

REVISTA DE OBRAS PÚBLICAS.

MADRID, 15 DE ABRIL DE 1892.

4.ª Serie.

Tomo 10.

Número 7.º

AÑO XL DE LA PUBLICACIÓN.

SUMARIO.

El túnel de la Argentera. Tratado de construcción de túneles.—Memoria que manifiesta el estado y progreso de las obras de mejora de la ría de Bilbao durante el año económico de 1890 á 1891. SUMARIO DEL BOLETIN.—Sistema seguido para transformar el túnel del Mill of Ash en trinchera.—Noticias.—Bibliografía.—Parte oficial.—Adjudicaciones.—Movimiento del personal de Obras públicas.

EL TÚNEL DE LA ARGENTERA

TRATADO DE CONSTRUCCIÓN DE TÚNELES (1)

(Continuación.)

CAPÍTULO SEGUNDO

CONSIDERACIONES GENERALES SOBRE TÚNELES Y SU APLICACIÓN AL DE ARGENTERA

Observación preliminar.—Conforme ya indicamos en la *Introducción*, vamos á tratar en este capítulo de todas aquellas consideraciones que, aunque de carácter muy general, es conveniente dar á conocer para que esta obra, no sólo sea una descripción de las obras del túnel de Argentera, sino una exposición completa de los principios que deben informar la construcción de los túneles en general.

ARTÍCULO I.—Consideraciones varias.

Dificultades que ofrece la construcción de los túneles.—Los túneles, sobre todo cuando son de longitud considerable, son las obras que más dificultades presentan en la construcción de los ferrocarriles, por cuanto en primer lugar, es preciso trabajar con luz artificial, y, por consiguiente, el obrero desarrolla menos esfuerzo útil que á la luz del día; en segundo lugar, porque es preciso dar al obrero aire respirable, ya que el que se encuentra

(1) Véase la REVISTA del 30 de Marzo de este año, pág. 89.

en el fondo de los pozos ó galerías no lo es, debido no sólo al consumo que del mismo hacen los operarios y caballerías que trabajan en su interior, sino también, y más principalmente, á los gases que se desarrollan con la explosión de los barrenos y en la combustión de las lámparas; en tercer lugar, porque es preciso dar salida á las aguas, que á veces se presentan de pronto y en tan grandes cantidades, que hasta ponen en peligro la seguridad de los obreros; en cuarto lugar, porque ocurren desprendimientos que producen desperfectos y entorpecimientos en la marcha de los trabajos, y por la necesidad de entibar y también revestir simultáneamente con la perforación; en quinto lugar, por el calor que se nota en el fondo de las galerías; y, finalmente, porque á veces hay que luchar también con desprendimientos de gases mefíticos, que obligan á tomar extraordinarias medidas de precaución.

Posición que debe darse á los túneles.—Las dificultades que la construcción de los túneles importantes ofrecio, según acabamos de indicar ligeramente en el párrafo anterior, demuestran que es de la mayor importancia conocer la posición que debe darse á estas obras para aminorar todo lo posible los inconvenientes señalados.

Si el terreno donde debe establecerse un túnel presenta notables diferencias en su constitución geológica, convendrá que aquél atraviese las capas fuertes y secas para evitarse los inconvenientes de las aguas y de las entibaciones, sin colocar, empero, el túnel en las más duras para no dificultar grandemente su perforación.

Otra condición que se debe procurar satisfacer, es la de que el túnel sea lo más corto posible (1), lo que equivale á decir que ha de ser en recta y normal á la divisoria que ha de atravesar.

Otra condición importantísima y capital en los destinados á atravesar las grandes y elevadas cordilleras, es la de que el túnel pase por debajo de los puntos más bajos del terreno, á fin de disminuir todo lo posible el calor interior y acortar la altura de pozos y longitud de galerías auxiliares en el caso de que aquél deba ejecutarse por este procedimiento.

