo se llega á proponer perfiles de verdaderas obras permanentes, reñidos con esa facilidad y premura de construcción que aconseja la fortificación de campaña para todos los casos.

Baterías.

A medida que el tiro de una pieza exige ángulos de elevación grandes y efectúa su ataque á grandes distancias, se favorece de un modo considerable las obras destinadas á los emplazamientos, puesto que se permite desenfilarlas de las vistas por completo y casi de los fuegos.

El reglamento austriaco prescribe reglas para la construcción de estas obras, y refiriéndose á las de obuses determina varias condiciones.

Tratándose del parapeto, no debe temerse el tiro de desmonte; bastará resista al choque de los cascos y ofrezca obstáculo contra los balines del shrapnel y del fusil.

Con objeto de desenfilarse de los fuegos, el reglamento aconseja aprovechar:

Pendientes de colinas, tanto más favorables cuanto mayor sea su pendiente.

Muros de cerca de más de 3 metros.

Trincheras profundas de las líneas férreas.

Grupos de casas.

Se considera como posición tipo para una batería de obuses de campaña aquella que esté situada en el interior de un bosque ó rodeada de un extenso arbolado, por ser ese el único medio de impedir la observación del globo.

La duración de los trabajos debe ser proporcional al tiempo de que se disponga; pero la tropa es preciso sea ejercitada en la construcción durante una noche, á fin de comenzar el fuego al amanecer.

Aconseja también el reglamento rapidez máxima en ciertos casos, llegándose alguna vez á trazar sólo las explanadas de las piezas, blindajes para el municionamiento y los abrigos indispensables para el personal.

El tipo de batería está, á nuestro entender, definido y exclusivamente debe buscarse en todos los casos la batería enterrada en absoluto, y abrir cañoneras cuando se pueda limitar los ángulos de proyección.

La figura 15 indica el perfil longitudinal, en el centro de una caño-

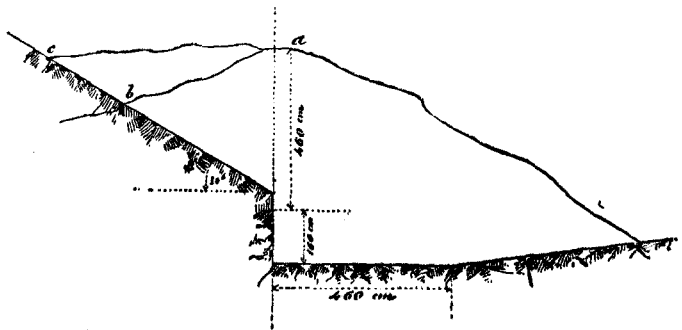


Fig. 15.

nera, reducido á sus líneas esenciales de un pozo enterrado para obús de 15 centímetros Schneider-Canet, Md. 1904.

Consta de una explanada, que mide en cuadro 200×460 centímetros, siendo esta última la distancia que existe entre el aparato de enganche anterior y la extremidad de la contera.

El eje de muñones dista del suelo 160.

Hemos determinado la profundidad del pozo desenfilando la pieza para un ángulo de caída de 45° . A los 160 centímetros se considera trazada una horizontal, en ella se toman 460 y se levanta una perpendicular, tomando sobre ella otros 460, y á esa cota ($460 + 160 = 620$) se encuentra la cresta superior; pues uniendo los dos puntos que señalan los 460 resulta un triángulo rectángulo isósceles, cuyos ángulos son de 45° ; la trayectoria que pase por la cresta no tocará á la pieza ni siquiera en la contera.

No es de temer el tiro del shrapnel, pues suponemos que la batería de contraataque disparará también con obús de 15 centímetros, en cuya pieza, dijimos antes, es excepcional ese proyectil.

La rampa de 20 por 100 la consideramos máxima y en ella caerán los proyectiles que pasen por la cresta. Si la espoleta es de percusión, con seguridad se dañarán pieza y sirvientes, y esto debe suceder aunque elevemos más el parapeto y caiga más atrás, por tratarse de efectos muy violentos. Aparte, tenemos que contar el haber supuesto el máximo ángulo de caída y el haber llegado á un grado perfecto de precisión de tiro en la batería enemiga, circunstancias que difícilmente concurren.

Puede ser atacada la batería con cañones y con obuses ligeros: los primeros no ofrecen influencia, dada la profundidad de la excavación; y en cuanto á los segundos dañarán á los sirvientes, pero no es posible perjudiquen á la pieza.

Es difícil dar conclusiones sobre el particular, que *sólo las experiencias pueden dictar cuando sean repetidas*. Puede, desde luego, aumentarse la excavación y con ello asegurar algo más la resistencia; pero aparte de contar siempre con el terreno como el mejor auxiliar, los trabajos no se deben prolongar mucho, tanto más, cuanto la cañonera quita aún más seguridad, y aquélla es precisa si ha de tirar el obús con ángulos variables.

La fórmula por la cual determinamos la altura á que debe situarse la cresta interior del plano de fuego de la cañonera es la siguiente:

$$H = h + a \operatorname{tag} \varphi - d \quad (1).$$

en la que

H = Altura de rodillera que se busca.

h = Altura del eje de muñones sobre el plano horizontal.

a = Distancia del eje al talud interior.

φ = Angulo mínimo de proyección.

d = Semidiámetro de la pieza.

$$H = 1,60 + 0,75 \times 0,57 - 0,075 = 1,975,$$

haciendo

$$\varphi = 30^\circ \text{ y } \operatorname{tag} 30^\circ = 0,57.$$

El obús de 15 centímetros Schneider puede entrar en batería sin explanada; pero esto depende, como es consiguiente, del terreno, y convenirá instalarla siempre, ya que puede hacerse, porque tratamos de obras y piezas de posición.

Por último, dada la difícil exploración que con el tiro del obús se practica, debe aconsejarse, más que en ningún caso, al defensor engañar al atacante imitando obras, delante de las cuales perderá éste trabajo y municiones.

(1) Esta fórmula está reducida al caso presente, pues entran otros términos, en los cuales está el retroceso que para el presente tipo de pieza es nulo. El término $\operatorname{tag} \varphi$ es aditivo, como puede comprenderse.

Se ha supuesto que el obús dispara con 30° centígrados, valor aceptable.

VI.

Diseusión acerca de los obuses de campaña.

Opiniones respecto á su utilidad, calibre y eficacia.—Resumen.

Siempre que ha hecho su aparición un arma nueva, ha sido objeto de discusión exaltada, de la cual suele huir la imparcialidad. Unos se declaran entusiastas en nombre del progreso y procuran demostrar que aquella es la mejor, la más perfecta y hasta se le aplica el calificativo de *única*. Otros en cambio, combaten el progreso y sacan siempre á relucir la necesidad de la sencillez en los medios de combate, supeditando, por regla general, alcances y efectos á movilidad y fácil manejo.

Tal ocurre con el obús de campaña de todos los calibres. Ha sido encomiado y preconizado por artilleros ilustres, y al mismo tiempo se le combate en forma rudísima, hasta decir que sólo sirve para batir los escudos de las piezas de campaña.

Al comentar la campaña ruso-japonesa, se dará un paso más, bien en pró ó en contra del obús; probablemente, lo primero, si oficialmente se dice lo que la prensa militar extranjera más caracterizada afirma con insistencia respecto al paso del río Yalú y á la gestión esencialísima del obús de campaña en ese famoso hecho de armas.

En primer término debemos decir que los sucesivos adelantos en la cuestión de los obuses señalan más la tendencia de algunos artilleros franceses, entre los cuales se encuentra el ilustre Langlois, acerca de la futura constitución de la artillería de campaña. Se refieren al tiro *extra-rápido* y mayor movilidad, conseguidas en el cañón, disminuyendo su calibre y aumentando el efecto de la granada por emplear fuertes explosivos. En ese caso, los obuses son las piezas de campaña destinadas á batir obras y el cañón de 5 centímetros, por ejemplo, el que se destine á batir tropas exclusivamente.

Sin discutir estas ideas ahora, pasaremos una ligera revista á las opiniones diversas sostenidas en esta profunda polémica por ilustres emi-

nencias de Artillería y Fortificación, tanto en lo que se refiere á la eficacia como á la utilidad que de los obuses pueda esperar.

Aunque el objetivo del presente trabajo ha sido el obús de 15 centímetros, en estas consideraciones es preciso referirse á todos los calibres, ya que se discuten sus objetivos, que en el fondo son los mismos.

Sea ó no preciso el tiro del obús, sea más ó menos eficaz, convenga ó no en todos los casos, es lo cierto que todos los ejércitos de Europa estudian por sí mismos la cuestión en sus aspectos diversos. España no debe ser menos que Portugal, que ya posee baterías de esta índole, y si no queremos causar daño en una guerra, nos urge, por lo menos, conocer el que pueden causarnos.

Respecto al cometido, está claramente definido por las opiniones del general Rohne y del Mayor suizo Fornerod.

General Rohne: «El obús se destina á un cometido especial: á combatir blancos cubiertos. No debe participar de la lucha de la artillería, sino que debe reservarse para el ataque decisivo, principalmente si el lugar del ataque ha sido reforzado».

Mayor suizo Fornerod: «No se debe utilizar los obuses como piezas de campaña; es decir, emplearlos á la vez como piezas de tiro rasante y piezas de tiro curvo. El objeto principal del obús será combatir los blancos cubiertos, la guarnición de las trincheras reforzadas, de los reductos y de las localidades».

Tratándose de la utilidad del obús de campaña, encuentra esta pieza un detractor de fuerza y de constancia en el teniente general von Alten, que expone sus razones en un libro titulado *Contra el obús de campaña*, cuidadosamente traducido al español y comentado por el teniente coronel Ugarte.

Al principio de este trabajo se indicaron unos pensamientos relativos al nacimiento, valga la frase, del obús, citados por dicho general; después, en su folleto detractor, procura rebatir punto por punto las alabanzas que del obús hace el teniente general Rohne, entusiasta de la nueva artillería.

Se fija el detractor en una experiencia de polígono. A 1950 metros y sobre un blanco horizontal de 10 metros en el sentido de la línea de

tiro, se hicieron 47 disparos con obús y de ellos fueron blancos sólo cuatro. Aduce von Alten que en esa experiencia, desde las inmediaciones de la cubierta sobre la que se efectuaba el tiro, avisaban por teléfono el lugar de la caída, y que por otra parte, en campaña no se construyen nunca abrigos de esa profundidad, sino que generalmente son de 3 metros, por lo cual de los cuatro disparos blancos debe contarse uno, lo que nos dá un efecto útil del 2 por 100 de proyectiles consumidos.

Dice luego forzando más la censura:

«El número de impactos de 1 ó 2 por 100, aceptado como caso más favorable, está fundado en la hipótesis de una rectificación absoluta del tiro, tanto en alcance como en las derivaciones; pero si las dificultades en la observación obligan á escalonar en 100 metros el fuego en sentido del alcance, el número de impactos descenderá seguramente al 1 por 100.»

Esta experiencia debía bastar para desterrar hasta la idea de obuses de campaña; pero como fué una de las promesas que se hicieron con una pieza de las primeras que se fabricaron, se comprende el poco valor atribuído al hecho, demostrándolo la posterior y abundante adquisición de material, por las naciones que marchan en cabeza del progreso militar.

Respecto á la exploración artillera del obús cita la necesidad de una exploración violenta, difícil de realizar en algunos los casos.

No debe estar conforme, sin duda, el citado general con los principios que presiden en el día para la organización de los parques aerostáticos; la exploración y rectificación del tiro desde el globo cautivo es un hecho que no puede negar nadie. A una distancia mayor de la á que se refiere von Alten, y en poco tiempo, hemos visto rectificar unos ejercicios de tiro, efectuados con el cañón de 15 centímetros Krupp, y esto ocurrió la vez primera que se practicaron trabajos de esta índole en la Escuela de Tiro de Carabanchel en el año 1902.

La distancia era conocida y es dato preciso; pero no dudamos que se conocerá en la mayoría de los casos, pues existen aparatos para determinarla desde el globo; y la exploración se debe esperar también del aerostato. De todas las dificultades que plantea von Alten para la exploración,

no se deduce más que una consecuencia. Con cada grupo de obuses formará un pequeño parque aerostático, y si la distancia de tiro aumenta, todas esas energías que es necesario emplear para una exploración violenta, pueden aplicarse á acercar algo el globo, protegiéndole, empresa mucho más segura y mucho menos expuesta que llegar delante de las mismas trincheras con infantes y ginetes, sacrificándolos con seguridad sólo por conocer datos, que el globo puede dar fácil y cómodamente.

Las razones de más peso que da von Alten en contra del obús ligero, son las expuestas respecto á precisión, y la consideración técnica de ser perjudicial introducir piezas y piezas en artillería de campaña, cuando el ideal que debe perseguirse en ésta es disponer de una sola que dispare una sola clase de proyectiles.

La falta de precisión ha de corregirse ó atenuarse con la exacta determinación del tiro. No cabe dudarlo, y en cuanto á la otra falta ó error técnico apuntado, no queda más remedio, ya que el shrapnel del cañón de 7,5 centímetros de tiro rápido es ineficaz contra toda clase de abrigos, sin que por esto deba creerse que está anticuado. Tiene su cometido propio distinto de el del obús.

Dijimos al principio, que tratando del obús había dos cuestiones que jamás deben confundirse, la del obús pesado y la del ligero; éste podrá y se pretenderá que forme parte del tren de combate de vanguardia, pero el primero, el de 15 centímetros de calibre, no será posible.

Precisamente el tantas veces citado general von Alten actúa contra él como juez inexorable y lo destierra, partiendo de principios que la experiencia posterior ha dado como equivocados.

Antes de llegar á esto, conviene insistir en algunos datos.

El calibre de 10,5 centímetros es adaptable á pieza de campaña, permite conducir buen número de municiones y puede ejecutar su tiro sin explanada (1). Su estudio debe hacerse por separado.

El general Rohne es el partidario más decidido del calibre de 15 centímetros, dadas las dos condiciones que debe cumplir el proyectil del obús: profundidad de explosión y gran efecto, función de la mayor carga explosiva.

(1) Los modernos obuses de 15 centímetros también se encuentran en circunstancias análogas respecto á la explanada.

Al lado de éstos, se encuentra el obús de 12 centímetros que tiene más alcance y más potencia que los de 10,5, y más movilidad y flexibilidad que los de 15 centímetros.

Existen, pues, dos términos de transición: el primero, el obús de 10,5, pieza intermedia entre las de campaña y las de sitio; y el segundo, el de 12 centímetros, transición entre los ligeros y pesados.

Siguiendo con los que han sido objeto de esta Memoria principalmente, y después de indicar algo de los ligeros, íntimamente relacionados con los primeros, para demostrar su utilidad y cuál debe ser su método de aplicación, insertamos lo que de ellos dice von Alten:

«Deben reflexionar sobre la aplicación del obús de 15 centímetros aquéllos que, llevados de su entusiasmo juvenil, consideran á esta pieza como el arma de mayor efecto de todas y estiman que si esta pieza es para el ejército una pesada carga, es porque los jefes superiores no están aún familiarizados con su empleo.

Si algún defensor quisiera aceptar personalmente la enseñanza de los jefes, jamás llegaría á convencerles de que deba marchar delante de la infantería y de la artillería de campaña una pieza que pesa el doble del cañón de ésta, que no lleva municiones en sus arzones, que no practica el tiro rápido, que es incapaz para el tiro directo, que no puede efectuar cambios rápidos de posición».

Cuando aparece un invento de transcendencia, generalmente el inventor, llevado de su espíritu sobresaltado, cree y siempre ve, para su invención, ancho campo y dilatadísimo, de aplicaciones sin número, que luego la experiencia se encarga de limitar y reducir entre líneas mucho más cortas que las trazadas en la imaginación del interesado. Llegan sus entusiasmos hasta ser contraproducentes.

Esto ocurre en el caso presente.

La industria en los comienzos del siglo xx está muy adelantada; obtiene combinaciones metálicas de gran resistencia que sostienen presiones enormes con pequeños espesores, resistencia que permite aligerar el peso de la pieza, con relación á un efecto igual y anterior.

Las pólvoras son lentas; se queman por completo; no dejan residuos.

Los frenos se encuentran en estado de perfección suma, y piezas pe-

sadas, que requerían antes pesadísimos montajes, marchan hoy y tiran con los clasificados como de campaña.

Si diferencia existe entre la antigua pólvora de salitre, azufre y carbón, y el moderno ácido pícrico, estamos por decir que hay más entre la cureña de Gribeauval de madera y las actuales metálicas en que ajustan con admirable precisión pieza, freno, aparatos de puntería, recuperadores y arados.

Pues bien, los últimos modelos de obuses de 15 centímetros son inmejorables desde el punto de vista de su movilidad relativa á su potencia. Análogos en sus resultados á las piezas de 21 centímetros antiguas, que necesitan montajes de plaza propiamente dichos, con plataforma, al paso que estos modernos obuses llevan cureña y pueden disparar hasta sin explanada, gracias á la energía del freno y acción del recuperador, y por último, permite el montaje mayores los ángulos y, por consiguiente, mayores alcances. Son un resumen de los adelantos en Artillería.

Ahora, que no debe pretenderse que el obús de 15 centímetros vaya en compañía del cañón de 7,5: no pueden movilizarse igualmente una pieza que lanza un proyectil *cinco veces más pesado* que otra; quien diga esto del obús de 15 centímetros es su mayor enemigo.

Pretender conducir el tren de municiones en igual forma en unos y otros es error gravísimo, lo mismo que buscar en el obús la exagerada rapidez de tiro del cañón de campaña, discutible hasta en éste.

El no poder efectuar cambios rápidos de posición, sería defecto capital para batir tropas al descubierto, pero carece de importancia, pues no es ese el cometido del obús; debe batir atrincheramientos y fuertes provisionales; como éstos no cambian de posición á cada instante, aquél debe estacionarse. Lo que se debe pedir es: precisión á la pieza, instrucción á su personal artillero y ese golpe de vista especial para situarla acertadamente.

Respecto á la eficacia, también duda el general von Alten de los resultados del tiro del obús ligero. Refiriéndose á la experiencia citada al principio, dice que de los cuatro blancos obtenidos sobre la cubierta horizontal, uno no destrozó nada. Pasa por el efecto de los otros y añade, con gran juicio, que ese resultado negativo debe anotarse en la historia

de la pieza, teniendo en cuenta que en la guerra, los blindajes no se harán de tierra y vigas de madera como el de la experiencia en cuestión, sino que, por el contrario, se construirán de piedras y otros materiales, que faciliten el rebote ó la prematura explosión de los proyectiles.

El Mayor Deguise no es, ni remotamente, de opiniones análogas. Después de proponer el blindaje con el almohadillado duro que se explicó antes, y en el cual entran tantos elementos, dice, que de esa manera es como puede ser capaz de resistir el choque, en primer término, y la explosión de los 5 kilogramos de ácido pícrico después.

El mismo blindaje de seis capas lo cree *inestable* contra el efecto del proyectil que lanza el obús de 15 centímetros, y exhorta á experimentar mucho y detalladamente como único medio de tratar de resolver las dudas existentes.

En el notable estudio del conde de Casa-Canterac, ilustre artillero español, sobre *Obuses de Campaña*, cita hechos notables y deduce importantes consecuencias respecto á esta cuestión.

Acudiendo á la historia se demuestran fracasos evidentes de la infantería, cuando ésta ha prescindido del ataque previo de la artillería. Tal ocurrió en Saint-Privat por las tropas de la guardia.

«Un examen atento de la historia militar moderna nos enseña que el perfeccionamiento de las armas de fuego marcha paralelamente con la importancia creciente de la fortificación pasajera», dice el citado artillero:

«La guerra de 1864 no fué otra cosa que una lucha alrededor de posiciones fortificadas. Los sitios de Yekbourg, en 1863; de Rochmond, en 1865, son lecciones provechosas del uso de la fortificación y de la artillería pesada de campaña. Estas plazas afectaban un caracter puramente provisional y durante la campaña se fortificaron más poderosamente. Toda la guerra de Crimea giró alrededor del sitio de Sebastopol. Según Todleben, al principio no habría podido resistir una tentativa de asalto. Y esta fortaleza, creada como por magia, desafió durante once meses á los franceses y sus aliados los ingleses, obligándoles á recurrir al material de sitio muy poderoso. En 1870 los objetivos principales fueron Metz, Sedán y París. La guerra turco-rusa con Plöwna y con el desfiladero de Schipka, clama en favor de la fortificación de campaña.»

El coronel La Llave también se muestra partidario de la artillería de

posición, de la cual los obuses forman parte integrante, cuando trata en la tercera parte de su obra del establecimiento de estas piezas en Alemania.

Los artilleros españoles están todos inclinados favorablemente á la introducción de esta clase de artillería en nuestro ejército. Técnicamente están preparados, pues basta haber leído el *Memorial de Artillería* de 1904 para iniciarse en cuanto existe referente á la cuestión teórica, habiéndose emitido en dicha publicación cuantos juicios, tanto en pró como en contra han expuesto la prensa del extranjera y profesional; esos juicios, por otra parte, han sido comentados con gran latitud de miras é independencias de criterios, sin sujetarse á moldes arcáicos ni á egoismos venideros, tal como debe mirarse siempre cuanto afecta al porvenir del Ejército.

No falta más que el material en España.

Por el momento no es posible detenernos en disquisiciones análogas á las de von Alten, sobre si deben los obuses formar parte de la artillería de cuerpo ó de la divisionaria; esto se comprende en naciones que poseen todo y en abundancia; ahí está muy bien estudiar el número de metros que supone en el fondo de la columna ésta ó aquella pieza, ó si conviene quitar cuatro cañones del grupo de brigada, para ser reemplazados por cuatro ó seis obuses.

El deseo bien manifiesto por parte de todos, está en adquirir material, llevarlo al campo y al polígono, y determinar sus efectos por medio de la Escuela práctica mixta.

Conclusiones finales.

Resumiendo las opiniones de los artilleros é ingenieros que citamos en el curso de este modesto estudio, podemos reunir las, combinándolas todas, en las siguientes conclusiones, que se refieren á otros tantos puntos en los cuales se conserva perfecto acuerdo:

- I. Hay que separar, siempre que se trate de obuses de campaña, las dos clases existentes y considerarlas como absolutamente distintas en su constitución y cometido.
- II. Los obuses ligeros de 10, 10,5, 11 y 12 centímetros podrán acompañar, si reúnen condiciones, á las piezas de campaña. La restricción que de ellos se hace hoy, es en tanto que no aumenten su alcance, fijen su precisión y posean la movilidad de las verdaderas piezas de campaña.
- III. El obús pesado de 15 centímetros tiene bien definida su acción en la guerra moderna. Es pieza pesada y no puede ni debe acompañar al cañón ni al obús ligero, sino situarse en el grueso y como artillería á pie.
- IV. El proyectil del obús ligero parece inclinarse á ser exclusivamente shrapnel, y el del obús de 15 centímetros, granada-mina. De este modo se unificaría el municionamiento y quedaría la granada de metralla como proyectil único de las piezas ligeras de campaña, y la granada-mina como característica de las pesadas.
- V. Pretender llevar las municiones del obús de 15 centímetros en igual forma que las del cañón de 7,5, es procurar que nunca tenga realidad la adopción de estas piezas.
- VI. La tracción debe estudiarse indistintamente, aunque, desde luego, con gran prudencia, porque la que acude á medios mecánicos lucha, para su aplicación, con la rutina primero, con lo radical de la transformación después, y por último, con no haberse

llegado á la perfección, ni mucho menos, en la marcha automóvil.

En esta cuestión, más que en ninguna otra, debe ahondar la experiencia, pues se trata del porvenir del tren de combate y del convoy.

- VII. Es imprescindible el concurso del globo para la exploración del tiro del obús de 15 centímetros y su corrección.
- VIII. Las ideas del coronel Du Bocage simplifican de un modo notable la constitución de la defensa de una plaza por medio de baterías móviles, á las cuales, desde luego, se puede aplicar la tracción automóvil por disponer de caminos previamente estudiados y construídos.
- IX. La experiencia propia, mejor que ninguna, es capaz de fallar en conjunto respecto al empleo de los obuses, ya que su utilidad es admitida desde los hechos de Peitang y las operaciones del Yalú, comprobadas por la insistencia de sus relatos.

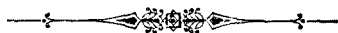
Terminemos el presente y modesto estudio con la opinión del general von Scherff:

«En la actualidad no es posible considerar la guerra de campaña y la de sitio como dos actos diferentes, como tampoco separar de los ejércitos de campaña, la artillería á pie por el sólo hecho de llamarse arma de plaza».

FIN.

ÍNDICE.

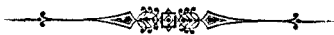
	<u>Páginas</u>
PRELIMINARES	5
I.	
Breves antecedentes históricos.	9
II.	
El obús.	14
Cañón.	15
Cierre.	15
Freno hidráulico y recuperador hidro-neumático.	18
Cureña.	19
Proyectiles.	21
Datos comparativos de algunas piezas.	24
Armón.	24
III.	
La Tracción.	28
Condiciones impuestas á un tractor-camión para usos militares.	32
Tractor Brillé.	33
IV.	
Cálculos balísticos.	48
Penetraciones.	52
V.	
Influencia de los obuses en la fortificación de campaña.	55
Abrigos blindados.	56
Baterías.	60
VI.	
Discusión acerca de los obuses de campaña.	64
Conclusiones finales.	72



FE DE ERRATAS



Página.	Línea.	Dice.	Debe decir.
35	10	De 0,50 á 0,50	De 0,50 á 1,50
49	17	$R = 0,0075$	$R = 0,075$
51	(Nota 2)	C también es mayor	C no es también mayor
		$C = \frac{p \cdot \beta_m \delta_m}{\pi R^2} \left\{ \begin{array}{l} \beta_m = \sec \theta_m \\ \sec 50^\circ > \sec 45^\circ \end{array} \right. C_{50^\circ} > C_{45^\circ}$	$C = \frac{p \cdot \beta_m \delta_m}{\pi R^2} \left\{ \begin{array}{l} \beta_m = \sec \theta_m \\ \sec 50^\circ > \sec 45^\circ \end{array} \right. C_{45^\circ} > C_{50^\circ}$



OBRAS DEL SANEAMIENTO DE LA I. VILLA DE BILBAO

ALFONSO GARCÍA GIL

OBRAS DEL SANEAMIENTO

DE LA

I. VILLA DE BILBAO

POR

D. EMILIO GOÑI Y URQUIZA,

Capitán de Ingenieros



MADRID

IMPRESA DEL MEMORIAL DE INGENIEROS

—
1905

INTRODUCCIÓN.



El saneamiento de una población es asunto de vital interés por las mejoras higiénicas que consigue para ella, á la par que problema de difícil resolución para el ingeniero, pues á las dificultades que se presentan en curso de ejecución, obligando á modificar la obra proyectada, para adaptarla á las nuevas condiciones con las cuales no se podía contar, hay que agregar las muchas trabas que supone la ejecución de éstas sin interrumpir, en la generalidad de los casos, el tráfico activo de la población.

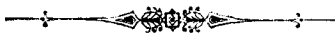
Creemos será de interés para nuestros compañeros el conocimiento de la descripción de las obras ejecutadas en Bilbao con este objeto por el distinguido ingeniero de caminos D. Recaredo Uhagón.

Bilbao, por su situación, dividido en dos partes por el río Nervión, y por su movimiento comercial intenso, ha aumentado considerablemente las dificultades; pues, aparte de tener que ejecutar las obras á lo largo de las calles, evitando en lo posible el entorpecimiento de la circulación en éstas, ha exigido también que, al hacer las obras á través del río para reunir la red de alcantarillado de ambas márgenes, no dificultaran la navegación muy activa, y por consiguiente, que el procedimiento seguido para su establecimiento pueda hoy considerarse como modelo, que se debe imitar en casos análogos.

Presentan, además, estas obras la novedad de haber sido la primera población de la Península donde se han empleado los *tanques sépticos* para la depuración de las aguas de alcantarilla, con objeto de ser utilizadas en los condensadores de las máquinas encargadas de la elevación de las aguas sucias, procedimiento que en Bilbao da excelentes resultados y que no dudamos ha de ser empleado en muchos puntos de nuestra nación, tan retrasada en todo lo concerniente á higiene.

Esta descripción, extractada de las memorias publicadas al final de cada año, muestran las dificultades que han sido preciso vencer durante la construcción de cada una de ellas, y termina con un estudio comparativo de lo que han costado las obras en Bilbao con lo gastado en otras poblaciones, y otro ligero estudio de lo que ha ganado la villa en condiciones higiénicas desde que empezaron á funcionar dichas obras.

Terminaremos enviando el testimonio de nuestra admiración y respeto al distinguido ingeniero, honra del ilustre Cuerpo á que pertenece, que ha sabido llevar á feliz término obras tan importantes.



OBRAS DEL SANEAMIENTO DE LA I. VILLA DE BILBAO.



BREVE RESEÑA

DE

las gestiones llevadas á cabo por el Exemo. Ayuntamiento para sanear la I. villa de Bilbao.

El aumento enorme que la población de Bilbao fué adquiriendo desde el año 1875, y el procedimiento constantemente puesto en práctica de verter á la ría todas las inmundicias de la villa, convirtieron á aquélla en una verdadera cloaca, dando á sus aguas un aspecto repugnante, ensuciando todo el lecho y ocasionando frecuentemente desprendimientos de gases de un olor nauseabundo y desagradable. Aparte todo ello, claro es, de la influencia que semejante condición del río pudiera ejercer en la salubridad pública.

Tal estado de cosas no pasó desapercibido para el Municipio, y en Octubre de 1890 se presentaron por varios señores capitulares mociones con objeto de corregirlo.

El resultado de ellas fué el nombramiento de una Comisión especial que se ocupara del asunto, la que propuso anunciar en España y el extranjero que el Ayuntamiento admitía proposiciones de las empresas é ingenieros que quisieran tomar á su cargo los estudios del saneamiento de la ría, en cuyo estudio debería comprenderse la desinfección y aprovechamiento de las materias fecales.

Aceptado el pensamiento por la Corporación, se publicaron los anuncios en varios periódicos nacionales y extranjeros, de información y profesionales, señalando un plazo de dos meses para la presentación de proposiciones.

Muchas de éstas se elevaron al excelentísimo Ayuntamiento; pero en ninguna se especificaba claramente la naturaleza é importancia de las obras que se conceptuaban precisas para lograr el objeto apetecido, ni se hacía indicación alguna acerca del costo de ellas.

En vista de este inconveniente, y á propuesta de la Comisión de Gobernación del Ayuntamiento, cuya Comisión se había encargado del asunto por disolución de la primitiva, se desecharon todas las propuestas presentadas y se fijaron nuevas bases para un concurso de anteproyectos de saneamiento de la villa, en cuyas bases se determinaba ya, de un modo preciso, las condiciones que habían de reunir los anteproyectos, la manera de calificar los que se presentaran, para aceptar el que se conceptuara mejor y los premios que habían de otorgarse á los autores de aquéllos.

Aceptado por el Municipio lo propuesto por la Comisión de Gobernación, se anunció y abrió el concurso, señalando un plazo de cinco meses para la terminación del mismo.

Presentáronse al concurso quince anteproyectos, y se nombró para calificarlos un tribunal, compuesto de tres ingenieros, dos doctores en Medicina y dos arquitectos.

Previos los requisitos que las bases señalaban, este tribunal propuso que se aceptara el anteproyecto que llevaba por lema *Mens sana in corpore sano*, y así se acordó, encargando la redacción del proyecto á su autor, el ilustrado ingeniero de caminos D. Recaredo de Uragón.

En 6 de marzo de 1895 acordó el Ayuntamiento dar comienzo á las obras del saneamiento, empezándose los trabajos preliminares en el mes de Julio del mismo año.

Ligera descripeión del proyecto.

El proyecto tiene por fundamento separar las aguas sucias, procedentes de las viviendas, de las que vierten las lluvias sobre la superficie de la villa.

Las primeras se recogen en una red especial, que constituye el nuevo alcantarillado; las segundas siguen recibíendose en las antiguas alcantarillas, convenientemente modificadas, y se vierten en la ría.

La red del nuevo alcantarillado está toda ella constituída por tubería de grés y se ha calculado, teniendo en cuenta la pendiente de cada ramal y la cantidad de líquido que ha de conducir, con la condición de

no ser en punto alguno la velocidad del agua inferior á 75 centímetros por segundo de tiempo.

Esta red se compone de tramos de tubería rectos, estableciéndose pozos registros en todos los cambios de dirección y rasante. Los pozos sirven, además, para la ventilación, y en el origen de cada ramal hay un depósito de agua de 1 á 1,50 metros cúbicos de cabida, según sea el diámetro del ramal, con su aparato automático de descarga instantánea, que arroja de tiempo en tiempo en el ramal aquel volumen de agua clara, manteniéndolo perfectamente limpio.

Los ramales afluyen á colectores establecidos en las dos márgenes de la ría. Los de la margen izquierda á los colectores núm. I y II (lámina 1), y los de la derecha, á los trozos 1.º y 2.º del colector núm. III.

El colector núm. I está formado por tubos de grés. Este colector se une con el núm. III por medio de un sifón establecido agua abajo del puente de la Merced.

El colector núm. II recoge las aguas sucias del ensanche de Albia. Se divide en dos partes: la primera está constituída de tubos de grés y el resto está formado por una galería de ladrillo de forma ovoide.

Este colector se une con el núm. III por medio de otro sifón establecido bajo el río, 10 metros agua arriba de la desembocadura del arroyo Elguera.

Los trozos 1.º y 2.º del colector núm. III recogen, como ya se ha dicho, las aguas sucias de la margen derecha.

El primero tiene su origen en Achuri y termina en el pozo de salida del sifón núm. 1, ó de la Merced, estando constituído por tubos de grés de diámetro variable.

El 2.º trozo principia en el pozo de salida del sifón núm. 1 y concluye en el pozo de salida del sifón núm. 2, ó de Deusto, siendo de sección ovoide.

El trozo 3.º del colector núm. III recoge todas las aguas sucias, constituyendo el emisario general. Arranca del pozo de salida del sifón de Deusto y termina en el depósito de Zorrozaure, con una pendiente constante y siendo de sección ovoide.

Este emisario vierte su aportación variable en el depósito establecido en Zorrozaure, cuyo objeto es regularizar el trabajo de las bombas que,

de otra suerte, deberían ser capaces de elevar, en ciertos momentos del día, 500 litros por segundo de tiempo, mientras que en otros, siendo muy reducida la aportación del emisario, lo será también el trabajo de achique.

La solera del depósito regulador, encontrándose 2 metros por debajo de la baja mar equinoccial, obliga á colocar en este paraje el juego de máquinas necesario para elevar las aguas sucias y poderlas verter en el mar á toda hora de la carrera de la marea.

Estas máquinas dan movimiento á las bombas, capaces de subir 130 litros por segundo de tiempo, y se establecen unas y otras adosadas al depósito regulador.

Las aguas sucias que se extraen de este depósito se impulsarán por una cañería colocada bajo el suelo, siguiendo la línea que el plano general señala: primero, por los muelles de encauzamiento de la margen derecha, hasta Axpe; luego por la vega de Lamiaco y próxima al ferrocarril de las Arenas, y desde este punto hasta Guecho, por la vega de Gobelas.

Termina la conducción en el túnel de la Galea. Este túnel en recta y cuya dirección es próximamente SE. NO., recoge las aguas que trae la cañería, antes descrita, y las conduce al mar, vertiéndolas al E. del semáforo de la Galea y á 7 metros de altura sobre la baja mar equinoccial.

Tal es, á grandes rasgos, el proyecto ejecutado.

Descripción de las obras.

CANALIZACIÓN INTERIOR.— La canalización interior consiste en tramos rectos de tuberías de grés de 22, 25, 30 y 38 centímetros de diámetro, con pozos registradores en todos los cambios de dirección y rasante.

En el origen de cada ramal hay un depósito de agua de un metro cúbico ó de metro cúbico y medio de capacidad, según la longitud de aquél, que se descarga automática y rápidamente por medio de un aparato *ad hoc*.

Sistemas λ , δ , ϵ , φ , ψ .— Estos sistemas (lámina 2) comprende las calles del Cristo, Gas. Tivoli, Múgica y Butrón, Fontecha y Salazar, Castaños

y la Salve; teniendo en total 1383 metros de longitud, y habiendo costado 48.773,40 pesetas, resulta el metro lineal á 35,26 pesetas. La construcción de estos sistemas no ha ofrecido particularidad alguna.

Sistemas G y H.—Comprenden estos sistemas las calles de Alameda de Mazarredo, Ercilla, Orueta, Lersundi, Perla, Henao, Colón de Larriátegui, Marqués del Puerto, Rodríguez Arias, Gran Vía, Diputación, Arbieta, Herro, Espartero, Alameda de Recalde y Rivero.

Al ejecutarse el movimiento de tierras, y por conveniencia del tránsito, se practicaron la mayor parte de las excavaciones en galería.

El importe total de estos sistemas ha sido de 244.373,12 pesetas, y como suman una longitud de 5520 metros, resulta el metro lineal á pesetas 44,23.

Ramal de San Agustín.—Se ejecutó este ramal para servicio de las casas que se han construído en la fachada N. del Palacio Municipal.

La excavación de este ramal se hizo casi toda ella en cayuela: tiene 40 metros de longitud, resultando el metro lineal por 95,70 pesetas, precio muy elevado, y cuya explicación consiste en haberse ejecutado toda la excavación en roca dura, empleando explosivos.

Sistemas α , β , γ , L.—Este sistema comprende las calles del Cristo y Travesía Particular de Quintana, Esperanza, Ascao, Fueros y Plaza Nueva.

Esta obra se ha ejecutado sin tropiezo alguno, gastándose en total 33.780,44 pesetas; siendo la longitud de 1070 metros, resulta el metro lineal á 31,57 pesetas.

Sistemas E y F.—Estos sistemas, con los G y H de que antes tratamos, abarcan todo el Ensanche construído en la margen izquierda, desde el ferrocarril del Norte hacia agua abajo.

Estos sistemas comprenden las calles de Hurtado de Amézaga, Fernández del Campo, Iturizar, Elcano, Euskalduna, Bertendona, García Salazar, Ayala, Gran Vía, Astarloa, Gardoqui, Luchana, Paz, Alameda de Urquijo, Buenos Aires, Ledesma, Amistad, Villarias, Muelle de Ripa, Príncipe, Estación, Alameda de Mazarredo, Barroeta-Aldamar, Astarloa, Plaza del Mercado, Colón de Larriátegui, Berástegui, Henao é Ibáñez de Bilbao.

Estas obras se llevaron con mucha actividad, á pesar de haberse en-

contrado la roca en grandes trayectos de las excavaciones, que en su mayor parte se han ejecutado en mina. Entonces hubo que recurrir al empleo de explosivos, con las correspondientes molestias al vecindario, pero sin que haya ocasionado accidente alguno desagradable.

El importe de los sistemas *E* y *F* resultó por 308.907,60 pesetas, y como la suma de longitudes de los ramales que componen estos sistemas es de 7714,30 metros, el metro lineal ha costado 40,04 pesetas, coste que se diferencia poco de los demás sistemas ejecutados, y que resulta más bajo que el correspondiente de los sistemas *G* y *H*, con los que son más comparables los *E* y *F*, que pertenecen como éstos á la margen izquierda de la ría.

Sistemas K, J, I, Z.—Comprenden estos sistemas la canalización de las calles del Correo, Sombrerería, Víctor, Banco de España, Cinturería, Calzada de Begoña, Iturribide, Fica, Cruz, María Muñoz, Ronda, Somera, Artecalle, Tendería, Bidebarrieta, Jardines, Lotería, Perro, Torre, Belosticalle, Carnecería Vieja, Barrencalle, Santa María y Nueva, y plaza Nueva y de Santiago.

Resultó el importe de los sistemas *K, J, I, Z*, por 112.843,56 pesetas, y siendo la suma de las longitudes de los diversos ramales que las componen de 3.250,05 metros, resulta el metro lineal á 34,72 pesetas, precio entre el de los sistemas α , β , γ , *L* y λ , δ , ε , φ , ψ , ambos en la margen derecha.

Sistemas M, N, Q, S, T, U, V, X.—Estos sistemas corresponden á la canalización de las calles de la Encarnación, Ollerías Altas, Ollerías Bajas, Zabalvide, Solocoeche, Expósitos, Cárcel, Artecalle, Belosticalle, Carnicería Vieja, Barrencalle, Barrencalle-Barrena y Pelota.

El coste de la construcción de estos sistemas ha sido de 69.333,33 pesetas, y su longitud de 1.953,69 metros, resultando el metro lineal á pesetas 35,48, precio que concuerda con los obtenidos anteriormente.

Sistemas A, B, C, D.—Comprenden estos sistemas las calles de Urazurrutia, Iturburu Alto, Miravillo Tres Pílares, San Francisco, Cantarranas, Gimnasio Cortes, Laguna, Convenio de Vergara, Fuentes, Aréchaga, Conde de Mirasol, Marzana, Amparo, Mena, Zabala, Concepción, Constitución, Cantera, Hernani, Dos de Mayo, General Castillo, Lamana, Naja y Bailén.

La longitud de los ramales que componen estos sistemas es de 4531,70 metros, y su coste ha sido de 183.147,29 pesetas, resultando el metro lineal á 40,41 pesetas.

Reasumiendo: la longitud total de la red de alcantarillado es de 17.766 metros, y el coste total de 1.017.732,67 pesetas, resultando el metro lineal, como término medio, á 31,80 pesetas, incluyendo todo gasto, coste que debe considerarse relativamente económico, atendidas las sujeciones y dificultades que ha presentado la obra ejecutada á lo largo de las calles de la villa.

En la margen izquierda se han construido tres depósitos para retener las arenas: uno en la calle de Buenos Aires en el ramal *E. 26*, y otro en la calle de Barroeta Aldamar en el *F. 22*. Estos depósitos son idénticos al ejecutado al final del trozo 1.º del colector núm. III, y al hablar de esta obra se describirá.

El tercer depósito se ha construido en la Alameda de Macarredo, adosado al pozo de empalme de los sistemas *G* y *H*. Consiste (lám. 3, fig. 1) en un recipiente 1^m,10 de ancho por 2^m,40 de largo y 1^m,37 de profundidad, bajo el fondo del pozo de empalme de los sistemas *G* y *H*, con el que está puesto en comunicación por medio de una abertura de 1^m,25 por 1 metro. Las aguas, después de haber pasado por el recipiente, son dirigidas al desagüe sobre el colector núm. II por una canal curva de 0^m,50 de diámetro.

Las arenas se extraen del recipiente por una tubería de 0^m,30 de diámetro, colocada en su fondo y cerrada por una válvula, tubería que se prolonga por una galería que termina en un pozo de empalme de la alcantarilla de las aguas de lluvia, que desagua en el muelle de los Astilleros.

Ya se ha dicho, que en el origen de todos los ramales hay colocado un depósito de 1 metro cúbico de capacidad, que se descarga automáticamente y de golpe, por medio de un sifón, tipo Adam ó Geneste Herscher, que son los modelos empleados.

Estos depósitos se llenan paulatinamente por medio de un injerto de 13 milímetros de diámetro con las tuberías de agua del río, cuyo injerto va provisto de una llave de paso ordinaria.

Dado que basta con que estos depósitos se descarguen tres ó cuatro

veces al día, para que la red funcione convenientemente; no deben tampoco llenarse sino tres ó cuatro veces, y para ello la llave que los alimenta debe mantenerse apenas abierta, para que en la unidad de tiempo suministre un escaso caudal de agua.

En Bilbao ocurre que, á consecuencia de la cantidad de légamo que lleva el agua de la ría, la llave se obstruye al poco tiempo y el depósito de limpia queda inservible con los consiguientes inconvenientes.

Para evitar este mal y al mismo tiempo suprimir un consumo de agua inútil y por lo tanto perjudicial, el ingeniero, autor del proyecto y director de las obras, ideó una válvula, con la que el depósito puede llenarse lentamente y con la que, además, se consigue asegurar el buen funcionamiento de los sifones de descarga, puesto que, cuando el nivel del agua en el depósito se aproxima á su altura máxima correspondiente á la descarga, la válvula suministra un volúmen de agua considerable, que facilita el disparo del aparato, lográndose el rápido crecimiento del nivel en los instantes que preceden al disparo.

La válvula consiste (lám. 3, fig. 2) en un cuerpo vertical de latón de 20 milímetros de diámetro interior, que termina en una campana, á cuyo borde se atornilla otra pieza que lleva una guía *B* de la varilla de la válvula propiamente dicha *A*, y contra cuya guía viene á chocar dicha válvula en su posición más alta. En el fondo de esta segunda pieza se atornilla á su vez lo que constituye el asiento y guía inferior de la válvula. El cuerpo vertical termina, por su parte superior, en un tapón ó tornillo *C* taladrado, que sirve para retener entre dos roldanas de caucho un disco de vidrio, que en su centro lleva un agujero, por el que pasa el extremo de la varilla de la válvula, varilla que ha tenido el cuidado de tornearse en esa parte al diámetro exacto de 4 milímetros.

El agua entra en el cuerpo de la válvula por el enchufe *D*, al que va soldado el tubo de plomo en comunicación con la cañería de la distribución de aguas. Frente á este enchufe hay un tapón *E* para introducir, cuando sea preciso, un alambre y desatascar de barro á la tubería de aducción.

En la extremidad inferior de la varilla de la válvula, va montado un flotador *F* de 300 milímetros de diámetro por 350 milímetros de altura,

cuya posición, respecto de la varilla, puede arreglarse por medio de dos tuercas.

De ordinario, la válvula *A* está cerrada por el peso de la varilla y del flotador, que se encuentra fuera del agua. La válvula no permite mayor salida de agua que la que corresponde á la sección anular que queda entre el agujero del disco de vidrio y la varilla que lo atraviesa.

Con sólo esta cantidad de agua va llenándose el depósito del aparato de descarga, y cuando el nivel se acerca al normal empieza á sumergirse el flotador, y en el momento oportuno abre la válvula *A*, el depósito de agua se llena rápidamente ocasionándose la descarga repentina, y volviéndose á cerrar la válvula *A*, para que las cosas sucedan de nuevo en la misma forma.

Los movimientos de la varilla impiden que se obstruya el paso del agua á través del disco de vidrio y de la válvula.

Después de ensayado este aparato, durante un tiempo prudencial, y en vista del excelente resultado que con él se consiguió, se ha adoptado en todos los depósitos de limpia de la canalización interior.

Para el caso de Bilbao, las secciones de la válvula *A* y del orificio del disco de vidrio se han deducido del modo siguiente: adoptando para este último tres tipos, según la carga de la distribución en el paraje, en donde se coloque el depósito de limpia.

Se ha partido de los datos á continuación:

Cota del depósito de agua de Miraflores.	50
Cota media del casco viejo de Bilbao.	8
Idem del Ensanche (Albia).	20
Idem de los Barrios Altos (San Francisco, Achuri, etc.)	40

Cargas correspondientes teóricas:

Bilbao (casco viejo).	50 — 8 = 42 metros.
Ensanche.	50 — 20 = 30 »
Barrios altos.	50 — 40 = 10 »

que reducimos, para tener en cuenta las pérdidas de carga, á

Bilbao (casco viejo).	= 30 metros.
Ensanche.	= 20 »
Barrios altos.	= 5 »

Si cada depósito ha de descargar cuatro veces al día, como tiene 1 metro cúbico de cabida, resultará por 1" un gasto constante de $\frac{4000}{86.400} = 0,000046$ metros cúbicos; aplicando las fórmulas conocidas, tendremos

$$\left. \begin{aligned} Q &= 0,60 \sqrt{2 g H \Omega} \\ Q &= 0,000046 \end{aligned} \right\} \Omega = \frac{0,000046}{0,60 \sqrt{2 g H}}$$

$H = 30 \gg \sqrt{2 g H} = 24,26 \gg \Omega = 0,000003$ metros cuadrados.
 $H = 20 \gg \sqrt{2 g H} = 19,81 \gg \Omega = 0,000004 \gg$
 $H = 5 \gg \sqrt{2 g H} = 9,90 \gg \Omega = 0,000008 \gg$

para el orificio anular

$$\left. \begin{aligned} \Omega &= \frac{1}{4} (D^2 - d^2) \pi \\ d &= 0,004 \gg d^2 = 0,000016 \text{ m.}^2 \end{aligned} \right\} D^2 = \frac{4 \Omega}{\pi} + 0,000016$$

para

$$\begin{aligned} \Omega = 0,000003 & \gg D^2 = 0,000020 \gg D = 0,0045 \text{ metros.} \\ \Omega = 0,000004 & \gg D^2 = 0,000021 \gg D = 0,0046 \gg \\ \Omega = 0,000008 & \gg D^2 = 0,000026 \gg D = 0,0051 \gg \end{aligned}$$

bastaría, por lo tanto, con un solo modelo de disco de vidrio, con un taladro de 5 milímetros de diámetro.

Para tener, sin embargo, en cuenta todas las contingencias y lo que el légamo adherido á las diversas partes del aparato pueda entorpecer la salida del agua, se ha adoptado en Bilbao tres tipos de discos de vidrio, taladrados á los diámetros de 5, 6 y 7 milímetros para aplicarse á las cargas medias de 30, 20 y 5 metros.

Á la válvula A se le ha dado un diámetro de 0,013 metros, ó una sección de 0,000133 metros cuadrados, con lo que aproximadamente da salida por 1" á las siguientes cantidades de agua:

Carga media 30	2	litros.
Idem id. 20	1,50	»
Idem id. 5	1	»

La presión sobre esta válvula, en el caso de mayor carga, será de $50 - 8 = 42$ metros, ó 0,042 kilogramos por milímetro cuadrado, y para el área de 133 milímetros cuadrados = 5586 kilogramos.

Con un flotador de 300 milímetros de diámetro, que tiene 70.686 milímetros cuadrados de área, corresponde por milímetro cuadrado una presión de $\frac{5586}{70.686} = 0,00008$ kilogramos.

Para abrir la válvula *A*, el flotador necesitará, por lo tanto, sumergirse 0",08; y conforme á este dato, y por tanteos, se arreglará la posición del flotador sobre la varilla de la válvula.

El cuerpo de éste va suspendido de un collar empotrado en el muro del depósito de agua y colocado á la altura conveniente sobre el nivel normal para que pueda el flotador, en su posición adecuada, maniobrar con facilidad.

Colectores.

COLECTOR NÚM. I.— Este colector recoge las aguas de los sistemas *A*, *B*, *C*, *D*.

Está tendido (lám. 2) por los muelles de Urazurrutia, Marzana y la Naja, y construido con tubería de grés, distribuida en esta forma:

Diámetro	0,22	en	540,15	metros.
Idem	0,30	en	219,30	»
Idem	0,45	en	92,20	»
<i>Longitud total.</i>	<u>851,65</u>			metros.

Las pendientes son las siguientes, de agua arriba hacia agua abajo:

0,005	en	291,00	metros.
0,004	en	249,15	»
0,002	en	219,30	»
0,0015	en	92,20	»
		<u>851,65</u>	metros.

Esta obra no presenta particularidad ninguna. El importe total de este colector ha sido de 30.191,13 pesetas, y como su longitud es de 851",65, resulta al metro lineal un precio de 35,45 pesetas.

COLECTOR NÚM. II.—El trozo 1.º de esta arteria tiene 722",56, desde su origen, frente á la calle de Buenos Aires, hasta su empalme con el

trozo 2.º en el pozo de la galería en túnel (lám. 2), frente al paso á nivel de Uribitarte, en el ferrocarril de Bilbao á Portugalete. Presenta el colector en este trayecto dos rasantes: la primera, agua arriba, de 0,001 en 180 metros, y la siguiente de 0,0007 en 542^m,56.

Este trozo de colector está constituido por tubería de grés de 0^m,45 y 0^m,38 de diámetro, según el líquido que tiene que llevar.

El segundo trozo del colector se establecía en el proyecto por los muelles de la margen izquierda, en el trozo comprendido entre el paso á nivel de Uribitarte y el sifón de Deusto.

A causa de las dificultades que hubiera ofrecido su ejecución, conforme con esta traza, no sólo por el activo tránsito que existe en el muelle de los Astilleros, sino por la probable afluencia de aguas á las excavaciones, se modificó esta traza y se ha construido la obra según el plano detalla.

A partir del pozo de entrada del sifón de Deusto, sigue el colector la margen derecha del arroyo Elguera, por la futura calle proyectada, hasta el ferrocarril de Portugalete. Continúa luego, paralelamente á este ferrocarril que cruza, bajo el paso á nivel de la subida al Ensanche de Albia, y pasando por debajo también de la Alameda de Mazarredo alcanza la traza primitiva á la entrada de las rampas de Uribitarte.

Tiene este tramo 1179^m,20 de longitud y una pendiente de 0^m,0006. De este trozo se ha construido, en subterráneo, la porción bajo la Alameda de Mazarredo, cuya porción tiene 177 metros de longitud, y como para construirlo fué necesario dar á la sección dimensiones adecuadas, se ha aprovechado esta circunstancia para ensanchar la galería ejecutándola (lám. 4, fig. 1) con altura de 1^m,60 y una banqueta de 0^m,40, dejando la cuneta ovoide para circulación de agua sucia.

Para facilitar la perforación del subterráneo se hizo un ataque en bajada, aprovechando el frente de roca que presenta la ladera en la confrontación del paso á nivel de la subida al Ensanche.

Se utilizó luego el ataque para construir en él una entrada y cómoda bajada al túnel, que se acusa al exterior por una sencilla portada de ladrillo y sillería. La entrada se cierra con una puerta de hierro (lámina 4, fig. 2).

Para desaguar en el túnel los ramales establecidos en la Alameda de

Mazarredo y la calle de los Heros, se ha practicado en el cruce de ellas un pozo que ha servido también para activar la construcción del túnel.

El pozo está dividido en dos compartimientos: uno que sirve para bajar al túnel, provisto de una escala de hierro, y otro donde se vierten los ramales citados, en cuyo compartimiento se han colocado varias losas inclinadas para quebrantar la caída de agua. (Lám. 4, fig. 3.)

También se ha ejecutado en subterráneo los 120 metros siguientes al túnel, á pesar de la escasa cota roja de la rasante (3,60 metros por término medio), porque lo consentía el terreno, que es de roca, y así se ha podido cruzar la línea de Portugalete fácilmente con un ligero apeo de la vía, á pesar de la frecuente circulación de trenes que por ella tiene lugar.

Este tramo del colector tiene pozos registros cada 100 metros; y al final del mismo, próximo al pozo de entrada del sifón de Deusto, se ha construído una cámara, provista de su compuerta, para poner en comunicación al colector con las aguas de la ría. El objeto de esta comunicación es practicar limpieas en el sifón y en el colector núm. III, trozo 3.º, abriendo la compuerta en las pleamares de aguas vivas, que quedan 1^m,80 más altas que la boca del sifón.

Las figuras 4 y 5, lámina 4, detallan la disposición de los pozos registros y cámara de compuerta. Toda la obra se ha ejecutado con fábrica de ladrillo de cemento de Portland, enlucida con mortero de cemento de Zumaya.

Las obras de este trozo del colector núm. II, no han presentado más dificultad que la debida á los agotamientos á que obligó la abundancia de las aguas que aparecieron en las excavaciones, principalmente en el trayecto paralelo á la línea del ferrocarril de Portugalete.

Para el achique del agua durante las obras, se empleó una bomba de vapor Duplex, capaz de extraer 1500 litros de agua por hora. El chupón de la bomba de vapor, que se montó sobre una plataforma con ruedas que marchaban sobre carriles paralelos á la excavación, se introducían en el pozo registro de agua abajo, cuya solera se dejaba provisionalmente más profunda, en lo necesario para que en el cuenco que quedaba se recogieran todas las aguas. Estas se llevaban desde el frente de la excavación por un dren de barro cocido, de sección rectangular, de

12 × 15 centímetros, colocado bajo la losa que servía de cimientto al colector. Las aguas achicadas se vertían en la ría, para lo cual hubo que practicar una zanja por los terrenos que median entre aquélla y el ferrocarril de Portugalete, porque no era posible hecharlas por el colector mismo, según se construía, durante las pleamares.

Los inconvenientes ocasionados por estas aguas retrasaron la terminación de las obras.

El colector ha costado 169.463,42 pesetas, y como la longitud total es de 1901^m,76, el metro lineal ha resultado á 89,05 pesetas, precio que no es caro atendido á que en el trozo 2.º de esta arteria existe un subterráneo de 177 metros.

COLECTOR NÚM. III.—*Trozo 1.º*—Este trozo del colector III empieza (lámina 2) en la calle de Achuri, y continuando por la plazuela de los Santos Juanes y Plaza Vieja termina en la Rivera, agua abajo del puente de la Merced, en el pozo de salida del sifón de la Merced, del cual arranca el trozo 2.º de este mismo colector.

Tiene el trozo 1.º 1012^m,40 de longitud y las pendientes siguientes, de agua arriba hacia agua abajo:

0,030	en	88,90	metros.
0,054	en	107,00	»
0,017	en	107,50	»
0,004	en	225,40	»
0,003	en	483,60	»
		<u>1012,40</u>	metros.

Está constituido este colector por tuberías de grés, cuyo diámetro va disminuyendo de agua abajo hacia agua arriba, empezando en 0^m,45 y terminando en 0,22. En su construcción, la obra no ha presentado dificultad alguna.

Como la longitud de este trozo de colector es de 1012,46, y su coste total ha sido de 38.500,08 pesetas, el metro lineal resultó á 38,02 pesetas.

Trozo 2.º— Este trozo tiene su origen en el pozo de salida del sifón de la Merced y concluye en el pozo de salida del sifón de Deusto, entrando ya en el casco de la villa por el punto llamado La Salve.

La sección adoptada para este trozo (lám. 4, fig. 6) es la ovoide moderna de 90 centímetros de altura por 60 de ancho en los arranques.

Se ha preferido al hormigón el ladrillo sentado con mortero de cemento de Portland, sirviendo de cimiento una losa, con la labra conveniente de 0^m,60 por 0,20 de espesor. De este modo, puede ejecutarse la obra sin temor á que le perjudiquen las aguas que afluyen á la excavación.

Para su construcción se ha dividido en dos partes. La primera comprende de La Salve al sifón de Deusto, que no ha presentado dificultad alguna, habiéndose gastado en esta sección 62.805,51 pesetas, y siendo 920 metros la longitud de este tramo, ha costado el metro lineal 68,26 pesetas.

La segunda parte comprende desde el Puente de la Merced hasta La Salve. Aun cuando en el proyecto aprobado figuraba este colector debiendo construirse con tubería de hormigón, con diámetros de 0,53, 0,61 y 0,76, según fuera la aportación de líquido, se ha reemplazado por una galería ovoide de ladrillo de la misma forma que la del tramo de La Salve á Deusto.

Esta modificación de la sección la han impuesto las sujeciones y dificultades que en la construcción de la obra ocasionan los tramos rectos con pozos intermedios á que obligan las formas circulares de los diámetros señalados.

No es prudente, en efecto, con estos diámetros admitir trazados con curvas, por las dificultades que ocasiona su reconocimiento y visita. Con la galería ovoide, por el contrario, no existe esa dificultad, y la traza puede ceñirse á los mil obstáculos que tiene que salvar, como son: en el subsuelo, las alcantarillas existentes y las cañería principales de agua y gas; y en la superficie, además del tránsito ordinario, las vías del tranvía eléctrico y del urbano.

El tramo que nos ocupa tiene 1791^m,84 de longitud y 0,0016 de pendiente en sus primeros 219^m,34, á los que siguen 572^m,55 con 0,0006, y 999^m,95 con 0,00055.

Para la construcción de la obra se ha reemplazado en algunos trayectos la excavación á cielo abierto por una galería en túnel, cuando lo permitía la cota roja de la rasante, y con objeto de entorpecer lo menos posible el tránsito de vehículos.

Este procedimiento se ha empleado en algunos trayectos del Campo de Volantín, en el que el colector va debajo de la vía del tranvía eléctrico.

También ha sido preciso atacar la galería por pozos colocados lateralmente y traviesas sobre ellos, siempre con el fin de no entorpecer el tránsito.

Siendo 1788,™35 la longitud exacta de esta sección del trozo 2.º del colector núm. III, y su coste de 166.716,29 pesetas, el metro lineal ha resultado á 93,22 pesetas.

Nada de extraño tiene que esta sección resulte más cara que la de agua abajo del mismo trozo de colector, puesto que se han ejecutado en galería grandes trayectos de ella para evitar obstrucciones al tránsito, y estos trayectos vienen á recargar considerablemente el importe de la obra.

Trozo 3.º—Este trozo constituye el emisario principal. Este emisario se ha construído por la vega de Deusto, al pie de la estribación de Archanda, en lugar de llevarlo por los muelles de encauzamiento de la margen derecha, según estaba previsto en el proyecto definitivo. En esta modificación, además de haberse acortado la longitud del emisario en 600 metros, se han salvado las dificultades que hubieran ocasionado las aguas de la ría, cuyas aguas hubieran inundado las excavaciones ejecutadas al trasdós de los antiguos muros en los muelles. También se han evitado de este modo las contingencias que pudieran haber sobrevenido por la ruina casi segura de muchos trozos de aquellos muros, todos ellos escasos de cimientos, cuando se hubieran bajado las excavaciones para la nueva obra al nivel de la baja mar equinoccial.

Empieza este colector ó emisario en el desagüe del sifón de Deusto, próximamente frente al pontón del arroyo Elguera. Arranca en la ordenada 1,70 (sobre la baja mar equinoccial) y termina en el depósito de Zorrozaure, en la ordenada 0.

Se establece en sus primeros 700 metros á lo largo del muelle de encauzamiento, conforme señala el plano general, lámina 1, y luego sigue hasta el depósito por la vega de Deusto.

Tiene 3186,70 metros de longitud y una pendiente uniforme de 0™,00054 y su sección es ovóide con 1™,20 de altura y 0™,80 de ancho máximo (lámina 4, figura 7).

La aportación mayor á que ha de dar paso este emisario es de 500 litros por segundo de tiempo. Se suponía construída de 0^m,20 de espesor uniforme con hormigón de mortero de cemento de Portland y llevando su interior enlucido de este cemento también.

A poco de abrir las excavaciones para las galerías, se notó que aparecía el agua en cantidad no despreciable por el contacto de la capa de fango impermeable que constituye el subsuelo de la vega, con las de arena y tierra que cubren aquélla. Esta circunstancia obligó á aumentar el espesor de la galería para que además de presentar la suficiente resistencia al empuje del terreno, resultará con la debida impermeabilidad y también á agotamientos costosos, para que las aguas de las excavaciones no lavaran el hormigón, llevándose en pos de sí el mortero que lo trababa.

Las excavaciones en general sólo necesitaban entibarse en su proximidad á la superficie, porque el fango del subsuelo era bastante consistente para sostenerse y dar lugar á que pudiera construirse la galería. En vista de esta circunstancia se adoptó el procedimiento de construcción siguiente:

Las bombas para agotar, movidas á mano, se instalaban en el emplazamiento que correspondía al pozo registro de agua abajo del tajo en que se trabajaba, reuniendo las aguas en el pozo, cuya solera se dejaba próximamente de 60 á 70 centímetros más baja que la definitiva. La parte inferior de la excavación de la zanja se cortaba próximamente á la forma de la galería, dejándola 50 centímetros más baja que la solera de la misma, y para recoger las aguas se construía un dren, constituido por tres tablas rodeadas de piedra en seco que formaban canal.

Por este dren iban al pozo de agua abajo las aguas que manaban sobre el fango, y cuando aparecía un manantial importante se le recogía en una tubería y se le conducía á la parte de galería ya construída agua abajo, vertiendo las aguas en el interior de dicha galería, cuyo espesor se atravesaba con un mechinal adecuado.

Así se ejecutó toda la parte del colector de la vega, dando á la galería 30 centímetros de espesor en algunos puntos que se consideraron más expuestos y haciéndola en general de 25 centímetros.

Según se ha dicho, los agotamientos se realizaron con bombas de

mano en los pozos inmediatamente agua abajo de los cortes en que se trabajaba, pero cuando la parte de galería ejecutada adquirió alguna longitud, fué preciso construir un pozo de achique que se estableció próximo al depósito de Zorrozaure, en el camino ó estrada de Arregui, á un lado de la línea del colector y colocar en dicho pozo una bomba de vapor, tipo Duplex, capaz de extraer 15 metros cúbicos por hora, para achicar las aguas que aflúan á la galería por los mechinales de que se ha hecho mención, y las que se vertían en ella procedentes de los agotamientos en los puntos del trabajo, cuyas aguas eran, como es natural, más abundantes en las épocas de lluvia.

Al comenzar los trabajos del emisario general sobre los muelles de encauzamiento de la margen derecha frente á los dique secos, se vió, desde luego, que era imposible ejecutar la obra en la forma empleada anteriormente y que era forzoso cambiar, no sólo el procedimiento, sino los materiales que componen la galería.

A consecuencia de la excesiva permeabilidad del terreno constituido por las gravas y arenas procedentes de los dragados de los antiguos *churrros*, el agua de la ría penetraba en las excavaciones por debajo de la cimentación del muro de encauzamiento, siguiendo las mismas variaciones en su nivel que la de la ría, sin que se notara diferencia alguna entre los niveles de las superficies del agua, dentro de las excavaciones y en la ría.

Como la profundidad de estas excavaciones eran de unos 4 metros, las tierras de los costados y frentes arrastradas por las aguas rellenaban enseguida la excavación, y para contenerlas era preciso clavar de antemano tablestacas de 20 á 25 centímetros por 8 de grueso, provistas de sus correspondiente azuches y contenidas por tres carreras de 21×8 centímetros, apretadas por codales de 10×10 centímetros. Estas tablestacas se hincaban á golpes de marra desde un pequeño andamiaje sostenido por dos burros.

El flujo y reflujó de las aguas, que ya se ha dicho, se transmitían al interior de la excavación como sino existiera muro de encauzamiento, arrastraba las tierras y arenas de entre la grava, formando grandes hoquedades en su interior que ocasionaban hundimientos en todo el camino de sirga, obligando á rehacerlo y á afirmarlo de nuevo.

No era posible en tales condiciones construir la galería con hormigón de cemento de Portland, porque este material se hubiera deslavado antes de que el mortero fraguase.

Por último, como la rasante se encontraba muy baja (1,70 sobre la baja mar equinoccial), había que ejecutar la obra aprovechando las bajamares, porque, es claro, que no podía pensarse en agotar en tales condiciones.

En vista de estos antecedentes, se acordó:

Ejecutar las excavaciones en la forma indicada conteniendo las tierras por medio de un tablestacado, que se hincaba á medida que iba profundizándose la excavación.

Construir la galería con fábrica de ladrillo y mezcla de Portland, apoyando esta fábrica (lámina 4, figura 7) en una solera de sillería de forma apropiada.

Establecer agua abajo una bomba para mantener la excavación libre durante las bajas mareas de las aguas que estaba impregnado el terreno y que aflúan principalmente del lado de la vega, molestando grandemente el trabajo.

Por último, trabajar también durante la noche aprovechando todas las bajamares, atendido á que la obra se iba á ejecutar en el verano y que convenía terminarla lo antes que fuera posible.

Para agotar las aguas de las excavaciones se estableció el achique en el pozo registro, próximo á los talleres de los Sres. Cortadi, dejando provisionalmente la solera de este pozo 50 centímetros inferior á su cota definitiva y colocando una máquina de vapor, tipo Soho, de seis caballos, que movía una bomba centrífuga capaz de extraer 110 metros cúbicos de agua por hora.

La obra se terminó sin contratiempo de ninguna especie.

Siendo 259.445,42 pesetas el importe total de la obra y 3186,69 metros su longitud, resulta el metro lineal á 81,41 pesetas, cifra que, atendidos los gastos de agotamiento y accesorios que la obra ha exigido, no parece exagerada.

En el trozo 1.º de este colector se ha construído un depósito para retener las arenas que pasan principalmente desde las fregaderas de las casas á la canalización. Tiene este depósito 1^m,50 de largo por 1^m,20 de

ancho, y en fondo queda á 1 metro bajo el eje de la tubería; va recubierto por una cámara abovedada de 1^m,80 de altura á la que puede accederse por un pozo de 0^m,60 en cuadro, provisto de una tapa metálica.

El fondo del depósito está puesto en comunicación con una alcantarilla de las antiguas por una tubería de 0^m,30 de diámetro, cerrada por una válvula.

Toda la obra es de hormigón y ladrillo con cemento de Portland.

En el colector núm. I también se ha construído un depósito para retener las arenas.

Sifón de la Merced.

Este sifón, colocado algunos metros agua abajo del puente que le da nombre, está destinado á conducir las aguas que recoge el colector número I de la margen izquierda al pozo origen del trozo 2.º del colector número III de la margen derecha.

Consiste el sifón (lám. 5, fig. 1) en una tubería de hierro tendida sobre el fondo del cauce de la ría, previamente dragado, tubería que se envuelve en un macizo de hormigón de cemento de Portland y que pone en comunicación los dos pozos: uno, término del colector núm. I; y el otro, origen del trozo 2.º del colector núm. II, en la margen derecha.

Para la tubería del sifón propiamente dicho, se han utilizado los moldes exteriores que se emplearon para ejecutar los tubos de cemento armado para la cañería de impulsión. Con estos moldes se construyen los trozos rectos de la tubería del sifón, y las porciones en curva se construyen con trozos ó codos de hierro fundido.

El sifón se ejecuta excavando en el centro de la ría una zanja de 4^m,40 bajo la mar equinoccial, colocando en ella el tubo y envolviéndolo en hormigón, de suerte que la superficie de éste quede en el canal de navegación á 3^m,20 bajo de la baja mar viva.

El diámetro de la tubería del sifón es de 0^m,56, y como tiene una carga de 0^m,17, diferencia entre las ordenadas rojas de las dos bocas del tubo (4,40—4,23), y únicamente 77 metros de longitud, resulta con capacidad sobrada para conducir los 122 litros por segundo que constituye la aportación máxima del colector núm. I.

La ejecución de esta obra se llevó á cabo del modo siguiente:

Mientras se ejecutaba, por medio de dragados, la zanja á través de la ría, en la que había de arriarse la tubería de hierro, se construyó, agua abajo del emplazamiento del sifón, y adosada al muelle de la margen derecha, una planchada, constituída por tablonos horizontales normales á la margen, apoyados en la berma del muelle y en pilotes ó estacas clavadas en el lecho del río.

Sobre esta planchada se montó toda la porción de la tubería de hierro que había de ocupar la parte más profunda del cauce en la longitud necesaria, para que, una vez arriada y colocada en su posición definitiva, sus extremidades quedaran por lo menos 1^m,00 por encima del nivel de la baja mar ordinaria. Al tiempo de ir montando los tubos se iban ejecutando sus juntas, que consisten en roldanas de goma interpuestas entre las bridas de los tubos.

El piso de la planchada quedó 1^m,00 por debajo de la pleamar ordinaria y los extremos del tubo se cerraron herméticamente, dejándolo lleno de aire por medio de tapas de chapa, cada una de las cuales llevaba un taladro provisto de una llave y otro taladro al que se empalmaba un tubo de caucho de 3 centímetros de diámetro y de bastante longitud, para que su extremidad libre quedara siempre sobre el nivel del agua.

Preparada así la tubería y reconocido el fondo de la zanja que había de recibirla á lo largo, de cuyo fondo y transversalmente á la zanja se había construído próximamente equidistantes entre sí seis maestras de hormigón que procuraban otros tantos puntos fijos de apoyo, se suspendió la tubería de cuatro gabarras convenientemente preparadas.

Esta operación se llevó á cabo antes y después de la estoa de pleamar, interrumpiendo la navegación de la ría. Las gabarras iban provistas de sus pescantes con los correspondientes cabrestantes y aparejos, y colocadas de modo que un par de ellas correspondieran á los extremos de la tubería y las otras dos á la parte de ella, que había de quedar en posición aproximadamente horizontal.

Amarrado el tubo y atesados los aparejos se levantó la tubería de la planchada, con el auxilio de la marea con facilidad y también coincidiendo con la pleamar, fué sencillo colocar las gabarras en su posición adecuada por ser en los momentos elegidos casi nula la corriente de la ría.

Seguidamente se comenzó á arriar la tubería y con el auxilio de un buzo, que abrió las llaves colocadas en las tapas de sus extremos, se fué llenando de agua la tubería para aumentar en peso y llevándola paulatinamente, á dejarla perfectamente apoyada sobre las maestras de hormigón.

La operación duró apenas un par de horas y se llevó á cabo con completo éxito.

Arriada la parte de tubería que queda constantemente sumergida, se comenzó enseguida á envolverla en el macizo de hormigón de cemento de Portland que la protege, á construir los extremos de ella y á terminar toda la obra.

El pozo ó cámara de entrada de este sifón (lám. 5, fig. 2) está compuesta de dos compartimientos separados por un tabique, que lleva una abertura de 0^m,50 de luz. Esta abertura va provista de ranuras ó mochetas, en las que de ordinario se coloca una regilla para detener los gruesos y cuando se desee, una compuerta para detener las aguas. El colector núm. I y el ramal *D* desaguan en la primera parte de la cámara, cuyo fondo queda 0^m,50 más bajo que la solera general, constituyendo un depósito para contener los cuerpos pesados. La cámara tiene dos aberturas de 0^m,60 × 0^m,60, una encima del tabique para maniobrar la regilla y la compuerta y otra encima de la entrada del sifón para registrar éste é introducir con facilidad la bola para producir las limpias.

La salida del sifón se ha modificado (lám. 1, fig. 3) torciéndose la tubería de hierro por medio de un codo de 80°, de modo que venga á empalmar suavemente con el trozo 2.º del colector núm. III y después del pozo en que éste pasa de la sección circular á la ovoide.

Este sifón funciona perfectamente: haciéndose las limpias, bien aumentando la carga, represando el agua por medio de las compuertas, bien haciendo pasar por ellas una bola de madera de 0^m,48 de diámetro.

Sifón de Deusto.

El colector núm. II de la margen izquierda se une con el emisario general de la margen derecha por medio de un sifón, colocado 10 metros agua arriba de la desembocadura del arroyo Elguera.

Este sifón está establecido bajo el lecho del río de suerte que no interrumpa la navegación, quedando enterrado en una zanja que se ha abierto en el fondo (lámina 6, figura 1).

Este sifón da paso á la aportación máxima del colector núm. II, que es de 242 litros por segundo de tiempo, por medio de una tubería de hierro de 56 centímetros de diámetro.

Siendo la longitud de la tubería 98 metros y la carga disponible 0^m,40, resulta para velocidad de líquido 0^m,98 por segundo de tiempo.

La tubería está constituida por una serie de trozos de 3 metros de longitud, unidos por articulaciones esféricas y en los extremos por trozos de longitud adecuada á la forma del terreno y codos que se empalman con bridas y tornillos.

Se ha adoptado el sistema de la tubería con articulaciones en vez de sumergir un tubo rígido que abarcara la mayor parte del ancho de la ría, como se ha hecho para los sifones de San Luis en París, porque este último modo exige suspender la navegación durante un periodo de tiempo relativamente largo, cosa que no podía hacerse en Bilbao.

Además hubiera sido necesario un costoso andamiaje flotante para suspender el tubo rígido.

En cambio la tubería articulada con juntas esféricas podía irse arriando desde una grúa flotante, empezando por una de las orillas y colocarse en la zanja de antemano abierta en el fondo de la ría, y guiada esta operación por buzos se alcanzaría la orilla opuesta.

Los trozos extremos del tubo se completarían aprovechando para empalmarlos las bajamares vivas, y toda la tubería se envolvería, por último, en un macizo de hormigón hidráulico.

Para facilitar la obra en el lecho del río, la Junta de Obras del Puerto dragó hasta la profundidad á que alcanzan sus aparatos, lo que implicó la extracción de 5.000 metros cúbicos, en punto en que con ello no ganaba nada la navegación, por tener el cauce profundidad bastante para ello.

Después de efectuado el dragado por la Junta del Puerto, se procedió á la apertura de la zanja, á que no alcanzaba la escala de la draga, por medio de buzos y á la colocación de la tubería.

Las juntas de la tubería se hacían interponiendo entre ellas una cha-

pa de plomo de 2 milímetros y virolas del mismo material y espesor bajo las tuercas y cabezas de los pasadores. En la porción esférica, la junta se retacaba con filástica.

La colocación de la tubería en el fondo del río no ofreció dificultad, y se llevó á cabo modificando el procedimiento antes descripto. Se sumergieron los tubos, armados en tres grandes trozos, de 18 metros el primero, de 36 el segundo y de 21 el último, haciendo los buzos las dos juntas intermedias bajo el agua y las extremas, aprovechando las bajamares.

Para arriar los trozos de la tubería, se armaban en la orilla, y se les daba la rigidez necesaria trincándoles á vigas de madera de fuerte esquadria con cuerdas y cadenas. Estos conjuntos, cuyo peso mayor fué de 20 toneladas, los cogía una grúa flotante y los llevaba al emplazamiento en donde habían de sumergirse, cuya operación se ejecutaba guiada por los buzos.

Colocada la tubería en la zanja, se envolvieron primeramente con mortero hidráulico todas las juntas, poniendo sobre ellas una caja de palastro, dos de cuyas paredes tenían muescas circulares, dispuestas en forma adecuada para abrazar el tubo, y vertiendo en dicha caja el mortero.

Todas estas operaciones se practicaron con buzos, consiguiendo cubrir las juntas de modo que se asegura su impermeabilidad.

Por último, á lo largo de tubo, se vertía el hormigón, rellenando los espacios entre los macizos de las juntas, cubriendo todo con escollera procedente de las excavaciones de la zanja.

La obra ejecutada, además de la colocación propiamente dicha de la tubería, ha consistido en la excavación, bajo el agua, de 130 metros cúbicos en roca y 800 metros cúbicos en grava y fango, y en el vertido de 316 metros cúbicos de hormigón y 342 metros cúbicos de escollera.

Depósito regulador.

Esta obra, emplazada en el paraje llamado Zorrozaure, en el que termina por la parte de agua abajo la vega de Deusto, se compone (lámina 6, fig. 2) de dos compartimientos iguales, que tienen 59 metros de longitud por 35 de anchura. La solera de estos compartimientos se esta-

blece á 2 metros por debajo del nivel de bajamar equinoccial, y es de hormigón hidráulico de mortero de cemento de Portland, lo mismo que los muros de recinto y el divisorio. La cubierta de cada uno de los compartimientos está formada por bóvedas por arista, también de hormigón hidráulico de cemento de Portland, cuyas bóvedas se apoyan en 45 pilares intermedios de 3 metros de altura, y tienen 5 metros de luz y 0^m,40 de espesor.

En el emplazamiento de la obra se encontraba la cayuela, cerca de la superficie, por la parte del muro S. y en el ángulo S.E.; y el fango negro, resto de las antiguas marismas que forman la vega, constituía lo demás del subsuelo de aquel emplazamiento.

Con estos antecedentes, se proyectó cimentar los muros y pilares en el plano de ordenada — 4,00 (4 metros bajo la mar equinoccial), directamente sobre la roca donde fuera posible, y sobre pilotaje en aquellos parajes en donde la cayuela ó marga no apareciese á dicha profundidad.

El procedimiento que se había conceptuado más ventajoso para llevar á cabo esta obra era: hacer primero la excavación general hasta la ordenada 0 (nivel de la bajamar equinoccial); bajar luego las excavaciones correspondientes á los macizos de los muros y pilas, entibándolas hasta la ordenada — 4,00; y proceder á ejecutar la cimentación, clavando los pilotes en donde no apareciese la roca, y vertiendo el hormigón, después de enrasados aquéllos, en la ordenada citada.

Se comenzaron las excavaciones, que continuaron con relativa facilidad, y también se hizo la cimentación del muro de recinto S., que tampoco ofreció contratiempo, por asentarse directamente sobre la roca; exigiendo, sin embargo, algunos agotamientos de los pequeños manantiales que surgían entre el cascajo que aparecía sobre la marga.

Se intentó luego continuar la cimentación del muro de recinto O. por el procedimiento indicado, y notando ya que el empuje del terreno era considerable, se adoptó para entibación de las excavaciones, el clavar á uno y otro lado de las zanjas filas de tablestacas de 0^m,10 de espesor, hincadas más profundas que el nivel de la plataforma de cimentación (— 4,00), y contenida por largueros apoyados en puentes ó maderos transversales á la excavación.

A pesar de la resistencia de esta entibación, no fué posible contener

el terreno del recinto, que se corría hacia la parte excavada. Para lograrlo, hubiera sido necesario apoyar la entibación en un pilotaje más costoso que la cimentación misma.

Era debida esta dificultad á la naturaleza sumamente comprensible del fango, que no ofrecía apoyo alguno á los tablestacados del interior del recinto, cediendo á su presión y levantándose en la superficie.

Estos inconvenientes, agravados por la persistencia de las lluvias de aquel verano y otoño, que mantenían inundadas las excavaciones, indicaron la necesidad de modificar el procedimiento adoptado para la cimentación de la obra.

Dado que la capa de fango negro, comprensible é impermeable, presentaba en algunos puntos 12 metros de espesor y se apoyaba en una de arcilla, variable de 1^m,60 á 4^m, 24, que quedaba separada de la cayuela ó marga por otra capa de cascajo de 0^m,78 á 2^m,80 de altura, se consideró lo más conveniente el construir la cimentación sobre pozos, que se hincaban hasta el terreno firme, excavando en su interior y cargando dichos pozos con pesos adecuados. Los pozos se rellenarían luego con hormigón, y sobre ellos se construirían los muros y pilares.

Se acordó construir, ante todo, los muros del recinto exterior, bajando las excavaciones hasta donde fuera factible y proceder luego á la hincada de los pozos, cuya situación correspondía con la línea de pilares.

Una vez hincados los pozos, fácil era correr la cimentación, puesto que dichos pozos servían de apoyo á las entibaciones que hubiera que colocar para ejecutar los macizos de hormigón que formaban puente entre los pozos.

Al propio tiempo, y para sanear las excavaciones, se ejecutó un pozo de achique al O. del emplazamiento de la obra, en el punto en que la roca estaba más profunda, bajando la línea de dicho pozo todo lo que fué posible hasta la ordenada (— 10^m,75).

En este pozo se colocó una bomba de vapor sistema Tangye, capaz de sacar 32 metros cúbicos de agua por hora. Al pozo iban á desaguar todas las zanjas y drenes que se establecieron para sanear las excavaciones del recinto.

