

APLICACION DE LA GEOLOGIA AL ESTUDIO DE UN PRESUPUESTO PARA LA CONSTRUCCION DE UNA CARRETERA

Por FEDERICO MACAU VILAR,
Ingeniero de Caminos

Con gran claridad describe el autor el método seguido por él mismo para estudiar el precio del movimiento de tierras en la construcción de una carretera en Gran Canaria, que consideramos realmente muy interesante.

Presentación.

En la zona costera de Gran Canaria, aproximadamente en la parte centro-oriental de su costa norte, se ha redactado un proyecto para la construcción de una autopista de 7 Km. de longitud.

En dicho proyecto figura para las excavaciones sólo un precio medio aplicable al conjunto del movimiento de tierras.

El autor del presente trabajo fué encargado de estudiar el presupuesto de dicha carretera, y por ser precisamente el movimiento de tierras una de las unidades de la obra de más peso en el conjunto del presupuesto, se tuvo éste que estudiar con mucho cuidado; para ello se hizo un estudio geológico, al objeto de obtener con todo detalle los elementos necesarios para el cálculo del precio del coste medio de las excavaciones.

Para conseguir dicho objeto se empezó primeramente por hacer un detenido reconocimiento del terreno, obteniendo varios perfiles geológicos transversales, de cuya composición resultó el perfil geológico longitudinal del trazado de la carretera.

Partiendo de dicho perfil se clasificaron los volúmenes de las excavaciones según las analogías de la naturaleza del subsuelo, calculándose luego el tanto por ciento que había de cada tipo de terreno, para hacer con ellos la composición del precio medio.

Como puede verse en el presente trabajo, además del objeto concreto que lo motivó, se obtienen también útiles e interesantes datos sobre los materiales locales de posible aplicación para la construcción de la futura obra a realizar, así como para hacer el *planning* de suministros y organización de la misma.

Por creer de interés el desarrollo del proceso de dicho estudio y como ejemplo de aplicación de la Geología a la Ingeniería, damos a continuación un resumen del mismo, que se compone de:

- 1.º Estudio geológico del trazado y descripción de los perfiles transversales obtenidos sobre el terreno.
- 2.º Perfil geológico longitudinal del trazado.

3.º Clasificación de los volúmenes de excavación según el tipo de terreno.

4.º Composición del precio medio resultante para el movimiento de tierras.

1.º Estudio geológico del trazado.

Las islas del archipiélago canario y en particular la de Gran Canaria, están asentadas sobre una base de rocas intrusivas arcaicas del tipo de las precámbricas del Sáhara español; a través de esta base, en el transcurso del tiempo, han salido a la superficie enormes cantidades de otros materiales, en una serie ininterrumpida de erupciones que, superponiéndose, han ido formando todo el complejo aparato volcánico externo que forma cada isla.

Circunscribiéndonos a la isla de Gran Canaria, la naturaleza de estos materiales ha ido variando, pasando sucesivamente por varios ciclos de basicidad y acidez en estrecha correspondencia con los movimientos de emergencia y hundimiento sufridos por el continente africano.

En esta zona que nos ocupa, la isla ha sido muy afectada por los últimos movimientos consecuentes a la orogenia Alpina que tuvieron lugar durante el Terciario, principalmente desde principios del Mioceno.

Estos movimientos, ocurridos, como es sabido, en la corteza terrestre durante esta última orogenia, repercutieron en especial en el bloque isleño de Gran Canaria y fueron la causa de múltiples hundimientos y corrimientos en su aparato volcánico externo, principalmente en sus bordes, de por sí en equilibrio inestable por la exagerada altura alcanzada por las sucesivas aportaciones del interior en relación con la menguada extensión superficial en planta del mismo, que aun hoy roza los 2 000 m. de altura, sobre una base casi circular de sólo 45 Km. de diámetro.

Muestras de estos hundimientos y corrimientos los encontramos varias veces a lo largo del trazado de la carretera proyectada, como veremos más adelante.

Los materiales estudiados, que en él se encuentran, y su posición y postura relativa, nos sitúan geológicamente en un terreno en su mayor parte de edad miocénica, formado por rocas efusivas de la serie ácida del Terciario en muchos puntos cubiertas por nuevas coladas de la serie básica moderna correspondientes al Pleistoceno y Holoceno.

La carretera proyectada es la continuación, bordeando la costa, de la que actualmente va desde el Puerto de la Luz, por la bahía del Rincón, hasta el barranco de Tenoya, para enlazar desde este punto con el Km. 23 de la carretera de Las Palmas a Mogán, pasado el barranco de Bañaderos.

En el tramo ya construido, o sea hasta el barranco de Tenoya, en los cortes de los desmontes que ha habido que hacer, se reconocen con toda claridad la sucesión de las distintas capas del Mioceno, formadas por fuertes bancos sedimentarios (marinos) con las de las cineritas puzolánicas (canto blanco en el país) sobre otras formaciones intercaladas de fonolitas y traquitas, pertenecientes todas a la serie ácida moderna (perfiles geológicos G-1 y G-2), coronados en su parte superior por tres o cuatro coladas básicas de basaltos, en esta zona todas ya post-miocénicas y cuaternarias.

Estas coladas han protegido de la erosión al sedimentario inferior, por lo que se presenta en un alto escarpado de unos 175 m. de altura, bordeando la línea de la costa.

En los cortes de estos desmontes se ven, sin afectar a los basaltos superiores, numerosas líneas de rotura (esquema geológico G-1) correspondientes a las últimas manifestaciones de la orogenia alpina que quebró los terrenos ya formados produciendo buzamientos de hasta 10° hacia el NE. en las capas horizontales de los sedimentos y coladas terciarias, apreciándose asimismo diques verticales de poco espesor, de basaltos cuaternarios, que subieron luego inyectados a través de ellas, especialmente en estas zonas de dislocación.

Estas capas van perdiendo altura relativa, con la carretera, al subir la rasante de ésta al acercarse al barranco de Tenoya donde empieza el nuevo trazado.

El trazado proyectado pasa en este primer tramo por encima y entre los basaltos post-miocénicos que en el barranco de Tenoya están directamente sobre las fonolitas en las que dicho barranco ha labrado su cauce, quedando los basaltos adosados a sus márgenes formando plataforma, a semejanza de pequeñas terrazas (esquema G-2).

En la margen izquierda del barranco de Tenoya estos basaltos están cubiertos por otra colada más moderna, ya cuaternaria, coronada por una capa de conglomerado del mismo material procedente del moderno volcán que forma la Montaña de la Rosa, según se representa en el mismo esquema G-2.

Para cruzar el barranco de Tenoya hay proyectado un viaducto cimentado sobre el basalto post-

miocénico, perfil longitudinal entre perfiles 9-21 G-3, y pasado este primer tramo, el trazado discurre a media ladera de las estribaciones del Cabezo de la Rosa, cuyo núcleo miocénico ha sido atravesado por las erupciones más modernas que lo han recubierto en parte con capas de más o menos espesor de basalto y casi todo él por un manto de lapilli, en algunas zonas travertinizado, lo que le da cierta fijeza en el terreno, sin llegar, sin embargo, a darle consistencia.

Estas coladas han resbalado por la ladera antigua, suavizando los acantilados de la línea de costa, correspondiente al último período interglacial (Riss-Würn) cálido, que estaba aproximadamente de 50 a 80 metros más elevada que la actual.

Esta misma formación se sigue en todo el trazado hasta el barranco de Arucas, si bien en su última parte han desaparecido, por efectos de la erosión, las capas superiores del mioceno, del que perduran finos lentejones, quedando las traquitas directamente en la base de los basaltos post-miocénicos y más modernos, perfil 81 del trazado G-5.

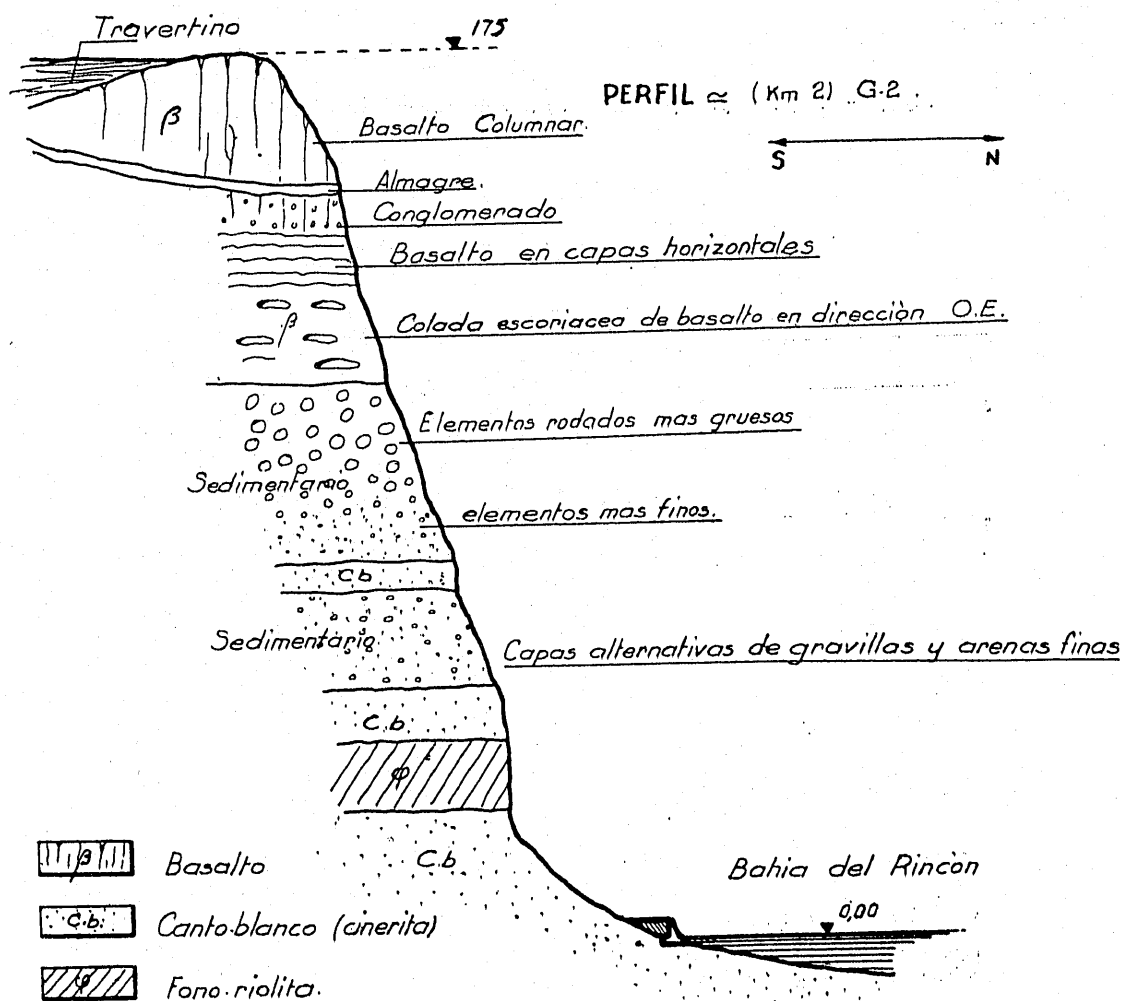
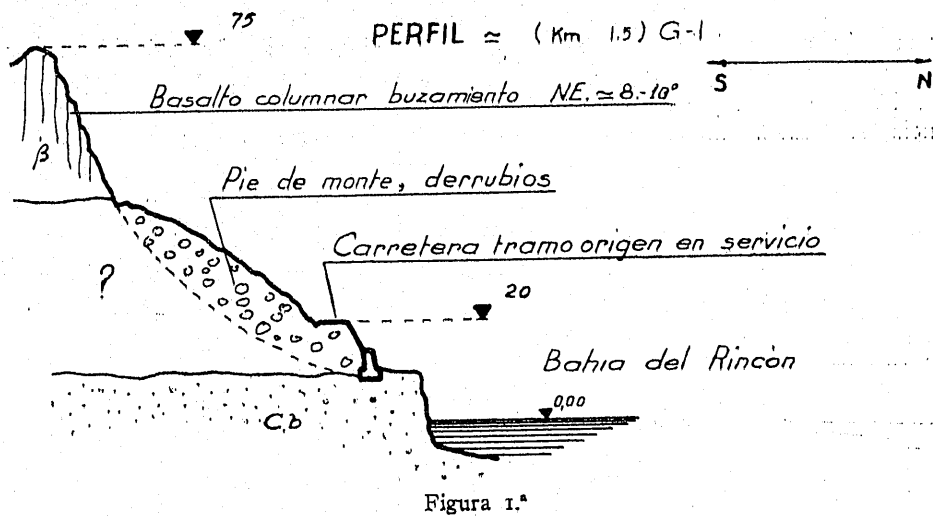
Pasado el barranco de Arucas también las traquitas van disminuyendo de potencia hasta desaparecer, dejando que los basaltos modernos hayan corrido directamente sobre las cineritas puzolánicas (canto blanco y tobas amarillas) más inferiores, a las que no llega a alcanzar la rasante de la carretera, que sigue discurriendo a través de las coladas basálticas modernas.