Y finalmente, deben prolongarse todo lo posible las trincheras de entrada y salida del túnel, sin pasar por esto de ciertos límites, para acortar así la parte construida en subterráneo.

(1) Para satisfacer á esta condición no debe en manera alguna colocarse el túnel de modo que sus bocas ó parte de su trazado venga á quedar debajo del fondo de los talwegs ó corrientes, sobre todo si la naturaleza del terreno pudiera dar lugar á que las aguas filtrasen en el túnel, lo que quizá ocasionaría grandes dificultades en la perforación, agotamientos y revestimientos.

Muchos túneles, en los que no se ha tenido presente esta condición, han dado lugar á obras costosísimas, y es indudable que hubiera sido preferible variar la situación del túnel, aunque con esto se hubiese aumentado su longitud

Otras varias condiciones hay que tener presentes al fijar la posición de un túnel; pero por estar íntimamente ligadas con las relativas al trazado, trataremos de ellas en el capítulo siguiente, sin perjuicio de insistir también, con más detalles, sobre las ya expuestas.

Se comprende la dificultad que existe siempre de satisfacer á la vez todas las condiciones enunciadas, siendo forzoso, en cada caso particular, dar la preferencia á las que se impongan por circunstancias especiales de localidad ó de trazado.

Altura de desmonte á que convendrá entrar en túnel.—La última de las condiciones que hemos indicado, y que debe satisfacerse al determinar la posición de un túnel, es la de prolongar todo lo posible los desmontes de acceso al mismo. Esto nos conduce á determinar hasta qué punto esta prolongación es conveniente, ó, lo que es lo mismo, ¿cuál es la altura de desmonte á que convendrá entrar en túnel?

Desde luego se comprende que esta altura es sumamente variable y que depende de multitud de circunstancias, que trataremos de dar á conocer.

En primer lugar, parece lo más lógico determinar esta altura de manera que el coste de la obra resulte un mínimo.

Llamemos P el precio del metro lineal de túnel; p el coste del metro cúbico de desmonte á cielo abierto; l el ancho de la explanación; $\frac{1}{t}$ la pendiente de los taludes del desmonte, y x la altura que se busca.

Es evidente que desde el punto de vista que se considera, será conveniente entrar en túnel cuando el coste del volumen de un metro lineal de desmonte sea igual al precio de un metro lineal de túnel, revestimiento inclusive.

El volumen de un metro lineal de desmonte es el que indica la expresión

$$lx + \frac{1}{2} x \frac{x}{t} + \frac{1}{2} x \frac{x}{t} = lx + \frac{x^2}{t}$$

y, por lo tanto, la ecuación que nos dará x , será

$$P = \left(lx + \frac{x^2}{t} \right) P$$

en la que se conoce aproximadamente el valor de P , p , l y t .

Decimos que se conoce aproximadamente el importe de los valores P , p , l y t , porque es imposible determinarlos exactamente, por cuanto muchas veces no se pueden evaluar hasta que se ha terminado una obra. Además, aunque se fijaran dichos valores, tampoco sería posible resolver

esta ecuación de una manera exacta, por cuanto todos ellos están íntimamente relacionados entre sí. Así, por ejemplo, si se trata de un terreno muy duro, el coste de la excavación por metro cúbico será mayor; pero en cambio los taludes podrán tener menor inclinación, y el volumen del desmante por metro lineal ser mucho menor.

Hay además que tener en cuenta otra consideración, y es, que aunque el precio por metro lineal de túnel—para una cierta sección y terreno—sea poco variable, si se prolonga mucho el túnel hace que el precio de los metros centrales del mismo aumente considerablemente, y en este caso es evidente que aunque fuese más barato el precio de un metro lineal de túnel que el de un metro de desmante, sería preferible éste á aquél, pues en definitiva disminuirá el coste total de la obra.