Construídos los muros de recinto, y contenido por ellos el terreno, podían ya llevarse á cabo, con seguridad completa, todas las excavacio-

nes interiores y hacerse por pozos, ó directamente, las cimentaciones de los pilares.

Conforme á estas indicaciones, se modificó el procedimiento de cimentación. Las paredes de los pozos se hicieron de ladrillo, sostenido por cerchas de madera, atirantadas con pasadores de acero, y así los pozos resultaban más económicos que si se hubieran ejecutado con anillos de hierro fundido.

Se prosiguió la construcción de los muros de recinto en la forma que queda indicada, y á pesar de las facilidades que con ella se conseguían, no dejaron de presentarse inconvenientes y tropiezos mientras se ejecutaba la cimentación.

El empuje de las tierras del recinto, agravado por las lluvias frecuentes en los primeros meses del año, fueron causa de que algunos pozos se corrieran hacia el interior del recinto, saliéndose de los ejes de la cimentación.

Ocurrió éste en la parte N. de los muros del E. y del O., y fué preciso hincar otros pozos en las mismas líneas, pero exteriores, para, entre éstos y los primeros, voltear arcos que sirvieran de apoyo al cuerpo del muro, impidiendo que quedara volado sobre el cimiento.

Hubo pozo del cimiento del muro del E. que se corrió 0^m,75 y para contener los movimientos del terreno en la parte del O., fué necesario hincar exteriormente al recinto dos pozos más.

Construido el muro de recinto el resto de la obra no ha ofrecido dificultad, algún pozo que otro de la cimentación de los pilares ha exigido agotamientos que se han llevado á cabo con una pequeña bomba de vapor Tangye, capaz de extraer 8000 litros por hora.

Más tarde, cuando ya se terminó la cimentación, se instaló en el depósito la caldera con la máquina de vapor tipo Soho y bomba centrífuga, empleada para los agotamientos del colector núm. III. Desde que se instalaron estas máquinas fué necesario mantener el achique, porque siempre afluyó por el emisario, ya terminado, alguna cantidad de agua.

Al depósito se le ha dado, con el fin de evitar contingencias en lo porvenir, mayor cabida que la que señala el proyecto. En ambos compartimientos y hasta el nivel que corresponde á la máxima aportación del emisario caben 12170 metros cúbicos.

El importe líquido de la obra y cimentaciones de la casa de máquinas ha ascendido á 611.478,53 pesetas, y como la cabida del depósito es, según se ha dicho, de 12.170 metros cúbicos, resulta el metro cúbico de capacidad por 50,24 pesetas todo gasto incluido, cifra no exagerada atendidas las dificultades que la cimentación de la obra ocasionó y estar incluidas en ellas las cimentaciones de la casa de máquinas.

A la entrada del colector núm. III en el depósito se ha ejecutado una cámara separadora de gruesos (lámina 7, figura 1), que la experiencia ha hecho ver que era indispensable.

Las aguas traen multitud de restos en suspensión que conviene impedir pasen á las bombas, para evitar en ellas accidentes ó por lo menos para asegurarlas una marcha regular.

Al proyectar las obras ya se había contado con este inconveniente y se habían dispuesto en los vanos, por donde vierten las aguas al depósito, rejillas movibles que detuvieran estos detritus.

La cantidad de ellos es tan grande, que no fué suficiente la primera precaución tomada, y ha sido necesario ampliarla y mejorarla construyendo una cámara especial, separadora de gruesos.

Consiste ésta en un recinto abovedado, construído en el punto extremo en que el colector núm. III intesta en el depósito. El colector se ensancha y se divide en tres canales, por donde el agua sucia pasa antes de entrar en la galería del muro divisorio. En estos canales se colocan rejillas inclinadas, de barrotes de fleje de 10×30 milímetros, distanciados entre sí 20 milímetros, que detienen todos los restos que el agua sucia arrastra.

Un operario está empleado todo el día, con una rastrilla, en mantener expeditas estas rejillas. Los restos se extraen por medio de cubos, y se depositan en dos tanques para que enjuguen el agua en que están empapados, rociándolos, inmediatamente después de depositados, con sulfato de hierro y cal viva para que no desprendan olor.

La cámara se ha ejecutado con hormigón de cemento de Portland, y se ha enlucido con mortero del mismo cemento.

Con estas cámaras y las rejillas de los vanos, por donde vierte el agua al depósito, queda evitado por completo el paso á las bombas de objetos que pueden perjudicar su buena marcha.

Máquinas y bombas para la elevación de las aguas de alcantarilla.

Al hacer la descripción general del proyecto, indicamos que en el depósito de Zorrozaure se instalarían los juegos dobles de máquinas y bombas que han de elevar las aguas sucias que el colector general número III vierta en el depósito y las han de impulsar por una cañería hasta la boca del túnel de la Galea.

Cada uno de estos juegos de máquinas y bombas debe ser capaz de elevar 130 litros por segundo de tiempo, á 25 metros de altura, trabajo equivalente al total de la elevación é impulsión por la cañería citada.

Se anunció un concurso para el suministro de las citadas máquinas, cuyas principales condiciones eran:

«*Artículo 1.º* Suministrar dos bombas, con sus motores de vapor, generadores y accesorios, capaces cada una de un rendimiento mínimo efectivo de 130 litros, elevados á 25 metros de altura en cada segundo de tiempo.

»*Artículo 5.º A.* El gasto de vapor que necesita cada máquina para su trabajo normal, es decir, impulsando cada una á la bomba correspondiente, cuya bomba deberá desarrollar el efecto útil que determina el artículo 1.º, no excederá de 12 kilogramos de vapor por caballo y hora, estimado en agua elevada.

»*B.* Este gasto de vapor se apreciará midiéndolo en agua inyectada en los generadores por las bombas de alimentación. Es decir, que se deducirá, haciendo la medida por un procedimiento adecuado, la cantidad de agua de alimentación en un tiempo determinado, y esta cantidad se comparará con la cantidad de agua que en el mismo tiempo eleve la bomba á 25 metros de altura.

»*Artículo 7.º A.* Los generadores deben estar dispuestos en forma tal que sea capaz cada uno de vaporizar 8 kilogramos de agua, á la presión normal á que funcione, por kilogramo de combustible.

»*B.* El combustible á que se refiere el apartado anterior es el menu-do ordinario que en la localidad se emplea, cuya potencia calorífica oscila entre 6 y 7000 calorías, y tiene 7 á 8 por 100 de cenizas.

»C. La potencia de vaporización que señala el apartado A, supone que la alimentación del generador se efectúa con el agua procedente de la condensación.

»D. La potencia de cada generador se llevará á cabo midiendo durante un intervalo de tiempo determinado la cantidad de agua de condensación que la bomba de alimentación haya introducido en la caldera y comparando esta cantidad de agua con el peso de combustible empleado en el hogar durante aquel tiempo.

»Artículo 21. Si el resultado de las pruebas fuera deficiente, el constructor se compromete á corregir en el plazo de dos meses las deficiencias que se hubieran notado; siendo de su cuenta todos los gastos que por este concepto se ocasionen.

»Si el resultado de las segundas pruebas no correspondiese á lo estipulado en condiciones, las máquinas quedarán á beneficio del Municipio, pero el constructor perderá el segundo y tercero de los plazos del importe del suministro.

»Artículo 22. El pago del suministro se hará por el Ayuntamiento en tres plazos iguales, cada uno de la tercera parte del importe total fijado para las máquinas, y en la forma siguiente: El primer plazo se abonará al aceptarse y firmarse los planos definitivos de las máquinas por el ingeniero director y el contratista. El segundo después de practicadas las pruebas y recibidas las máquinas. El tercero á los seis meses de recibidas las máquinas. Este último plazo devengará un interés de 6 por 100 anual á favor del constructor.»

El pliego de *La Maquinista Terrestre y Marítima*, de Barcelona, fué el que ofreció mejores condiciones, y á ella se le adjudicó el suministro; pero después de dejar transcurrir cuatro meses del plazo señalado para presentar los planos, se limitó á pedir explicaciones de los artículos 5.º, 7.º y 21 del pliego de condiciones que hemos transcrito, artículos perfectamente inteligibles.

Después de una enojosa discusión sobre la interpretación dada por el Ayuntamiento á los artículos citados, distinta de la que daba la casa, renunció al suministro y hubo de encargarse de ello la casa de los *Señores James Simpson y Compañía y T. A. Greenhill*, autores de la proposición que seguía en mérito á la de *La Maquinista Terrestre y Marítima*,

quien, con su conducta poco seria, retrasó considerablemente la construcción de las máquinas.

Los *Sres. Simpson y Greenhill* se comprometieron á ejecutar el suministro conforme al pliego de condiciones, entregando unas máquinas cuyo consumo de vapor por caballo y hora será de 11,250 kilogramos, y cuyos generadores tendrán una potencia de vaporización no inferior á la que fija el artículo 7.º del pliego de condiciones.

Los *Sres. Simpson y Greenhill* presentaron los planos definitivos, que fueron aceptados.

La instalación consiste en:

- 2 máquinas de vapor, sistema *Worthington*, de triple expansión y condensación de superficie, actuando directamente sobre las bombas;
- 3 calderas, sistemas *Babcock y Wilcox*, provistas de recalentadores de vapor;
- 1 economizador *Green*, establecido en el conducto de humos;
- 3 bombas para la alimentación, y
- 1 grua móvil en la sala de máquinas.

Cada juego de máquinas y bombas es doble, y montadas en *tandem*.

Los cilindros de las máquinas de vapor tienen de diámetro, respectivamente:

Alta presión.	203 milímetros.
Media presión	305 »
Baja presión.	508 »

Los de las bombas son de 432 milímetros, y las carreras de todos los émbolos es de 380 milímetros.

La presión en los cilindros de alta es de 6,8 atmósferas, y la velocidad de los émbolos de 27^m,50 por minuto.

Cada caldera tiene una superficie de caldeo de 31^m,90 cuadrados, 0^m,99 cuadrados de parrilla, y trabajan á 8,1 atmósferas de presión.

Las bombas para alimentación son también del sistema *Worthington*, y la grua de la sala de máquinas tiene 5 toneladas de fuerza.

Efectuadas las pruebas, dieron un resultado satisfactorio, resultando

las máquinas, calderas, bombas y accesorios cumpliendo con todas las condiciones impuestas por el pliego de las facultativas del concurso.

Este pliego señalaba un gasto de vapor de 12 kilogramos por caballo hora, apreciado en agua elevada, y el resultado de las pruebas dió, únicamente, un consumo de 10,620 kilogramos para la misma unidad.

La vaporización por kilogramo de combustible debía ser en las calderas de 8 kilogramos de agua, y las pruebas definitivas dieron una vaporización de 8,280 kilogramos.

El agua elevada á 25 metros de altura en estas circunstancias de trabajo fué de 133,5 litros por segundo de tiempo, excediendo en 3,5 litros á los 130 que exigían las condiciones.

Tanques sépticos para alimentar los condensadores y calderas.

Siendo indispensable que las máquinas tengan condensación para que su trabajo resulte económico, hace falta disponer del agua necesaria para la circulación de los condensadores, y de la que compense las pérdidas en la alimentación de los generadores.

Con tal objeto, y según los datos suministrados por los constructores, hacían falta 7 litros de agua por segundo.

Esta cantidad de agua no puede conseguirse en el paraje en donde se ejecutó la instalación, porque el pozo que se abrió en el ángulo S.E. de la casa de máquinas para recoger todas las filtraciones del terreno durante la construcción del depósito, y que ha quedado para el servicio, no procura suficiente agua para atender á tan importante consumo. Además, el agua que recoge es muy poco á propósito, porque tiene 0,36 gramos de sulfato de cal por litro, 0,40 de sulfato de magnesio y 0,19 de carbonato de cal, y llenaría de concreciones á los condensadores de superficie.

Siendo inadecuada el agua del pozo, lo que se ocurre desde luego para procurarla, es llevar el agua de la ría, que no esta muy distante. Puede conseguirse esto de dos modos: ó llevando las aguas por medio de una alcantarilla, cuya solera quedará algunos centímetros más baja que el nivel de la baja mar equinoccial, para asegurar la alimentación en

todo tiempo, ó colocar una tubería que condujera las aguas por aspiración, mediante el empleo de un juego de bombas adecuado.

Veamos lo que estas soluciones importarían.

La primera exige: un pozo para tomar el agua de la ría, con su compuerta, tapón y demás accesorios, cuyo pozo se establecería en la carretera de Las Arenas; una galería de conducción ó alcantarilla de 400 metros de longitud y $0^m,90 \times 0^m,60$ para poder ser visitada, con sus pozos registros, y cuya cota debería establecerse á la (- 0,10).

El importe de estas obras, teniendo en cuenta que la cota media de la excavación sería de 4 metros, lo valuaremos como sigue:

Expropiación: 800 metros cuadrados.	5.000	pesetas.
Pozo y accesorios.	5.000	»
Alcantarilla.	32.000	»
	<hr/>	
<i>Suma.</i>	42.000	pesetas.

La segunda solución necesita: un pozo para tomar el agua, con sus accesorios y compuertas; una cañería, que debe ser de hierro fundido para evitar fugas; un juego de bombas.

La disposición general sería parecida á la instalada en el Ródano para abastecer de agua á la villa de Lyon, salvo lo reducido de escala en nuestro caso.

Sentados estos precedentes, el importe de esta segunda solución puede apreciarse por las siguientes consideraciones:

Hay que tomar el agua, en el caso extremo, en la ordenada.	0,00
Para elevarla á la ordenada (suelo de la casa de máquinas).	+ 2,00
	<hr/>
Resultando para altura total de elevación.	+ 2,00
Como la aspiración media de las bombas representa.	7,00
	<hr/>
<i>Queda para carga disponible.</i>	5,00

y teniendo la tubería 400 metros de longitud, y siendo el volumen por segundo que debe conducir 0,007 metros cúbicos, es necesario un diámetro de 0,120.

Las bombas deberían elevar 7 litros á 7 metros, produciendo un tra-

bajo útil por 1" de $7 \times 7 = 49$ kilográmetros, y consumiendo, por lo tanto, $\frac{49}{0,60} = 81,6$ kilográmetros, ó algo más de un caballo. Representa esto un gasto anual de carbón de 520 pesetas, que, sumado á las grasas é importe de las reparaciones, elevaremos á 600 pesetas.

Resultaría con estos antecedentes el importe que sigue:

Expropiaciones: 500 metros cuadrados.	3.500	pesetas.
Pozos y accesorios.	5.000	»
Cañería de fundición y accesorios.	10.000	»
Bombas (dos juegos): su coste	3.000	»
Su trabajo, capitalizado al 5 por 100.	12.000	»
<i>Suma.</i>	33.500	pesetas.

Esta solución, aunque más económica que la primera, es también cara; y ambas presentan el inconveniente de emplear las aguas de la ría, que llevan gran cantidad de materias de suspensión.

Se ocurrió entonces purificar ó depurar las aguas de alcantarilla, después de elevarlas en la cantidad necesaria para el servicio de los condensadores, empleando la *Bacteriolisis* y aprovechando los trabajos llevados á cabo en Sutton y Exeter y los estudios de J. B. Dibdin, el distinguido químico que fué del *County Council* de Londres.

Para lograr el objeto, se emplean los llamados tanques sépticos, es decir, el procedimiento usado primero en Exeter y ya en muchas poblaciones de Inglaterra, y propuesto en Sevilla por el distinguido ingeniero D. José Ochoa, bajo las indicaciones del autor de este proyecto.

Este procedimiento, cuya patente tiene *The Septic Tank Syndicate* de Exeter, consiste en el empleo combinado de las bacterias anaerobias y aerobias para la depuración completa de las aguas de alcantarilla.

Entran éstas primero, y sin previa preparación ni tratamiento alguno, en un tanque cerrado é incomunicado por completo del aire exterior.

En este tanque, y merced al trabajo de los microorganismos anaerobios, los compuestos orgánicos que las aguas llevan en suspensión y disolución se deshacen, y disminuyen también la materia no disuelta.

Se produce un principio de depuración de las aguas, deshaciéndose

en parte los compuestos amoniacales y combinándose el nitrógeno con el oxígeno, por obra de tales bacterias.

El agua, al salir del tanque séptico, pasa á un filtro de escarbilla de cok, en la que acaba de purificarse por completo por las bacterias aerobias. El amoniaco albuminóide se reduce considerablemente y lo mismo el libre, convirtiéndose en ácido nitroso y ácido nítrico, que se combinan con los compuestos básicos que existen en las aguas, formando nitritos y nitratos.

Las aguas, al salir de los filtros, resultan muy puras y pueden conservarse, sin que indiquen señales de descomposición.

En apoyo de este aserto, á continuación copiamos el resumen de los análisis practicados por el citado W. J. Dibdin con las aguas de alcantarilla tratadas en Exeter por este procedimiento:

	MILÍGRAMOS POR LITRO											
	Oxígeno absorbido; en cuatro horas, del permanganato de po- tasa.	Amoníaco.		Clorina.	Nitrógeno.		Sólidos en suspensión.			Sólidos en disolución.		
		Libre.	Albuminóide.		En nitritos.	En nitratos.	Minerales.	Orgánicos.	Total.	Minerales.	Orgánicos.	Total.
Media de 12 muestras del agua sucia	29,0	54,0	3,0	71,50	»	»	113,0	207,4	350,4	200,2	237,4	437,6
Media de 13 muestras del agua al salir del tanque	20,1	39,5	2,5	72,9	»	»	50,0	111,5	161,5	230,2	203,8	439,0
Depuración por 100	30,7	26,9	17,5	»	»	»	»	»	»	»	»	»
Media de 19 muestras al salir de los filtros	5,5	24,4	1,1	75,8	3,6	5,0	»	»	»	290,3	346,1	636,4
Depuración de las aguas de los tanques por 100	72,4	38,3	55,5	»	»	»	»	»	»	»	»	»
Depuración total del agua sucia por 100	80,3	54,9	63,2	»	»	»	»	»	»	»	»	»

Dicho queda que la filtración por la capa de escarbilla de cok ha de ser intermitente, es decir, que de tiempo en tiempo debe el filtro vaciarse por completo para que pueda renovarse el aire en su interior y procurarse el oxígeno indispensable á la vida de los microbios que en él trabajan.

Tal es en esencia el procedimiento del ingeniero Donald Camerón, que creemos el más perfecto por fundarse únicamente en el tratamiento biológico de las aguas sucias y que se aplica á la purificación de las necesarias para la condensación de las máquinas de Zorrozaure.

Hechas estas ligeras indicaciones describiremos los tanques y filtros construídos en aquel punto. Los tanques y filtros se establecen (lámina 7, figura 2) en la ladera, frente á la casa de máquinas, en la faja de terreno comprendido entre el ferrocarril de Las Arenas y el camino de Ibarrecolanda á Zorrozaure.

Según se vé en la figura sólo se ha hecho la instalación de un juego de tanques y filtros, pero todo queda dispuesto para construir más adelante otro filtro y poder disponer de 15 litros por segundo, de agua depurada.

Los tanques tienen 24 metros de longitud cada uno por 3^m,50 de ancho. Son de hormigón de cemento de Portland, cubiertos de una bóveda del mismo material, y todos sus paramentos interiores van enlucidos con cemento de Portland, yendo redondeados todos los ángulos interiores.

El agua se introduce en los tanques (lámina 8, figura 1) por medio de cuatro tomas *a a a a*, dos para cada tanque, repartidas á lo largo del canal de introducción *b b*, que desaguan á 1^m,00 bajo la superficie del agua dentro del tanque. El agua sucia viene al canal de introducción desde dos cámaras de llegada *c c*, pasando á través de rejillas *d d* para detener los sólidos que pudieran ir flotando. En las cámaras de llegada vierten los tubos que traen el agua sucia y se regula la aportación de agua por medio de las válvulas de flotador, que el dibujo señala y de modo que la introducción de agua corresponde á la marcha de la filtración en los filtros de escarbilla de cok.

Cada tanque lleva tres registros *m, m, m*, para visita, cuyos registros van herméticamente cerrados por tapas de fundición y su fondo tiene pequeñísima pendiente hacia los extremos en dirección de la marcha del

agua. En los extremos de los tanques y en dirección perpendicular á la mayor longitud, existe en el fondo una canal de sección triangular *e*, que termina en un tubo de grés de 15 centímetros, con una ranura. Estas canales y tubos tienen por objeto concurrir á la limpia del fondo de los tanques, limpias que serán necesarias muy de tarde en tarde, porque conforme hemos indicado y se observa en Exeter, los microbios deshacen los sólidos y apenas hay depósitos en el fondo de los tanques.

Desde los tanques va el agua al canal de salida, pasando por un tubo de fundición *f*, provisto de una ranura en su parte inferior, por cuya ranura se introduce el agua. Esta ranura queda 0^m,50 por debajo del nivel medio del agua en el tanque y el tubo de fundición lleva dos ramales, por donde el agua pasa al canal de salida *h*.

Las bocas de estos ramales van provistas de válvulas que se manioبران desde la parte superior de los tanques, por medio de varillas *ad hoc* y el fondo del canal de salida presenta la misma disposición que el del extremo de los tanques; es decir, que lo forman dos planos inclinados, en cuyo encuentro hay un tubo de grés provisto de su ranura. Esta disposición tiene también por objeto facilitar las limpias del canal de salida y tanto este último tubo como los colocados en el fondo de los rebajos de los tanques, van á desaguar en un pozo de limpieza, teniendo sus bocas provistas de válvulas en la forma que detallan los dibujos.

Desde el canal de salida pasa el agua al *aereador i*, constituido por una artesa de hierro fundido, por cuyo fondo entra el agua para verse en lámina de escaso espesor por sus dos costados longitudinales, sobre dos canales semicirculares de grés que la recogen y la llevan á la cámara de acceso á los filtros *j*. El espesor de la lámina de agua en los vertederos del *aereador* se regula mediante una válvula colocada en la boca del tubo que la toma del canal de salida. Esta válvula la maneja un flotador colocado dentro de un cilindro de grés de 0^m,60 de diámetro, que á la altura conveniente va provisto de un taladro por el que sale ó se introduce el agua en el cilindro, haciendo que baje ó suba el flotador. El cilindro que encierra ésta va colocado en un compartimiento en comunicación con las canales que reciben el agua del *aereador*. Según sea mayor ó menor la altura de la lámina de agua en los canales y en el compartimiento en que está colocado el cilindro, si el agua rebasa del taladro

que éste lleva, entrará en él, hará subir el flotador, cerrará la válvula y disminuirá por tanto la cantidad de agua que llegará al *aereador*, hasta que quede descubierto el taladro y las aguas vuelvan á su nivel normal.

Una vez el agua en la cámara de acceso á los filtros, pasa á éstos desde el fondo de esta cámara, siendo conducida por una tubería de grés *l*, de 38 centímetros, que queda embebida en el muro que longitudinalmente constituye el eje de los filtros (lámina 8, figura 2).

Estos son cuatro, y debiendo funcionar alternativamente y además permanecer cargados y vacíos el espacio de tiempo necesario para que los microbios puedan practicar su trabajo y proveerse luego de la cantidad de oxígeno conveniente para su nutrición y desarrollo, existen con tal objeto en el camino que el agua sigue para llegar á los filtros unos distribuidores ó aparatos *n n*, que automáticamente realizan la distribución del agua, de modo que mientras un filtro está llenándose de agua, otro está vaciándose, el tercero completamente lleno para que las bacterias realicen su trabajo, y el cuarto completamente vacío y oxigenándose para procurar medio ambiente á aquéllas.

Estos distribuidores son sencillamente válvulas maniobradas por el peso del agua, que llena unas veces la caja correspondiente á una válvula para abrirla y se vacía de la caja correspondiente á otra válvula para cerrarla.

Los filtros son cuatro y están constituidos por compartimientos de 12^m,50 de longitud por 7^m,50 de anchura, con muros y solera de hormigón de cemento de Portland. La capa filtrante tiene 1^m,22 de espesor y es de escarbilla de cok. El agua, después de pasar por un registro y por el distribuidor, se reparte sobre toda la superficie de cada filtro, mediante una tubería de grés *o*, de 22 centímetros, de las que parten otras cuatro en forma de canales semicirculares, distribuidas uniformemente y tendidas paralelamente á la menor dimensión de los compartimientos.

En el fondo de cada uno de éstos y para recoger el agua filtrada existen 21 filas de tubos de grés *p*, perforados, de 7 centímetros de diámetro, que afluyen á un tubo *q*, de 15, que luego aumenta á 22 y empalma con la parte inferior del distribuidor correspondiente.

Por último, todas las aguas filtradas se recogen en una tubería de 30

centímetros de diámetro, embebida en el muro divisorio y colocada bajo la tubería que trae el agua á los filtros.

El agua filtrada se vierte en un depósito colocado al E. de los filtros y de allí se toma para los condensadores.

Veamos ahora el precio de esta instalación.

Por patente y aparatos deben satisfacerse 550 libras esterlinas, que al cambio corriente en la época en que se compraron, son 19.000 pesetas, y la tubería de grés necesaria costó 6200 pesetas, de modo que tendremos:

Expropiación.	5.000 pesetas.
Excavaciones.	1.500 »
Construcción de los filtros.	15.000 »
Patente y aparatos.	19.000 »
Tubería de grés	6.200 »
	46.700 pesetas.
<i>Suma.</i>	

De esta cantidad, bastante crecida, hay que rebajar el trabajo de las bombas de circulación, que queda suprimido completamente con la disposición adoptada.

Como los condensadores están colocados en la ordenada (+ 4,50), y hubiera sido necesario elevar los 7 litros que por segundo consumen á esta altura, el trabajo, contando pérdidas, resultaría algo más de medio caballo.

Hubiera importado, por tanto, al año más de 400 pesetas, y equivaldría, capitalizado al 5 por 100, como hemos hecho antes, á 8000 pesetas.

Descontando esta cantidad del costo de los filtros, quedan para importe de la solución propuesta 36.700 pesetas.

Resulta, adoptándola, un exceso de gasto, sobre la más barata de las anteriores, de 3200 pesetas, cantidad que carece de importancia y que está más que compensada con las ventajas de disponer siempre de agua pura, no sólo para la circulación de los condensadores, sino para alimentar las calderas cuando sea necesario, á cuyo efecto, el agua que se requiera será filtrada á través de una capa de arena.

Trabajan los tanques y filtros desde que se echaron á andar las má-

quinas con excelente resultado, suministrando agua clara é inodora, perfectamente adecuada al objeto para que se la destina.

Conforme con las indicaciones recibidas de los Sres. Camerón y Commin, de Exeter, inventores del tratamiento bacterial que se emplea en Zorrozaure para depurar las aguas sucias, la capa filtradora debía estar formada por escorias más ó menos vitrificadas, procedentes del carbón quemado en hogares de calderas.

Se constituyó, en efecto, con esta materia el relleno de los filtros, pero sea por la calidad de la escoria empleada, sea porque ésta no estaba suficientemente vitrificada, los filtros que llevaban más de un año funcionando comenzaron á empastarse y á filtrar en muy medianas condiciones. Se pensó en cambiar la substancia filtrante, y practicados los ensayos adecuados, se optó por formar la capa interior del filtro por cantos rodados, de 1 á 2 centímetros de grueso, recubiertas de otra capa de 20 á 25 centímetros de altura y constituidos por cantos rodados de 1 centímetro.

Los interesantísimos estudios referentes á la depuración de las aguas sucias por los procedimientos biológicos, deberán llevarse á cabo con ayuda del distinguido jefe del Laboratorio Municipal, á fin de que la I. Villa de Bilbao, ya que ha sido la primera que en España ha instalado estos modernos procedimientos, contribuya también á divulgar por la Península las enseñanzas que de estos estudios se desprenden, y sea modelo que deben imitar en estas materias desde la capital de la monarquía hasta la última de las provincias; todas ellas, por desgracia, bien atrasadas en todo lo concerniente á higiene y saneamiento.

Casa de máquinas, chimenea y torre piezométrica.

Las máquinas y calderas van encerradas en un edificio, cuya disposición puede verse en la lámina 9.

Consta el edificio de dos cuerpos, uno para las máquinas y otro para las calderas. El primero tiene 17 metros de fondo por 12 metros de ancho, y el segundo 14^m,30 por 12^m,40. El piso de ambas salas está establecido en la ordenada (+ 2,00) y como el terreno está en la (+ 6,00), queda á 4 metros bajo él, accediéndose á cada una de las salas por

escaleras de hierro, cuya disposición y situación respectiva indican los planos.

Los muros son de hormigón de cemento de Portland, bajo el terreno, y de ladrillo, sobre él, con paramentos del mismo material prensado, zócalos de sillería caliza y cornisas y remates de sillería arenisca.

Las cubiertas de estos edificios son de zinc, á cuatro aguas, con lucernarios de cristales. Van sostenidas por armaduras Polonceau, de pares de madera y tirantes de hierro.

Las armaduras son aparentes por el interior, y van decoradas con un embonado sobre la tablazón. Los muros de hormigón llevan en la casa de máquinas un revestimiento de azulejos blancos esmaltados, con rodapié de mármol y un revestimiento de ladrillo prensado en el compartimiento de calderas. Sobre estos revestimientos, y correspondiendo á la altura que sobresale del terreno, van los muros enlucidos interiormente con mortero de cemento de Portland, sobre el que se extiende una pintura al esmalte de tono conveniente.

El piso de la casa de máquinas es de baldosín prensado, y el de la sala de calderas de losas de arenisca.

El departamento de las máquinas tiene su ingreso por la fachada N., y ventanas en los lados E. y S. El de calderas lo tiene por la fachada O., y vanos en las que miran al N. y S.

Todos los generadores se sirven de una chimenea, construída frente al lado O. de la casa que los encierra.

Tiene esta chimenea 25 metros de altura y es de ladrillo el fuste, con un cuerpo inferior cuadrado de 5 metros de altura, también de ladrillo, con zócalo y cornisa de sillería caliza.

El agua sucia, impulsada por las bombas, pasa, antes de entrar en la cañería de impulsión propiamente dicha, por la torre piezométrica, que en realidad constituye una parte de dicha cañería. La torre lleva en su interior un tubo de hormigón armado, colocado verticalmente, y en el que el agua se elevará á la altura correspondiente á la carga que deba tener para alcanzar la ordenada de entrada en el túnel, dando la cañería de impulsión el gasto que corresponda á las bombas.

Es decir, que el agua impulsada por las bombas va directamente á la torre piezométrica; del pie de ésta salen los tubos de 0^m,22 que alimen-

tan los tanques sépticos y filtros, y por último, también de dicha torre y á la misma ordenada de las que arrancan los anteriores tubos, parte la cañería de impulsión.

La torre se ha colocado en la ladera y al N. de los tanques y filtros, á la altura correspondiente á la ordenada (+ 10,00). Consta de un cuerpo inferior de 4 metros en cuadro y 4^m,50 de altura, que tiene un zócalo de sillería caliza, una cornisa de sillería arenisca y los paramentos de ladrillo. El cuerpo superior octogonal, de 12^m,50 de altura, tiene las aristas y cornisa de sillería arenisca con entrepaños de ladrillo prensado. Va coronado con un antepecho dispuesto análogamente por lo que hace á los materiales que lo componen.

En el interior de la torre va colocada una escalera helizoidal, cuyo eje ocupa el tubo vertical de hormigón armado y cuya escalera recibe la luz necesaria de vanos practicados en los entrepaños del cuerpo octogonal.

Como anejo á la instalación de máquinas y calderas, se ha construído una carbonera para almacenar el combustible que éstas consumen.

Esta carbonera se ha colocado bajo el terreno y con su piso al nivel de la sala de calderas. Es de hormigón de cemento de Zumaya, enlucida con mortero de este cemento, y puede contener 150 toneladas de carbón ó aproximadamente el consumo de un trimestre. El carbón puede descargarse directamente desde el carro ó volquete por una abertura abierta en la bóveda de la carbonera, abertura que se tapa con un cierre de hierro fundido. Una puerta de comunicación establecida en la sala de calderas, permite sacar con facilidad el combustible necesario para la marcha de éstas.

También se ha construído un pequeño taller y almacén, adosado á la sala de máquinas y en comunicación con ella. En este almacén se guardarán el aceite y demás efectos de consumo, los materiales de repuesto y de conservación. En el taller se han instalado las herramientas necesarias para las pequeñas reparaciones, que son: un banco de ajustador, un torno de filetear de 0,125 de altura de puntas, una máquina de taladrar hasta 32 milímetros, terrajas, sierra y demás herramienta adecuada.

En la sala de máquinas se ha montado un contador Venturi y un teléfono, en comunicación con el Palacio Ayuntamiento.

El contador Venturi funciona de un modo completamente satisfactorio, y en una hoja que se renueva semanalmente señala la cantidad de agua que elevan las máquinas por hora, además de ir anotando en las esferas del contador propiamente dicho, el número de metros elevados por las máquinas y empujados á lo largo de la cañería que manda las aguas al túnel de la Galea.

El servicio de elevación de aguas sucias ha quedado organizado del modo siguiente:

- 1 Maquinista jefe.
- 3 Maquinistas segundos.
- 3 Fogoneros.
- 3 Peones auxiliares.

El maquinista jefe es directamente responsable del servicio todo y semanalmente debe llenar un parte, enviando á la Dirección del Saneamiento con este parte, la hoja correspondiente del contador Venturi.

Cañería de impulsión.

Las bombas del depósito del Zorrozaure impulsan las aguas sucias que extraen por una cañería de 60 centímetros de diámetro interior hasta la galería de entrada en el túnel de la Galea.

Esta cañería arranca del depósito y se establece por el camino de carros que bordea la ladera del monte de Cabras hasta la línea de muelles de la ría, cuya línea sigue hasta Axpe.

Desde este punto el trazado continúa por la Vega de Lamiaco, ciñéndose al del ferrocarril de Las Arenas, que se cruza en las proximidades de la nueva fábrica de tubos forjados. Sigue luego, paralelamente al ferrocarril hasta el río Gobelas, por cuyo valle sube hasta alcanzar la galería de acceso, al túnel de la Galea.

La longitud del primer trozo, que comprende desde el depósito hasta Axpe, es de 3880 metros, y la del segundo, que se extiende desde Axpe hasta el túnel, de 6027^m,40, dando un total de 9907,40 metros.

En perfil (lámina 10, figura 1) se ciñe la tubería á las ondulaciones del terreno, quedando como término medio 1^m,50 bajo la superficie del

terreno, suavizándose las curvaturas bruscas aumentando ó disminuyendo esta dimensión ligeramente.

En punto alguno queda la cañería con una ordenada roja superior á la de la boca de entrada del túnel de la Galea (9,70 metros).

La cañería lleva ventosas en los puntos altos y llaves de desagüe en los bajos.

La cañería es de cemento armado, siguiendo el ejemplo de París, en las obras últimamente construídas para llevar las aguas de los colectores de Clichy al parque agrícola de Acheres. Se ha simplificado, sin embargo, bastante el armazón metálico de los tubos respecto de lo que allí se hizo, prévias las pruebas en la prensa hidráulica, necesarias para cerciorarse del resultado satisfactorio del modelo de tubería adoptado en este caso.

Los perfiles de los hierros, que en París eran de sección en cruz, se han reemplazado aquí por hierros redondos de laminación corriente. Se ha suprimido el tubo de palastro interior y en las juntas se ha prescindido también de la plancha de amianto allí usada.

Los tubos tienen 65 milímetros de espesor y unos 3 metros y otros 2 de longitud, habiéndose adoptado esta diferencia de largos para facilidad en la colocación de los empalmes. Llevan en sus extremos un rebajo de 40 milímetros de profundidad por 55 de ancho, que sirve para formar la junta.

Las juntas (lámina 11, figura 1) se hacen á tope con filástica y luego se pasa un manguito de 250 milímetros de longitud por 100 milímetros de espesor y 770 de diámetro, rellenando el espacio entre el manguito y los tubos con cemento de Portland.

Por el interior de los tubos un muchacho que se introducía en ellos retocaba las rebarbas de la filástica y cubría la junta con un enlucido de cemento.

El armazón metálico de los tubos (lámina 11, figura 2) está constituido por una serie de aros de acero redondo, de 10 milímetros de diámetro, unido con soldadura á fuego. El diámetro del eje de los aros es 660 milímetros, y se colocan equidistantes 72 milímetros de eje á eje. Las varillas, dispuestas según las generatrices del cilindro tubo, son de acero, de 6 milímetros de diámetro y tienen 3 metros de longitud. Van

colocadas normal é interiormente á los aros directores, distribuidas en la circunferencia de éstos, haciéndose la unión con un atado de alambre.

Son en número de 20 y su separación media, medida en el aro, es de 103,5 milímetros.

El armazón se completa con dos bandas ó fajas de chapa, que se disponen exteriormente á las extremidades de las varillas. Tienen estas fajas 100 milímetros de anchura y 1,5 de espesor, y la chapa va taladrada en todo su desarrollo para que el mortero trabé mejor con ella.

El armazón metálico que se ha descrito, va embebido en el cuerpo del tubo, que es de mortero de cemento de Portland, de las proporciones siguientes:

Cuando la arena estaba seca:

Cemento.	300 kilogramos.
Arena	400 litros.
Agua.	180 id.

Cuando la arena estaba mojada:

Cemento.	300 kilogramos.
Arena	300 litros.
Agua.	160 id.

El cemento de Portland empleado es el de fabricación corriente en Boulogne-sur-Mer, y debe presentar, amasado puro, una resistencia de 20 kilogramos por centímetro cuadrado á los siete días, y de 35 kilogramos por centímetro cuadrado á los veintiocho días.

La arena procede de las minas de Algorta; es silícea y bien seca, deja en tamiz de 324 mallas por centímetro cuadrado, un 36 por 100 de residuo en peso. Antes de emplearla, como formaba grumos, se tamizaba á través de una rejilla con 30 mallas por centímetro cuadrado.

El agua que se empleó en la confección del mortero es dulce.

Los moldes para fabricar los tubos eran de palastro y estaban constituidos por dos cilindros, que se apoyan en un platillo de fundición. Según puede verse (lámina 10, figura 2), este platillo (cuya sección transversal se representa amplificando las dimensiones transversales para que se destaque bien su forma) lleva los rebajos convenientes para colocar

los moldes exterior é interior y el armazón metálico, que va entre ellos, en su posición exacta.

Los moldes exteriores de los tubos (lámina 10, figura 3) se reducen á un cilindro de chapa, partido en dos porciones iguales, según dos generatrices correspondientes á un plano diametral. La unión se hace por dos hierros de ángulo exteriores que se cosen con pasadores.

Los moldes interiores (lámina 10, figura 4) son también dos medios cilindros, pero para facilitar el desarmarlos y sacarlos del tubo, el empalme de las dos mitades no se hace exactamente según un plano diametral, sino según un corte en forma de cuña, que constituyen dos hierros de ángulo interiores, entre los cuales se introducen unas agujas también en forma de cuñas y con una ranura central. Estas agujas colocan á los medios cilindros interiores en su posición exacta y la unión se consolida con pasadores que atraviesan á los hierros de ángulo y á las agujas.

Los moldes exteriores de los anillos de junta presentan la misma disposición que las de los tubos, y los interiores tienen tres cortes helicoidales que facilitan su desarme en tres piezas (lámina 10, figura 5).

La fabricación de los armazones se montó de una manera sumamente sencilla é ingeniosa.

Los aros se obtenían amoldando en frío á un patrón ó plantilla circular las varillas de acero. Los extremos se soldaban á fuego. La comprobación del diámetro y el ajuste se hacía introduciéndolos á golpes en un mandril cónico, cuya base mayor correspondía al diámetro interior exacto de los aros.

Los aros que correspondía á cada tubo, se colocaban en un bastidor de madera (lámina 11, figura 3) constituido por cuatro listones horizontales, en los que se han practicado unas entalladuras equidistanciadas por la separación que han de conservar los aros. Los cuatro listones se sujetan á los brazos de tres cruces con cuñas y dos pequeños tornillos, cuyo objeto es mover convenientemente los listones, para que apretados los aros los sostengan en la posición que han de tener en el armazón.

Las varillas de 6 milímetros se disponen interiormente á los aros y se distribuían, introduciendo sus extremos en dos discos de chapa, en cuyo contorno van taladros que distan la separación que han de conservar las varillas.

Así montados los aros y las varillas, se atan unos á otros con alambre y las fajas ó bandas de chapa de los extremos se colocaban sobre las varillas, atándolas también con alambre. De esta manera se fabricaban los armazones de los tubos con gran rapidez. Los de los anillos de junta se ejecutaron del mismo modo.

En el paso de la cañería por el río Gobelas, se ha ejecutado la obra desviándolo provisionalmente para colocar la tubería en el lecho del río, envuelta en un macizo de hormigón hidráulico de Zumaya.

En el cruzamiento de la cañería por el río Asua y el río Udondo, se han hecho dos pequeñas obras que no ofrecen particularidad alguna.

La primera consiste en un puente acueducto de tres tramos metálicos independientes, de 13 metros de luz el central y de 11 metros de luz los laterales. Estos tramos se apoyan sobre los tajarques de agua arriba de las pilas y estribos del puente de fábrica existente, á cuyo objeto se han modificado convenientemente las fábricas de estas pilas y estribos.

Los tramos se componen de dos cuchillos de 1 metro de altura, de montantes y diagonales, distantes entre sí 0^m,90 y arriostrados por cartelas, sirviendo las inferiores para apoyo de la tubería. Esta se coloca en el interior de las vigas, y en el paso de los ríos se ha reemplazado la de cemento armado por una de palastro de 0^m,60 de diámetro, ejecutada aprovechando los moldes exteriores que sirvieron para confeccionar aquellos tubos.

Así se ha conseguido disminuir el peso de la tubería y el volumen que ocupa dentro de los cuchillos, que convenía acercar entre sí todo lo posible.

La ejecutada para pasar el río Udondo, es un puente acueducto de un sólo tramo, de 13 metros de luz, de análoga disposición que el anterior.

Agua arriba de estas obras, la cañería de impulsión presenta en cada una una llave de paso y una de desagüe, con el fin de poder vaciar las aguas sucias en cualquiera de estos puntos, cuando por averías en dicha tubería, ó por otra circunstancia cualquiera, así conviniera.

También se han colocado registros con ventosas en los puntos altos de la cañería de impulsión, según puede verse en el perfil longitudinal, puntos 20, 49, 103 y 118.

Los codos bruscos de la tubería y los trozos para unir á la misma las piezas especiales correspondientes á las llaves y ventosas, son de hierro fundido. La unión de los tubos de hormigón armado con estas piezas, se consigue con una de hierro fundido de enchufe y brida, en donde entran aquéllos haciéndose las juntas con filástica y cemento de Portland.

Estas piezas especiales no presentan particularidad alguna y se ha preferido construirlas de hierro fundido á ejecutarlas de palastro como se hizo en París, por considerar aquel material más propio para el caso.

Teniendo esta cañería de impulsión, según se ha dicho: 9907,40 metros y siendo su coste total de 505.638,63 pesetas, ha costado el metro lineal á 51,04 pesetas, coste que resulta económico si se tiene en cuenta que comprende también todas las obras correspondientes á los pasos de los ríos Asua, Udondo y Gobelás, y todas las piezas accesorias y anejos, como son las llaves y ventosas, con sus arquetas y sus piezas especiales de empalme.

Túnel de la Galea.

Termina la conducción en el túnel de la Galea, de 2759,50 metros de longitud y con pendiente constante de 1 por 1000.

El túnel tiene la sección que detalla la figura 1, lámina 12 y arranca del valle de Guecho, en punto próximo al empalme de la carretera de Guecho con la general de Algorta á Plencia, terminando en una pequeña ensenada, al N.E. del faro de la Galea.

Con objeto de facilitar la perforación del túnel y multiplicar los puntos de ataque (lámina 12, figura 2), se abrieron tres pozos intermedios, cuyas profundidades son, numerando los pozos según la marcha de las aguas:

Pozo número 1.	44,55 metros.
Pozo número 2.	61,68 »
Pozo número 3.	77,57 »

Las longitudes de los tramos en que con estos pozos ha quedado dividido el túnel, son:

Boquilla de entrada al pozo número 1.	803,58 metros.
Pozo número 1 al pozo número 2.	577,79 »
Pozo número 2 al pozo número 3.	526,02 »
Pozo número 3 á la boquilla de salida.	852,11 »
	<hr/>
<i>Longitud total.</i>	<u>2759,50</u> metros.

La boquilla de entrada estaba constituida por un pozo de 9^m,75 de profundidad y el tramo comprendido entre esta boquilla y el pozo número 1, fué preciso subdividirlo por otro pozo auxiliar, con objeto de multiplicar el ataque, porque el avance por la galería de entrada resultaba si no muy lento á causa de las dificultades de la perforación, debidas á lo falso del terreno.

Este pozo auxiliar, situado á 352 metros del de entrada, tiene 18^m,89 de profundidad.

Los pozos han exigido todos ellos entibaciones, que se fueron reemplazando por revestimientos de ladrillos, porque dichos pozos se han dejado abiertos para ventilación de el túnel y facilitar su visita.

Para la extracción de los productos de las excavaciones de los pozos y galerías, se estableció una grúa giratoria de mano y tres toneladas de fuerza en el pozo de entrada, y tornos de extracción de vapor en los pozos número 1, 2 y 3.

En el pozo auxiliar se colocó un malacate movido por caballerías. Por las galerías circulaban mesillas sobre carriles, movidas á mano, las que se vaciaban por los pozos, y con caballerías, las de la boca de salida.

El viento se procuró á los frentes de trabajo por ventiladores centrífugos, movidos por las máquinas de vapor de los tornos con auxilio de transmisiones adecuadas, y á mano las correspondientes á la boca de salida.

A excepción de los siete primeros metros del pozo auxiliar y del terreno correspondiente á la boquilla de entrada, todo el resto lo constituyen las margas ó calizas arcillosas (cayuela) del cretáceo, rocas desprovistas de fósiles y que se descomponen completamente cuando quedan expuestas á la intemperie.

Los siete primeros metros del pozo auxiliar se han abierto en arcillas, y la galería correspondiente á la boquilla de entrada á través de

bancos de roca, alternando con capas de arcilla que envuelven grandes cantos y bolsadas de arena. En todos los pozos y en la boca de entrada, han aparecido aguas abundantes, que obligaron á costosos agotamientos y dificultaron mucho la perforación.

Esta ha sido muy penosa en la boca de entrada, en donde además de entibaciones robustas, se hizo indispensable ejecutar el revestimiento á continuación del frente de ataque, dejando entre uno y otro el menor tramo compatible con el trabajo.

Salvo las boquillas de la galería en el pozo auxiliar y algún otro punto aislado, todo el resto de la perforación no ha exigido entibaciones.

Para facilitar los agotamientos en las galerías se ejecutaron éstas en pendiente hacia los pozos y las bocas, haciendo en los pozos cuencos para recoger las aguas. Estas rasantes provisionales se rectificaron luego rellenando las porciones que quedan bajo la definitiva.

Interín se profundizaban los pozos y se emboquillaban las galerías que arrancan de ellos, fué necesario hacer los achiques con los mismos baldes que servían para la extracción, cuyos baldes se llenaban de agua en el fondo de los pozos por los operarios dedicados á esta operación.

Cuando ya no hubo temor á los barrenos se colocaron bombas de vapor para el achique, montando una Duplex capaz de elevar 12 metros cúbicos de agua por hora en cada uno de los pozos número 1 y 2, y una especial Tangye, que puede agotar 15 metros cúbicos por hora, en el pozo número 3.

En el pozo auxiliar las aguas continuaron sacándose con los baldes y el malacate, y para agotar las de la galería de entrada se colocó una máquina de vapor vertical de ocho caballos, que ponía en movimiento una bomba centrífuga capaz de sacar 90 metros cúbicos por hora.

Una de las operaciones que ha exigido mayor esmero, atendida la escasa sección del subterráneo, ha sido el replanteo de la alineación, tanto en planta como en rasante. Para llevarla á cabo, después de practicar una triangulación con objeto de deducir la longitud exacta entre los puntos extremos, se construyeron en el eje cinco torres de fábrica para referir de una á otra la alineación, con ayuda de un teodolito.

Desde estas torres se señaló con toda exactitud la línea en las bocas

de los pozos, que tienen 4 metros de longitud en sentido del eje; á uno y otro lado de cada pozo se colocaron dos fuertes piquetes de madera empujados en macizos de mampostería; en estos piquetes y en el punto exacto se clavó una estaquilla de hierro, cuya cabeza plana y perpendicular al eje llevaba un ojo de 1 milímetro de diámetro que quedaba exactamente en la línea.

Por estos ojos se pasaba un alambre que se atirantaba entre ellos y materializaba sobre el pozo el eje del túnel, que luego se refería por plomadas tangentes al alambre al fondo del pozo. De este modo se podía fácilmente rectificar la línea en el pozo, sin necesidad de acudir á la observación desde las torres.

En el interior se usó para señalar la alineación un teodolito de mina, repitiéndose las observaciones con frecuencia para comprobar la dirección de las galerías.

La rasante se refería al interior, del modo siguiente: en la boca de cada pozo se colocaba una regla dividida, perfectamente horizontal y paralela al eje del túnel; sobre la regla y paralelo también á ella, se tendía un alambre, uno de cuyos extremos pasaba por una polea colocada en el borde del pozo y llevaba una plomada, mientras que la otra extremidad se arrollaba en un torno próximo al extremo de la regla.

La plomada, que pendía en el pozo, mantenía tenso el alambre y la regla servía para medir con bastante precisión la longitud de alambre desarrollada por el pozo.

De este modo se ha replanteado la línea en el interior, resultando que todos los calamentos se han encontrado perfectamente.

La perforación de las galerías se ha ejecutado toda á brazo y ha presentado algunas dificultades, que ya se han señalado, debidas á la escasa consistencia del terreno en la boca de entrada y á la abundancia de aguas en algunos puntos.

Todas las galerías se han perforado en cayuela, excepción de la correspondiente á la boca de entrada, que ha exigido entibación en el tramo comprendido entre la boca y el pozo A.

El revestimiento es de ladrillo de espesor variable, según la naturaleza más ó menos consistente del terreno, entre 0^m,42 y 0^m,56 (asta y media y dos astas) y se apoya en arcos escarzanos, que insisten en los

astiales del pozo. Además lleva otros arcos de descarga de la misma clase, colocados cada 10 metros.

En la galería propiamente dicha el revestimiento varía según la consistencia del terreno. Entre la boca de entrada y el pozo auxiliar *A*, tramo en el que el terreno se presentaba, según se ha indicado, muy falso y en el que hubo que usar entibaciones para sujetarlo, se adoptó (lámina 12, figura 3) ejecutar los estribos y la bóveda de tres roscas de ladrillo á media asta ó de 0^m,42 de espesor. El espacio comprendido entre el trasdós del revestimiento y el terreno, se rellenó con mampostería en seco, bien apretada. En este tramo ocurrió repetidas veces que fué preciso perder las entibaciones, dejándolas tras del revestimiento por ser imposible retirarlas.

Entre el pozo auxiliar *A* y el pozo núm. 3 (fig. 4), el revestimiento se construyó también de ladrillo estribos y corona, haciéndolo de dos roscas ó de 0^m,28 de espesor. El relleno entre el terreno y el revestimiento se hizo con mampostería con mezela, hasta 1 metro por encima de la solera de la cuneta, y con mampostería en seco todo el resto, incluyendo la corona. Entre el pozo núm. 3 y la boca de salida (fig. 5) pudieron hacerse los estribos de mampostería, por encontrarse en las proximidades de aquélla un banco de marga bastante consistente para aprovecharlo; la corona se ha revestido con dos roscas de ladrillo y el relleno al trasdós de ella es de mampostería en seco.

Ha sido indispensable revestir toda la galería entre el pozo auxiliar y la boca de salida, porque aunque la marga que constituye el tramo se presenta al principio muy consistente, en contacto con el aire se descompone y se desprenden con facilidad los lisos.

Al proyectar la obra del túnel se conceptuó posible aprovechar para su revestimiento, principalmente para los estribos, parte de los bancos de piedra, á través de los cuales se practicaba la perforación. No se ha juzgado prudente este empleo, dado lo deleznable de la roca, circunstancia que ha obligado al uso del ladrillo en la casi totalidad del túnel.

Todo el revestimiento se ha ejecutado con mezela hidráulica de cemento de Zumaya, constituida por una parte de cemento en volumen y tres de arena. En los rellenos interiores se ha usado la marga misma procedente de la excavación, lo que no presenta inconveniente alguno por

no estar en ella expuesta la piedra á los agentes atmosféricos que lo destruyen.

La trinchera proyectada de acceso al túnel se ha substituído por una galería, cuya sección (fig. 6) tiene 1^m,50 de altura y 1 metro de ancho y una banqueta de 0^m,30 de ancho, que deja un espacio de 0^m,70 \times 0^m,50, donde se ha construído la cuneta para las aguas. Esta galería tiene 255 metros de longitud y una pendiente de 1 milímetro por metro. Reemplaza con ventaja y economía á la trinchera que se proyectó primeramente y va toda ella revestida de ladrillo ordinario de 0^m,30 de espesor.

Su ejecución no ha ofrecido dificultad alguna atendido á la naturaleza del terreno, constituído por arcillas bastantes compactas.

El coste definitivo de la obra del túnel de la Galea ha sido 1.130.454,13 pesetas, resultando el metro lineal á $\frac{1130454}{2918,60} = 387,22$ pesetas, puesto que se han ejecutado 2769,50 metros de túnel propiamente dicho y 149,10 metros de galería de acceso, que hacen la longitud total.

Este precio, teniendo en cuenta que comprende la perforación y el revestimiento de los cuatro pozos del túnel, que suman en junto 202^m,69 de longitud, las torres edificadas en sus entradas y las demás obras accesorias, no resulta muy elevado, teniendo también en cuenta lo que han importado los agotamientos.

Comparación de lo que ha costado el Saneamiento en Bilbao con el de otras poblaciones.

Terminada la descripción de las obras construídas para el Saneamiento de Bilbao, haremos una comparación de lo que han costado en otras poblaciones, comparación que extenderemos á los gastos de explotación y conservación.

El importe efectivo de las obras ha sido de 5.453.611,90 pesetas, cifra que, referida á las 90.000 almas que hoy encierra Bilbao, arroja por habitante un gasto de 60,60 pesetas. Este importe cae dentro de límites prudentes, si se compara con lo que en otras poblaciones se ha invertido en análogo objeto.

En Londres, para una población de 4.750.000 almas, se llevaban gas-

tadas en 1900, 7.750.000 libras esterlinas, no incluyendo en esta cifra el importe de alcantarillas, ni ramales secundarios; correspondiendo por habitante 52,00 pesetas, al cambio de 34.

En París se habían gastado 200.000.000 de francos en 1896, para sanear una población de 2.571.600 habitantes, resultando por habitante 79,63 francos ó 108,80 pesetas, al cambio de 136.

En Buenos Aires, para 600.000 almas, se han invertido 2.693.112 libras, lo que arroja por habitante 153,00 pesetas, al cambio arriba citado.

Sydney, con 426.950 habitantes, ha gastado 4.115.713 libras, lo que dá por habitante 327 pesetas.

Para sanear los barrios de Shamberg, Wilmersdorf y otros, al Oeste, de Berlín, que sólo cuentan hoy con 150.000 almas, van á gastarse 8.092.000 pesetas.

Pudiéramos seguir citando ciudades y presupuestos, pero basta lo apuntado para demostrar que el importe de lo que en Bilbao se ha gastado para sanearlo, nada tiene de exagerado y el gasto por habitante ha resultado más bien reducido que alto, principalmente si se piensa que la edificación en una parte importante de las calles saneadas no es aún completa y puede albergar con holgura una población de más de 10.000 almas sobre la existente.

Si del importe que las obras han tenido pasamos á examinar los gastos correspondientes al funcionamiento de las bombas y á la vigilancia y conservación de la red, la comparación resulta también favorable para Bilbao.

En efecto, el gasto anual de la I. Villa será como sigue:

Oficina central.	12.000,00 pesetas.
Elevación de aguas de Zorrozaure. . .	48.000,00 »
Vigilancia y conservación de la red. . .	30.000,00 »
Varios é imprevistos.	10.000,00 »
	<hr/>
<i>Suma.</i>	<u>100.000,00 pesetas.</u>

lo que corresponde á 1 peseta por año y habitante, para una población de 100.000 almas y á 1,11 pesetas para una de 90.000 como la actual.

En Berlín durante el año de 1894-95 y para una población de 1.660.000 almas, se gastaron por habitante:

Elevación de aguas sucias.	0,400	marcos.
Vigilancia y conservación de la canalización.	0,166	»
Gastos en los campos de depuración.	0,070	»
<i>Suma.</i>	<u>0,636</u>	marcos.

que al cambio de 1,70 pesetas el marco, hacen 1,08 pesetas.

En París se gastaron en 1896 las sumas siguientes:

Oficina central, personal técnico y varios.	736.510	francos.
Vertederos del E. Su explotación.	445.430	»
Vigilancia y conservación de la red de alcantarillas.	2.956.620	»
Dragados en las desembocaduras de los colectores.	192.500	»
Epuración de las aguas sucias.	858.100	»
<i>Suma.</i>	<u>5.189.160</u>	francos.

que representa para 2.511.600 almas un gasto anual por habitante de 2,07 francos ó 2,82 pesetas.

En Amsterdam durante el año 1895 y para una población de 456.000 habitantes, saneada por el sistema de Liernur, el gasto anual por habitante fué de 1,25 francos ó 1,70 pesetas.

En Londres solamente la explotación de las instalaciones destinadas á verter las aguas sucias en el Támesis y á portear los barros y gruesos á alta mar, costó en 1896 las sumas siguientes:

Instalación de Barking.	2.251.388	pesetas
Instalación de Crouners.	1.327.048	»
Gánquiles.	1.430.040	»
<i>Suma.</i>	<u>5.268.476</u>	pesetas

que para la población de aquel año, que era de 4.433.018 habitantes, re-

presenta un gasto, por este sólo concepto, por habitante y año de 1,18 pesetas.

Resulta que también por lo que afecta al importe de los gastos correspondientes al funcionamiento del conjunto de obras, Bilbao aparece en excelentes condiciones.

Breve estudio de las actuales condiciones higiénicas de Bilbao.

Comenzaremos por examinar el crecimiento de la población para deducir en lo posible coeficientes exactos y que no adolezcan del defecto de los que de ordinario estampan las estadísticas, las cuales, salvo los años que coinciden con la práctica de un recuento de los habitantes, se evalúan sobre poblaciones menores que las efectivas.

Las estadísticas municipales, que sirven de base para este estudio, están calculadas sobre los contingentes siguientes de población:

Años.	Habitantes.	Años.	Habitantes.
1894	61.107	1899	74.142
1895	66.205	1900	74.142
1896	66.000	1901	83.213
1897	66.409	1902	83.213
1898	74.142	1903	83.213

Se comprende, desde luego, que el número de habitantes de la villa no pudo permanecer estacionario en años determinados como supone el cuadro anterior, y que tienen que resultar inexactas las deducciones que sobre tal base se levanten.

De estos censos sólo podemos aceptar como exactos los que se estampan en los años 1895, 1898 y 1901, porque al expirar los años citados se hicieron los recuentos correspondientes.

Del examen de estos tres censos, se deduce que la población de Bilbao ha ido en creciente aumento y el crecimiento se habrá mantenido

probablemente seguido y constante, y no habrá ocurrido por la serie de saltos bruscos que señala el cuadro anterior y que pone más claramente de manifiesto el gráfico (lám. 13), en el que con línea llena negra se representa la marcha que ha tenido la población de la villa, según las estadísticas oficiales.

Veamos de deducir la ley de este crecimiento para calcular la población verdad en los años que carecen de censos.

Hechos algunos tanteos, se ha encontrado que la curva que mejor representa la ley que se busca, es la que tiene por ecuación

$$\frac{Y}{a} = b^x,$$

cuyos parámetros a y b deduciremos por los censos oficiales exactos de los años 1895 y 1901.

De la ecuación $\frac{Y}{a} = b^x$ deducimos $\log y - \log a = x \log b$.

Tomando el origen de coordenadas en el año 1888 y substituyendo los valores de los censos de 1895 y de 1901, haremos

$$\begin{aligned} x = 7 & \cdot y = 66200 \\ x = 13 & \cdot y = 83200 \end{aligned}$$

deduciendo

$$\begin{aligned} \log 66200 - \log a &= 7 \log b & \cdot & \quad 4,82086 - \log a = 7 \log b \\ \log 83200 - \log a &= 13 \log b & \cdot & \quad 4,92012 - \log a = 13 \log b \end{aligned}$$

restando

$$0,09926 = 6 \log b$$

ó

$$\log b = 0,0165433$$

y

$$b = 1,04.$$

De la cuarta,

$$\log a = 4,92012 - 13 \times 0,0165433 = 4,7050571 \quad y \quad a = 50705 \text{ ó } 50700.$$

La ecuación de la curva que representa el crecimiento de la población de Bilbao, será pues

$$\frac{Y}{50700} = 1,04^x,$$

que nos dá para la villa las poblaciones reales que siguen, redondeando cifras:

1894.	$x = 6$	»	$y = 63.900$
1895.	$x = 7$	»	$y = 66.200$
1896.	$x = 8$	»	$y = 68.700$
1897.	$x = 9$	»	$y = 71.500$
1898.	$x = 10$	»	$y = 74.200$
1899.	$x = 11$	»	$y = 77.100$
1900.	$x = 12$	»	$y = 80.100$
1901.	$x = 13$	»	$y = 83.200$
1902.	$x = 14$	»	$y = 86.400$
1903.	$x = 15$	»	$y = 90.200$

La curva del crecimiento se ha dibujado con línea llena de tinta y se ve que representa perfectamente la verdad del fenómeno.

De las estadísticas oficiales que publica el Municipio, se han deducido los estados que siguen:

Años.	Número de defunciones.	Número de nacimientos.
1894	2583	2868
1895	2461	2880
1896	2195	2936
1897	2410	2962
1898	2387	3012
1899	2436	2797
1900	2796	3055
1901	2768	3111
1902	2504	3348
1903	2577	3320

Años.	COEFICIENTE DE MORTALIDAD.		COEFICIENTE DE NATALIDAD.	
	Oficial.	Rectificado.	Oficial.	Rectificado.
1894	42,47	40,42	46,94	44,88
1895	32,64	32,64	43,50	43,50
1896	33,25	31,95	44,48	42,70
1897	36,29	33,70	44,71	41,52
1898	32,04	32,04	40,64	40,64
1899	32,87	31,59	37,74	36,28
1900	37,63	34,86	41,22	38,09
1901	33,27	33,27	37,39	37,39
1902	30,09	28,98	40,24	38,74
1903	30,97	28,57	39,90	36,80

En este último estado los coeficientes que llamamos *rectificados* se han calculado sobre el número de habitantes, deducidos de la ecuación antes encontrada.

Se ha representado en el gráfico las curvas de estos coeficientes. Las de *natalidad* van de trazo y punto y las de *mortalidad* de trazo. Con trazo grueso se han dibujado las curvas oficiales y con fino las rectificadas.

Del examen de estas curvas se deduce, que desde el año 1900 en que comenzaron á funcionar las obras de saneamiento, las condiciones higiénicas de la villa han mejorado, puesto que la curva representativa de los coeficientes de mortalidad, viene en descenso.

Presenta esta curva dos puntos altos correspondientes á los años 1897 y 1900, debidos á las defunciones que ocasionó la viruela, epidemia que arrebató respectivamente 418 y 351 existencias, y que no ha logrado desterrarse por completo; pues en el año 1902 ocasionó también 292 defunciones, circunstancias que ponen de manifiesto lo que cuesta introducir hábitos de limpieza y de higiene en ciertas clases y acabar con añejas preocupaciones arraigadas en ellas.

Las curvas de natalidad se conservan desde 1900, próximamente,

constantes y ha crecido considerablemente desde entonces también la diferencia entre las ordenadas de las curvas de natalidad y de las de mortalidad, diferencia que representa el incremento anual de la población, cuyo incremento alcanzó su máximo en el año 1902.

La mejora en la salubridad de la villa la patentiza también el estudio de la mortalidad debida á las fiebres tifoideas.

Se ha deducido el estado que sigue de los datos estadísticos oficiales, y en él se indica el número de defunciones debidas á estas fiebres infecciosas y los coeficientes de mortalidad por mil, apreciados sobre la población rectificada.

Años.	Defunciones.	Coficiente.
1894	27	0,42
1895	35	0,53
1896	37	0,54
1897	32	0,45
1898	103	1,40
1899	56	0,73
1900	59	0,74
1901	48	0,58
1902	37	0,43
1903	31	0,34

Resulta que desde el año 1900 viene en constante disminución la mortalidad por fiebres infecciosas, habiendo alcanzado el mínimo de 0,34 en el año último de 1903.

Como resumen de estos ligeros estudios, y aunque para poder apreciar las ventajas del saneamiento sea indispensable un plazo de tiempo mucho más largo, cabe asegurar, que desde que las obras han empezado á prestar servicio y según han ido injertándose en la nueva red las edificaciones de la villa, ha ido también mejorando la salubridad de ella.

También puede afirmarse que si se hiciera desaparecer en muchas

viviendas la aglomeración de gentes, prohibiendo la habitabilidad de locales que carezcan de la suficiente ventilación y luz y limitando el número de personas que pueden vivir en las que sean aptas; si se dota á la villa de un surtido de buena agua potable en cantidad suficiente para desterrar de las cocinas los grifos de agua de la ría, aparatos perfectamente adecuados para propagar en las viviendas gérmenes infecciosos, se conseguiría en pocos años bajar el coeficiente de mortalidad á una cifra que pudiera compararse ventajosamente con la de las ciudades más higiénicas, y hacer de Bilbao, cuyo clima excelente á ello contribuiría, la estancia más sana y agradable de la Península.

FIN.

ÍNDICE.



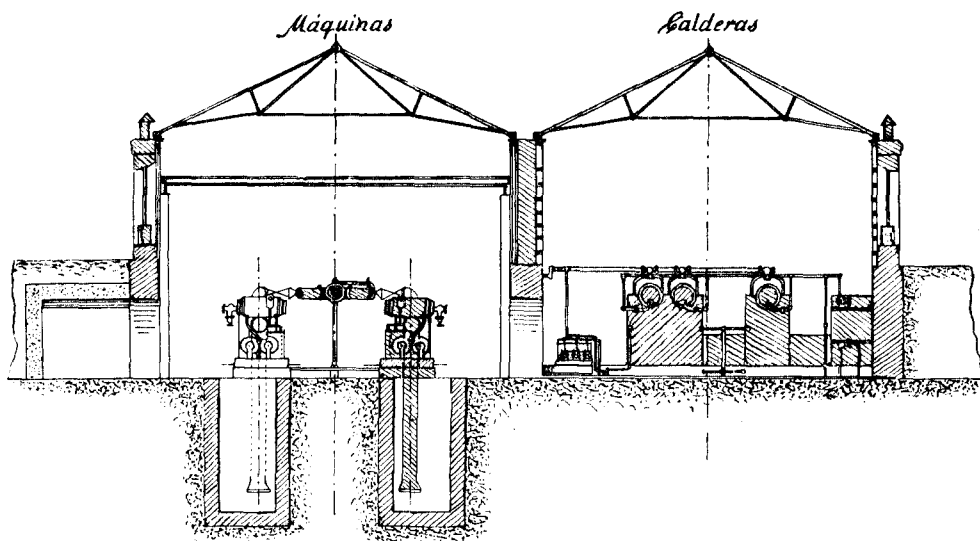
	<u>Páginas</u>
Introducción.....	5
Breve reseña de las gestiones llevadas á cabo por el Excmo. Ayuntamiento para sanear la I. Villa de Bilbao.	7
Ligera descripción del proyecto.	8
Descripción de las obras.	10
Colectores.	17
Sifón de la Merced.	26
Sifón de Deusto.	28
Depósito regulador.	30
Máquinas y bombas para la elevación de las aguas de alcantarilla. . . .	35
Tanques sépticos para alimentar los condensadores y calderas.	38
Casa de máquinas, chimenea y torre piezométrica.	47
Cañería de impulsión.	50
Túnel de la Galea.	55
Comparación de lo que ha costado el saneamiento en Bilbao con el de otras poblaciones.	60
Breve estudio de las actuales condiciones higiénicas de Bilbao.	63



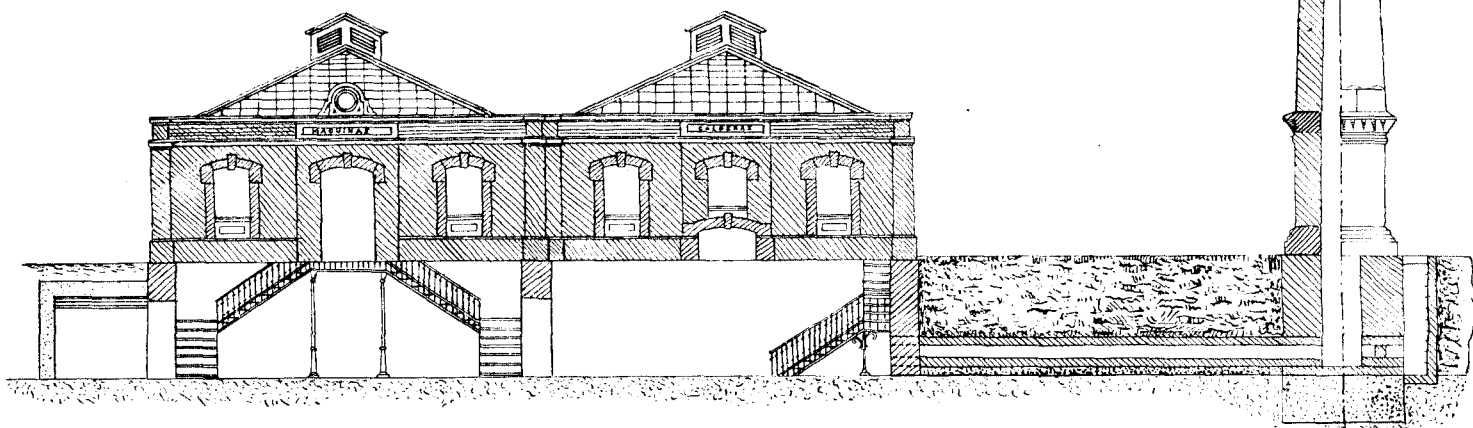
CASA DE MÁQUINAS Y CALDERAS

ESCALA 1:250

SECCIÓN TRANSVERSAL

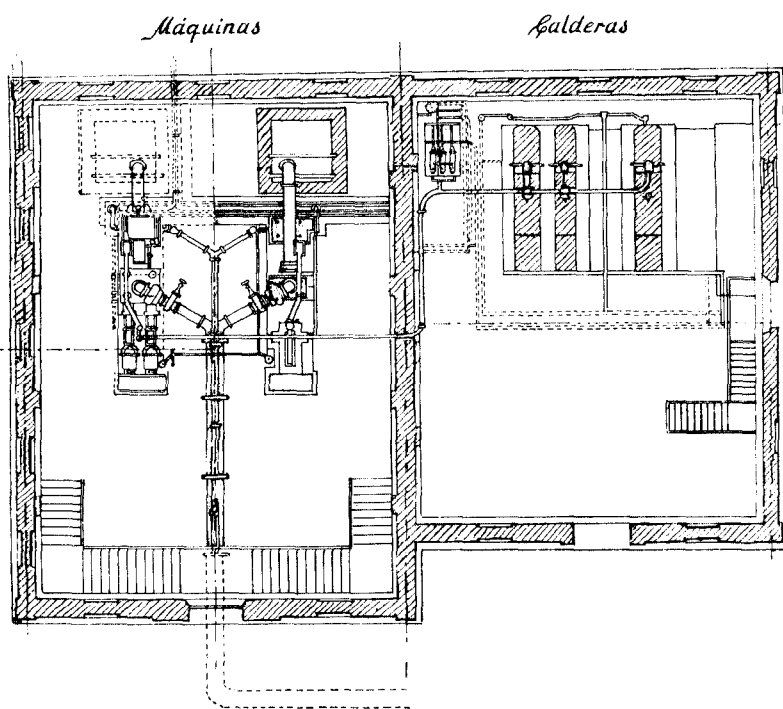


FRENTE



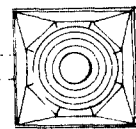
CHIMENEA

PLANTA



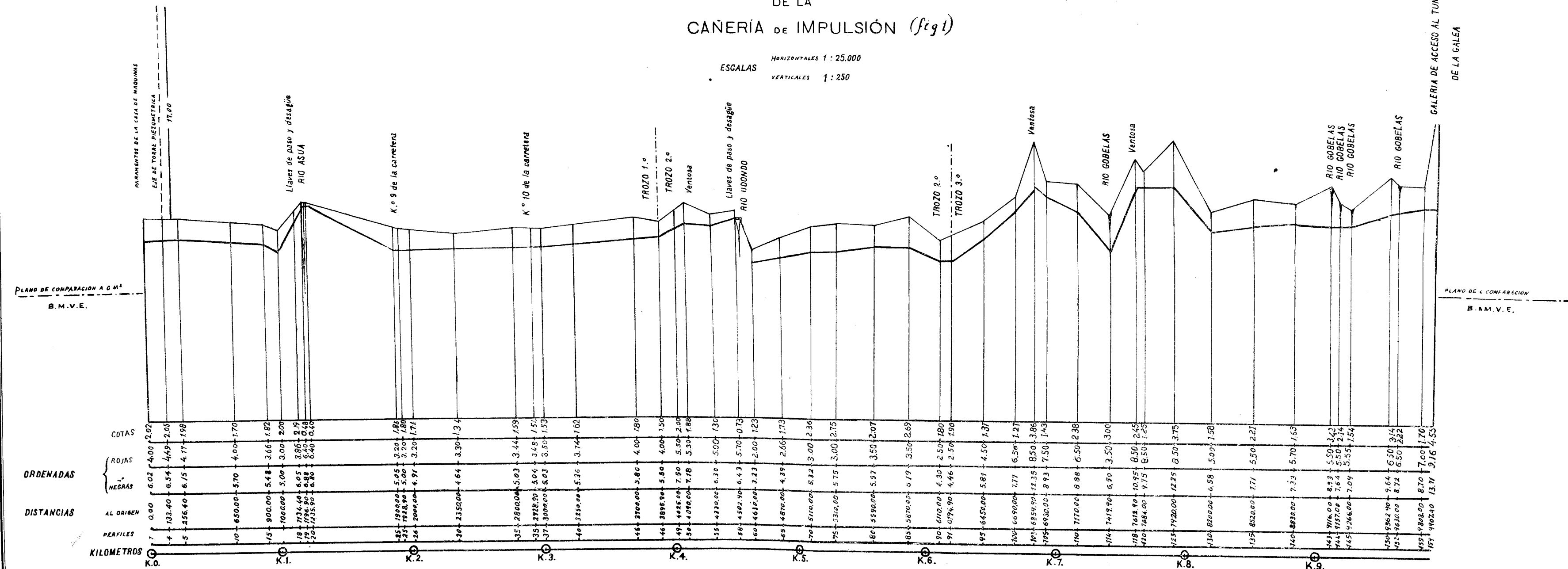
CHIMENEA

GALERIA DE HUMOS

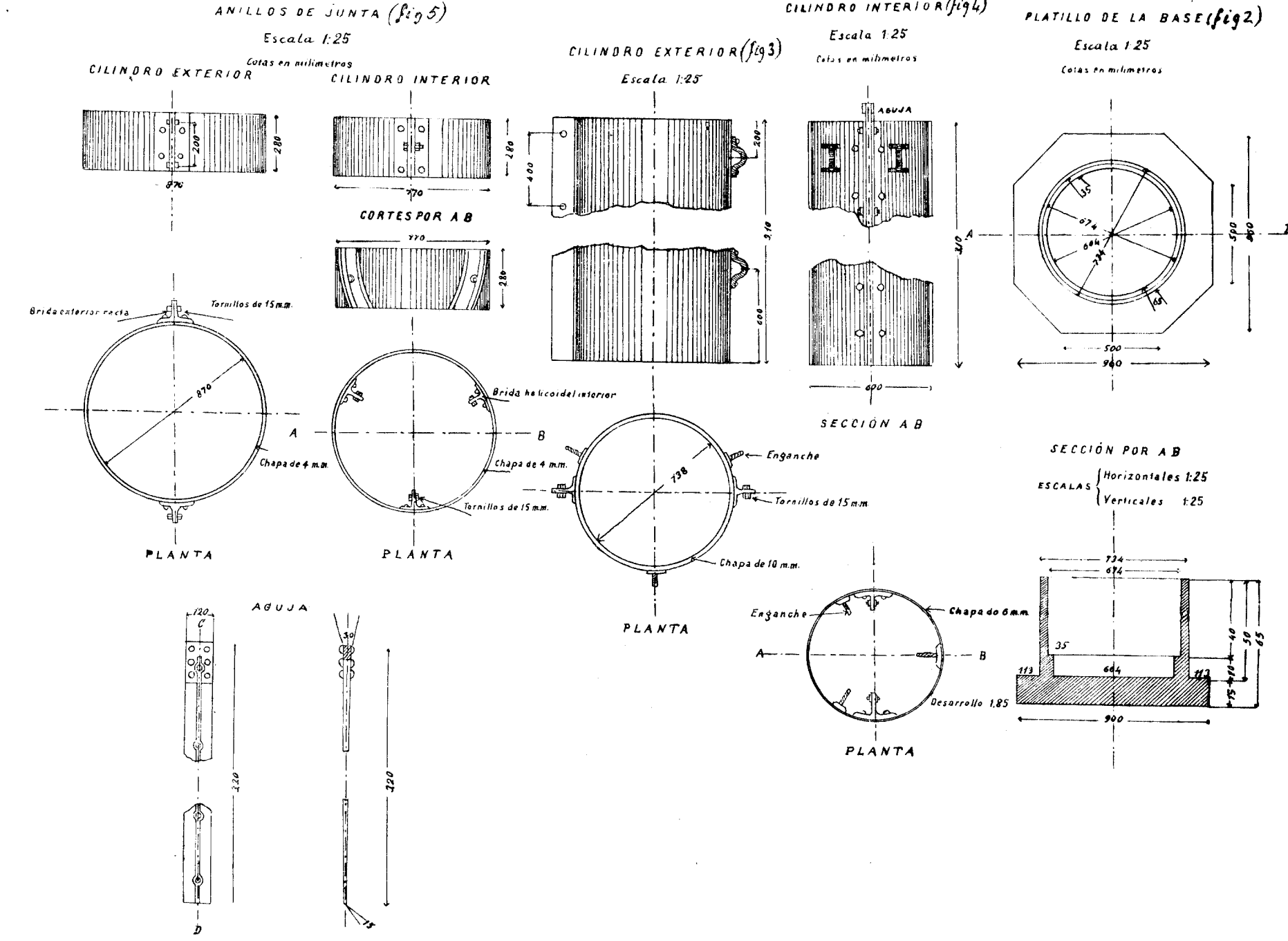


PERFIL LONGITUDINAL
DE LA
CAÑERÍA DE IMPULSION (fig 1)

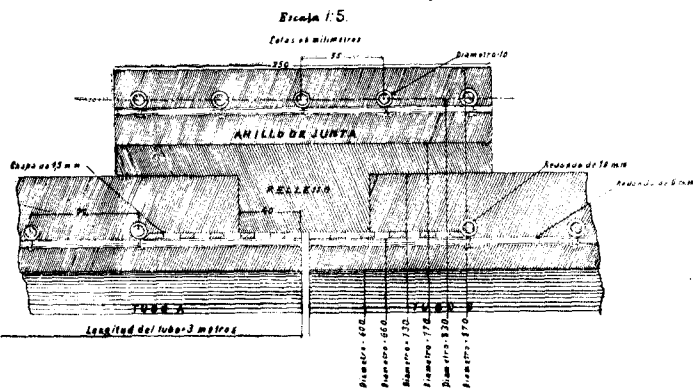
ESCALAS
HORIZONTALES 1 : 25.000
VERTICALES 1 : 250



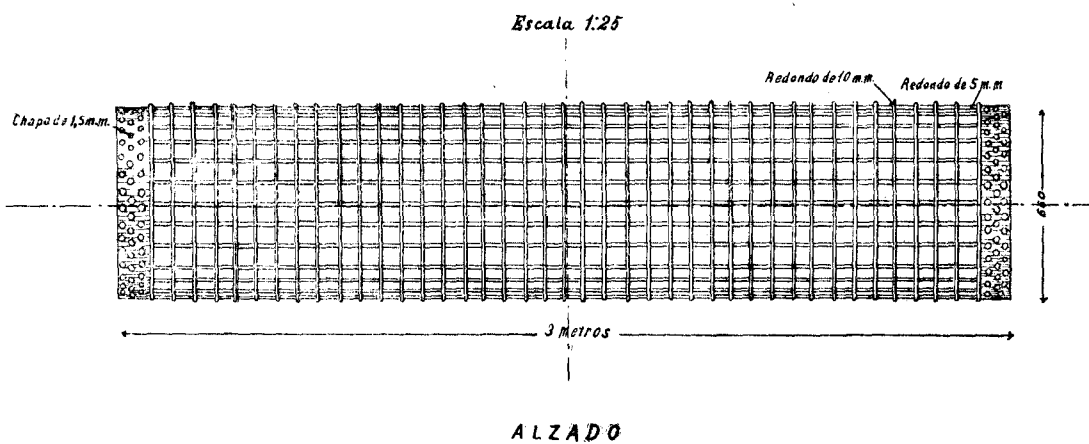
CAÑERÍA DE IMPULSION
Moldes



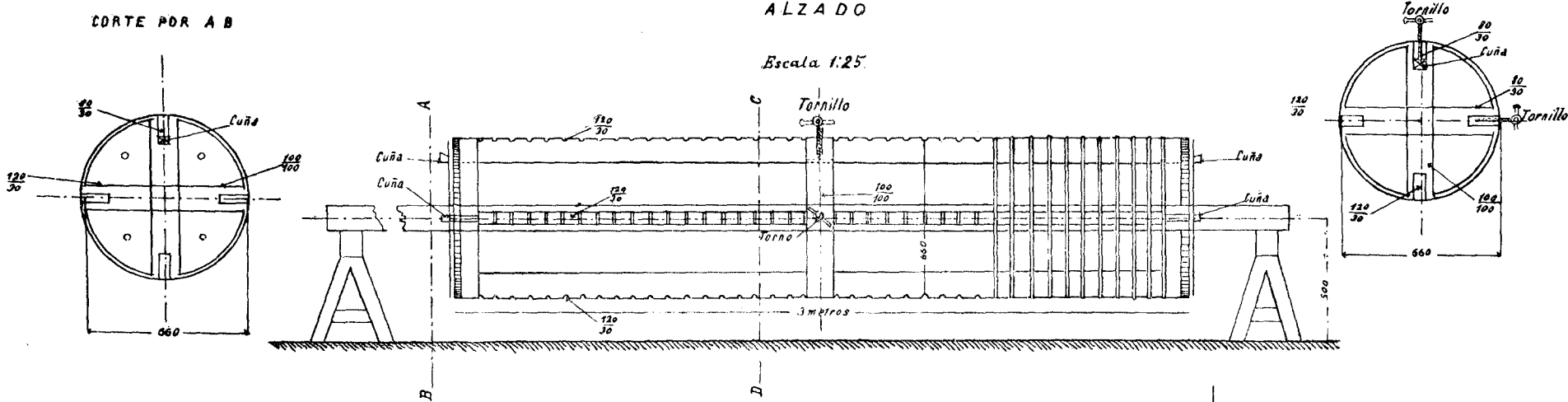
UNIONES DE LOS TUBOS (fig 1)



