

Las obras de los túneles bajo el Escalda, en Amberes

Atenamente invitado por la Sociedad Franki para visitar las obras de los túneles que esta importante Compañía constructora ejecuta bajo el Escalda, en Amberes, tuve ocasión de realizar esta visita en el mes de octubre pasado. Son, efectivamente, de tal magnitud las obras en cuestión, que merecen una reseña, aunque sea esquemática, de las mismas.

La Sociedad Intercomunal de la Ribera Izquierda del Escalda, constituida por el Estado belga, las provincias de Amberes y de Flandes Oriental, las ciudades de Amberes y San Nicolás, los municipios de Zwyndrecht, Melsele, Beveren y Burght, confió, en los principios de 1931, a la Compañía Internacional de los Pilotes Franki la construcción de un túnel para vehículos y otro para peatones.

El pliego de condiciones y los planos anejos, que han servido de base para los proyectos y ofertas de

impuesta por encima de la calzada era de 4,50 m, por lo menos.

Tras un profundo estudio de las condiciones locales, la Sociedad de los Pilotes Franki elaboró, entre otros, un proyecto, cuyas características principales se resumen a continuación.

Separación neta del tráfico de vehículos y de la circulación de peatones por la construcción de un túnel para los vehículos y de un túnel para los peatones. Esta solución es más económica que la de un solo túnel de gran diámetro, comprendiendo una calzada central y dos aceras para peatones. Suprime, además, para los peatones que circulasen en un túnel para vehículos, el inconveniente de las corrientes de aire provocadas, no por la ventilación, sino por el desplazamiento de los coches.

Rectificación lo más completa posible del trazado.

Un túnel rectilíneo presenta grandes ventajas desde el punto de vista, no sólo de la comodidad del tráfico, sino también de las facilidades de ejecución. Las operaciones topográficas, tan delicadas, se simplifican sensiblemente por la supresión de las curvas, sobre todo en las pendientes del túnel. El avance del broquel, que se opera mediante el empuje de gatos, se efectúa en alineación recta mucho más rápida y fácilmente que en curva, y esto tanto más cuanto mayor sea la longitud del broquel. La parte trasera de éste recubre, por lo menos, dos anillos ya colocados; el broquel sigue, pues, con dificultad un trazado de entubado curvo.

Como se ve en la figura 1, el trazado propuesto por la Sociedad Franki comprende los dos túneles en línea recta, para vehículos y para peatones, en sustitución del trazado curvo del túnel único que estaba previsto por la Sociedad Intercomunal de la Ribera Izquierda del Escalda. Estos trazados en línea recta merecieron la aprobación de la S. I. R. G. E., y son los que se están realizando.

Las obras del túnel para vehículos principiaron el 1.º de marzo de 1931, y las del túnel para peatones, el 28 de junio de 1931. Daremos cuenta de sus principales características.

TÚNEL PARA VEHÍCULOS

Su perfil esquemático está representado por la figura 2, y contiene rampas de 3 1/2 por 100 para la entrada y salida del túnel, y un pequeño trozo con ra-

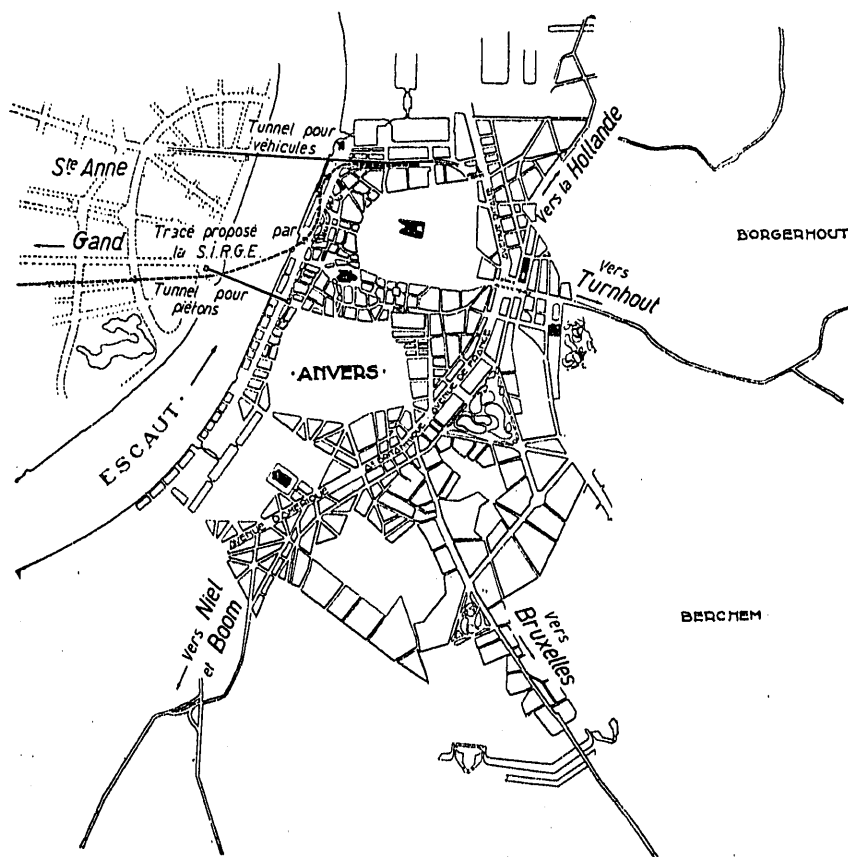


Fig. 1. Plano de situación de los túneles. En línea de puntos, el proyecto de la Administración. En trazo lleno, los trazados en curso de ejecución.

los diversos concursantes, preveían un túnel único, provisto de una calzada central para dos filas de vehículos circulando en sentido inverso y de dos aceras laterales para peatones.

La longitud de este trazado era de 2 806 m; la pendiente admitida era de 3 por 100 como máximo; la anchura de la calzada se fijaba en 6 m, mínimo, y la de las aceras en 1,20 m, mínimo; la altura libre

sante horizontal de 150 metros entre ambas rampas.