Con objeto de ver, desde el punto de vista económico, la altura real de desmante á que conviene entrar en túnel, apliquemos la fórmula anterior á cuatro casos prácticos, suponiendo siempre que el precio del metro lineal del túnel sea de 525 pesetas, y que el ancho de la explanación sea de 6^m,40, es decir, que

$$P = 525 \quad \text{y} \quad l = 6,40$$

Estudiaremos sucesivamente los cuatro casos siguientes:

Primer caso: Terreno muy duro.—Taludes de $\frac{1}{5}$ de base por 1 de altura = $p = 3$ pesetas.

Segundo caso: Terreno duro.—Taludes de $\frac{1}{3}$ de base por 1 de altura = $p = 2$ pesetas.

Tercer caso: Terreno flojo.—Taludes de $\frac{1}{2}$ de base por 1 de altura = $p = 1,50$ pesetas.

Cuarto caso: Terreno muy flojo.—Taludes de 1 de base por 1 de altura = $p = 1$ peseta.

Aplicando estos valores á la fórmula de referencia, se obtienen los resultados siguientes:

$$\text{Primer caso:} \quad 525 = \left(6,40 x + \frac{x^2}{5}\right) 3; \quad x = 17,63 \text{ metros.}$$

$$\text{Segundo caso:} \quad 525 = \left(6,40 x + \frac{x^2}{3}\right) 2; \quad x = 20,05 \text{ metros.}$$

$$\text{Tercer caso:} \quad 525 = \left(6,40 x + \frac{x^2}{2}\right) 1,50; \quad x = 20,82 \text{ metros.}$$

$$\text{Cuarto caso:} \quad 525 = (6,40 x + x^2); \quad x = 19,93 \text{ metros.}$$

Se ve, pues, que la altura de desmante en que convendrá entrar en túnel desde el punto de vista económico, varía de 17,63 á 20,82 metros. Sin embargo, en la práctica casi nunca conviene alcanzar semejantes alturas, porque pasando de 15 metros son fáciles los desprendimientos, que aumentan considerablemente el valor del desmante, además de constituir un peligro constante para la marcha de los trenes una vez la línea en explotación. Esto sin contar que además del valor del desmante, hay que tener en cuenta el de los revestimientos que pueden ser necesarios y el del terreno (1).

Hay además muchos casos en que no conviene llegar ni siquiera á la cuota de 16 metros, por haber antes escurrideros ó pequeñas barrancadas que para pasarlas en desmante seria preciso construir caídas de agua ó acueductos; por existir caminos que darian lugar á la construcción de desvíos ó pasos superiores; por la proximidad de edificios que seria preciso fortificar; por la de acantilados que ocasionarian una constante vigilancia para evitar la caída de rocas sobre la vía; por las malas condiciones del terreno, que haciendo desmante puede dar lugar á corrimientos del mismo, etcétera, etc.

En cambio, podrá darse el caso de que sea preferible pasar de la referida altura, como, por ejemplo, si hubiese de hacerse algún préstamo, etcétera, etc.

En el túnel de Argentera, la cota del desmante en la boca de entrada es de 7,40 metros, y en la de salida de 13,75; la primera cota es debida á existir un escurridero que en épocas de lluvias trae grandes cantidades de agua y que convenia, por consiguiente, pasar en túnel.

Reconocimiento del terreno.—Lo que hemos dicho al tratar de la *posición que debe darse á los túneles*, demuestra que, antes de emprender su construcción, hay que practicar un detenido reconocimiento del terreno, tratando de averiguar la naturaleza y disposición de las capas que lo forman y la cantidad de agua que probablemente se encontrará. Si el reconocimiento ocular del terreno no da bastantes datos, es conveniente hacer algún sondeo ó perforar una pequeña galería de ensayo. Sin embargo, preciso es confesar que estas dos últimas precauciones casi nunca se toman en la práctica, debido en parte á que muchas veces las condiciones generales del trazado de la línea implican ya una posición determinada para el túnel, ó