Algunas de estas erupciones básicas han sido de mayor importancia, dando un gran contingente de basalto (muy olivínico), que ha avanzado hacia el mar antes o durante el último período interglacial, lo que ha dado lugar a la formación, encima del mismo, de una terraza que no es más que restos fósiles de una playa cuaternaria, hoy a unos 35 a 50 metros sobre el nivel actual del mar. En algún punto, la carretera atravesará dicha playa fósil y en ella hay buena arena caliza que contiene gran cantidad de fósiles del cuaternario, siendo los géneros más abundantes los *Patella*, *Murex*, *Serpulas*, *Ostreas*, *Balanus*, *Fusus*, etc., etc. (perfil G-6 y 7).

Por el barranco de Cebolla sigue discurriendo el trazado a media ladera, muy arrimado al actual acantilado, en algún punto algo desecho por las barranqueras y la acción del oleaje, que suele ser muy fuerte, y debajo del formado en el basalto post-miocénico durante el citado interglacial último (perfiles transversales 95 y 106, G-8 y G-9).

Entre ambos acantilados quedan los derrubios y restos del cuaternario formando capas terrosas travertinizadas, en las que aparecen abundantes nidos fósiles de *Atráfora*.

Más adelante el terreno se accidenta topográficamente por la superposición de varias coladas modernas a través de las cuales el barranco de Cardones



Figs. 1.ª y 2.ª — Perfiles geológicos G-1 y G-2, en el tramo ya construido.

Estos mantos basálticos, aunque algunos son de fuerte consistencia, son fácilmente vulnerables por

Atravesada esta zona de basaltos modernos y ac-

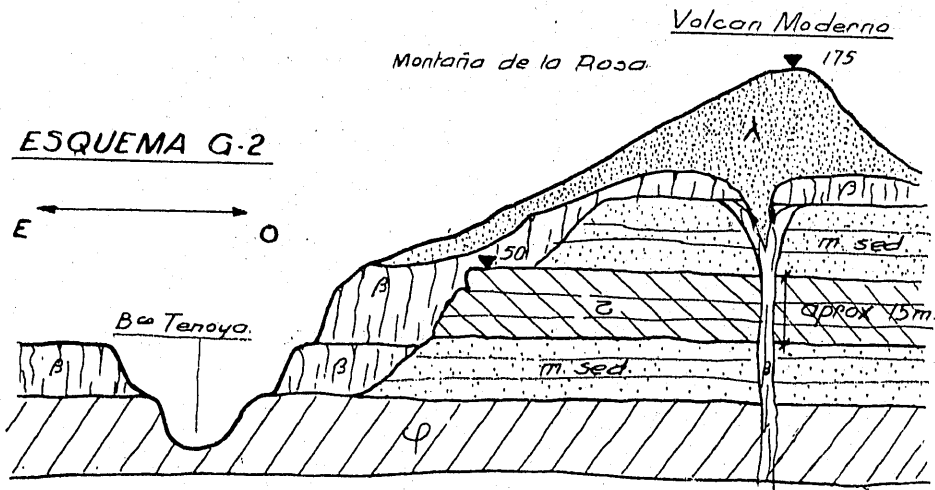
Capas alternativas de sedimentos finos y otros mas gruesos

1 m.

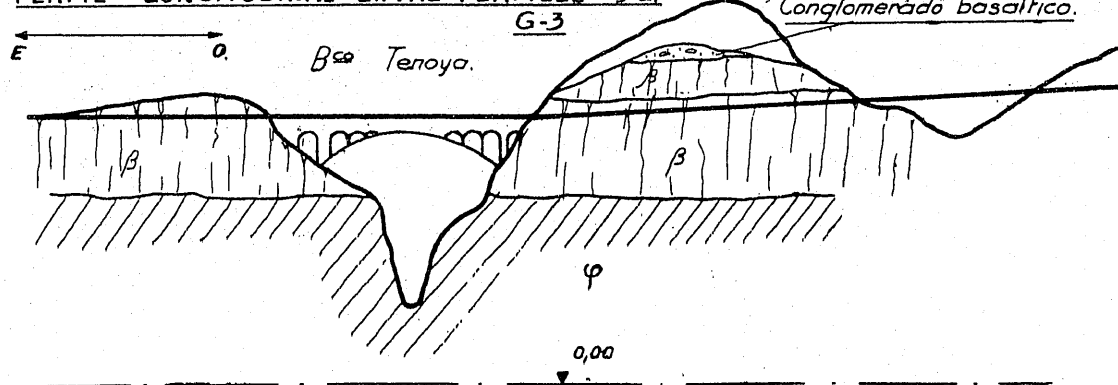
Dique basáltico post-mioceno

C.b

Carretera



PERFIL LONGITUDINAL ENTRE PERFILES 9-21



ESCALAS { V = 1:1000
H = 1:2000

Fig. 5.^a — Corte geológico longitudinal por el trazado al cruzar el Barranco de Tenoya, entre los perfiles 9 al 21, G-3.

PERFIL TRANSVERSAL P.55 G-4

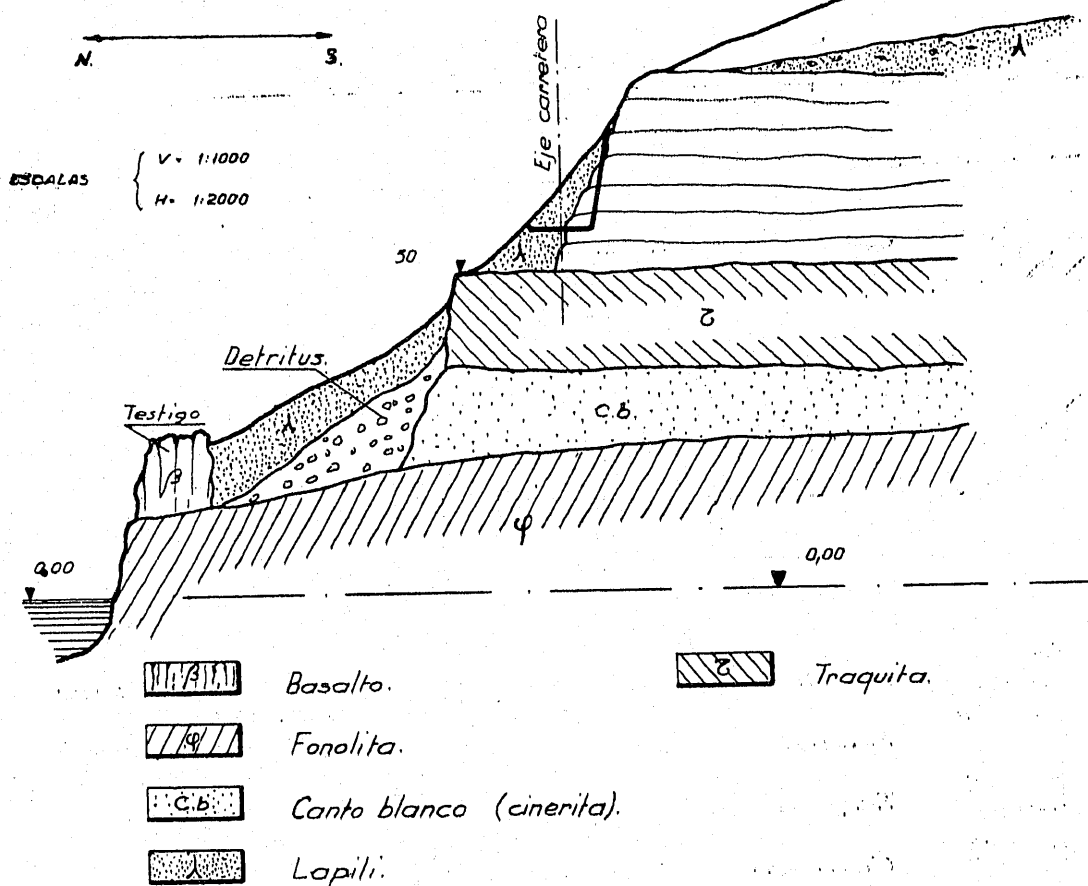


Fig. 6.^a — Perfil geológico G-4; perfil transversal núm. 55.