Rampas de acceso.—El túnel presenta, en cada una de sus dos extremidades, una rampa de acceso a cielo abierto, de 171 m de longitud.

cho tiene una anchura de 6,75 m, las rampas a cielo abierto comportan una calzada de 9 m de anchura. Esto permitirá desdoblarse a la fila de los vehículos ascendentes, pudiendo los vehículos rápidos

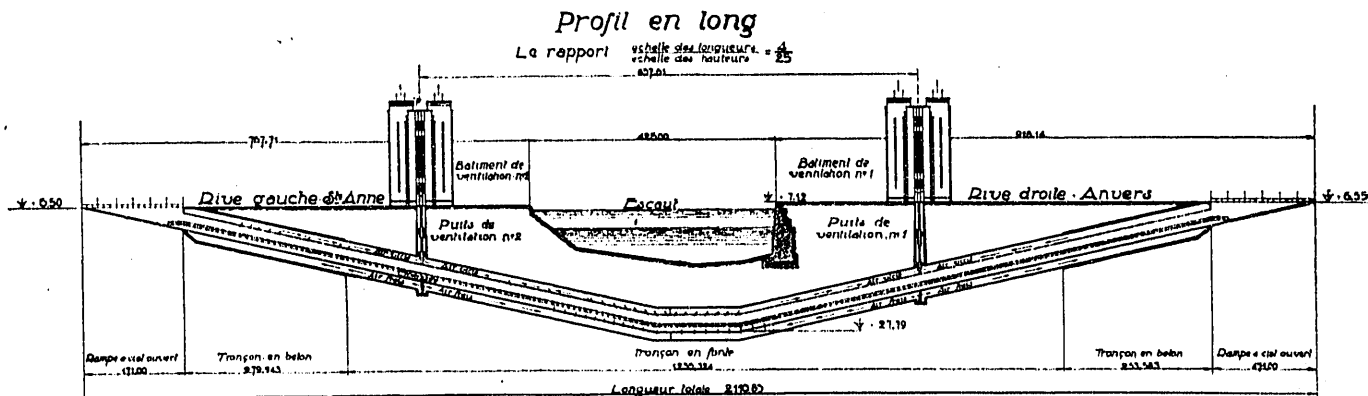


Fig. 2. Túnel para vehículos. Esquema de la ventilación.

Estas rampas se construyen de hormigón armado (figuras 3 y 4).

En vista de la naturaleza del terreno, la rampa de acceso de la orilla izquierda se asienta sobre 320 pi-

destacarse de la fila y salir rápidamente del túnel.

Secciones anulares de hormigón armado.—Sobre cada orilla, un trozo de túnel de sección anular de hormigón armado viene como continuación de las

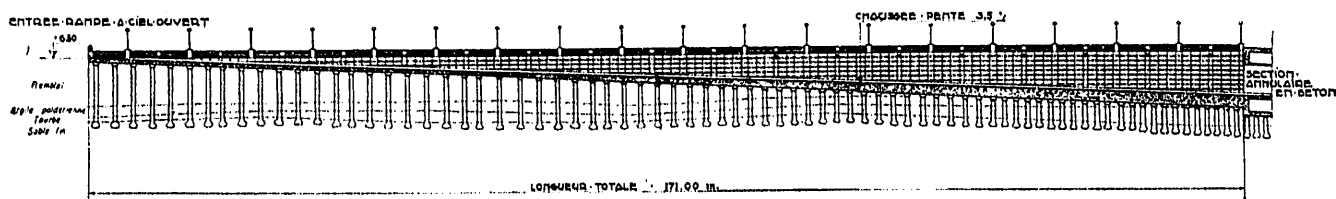


Fig. 3. Corte longitudinal de la rampa a cielo abierto, que constituye la entrada del túnel para vehículos en la margen izquierda

lotes Franki de una longitud que varía entre 4,50 y 9,50 m, calculados para una capacidad de carga de 75 toneladas. Lo mismo se hará en la orilla derecha (figura 3).

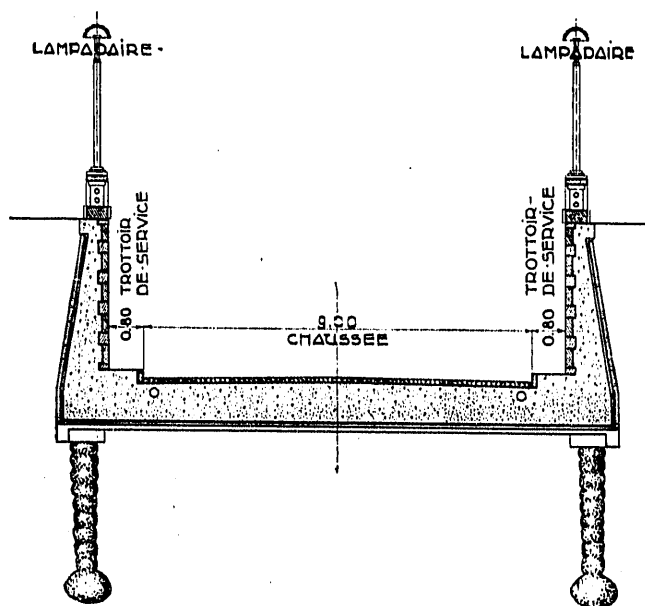


Fig. 4. Sección transversal de la rampa a cielo abierto

La sección de las rampas de acceso a cielo abierto toma la forma de una U. Los muros y el zameado se solidarizan y han sido calculados como tales.

En tanto que la calzada del túnel propiamente di-

rampas de acceso. La longitud de estos trozos, ejecutados a cielo abierto, es de 253 m en la orilla derecha y 280 m en la izquierda; esta longitud ha sido determinada por diversas consideraciones: en la orilla derecha, por la naturaleza del subsuelo y la profundidad límite a que pueden hacerse económicamente excavaciones a cielo abierto, entre tablestacas metálicas; en la orilla izquierda, por los mismos motivos y el plazo de ejecución.

El diámetro interior de estas secciones anulares de hormigón es de 8,70 m (fig. 5).

Al terminar, se procede al relleno de la trinchera.

Tubo de fundición.—Las dos secciones anulares de hormigón están unidas entre sí por un tubo de fundición de una longitud de 1 235 m, colocado a broquel, trabajando por aire comprimido.

El diámetro exterior del entubado es de 9,40 m; el espesor del dovelaje es de 0,35 m; la anchura de los anillos, 0,762 m (fig. 6).

El dovelaje estará relleno interiormente de hormigón.

Disposición interior.—El túnel propiamente dicho se compone, pues, de dos tubos de hormigón armado y de un tubo constituido por anillos de fundición.