(1) No podemos menos de llamar la atención del lector sobre este punto, porque la experiencia nos ha enseñado que en muchos terrenos, aun en aquellos que son duros de desmontar, se presentan en épocas de lluvias desprendimientos importantes que, para asegurar la explanación, exigen, ó bien grandes muros de sostenimiento ó revestimiento, ó la ejecución de túneles á cielo abierto. En la sección 5.ª de la línea de la Zaida á Reus se nos han presentado numerosos ejemplos de esta naturaleza.

bien porque la precipitación y forma en que es preciso contratar, ejecutar y terminar las obras, no da tiempo para hacer dichos ensayos. Y no obstante, si éstos se hicieran, no habría que lamentar después la ejecución de costosas obras de defensa ó el abandono de trozos de líneas ya en explotación.

ARTÍCULO II. — Puntos de ataque de un túnel.

Consideraciones generales.—Cuando un túnel es de pequeña longitud, ó cuando, siendo de longitud considerable, no se fija tiempo para perforarlo, se comprende que bastan sus dos bocas como puntos de ataque; pero si se trata de un túnel largo, y sobre todo cuando se fija un tiempo corto ó determinado para su apertura, no hay más remedio que, ó atacar por las bocas con la perforación mecánica, ó atacar el túnel por otros puntos intermedios entre las bocas; esto es, por medio de pozos ó galerías. Ahora bien; como la perforación mecánica lo mismo puede emplearse en las bocas que en los pozos y galerías, y no constituye en definitiva más que un medio para activar la perforación, cualquiera que sean los puntos de ataque que se adopten, resulta que, desde el punto de vista que estudiamos, un túnel puede atacarse por los sistemas siguientes:

- 1.º Por las bocas solamente.
- 2.º Por las bocas y por pozos intermedios.
- 3.º Por las bocas y por galerías auxiliares; y
- 4.º Por las bocas y pozos y galerías.

Surgen de aquí varias cuestiones, que son:

¿Cuándo será necesario acudir al empleo de nuevos puntos de ataque además de las bocas? ¿Son preferibles los pozos ó las galerías? ¿Qué distancia deberá mediar entre los puntos de ataque intermedios? ¿Cómo deberán situarse los pozos y galerías en el terreno?

Estudiemos sucesivamente estas cuestiones.

Necesidad de nuevos puntos de ataque además de las bocas.—Designemos por L la longitud del túnel que se trate de perforar, y por T el tiempo que en el contrato se fije para la terminación del túnel. Dada la clase de terreno en que aquél se deba perforar, se conocerán aproximadamente los coeficientes de avance diarios en cada clase de terreno, así como también se conocerá el tiempo t' y t'' que se empleará en desmontar las trincheras de entrada y salida antes de entrar en túnel, y el tiempo t''' que se necesita para completar el stross y los revestimientos una vez hecha la perforación de la galería de avance. En este supuesto

$$T = (t' \text{ ó } t'' + t''') = t$$

será el tiempo realmente disponible para la perforación, y si a y b designan los coeficientes de avance en cada boca

$$\frac{t}{a + b} = L'$$

será la longitud de la galería que podrá perforarse en el tiempo fijado en el contrato. Si L' es superior á L , no hay necesidad de nuevos puntos de ataque; si, por el contrario, es inferior, entonces es preciso aumentar aquel tiempo, y si por consideraciones de otro orden esto no es posible, entonces es cuando se impone la necesidad de obtener nuevos puntos de ataque.

Claro está que antes de decidirse por nuevos puntos de ataque hay que examinar si es preferible conservar sólo el ataque por las bocas, sustituyendo la perforación ordinaria por la mecánica. Pero ya hemos dicho que ahora sólo suponemos que se trata de la primera y después nos ocuparemos de esta cuestión.

