

ESTUDIO GEOLOGICO DEL TUNEL DE SAN SILVESTRE EN LA CONDUCCION DEL NUEVO ABASTECIMIENTO DE AGUA PARA HUELVA Y SU ZONA INDUSTRIAL (*)

Por FERNANDO REIG VILAPLANA

Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos

La ampliación del abastecimiento de agua a Huelva y su zona industrial ha hecho necesario el aprovechamiento de los ríos Piedras y Chanza, con la construcción de un embalse en el primero y el proyecto de otro en el segundo, cuyas aguas entretanto se derivarán al Piedras por medio de un canal que enlaza con el túnel de San Silvestre, por el que se cruza la divisoria entre el Guadiana y el Piedras. El túnel tiene 7,594 km de longitud, con sección útil de 4,70 m² en forma de herradura. De las características geológicas y tectónicas del terreno y de la ejecución del túnel trata el artículo que se presenta a continuación.

Antecedentes.

El abastecimiento de Huelva y de su importante zona industrial era hasta hace poco totalmente insuficiente con los recursos disponibles y hubiese continuado siéndolo así por cuanto las necesidades en un futuro próximo alcanzarán los 136 millones de metros cúbicos de agua al año, lo que equivale a un caudal medio de 4,32 m³/seg, que no se podía obtener en las cercanías de la ciudad, por estar los ríos próximos muy contaminados por residuos industriales.

Por dichas circunstancias se ha proyectado, y en gran parte construido, un abastecimiento nuevo utilizando las aguas de los ríos Piedras y Chanza, las del primero en la fase inicial y las del segundo posteriormente.

En la primera fase se ha construido el embalse del río Piedras, con presa de escollera de 37 m de altura, que crea una capacidad de 71 Hm³, de los que sólo son útiles 58 Hm³, regulando aportaciones propias de 20 Hm³ de agua, que se suministran a Huelva por una conducción de 40 Km de longitud y 9,7 m³/seg. de capacidad en origen.

En la segunda fase, y para completar la insuficiente aportación del río Piedras, se proyectó un embalse sobre el río Chanza, afluente del Guadiana en la propia frontera de Portugal, el cual, con presa de 74 m de altura, situada

un kilómetro aguas arriba de la confluencia de ambos ríos, creará una capacidad de 450 Hm³, de los que no son útiles los 20 Hm³ inferiores, regulando una aportación media anual de 310 Hm³.

Inmediatamente aguas abajo de la presa se dispondrá dos instalaciones de bombeo: una, de 20 m de impulsión directamente desde el río hasta la cota de las tomas del embalse, inicialmente con dos grupos de 1.250 l/seg. y 350 kW., que se complementarán con otros dos más adelante, y otra, desde la cota 20 citada hasta la 126 del origen de la conducción, con cuatro grupos iniciales de 1.250 l/seg. y 2.250 kilovatios, que se complementarán más adelante con otros cuatro, utilizando dos tuberías de impulsión de 2 m de diámetro y 650 m de longitud.

Mientras no exista el embalse, las aguas se tomarán directamente del río, funcionando las dos instalaciones de bombeo en serie, pero cuando esté el primero funcionará sólo el segundo bombeo con agua procedente de las tomas, siendo el caudal inicial de 5,6 m³/seg. y el máximo definitivo de 10 m³/seg.

La energía eléctrica para las instalaciones de bombeo se suministrará con línea conectada en Ayamonte a la red de GUADISA a la tensión de 50 kV.

El canal de conducción (fig. 1) tiene 17.750 metros, de los que 1.900 m corresponden a dos sifones, teniendo una pendiente de 0,0004, una capacidad total de 10 m³/seg y al final del mismo enlaza con el túnel de San Silvestre, por el que cruza la divisoria entre el Guadiana y el Piedras, evacuando sus caudales al Arroyo del

(*) Se admiten comentarios sobre el presente artículo, que pueden remitirse a la Redacción de esta Revista hasta el 31 de marzo de 1974.