El interior del túnel comprende:

1. La calzada, constituida por un forjado de hormigón armado, apoyado sobre viguetas metálicas y recubierto de un adoquinado.
2. El techo, de hormigón armado. La losa que lo constituye irá empotrada por sus extremidades en el hormigón que rellenará interiormente el entubado de fundición o en el cuerpo de las secciones anulares

de hormigón armado. Esta losa será soportada en su centro por una barra vertical de acero inoxidable o de bronce, fijada a la clave del túnel.

3. Una acera, de una elevación de 0,65 m, aproximadamente, sobre la calzada, a la que sólo tendrán

nistran, al nivel de la vía carrozable, el aire traído por el acueducto situado bajo la calzada, y los orificios de escape practicados en el techo, por los cuales el aire viciado escapa al conducto superior. Las bocas de acceso del aire fresco y los orificios de escape del

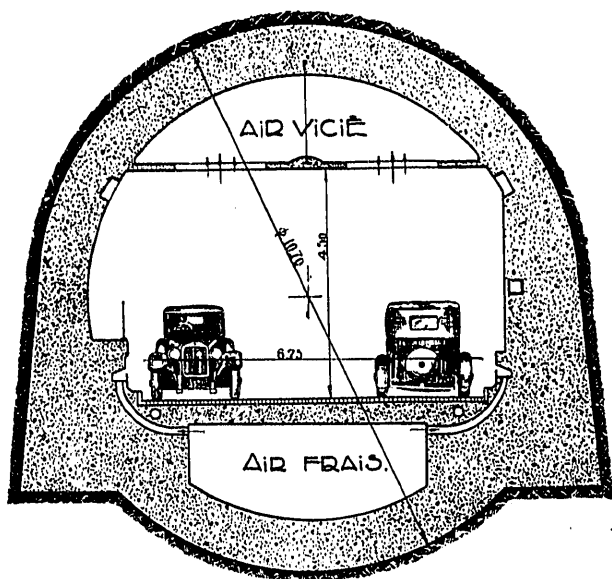


Fig. 5. Sección transversal de la sección anular de hormigón armado

acceso el personal de servicio y los agentes de policía encargados de la vigilancia y de la regulación del tráfico.

4. El acueducto de aire fresco, que ocupa el sector inferior comprendido entre la calzada y el entubado de fundición o el anillo de hormigón.

5. El conducto de aire viciado, comprendido entre el techo y la bóveda del tubo.

La sección del acueducto de aire fresco y la del conducto de aire viciado son lo más grandes posible,

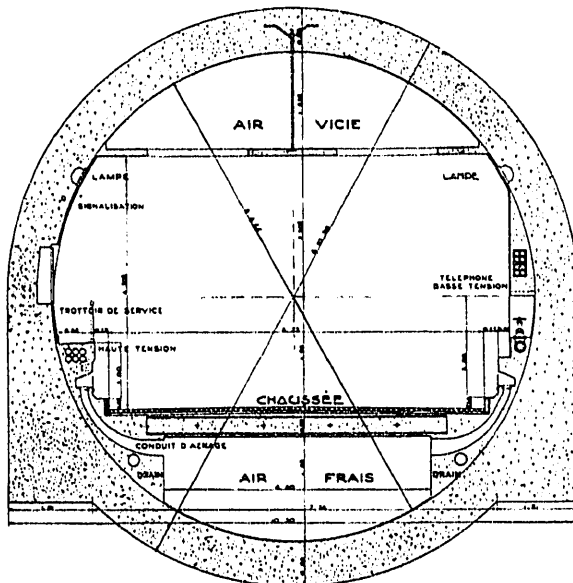


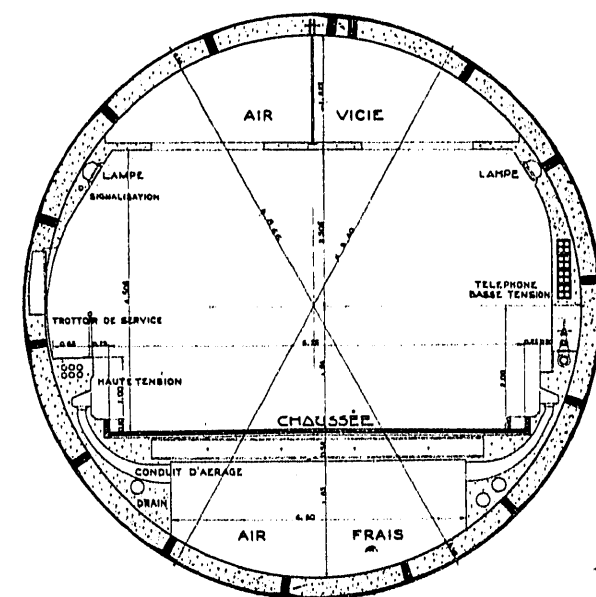
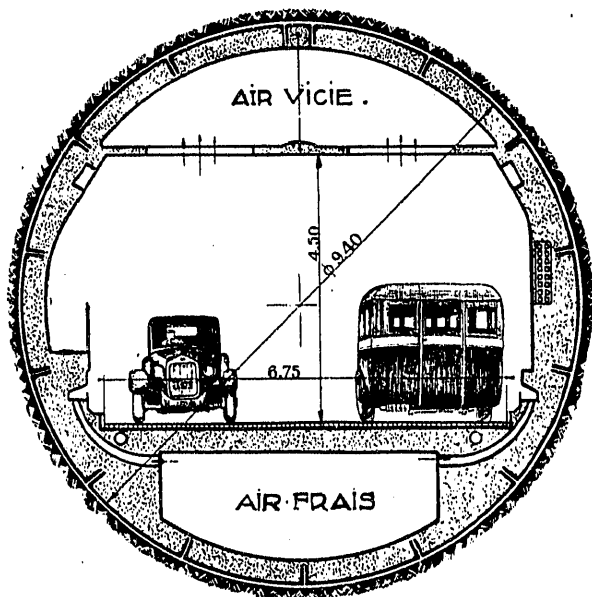
Fig. 6. Sección transversal del tubo de fundición

aire viciado se regulan por un sistema de chapas galvanizadas móviles.

7. Los nichos destinados a los extintores de incendios, a las llaves de toma de agua y a los teléfonos.

8. Las cajas de alumbrado, de fundición esmaltada, empotradas a proximidad del techo en el hormigón de relleno del dovelaje de fundición, o en el hormigón armado que constituyen las secciones anulares.