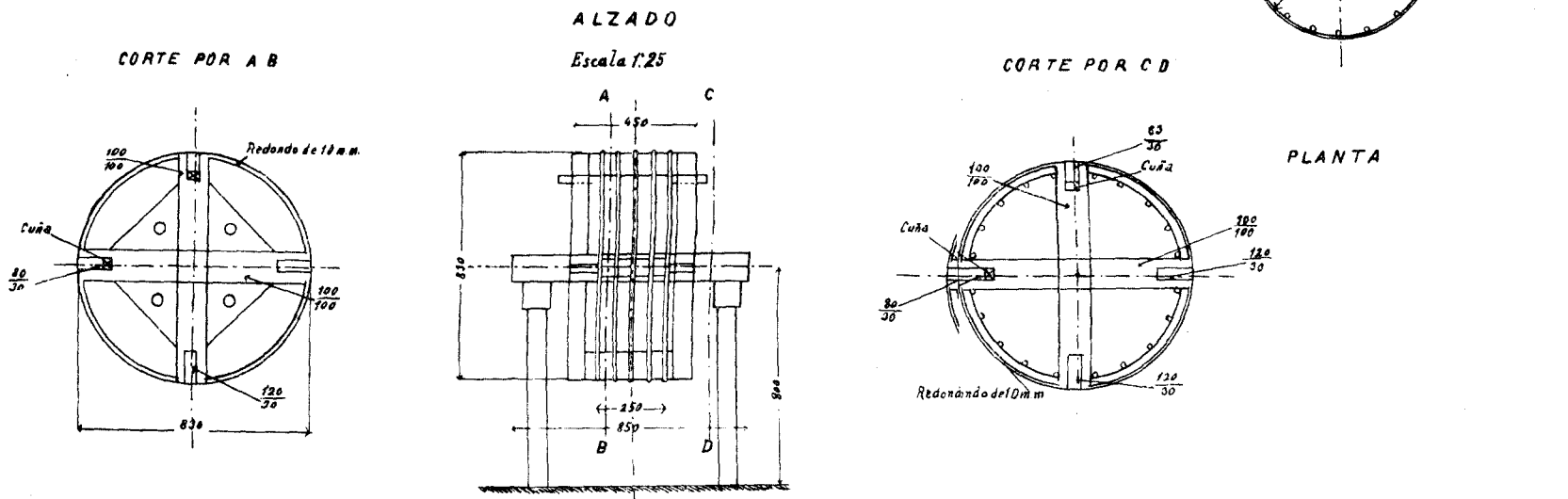
ARMAZÓN METÁLICO DE LOS TUBOS (fig 2)



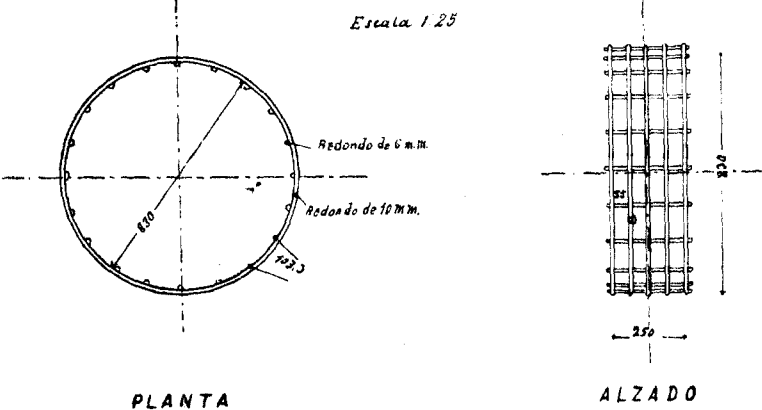
BASTIDOR PARA LA CONSTRUCCIÓN DE LOS ARMAZONES METÁLICOS DE LOS TUBOS (fig 3)

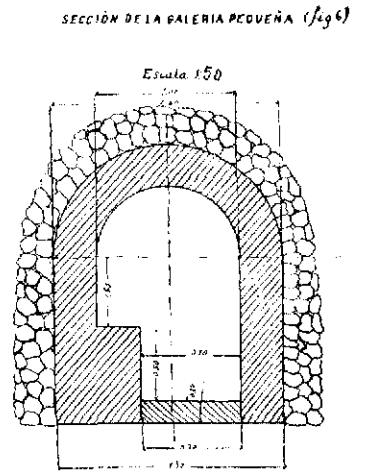
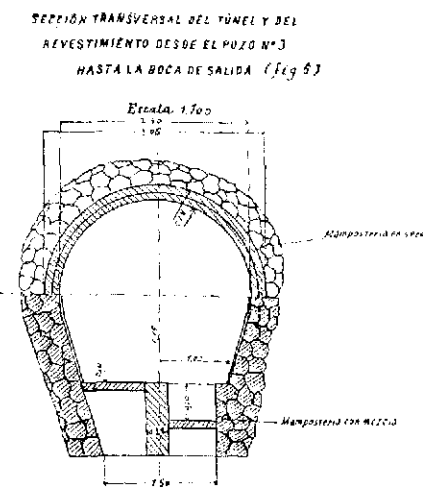
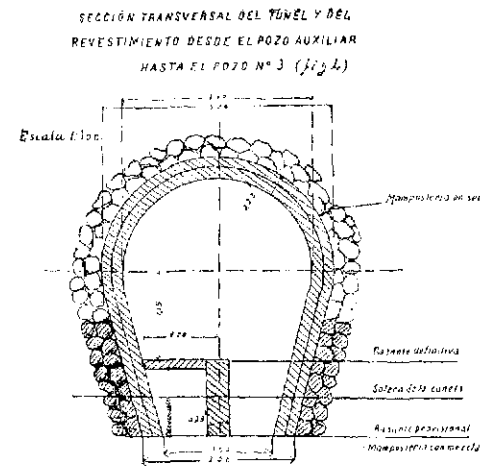
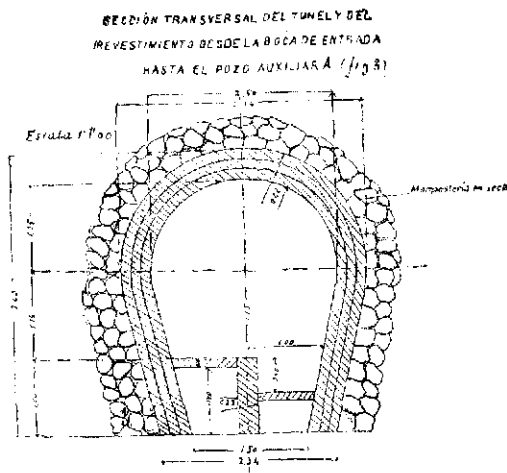
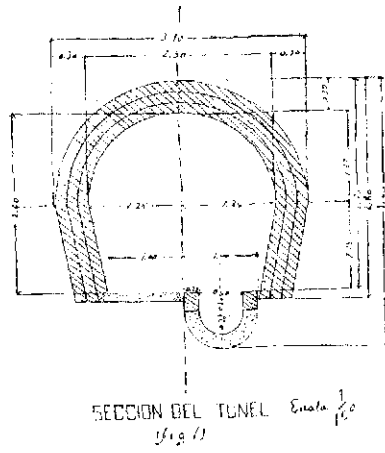


BASTIDOR PARA LA CONSTRUCCIÓN DE LOS ARMAZONES METÁLICOS DE LOS ANILLOS



ANILLOS DE JUNTA

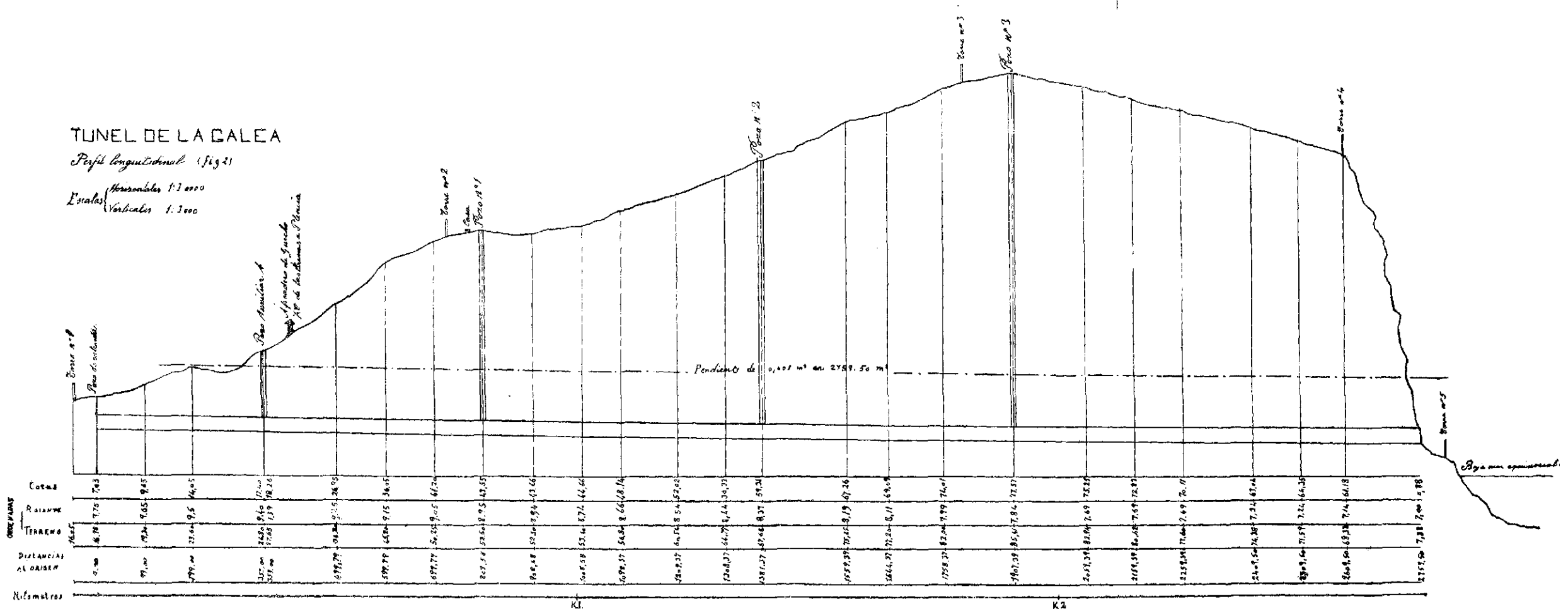




TUNEL DE LA CALEA

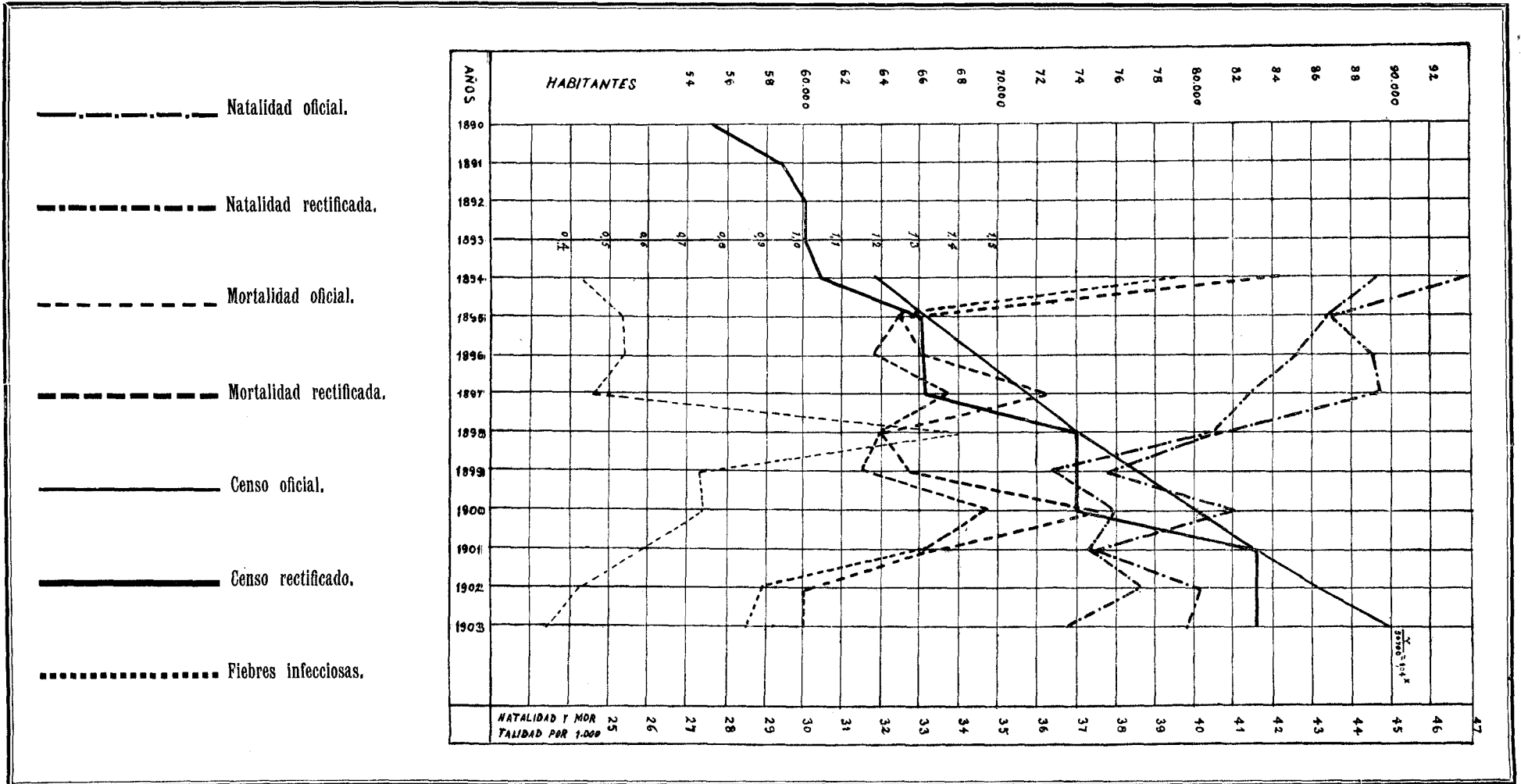
Perfil longitudinal (fig. 2)

Escala: Horizontal 1:1000
Vertical 1:100



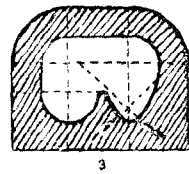
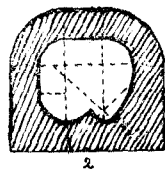
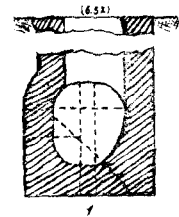
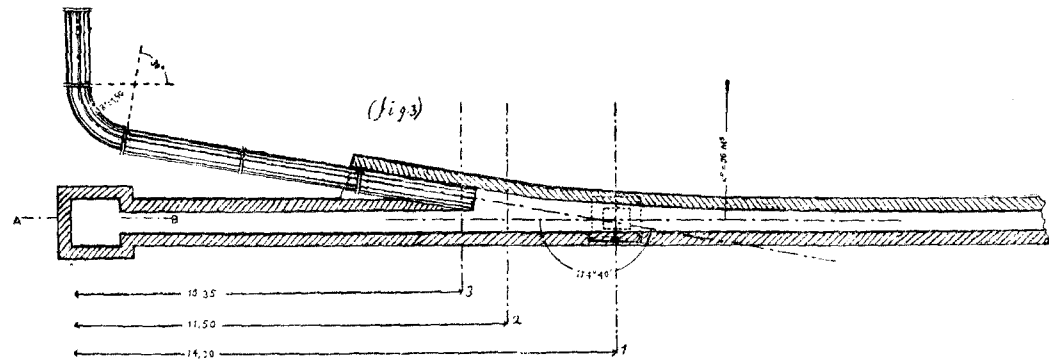
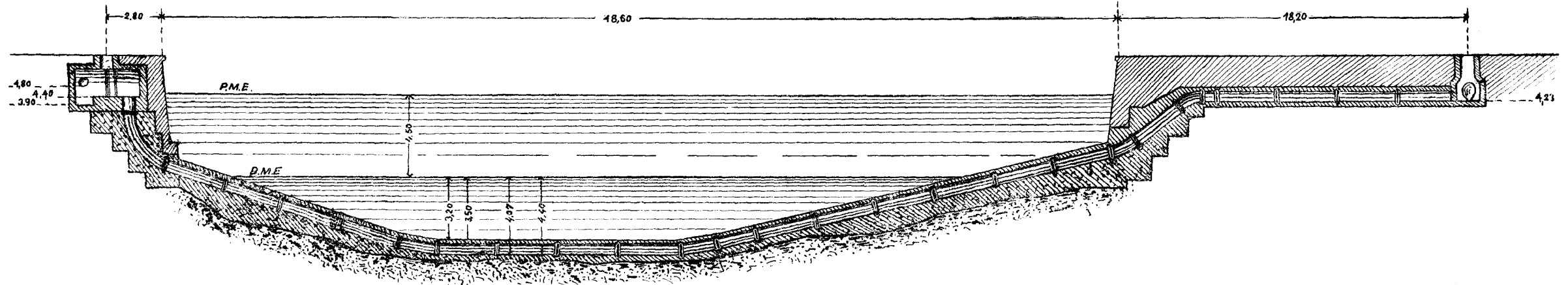
Pendiente de 0,001 m en 2789,50 m

ORDENADAS	COTAS	REAJUSTE	TERRENO	DISTANCIAS AL ORIGEN	Kilómetros
	76,3	77,5	76,3	0,00	
	9,65	9,65	9,65	71,00	
	16,05	16,05	16,05	142,00	
	17,40	17,40	17,40	213,00	
	18,20	18,20	18,20	284,00	
	26,95	26,95	26,95	355,00	
	36,55	36,55	36,55	426,00	
	41,70	41,70	41,70	497,00	
	42,35	42,35	42,35	568,00	
	43,65	43,65	43,65	639,00	
	44,65	44,65	44,65	710,00	
	45,20	45,20	45,20	781,00	
	46,74	46,74	46,74	852,00	
	47,26	47,26	47,26	923,00	
	48,19	48,19	48,19	994,00	
	48,69	48,69	48,69	1065,00	
	49,26	49,26	49,26	1136,00	
	49,73	49,73	49,73	1207,00	
	50,33	50,33	50,33	1278,00	
	50,85	50,85	50,85	1349,00	
	51,41	51,41	51,41	1420,00	
	51,91	51,91	51,91	1491,00	
	52,45	52,45	52,45	1562,00	
	52,95	52,95	52,95	1633,00	
	53,49	53,49	53,49	1704,00	
	54,07	54,07	54,07	1775,00	
	54,61	54,61	54,61	1846,00	
	55,19	55,19	55,19	1917,00	
	55,74	55,74	55,74	1988,00	
	56,26	56,26	56,26	2059,00	
	56,83	56,83	56,83	2130,00	
	57,35	57,35	57,35	2201,00	
	57,83	57,83	57,83	2272,00	

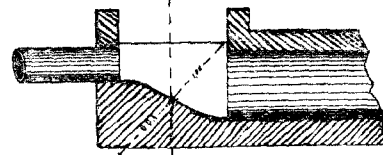


SIFÓN DE LA MERCED (fig 1)

ESCALA 1:250

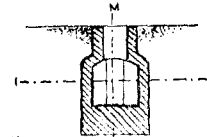


SECCIÓN POR A B
E. I. 100

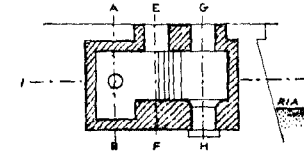


Escala 1:100

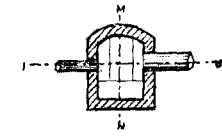
SECCIÓN POR E. F.



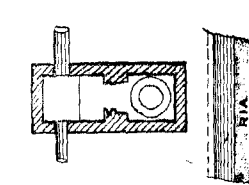
SECCIÓN POR M. N.



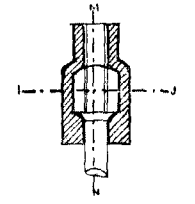
SECCIÓN POR A. B.



SECCIÓN POR I. J.

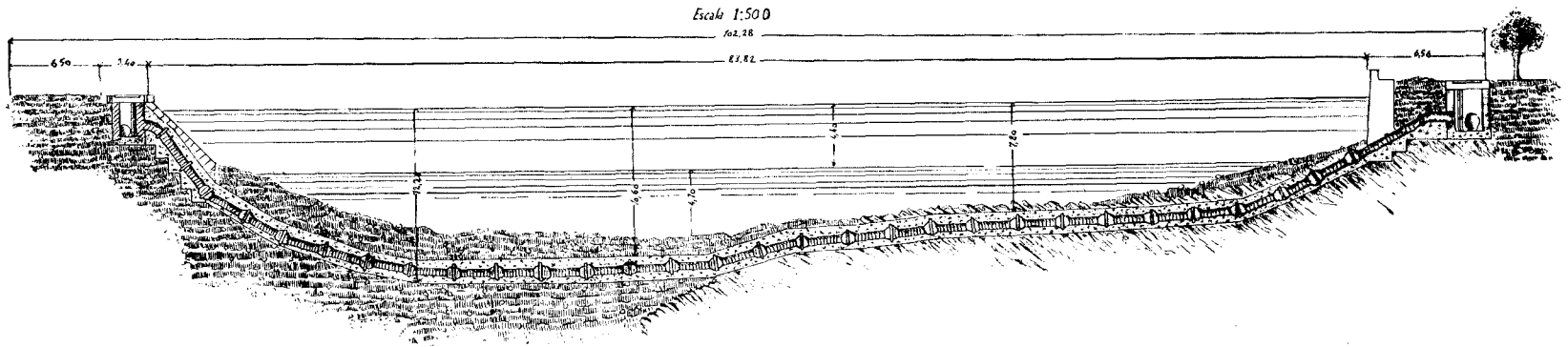


SECCIÓN POR G. H.



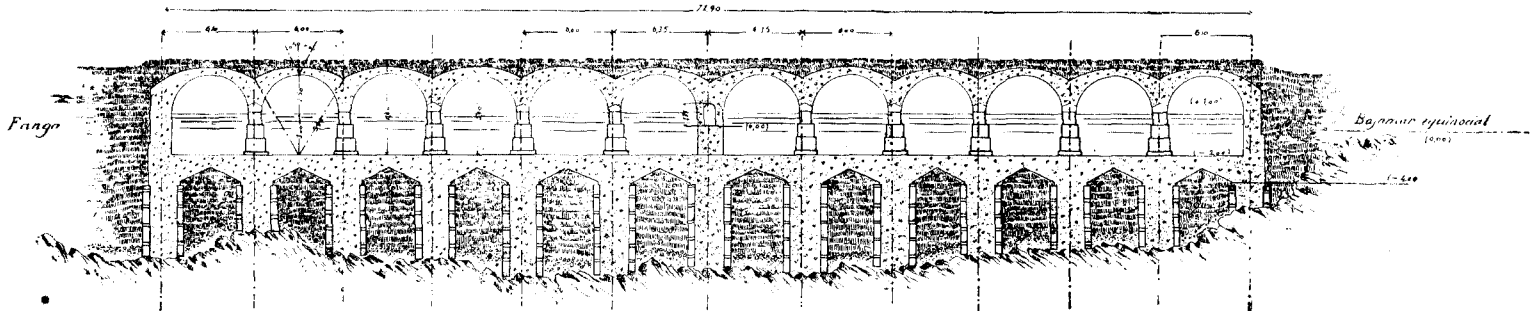
SIFON DE DEUSTO (fig 1)

Escala 1:500

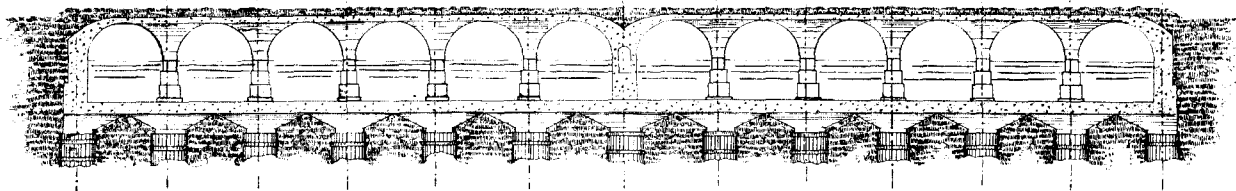


DEPÓSITO REGULADOR ESCALA 1:500 (fig 2)

Sección perpendicular al muro divisorio por el eje de los pilares

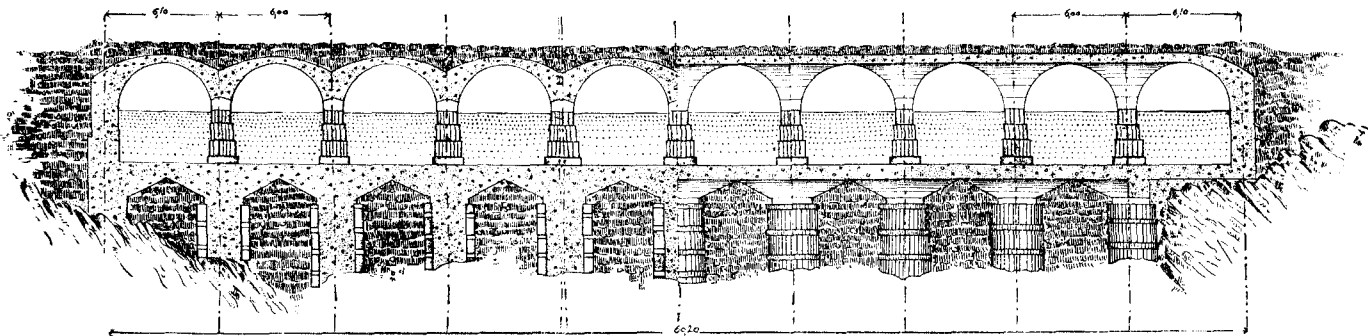


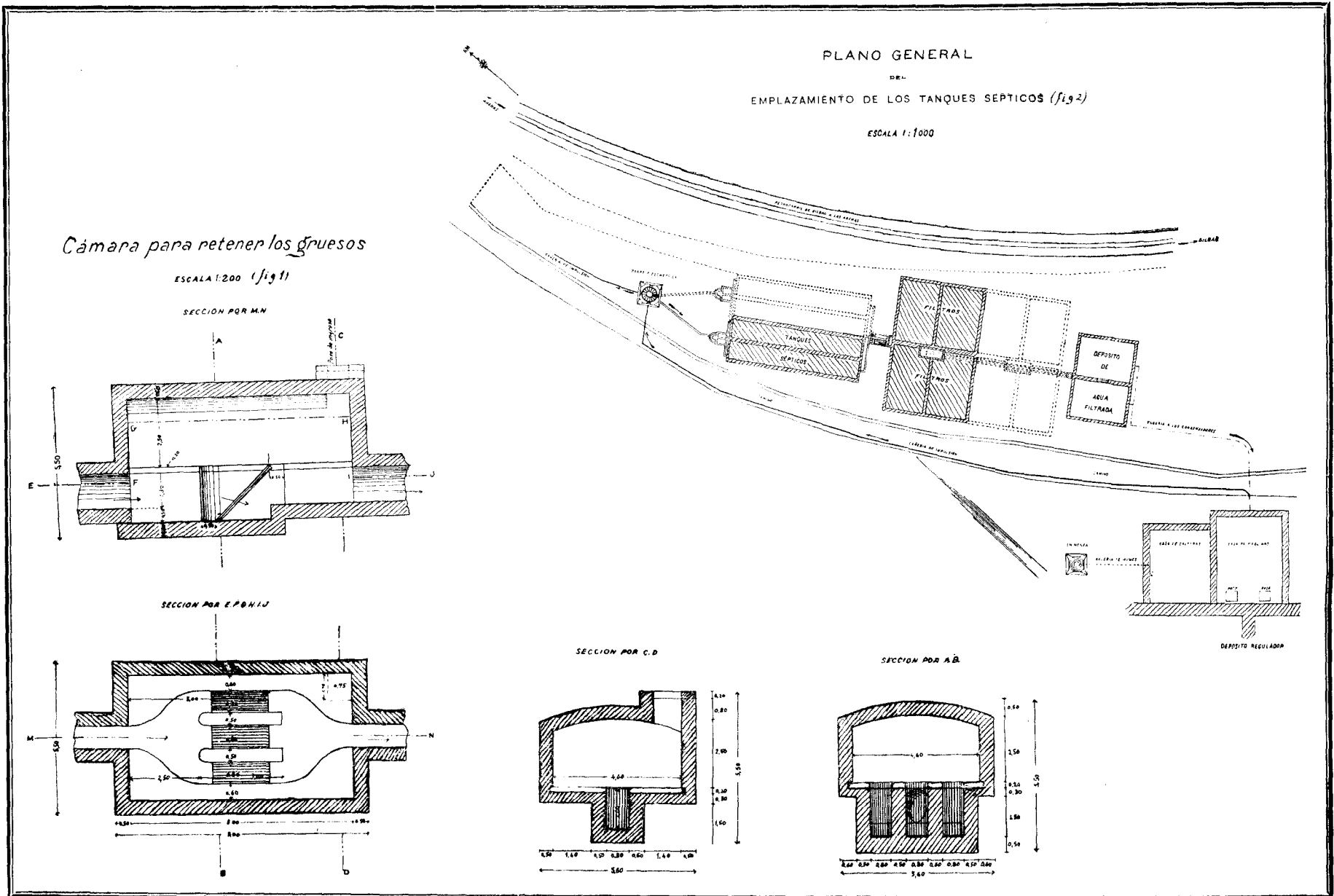
Sección perpendicular al muro divisorio entre pilares



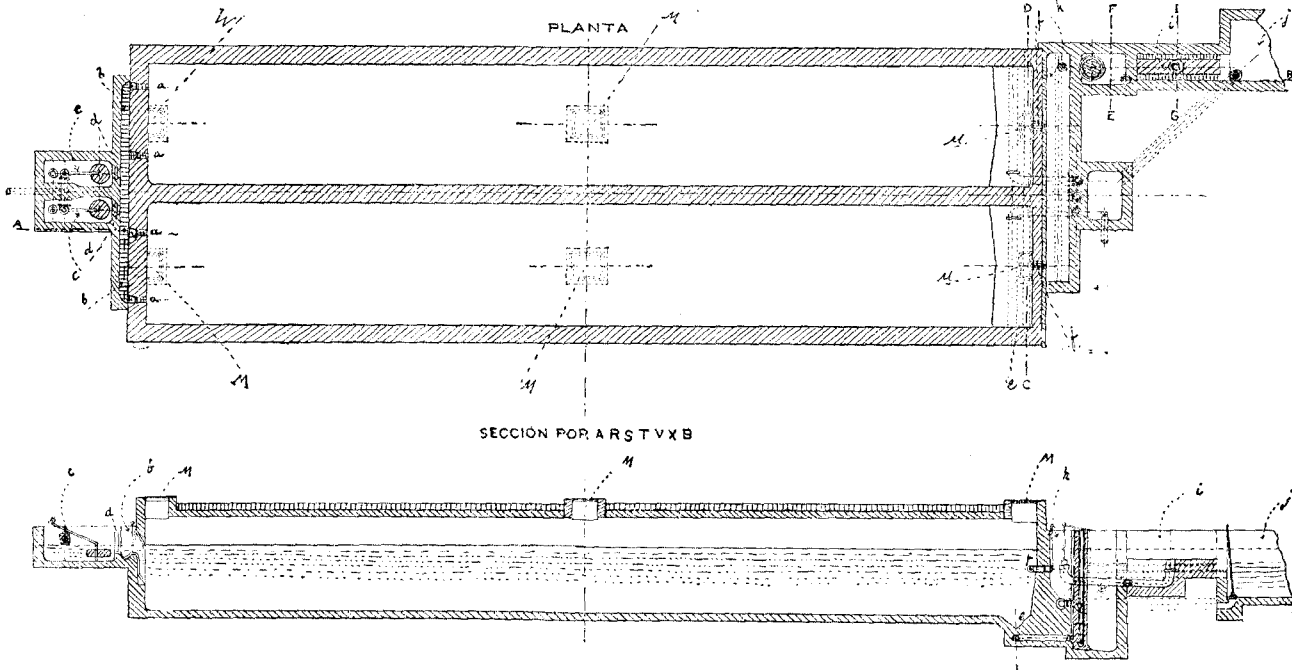
Sección paralela al muro divisorio por el eje de los pilares

Sección paralela al muro divisorio entre pilares

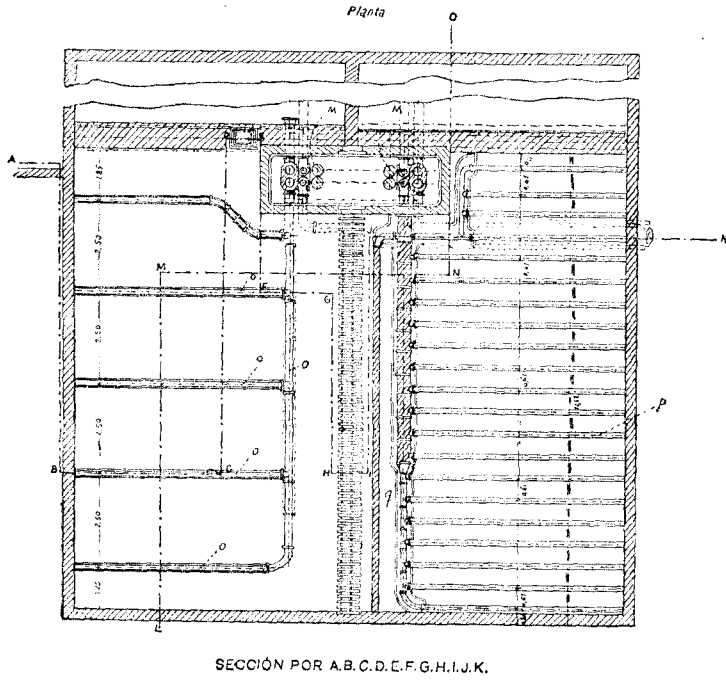




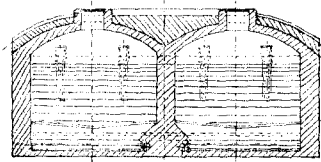
TANQUES (fig 1)



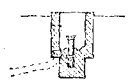
FILTROS (fig 2)



SECCIÓN C. D.



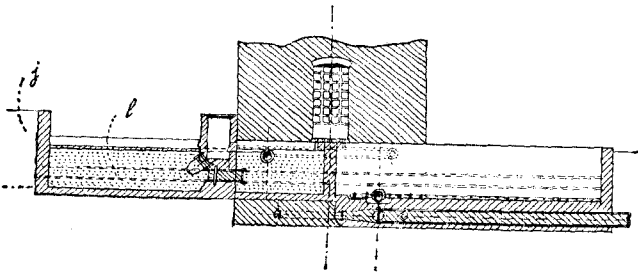
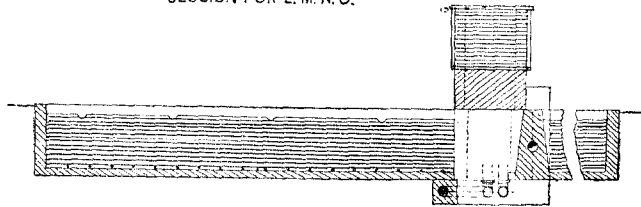
SECCIÓN G. I.



SECCIÓN E. F.



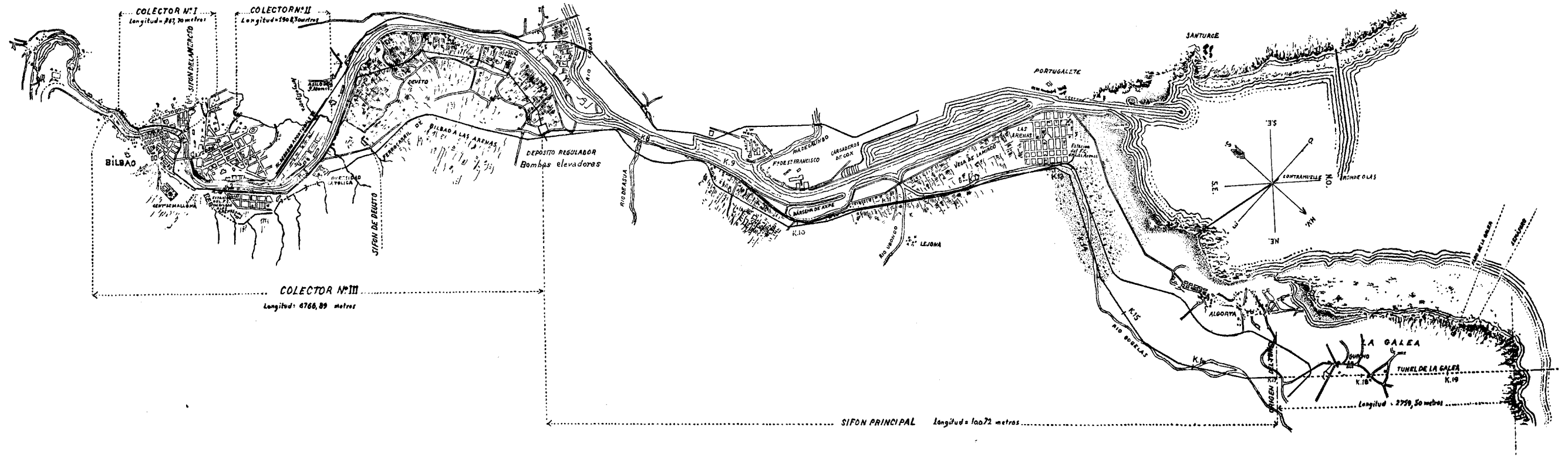
SECCIÓN POR L. M. N. O.

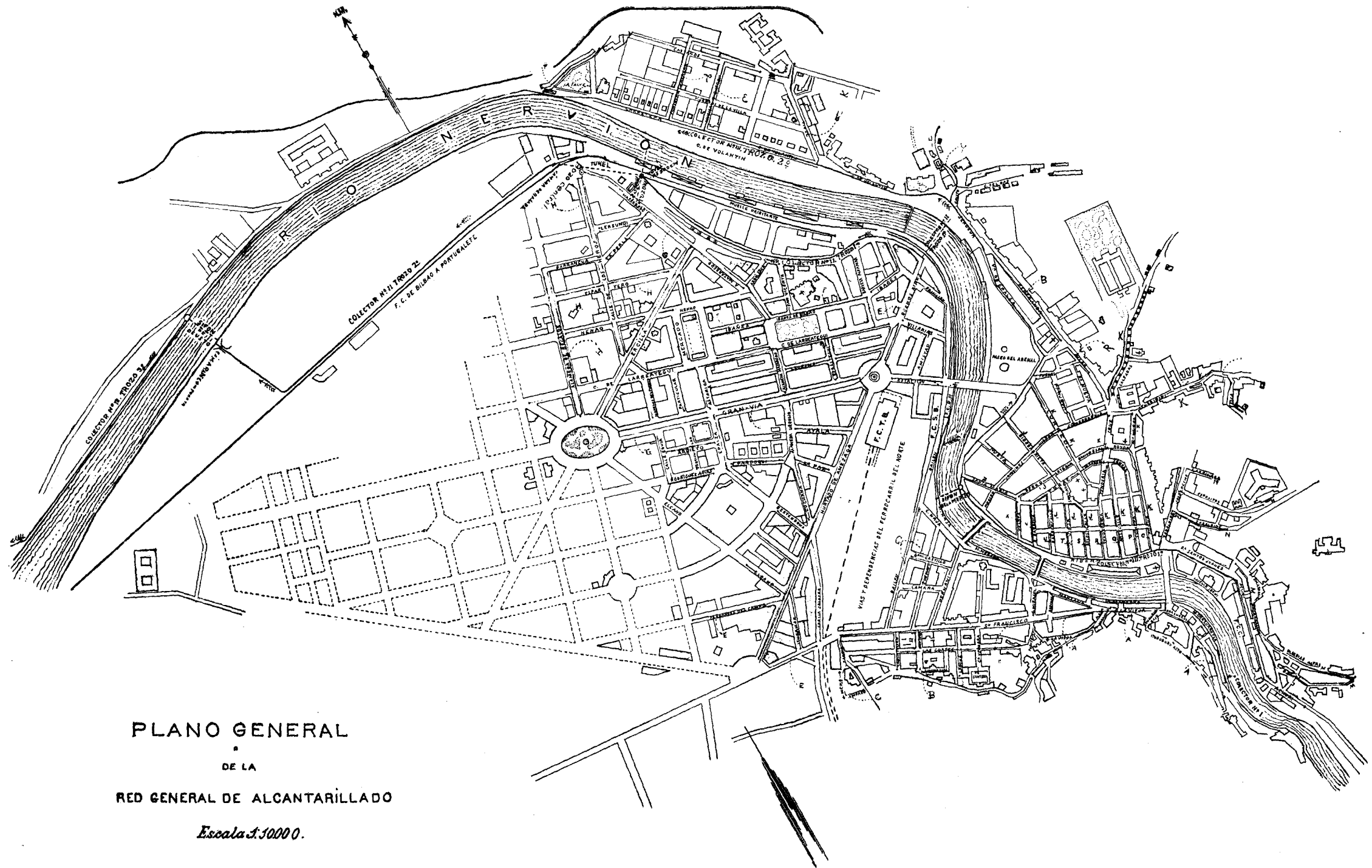


Escala $\frac{1}{200}$

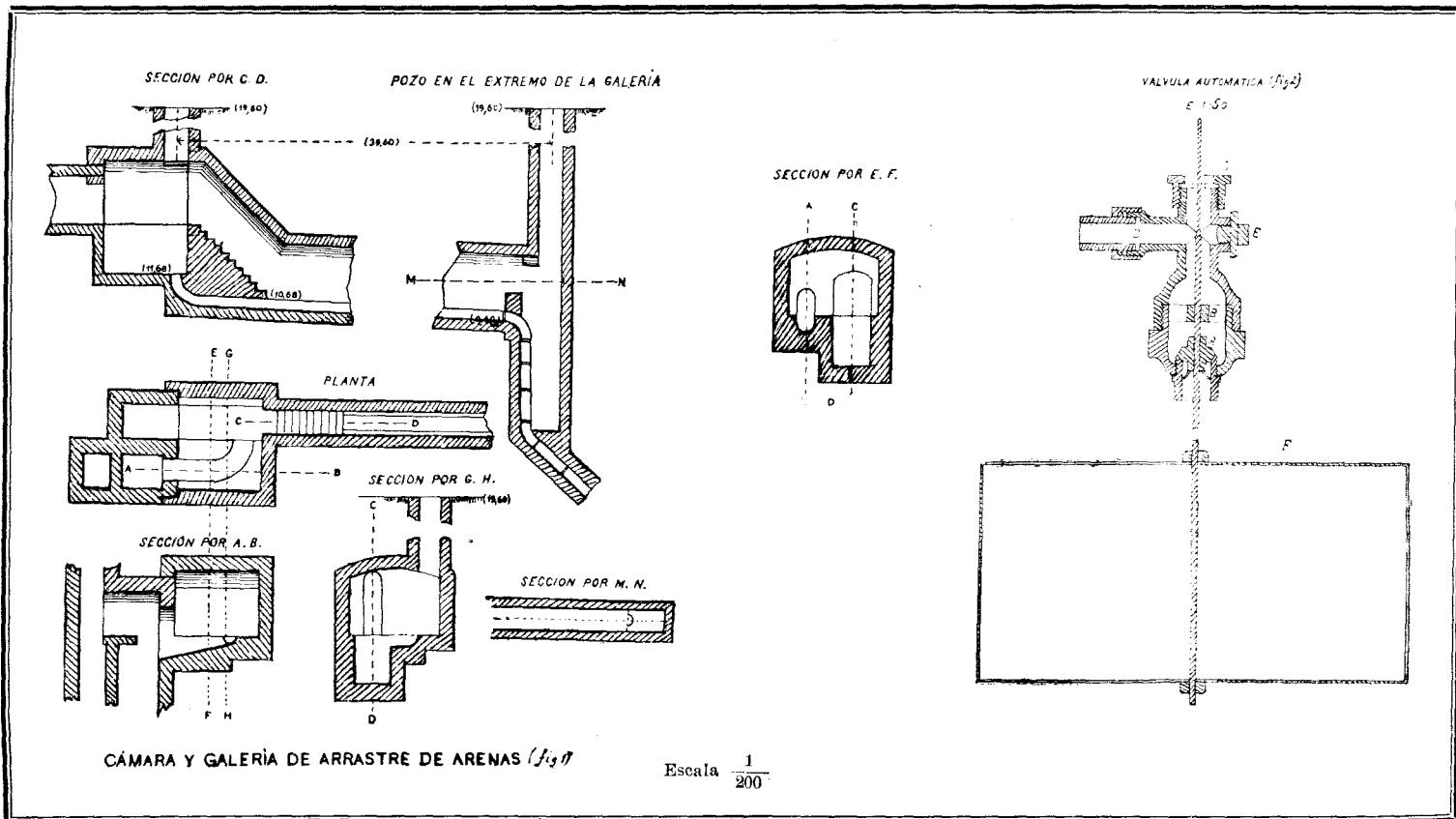
PLANO GENERAL

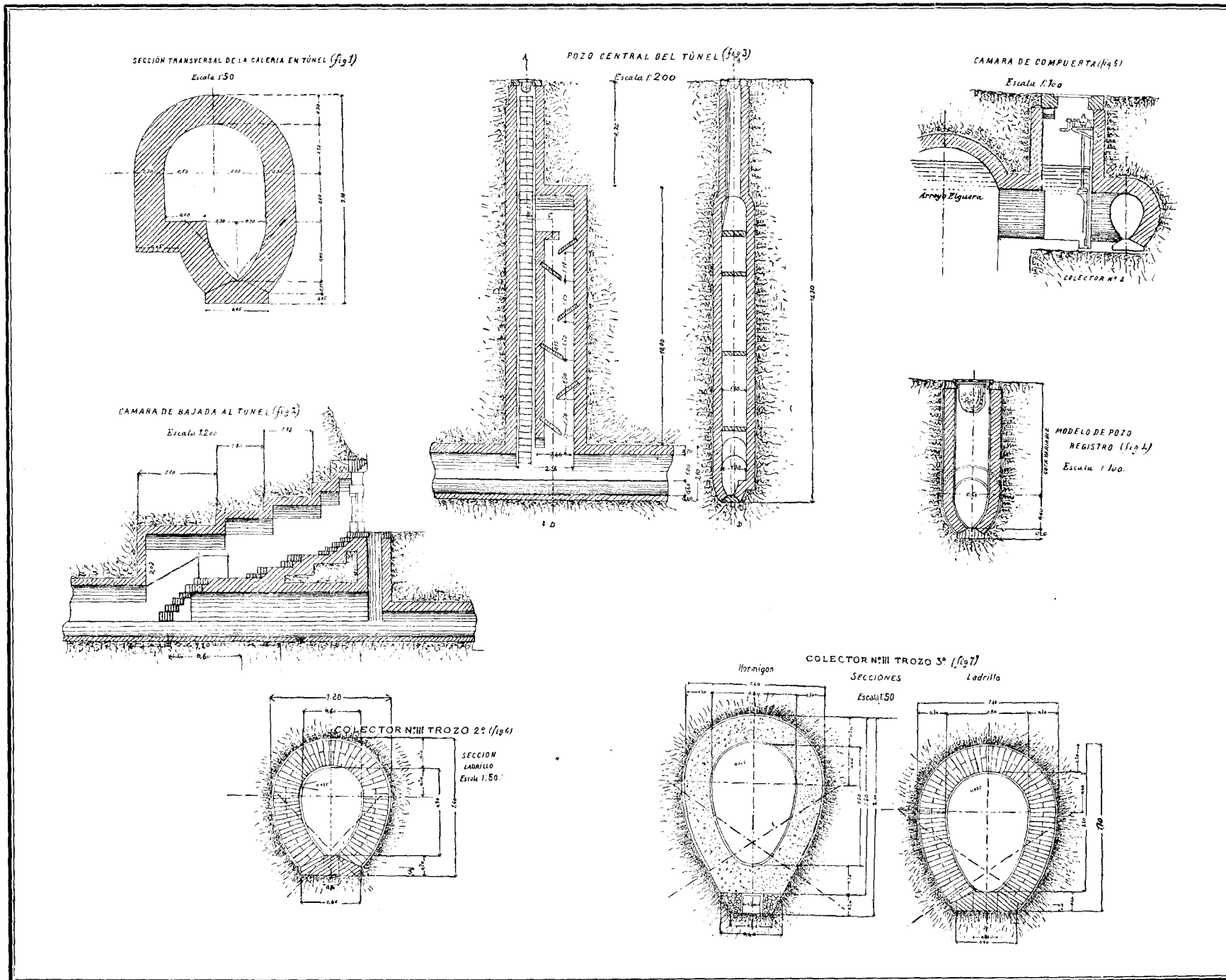
Escala 1:50000.





PLANO GENERAL
 DE LA
 RED GENERAL DE ALCANTARILLADO
Escala 1.5000.







LAS ASCENSIONES LIBRES EN LA COMPAÑÍA DE AEROSTACIÓN

LAS ASCENSIONES LIBRES

EN LA

COMPañÍA DE AEROSTACIÓN

POR

D. ALFREDO KINDELÁN Y DUANY

CAPITÁN DE INGENIEROS



MADRID

IMPRESA DEL MEMORIAL DE INGENIEROS

—
1905

CONSIDERACIONES PRELIMINARES



AS interesantes prácticas que anualmente tienen lugar en el Polígono de Aerostación de Guadalajara, entre otras ventajas no pequeñas, tienen la de despertar afición á los estudios aerostáticos, tanto entre los que á ellas han asistido, como entre los que por referencia las conocen.

Estando convencidos plenamente de la importancia grande de la aerostación en la guerra moderna, creemos de utilidad cuanto tienda á mantener viva la afición á este servicio entre los que ya la tengan y despertarla entre aquellos otros que, por sus muchas ocupaciones ó falta de oportunidad, no hayan podido prestar suficiente atención á este flamante y poderoso auxiliar de la exploración en campaña.

Para contribuir, en la medida que nuestras modestas fuerzas consienten, al objeto expuesto, no se nos ocurre mejor medio que exponer á la consideración de nuestros lectores los trabajos realizados por la Compañía de Aerostación, desde que fué organizada hasta el día.

Un grave inconveniente imposibilita la realización de nuestro propósito; los trabajos ejecutados por la Compañía de Aerostación son tantos y de tan diversa índole que con sólo dar una somera idea de todos ellos nos saldríamos del marco en que necesariamente hemos de encerrar este trabajo. En vista de ello hemos elegido una parte del servicio aerostático, si no la más importante (1), la más interesante y la que requiere más condiciones y mayores conocimientos teóricos y prácticos para su desempeño.

(1) La de mayor importancia es la maniobra del globo cautivo, insustituible observatorio en campaña.

El entusiasmo y la admiración que por el Cuerpo en general y la citada Compañía en particular sentimos, son nuestros guías y al mismo tiempo las disculpas que presentamos al comenzar este trabajo, en el que las deficiencias del narrador han de suplirlas la benevolencia de los lectores y el interés intrínseco de la narración.

Antes de pasar adelante vamos á hacer algunas observaciones. La importancia del papel que los globos desempeñan en la guerra moderna no se pone en duda hoy, no ya por los técnicos, sino por todo aquel que, teniendo algunos conocimientos de Arte Militar, haya seguido paso á paso la historia de la aerostación. Los señalados servicios que el globo de Coutelle (1) prestó, en el sitio de Charleroi y batalla de Fleurus (2); los no menores del empleado por Carnot en la defensa de Amberes (1815); las notables aplicaciones que de ellos se hicieron en la guerra de Secesión por el profesor Love con el *Entreprise* y por La Mountain en el sitio de Washington (septiembre de 1861) y en el de Richmond (mayo del 62); su empleo en Sudán, Abisinia, Madagascar, etc., y, sobre todo, los buenos resultados que á los ingleses dieron en el Traanswal y los excelentes que á los rusos dan actualmente en la Mandchuria (3) sus numerosos globos militares, dan á éstos una importancia grande, que nadie pone en duda.

No era necesaria esta sanción de la práctica para afirmar la utilidad que el invento de los hermanos Montgolfier había de reportar á los ejércitos; es ésta tan evidente que apenas efectuada la primera experiencia de aquéllos (5 de junio de 1873), y cuando persona alguna había aún surcado la atmósfera, ya se hablaba por algunos de «una revolución en el arte de combatir», y Giroud de Vilette escribía, después de una ascensión cautiva en que acompañó á Pilatre de Rozier, «...dicha máquina será muy útil á un ejército para descubrir la posición del enemigo, sus maniobras, sus marchas, sus disposiciones y anunciarlas por señales á las tropas aliadas de la máquina». Estas palabras proféticas se escribían en

(1) *L'Entreprenant*. Hizo su primera ascensión el 2 de junio de 1794.

(2) También hizo ascensiones este mismo año el *Martial*, precursor del moderno globo cometa alemán.

(3) Los resultados que á los japoneses hayan dado sus secciones aerostáticas del ejército sitiador de Puerto Arturo no los conocemos exactamente.

octubre de 1873, días antes del primer viaje libre de Pilatre de Rozier y el marqués de Arlandes.

Ahora bien; si la importancia de la aerostación en general es reconocida hoy por las autoridades en el arte de la guerra, no sucede lo mismo con la *Aerostación libre* en particular. El erróneo camino emprendido por los que, separándose del verdadero papel de los globos libres, querían emplearlos para arrojar *máquinas infernales*, bombas, etc. (los rusos en 1812 contra el ejército francés y los austriacos, en 1848, en el sitio de Venecia), y el haber dado mal resultado en algún otro caso, por distintas circunstancias, son causa de que haya caído en cierto descrédito esta importante rama de la aerostación.

Trataremos de demostrar lo injustificado de tal concepto presentando para ello hechos frente á los hechos y razones frente á las razones.

Solamente dos hechos, entresacados de la historia de la aerostación, presentaremos á nuestros lectores: ocurrió el uno, en 1870, en el centro del viejo Continente y consistió en el empleo de globos libres para salir de una plaza sitiada; el otro, en 1861, en el nuevo Continente, estando la aerostación libre al servicio de un ejército en campo raso.

Bien conocidos son los servicios que los globos libres prestaron en el sitio de Paris desde el 23 de septiembre de 1870 en que se elevó el primer globo, el *Neptuno*, hasta el 28 de enero del 71 en que lo efectuó el *General Cambrone*, núm. 64 y último, habiendo transportado entre todos *una tonelada* de despachos.

No tan conocido como el anterior es el siguiente hecho ocurrido en la guerra civil de los Estados Unidos de América. En septiembre de 1861 el general Mac-Clellan defendía contra los confederados los alrededores de Washington; el arrojado aeronáuta La Mountain, ya citado, comunicaba desde la barquilla de un globo cautivo informes preciosos al general en jefe; llegó un momento en que le era necesario elevarse á mayor altura que la que el cable permitía para cumplir mejor su misión exploradora; sin vacilar un momento corta aquél, se eleva á más de 2.000 metros, siendo conducido por el viento sobre las líneas del enemigo; observa las posiciones y movimientos de éste; echa lastre; se remonta hasta encontrar una corriente que le conduce á su campo y desciende en *Ma-*

ryland, después de pasar sobre *Washington*, mereciendo la más entusiasta felicitación de Mac-Clellan.

Los dos hechos que relatados quedan son demasiado elocuentes para necesitar comentarios y destruyen el mal efecto que pueda causar la lectura de algunos fracasos, que no pretendemos negar.

Las razones principales que aducen los que niegan la utilidad del globo libre en campaña son: 1.^a, la dificultad de encontrar corrientes favorables para repetir la experiencia de *La Mountain*; 2.^a, bastar siempre la *altura de observatorio* que puede proporcionar el globo cautivo; 3.^a, las probabilidades de caer en poder del enemigo; 4.^a, ser necesario privarse de personal técnico que pueda hacer falta más tarde. No pretendemos negar la dificultad de repetir la experiencia hecha en *Washington*; haremos observar, sin embargo, lo siguiente: que no es necesario encontrar una corriente que nos conduzca sobre las líneas enemigas, basta que nos acerque á ellas ó aun que naveguemos paralelamente á su dirección para poder observar sus posiciones y situación; que puede elegirse el punto de suelta; que en una misma vertical existen á distintas alturas corrientes de aire de direcciones distintas y aun opuestas, y que no es necesario repetir completa la expedición de *La Mountain*, pudiendo prescindirse de volver al punto de salida si se llevan palomas mensajeras ó aparatos de señales.

Que la *altura de observatorio* que permite el globo cautivo no es suficiente en algunos casos lo prueba, no sólo el hecho que hemos citado, sino la experiencia de las maniobras realizadas en varias naciones, y de ello se convence cualquiera que haga ascensiones cautivas en país algo accidentado.

Las probabilidades de caer en poder del enemigo son pocas si el aeronauta es práctico y las condiciones no son excepcionalmente desfavorables, y en último caso, cabría siempre la solución de incendiar el aerostato ó dejarlo en libertad para que el enemigo no pueda aprovecharlo.

Para atender al servicio de ascensiones libres, sin que quede desatendido el de cautivas, se instruyen gran número de oficiales, con lo cual no habrá en general falta de oficiales, teniendo en cuenta sobre todo que basta un oficial práctico para cada ascensión.

Creemos haber demostrado lo infundado de la mayor parte de los cargos que se hacen al globo libre en sus aplicaciones militares y la importancia de su estudio, y por esta causa nos hemos decidido á ocuparnos de la aerostación libre en este trabajo.

Otras razones nos han movido también á ello: en primer lugar, es la parte del servicio aerostático que más práctica requiere; en segundo, en nuestra Compañía de Aerostación se han hecho ascensiones libres muy interesantes por distintos conceptos; por último, es posible que cualquiera de nuestros compañeros se encuentre obligado á hacer una ascensión libre para salir de una plaza sitiada y le conviene tener una idea de la práctica de ellas.



DIFICULTADES

QUE

EN NUESTRO PAÍS PRESENTA LA AEROSTACIÓN LIBRE



Para que pueda apreciarse en sus verdaderas proporciones la importancia de los trabajos realizados en el *Polígono* de Guadalajara, hemos de hacer algunas consideraciones sobre las mayores dificultades que en nuestro país presenta la aerostación libre con respecto á las principales naciones de Europa.

La conveniencia de situar el Polígono de Aerostación á no larga distancia de Madrid, arrastra, como necesaria consecuencia, que la cota de aquél esté comprendida entre 600 y 1.000 metros sobre el mar, por ser éstos los límites entre que oscilan todas las de la meseta central. Los Parques Acrostáticos de Francia, Inglaterra, Alemania, Rusia, Austria, Italia, Suecia, Portugal, Rumanía y otros, se encuentran situados, por el contrario, en puntos de cota tan pequeña que la presión media en ellos puede considerarse aproximadamente de 760 milímetros, reducida á la temperatura de 0°.

Esta mayor altura de nuestro Polígono lleva aparejados: ó un aumento de volumen en los globos ó una disminución grande de fuerza ascensional á igualdad de volumen. Los inconvenientes de esta disminución son tan notorios que nos creemos dispensados de insistir sobre este punto, y en cuanto al aumento de volumen de los globos es solución que trae consigo un aumento de cilindros de hidrógeno comprimido necesarios para cada inflación y un mayor peso del material aerostático propiamente dicho, lo cual haría la Compañía de Aerostación muy pesada y poco maniobrera.

No son sólo los alrededores del Polígono y éste, los que poseen cota elevada; los teatros de operaciones principales de nuestra Península y

todas las líneas de invasión tienen, en general, cotas bastante altas. Sólo hay que exceptuar las líneas de costas, que no hay que tener en cuenta para nuestro objeto, pues no deben en ellas emplearse los globos libres (1).

Lo accidentado de nuestro suelo, cuya particular orografía es bien conocida, y el ser bastante frecuentes las alturas de 1.500 á 2.000 metros y aun abundar las de 2.000 á 3.000, obligará en muchas ascensiones á elevarse al límite de lo que la prudencia permita, teniendo en cuenta la poca capacidad de los globos militares.

A las dificultades producidas por las grandes alturas de nuestro suelo hay que agregar las no menores que provienen de las desfavorables condiciones climatológicas de la Península Ibérica. Grandes oscilaciones higrométricas, rápidos gradientes térmicos y barométricos ó irregularidad de los vientos, producida por la influencia de las altas cordilleras, son dificultades más que suficientes para hacer de España un país excepcional en cuanto al servicio aerostático se refiere. Plantean, en efecto, el dilema siguiente: ó se aumenta desmesuradamente la capacidad de los globos con todos sus inconvenientes ó aumentan las dificultades de los viajes, requiriendo, por lo tanto, una mayor práctica en los aeronáutas.

La tabla núm. I está construída con datos del Observatorio Astronómico, procedentes de observaciones hechas durante veintiseis años. Para formarla se han clasificado los días en: *de calma*, cuando el recorrido diurno del viento no excede de 200 kilómetros, ó sea que la velocidad media de éste es menor de 5 metros por segundo; *de brisa*, cuando aquél es mayor de 200 kilómetros y menor que 400, estando la velocidad media comprendida entre 5 y 10 metros por segundo; *de viento*, cuando el recorrido diurno está entre 400 y 600 kilómetros y la velocidad media entre 10 y 15 metros por segundo; y *de viento fuerte*, cuando son, respectivamente, mayores que 600 kilómetros y 15 metros por segundo.

(1) Las interesantes experiencias de *aeronáutica marítima*, recientemente llevadas á cabo por el *conde de la Vaulx*, usando aparatos especiales de *Mr. Hervé*, abren nuevos horizontes á los globos libres, los que en plazo no lejano, esperamos sean usados corrientemente en las plazas marítimas.

Cuadro núm. 1

RESUMEN de las observaciones anemométricas hechas por el Observatorio de Madrid durante veintiseis años.

AÑOS	NÚMERO DE DÍAS DE CADA AÑO DE			
	Calma.	Brisa.	Viento.	Viento fuerte.
1870	85	130	101	49
1871	105	113	102	45
1872	96	121	97	52
1873	103	124	98	40
1874	109	109	102	45
1875	116	111	94	40
1876	142	100	84	40
1877	125	95	88	57
1878	115	94	97	59
1879	105	94	91	75
1880	108	83	112	63
1881	79	158	81	47
1882	91	144	83	47
1883	68	162	95	40
1884	69	189	76	32
1885	64	179	81	41
1886	58	184	71	52
1887	56	171	99	39
1888	72	181	71	42
1889	51	179	84	51
1890	58	170	91	46
1891	61	176	87	41
1892	44	196	89	37
1893	60	201	76	28
1894	64	178	81	42
1895	42	185	95	43
26 años = 9.466 días.	2.146	3.827	2.326	1.197

De la simple inspección de la tabla se deduce la irregularidad grande de los vientos, cuyo régimen varía mucho de un año á otro, y si hallamos el promedio de los días de cada clase que ha habido, por cada ciento obtenemos el siguiente resultado: 22 días de calma, 40 de brisa, 25 de

viento y 13 de viento fuerte, lo cual nos indica que de cada 100 días, 13 no son aprovechables para ascensiones libres y cerca de la mitad no deben emplearse, como no se disponga de buena provisión de lastre y se tenga cierta práctica en viajes libres.

Por último, la falta de vías de comunicación de nuestro país hace la vuelta al Parque, una vez terminada la ascensión, lenta y penosa, aumentando las causas de deterioro de material; lo poco poblado de algunas extensas regiones, haciendo poco frecuentes los casos de auxilio exterior en el descenso (1), exigen mayor pericia en los aeronáutas por las dificultades que en algunos casos presenta esta operación, siempre delicada.

Hemos expuesto las dificultades que se presentaron en España al implantar este servicio; ahora ocurre preguntar, ¿si las dificultades son tan grandes, si el cuadro no está exagerado, cómo se explica el gran éxito obtenido por la Compañía de Aerostación al no haber ocurrido desgracias ni contratiempos serios?

El hecho es exacto. Por la Compañía Aerostática se han hecho: una ascensión libre en 1900, nueve en 1901, 13 en 1902, 17 en 1903 y 16 en 1904, ó sean 56 viajes en cuatro años, y ni un solo accidente ha venido á deslucir tantas ascensiones en tan varias circunstancias realizadas.

Trataremos de explicar cómo se han salvado las dificultades y alejado los peligros en lo posible. En primer lugar se ha aumentado algo el volumen de los globos con relación á otras naciones, lo cual, unido á la pureza del hidrógeno que se produce en el Parque y al empleo de un material á la vez ligero y resistente, disminuye bastante las probabilidades de un fracaso.

Dadas las condiciones climatológicas de nuestra Península, de que hemos hablado y atendiendo á las observaciones anemométricas, las más interesantes en la aerostación, se ha hecho un estudio comparativo de los

(1) Conviene hacer constar la buena voluntad manifestada por cuántos en nuestro país se encuentran próximos al sitio de descenso de un globo, que contrasta con las muestras de incultura, frecuentes en otros países.

Repasando días pasados los números de agosto, septiembre y diciembre de 1792 y enero, febrero y marzo de 1793 del *Diario de Madrid* que hacen referencia á las ascensiones hechas por *Lunardi* en esta capital esos mismos años, vimos con satisfacción que en todas ellas había sido ayudado por labradores y campesinos, cosa que no le había ocurrido en Inglaterra, según confesión propia.

diversos meses del año, del cual se ha deducido la época más conveniente para Escuela Práctica.

La tabla núm. 2 nos muestra los *recorridos medios diurnos* del viento en los distintos meses, deducidos de las observaciones practicadas durante treinta y cinco años por el Observatorio Astronómico de Madrid; nos da además los *recorridos máximos y mínimos medios* y los *máximos y mínimos absolutos*. De un examen somero de dicha tabla deducimos que, bajo el punto de vista del *recorrido medio diurno*, los meses más convenientes son: diciembre, noviembre, enero, octubre, septiembre y agosto por este orden, y los peores marzo, abril y mayo; hemos de elegir, pues, entre aquellos seis meses, y si sólo hubiéramos de atender al indicado punto de vista, nuestra elección no sería dudosa: la Escuela Práctica debería verificarse en noviembre, diciembre y enero.

Cuadro núm. 2.

RECORRIDOS *diurnos del viento en Madrid en los distintos meses (deducidos de las observaciones practicadas desde 1860 á 1894.)*

MESES	Clasificación de más á menos.	Medio. — Km.	Máximo medio.	Mínimo medio.	Máximo absoluto.	Mínimo absoluto.
Enero.	3°	335	990	80	1.584	0
Febrero.	7°	373	860	118	1.431	25
Marzo.	11°	425	946	147	1.377	77
Abril.	12°	451	883	173	1.336	109
Mayo.	10°	402	798	183	1.053	132
Junio.	8°	388	714	190	1.151	132
Julio.	9°	388	680	199	839	99
Agosto.	6°	363	626	190	850	115
Septiembre.	5°	341	709	161	971	74
Octubre.	4°	339	801	123	1.124	43
Noviembre.	2°	329	784	98	1.292	13
Diciembre.	1°	318	830	83	1.114	4

Ahora bien, si estos meses son los de menor recorrido medio diurno, en cambio en ellos las oscilaciones medias (diferencias entre los máximos y mínimos medios) y las absolutas (diferencias entre los máximos y mí-

nimos absolutos) son muy grandes, y por consiguiente, muchos días el recorrido diurno será bastante mayor que el medio y no serán convenientes para efectuar ascensiones.

Para aclarar estas explicaciones hemos dado forma gráfica (fig. 1) á

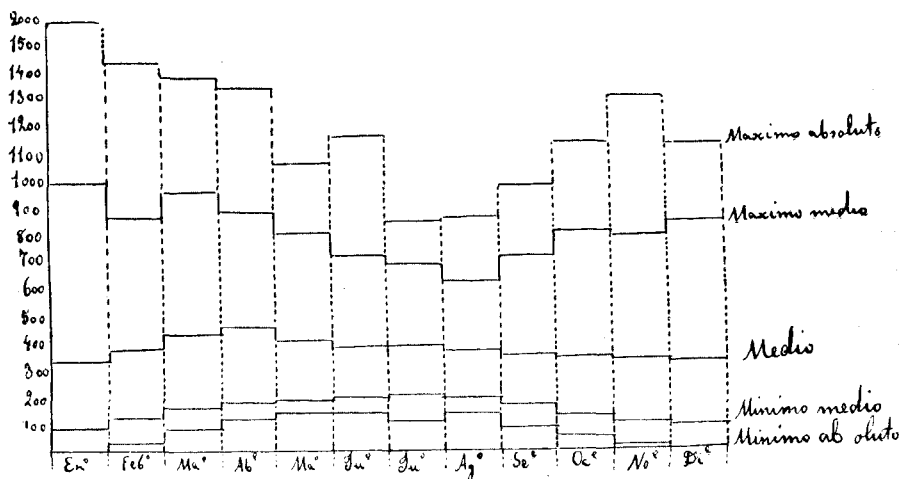


FIG. 1.

la tabla núm. 2. En ella se nota en seguida que si bien el recorrido medio es mínimo en los meses de noviembre, diciembre y enero, en cambio los máximos medios y absolutos en dichos meses son los más altos, y los mínimos medios y absolutos los menores, ó sea que el régimen de vientos de dichos meses es muy irregular, por lo cual no son convenientes para el servicio aerostático.

El examen de las rachas máximas de viento observadas cada día, ha permitido formar tablas, de las cuales da una idea la núm. 3, de las que se han venido á deducir consecuencias que concuerdan en un todo con las anteriores, sin que deba dárseles demasiado importancia, sin embargo, mientras no se hayan hecho dichas observaciones durante veinte ó treinta años, á lo menos.

Cuadro núm. 3.

RACHAS máximas observadas en los distintos meses de los años 1902 y 1903.

MESES	AÑO DE 1902				AÑO DE 1903				Total de días en que las rachas máximas han sido mayores de 80 km. durante los dos años.	Clasificación de meses a más. . . .
	Número de días de cada mes en que las rachas máximas han sido de			TOTAL de más de	Número de días de cada mes en que las rachas máximas han sido de			TOTAL de más de		
	60 km.	70 km.	80 km.		60 km.	70 km.	80 km.			
Enero.	2	1	1	4	»	»	»	»	4	2º
Febrero.	5	1	3	9	1	2	»	3	12	11º
Marzo.	5	»	»	5	»	2	2	4	9	10º
Abril.	1	»	»	1	4	2	»	6	7	7º
Mayo.	9	1	»	10	5	1	»	6	16	12º
Junio.	3	»	»	3	1	»	1	2	5	3º
Julio.	3	1	1	5	1	1	»	2	7	6º
Agosto.	5	»	»	5	1	»	»	1	6	4º
Septiembre.	2	»	»	2	5	»	»	5	7	5º
Octubre.	1	»	»	1	»	»	»	»	1	1º
Noviembre.	3	4	»	7	»	2	»	2	9	9º
Diciembre.	3	»	»	3	4	»	1	5	8	8º

Desde la organización del Parque Aerostático cuenta éste con un Observatorio meteorológico, pequeño, pero bastante completo, en el cual se han hecho diarias observaciones, que si bien carecen aún de la autoridad que á los trabajos estadísticos sólo da la repetición de idénticas observaciones en el transcurso de un lapso de tiempo bastante grande, tienen, sin embargo, alguna, por estar hechas con suma exactitud, buenos aparatos y, sobre todo, con un objeto preciso y determinado.

Como resultado de estas observaciones, hechas durante cinco años, se han formado tablas que, como la núm. 4, dan una idea bastante aproximada de los meses bajo el punto de vista metereológico. Dicho cuadro no necesita explicación, y sus datos vienen á confirmar la inferioridad de los meses de invierno, con relación á agosto, septiembre y octubre, tanto bajo el punto de vista de días completos, como bajo el de conjunto.

Cuadro núm. 4.

RESUMEN de las clasificaciones de los días, según sean ó no utilizables para el servicio aerostático (desde 1.º de julio de 1899 hasta 31 de diciembre de 1903).

RESUMEN DE LOS PROMEDIOS

MESES	DÍAS ÚTILES			Días inútiles.	Días del mes	TANTO POR 100 DE DÍAS UTILIZABLES					CLASIFICACIÓN DE LOS MESES			
	Por completo	Sólo por la mañana.	Sólo por la tarde.			Por completo	Por la mañana.	Por la tarde.	Inútiles por completo	Días.	Días comple- tos.	Mañana.	Tarde.	En con- junto.
Enero.	23,50	3,75	1,25	2,50	31	75,8	12,1	4,0	8	100	4	8	6	5
Febrero.	16,25	3	1,50	7,25	28	58,2	10,7	5,3	25	»	11	10	2	12
Marzo.	19,25	5,25	1,25	5,25	31	62,2	16,9	4	16,9	»	9	5	5	10
Abril.	18,40	4	2	5,50	30	61,6	13,33	6,66	18,3	»	10	7	1	11
Mayo.	17,75	6,75	0,75	5,75	31	57,3	21,7	2,4	18,5	»	12	3	9	9
Junio.	20,00	6,50	0,25	3,25	30	66,7	21,6	0,83	10,8	»	8	4	12	7
Julio.	21,00	7,20	1,20	1,60	31	67,7	23,2	3,8	5,16	»	7	2	7	4
Agosto.	21,80	7,40	0,40	1,40	31	70,3	23,8	1,30	4,5	»	5	1	11	3
Septiembre.	23,00	4,40	0,60	2,00	30	76,6	14,66	2	6,6	»	1	6	10	1
Octubre.	23,60	2,60	1,60	3,20	31	76,1	8,38	5,16	10,3	»	3	11	3	2
Noviembre.	23,00	2	1,40	3,60	30	76,6	6,66	4,66	12,0	»	2	12	4	6
Diciembre.	21,60	3,40	1,20	4,80	31	69,7	10,9	3,8	15,4	»	6	9	8	8

ASCENSIONES

Creemos suficientemente razonada la justificación de haber elegido para meses de Escuela Práctica los de agosto, septiembre y octubre; pero aún añadiremos otras razones que los aconsejan: en invierno los días son más cortos, las temperaturas sumamente bajas y variables, las nieblas, lluvias y nevadas más frecuentes; aumentan, por lo tanto, los peligros de un descenso rápido ó en mal terreno.

Con la acertada elección de los meses de Escuela Práctica se ha conseguido que la mayoría de las ascensiones, y particularmente las dirigidas por jefes poco experimentados, se verifiquen en días *útiles por completo* y sean fáciles, reservando las pocas que en los restantes meses se hacen para los oficiales de la Compañía que tienen, en general, más conocimientos teóricos y prácticos.

Además, el Parque de Guadalajara está en correspondencia con el Observatorio Central Meteorológico, y éste le envía diariamente el *tiempo probable*, lo cual, unido á las observaciones hechas en el Observatorio de Guadalajara, hace que cuando una ascensión se emprende no se haya confiado al azar más que aquello que sea humanamente imposible prever.

Frecuentes conferencias teóricas, prácticas continuadas y unas precisas y completas *instrucciones para ascensiones libres* (1) vienen también á contribuir al éxito que la Compañía de Aerostación ha tenido hasta el presente.

(1) *Instrucciones á los oficiales encargados de dirigir ascensiones libres*, por el jefe del Servicio Aerostático, D. Pedro Vives y Vich.



DESCRIPCIÓN

DE

UNA ASCENSIÓN LIBRE



Vamos á tratar de explicar cómo se practican las ascensiones libres en España, para lo cual elegiremos una y sobre ella iremos haciendo la explicación que trataremos de que sea clara y detallada, aun á riesgo de incurrir en vulgaridades para los iniciados en la ciencia aerostática.

Daremos preferencia á lo práctico sobre lo teórico, pues á ello nos autoriza la excelente *Memoria* publicada en esta misma revista por el capitán del Parque Aerostático D. Francisco de P. Rojas, titulada *Apuntes de Aeronáutica. Estudio del globo esférico libre*, en 1902.

Hemos elegido para dicho objeto el viaje libre del día 11 de septiembre de 1901 por varias consideraciones: ni el de mayor recorrido, ni el de mayor duración, ni aquel en que se ha alcanzado mayor altura, tiene sin embargo, á nuestro parecer, buenas condiciones para servir de modelo ó *patrón* al describir una expedición libre. Las grandes velocidades observadas en algunos trayectos, el paso de varios ríos y el buen equilibrio del globo, por una parte; las dificultades y peligros del descenso por otra, y por último, la conformidad entre la teoría y la práctica, que del examen del gráfico se desprende, son las razones principales que motivan nuestra elección, aparte de la no despreciable, de poder hacer la narración del viaje como testigo presencial, con la independencia al par de no haberla dirigido.

En tres partes puede considerarse dividida una ascensión libre: comprende la primera hasta el momento de la partida, abarca la segunda desde este momento hasta que el extremo libre de la *cuerda freno* toca en tierra, al final del viaje, y desde este punto en adelante se extiende la tercera. Las designaremos respectivamente con los nombres de *prepara-*

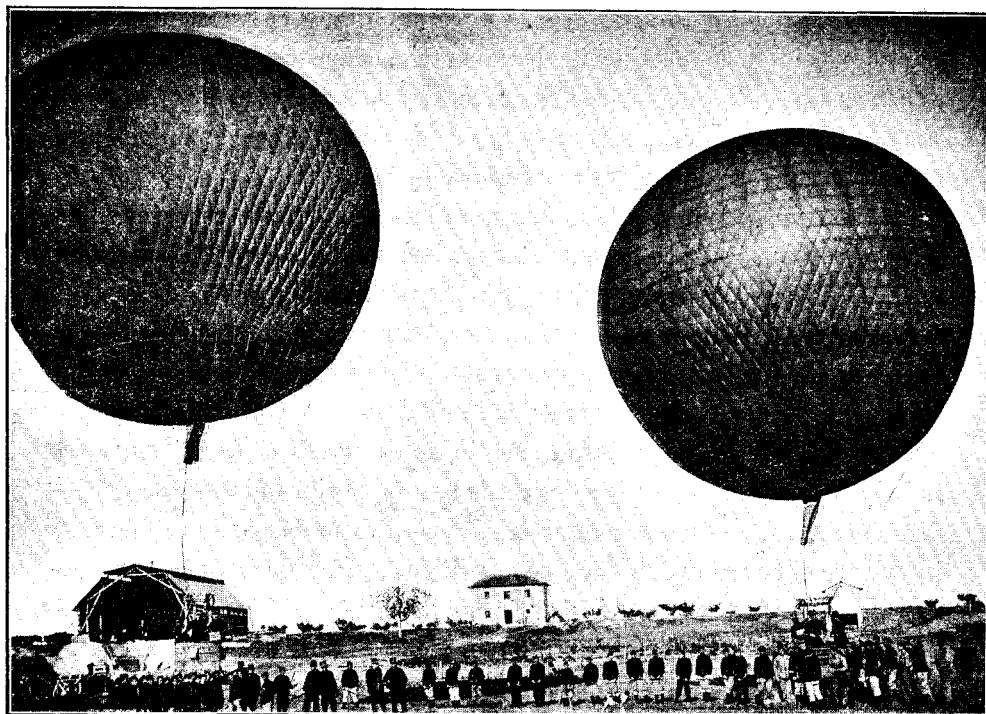
ción de la ascensión, viaje y descenso. No incluimos en nuestro estudio, por no considerarlo pertinente, las operaciones posteriores al momento de *tomar tierra*, tales como recoger el material, regresar al Parque, reconocerlo y desprender el caucho de la *banda de desgarré*, dejándolo preparado para hacer de nuevo la pegadura de ésta.

Aunque suponemos en todos nuestros lectores algunos conocimientos de aerostación, creemos necesario hacer una enunciación rápida del material empleado en las ascensiones libres y su nomenclatura.

La envoltura en los globos libres está formada por husos cosidos y pegados unos á otros hasta formar una esfera hueca. Tiene ésta varias aberturas: una superior circular, á la cual se ajusta la *válvula*, que se manobra desde la *barquilla* por medio de la *cuerda de la válvula*; otra inferior también circular que forma la base superior del *apéndice*, cilindro de tela que sirve para establecer el equilibrio de presiones entre el interior y el exterior del globo, y otra llamada *abertura de vaciado rápido*, que se encuentra en el hemisferio superior, afecta la forma triangular y va cerrada por la *banda de desgarré*, trozo de tela de la misma forma que se pega interiormente á los bordes de la abertura con una solución de caucho en bencina, y se manobra desde la *barquilla* por medio de la *cinta de desgarré*. En algunos globos hay otro apéndice para el *llenado*.

Rodea al globo *la red*, de cuyas *mallas* inferiores parten varias cuerdas que se unen en el *círculo de suspensión*, del cual va suspendida la *barquilla* por medio de las *cuerdas de suspensión de la barquilla*. Pendiente del círculo de suspensión van: una gruesa cuerda de 80 á 100 metros de longitud y de 30 á 40 kilogramos de peso, que se llama *cuerda freno*, y otra delgada que lleva en su extremidad libre un *saco de lastre de doble envuelta*. La figura 2 permite ver dos globos del Parque Aerostático preparados para hacer un viaje libre. En el de la izquierda se vé la banda de desgarré y en el de la derecha la *cuerda freno*, sostenida por varios soldados (1).

(1) Prescindimos de todo material no empleado actualmente por la *Compañía de Aerostación*.



GLOBOS **Marte** y **Venus** EQUIPADOS PARA DOS ASCENSIONES COMBINADAS
FIG. 2.

Preparación de la ascensión.