Cuoco que los conduce directamente al embalse del Piedras.

Ejecutadas ya las obras de la primera fase que cubrían las necesidades hasta 1970, resultó urgente la construcción de las de la segunda,

adyacentes a las dos bocas del mismo y los caminos de acceso a las últimas.

El túnel tiene una longitud de 7.594 m, una sección útil de 4,70 m² con forma de herradura (figura 2), y está calculado para poder trans-

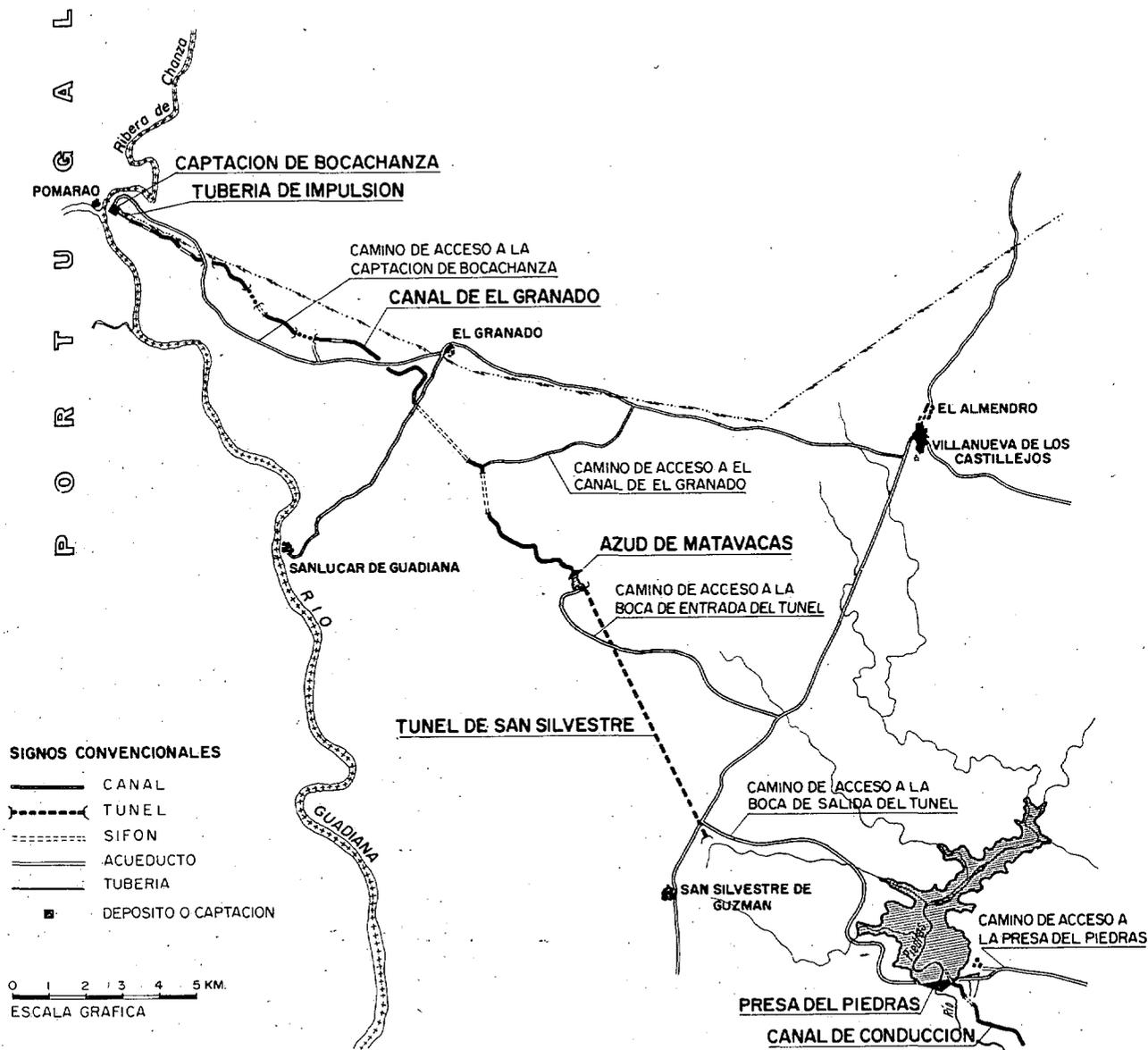


Figura 1.