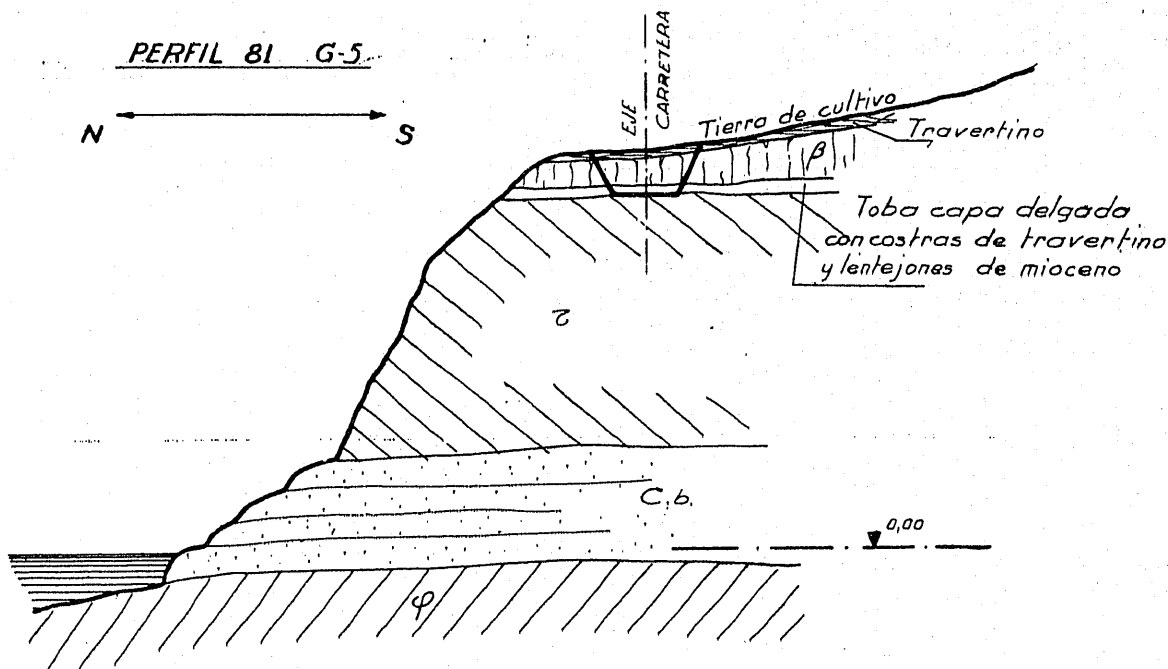


Fig. 7.^a — Corte geológico G-5; perfil transversal 81.

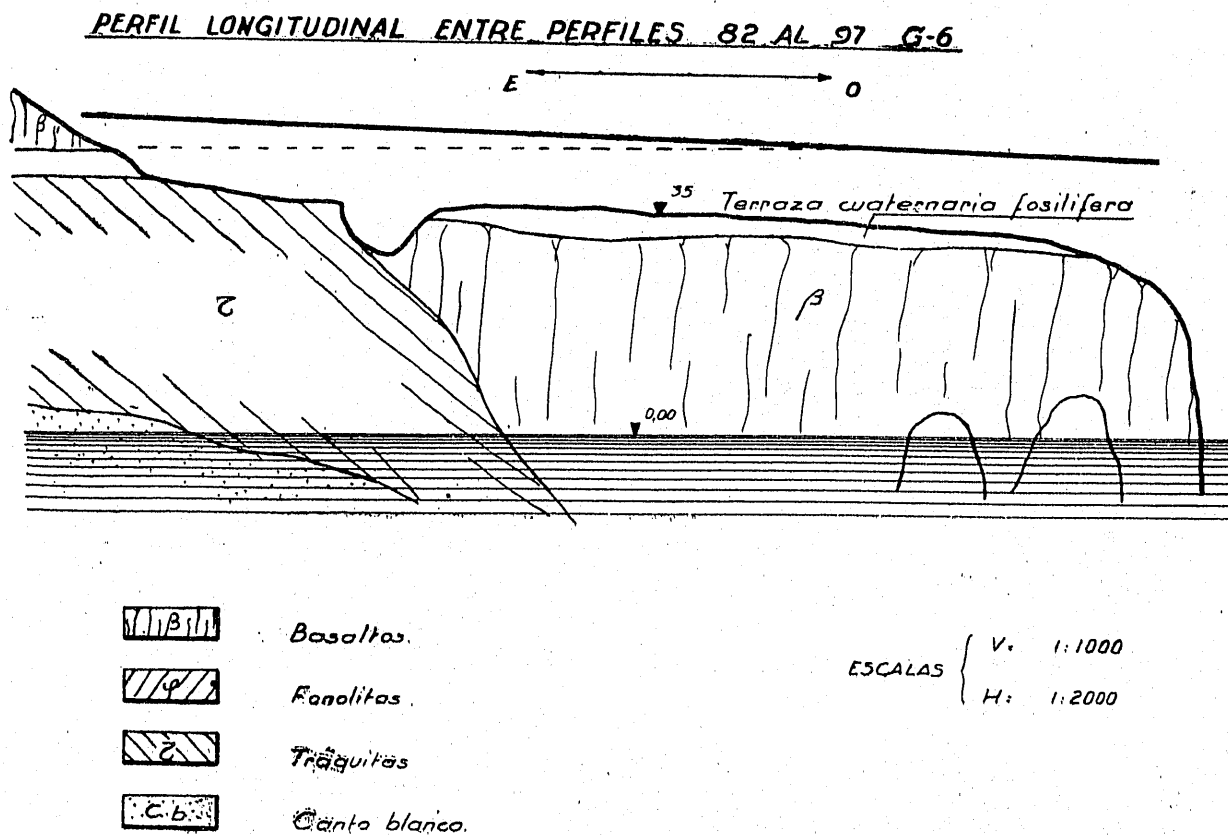


Fig. 8.^a — Corte longitudinal G-6, entre perfiles 82 al 97.

tuales, que en alguna hondonada se presentan en forma de lapilli suelto, se llega a la zona del Guincho (perfil transversal 150, G-11), estrecho brazo de mar que entra profundamente en tierra aprovechando una de las más importantes líneas de rotura y falla de esta zona, en la que el mar ha dejado al descubierto, en acantilados de 70 a 80 metros, a las fonolitas in-

semifundidos, englobados y digeridos en un barro ácido incandescente, quedando al enfriarse una masa brechoide (perfil longitudinal entre perfiles 158-170, G-12), que da un terreno formado por un compacto conglomerado.

A este tipo de erupción pertenecen las habidas en Gran Canaria después del gran movimiento transgre-

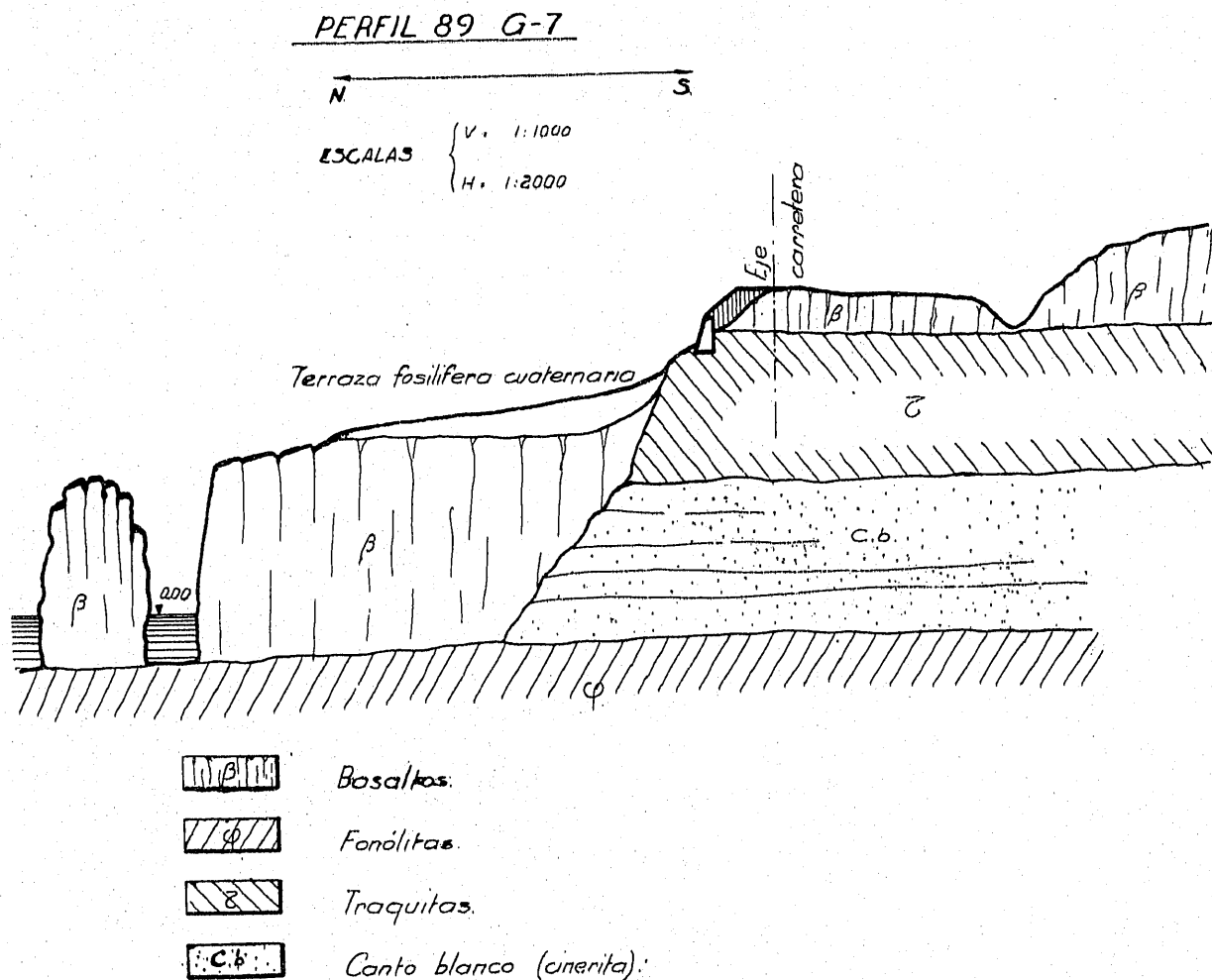


Fig. 9.^a — Corte geológico G-7; perfil transversal 89.

feriores, en las que han quedado patentizados los desplazamientos habidos tanto verticales como los de los buzamientos consecuentes, en interesante y clara visión del movimiento tectónico producido.