Los puntos luminosos distan entre sí 8 m, salvo



con el fin de reducir estrictamente al mínimo las pérdidas de carga del aire que por ellos circule y de economizar así hasta el máximo la fuerza necesaria a la ventilación.

6. Las bocas de acceso del aire fresco, que sumi-

cerca de las entradas, donde distan sólo 4 m, pues durante el día hace falta cierto tiempo para que los conductores se acostumbren a la brusca transición del alumbrado natural al alumbrado artificial del tubo. De noche, las lámparas suplementarias insta-

ladas en las entradas del túnel no se encenderán, por no justificarse entonces este refuerzo de alumbrado.

El dispositivo del alumbrado se inspira en la idea general que ha prevalecido durante la elaboración del proyecto del túnel de realizar una solución económica, pero racional, y que no sacrifique la estética. La luz más económica es, incuestionablemente, la luz directa, y, por lo tanto, el aparato elegido responde a esta condición. Pero una luz excesivamente directa hubiera dejado el techo y las paredes en la oscuridad. Para evitar este inconveniente, que hubiese creado un contraste desagradable, se ha practicado un escape lateral de luz, pero en tales límites, que los puntos luminosos no sean deslumbradores. Cuando una fuente de luz es deslumbradora, nuestras facultades

de incendio de un coche, tomar todas las disposiciones propias de la situación.

10. Las canalizaciones para agua de lavado, cables de alumbrado, cables de teléfono, cables de señalización, cables eléctricos de alta y baja tensión, van colocados en el hormigón de la instalación interior del túnel.

Pozos de ventilación.—Los conductos de aire viciado y de aire fresco desembocan en cada orilla del Escalda en un pozo de ventilación, a través del cual pasa el tubo de fundición. Este pozo, de sección rectangular, es de hormigón armado. Comunica con el pabellón de ventilación por medio de conductos subterráneos de hormigón armado.

El enlace de los conductos de aire fresco y de aire

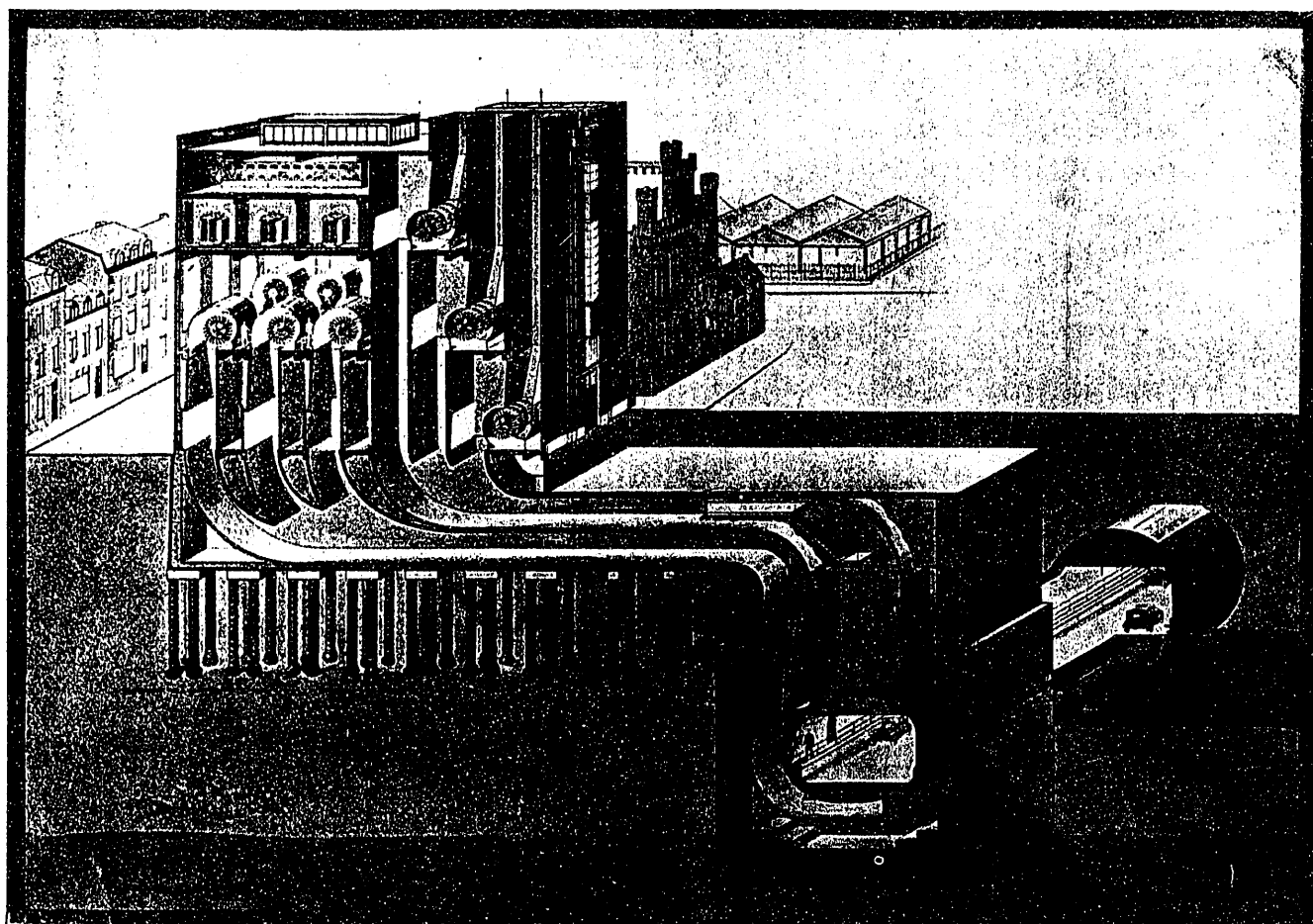


Fig. 7. Sección del pabellón de ventilación, pozo de ventilación y túnel

visuales se resienten hasta el punto que la acuidad visual disminuye en gran proporción. Entonces es indispensable disponer de un alumbrado bastante más intenso que el que sería necesario para distinguir el detalle de los objetos.

Los aparatos elegidos existen corrientemente en el comercio, y responden a las necesidades que acabamos de exponer. Las bombillas serán de 150 vatios; no obstante, si fuese necesario, podrán ser reemplazadas por bombillas de 200 w.