Las operaciones principales que comprende esta parte, son: pegado de la banda de desgarre, reconocimiento y reparación del globo, llenado, equipo de la barquilla, unión de ésta con el globo y preparación de la salida.

La operación de pegar la banda de desgarre es delicada, pues de ella depende la seguridad de los aeronáutas. Se hace, por mandato expreso de las *Instrucciones*, por uno de los oficiales que han de tomar parte en la expedición.

La práctica de la operación suele hacerse así: con un ventilador movido á brazo se inyecta aire en el interior del globo, cuidando de que la abertura de vaciado rápido quede en la parte inferior sobre unas láminas de zinc, que se colocan previamente cubriendo el suelo. Una vez que en el interior del aerostato existe suficiente cantidad de aire para que puedan

trabajar en él dos ó tres hombres sin molestias, entran por el apéndice el oficial y dos individuos de la *escuadra de reparaciones* con material, adaptan la banda de desgarré á la abertura de vaciado rápido, proceden á extender sobre ambas telas, en una faja de 1 decímetro, una solución concentrada de caucho en bencina, pegando los trozos de tela á medida que se ha extendido dicha disolución, y pasando luego un rodillo para hacer más perfecta la unión. Una vez terminada la operación, se deja el globo algún tiempo inflado para que se seque bien la pegadura.

Para aumentar la seguridad de la unión, se ha propuesto unir las dos telas por dos filas de botones metálicos de guantes. En la práctica no ha dado muy buenos resultados este procedimiento de unión por llenarse de caucho los agujeros de los botones, siendo muy difíciles de limpiar, y alargarse desigualmente las telas, con lo cual los botones no se corresponden con sus huecos.

Cuando la banda de desgarré lleve más de una semana pegada, y con objeto de que en el momento de desgarrar no sea necesario ejercer un esfuerzo demasiado grande, disponen las *Instrucciones para ascensiones libres* que el día antes de la ascensión se despegue un metro de la parte superior de la banda y vuelva á pegarse de nuevo.

Antes de cada ascensión es imprescindible hacer un detenido reconocimiento del globo, con objeto de apreciar si está en condiciones de emprender el viaje y hacer las reparaciones necesarias. Este reconocimiento se practica del siguiente modo por uno de los aeronáutas: se inyecta aire con el ventilador en el interior del globo (con su válvula superior colocada y provista de muelles); una vez lleno hasta la mitad entra por el apéndice el oficial acompañado de algún soldado con material de reparaciones, y una vez en el interior hace que soldados colocados fuera hagan girar al aerostato hasta que todo él haya pasado ante sus ojos, observando las pequeñas picaduras ó rotos, que hará reparar con trozos de tela cauchotada (1), pegados á la tela del globo por el procedimiento descripto al tratar de la pegadura de la banda de desgarré.

Una vez concluidas las pequeñas reparaciones, se hace que sujeten fuertemente desde el exterior el platillo de asiento de la válvula, se tira

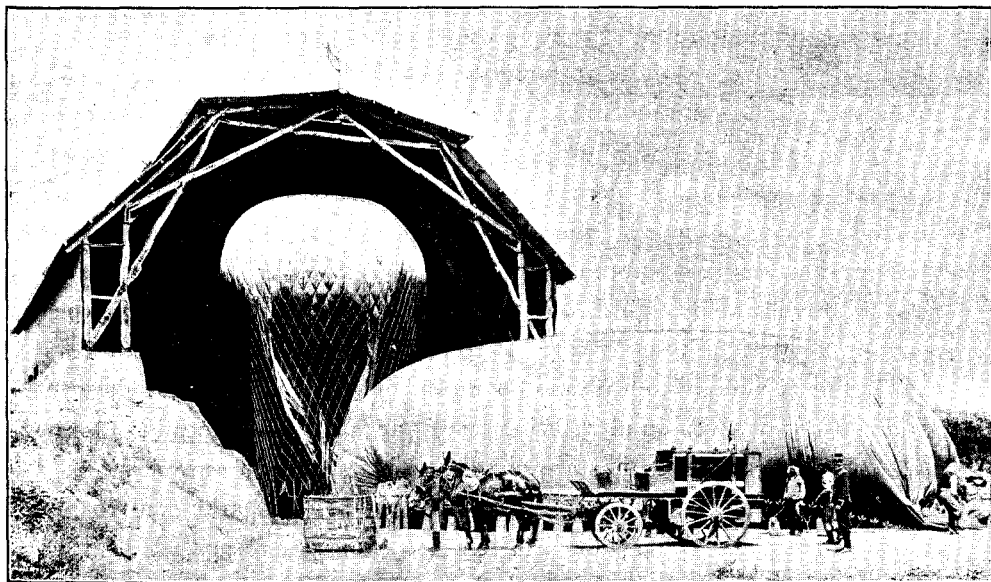
(1) Nos referimos á globos construídos con este material.

de la cuerda *roja y gualda* (1), que la maniobra, para probar el estado de los muelles de aquélla y se reconoce el ajuste del platillo obturador sobre el caucho de la corona; se coloca, por último, la *lira* que lleva la cinta de desgarré, en su anilla correspondiente, cuidando de evitar se enreden dicha cinta y la cuerda de la válvula.

A continuación se reconocerá cuidadosamente la red, el círculo de suspensión, la barquilla, cuerda freno, etc.

El *llenado* del globo puede hacerse por tres procedimientos: con gas directo de los generadores, con gas comprimido en cilindros de acero y por trasvase del hidrógeno contenido en otro globo, esférico ó *cometa*.

Los detalles de esta operación, muy bien estudiados en la táctica de la Compañía de Aerostación, salen fuera de nuestro programa; en la ascensión que hemos tomado como modelo, el gas empleado había sido trasvasado del globo cautivo *Coutelle*, el cual había realizado ascensiones cautivas durante varios días. La figura 3 indica con suficiente claridad



(TRASVASE)

FIG. 3.

(1) La cuerda de la válvula es, generalmente, de los colores de la bandera de la nación á que pertenece el globo.

cómo se hace pasar el gas desde el globo cometa al esférico á través de una ancha *manga de trasvase*. Sacos de lastre, distribuídos alrededor del globo, según un paralelo, y que se van trasladando de malla en el transcurso de la operación, mantienen la válvula en la parte superior é impiden los movimientos desordenados del aerostato. También se trasvasa el gas poniendo las dos bocas de un ventilador en comunicaci6n con ambos globos y haciéndolo funcionar.

En el tiempo que dura la operación del trasvase ó la del llenado se van pesando todos los enseres y aparatos que constituyen el equipo del globo, y al mismo tiempo, de no haberse hecho con anterioridad, se llenan 20 ó más sacos de arena bien cribada, uno de los cuales ha de ser el de doble envuelta de que se habla en los *Apuntes de Aeronáutica*, del capitán Rojas (págs. 114 y 115). Todos los sacos se igualan á 15 kilogramos.

El equipo en la ascensi6n que consideramos se componía de los siguientes objetos:

Un barómetro de bolsillo.

Un *estatoscopio* Richard (1).

Un aspirópsicrómetro.

Unos gemelos de campaña.

Una cámara fotográfica de película.

Una jaula con ocho palomas mensajeras.

Nueve hojas del mapa itinerario del Depósito de la Guerra, en escala $\frac{1}{200000}$.

Un mapa general de España, en escala $\frac{1}{1500000}$.

Una guía de ferrocarriles.

Una cartera con útiles de escribir, listas de embarque, pasaportes, impresos de *colombogramas*, sellos, etc.

Pellizas, espadines, espuelas y revólvers (2).

Provisiones, vino y agua.

Bramante y navajas.

Una *sirena*.

(1) Aparato para indicar los movimientos verticales de un globo. (Véase el apéndice de los *Apuntes de Aeronáutica*.)

(2) Todo en las bolsas de la barquilla.

Relojes de bolsillo.

Varias bolsas y portamantas.

Posteriormente y para evitar olvidos, se ha dado impresa en las *Instrucciones*, ya varias veces citadas, una relación de los objetos que han de llevarse en toda expedición. Dicha relación es la siguiente:

Barómetros de cuadrante y registrador.

Estatóscopo.

Aspiropsicrómetro.

Gemelos.

Cámara fotográfica, con sus placas ó películas.

Ocho palomas.

Mapa en escala $1/200000$.

Mapa general de España.

Guías de ferrocarriles.

Una cartera que contenga lapiz, goma de borrar, el pasaporte, listas de embarque, despachos de palomas, tarjetas postales, impresos para telegramas, sellos de telegramas y de tarjetas y un ejemplar de estas Instrucciones.

Abrigos, impermeables ó mantas de viaje, según la estación.

Navaja que corte bien.

Espadines, espuelas y guantes.

Revólver descargado y las cápsulas separadas.

Provisiones, incluyendo vino y agua.

Ovillo de bramante.

Dos librillos de papel de fumar.

Banderitas para arrojar despachos.

Sirena ó pito.

Cazoneta grande para la cuerda de la válvula.

Botiquín de cazador.

Instrucción para casos de accidentes.

Reloj de bolsilo.

Dinero.

Recientemente se ha completado aún el equipo, ordenando forme parte de él una pequeña lámpara eléctrica, con sus acumuladores, y añadiéndole algunas cosas útiles, como un machete corto y afilado, por si es

necesario desprenderse del saco de doble envuelta ó aun de la cuerda-freno.

Una vez obtenido el peso exacto, tanto de los objetos del equipo como de los aeronáutas, se colocan aquéllos en la barquilla, bien en bolsas que ésta lleva en tres de sus cuatro caras, bien al exterior, sujetos por cuerdas ó correas, exceptuando los aparatos, que han de ir suspendidos del círculo ó cuerdas de suspensión, y los que lleven en sus bolsillos los tripulantes de la barquilla.

Una vez el globo lleno (con el apéndice cerrado) y la barquilla equipada, se procede á la unión de uno con otra, lo cual se hace descolgando los sacos de lastre que sostienen á aquél, repartidos en las últimas mallas de la red y sustituyéndolos por hombres; éstos avanzan, á voces de mando (fig. 4), hasta el círculo de suspensión, previamente unido á las cuerdas de la red y á las de la barquilla, con lo cual el globo queda sujeto por el peso de ésta, en cuyo interior se han colocado un gran número de sacos de lastre, y en la cual se apoyan, por precaución, varios soldados.

Entran á continuación los aeronáutas, cuelgan el barómetro y estatóscopo de modo que puedan observarse con facilidad, y suspenden el aspirópsicrómetro de una cuerdecilla que va pendiente de una malla de la red, de modo que quede á distancia de la barquilla para la mayor exactitud en las observaciones; hacen una lazada á las cuerdas de desgarré y de la válvula, pasándolas por una cazoneta del círculo de suspensión, de modo que, sin quedar tirantes, no haya peligro de que sean accionadas por un movimiento brusco é involuntario de los tripulantes. Se une, por último, la cuerda freno al círculo de suspensión, cuidando muy especialmente de que caiga debajo del huso que lleva la abertura de vaciado rápido, con objeto de que en el descenso quede ésta en la parte posterior y no pueda, al abatirse el globo, quedar debajo, dificultando el vaciado del aerostato. En algunos casos se llevará la cuerda-freno arrollada en el interior de la barquilla; pero fuera de estos casos especiales se extenderá previamente sobre el suelo en dirección contraria á la de la marcha probable, para que al elevarse el globo disminuya con su rozamiento la velocidad horizontal de éste y aun para que pueda usarse como cuerda de maniobra en caso necesario. Uno de los casos en que será

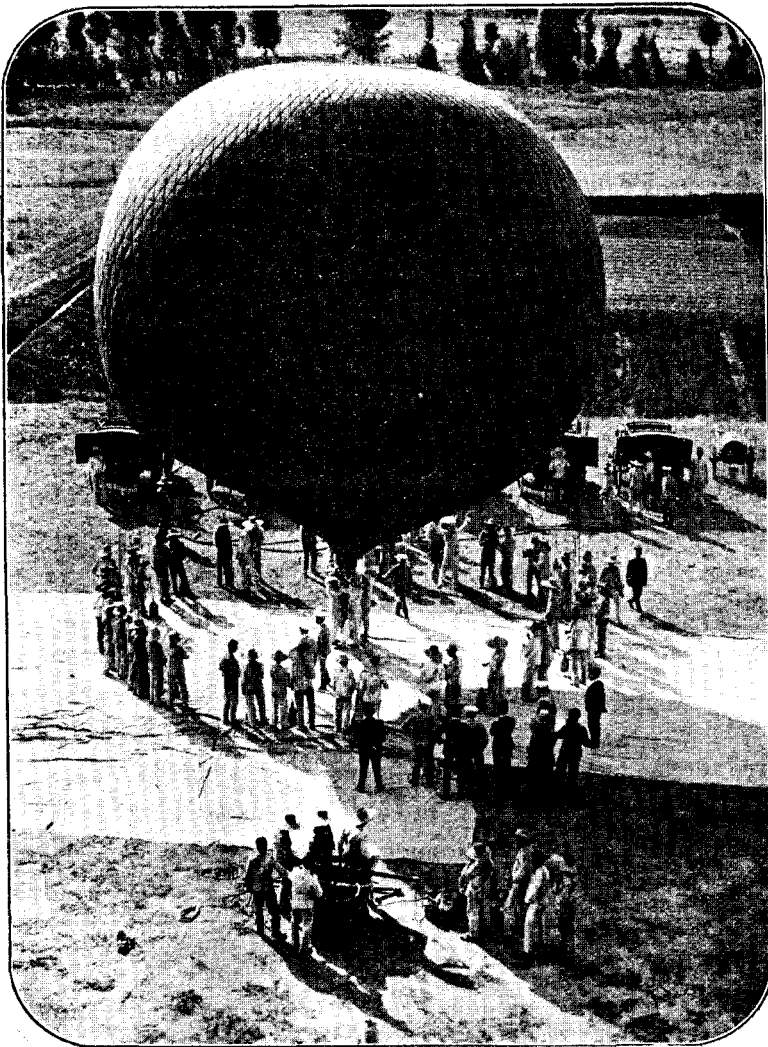


FIG. 4.

necesario llevar la cuerda freno dentro de la barquilla, ocurre cuando en las inmediaciones del punto de partida hay árboles, edificios ú otros obstáculos en que pueda enredarse aquélla, si la velocidad del viento es muy grande; pero en este caso conviene para desembarazar la barquilla, ya de suyo poco espaciosa, desarrollar la cuerda freno apenas salvado el

obstáculo, cuya operación no deja de ser difícil si la cuerda freno es algo pesada.

Antes de partir en una ascensión libre es indispensable para el aeronauta conocer la fuerza ascensional que tiene el gas de que va lleno su globo, y para esto se procede á la operación de *pesar el globo*. Se sacan varios sacos de lastre de la barquilla hasta que el globo, sin poder aún elevar aquélla, tenga fuerza para imprimirle algunos movimientos, y entonces se continúa deslastrando saco á saco, conservando varios soldados sus manos próximas á la barquilla sin apoyarlas en su borde, pero dispuestos á sujetarla en cuanto noten tendencia á subir. En el momento en que la barquilla se mantenga aproximadamente en equilibrio á poca distancia del suelo se da por terminada la operación, siendo evidente que la fuerza ascensional del gas contenido en el acrostato será igual al peso total que soporta y que podemos conocer exactamente, pues conocemos los sumandos de que está formado. Esta operación es difícil y puede conducir á resultados erróneos en días de fuerte viento ó de régimen perturbado, por lo cual es en éstos preferible hallar el *peso* dentro del barracón.

Los sacos de lastre se colocan generalmente en el fondo de la barquilla; pero en caso de ser ésta pequeña, ó mucho el lastre de que se dispone, se pueden colocar al exterior, pendientes por sus ganchos de las cuerdas de suspensión de aquélla.

Pocas operaciones nos restan ya: colocar unos cuantos sacos de lastre al alcance de la mano, abriéndolos si, como generalmente sucede, están cerrados con un atado hecho con bramante para que no se vacíen; distribuir el trabajo entre los tripulantes; abrir el apéndice y hacer las anotaciones de salida en el *carpet* de viaje.

La operación de abrir el apéndice, cuya importancia no creemos necesario encarecer, es bien sencilla, pues basta tirar de una cuerda que desprende una especie de cepo, que es lo que mantiene cerrada la manga ó apéndice.

En los días de fuerte viento las dificultades aumentan, y en su consecuencia deben aumentar también las precauciones: el apéndice se mantiene cerrado hasta el último momento para evitar las pérdidas de gas producidas por las rachas de viento al actuar sobre el globo; las dos cuerdas de maniobra que van unidas al círculo de suspensión, al lado mismo

de la cuerda freno, serán sostenidas, y aun en algunos casos esta misma, por varios hombres. Las *Instrucciones* previenen que mientras duren los preparativos de la salida, un oficial tendrá en la mano la *cinta de desgarrar* por si llega una situación extrema.

La distribución del trabajo entre los tripulantes es asunto á la elección del jefe; varía con las condiciones personales de aquéllos, con su número y con los caracteres del viaje.

Los cometidos principales que hay que distribuir son: observación de los movimientos del globo en sentido vertical (barómetro y estatóscopo), movimiento horizontal (observación de los mapas ó planos, marcando en ellos el itinerario), arrojé de lastre, maniobra de la válvula y lectura de los aparatos meteorológicos.

En general, el jefe se reserva el papel de observar el equilibrio y movimientos del globo en sentido vertical, por ser lo más importante, sin que esto le distraiga de la inspección de los demás cometidos.

Hecha la distribución del trabajo, y antes de la voz de «Suelten», el jefe echará una rápida ojeada sobre el globo y hará las anotaciones de la partida (hora, temperaturas, presión, viento, cielo, etc.) en el *carnet* de marcha. A continuación presentamos el modelo de *carnet* usado en la Compañía de Aerostación: (*A*) muestra la página en que se hacen las anotaciones de salida y llegada y (*B*) una cualquiera de las del viaje, que son iguales todas.

Carnet para ascensiones libres (A)

.....^a ASCENSIÓN LIBRE, EN 11 DE *Septiembre* DE 1901

Desde *Guadalajara* á *Almagro*, 296 kms.

Duración del viaje: desde 6 hs. 35 ms. á 11 hs. 50 ms.

Altura máxima: 1360 metros sobre el punto de partida.

Director: *Teniente Civeira*.

Compañeros de viaje: *Tenientes Zamora y Kindelán*.

En el globo: *Marte* de 816 m.³

PESO EN KILÓGRAMOS	{	Globo completo hasta el círculo de suspensión.	191 kgs.	} 273		
		Barquilla con lonas y bolsas.	46 »			
		Cuerda freno.	36 »			
		Aeronáutas... {	<i>Teniente Civeira</i>		65 »	} 206
			<i>Id. Zamora</i>		70 »	
			<i>Id. Kindelán</i>		71 »	
		Enseres, aparatos y palomas, etc., etc.	32 »		} 252	
Lastre: 13 sacos, á 15 kgs.	195 »					
Fuerza ascensional remanente.	25 »					
SUMA.			731			

Gas empleado: *Hidrógeno*, trasvasado de un globo cometa,
con fuerza ascensional de 0,932 kgs. por m.³

Observaciones á la salida

Barómetro		Termómetro. . .	seco. . . . 12,5 húmedo. . . 12
Nubes: <i>Cielo cubierto</i> .			
Viento: <i>Casi calma</i> .			

Observaciones á la llegada

Barómetro		Termómetro. . .	seco. . . . 23° húmedo. . . 19°
Nubes: <i>Cielo cubierto</i> .			
Viento: <i>Fresco</i> .			

Carnet para ascensiones libres (B)

Horas	Minut. ^o	Altura	Tempe- ratura	SITUACIÓN Y OBSERVACIONES
6	35	0 m.	12° 5	<i>Salida</i>
6	55	740	11°	<i>Aceña (globo lleno)</i>
				<i>Equilibrio</i>
6	55	760	11° 5	<i>Arboyeque</i>
7	»	780	11°	↓ <i>Se echa lastre (1/4 de saco)</i>
7	13	760		<i>Se echa 1/4 de saco.—Carretera de Alcalá á Aranzueque-San Torcáz</i>
7	21	960	9° 25	<i>Carretera de Alcalá á Pezuela</i>
7	30	980		<i>Nuevo Baztán</i>
7	35	1000		<i>Se abre la válvula.—Villar del Olmo</i>
7	55	1160		<i>Se suelta una paloma.—Se cruza el Tajuña.</i>
7	55	1120		<i>Carretera de Paredes á Fuentidueña</i>
8	20	1180	9°	<i>Río Tajo. (Presa de los Valdajos del canal de la Cola baja á Aranjuez.)</i>

Antes de partir, el jefe observará el terreno, viendo si está libre y despejado ó si existen obstáculos próximos; en este caso, el aeronáuta ha de tener en cuenta que su globo no subirá verticalmente más que en el caso de calma absoluta, y que en los restantes describirá una curva que sería una parábola si sólo actuaran sobre el globo su fuerza ascensional y la del viento, pero que en virtud de la resistencia del aire al movimiento de aquél será otra curva bastante compleja, cuyas ordenadas sean menores. Para salvar un obstáculo situado en la proximidad del punto

de partida es necesario arrojar una cantidad de lastre que se determina por la fórmula

$$\lambda_0 = \frac{2 h v^2 P}{g d^2 + 2 h v^2},$$

en la cual h es la altura del obstáculo, d su distancia al punto de partida, v la velocidad del viento en metros por segundo, P el peso total del globo, g la aceleración de la gravedad y λ_0 el lastre necesario para salvar el obstáculo. De la fórmula se deduce que este peso es tanto mayor cuanto mayores sean la velocidad del viento, la altura del obstáculo y la capacidad del globo y menor la distancia de éste á aquél. En vista de los resultados que se obtengan de la aplicación de la anterior fórmula ó de otra análoga, ó bien calculando el lastre necesario para alcanzar la altura á que crea el jefe debe marchar en los comienzos del viaje, y observando si el tiempo necesario para alcanzar dicha altura (1) es suficientemente corto para evitar se enrede en los obstáculos la cuerda freno, arrojará una cantidad de lastre para comenzar la ascensión, que anotará en el *carnet* como *fuerza ascensional remanente*.

Un jefe algo práctico no necesitará acudir á estas fórmulas en la mayoría de los casos, bastándole sólo recordar la ley que dice «que cualquier globo en equilibrio que arroje un peso de lastre igual á la centésima parte del peso total que soporta, se elevará 81 metros próximamente sobre la zona que ocupaba al hacer dicho arroje de lastre» (2).

Con esta ley y su práctica en apreciar velocidades de los movimientos del globo en sentido vertical y horizontal, le bastará en casi todos los casos. Si el globo sale flácido, sólo podrá aplicarse la ley á partir de la zona á que se llene completamente, zona que depende de la relación del volumen del globo en el momento de la partida al volumen total, ó sea del *grado de flacidez* del aerostato.

Además, debe tomarse la precaución de que un oficial, por lo menos, tenga preparado un saco de lastre en el borde de la barquilla para arrojarlo si el globo no sube con la rapidez deseada, evitando accidentes po-

(1) Véase *Complemento de la segunda parte de los Apuntes de Aeronáutica*, de Rojas, páginas 78 y siguientes.

(2) Esta ley es sólo exacta para el globo lleno.—*Apuntes de Aeronáutica*, página 60.

sibles en la salida, análogos al de la ascension del día 2 de abril del 1903, del cual nada hemos de decir por haber sido tratado en esta misma *Revista* por pluma tan autorizada como la del Jefe del Servicio Aerostático, teniente coronel Vives.

Una vez todo dispuesto, pide el director de la expedición permiso para partir, al jefe más caracterizado que se halle presente, y una vez obtenido, participa al oficial que manda la maniobra en tierra, que está todo dispuesto. Este dá la voz de «Soltar» y el globo se eleva en los aires, terminándose la primera parte de las tres en que hemos dividido para nuestro estudio la ascension libre.

Viaje.

Sensaciones diversas se experimentan al elevarse un globo libre entre los que lo ven partir y entre los que parten en su barquilla.

Un ligero sentimiento de pavor, una cierta sensacion de vértigo, sobrecoge á los primeros si la subida es muy rápida; una sensacion admirativa, quizás un vago pesar por no acompañar á los aeronáutas, si aquella es lenta y magestuosa.

Los que se van, en cambio, no experimentan ninguna de estas impresiones; la sensacion más importante que sobresale sobre las demás, es la de aislamiento, la de quietud y esta sensacion se conserva durante todo el viaje. Sea rápido ó lento el ascenso, es la tierra la que parece alejarse de nosotros, bien con inaudita velocidad cual si absorbida fuese por profundo abismo, bien lentamente disminuyendo gradualmente las dimensiones aparentes de los objetos terrestres, á la manera que vé disminuir las dimensiones de los objetos situados en las costas, el marino que de ellas se aleja á bordo de su navío.

Ya á cierta altura se presenta un curioso fenómeno que Nadar ha llamado *cubeta aeronáutica*, consistente en ver la tierra cóncava cual si el globo se encontrase en el centro de una gigantesca cubeta. Este fenómeno, que se presenta muy acentuado en el mar, en las planicies y en las ascensiones nocturnas, tiene una explicacion bien sencilla: por la costumbre que tenemos de considerar el horizonte situado á la altura de nuestros ojos, cosa que aquí no es exacta, resulta que elevamos hasta

hacerlos de nuestra misma altura los bordes de aquél, que resultan por lo tanto más elevados que el terreno situado en la vertical del globo.

Pero por muy interesantes que tales fenómenos sean, hay otras cosas que merecen fijar la atención preferente de los aeronáutas durante los comienzos del viaje.

Una vez que la cuerda freno deje de apoyarse en tierra, deben observarse el estatoscopio y el apéndice y anotarse en el *carnet* el momento en que éste se abre, señal indicadora de que el globo se ha llenado por completo. El estatoscopio nos indicará el momento en que se detiene el movimiento ascensional; si la altura que entonces marca el barómetro es la que creemos conveniente en la primera parte del viaje, observámos con atención el estatoscopio; si el globo está en equilibrio nada tenemos que hacer; pero si, como generalmente sucede, el globo ha traspasado por inercia su zona de equilibrio verdadera, se iniciará un descenso que habrá que contener en sus comienzos arrojando lastre á puñados, para evitar que por arrojar luego demasiado se repita el mismo hecho y tengamos una marcha sinusoidal, llamada *trayectoria serpentina* ó *montaña rusa de los aeronáutas*. En general será imposible obtener el equilibrio sin pasar por una *trayectoria serpentina* más ó menos ondulada, dependiendo de la habilidad del jefe de la expedición el reducir al *mínimum* su duración y el gasto de lastre que ocasione.

En el gráfico de la ascensión que consideramos (gráfico núm. 1) podemos observar cuanto hemos dicho. Siendo el viento casi nulo en la superficie de la tierra en el momento de la partida, pudo efectuarse sin dificultad el *pesado* del globo y no hubo que tomar grandes precauciones para salvar los árboles del río Henares, único obstáculo que se presentaba ante el globo, en la dirección de marcha probable, indicada por el viento, siendo suficiente para ello la subida que originaba la flacidez del aerostato, el cual sólo debía contener unos 760 metros cúbicos de gas.

Siendo 816 metros cúbicos el volúmen total del globo y 760 el número de metros cúbicos de gas que tenía en su interior en el momento de partir y habiendo observado la presión barométrica y la temperatura en dicho momento, que eran 760 milímetros y $+ 12^{\circ},5$, se tenían datos

bastantes para deducir (1) que la altura á que el globo debía llenarse por completo, era de 1200 metros sobre el nivel del mar, ó sean unos 560 sobre el Polígono de Guadalajara; como esta altura resultaba un poco pequeña, teniendo en cuenta que en la dirección probable de marcha el terreno subía rápidamente hasta alcanzar 800 metros de cota, y para evitar al par la influencia del paso del río sobre el equilibrio del globo, se prescindió de unos 25 kilogramos de lastre, con objeto de tener una fuerza ascensional remanente no muy pequeña. Siendo el peso total que el globo soportaba 731 kilogramos, resultaba que por cada 7,30 kilogramos de lastre que arrojáramos, subía el aerostato 81 metros, ó sea que los 25 kilogramos de fuerza ascensional remanente debían hacerle subir unos 280 metros sobre su zona de *llenado*, y por consiguiente la de equilibrio se hallaría entre 1450 y 1500 metros sobre el mar. Observando el gráfico puede verse que los resultados obtenidos en la práctica confirmaron estas deducciones teóricas.

El globo, que se elevó flácido á las 6^h 35^m, se llenó á unos 1180 metros y la zona de equilibrio se encontró entre los 1400 y los 1500 metros; una vez llegado á ella el globo y por las causas antes esplicadas, se inició una *trayectoria serpentina* que duró unos veinticinco minutos y fué contenida sacrificando medio saco de lastre con oportunidad (7^h 30^m), marcándose una ligera tendencia ascensional, que trató de contrarrestarse maniobrando la válvula (7^h 35^m). Fieles á nuestro propósito de examinar esta ascension, revestidos de la más absoluta imparcialidad, no podemos pasar en silencio que este *golpe de válvula* fué una equivocación, pues no siendo nuestra altura de marcha exagerada, no había inconveniente en dejarnos elevar, con lo cual perderíamos el *minimum* de gas, y ningún lastre, mientras que accionando la válvula era preciso perder más gas del necesario, produciendo un descenso involuntario que originaría la consiguiente pérdida de lastre. Así se reconoció enseguida y se dejó al globo continuar su movimiento ascendente.

La distribución del trabajo entre los tres oficiales que tripulaban la barquilla, se hizo del siguiente modo: el gráfico vertical estaba á cargo del jefe de la expedición y el itinerario era llevado alternativamente

(1) Por la fórmula $V_0 x_0 = V x$ y la tabla núm. 1 de los *Apuntes de Aeronáutica*.

por los otros dos tripulantes, los cuales tenían además á su cargo, uno la maniobra del lastre y otro la observación de los aparatos. La maniobra de la válvula no fué asignada á ninguno en particular.

El río Tajuña fué cruzado á unos 1700 metros sobre el mar (7^h 45^m), por lo cual su influencia apenas se dejó sentir en el globo, el cual descendió sólo unos 80 metros, volviendo enseguida á recobrar su altura sin arrojarse alguno de lastre.

Otro ligero descenso experimentó nuestro aerostato al cruzar el Tajo por cerca de Villarrubia (8^h 20^m), pero por idéntica razón (nuestra altura era de cerca de 1900 metros) la influencia de la humedad de la atmósfera sobre la cuenca del río, no se dejó sentir en aquél. Si hubiéramos ido 500 ó 600 metros más bajos, es casi seguro que se hubiera iniciado un rápido descenso que nos hubiera hecho gastar bastante lastre, de no haber acudido con oportunidad á poner remedio.

Operación fácil al principio, la de llevar el itinerario, se hizo luego sumamente difícil, por la gran velocidad de traslación que adquirió el globo, la cual, según puede apreciarse en el gráfico, llegó á 40 metros por segundo, resultando que mientras buscábamos en el mapa los puntos notables que veíamos en el terreno y trazábamos un elemento del itinerario, el globo había avanzado tanto, que el paisaje había variado totalmente, siéndonos difícil darnos cuenta de la dirección que habíamos seguido y punto preciso en que nos encontrábamos. La atención continuada de los tres tripulantes fué necesaria para poder marcar fielmente en las hojas del mapa itinerario del Estado Mayor, la línea indicadora de nuestra marcha.

Esta gran velocidad (iniciada á las 9 horas de la mañana) fué causa de que resultase frustrado nuestro primer intento de descenso, según veremos ahora.

La elección del sitio y momento oportuno del descenso, no puede hacerse á la ligera, pues depende de muchas circunstancias; las instrucciones recibidas por el jefe de una expedición, suelen ser principalmente una de las tres siguientes: bajar cuando encuentre sitio conveniente, sin más limitaciones; seguir constantemente á otro globo libre, bajando cuando él baje y en sitio próximo, y cumplir una misión militar dentro de un supuesto táctico ó estratégico; excepcionalmente puede recibir

también la orden de alcanzar la máxima altura ó la máxima duración de viaje, dentro de los límites que la prudencia aconseje.

De la primera clase eran las recibidas por nosotros; se dejaba, por consiguiente, á nuestro arbitrio el punto y hora del descenso, con la advertencia de no bajar muy tarde para evitar se hiciese de noche en las operaciones de recoger el material y transportarlo á un pueblo próximo al punto de caída.

En vista de esto se pensó descender en cuanto cruzamos el ferrocarril de Madrid á Alcázar (9^h 15^m) para no alejarnos mucho de esta vía y poder regresar fácilmente á Guadalajara; apenas cruzada la vía, la dirección de la marcha se hizo sensiblemente paralela á ella, por lo cual decidimos, en vista de que no nos alejábamos de dicha vía de comunicación, esperar un sitio oportuno para descender; pero al poco tiempo, la dirección cambió en ángulo recto y se impuso el descenso inmediato, tirándose al efecto de la *cuerda de la válvula*.

Ahora bien; como el globo tenía entonces una cierta tendencia á subir, compensaba el efecto de la salida del gas por la entreabierta válvula, lo cual, unido á la gran rapidez con que marchábamos hacia la sierra «La Calderina», nos obligó á variar de plan, decidiendo salvar dicha sierra y continuar el viaje hasta encontrar el ferrocarril de Madrid á Ciudad-Real ó el de Ciudad-Real á Manzanares.

Una vez salvados los montes de «La Calderina» (10^h 20^m), habiéndose sacrificado $\frac{3}{4}$ de saco para contrarrestar incipientes descensos que se iniciaron dos veces, se adoptaron las disposiciones necesarias para *tomar tierra*, guardando en su funda los aparatos, suspendiendo al exterior el saco de doble envuelta, distribuyendo nuevos cometidos á los oficiales y tirando, por último, de la válvula. Uno de los oficiales se encargó de la maniobra de ésta y de la banda de desgarre, el otro de la del lastre y observación de la cuerda freno y el jefe de la observación del barómetro y estatóscopo.

A las 11^h 30^m tocó en tierra la cuerda freno y empezó la tercera parte.

Descenso.

Al tocar la cuerda freno en tierra nos dimos exacta cuenta de que

nuestra velocidad era muy grande, como lo probó el hecho de que varios hombres que se agarraron á la cuerda cayeron á tierra, siendo arrastrados hasta que soltaron; dicha velocidad en el momento de tocar en tierra la cuerda freno debía estar comprendida entre 10 y 15 metros por segundo.

En vista del peligro que envolvía tomar tierra en estas condiciones, decidió el jefe marchar algún tiempo con la cuerda freno arrastrando, para que, por su rozamiento con el terreno, disminuyera nuestra velocidad, y el choque de la barquilla con el suelo fuera menos violento; así lo hicimos durante unos minutos, hasta que muy próximos á Daimiel, tras una pequeña elevación del terreno que lo ocultaba á nuestra vista, encontramos un bosque que nos obligó á arrojar un saco de lastre entero, á pesar de lo cual la cuerda freno se enredó en un árbol durante breves instantes, experimentando la barquilla y el globo violentas sacudidas. Al elevarnos apareció á nuestra vista *Almagro*, y una vez pasado el bosque tiramos nuevamente de la válvula, consiguiendo que la cuerda freno volviese á tocar otra vez tierra á la 11^h 50^m.

Aquí empezó el descenso definitivo; navegamos á *la cuerda freno* á una velocidad de más de 40 kilómetros por hora durante un par de minutos, hasta que mediante la maniobra de la válvula conseguimos equilibrarnos sobre el saco de doble envuelta, que distaba unos 12 metros de la barquilla; en seguida se tiró de la *banda de desgarré* y nos suspendimos de las cuerdas de la barquilla para no sufrir directamente el choque con tierra. Este, como tiene que suceder siempre que sea grande la velocidad de marcha, fué violento, abatiéndose bruscamente la barquilla y quedando los aeronáutas casi fuera de ella. A causa quizás del perturbado régimen del viento, quizás por algún esfuerzo oblicuo al chocar la barquilla con tierra, quizás también por efecto de la bandera, que en las primeras ascensiones se llevaba pendiente de la red y que hacía el globo asimétrico, por lo cual se ha suprimido, el hecho es que la *banda de desgarré*, al abatirse el globo, quedó en la parte inferior, por lo cual éste sólo se vació en parte, siendo impulsado por el viento, haciendo de gigantesca vela que arrastraba la barquilla.

Los instantes que duró el arrastre fueron difíciles y de peligro para los aeronáutas, imposibilitados de hacer movimiento alguno, teniendo

que conservar su sangre fría para no salirse de la barquilla, que tendía á pasar sobre ellos volcando previamente y á impedir el choque contra las grandes piedras de que estaba sembrado el terreno; sólo uno de los tripulantes pudo maniobrar la válvula, consiguiendo al fin que el globo se detuviera, en cuyo momento otro de los tripulantes, previa orden del jefe, salió rápidamente de la barquilla é hizo girar el globo hasta que la abertura de vaciado rápido quedó en la parte superior, vaciándose entonces totalmente.

No examinamos con más detenimiento las causas del *arrastré* por dispensarnos de ello el bien escrito artículo del teniente coronel Vives, *Algunas observaciones acerca de la eficacia del vaciado del globo por medio de la banda de desgarré en los globos libres*, publicado en el MEMORIAL DE INGENIEROS de marzo de 1903 en contestación á otro del capitán Fajardo, que vió la luz en el número de enero del mismo año de dicha *Revista*.

Hemos descripto un descenso *sin auxilio exterior en día de fuerte viento*, caso el más desfavorable que presentarse puede y sólo haremos algunas indicaciones breves sobre los otros casos. Si la velocidad del viento es pequeña, quizás sea conveniente desgarrar á pocos metros del suelo y aun en el momento de tocar en tierra la barquilla.

Nos vamos á permitir exponer una opinión nuestra, que no intentamos prevalezca, pues no dejamos de reconocer, que nos falta autoridad y experiencia para ir en contra de lo establecido. Sólo en caso de que el descenso se convierta en *caída*, creemos necesario que los tripulantes de la barquilla se suspendan de las cuerdas para aminorar el efecto del choque con tierra. En los demás, lo creemos perjudicial, pues no existe tal peligro en general y en cambio, son estos últimos momentos del viaje, aquellos en que es más necesario tener las manos libres para hacer la maniobra con precisión, evitando peligros más positivos y reales que el que se trata de aminorar.

Si la calma es absoluta en el momento del descenso, de tal modo que la cuerda freno en vez de extenderse sobre el terreno, se vá enroscando sobre sí misma, debe hacerse con precaución la maniobra del desgarré para evitar que el globo caiga sobre la barquilla y los tripulantes, uno de los cuales deberá sentarse en el borde de aquella, con los pies al ex-

terior, presto á abandonarla, si el globo va á caer encima, para tirar de él por la parte opuesta á la banda de desgarre.

Si el viento no es muy fuerte no hay inconveniente en aceptar los auxilios exteriores, permitiendo que uno ó varios hombres agarren la cuerda freno y ayudándolos con la válvula, pues no hay que olvidar que á medida que la longitud de cuerda que se apoya en el suelo va siendo mayor, va disminuyendo el peso que soporta el aerostato y aumentando su fuerza ascensional y el trabajo que los hombres tendrían que hacer, si no se les ayudase con la válvula.

En estos casos el desgarre se hace en general después que la barquilla se apoya en el suelo y en algún caso será conveniente hacer entrar á uno de los auxiliares en la barquilla (venciendo, casi siempre, su natural repugnancia) para que pueda salir uno de los aeronáutas y auxiliar la operación desde el exterior.

Terminada la descripción de una ascensión libre, insistiremos sobre la conveniencia de que el oficial director sea al par prudente y sereno, reservando lastre suficiente para el descenso y efectuando éste sin apresuramiento ni desorden, sin vacilación ninguna, teniendo en cuenta que en este período crítico de la ascensión, son necesarias decisiones prontas y rápidas que han de ser obedecidas ciegamente por los tripulantes.

El lastre que ha de reservarse para practicar con éxito *el descenso* se calculará por la fórmula de Banet-Rivet

$$L = 0,28446 V \frac{x}{760} \left(\frac{x_1 - x}{760} \right) \quad (1)$$

ó por la tabla Moedebeck's (2). En los *Apuntes de Aeronáutica* del capitán Rojas, se demuestra la conveniencia de que el lastre para el descenso se componga de dos partes: una destinada á moderar la velocidad de bajada, á la cual llama *lastre freno*, y otra á prevenir posibles contingencias que hagan necesario prolongar el viaje (el encuentro del bosque próximo á Damiel, en nuestro viaje), á la cual da el nombre de *lastre de reserva*. Como regla general, diremos que en los globos de 600 á 800 me-

(1) V volumen del globo $\begin{cases} x & \text{presión en la zona de equilibrio.} \\ x_1 & \text{id. en la superficie de la tierra.} \end{cases}$

(2) *Maedebeck's Taschenbuch für Flugtechnik und Luftschiffer*, página 75 y *Apuntes de Aeronáutica*, de Rojas.

tros cúbicos empleados en la Compañía de Aerostación, conviene reservar (suponiendo se lleva cuerda freno de 35 kilogramos de peso y saco de doble envuelta de 15) un saco de 15 kilogramos como *lastre freno* en las ascensiones que no sean extraordinarias por su altura de navegación y de dos á cuatro como *lastre de reserva*, según el terreno y las condiciones meteorológicas, pudiendo reducirse algo, si así lo exige la ejecución de las órdenes recibidas ó la realización del objetivo del viaje.

En las páginas del *carnet* que se acompañan como modelo pueden verse todos los detalles de esta ascensión, debiendo hacer notar de paso que en ella se soltaron palomas durante el viaje, cosa que ahora no se hace por haber demostrado la experiencia que las palomas soltadas desde grandes alturas y habiendo visto el terreno viajan mal. La jaula donde vayan ha de colocarse del lado donde va la cuerda freno, que quedará en la parte superior en caso de arrastre ó vuelco.

Terminaremos copiando un párrafo de las *Instrucciones para ascensiones libres*, que dice: *Nadie abandonará la barquilla hasta que el globo esté desinflado y lo mande expresamente el jefe, aun cuando se esté ya en el suelo. Cualquier falta en este sentido tendría suma gravedad y sería juzgada como si un oficial hubiera abandonado un puesto de honor.* Este párrafo tiene por objeto evitar los grandes peligros que podrían resultar de que un oficial, dejándose llevar de una tendencia instintiva bastante común, abandonase la barquilla cuando el globo tuviese aún fuerza ascensional suficiente para elevar á los otros tripulantes.

**Ascensión libre del día 26 de octubre de 1904
en el globo "Mercurio"**

Aeronáutas: *Tenientes Kindelán y Durán.*

Volumen del globo: 640 m.³

Peso. . .	}	Globo, barquilla y cuerda freno.	227	kgs.	}	652	kgs.
		Aeronáutas.	148	»			
		Enseres, aparatos y palomas.	27	»			
		Lastre: 15 sacos de 15 kgs.	225	»			
		Fuerza ascensional remanente.	25	»			

Gas empleado: *Hidrógeno trasvasado del globo «Alfonso XIII», con una fuerza ascensional de 1,02 kgs. por m.³.—(Gráfico núm. 2.)*

OBSERVACIONES Á LA SALIDA:

Temperaturas { Seca 18°
 { Húmeda. . 15°,5

Nubes: *Cr. Cum.*

Viento: *Bonancible.*

SIGNOS CONVENCIONALES:

$\frac{1}{4}$ se arroja $\frac{1}{4}$ de saco de lastre.

\uparrow se tira de la válvula.

\leftarrow se sueltan palomas.

$\left(\frac{19}{18}\right)^\circ$ 19° de temperatura en el aire seco, y 18 en el húmedo.

La ascensión que hemos descripto anteriormente, aunque de bastante recorrido, fué de corta duración, sin que llegara á hacerse sentir la necesidad de economizar lastre, á lo cual contribuyeron, además, la buena provisión de él con que salimos y la regularidad de las condiciones termométricas y estado higrométrico durante el viaje. En los de larga duración, toda la atención del aeronáuta es poca para tratar de economizar el lastre: *la sangre del globo*, como ha sido llamado.

Vamos á describir una ascensión que, además de servirnos de modelo como viaje de larga duración, va á permitirnos hacer algunas consideraciones sobre las ascensiones en países montañosos y las nocturnas.

En las maniobras generales del Otoño próximo pasado, en las cuales tomó parte la Compañía Aerostática, no hubo ocasión de emplear los globos, pues se suspendieron, por triste motivo, en el preciso momento en que comenzaba á ser útil su empleo como instrumentos insustituibles de exploración; dadas estaban ya por el general de la 2.^a división, á que estaba afecta la Compañía, las órdenes oportunas al jefe del Servicio, al mismo tiempo Comandante de Ingenieros de la división. Recibida la de regreso, figuraba en el itinerario que en ella se marcaba la ciudad de Toledo, como punto en el cual debíamos descansar dos días; á ruegos de la guarnición, y mediante autorización telegráficamente solicitada y concedida, dispuso el Jefe del Servicio se hiciera una inflación á campo raso del globo cometa *Alfonso XIII*, haciéndose varias ascensiones y maniobras y trasvasando, por fin, su gas al globo esférico *Mercurio*, aún sin estrenar, para efectuar una ascensión libre.

Comisionados para efectuarla los primeros tenientes D. Heriberto Durán y el que esto escribe, se practicaron cuantas operaciones se han explicado en la *Preparación de la ascensión* (teniendo que despegar un metro de banda, por llevar más de ocho días pegada) y una vez hechas las observaciones de partida, se elevó el *Mercurio* en las ruinas del antiguo *Circo Romano*, que en la *Vega Baja* existen.

Las instrucciones dadas por el Jefe de Servicio fueron: aprovechar las buenas condiciones del globo para prolongar la excursión, concediendo autorización para que si, al caer la tarde, las circunstancias fueran favorables á continuar la navegación, prolongarla durante la noche las horas que se pudiera, teniendo en cuenta que la luna era llena.

A las 10^h 50^m quedó el globo en libertad, llenándose antes de los 100 metros, por salir casi lleno; con objeto de evitar la influencia del río Tajo, en las varias veces que lo cruzamos, arrojamos un saco de lastre para aumentar al par la velocidad de subida y la altura de la zona de equilibrio.

Apesar de ello, por efecto de la humedad de la atmósfera y de que cruzamos cuatro veces el Tajo y luego los arroyos Aceituno y del Con-

de, fué muy difícil obtener el equilibrio y describimos una *trayectoria serpentina*, no apreciable en el dibujo por la pequeñez de la escala empleada; nos equilibramos por fin á 1100 metros (700 sobre Toledo) habiendo sacrificado dos sacos y medio de lastre. A la media hora de marchar equilibrado ($12^h 45^m$) y por efecto de la condensación producida sobre el globo por una nube, se inició un marcado descenso, que hubo que contener arrojando $\frac{1}{2}$ saco próximamente, alcanzando el aerostato 1400 metros de altura, en la vertical del arroyo de las Cuevas. Los ríos Cadena y Torcón produjeron dos nuevos descensos bastante marcados, obligándonos á arrojar saco y medio de lastre.

Haremos notar lo difícil que fué obtener el equilibrio al principio del viaje, debido principalmente á que por la poca altura á que navegábamos, se hacía muy sensible la influencia de cualquier curso de agua que atravesábamos. Parece, pues, que debíamos habernos elevado más para sustraernos á dichos efectos; pero hay que tener en cuenta que como la zona de navegación va elevándose en el transecurso del viaje, y el lastre necesario para el descenso aumenta con la altura de navegación, si hubiéramos comenzado aquél á mayor altura, al cabo de varios arrojes de lastre, alcanzaríamos una elevación tal, que todo el lastre se necesitaría para el descenso, en cuyo caso debería descenderse en cuanto el equilibrio se rompiese por cualquier causa.

Al paso del río Pusa se produjo el correspondiente descenso, que se contuvo arrojando $\frac{3}{4}$ de saco y á continuación el globo se elevó hasta 1850 metros, haciéndose por esto menos sensible la influencia de los ríos Gévalo y Huso, en los cuales bastó arrojar $\frac{1}{2}$ saco y $\frac{1}{8}$ respectivamente.

Apenas pasado el primero de los ríos que acabamos de citar, se presentó á los aeronautas el problema de decidir si se tomaba tierra ó prolongaba el viaje de noche. Se optó por la segunda solución, por las siguientes razones: la gran cantidad de lastre que aún nos quedaba (nueve sacos de 15 kilogramos), la equilibrada marcha que después de tan gran trabajo habíamos conseguido, la claridad de la noche, la escasa velocidad (13 á 14 kilómetros por hora), las instrucciones recibidas y el deseo de corresponder á la confianza que representaban. No formamos plan fijo, sino continuar el viaje economizando lastre, cuanto posible fuera,

dispuestos á realizar un descenso á la luz de la luna, en cuanto lo hiciera preciso la falta de aquel elemento ó la proximidad del mar (no hay que olvidar que marchábamos constantemente hacia el Oeste, poco más ó menos).

Nuestros preparativos para pasar la noche en el aire no fueron largos: descolgamos, por precaución, el saco de doble envuelta, guardamos el aspirópsicrómetro, hicimos señales exteriores en el barómetro por sí, como sucedió, no podían distinguirse los números de la esfera interior, preparamos papelititos de fumar en sustitución del estatóscopto (que se nos descompuso) ó hicimos un arreglo ordenado del equipo de la barquilla, para poder encontrar fácilmente en la oscuridad cuanto se necesitase. Con esto y hacer un estudio detenido del mapa, en la parte que íbamos á atravesar, procurando grabar en nuestro cerebro la planimetría y los principales accidentes orográficos del terreno, quedaron ultimados nuestros preparativos de *pernocte aéreo*.

A las 17^h 30^m empezó el crepúsculo y á las 18^h era imposible leer en el barómetro, reinando la más absoluta oscuridad hasta las 19^h, hora á que salió la luna, resultando un bello espectáculo la aparición de nuestro satélite entre un mar de *cumulus* y *cirrus-cumulus*.

La puesta del sol no produjo efecto inmediato en el equilibrio del aerostato, como realmente debía suceder, y sólo luego la condensación del vapor de agua, producida por el gradual enfriamiento de la atmósfera, dió lugar á una muy ligera tendencia al descenso, fácilmente contrarrestada arrojando pequeños puñados de lastre.

Contra lo que sucede generalmente, se notó, apenas puesto el sol, que la velocidad de marcha aumentaba de un modo notable, lo cual, unido á la completa oscuridad y á que el terreno se elevaba mucho, haciéndose bastante accidentado, nos hizo redoblar nuestra vigilancia. Aunque la oscuridad era grande antes de la salida de la luna, podíamos, con bastante trabajo, observar los desplazamientos verticales del globo y orientarnos por las luces de los pueblos y los principales accidentes del terreno, que se divisaban confusamente, cuando estábamos muy próximos á ellos, haciendo las anotaciones en la oscuridad.

En cuanto los rayos de la luna iluminaron el terreno, aparecieron los detalles de éste con tal claridad, que nuestra orientación hubiera

sido tan fácil como en una ascensión diurna, de haber podido leer en el mapa á la luz de la luna.

No creemos necesario seguir paso á paso la parte nocturna de la ascensión y sólo diremos que á bastante buena velocidad seguimos hacia Cáceres, pasando por Trujillo, y derivando luego algo hacia el Norte, entramos en Portugal por la parte en que el Tajo sirve de frontera.

El equilibrio, como sucede en la mayoría de las ascensiones nocturnas, en las cuales se aminoran ó anulan las principales causas que alteran aquél, fué muy estable, como es facil observar en el gráfico, siendo apenas perceptibles los pasos del Almonte y el Tamuya, apesar de que, por haberse elevado el terreno, nuestra altura sobre él resultaba inferior á 1000 metros.

Nuestra orientación dejaba bastante que desear, pues á causa de la gran velocidad que llevábamos y de no poder leer en los mapas, ignorábamos nuestra exacta posición y sólo sabíamos con certeza la dirección de nuestra marcha. Además, la luna desaparecía con frecuencia detrás de las nubes, pudiendo decirse que, por cada hora que brillaba, dos ó más nos dejaba sumidos en profundas tinieblas.

Hacia las nueve y media de la noche apareció frente á nosotros una sierra sumamente elevada, á la que nos aproximábamos con extraordinaria rapidez; un descenso muy marcado al acercarnos á ella vino á complicar nuestra situación, obligándonos á desprendernos de $\frac{1}{2}$ saco de lastre.

Como nos creíamos aún España, no podíamos averiguar cuál fuera aquella sierra, cuyos altos picos nos sobrepasaban mucho en elevación, lo que atribuímos al principio á una ilusión óptica, no pudiendo suponer que nuestra velocidad había aumentado tanto que teníamos delante la Serra da Estrella, con sus alturas de más de 1900 metros.

De 1600 metros era nuestra zona de navegación, presentándose á nuestra mente las dos soluciones que pueden adoptarse en las ascensiones nocturnas, cuando un obstáculo respetable intercepta el camino del globo: elevarse á considerable altura para salvarlo sin peligro, es la primera y la que debe adoptarse cuando el lastre abunde; aprovechar las inflexiones que en las corrientes de aire se producen al chocar con las montañas, es el que hay que seguir cuando la economía de lastre se

impone con imperio. Restándonos escasamente ocho sacos y queriendo prolongar la ascensión algunas horas, decidimos intentar el empleo de este segundo procedimiento, tomando las naturales precauciones; abordamos, pues, la sierra conservando nuestra altura de navegación, que era de 1600 metros, preparando dos sacos de lastre para arrojarlos de golpe si no notábamos tendencia á subir al aproximarnos mucho á las montañas. La altura de la que delante teníamos excedía en más de 100 metros á la nuestra.

Al llegar á unos 200 metros del monte hacia el que nos dirigíamos, se notó la tendencia á subir, que fué acentuándose hasta hacernos atravesar aquél sin ayuda de lastre, teniendo sólo que sacrificar $\frac{1}{4}$ de saco para contener el descenso que se inició al cesar la causa que había hecho al globo elevarse sobre su zona de equilibrio. Con igual satisfactorio éxito atravesamos otras montañas; pero observando que, si bien la subida á las crestas las hacíamos sin perder lastre, en cambio teníamos que arrojar enseguida alguno para contener los descensos que se iniciaban, lo cual ocasionaba una constante elevación de la zona de equilibrio; intentamos navegar más bajos con objeto de encontrar la corriente del valle, marchando á lo largo de él y atravesando las montañas por los puertos. Conseguimos navegar entre 1500 y 1600 metros y así logramos recorrer una larga distancia, pasando entre picos que nos sobrepasaban en 400 ó 500 metros sin tener que arrojar un solo grano de arena, saliendo por fin de la sierra en dirección Este-Oeste aproximadamente.

Como nos dábamos cuenta de nuestra proximidad al mar, vigilábamos atentamente, aprovechándonos de la claridad de la luna, que entonces brillaba espléndida, sin que llegáramos á divisarlo.

Sobre una gran población, que luego hemos comprobado, por los datos tomados, era Coimbra, precisamente á las doce de la noche, sufrimos un cambio de dirección, producido quizás por la influencia de la brisa del mar, dirigiéndonos al N. N.E. El paso de la sierra nos había fatigado mucho por la atención continuada que había requerido de nosotros, y esto, unido á la gran pérdida de lastre (casi tres sacos) que nos había ocasionado y al buen terreno que bajo nuestra vista se extendía, nos hizo pensar en la conveniencia de no prolongar el viaje, atraídos al mismo tiempo por la curiosidad de un descenso nocturno á la luz de la luna.

Decidimos, sin embargo, continuar la navegación, en vista de que nuestra zona de equilibrio era muy baja y que los cinco sacos de lastre que nos quedaban nos permitían afrontar cualquier contingencia imprevista.

Continuamos nuestra navegación con un equilibrio inalterable hasta la 1^h 50^m, en que la influencia del río Duero se dejó sentir grandemente, siendo necesario arrojar $\frac{3}{4}$ de saco para contrarrestar la gran tendencia al descenso que produjo, teniendo la suerte de que, en vez de volver á subir por efecto de dicho deslastre á una altura superior á la que traía el globo, que era de 1800 metros, nos equilibramos á menos de 100 metros sobre el mar (300 sobre el terreno).

Con velocidad algo menor, continuamos nuestra navegación á esta última altura, atravesando el accidentado terreno de Tras os Montes y Entre Douro é Minho, tan pronto marchando en dirección N. N.E. como en N. N.O., lo cual obedecía á que la corriente que nos impulsaba, por estar próxima al suelo, se amoldaba á éste, rodeando los picos elevados y siguiendo los valles. En vista del buen éxito obtenido al pasar la Sierra de la Estrella, decidimos no arrojar lastre y emplear el procedimiento de dejar al viento la misión de hacernos cruzar los montes por los puertos ó rodearlos si eran muy elevados; sólo tuvimos que desprendernos de una pequeña cantidad de arena ($\frac{1}{4}$ de saco) al terminar de pasar un pico de Serra Cabreira (3^h 20^m) de más de 1200 metros de altura, por haberse iniciado el descenso obligado, siempre que el viento elevaba el globo sobre su zona de equilibrio. No nos ha sido posible reconstituir con exactitud esta parte de nuestro itinerario y sí tan solo fijar algunos puntos importantes; por esta razón va de *trazos* en el gráfico esta parte de la línea que indica la proyección horizontal del recorrido del globo. El faltar algunas horas en la vertical es debido á que se nos paró el reloj á las 3^h 30^m, no pudiendo anotar desde entonces más que la del descenso y la en que nos vieron pasar los vecinos de Villamarín, por encima de este pueblo.

La salida del sol (el *coup du Soleil* de los franceses) fué poco sensible, y sólo acentuó un poco la tendencia á subir, ligera pero constante, que desde las primeras horas de la madrugada traíamos; el haber sido la noche seca y el color blanco del globo contribuyendo á que la condensación de vapor de agua fuera pequeña, hicieron que se notara tan poco el

efecto del sol, lo cual habíamos previsto, por lo cual no bajamos, como habríamos hecho si el globo hubiera estado muy mojado ó nuestra altura de navegación hubiese sido muy superior á la de 1500 metros, que entonces teníamos (sólo 700 sobre el terreno).

En cuanto tuvimos luz bastante para apreciar los detalles del terreno y poder leer en el mapa (debían ser las seis ó seis y quince) nos orientamos con exactitud, sirviéndonos de referencia primero el curso del Miño y luego la población de Lugo, hacia la cual parecíanos dirigirnos. A las 7^h, próximamente, hablamos con unos campesinos ya en la provincia de Lugo, los cuales confirmaron nuestra orientación.

A las 8^h, próximamente, divisamos una extensa niebla hacia el Norte, la cual, por la forma que afectaba, que coincidía con la de la costa que veíamos en el mapa, y por la distancia y dirección en que estaba, no dudamos era el mar. Resultando por ello imposible prolongar el viaje algunas horas más, como pretendíamos, decidimos bajar en un punto que tuviera fácil comunicación con Lugo, eligiendo Castroverde; pero cuando habíamos comenzado el descenso en este punto, y cuando ya las dos terceras partes de la cuerda freno arrastraban sobre el terreno, una gran cortadura de éste, que no habíamos visto, nos obligó á elevarnos rápidamente arrojando de golpe un saco de lastre. Una vez salvado este obstáculo tiramos nuevamente de la válvula y descendimos con auxilio exterior cerca de Pol, provincia de Lugo.

En el trascurso de la ascensión presenciábamos espectáculos de incomparable belleza: fué el más notable un curioso efecto de descomposición de la luz lunar sobre la capa de bruma que cubría la tranquila superficie de un lago, apenas pasada Serra da Estrella; la salida de la luna, los crepúsculos (en especial el vespertino) y la marcha que hicimos en la citada sierra por el fondo de un valle entre elevadísimos picos, son espectáculos que proporcionan intenso goce artístico y compensan sobradamente las fatigas de la expedición.

Ascensión libre del día 3 de septiembre de 1903.

Aeronáutas. . . { *Teniente coronel Vives.*
 { *Teniente Gordejuela.*

Globo *Vénus*, de 640 m.³

Peso. . .	}	Globo completo y barquilla.	232 kgs.	}	603 kgs.
		Cuerda freno	37 »		
		Aeronáutas	136 »		
		Enseres, aparatos y palomas	28 »		
		Lastre: 9 sacos á 15 kgs.	135 »		
		Fuerza ascensional remanente	35 »		

Gas empleado: 290 m.³ de hidrógeno directo de los generadores y 330 m.³ de hidrógeno comprimido.

Fuerza ascensional del metro cúbico de gas, suponiendo el volumen del globo á la salida de 620 m.³: 0,972 kgs.—(Gráfico núm. 3.)

*
* *

Acabamos de describir una ascensión libre en la que, necesitando economizar lastre para prolongarla hasta al amanecer, hubo que navegar á pequeña altura, arrojando los riesgos y trabajos que consigo lleva esta clase de navegación.

Cuando el lastre no escasea, cuando el viaje no necesita ser de larga duración, ya hemos indicado es más acertado y cómodo el procedimiento de navegar á una gran altura, evitando los obstáculos del sistema anteriormente seguido. Este otro método fué elegido, con acierto, en la primera ascensión libre nocturna, realizada en España, que vamos á describir.

A las 2^h 45^m del día 3 de septiembre de 1903 se elevó el globo *Vénus*, casi lleno, en el Polígono de Guadalajara, tomando la dirección S. O. durante breves instantes y adoptando enseguida una marcha bastante lenta en dirección al N. Una *trayectoria serpentina*, iniciada apenas alcanzada la zona de equilibrio (1400 metros) y el deseo de navegar á

mayor altura, en vista de las elevadas montañas que en la dirección de marcha se presentaban, fueron causas que hicieron se arrojara lastre hasta obtener un nuevo equilibrio á 1700 metros (1000 sobre el terreno).

Aunque la noche no era muy clara, no se perdió la orientación un solo momento, debido al gran conocimiento del país de los aeronáutas y á que podían leer en los planos á la luz de una pequeña lámpara eléctrica que en la barquilla llevaban. El equilibrio del globo no era muy estable, necesitando los aeronáutas manejar con habilidad el lastre, del que hubo que arrojar tres sacos durante la noche, alcanzando una altura máxima de 2200 metros al pasar á la derecha del pueblo llamado Málaga; desde este punto la tendencia á bajar fué continua, siendo necesario contrarrestarla con ligeros pero constantes arrojés de lastre, economizando éste en espera del *golpe de sol*, pues ya el alba se hacía notar débilmente.

Poco después de las cinco apareció el disco del sol por debajo de unos *stratus*, tan próximos al horizonte, que los aeronáutas no pudieron ver entero el astro del día, cuyo borde superior empezó á ocultarse tras las citadas nubes cuando aún no había cruzado la línea del horizonte el inferior. A las 5^h 50^m, poco después de haberse atravesado el *Jarama*, apareció nuevamente por encima de los *stratus*, comenzando á hacerse sentir su influencia sobre el globo, produciendo una subida rápida, muy oportuna por la proximidad de la sierra de *Concha*, de bastante elevación; el aerostato llegó á alcanzar 2400 metros de altura al cruzar nuevamente el *Jarama* por cerca de la *Hirueta*, produciéndose en este momento un nuevo descenso, para contener el cual hubo que sacrificar medio saco. Casi en la cresta de la sierra de *Ayllón* se inició otro, aún más marcado, llegando el extremo de la cuerda freno á tocar en tierra; el arroje de otro medio saco de lastre elevó el globo hasta 2750 metros, en la vertical del *puerto de la Quesera*.

Pasada la sierra y decidido el descenso, se maniobró la válvula repetidas veces, consiguiéndose descender en *Becerril de Ayllón*, con el ligero incidente de haberse enredado en un árbol la cuerda del saco de doble envuelta, sin consecuencias desagradables por lo bien que supo zanjarse.

Este viaje reúne al mérito que le dá ser el primero de su género hecho en nuestro país, el de que las condiciones higrométricas, según puede observarse en el gráfico, fueron desfavorables, por lo cual el equilibrio

y conducción del globo fueron muy difíciles, contra lo que suele suceder en las ascensiones nocturnas. Es digno de notarse que la orientación y observaciones se llevaron exactamente igual que en las ascensiones diurnas.

Ascensión libre del día 3 de noviembre de 1904.

Aeronáutas. . . { *Capitán Meseguer.*
 . . { *Teniente Gordejuela.*

Globo *Marte*, de 816 metros cúbicos.

Peso. . .	}	Globo y barquilla	266 kgs.	}	662 kgs.
		Cuerda freno	38 »		
		Aeronáutas	139 »		
		Enseres, aparatos y palomas.	39 »		
		Lastre: 11 sacos de 15 kgs.	165 »		
		Fuerza ascensional remanente.	15 »		

Gas comprimido en inflación directa.

Fuerza ascensional del metro cúbico de gas: 1,009 kilogramos, suponiendo el volúmen del globo al salir de 650 metros cúbicos. — (*Gráfico núm. 4.*)

* * *

Presentamos esta ascensión como modelo de las llamadas ascensiones *de altura internacionales*. El principal objeto de éstas consiste en obtener el mayor número posible de observaciones meteorológicas, elevándose cuanto permitan las condiciones del globo.

Se verifican, según convenio internacional de 1896, los primeros jueves de cada mes, en cuyos días se elevan simultáneamente en las principales ciudades de Europa, bien globos libres tripulados, provistos de aparatos meteorológicos variados, bien *globos sondas* (globos sin tripular) provistos de registradores é ingeniosos aparatos especiales; reuniéndose las observaciones correspondientes á cada día de ascensiones, que proporcionan precioso auxilio á la Meteorología.

Examinaremos la ascensión bajo el punto de vista puramente aeros-

tático, prescindiendo de su objeto meteorológico. A las 9^h 20^m partió el globo muy flácido (sólo tenía unos 650 metros cúbicos) y con solo 15 kilogramos de fuerza ascensional, no arrojando lastre hasta estar próximo á la zona de equilibrio, por no ser necesaria mayor velocidad en la subida; al principio la dirección del viento era N.O., pero después al llegar á 1100 metros, encontró el aerostato otra capa de distinta dirección, que le hizo cruzar la carretera de Madrid á Zaragoza. Siendo muy lenta ya la velocidad del movimiento ascensional, se empezó á arrojar lastre poco á poco hasta cuatro sacos y medio, alcanzando á las 10^h 35^m una altura de 5100 metros sobre el mar.

A esta altura la temperatura descendió desde + 7°,6 á — 9°, sin que se sintiera excesivo frío á pesar de tan baja temperatura; se notaba en cambio gran laxitud y mucho cansancio al hacer el más pequeño esfuerzo, aunque no dificultad en la respiración.

No pareciendo prudente continuar la subida se cesó de arrojar lastre, marchando equilibrados á la máxima altura citada, cruzando sobre una capa de *cúmulus*, no lo bastante espesa para hacer perder la orientación. A las 11^h 5^m, al cruzar el *Tajuña*, se alcanzó la mayor altura de la expedición, 5120 metros, y la mínima temperatura — 9°,8, iniciándose acto continuo el descenso.

Como el objeto de la ascensión estaba realizado, no se contuvo el movimiento descendente más que lo indispensable para que su velocidad no rebasase los límites admisibles; equilibróse nuevamente el aerostato á 3520 metros, en la vertical de Mazuecos, permaneciendo cerca de una hora en completo reposo, hasta que al descender un poco, á 3200 metros, se encontró una corriente que marchaba en dirección contraria á las de las aguas del *Tajo*. Como esto alejaba al globo del ferrocarril de Cuenca, decidió el jefe elevarse de nuevo hasta encontrar la capa primitiva, lo que se verificó á 3700 metros.

Habiendo podido observarse que por debajo de los *cúmulus* existía una corriente de aire de dirección contraria á la que por encima reinaba, en cuanto se hubo elegido como punto de descenso conveniente *Vellisca*, estación del ferrocarril de Cuenca, se dejó ir el globo hasta rebasar este pueblo unos 7 kilómetros y entonces se maniobró la válvula; á 2600 metros cambió el globo de dirección, retrocediendo hacia *Vellisca*, á 2

kilómetros de cuyo pueblo tocó la cuerda freno, siendo cogida por unos hombres que auxiliaron el descenso.

Este viaje presenta uno de los casos más típicos de superposición de corrientes de aire de direcciones opuestas, siendo digno de notarse lo bien que para el descenso se aprovechó dicha circunstancia. Es al mismo tiempo este viaje el que ha batido el *record* de la altura en nuestro país.

Ascensión del día 8 de noviembre de 1902.

Aeronáutas. . . } *Comandante Calvo.*
 } *Capitán Gil Clemente.*
 } *Teniente Martínez Maldonado.*

Globo *Marte*, de 816 metros cúbicos.

Peso. . .	}	Globo y barquilla.	228 kgs.	}	763 kgs.
		Cuerda freno.	38 »		
		Aeronáutas.	237 »		
		Enseres, aparatos y palomas.	32 »		
		Lastre: 14 sacos á 15 kgs.	210 »		
		Fuerza ascensional remanente.	18 »		

Gas empleado: hidrógeno procedente directamente de los generadores.

Fuerza ascensional del metro cúbico de gas, suponiendo el volumen del globo al partir de 787 metros cúbicos: 0,969 kgs.—(*Gráfico núm. 5.*)

*
* *

Las ascensiones sobre nubes proporcionan tan hermosos espectáculos y particularidades tales, que no podemos resistir al deseo de hablar de ellas en estos apuntes.

Habiendo navegado entre y sobre nubes, y habiendo oído de labios de compañeros impresiones interesantes referentes á ascensiones de esta clase por ellos realizadas, vamos á tratar de exponer algo sobre las sensaciones que en tales viajes se experimentan.

Citaremos sólo algunas de las principales: *las aureolas de los aeronáutas, círculos de Ulloa ó arco iris blanco, bóvedas de nubes* y sobre todo el magestuoso *mar de nubes*, de insuperable belleza.

Consisten las primeras en que al proyectarse la sombra del globo sobre una nube próxima, se observa alrededor de la de la barquilla una *aureola ó gloria* irisada más ó menos grande, y en algunos casos, cuando la nube presenta rugosidades en su superficie, aparecen también rodeando las sombras de las cabezas de los tripulantes; rodeando al conjunto aparece algunas veces un gran círculo blanco, llamado *círculo de Ulloa*, el cual está demostrado es sencillamente un *arco iris* de colores muy pálidos.

No conviene confundir las *aureolas*, por algunos llamadas *halos*, con los *arco iris casi circulares* que se observan en el globo, á diferencia de los que habitualmente vemos, que nunca suelen pasar de 120 grados.

Cuando se atraviesa una nube de poco espesor se vé la tierra sólo en la vertical del globo, cual si éste se encontrara en un obscuro pozo, cuyo fondo fuera el terreno, por cuyo brocal se distingue con creciente nitidez la imagen del sol. Si la nube es más compacta ó su espesor más grande, tierra y sol desaparecen y los aeronáutas se encuentran aislados, navegando en una gigantesca gruta cuyas movedizas bóvedas, columnas y suelo cambian constantemente de forma y posición, presentando los más bellos y variados aspectos.

Si subimos hasta conseguir salir de la capa de nubes, un sorprendente espectáculo se presenta á nuestros ojos. El inmenso Océano de nubes iluminado por los rayos solares, nos produce una sensación de grandeza y magestuosidad digna de ser gozada. «Ni los mares de hielo, ni los campos de nieve de los Alpes, dan una idea de esta meseta de vapor, que se extiende bajo nuestra barquilla como un circo nevado donde valles de plata aparecen entre colinas de fuego. Ni el mar á la puesta del sol, ni las olas del Océano iluminadas por el astro del día en el zénit, igualan en esplendor á este ejército de redondeados *cúmulus*, que tienen también sus olas y sus montañas de espuma, pero que tienen además una luz de apoteosis». Estas palabras, de Gastón Tissandier, expresan elocuentemente la grandiosidad del espectáculo.

Si unimos á esto los curiosos fenómenos acústicos, producidos por la reflexión total del sonido en alguna nube, y los espejismos verdaderamente notables que se observan á veces, habrá que reconocer que las ascensiones entre ó sobre nubes merecen la pena de llamar la atención.

No es, sin embargo, este aspecto aquel bajo el que las estudiaremos en nuestro trabajo, sino bajo el punto de vista aerostático, teniendo en cuenta la dificultad de conducir esta clase de ascensiones por los enfriamientos y condensaciones que suelen producirse, haciendo de estos viajes los de más difícil conducción.

En días en que el cielo esté cubierto podrá, según el espesor y altura de las nubes, haber necesidad de navegar por encima, por debajo ó entre ellas. La navegación por debajo de nubes muy altas es más fácil que en los días despejados, por ser menores las variaciones térmicas é higrométricas. La navegación por encima de un mar de nubes sólo exige precauciones en el descenso, para el cual debe reservarse mucho lastre con el objeto de poder contrarrestar la influencia de la condensación que sobre el globo necesariamente ha de producirse al atravesar las nubes; por dicho motivo ha de ser también muy lenta la velocidad á que debe comenzarse el descenso.

La navegación entre nubes debe evitarse procurando pasar sobre ellas ó descendiendo hasta pasar por debajo; pero si el espesor de aquéllas es considerable, no habrá más remedio, en muchos casos, que navegar en su interior; en tal caso, á las dificultades grandes de conservar el equilibrio en sentido vertical, se unen las originadas por no ver la tierra, lo cual, á más de la falta de orientación, puede dar lugar á internarse en el mar sin darse cuenta ó á tropezar con algún elevado pico. Es, pues, necesario, siempre que se navegue entre ó sobre nubes, sin ver el terreno, descender de cuando en cuando, aunque haya que sacrificar el buen equilibrio del aerostato y orientarse bien, ó por lo menos cerciorarse de que no se tiene el mar próximo y de que la altura de navegación es superior á la de los más elevados montes que se divisen en las inmediaciones. Así se dispone en las *Instrucciones para ascensiones libres*, tantas veces citadas, y así se ha practicado en las varias ascensiones que de esta clase se han hecho en España.

La expedición que vamos á describir es modelo de expediciones so-

bre nubes. A las 8^h 20^m se elevó el aerostato con bastante velocidad de movimiento ascendente y marcha muy lenta en dirección N.E.; apenas alcanzada la altura de equilibrio, 1400 metros, comenzó una acentuada trayectoria serpentina, apenas sensible en el dibujo por la escala elegida, que hubo que contener con cerca de un saco de lastre, cuyo arrojé tenía el doble objeto de contener la tendencia á descender y al par pasar por encima de una capa de nubes que en la dirección de la marcha se presentaba.

Varios *halos* ó *aureolas* se presentaron en las distintas ocasiones en que las nubes se aproximaron al globo, iniciándose descensos cuando la proximidad era tanta que se depositaba sobre la envolvente una ligera capa de gotitas de agua, disminuyendo la temperatura, según puede observarse en el gráfico, en dichos momentos. Los descensos más marcados que por dicha causa se produjeron fueron tres: uno á las 9^h 45^m que se contuvo con $\frac{1}{2}$ saco, otro á las 10^h 10^m que se contrarrestó con otro $\frac{1}{2}$ y el tercero á las 10^h 50^m exigiendo el sacrificio de más de un saco.

No hubo necesidad de descender, pues las nubes presentaban de cuando en cuando claros que permitían una orientación aproximada, no transcurriendo nunca más de media hora sin ver tierra. De todos modos, la orientación no pudo ser completamente exacta, por lo cual va de trazos esta parte del itinerario. A las 11^h 15^m se desvanecieron las nubes de debajo del globo y la ascensión no presentó caracter alguno particular, siendo muy bien llevada; el descenso cerca de *Azaila* presentó muy marcado el fenómeno del *gancho* ó cambio de dirección del globo, al encontrar una corriente próxima á tierra; en el gráfico puede observarse perfectamente lo que decimos.

Este viaje puede considerarse además como de gran recorrido (266 kilómetros) si se tiene en cuenta que el globo era sólo de 816 metros cúbicos y que eran tres los aeronautas, pesando 237 kilogramos. El buen manejo del lastre y la gran velocidad del viento en algunos momentos fueron las causas de ello.

Ascensiones del día 10 de noviembre de 1904.

PRIMERA ASCENSIÓN.

Aeronáutas. . . } *Teniente coronel Vives.*
 } *Teniente Martínez Maldonado.*
 } *Teniente Sáinz.*

Globo: *Mercurio*, de 640 metros cúbicos.

Peso. . .	}	Globo y barquilla.	183 kgs.	}	583 kgs.
		Cuerda freno	44 »		
		Aeronáutas	211 »		
		Enseres, aparatos y palomas.	50 »		
		Lastre: 6 sacos de 15 kgs	90 »		
		Fuerza ascensional remanente.	5 »		

Gas empleado: *Hidrógeno comprimido en cilindros de acero á 150 atmósferas, después de haber trabajado un día el globo como cautivo.*

Fuerza ascensional del metro cúbico de gas: *0.98 kilogramos, suponiendo el volumen del globo á la salida de 592 metros cúbicos.*

SEGUNDA ASCENSIÓN.

Aeronáutas. . . } *Capitán Meseguer.*
 } *Teniente Gordejuela.*
 } *Teniente Fernández Mulero.*

Globo: *Marte* de 816 metros cúbicos.

Peso. . .	}	Globo y barquilla.	266 kgs.	}	778 kgs.
		Cuerda freno.	38 »		
		Aeronáutas	213 »		
		Enseres, aparatos y palomas.	39 »		
		Lastre: 14 sacos de 15 kgs.	210 »		
		Fuerza ascensional remanente.	12 »		

Gas empleado: *Hidrógeno producido directamente de los generadores y 25 cilindros de hidrógeno comprimido á 150 atmósferas.*

Fuerza ascensional del metro cúbico de gas: *1,001 kilogramos, suponiendo el volumen del globo á la salida de 777 metros cúbicos.— (Gráfico número 6.)*

Las ascensiones llamadas *dobles ó combinadas* y quizás con más propiedad *simultáneas ó gemelas*, son muy interesantes, pues ambos globos han de procurar no separarse mucho para caer en el mismo sitio, lo cual exige al que marcha delante, conservar una misma zona de navegación durante un tiempo bastante largo, sin subidas ni bajadas bruscas, y al que marcha tras él, una constante observación de sus movimientos y gran habilidad en la maniobra del lastre y válvula.

Al terminar cada ascensión libre procede el jefe á dibujar el *gráfico* de ella, en forma análoga á los presentados en esta memoria, pero generalmente en escala mayor ($1/200.000$ para las distancias horizontales y $1/20.000$ para las verticales); á este gráfico acompaña una breve *reseña* de la ascensión, en la cual se mencionan cuantas particularidades merezcan fijar la atención y no puedan deducirse del examen de aquél. Perrechado con tales armas se presenta á la *discusión de la ascensión*, que se verifica con asistencia de los oficiales de la Compañía y agregados en prácticas, pocos días después de cada viaje.

Con el doble objeto de dar á conocer la forma en que tales reseñas suelen hacerse y á la par describir una ascensión doble, nos hemos permitido trasladar literalmente á continuación, la de los dos viajes del día 10 de noviembre de 1904, que puede tomarse como modelo de reseñas precisas y bien redactadas.

ASCENSIONES LIBRES COMBINADAS DEL 10 DE NOVIEMBRE DE 1904.

(15.^a y 16.^a del año; 55.^a y 56.^a en la numeración general.)

«*Tiempo.*—Una depresión bastante intensa al N. de las Islas Británicas, siguiendo su camino hacia el N.E.; pequeñas depresiones en las »Azores y Canarias, y un marcado anticiclón que cubre toda la Península, teniendo su centro en el alto Duero con presiones de 773 milímetros (reducidas al nivel del mar) y tendencia á debilitarse, hallándose »como consecuencia de esta situación el barómetro de Guadalajara á »709,49 con tendencia á bajar, puesto que la lectura de las 3 de la tarde »del día anterior fué de 709,95 milímetros. Cielo despejado, con horizontes brumosos. Viento del N. N.O., casi calma.»

«Globo Mercurio.»

«Salida á las 8^h 23^m con muy poca fuerza ascensional, tanto que fué preciso soltar poco á poco un saco completo de lastre y algunos puñaldos de arena de otro para que la cuerda freno dejara de tocar en el suelo, cosa que sucedió á los 7 minutos de marcha. La dirección del viento junto al suelo era casi N., con ligeras fluctuaciones al N. N.E. y N. N.O., pero desde unos 100 metros hasta unos 400 de altura sobre el fondo del valle reinaba una corriente del N.E., que nos llevó sobre *Alovera*; al subir á mayor altura y rebasar los 1000 metros sobre el mar (400 sobre el fondo del valle) la dirección volvía á ser N. Si se hubiera dispuesto de mayor cantidad de lastre (sólo teníamos cinco sacos incompletos) se hubiera intentado mantener el globo á 300 ó 400 metros del suelo para tratar de aproximarnos á Madrid, pero como no era posible obtener un equilibrio estable á estas alturas, puesto que el globo no se llenó hasta los 1300 metros sobre el mar, y el marchar bajos con el globo flácido implicaba mucho gasto de gas y por lo tanto de lastre, teniendo que terminar por esta causa muy pronto el viaje, se desistió de esta idea (que se acarició un momento, llegando á maniobrar la válvula para hacer descender el globo) y se dejó que éste se equilibrara entre los 1600 y 1700 metros sobre el mar, al pasar sobre el pueblo de Santoreaz, en la meseta que separa los ríos *Tajuña* y *Henares*. Con el globo muy equilibrado y con ligera tendencia á subir, por efecto del caldeoamiento del gas, seguimos casi en línea recta con dirección S. algo inclinada al E.; cruzamos el *Tajuña* por Orusco, sin que se notara su influencia, alcanzando la cota de 1800 metros (máxima del viaje) en la carretera de Valencia, junto al *Tajo* (entre Villarejo y Fuentidueña). Desde este punto se inició la tendencia á descender y un cambio de dirección hacia el S. S.O. Pasamos el *Tajo* á las 12^h 4^m; se contuvo un descenso que se inició á las 13^h 30^m, con solo $\frac{1}{8}$ de saco y á las 14^h 5^m se aprovechó otro descenso involuntario para efectuar el definitivo, maniobrando la válvula y llegando á tierra á las 14^h 40^m, con descenso cómodo, ayudados por unos hombres, en un terreno de labor muy llano, situado junto al camino de La Guardia á Lillo, á 5 kilómetros de éste.

»Se recorrieron 103,2 kilómetros en esta expedición.

»*Observaciones meteorológicas.*—Se hicieron las de temperatura seca y húmeda, con un *Assmann*, gran modelo.