Después de la última barranquera del conjunto del Guincho se atraviesa en túnel una loma formada toda ella por un conglomerado procedente de una de las erupciones peleanas de gran aparato explosivo que, arrancando trozos de las rocas subyacentes, fueron arrojados al espacio mezclados con las masas lávicas incandescentes, desmenuzándolos y formando densas nubes ardientes que volvieron a caer al suelo en un conjunto de escombros ígneos con elementos

sivo sobre el viejo solar africano de finales del secundario en el punto culminante del paroxismo volcánico que dió lugar a las emisiones de la serie ácida. El característico Roque Nublo de esta isla no es más que un resto del extenso manto que cubrió gran parte de la isla al depositarse en ellas los materiales de estas nubes ardientes.

Después de esta loma y pasado el barranco que forma su ladera izquierda aparece una breve corriente de basalto moderna sobre tobas rojas hásicas, después de la cual se entra sobre un extenso manto de productos ácidos que ya no se dejan hasta la margen izquierda del barranco de Bañaderos.

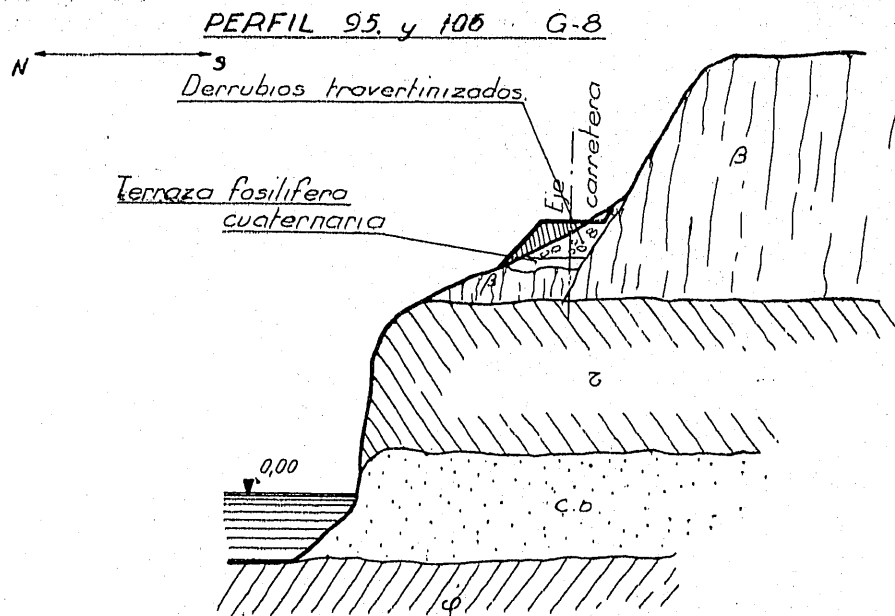


Fig. 10. — Corte geológico G-8; perfil transversal 95.

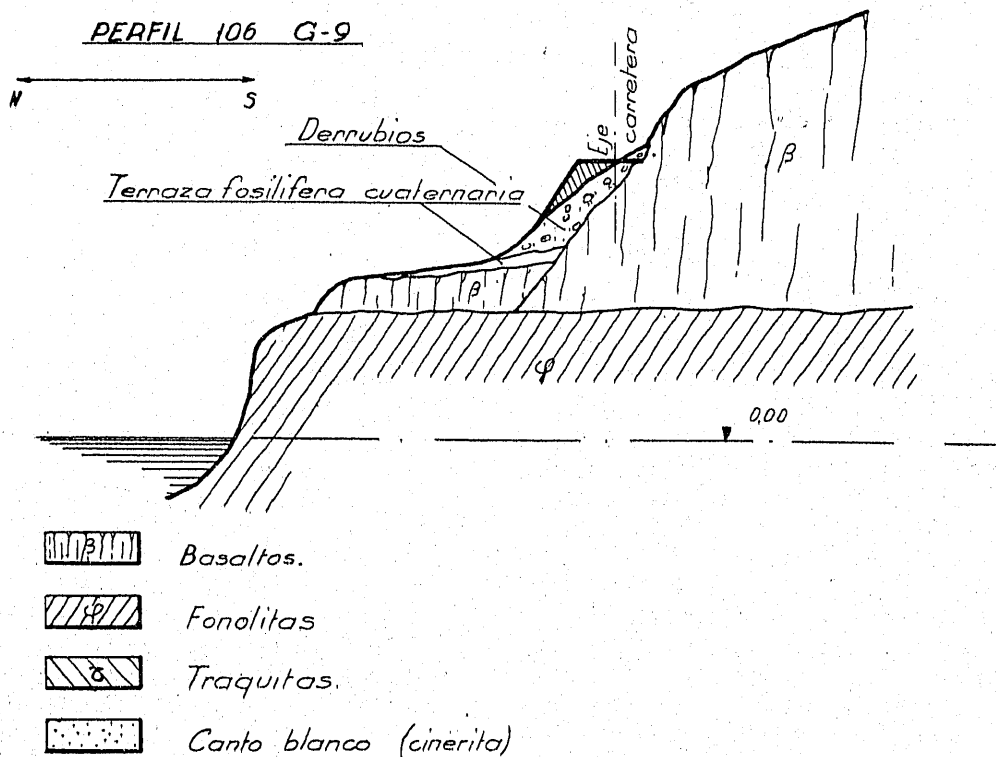


Fig. 11. — Corte geológico G-9; perfil transversal 106.

PERFIL 129 G-10

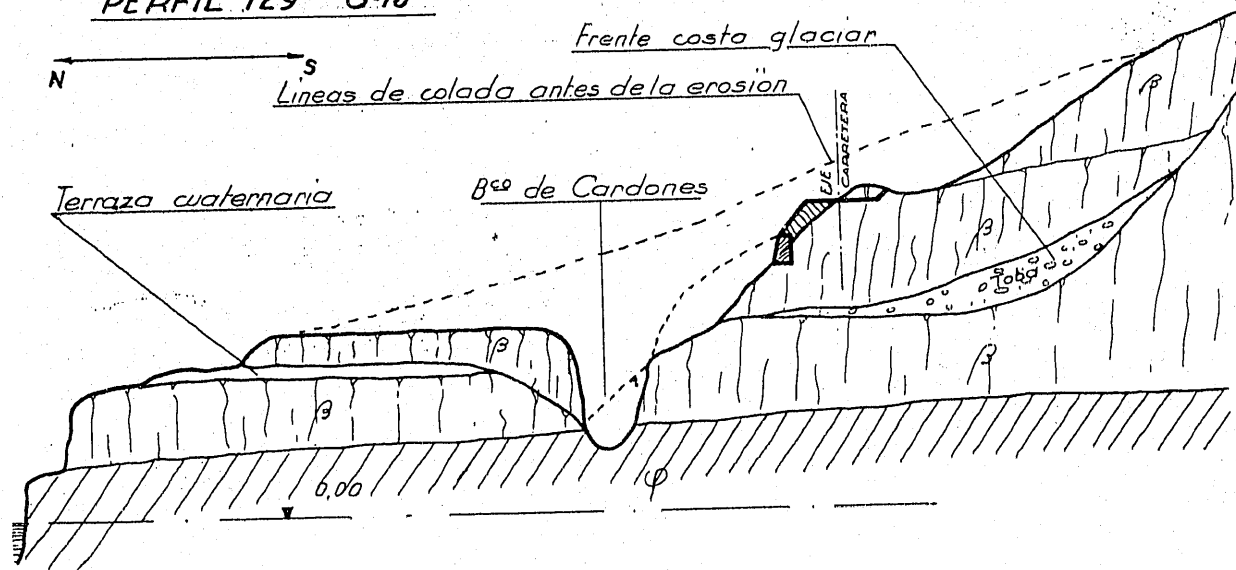
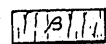
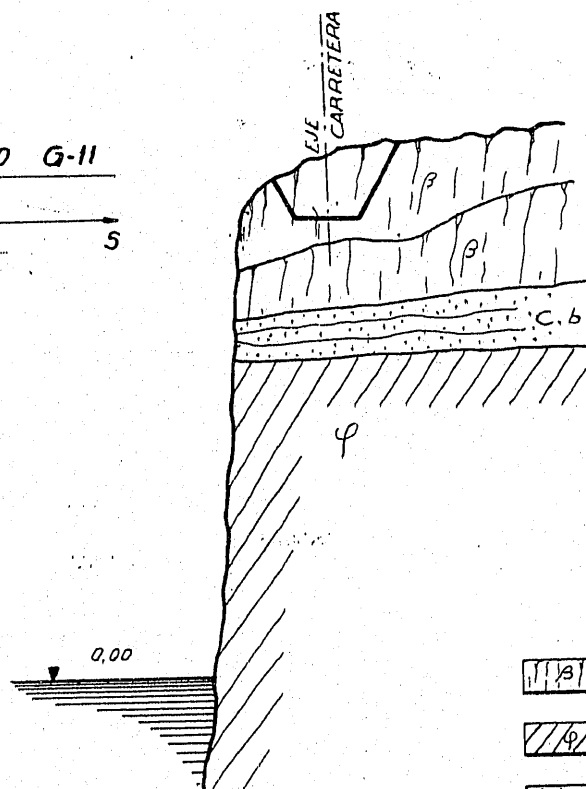


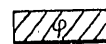
Fig. 12. — Corte geológico G-10; perfil transversal 129.

PERFIL 150 G-11

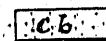
N S



Basaltas



Fonolitas



Canto blanco (cinerita)

ESCALAS. { V. 1:1000
H. 1:2000

Fig. 13. — Corte geológico G-11; perfil transversal 150.