9. El túnel estará provisto de un sistema moderno de señalización.

Para regular el tráfico en el túnel es indispensable disponer de las mismas comodidades que en las arterias principales de la ciudad. Sobre todo es necesario que el personal vigilante pueda, en caso de avería o

viciado, la posición de los conductos que empalman los pozos de ventilación a la tubería y a los pabellones de ventilación han sido estudiados de tal modo, que la resistencia al rozamiento del aire que circula en estos conductos quede reducida estrictamente al mínimo.

Este estudio ha tenido como consecuencia la adopción de conductos de forma complicada, como puede verse en las figuras 7, 8 y 9.

Pabellones de ventilación.—Los dos pabellones de ventilación serán construídos fuera del trazado del túnel. Esto permite tratar su construcción independientemente de la del tubo. Por otra parte, englobando la central de la orilla derecha en las construcciones que existen bordeando el canal de Brasseurs; y la central de la orilla izquierda en las construcciones

de la ciudad futura, se evita la obstrucción de la perspectiva de los bulevares bajo los cuales pasa el túnel.

Los pabellones de ventilación están constituidos por una armazón de hormigón armado, que sirve de entramado a unos muros de fábrica de ladrillo y piedra de sillería y forjados de hormigón armado.

La infraestructura es una obra importante, de una profundidad de 7 m, aproximadamente, que contiene los conductos subterráneos de hormigón armado que establecen la comunicación entre el pozo y el pabellón de ventilación. Los cimientos de la superestructura de los edificios y de los conductos subterráneos se construyen con pilotes Franki en las dos orillas. Es preciso, en efecto, asegurar a estas construcciones un asiento inmovible, de manera a excluir todo peligro de agrie-

Los edificios comprenden, además de las salas de máquinas y el piso de los transformadores, locales para el personal, un laboratorio, un almacén y diversos servicios. La calefacción central y un ascensor completarán esta instalación.

El equipo de las dos centrales está concebido de tal modo, que cada una podrá proporcionar el aire necesario para la mitad de la longitud del tubo.

Este equipo comprende, para cada central, seis ventiladores soplantes y seis aspirantes.

El aire viciado aspirado por los ventiladores será despedido a unas chimeneas verticales, que lo lleva-

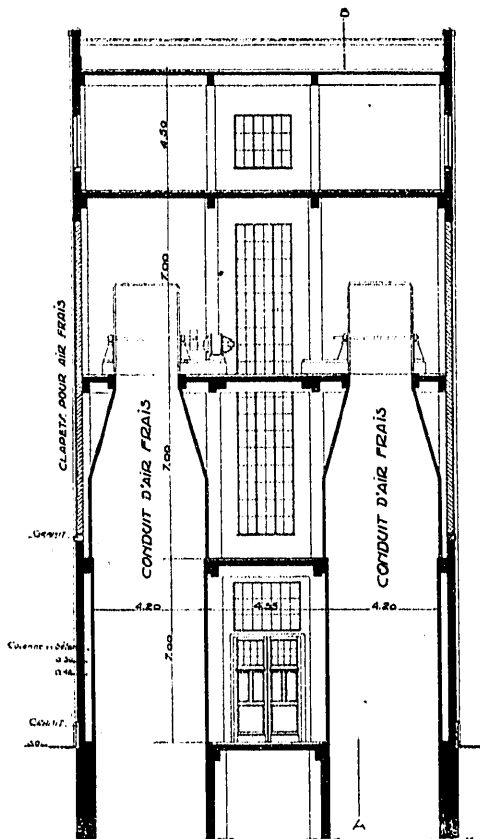


Fig. 8. Corte del pabellón de ventilación

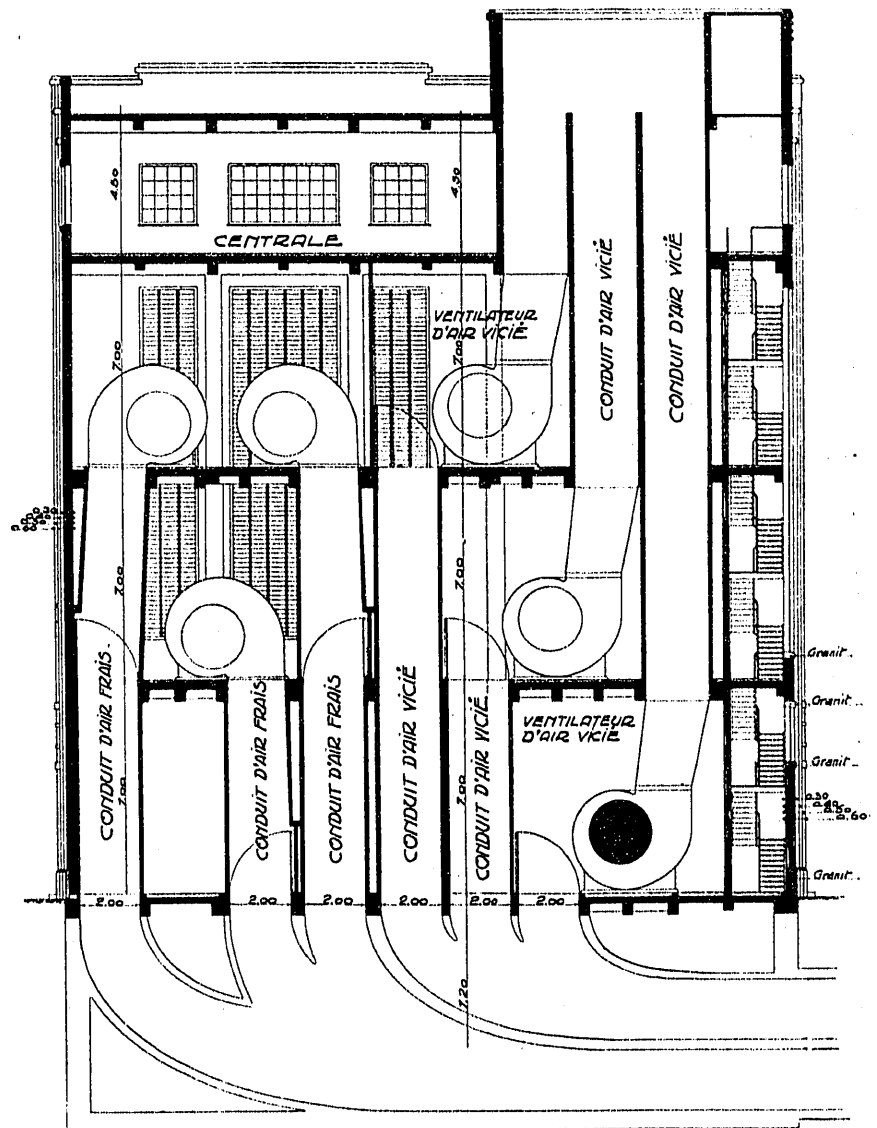


Fig. 9. Otro corte del mismo pabellón

tamiento y de infiltración de agua en los conductos de traída y evacuación del aire.