»A la salida: 630 metros $\left\{ \begin{array}{l} \text{seca. . .} = 12^{\circ},8 \\ \text{húmeda} = 12^{\circ},5 \end{array} \right\}$ á 1500 metros $\left\{ \begin{array}{l} 10^{\circ},5 \\ 3^{\circ},8 \end{array} \right\}$
 «á 1800 metros (casi sobre el *Tajo*) $\left\{ \begin{array}{l} 12^{\circ},5 \\ 4^{\circ},8 \end{array} \right\}$ En tierra: 800 metros $\left\{ \begin{array}{l} 12^{\circ} \\ 3^{\circ} \end{array} \right\}$

»*Vista del otro globo.*—Durante todo el viaje vimos al globo *Marte*, el cual tuvo que maniobrar mucho al principio y al fin del viaje, para buscar la capa de aire que le llevase detrás de nosotros. Al principio le veíamos muy cerca; después más lejos y en ocasiones era difícil distinguirlo, porque iba muy bajo y se proyectaba sobre el terreno.

»Ya en tierra, vimos que venía en dirección á nosotros y á las 15^h 47^m auxiliábamos su descenso á $\frac{1}{2}$ kilómetro de distancia del sitio donde había tomado tierra nuestro globo, después de recogido nuestro material. Se tomaron fotografías del *Marte*, antes y en el momento de abrir la banda de desgarre.

«Globo **Marte**.»

»Salimos del Polígono (630 metros sobre el mar) á las 8^h 28^m, cinco minutos después que el otro globo, con muy poca fuerza ascensional para no subir mucho y poder seguir mejor al *Mercurio*; echamos un saco para contrarrestar un gran descenso al pasar el *Henares*; seguimos la dirección del otro globo, acercándonos mucho á él á la altura de *Alovera* (1100 metros); el *Mercurio* iba mucho más bajo que el *Marte*, por lo que hubo necesidad de maniobrar la válvula. Al poco tiempo, en vista de que el otro globo se separaba de la dirección Madrid, que habíamos tomado al principio y se elevaba nuevamente, decidimos dejar subir el nuestro para marchar en la misma corriente de aire; á las 2^h 23^m cruzamos otra vez el *Henares* por Acequilla (á 1340 metros); á las 9^h 48^m pasamos por encima de Los Santos de la Humosa (á 1660 metros) y á las 10^h 2^m, hallándonos sobre la carretera de Santorcáz (á 1680 metros) notamos que el otro globo se alejaba mucho del nuestro, aunque en la misma dirección, por lo cual nos elevamos para tratar de recuperar el espacio perdido, llegando á Orusco á las 14^h 19^m á una altura de 1820 metros; al cruzar el *Tajuña*, se inició un descenso que

«contuvimos arrojando lastre, atravesando el *Tajo* á las 12^h 38^m á 1880
 »metros de altura. El otro globo se desvió mucho hacia el Sur, lo cual
 »atribuimos á que habiendo marchado más bajo que el nuestro, la co-
 »rriente de aire del *Tajo* lo había desviado en la nueva dirección; aun-
 »que ya habíamos cruzado el río, decidimos bajar, para seguir al *Mercurio*
 »en su nueva dirección, cruzando el ferrocarril de Cuenca á las
 »13^h 11^m á 1400 metros y continuando el descenso con mucha lentitud,
 »hasta conseguir equilibrarnos á 1200 metros. Una vez conseguido este
 »equilibrio, continuamos la navegación, siendo necesario arrojar puña-
 »dos de lastre para contrarrestar la influencia de los arroyuelos y la ve-
 »getación, pues marchábamos á 200 ó 300 metros del suelo. A las 14^h 40^m
 »vimos desinflar el otro globo y como el punto de descenso de éste lo
 »dejábamos un poco á nuestra izquierda, de continuar en la misma di-
 »rección que traíamos, nos dejamos elevar un poco para recobrar la
 »marcha primitiva; como habíamos derivado lo suficiente, volvimos á
 »tomar la capa baja que nos llevaba hacia el sitio donde había tomado
 »tierra el *Mercurio*, tomando tierra á 500 metros de éste á las 15^h 47^m,
 »auxiliados por nuestros compañeros.»

*
* *
*

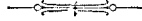
Ante tan detallada y completa reseña poco podríamos añadir, por lo cual haremos sólo unas ligeras consideraciones.

Se vé, en primer lugar, que se realizó el *objetivo* propuesto, que era no separarse mucho los dos globos y tomar tierra próximos; en segundo lugar, es de notar el poco espesor de los varios *filetes* ó delgadas corrientes de aire de distintas direcciones que se encontraron en el viaje, obligando á maniobrar constantemente el lastre y la válvula del *Marte* para seguir al *Mercurio*, apesar de que el viaje de este globo puede tomarse como modelo, por el buen equilibrio vertical, según puede apreciarse en el gráfico.

No terminaremos sin hacer resaltar la dificultad, que de la lectura de la reseña se deduce, de apreciar la altura relativa de ambos globos, hasta el punto de que alguna vez se maniobró la válvula del *Marte* por creer iba demasiado alto, cuando en realidad navegaba á menor altura que el *Mercurio*.



CONCLUSIÓN.



Hemos descripto algunas ascensiones, por distintos conceptos notables; sólo nos resta dar una breve noticia de las demás realizadas en Guadalupe, entre las cuales hay bastantes de singular mérito y algunas muy curiosas. Por su interés histórico presentamos el gráfico de la primera de las hechas en la Compañía de Aerostación, que se verificó el 11 de diciembre de 1900 á bordo del globo *Vénus*, que descendió felizmente, con auxilio exterior, en los alrededores de Alcalá de Henares. Tripulaban el aerostato el jefe del Servicio comandante Vives y el capitán Giménez (1).—(*Gráfico núm. 7.*)

Por creerlo de utilidad para que se pueda apreciar la enorme y productiva labor realizada por el Parque y Compañía de Aerostación y hacer resaltar al par, la gran afición al servicio y excelente espíritu que á jefes y oficiales anima, unimos al final de esta memoria las cuatro tablas resúmenes de los trabajos realizados durante los años 1901, 1902, 1903 y 1904 y la del número de ascensiones hechas por cada oficial durante ellos.

Para entender la última columna de la derecha de los *Resúmenes de ascensiones libres*, hemos de decir que: se entiende por descenso *cómodo* aquel en que no ha llegado á abatirse la barquilla; *bueno*, aquel en que ha habido abatimiento suave sin arrastre ni peligros; y *feliz*, si habiendo habido dificultades se han vencido sin accidente alguno.

El mapa final que acompaña á esta memoria, marca los itinerarios de todas las ascensiones libres militares realizadas en nuestra patria; para no hacerlo muy confuso, no hemos puesto más que los puntos de caída de las últimas y con objeto de no tener que emplear una escala muy pequeña, so pena de hacer muy grande el mapa, hemos suprimido el viaje desde Toledo á Pol (Lugo), cuyo itinerario en escala $\frac{1}{2.000.000}$ se acompaña.

Madrid, 20 de enero de 1905.

(1) No era este el primer viaje libre realizado en España. El año 1839 se había efectuado otro á bordo del globo militar *María Cristina*, por los jefes y oficiales: López de la Torre Ayllón, Pérez de los Cobos, Aranguren y Sánchez Tirado, descendiendo con felicidad en Velilla de San Antonio, pueblo próximo á Loeches.

RESUMEN de las ascensiones libres hechas durante el año 1901.

Número de orden.		Fecha	Tiempo en el aire.		Distancias recorridas en kilómetros.....	Alturas máximas sobre el Polgono.....	Nombre del globo y jefe.	Tripulantes.	ACLARACIONES Y OBSERVACIONES
General.	En el año		Empleza	Acaba...					
			Horas.	Horas.		m.			
2. ^a	1. ^a	20 de Jun.	15,50	17,40	17,8	1660	<i>Marte.</i> T. C. Vives.	C. ⁿ Giménez. C. ⁿ Civeira.	Casi calma.—Ascensión muy movida en sentido vertical.—Unos oficiales, que salieron de Guadalajara á caballo, llegaron á tiempo de coger la cuerda freno cerca de Yeves.
3. ^a	2. ^a	16 de Ag.	15,18	17,3	19,2	1250	<i>Marte.</i> T. C. Vives.	C. ⁿ Civeira. C. ⁿ Kindelán.	Casi calma.—Se tomó tierra, en magníficas condiciones, en el sitio que se consideró conveniente á orillas del Tajuña, cerca del pueblo de Aranzueque, sin auxilio exterior.
4. ^a	3. ^a	30 de Ag.	13,40	16,10	74,5	1760	<i>Marte.</i> C. ⁿ Giménez.	C. ⁿ Civeira. C. ⁿ Kindelán.	Bastante viento.—Descenso en terreno muy quebrado en la falda del monte Alto Rey sin auxilio exterior.—Hubo un ligero arrastre sin averías ni accidentes.—Fué muy penoso sacar en caballerías el material hasta la carretera.
5. ^a	4. ^a	11 de Sep.	6,35	11,50	226	1400	<i>Marte.</i> C. ⁿ Civeira.	C. ⁿ Zamora. C. ⁿ Kindelán.	Viento fuerte.—Descenso en las inmediaciones de Almagro, con arrastre, sin averías ni accidentes.—No hubo auxilio exterior.
6. ^a	5. ^a	25 de Sep.	6,52	8,20	43	1600	<i>Marte.</i> T. C. Vives.	C. ⁿ García-Andúnez. C. ⁿ Gordejuela	Viaje sobre nubes, sin ver tierra más que á la salida y llegada. Descenso en terreno muy pendiente cerca de Moratilla de los Meleros, con auxilio exterior.—Los vecinos de Moratilla bajaron el material á hombros hasta el pueblo, distante 2 kilómetros.
7. ^a	6. ^a	1 de Oct.	6,48	8,15	16,4	860	<i>Marte.</i> C. ⁿ Giménez.	C. ⁿ Zamora. C. ⁿ San Martín	Viento casi calma y muy variable en dirección.—Salió el globo con poco lastre, y hubo que descender, por esta razón y por inclinarse el viento hacia los terrenos muy quebrados de la orilla izquierda del Henares, frente á Fontanar.
8. ^a	7. ^a	21 de Oct.	8,56	12,50	182,2	1760	<i>Marte.</i> C. ⁿ Kindelán.	C. ⁿ Maldonado. T. ^o Hernández	Mucho viento.—Casi todo el viaje sobre nubes.—Paso de la divisoria del Tajo y Ebro; nieve en el globo.—Descenso cómodo, sin auxilio exterior, cerca de Langa.—Fué preciso que uno de los oficiales fuera á pie al pueblo de Langa á gestionar un vehículo, bajo una lluvia fuerte.
9. ^a	8. ^a	26 de Oct.	9,12	11,15	90,4	1400	<i>Marte.</i> T. C. Vives.	C. ⁿ San Martín. T. ^o López.	Descenso en buen terreno, con bastante viento, sin auxilio exterior ni arrastre, en las inmediaciones de Villatobas.
10. ^a	9. ^a	26 de Oct.	9,15	11,18	89,1	1260	<i>Venus.</i> C. ⁿ Giménez.	C. ⁿ Gordejuela. T. ^o Rodríguez.	Descenso muy rápido, con bastante viento y sin auxilio exterior, en Villatobas, próximo al otro globo.—Hubo algo de arrastre, que produjo algunos rasguños en los trajes, pero no accidentes ni averías.

RESUMEN de las ascensiones libres hechas durante el año 1902.

Número de orden.	Tiempo en el aire.		Fecha	Distancias recorridas en kilómetros.....		Altura alcanzada sobre el punto de salida	Nombre del globo y jefe.	Tripulantes.	ACLARACIONES Y OBSERVACIONES
	En el año	General.		Empieza	Acaba.				
11. ^a	1. ^a	21 de Jun.	12,50	16,30	40,4	m. 1550	Marte. C. ⁿ Giménez.	C. ⁿ Nava. C. ⁿ Gordejuela	Se tomó tierra, sin auxilio exterior, en Muduez.—Por no haber viento, tardó en desinflarse el globo, á pesar de maniobrar la banda de desgarrar.
12. ^a	2. ^a	3 de Ag.	6,50	12,7	104,2	1000	Marte. C. ⁿ Gordejuela	C. ⁿ Maldonado T. ^o Rodríguez.	Se tomó tierra, con auxilio exterior, en Horcajada de la Torre.—Se abrió la banda de desgarrar estando el globo sujeto por la cuerda freno y cuerdas de maniobras.
13. ^a	3. ^a	8 de Ag.	6	12	174,7	1200	Marte. C. ⁿ Civeira.	T. ^o Rodríguez. T. ^o Redondo.	Descenso, con auxilio exterior, en Langa.—Se enredó con la cuerda del saco el pastor que cogió la cuerda freno y hubo que maniobrar la banda de desgarrar á 8 metros del suelo.
14. ^a	4. ^a	13 de Ag.	13	16,30	78,4	1600	Marte. T. ^o Rodríguez.	C. ⁿ Maldonado C. ⁿ Escosura.	Se tomó tierra, sin auxilio exterior, en Esplegares.—Se abrió la banda de desgarrar al tocar la barquilla en tierra.—El globo se elevó unos 15 metros y cayó á 100 metros de distancia.—No hubo arrastre.
15. ^a	5. ^a	20 de Ag.	6	10,35	127	1400	Marte. C. ⁿ Maldonado	C. ⁿ Nava. T. ^o G. ^z Millas.	Se tomó tierra, sin auxilio exterior, en Cubillejo de la Sierra.—No hubo arrastre.—Se desgarró con el globo equilibrado á unos 8 metros del terreno (la barquilla).
16. ^a	6. ^a	11 de Sep.	9,15	10,34	55,4	890 sobre Carabanchel.	Marte. T. C. Vives.	C. ⁿ Nava. T. ^o Goitre.	Se tomó tierra en Guadalajara sin auxilio exterior.—Se desgarró estando el globo equilibrado sobre el saco.—No hubo arrastre.
17. ^a	7. ^a	20 de Sep.	8,15	10,30	18,3	1025	Marte. C. ⁿ Nava.	C. ⁿ Escosura. T. ^o Martínez Septién.	Se tomó tierra, con auxilio exterior, en Fuente la Higuera.—Tardó mucho en desinflarse, á pesar de desgarrar, por no haber viento.
18. ^a	8. ^a	27 de Sep.	7,20	10	76	1250	Marte. T. C. Vives.	C. ^o Calvo. T. ^o Soler.	Se tomó tierra, sin auxilio exterior, en Santa Cruz de la Zarza. Abertura de vaciado rápido quedó en la parte inferior, y al acudir gente salió un aeronauta y la colocó en la parte superior.
19. ^a	9. ^a	27 de Sep.	7,25	10,30	84,4	11320	Vénus. C. ⁿ Gordejuela	C. ⁿ Pruneda.	Se tomó tierra, con auxilio exterior, en Santa Cruz de la Zarza; se maniobró banda de desgarrar, estando en tierra la barquilla. Se reunieron con los tripulantes del <i>Marte</i> .
20. ^a	10. ^a	2 de Oct.	6,5	9,10	59,6	2800	Marte. T. ^o Rodríguez.	C. ⁿ Pruneda. T. ^o Valle.	Se tomó tierra, con auxilio exterior, en Millana.—Se maniobró la banda de desgarrar estando la barquilla en tierra.
21. ^a	11. ^a	17 de Oct.	10,14	16,15	104,1	1400	Marte. C. ⁿ Kindelán.	C. ⁿ Pruneda. T. ^o Perlado.	Se tomó tierra, sin auxilio exterior, en Corral de Almaguer.—Se maniobró la banda de desgarrar á unos 10 metros, estando el globo equilibrado sobre el saco.—No hubo arrastre ni vuelco.
22. ^a	12. ^a	25 de Oct.	8,35	17,15	201	1400	Marte. C. ⁿ Pruneda.	C. ⁿ Fajardo. T. ^o G. ^z Millas.	Descenso, sin auxilio exterior, en Chagarcía Medianero.—El globo tardó bastante en desinflarse por caer en la parte inferior, al abatirse el globo, la abertura de vaciado rápido.
23. ^a	13. ^a	8 de Nov.	8,20	13,20	266	1380	Marte. C. ⁿ Maldonado	C. ^o Calvo. C. ⁿ Gil.	Se tomó tierra, sin auxilio exterior, en Azaila, después de un viaje sobre nubes.—Se desgarró á 8 metros.—No hubo arrastre.

RESUMEN de las ascensiones libres hechas durante el año 1903.

Número de orden.	Fecha		Tiempo en el aire.		Distancias recorridas en kilómetros.....	Altura alcanzada sobre el punto de salida	Nombre del globo y jefe.	Tripulantes.	ACLARACIONES Y OBSERVACIONES
	General.	En el año	Empleza	Acaba...					
24. ^a	1. ^a	9 de Ener.	8,20	9,50	104	3200	Vénus. C. ^o Calvo.	T. ^o G. ^z Millas.	Descenso cómodo, sin auxilio exterior, en Berlanga de Duero.
25. ^a	2. ^a	2 de Abril	14,10	15,30	87,5	3800	Marte. C. ^o Calvo.	T. ^o Rodríguez. Sr. Arcimis.	Salida con arrastre.—Descenso feliz, con arrastre, en Horcajo de Santiago.
26. ^a	3. ^a	21 de Jun.	6,35	11,15	99,10	1700	Marte. C. ^o Giménez.	C. ^o Gordejuela C. ^o Navarro.	Descenso cómodo, con auxilio exterior, cerca de Torrubia del Campo.
27. ^a	4. ^a	27 de Jun.	7,25	10,8	17,80	850	Marte. C. ^o Nava.	C. ^o Navarro. C. ^o La Cerda.	Descenso cómodo, con poco viento, en Galápagos.
28. ^a	5. ^a	6 de Ag.	5,18	8,15	43	3080	Marte. T. C. Vives.	C. ^o Navarro.	Descenso cómodo en Casa de Ucedas.
29. ^a	6. ^a	13 de Ag.	6,18	10	36,4	1370	Marte. C. ^o Navarro.	T. ^o Goitre. T. ^o Herrera.	Descenso cómodo en Puebla de Beleña.
30. ^a	7. ^a	20 de Ag.	5,56	12,40	118,6	2500	Marte. C. ^o Maldonado	T. ^o F. ^z Mulero.	Descenso cómodo en Zaorejas.
31. ^a	8. ^a	29 de Ag.	6,46	11,40	84,40	2200	Marte. T. ^o Goitre.	T. ^o Solar. T. ^o F. ^z Mulero.	Descenso cómodo en Torrecuadradilla.
32. ^a	9. ^a	3 de Sep.	2,45	8,52	90,8	2080	Vénus. T. C. Vives.	C. ^o Gordejuela	Descenso feliz en Becerril de Ayllón.
33. ^a	10. ^a	10 de Sep.	8,9	12,30	7,80	820	Marte. C. ^o Kindelán.	T. ^o Solar. T. ^o Escalada. T. ^o Herrera.	Descenso cómodo, con auxilio exterior, en la dehesa de Diego García, junto á la carretera de Chiloeches.—Se repuso la provisión de lastre y agua y se continuó el viaje.
34. ^a	11. ^a	10 de Sep.	13,35	15,40	13,50	1920	Marte. C. ^o Kindelán.	T. ^o Solar. T. ^o Escalada. T. ^o Herrera.	Se continuó el viaje anterior, descendiendo, con auxilio exterior, en Horche, desde donde fué remolcado por algunos vecinos del pueblo hasta Villaflores, donde se ancló.
35. ^a	12. ^a	11 de Sep.	7,54	10,15	71,40	1280	Marte. C. ^o Gordejuela	T. ^o F. ^z López.	Con el globo anclado ayer se partió ya con más viento, descendiendo cómodamente en Recuenco.
36. ^a	13. ^a	18 de Sep.	8,16	15,40	57,30	1900	Marte. T. ^o Solar.	T. ^o Valle. T. ^o F. ^z Mulero	Descenso bueno en Palmaces de Jadraque.
37. ^a	14. ^a	26 de Sep.	8,40	12,40	114,50	2460	Marte. T. ^o Rodríguez.	T. ^o Valle. T. ^o Durán.	Descenso bueno en Morales (Soria).
38. ^a	15. ^a	1 de Oct.	10,50	13,10	102	2800	Vénus. T. ^o Valle.	T. ^o F. ^z Mulero.	Descenso cómodo en Yuba (Soria).
39. ^a	16. ^a	12 de Oct.	8,5	13,45	93	1700	Marte. C. ^o Maldonado	C. ^o Gil Clemente. T. ^o Breñosa.	Descenso bueno en Torralba (Cuenca).
40. ^a	17. ^a	5 de Nov.	9	11,30	89,8	3370	Vénus. C. ^o Maldonado	C. ^o M. ^z Cajen.	Descenso cómodo en Pelayos (Segovia).

RESUMEN de las ascensiones libres hechas durante el año 1904.

Número de orden.		Fecha	Tiempo en el aire.		Distancias recorridas en kilómetros.....	Alturas máximas sobre el mar.....	Nombre del globo y jefe.	Tripulantes.	ACLARACIONES Y OBSERVACIONES
General.	En el año		Empieza	Acaba...					
			Horas.	Horas.		m.			
41. ^a	1. ^a	4 de Feb.	8,17	11,18	48	4800	<i>Marte.</i> T. C. Vives.	C. ^o Giménez.	Descenso cómodo, sin auxilio exterior, en Córcoles (Sacedón).
42. ^a	2. ^a	26 de Mar.	11,50	15,10	70	4250	<i>Vénus.</i> C. ^o Calvo.	T. ^o Arenas.	Descenso bueno, sin auxilio exterior, en Canalejas (Cuenca).
43. ^a	3. ^a	26 de Mar.	14,15	17	46	2430	<i>Marte.</i> C. ^o Giménez.	C. ^o M. ^z Cajen. C. ^o Gordejuela	Descenso cómodo en Buendía (Cuenca), sin auxilio exterior.
44. ^a	4. ^a	24 de Jun.	6,45	9,13	15	2600	<i>Vénus.</i> C. ^o Giménez.	C. ^o Navarro.	Descenso cómodo en Lupiana (Guadalajara), sin auxilio exterior
45. ^a	5. ^a	4 de Ag.	6,10	8,40	60	3220	<i>Vénus.</i> T. ^o F. ^z Mulero.	T. ^o Arenas.	Descenso cómodo en Algora (Sigüenza), sin auxilio exterior.
46. ^a	6. ^a	10 de Ag.	6,15	7,40	30	1780	<i>Vénus.</i> C. ^o Nava.	T. ^o Mancisidor	Descenso cómodo en Robledillo (Guadalajara).
47. ^a	7. ^a	18 de Ag.	7,12	11,40	32	1900	<i>Vénus.</i> T. ^o Solar.	T. ^o Arenas.	Descenso cómodo en Hortovás, con auxilio exterior.
48. ^a	8. ^a	25 de Ag.	6,45	12,55	145	2300	<i>Marte.</i> T. ^o Arenas.	T. ^o F. ^z López. T. ^o Molinello.	Descenso feliz, con arrastre, en Madridejos.
49. ^a	9. ^a	1 de Sep.	6,47	13,50	145	3700	<i>Marte.</i> C. ^o Maldonado	T. ^o G. ^z Millas.	Descenso cómodo, con auxilio exterior, en Griegos (Albarracín).
50. ^a	10. ^a	7 de Sep.	7,45	14,30	101	3220	<i>Marte.</i> T. ^o G. ^z Millas.	T. ^o F. ^z López. T. ^o Iñiguez.	Descenso bueno, con auxilio exterior, en Barahona (Soria).
51. ^a	11. ^a	15 de Sep.	7,55	12,45	73	2100	<i>Marte.</i> C. ^o Calvo.	T. ^o Durán. T. ^o Iñiguez.	Descenso cómodo, con auxilio exterior, en Castejón (Cuenca).
52. ^a	12. ^a	6 de Oct.	9,10	13,45	64	4480	<i>Marte.</i> T. ^o G. ^z Millas.	T. ^o Durán.	Descenso cómodo en Villarejo de Salvanés, con auxilio de la Compañía de Aerostación.
53. ^a	13. ^a	26 de Oct.	10,50	Día 27 8,20	960	2540	<i>Mercurio.</i> T. ^o Durán.	C. ^o Kindelán.	Descenso cómodo, con auxilio exterior, en Pol (Lugo).
54. ^a	14. ^a	3 de Nov.	9,20	16,45	99	5120	<i>Marte.</i> C. ^o Gordejuela	C. ^o Meseguer.	Descenso cómodo, con auxilio exterior, en Vellisca (Cuenca).
55. ^a	15. ^a	10 de Nov.	8,23	14,40	103	1800	<i>Mercurio.</i> T. C. Vives.	C. ^o Maldonado T. ^o Sáinz.	Descenso cómodo, con auxilio exterior, en Lillo.
56. ^a	16. ^a	10 de Nov.	8,28	15,47	112	1900	<i>Marte.</i> C. ^o Gordejuela	C. ^o Meseguer. T. ^o F. ^z Mulero.	Descenso cómodo, con auxilio exterior, á 500 metros del anterior.

Ascensiones libres verificadas por oficiales españoles.

AGREGADOS	COMPANÍA DE AEROSTACIÓN Bon. Telégrafos							AGREGADOS					
NOMBRES	Antes de 1901	1901	1902	1903	1904		NOMBRES	Antes de 1901	1901	1902	1903	1904	
G. ^l López Ayllón	2	»	»	»	»	Sólo una en España de cuatro aeronáutas.	<i>Suma anterior.</i>	20	25	34	25	23	
C. ^l P. de los Cobos	1	»	»	»	»		T. ^e Del Valle... »	»	»	1	3	»	»
C. ⁿ Aranguren... »	1	»	»	»	»		T. ^e Hernández... »	»	1	»	»	»	»
C. ⁿ S. Tirado... »	6	»	»	»	»		T. ^e López (Félix)... »	»	1	»	»	»	»
T. C. Vives... »	6	4	3	2	3		T. ^e M. ^z Septién... »	»	»	1	»	»	»
C. ^e Calvo... »	»	»	2	2	2		T. ^e Del Solar... »	»	»	1	4	1	»
C. ⁿ Giménez... »	1	4	1	1	3	T. ^e R. Perlado... »	»	»	1	»	»	»	
C. ⁿ Nava... »	»	»	4	1	1	T. ^e Redondo... »	»	»	1	»	»	»	
C. ⁿ Civeira... »	»	4	1	»	»	T. ^e Navarro... »	»	»	»	4	1	»	
C. ⁿ Gordejuela... »	»	2	3	3	2	C. ⁿ La Cerda (1)... »	»	»	»	»	1	»	
C. ⁿ Maldonado... »	»	1	4	3	2	T. ^e Herrera... »	»	»	»	»	3	»	
C. ⁿ Kindelán... »	»	4	1	2	1	T. ^e F. ^z López... »	»	»	»	»	1	2	
T. ^e Rodríguez... »	»	1	4	2	»	T. ^e Escalada (2)... »	»	»	»	»	1	3	
T. ^e G. ^z Millas... »	»	»	2	1	3	T. ^e Durán... »	»	»	»	»	1	»	
T. ^e F. ^z Mulero... »	»	»	»	4	2	T. ^e Breñosa (2)... »	»	»	»	»	1	»	
T. ^e Arenas... »	»	»	»	»	4	C. ⁿ M. ^z Cajen... »	»	»	»	»	1	1	
C. ^e Echagüe... »	3	»	»	»	»	T. ^e Iñiguez... »	»	»	»	»	»	2	
C. ⁿ G. ⁿ Antúnez... »	»	1	»	»	»	T. ^e Mancisidor... »	»	»	»	»	»	1	
C. ⁿ Gil Clemente... »	»	»	1	1	»	T. ^e Molinello... »	»	»	»	»	»	1	
C. ⁿ Fajardo... »	»	»	1	»	»	C. ⁿ Meseguer... »	»	»	»	»	»	2	
C. ⁿ Zamora... »	»	2	»	»	»	T. ^e Sáinz... »	»	»	»	»	»	1	
C. ⁿ G. Pruneda... »	»	»	4	»	»	<i>Total.....</i>	20	27	39	46	38		
C. ⁿ Escosura... »	»	»	2	»	»	El Sr. Arcimis, director del Observatorio Metereológico de Madrid, hizo una ascensión libre en el Poligono de Gua- dalajara, debidamente autorizado para ello.							
C. ⁿ San Martín... »	»	2	»	»	»	(1) Caballería.	(2) Artillería.						
T. ^e Goitre... »	»	»	1	3	»								
<i>Suma y sigue..</i>	20	25	34	25	23								

LIBRES

ÍNDICE.



	<u>Páginas</u>
CONSIDERACIONES PRELIMINARES.	5
DIFICULTADES QUE EN NUESTRO PAÍS PRESENTA LA AEROSTACIÓN LIBRE.	11
DESCRIPCIÓN DE UNA ASCENSIÓN LIBRE.	20
Preparación de la ascensión.	22
Carnet para ascensiones libres (A).	31
Carnet para ascensiones libres (B).	32
Viaje.	34
Descenso.	38
Ascensión libre del día 26 de octubre de 1904 en el globo <i>Mercurio</i>	43
Ascensión libre del día 3 de septiembre de 1903.	51
Ascensión libre del día 3 de noviembre de 1904.	53
Ascensión libre del día 8 de noviembre de 1902.	55
Ascensión libre del día 10 de noviembre de 1904.	59
CONCLUSIÓN.	64
Resumen de las ascensiones hechas durante el año de 1901.	65
Id. id. durante el año de 1902.	66
Id. id. durante el año de 1903.	67
Id. id. durante el año de 1904.	68
Ascensiones libres verificadas por oficiales españoles.	69

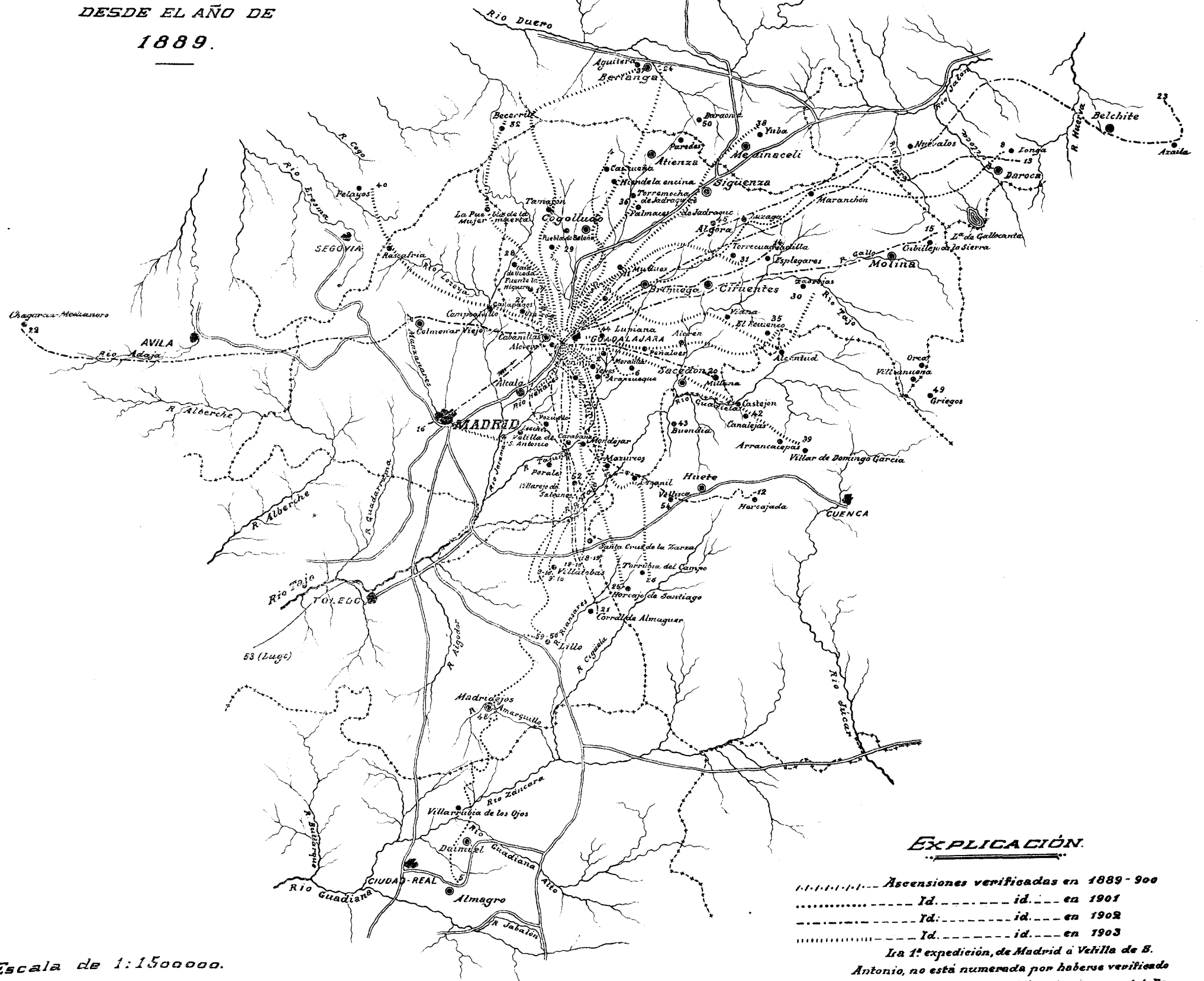
LÁMINA I.—Mapa de los itinerarios de todas las ascensiones libres militares realizadas en España.

LÁMINA II.—Gráficos números 1, 2 y 3.

LÁMINA III.—Gráficos números 4, 5, 6 y 7.



**ITINERARIOS DE LAS
ASCENSIONES LIBRES VERIFICADAS
DESDE EL AÑO DE
1889.**



Escala de 1:150000.

EXPLICACIÓN.

- Ascensiones verificadas en 1889-90
- - - - - Id. id. en 1901
- Id. id. en 1902
- · - · - Id. id. en 1903

La 1ª expedición, de Madrid á Vellilla de S. Antonio, no está numerada por haberse verificado cuando este servicio se hallaba aún á cargo del Batallón de Telégrafos.

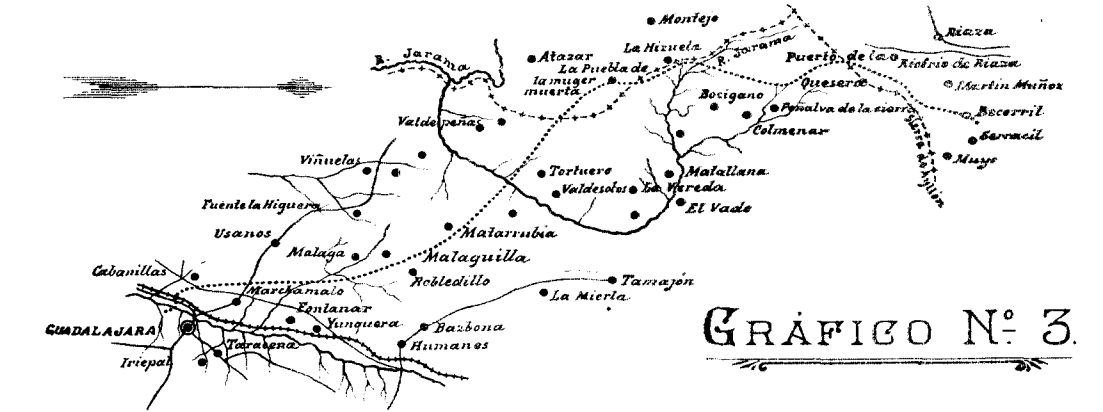
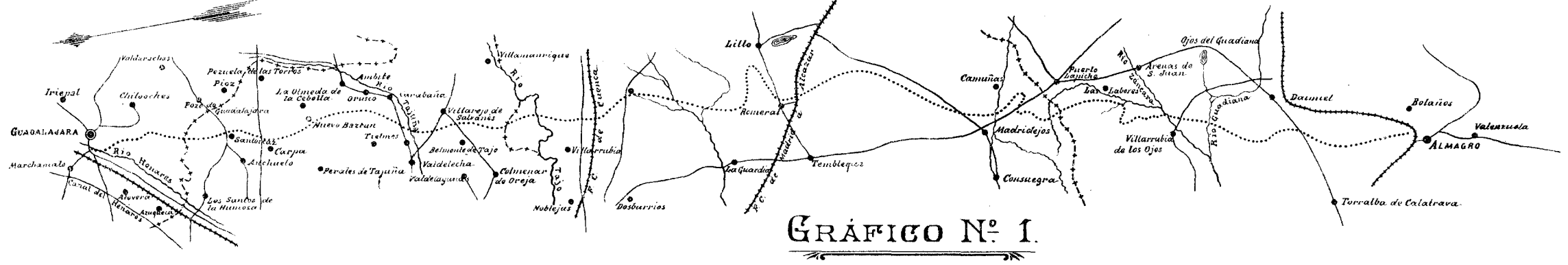
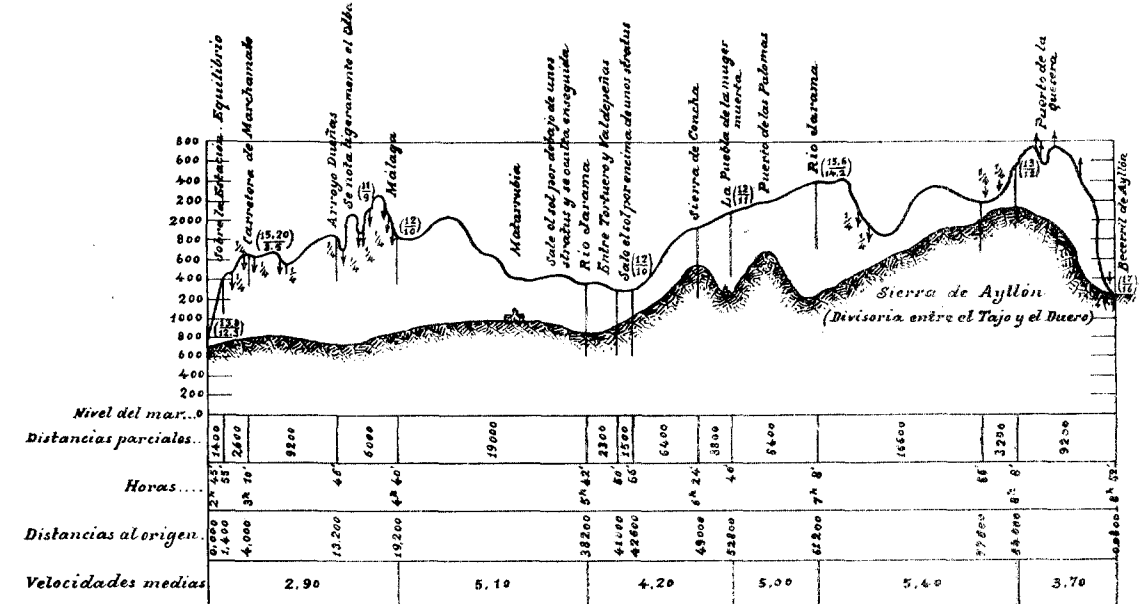
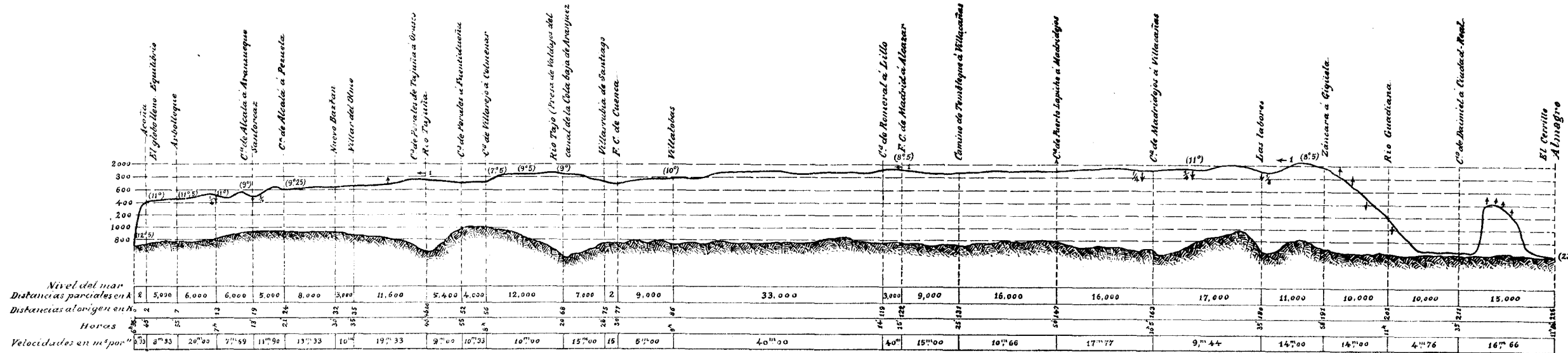


GRÁFICO Nº 1.

GRÁFICO Nº 3.

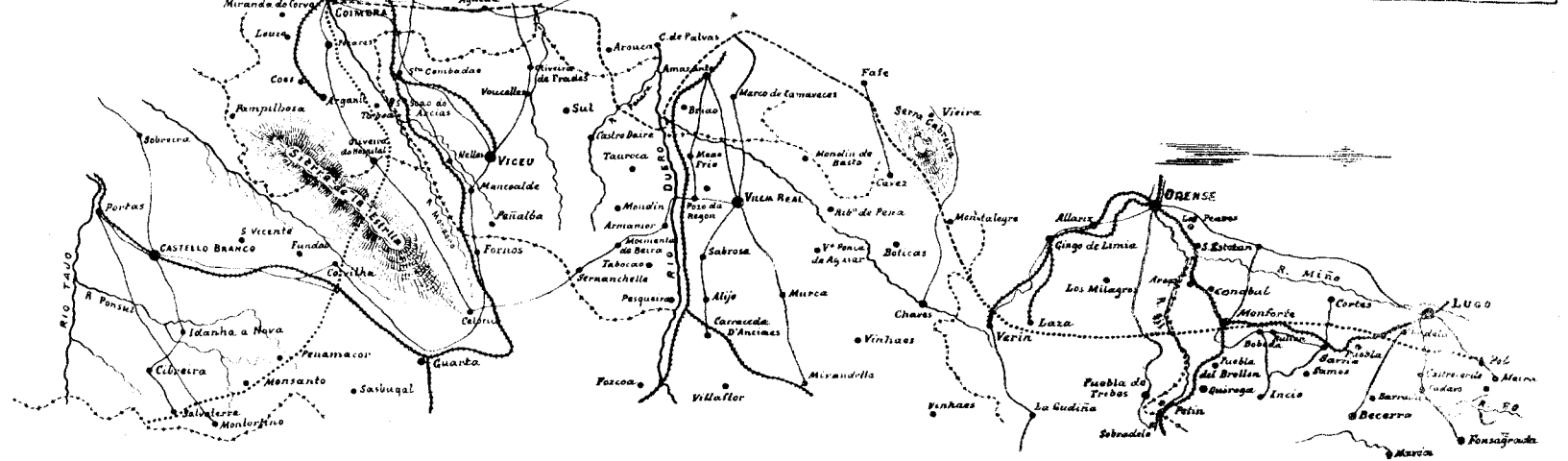
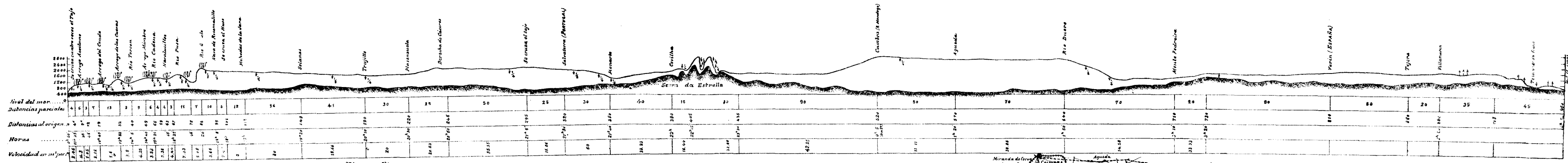


GRÁFICO Nº 2.

GRÁFICO N.º 4.

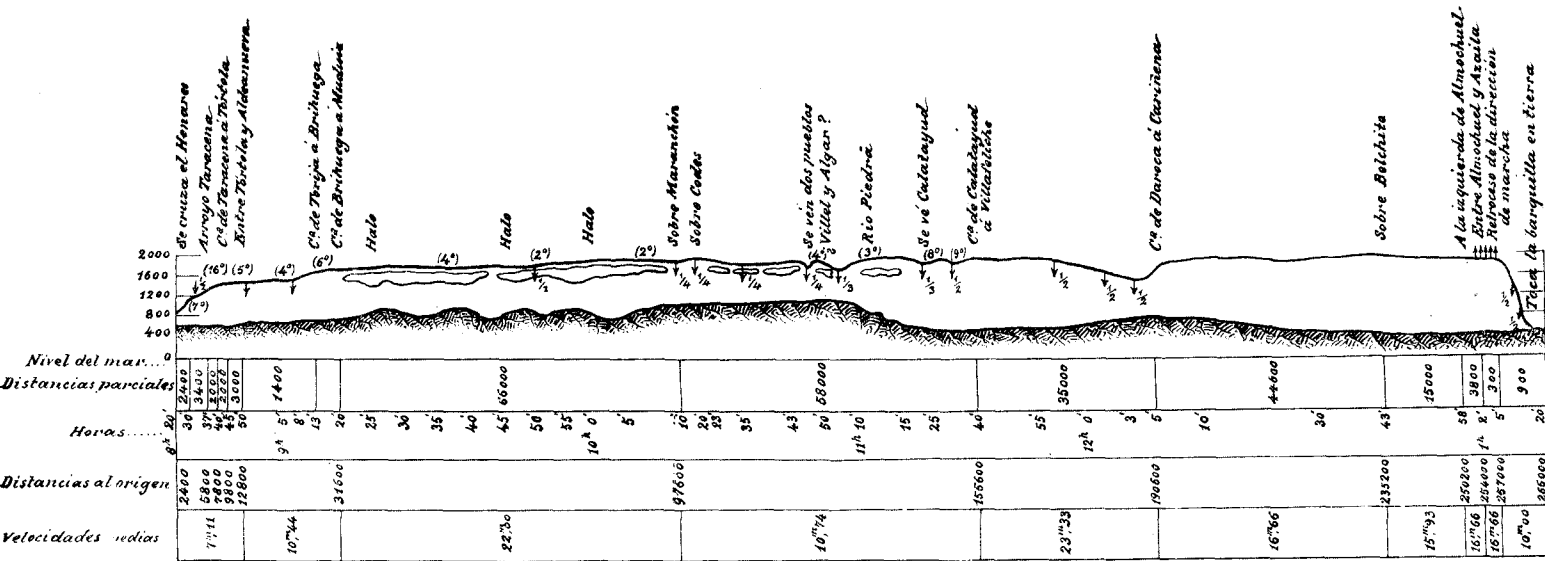
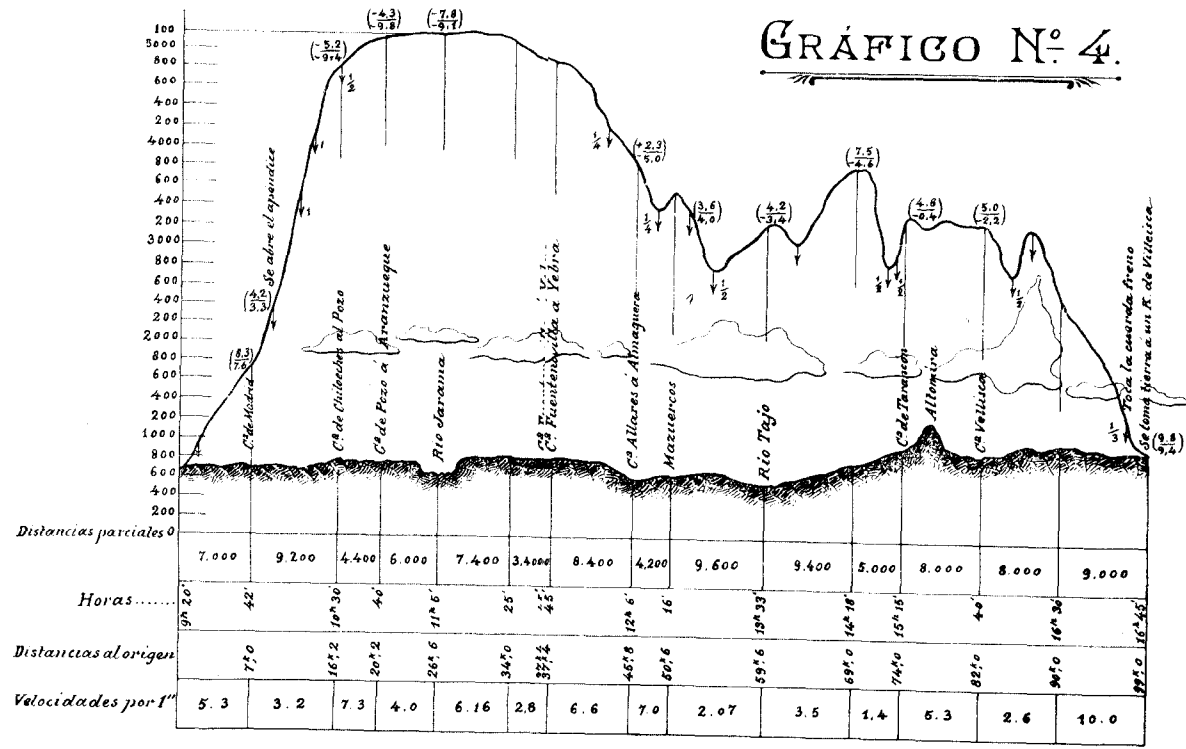


GRÁFICO N.º 5.

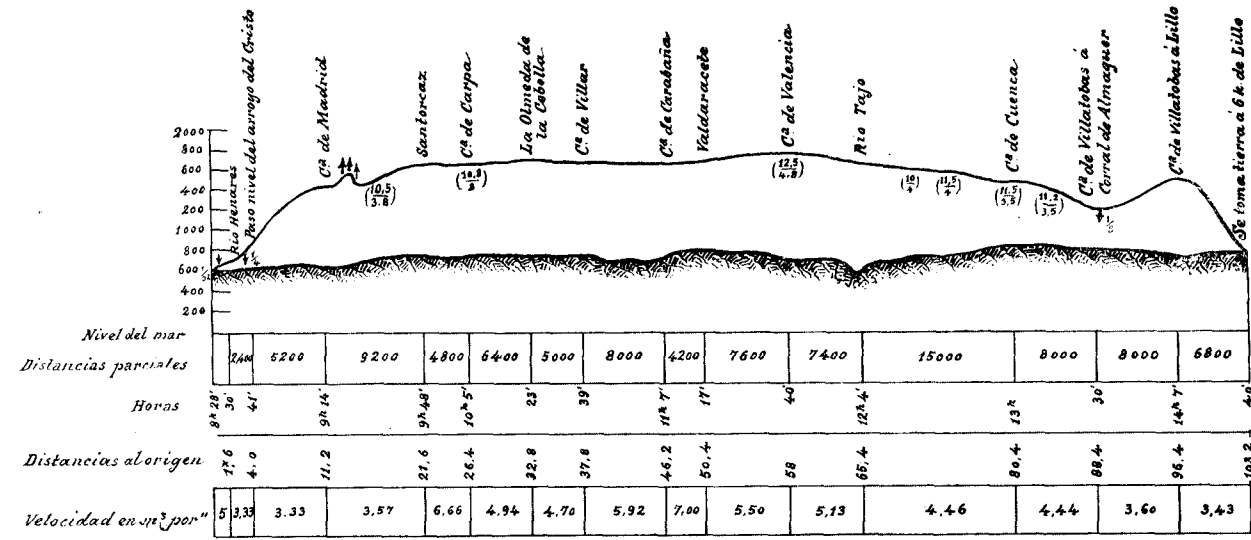


GRÁFICO N.º 7.

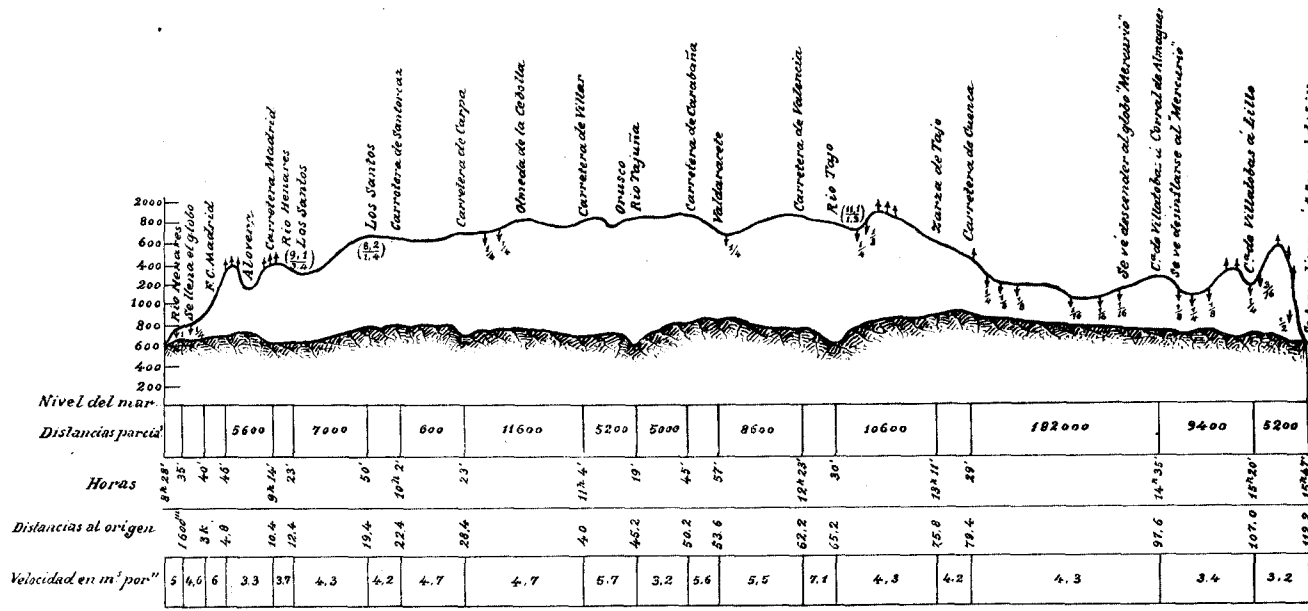
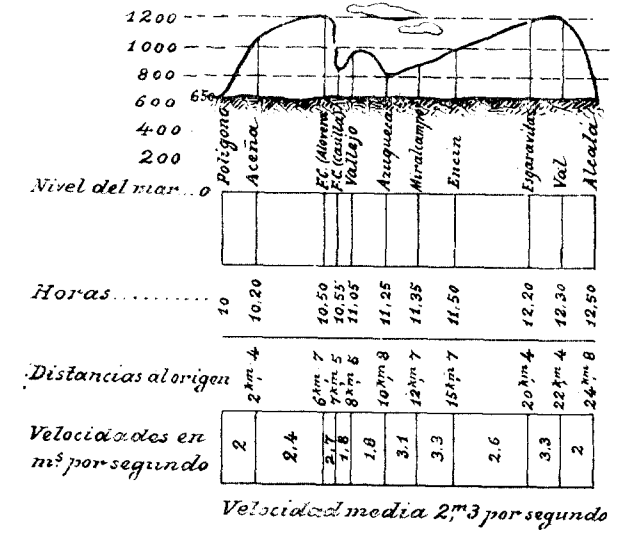
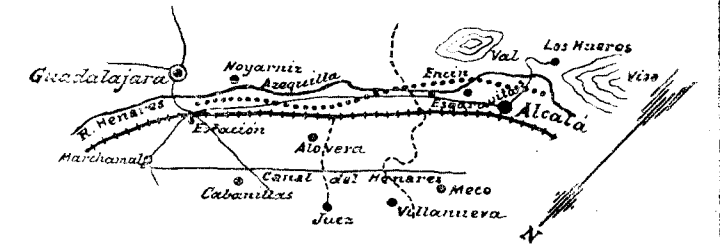
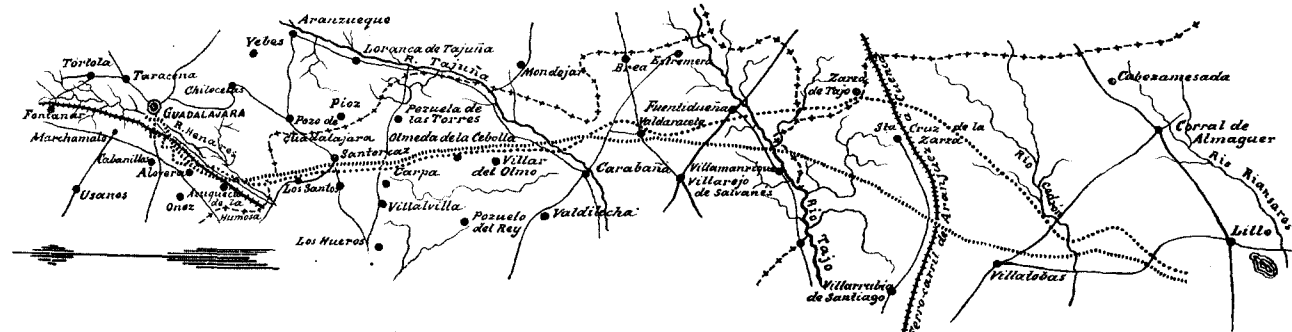


GRÁFICO N.º 6.





CHIMENEAS DE FÁBRICA

CHIMENEAS DE FÁBRICA



TEORÍA. - CÁLCULO DE SUS DIMENSIONES. - ESTABILIDAD. - CONSTRUCCION,

POR

D. MANUEL DE LAS RIVAS Y LÓPEZ

Comandante de Ingenieros



MADRID

IMPRENTA DEL MEMORIAL DE INGENIEROS DEL EJÉRCITO

1905

.....

.....

.....

.....

.....

CHIMENEAS DE FÁBRICA

TEORÍA.—CÁLCULO DE SUS DIMENSIONES.—ESTABILIDAD.—CONSTRUCCIÓN.

ÍNDICE DE MATERIAS

INTRODUCCIÓN

PRIMERA PARTE

ESTUDIO TEÓRICO DE LAS CHIMENEAS.

I

CHIMENEAS

Causa del movimiento de los gases en las chimeneas.

Tiro de la chimenea.

Teoría del tiro.—Deducciones.

Influencia de las circunstancias atmosféricas sobre el tiro de las chimeneas.

Velocidad efectiva de escape de los gases.

Cálculo de las dimensiones del conducto interior de una chimenea.

a) Altura.

b) Sección.

II

CASO DE APLICACIÓN

Método general.

Método de comparación.

SEGUNDA PARTE

ESTABILIDAD Y RESISTENCIA.

I

CIMENTACIONES

1.^{er} Método. Plataforma de hormigón.

Espesor y berma del macizo.

2.^o Método. Empleo de pilotes.

Carga que puede resistir un pilote.

Bateado de pilotes.

Disposición y número de pilotes.

II

ESTABILIDAD Y RESISTENCIA

Acción del viento.

Procedimientos de cálculo.

Primer procedimiento.

Partes que comprende.

Comparación de chimeneas redondas con cuadradas.

Caso de aplicación

Cimentaciones.

Cálculo de estabilidad y resistencia del fuste.

Segundo método de cálculo.

TERCERA PARTE

CONSTRUCCIÓN Y DETALLES DE CHIMENEAS.

I

PRINCIPIOS GENERALES DE SU CONSTRUCCIÓN.—CHIMENEAS DE LADRILLO

Materiales.

Modo de construcción.

Disposiciones especiales.

Pararrayos.

Sistemas de ascensión.

Sunchado de las chimeneas.

Personal obrero.

Coste de las chimeneas.

Restablecimiento á la verticalidad de las chimeneas inclinadas.

II


CHIMENEAS DE PALASTRO

Apéndice.

CHIMENEAS DE CEMENTO ARMADO.

INTRODUCCIÓN



 Los conductos verticales de salidas de humos y productos gaseosos de la combustión de hogares importantes, reciben, como es sabido, la denominación de chimeneas de fábrica, cualquiera que sea la clase de materiales con que se construyan.

El desarrollo incesante de toda suerte de industrias exige de continuo la elevación de estas delicadas construcciones, y como en España el acrecentamiento del movimiento industrial va siendo de día en día más rápido, son también más frecuentes las ocasiones que se presentan de construir grandes chimeneas, aisladas, independientes de las edificaciones á que se destinan—carácter peculiar que distingue á las chimeneas de fábrica.—Por esto hemos juzgado de interés dedicar especial atención á esta materia, cuyo estudio es de utilidad práctica indudable, reuniendo al efecto lo que conocemos acerca de ella y tomando ideas y datos de varios autores antiguos y modernos, de reconocida competencia, que incidental ó substancialmente han tratado de este asunto.

Las chimeneas de fábrica se construyen casi exclusivamente de ladrillo ó de palastro; pero como las de esta segunda clase tienen más bien carácter de instalaciones temporales y no permanentes como las de la primera, damos preferencia al estudio de éstas.

Modernamente va extendiéndose la aplicación del cemento armado á la construcción de las chimeneas de fábrica, para las cuales la adopción de este nuevo sistema de construcción ofrece en muchos casos ventajas económicas de tiempo y dinero. Por eso hemos considerado pertinente dar de él alguna noticia en el apéndice con que terminamos este estudio.



PRIMERA PARTE

ESTUDIO TEÓRICO DE LAS CHIMENEAS

I

Chimeneas

Chimenea es un conducto vertical de dimensiones calculadas, cuya parte inferior, unida por una ó varias galerías al hogar ú hogares, recibe los productos gaseosos de la combustión, que son expulsados por la parte superior ó boca.

Las chimeneas llenan en general dos funciones: primera, arrojar en la atmósfera á grandes alturas el aire y gases de la combustión, envueltos en humo, que sería incómodo y hasta perjudicial que se desprendiesen á pequeñas alturas; segunda, aspirar del hogar el aire necesario á la combustión.

Causa del movimiento de los gases en las chimeneas.

Los gases á elevada temperatura que procedentes del hogar llegan á la chimenea, tienen una densidad menor que la del aire á la temperatura exterior; esta diferencia de densidades origina el desequilibrio entre las presiones de la columna de aire caliente interior y de la columna igual de aire exterior, en la base de la chimenea. Sobre esta base obra de un lado la presión atmosférica, que tiene lugar sobre el plano horizontal de la boca de la chimenea, más el peso de la columna de gases calientes de altura igual á la chimenea H ; de otro lado, obra sobre aquella misma base, la misma presión atmosférica anterior, á la que se ha de añadir el peso de la columna exterior de aire frío de altura H . Es, por consiguiente, la diferencia de peso de estas dos columnas de la misma altura H la que produce un empuje de abajo á arriba, equivalente al volumen de aire desalojado por el aire caliente en el interior. La columna puesta en movimiento ascensional, es inmediatamente sustituida por nuevos gases

procedentes del hogar, aspirados por la ascensión de los anteriores, y repitiéndose sucesivamente estos fenómenos queda establecida la marcha de la corriente gaseosa, que es la que constituye el tiro de la chimenea propiamente dicho.

Tiro de la chimenea.

Se ve, pues, que las dos funciones que, como hemos dejado sentado, han de llenar las chimeneas, se obtienen á expensas del *tiro* conveniente, en cada caso, para que queden asegurados ambos efectos. Con el nombre de *tiro* se expresa, por lo tanto, la aspiración del aire exterior, originada de la temperatura de los gases de la combustión y de las dimensiones de la chimenea, ó también el peso del aire que una chimenea es capaz de hacer pasar por segundo á través del hogar.

El primer punto, por consiguiente, que se ofrece al estudio del constructor en esta materia, es el de la determinación de las dimensiones de altura y sección transversal de una chimenea, para que el tiro quede asegurado, y para ello es preciso conocer previamente la teoría del tiro.

Teoría del tiro. — Deducciones.

Tratando de determinar el peso del aire que circula por segundo á través del conducto de la chimenea, supondremos que se trata de una sección constante, en todo el conducto recorrido por los gases desde el hogar hasta su salida al exterior y que se hace abstracción de las resistencias que dependen de la forma y dimensiones de aquél. Representamos en

H la altura de la chimenea,

S la sección transversal interior,

t la temperatura del aire en el interior de la chimenea,

θ la temperatura del aire exterior,

d la densidad de los gases evacuados, considerada igual á la del aire para una misma temperatura,

V velocidad de los gases á la salida y

α coeficiente de dilatación del aire con relación al agua.

Según las leyes físicas de la dilatación, para todos los gases y vapo-

res á presión constante, el coeficiente de dilatación es el mismo que el del aire

$$\alpha = 0,00367 \quad \text{ó} \quad \frac{1}{273}$$

siéndoles además aplicables las fórmulas de dilatación cúbica de los sólidos.

La ley de Gay-Lussac acerca de la dilatación establece que, á presión constante, los volúmenes crecen con la temperatura y que el volúmen Q_θ de un gas á θ grados de temperatura, se obtiene del volúmen Q_0 del mismo á 0° por la expresión

$$Q_\theta = Q_0 (1 + \alpha \theta) \quad \text{de donde} \quad Q_0 = \frac{Q_\theta}{1 + \alpha \theta} .$$

Este volúmen Q_θ , siendo llevado de θ grados á t grados, viene á ser Q_t tal que

$$Q_t = Q_0 (1 + \alpha t) = Q_\theta \frac{1 + \alpha t}{1 + \alpha \theta}$$

Ahora bien; hemos visto que el tiro ó movimiento ascensional de los gases en la chimenea se verifica en virtud de la diferencia de presiones ejercidas por dos columnas de aire, una interior á la temperatura de t° y otra exterior á θ° ambas de igual altura H de la chimenea. Para obtener la velocidad de escape de los gases de la chimenea dada por la fórmula general

$$v = \sqrt{2 g h}$$

es necesario determinar h , que expresa la altura de una columna homogénea de gas, columna que hará equilibrio al exceso de presiones, para lo cual hay que encontrar la altura H' ocupada por la columna H exterior, si se la diese la temperatura t de los gases calientes, pues entonces,

$$h = H' - H$$

y el caso sería el mismo que si tuviésemos al exterior una columna de altura H' y al interior otra de H á igual temperatura.

Para encontrar H' , llamemos h_0 á la altura de la columna de aire correspondiente á 0° , cuyo volúmen sería $S \cdot h_0$.

El volúmen de la columna de aire ó gases de la combustión á t gra-

dos según lo anterior, representando H' su altura, como hemos dicho, será:

$$S \cdot H' = S \cdot h_0 (1 + \alpha t) \quad \text{ó} \quad H' = h_0 (1 + \alpha t).$$

El volúmen de la columna exterior á θ° de altura H ó $S \cdot H$, será del mismo modo,

$$S \cdot H = S \cdot h_0 (1 + \alpha \theta) \quad \text{ó} \quad H = h_0 (1 + \alpha \theta)$$

de donde,

$$\frac{H'}{H} = \frac{1 + \alpha t}{1 + \alpha \theta} \quad \text{y} \quad H' = H \left(\frac{1 + \alpha t}{1 + \alpha \theta} \right).$$

La expresión de la velocidad será, según esto:

$$v = \sqrt{2g(H' - H)}$$

y substituyendo,

$$v = \sqrt{2g \left[H \frac{1 + \alpha t}{1 + \alpha \theta} - H \right]}$$

y sucesivamente

$$v = \sqrt{2gH \left(\frac{1 + \alpha t}{1 + \alpha \theta} - 1 \right)} = \sqrt{2gH \frac{1 + \alpha t - 1 - \alpha \theta}{1 + \alpha \theta}} = \sqrt{2gH\alpha \frac{t - \theta}{1 + \alpha \theta}}$$

expresión en la que H está expresada en metros y la temperatura en grados centígrados.

Ella nos enseña que la velocidad de salida de los gases es proporcional á la raíz cuadrada de la altura y de la temperatura interior. Supone esta fórmula, como dejamos apuntado, que se trata de una sección constante en todo el conducto recorrido por los gases hasta su salida al exterior y que se ha hecho abstracción de las resistencias que dependen de la forma y dimensiones de los conductos.

Conocida la velocidad, en las hipótesis establecidas, se deduce fácilmente el valor del tiro de la chimenea ó peso P de los gases evacuados por segundo por el orificio superior de la chimenea.

En efecto, sabemos que los volúmenes son inversamente proporcionales á las densidades y así

$$\frac{d_0}{d_t} = \frac{Q_t}{Q_0} = \frac{Q_0 (1 + \alpha t)}{Q_0}$$

de donde

$$d_t = \frac{d_0}{1 + \alpha t}$$

Designando por P el peso de los gases evacuados por segundo,

$$P = Q_t \times d_t$$

por otra parte

$$Q_t = v \times S$$

y por consiguiente

$$P = v \cdot S \cdot d_t$$

sustituyendo en esta expresión por v y d_t sus valores antes hallados tendremos

$$P = S \times \frac{d_0}{1 + \alpha t} \sqrt{2 g H \alpha \frac{t - \theta}{1 + \alpha \theta}}$$

De esta fórmula se deduce:

1.º «El tiro es proporcional á la sección de la chimenea», de donde se infiere, teniendo en cuenta el rozamiento, que el gasto de una chimenea de sección doble que la de otra será más que doble del de la sección sencilla.

2.º «El tiro crece sólo proporcionalmente á la raíz cuadrada de la altura», de modo que en igualdad de otras circunstancias, para doblar el tiro, bastando duplicar la sección, sería necesario cuadruplicar la altura; luego si se hace intervenir el rozamiento que aumenta con la altura se comprende que, pasado cierto límite, la altura de una chimenea no influirá sensiblemente en el tiro. La experiencia, por otra parte, enseña que el tiro no aumenta de un modo sensible con la altura, cuando ésta pasa de 35 metros. Las únicas consideraciones que pasado dicho límite deberán, pues, tenerse presentes, al parecer, para la determinación de la altura de una chimenea de fábrica, serán en primer lugar la elevación de los objetos próximos, construcciones, etc., que pudieran dominar la boca y ocasionar oleadas de viento que entrando en la chimenea produjesen perturbaciones en el tiro; y en segundo término, consideraciones de conveniencia higiénica ó cuando menos de evitación de molestia y

hasta razones de estética, pero la cifra del tiro no deberá servir de base para dicha determinación.

3.º «El tiro varía con la temperatura».

Interesa determinar la temperatura t que corresponde al máximo valor del gasto P á igualdad de sección y altura, cuyo máximo se obtendrá igualando á cero la derivada de la función que dá la expresión teórica del tiro antes hallada, la cual puede escribirse bajo la forma

$$P = \frac{S d_0 \sqrt{2 g H \alpha} \times \sqrt{\frac{t - \theta}{1 + \alpha \theta}}}{1 + \alpha t}$$

Prescindiendo, pues, del factor constante y estableciendo la hipótesis admisible, que la temperatura del aire exterior representada en θ es cero, por cuanto su valor al lado del de t será siempre despreciable, habremos de igualar á cero la derivada de $\frac{\sqrt{t}}{1 + \alpha t}$, que será:

$$\frac{(1 + \alpha t) \frac{1}{2 \sqrt{t}} - \alpha \sqrt{t}}{(1 + \alpha t)^2} = 0 \text{ de donde } (1 + \alpha t) \frac{1}{2 \sqrt{t}} - \alpha \sqrt{t} = 0$$

y por sucesivas transformaciones

$$t = \frac{1}{\alpha} = \frac{1}{0,00367} = 273^\circ.$$

Resulta, por consiguiente, que para obtener el tiro perfecto ó el máximo de potencia, deberán tener los gases en la chimenea al escapar á la atmósfera una temperatura que se aproxime á 273° , lo que equivale á decir que el exceso de la temperatura de los gases sobre la del ambiente debe ser igual á la cifra dicha, que es precisamente la del cero absoluto; pues, es sabido que -273° centígrados es la temperatura á la que los físicos llaman cero absoluto y á partir de la cual cuentan los grados. A mayor temperatura, para una misma chimenea el tiro puede resultar perturbado; la economía, por otra parte, aconseja no dejar escapar los gases á elevada temperatura para no desaprovechar en pura pérdida una cantidad de calor utilizable.

Este hecho está además comprobado prácticamente; se citan ejemplos de hogares metalúrgicos servidos por chimeneas, que recibiendo los

gases de la combustión á una temperatura muy elevada determinaban un tiro muy defectuoso, que pudo corregirse interponiendo en el trayecto del humo calderas que utilizaban el exceso de su calor antes perdido, reduciendo su temperatura de salida á poco menos de 300°.

Influencia de las circunstancias atmosféricas sobre el tiro de las chimeneas.

Si en la fórmula teórica del tiro

$$P = \frac{S \cdot d_0 \cdot \sqrt{2 \cdot g \cdot \alpha} \cdot \sqrt{H(t - \theta)}}{(1 + \alpha t)(1 + \alpha \theta)}$$

se sustituyen las constantes g y α por sus respectivos valores 9,81 y 0,00367, se convierte en

$$P = \frac{0,268 \times S \cdot d_0 \sqrt{H(t - \theta)}}{(1 + \alpha t)(1 + \alpha \theta)}.$$

Esta fórmula está establecida en la hipótesis de una presión normal de 0,760 metros de altura de mercurio, para la cual presión y 0° de temperatura, la densidad del aire con relación al agua es 0,001293 ó $\frac{1}{773}$ y el peso por metro cúbico 1,293 kilogramos ó próximamente 1,3 kilogramos; por lo cual,

$$P = \frac{0,268 \times 1,3 \times S \sqrt{H(t - \theta)}}{(1 + \alpha t)(1 + \alpha \theta)}.$$

Mas, si la presión atmosférica baja ó sube de la normal, es necesario sustituir el peso del aire bajo la nueva presión en lugar de 1,3 kilogramos; al disminuir la presión disminuye la densidad del aire y el valor de P de consiguiente: de aquí que la combustión sobre las altas montañas se retrase notablemente respecto á los valles.

Si el aire contiene vapor de agua, disminuye también su densidad y el valor del tiro, siendo éste tanto menor cuanto más elevado sea el estado higrométrico del aire.

También resulta del examen de la fórmula del tiro, que á medida que el valor de θ disminuye, ó sea la temperatura del ambiente exterior, aumenta aquél, y prácticamente se confirma esta deducción toda vez que los hogares funcionan mejor en invierno que en estío.

Como resumen de lo que antecede y en opinión de algunos autores, en las circunstancias más desfavorables, de elevación de la temperatura del aire exterior, descenso de presión atmosférica y estado higrométrico del aire, puede haber en el tiro de una chimenea hasta un 36 por 100 de diferencia.

Velocidad efectiva de escape de los gases.

La fórmula teórica de la velocidad antes hallada

$$v = \sqrt{2 g H \alpha \frac{t - \theta}{1 + \alpha \theta}} = 0,268 \sqrt{\frac{H (t - \theta)}{1 + \alpha \theta}}$$

puede simplificarse para su más cómodo empleo, en atención á que, como ya hemos indicado, siendo siempre muy pequeña la temperatura exterior con relación á la t de los gases evacuados, se puede sin grande error despreciar el binomio de dilatación $1 + \alpha \theta$, que resulta poco diferente de la unidad para los valores ordinarios de θ . Se obtiene así la expresión simplificada

$$v = 0,268 \sqrt{H (t - \theta)}$$

Si se comprueban por repetidas experiencias los resultados de éstas y se comparan con los obtenidos de la aplicación de la fórmula teórica anterior, se viene en conocimiento de que la velocidad media de las corrientes gaseosas en los conductos de chimenea queda reducida al $\frac{1}{5}$ de su valor teórico, resultando como fórmula práctica de aplicación con la aproximación suficiente

$$v = 0,05 \sqrt{H (t - \theta)}$$

Cálculo de las dimensiones del conducto interior de una chimenea.

a) Altura.—b) Sección.

a) ALTURA DE LAS CHIMENEAS.—Consistiendo el efecto útil de una chimenea, como dejamos indicado, en la aspiración, por el hogar del aire necesario para la combustión en un tiempo dado ó del tiro, se comprende que este peso de aire dependerá del de combustible empleado, de donde se infiere que para determinar las dimensiones interiores de una chimenea, deberá calcularse el peso del aire que por unidad de tiempo ha de

pasar por la parrilla del hogar é igualarle á la expresión del tiro. Esta, como se sabe, es función de la sección, relacionada á su vez con el volumen de aire empleado para quemar cada kilogramo de combustible, función también de la altura y de la temperatura media de los gases en la chimenea; pero como se ha deducido del valor de la velocidad teórica, la función que expresa el tiro, lo es del mismo modo, debiendo en realidad ser además función de las pérdidas de carga originadas por los rozamientos, cambios de sección, de dirección y resistencia de la parrilla del hogar.

Los fenómenos que se producen en el tiro son muy complicados y las dimensiones de una chimenea nunca pueden ser exactamente calculadas para todos los casos. Para cada género de hogares ó generadores los cálculos deberán referirse á resultados de experiencias. Estas consideraciones, sin embargo, son aplicables más bien á la determinación de las secciones que á la de las alturas. Se ha visto, en efecto, que la altura, pasado cierto límite que la experiencia ha acreditado, y que toda chimenea de fábrica alcanza necesariamente, al menos, ejerce poca ó ninguna influencia sobre el tiro, y que por esta razón, las consideraciones que se tienen en cuenta para fijar la altura de las chimeneas pasados los 15 ó 20 metros que se toman para mínima, son ajenas al cálculo. Estas son: las alturas que tengan los objetos próximos, construcciones ó colinas que pudieran dominar el coronamiento de las chimeneas é influir desfavorablemente en el tiro por la intervención de los vientos; en ocasiones es de importancia la cuestión de estética, á la que se subordina entonces la altura de las fábricas; así ha ocurrido con las dos chimeneas monumentales levantadas durante la última Exposición Universal de París, en el Campo de Marte; y finalmente, una última consideración, digna siempre de tenerse presente para fijar la altura de las chimeneas que estudiamos, es la higiene, adoptando la más conveniente para evitar las molestias é incomodidades que producirían grandes cantidades de humo cargado de materias de la combustión á las personas que lo respirasen.

Obedeciendo, pues, á consideraciones diversas y particulares ajenas al cálculo, la determinación de la altura de las chimeneas se explica la razón de variedad de ellas en estas construcciones, aún estando á veces destinadas á servicios análogos. Véase la de algunas en el extranjero:

La chimenea del hospital de Corbeil es de 24 metros.

La del hospital Lariboisiere tiene 26 metros.

La de la fábrica de tabacos de Dijon, 35 metros.

La de la Compañía general de Ómnibos en Boulogne-sur-Seine, 40 metros.

La de la fábrica de Issy les Moulineaux, 50 metros.

Cada una de las dos monumentales del Campo de Marte, 80 metros.

Y para no añadir más, Mr. Gruvelle cita una chimenea construída en Manchester, de 125 metros, y nuestro insigne maestro Marvá la chimenea de Towusend en Port-Dundas, cerca de Glasgow (Escocia), de 138 metros (1).

Es opinión general, no obstante, que la altura de chimeneas de fábrica construídas de ladrillo está ordinariamente comprendida entre 25 metros y 40 metros, aproximándose con más frecuencia al primer límite.

Hay, por otra parte, reglas empíricas para fijar la altura de las chimeneas.

Una de ellas es igualarla á 25 diámetros interiores de la base, sin descender nunca de 16 metros, si bien hay autores como Darcet que afirman ser la de 10 metros, altura generalmente suficiente para obtener un buen tiro con tal de forzar la sección.

Se ofrece también la siguiente fórmula, que consigna C. L. de Laharpe en su *Aide-Memoire*:

$$H = \left(\frac{7 \times B}{B + 30} \right)^2$$

en la que B representa la cantidad de carbón consumido por hora (2).

(1) MARVÁ: *Mecánica aplicada*.—3.^ª edición.—Tomo I, pág. 180.

(2) Las calderas de vapor para máquinas fijas consumen por hora y caballo de vapor efectivo la cantidad de hulla que figura en el siguiente cuadro:

Fuerza de las calderas.	}	Pequeñas.....	3 á 3,50	kilógramos.
		Medianas.....	2 á 2,50	»
		Grandes.....	1,2 á 1,8	»
Superficie de parrilla..	}	Pequeñas.....	5 á 6	metros cuadrados.
		Medianas.....	4 á 4,5	»
		Grandes.....	3 á 4	»
Sección de la chimenea.	}	Pequeñas.....	1 á 1,2	»
		Medianas.....	0,8 á 0,9	»
		Grandes.....	0,6 á 0,8	»

Mr. Ph. Hugenin admite que en la mayoría de los casos, siendo $t - \theta = 285^\circ$ centígrados la sección de abertura de la chimenea, se iguale á los $\frac{3}{5}$ del espacio libre de la parrilla, de donde se deduce el diámetro D ; el volúmen de aire á la salida es por término medio $2 \frac{1}{4}$ veces el del aire entrante y por consiguiente la velocidad v_1 en metros por minuto de escape de los gases al salir de la chimenea está ligada á la velocidad v en metros por minuto del aire al pasar por la parrilla, por la expresión

$$v_1 = \left(\frac{5}{3} + 2 \frac{1}{4} \right) v = \left(3 + \frac{3}{4} \right) v$$

si $v = 60$ metros por minuto, $v_1 = 225$ metros, y en este caso

$$H = 18,1 + \frac{18,1 + l}{14,07 \times d - 1}$$

l representa en metros el camino total recorrido por los productos gaseosos desde la parrilla del hogar hasta la chimenea.

Otra fórmula empírica es la dada por G. Schmidt

$$H = \left(\frac{0,02 M}{1 + 0,003 \cdot M} \right)^2$$

representando M la cantidad de agua de alimentación en kilogramos por hora, fórmula que sólo se aplica en el caso de bajas temperaturas en la chimenea.

Estas fórmulas y reglas y algunas otras que suelen traer los *Aide-Memoires* no pueden tener carácter general ni ser de uso corriente, aunque en ocasiones puedan ser utilizables, debiendo atenderse en cada caso para fijar la altura de las chimeneas á las circunstancias locales y consideraciones antes expuestas.

Como principios generales para todos los casos pueden quedar establecidos los siguientes:

- 1.º El mínimo de la altura de una chimenea debe fijarse en todos los países por los reglamentos de policía.
- 2.º Las altas chimeneas son siempre más costosas que las de sección forzada y menos altura; es, pues, inconveniente adoptar chimeneas muy elevadas.
- 3.º A altura igual, y siempre que la altura alcance el límite exigido por las circunstancias locales, son preferibles las chimeneas anchas.