PERFIL LONGITUDINAL ENTRE PERFILES 158-170 G-12

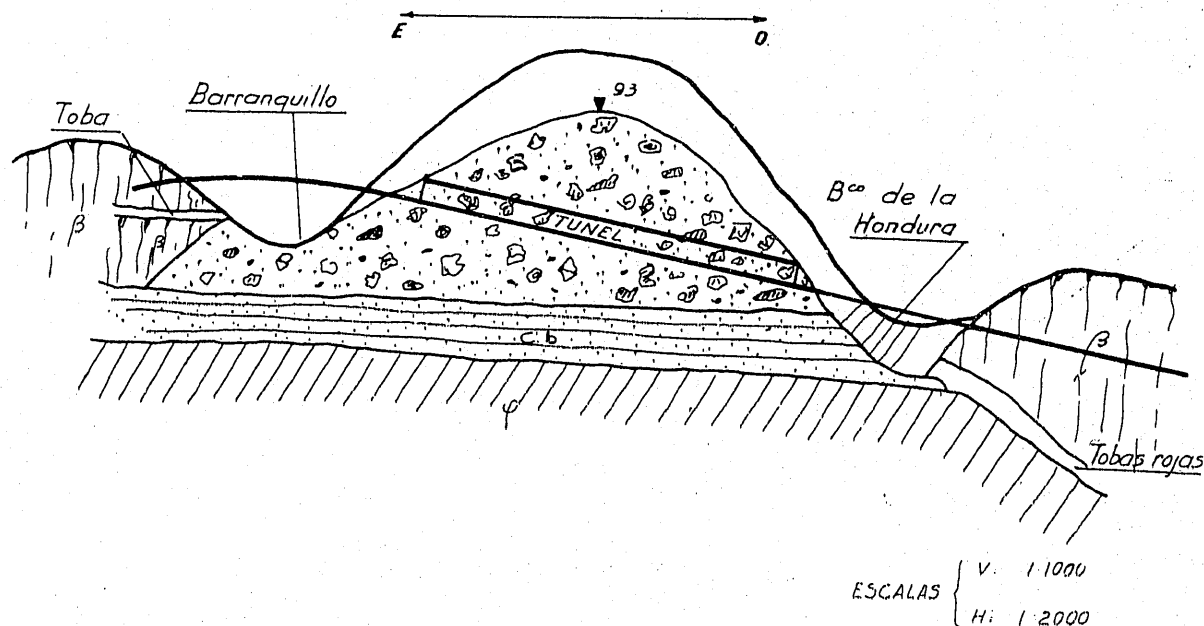


Fig. 14. -- Corte geológico longitudinal G-12, entre perfiles 158-170.

PERFIL 196 G-13

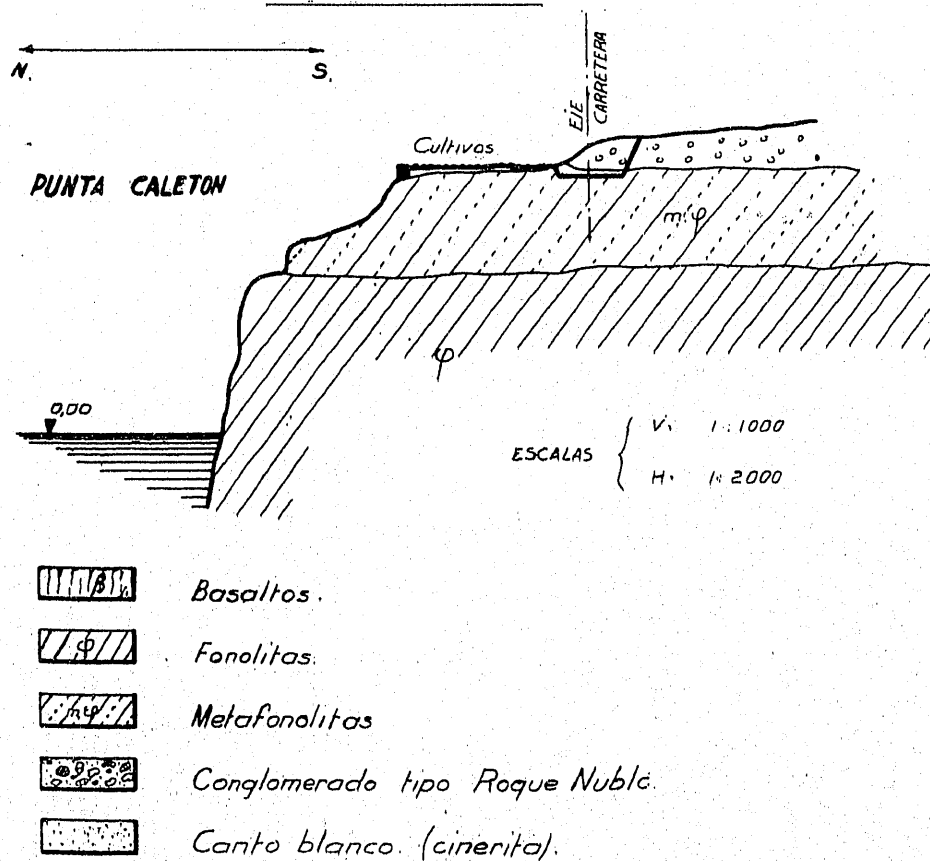


Fig. 15. -- Corte geológico G-13; perfil transversal 196.

Este nuevo material fluyó sobre las fonolitas (perfiles 196, G-13, y 232, G-14), que van perdiendo altura seguramente por efectos de una fuerte erosión previa, que las arrastraron totalmente, dejando al descubierto, como veremos, otra serie traquítica sub-

yacente que aflora en el cauce del barranco de Bañaderos en su desembocadura.

Pertenecen estos materiales a un tipo ácido, como hemos dicho, fonolitoide, conteniendo abundantes cristales de hauyna a veces englobados en otros de anor-

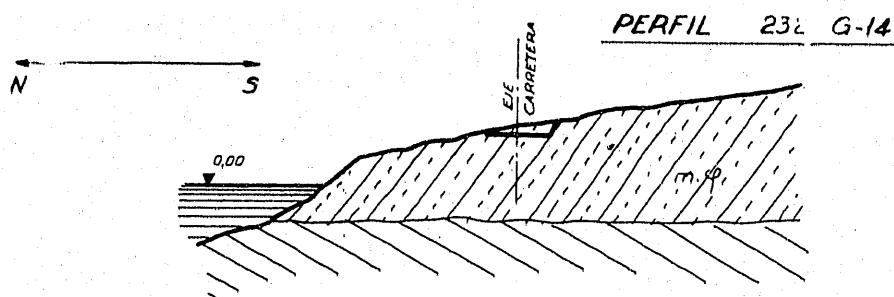


Fig. 16.— Corte geológico G-14, por el perfil transversal 232.

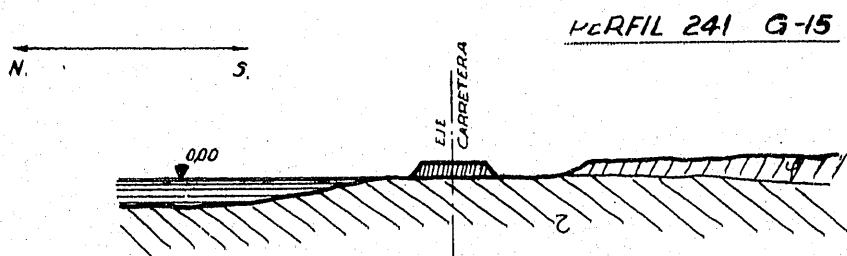


Fig. 17.— Corte geológico G-15, por el perfil transversal 241.

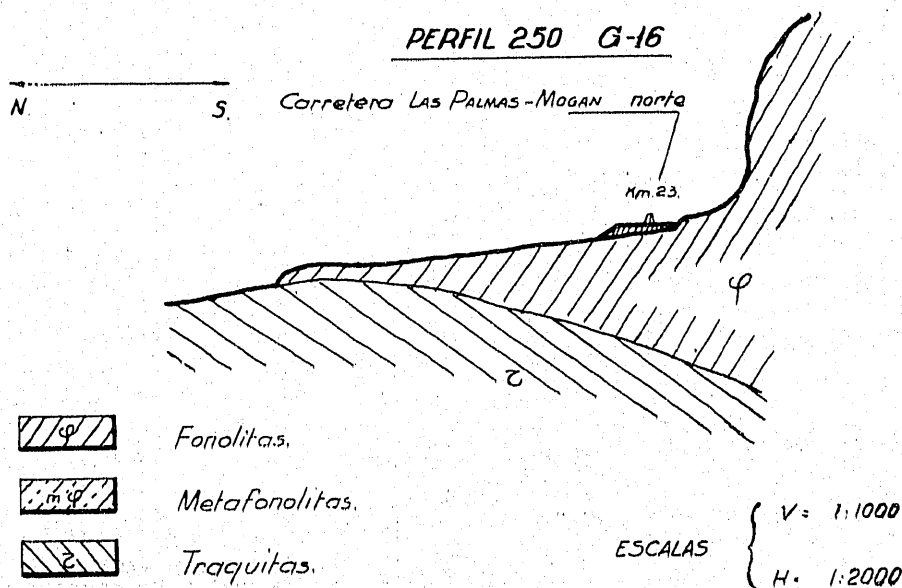


Fig. 18.— Corte geológico G-16, por el perfil transversal 250.

tosa. Según E. Jérémíne, es una fonolita en la que el feldespatoide ha sufrido una profunda transformación, debida, quizá, a la acción de las emanaciones de gases muy calientes, suposición confirmada por el análisis químico, que, no obstante la presencia de la hauyna y de la nefelina, el cálculo del análisis muestra un débil exceso de sílice libre y una plagioclasa virtual con un 10 por 100 de anortita procedente de la liberación de la alúmina, combinada en seguida con la cal del piroxeno, hecho muy frecuente en la familia de las fonolitas, por lo que Jérémíne las clasifica como metafonolitas con hauyna.

Todo este manto está recubierto por un conglomerado reciente, pero en algunas zonas bastante consolidado de elementos en su mayor parte de la misma naturaleza (perfil 196, G-13).

En la desembocadura del barranco de Bañaderos la erosión ha hecho desaparecer todos estos materiales, dejando en la superficie una formación traquítica (perfil 241, G-15) anterior a las encontradas al principio, situada debajo de las fonolitas, que vuelven a cubrirla en la margen izquierda del barranco, y sobre las que se desarrollan los últimos tramos de la carretera proyectada (perfil 250, G-16).

2.º Perfil geológico longitudinal del trazado.