La impermeabilización de la infraestructura y de los conductos de empalme con los pozos está asegurada por el mismo procedimiento que el empleado para los trozos de hormigón armado del túnel.

Los conductos de traída y de evacuación de aire, situados en la infraestructura de los pabellones, se construirán de hormigón armado, cuidadosamente alisado, y se empalmarán, mediante curvas minuciosamente estudiadas, a los conductos verticales, que son también de hormigón armado, sobre los cuales se enchufan los ventiladores. El espesor de las paredes de los conductos, cuyo desarrollo es considerable, es de 6 cm.

rán al exterior por encima del techo de la central.

El aire fresco necesario para los ventiladores soplantes se tomará en las salas de alimentación. Estas salas lo reciben a su vez por unas aberturas con válvulas practicadas en los muros exteriores del edificio.

Cuando no estén en acción, los ventiladores se aislarán de los conductos por medio de válvulas. Estas estarán, sea completamente abiertas, en caso de funcionamiento del ventilador, sea herméticamente cerradas, cuando el ventilador se encuentre parado (figuras 8 y 9).

Impermeabilización del túnel.—Han sido tomadas especiales precauciones para asegurar la impermeabilidad de la obra.

Para las rampas a cielo abierto y las secciones anulares de hormigón armado, el dispositivo comprende lo siguiente:

a) Bajo el zampeado, una capa de hormigón rico, un enlucido; después, una membrana de impermeabilización pegada con betún puro; luego, una fábrica de protección colocada con mortero de cemento, y, finalmente, un enlucido.

b) Para las paredes, un enlucido, una membrana de impermeabilización fijada sobre la capa de cemento por medio de betún, una fábrica de protección, un enlucido y, finalmente, un embadurnado de betún.

La membrana de impermeabilización está hecha de betún puro, adicionado de un determinado porcentaje de betún procedente de la destilación de la hulla, para asegurar la conveniente ductilidad; una delgada trama de yute sirve de armadura a esta membrana.

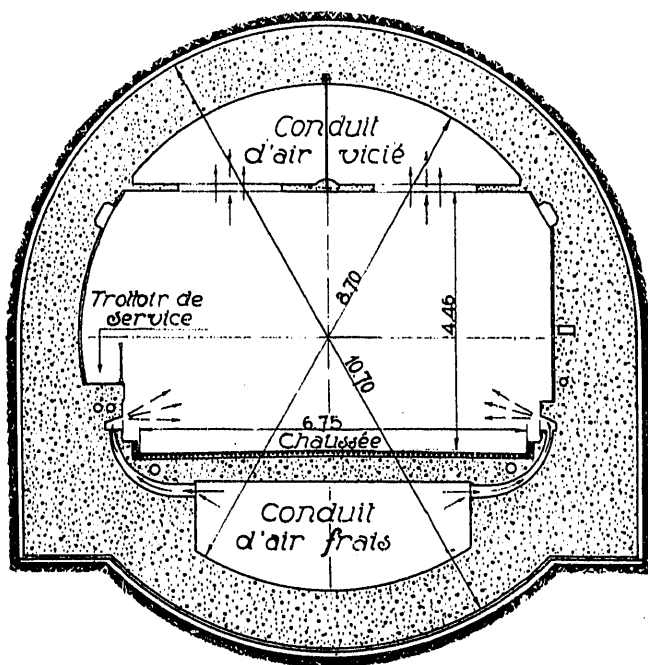


Fig. 10. Túnel para vehículos, sección anular de hormigón armado. Esquema de la ventilación

La impermeabilización del tubo de fundición se asegura por diversos medios.

Las cuatro caras en contacto de las dovelas están alisadas y untadas con una solución bituminosa. Los bordes interiores de las dovelas van provistos de ranuras de 30 mm de profundidad y 10 mm de anchura, en las cuales se retacan neumáticamente unos cordones de plomo después de la colocación del entubado. Las dovelas están todas provistas de un agujero fileteado con un corcho. Tras la colocación, se procede a inyectar en el terreno, primero, grava; luego, cemento mezclado con arena.

Estas inyecciones tienen, además, como consecuencia, la de llenar el vacío que pudiera subsistir en la cara exterior del entubado colocado, vacío que corresponde al espesor de la parte trasera del broquel.

Agotamiento de las aguas.—Un pozo sumidero ha sido previsto en el trozo subfluvial. Estará constituido por un tubo de fundición formando cuerpo con el entubado del túnel. Este pozo sumidero recogerá

las aguas del lavado del túnel y, eventualmente, las que se infiltraran a través del entubado.

Por otra parte, es indispensable recoger las aguas de lluvia que caen sobre las rampas de acceso a cielo abierto. A este efecto, cada uno de los dos pozos de ventilación va provisto de un sumidero, que recibe, además, las aguas recogidas en el sumidero subfluvial. Las aguas se evacúan en el alcantarillado de la ciudad o en el Escalda.

Dos drenes longitudinales conducen las aguas a los tres sumideros citados.

Las bombas de agotamiento, calculadas minuciosamente, estarán constituidas por tres grupos de motobombas capaces de elevar 150 m^3 por hora y por grupo. Normalmente, dos bombas serán las que funcionen; la tercera servirá en caso de avería. Debe anotarse que, siendo necesaria una potencia de 300 metros cúbicos por hora para la evacuación de las aguas, se han elegido dos bombas de 150 m^3 por hora en lugar de una sola de 300 m^3 , con el fin de obtener