No debe, sin embargo, exagerarse en extremo la sección, porque de ello pudiera ocasionarse entradas de aire por la parte superior y consiguientes perturbaciones en el tiro.

b) SECCIÓN DE LAS CHIMENEAS.—Las consideraciones expuestas más arriba acerca de las variables que entran en la expresión del tiro y la complejidad de los fenómenos que en este se producen, no permiten nunca calcular exactamente la sección para todos los casos, necesitando en cada uno referirse á resultados de experiencias; de aquí que se haya propuesto tal variedad de fórmulas para la determinación de las secciones de chimeneas, desde Montgolfier, que fué el primero que se ocupó en este asunto, y Clement y Tregold que le siguieron.

A Peclet se debe un estudio completo de chimeneas desarrollado en su notable tratado acerca de los fenómenos del calor, que le ha valido renombre universal. El método de Peclet se funda en la proporcionalidad de la sección de la chimenea al consumo de combustible, lo que supone necesariamente que las resistencias quedan constantes, hipótesis que, según este insigne maestro, puede admitirse, porque las resistencias que provienen de la parrilla y cambios de dirección, experimentan sólo pequeñas variaciones y las que resultan del rozamiento tienen, en general, escasa influencia sobre la resistencia total. (V. *Traité de la chaleur*, de E. Peclet, tercera edición, tomo I, pág. 212).

Suponiendo que el consumo de hulla por decímetro cuadrado de parrilla sea constante de un kilogramo por hora, que la sección del conducto de evacuación de los gases sea también uniforme y cuadrada de lado D , siendo L la longitud total desde la parrilla al coronamiento de la chimenea, representando N el número de cambios de dirección y V el volúmen de aire frío que debe ser aspirado por segundo deducido del peso y naturaleza del combustible consumido, deduce Mr. Peclet la siguiente fórmula para determinar D en chimeneas exclusivamente de 10, 20 y 30 metros de altura

$$V = \frac{2 g H \alpha t}{1 + \alpha t} \times \frac{D^4}{g D + (K L + N D) (1 + \alpha t)^2}$$

K es el coeficiente de rozamiento que numerosas experiencias debidas á Girard, D'Aubuisson, Peclet y otros, han fijado en 0,021.

La anterior fórmula supone además que la resistencia de la parrilla

es constante é igual á 8, correspondiente á un consumo de hulla por decímetro cuadrado y hora de un kilógramo.

Los resultados que se obtienen por este método de cálculo sólo pueden considerarse como valores aproximados, toda vez que descansan sobre hipótesis relativas á la temperatura del aire en la chimenea y á las resistencias cuyas representaciones numéricas pueden variar entre límites bastante separados.

Los demás métodos propuestos adolecen de la misma inexactitud y su objeto principal no es otro que verificar si las dimensiones obtenidas por la aplicación de reglas empíricas satisfacen en cada caso, asegurando un tiro conveniente. Las diversas reglas prácticas á que aludimos han sido deducidas por sus autores, teniendo en cuenta más ó menos las diferentes resistencias, tanto teóricas como prácticas, que la circulación de los gases experimenta en los hogares, parrillas, galerías-conductos y chimeneas.

Veamos cómo se han establecido algunas de aquellas reglas traducidas á fórmulas.

Representemos por N el número de kilógramos de hulla que han de consumirse por hora; por p el peso del aire necesario á la combustión:

$$\frac{N p}{3600}$$

expresará el número de kilógramos de aire por segundo que ha de alimentar el hogar, al que podrá igualarse el gasto de la chimenea dado por la fórmula del tiro después de simplificada ó

$$\frac{N p}{3600} = \frac{0,348 \times S \sqrt{H \times t}}{1 + \alpha t}$$

como si pudiera realizarse prácticamente el tiro teórico.

Pero como se ha visto que la velocidad real de acceso de la corriente gaseosa queda reducida á una fracción de su valor teórico, deberá escribirse

$$\frac{N p}{3600} = K \times \frac{0,348 \times S \sqrt{H \times t}}{1 + \alpha t}$$

El valor de p se deducirá de su volúmen; mas como en un volúmen

de aire, la cantidad de ázoe es cuatro veces mayor que la de oxígeno, único agente de la combustión por ser inerte el ázoe, resulta que si para quemar 1 kilogramo de hulla se consideran necesario 2 metros cúbicos de oxígeno tomados á la temperatura del aire atmosférico, serán indispensables 10 metros cúbicos de aire para suministrar aquella cantidad de oxígeno. Ahora bien, como se verá más adelante, se consideran precisos 16 metros cúbicos de aire al menos para quemar 1 kilogramo de carbón, cuyo peso será dado en el producto

$$p = 16 \times 1^k,3 = 20^k,8.$$

En vista de lo expuesto, hagamos $p = 20^k,8$ y $t = 273^\circ$, cifras que determinan una eficaz combustión; si como al tratar de la velocidad se supuso hacemos $k = \frac{1}{5}$, tendremos:

$$\frac{N \times 20,8}{3600} = \frac{1}{5} \times \frac{0,348 \times 16,523 \times S \sqrt{H}}{2} = 0,575 \cdot S \cdot \sqrt{H}$$

y

$$N = 100 \cdot S \cdot \sqrt{H}$$

de donde

$$S = \frac{N}{100 \sqrt{H}} = 0,0100 \frac{N}{\sqrt{H}}$$

fórmula debida á Montgolfier, que, como las dos inmediatamente siguientes, ha sido establecida en la hipótesis de una altura dada de 10 metros. El factor numérico que en ella figura representa metros cuadrados, N kilogramos y H metros, viniendo dada la sección S en metros cuadrados. Para recordar fácilmente esta fórmula puede escribirse

$$S = \frac{N}{\sqrt{H}},$$

obteniéndose entonces la sección en decímetros cuadrados.

Para $p = 24$ kilogramos que corresponde á 18 metros cúbicos de aire por kilogramo de combustible, la fórmula anterior se convierte en

$$S = 0^m2,0116 \frac{N}{\sqrt{H}}.$$

La *fórmula de Tredgold* se obtiene asignando á p y k , respectivamen-

te, los valores 20 y $\frac{1}{4}$, determinando para la sección la expresión

$$S = 0^{\text{m}2},0080 \frac{N}{\sqrt{H}}.$$

REGLA DE DAR CET.—Una de las más sencillas de todas las reglas prácticas propuestas es la que Mr. Darcet dedujo de numerosas observaciones hechas en chimeneas cuyo funcionamiento nada dejaba que desear. Según ésta regla, hay que dar á las chimeneas «un decímetro cuadrado de sección por cada 3 á 4 kilogramos de carbón consumido por hora».

Otra regla conocida es hacer la sección de la chimenea en el coronamiento igual á la sección *libre* de la parrilla del hogar, y como por otra parte esta sección libre mínima debe ser $\frac{1}{5}$, según los prácticos, de su superficie total, resulta para sección también mínima de la chimenea en la boca el $\frac{1}{5}$ de la superficie *total* de la parrilla.

Hagamos aplicación de los anteriores métodos al caso de una chimenea en cuyo hogar se hubieren de consumir 100 kilogramos de carbón por hora, teniendo 10 metros de altura; por la fórmula de Montgolfier resultaría:

$$S = 0,0100 \times \frac{100}{3,18} = 0^{\text{m}2},314$$

por la segunda expresión hallaríamos,

$$S = 0,0116 \times 31,4 = 0^{\text{m}2},364$$

por la fórmula de Tredgold,

$$S = 0,0080 \times 31,4 = 0^{\text{m}2},2512$$

y por la regla de Darcet,

$$S = \frac{100}{3,5} = 28,5 \text{ decímetros cuadrados.}$$

Tratándose de chimeneas circulares, caso el más frecuente en la práctica, se recomienda aumentar el diámetro de la chimenea, deducida la sección correspondiente así obtenida en $0^{\text{m}},10$. En el ejemplo anterior resultaría, según ésto, como diámetro medio en la boca, 30 centímetros.

Otras fórmulas hay en función de la fuerza en caballos. Nuestro ilus-

tre Valdés, en su *Manual del Ingeniero* (1), presenta la siguiente para hallar directamente el área de la sección transversal de una chimenea:

$$S = \frac{0,04 \times C}{\sqrt{H}}$$

en la que C representa el número de caballos efectivos. El mismo autor indica que parece más conveniente emplear el doble del área calculada ó lo que es lo mismo la expresión

$$S = \frac{0,08 \times C}{\sqrt{H}}$$

y agrega, por último, que cuando $C < 8$ el coeficiente debe ser 0,25.

De la misma naturaleza es la que tomamos de Buchetti, en la que se admite un consumo de 1,5 kilogramos por caballo, que es hacer el valor de N de las anteriores fórmulas igual á $1,5 \times C$, resultando en metros

$$S = 0,015 \frac{C}{\sqrt{H}} \quad \text{ó} \quad C = \frac{S \times \sqrt{H}}{0,015} = 67 \times S \times \sqrt{H}$$

así ha sido calculado el siguiente cuadro:

d real.	Sección S de $d - 0,10$	ALTURA DE LAS CHIMENEAS						
		20	25	30	35	40	50	60
Potencia en caballos á 1,50 kilogramos de carbón por caballo.								
0,6	0,200	58	66	»	»	»	»	»
0,7	0,283	85	95	104	»	»	»	»
0,8	0,385	114	130	140	150	»	»	»
0,9	0,500	150	170	185	200	210	»	»
1,00	0,636	»	213	234	250	270	»	»
1,25	1,038	»	350	380	410	440	490	»
1,50	1,540	»	»	570	610	650	720	800
2,00	2,835	»	»	»	»	1200	1330	1470

El cuadro de abajo, tomado del *Memorial Technique Universel*, supone que la combustión para calderas fijas se hace en las condiciones ordinarias, es decir, que la temperatura media en la chimenea se aproxima á 300° y que se consume, poco más ó menos, un kilogramo de hulla por decímetro cuadrado de superficie de parrilla.

(1) VALDÉS: Pág. 434.

Chimeneas para calderas fijas.

CONSUMO en kilogramos por hora.	VALORES DE D CORRESPONDIENTES Á LA ALTURA H DE LA CHIMENEA					
	$H =$					
	10 metros.	15 metros.	20 metros.	25 metros.	30 metros.	35 metros.
15	0,227	0,208	0,196	0,189	0,183	0,179
20	0,262	0,240	0,227	0,218	0,211	0,207
30	0,321	0,294	0,257	0,266	0,258	0,253
40	0,370	0,339	0,320	0,308	0,298	0,292
50	0,414	0,379	0,358	0,344	0,334	0,326
60	0,454	0,415	0,392	0,377	0,365	0,357
70	0,490	0,448	0,423	0,407	0,394	0,386
80	0,524	0,479	0,453	0,435	0,422	0,412
90	0,555	0,509	0,480	0,461	0,447	0,437
100	0,586	0,536	0,506	0,486	0,471	0,461
120	0,641	0,587	0,554	0,532	0,516	0,505
140	0,693	0,634	0,599	0,575	0,558	0,546
160	0,740	0,678	0,640	0,615	0,596	0,583
180	0,785	0,697	0,679	0,652	0,632	0,618
200	0,828	0,758	0,715	0,687	0,667	0,652

La siguiente tabla encierra también algunos datos prácticos: d y D son los diámetros superior y en la base de la chimenea, en centímetros; H representa metros.

H	18	20	25	30	35	40	45	50	60
d	40	45	55	75	95	125	145	155	190
D	76	90	97	150	190	227	250	263	300
C	10	15	25	50	80	150	200	250	400

La curva de la figura 1 sirve para apreciar las variaciones de diámetro de una chimenea, en relación con su altura. Los puntos que en ella aparecen son indicaciones de algunas chimeneas existentes (1).

Como resumen de todo lo expuesto acerca de esta materia, podemos

(1) V. CAYLA Y LEROLLE: *Cheminées monumentales*.—Paris, 1900.

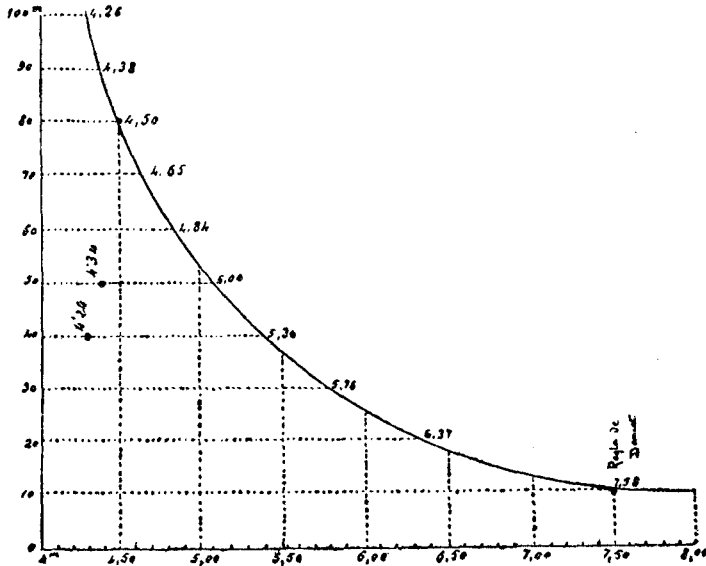


FIG. 1.

concluir que asignando á la sección superior de la chimenea un área igual á la de la sección de los vacíos de la parrilla, si se reconoce la necesidad de dar el $\frac{1}{5}$ de la sección de la parrilla para los vacíos, la sección total de ésta será igual á cinco veces la sección de la chimenea; con un área en la sección del coronamiento de la chimenea del $\frac{1}{4}$ al $\frac{1}{5}$ de la superficie de parrilla y una altura de 25 á 35 metros, se podrán gastar por hora 120 kilogramos de hulla por metro cuadrado de parrilla. La combustión normal es de 60 kilogramos y esto exigirá entonces que el registro de aire esté poco abierto, lo que no impedirá dejar asegurada la estabilidad del tiro, porque la velocidad de salida de los gases resultará todavía la necesaria.

También convendrá tener presente, á título de indicaciones generales y para facilitar los cálculos, los datos prácticos que hemos reunido á continuación.

Cuando el tiro de las chimeneas está arreglado en condiciones moderadas, puede valuarse el peso p de combustible consumido por hora y metro cuadrado de superficie G de parrilla en 60 ó 65 kilogramos.

El valor de la vaporización media por metro cuadrado de superficie

de calefacción total, S , es para calderas fijas en buenas condiciones de combustión de 14 á 15 kilogramos de vapor por metro cuadrado, á condición de que la relación entre la superficie de calefacción S y la superficie de parrilla G sea:

Para calderas cilíndricas, de recalentadores, hervidores y Cornuailles..	$\frac{S}{G} = 25 \text{ á } 30$
» » semitubulares, tubulares y multitubulares.....	$\frac{S}{G} = 35 \text{ á } 50$
» » de tiro forzado.....	$\frac{S}{G} = 60$

Si tomamos ahora la primera de estas tres relaciones correspondiente á calderas ordinarias y toda vez que, según se deja dicho, se consume de 60 á 65 kilogramos de carbón de hulla por hora y metro cuadrado de superficie G de parrilla, resulta que en el mismo tiempo el consumo por metro cuadrado de superficie de calefacción correspondiente será de 1,75 á 2 kilogramos.

La determinación de la superficie de calefacción según el número de caballos de vapor necesarios es un procedimiento lógico, porque el caballo es la unidad de medida práctica de trabajo, y así se fija aquella superficie en la extensión necesaria y suficiente para producir el vapor consumido por caballo, si bien la regla no puede ser absoluta porque los diferentes tipos de máquinas de vapor no consumen ni mucho menos el mismo peso de vapor por caballo. Prácticamente se admite (S en metros cuadrados; N número de caballos)

Para máquinas ordinarias.....	$S = 1,5^{m^2} \times N$
» » con condensación y compound..	$S = N$
» » de tiro forzado.....	$S = 0,6 \times N$

Según esta regla, corresponderán á la parrilla de 4 á 8 decímetros cuadrados por caballo de fuerza.

Finalmente, el consumo práctico de carbón por caballo y hora, admitiendo que 1 kilogramo de carbón de hulla produce 8 kilogramos de vapor, como después hemos de ver, es:

Para máquinas sin expansión ni condensación, por caballo-hora 3 á 3,5 k. de hulla.	
» » sin expansión con condensación,	» 2,5 á 3 »
» » con expansión sin condensación,	» 2 á 2,5 »
» » con expansión y con condensación,	» 1,25 á 2 »
» » Compound	» 0,75 á 1 »

Cuando, como acontece en ocasiones, la chimenea es común á varios hogares, la sección de la misma se hace igual á la suma de los vacíos en las parrillas de los hogares.

La experiencia parece acreditar que ateniéndose á estas indicaciones para toda clase de chimeneas, ya sean simples ó comunes á varios hogares, estará asegurado el tiro necesario y suficiente, lo que en la práctica industrial es de suma importancia por no haber nada más oneroso que un tiro insuficiente; para prevenirse contra esto, es por lo que se aconseja la conveniencia de forzar la sección, pues si el tiro con ello resultara demasiado enérgico, el registro hábilmente manejado reduciría aquél á lo que fuere conveniente. El ensanchamiento de la sección en la base respecto á la de la boca, además de favorecer la estabilidad de la chimenea, determina uniformidad en la velocidad de los gases á su salida (1).

III

Método general.

Caso de aplicación.

La singularidad é importancia de las dos chimeneas monumentales levantadas en el Campo de Marte de París en la Exposición de 1900, juntamente con ser tan reciente su erección, nos mueve, para terminar esta parte, á exponer en particular el método seguido en la determinación de las dimensiones principales que debían tener estas dos chimeneas afectas á la producción de vapor en dos fábricas, una situada en la Avenida Suffrén, reservada á los expositores extranjeros, y la otra próxima á la Avenida La Bourdonnais, destinada á las calderas de los fabricantes franceses, cuyo estudio técnico se encomendó al Director del servicio de instalaciones mecánicas Mr. Ch. Bourdon.

Los datos generales base del estudio fueron para cada una de las chimeneas:

(1) V. J. BOULVIN: *Cours de mécanique appliquée aux machines*—París, 1894, página 31.

1.º Cada fábrica debía producir por término medio en marcha normal 100.000 kilogramos de vapor por hora.

2.º La altura sobre la rasante del suelo se fijó en 80 metros.

Razones de estética y salubridad sirvieron para la determinación de esta altura. Concentrándose todos los hogares en las dos fábricas indicadas, se evitaba el establecimiento de muchas chimeneas de altura relativamente pequeña y dimensiones variables, que además hubieran extendido nubes de humo por los palacios y jardines de la Exposición é incomodado al público. Empleando conductos colectores que se reuniesen en cada chimenea de las dos únicas acordadas, se evitaban aquellos inconvenientes y se señalaba en alguna manera la importancia de la fuerza motriz de la Exposición de 1900 «simbolizada en las dimensiones colosales de estos edificios», como escriben Mrs. E. Cayla y P. Lerolle, de quienes tomamos los anteriores datos.

CÁLCULO DEL TIRO.—Con los datos de producción de vapor y altura de la chimenea que había de servir á los generadores, vamos á verificar por el cálculo si el diámetro deducido de las reglas empíricas proporcionaría el tiro necesario.

Según la teoría mecánica del calor, el total λ necesario para transformar 1 kilogramo de agua á 0° en vapor saturado á la temperatura t° , se compone de dos partes: el calor q necesario para calentar el agua de 0° á t° , llamado *calor sensible* por ser el único indicado por el termómetro, y el *calor latente de vaporización* r , empleado en hacer pasar el agua ya á t° al estado de vapor también á t° , ó sean las 537 calorías que es necesario añadir para vaporizar el kilogramo de agua. Esta suma, llamada *calor total de vaporización*, es pues,

$$\lambda = q + r;$$

en ella el primer sumando es

$$q = t + 0,00002 t^2 + 0,0000003 t^3,$$

fórmula empírica que expresa el número de calorías q absorbidas cuando se eleva 1 kilogramo de agua de 0° á t° ; el segundo sumando es

$$r = 606,5 - 0,695 \cdot t - 0,0000 2 t^2 - 0,0000003 t^3,$$

de donde la suma del calor sensible y del calor latente, ó sea el calor total, será:

$$\lambda = 606,5 + 0,305 t \quad [1],$$

representando el término $0,305 \cdot t$ las calorías necesarias para elevar 1 kilogramo de vapor de 0° á t° y t° la temperatura del vapor. Esta fórmula, debida á Regnault, expresa en calorías el calor total que 1 kilogramo de vapor de agua saturado á t° abandona al pasar al estado de 1 kilogramo de agua á 0° . Si la temperatura del agua á vaporizar estuviese á t_1 grados, la fórmula anterior se convertiría en ésta:

$$\lambda_1 = 606,5 + 0,305 \cdot t - t_1.$$

Conocida la cantidad de calor que exige 1 kilogramo de agua á 0° para vaporizarse á t° y el número de calorías cedidas por cada clase de combustible, se deducirá la cantidad de agua que puede ser vaporizada por 1 kilogramo de carbón y el peso del combustible necesario para vaporizar n kilogramos de agua. Si el agua en vez de ser tomada á 0° es tomada á t_1 , su vaporización exigirá $\lambda - t_1$ calorías, como hemos visto.

Mas como los generadores sólo utilizan una fracción k de la potencia calorífica de los combustibles variable según las disposiciones que se adopten y la temperatura de escape, ha de tenerse esto en cuenta, y de este modo, si P representa la potencia calorífica del combustible empleado, el peso del mismo necesario para vaporizar 1 kilogramo de agua á t_1° , vendrá dado en la expresión

$$p = \frac{\lambda - t_1}{k \times P} \quad [2]$$

Tratándose de la hulla, la cantidad de calor en calorías desarrollado por 1 kilogramo de carbón es, según Tredgold:

Hulla de Glasgow..	6776
Hulla de primera calidad...	7050
Hulla de Coventry..	9501

Variando dentro de estos límites el poder calorífico de la diversidad de hullas industriales, por lo que se estima en general la potencia calorífica media del carbón de hulla en 8000 calorías ó $P = 8000$. Para generadores y conductos de fábrica el valor que se asigna á k es 0,60, y si suponemos que la temperatura t_1 es la medida normal de 15° , tendremos, substituyendo estos valores en la expresión [2] anterior,

$$p = \frac{606,5 + 0,305 \cdot t - 15}{0,60 \times 8000}$$

haciendo $t = 100^\circ$

$$p = \frac{622}{4800} = 0^k,129$$

y con 1 kilogramo de carbón podrán vaporizarse $\frac{1}{0,129} = 7^k,50$ de agua.

En definitiva, la cantidad de agua que puede ser vaporizada por 1 kilogramo de carbón de hulla es, aproximadamente, 7,50 kilogramos, de donde, para vaporizar 100.000 kilogramos de agua serán necesarios $\frac{100.000}{7,5} = 13.333$ kilogramos de hulla, que es el consumo horario.

Los volúmenes teóricos de aire necesarios á la combustión de 1 kilogramo de combustible, tomados para las hullas del cuadro que inserta Denfert en su obra (1) son:

Hulla de llama larga.	7 ^m 3,580
Hulla para gas.	8 ^m 3,680
Hullas grasas.	8 ^m 3,630
Hullas de llama corta.	9 ^m 3,070

resultando de él que, en números redondos, se necesitarían teóricamente 8 metros cúbicos de aire para la combustión de 1 kilogramo de hulla.

Pero por la dificultad práctica de quemar convenientemente los combustibles, se consideran pequeños los volúmenes de aire del cuadro anterior, los cuales se han deducido químicamente, no debiendo esperarse si se aplicaran estrictamente la obtención de una combustión completa; unido esto á experiencias directas, parece poderse asegurar que para conseguir la completa combustión se debe hacer pasar por el hogar de una y media á dos veces el volumen teórico del aire, sin que tampoco exceda de este limite, más allá del cual hay disminución muy notable de rendimiento.

En vista de lo que antecede, se admite que para quemar 1 kilogramo de carbón hacen falta 16 metros cúbicos de aire y por consiguiente, para los 13.333 kilogramos antes hallados se necesitarán

(1) DENFERT: *Fumisterie chauffage et ventilation*.—Paris, 1896, pág. 46.

$$13.333 \times 16 = 213.328^{\text{m}^3}$$

de aire por cada hora, lo que representa 59 metros cúbicos por segundo.

Si se aplica á este caso para la determinación de la sección S de la chimenea una de las fórmulas empíricas estudiadas antes, por ejemplo, la empleada por Buchetti

$$S = N \sqrt{H}$$

en la que recordaremos que

S es la sección en decímetros cuadrados,

H altura en metros,

N el peso del carbón quemado por hora,

tendremos:

$$S = 13.333 \sqrt{80} = 1491 \text{ decímetros cuadrados } \quad \delta$$

$$S = 14^{\text{m}^2},91 = 3,14 r^2 \quad r = 2,175 \text{ metros}$$

y finalmente, el diámetro d de la chimenea en el coronamiento de la misma

$$d = 4^{\text{m}},35$$

Si, con el mismo autor, se aumenta este diámetro $0^{\text{m}},10$ para tener en cuenta los rozamientos, resultará como diámetro interior en la corona de la chimenea

$$d = 4^{\text{m}},45$$

Y, en efecto, en las chimeneas del Campo de Marte esta dimensión ha sido de $4^{\text{m}},50$.

Como queda dicho más arriba, el cálculo que va á seguir servirá para verificar si esta sección así determinada satisface á un tiro conveniente.

Sean:

Q_0 la cantidad de gases á evacuar á 0° , cantidad hallada = 59^{m^3} .

t temperatura de los gases en el interior de la chimenea.

θ temperatura del aire en el exterior, supuesta de 25° .

d_0 densidad de los gases evacuados á 0° .

d densidad de los gases á t° , supuesta igual á la del aire á la misma temperatura.

V y S velocidad de los gases y sección superior de la chimenea.

V' y S' velocidad media de los gases y sección media = 22^{m^2} de la chimenea.

La sección media ha sido por construcción igual á la de los conducto-galerías á su desembocadura en la chimenea.

La presión que produce el escape de los gases, llamada *carga*, es contrarrestada por la contrapresión, cualquiera que sea su origen, determinando una diferencia con la presión ó pérdida de carga total, cuya expresión general es

$$P - p = \Sigma \frac{KL}{D} p_1 + \Sigma \left(1 - \frac{d^4}{D^4} \right) p_2 + \Sigma A p_3 - \Sigma B p_4 + \Sigma \text{sen}^2 \theta p_5 + \Sigma \frac{v^2}{180} p_6 \quad (1)$$

P es el exceso de presión; p la carga correspondiente á la velocidad en el extremo libre del conducto; $p_1, p_2, p_3 \dots p_6$ las cargas correspondientes á las velocidades en los diversos puntos donde se manifiestan las resistencias: el primer término representa la suma de las pérdidas de carga debidas al rozamiento, y los sucesivos las sumas de pérdidas de carga debidas á disminución de velocidad por aumento de sección, por contracciones al disminuir la sección; el término negativo es suma de aumentos de carga debida á expansiones por ensanchamiento de sección y los dos últimos sumas de pérdidas de carga por cambios bruscos y cambios continuos de sección.

Cada una de las cargas $p_1, p_2 \dots p_6$ puede expresarse en función de p , porque si las velocidades v y v_1 tienen lugar en conductos cuyos diámetros respectivos sean D y D_1 y se supone que los gases no cambian sensiblemente de densidad, se tendrá:

$$\frac{p_1}{p} = \frac{D^4}{D_1^4} \quad \text{de donde} \quad p_1 = p \frac{D^4}{D_1^4}$$

é igualmente para las otras presiones.

Se puede, por lo tanto, escribir la fórmula general que da la pérdida total de carga bajo la forma

$$P - p = A p \quad [4]$$

y suponer en la expresión de la pérdida de carga, constante el factor p .

Ahora bien; si se expresa p , presión ó carga correspondiente á la velocidad de escape ó V' media, en altura de agua, designando d la densi-

(1) PEULET: loc. cit., pág. 150.

de los gases evacuados referida al agua, la altura en gas determinante de la carga es $\frac{p}{d}$ y la velocidad de escape

$$V' = \sqrt{2g \frac{p}{d}}$$

de donde

$$p = \frac{d V'^2}{2g}$$

la [4] será, pues,

$$P - p = A \frac{d V'^2}{2g} \quad [5]$$

que puede escribirse

$$P - p = K \frac{d V'^2}{2g}$$

siendo

$$K = \Sigma A,$$

en cuya expresión ya sabemos que el factor $\frac{d V'^2}{2g}$ es supuesto constante para todo el recorrido de los gases.

Sentado esto, el gasto ó volumen de los gases evacuados es

$$Q_0 = V \cdot S;$$

pero el volúmen Q_0 dilatado á la temperatura t° del interior de la chimenea se transforma en Q según la fórmula

$$Q = Q_0 (1 + \alpha t)$$

igualdad que expresa, según Gay Lussac. en función de la temperatura, la ley como varía el volúmen de un gas á presión constante.

Por otra parte, en virtud de la ley de Mariotte, los volúmenes son inversamente proporcionales á las densidades á igualdad de presión, y así d_0 densidad de los gases á 0° , cuyo volúmen es Q_0 , y d á t° , cuyo volúmen es Q , dan la proporción

$$\frac{Q_0}{Q} = \frac{d}{d_0}$$

y por la anterior,

$$\frac{Q_0}{Q_0 (1 + \alpha t)} = \frac{d}{d_0}$$

de donde

$$d_0 = d (1 + \alpha t)$$

En lo que se acaba de decir, se admite que la densidad del aire depende solamente de su temperatura; se sabe, sin embargo, que la densidad del aire á la misma temperatura disminuye á medida que se eleva; pero es fácil reconocer con Peclet que las variaciones de densidad resultantes de las variaciones de altura, aun para las más altas chimeneas, son poco importantes. En efecto, para 0^m,760 de altura barométrica, esta presión atmosférica está representada por una columna de agua de

$$0^m,760 \times 13,60 = 10^m,336$$

y para una columna de aire á 0° y bajo la misma presión, resulta esta columna de aire de $\frac{10^m,336}{0,001293} = 7956$ metros, toda vez que 0,001293 es la densidad del aire con relacion al agua.

La presión atmosférica á 40 metros del suelo está equilibrada por la columna mercurial de 0^m,75637, puesto que ésta descende 1 milímetro por cada 11 metros de elevación, y á esa presión la columna de aire es de

$$\frac{0^m,75637 \times 13,60}{0,001293} = 7910 \text{ metros.}$$

Por tanto la densidad del aire á una altura de 40 metros estará con la densidad del aire en la superficie del suelo en la relación

$$\frac{7910}{7956} = \frac{1}{1,005}$$

variando, como se vé, en una cantidad insignificante para la altura señalada, que es muy común en las chimeneas.

Además la experiencia enseña que los productos de la combustión en un hogar ordinario tienen sensiblemente la misma densidad, á temperatura igual, que la del aire atmosférico; pues según los análisis de Mr. Scheurer-Kestner, citados por Mr. Ser en su *Tratado de física industrial* (1), el peso del metro cúbico de los productos de la combustión de la hulla ordinaria quemada con 14 metros cúbicos de aire por kiló-

(1) *Traité de Physique industrielle.*—I, pág. 534.

gramo de combustible es de 1,304 kilogramos, cuando el del aire es, como sabemos, 1,293 kilogramos.

Pueden, pues, considerarse iguales las densidades de los gases productos de la combustión y del aire en las mismas condiciones de temperatura.

Lo que antecede permite expresar la carga necesaria para evacuar al exterior de la chimenea los gases á t^0 , escribiendo:

$$\frac{d V^2}{2 g} = \frac{\frac{d_0}{1 + \alpha t} \times V^2}{2 g} = \frac{\frac{d_0}{1 + \alpha t} \times \frac{Q_0^2 (1 + \alpha t)^2}{S^2}}{2 g}$$

ó

$$\frac{d V^2}{2 g} = \frac{d_0 Q_0^2 (1 + \alpha t)}{2 g \times S^2}$$

La pérdida de carga por rozamientos, cambios de dirección, etc., será

$$K \frac{d V^2}{2 g} = \frac{K d_0 Q_0^2 (1 + \alpha t)}{2 g \times S^2}$$

de manera que la pérdida de la carga total deberá ser

$$\frac{d V^2}{2 g} + K \frac{d V^2}{2 g} = \frac{d_0 Q_0^2 (1 + \alpha t)}{2 g \cdot S^2} + \frac{K d_0 Q_0^2 (1 + \alpha t)}{2 g \cdot S^2}$$

ó bien

$$\frac{d V^2}{2 g} + K \frac{d V^2}{2 g} = \frac{d_0 Q_0^2 (1 + \alpha t)}{2 g} \left(\frac{1}{S^2} + \frac{K}{S^2} \right) \quad [6]$$

el primer sumando representa la presión en altura de gases necesaria para vencer su peso; el segundo, la que exigen los rozamientos, cambios, etc.

Estas contrapresiones son vencidas por la presión que representa la columna exterior de aire á t^0 de temperatura y densidad d , que por unidad de sección y altura H de chimenea es

$$p = H \frac{d_0}{1 + \alpha t}$$

el peso de la misma columna de aire caliente á la temperatura de t^0 , siendo supuesta la densidad de los gases de la combustión igual á la del aire, tendrá por expresión

$$p_1 = H \frac{d_0}{1 + \alpha t}$$

la diferencia entre ambas presiones resulta ser

$$p - p_1 = \frac{H d_0}{1 + \alpha \theta} - \frac{H d_0}{1 + \alpha t}$$

ó sea

$$p - p_1 = \frac{H d_0 (1 + \alpha t) - H d_0 (1 + \alpha \theta)}{(1 + \alpha \theta) (1 + \alpha t)} = H d_0 \alpha \frac{t - \theta}{(1 + \alpha \theta) (1 + \alpha t)} = E \quad [7]$$

con lo cual la carga disponible en la chimenea de altura H viene á resultar ser E .

Si, pues, hallamos la diferencia entre esta carga y la pérdida de carga antes determinada, diferencia que llamaremos y' , este exceso dará la *ecuación de tiro*

$$y' = \frac{H d_0 \alpha (t - \theta)}{(1 + \alpha \theta) (1 + \alpha t)} - \frac{d_0 Q_0^2 (1 + \alpha t)}{2 g} \left(\frac{K}{S'^2} + \frac{1}{S^2} \right)$$

reemplazando en esta ecuación á t por x y tomando esta variable para abscisa, tendremos

$$y' = \frac{H d_0 \alpha (x - \theta)}{(1 + \alpha \theta) (1 + \alpha x)} - \frac{d_0 Q_0^2 (1 + \alpha x)}{2 g} \left(\frac{K}{S'^2} + \frac{1}{S^2} \right) \quad [8]$$

en la que K , que representa la suma de pérdida de cargas por todos conceptos, es

$$K = F + G + D + M$$

determinándose empíricamente.

F es el coeficiente de rozamiento, tomándose generalmente para F el valor 10 y no siendo posible su exacta determinación.

G es el coeficiente de pérdida de carga debida al paso del aire por las parrillas de los hogares; se admite para G el valor 8.

D coeficiente de pérdida de carga por cambios de dirección; se iguala también á 8.

M , finalmente, que representa el coeficiente de pérdida de carga por cambios de sección, se toma igual á 15.

Resulta, por lo tanto,

$$K = 27,5$$

Sustituyendo en [8] las letras por los valores indicados y poniendo

$$y = 1000 y'$$

á fin de obtener las ordenadas en milímetros, resulta

$$y' = \frac{80 \times 0,0013 (x - 25) \cdot 0,00367}{(1 + 0,00367 \times 25) (1 + 0,00367 \times x)} - \frac{0,0013 \times 59^2 (1 + 0,00367 \times x)}{2 \times 9,8} \left(\frac{27,5}{22^2} + \frac{1}{15,9^2} \right)$$

y sucesivamente

$$y' = \frac{0,000382 x - 0,00955}{1,092 + 0,00400 \cdot x} - \frac{4,525 + 0,0166 \times x}{19,6} \times 0,0607.$$

$$y' \times 19,6 (1,092 + 0,00400 \cdot x) = (0,000382 \cdot x - 0,00955) 19,6 - (1,092 + 0,00392 \cdot x) (4,525 + 0,0166 \cdot x) 0,0607;$$

$$21,40 \times y' + 0,0785 x y' = 0,007487 \cdot x - 0,18728 - 0,299936 - 0,0011 \cdot x - 0,001076 \cdot x - 0,00000395 \cdot x^2;$$

$$21,40 y' + 0,0785 x y' - 0,00531 x + 0,487216 + 0,00000395 \cdot x^2 = 0$$

y como $y' = \frac{y}{1000}$, ordenando además con respecto á x , y dividiendo por 21,40

$$0,000185 \cdot x^2 + 0,00367 \cdot x y - 0,244 \cdot x + y + 23 = 0$$

que puesta bajo la forma

$$0,00367 \cdot x \cdot y + 0,00019 \cdot x^2 + y - 0,244 \cdot x + 23 = 0,$$

es de la de

$$A y^2 + B \cdot x \cdot y + C x^2 + D \cdot y + E x + F = 0$$

en la que $A = 0$, ó sea la ecuación de la hipérbola

$$B x y + C x^2 + D y + E x + F = 0$$

resolviéndola con relación á y

$$(0,00367 \cdot x + 1) y + 0,00019 \cdot x^2 - 0,244 \cdot x + 23 = 0$$

$$y = \frac{-0,00019 \cdot x^2 + 0,244 \cdot x - 23}{0,00367 \cdot x + 1} \quad [9]$$

verificando la división

$$y = -0,0517 \cdot x + 80,60 - \frac{103,60}{0,00367 \cdot x + 1}.$$

Una de las asíntotas de la curva es paralela á uno de los ejes coordena-

dos, al de las Y , por ser cero el término de la segunda potencia de y , cuya ecuación general recordaremos es:

$$Bx + D = 0$$

y en nuestro caso

$$0,00367 \cdot x + 1 = 0,$$

de donde

$$x = -\frac{1}{0,00367} = -273 \quad [10].$$

La ecuación de la otra asíntota es el cociente de y , ó sea

$$y_1 = -0,0517 \cdot x + 80,60 \quad [11]$$

y llamando y_2 al resto

$$y_2 = -\frac{103,60}{0,00367 \cdot x + 1} \quad [12].$$

Si construimos la recta que representa y_1 determinaremos puntos de la hipérbola, añadiendo algebraicamente á las ordenadas de aquella recta los valores que vaya tomando y_2 para cada uno de los que se atribuyan á x .

La recta representada por la ecuación [11] ó sea la segunda asíntota, se construirá fácilmente, con el conocimiento de su coeficiente angular y la ordenada en el origen, y hecho su trazado referido á dos ejes coordenados rectangulares, daremos sucesivamente valores á x en la [12], deduciendo los de y_2 que han de sumarse algebraicamente á las ordenadas de la recta [11] para ir determinando puntos de la curva (fig. 2), así:

$$\text{para } x = -273^0 \quad y_2 = -\infty$$

donde la asíntota encuentra á la curva; también llevando este valor de x á la ecuación de la curva [9], resulta para y el mismo valor ∞ ;

$$\text{para } x = 0 \quad y_2 = -103,60$$

que tomamos en el eje Y desde la asíntota hacia abajo, y como la ordenada en el origen de esta recta según su ecuación [11] es 80,60, el punto de la curva se obtiene 23 unidades por debajo del origen de coordenadas y eje de las X , como tiene que suceder por comprobación, pues en la ecuación [9] de la curva para el valor 0 asignado á x , resulta $y = -23$;

$$\text{para } x = 102,6 \quad y_2 = -75,25,$$

valor que tomado desde la asíntota nos lleva al eje X precisamente, y si este valor 102,6 de x llevamos á la [9] dá $y = 0$;

para $x=1181$ $y_2=-19,40$, lo mismo que antes la ordenada de la asíntota para

$x = 1181$ es $+ 19,40$ y en la [9] el de y para el mismo de x da también $y = 0$; la curva según esto corta al eje de las X en los puntos de abscisa

$$x = 102,60$$

$$x = 1181,$$

para los cuales se anula y .

Como resumen de los cálculos que anteceden, cuyos resultados gráficamente se muestran en la figura 2, ésta acredita que á partir de la temperatura de 100° próximamente, hay suficiente tiro y que la carga disponible supera á la carga necesaria en una cantidad que está representada por 18 milímetros.

En efecto; el máximo valor de y ó sea de y' , se obtendrá igualando á cero la derivada de [8] con relación á x ; esto es, resolviendo la ecuación

$$\frac{2g \cdot H (1 + \alpha \theta)^2}{[(1 + \alpha \theta) (1 + \alpha x)]^2} - Q_0^2 \left(\frac{K}{S'^2} + \frac{1}{S^2} \right) = 0$$

ó

$$2gH - Q_0^2 \left(\frac{K}{S'^2} + \frac{1}{S^2} \right) (1 + \alpha x)^2 = 0$$

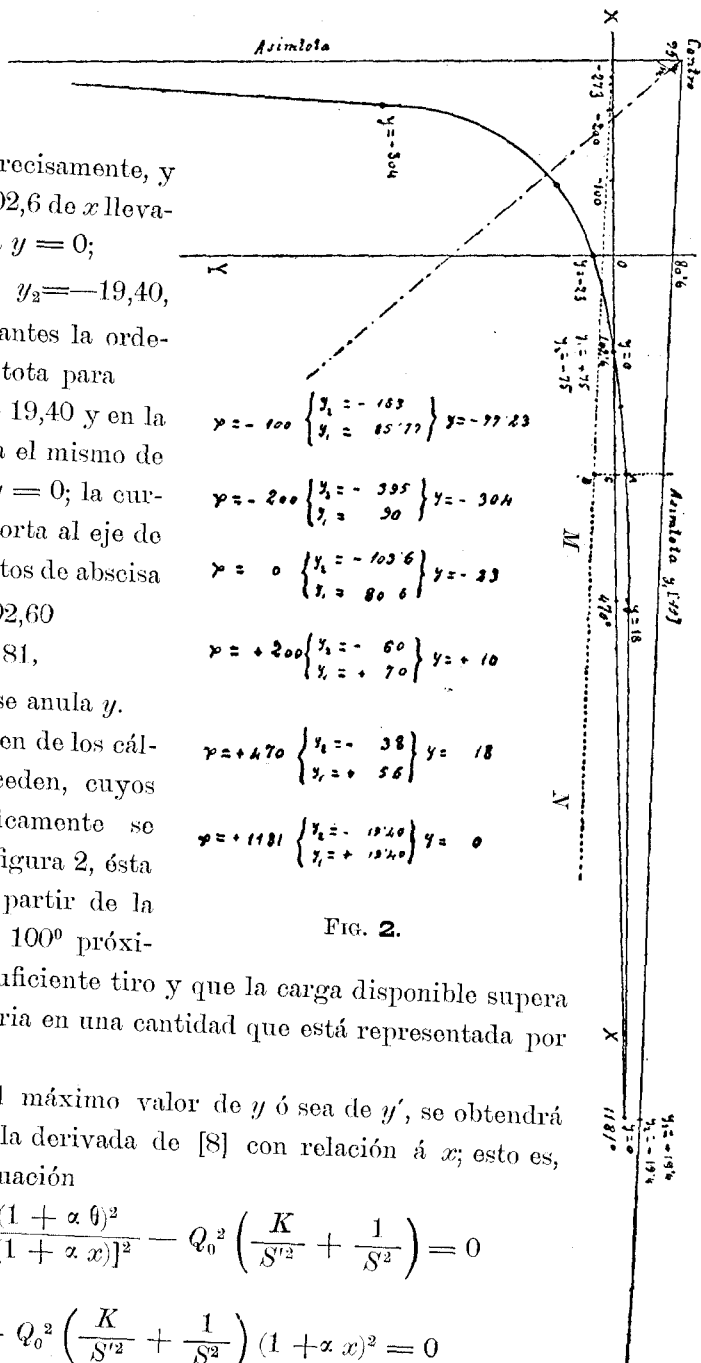


FIG. 2.

en la cual

$Q=59^m$ $S=15,9^m$ $S'=22^m$ $K=27,5$ $\alpha=0,00367$ $g=9,8$ $H=80^m$
al mismo resultado conduce la resolución de la ecuación resultante de
igualar á 0 la derivada de la [9] ó sea la ecuación

$$\frac{[2(-0,00019x)+0,244](0,00367x+1)-0,00367(-0,00019x^2+0,244-23)}{(0,00367 \cdot x + 1)^2} = 0$$

que por transformaciones sucesivas se convierte en

$$x^2 + 540x - 470000 = 0$$

cuyas raíces, en *números redondos*, son

$$x' = 470$$

$$x'' = -1000$$

la raíz positiva $x = 470$ corresponde al máximo de y ; llevando este valor de x á la [12] dará para y_2

$$y_2 = -\frac{103,57}{0,00367 \times 470 + 1} = -\frac{10357}{272} = -38$$

y para el de y de la [8] el mismo valor de $x = 470$ da el punto de la curva correspondiente á su ordenada máxima

$$y = \frac{-0,00019x^2+0,244x-23}{0,00367x+1} = \frac{-41,97+114,68-23}{2,7249} = \frac{49,71}{2,72} = 18,3$$

Queda, pues, probado por lo que expuesto se deja, que á partir de 100° centígrados habrá tiro suficiente y que la carga disponible superará á la necesaria en una cantidad representada por 18 milímetros.

El dibujo muestra que el máximo tiro corresponde á la temperatura de 470°, disminuyendo los valores de y' desde esta abscisa á pesar del aumento de temperatura. Esta singularidad obedece á que la carga E que viene dada en función de la diferencia de los pesos de las columnas de aire exterior é interior, alcanza su máximo $E=95$ milímetros, cuando t siendo ∞ el aire interior no pesa nada. En cambio la fórmula [6] de la pérdida de carga muestra, por el contrario, que ésta pérdida es proporcional á $1 + \alpha t$, y por consiguiente aumenta indefinidamente con la temperatura.

Es también interesante observar que esta temperatura de 470°, próximamente, que corresponde al máximo de y' , no corresponde al máxi-

mo de la cantidad de gas que podría ser evacuado por la chimenea. La anterior afirmación ya está comprobada con el resultado antes obtenido, de igualar á 0 la derivada de la [8]: la cantidad de aire que puede ser evacuada se hallará en cambio haciendo $y' = 0$ en la [8], lo que daría la expresión

$$Q = \sqrt{\frac{2g \cdot H \cdot \alpha (x - \theta)}{(1 + \alpha \theta) (1 + \alpha x)^2 \left(\frac{K}{S'^2} + \frac{1}{S^2} \right)}}$$

cuyo máximo se obtendría igualando á cero la derivada de

$$\frac{x - \theta}{(1 + \alpha x)^2}$$

ó bien

$$1 + 2\alpha x + \alpha^2 x^2 - (x - \theta)(2\alpha + 2\alpha^2 x) = 0$$

$$1 - \alpha^2 x^2 + 2\alpha\theta + 2\alpha^2 \theta x = 0$$

$$\alpha^2 x^2 - 2\alpha^2 \theta x - (1 + 2\alpha\theta) = 0 \quad x^2 - 2\theta x - \frac{1 + 2\alpha\theta}{\alpha^2} = 0$$

de donde

$$x = \theta \pm \frac{1}{\alpha} \sqrt{(1 + \alpha\theta)^2} = \theta \pm \frac{1 + \alpha\theta}{\alpha} = 2\theta + \frac{1}{\alpha}$$

y finalmente

$$x = t = 2 \times 25^\circ + \frac{1}{0,00367} = 323^\circ.$$

El valor de Q que corresponde al obtenido para t es

$$Q = 72 \text{ metros cúbicos.}$$

Si sobre la figura 2, á partir de un punto cualquiera de la curva [8] llevamos una longitud AB igual al valor de E deducido de la [7], el lugar de B será evidentemente una línea recta MN . En efecto, puede determinarse el punto B y todos los demás, llevando de C á B el valor que dé la [6], es decir, llevar á partir de una línea recta las ordenadas de otra recta.

Así, pues, en la figura 2, AB representa la carga, BC la pérdida de carga y AC el exceso de la carga sobre la pérdida de carga ó sea la carga disponible por exceso.

Método de comparación.

Un nuevo método presentan Mrs. Cayla y Lerolle en su obra *Chimeneas monumentales*, ya citada, para el cálculo de las dimensiones que debe darse á los diferentes elementos de una chimenea, que si bien para una misma conduce á resultados no uniformes, puede seguirse aceptando la media de todos ellos, y que es recomendable por su sencillez y brevedad.

Es un método de comparación fundado en la determinación de los elementos de una chimenea por deducción de los de otra de las mismas condiciones ya existente, cuyo funcionamiento es completamente satisfactorio.

Para exponerle, se parte de la expresión de la pérdida de carga más arriba hallada y mediante un desarrollo de cálculo que aquí no nos parece necesario reproducir, en el que se iguala la carga á la pérdida de carga, llegan á un segundo miembro independiente de las dimensiones de la chimenea que hay que construir, de donde nace el método de comparación que se propone para el cálculo de todas las chimeneas.

Conociendo una chimenea número 1 caracterizada por los datos: H , altura; D , diámetro en la boca, y $\frac{V'}{V} = \mu$, relación entre las velocidades media y en la boca de los gases y correspondiendo á una cantidad de combustible P , puede construirse en las mismas condiciones otra chimenea número 2, cuyos elementos conocidos fueran H' , μ' y P' , siendo D' la incógnita del problema.

Para hallar el valor de D' , con estos supuestos, se empieza por determinar el diámetro D_1 que tendría la chimenea núm. 1 si con la misma altura H y el mismo valor de μ , quemase una cantidad de combustible P' y no P ; este D_1 se obtiene tomando la sección en la boca proporcional á la cantidad de combustible ó

$$D_1 = \sqrt{\frac{D^2 \times \text{superficie de calefacción de la núm. 2}}{\text{Superficie de calefacción de la núm. 1}}}$$

una vez hallado D_1 , el diámetro D' es entonces dado por la fórmula

$$D' = \sqrt[4]{\frac{\mu'^2}{\mu^2} \times \frac{H D_1^4}{H'}} \quad [2]$$

y por último, la sección de los conductos de humo á la chimenea se obtendrá por la expresión

$$S' = \frac{1}{\mu'} \times \frac{\pi \cdot D'^2}{4} \quad [3]$$

Un ejemplo aclarará lo expuesto.

Apliquemos este método de cálculo al de las chimeneas de la Exposición de 1900. Los datos son

$$H' = 80 \text{ metros} \quad \mu' = 0,72 \quad \text{Superficie de calefacción} = 7500^{\text{m}^2}.$$

Se busca el valor del diámetro D' en la boca, partiendo del conocimiento de una ó varias chimeneas existentes. Sea una de éstas la de la Compañía general de Omnibus de Boulogne-sur-Seine, de

Superficie de calefacción: 1080^{m^2} $H = 40^{\text{m}}$. $D = 1^{\text{m}},70$ $S = 2^{\text{m}},85$
y por lo tanto

$$\mu = \frac{1}{S} \cdot \frac{\pi D^2}{4} = 0,79$$

Aplicando los datos á la expresión [1] tenemos

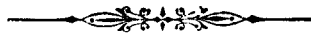
$$D_1 = \sqrt{\frac{1,7^2 \times 7500}{1080}} = 4^{\text{m}},47$$

Con este valor podemos deducir D' de la [2],

$$D' = \sqrt{\frac{0,72^2}{0,79^2} \times \frac{40 \cdot 4,47^4}{80}} = 3,58 \text{ metros.}$$

Finalmente, con la [3] determinamos la sección de los conductos de humo del hogar á la base de la chimenea

$$S' = \frac{1}{0,72} \times \frac{3,14 \cdot 3,58^2}{4} = 14 \text{ metros cuadrados.}$$



SEGUNDA PARTE

ESTABILIDAD Y RESISTENCIA

I

Cimentaciones

En la construcción de las chimeneas de fábrica se debe proceder con especial cuidado en todas sus partes, principiando por un detenido estudio en cada caso de la naturaleza del terreno de las fundaciones, toda vez que la particularidad de estas delicadas construcciones, es, como se sabe, transmitir una carga á su base desproporcionada con la extensión superficial estricta de la misma.

TERRENO. PLATAFORMA PARA BASE Y ASIENTO DE UNA CHIMENEA.—El conocido ingeniero inglés Mr. Rankine, admitia por deducción de los resultados obtenidos en sus numerosas investigaciones, demostrando con ellas, que la máxima carga vertical que puede imponerse á un terreno, está representada por la fórmula

$$P = d \times p \times \frac{1 + \operatorname{sen}^2 \varphi}{(1 - \operatorname{sen} \varphi)^2},$$

designando en ella:

P , la carga por metro cuadrado en los puntos más fatigados;

d , el peso del metro cúbico de tierra;

p , la profundidad del plano de fundación por debajo del nivel del suelo;

φ , es el ángulo de rozamiento del terreno, variable, como se sabe, con la naturaleza del mismo, y fácil de determinar por el talud que toman naturalmente las tierras ó según el ángulo bajo el cual se sostienen; este ángulo para una misma clase de terreno, varía también con su grado de humedad ó sequedad.

Mr. Planat, el autor francés de trabajos científicos tan numerosos

como interesantes, en su *Mecanique appliquée* (1) admite los siguientes límites para valores de φ :

Tierra ordinaria.	15 á 45 grados.
Arcilla mojada.	17 á 29 »
Arcilla húmeda.	45 «
Arcilla seca ó mezclada con arena. . .	21 á 37 »
Grava y cantos.	39 á 48 »

si se acepta como término medio de profundidad del plano de asiento de las fundaciones, la de 3 metros ó $p = 3$, y se toma para valor de d también medio, $d = 1665$ kilogramos, el producto $p \times d$ será

$$p \times d = 5000 \text{ kilogramos,}$$

encontrando así Planat los resultados siguientes:

Tierras muy flojas.	$\varphi=0^\circ$	$P=5000 \times 1 = 0^k,50$	por cm. ²
Idem movedizas.	$\varphi=15^\circ$	$P=5000 \times 2 = 1^k,00$	»
Idem medias.	$\varphi=30^\circ$	$P=5000 \times 5 = 2^k,50$	»
Buen terreno.	$\varphi=45^\circ$	$P=5000 \times 17,5 = 8^k,75$	»
Terrenos muy consistentes. $\varphi=60^\circ$		$P=5000 \times 97,5 = 48^k,75$	»

Como para carga permanente de un terreno es cuando menos 2 el coeficiente de seguridad, no deberán admitirse para ella sino el $\frac{1}{2}$ de los anteriores valores, resultando

Para tierras muy flojas.	0 ^k ,20	por cm. ²
» tierras flojas.	0 ^k ,50	»
» tierras de resistencia media.	1 ^k ,25	»
» buen terreno.	4 ^k ,50	»
» terrenos muy sólidos y resistentes.	24 ^k ,50	»

Los anteriores datos deben tenerse en cuenta indispensablemente en el cálculo de las cimentaciones y no exceder en ningún caso los límites de carga permanente por unidad superficial que pueden admitir los terrenos sobre que han de apoyarse las fundaciones, pues las construcciones de que tratamos refieren á su base compresiones que por lo considerables se salen de las ordinarias de las edificaciones urbanas.

(1) 5.^{eme} edición págs. 723 y 724.

Con frecuencia, las cargas que tienen que soportar los terrenos sobre los que se cimentan las chimeneas, exceden de 2 kilogramos por centímetro cuadrado, aun tratándose de aquellas de más moderada altura, exigiendo entonces, como el cuadro anterior lo indica, un terreno bueno, capaz de resistir en condiciones de seguridad hasta 4,50 kilogramos por centímetro cuadrado, de que no siempre se dispondrá; en tales casos sería necesario recurrir á los procedimientos especiales de cimentación que se estudian en los tratados de construcción, para conseguir que actúen sobre el terreno presiones inferiores por unidad á las de los límites admitidos según su naturaleza.

De entre los medios conocidos para alcanzar este fin, los más sencillos y por esto mismo los más empleados, son: bien constituir una base ó plataforma maciza de hormigón de cemento, de espesor y área calculados, ó el empleo de pilotes. Por ambos procedimientos, repartiéndose uniformemente las cargas sobre todo el terreno ocupado, se disminuye sobre éste la presión por unidad superficial, constituyéndose excelentes fundaciones sobre medianos terrenos.

El primer modo, ó sea el del empleo del hormigón y en casos también el de arena (1), se adopta cuando se trata de terrenos compresibles en espesor ó profundidad tal que deba renunciarse á descender á la capa de terreno de resistencia aceptable. Es necesario entonces decidirse á tomar los apoyos sobre el mal terreno, pero para que éste ofrezca la necesaria y apetecible resistencia, hace falta consolidarle por el medio indicado.

El segundo método se emplea cuando á la primera capa de mal terreno y de más ó menos espesor, pero nunca considerable, sigue otra de terreno bueno ó incompresible; se establece entonces una superficie rígida de extensión determinada, que, emplazada en el suelo compresible, pero insistiendo en el resistente por el intermedio de pilotes, sirve de asiento al zócalo de la chimenea.

(1) El empleo de la arena dá excelentes resultados cuando está contenida en un macizo incompresible y está indicado especialmente en los casos de terrenos de composición heterogénea é irregular, cuya resistencia varía de un punto á otro, y esto, en razón de la propiedad que posee la arena de repartir muy uniformemente las presiones.—(PLANAT, pág. 744).

En este método se remedian los defectos del suelo por un gran ensanchamiento de la base de las fundaciones, constituido por la plataforma que resulta del conjunto de pilotes, el emparrillado establecido en el plano de sus cabezas y el macizo de hormigón que le corona casi siempre. La plataforma se dispone de manera que el punto de aplicación de la resultante de las fuerzas exteriores pase por su centro ó muy próximo á él para que las presiones se distribuyan uniformemente y no se produzcan asentamientos desiguales en el terreno, mucho más perjudiciales que las presiones excesivas, pero uniformemente repartidas.

Primer método.—Plataforma de hormigón.

ESPESOR Y BERMA DEL MACIZO. — Supongamos que se trata de una chimenea de sección cuadrada, la cual transmite al terreno una presión por centímetro cuadrado de 2,50 kilogramos y que clasificado éste entre los de resistencia media, no puede soportar en condiciones seguridad mayor presión que de 1,25 kilogramos por igual unidad. Representemos



FIG. 3.

por e la berma ó zarpa del hormigón con relación al paramento exterior del muro de fábrica del zócalo de la chimenea. La extensión superficial por metro lineal de berma será $1 \times e$, la presión supuesta uniformemente repartida sobre su base de apoyo, $2,50 \times 1 \times e$, y la resultante de las presiones obrará sobre el hormigón como sobre prisma empotrado en un extremo, cargado uniformemente, de longitud e , á la distancia $\frac{e}{2}$; el momento de flexión ó de las fuerzas exteriores correspondiente vendrá dado en la expresión

$$M = 2,50 \times e \times \frac{e}{2} = 1,25 \cdot e^2 ;$$

el momento resistente ó módulo de elasticidad $\frac{I}{v}$, es en este caso

$$\frac{I}{v} = \frac{h^2}{6}$$

designando por h el espesor del hormigón; de donde el trabajo del hormigón se deducirá de la ecuación general de resistencia en la flexión

$$R \frac{I}{v} = M \quad \text{ó} \quad R = \frac{M v}{I} = 1,25 \cdot e^2 \frac{6}{h^2} = 7,50 \frac{e^2}{h^2}$$

si se toma para valor del coeficiente de trabajo del hormigón á la extensión su límite inferior $R = 1$ kilógramo por centímetro cuadrado, para colocarnos en las mejores condiciones de resistencia, no asignando al coeficiente R_0 de fractura por extensión valores mayores de 12 á 15 kilógramos por centímetro cuadrado y tomando como coeficiente de seguridad el de 10 á 15 (1), tendremos:

$$1 = 7,50 \times \frac{e^2}{h^2}$$

de suerte que para valores de

$h = 0^m,30$	$e^2 = 0,012$	y	$e = 0^m,11$
$h = 0^m,40$	$e^2 = 0,021$		$e = 0^m,15$
$h = 0^m,50$	$e^2 = 0,033$		$e = 0^m,19$
$h = 1^m$	$e^2 = 0,133$		$e = 0^m,37$

En el día es de empleo muy común por los constructores el hormigón de cemento, para asiento y fondo de las cimentaciones.

El espesor del macizo de hormigón constitutivo de la primera hilada de la obra, varía necesariamente, según los casos y en las construcciones ordinarias, entre $0^m,30$ y $0^m,80$, y se determina racionalmente. En efecto, una vez conocida la resistencia de que es capaz el terreno, este dato permite fijar la extensión superficial que es necesario asignar á la plataforma de hormigón, ó base de apoyo, de donde se concluye la dimensión e ó salida de la berma sobre el paramento de la primera hilada de la fábrica del cimiento, toda vez que éste será de dimensiones conocidas. Con este nuevo dato se calculará el grueso ó altura h de hormigón. Este, una vez determinada la presión resultante por unidad en la base, se halla en la parte de berma de longitud ó salida e , como antes indicamos, en las condiciones de un prisma empotrado en uno de sus extremos, libre en el otro y sometido á un esfuerzo de *abajo á arriba*, reacción del terreno, igual á dicha presión, que tiende á flexar la masa de hormigón, la cual deberá presentar una sección transversal suficiente para resistir la flexión.

(1) MARVÁ: *Mecánica aplicada*, tomo II, pág. 1415; tomo I, pág. 186.

Tomemos como ejemplo la chimenea recientemente elevada de la fábrica establecida por la sociedad «Electra-Recajo» en Logroño, de 37 metros de altura, construida con ladrillo de marca análoga á la del prensado de Borgoña.

Calculados los pesos de las partes ó rodillos que la componen y asignando á la fábrica de ladrillo un peso de 1500 kilogramos por metro cúbico, resulta (1)

Fuste.	157000	kilogramos	
Pedestal.	91000		»
	248000		»

carga sobre el terreno debida exclusivamente á la chimenea.

La sección en la corona, base del pedestal y de toda la chimenea, es:

$$\Omega = \pi (r^2 - r'^2) = 3,1416 (1,85^2 - 1) = 7^m2,60;$$

por consiguiente, la carga sobre el terreno por centímetro cuadrado resulta de

$$\frac{248000}{76000} = 3,26 \text{ kilogramos.}$$

Admitamos ahora que aquél no puede soportar en condiciones de seguridad aceptable más de 1,50 kilogramos por centímetro cuadrado, coeficiente que corresponde á los terrenos clasificados de resistencia media, lo que exige una extensión superficial de

$$\frac{248000}{1,5} = 165333 \text{ centímetros cuadrados,}$$

ó sea, en números redondos, 165000, como mínimo de superficie de apoyo que ha de proporcionar la plataforma de hormigón.

Pero como el peso correspondiente al volúmen de éste ha de insistir sobre el mismo terreno, aumentando consiguientemente la carga y pre-

(1) El ladrillo duro, muy cocido, tipo Borgoña, de 0^m,22 × 0^m,11 × 0^m,055, pesa 1550 kilogramos por metro cúbico. (Véase E. BARBEROT: *Traité des constructions civiles*, Paris, 1900, págs. 846 y 847, cuadro de resultados de experiencias.) Aceptando este mismo peso para el metro cúbico de fábrica, se favorece el cálculo, toda vez que el de ésta es menor, por no entrar en el metro cúbico de fábrica un metro cúbico completo de ladrillo y ser el peso del mortero empleado en la unidad cúbica insignificante.

sión por unidad, necesario es aumentar en la relación debida la superficie para que aquella presión no pase del límite establecido.

Ahora bien: como se desconoce aquel volúmen y por lo tanto el peso de la masa de hormigón, forzoso es proceder por tanteos para conseguir nuestro objeto.

Al efecto, supongamos que la plataforma de hormigón es cilíndrica, de base circular, teniendo por radio $R = 2,85$ metros, lo que significa (toda vez que el radio exterior de la base de la chimenea se ha supuesto ser $r = 1,85$ metros) que la berma presenta una salida anular de un metro sobre todo el paramento del pedestal de la chimenea.

Esto sentado, por metro corriente de circunferencia media y á razón de 1,25 kilogramos por centímetro cuadrado ó 12500 kilogramos por metro cuadrado, área y forma que aproximadamente podemos admitir que tiene el sector anular en un metro de desarrollo de su circunferencia media, el hormigón correspondiente soportará esa carga que tenderá á romperle y á la que esta masa deberá resistir, considerándola como prisma recto empotrado y libre y uniformemente cargado.

En este caso, ya sabemos que la ecuación general estableciendo el equilibrio entre el momento de flexión producido por la fuerza exterior y el momento resistente es

$$\frac{R I}{v} = \frac{P \cdot L}{2}$$

y haciendo de ella aplicación, como si se tratara del $\frac{I}{v}$ de un rectángulo

$$R \frac{h^2}{6} = \frac{P \cdot L}{2}$$

De ésta hemos de deducir el valor de h , asignando al coeficiente R de trabajo del hormigón á la extensión el valor comunmente admitido 2 kilogramos por centímetro cuadrado ó 20000 kilogramos por metro cuadrado. Tendremos

$$20000^k \frac{h^2}{6} = \frac{12500^k \cdot 1}{2} \quad h^2 = \frac{75000}{40000} = 1,875$$

y de aquí

$$h = 1,367 \text{ metros}$$

representando h la altura ó grueso de la plataforma de hormigón.

Sobre el terreno actúa ahora:

Por el peso de la chimenea. 248000* }
 Id. del hormigón $\pi R^2 \cdot h \cdot d = 3,14 \cdot 2,85^2 \cdot 1,367 \cdot 2000$ (1). 69700* } 317700*

el área en la base del hormigón es

$$\pi R^2 = 3,14 \times 2,85^2 = 25,50 \text{ metros cuadrados.}$$

Según todo esto, el terreno trabaja, en las hipótesis y condiciones admitidas, á

$$\frac{317700}{255000} = 1,28 \text{ kilogramos por centímetro cuadrado,}$$

que es aproximadamente el límite de carga que puede soportar en condiciones de seguridad. Como consecuencia se deduce que para el caso supuesto puede admitirse en la plataforma de hormigón la berma de 1 metro de salida y 1,37 de espesor de hormigón.

Segundo método.—Empleo de pilotes.

Hallándose bastante generalizado el empleo de pilotes para consolidar el mal terreno en las cimentaciones de chimeneas, conviene dedicar á él algún espacio, recordando al efecto los puntos esenciales de su aplicación.

Ya dejamos dicho en qué caso está indicada su adopción; añadiremos aquí que ésta no deberá tener lugar en general sino cuando no sea preciso dar desmesurada longitud á los pilotes para que lleguen á afirmar sus piés sobre terreno sólido, apreciándose como máxima una longitud comprendida entre 8 y 10 metros. Entre las maderas empleadas para pilotes, la más aconsejada es la de encina.

Dependiendo toda la resistencia del número de pilotes que entren en el área rígida por ellos constituida y por consiguiente de la que cada uno pueda soportar, resumiremos lo que se deduce del cálculo teórico del bateado, simplificado por Planat, de la teoría expuesta por Whewet y Airy.

(1) Respecto al peso del metro cúbico de hormigón véase MARVÁ: *Mecánica aplicada*, tomo I, nota del núm. 166.

CARGA QUE PUEDE RESISTIR UN PILOTE.—Designaremos por

L la longitud de un pilote de madera;

ω la sección transversal resistente;

P el peso de la maza de la machina que introduce ó hinca el pilote en el terreno;

H la altura de caída de la maza;

l representa el acortamiento que el trabajo $P \cdot H$ ha producido en el pilote en la primera fase del choque de la maza sobre la cabeza de aquél;

c la cantidad que representa la parte de pilote introducida en el terreno por efecto del mismo choque en la segunda fase del fenómeno;

E es el coeficiente de elasticidad, propio de la especie de madera del pilote;

R , finalmente, es la resistencia debida al rozamiento del pilote contra las paredès del agujero, ó sea la fuerza que comprime al pilote, fuerza que es vencida por el choque.

El trabajo correspondiente al acortamiento l es el producto de la fuerza R por l y como l es en este caso (1)

$$l = \frac{R \times L}{2 E \omega}$$

aquel trabajo estará representado por la relación

$$\frac{R^2 \times L}{2 E \omega}$$

La segunda fase del trabajo del choque es, como dejamos indicado, la que corresponde á la hincada del pilote; como la fuerza es siempre la resistencia R , este segundo trabajo estará evaluado en el producto

$$R \cdot c$$

de modo que siendo el trabajo almacenado en la maza $P \cdot H$ equivalente á la suma de los dos trabajos parciales de que se ha hecho mérito, entre los cuales se reparte después del choque, tendremos

$$P \cdot H = \frac{R^2 \cdot L}{2 \cdot E \cdot \omega} + R \cdot c,$$

(1) MARVÁ: Pág. 1338, párrafo 1076.

ecuación de segundo grado en R que permite determinar la resistencia que puede soportar un pilote, si se conoce la cantidad c que se hinea en el terreno á cada golpe ó la media de una andanada de 10 ó 30 golpes. Para resolverla cómodamente hagamos

$$\frac{2 \cdot E \cdot \omega}{L} = r$$

y despejando la incógnita

$$R = r \left(-\frac{c}{2} + \sqrt{\frac{c^2}{4} + \frac{P \cdot H}{r}} \right)$$

tomando una fracción de R , $\frac{R}{m}$, tendremos la carga permanente que se podrá hacer soportar á un pilote, deduciéndola, como se ve, de la penetración media por golpe de maza que haya tenido en la última andanada. El coeficiente de seguridad m es siempre 5 ó mayor que 5; esto es, el coeficiente de trabajo es á lo más el $\frac{R}{5}$ de la anterior expresión.

Tomemos como ejemplo el mismo que trae Marvá en el núm. 1076; se supone que la penetración en la última andanada de 30 golpes, causada por una maza de 500 kilogramos que cae de 1,20 metros, ha sido de 0,12 metros; por lo tanto, á cada golpe le correspondería, como término medio, $\frac{0,12}{30} = 0,004$ metros; los pilotes se imaginan de 8 metros y 0,25 de diámetro, y el valor del coeficiente de elasticidad para la madera se admite que es de 100000 kilogramos por centímetro cuadrado (1). Los datos son, por consiguiente, en metros

$$E = 10^9 \quad \omega = 0^m2,05 \quad L = 8^m \quad P = 500^k \quad H = 1^m,20 \quad c = 0^m,004$$

y con ellos

$$r = \frac{2 \cdot E \cdot \omega}{L} = \frac{2 \times 10^9 \times 0,05}{8} = 125 \cdot 10^5$$

y

$$R = 125 \cdot 10^5 \left(-0,002 + \sqrt{0,0000040 + \frac{600}{125 \cdot 10^5}} \right) = 125 \cdot 10^5 (-0,002 + 0,0072)$$

(1) El coeficiente de elasticidad del roble en kilogramos por milímetro cuadrado, según las experiencias de Mrs. Chevandier y Wertheim, es 977,8. (Véase MARVÁ: *Mecánica aplicada*, tomo I, tabla del núm. 175. En el ejemplo le tomamos redondeando la cifra.)

$$R = 65000 \text{ kilogramos.}$$

Esta sería la carga que habría tenido que soportar el pilote para llegar á la penetración supuesta que representa $\frac{65000}{500} = 130$ kilogramos por centímetro cuadrado, ó sea el $\frac{1}{4}$ ó $\frac{1}{5}$ de la carga de fractura.

Si hacemos ahora $m = 8$

$$\frac{R}{8} = 8125 \text{ kilogramos,}$$

sería la carga permanente, á la que se podría y convendría someter el mismo pilote, y en tales condiciones trabajaría á

$$\frac{8125}{500} = 16,25 \text{ kilogramos por centímetro cuadrado,}$$

coeficiente de trabajo muy pequeño, como se ve.

BATEADO DE LOS PILOTES.—Recordaremos que se distinguen en el bateado el *rechazo absoluto* y el *rechazo relativo*; el primero es el que resulta de la resistencia natural del terreno, al que no se llega jamás en el bateado de pilotes; el rechazo relativo es el debido al rozamiento que resulta de la compresión del terreno por efecto del bateado. El límite del rechazo habitualmente aceptado es, según Planat, el que corresponde á una penetración de 0,0003 metros por golpe; pasado este límite, todo el trabajo $P \cdot H$ de la maza, puede decirse que se emplearía únicamente en comprimir el pilote, lo que supone la hincada nula, haciéndole trabajar á una compresión enorme. Se comprende, en efecto, la fatiga considerable que se haría experimentar al pilote al pasar en la hincada del límite indicado, con un ejemplo. Supuesto un peso de maza $P = 600$ kilogramos y una altura $H = 1,20$ metros de caída, en un pilote como el del anterior ejemplo, de 8 y 0,25 metros de diámetro, resulta que si para una andanada de 30 golpes la cantidad introducida de pilote es 0,01 metros ó $c = \frac{0,01}{30} = 0,00033$, la resistencia total que ofrece este pilote á la penetración sería de 112500 kilogramos, que representa 225 kilogramos para carga por centímetro cuadrado de sección, valor éste que corresponde á la mitad de la carga que produciría el aplastamiento del pilote.

En los *carnets* y *aide-memoires* se dan varias reglas empíricas para

determinar la carga de un pilote según el grado de rechazo, las que no estando de acuerdo no deben ocupar nuestra atención; por eso sólo añadiremos, como dato práctico, que un pilote de las dimensiones señaladas, trabaja en general en la hinca á razón de 150 á 250 kilogramos por centímetro cuadrado, como límites extremos, correspondiendo el primero á una penetración de 0,12 metros por andanada de 30 golpes ó de 0,04 metros por andanada de 10, y el segundo á la introducción del pilote en el terreno en cantidad de 0,01 metros por andanada de 30 golpes ó de 0,0033 metros por la de 10. Tomando, como se ha dicho, el $\frac{1}{5}$ de aquellas cifras para carga de trabajo total permanente, se tendrá para fatiga de un pilote la de 30 á 50 kilogramos por centímetro cuadrado de su sección transversal

Aunque este resultado está de acuerdo con el hecho de que la carga normal de los prismas de madera en sentido de su eje, cuando la flexión lateral es imposible, como en el caso de los pilotes, es una media de 60 kilogramos por centímetro cuadrado, ésta cifra debe considerarse como el límite superior de la resistencia á que haya de someterse un pilote, toda vez que corresponde al caso en que todo el esfuerzo se empleara exclusivamente en la compresión del pilote ó rechazo absoluto en que c es cero, y es prudente, como Marvá aconseja, contar con las causas de destrucción de los pilotes y no aceptar coeficientes más elevados que los de 30 á 50 kilogramos, antes deducidos.

En las cimentaciones de los pilares de la Gran galería de máquinas de la Exposición Universal de París de 1889, se hizo uso del sistema de pilotes de pino.

Las chimeneas monumentales de la Exposición de 1900, fueron fundadas también sobre pilotaje de roble. Los cálculos para éstas determinaron que la carga no pasaría de 96,5 kilogramos por centímetro cuadrado para los pilotes, caso que ocurriría en la hipótesis de que éstos soportasen por sí sólo la carga total sin intervención del terreno. Este, en cambio, trabajaría á 3,65 kilogramos por centímetro cuadrado, en el caso opuesto.

Las indicaciones del siguiente cuadro, tomado del *Memorial Technique Universel* nos parecen de alguna utilidad práctica, y por eso le reproducimos.

Bateado de pilotes.

INDICACIONES RELATIVAS Á LA MACHINA Ó INSTRUMENTO EMPLEADO EN LA HINCA.	Peso de la maza. — Kilógramos.	Altura de caída. — Metros.
<i>Macho</i> ó martillo grande de mano. Carga para cada obrero, 15 á 20 kilógramos.	40 á 100	0,80 á 1,00
<i>Machina de tirantes.</i> Número de golpes por cada andanada, 25 á 30. Duración de cada andanada (pausa = 3'). Idem del trabajo útil por día = 6 horas. Carga para cada obrero = 15 kilógramos.	200 á 500	1,50 á 2,00
<i>Machina de fiador.</i> Seis obreros al torno dan un golpe por 1'. Caída media = 4 ^m ,50. . . .	hasta 800	hasta 6
<i>Machina de vapor.</i> Una de 6 caballos da de 7 á 8 golpes por 1', con una caída media de 4 ^m ,00.	hasta 1200	hasta 8

También debe consultarse el cuadro inserto con el núm. 1076 en la obra del coronel Marvá, pág. 1340.

Es interesante, una vez que se conozca la carga máxima permanente soportada por los pilotes por unidad de su sección transversal, y por lo tanto la carga por pilote, determinar el rechazo que conviene dar en el bateado.

Sean:

$P = 600$ kilógramos, el peso de la maza;

$H = 1,20$ metros, la altura de caída;

$p = 150$ kilógramos, el peso de un pilote de 0,18 metros de diámetro y 8 metros de longitud, á 750 kilógramos por metro cúbico;

$Q = 12000$ kilógramos, carga máxima que puede soportar: 47 kilógramos por centímetro cuadrado;

$c =$ penetración á cada golpe de maza, incógnita.

Se conoce la fórmula teórica

$$Q \cdot c = \frac{P^2 \times H}{P + p}$$

á la que aplicando los datos

$$12000 \cdot c = \frac{600^2 \times 1,2}{600 + 150} = 576$$

$$c = \frac{576}{12000} = 0^m,048$$

En consecuencia, para este caso, si en el bateado no se prolongara la hinca más allá del rechazo á 0,048 metros por golpe, de ser exacta la anterior fórmula, tendríamos seguridad de que la fatiga que experimentaría el pilote en la operación no sería superior á la que se le hubiere asignado como carga permanente, ya que sabemos que es, por el modo explicado antes, cinco ó seis veces mayor, y, en efecto, si no exacta, á lo menos aproximadamente, resultaría para R el valor de Q anterior, resolviendo de nuevo la fórmula que determina la resistencia R que ofrece un pilote para introducirse en el terreno en función de la penetración $e = 0,048$ originada por un golpe de maza

$$R = r \left(-\frac{e}{2} + \sqrt{\frac{e^2}{4} + \frac{P \cdot H}{r}} \right)$$

Se comprende que aunque con el rechazo á 0,048 metros bastaría para que la carga por pilote no pasara del valor permanente supuesto, la hinca no se detendría aquí sino que se podría prolongar hasta un rechazo menor que diera para R el valor que satisficiera.

DISPOSICIÓN Y NÚMERO DE PILOTES.—Los pilotes se disponen al tresbolillo, espaciados 1 metro próximamente, en varias filas, según la latitud de la fundación. Como diámetro mínimo se acostumbra fijar el $\frac{1}{24}$ de su longitud, sin que nunca sea menor de 0,18 metros en la cabeza para los más cortos, creciendo sucesivamente con la longitud.

Antes se disponía sobre las cabezas de los pilotes enrasadas de nivel, un emparrillado compuesto de largueros y traviesas, relleno de mampostería ó si no una plataforma de tablonés; en la actualidad, la plataforma se sustituye casi siempre con hormigón de cemento, viniendo á formar el verdadero suelo de la construcción (figura 4). Se nivela, al efecto, el terreno entre los pilotes, una vez éstos colocados, á una profundidad de 0,30 á 0,50 metros por debajo del plano de sus cabezas; se rellena de hormigón bien apisonado este espacio, por tongadas de 15 á 25 centímetros de altura, continuándolas por encima de las cabezas y siempre por capas de nivel bien apisonadas hasta completar 0,60 ó 1 metro de espesor total. Sobre la superficie perfectamente horizontal con que se termina el macizo de hormigón, se asienta la base del zócalo de la chimenea.

Tomando como peso de una chimenea 250.000 kilogramos, y supo-

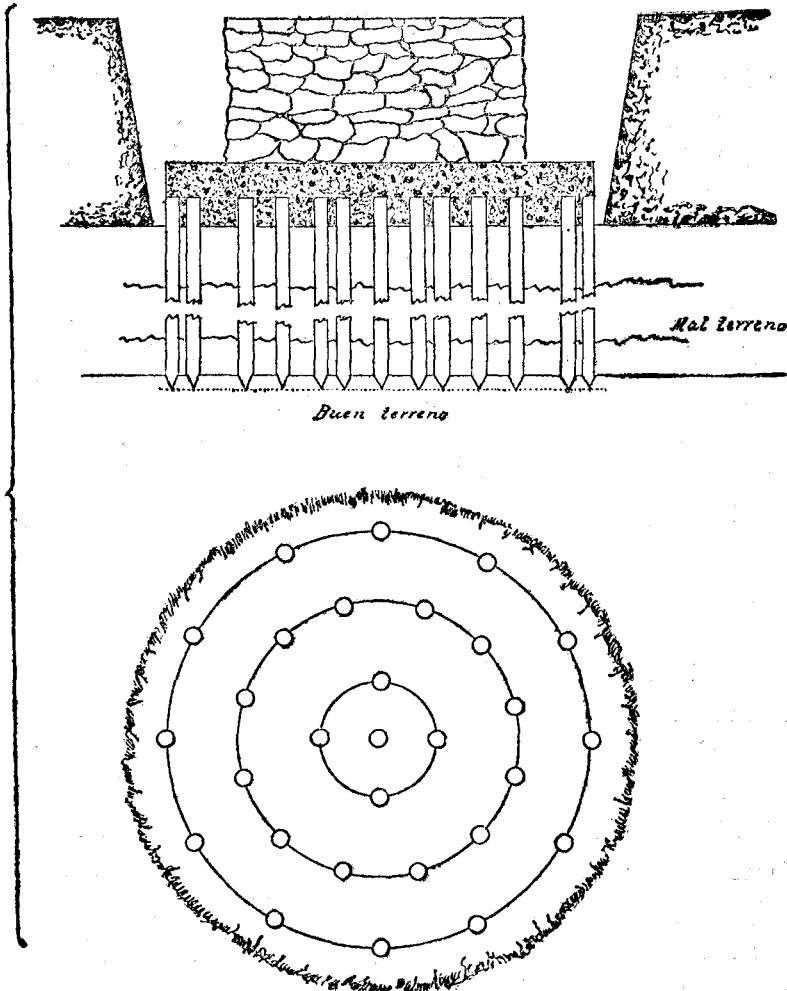


FIG. 4.

niendo un coeficiente de 30 kilogramos por centímetro cuadrado para trabajo permanente de los pilotes de 8 metros de largo y 0^m,20 de diámetro en la cabeza, el área de la sección transversal ω , de uno, será de 314 centímetros cuadrados, por lo que resistirá

$$314 \times 30 = 9420 \text{ kilogramos};$$

de donde el número necesario de pilotes sería, en tal caso,

$$\frac{250.000}{9420} = 27.$$

La disposición que debería darse á estos 27 pilotes, está representada en la figura 4. Si en el bateado no se quisiera hacer experimentar á los pilotes más fatiga que la de la carga permanente admitida, el cálculo de antes enseña que debiera detenerse al rechazo de 0^m,06.