es decir, las de transvase de agua del río Chanza hasta el embalse del Piedras, en las que era pieza fundamental la obra de cruce de la divisoria, el túnel de San Silvestre, con los tramos

portar un caudal de 10 m³/seg. en lámina libre, siendo su revestimiento de hormigón en masa de 200 Kg de cemento por metro cúbico con un espesor teórico de 0,20 m.

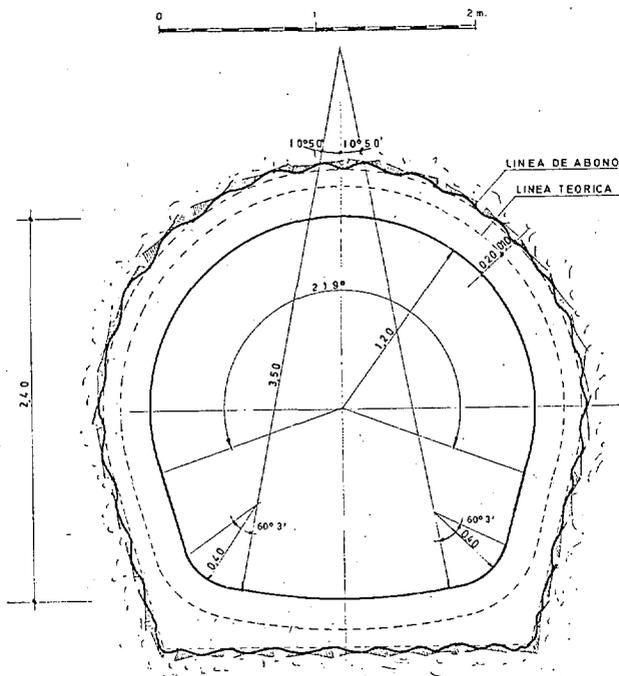


Figura 2.

Características geológicas y tectónicas.

Morfológicamente considerada la cuenca baja del Guadiana y las de los ríos Chanza y Piedras, se desarrollan en la submeseta meridional hispano-portuguesa, cuya topografía muestra una acentuada degradación del relieve levantado durante la orogenia herciniana, que plegó y consolidó los materiales sedimentarios y eruptivos de edad paleozoica integrantes del subsuelo de la región.

El valle del río está encajado en una penillanura de 140 m de altitud media sobre el mar, que desde el nivel medio del bajo río Guadiana (altitud, 5 m), sube en algunos puntos hasta 100 m, y más hacia el interior, se llega a 200 m en los puntos más altos.

Esta penillanura fue levantada a finales del Terciario, y sobre todo en el Cuaternario, y el descenso del nuevo nivel de base produjo la incisión o encajamiento citado de la red fluvial en el macizo paleozoico y la creación del actual sistema de valles, que están dominados por pequeños macizos montuosos de rocas duras, cuarcitas y granitos sobre todo, que han resistido más que las pizarras de la meseta a la denudación.

Los materiales que forman el terreno en la zona de la conducción del abastecimiento son fundamentalmente pizarras, y en menor cantidad calizas, grauvacas y cuarcitas de edades devónicas y carbonífera, especialmente de esta última y sus acompañantes intrusivos granitos y pórfidos diabásicos.

Las escarpadas paredes del Chanza dejan ver la estructura y composición de las rocas, con estratos fuertemente levantados y, en general, con replegamientos intensos de dirección general Este-Oeste, o bien NO.SE., rumbos típicamente hercinianos en la región.