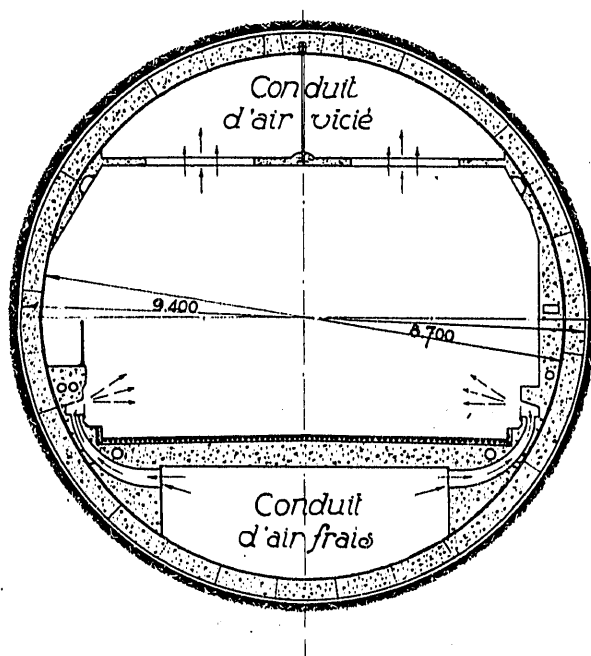


Fig. 11. Túnel para vehículos, sección entubada de fundición. Esquema de la ventilación

mayor rendimiento en los casos más corrientes de funcionamiento de las bombas. Estas son del tipo centrífugo multicelular, y su manejo estará sometido a un reglamento minucioso, disponiendo de un cuadro de señalización luminosa.

Obras accesorias.—Los revestimientos interiores de los túneles se realizarán con baldosas cerámicas, sometidas previamente a numerosas experiencias, para que puedan resistir, no sólo las grandes heladas, sino su porosidad y su resistencia a la flexión.

MATERIALES

Para dar idea de la importancia de la obra, indicaremos las cantidades aproximadas de los principales materiales que han de necesitar estos túneles.

Dovelas de fundición para entubado	30 000 t
Pernos, tuercas y arandelas para el ensamble de las dovelas... ..	1 210 t

Plomo para el retundido de las juntas de las dovelas...	86 t
Grava para hormigón armado...	40 000 m ³
Grava para inyecciones...	3 000 m ³
Arena para hormigón armado...	20 000 m ³
Cemento para hormigón armado...	17 000 t
Cemento para inyecciones...	5 000 t
Viguetas para el entramado de la calzada...	800 t
Membrana de impermeabilización...	29 400 m ²
Ladrillos para protección de esta membrana...	29 400 m ²
Baldosines cerámicos...	12 700 m ²
Adoquines...	15 000 m ²
Tuberías diversas...	10 550 m

En el mismo orden de ideas damos las indicaciones siguientes:

Excavaciones a cielo abierto (desmonte entre taludes)...	162 500 m ³
Excavaciones a cielo abierto (desmonte entre tablestacas)...	56 900 m ³
Excavaciones en subterráneo (con broquel)...	87 000 m ³
Tablestacas metálicas...	2 000 t

VENTILACIÓN

En un túnel destinado a la circulación de vehículos automóviles adquiere importancia excepcional la ventilación, para impedir que la atmósfera, saturada de gases de escape de gasolina y mazout de los vehículos, sea rápidamente irrespirable para sus conductores y viajeros y personal de vigilancia y limpieza del túnel.

Ha sido, pues, un nuevo problema, que ha exigido numerosas experiencias y estudios, para determinar el procedimiento de ventilación y la potencia de los motores que han de producirla.

Se decidió la elección del sistema de ventilación transversal inyectando el aire fresco en la galería inferior, de donde irradia sobre la calzada por medio de tubos, representados en las figuras 10 y 11. En cambio, el aire viciado se evacua por la galería del techo, donde actúan las bombas aspirantes.

La ventilación se ha calculado para un tráfico de 1 000 vehículos por hora, pero los ventiladores y el equipo eléctrico se han previsto para un tráfico de 2 000 vehículos por hora.

ESTUDIO GEOLOGICO DEL TERRENO

Mediante veinticuatro sondeos, con profundidades de 28 a 21 m, se estableció con gran precisión el corte geológico del terreno atravesado por el túnel para vehículos, que está constituido por diferentes capas de espesores variables de arenas finas y arcillas, de composición y pastosidad también diferentes. La constitución de este subsuelo exige, pues, el empleo del aire comprimido por medio de broqueles para la ejecución del subterráneo, en la parte que se encuentra bajo el lecho del río Escalda.

EJECUCIÓN DE LOS TRABAJOS

Las obras comenzaron el 1.º de abril de 1931, y se les ha concedido un plazo de mil días, o sean cuarenta meses. Este plazo perentorio obliga a la Compañía Franki a una organización muy completa y minuciosa, y a la adopción de medios auxiliares poderosos. Resumiremos sucintamente los métodos de ejecución que se han empleado en cada una de las secciones características de la obra.

En las rampas de acceso que desde ambas márgenes desembocan en el túnel, las excavaciones ejecutadas en grandes capas de arena impregnadas de agua exigieron obras previas de saneamiento del subsuelo por rebajamiento de las capas acuíferas mediante pozos, en los que poderosas bombas rebajaban el nivel del agua¹.

Igual saneamiento del suelo se realiza en una gran parte del túnel de hormigón armado. La determinación de la longitud de los tres tipos de obra—rampas a cielo abierto, túnel de hormigón armado y túnel con entubado de fundición—ha sido objeto de un detenido estudio comparativo desde el punto de vista económico, y a cada una de estas partes de obra, que pudieron comenzarse simultáneamente, se aplicaron procedimientos y medios auxiliares diferentes².

TÚNEL PARA PEATONES

Ya dijimos al principio de este artículo que la Compañía Internacional de los pilotes Franki, adjudicataria de estas obras, había conseguido modificar el primitivo proyecto, separando el túnel para peatones

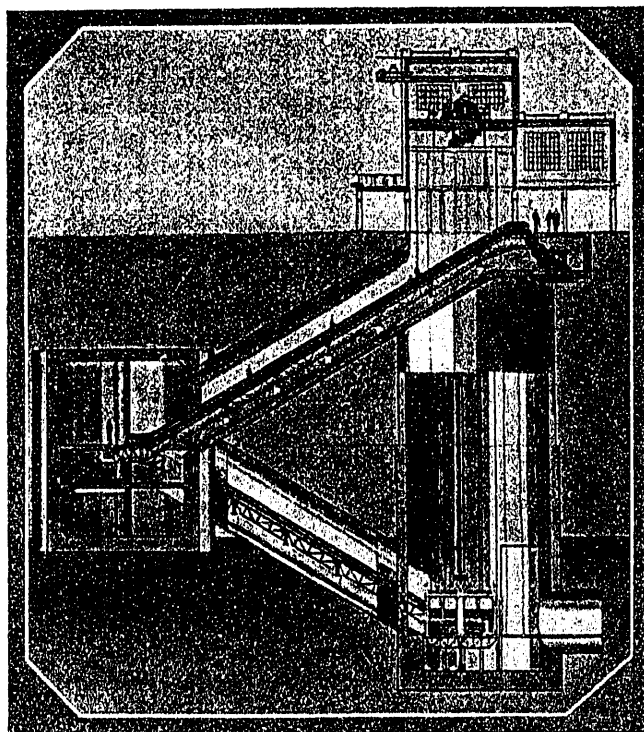


Fig. 12. Disposición general del ascensor y de la escalera rulante

tones del de vehículos, que acabamos de describir. El túnel de peatones no ha ofrecido grandes dificultades de ejecución por su menor diámetro y longitud, reduciendo las proporciones de medios auxiliares.