Todos los datos obtenidos en los perfiles geológicos transversales que acabamos de describir, se trasladaron al perfil longitudinal de la carretera calculado para el proyecto de la misma e interpolando luego en los perfiles intermedios, se ha deducido el perfil

geológico longitudinal del que damos a continuación un esquema, en el que se prescinde, por razones de espacio, de parte de los datos topográficos que no hacen al caso (fig. 19).

3.º Clasificación de los volúmenes de excavación, según el tipo del terreno.

Partiendo de las cubicaciones del proyecto y a la vista del perfil geológico longitudinal obtenido, clasificamos los volúmenes de las excavaciones según la naturaleza del terreno en que se desarrolla su trazado; para ello hemos situado los perfiles transversales sobre los correspondientes geológicos y tomado las alturas medias de cada capa en los distintos tramos longitudinales, repartiendo el volumen total del tramo, proporcionalmente a estas alturas; los datos siguientes sólo pueden tomarse, pues, aproximados, pero creemos que los porcentajes obtenidos al final tienen la suficiente exactitud para el objeto que nos proponemos.

A continuación damos los cuadros de clasificación que hemos obtenido por ese procedimiento para cada tipo de excavación que figura en el proyecto, agrupándolos en un resumen general del que sacamos el porcentaje de cada uno.

Después de los cuadros reunimos en cuatro grupos, a efectos del cálculo del precio medio de excavación, los volúmenes de los terrenos de análogas características mecánicas, haciendo un breve comentario para cada uno, así como sobre los materiales que se encuentran y necesitan para la construcción de la obra a lo largo de la misma.

CUADRO NÚM. 1. — CLASIFICACIÓN DEL VOLUMEN DE EXCAVACIONES SEGÚN LA CLASE DE TERRENO.
Excavación en desmonte.

CLASE DE TERRENO											
Desmonte entre perfiles	Terreno suelto	Terreno de tránsito	Basalto flojo	[Basalto] duro	Sedimentario miocénico	Traquitas	Metafonolitas	Conglomerado m. t. f.	Fonolitas	Conglomerado tipo R. N.	TOTALES
1 - 10	400,000	600,000	—	1.552,710	—	—	—	—	—	—	2.552,710
14 - 21	810,000	1.100,000	—	3.759,562	—	—	—	—	—	—	5.669,562
22 - 32	—	—	1.360,000	9.538,246	—	—	—	—	—	—	10.898,246
35 - 85	4.277,390	15.000,000	5.000,000	—	10.000,000	—	—	—	—	—	34.277,390
35 - 35	—	—	277,000	—	—	—	—	—	—	—	277,000
88 - 94	—	—	—	1.097,756	800,000	1.000,000	—	—	—	—	2.897,756
95 - 109	1.000,000	3.200,000	—	3.200,000	3.445,903	—	—	—	—	—	10.845,903
111 - 116	—	400,000	400,000	3.586,125	—	—	—	—	—	—	4.386,125
118 - 118	—	—	—	73,950	—	—	—	—	—	—	73,950
123 - 130	—	—	500,000	3.250,056	—	—	—	—	—	—	3.750,056
132 - 149	—	3.000,000	4.500,000	23.447,677	—	—	—	—	—	—	30.947,677
149 - 160	5.000,000	5.000,000	2.500,000	3.055,322	—	—	—	—	—	—	15.555,322
164 - 166	—	—	—	—	1.118,607	—	—	—	—	—	1.118,607
173 - 174	—	—	100,000	196,342	—	—	—	—	—	—	296,342
249 - 250	—	—	—	—	—	—	—	—	281,634	—	281,634
179 - 233	—	—	—	—	—	—	38.819,693	4.500,000	—	—	43.379,693
Totales..	11.487,939	28.300,000	14.637,000	52.757,746	15.364,510	1.000,000	38.879,693	4.500,000	281,634	—	167.208,522

PERFIL GEOLOGICO LONGITUDINAL

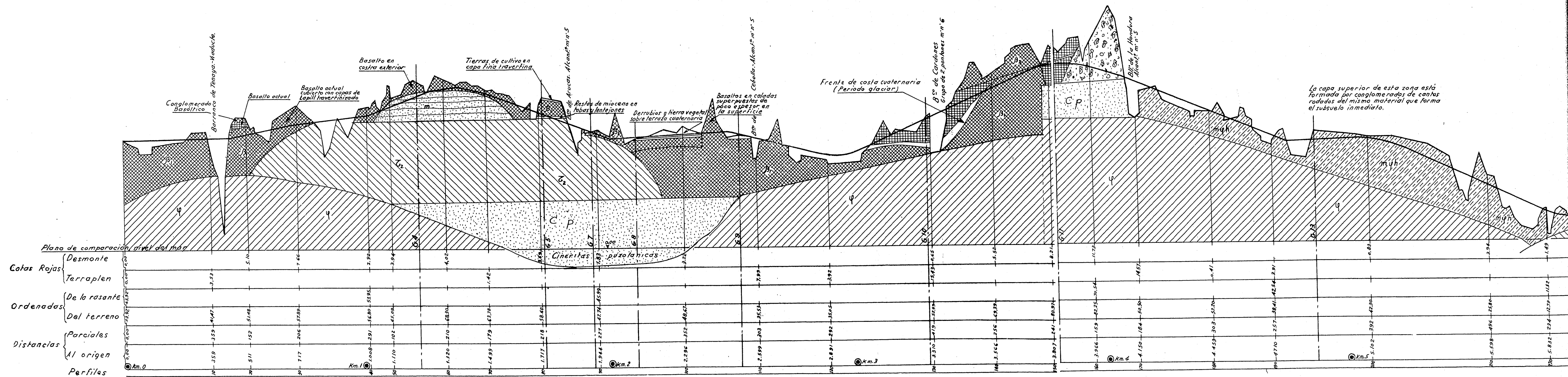
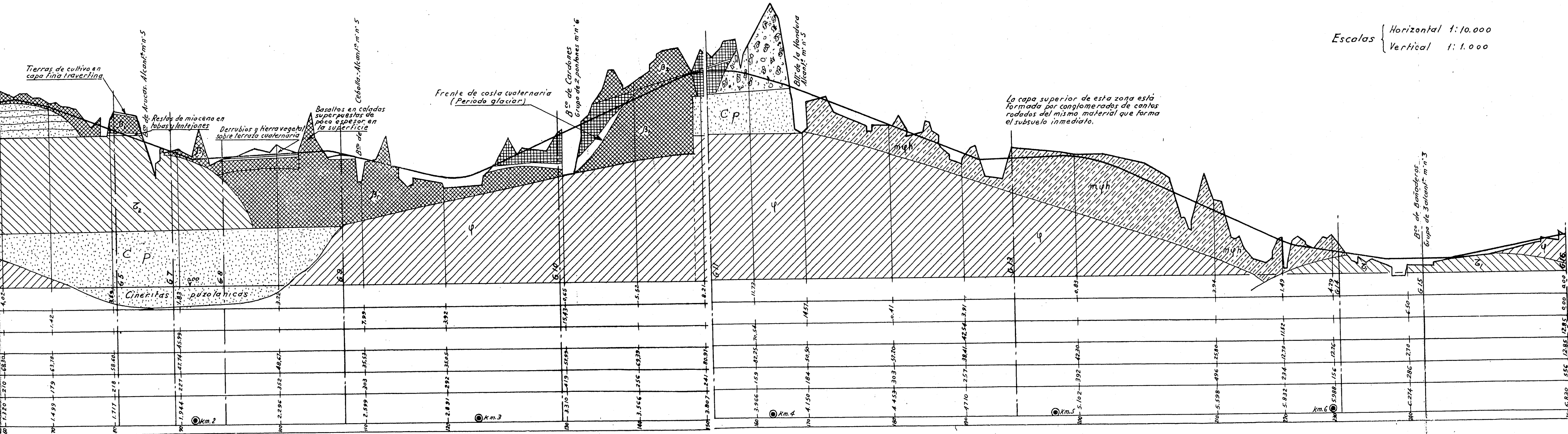


Figura. 19.

PERFIL GEOLOGICO LONGITUDINAL



SIGNOS CONVENCIONALES

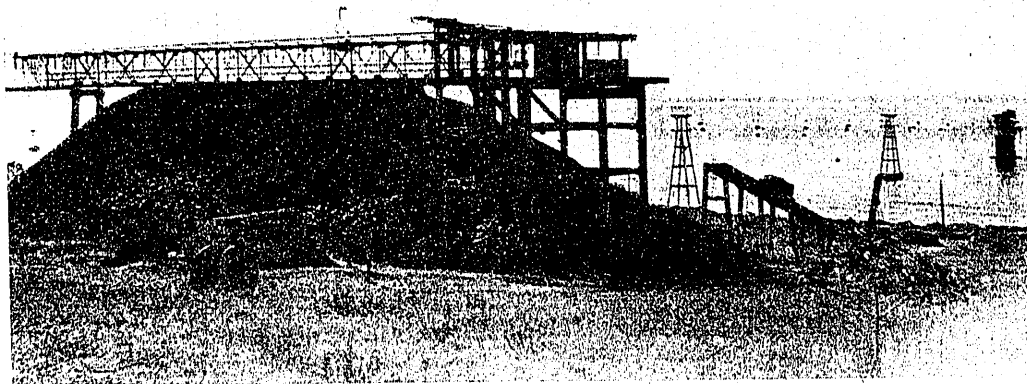
- Basalto cuaternario
- Basalto postmiocénico
- Traquitas mioceno-medio
- Fonolitas
- Mioceno
- Basalto actual muy moderno
- Tobas y derrubios entre coladas
- Conglomerado tipo Roque Nublo
- Meta fonolita con hauyna
- Traquitas del mioceno inferior
- Cinieritas puzolanicas

Figura 19.

ciones, y del estudio de las muestras obtenidas se llegó al conocimiento de la naturaleza del fondo y sus características geotécnicas, resultando que bajo una capa de espesor variable con el calado de 1 a 2 metros de arena y gravilla fina, se extendía, al parecer indefinidamente, o al menos en los 35 metros

3.º En cualquier caso, no será sensiblemente afectada en su fondo la cimentación de la estación final, debido a su gran calado (esto se confirmó antes y durante la ejecución de la obra, en las numerosas inspecciones realizadas por los buzos, viendo la existencia continua de abundante vegetación en esta zona

Fig. 2.ª — El depósito de mineral. Al fondo, el cargadero.



alcanzados con los sondeos, una masa de arena limosa compacta.