Para acelerar, pues, la construcción de un túnel, no hay más que una cosa que hacer: multiplicar los puntos de ataque de la galería de avance, lo que se obtiene abriendo en el plano vertical del túnel ó lateralmente al mismo, pozos ó galerías que bajan hasta el nivel de aquél, y cada uno de los cuales da lugar á dos nuevos puntos de ataque. Es por estos pozos ó galerías que se hace la extracción de los escombros y de las aguas, así como la entrada de los materiales y la circulación de los operarios.

Elección entre pozos y galerías.—Es muy difícil precisar si son preferibles las galerías ó los pozos para activar la construcción de un túnel, pues por regla general esto depende de la configuración del terreno y de las demás circunstancias locales; pero de todos modos cada uno de dichos medios tiene sus ventajas é inconvenientes, que vamos á indicar, y que dependen especialmente de si los pozos se ponen en el eje del túnel ó fuera de él, y de la mayor ó menor inclinación de las galerías. De manera que vamos á considerar las ventajas é inconvenientes de:

- 1.º Pozos verticales situados en el eje del túnel.
- 2.º Pozos verticales colocados fuera del eje del túnel.
- 3.º Galerías inclinadas de mucha pendiente.
- 4.º Galerías horizontales ó de poca pendiente.

Los pozos verticales situados en el eje del túnel tienen las ventajas siguientes:

- 1.ª Se refieren bien al interior los puntos de la superficie, prolongándose por lo tanto fácilmente las alineaciones dentro del túnel.
- 2.ª Los transportes se hacen fácilmente.

En cambio presentan los inconvenientes siguientes:

- 1.º A veces se hace difícil la prolongación de las alineaciones exteriores

del túnel, por impedirlo las construcciones que se colocan en la boca del pozo.

2.º La unión de la parte superior del túnel con la inferior del pozo ocasiona dificultades en terrenos malos.

3.º Los operarios que circulan por el túnel están expuestos á la caída de cualquier aparato, herramienta ó piedra de los pozos.

4.º Se conmueve el terreno situado encima del túnel y son más probables los desprendimientos si se trata de terrenos malos

5.º Es más difícil desviar las aguas del punto de los trabajos.

En los pozos verticales desviados y unidos al túnel por medio de una galería transversal de 6 á 8 metros de longitud, se evitan los inconvenientes que se acaban de indicar; pero, en cambio, se pierden las ventajas de los pozos verticales situados en el eje del túnel, y sobre todo los transportes son más difíciles, porque hay que pasar desde la galería principal á la transversal, para lo cual hay que disponer una plataforma giratoria ó una curva de pequeño radio.

Por esta razón, y teniendo en cuenta que varios de los inconvenientes señalados para los pozos situados en el eje del túnel se pueden remediar, conforme indicaremos más adelante, el sistema que generalmente se aplica, cuando se emplean pozos, es colocarlos en el eje del túnel, y esto es lo que hemos hecho en el de Argentera. Sin embargo, no estamos convencidos de que este sistema sea el preferible, y si tuviéramos que perforar otro gran túnel con el sistema de pozos, quizá los colocaríamos fuera del eje, para conocer así prácticamente las ventajas é inconvenientes de esta solución.

Independientemente de la posición en que se colocan los pozos respecto al eje del túnel, presentan todos, en general, los inconvenientes siguientes:

1.º Su profundidad es limitada, pues en la práctica se admite hoy que para un pozo de túnel, la profundidad de 300 metros es un máximo que no debe excederse, porque con profundidades semejantes la ejecución se hace muy difícil, muy larga y muy costosa. Es cierto que se han proyectado pozos de mucha más profundidad, como, por ejemplo, en uno de los proyectos del túnel del Simplón, en que figura un pozo de 680 metros y otro de 1.000 metros de profundidad; pero hasta ahora, que sepamos, jamás se ha construido para túneles ninguno que exceda de la profundidad de 300 metros (1).