Como estudio de aplicación de cimentación de chimeneas por pilotes, ninguno es más recomendable que el que Mrs. Cayla y Lerolle desarrollan con todo detalle en su folleto de *Chemineés Monumentales*. El método de cálculo adoptado ha sido el de comparación con el de las cimentaciones de la Galería de Máquinas, del mismo sistema, suponiendo que el coeficiente de elasticidad del terreno, que no se conoce, es el mismo para ambas construcciones. Este cálculo constituye un interesante y laborioso trabajo, que dá por resultados: primero, que la carga no pasará para los pilotes de la chimenea que son de roble de 96,5 kilogramos por centímetro cuadrado, lo que se presentaría si el terreno fuese absolutamente blando y los pilotes soportasen por sí solos la carga total evaluada en 6800 toneladas; segundo, que la carga referida al terreno por la chimenea no excederá de 3,65 kilogramos por centímetro cuadrado; esto sucedería si el terreno supuesto infinitamente duro solo él sostuviera la chimenea. Los pilotes de 8 metros de longitud fueron en número de 133, hincados hasta 85 centímetros por encima del fondo de la excavación mediante una machina de vapor, cuya maza pesaba 1200 kilogramos, cayendo de 1,50 metros de altura. La disposición de los pilotes en obra fué por coronas concéntricas, en número de 1, 4, 12, 20, 28, 32 y 36 pilotes. El diámetro exterior de la base de esta cimentación era de 18 metros.

II

Estabilidad y resistencia.

Las construcciones sometidas á fuerzas exteriores, exclusivamente verticales, peso propio de las fábricas y sobrecargas, se calculan para sólo resistir á la compresión, y por lo tanto, solamente desde el punto

de vista de su resistencia al aplastamiento, es como se consideran y calculan tales construcciones. Pero desde que interviene otra fuerza exterior, de dirección distinta de la vertical, esta fuerza tiende más ó menos á desplazar el macizo que se halla sometido á su acción, ya haciéndole girar alrededor de una arista, ó bien haciéndole resbalar sobre su apoyo.

Es necesario, pues, en estos casos, oponerse á ese desplazamiento, dando al macizo dimensiones convenientes, dimensiones que á la vez han de responder á la resistencia propia de los materiales, según el modo de trabajar á que se hallen sometidos.

En definitiva, la tendencia del macizo al movimiento y desplazamiento, bajo la acción de fuerzas exteriores, se traduce en aumento de fatiga de los materiales en determinados puntos, llegándose á originar extensiones, de aquellas compresiones, y el cálculo se reduce á determinar las dimensiones del macizo, de modo que no se pase del límite de trabajo admitido para los materiales que le forman.

El viento es una fuerza exterior, cuya acción sobre las construcciones se ejerce en dirección muy diferente de la vertical, y si bien esta fuerza es despreciada en los cálculos de la mayor parte de las construcciones ordinarias, no puede serlo del mismo modo, por la importancia que tiene, cuando se trata de construcciones aisladas, cuya base es reducida en relación con su altura, como sucede con los faros, torres y chimeneas de fábrica. Hay, pues, que tenerle en cuenta en el cálculo de éstas, tratándolas como construcciones sometidas á fuerzas exteriores verticales é inclinadas, cuya combinación origina la especialidad de condiciones á que debe sujetarse una chimenea para su estabilidad y resistencia.

Acción del viento.

La acción de una masa de aire en movimiento, ó sea el viento como fuerza motriz, obra de una manera análoga á la del agua corriente, cuyas leyes se aplican al viento con ligeras modificaciones.

Sean:

P = presión del viento en kilogramos;

S = superficie en metros cuadrados de un plano vertical;

v = velocidad relativa al viento con respecto á la superficie en metros por segundo;

$g = 9,81$ metros, aceleración de la gravedad;

$\phi =$ coeficiente empírico creciente con la magnitud de la superficie, cuyos valores límites son 1,86 y 3;

$\gamma =$ el peso de un metro cúbico de aire en kilogramos (1).

Si la acción del viento se hace sentir sobre una superficie en reposo colocada normalmente á la dirección del movimiento del aire, se tiene en kilogramos

$$P = \phi \gamma S \frac{v^2}{2g} \quad (2)$$

función análoga á la que da el choque ó presión del agua sobre una superficie.

Para $\phi = 1,86$ $\gamma = 1,293$ $S = 1$ metro cuadrado.

$$P = 2,40498 \times 0,050968 \times v^2 = 0,1225 v^2.$$

Esta presión es, según *L'Encyclopedie* F. Didot por L. Renier (3),

$$P = 2 \gamma S \cdot h$$

y en ella $\gamma = 1,231$ kilogramos el peso de 1 metro cúbico de aire en movimiento á la temperatura de 12° y presión barométrica de mercurio $= 0,755$ metros; $h = \frac{v^2}{2g}$; $S = 1$ metro cuadrado, en la que como se vé

la cifra 2 reemplaza al coeficiente ϕ de la anterior; con estos datos

$$P = 0,125 v^2$$

Flamant y Marvá (4) consignan la expresión

$$P = 0,113 v^2,$$

(1) Recordaremos que la densidad del aire á la temperatura de 0° y 760 milímetros de presión al nivel del mar (evaluación en la columna mercurial de la presión atmosférica) y con relación al agua, es 0,001293. El peso de 1 metro cúbico de aire atmosférico á 0° y presión barométrica normal es en kilogramos 1,293.

Para una temperatura de t° centígrados y una presión de p atmósferas, el peso de 1 metro cúbico de aire es dado por la expresión

$$p_1 = \frac{1,293 \cdot p}{1 + 0,00366 \cdot t}$$

Así, á una atmósfera de presión para $t = 13^\circ$ resulta para valor $p_1 = 1^k,234$.

(2) HUGENIN, 220. LAHARPE, 354.

(3) BARBEROT: pág. 929.

(4) MARVÁ: *Mecánica aplicada*, núm. 1062.

FLAMANT: *Stabilité des constructions*, núm. 42, pág. 100.--París, 1897.

la cual parece convenir á los valores correspondientes de $\gamma = 1,231$ kilogramos; $\epsilon = 1,80$, pues para ellos

$$P = 1,80 \cdot 1,231 \cdot 1 \cdot 0,0509 = 0,1129 v^2.$$

La expresi3n de P media entre las anteriores es

$$P = 0,120 v^2.$$

El cuadro siguiente ha sido calculado con esta f3rmula:

CLASE DE VIENTO	VELOCIDAD	VELOCIDAD	PRESI3N	
	v km. por hora	v en m. por 1 ^u	P por m ² en kg.	
Calma 3 viento apenas sensible.	3,600	1	0,12	
Brisa ligera.	7,200	2	0,48	
Viento fresco.	18,000	5	3,00	
Viento } bueno, } fresco. }	tiende bien las velas.	21,000	6	4,32
	el que conviene á los molinos.	25,200	7	5,88
	fuerte brisa.	28,800	8	7,68
conveniente para la navegaci3n.	32,400	9	9,72	
Viento muy fuerte brisa.	36,000	10	12,00	
» muy fresco.	43,200	12	17,28	
» muy fuerte.	54,000	15	27,00	
» impetuoso.	72,000	20	48,00	
» tempestad.	86,400	24	69,12	
» tempestad violenta.	108,000	30	108,00	
» hurac3n.	136,800	38	173,28	
» gran hurac3n.	162,000	45	231,00	

No es necesario para calcular la estabilidad de las construcciones conocer la relaci3n exacta entre la presi3n ejercida por el viento y la velocidad, basta conocer la mayor presi3n que puede producirse en cada localidad. Las presiones que alcanzan y pasan de 300 kilogramos, s3lo se producen excepcionalmente.

La presi3n de 278 kilogramos por metro cuadrado, correspondiente á la velocidad del viento durante un gran hurac3n, ha podido llegar á medirse en Escocia. En Bidston, cerca de Liverpool, se han comprobado presiones de 390 y 440 kilogramos tambi3n por metro cuadrado. En Am3rica se han observado ciclones que produjeron presiones de 445 kilogramos.

Las experiencias hechas hasta ahora con los instrumentos anem3m3tricos dejan bastante indecisi3n: el esfuerzo que debe servir de base á

los cálculos, no está, pues, determinado y es variable además con las circunstancias y las localidades. Con todo, se admite generalmente como máximo de presión por el viento contra una superficie normal á la dirección de su velocidad la de 300 kilogramos por metro cuadrado. Así fué calculada la torre Eiffel.

A consecuencia del accidente del puente de Tay, fué encargada por el *Board of Trade* una comisión inglesa de estudiar las condiciones de resistencia á la acción del viento de las obras de arte de los caminos de hierro. El resumen de sus trabajos, cuyas conclusiones son generalmente adoptadas en Europa por todos los ingenieros, ha conducido á admitir en el cálculo de los puentes y viaductos de caminos de hierro, una presión máxima de 270 kilogramos por metro cuadrado de superficie expuesta. He aquí, sin duda, por qué las curvas de presiones de las chimeneas monumentales del Campo de Marte han sido trazadas suponiendo esta presión de 270 kilogramos, y á esto también se debe el que sea la prescrita reglamentariamente por una circular ministerial en Francia tratándose de los puentes metálicos. Como se vé es la misma que la admitida mucho antes por Rankine; 268 kilogramos.

Este mismo ilustre ingeniero enseñaba que la resultante de presiones ejercidas por el viento sobre los elementos de una superficie cilíndrica cuyas generatrices fuesen perpendiculares á la dirección del viento, es igual á la mitad del producto de la presión por metro cuadrado sobre una superficie plana normal, multiplicada por la superficie de la sección diametral del cilindro; por analogía entre la presión de un líquido sobre una superficie plana perpendicular á los filetes y la resultante de las presiones sobre un cilindro circular que tuviera la primera superficie por sección diametral, cuya relación es $\frac{1}{2}$. Por eso tratándose de chimeneas cilíndricas, Rankine asignaba 134 kilogramos por metro cuadrado de la proyección sobre un plano diametral como resultante de las presiones.

La intensidad del empuje del viento cuando obra sobre una superficie cilíndrica comparada con la que corresponde al caso de la superficie plana, ha sido tratada por Mr. Fresnel en una Memoria publicada en los *Annales des Ponts et Chaussées*, dedicada á demostrar la buena estabili-

dad del faro de *Belle-Ile*. Mr. Fresnel demuestra con el siguiente razonamiento que la presión del viento sobre un cilindro es las dos terceras partes de la correspondiente á la sección diametral. Nosotros le tomamos de *Estabilidad de las construcciones de mampostería*, de E. Boix (1).

Sea (figura 5) $A M B D$ la sección recta de un cilindro: considérese una altura de generatriz igual á la unidad y designemos por

- f , la intensidad del empuje del viento por unidad superficial que obra sobre un elemento del cilindro situado en M , y cuya proyección sobre el diámetro $A B$ llamaremos dx ;
- r , el radio del cilindro;
- α , el ángulo $N M F$ que la dirección del viento, perpendicular á $A B$, forma con la normal $N M$.

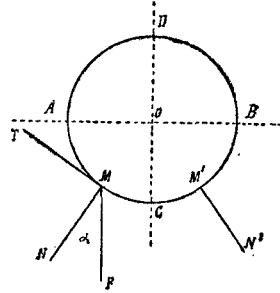


FIG. 5.

La fuerza $f \times dx$ se descompone en otras dos, según la tangente $M T$ que resbala sobre la superficie sin producir efecto, y según dicha normal, la que se combina con su simétrica, que tiene su punto de aplicación en M' y tiende á derribar el cilindro. La componente en sentido de la normal $N M$ será, pues, $f \cos \alpha dx$, y esta fuerza, ó mejor la intensidad del esfuerzo de cada una de estas dos fuerzas en sentido del movimiento, será $f \cos^2 \alpha dx$; pero se tiene

$$f \cos^2 \alpha dx = f \left(1 - \frac{x^2}{r^2} \right) dx = \frac{f (r^2 - x^2) dx}{r^2}$$

integrando esta última expresión entre los límites $x = r$ y $x = -r$, resulta para la presión del viento sobre el semicilindro

$$F = \frac{4}{3} r \cdot f = \frac{2}{3} \times 2 r \cdot f$$

resultado que prueba lo establecido por Mr. Fresnel.

Siguiendo al ingeniero Borda en sus experiencias, se adopta comunemente hoy día los 0,57 á 0,60, ó más bien los $\frac{2}{3}$ de la máxima presión en chimeneas cilíndricas; esto es, de 180 á 200 kilogramos por metro cuadrado de su proyección diametral.

(1) Segunda edición, pág. 535.—Madrid, 1892.

La consideración anterior conduce, como después veremos, á que á igualdad de dimensiones una chimenea de sección circular y forma cónica presenta una estabilidad superior en $\frac{1}{5}$, aproximadamente, á la de una cuadrada piramidal. Respecto á la resistencia, como también estudiaremos oportunamente, la presión en la base de las circulares respecto de las cuadradas es, por el contrario, mayor; es decir, que la resistencia al aplastamiento disminuye al pasar de la forma cuadrada á la circular; pero como éstas conservan la ventaja de menor volúmen de fábrica próximamente $\frac{1}{5}$, puesto que los volúmenes de ambas formas se hallan en la relación $\frac{\pi}{4} = 0,785$, resulta en definitiva que las chimeneas circulares, á igualdad de volúmen, serán más estables y más resistentes que las cuadradas.

Estas razones vienen en favor de la elección de la forma de sección circular sobre la poligonal, á las que se unen la mejor y más regular marcha del tiro fumívoro, y en último término, su más estético aspecto exterior.

La línea de acción del viento suele admitirse para los cálculos formando un ángulo de 10 grados con la horizontal; pero para colocarse en las condiciones más desfavorables se supone siempre que la dirección del viento es horizontal.

En todo caso, cuando la superficie plana chocada por el viento no es perpendicular á su dirección, se admite la proporcionalidad de la presión con el cuadrado del seno de la inclinación (1).

La presión del viento varía con la altura de la construcción desde el suelo y aun cuando las leyes de esta variación son poco conocidas, Mr. Stevenson ha propuesto una fórmula para representar la velocidad v á una altura h cuando se conoce de antemano la velocidad V á H altura

$$v = V \times \sqrt{\frac{h + 22^m}{H + 22^m}}$$

cuya aplicación parece ser bastante exacta tratándose de alturas comprendidas entre 10 y 30 metros.

(1) V. FLAMANT: *Stabilité des constructions. Resistance des materiaux*, pág. 103, 2.^a edición.—París, 1897.

Como resultado se viene á deducir que el punto de aplicación de la resultante de las presiones sobre una superficie rectangular, no sería el centro de gravedad, sino que se encontraría un poco más alto, lo que daría como consecuencia un valor mayor al momento de giro en desventaja de la estabilidad. Pero en los cálculos de estabilidad y resistencia de los macizos expuestos al viento no se acostumbra tener en cuenta esta diferencia, que, sin embargo, en opinión de Flamant no sería despreciable.

El cálculo mecánico de las chimeneas de fábrica es, pues, análogo al de los muros aislados sometidos á su peso y á la presión del viento, ejerciendo su acción horizontal y normalmente la resultante de cuyas acciones por unidad tiene por punto de aplicación el centro de gravedad de la sección vertical.

Procedimientos de cálculo.

PRIMER PROCEDIMIENTO.—Dos procedimientos pueden seguirse en el cálculo mecánico de una chimenea de fábrica. Es uno el de la aplicación de la teoría de prismas considerados como conjunto de sillares superpuestos, cargados en una parte de su base, cuando el punto de aplicación de la resultante de las fuerzas á que está sometido no coincide con el centro de gravedad de la sección de apoyo. El otro procedimiento es el de calcular la chimenea como prisma ó sólido empotrado en su base, libre en el otro extremo y sometido sobre toda su longitud á una carga originada por la acción del viento de 150 kilogramos al menos por metro cuadrado de proyección vertical y á la presión directa ocasionada por el peso de la chimenea, siéndole aplicable la fórmula general de flexión plana y compresión. Ambos conducen á resultados satisfactorios análogos y puede echarse mano del que se juzgue más conveniente; sin embargo, el primero es el seguido generalmente en la actualidad, entre otras razones porque es más completo.

Tratamos á continuación de la estabilidad y resistencia de la chimenea de fábrica por el primer modo.

Sabido es que las condiciones de estabilidad y resistencia de un macizo de mampostería—aplicando á esta palabra su definición más lata, la ordinaria ó de relleno, concertada, á la sillería y á la fábrica de ladrillo y hormigón,—no son las mismas, de considerar ó no la adherencia de los

morteros; mas como en el cálculo han de suponerse necesariamente frescas las fábricas, no debe, en rigor, contarse con la adherencia de los morteros, y entonces recordaremos que para este caso, en resúmen, dichas condiciones de estabilidad y resistencia son las siguientes:

1.^a La dirección de la presión en cada lecho ha de formar con la normal al plano de éste un ángulo α menor que el φ de rozamiento del material que se emplee, lo que se traduce por $\text{tang } \varphi = f > \text{tang } \alpha$; f es el coeficiente de rozamiento por resbalamiento constante para cada material é igual á $\frac{F}{P}$ relación entre el empuje y la presión; cuando se trata de piedras separadas por capa de mortero fresco $\varphi = 27^\circ$ y $f = 0,50$.

Satisfecha esta primera condición $\alpha < \varphi$, el resbalamiento no puede tener lugar.

2.^a La condición para que no pueda producirse giro alrededor de una arista es que el momento de empuje ó momento de giro sea menor que el momento del peso ó momento de estabilidad, que se traduce por

$$P \cdot x = m \times F \cdot h \quad \text{ó} \quad m = \frac{P \cdot x}{F \cdot h}$$

relación que nos da el valor de m , denominado coeficiente de estabilidad, el cual nunca debe ser menor que 2.

Esta condición así expuesta sólo atañe al grado de estabilidad de la construcción y esto considerada como monolítica. Ampliándola á todos los elementos superpuestos que realmente la constituyen, equivale á que la curva de los centros de presión obtenida uniendo los puntos de aplicación de las resultantes sobre cada lecho, quede comprendida en el espesor del macizo y entonces la condición no sólo hace relación á la estabilidad, sino también á la resistencia. Pero si además se exige que la curva de los centros de presión pase precisamente por el interior de los núcleos centrales respectivos de cada sección ideal, entonces el material trabajará sólo por compresión. Esto es lo que se pretende siempre en el cálculo de las chimeneas.

La tercera condición es que la presión máxima por unidad superficial en un punto cualquiera no ha de exceder del coeficiente de trabajo por compresión R' , correspondiente al material de que se trate, no admitiendo aquí que las mamposterías trabajen por extensión, toda vez que

hemos supuesto no se debe contar con la adherencia de los morteros.

Se observa que esta tercera condición es sólo de resistencia, y en unión de la anterior, si aquélla se cumple en lo de que precisamente la curva de los centros de presión caiga siempre dentro de los núcleos, no hay temor de que las fábricas sufran extensiones.

Todas estas tres condiciones han de verificarse, como se deja comprender, no sólo en la base de la chimenea, sino en una sección recta ideal cualquiera, toda vez que debe considerarse el sólido como compuesto de un conjunto de elementos superpuestos unidos con mortero fresco y no como monolitos.

El orden, pues, que habrá de observarse para el cálculo de una chimenea, encierra los diferentes puntos que vamos á señalar, entrando en alguno de ellos en explicaciones pertinentes.

a) *Trazado del perfil de la chimenea.*—División de la altura en el número de trozos ó rodillos que se juzgue conveniente.

Acerca de este punto debemos señalar un procedimiento general de trazado del fuste de las chimeneas, partiendo del conocimiento, como datos de la altura H de la chimenea y del diámetro d interior en la boca ó coronamiento de la misma (figs. 6 y 7).

Sobre una línea horizontal $k o_5$, que representa la base, se levanta una perpendicular, tomando en ella con arreglo á la escala adoptada, una longitud $o_5 o_0 = H$. Esta línea figura el eje de la chimenea.

Sobre la paralela á la base $o_0 A$ trazada por o_0 se lleva una longitud

$$o_0 a = \frac{d}{2}$$

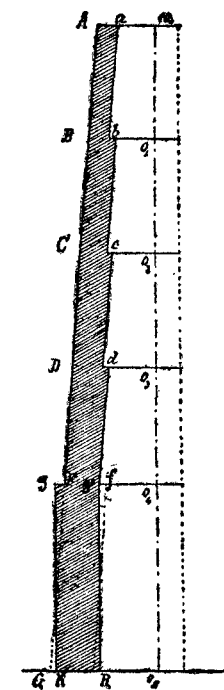


FIG. 6.

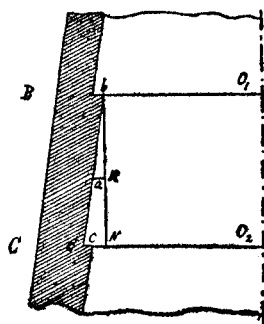


FIG. 7.

y se prolonga en longitud igual á la dimensión del largo del ladrillo que

hubiere de emplearse de 0,22 ó 0,25 metros generalmente. Pocas veces el grueso en la boca será el del ancho del ladrillo 0,11 ó 0,12 metros y algunas más de asta y media 0,34 ó 0,58 metros.

Determinado así el punto A , por él se traza una línea AG inclinada respecto á la vertical del eje, formando el talud exterior de 0,025 á 0,030 por metro, comúnmente. Esta línea se variará si su trazado no responde á las condiciones de estabilidad y resistencia que más adelante estudiamos, y con ella se figura la línea exterior de paramento del fuste tronco-cónico.

A seguida se toma sobre $O_5 O_0$ la altura $O_5 O_4$ del pedestal, altura á la que se acostumbra dar una longitud aproximada al valor de la raíz cuadrada de la altura total H , y se traza la horizontal $O_4 J$ que corta en F á la línea exterior del fuste. La vertical JK se traza á una distancia FJ , múltiplo de la dimensión anchura del ladrillo, á no ser que la cornisa del pedestal sea de sillería, como á veces se hace; la línea JK representará de todos modos la exterior del pedestal independientemente del vuelo que pueda sobre ella presentar la cornisa con que el pedestal se corona.

Para el perfil interior se divide la altura $O_6 O_4$ del fuste en un cierto número de partes, iguales ordinariamente, variables entre cuatro y ocho metros cada parte, y por los puntos de división se trazan las horizontales, que encuentran á la línea de paramento exterior en los puntos B, C, D , é indican los límites y bases de cada rodillo ó anillo, nombres con que se designan estos trozos.

Se toman sucesivamente longitudes $b B, c C, d D$, iguales, respectivamente, á 3, 4 y 5 anchos de ladrillo; cuando se emplease el de la marca de Borgoña, $B b = 0,35$ metros, $C c = 0,48$ metros y $D d = 0,60$ metros, y de este modo progresivo hasta el pedestal, aumentando siempre el grueso en 0,12 metros para cada rodillo, ancho del ladrillo más la junta de mortero.

Trazando después por los puntos a, b, c, d , paralelas á la línea exterior, se tiene el perfil interior del fuste, que se continúa en toda la altura del pedestal, bajando desde J' una perpendicular á la base, toda vez que el pedestal suele ser de forma prismática ó cilíndrica.

Se opera por una construcción simétrica respecto al eje para concluir el perfil general de la chimenea.

A este procedimiento de trazado no puede atribuírsele otro alcance que el de una indicación general, modificable en cada caso, porque el talud exterior que se fija no puede ser arbitrario, toda vez que es función de la altura y de los diámetros en la base y boca. Si se señala en él el talud acostumbrado entre 0,025 y 0,030 metros por metro, no puede ser más que á título de límites entre los que oscila el talud que se reconoce como más conveniente para el fuste de las chimeneas y entre los que aproximadamente resultan los de la mayor parte.

Encontramos, sin embargo, más aceptable proceder con el conocimiento supuesto de los diámetros interiores en la base y boca, á dibujar la línea exterior del perfil mediante la unión de los puntos que determinan en ambas secciones los extremos de los espesores de fábrica que se hayan adoptado, resulte el que sea el talud exterior, y aun este perfil no podrá reputarse como definitivo hasta que el cálculo de estabilidad y resistencia lo confirme y autorice.

A veces convendrá que los rodillos no tengan alturas uniformes y de ello ofrece numerosos ejemplos el cuadro de dimensiones de chimeneas, debido á Mathein, que insertamos más adelante.

En el trazado del perfil interior hay que tener presente la circunstancia de que ninguna de las secciones en la base superior de cada rodillo resulte menor que la sección en la boca de la chimenea, porque todo estrechamiento en ésta reduce y perturba el tiro, como es sabido.

Para llenar la condición que el radio interior $c o_2$ (fig. 7) sea por lo menos igual al radio $b O_1$ del rodillo superior es necesario y suficiente que el pie de la vertical $b N$, paralela al eje $O_1 O_2$, caiga en el punto c ó á su derecha, es decir, que

$$c' N \begin{matrix} = \\ > \end{matrix} c c'$$

Si representamos por

h la altura $b N$ del rodillo $B C$,

k el talud exterior por metro,

a la dimensión $c' c$ de berma,

se tendrá $c' N = k \cdot h$ y la condición para que no haya estrechamiento se expresará por

$$k \cdot h \begin{matrix} = \\ > \end{matrix} a$$

lo que dará para altura mínima del rodillo

$$h = \frac{a}{k};$$

Así, para $a = 0^m,12$ y $k = 0^m,03$, es necesario que $h > 4^m$
 para $a = 0^m,12$ y $k = 0^m,025$, » $h > 4^m,80$.

La anterior expresión nos enseña que si conocida la inclinación interior k quisiéramos tener la misma sección en todos los rodillos, bastaría tomar para valor de h el cociente de $\frac{a}{k}$ en el caso de ser ésta la de la boca, ó mejor $h = \frac{a}{k} + MN$ si la sección común á todos los rodillos hubiere de ser mayor que la del coronamiento, que es lo conveniente y lo acostumbrado.

Después del trazado se procede sucesivamente á

- b) Determinar el peso de cada rodillo;
- c) Investigación del valor del empuje del viento en cada uno de los diferentes rodillos;
- d) Determinación de los centros de gravedad de las secciones diametrales de los rodillos, puntos de aplicación de las resultantes de las presiones del viento.

Se trata, como se ve, en este punto del centro de gravedad de un trapecio y recordaremos al efecto los métodos, tanto gráficos como analíticos, que pueden adoptarse para fijarle.

La recta MN (fig. 8) que une los puntos medios de las bases del trapecio $ABCD$ es un diámetro para las

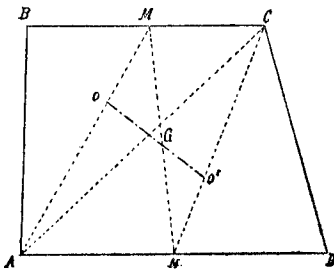


FIG. 8.

cuerdas paralelas á las mismas y contiene, por consiguiente, al centro que se busca. Si O y O' son los centros de gravedad de los triángulos ABC y ADC , la recta OO' contiene también el punto buscado.

El punto G , intersección de MN con OO' es el centro de gravedad del trapecio.

Todavía es más sencillo el método deducido del siguiente razonamiento:

Hallemos en qué relación el punto G (fig. 9) divide á la recta $M N$.

Designemos, al efecto, por x é y las distancias de G á las bases $A D$ y $B C$; se tiene

$$\frac{G N}{G M} = \frac{x}{y}$$

Tomemos los momentos de las superficies cuyos centros son O y O' y el del trapecio que le tiene en G , con relación al plano trazado según $A D$ perpendicularmente al plano de la figura. Haciendo

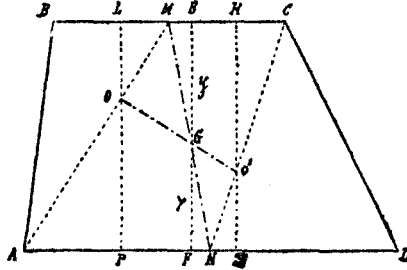


FIG. 9.

$$A D = B \quad B C = b \quad E F = h$$

y representando el trapecio por T se tiene

$$T \cdot x = A C D \times O' J + A B C \times O P$$

ó

$$T x = \frac{B \cdot h}{2} \times \frac{h}{3} + \frac{b h}{2} \times \frac{2 h}{3}$$

de donde

$$T x = \frac{h^2}{6} (B + 2 b) \quad [1]$$

Tomando ahora los momentos con respecto á un plano trazado según $B C$ perpendicularmente al de la figura, se tiene

$$T y = A B C \times O L + A C D \times O' H$$

$$T \cdot y = \frac{b h}{2} \times \frac{h}{3} + \frac{B h}{2} \times \frac{2 h}{3}$$

$$T \cdot y = \frac{h^2}{6} (b + 2 B) \quad [2]$$

Dividiendo miembro á miembro las igualdades [1] y [2], se obtiene

$$\frac{x}{y} = \frac{G N}{G M} = \frac{B + 2 b}{2 B + b} \quad [3]$$

La fórmula [3] conduce á la construcción siguiente:

Prolónguese en sentidos contrarios cada una de las bases en una lon-

gitud igual á la otra (fig. 10). La recta que une los puntos $E F$ así obte-

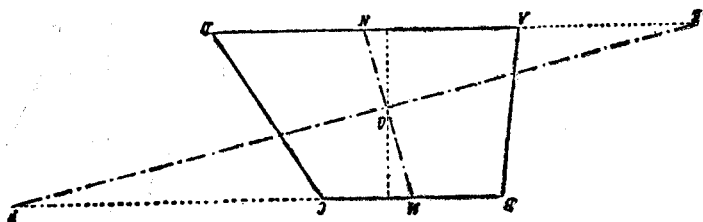


FIG. 10.

nidos corta al diámetro $M N$ en el punto G , centro de gravedad del trapecio.

En efecto, los triángulos semejantes $G N E$ y $G M F$ dan

$$\frac{G N}{G M} = \frac{\frac{B}{2} + b}{\frac{b}{2} + B} \frac{B + 2 b}{2 B + b}.$$

El siguiente método gráfico para determinar el centro de gravedad de la sección diametral vertical de una chimenea está tomado de la obra *Factory Chimneys*, por R. Wilson. C. E. (1)

Trácese las diagonales (fig. 11) $A D$ y $B C$; sobre $C B$ tomemos una distancia $C F = B E$; dividamos $A D$ en dos partes iguales en el punto H ; uniendo H y F , el centro de gravedad es el punto G en que la línea $F H$ corta al eje vertical de la figura.

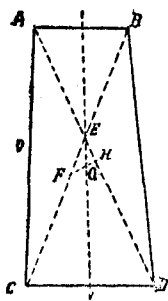


FIG. 11.

Hallado por cualquiera de estos procedimientos el centro de las secciones verticales de cada uno de los rodillos, puede ya efectuarse el

e) Trazado de la curva de los centros de presión y comprobación si se desea, por el cálculo de la situación de estos centros en sus respectivas secciones bases de los rodillos.

f) Trazado de los núcleos centrales.

g) *Comprobación de la estabilidad*.—1.º Respecto al resbalamiento

(1) R. ARMSTRONG: *Chimneys for furnaces*, pág. 102.—New-York, 1894.

$\alpha < \varphi$, sabemos que el ángulo de rozamiento φ de piedras ó ladrillos separados por capa de mortero fresco es de 27° y el valor del coeficiente $f = 0,50$ á $0,65$.—2.º Respecto á la rotación y grado de estabilidad, determinando el valor del coeficiente m . La rotación no tendrá lugar si el momento del peso es mayor que el del empuje, cuya relación nos dará el coeficiente y aquélla no ocurrirá siempre que la curva de presiones pase por el interior de la chimenea. Mas, según lo expuesto, al haberse trazado la curva de las presiones ó de los centros de presión se podrá comprobar por medio de este dibujo de estabilidad que no se sale de los núcleos centrales y no habrá extensión. Esta condición se deberá á su vez confirmar por la operación,

h) Comprobación de la resistencia.—Para ella es necesario entrar en algunas explicaciones.

En la distribución de fuerzas por unidad superficial, cuando la resultante no está aplicada al centro de gravedad de la sección de un prisma, la determinación de esa presión p por unidad en un punto cualquiera de abscisa x es dada por la expresión

$$[1] \quad p = \frac{P}{\Omega} \left(1 \pm \frac{x \cdot v \cdot \Omega}{I} \right) \quad (1)$$

P es la suma de presiones verticales;

Ω área de la base;

x distancia de la resultante al centro de gravedad;

v distancia al centro de gravedad del punto en que se busca la presión;

I momento de inercia de la base con respecto al eje proyectado en dicho centro;

que podemos poner bajo la forma general

$$p = R = \frac{P}{\Omega} \pm \frac{M v}{I} \quad [2]$$

toda vez que $\frac{P \cdot x \cdot v}{I} = M$ momento de flexión de la fuerza P resultante de las presiones parciales y p no ha de ser mayor que el coeficiente R , llamando así en general á la acción por unidad superficial.

(1) MARVÁ: Tomo II, pág. 1229, párrafo 993.

Tratándose de la sección, corona circular de las chimeneas tronco-cónicas de radio exterior r y r' interior

$$I = \frac{\pi (r^4 - r'^4)}{4} \quad \text{y} \quad \Omega = \pi (r^2 - r'^2)$$

La presión en un punto cualquiera distante v del centro, cuando el punto de aplicación de P dista x de dicho centro, es entonces

$$p = \frac{P}{\pi (r^2 - r'^2)} \left(1 \pm \frac{4 \cdot x \cdot v}{r^2 + r'^2} \right) \quad [3]$$

La presión en la circunferencia se obtendría haciendo $v = r$ en la anterior y será

$$p = \frac{P}{\pi (r^2 - r'^2)} \left(1 \pm \frac{4 \cdot x \cdot r}{r^2 + r'^2} \right) \quad [4]$$

correspondiendo los signos $+$ y $-$ á los extremos de un mismo diámetro $2r$ que se halla en la dirección del viento, puntos en que precisamente conviene determinar la presión por unidad, pues en ellos se verifican las presiones máxima y mínima. El valor de p en [4] tomado con signo $+$ corresponde al extremo del diámetro más próximo al punto de aplicación de P ; el $-$ al otro extremo más alejado, y si con él resultase negativo el de p , habría, no mínima compresión, sino extensión en este punto de la circunferencia exterior de la corona. En cambio, para que la presión en esta extremidad del diámetro opuesta á la dirección del viento sea nula, se habrá de verificar

$$1 - \frac{4 \cdot x \cdot r}{r^2 + r'^2} = 0,$$

de donde se deduce

$$x = \frac{r^2 + r'^2}{4r} = \rho$$

este valor de x es el radio del núcleo central dentro del cual habrá de hallarse el punto de aplicación de la resultante para que no resulten presiones negativas, es decir, extensiones.

Si el punto de aplicación de P es el centro del núcleo y de gravedad de la sección

$$x = 0 \quad p = \frac{P}{\pi (r^2 - r'^2)} \quad \text{ó} \quad p = \frac{P}{\Omega}$$

la presión P aplicada en este caso al centro de gravedad de la sección, determina presiones iguales en todos sus puntos, cuyo valor por unidad es $\frac{P}{\Omega}$ resultando uniformemente repartidas.

Si $x = \frac{r^2 + r'^2}{4r}$, ó sea el punto de aplicación, se halla en la circunferencia del núcleo central,

$$p = \frac{P}{\pi(r^2 - r'^2)} \left(1 \pm \frac{4 \frac{r^2 + r'^2}{4r} \times r}{r^2 + r'^2} \right)$$

ó

$$p = \frac{P}{\Omega} (1 \pm 1) \begin{cases} \text{tomando el signo } + \dots \dots p = \frac{2P}{\Omega} \\ \text{tomando el signo } - \dots \dots p = 0 \end{cases}$$

es decir, que en los extremos del mismo diámetro las presiones unitarias van desde 0 hasta el doble de la uniformemente repartida en el caso de que el punto de aplicación de la resultante P se encuentre en uno de los puntos del perímetro del núcleo central.

Claro es que si $x > \frac{r^2 + r'^2}{4r}$ el valor de p , tomado con signo $-$, resultaría negativo y entonces, como se ha dicho, habría extensión en uno de los extremos del diámetro exterior $2r$ de la sección, caso que debe evitarse de no contar con la adherencia.

En resumen: cuando en un punto más alejado del eje de la chimenea es la máxima $\frac{2P}{\Omega}$ será 0 en el punto más alejado simétrico con respecto al centro de gravedad, no habrá extensión; esto es, toda la sección quedará comprimida, distribuyéndose las presiones en la sección entre los límites 0 y $\frac{2P}{\Omega}$, caso que corresponde al paso de la curva de presiones por el perímetro del núcleo central. En la fórmula general [2] esto se traduce en que los valores de

$$\frac{P}{\Omega} + \frac{Mv}{I} = \frac{2P}{\Omega}$$

luego si resultare que

$$\frac{P}{\Omega} + \frac{Mv}{I} < 2 \frac{P}{\Omega}$$

sería prueba de mayores condiciones de estabilidad y mejores de trabajo, puesto que esto significaría que no ya por el perímetro del núcleo central de presiones de la sección, sino por el interior del mismo núcleo, pasaría la curva de los centros de presión y las elementales en cada punto se aproximarían al valor por unidad de las uniformemente repartidas.

En consecuencia, en el orden que seguimos se verificará por un dibujo de estabilidad, que la curva de las presiones no sale de los núcleos centrales de las bases correspondientes á los distintos trozos de chimenea en que ésta se haya subdividido y como comprobación de que las fábricas no se encuentran sometidas á extensión se formará un cuadro de valores de $\frac{P}{\Omega} + \frac{Mv}{I}$, que deberá en tal caso dar para cada sección resultados inferiores al doble de los valores de $\frac{P}{\Omega}$. En caso contrario, habrá trabajo á la extensión, determinándose éste por la fórmula [1] tomada con signo —.

Finalmente, si estos valores de p resultan siempre menores que los del coeficiente R de los materiales por compresión y extensión, en su caso el cálculo quedará terminado y satisfecho en todas sus partes.

Como hicimos en la primera parte de este estudio, haremos también aplicación de la doctrina expuesta en el orden establecido al caso de una chimenea existente; pero antes debemos justificar dos extremos que hemos dejado apuntados más arriba, con lo que creemos que el estudio de la estabilidad y resistencia de las chimeneas quedará completado. Nos referimos á la mayor estabilidad de las chimeneas circulares sobre las cuadradas, y al aumento de presión en la base de las primeras sobre las últimas á volúmen de fábrica menor, y por tanto, á que para el mismo volúmen las chimeneas circulares serán bajo todos conceptos más resistentes que las cuadradas.

En lo que va á seguir nos guiamos por lo que deja expuesto el ingeniero de caminos D. E. Boix en su obra ya citada, acerca de este mismo punto.

COMPARACIÓN DE CHIMENEAS REDONDAS CON CHIMENEAS CUADRADAS.— Admitiremos que el vacío interior de una chimenea forma un tronco de pirámide ó un tronco de cono, cuyas bases son las secciones inferior y

superior, lo cual, si no es exacto, como hemos visto al ocuparnos en el trazado del fuste de las chimeneas, es suficientemente aproximado.

Llamemos: A el lado ó el diámetro exterior de la base;

a el lado ó el diámetro exterior de la coronación;

A' y a' las dimensiones homólogas interiores;

H la altura de la chimenea;

δ el peso del metro cúbico de fábrica.

Chimenea cuadrada.—Su peso será

$$P = \frac{H}{3} (A^2 + a^2 + A a - A'^2 - a'^2 - A' a') \delta$$

Este peso tiene un brazo de palanca igual á $\frac{A}{2}$, por lo que su momento resultará

$$M \cdot P = \frac{H}{6} (A^2 + a^2 + A a - A'^2 - a'^2 - A' a') A \delta$$

La intensidad del empuje del viento está representada por

$$F = \frac{A + a}{2} H \times 150 \text{ kilogramos,}$$

y esta fuerza actúa con un brazo de palanca, como justificaremos más adelante, igual á $\frac{H}{3} \times \frac{A + 2a}{A + a}$, que expresa la distancia del centro de gravedad de la sección meridiana á la base inferior. El momento del empuje del viento será, pues,

$$M \cdot F = \frac{H^2}{6} (A + 2a) 150 \text{ kilogramos;}$$

de este modo tendremos para coeficiente de estabilidad

$$m = \frac{M \cdot P}{M \cdot F} = \frac{(A^2 + a^2 + A a - A'^2 - a'^2 - A' a') A \delta}{H (A + 2a) \cdot 150}$$

Chimenea circular.—Se obtendrá del peso de la anterior multiplicado por $\frac{\pi}{4}$.

Su empuje se deducirá también tomando, como es sabido, los $\frac{2}{3}$ del anterior, con lo cual el coeficiente de estabilidad para esta chimenea será

$$m' = \frac{M \cdot P'}{M \cdot F'} = \frac{3 \pi (A^2 + a^2 + A a - A'^2 - a'^2 - A' a') A \delta}{8 \times 150 \cdot H (A + 2a)}$$

haciendo $\delta = 1600$ kilogramos, que corresponde al peso del metro cúbico de ladrillo, tendremos :

$$\text{Para una chimenea cuadrada.. . . . } m = 10,677 \frac{N \times A}{H (A + 2 a)}$$

$$\text{Para una chimenea circular. } m' = 12,566 \frac{N \times A}{H (A + 2 a)}$$

Resulta, por consiguiente, á igualdad de dimensiones,

$$m' > m \quad m' - m = 1,889$$

ó próximamente $\frac{1}{5}$, esto es, que la estabilidad de la última es casi en $\frac{1}{5}$ superior á la estabilidad de la primera.

Añadiremos que la chimenea circular produce una economía de fábrica superior á $\frac{1}{5}$, pues los valores de los volúmenes de ambas formas se hallan en la relación $\frac{\pi}{4} = 0,785$.

Atendamos ahora á la resistencia comparada en ambas chimeneas al aplastamiento.

Chimenea cuadrada.—Tomemos para datos $A = 4^m,80$ $a = 1^m,80$ $A' = 2^m,82$ $a' = 1^m,58$ $H = 50^m$ $\delta = 1600^k$ y $f = 150^k$ por metro cuadrado de superficie plana.

El peso de la chimenea cuadrada será

$$P = \frac{H}{3} \delta (A^2 + a^2 + A a - A'^2 - a'^2 - A a') = 553856 \text{ kilogramos;}$$

$$\left. \begin{array}{l} \text{el momento de esta} \\ \text{presión.} \end{array} \right\} M.P = P \frac{A}{2} = 553856^k \times 2^m,40 = \dots\dots\dots 1,281.254$$

$$\left. \begin{array}{l} \text{el momento del em-} \\ \text{puje del viento. .} \end{array} \right\} M.F = \frac{H^2}{6} (A+2a) 150^k = \frac{50^2}{6} (4,80+2 \times 1,8) . 150 = \underline{\underline{525.000}}$$

$$\text{Suma algebraica de los momentos} = 756.254$$

recordando ahora la expresión general, deducida de un conocido teorema de estática (1)

$$d = \frac{M P - M F}{P}$$

que traducida dice «que la distancia d del punto de paso de la resultante

(1) Teorema de Varignon. Para todo punto tomado en el plano de dos fuerzas concurrentes, el momento de la resultante de estas fuerzas es igual á la suma algebraica de los momentos de las componentes.

en la base á la arista de rotación es igual á la suma algebraica de los momentos de las fuerzas, dividida por la resultante vertical», tendremos

$$d = \frac{756254}{533856} = 1^m,41$$

y como la mitad del lado de la base cuadrada, ó sea $\frac{A}{2}$, es igual al brazo de palanca del peso P (que hemos antes designado por x) más la distancia de la resultante al punto de giro

$$\frac{A}{2} = d + x,$$

de manera que esta distancia x de dicha resultante al centro de la sección valdrá ahora

$$x = \frac{A}{2} - d = 2^m,40 - 1^m,41 = 0^m,99.$$

Area de la base: $\Omega = A^2 - A'^2 = 15,09$ metros cuadrados.

Momento de inercia en metros: $I = \frac{1}{12} (A^4 - A'^4) = 38,97$

Finalmente, hallaremos para la presión máxima aplicando estos resultados á la expresión [1] y tomando el signo +

$$p = \frac{533856}{15,09} \left(1 \pm \frac{0,99 \times 2,40 \times 15,09}{38,97} \right) = 67800^k \text{ por m}^2.$$

Tomando el signo — se ve que la presión mínima es también positiva, aunque muy pequeña

$$35590 \times 0,08 = 2847 \text{ kilogramos.}$$

El coeficiente de estabilidad será

$$m = \frac{M \cdot P}{M \cdot F} = \frac{1281254}{525000} = 2,44$$

Chimenea circular.—Datos:

$$A = 5^m,02 \quad a = 2,02 \quad A' = 3^m,04 \quad a' = 1,80 \quad H = 50^m \quad \delta = 1600^k$$

$$\text{y } f = \frac{2}{3} 150 = 100 \text{ kilogramos.}$$

Peso de la chimenea

$$P = \frac{\pi}{4} \times \frac{H}{3} \delta (A^2 + a^2 + A a - A'^2 - a'^2 - A a') = 449440^k$$

$$\begin{array}{l}
 \text{Momento de esta} \\
 \text{fuerza.} \\
 \text{Momento del em-} \\
 \text{puje del viento. . .}
 \end{array}
 \left.
 \begin{array}{l}
 M'P = \frac{P \times A}{2} = 449440^k \times 2^m, 51 = \dots \dots \dots 1128094 \\
 M'F = \frac{100}{6} H^2 (A+2a) = \frac{100}{6} \times 50^2 (5,02+4,04) = \underline{377500} \\
 \text{Suma algebraica de los momentos.}
 \end{array}
 \right\}
 \begin{array}{l}
 \dots \dots \dots 1128094 \\
 \dots \dots \dots 377500 \\
 \dots \dots \dots 750594
 \end{array}$$

Distancia de la resultante al punto de giro

$$d' = \frac{750594}{449440} = 1^m, 67$$

Distancia de la resultante al centro de la base

$$x' = \frac{A}{2} - d' = 2,51 - 1,67 = 0,84$$

Area de la base

$$\Omega' = \frac{\pi}{4} (A^2 - A'^2) = 12,53 \text{ metros cuadrados.}$$

El momento de inercia de la base es

$$I' = \frac{\pi}{4} \left[\left(\frac{A}{2} \right)^4 - \left(\frac{A'}{2} \right)^4 \right]$$

y la presión máxima en la misma

$$p' = \frac{P}{\Omega} \left(1 \pm \frac{4 \cdot x' \cdot \frac{A}{2}}{\left(\frac{A}{2} \right)^2 + \left(\frac{A'}{2} \right)^2} \right)$$

esto es, tomando el signo +

$$p' = \frac{449440}{12,53} \left(1 + \frac{4 \cdot 0,84 \cdot 2,51}{8,61} \right) = 71000 \text{ kilogramos;}$$

tomando el signo —, la expresión de p' resulta ser también positiva, presión mínima que no llega á 800 kilogramos por metro cuadrado.

El coeficiente de estabilidad será

$$m' = \frac{1128094}{377500} = 3$$

Si, pues, comparamos los resultados obtenidos para ambas chimeneas, se verá, como queda justificado, que la estabilidad en lo que se refiere al movimiento de rotación es mayor para las circulares que para las cuadradas en la relación de sus coeficientes deducidos 3 y 2,44; pero en cam-

bio la presión máxima en las primeras es mayor que en las segundas; el material trabaja al máximo en la circular á 7,10 kilogramos por centímetro cuadrado y en la cuadrada á 6,78 kilogramos, de modo que en este concepto la resistencia al aplastamiento disminuye al pasar de la forma prismática á la troncocónica. Ahora bien, como éstas respecto á aquéllas conservan siempre la ventaja de un menor cubo de fábrica, resulta en definitiva que á igualdad de volúmenes la resistencia y la estabilidad de las chimeneas de revolución son siempre superiores á las de base cuadrada.

Caso de aplicación.

Hagamos aplicación de todo lo expuesto al cálculo de la estabilidad y resistencia de la chimenea de la fábrica nacional de pólvora de Sevrán, cuya descripción tomamos de la obra *Les cheminées d'usines*, del ingeniero Mr. V. Lefevre.

Esta chimenea (fig. 12) sirve á la producción y transmisión de una potencia motriz de 120 caballos, recibiendo los humos de los hogares de tres calderas de 47 metros cuadrados de superficie de calefacción cada una. Su altura, bajo el concepto de la construcción, puede considerarse dividida desde la rasante del terreno en tres partes (fig. 12):

1. ^a Pedestal con su cornisa.	5 ^m ,10	} 36 ^m ,00
2. ^a Fuste.	29 ^m ,10	
3. ^a Capitel.	1 ^m ,80	

CIMENTACIONES.—Están constituidas en tres partes :

1.^a Un macizo de hormigón de 1,50 metros de altura, constituyendo cuatro prismas cuadrangulares superpuestos con retallos de 0,25 metros. El primer prisma es de base cuadrada, de 6 metros de lado ó 36 metros cuadrados de sección.

2.^a Un macizo cilíndrico de 4 metros de diámetro y 1,10 de altura, formado de mampostería.

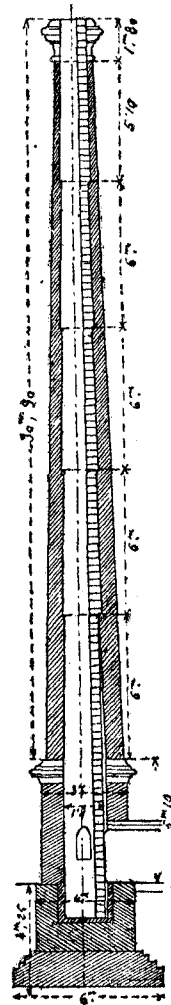


FIG. 12.

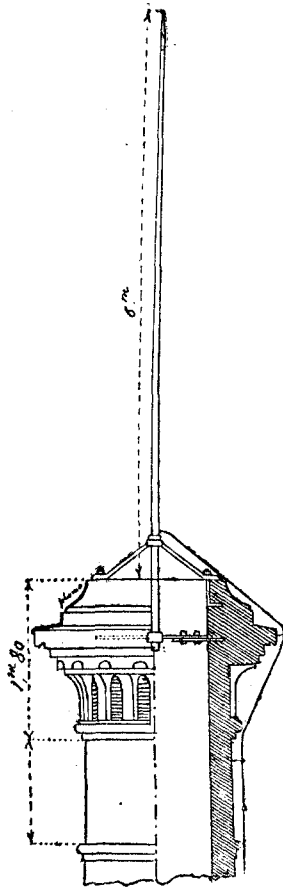


FIG. 13.

3.^a Una corona de 1,60 metros de altura y 1,10 de anchura, llamada á recibir las cenizas, cuyos diámetros exterior é interior son de 4 metros y de 1,80. Es también de mampostería ordinaria, con revestimiento interior de ladrillos de 0,11 metros de espesor en el fondo y de 0,22 en el paramento cilíndrico vertical.

PEDESTAL.—Es de 5,15 metros de alto, comprendiendo 0,05 enterrados debajo de la rasante del terreno. En los 3,85 metros inferiores es de forma prismática octogonal, disposición elegida para facilitar el encuentro con una construcción adosada; toma luego la forma circular que conserva después en toda la chimenea. Este pedestal está vaciado en su eje, según un cilindro de 1,80 metros de diámetro, que presenta dos aberturas: una de 0,80 metros cuadrados de sección, destinada á recibir una puerta de servicio que da acceso al interior de la chimenea, es el agujero de hombre necesario durante la construcción y para las reparaciones y limpiezas periódicas; el otro vano, de 1,94 metros cuadrados, recibe el conducto de humos. La fábrica es de ladrillo, con cornisa de sillería.

FUSTE.—También de fábrica de ladrillo, de $0,11 \times 0,22$ metros, tiene 29,10 de alto. Su forma troncocónica presenta un paramento exterior uniforme y continuo de talud 0,027 metros por metro. Está compuesto interiormente de cinco rodillos ó partes troncocónicas superpuestas, con bermas en retirada de 0,11 metros, ancho del ladrillo. Estos rodillos presentan también un talud de 0,027 metros. Termina con un capitel exornado con un astrágalo de sillería de 0,18 metros de grueso y 0,14 de vuelo sobre el paramento. La figura 13 completa esta descripción; las dimensiones de las diferentes partes del fuste figuran en el cuadro de la página 94.

El peso total de esta chimenea, comprendiendo sus cimentaciones, pedestal y fuste, resulta ser de 416000 kilogramos.

Veamos cuál es el trabajo que resulta impuesto al suelo.

La superficie de fundación es de 36 metros cuadrados. El peso á esta profundidad es de 416000 kilogramos, dando lugar á un trabajo de compresión de

$$R' = \frac{416000}{360000} = 1,15 \text{ kilogramos por centímetro cuadrado.}$$

El valor de $\frac{I}{v}$ de la base es el de un cuadrado; como sabemos,

$$\frac{I}{v} = \frac{b^3}{6}$$

y en este caso

$$\frac{I}{v} = \frac{6^3}{6} = 36$$

El momento de giro le tomamos por aproximación, suponiéndole originado por una fuerza algo mayor que la que después determinaremos, de 10360 kilogramos, y su punto de aplicación, supuesto un poco más abajo que el de ésta, le podemos, sin gran error, imaginar á 12 metros de la base de la fundación, y no teniendo para nada en cuenta el contrarresto que ofrece el terreno resulta dicho momento de

$$12000 \times 12 = 144000$$

y el trabajo causado por la flexión de

$$R'' = \frac{144000}{360000} = 0,4 \text{ kilogramos;}$$

en fin, el trabajo total sobre la arista más fatigada sería

$$R = 1^k,15 + 0^k,40 = 1^k,55$$

por centímetro cuadrado, muy admisible para un terreno bueno y coeficiente que corresponde á la clase de terreno mezcla de arcilla y arena sobre que insiste la chimenea que examinamos.

CÁLCULO DE ESTABILIDAD Y RESISTENCIA DEL FUSTE.—En la figura 14, que hemos compuesto ajustándonos al procedimiento señalado en él párrafo *a*) y aceptando necesariamente la división del fuste en las cinco partes

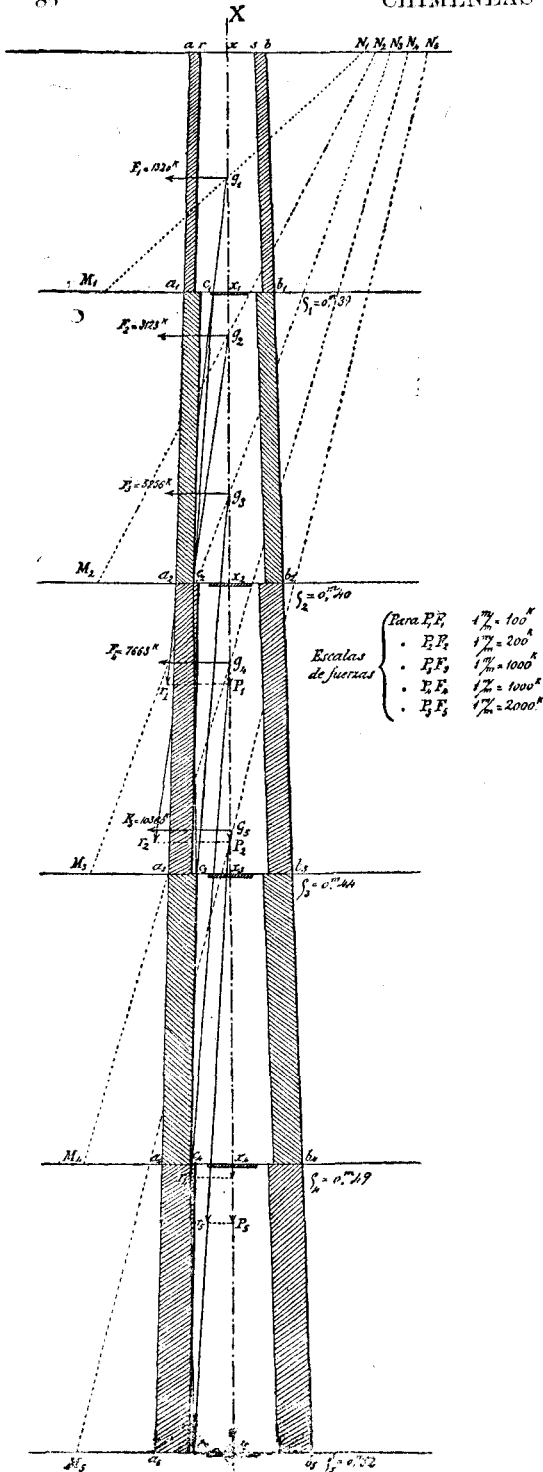


FIG. 14.

con que realmente fué construída, se ve dividida la altura en los cinco rodillos: cuatro de 6 metros y uno de 5,10. Desde luego advertimos que verificándose en este caso que $h = 6$ metros ó

$$5,10 > \frac{a}{k} = \frac{0,11}{0,027} = 4^m,07,$$

no habrá estrechamiento de diámetro en toda la altura de la chimenea.

El cuadro de la página 94, en sus columnas de la 1 á la 11, contiene la designación de los trozos, sus alturas respectivas, gruesos de fábrica, diámetros, superficies de las coronas bases, volúmenes de los rodillos y sus pesos, superficies diametrales y valores de los empujes del viento calculados éstos á 150 kilogramos por metro cuadrado de superficie diametral, llenándose con estas cifras las indicaciones de los párrafos (b y c) de nuestro método de cálculo.

Siguiendo fielmente éste, hemos determinado los puntos centros de gravedad g_1, g_2, g_3, g_4, g_5 de cada rodillo por uno de los procedimientos expuestos más arriba, que el dibujo deja conocer.

COMPOSICIÓN DE FUERZAS, CENTROS DE PRESIÓN Y CURVA DE LAS PRESIONES.—Por el punto g_1 se traza horizontalmente $g_1 F_1 = 1320$ kilogramos y verticalmente $g_1 P_1 = 10431$ kilogramos; la resultante $g_1 r_1$ encuentra á la base $a_1 b_1$ del primer rodillo en c_1 , que da el primer centro de presión dentro del núcleo central de radio $\rho_1 = 0,37$ metros.

De una manera análoga, adoptando diferentes escalas de fuerzas para acomodarse á los límites del dibujo, se determinan gráficamente las magnitudes

$$\begin{array}{ll} g_2 F_2 = 3143 \text{ kilogramos.} & g_2 P_2 = 32052 \text{ kilogramos.} \\ g_3 F_3 = 5256 & \text{»} \quad g_3 P_3 = 64074 \quad \text{»} \\ g_4 F_4 = 7663 & \text{»} \quad g_4 P_4 = 108062 \quad \text{»} \\ G_5 F_5 = 10360 & \text{»} \quad G_5 P_5 = 165032 \quad \text{»} \end{array}$$

y componiendo cada par de fuerzas se obtienen por las intersecciones de las resultantes sucesivas $g_2 r_2, g_3 r_3, g_4 r_4, G_5 r_5$, con las bases respectivas $a_2 b_2, a_3 b_3, a_4 b_4$ y $a_5 b_5$, los centros de presión c_2, c_3, c_4 y c_5 .

Si por la pequeñez de la escala no pudiera precisarse la situación de los centros $c_1 \dots c_5$, pueden deducirse por el cálculo las distancias que en sus respectivas bases los separan de los centros de sección $x_1 \dots x_5$, pues para eso conocemos en la expresión

$$c_1 x_1 = r_1 - d_1$$

que nos da esa distancia, el segundo miembro

$$r_1 = \frac{a_1 b_1}{2} = 0,932 \quad \text{y} \quad d_1 = \frac{10431 \times 0,932 - 1320 \times 2,50}{10431}$$

ó $d_1 = 0,615$. Resulta así para la primera base

$$c_1 x_1 = 0^m,317 < \rho_1$$

y para las secciones sucesivas

$$c_2 x_2 = 1,093 - \frac{32052 \times 1,093 - 3143 \times 5,20}{32052} = 1,093 - 0,586 = 0^m,507 > \rho_2 \text{ en } 0^m,10$$

$$c_3 x_3 = 1,256 - \frac{64074 \times 1,256 - 5256 \times 7,90}{64074} = 1,256 - 0,608 = 0^m,648 > \rho_3 \text{ en } 0^m,20$$

$$c_4 x_4 = 1,418 - \frac{108062 \times 1,418 - 7663 \times 10,50}{108062} = 1,418 - 0,673 = 0^m,745 > \rho_4 \text{ en } 0^m,25$$

$$c_5 x_5 = 1,58 - \frac{165032 \times 1,58 - 10360 \times 13}{165032} = 1,58 - 0,763 = 0^m,817 > \rho_5 \text{ en } 0^m,29$$

Uniéndolo ahora entre sí por una curva continua los centros de presión hallados e_1 e_5 , á partir del punto x quedará trazada la *curva de las presiones* del fuste de la chimenea. Dicha curva muestra el grado de estabilidad de cada parte del fuste sobre la parte inmediatamente inferior, y por último, la del fuste entero sobre el pedestal, relacionándola con los núcleos centrales trazados en la figura en cada sección.

La inspección de esta curva de estabilidad declara que la parte más fatigada de la fábrica se encuentra en el cuarto y quinto rodillos, por cuanto los centros e_4 y e_5 de presión correspondientes son los que más se apartan del eje de la chimenea, saliéndose del núcleo central sobre los demás centros, resultado en armonía con los valores obtenidos por el cálculo para dichas distancias entre los centros de presión y eje de la chimenea.

COMPROBACIÓN DE LA ESTABILIDAD.—Examinando sobre la figura los ángulos α que forman con la normal á las bases las direcciones de las resultantes, se observa que ninguno de ellos llega á 27° , es decir, que la condición $\alpha < \varphi$ ó $\text{tang } \alpha < f = \text{tang } \varphi$ queda satisfecha y no hay posibilidad de resbalamiento. Como $\frac{E}{P} = f \text{ tang } \varphi$, se puede también comprobar la estabilidad sin apelar á la figura, calculando este cociente para cada sección.

Resultando, por otra parte, la curva de las presiones completamente dentro del perfil exterior de la chimenea, se concluye que la otra condición de estabilidad, ó sea la relativa á la no rotación, queda del mismo modo cumplida. Es cierto, además, que en todos los rodillos se verifica, como puede comprobarse, que los momentos de empuje resultan menores que los momentos de los pesos; mas merece observarse que el coeficiente de estabilidad nunca llega á valer dos unidades, cuyos resultados, si bien garantizan estrictamente la estabilidad de cada una de las partes y del todo en este segundo concepto, no es en el grado que debe en general apetecerse, por cuanto, como es sabido, el coeficiente de estabilidad comunmente debe estar comprendido entre 2 y 3. Es evidente que tales resultados son debidos á haber atribuído al viento una acción máxima por metro cuadrado de 150 kilogramos de presión sobre la superficie diametral de la chimenea, lo que rara vez ó nunca sucederá, y aun ocurriendo, sería en tiempo muy corto.

COMPROBACIÓN DE LA RESISTENCIA.—El dibujo de estabilidad nos muestra que la curva de las presiones se sale en su mayor parte de los núcleos centrales de las secciones base de los rodillos, lo que indica que en aquellas donde esto se verifica trabajan las fábricas por compresión y extensión, conforme á una ley análoga á la *ley del trapecio*, que es, como se sabe, la de distribución de presiones sobre secciones rectangulares. Este mismo resultado se ofrece en el cuadro de la página 94, examinando la 16 columna, cuya interpretación dejamos anteriormente consignada. En efecto, los valores de $\frac{P}{\Omega} + \frac{Mv}{I}$ que aparecen en dicha columna á partir del segundo rodillo, resultan siempre mayores que los doble valores de $\frac{P}{\Omega}$ correspondiente de la columna 15, lo que prueba que hay puntos de las secciones respectivas sometidos á extensión, creciendo las extensiones en relación con los valores de las diferencias entre $\frac{P}{\Omega} + \frac{Mv}{I}$ y $\frac{2P}{\Omega}$, cuyo crecimiento es tanto mayor cuanto más se aleja la curva de presiones en cada sección de su núcleo central respectivo.

Deberemos por lo tanto admitir forzosamente que se cuenta con la adherencia de los morteros y hasta con su cohesión, toda vez que entonces las fábricas y mamposterías son susceptibles de resistir al trabajo por extensión y examinar con más motivo que si se tratara de secciones trabajando sólo á la compresión, la fatiga máxima de compresión y extensión por unidad que experimentan los materiales en cada una, cuyos trabajos no deberán exceder de los valores de los coeficientes R y R' admitidos. Sabemos que R' , coeficiente de trabajo á la compresión, es $R' = \frac{1}{5}$ á $\frac{1}{6}$ de \bar{R}' coeficiente de fractura de los morteros (Marvá, núm. 165); para valor de R coeficiente de trabajo por extensión de las mamposterías, se tomará el $\frac{1}{20}$ del de fractura por tracción del de mortero empleado (Marvá, números 168 y 999), ó mejor en general sólo deberá admitirse como máximo para valor de R el de 2 kilogramos por centímetro cuadrado á 2,5 kilogramos (nota de Marvá, pág. 1240). También Planat en su *Practique de la Mecanique appliquée*, cuadro de la

página 99, asigna para valor de la fractura á la extensión del mortero de cemento de 10 á 30 kilogramos por centímetro cuadrado, y como carga de seguridad ó coeficiente práctico de trabajo también á la extensión el $\frac{1}{10}$ y por lo tanto de 1 á 3 kilogramos por dicha unidad.

El de R' admitido es variable entre 6 y 10 kilogramos, y tratándose de chimeneas se suele pasar de estos límites. El coronel Marvá cita en la nota de la pagına 180, tomo primero de su *Mecánica*, como ejemplo notable de compresiones de fábrica de ladrillo, la chimenea de Townsend en Port-Dundas, cerca de Glasgow (Escocia), de 138 metros de altura, que en la base soporta una carga de 14,5 kilogramos por centímetro cuadrado; por otra parte, Mr. Gouilly en su *Theorie sur la Stabilité des hautes cheminées en maonnerie* fija para esta chimenea la carga en 19,70 kilogramos. Este mismo autor señala para la chimenea de la fábrica de fundición de West-Cumberland, cerca de Workington, los valores 18,16 kilogramos para la compresión á que está sometido el material en la base y 1,40 kilogramos para la extensión.

En fin, no ha de olvidarse «que la resistencia á la extensión en estas obras depende principalmente de la bondad de los materiales y del esmero en la mano de obra, y así los resultados pueden ser muy variables por la variación de estos elementos» (1).

Con los antecedentes datos vemos que nos hallaremos dentro de los límites ordinariamente admitidos para el trabajo á la extensión de los morteros no pasando de 2 kilogramos por centímetro cuadrado, y en cuanto á la compresión del ladrillo, si bien la carga de seguridad corriente es la de 6 kilogramos, la bondad del ladrillo que debe emplearse en esta clase de construcciones y la esmerada mano de obra que la misma reclama, son motivos para que, sin llegar á los valores que prácticamente acabamos de ver resultan en algunas chimeneas existentes, se pueda no obstante aproximar sin recelo alguno á los 10 kilogramos por centímetro cuadrado. Esto considerado, pasemos ya á la comprobación de la resistencia.

Para ello volvamos á tomar la fórmula propia para la sección de for-

(1) MARVÁ: Pág. 1241.

ma corona circular de los radios r exterior y r' interior que convierte la general.

$$p = \frac{P}{\Omega} \pm \frac{M v}{I},$$

en la cual p designa la compresión ó tensión definitiva para una fibra cualquiera que dista v del eje, según se tome el signo $+$ ó $-$ en la

$$p = \frac{P}{\Omega} \left(1 \pm \frac{x \cdot v \cdot \Omega}{I} \right)$$

y ésta en

$$p = \frac{P}{\pi (r^2 - r'^2)} \left(1 \pm \frac{4 x v}{r^2 + r'^2} \right)$$

por la sustitución en la anterior de los valores particulares para este caso de Ω é I . Esta última expresión es, como se recordará, la de la presión en un punto cualquiera distante v del centro, cuando el punto de aplicación de P dista x de dicho centro, que para $v = r$ dá la presión en la circunferencia exterior de la corona

$$p = \frac{P}{\pi (r^2 - r'^2)} \left(1 \pm \frac{4 x r}{r^2 + r'^2} \right)$$

esto es, en los puntos de la base para los que conviene determinar la presión por unidad, extremos del diámetro que se halla en la dirección del viento donde se verifican las presiones máxima y mínima, ó extensión en su caso, correspondiendo el signo $+$ al extremo del diámetro más próximo al punto de aplicación de P y el signo $-$ al otro extremo.

Estos valores de p han de resultar iguales ó menores que los coeficientes R' y R de trabajo por compresión y extensión respectivamente, que acabamos de fijar en 10 kilogramos y 2 kilogramos por centímetro cuadrado, y esto ha de verificarse para cada una de las secciones, si bien bastaría deducirlos para la sección que resulta en peores condiciones. Estas se vé por el examen del cuadro y del dibujo de estabilidad, que son la $a_4 b_4$ y la $a_5 b_5$, en las que sus centros de presión son los más alejados del eje que en otra alguna, y por lo tanto donde la extensión en el punto más alejado extremo del diámetro es la mayor y también donde la presión es evidentemente de más crecido valor.

Aquí haremos aplicación de la fórmula á todas las secciones.

Sección $a_1 b_1$: Presión máxima en la circunferencia hallándose c_1 , centro de presión, distante del eje, aunque dentro del núcleo central

$$c_1 x_1 = x_1 = 0^m,32 \quad \text{y siendo} \quad r_1 = 0,93 \quad \text{y} \quad r'_1 = 0,71 \quad (1);$$

$$p_1 = 0,91 \left(1 \pm \frac{4 \times 0,32 \times 0,93}{1,37} \right) =$$

$$= 0,91 (1 \pm 0,89) \begin{cases} p'_1 = 0,91 \times 1,89 = 1^k,72 \text{ por cm.}^2 \\ p''_1 = 0,91 \times 0,11 = 0^k,100 \text{ por cm.}^2 \end{cases}$$

$$*Sección $a_2 b_2$:* \quad c_2 x_2 = x_2 = 0,51 \quad r_2 = 1,09 \quad r'_2 = 0,75$$

$$p_2 = 1,60 \left(1 \pm \frac{4 \times 0,51 \times 1,09}{1,74} \right) =$$

$$= 1,60 (1 \pm 1,27) \begin{cases} p'_2 = 1,60 \times 2,27 = 3^k,63 \text{ por cm.}^2 \\ p''_2 = 1,60 (-0,27) = -0^k,43 \text{ por cm.}^2 \text{ de extensión.} \end{cases}$$

$$*Sección $a_3 b_3$:* \quad c_3 x_3 = x_3 = 0,65 \quad r_3 = 1,26 \quad r'_3 = 0,79$$

$$p_3 = 2,16 \left(1 \pm \frac{4 \times 0,65 \times 1,26}{2,21} \right) =$$

$$= 2,16 (1 \pm 1,48) \begin{cases} p'_3 = 2,16 \times 2,48 = 5^k,36 \text{ por cm.}^2 \\ p''_3 = 2,16 (-0,48) = -1^k,04 \text{ por cm.}^2 \text{ de extensión.} \end{cases}$$

$$*Sección $a_4 b_4$:* \quad c_4 x_4 = x_4 = 0,745 \quad r_4 = 1,41 \quad r'_4 = 0,848$$

$$p_4 = 2,65 \left(1 \pm \frac{4 \times 0,745 \times 1,41}{2,70} \right) =$$

$$= 2,65 (1 \pm 1,56) \begin{cases} p'_4 = 2,65 \times 2,56 = 6^k,78 \text{ por cm.}^2 \\ p''_4 = 2,65 (-0,56) = -1^k,48 \text{ por cm.}^2 \text{ de extensión.} \end{cases}$$

$$*Sección $a_5 b_5$:* \quad c_5 x_5 = x_5 = 0,817 \quad r_5 = 1,60 \quad r'_5 = 0,90$$

$$p_5 = 3,12 \left(1 \pm \frac{4 \times 0,817 \times 1,60}{3,37} \right) =$$

$$= 3,12 (1 \pm 1,56) \begin{cases} p'_5 = 3,12 \times 2,56 = 7^k,98 \text{ por cm.}^2 \\ p''_5 = 3,12 (-0,56) = -1^k,74 \text{ por cm.}^2 \text{ de extensión.} \end{cases}$$

(1) Si $c_1 x_1$ hubiese sido = $0^m,37$, valor del radio del núcleo central de su sección, ya sabemos que la compresión en uno de los extremos del diámetro debería resultar nula y $\frac{2P}{\Omega}$ en el otro extremo; y en efecto,

$$p = 0,91 \left(1 \pm \frac{1,37}{1,37} \right) \begin{cases} + p = 1^k,82 \\ - p = 0 \end{cases}$$

En el cuadro que insertamos á continuación se hallan reunidos todos los datos y resultados relativos á la estabilidad y resistencia que ofrece la chimenea que, como caso de aplicación, hemos estudiado. Este cuadro enseña que las condiciones de resistencia del fuste de la chimenea propuesta, están estrictamente satisfechas para las mayores cargas y acciones del viento que cabe admitir, y por lo tanto en buenas condiciones normales. Su examen deja conocer que el rodillo que resulta más fatigado es el quinto, como por lo expuesto teníamos deducido, toda vez que la extensión que sufre el punto extremo del diámetro de la sección se aproxima al valor límite admitido.

CHIMENEAS

1	Designación de los rodillos.																			
2	m.	Altura de cada uno.																		
3	m.	Grueso de la fábrica.																		
4	DIÁMETROS INTERIORES																			
	m.	Base inferior.																		
5	DIÁMETROS EXTERIORES																			
	m.	Base superior.																		
6	m.	Bermas.																		
7	Sección de la corona en la base de cada rodillo Ω .																			
	m. ²																			
8	m. ³	Volúmen de cada rodillo.																		
9	PESOS DE LA FÁBRICA																			
	Toneladas.	Parciales.																		
10	SUPERFICIES DIÁMETRALES																			
	Toneladas.	Acumuladas.																		
11	Presiones F del viento, desde la boca de la chimenea á la base de cada rodillo.																			
	Toneladas.																			
12	Altura de los centros de presión de F .																			
	m.																			
13	Momentos de flexión M .																			
	Toneladas-m.																			
14	m.	Momentos de inercia $I = \frac{\pi}{64} (d^4 - d'^4)$																		
15	kg.	Carga por cm. ² sin viento $\frac{P}{S}$																		
16	kg.	Carga por cm. ² con viento $\frac{P}{S} + \frac{Mv}{I}$																		
17	m.	Radios de los núcleos centrales $\rho = \frac{r^2 + r'^2}{4r}$																		
1.º	5,10	0,22	1,424	1,149	0,11	1,864	1,589	1,136	5,795	10,431	8,802	8,802	1,320	2,50	3,300	0,3930	0,91	1,72	0,37	
2.º	6,00	0,34	1,506	1,184	0,11	2,186	1,864	2,002	12,012	21,621	32,052	12,150	20,952	3,143	5,20	16,344	0,8679	1,60	3,63	0,40
3.º	6,00	0,46	1,592	1,266	0,11	2,512	2,186	2,965	17,790	32,022	64,074	14,094	35,046	5,256	7,90	41,529	1,6388	2,16	5,36	0,44
4.º	6,00	0,57	1,696	1,372	0,11	2,836	2,512	4,073	24,438	43,988	108,062	16,044	51,090	7,663	10,50	80,461	2,7770	2,65	6,78	0,49
5.º	6,00	0,68	1,800	1,476	0,11	3,160	2,836	5,275	31,650	56,970	165,032	17,998	69,078	10,360	13,00	134,680	4,3593	3,12	7,98	0,52

Para terminar ilustrando más la materia en este punto, á continuación reproducimos el cuadro relativo al cálculo de una de las chimeneas monumentales del Campo de Marte en París.

Número de los rodillos.	Volumen de cada rodillo.		Presión del viento desde la boca de la chimenea hasta la base del rodillo considerado.		Altura del centro de presión.	Momento de flexión M .	Sección de la mampostería en la base de los rodillos Ω .	Momento de inercia $I = \frac{\pi}{64} (d^4 - d'^4)$	Carga por cm. ² sin viento $\frac{N}{\Omega}$	Carga por cm. ² con viento $\frac{N}{\Omega} + \frac{Mv}{I}$		
	Parciales.	Acumulado N .	Parciales.	Acumulados.								
1	50	90	90	33	33	5,90	2,50	14,8	17,4	»	»	»
2	30	54	144	31	64	11,70	5	58,5	5,7	19	2,52	3,4
3	54	97	241	41	105	18,90	8,30	157	7,9	30,9	3,05	4,6
4	70	126	367	43	148	26,8	11,60	310	10,7	46	3,42	5,6
5	100	180	547	50	198	35,06	15,10	538	13,5	66	4,03	6,8
6	116	208	755	52	250	45	18,40	830	16,7	91,5	4,52	7,8
7	152	273	1028	60	310	55,8	21,90	1220	20,0	124	5,15	9,0
8	184	330	1358	64	374	67,2	25,30	1700	23,7	156	5,73	10,3
9	230	415	1773	69	443	80	28,60	2290	34,3	272	5,18	9,1
10	960	1730	3503	187	630	113	35,15	3960	83	945	4,20	6,7

La inspección de este cuadro enseña que la sección en la que el material trabaja con mayor fatiga no es la de la base de toda la chimenea, sino la correspondiente al octavo rodillo; demuestra además que la curva de las presiones no sale de los núcleos centrales, toda vez que los valores de $\frac{N}{\Omega} + \frac{Mv}{I}$ son inferiores en todos los rodillos al doble de los valores de $\frac{N}{\Omega}$; por lo tanto, que en ninguna parte la fábrica trabaja á la extensión.

Á este resultado debe siempre aspirarse en los cálculos de la resistencia de las mamposterías en chimeneas de fábrica, cuando no se deba contar con la adherencia, y se quiere que toda la base intervenga en la repartición de presiones, sin que parte alguna de ella resulte inútil.

Segundo método de cálculo.

Este segundo método de cálculo de la resistencia de una chimenea descansa en las hipótesis de la admisión de la fábrica á la extensión, y de

la adherencia de los morteros, descontándose la posibilidad de que pueda abrirse junta alguna en la mampostería. La fuerza elástica desarrollada por la mampostería para resistir á la extensión, se reconoce que tiene muy pequeño limite, pero con todo, puede servir para disminuir considerablemente las dimensiones. Con estas hipótesis la teoría de la flexión plana permite resolver los problemas relativos á la estabilidad de las altas chimeneas, toda vez que esta teoría supone simplemente, en el caso de ser planas las deformaciones y pequeñas las dimensiones transversales comparadas con la longitud, que la fuerza elástica entre dos puntos está en la dirección de la línea que los une y es proporcional á la distancia que los separa. Con esto se prescinde del empleo de las curvas de las presiones, y se considera la chimenea como sólido empotrado en un extremo y sometido á su propia carga y á la acción del viento. Así, pues, la consideración del peso de la chimenea permite, á pesar de la débil resistencia de la fábrica de ladrillo á la extensión, admitir que tal peso introduce un esfuerzo equivalente á la cohesión y por ello estimar una chimenea de ésta clase como un sólido empotrado en su base.

Vamos, pues, á examinar este método, que esencialmente no difiere del anterior, aunque presentado con caracteres distintos. Quizás parezca menos satisfactorio que aquél, y en cierto modo contradictorio en sí mismo,

porque admitiendo el trabajo de la mampostería á la extensión, procura para R valores muy pequeños ó nulos, estableciendo para ello condiciones á que han de ajustarse los datos; pero ofrece las ventajas de su rapidez y sencillez y más que esto la de que cada uno de los ensayos suministra un anteproyecto en el que pueden discutirse los inconvenientes y modificar en su vista las disposiciones.

Representemos la chimenea por el trapecio $A B a b$ y sean (figura 15):

ω = sección $a b A B$;

f = presión máxima del viento á razón de 150 kilogramos por metro cuadrado de proyección vertical;

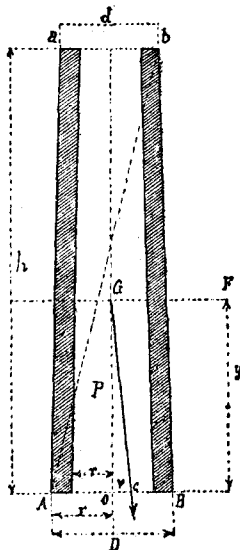


FIG. 15.

P = peso de la chimenea hasta la sección de empotramiento

$$\Omega = \pi (r^2 - r'^2);$$

$F = \omega f$ resultante de la acción del viento aplicada al centro de gravedad del trapecio á una altura de la base $A B$ igual á y ;

$M = f \times \omega \times y$ momento de empotramiento;

$$I = \frac{\pi (r^4 - r'^4)}{4} = 0,785 (r^4 - r'^4), \text{ momento de inercia de la sección}$$

de empotramiento con respecto al eje O ;

$v = \pm r$ distancia máxima de las fibras al eje neutro.

Tendremos:

$$M = \omega \cdot f \cdot y = \frac{D + d}{2} \times h \cdot 150 \cdot \frac{h}{3} \cdot \frac{D + 2d}{D + d} \quad [1]$$

recordando al efecto que si D y d designan las dos bases de un trapecio y $D > d$, siendo h la altura, el centro de gravedad se encuentra sobre la recta que une los puntos medios de D y d á una distancia de la primera

$$y = \frac{h^2}{6} (D + 2d) : \frac{D + d}{2} \times h$$

ó sea

$$y = \frac{h}{3} \times \frac{D + 2d}{D + d}$$

Simplificando, pues, la expresión [1]

$$M = 150 \frac{h^2}{6} (D + 2d) = 25 \cdot h^2 \cdot (D + 2d) \quad [2]$$

Habiendo representado por Ω la sección anular de empotramiento, $\frac{P}{\Omega}$ será la presión por unidad, debido al peso de la chimenea; llamando R al trabajo por unidad en dicha sección y aplicando á este sólido la ecuación de resistencia de piezas sometidas á flexión y compresión ó extensión,

$$R = \frac{P}{\Omega} \pm \frac{Mv}{I} \quad [3]$$

tendremos en nuestro caso sustituyendo

$$R = \frac{P}{\pi(r^2 - r'^2)} \pm \frac{25 \cdot h^2 \cdot (D + 2d)(\pm r)}{I} = \frac{P}{\pi(r^2 - r'^2)} \pm \frac{25 \cdot h^2 (D + 2d)(\pm r)}{0,785(r^4 - r'^4)}$$

y finalmente,

$$R = \frac{P}{\pi (r^2 - r'^2)} \pm \frac{31,85 \cdot r \cdot h^2 (D + 2d)}{r^4 - r'^4} \quad [4]$$

Se calcularán los valores de R para los signos $+$ y $-$, verificando si están dentro de los límites aceptables para los puntos A y B extremos de la base; si en A se produce la extensión, el valor de R para este punto ha de ser menor que 2 kilogramos por centímetro cuadrado.