La transición entre el Devónico superior y el Carbonífero inferior se halla en la región de Pomarão y Mértola, en Portugal, y cerca de Puebla de Guzmán y Villanueva de los Castillejos, en territorio español.

Al sur de dicha línea no es raro encontrar en las pizarras fósiles característicos del Carbonífero en el Puerto de la Laja, *Posidonomya Becheri* y otras especies afines, apareciendo faunas idénticas en las cercanías de Villanueva de los Castillejos.

En Pomarão y al norte de dicha localidad el Carbonífero inferior aparece sólo en el Viseense inferior, que se apoya directamente sobre el Devónico, faltando totalmente el Tournaisiense.

Las capas inferiores son las de *Goniatites striatus* y *Posidonomya Becheri*, siguiendo las capas de *Glyphioceras*, que forman la parte superior del Viseense en la transición al Moscoviense.

Entre el Devónico y la base del Viseense debió haber movimientos orogénicos suaves o epigénicos, pues hubo emersión, avanzando de nuevo el mar en el Viseense inferior. La orogénesis principal fue astúrica entre el Moscoviense y el Estefaniense.

La determinación estratigráfica de los terrenos en las proximidades de Pomarão ha recibido un gran impulso por los estudios recientes de Van den Boogard, que encuentra conodontes, foraminíferos, ostrácodos, restos de peces y otros microfósiles, que complementan los macrofósiles encontrados por Nery Delgado y determinados en 1905 por Pruvost, con *Clymenia*, *Phacos*, *Orthis* y *Petraia*, de edad Fameniense.

Es interesante, al norte de la línea Pomarão-Villanueva, la frecuencia de asomos de rocas eruptivas, pórfidos diabásicos por lo general, unas veces como diques intercalados entre los

estratos, otras como verdaderas masas intrusivas de gran espesor y extensión.

En la zona de la conducción entre el Chanza y el Piedras no existen depósitos posteriores a los de edad paleozoica.

La estructura y tectónica es sencilla en sus líneas generales, pero extraordinariamente complicada en sus detalles, aumentando la edad de las formaciones de sur a norte, desde el Carbonífero inferior pasando por el Devónico su-

perior a una formación metamórfica, probablemente del Paleozoico medio e inferior.

En el sentido que se indica, los pliegues del Carbonífero inferior descubren núcleos de Devónico superior, al principio esporádicamente y en pequeña extensión con cierres periclinales, como el de Alcoutim-Sanlúcar del Gadiana, que más al norte se hacen frecuentes, como al sur de Mértola, que desaparece al oeste del Gadiana para reaparecer más tarde en las proxi-