2.º Cuando el obrero trabaja en el fondo de un pozo muy profundo, no está jamás seguro: el más ligero desprendimiento, una piedrecita que se

(1) El presupuesto de 900.000 francos que el distinguido Ingeniero suizo M. Meyer, autor del referido proyecto del Simplón, asigna á cada uno de dichos pozos, nos demuestra que no ha estado acertado al proponer la construcción de dichos pozos, ó por lo menos que es completamente ilusorio dicho presupuesto.

desprende y cae de gran altura, un cubo mal cargado que choca al subir, una señal mal comprendida, un descuido de la brigada colocada en la boca del pozo, una entrada repentina de las aguas, etc., etc., constituyen otras tantas causas que en cada instante pueden determinar la muerte del obrero y que le colocan en una especie de contracción moral y bajo una continua aprensión que paralizan sus fuerzas y retrasan su trabajo.

3.º El obrero, en el fondo de un pozo, no puede disparar los barrenos, entrar ni salir del pozo, ni hacer ningún movimiento sin la ayuda de los operarios colocados al exterior, lo que empeora todavía el estado moral de su ánimo.

4.º El trabajo de perforación debe suspenderse cada vez que se consolida una parte cualquiera del pozo, que se prolonga la tubería del ventilador ó de la bomba, etc., etc.

5.º Una pequeña cantidad de agua basta para cubrir el fondo del pozo, y entonces la perforación se efectúa siempre en el agua y en medio de escombros fangosos.

Todas estas circunstancias hacen que las pérdidas de tiempo aumenten más y más, que el trabajo marche más lentamente y que la ejecución se haga más difícil á medida que los pozos se profundizan.

Por estas razones, los largos túneles que pasan á muy grandes profundidades debajo de las altas cordilleras, no deben, por regla general, construirse por medio de pozos, y si es conveniente su construcción, lo es para otros usos, pero no para adelantar la perforación.

El sistema de ataque por galerías no tiene los inconvenientes señalados para los pozos, porque una galería es siempre más fácil de perforar que un pozo, por larga que sea; en ella el obrero es más dueño de sus movimientos; puede salir y entrar sin ayuda de nadie; puede alejarse cuando se da fuego á los barrenos y acercarse enseguida; le es fácil ponerse al abrigo de la caída de los cuerpos que pueden rodar accidentalmente por la galería; su trabajo no está tan impedido por las aguas; las obras de consolidación y la instalación de aparatos á lo largo de la galería, pueden efectuarse sin disminuir el trabajo de perforación, etc., etc. Pero se comprende que todas estas ventajas de las galerías sobre los pozos son tanto más sensibles cuanto menor es la inclinación de las galerías, y que, por lo tanto, estas ventajas se traducen en mucha mayor longitud de galería que de pozo, y tan considerable puede ser esta diferencia, que compense en tiempo y coste los inconvenientes de los pozos.

La mayor pendiente que puede darse á una galería es la de dos de base por uno de altura, y con esta pendiente ya resulta la galería de doble longitud que la que tendría un pozo, y es preciso también valerse de aparatos especiales para hacer la extracción de escombros, y, por consiguiente, no

pueden sacarse de la galería todas las ventajas inherentes á este sistema. Es decir, que para aplicar las galerías, conviene que la pendiente no exceda de la que permite sacar los escombros por los medios ordinarios, y entonces—como no sea porque la disposición de las secciones transversales del terreno lo permitan—la longitud de la galería sería por lo menos ocho ó diez veces la profundidad del pozo, siendo ya éste preferible.

En cambio, en los grandes túneles, que no permiten la aplicación de pozos, porque deberían tener éstos profundidades de 300 á 1.000 metros, sería factible el procedimiento de las galerías inclinadas, y darían éstas tanto mejores resultados si se aplicase el sistema de Toni Fontenay, que consiste en galerías inclinadas que por medio de bifurcaciones convenientemente dispuestas, permiten multiplicar, á voluntad, los puntos de ataque, como indica la figura 1.^a de la lámina 127

Las galerías de poca pendiente es evidente que sólo pueden aplicarse con ventaja cuando el túnel va por una estribación y es fácil llegar á él por medio de una galería horizontal ó más bien con pendiente descendente, para que las aguas salgan al exterior.