EjemPlo. Apliquemos la fórmula [4] al caso de la chimenea de Serván-Leivry antes estudiada; para ello tomamos del cuadro inserto más arriba, correspondiente á aquélla, los datos numéricos:

ω = área de la sección de empotramiento	=	5 ^{m2} ,275
P = peso total de la chimenea.	=	165032 ^k
r = radio exterior de la base.	=	1 ^m ,58
r' = radio interior de la id.	=	0 ^m ,90
h = altura del fuste.	=	29 ^m ,10
D = diámetro exterior en la base.	=	3 ^m ,16
d = diámetro exterior en la boca.	=	1 ^m ,589

Sustituyendo:

$$R = \frac{165032}{5,275} \pm \frac{31,85 \times 1,58 \times \overline{29,10^2} (3,16 + 2 \times 1,589)}{1,58^4 - 0,90^4} = 3,12 \pm 4,86 \text{ por cm}^2$$

de donde

$$\text{Compresión. . . } R' = 3,12 + 4,86 = 7^k,98$$

$$\text{Extensión. . . . } R = 3,12 - 4,86 = - 1^k,74$$

Valores necesariamente idénticos á los obtenidos por el primer método de cálculo. La aplicación, no obstante, de dicha fórmula [4] sólo puede tener un alcance de comprobación cuando el dibujo de la chimenea está definitivamente acordado, por cuanto en ella figuran todas las dimensiones de la chimenea.

Pero una transformación de la misma, dispuesta para la lectura de las superficies de los círculos de que se conocen los diámetros y los cuadrados de los diámetros, permite determinar el valor de la acción del viento f por metro cuadrado de superficie diametral para el de cero atribuido á R , es decir, para que el trabajo de la sección de empotramiento

resulte de sólo compresión, modo de operar que puede convenir en determinados casos y circunstancias.

Para ello, toda vez que el momento de la resultante de las presiones del viento es, según acabamos de ver [2],

$$M = f \frac{h^2}{6} (D + 2d)$$

la [3] será ahora

$$R = \frac{P}{\pi(r^2 - r'^2)} \pm \frac{f \frac{h^2}{6} (D + 2d) r}{\frac{\pi}{4} (r^4 - r'^4)}$$

r es el radio exterior y r' el interior de la sección base de empotramiento.

Eliminando $D = 2r$ de la anterior expresión

$$R = \frac{P}{\pi(r^2 - r'^2)} \pm \frac{2rf \frac{h^2}{6} (r + d)}{\frac{\pi}{4} (r^2 + r'^2) (r^2 - r'^2)} = \frac{P}{\pi(r^2 - r'^2)} \pm \frac{4 \cdot r \cdot f \cdot h^2 (d + r)}{3 (r^2 + r'^2) (\pi r^2 - \pi r'^2)} \quad [5]$$

y multiplicando y dividiendo el segundo término por 4

$$R = \frac{P}{\pi r^2 - \pi r'^2} \pm \frac{16 \cdot f \cdot h^2 \cdot r (d + r)}{3 (4r^2 + 4r'^2) (\pi r^2 - \pi r'^2)} \quad [6]$$

Si haciendo $R = 0$ aplicamos á esta expresión los datos de la chimenea de otras veces, tendremos

$$\frac{165032}{\text{círculo } 3,16 - \text{círculo } 1,80} \pm \frac{16 \cdot f \cdot \overline{29,1^2} \cdot 1,58 (1,589 + 1,58)}{3 (3,16^2 + 1,80^2) (\text{círculo } 3,16 - \text{círculo } 1,80)} = 0 \quad [7]$$

efectuando operaciones y tomando sólo el signo menos

$$31200 - 370f = 0$$

resulta, pues,

$$f = 84^k,60$$

Llevando este valor á la expresión [7] después de igualada á R' y tomando sólo el signo $+$, tendremos la máxima compresión

$$R' = 6^k,24 \text{ por centímetro cuadrado.}$$

Así, pues, la resistencia en la base de una tal chimenea pasaría con exceso de lo necesario para la seguridad durante una gran tempestad y hasta $84^k,60$ de presión de viento por metro cuadrado de sección diametral no habría extensión y la mayor compresión sólo alcanzaría $6^k,24$ por centímetro cuadrado, pero para una presión de viento más fuerte que $84^k,60$, ya resultaría R negativo. Por esto, si las circunstancias locales permitieran fijar la presión del viento en un cierto valor, podríamos ensayar con este modo de aplicación varias dimensiones hasta obtener las más ventajosas, económicamente considerada la cuestión.

La fórmula [5] aplicada por Gouilly á las chimeneas de Port-Dunder y de West-Cumberland estudiadas por Mr. Rankine, da como resultado que la abertura de la junta, esto es, la extensión, es muy pequeña ó casi nula y Gouilly modifica la regla empírica dada por el ingeniero inglés: «en ninguna hilada debe desviarse la resultante del peso de los materiales y de la presión del viento combinadas, más de $1/4$ del diámetro exterior de esta hilada,» aplicándola al diámetro interior en lugar de al exterior, para suprimir la extensión de las mamposterías.

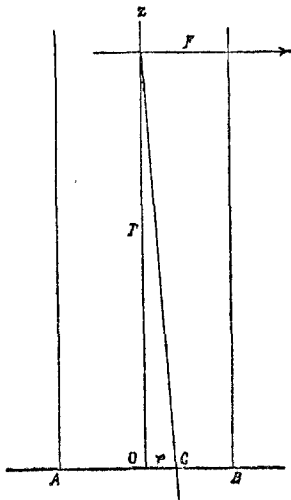


FIG. 16.

Siendo $F = \omega f$ la acción total del viento (fig. 16) la resultante de P , peso de la fábrica y de aquella fuerza, encuentra á la sección considerada en un punto que hemos designado por e , cuya abscisa con respecto á los ejes de la chimenea representamos en x ; este punto e es el de aplicación de la resultante de las fuerzas elásticas desarrolladas en esta sección, que deben equilibrar á las exteriores.

Pues bien, esta abscisa es, segun Rankine, la que no debe exceder de $1/4$ del diámetro exterior de esta hilada; es decir, de

$$\frac{1}{4} 2 r = \frac{r}{2}, \quad \text{ó bien} \quad x \leq \frac{r}{2}.$$

Gouilly en cambio demuestra que para evitar toda extensión en la sección, esta relación ha de verificarse, con referencia al diámetro interior, no al exterior, y por consiguiente $x \leq \frac{r'}{2}$.

Ahora bien, la longitud x se obtiene expresando que el momento de la presión del viento con relación al punto e , es igual al momento del peso con respecto al mismo punto y una vez que $\frac{h^2}{6} (D + 2d)$ es, como sabemos, el momento de la superficie del trapecio, sección diametral con relación á la base mayor

$$P. x = f \frac{h^2}{6} (D + 2d) = \frac{2}{3} f \cdot h^2 (r + d)$$

de donde,

$$x = \frac{f \cdot h^2 (d + r)}{3 P}$$

El valor particular de x para la sección en la base de la chimenea que venimos estudiando, sería

$$x = \frac{150^k \cdot \overline{29,1^2} (1,589 + 1,58)}{3 \times 165032} = \frac{402531}{485096} = 0^m,81$$

valor que ya conocíamos por el primer método de cálculo deducido analítica y gráficamente para e_5 x_5 .

Según esto

$$x = 0,81 \quad \gg \quad \frac{r}{2} = \frac{1,589}{2} = 0,79$$

y por consiguiente, resulta

$$x > \frac{r}{2}$$

y no menor, como quiere la regla empírica de Mr. Rankine, y con más motivo,

$$x = 0,81 \quad \gg \quad \frac{r'}{2} = \frac{0,90}{2} = 0,45 \quad \gg \quad x > \frac{r'}{2}$$

con referencia al radio interior, según la regla de Gouilly; de donde se sigue que debe resultar un trabajo á la extensión, como ya hemos visto que sucede.

Recordemos de paso que por el primer método de cálculo, hemos deducido que para que no haya extensiones en ningún punto de una sección era necesario que el valor de dicha abscisa x no fuera mayor que el del radio del núcleo central correspondiente, de manera que siempre se verificase que

$$x \begin{matrix} = \\ < \end{matrix} \rho = \frac{r^2 + r'^2}{4 \cdot r};$$

más como

$$\rho = \frac{r^2 + r'^2}{4 \cdot r} \begin{matrix} > \\ < \end{matrix} \frac{r'}{2}$$

resulta que la regla empírica de Rankine no da por su aplicación la seguridad que ofrece la de Gouilly para evitar el trabajo á la extensión en todos los puntos de la sección de empotramiento de la chimenea.

Este último autor concluye que la resultante del peso de la chimenea y de la presión del viento, debe encontrar á la sección en un punto tal, que la relación $\frac{2x}{r'}$ difiera poco de la unidad, y de esta observación ha deducido un método sencillo y rápido del cálculo relativo á las dimensiones de una alta chimenea de mampostería, que ofrece la ventaja de que

cada ensayo proporciona un anteproyecto, del que se puede discutir los inconvenientes y modificar en consecuencia las disposiciones.

Entendiendo que la exposición de este método de resolución tiene aquí lugar adecuado, vamos á desarrollarle, según el estudio que de él hemos hecho en la *Theorie sur la stabilité des hautes cheminées en maçonnerie* del varias veces citado ingeniero, profesor de la Escuela central de París en 1876.

Sean (fig. 17).

- d = diámetro exterior en la boca.
- d_1 = diámetro medio en ídem.
- D = diámetro exterior en la base.
- D_1 = diámetro medio en ídem.
- e = espesor de la chimenea en la boca.
- E = ídem ídem en la base.

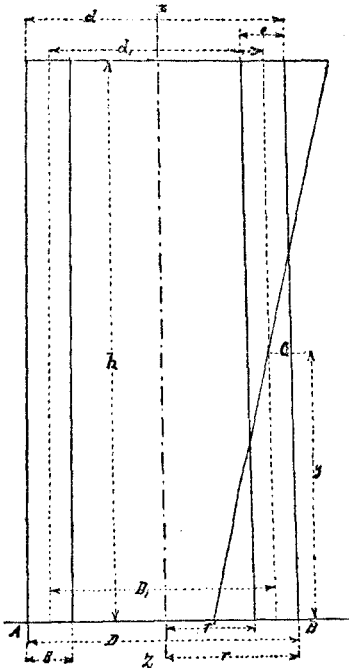


FIG. 17.

Consideremos el volumen de la chimenea como engendrado por la revolución alrededor de su eje ZZ del trapecio cuyas bases son e y E .

La superficie de este trapecio es $\frac{e + E}{2} \times h$

El centro de gravedad de esta superficie está á una altura y de la base AB , y deducida de

$$\frac{e + E}{2} h \times y = \frac{h^2}{6} (E + 2 e)$$

ó sea

$$y = \frac{h}{3} \left(\frac{E + 2 e}{e + E} \right)$$

Hallemos la longitud de la circunferencia descripta por su centro de gravedad G . La reducción del diámetro medio para toda la altura h es $D_1 - d_1$, luego á la altura y del centro de gravedad será

$$\frac{D_1 - d_1}{h} \times h \frac{2 e + E}{3 (e + E)} = (D_1 - d_1) \frac{2 e + E}{3 (e + E)}$$

de donde se infiere que el diámetro del círculo descripto por el centro G es

$$D_1 - (D_1 - d_1) \frac{2 e + E}{3 (e + E)} = \frac{D_1 (e + 2 E) + d_1 (2 e + E)}{3 (e + E)}.$$

El volúmen, que es igual al producto de la superficie por la circunferencia descripta por el centro de gravedad, es dado por la fórmula

$$V = \frac{\pi \cdot h}{6} [D_1 (e + 2 E) + d_1 (2 e + E)]$$

y designando por δ el peso específico de la mampostería se tiene

$$P = \frac{\delta \cdot \pi \cdot h}{6} [D_1 (e + 2 E) + d_1 (2 e + E)]$$

Si hacemos

$$\frac{R + R'}{2} = R_1$$

tendremos aproximadamente

$$P = R_1 \pi (r^2 - r'^2),$$

designando en r el radio exterior de la base y por r' el radio interior.

Pero como

$$r = \frac{D_1 + E}{2} \quad \gg \quad r' = \frac{D_1 - E}{2}$$

puede escribirse la última,

$$P = \pi R_1 \times D_1 \cdot E$$

é igualando los dos valores de P

$$\pi \cdot R_1 \cdot D_1 \cdot E = \frac{\delta \cdot \pi \cdot h}{6} [D_1 (e + 2 E)] + \frac{\delta \cdot \pi \cdot h}{6} [d_1 (2 e + E)]$$

$$D_1 = \frac{\frac{\delta \cdot \pi \cdot h}{6} [d_1 (2 e + E)]}{\pi \cdot R_1 \cdot E - \frac{\delta \cdot \pi \cdot h}{6} (e + 2 E)}$$

y por transformaciones sucesivas

$$D_1 = \frac{d_1 (2 e + E)}{\left(\frac{6 R_1}{\delta \cdot h} - 2 \right) E - e} \quad [1]$$

unida ésta á la

$$P = \pi \cdot R_1 \cdot D_1 \cdot E \quad [2]$$

y á la cantidad que hemos llamado x , cuya expresión es

$$x = \frac{f \cdot h^2 \left(d + \frac{D}{2} \right)}{3 P} \quad [3]$$

tendremos tres ecuaciones, que bastarían para resolver la cuestión.

Las dimensiones e h d_1 son datos; para R_1 y E se tomarán valores arbitrarios y se calculará por la [1] el diámetro D_1 correspondiente: las [2] y [3] darán á conocer P y x , y una vez éstas conocidas será posible y es suficiente calcular la relación $\frac{2x}{r'}$. Para un mismo valor de R_1 se podrán tomar varios valores de E calculándose los de D_1 P y x correspondientes, y se repetirán, por último, los cálculos para diferentes valores de R_1 . Con los resultados se forma un cuadro que á simple vista permite hacerse cargo del tipo más conveniente.

Vamos á reproducir el cuadro correspondiente á los cálculos relativos á la chimenea de Santa Maria (Montceau-les-Usines, Saône et Loire)

que por sus dimensiones es muy parecida á la de Sevràn-Livry, que nos ha servido para nuestro estudio. El ladrillo empleado ha sido de 0^m,20 de largo ó 0^m,21 contando la junta; $D = 3^m,26$ diámetro exterior en la base; el interior en la misma de 1^m,60; $d = 1^m,61$ el exterior en la boca y de 1^m,21 el interior.

CÁLCULO para la chimenea Sainte-Marie.

$d = 1^m,61$ $e = 0^m,20$ $h = 35^m,50$ $f = 134$ kg.

E	$\frac{P}{\Omega} = 30000$ kilogramos.				$\frac{P}{\Omega} = 29000$ kilogramos.				$\frac{P}{\Omega} = 28000$ kilogramos.			
	D_1	P	x	$\frac{2x}{r'}$	D_1	P	x	$\frac{2x}{r'}$	D_1	P	x	$\frac{2x}{r'}$
metros	metros	kilogramos	metros		metros	kilogramos	metros		metros	kilogramos	metros	
0,53	4,10	204800	1,07	1,2	4,93	238100	1,02	0,93	»	»	»	»
0,63	3,45	204800	1	1,3	4,09	238400	0,95	1,10	5,00	276900	0,89	0,81
0,74	3,04	212000	0,92	1,6	3,57	240700	0,92	1,30	4,27	278000	0,83	0,94
0,84	2,84	224800	0,86	1,7	3,24	247700	0,83	1,40	4,02	296900	0,77	0,97
0,94	2,64	233800	0,80	1,9	»	»	»	»	»	»	»	»
1,05	2,46	343500	0,77	2,1	»	»	»	»	»	»	»	»

El tipo que debe aceptarse debe ser alguno de aquellos para los que la relación $\frac{2x}{r'}$ difiera poco de la mitad y por lo tanto de entre los del cuadro anterior el de (0^m,53, 30000^k) y el (0^m,53, 29000^k) ó el (0^m,63, 29000^k)



TERCERA PARTE

CONSTRUCCIÓN Y DETALLES DE CHIMENEAS

I

Principios generales de su construcción. — Chimeneas de ladrillo.

Las grandes chimeneas de fábrica pueden imaginarse, desde su plano de asiento en los cimientos hasta su extremidad superior, compuestas de tres partes principales, pedestal, fuste y coronamiento ó capitel.

Desde luego, las cimentaciones, como uno de los elementos más importantes de esta clase de construcciones, reclaman una atención particular y su establecimiento está sometido á las condiciones generales de toda construcción de mampostería y hormigón, con cuyos materiales se levantan. Los mampuestos deberán ser de piedra dura y resistente, dispuestos de tal modo que repartiendo bien las presiones garanticen la solidez y resistencia de la superficie de apoyo de la primera hilada del pedestal; el mortero empleado ha de ser hidráulico, y en la confección de los hormigones debe presidir el mayor cuidado en la calidad, limpieza y proporciones de los materiales componentes y en que la mezcla resulte homogénea. Su aplicación ha de hacerse por tongadas de 0^m,25 á 0^m,30 de espesor, bien apisonadas, requisito de que nunca se ha de prescindir. Esta clase de cimentaciones afecta en planta generalmente la forma cuadrada ó circular en relación con la construcción que sustenta.

El *pedestal*, compuesto de zócalo, cuerpo y coronamiento, es á veces de forma cilíndrica y con más frecuencia prismática. Esta forma es preferida porque facilita el encuentro de las bóvedas de los conductos de humo y la construcción de los arcos de los vanos de que siempre van provistos. La altura del pedestal está en relación con la total de la chimenea, apartándose poco su valor del de la raíz cuadrada de ésta. El perfil es casi siempre de contorno vertical y sean circulares, cuadrados ó pentagonales, llevan molduras salientes en su cornisa de coronamiento y

zócalo ó pie sobre el terreno; éste penetra debajo del suelo para recibir los conductos de humo subterráneos y todavía se prolonga á mayor profundidad para constituir el cenicero (figs. 18 y 19).

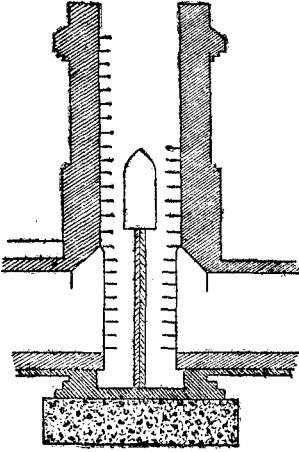


FIG. 18.

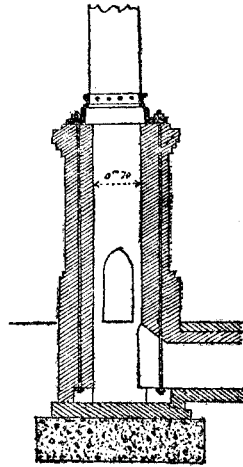
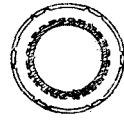
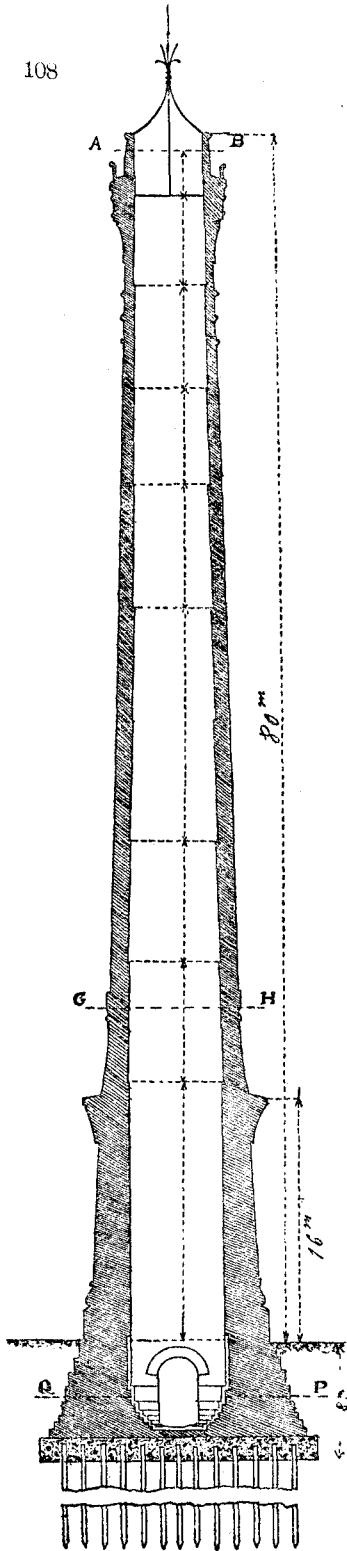


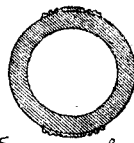
FIG. 19.

Cuando, como acontece algunas veces, desembocan en una chimenea dos conductos de humo de direcciones diferentes (fig. 18) se levanta entre ambas un murete de ladrillo para evitar los remolinos que de otro modo se producirían al encontrarse los gases; pero si las direcciones fuesen diametralmente opuestas, para dividir las corrientes gaseosas hasta que tomen la dirección vertical, este murete se dispone oblicuamente con relación á las corrientes de llegada; de este modo se suprimen en gran parte los remolinos que se producirían con un tabique perpendicular á la dirección de los gases (fig. 20, sección *Q P*). La figura 20, representa la sección de una de las dos chimeneas monumentales del Campo de Marte.

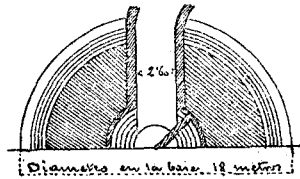
A más de las aberturas para la llegada de los gases presenta el pedestal sobre la rasante del suelo una abertura ó puerta que se utiliza durante la construcción por los operarios y para los materiales, y que despues sirve para reparaciones ó limpiezas. Esta puerta de servicio se cierra con cítara ó asta entera de ladrillo, una vez terminada la construcción; otras veces se disponen en estas puertas de servicio cierres autoclaves (figs. 18, 19, 20 y 21).



Seccion A.B.



Seccion G.H.



Seccion Q.P.

El *fuste* es casi siempre de forma tronco-cónica de revolución, aunque se construyen también de sección cuadrada y poligonal. Ya sabemos, sin embargo, que aquélla es la más aceptada, porque aparte la ventaja de ofrecer dos veces menos resistencia al viento que una superficie de plana proyección, es forma más favorable al movimiento rápido de los gases; es también en ellas menor el enfriamiento de los mismos en beneficio del tiro; para una misma sección libre es menor el cubo de mampostería, llegando en las de ladrillo á ser próximamente $\frac{1}{6}$ menos que en las prismáticas cuadradas, da el máximo de sección para un perímetro dado, y en fin, presentan un aspecto más agradable. Después de la sección circular la más admitida es la octogonal, y en último término, vienen las cuadradas, que se adoptan sólo cuando no se dispone de albañiles

háviles y en los altos hornos.

La sección vertical diametral presenta un

FIG. 20.

talud de paramento exterior variable entre 0^m,018 y 0^m,035 por metro, según el diámetro de la chimenea; el paramento interior decrece en $\frac{1}{60}$ de la base á la boca.

El *coronamiento* remata el fuste y ofrece una salida ó vuelo sobre éste más ó menos pronunciado; éste y el pedestal son las partes de la chimenea que más se prestan á la ornamentación, si bien el fuste no deja de ofrecer motivo para ello. Las dos chimeneas del Campo de Marte, «La Bourdonnais» y la «Suffren», debieron su disposición decorativa no tan sólo á los perfiles y contornos adoptados en el pedestal y capitel, sino también al empleo de ladrillos de color esmaltados y á motivos de «cerámica nueva», debida á los procedimientos de Mr. Siever.

No todos están conformes con que la terminación superior de las chimeneas adopte la forma de capitel, y al decir de Laharpe las mejores autoridades aconsejan que no exista.

Toda chimenea en cambio debe disponer en su boca de pararrayos, no sólo por su elevación superior á la de las construcciones que la rodean, sino además porque, como se sabe, el hollín ó carbono que se fija á sus paredes interiores es un cuerpo buen conductor de la electricidad.

MATERIALES.—En los cimientos sólo entran hormigón de cemento y mampostería hidráulica, ó ladrillo trabado con mortero de cemento. El ladrillo refractario se emplea también como revestimiento del fondo y parte inferior de la chimenea. En todo lo demás de la misma el material es ladrillo recibido con mortero ordinario y mejor hidráulico, y sillería en decoración.

En la confección del mortero, compuesto de un volumen de cal por dos volúmenes de arena, debe procederse con un cuidado particular. La

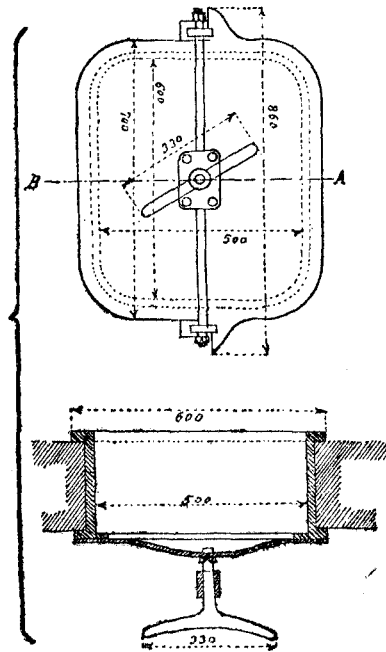


FIG. 21.

arena debe ser muy fina y pura, exenta de arcilla y previamente lavada; el cemento ha de ser de fraguado lento, y si se emplea cal grasa, la mezcla con la arena debe batirse varias veces antes de emplearla hasta obtener una pasta blanda, no por exceso de agua, fina y perfectamente homogénea. Se acostumbra en muchas localidades emplear el mortero de cal grasa y arena fina en la proporción de 180 á 200 kilogramos de cal por metro cúbico de arena, pero este mortero es desecado prematuramente por el ladrillo en perjuicio de la cohesión, por lo que es aconsejable en este caso adicionar á la cal grasa de $\frac{1}{4}$ á $\frac{1}{5}$ de cemento Portland; con esta proporción el fraguado es lento y aumenta la adherencia con el ladrillo.

La marca de ladrillo (cuya calidad ha de ser la mejor) más aconsejada es la de Borgoña, cuyas dimensiones son

$$0^m,22 \times 0^m,11 \times 0^m,054.$$

Deben elegirse de color uniforme y los más sanos, mejor cocidos y más regulares.

Aunque la sección transversal del fuste sea circular, no conviene, como pudiera creerse, el empleo de ladrillos especiales moldeados en forma de cuña. Tales ladrillos se reconoce como no necesarios, tanto por los grandes diámetros de las chimeneas cuanto por la habilidad de los albañiles especialistas que se dedican exclusivamente á la construcción de chimeneas. Por otra parte, los ladrillos aplantillados habrían de serlo precisamente para una determinada chimenea y aun dentro de cada caso no uniformes, por las diferencias bastante apreciables de diámetro en los extremos de las chimeneas, lo que no sería práctico y todavía menos si se tiene en cuenta que las arcillas, por los efectos de la cocción, producen ladrillos cuyas dimensiones ofrecen diferencias apreciables. Por eso se recomienda las dimensiones del llamado ladrillo de Borgoña, análogas á la de la fábrica de Lasarte, en Guipúzcoa, esto es, rectangulares de pequeñas dimensiones: los inconvenientes de llagas desproporcionadas desaparecen con estas marcas, que se prestan á buena trabazón y enlace, disponiéndolos siempre á tizón desde el pedestal, que varía entre 3 y 4 astas, ó longitudes hasta la boca de asta entera, que es el espesor mínimo admisible. A continuación insertamos el siguiente cuadro, muy curioso,

relativo á dimensiones de chimeneas, en el cual se determinan los gruesos de fábrica para ladrillo de Borgoña, en relación con la división en alturas de la total de la chimenea, debido á Mathieu, y otros dos tomados del excelente *Traité des fondations mortiers maçonneries*, de G. Oslet y J. Chaix.

DIMENSIONES de las chimeneas (Mathieu).

Altura de la chimenea.	Alturas correspondientes á los espesores de la fábrica.								
	0 ^m ,11	0 ^m ,22	0 ^m ,33	0 ^m ,44	0 ^m ,55	0 ^m ,66	0 ^m ,77	0 ^m ,88	0 ^m ,99
10	2	3,50	4,50	»	»	»	»	»	»
12	2	4	6	»	»	»	»	»	»
15	2,50	3,50	4,50	4,50	»	»	»	»	»
18	3	4	5	6	»	»	»	»	»
20	3	3,50	4	4,50	5	»	»	»	»
22	3	3,70	4,40	5,10	5,80	»	»	»	»
25	3,30	4,15	5	5,85	6,70	»	»	»	»
28	3,60	4,60	5,60	6,60	7,60	»	»	»	»
30	3	3,80	4,60	5,40	6,20	7	»	»	»
32	3,30	4,10	4,90	5,70	6,50	7,50	»	»	»
35	3	3,50	4,50	5	6,50	6	7,50	»	»
38	3	3,50	4	4,50	5	5,50	6	6,50	»
40	3	3,55	4,10	4,65	5,20	5,80	6,50	7,20	»
42	3	3,40	3,80	4,20	4,60	5	5,50	6	6,50
45	3	3,50	4	4,50	5	5,50	6	6,50	7
50	3,20	3,70	4,20	4,80	5,40	6	6,70	7,50	8,50

CUADRO de espesores y alturas de las diferentes zonas verticales que componen las chimeneas.

La primera zona forma la boca de la chimenea y tiene 0^m,11 de espesor, siguiéndole debajo las demás.

Altura total de la chimenea	1. ^a	2. ^a	3. ^a	4. ^a	5. ^a	6. ^a	7. ^a	8. ^a	9. ^a	10. ^a
	0 ^m ,11	0 ^m ,22	0 ^m ,33	0 ^m ,44	0 ^m ,55	0 ^m ,66	0 ^m ,77	0 ^m ,88	0 ^m ,99	1 ^m ,10
<i>m</i>	<i>m</i>	<i>m</i>	<i>m</i>	<i>m</i>	<i>m</i>	<i>m</i>	<i>m</i>	<i>m</i>	<i>m</i>	<i>m</i>
8	1,50	2,65	3,85							
10	1,80	3,30	4,90							
12	2,00	4,00	6,00							
14	2,50	4,50	7,00							
15	2,50	3,50	4,50	4,50						
16	2,50	3,50	4,50	5,50						
18	3,00	4,00	5,00	6,00						
20	2,80	3,40	4,00	4,60	5,20					
22	3,00	3,70	4,40	5,10	5,80					
24	3,20	4,00	4,80	5,60	6,40					
25	3,30	4,15	5,00	5,85	6,70					
28	3,60	4,60	5,60	6,60	7,70					
30	3,00	3,80	4,60	5,40	6,20	7,00				
32	3,30	4,10	4,90	5,70	6,50	7,50				
34	3,00	3,60	4,20	4,80	5,40	6,00	7,00			
35	3,00	3,50	4,50	5,00	5,50	6,00	7,50			
36	3,00	3,70	4,40	5,10	5,80	6,60	7,40			
38	3,00	3,50	4,00	4,50	5,00	5,50	6,00	6,50		
40	3,00	3,55	4,10	4,65	5,20	5,80	6,50	7,20		
42	3,00	3,40	3,80	4,20	4,60	5,00	5,50	6,00	6,50	
44	3,00	3,45	3,90	4,35	4,80	5,30	5,80	6,40	7,00	
46	3,00	3,50	4,00	4,50	5,00	5,60	6,20	6,80	7,40	
50	3,20	3,70	4,20	4,80	5,40	6,00	6,70	7,50	8,50	
55	3,20	3,70	4,20	4,70	5,20	5,70	6,20	6,70	7,40	8,00

CUADRO de las dimensiones de las chimeneas adoptadas por un importante establecimiento de construcción de máquinas de vapor.

El espesor en la boca es de 0^m,11 en todas.

FUERZA en caballos.	Chimeneas redondas.		Chimeneas cuadradas.		ESPESOR inferior encima de la base.	ALTURA encima de la base.	ALTURA de la base.
	Diámetro interior		Lado interior				
	inferior.	superior.	inferior.	superior.			
	m	m	m	m	m	m	m
1	0,24	0,20	0,22	0,18	0,33	8	2,50
2	0,41	0,25	0,38	0,22	0,33	10	3,00
3	0,56	0,28	0,53	0,25	0,33	12	3,20
4	0,60	0,30	0,67	0,27	0,33	14	3,40
6	0,65	0,35	0,70	0,30	0,44	16	3,60
8	0,74	0,40	0,77	0,35	0,44	18	3,80
10	0,82	0,42	0,90	0,38	0,55	20	3,90
12	0,88	0,44	1,04	0,40	0,55	22	4,00
15	1,04	0,48	1,035	0,425	0,55	24	4,20
20	1,16	0,54	1,10	0,48	0,55	25	4,30
25	1,22	0,60	1,15	0,53	0,55	25	4,30
30	1,36	0,66	1,38	0,58	0,55	28	4,60
35	1,40	0,70	1,32	0,62	0,66	30	4,80
40	1,45	0,75	1,37	0,67	0,66	30	4,80
45	1,50	0,80	1,42	0,72	0,66	30	5,00
50	1,57	0,85	1,57	0,75	0,66	32	5,00
60	1,62	0,90	1,52	0,80	0,77	34	5,20
70	1,80	0,96	1,69	0,85	0,77	36	5,40
80	1,84	1,04	1,76	0,92	0,77	36	5,40
90	1,88	1,10	1,72	0,98	0,88	38	5,60
100	2,01	1,15	1,88	1,02	0,88	40	5,80
120	2,11	1,25	1,96	1,10	0,88	40	5,80
150	2,16	1,40	1,98	1,22	0,99	42	6,00
180	2,38	1,50	2,23	1,35	0,99	44	6,20
200	2,60	1,60	2,40	1,40	0,99	46	6,40
250	3,04	1,80	2,82	1,58	0,99	50	6,60
300	3,32	2,00	3,07	1,75	1,10	55	7,00

Modo de construcción.

Antes, hasta 1838, se construían las chimeneas empleando en su elevación andamios muy costosos, con piezas de sección y longitudes crecidas y conveniente arriostrado, utilizando escaleras ó rampas de servicio para el ascenso de obreros y materiales más pesados, y *tiros* para los más ligeros. Actualmente no se emplean andamios sino es para el basamento ó pedestal, en el cual á veces entran en su coronamiento piezas de sillaría de regulares dimensiones, sin que por otra parte permita prescindir de ellos el crecido espesor de la fábrica en esta parte. Pero á partir del pedestal se elevan las hiladas de fábrica por el interior. Al efecto, los obreros se instalan en plataformas sostenidas sobre barras de hierro, que se van introduciendo en agujeros preparados al efecto, distanciados verticalmente 1^m,50, poco más ó menos; los materiales son elevados por el interior mediante un pescante ó pieza horizontal, dispuesta en dos apoyos situados sobre la hilada superior ó simplemente apoyada sobre algunos ladrillos que hacen el papel de soportes; en esta pieza se fija una polea provista de una cuerda, que se arrolla á un torno instalado en el suelo. Otras veces el cargadero ó pescante descansa en dos caballetes y éstos en la misma plataforma (fig. 21).

Las grandes chimeneas exigen la instalación de un torno de vapor, situado exteriormente al pie del pedestal; mediante poleas de cambio se hacen llegar los materiales á la plataforma de maniobra. Se emplean también en tales casos montacargas de vapor, capaces de elevar 1000 á 2000 kilogramos de una vez.

Para asegurar la verticalidad del eje de una chimenea, condición que cumplen muy pocas, se toman todas las disposiciones á ello conducentes, cuidando con suma atención de la regularidad de la forma circular en cada hilada alrededor de su centro: para ello se principia por trazar la base del fuste sobre el plano de coronamiento del pedestal de donde arranca la primera hilada, valiéndose de dos reglas de madera, una de longitud igual al diámetro exterior y la otra algo más larga que el radio exterior; la primera está provista en su punto medio de una punta que se hace corresponder con el eje de la chimenea; la segunda lleva practicado un taladro en uno de sus extremos, dispuesto para que pueda girar

alrededor de la punta de la primera; á partir del taladro se fijan dos puntas á distancia de los radios interior y exterior, que sirven para describir las dos circunferencias de la corona, sección de la base del fuste. Esta regla recibe el nombre de *cintrel*, y su uso está reservado para verificar la marcha del trabajo y trazar en cada rodillo de los en que se divide la altura, la posición de las circunferencias de sus bases.

Las hiladas de ladrillo se colocan con el auxilio de la regla de talud, que se compone de una pieza rectangular de 1^m,15 de longitud y 0^m,15 de ancha; en su medio y en sentido longitudinal está trazada una línea de fé que ha de disponerse en posición vertical al hacer uso de la regla mediante una plomada, cuyo hilo en dicha posición se aloja en un pequeño rebajo practicado en el borde inferior de la tabla; á unos 0^m,10 encima de este rebajo está fijado un alambre á través de la línea de fe, separado 0^m,02 del plano de la tabla para fijar la posición del hilo á plomo á pesar del viento.

Todos los ladrillos van colocándose horizontalmente y de tizón sobre ambos paramentos, y á cada 2 metros de elevación debe verificarse la forma circular y el talud con los instrumentos indicados.

Algunos constructores emplean un medio indicado para disminuir las probabilidades de error que pueden ocurrir durante la construcción. A cada verificación fijan en la fábrica dos listoncillos de madera de 0^m,20 de largos en las extremidades de la regla que pasa por el diámetro; estos puntos de referencia sobresalen unos 0^m,10 del paramento del fuste, pudiendo el obrero guiarse por ellos á la manera que se hace con las niveletas para establecer rasantes de corta longitud.

CUBIERTA DEL CORONAMIENTO SUPERIOR.—Cualquiera que sea la forma del fuste, ya termine éste por un simple cordón (figs. 22, 23 y 24)

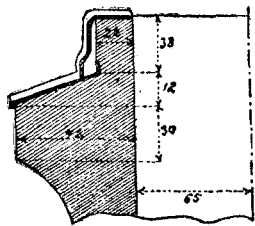


FIG. 22.

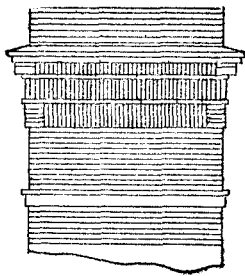


FIG. 23.

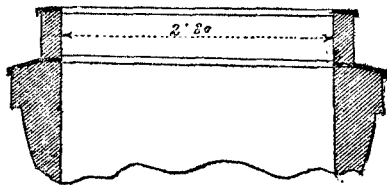


FIG. 24.

ya por una cornisa, es necesario hacerlo por una cubierta protectora cuyo objeto principal es evitar las filtraciones de lluvia y la consiguiente degradación de las juntas, presentando además la ventaja de cargar las hiladas superiores de los ladrillos impidiendo su desunión. Aunque el plomo por su maleabilidad se presta bien á este objeto por amoldarse perfectamente al perfil de las bocas de chimenea, no es recomendable su empleo por su poca resistencia á los humos, á la temperatura de su salida; además sin contar con la elevación de temperatura, hay humos de chimenea de fábrica de ciertos productos, como los químicos, que atacan y funden el plomo.

La fundición en planchas ó tejas es el material más indicado para este objeto, cubriendo además el acrotero y la parte volada de la cornisa. En la figura 22 y en la 24 se da un detalle de estos remates.

La figura 24 indica una variante del capitel más económica, porque requiere menos fundición y su colocación es más cómoda. Cubre toda la cornisa extendiéndose por el espesor del muro, supuesto de 0^m,22. Sobre la cubierta metálica se monta el acrotero, rematándole en una pequeña cubierta superior circunscripta al mismo.

DISPOSICIONES ESPECIALES.—*Pararrayos*.—Es este un elemento indispensable en las chimeneas, del que nunca debe prescindirse. Su establecimiento garantiza contra los efectos de la electricidad atmosférica, no sólo á las chimeneas á quienes directamente protege, sino á las construcciones que la rodean. Deben establecerse conforme á las instrucciones recomendadas por la Academia de Ciencias de París.

Como uno de los tipos que pueden admitirse presentamos el instalado en la chimenea de Sevràn-Livry, que puede servir de modelo en cuanto que á él han debido llevarse los cuidados más extremos, toda vez que se trata de la chimenea de una fábrica de pólvora (figuras 13 y 13').

El pararrayos de esta chimenea se ha establecido conforme á las diferentes instrucciones de la Academia citada. Se halla fijado sólidamente por cuatro tornapuntas de hierro forjado, dispuestas en cruz y empotradas por medio de pernos en el capitel. Su barra tiene 7^m,55, descompuesta de este modo:

Hierro forjado.	7 ^m ,30	} 7 ^m ,55
Cobre rojo.	0 ^m ,21	
Platino.	0 ^m ,04	

El vástago de hierro es de varilla redonda en su 1^m,50 inferior, de 0^m,05 de diámetro; en los 5^m,75 restantes, la barra es de forma tronco-cónica, con diámetro de 0^m,01 y 0^m,02.

El cobre rojo es un cilindro de 0^m,21 de alto y 0^m,02 de diámetro en su base; la punta la forma un cono de platino de 0^m,04 de altura y 0^m,02 de diámetro en la base. La extremidad de este pararrayos resulta á 6^m,48 por encima de la boca de la chimenea y á 42^m,50 del suelo.

Fundándose en datos experimentales se ha tratado de evaluar la distancia sobre la que un pararrayos extiende su esfera de acción. La Academia de Ciencias de París ha admitido que una barra de pararrayos protege á su alrededor un espacio igual á un círculo cuyo centro sea el pie del vástago y el radio doble que aquél.

En el caso de la chimenea de Sevràn, según esta regla, el pararrayos que la corona respondería al espacio comprendido por un circuito $\pi \times 2 \times 42,50 = 2$ hectáreas, 26 áreas y 98 metros cuadrados.

Uniendo la punta del pararrayos á la circunferencia de 85 metros de radio (fig. 13') se obtendrá el cono de protección.

El conductor está compuesto por una serie de barras de hierro cuadrado de 0^m,016 de lado y 6 metros de longitud; se hallan unidas entre sí por la superposición de sus extremos, asegurada con pernos y buenas soldaduras de estaño. Este conductor está fijo á la barra del pararrayos á 0^m,50 de la boca de la chimenea en un taladro abierto en ella, por donde el conductor, aterrajado en su extremo, atraviesa, terminando por una tuercas, soldándose además la unión y envolviendo la soldadura á la tuercas y extremo del conductor. Desde la barra, salva la cornisa y mantenido á 10 centímetros del paramento por medio de aisladores sigue por una generatriz del fuste hasta un tubo de palastro de 0^m,20 y 2 metros de lon-

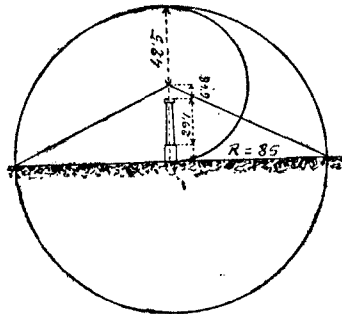


FIG. 13'

gitudinalmente por una generatriz del fuste hasta un tubo de palastro de 0^m,20 y 2 metros de lon-

gitud, colocado al pié de la chimenea debajo del suelo á pocos metros de ésta; la parte extrema inferior del conductor termina por una plancha de tierra formada por cuatro ramales de 0^m,60 de longitud cada uno, ensamblados dos á dos con el conductor por roblones y soldaduras de estaño. Todo el conductor está pintado al óleo, previa una mano de imprimación de minio de plomo.

Los pararrayos de las chimeneas de la Exposición estaban formados por barras de hierro redondo galvanizado de 12^m,50 de altura, 0^m,08 de diámetro en la base y 35 milímetros en el extremo superior, rematando en punta de cobre rojo y cono de platino. Dos puntos de apoyo le unían á armaduras ó soportes de hierro empotrados en la fábrica (fig. 20). Tanto el vástago como los soportes se comunicaban con un conductor de cobre rojo ceñido al fuste en una sección circular inmediatamente debajo del capitel y á este cinturón se fijaban dos conductores, igualmente de cobre rojo, que terminaban en la canalización subterránea de las aguas.

SISTEMAS DE ASCENSIÓN.—A fin de alcanzar la boca de la chimenea en ocasión de limpiezas ó reparaciones ligeras, se establece en el interior de toda chimenea una escala de hierro forjado, que basta sea de 0^m,40 de ancha. Las escalas se forman de tantas partes cuantos sean los rodillos ó zonas que constituyen el fuste, pudiendo emplearse montantes de pletina de 0^m,040 \times 0^m,01, recurvados en sus extremos superiores para abrazar un travesaño ó barra de hierro cuadrado de 0^m,03 de lado, asegurado en las bermas ó retallos en que se limitan los rodillos: los peldaños pueden formarse de hierro redondo de 0^m,015 remachados en frío á los montantes á intervalos de 0^m,27 á 0^m,30. Como el coeficiente de dilatación lineal del hierro dulce es de 0,0000122, la escala así compuesta, á una temperatura de 300°, que es la máxima que deben alcanzar los humos en las chimeneas ordinarias, podría dilatarse para una altura de 40 metros en 0^m,146 y como este alargamiento no debe despreciarse, habrán de tomarse las necesarias precauciones para que se pueda operar libremente, á fin de que las escalas no accionen sobre la fábrica.

Otros constructores adoptan para sistema de ascensión simples apoyos de hierro empotrados en la fábrica, establecidos á medida que ésta se eleva, apartados entre sí 0^m,35 á 0^m,40 (figs. 25, 26 y 27).

La disposición empleada en las chimeneas de París es indudablemente

más aceptable, por la mayor seguridad que ofrece su uso sobre las anteriores. Nos referimos á la escala interior porque también se colocaron al exterior de estas chimeneas grampones sólidamente empotrados, utilizables durante el período de la explotación cuando no fuera posible la

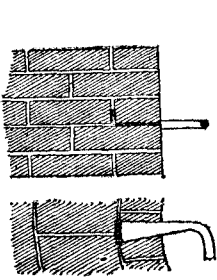


FIG. 25.

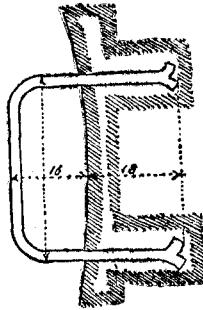


FIG. 26.



FIG. 27.

ascensión por el interior ni tampoco conviniese suspender aquélla para una reparación del momento. La disposición á que aludimos es la representada en la figura 28.

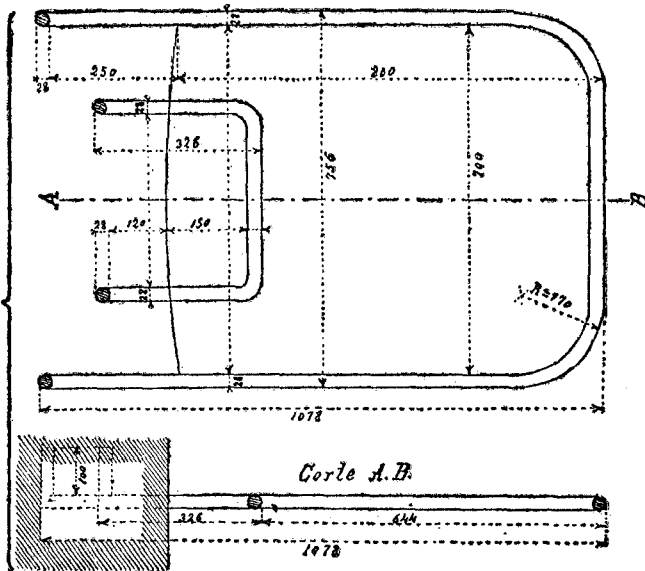


FIG. 28.

SUNCHADO DE LAS CHIMENEAS.—En ciertas chimeneas especiales, tales como las de los altos hornos de fundición, se encadenan éstas á fin de

impedir las disgregaciones de los materiales, ocasionadas por la acción de las dilataciones debidas á las altas temperaturas con que los gases de los altos hornos circulan. Las chimeneas cuadradas, que se reservan para estas altas temperaturas, son encadenadas ó sunchadas á distancias verticales de 1^m,5 á 2^m,00, por grupos de cuatro hierros dispuestos como se indica en la figura 29, de sección redonda ó pletinas, terminados en sus

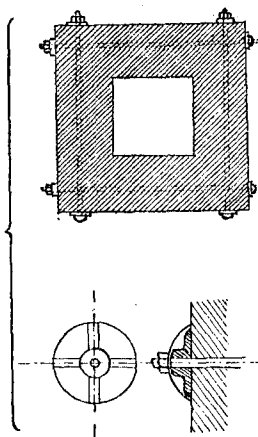


FIG. 29.

extremos por partes terrajadas que reciben tuercas que se apoyan sobre la fábrica por el intermedio de arandelas ú ovalillos de fundición.

Las chimeneas redondas se sunchan más sencillamente, ciñéndolas círculos de hierro espaciados convenientemente, los que se embuten en la fábrica á 0^m,11 del paramento exterior. La sección de estos hierros es rectangular, de lado mayor igual al grueso del ladrillo y 1 centímetro de grueso; por ejemplo, de 60 × 10 milímetros; se sueldan al diámetro conveniente alojándose en el rebajo circular que se les destina.

Los sunchos se multiplican en las cornisas y capiteles.

PERSONAL OBRERO.—El obrero de las grandes chimeneas constituye una especialidad difícil de formar: su posición para el trabajo es incómoda y peligrosa, hallándose sometido á oscilaciones y expuesto al viento y tiro de la chimenea. Las oscilaciones que toda chimenea experimenta y de las cuales participa el operario, son un motivo excepcional de dificultad y cuidado; por eso entre las cualidades que debe poseer son indispensables la seguridad y buen golpe de vista.

Para que la ejecución de una chimenea sea tan satisfactoria como es posible, conviene que el mismo obrero haga todo el paramento, y esto es lo que comunmente tiene lugar.

El personal obrero destinado á la construcción de una chimenea de ladrillo se compone de ordinario de cinco hombres: un maestro, dos oficiales y dos ó tres peones; el maestro dirige y verifica el trabajo; el más hábil de los dos oficiales hace los paramentos y el otro le

ayuda preparándole el mortero y haciendo por sí el relleno ó ripiado; en fin, los peones preparan y alcanzan sobre el andamio los materiales. En París el jornal de un albañil de chimeneas es 8 francos y el de ayudante 4,50.

COSTE DE LAS CHIMENEAS.—Es muy variable el coste de una chimenea, como fácilmente se comprende, y aunque quisiéramos no podemos ofrecer bastantes datos para deducir con razonable aproximación un coste medio. Presentamos como casos extremos para llenar sólo esta indicación, los que se refieren á las dos chimeneas que más hemos mencionado.

El coste de la chimenea de Sevràn, de 36 metros, se ha elevado á 11.500 francos, que representa 320 francos por metro de altura.

Las monumentales del Campo de Marte han costado cada una próximamente 205.000 francos, que dan un gasto de 2.565 francos por metro: sólo el importe de las cimentaciones ascendió á 66.000 francos.

Estos dos tipos pueden en cierto modo servir, en el concepto de que nos ocupamos, como tipos extremos: el primero por su altura, que es muy corriente en la mayor parte de las chimeneas, por los materiales empleados, que son como en la casi totalidad hormigón de cemento, mampostería hidráulica y ladrillo, y todavía por su traza y sobriedad en molduras y decoración, puede muy bien caracterizar el tipo de las chimeneas industriales. Las segundas nos ofrecen también un tipo extremo: en primer lugar por su altura, que se sale de la que tienen la generalidad, además por sus cimentaciones, y en fin, por los materiales en ellas empleados y riqueza de ornamentación y decoración afectan el carácter monumental, que en efecto quiso imprimirse por sus autores á estas chimeneas, llamadas á ejercer una de las atracciones de la Exposición última. Se salen, pues, de los tipos de chimeneas exclusivamente industriales. Solamente los ladrillos esmaltados, la cerámica de los escusones y demás partes decorativas representó un gasto de 30.000 francos. Si se atiende exclusivamente al coste del pedestal, fuste y capitel, que se elevó á 104.000 francos, los 80 metros de altura dan un coste medio por metro de 1.300 francos.

Para completar esta materia á continuación formulamos el siguiente

Presupuesto aproximado de una chimenea de 36 metros.

MOVIMIENTO DE TIERRAS

1.—Desmonte ordinario para la caja de cimientos: 200 m. ³ , á 1 peseta.	200,00	
2.—Relleno y apisonado alrededor de la cimentación: 50 m. ³ , á 0,35.	17,50	
3.—Transporte de tierras sobrantes: 200 m. ³ , á 1,50.	300,00	
<i>Total de movimiento de tierras.. . . .</i>	<u>517,50</u>	517,50

CIMENTACIONES

4.—Hormigón de cemento de Zumaya: 54 m. ³ , á 25.	1.350,00	
5.—Mampostería hidráulica: 22 m. ³ , á 18.	396,00	
<i>Total de cimentaciones.. . . .</i>	<u>1.746,00</u>	1.746,00

CHIMENEA

6.—Fábrica de ladrillo ordinario: 125 m. ³ , á 60.	7.500,00	
7.—Sillería con molduras del pedestal: 5 m. ³ , á 130.	650,00	
<i>Total de chimenea.. . . .</i>	<u>8.150,00</u>	8.150,00

ACCESORIOS

8.—Escala de hierro, armadura de pararrayos, grampones de empotramiento y soportes de conductores: 650 kg., á 0,90.	585,00	
9.—Pararrayos, barra, conductor, punta y molduras: 230 kg., á 1,25.	267,50	
10.—Plomo en plancha de 0 ^m ,002: 230 kg., á 1.	230,00	
11.—Puerta de fundición: 120 kg., á 0,54.	64,80	
12.—Imprevistos.	329,20	
<i>Total de accesorios.</i>	<u>1.476,50</u>	1.476,50

Total general. 11.890,00

Concluiremos añadiendo que el tiempo que se juzga necesario en la buena estación del año para la construcción de una gran chimenea se deduce de suponer ejecutado medio metro de altura por día.

RESTABLECIMIENTO Á LA VERTICALIDAD DE LAS CHIMENEAS INCLINADAS. —Conveniente nos parece indicar, aunque sea con brevedad, la manera de proceder en tan delicada operación, necesaria cuando una chimenea ha perdido la verticalidad de su eje, ya por desigualdad de asiento, por el empleo de medianos morteros ó de materiales defectuosos ó bien por cualquiera otra causa, siempre bien entendido que la inclinación que hubiese tomado no fuere de tal importancia que necesariamente hubiese de sobrevenir la caída inmediata. La materia no es como pudiera creerse teórica, sino que se presenta en la práctica y á pesar de sus dificultades y peligros se ha realizado en América y en Inglaterra.

Puede verse en el folleto de V. Lefevre *Cheminées d'usines* lo que dice del caso de la chimenea de la fábrica Plattec y Perkins, en Holyoke (Massachusetts) que lo tomó de Mr. Richon que lo había publicado en el *Van Nostrand's Engineering*. Se trataba de una chimenea de sección cuadrada, de 2^m,40 de lado en la base, 1^m,80 en la boca y 24 metros de altura. Esta chimenea tomó en la dirección N.O. una inclinación de 1 metro sobre la vertical; para restablecerla en su debida posición, se dispusieron en la base sólidos andamios, estableciendo en ellos dos gatos sobre la cara O. y seis sobre la del N.; se extrajo y separó la tierra del lado de las caras S. y E. hasta más abajo de los cimientos, conservando, sin embargo, el macizo de tierra correspondiente al ángulo S.E.: no obstante, se removió este macizo por medio de barrenas y se ablandó con abundante riego. Manejados los gatos, procediendo por operaciones sucesivas alternadas con ablandamiento y apisonado del suelo en opuesta situación, se consiguió llevar la chimenea á su posición vertical.

Aunque el éxito coronó este trabajo, no parece, sin embargo, recomendable el método empleado, que por otra parte solo podría ser aplicado en aquellos casos en que la inclinación arrancára de la misma base.

Otros procedimientos se reconocen como susceptibles de aplicaciones más generales.

Uno de ellos ha sido empleado en la chimenea de una fábrica de Bingley, en Bradford. Esta construcción había sufrido, hacía tiempo, un

asiento tan considerable en sus cimientos que llegó á apartarse 1^m,35 de su posición normal. Entonces se decidió su reparación, ensayándose desde luego el medio de desmontar el suelo bajo la parte que no había asentado, pero se renunció á él enseguida y se llenó la excavación con fábrica de ladrillo y cemento. El sistema aceptado después fué en principio el de deshacer en la cimentación del zócalo y en el lado que había quedado en buen estado, tres hiladas de ladrillo hasta la mitad del espesor, no profundizando más por no arriesgarse á determinar un brusco movimiento de la fábrica bajo el esfuerzo ejercido por el peso de la parte en falso. Alcanzando, pues, tan sólo hasta el centro del zócalo, la parte en falso tomaba un movimiento gradual en busca de la vertical y como toda su masa estaba interesada, el macizo total seguía el movimiento sin que se produjera rotura; por otra parte, este movimiento estaba contenido por gatos de 0^m,25 de carrera, establecidos en la parte hueca, y dispuestos entre dos placas de fundición para repartir las presiones; se les hacía bajar gradualmente para dirigir el movimiento general de la construcción y cuando éste se dió por terminado se macizaron los intervalos entre los gatos y retirados éstos se rellenaron los espacios que habían ocupado.

Mr. Blind, contratista de obras, ha dejado indicado en el *Génie Civil*, otro método cuyo principio es análogo al precedente, pero más sencillo de ejecución, no exigiendo además el empleo de criks. Hace serrar hasta las dos terceras partes del diámetro el espesor del tendel de la primera hilada de ladrillo, á partir de la cual se manifiesta la inclinación; á este efecto, un obrero por el interior desprende el mortero con un largo cincel para facilitar el paso á la hoja de sierra; en el hueco que va resultando se ajustan cuñas en mayor ó menor número, según el diámetro. Estas cuñas se retiran gradualmente cuando la junta está desguarnecida en la longitud necesaria, y la parte de la chimenea situada encima de la cortadura se endereza en la parte que corresponde al espesor de la junta, esto es, unos milímetros. Se continúa de la misma manera junta por junta á diferentes alturas, según lo exija la inclinación, y la fábrica toma poco á poco, gradualmente, sin golpes ni conmociones, la posición vertical. Mr. Blind cita como aplicaciones de su procedimiento los ejemplos siguientes: en Rocheforf-sur-Mer una chimenea de 25 metros, inclinada 0^m,45 sobre sus cimientos, por causa de un asiento no contenido á la sa-

zón, fué enderezada con sólo un día de trabajo. En Neuflyse (Ardennes) un operario trabajando durante tres días restableció á la dirección á plomo una chimenea de 50 metros de elevación, en la cual se había producido un asiento desde su mitad hasta el extremo inferior, bajo la influencia de la disgregación del mortero originada por las heladas ocurridas durante la construcción, de forma que los morteros de uno de los frentes de la chimenea se habían disgregado por causa de la helada, mientras que por el frente opuesto, no habiendo ocurrido este accidente, conservaba el mortero su cohesión.

De los tres procedimientos que dejamos señalados, es indudable que el atribuído á Mr. Blind es el más sencillo, rápido y económico, y el menos peligroso para los obreros por el fraccionamiento de los esfuerzos que deben soportar las mamposterías, pero supone la posibilidad de hacer descender al operario al interior de la chimenea, lo que no siempre es practicable y menos tratándose de chimeneas de las fábricas de productos químicos.

Añadiremos, para terminar, que se han propuesto andamios volantes y aparatos especiales para las reparaciones exteriores de las chimeneas, cuyo descripción no creemos útil reproducir.

II

Chimeneas de palastro

A continuación resumimos breves ideas acerca de las chimeneas de palastro, que completarán y cerrarán nuestro trabajo.

El carácter que distingue la construcción de las chimeneas de palastro es, como ya tenemos adelantado, la economía, y su aplicación se limita ordinariamente á instalaciones temporales ó provisionales; por ambos conceptos son preferidas para establecimientos que no deban contar sino una limitada duración. En poco tiempo se destruyen á pesar de las precauciones que se toman para evitarlo con la pintura ó galvanización, con las cuales sólo se consigue alejar algún tiempo su destrucción, porque especialmente la parte superior, más fría, se oxida rápidamente bajo la influencia atmosférica y las condensaciones del vapor de agua, sin contar que algunos humos atacan á los metales.

Las chimeneas de palastro se montan directamente sobre un zócalo

de mampostería ó fábrica, mediante una pieza de fundición empotrada en el macizo por cuatro pernos dispuestos en los ángulos, atravesándole

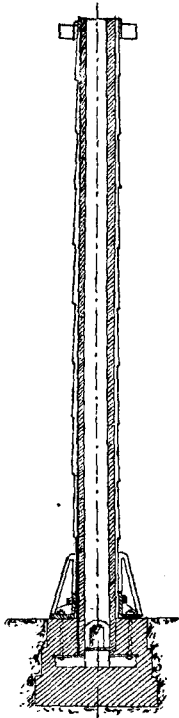


FIG. 30.

en todo su espesor (fig. 30) como lo muestra el dibujo, que á su vez deja ver un revestimiento interior de ladrillo de el espesor de media asta, que es siempre recomendable, porque evita el desperdicio de calor, necesario á la buena marcha del tiro.

Otras veces se asienta el tubo de palastro sobre un verdadero pedestal de fábrica (fig. 19) de las mismas condiciones que los de chimeneas de ladrillo, pedestal más ó menos desarrollado, pero que siempre subtrae en parte á la chimenea á las acciones oxidantes del suelo y especialmente de la humedad. El pedestal es parte de la chimenea propiamente dicha; al exterior va moldurado para darle forma, y en su vacío interior recibe el conducto de humos procedentes del hogar, suavizándose el encuentro para que no sea brusco el cambio de sección.

La sección que se da á estos conductos de humos del hogar al fondo de la chimenea, es por analogía á la que se asigna en las de fábrica 1,5 de la sección del extremo superior ó boca algo mayor en su encuentro con la chimenea que en su unión con el hogar,

que, sin embargo, es siempre mayor que la sección en la boca.

Cuanto á las secciones de las chimeneas de palastro se deducen por expresiones análogas á las que hemos presentado para las de ladrillo.

El competente y conocido ingeniero Buchetti da la siguiente en decímetros:

$$S = 0,5 \text{ ó } 0,6 Q : \sqrt{H};$$

Q representa el peso del carbón consumido por hora; de manera que, si tenemos presente que la fórmula que este mismo ingeniero da para las chimeneas de fábrica es en decímetros, también

$$S = Q : \sqrt{H}$$

resultan ser las secciones para las chimeneas de palastro mitad ó poco más de las que corresponderían á las de fábrica de la misma altura.

Las chimeneas de esta clase suelen construirse de diámetro uniforme ó poco menos. Se componen de virolas ó partes de palastro, ligeramente cónicas para facilitar el enchufe de unas con otras: el sentido del enchufe es siempre el mismo, de manera que la lluvia no pase al interior; por consiguiente, el extremo inferior del tubo superior se superpone sobre el superior del inmediato inferior, y por eso, para conservar el diámetro, las virolas son ligeramente cónicas. Estas, además de enchufadas, van remachadas en el zócalo de fundición que asienta sobre el macizo de mampostería ó sobre el pedestal se remacha la primera virola.

Próximamente á los $\frac{2}{3}$ de su altura se fija un collar de hierro, que puede ser de sección angular, al cual se sujetan tres gruesos alambres de hierro ó vientos, cuyos otros extremos se amarran á puntos sólidos de la base, bien en piquetes clavados en el suelo ó en las construcciones contiguas. A favor de estos vientos se obtiene la estabilidad de la chimenea, que no puede tenerla propia sin perder su carácter económico, por más que algunos autores dan para las chimeneas empotradas de esta clase la fórmula

$$R = \frac{P}{\Omega} \pm \frac{95,4 \cdot h^2 \cdot D}{r^3 - r'^3}$$

deducida de la conocida

$$R = \frac{P}{\Omega} \pm \frac{31,8 \cdot r \cdot h^2 (D + 2d)}{r^4 - r'^4}$$

toda vez que en el caso actual $D = d$.

Es dudoso, sin embargo, que semejante fórmula tenga verdadera aplicación práctica, porque en las chimeneas de palastro, cualquiera que sea el empotramiento, no se funda regularmente en él la estabilidad de la misma, sino que se confía á las disposiciones que se toman y á los vientos de que siempre van provistas.

Algunos autores dicen que esta clase de chimeneas se terminan en embudo ó abocinadas como las antiguas chimeneas de locomotora, pero esta clase de remates, además de cargar inútilmente la boca ó extremidad superior, parecen dispuestos para recibir mejor el agua de lluvia. No deben emplearse, pues, pero conviene en cambio terminarlas por un paraguas ó sombrerete cónico ó en forma de casquete esférico de un diá-

metro doble del de la chimenea y á una distancia de su borde superior, de un diámetro por lo menos, según aconseja Laharpe.

Con el fin de procurar al palastro la mayor duración posible conviene pintarlo al aceite ó según Denfer, que dice da buenos resultados, emplear alquitrán en caliente disuelto en una pequeña cantidad de petróleo, adicionando á la mezcla como secante $\frac{1}{10}$ de polvo de cal grasa, hidráulica ó cemento. Mejor que todo es estancar bien los empalmes remachados para evitar los efectos de la humedad en ellos, que son de gran perjuicio, y galvanizar al zinc las virolas; así se conservan en el mejor estado posible estas chimeneas. A pesar, sin embargo, de todas las precauciones y cuidados, las chimeneas de palastro duran poco. Es preciso, pues, reservarlas para instalaciones rápidas, provisionales y económicas.

Para un diámetro de 0^m,50 el espesor del palastro es de 4 milímetros y el peso aproximado por metro corriente de 57 kilogramos para

$$d = 0^m,80 \quad \gg \quad e = 6 \text{ milímetros} \quad \gg \quad p = 136 \text{ kilogramos}$$

y para

$$d = 1 \text{ metro} \quad \gg \quad e = 7 \text{ milímetros} \quad \text{y} \quad p = 190 \text{ kilogramos}$$



APÉNDICE

CHIMENEAS DE CEMENTO ARMADO

Las construcciones ú obras de cemento armado, cada día más numerosas en sus variadas aplicaciones, ofrecen, entre los caracteres que más las recomiendan, una gran solidez, que deben: á las cualidades complementarias de sus materiales constituyentes; á la adherencia que tan íntimamente los une, cuya medida ha sido valuada por Mr. Bauschinguer de 40 á 47 kilogramos por centímetro cuadrado; á su elasticidad, y finalmente, al estrecho enlace que puede establecerse entre las diversas partes de la obra. Esta última propiedad hace á las construcciones de cemento ú hormigón armado propias para terrenos poco estables y muy indicadas para países de fuertes vientos ó sometidos á movimientos sísmicos.

De aquí que pueda señalarse entre una dé las más interesantes aplicaciones de este moderno sistema de construcción, la de las chimeneas de fábrica, y que el ingeniero Mr. Paul Christophe pueda citar en su obra sobre el hormigón armado (1) recién aparecida, varios ejemplos de chimeneas de cemento armado.

Podemos enumerar con los *Nouvelles Annales de la Construction* de noviembre de 1904, las siguientes de moderna construcción.

En Amsterdam, la chimenea de la fábrica *Ten Cate et C.º*, de 17^m,75 de alto, formada de cuatro tubos de cemento sistema Monier, de 0^m,75 de diámetro en la base, construida en 1897.

En Constable Hook (Nueva Jersey), para la Compañía *Pacific Coast Borax*, una chimenea de 45^m,72 de altura y 2^m,13 de diámetro exterior,

(1) Un volumen en 8.º de 755 páginas y 827 figuras. — Segunda edición. — París, 1902.

elevada en 1898, compuesta de dos muros cilíndricos concéntricos enlazados por nervios radiantes.

En Jersey City, para la *Central Lard C.^a*, otra chimenea de 32^m,92 de altura, 3^m,45 de diámetro exterior y 2^m,44 interior, concluida en 1901. En esta chimenea han entrado en su construcción 141 metros cúbicos de hormigón y 3650 kilogramos de barras de acero, habiendo sido cimentada sobre pilotes.

En South-Bend (Indiana), la Compañía *Singer* de máquinas de coser, ha construido dos chimeneas de 45^m,72 de altura y 2^m,13 de diámetro; y en Elisabethport, la misma Compañía, otra de 38 metros.

Basta á nuestro propósito con las señaladas para justificar que, especialmente en los Estados Unidos, no es caso raro la elevación de chimeneas de fábrica de hormigón armado.

La mayor parte de las chimeneas citadas y de otras americanas han sido construidas por la Compañía *Ransome Concrete*, de Nueva York, obedeciendo al mismo principio, y se componen de dos tubos de cemento concéntricos enlazados en algunos puntos. Se efectúa la construcción en moldes de madera, en los que se comprime el hormigón, incrustando en su masa, á distancias variables, aros de metal ligados á barras longitudinales inmersas en el hormigón. El molde se desplaza verticalmente á medida que adelanta el trabajo por medio de un aparejo colocado sobre un andamio en el interior de la chimenea.

Para formarse idea de la construcción de chimeneas por este sistema y conocer los detalles más interesantes de ella, bastará trasladar aquí los que se refieren á una, tomados de los documentos publicados por *The Engineering Record*, de Nueva York, de los estudios de Mr. James D. Schuyler, individuo de la Sociedad Americana de Ingenieros Civiles, recogidos por los *Nouvelles Annales* (1).

Chimenea de cemento armado de Los Angeles (California).

El proyecto de esta chimenea, debido á Mr. Carlos Leonardt, completa la instalación de la red de las líneas eléctricas convergentes á «Los

(1) Número de noviembre de 1904.

Angeles», que recientemente ha establecido la Compañía de los Caminos de hierro eléctricos del Pacifico, destinándose al servicio de la producción del vapor.

DIMENSIONES DE LA CHIMENEA.—La altura sobre el plano de cimientos es de 53^m,03; la base ó pedestal de la chimenea por encima del suelo es de 10^m,96 y 5^m,49 de diámetro exterior; el fuste tiene 34 metros y 4^m,62 de diámetro, pues es cilíndrico; el capitel es de 2^m,14 y el remate cilíndrico con el que termina la chimenea es de 1^m,22 de altura. (Véase la figura 31.)

La cimentación de la chimenea insiste sobre un banco de grava y se compone de un macizo de hormigón de 9^m,45 de diámetro, en el que hay encarceladas dos filas de carriles, á los que se sujetan las armaduras verticales constituídas por barras metálicas, que se alojan en el hormigón en toda la altura de la chimenea.

DETALLE DE LA FÁBRICA.—La chimenea se compone de dos muros concéntricos separados por un vacío anular de 279 milímetros en la base y 406 en el coronamiento. El muro exterior presenta tres espesores diferentes en alturas próximamente iguales; estos son: de 0^m,23; 0^m,15 y 0^m,13; cuanto al muro interior su grueso desde la base á la boca pasa sucesivamente de 0^m,13 á 0^m,11 y 0^m,10 en cada tercio de la altura total: este muro se termina

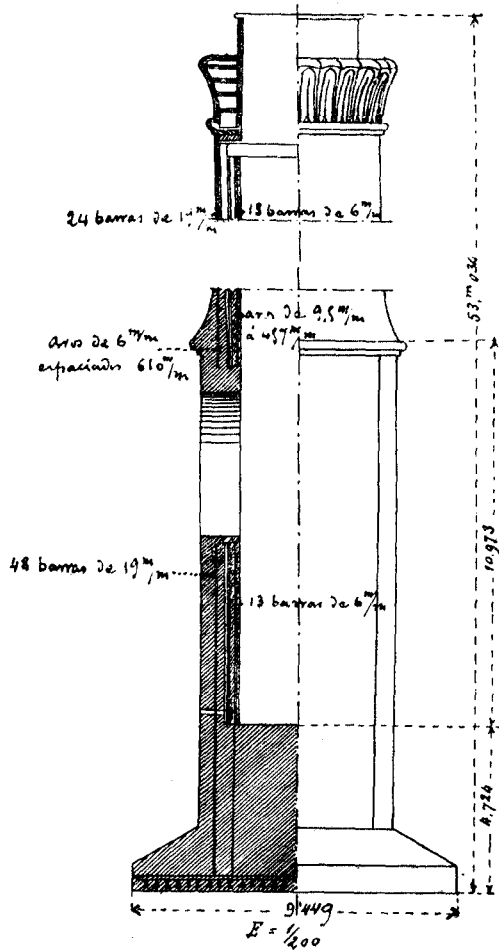


FIG. 31.

0^m,11 y 0^m,10 en cada tercio de la altura total: este muro se termina

debajo del capitel y puede dilatarse bajo la influencia del calor independientemente del muro exterior.

El vacío interior se reduce á intervalos, y cada 1^m,52 la reducción llega hasta quedar en 19 milímetros por ladrillos de hormigón intercalados en el mismo; de este modo las oscilaciones independientes de uno y otro muro son limitadas, y el exterior puede ceder bajo la presión del viento 19 milímetros sin tocar al interior.

ARMADURAS.—Según el sistema Ransome, la chimenea se ha construído con barras de acero torcidas en frío, incrustadas en los muros. La armadura se compone horizontalmente con aros de hierro de 6 milímetros á distancia de 0^m,46 en el muro interior y de 0^m,61 en el exterior; en éste hay además barras verticales de 19 milímetros equidistantes 0^m,30 en el tercio inferior del fuste, 0^m,61 en el tercio medio y 1^m,22 en el superior. Para el muro interior se han empleado barras de 6 milímetros espaciadas 0^m,91 sobre el contorno.

El capitel decorativo se compone de 28 trozos moldeados fuera de obra é izados sobre la chimenea, en cuyo plano superior se ensamblaron y enlazaron á una parte cilíndrica, remate del conjunto, reforzada con metal *déployé*.

MATERIALES EMPLEADOS.—Se ha empleado el cemento Portland de California, fabricado en Colton, población distante 96 kilómetros de «Los Angeles», y la arena silíceá de río limpia y lavada. La grava utilizada en el muro exterior era un grés rojo, notable por su dureza y resistencia al calor; para el muro interior se ha echado mano de guijarros de granito.

El hormigón se fabricó en malacate, y diariamente se ensayaban probetas de aquél de los diferentes espesores de la chimenea.

Las proporciones empleadas fueron:

Muro exterior. . .	}	Cemento.	1 parte.
		Arena	2 »
		Grava	6 »
Muro interior. . .	}	Cemento.	1 parte.
		Arena	2 »
		Grava	4 »

La chimenea exigió 566 metros cúbicos de hormigón, proporcionados

por 850 barricas de cemento; el hierro en barras torcidas empleado pasó de 4500 kilogramos, y el peso de los carriles fué de 1800 kilogramos.

En fin, la chimenea, que se dejó tal y como del moldeado resultaba, sin ulterior enlucido ni cementado, pesa próximamente 1297 toneladas, lo que representa una presión de unos 2 kilogramos por centímetro cuadrado en la base.

ANDAMIOS.—La ingeniosa disposición dada á los andamios evitó peso inútil, conservando precisión en los trabajos y la debida seguridad al personal obrero. En el eje de la chimenea se estableció una plataforma de 1^m,98 de lado, componiéndose el andamio de ésta, montantes, traviesas y cruces de San Andrés, todas cuyas piezas se hacían solidarias por medio de ensambladuras y pernos; en plano superior dos pares de viguetas transversales de 4^m,88 dejaban en falso 1^m,52 por cada costado, de donde quedaban suspendidos los aparejos. Encima de las viguetas y perpendicularmente á éstas, un tablón grueso de 6^m,10 soportaba por dos puntos diametralmente opuestos una plataforma anular exterior á la chimenea, sostenida además por el collar inferior del molde exterior (fig. 32).

Los moldes interior y exterior se suspendían á las viguetas por cuatro barras de hierro, terrajadas en una buena parte de su longitud; por el intermedio de tuercas de volante eran así movidos verticalmente á voluntad los moldes.

La elevación de materiales se efectuó por el centro del andamio.

Para producir la elevación de las viguetas de suspensión y con ellas el esqueleto del andamio, se había construído en el interior de éste un cuadro de corredera de 7^m,30 de alto, y cada vez que se trataba de elevarse más, se levantaba desde luego el cuadro al nivel conveniente, después se transferían las viguetas provisionalmente, se construía enseguida una nueva sección de andamio, á la

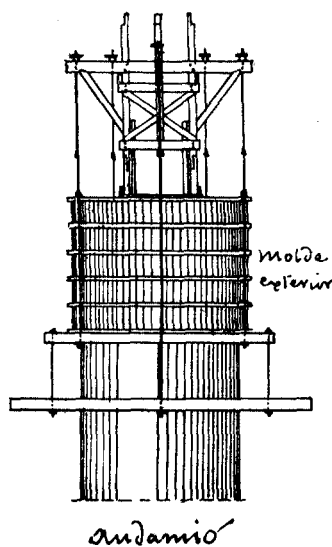


FIG. 32.

que se fijaban de nuevo los aparejos y plataformas, y del mismo modo se continuaba en lo sucesivo. Toda la parte de carpintería podía ser elevada uniformemente por los obreros, obrando acompasadamente sobre los volantes de las barras de suspensión.

MOLDES.—Estaban formados por duelas verticales de 3^m,66, chaflanadas en los bordes extremos según un ángulo de 10°, presentando así, del lado del hormigón y dejando al exterior, un vacío en forma de V. Las duelas se sujetaban por el intermedio de collares de pino del Oregón en láminas hasta formar un grueso de 0^m,13, y sus extremos se reunían por medio de quijadas forjadas especiales, uniéndose con pernos y terminándose en mangones terrajados que permitían la conveniente tensión.

Estos moldes, en obra, se suspendían de las viguetas del andamio por mediación de estribos cosidos á las barras verticales de 3^m,66 de altura y roblones sujetos en los collares.

NÚCLEO.—El vacío anular entre los muros concéntricos se obtuvo á favor de núcleos de madera de 1^m,83 de altos, construídos de modo que se pudiera colocarlos y retirarlos en obra sin dificultad, á cuyo objeto se constituían de dos partes reunidas por sus extremos y éstos chaflanados, correspondiendo los chaflanes á los costados de una cuña sujeta por un

perno de 10 milímetros mientras se apisonaba el hormigón; el detalle de la figura 33 completa esta ligera explicación.

MARCHA DEL TRABAJO.— Es una parte de este estudio de las más interesantes por su aspecto práctico. Todo el trabajo de la elevación de la chimenea fué efectuado por su interior, montando los materiales por medio de un torno eléctrico; el número de operarios empleados fué seis, elegidos entre los más hábiles.

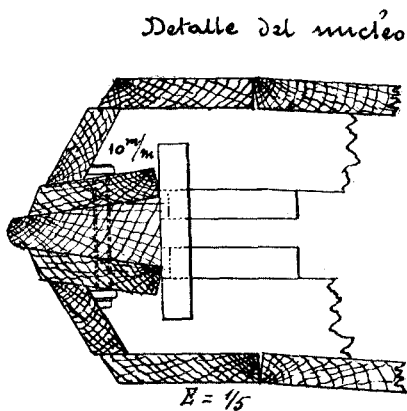


FIG. 33.

El hormigón era elevado en obra durante la mañana y cada hilada de 1^m,52 de altura representaba una jornada de trabajo, que se interrumpía

pía á las cinco de la tarde. Al siguiente día se reanudaba la labor dando principio por desarmar el molde exterior, que era seguidamente elevado y dispuesto en su nueva posición, de manera que solapara fuertemente sobre una altura de 0^m,60 la parte superior del hormigón moldeado catorce horas antes. Hecha esta operación se elevaban á la vez el molde interior y los núcleos, manteniéndolos por debajo del nivel del molde exterior.

El paramento exterior de la chimenea se regaba con un tubo anular perforado, sujeto á la parte inferior del molde exterior y alimentado con agua á presión; en el paramento interior no se tomaba igual precaución por no juzgarla necesaria, dada la corriente de aire fresco y húmedo que circulaba por el interior de la chimenea.

Las barras verticales de la armadura partían desde la base del cimiento, cuya superficie esmeradamente nivelada recibió los moldes centrados con escrupulosa fidelidad, así como los núcleos, toda vez que del cuidado esquisito de la primitiva situación de estos elementos había en parte de depender el feliz resultado de toda la obra. Dichas barras se retenían provisionalmente en su definitiva situación por medio de alambres sujetos en la parte superior de los molde. De entre ellas, cuatro eran continuas en toda la altura de la chimenea; por su parte inferior descendían más abajo del plano de cimientos y por la superior terminaban en puntas de cobre, desempeñando así el papel de pararrayos, para lo cual se elevaban 1^m,52 por encima de la cornisa terminal.

Cuando el molde exterior había sido izado, se nivelaba cuidadosamente y una vez apretados los tensores, se limpiaba rascando su superficie interior; se replegaban y elevaban por partes los núcleos, se volvían á reunir, se izaba el molde interior y dispuestos en su nueva posición estos elementos y rectificada su posición se continuaba el apisonado. Cuando se juzgaba necesario limpiar la superficie del molde interior, se invertía el orden, montando primero los núcleos, después el molde interior y por último el exterior. Moldes y núcleos estaban cubiertos de petrolina para impedir la adherencia del cemento.

CONDICIONES DE EJECUCIÓN.—Las impuestas al constructor fueron varias; entre otras menos interesantes, merecen señalarse las relativas á la resistencia y calidad de los materiales. El cemento puro debía oponer

una resistencia á la extensión á los siete días de 0,350 kilogramos por milímetro cuadrado. La grava y guijarro habían de tener dimensiones inferiores á 25 milímetros. Por último, la resistencia á la ruptura de las barras de la armadura estaba limitada á un mínimo de 42 kilogramos por milímetro cuadrado, debiendo además soportar un plegado en frío según un ángulo de 180°, sin manifestar indicios de ruptura.

FIN.