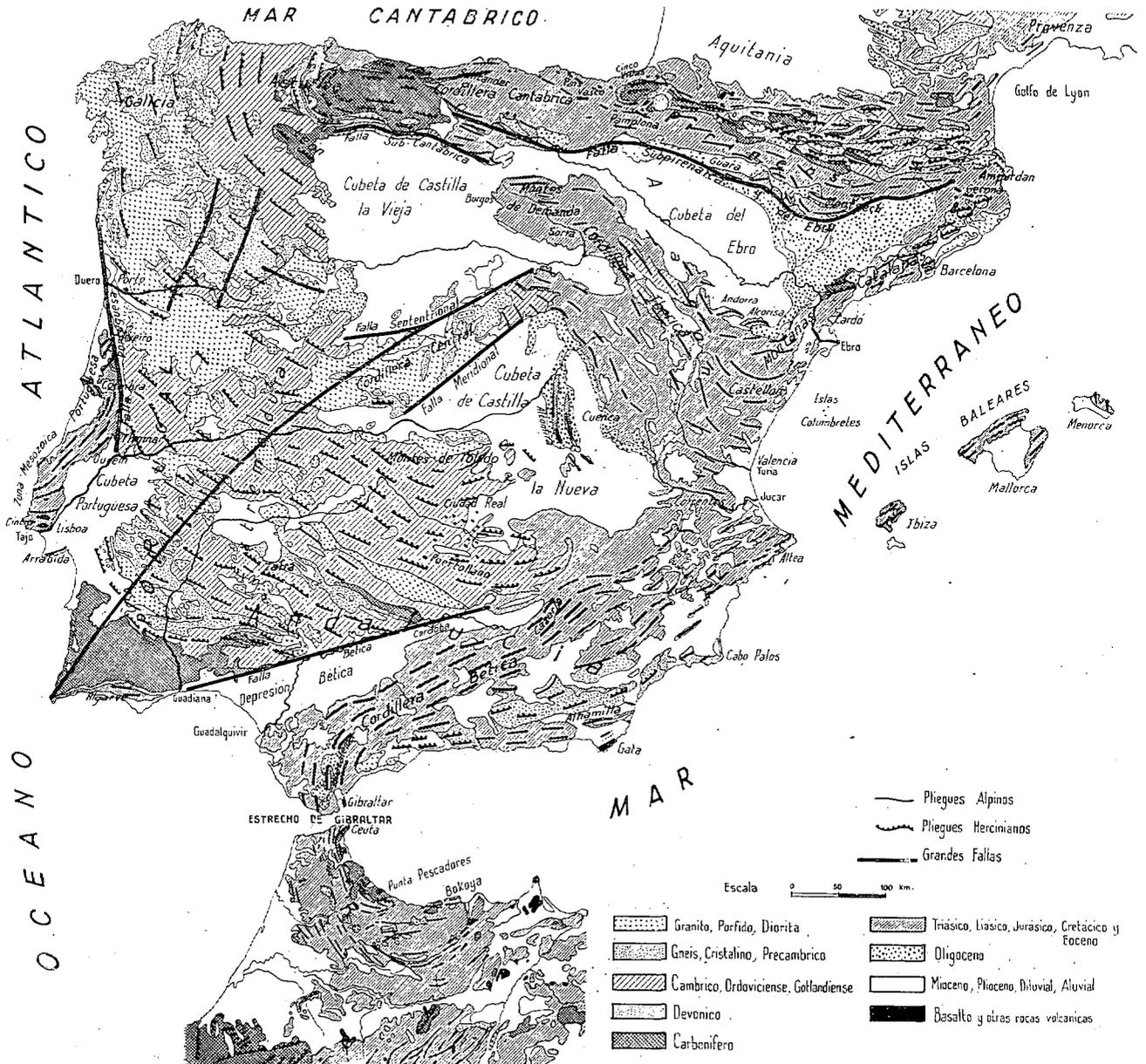


Figura 3.

midades de Pomarão, penetrando en España, en donde de nuevo es envuelto por el Carbonífero.

Más arriba está el pliegue casi totalmente en Devónico de Mértola, en donde el Carbonífero aparece únicamente en sinclinales, viniendo más al norte la zona de pliegues exclusivamente en Devónico superior que penetran con la misma disposición en la provincia de Huelva.

Desde la confluencia del barranco Dos Alcaldes con el Chanza, y hacia el norte, se presenta la importante zona de terrenos metamórficos, que desde cerca de Beja llega hasta más al este de Aracena, y que flanqueada al norte

cialmente de pórfidos diabásicos en los afloramientos devónicos tanto de Portugal como de España.

Proceso de formación de la estructura.

Los pliegues hercínios de la Península Ibérica (fig. 3), son concéntricos del gran codo asturiano, como se observa fácilmente en Asturias occidental y en Galicia-León, y menos claramente en la mitad occidental de la Península, en donde tienen dirección de NW a SE o de