La elección de la cimentación más adecuada, al venir impuesta, de una parte, por las acciones de las causas exteriores, y por otra, de la naturaleza del terreno, se hacía dependiente de nuestro caso por lo que a las primeras se refiere, de las acciones debidas al movimiento del mar, las más inciertas entre todas las actuantes. Del estudio de estas últimas, tomando como base para esta costa mediterránea un largo de 300 Km., que según la conocida fórmula del profesor Iribarren [1]: $2h = 1,2 \sqrt{F}$, nos lleva a la consideración de alturas máximas de ola de 5 m., llegamos a las conclusiones siguientes.

1.º En situaciones normales de régimen de vientos, la cimentación más afectada por el oleaje y, por tanto, sujeta a posibles socavaciones con movimientos alternativos de arena (variables con viento de Levante o Poniente), era la del castillete tercero.

2.º En régimen de temporal máximo serán afectadas las cimentaciones de ambos castilletes tercero y cuarto, pero la de este último con mayor intensidad.

y el equilibrio de arenas en el contorno de la cimentación.

Indicándonos los resultados del estudio geotécnico que el terreno de cimentación era adecuado para una cimentación flotante por pilotes, siempre que la obra no estuviera sujeta a vibraciones, se decidió realizar por este sistema las cimentaciones de los castilletes tercero y cuarto. De esta forma se evitan los peligros de asiento que pudieran producirse por una ligera socavación de las arenas en los bordes inferiores de los macizos de cimentación, pudiendo reducir el tamaño de éstos, los cuales, al tiempo que solidarizan las cabezas de los pilotes, colaboran en la resistencia.

Para asegurarnos aún más de la posibilidad de este movimiento de arenas en ambos macizos, que, como antes hemos expuesto, están sujetos en forma más o menos intensa con el régimen de vientos a la acción del oleaje, proyectamos para el tercero una protección de escollera con talud 1:4, que aleja de la obra la rotura casi continua de la ola, disponiendo en el cuarto una zapata de un metro de espesor de escollera hormigonada con berma de 2 m. y talud 1:2, que aleja igualmente unos 4 m. de los bordes infe-

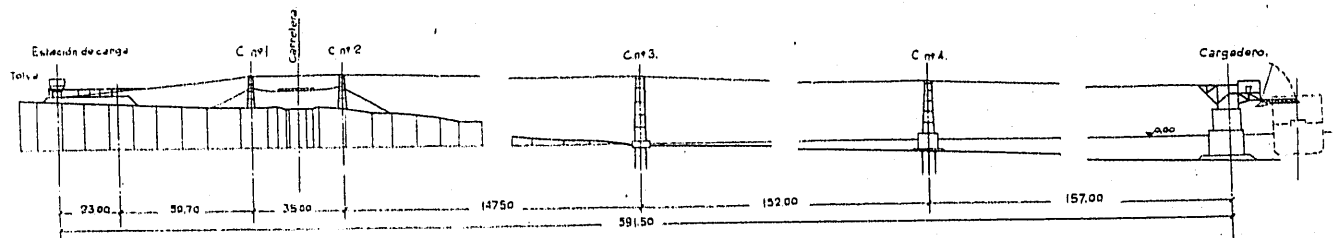


Fig. 3.ª — Perfil longitudinal.

riores del macizo los puntos de posible socavación. La experiencia de más de un año desde la construcción de estas cimentaciones, ha confirmado que con la variación de vientos de Levante a Poniente hay un ligero movimiento de arenas, pero la zapata queda prácticamente enterrada de forma continua, sin que se produzcan puntos de alteración del equilibrio de arenas en su contorno.

Los pilotajes se proyectaron para soportar las cargas actuantes, es decir, las que la superestructura de los castilletes transmiten a sus macizos de cimentación, el peso propio de éstos, subpresión y acción del oleaje, siendo necesario disponer 9 pilotes de 8 metros de longitud libre en el tercer castillete y 15 pilotes de 9 metros en el cuarto, siendo el diámetro de todos ellos 0,45 m.

Para poder disponer el equipo de perforación y construcción *in situ* de los pilotes, se construyeron en primer lugar los dos macizos de hormigón en masa, dejando los huecos necesarios para el paso de aquéllos mediante la colocación de viejos tubos de dragado, instalando posteriormente sobre los macizos el equipo a salvo de la acción del oleaje y procediendo a la construcción en forma rápida y cómoda de los pilotes.

Como decimos, la perforación y hormigonado de los pilotes se llevó a cabo sin más incidencias que los pequeños retrasos por alguna excesiva inelencuencia del mar, siendo, por el contrario, la construcción previa de los macizos, en especial el cuarto, la que presentó mayores dificultades. El macizo del número 3, al tener acceso por la playa, pudo realizarse mediante una protección de gaviones y escollera que permitió, aunque con dificultades, la colocación de encofrados y su relleno con hormigón sumergido utilizando el sistema del hormigón coloidal, procedimiento también bien utilizado en el siguiente castillete y estación de descarga y que más adelante comentamos. Una vez fuera del nivel de mareas se terminó el macizo con hormigón normal.

La ejecución de la cimentación del castillete cuarto fué, como decimos, más costosa. Una vez colocados los tubos de paso de pilotes, se realizó el vertido de escollera para formar la zapata, y después de terminada y enrasada ésta por los buzos, se compactó mediante un riego de mortero coloidal. El alzado del macizo se realizó en parte mediante encofrados llevados por flotación a su emplazamiento, ya armados, fondeados por lastre, rellenos después de piedra de tamaño adecuado e inyectados con mortero coloidal. La parte superior, muy afectada por el oleaje de forma que su terminación se venía retrasando sensiblemente, fué necesario acometerla con encofrado de sacos de hormigón colocados por buzo, que se iban rellorando de piedra e inyectando en tramos de poca altura, de forma sucesiva. De este modo, los desperfectos ocasionados por temporales, aun de pequeña magnitud, que hubiesen desbaratado los encofrados,

se redujeron a la pérdida de un reducido número de sacos.

Terminados los macizos de cimentación, se procedió a la construcción de las superestructuras de hormigón armado de los castilletes, de alturas 24 y 21,50 metros sobre el nivel del mar. Para mayor facilidad de montaje, se proyectaron de armadura rígida, sustituyendo el encofrado por tubo de uralita de 40 centímetros de diámetro, que al tiempo que estéticamente nos da un mejor acabado, reduce el efecto transversal debido al viento y supone para la armadura una mayor protección de la oxidación en la atmósfera marina. El resultado obtenido nos ha confirmado las ventajas del sistema adoptado, con el que se realiza de forma rápida y sencilla el montaje y hormigonado. Los castilletes llevan en su cabeza las sillas metálicas para apoyo de los cables vías y elementos para alineación y rodadura de los cables tractores, como se muestra en la fotografía (fig. 4.^a).

La estación final de descarga, o cargadero, está cimentada por una base prismática de 7×10 m. de planta que, con una altura de 10,50 m., se eleva hasta el nivel $+1,50$ sobre la BMVE. Este macizo reparte

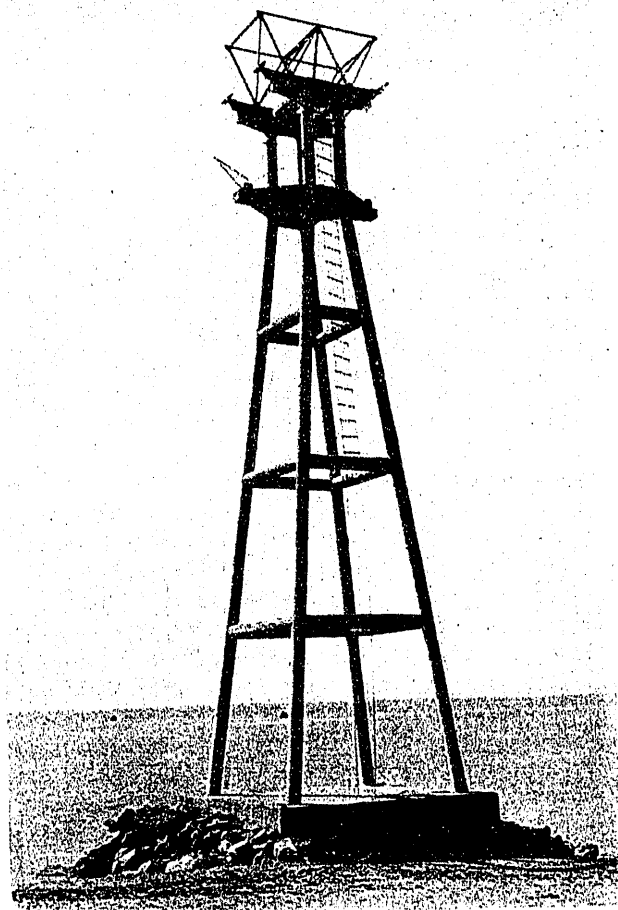
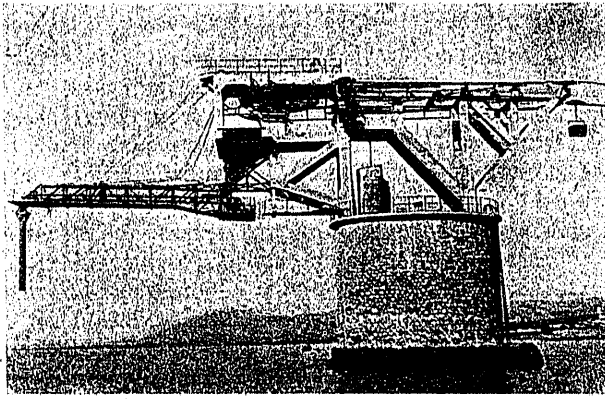


Fig. 4.^a — Alzado de un castillete.



la carga sobre el fondo mediante una zapata de altura media 1,50 m. y dimensiones 20×21 m., que al igual que en el cuarto castillete, se compactó con un riego de mortero coloidal.

Sobre este macizo de cimentación y hasta el nivel $+9,90$ m. se eleva un cuerpo cilíndrico de hormigón en masa con paramento de mampostería y planta sensiblemente elíptica, en el cual van los huecos necesarios para alojar en sus recorridos los contrapesos de tensión de los cables vías.

Por último, y hasta una altura máxima de 20 metros sobre el nivel del mar, se eleva una estructura de hormigón armado, cuya forma viene impuesta por su función, que no es otra que la de sustentar todos los elementos de descarga y tensión del tranvía, o sea las poleas y cables vías, polea de retorno del cable tractor, los elementos metálicos de sustentación de carriles de circulación de baldes, tolvas de descarga y cinta transportadora para carga de barcos (figura 5.º).