Sin embargo, ha dado ocasión al empleo de procedimientos de consolidación del suelo por congelación, que se han empleado con gran éxito para atravesar

¹ Describimos este sistema de saneamiento en la página 205 de nuestro tomo segundo de *Puentes de fábrica y hormigón armado*.

² Para no alargar indefinidamente este artículo, aconsejamos a los ingenieros a quienes interesen los detalles de ejecución de estos túneles lean los artículos de la revista *La Technique des Travaux*, en los números de junio, julio y septiembre de 1932.

las capas de arena acuífera que se encuentran sobre la capa de arcilla en la que se perfora totalmente la galería subterránea (fig. 12)¹.

* * *

Como conclusión de este desaliñado, aunque prolijo artículo, debo hacer constar la admiración que me ha producido la perfecta y racional organización

¹ En los números de diciembre de 1932 y enero de 1933 de la revista *La Technique des Travaux* se enumeran con detalle todos estos trabajos.

llevada a cabo, el método científico con que se han calculado los más insignificantes elementos, los procedimientos originales a que se ha recurrido para vencer los obstáculos inherentes a tan rápida terminación de las obras exigida a la contrata. La ejecución de los dos túneles bajo el Escalda es una de las obras más atrevidas y difíciles de su clase, y me ha dado mayor impresión de dificultad que la que pude observar en la construcción de algunos de los túneles del Metropolitano en París, bajo el río Sena.

Son, pues, obras que honran a la importante Compañía Internacional de los Pilotes Franki.

J. EUGENIO RIBERA

Determinación de la altura de la presa al redactar el proyecto de un pantano

Mi deseo en el presente artículo es no más que describir el método que el que suscribe sigue al estudiar el proyecto del pantano de "La torre de Abraham", que será alimentado por el río Bullaque, afluente del Guadiana. He sido movido a escribirle por considerar de gran interés, para las obras actualmente en estudio, el tenerlo en cuenta para la redacción de proyectos de pantanos.

Ya mi ilustre profesor, el Sr. Gómez Navarro, en su reciente obra *Salto de agua y Presas de embalse*, al hablar de la fijación de la capacidad de un pantano, dice que está relacionada con las circunstancias orográficas de la cuenca inmediatamente aguas arriba de la presa (vaso del pantano), régimen hidráulico de la cuenca alimentadora, objeto del embalse, coste de la obra para distintas alturas de presa, etc.

Lo que se pretende, con el procedimiento que en seguida paso a desarrollar, es dar las normas prácticas para, teniendo en cuenta todas estas circunstancias, fijar la capacidad del embalse del pantano que se está proyectando, ya que, siendo sólo una la capacidad que constituya la solución óptima, cualquier pantano construido con otra podría causar un perjuicio a la economía nacional.

Al hacer esta exposición voy a hacer la aplicación a un pantano del tipo que tengo en estudio, y ya citado anteriormente.

El fundamento radica en representar, por medio de curvas, todas las características de la presa a construir en la cerrada de que se trata, para deducir, de todas ellas, una curva final que nos representará las condiciones económicas del pantano.

Hay una curva, que se construye en todos los proyectos, que es la que caracteriza las condiciones orográficas del vaso: es una curva que, teniendo por abscisas las alturas de embalse, tiene por ordenadas las capacidades correspondientes y adquiere una forma general del tipo I (gráf. 2).

Tomados los datos taquimétricos del vaso y hecho el plano correspondiente, cubicando hasta las distintas curvas de nivel se obtienen las ordenadas de la curva citada.

A su vez, podemos construir otra curva que nos ligue las alturas de embalse con los costes totales de

construcción del pantano, que caracterizará las condiciones económicas de la cerrada y que se determinará por puntos, hallando los costes totales para distintas hipótesis de altura de presa; así podemos obtener un punto por cada variación de una determinada magnitud del nivel de embalse.

La construcción de esta curva, que podría parecer un punto vulnerable del procedimiento, no lo es, ya que sus puntos no hay que determinarlos más que con cierta aproximación; y ¿qué es lo que se hace sino fijar con gran precisión uno de los puntos de esta curva III (gráf. 2), al redactar el presupuesto del proyecto de un pantano de dimensiones determinadas, y que deben ser las de la solución óptima?

Este coste total está formado por varios sumandos, que son: coste de presa, aliviaderos, desagües profundos, expropiaciones, desviación de caminos ya existentes, etc.; de todos ellos el más importante es la presa que, siendo del tipo de gravedad, como en el pantano del Bullaque, motiva que la curva adquiera la forma III (gráf. 2).

Por último, hay una tercera curva característica, representativa del régimen hidráulico de la cuenca alimentadora, que tiene por abscisas los volúmenes de agua disponibles al año, una vez construido el pantano, y por ordenadas, las capacidades de embalse que para ello se requiere.

Esta curva IV, es consecuencia de la conocida curva de caudales acumulados y de la de gastos acumulados.

Sea la curva *oo'* del gráfico 1 la de caudales acumulados obtenida de los aforos efectuados durante once años y con una aportación media anual de 68 000 000 de m³. Suponemos que este período se repetirá indefinidamente.

La curva IV (gráf. 2), que deseamos obtener, está limitada por dos puntos que son sus extremos; el origen supone la utilización del caudal mínimo que pasa por el río, y será nulo si el río deja de correr algún instante, y el terminal, determinado por una regulación completa del mismo, y constituye, por tanto, un aprovechamiento máximo. El extremo superior puede venir determinado también por el límite de la extensión de la zona regable susceptible de ser utilizada. Esto no tiene lugar en nuestro caso,