La elección, pues, entre los pozos ó galerías de uno ú otro sistema, dependerá de las circunstancias, consignando que en la práctica lo que más se emplea son los pozos situados en el eje del túnel y las galerías de poca pendiente.

Distancia y situación de los puntos de ataque.—La distancia y disposición de los pozos y galerías por los que se quiere activar la perforación de un túnel, dependen principalmente de las condiciones siguientes:

1.^a De la configuración del perfil longitudinal, y también, á veces, de los transversales, cuando se deben emplear galerías inclinadas.

2.^a De los coeficientes de avance en pozos y galerías en el terreno que se presume encontrar—coeficientes que se conocen por la práctica—y del tiempo fijado para la terminación de la obra.

3.^a De los datos geológicos, esto es, de la naturaleza de las formaciones que debe atravesar el túnel, conocidos por los afloramientos y sondeos.

4.^a De la facilidad del aprovisionamiento de materiales y de otros detalles, como la construcción de caminos de acceso, la dificultad de establecer instalaciones, etc., etc.

5.^a Que se quiera que sea un mínimo el costo de la obra ó que se imponga alguna otra condición por el estilo.

Del conjunto y combinación de estas condiciones se debe deducir la distancia y posición de los puntos de ataque, teniendo además presente, para hacer esta determinación, que el avance de la perforación, sea en pozos, sea en galerías, es en la práctica independiente de la superficie de la sección de ataque, y que á ser posible, los pozos y galerías deben calcularse

de manera que, empezándose todos los ataques á la vez, se concluyan todos los trabajos al mismo tiempo.

Estudiemos, pues, por separado cada una de estas cuestiones.

Determinación de los puntos de ataque en virtud de la forma del terreno.—El examen del perfil longitudinal, sirve desde luego para fijar el tiempo mínimo de la duración del trabajo, é indica asimismo que en cierta parte del perfil es imposible colocar pozos, toda vez que de hacerlo se necesitaría más tiempo para perforarlos que para construir el túnel mismo.

El perfil longitudinal de un túnel es de forma muy variable; sin embargo, es muy usual que dichos perfiles afecten como forma de conjunto la figura de un triángulo ó la de un cuadrilátero, que puede reducirse sensiblemente á la de un trapecio, como indican las figuras 2.^a y 3.^a de la lámina 127. En este caso, la figura del perfil longitudinal nada dice respecto al número y situación de los puntos de ataque, y puede afirmarse que este número depende principalmente de las demás condiciones que hemos dicho deben tenerse presentes al resolver este problema.

Pero además de estas dos formas generales de perfiles, existen varias otras que, por decirlo así, resuelven ellas mismas el problema: tal sucede en las figuras 4.^a y 5.^a de la lámina 127, en que los puntos *p* constituyen posiciones designadas de antemano, si satisfacen además á las condiciones geológicas de que luego hablaremos, y si su distancia á la boca más próxima ó al ataque intermedio más cercano les permite ser utilizados de una manera sensible, construyendo por ellos un trozo apreciable de galería de túnel.

(Se continuará.)

MEMORIA

QUE MANIFIESTA

EL ESTADO Y PROGRESO DE LAS OBRAS DE MEJORA DE LA RÍA DE BILBAO

DURANTE EL AÑO ECONÓMICO DE 1890 Á 1891

PUERTO EXTERIOR

Dijimos en las Memorias anteriores que, por Real orden de 25 de Octubre de 1888, fué adjudicada á D. Félix Allard la contrata del rompeolas, que constituye la obra fundamental del puerto exterior, en la cantidad de 20.476,964 pesetas, ó sea con una baja de 8 por 100 próximamente, respecto al presupuesto de 22.257.571 pesetas y 47 céntimos, que sirvió de