Completando la instalación del cargadero, e imprescindible para el atraque y maniobra de los barcos, se ha dispuesto un sistema de anclaje mediante siete boyas metálicas de tipo de "pera" que permiten la perfecta situación del barco bajo el tubo de descarga y su movimiento para los cargues sucesivos de las diferentes bodegas.

Evidentemente, la mayor dificultad de la obra estribaba en la construcción del macizo de cimentación de $7 \times 10 \times 10,50$ m. con su emplazamiento en mar abierto, a 300 m. de la playa y con un calado medio de 10 m., estando sujeto a todos los inconvenientes derivados de la falta de abrigo para los trabajos, que hacía presumir gran pérdida de tiempo por el estado del mar y el riesgo de la construcción en estas condiciones.

Por ello, inicialmente pensamos en la construcción, en lugar adecuado y abrigado, de un cajón flotante de hormigón armado, que se transportaría posteriormente al lugar de emplazamiento y, una vez fondeado sobre una base preparada con escollera en-

rasada convenientemente, se rellenaría de hormigón pobre y arena.

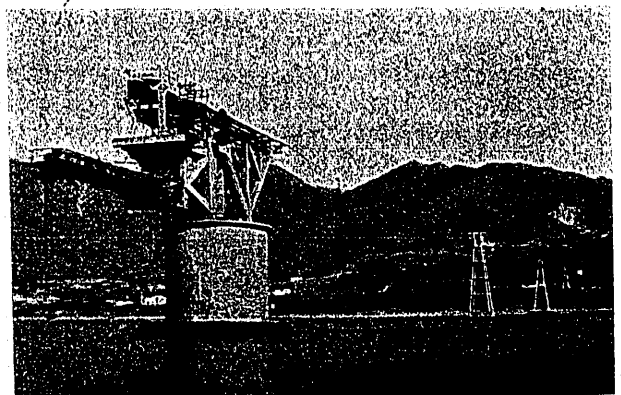
Ahora bien, para la construcción de este cajón flotante no podía contarse con otros diques secos próximos que el de la "Unión Naval de Levante", en Málaga, o el de Tarifa. Se desechó el primero por no reunir las condiciones requeridas, y en cuanto al de Tarifa, su distancia a Marbella con navegación en la zona del Estrecho, suponía riesgos que nos llevaron a pensar en la posibilidad de la construcción *in situ* del macizo de cimentación.

De esta forma se llegó a adoptar finalmente como método de ejecución la realización *in situ* con hormigón sumergido, utilizando el sistema citado anteriormente del hormigón coloidal.

El procedimiento consiste en realizar un mortero de cemento, arena y agua, en el que el cemento está tan completamente mojado que el mortero adquiere una forma coloidal y permanece estable aun en estado flúido. La mezcla se realiza en un amasador especial y el mortero obtenido se denomina "col-grout". Este mortero es tan estable que al echarlo sobre piedras, o éstas en él (siempre que cumplan un tamaño mínimo), los huecos se llenan completamente, fraguando el conjunto en una masa compacta. No es necesario, por tanto, en el hormigón que se forma (llamado "colecte") que las piedras pasen por la hormigonera.

Este mortero coloidal, al no mezclarse ni dejarse penetrar por el agua, es especialmente adecuado para trabajos marítimos, por permitir hacer bajo el agua un hormigón de bondad prácticamente análoga al hecho en el aire. El mortero, cuya densidad es algo superior a 2, desplaza el agua, pero no se mezcla. Es necesario, en cambio, que el encofrado o molde se realice con gran cuidado, ya que, además de contener las piedras colocadas en él previamente a la inyección de mortero, deberá contener también a éste, debiendo ser, por lo tanto, estanco.

Estas son las razones que llevaron a adoptar tal sistema para la ejecución de los macizos de cimenta-

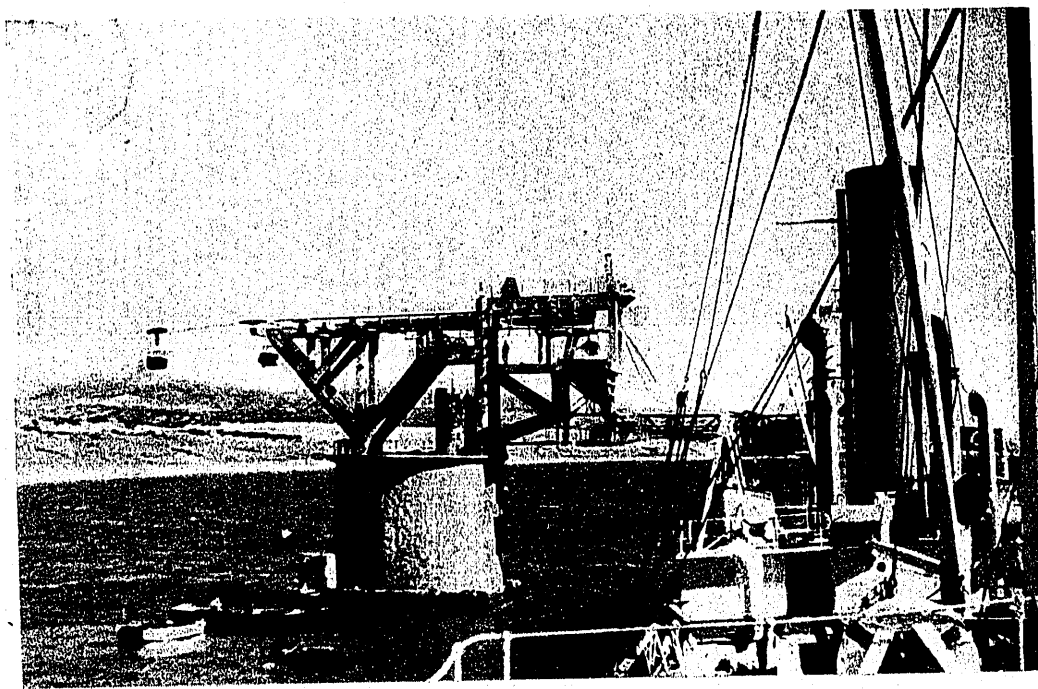


ción de castilletes y cargadero. Como antes hemos dicho, se iniciaron los trabajos con encofrados de madera, que si bien permitían un mejor acabado de la obra, se hacían impracticables al llegar a la zona próxima al nivel libre, en que un pequeño movimiento del mar los desbarataba, con grandes pérdidas y retrasos.

En el cargadero existía, además, la dificultad de su gran superficie, que hubiese llevado a encofrados muy costosos, con grandes dificultades de manejo y desencofrado. Por ello, decidimos ir a su construcción mediante un encofrado de sacos de hormigón

inyección y se daba comienzo a ésta, siendo vigilada continuamente por los buzos, que comprobaban la perfecta compactación del relleno y movían los tubos de inyección a los puntos precisos.

En las partes inferiores del macizo, poco sujetas al movimiento del mar, pudieron prepararse zonas de hasta 2 m. de altura para ser inyectadas después, pero al alcanzar el nivel — 4 m., se redujo la altura preparada para inyectar a 80 cm. de altura, ya que el movimiento del mar arrastraba los sacos, impidiendo los trabajos, o modificaba el equilibrio de la pared-encofrado, originando roturas en ella.



colocados a mano por buzo. La experiencia de este método en la cimentación del cargadero nos llevó posteriormente a su aplicación a la terminación del macizo de cimentación del castillete cuarto que, como hemos indicado, se realizó hasta media altura con encofrado de madera lastrado.

De esta forma, con un rápido y regular suministro de sacos desde el muelle del puerto pesquero, colocados en obra por dos buzos en trabajo simultáneo, se consiguió dar a la obra el ritmo deseado. Para una mejor ligazón de los sacos, ordenamos que fueran rasgados éstos con cuchillo por los buzos en el momento de su puesta en obra; una vez colocados los sacos se procedía al descargue de gabarras de piedra para relleno del encofrado. Preparada la altura prevista para inyectar, procedían los buzos al enrasado del relleno de piedra y colocación de tubos de

Superadas las obligadas dificultades presentadas, se pudo finalmente, en el mes de agosto de 1956, conseguir sobrepasar el nivel libre, rematando el macizo de cimentación hasta su altura + 1,50 m. Igual resultado se obtuvo en el castillete cuarto en el mes de septiembre, dándose comienzo a la construcción de la superestructura. En el mes de diciembre se terminó el cuerpo cilíndrico y se comenzó la estructura superior de hormigón armado. Por la complicación de ésta y estar la mayor parte del cuerpo de la misma volada sobre el mar, la proyectamos en su mayor parte y al igual que los castilletes tercero y cuarto, de armadura rígida, lo que permitió la instalación de encofrados colgados, pudiendo de esta manera llevarse a cabo de forma cómoda el hormigonado, terminando felizmente a mediados del mes de abril de 1957.

El conjunto de estas obras fué realizado por "Dra-

gados y Construcciones, S. A.", a quien le fueron adjudicadas, mediante concurso, en el año 1955, a fines del cual se dió comienzo a los trabajos, habiéndose terminado en un total de diecisiete meses.

Los trabajos especiales correspondientes a la ejecución del hormigón coloidal y pilotajes fueron reali-

cidente digno de mención, en el mes de abril de 1957 procediéndose seguidamente al montaje de los elementos mecánicos, cables vía y tractores, baldes, etc. por la casa suministradora "Ropeways and Co. Ltd." firma que igualmente ha suministrado y montado el tranvía monocable.



zados, en colaboración con la Sociedad citada, por la Compañía Española de Construcciones y Sondeos concesionaria de las patentes "Colerete", y por último, las estructuras metálicas para armaduras rígidas se fabricaron y montaron por "La Metalúrgica, Sociedad Anónima", de Málaga.

En las fotografías adjuntas se exponen algunas fases de la construcción de las obras que, como antes decimos, se terminaron felizmente y sin ningún in-

En el mes de agosto se terminó completamente el montaje, incluso la cinta de carga de barcos, probándose satisfactoriamente los cables de vacíos y cargados y el total de la instalación.

En el mes de octubre, y por la Sociedad "Fer-rarco", concesionaria y constructora del cargadero, se llevó a efecto el primer embarque de forma plenamente satisfactoria, quedando con ello inaugurado el cargadero marítimo.