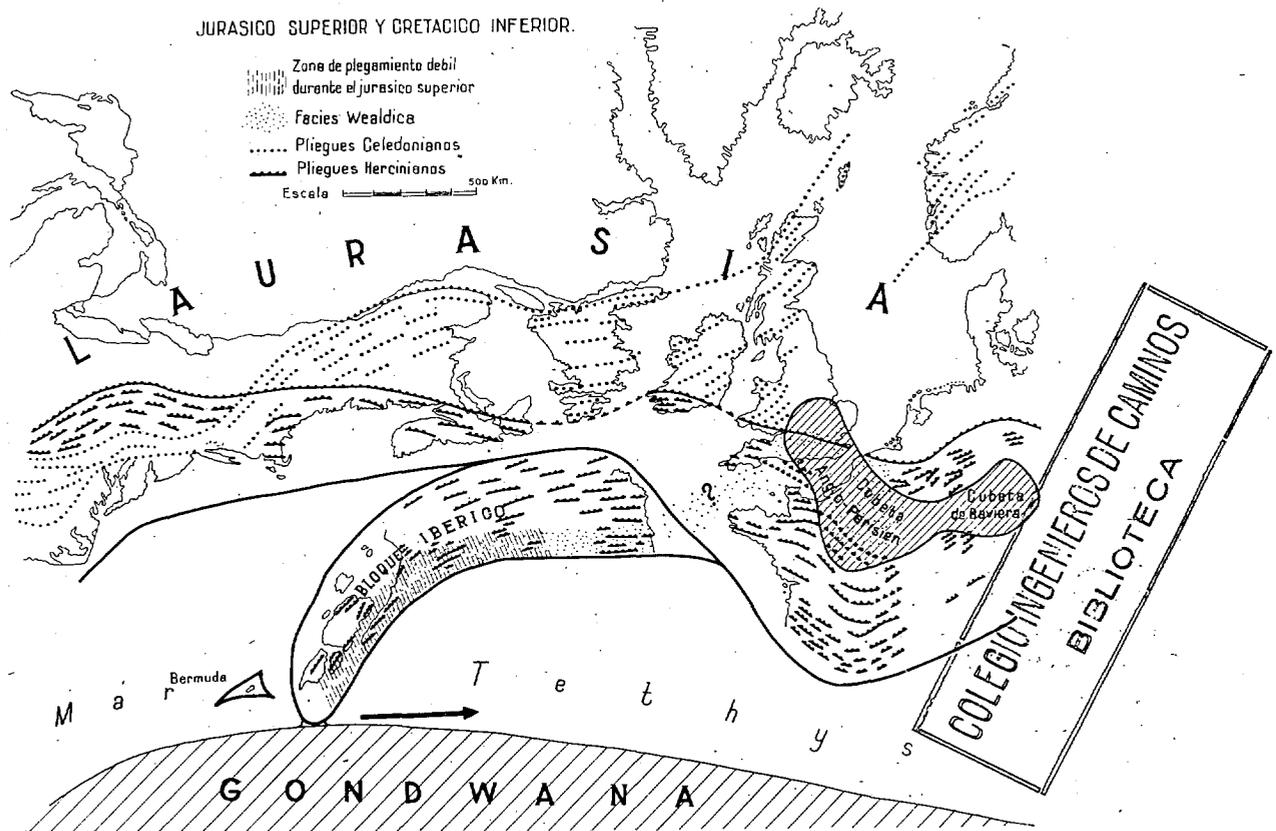


Figura 4.

por una banda de Devónico, parece ser como la cúpula de un batolito de rocas intrusivas inyectado dentro de una sola banda de Devónico que comprendiera las dos anteriormente citadas.

Al batolito intrusivo pertenecerían los asomos de dichas rocas, que se presentan en gran número pero poco extensos, especialmente en la provincia de Huelva, dentro de la zona metamórfica, y los también numerosos asomos, espe-

WNW a ESE, disposición ésta que debieron tomar durante el plegamiento alpino del terciario, mucho después de la orogénesis hercíniana, que fue la que originalmente los moldeó (véase el artículo del autor sobre "La estructura de la Península Ibérica", REVISTA DE OBRAS PUBLICAS, enero 1950), todo ello como consecuencia del doblado y flexión del bloque ibérico durante la orogénesis terciaria (figs. 4 y 5).

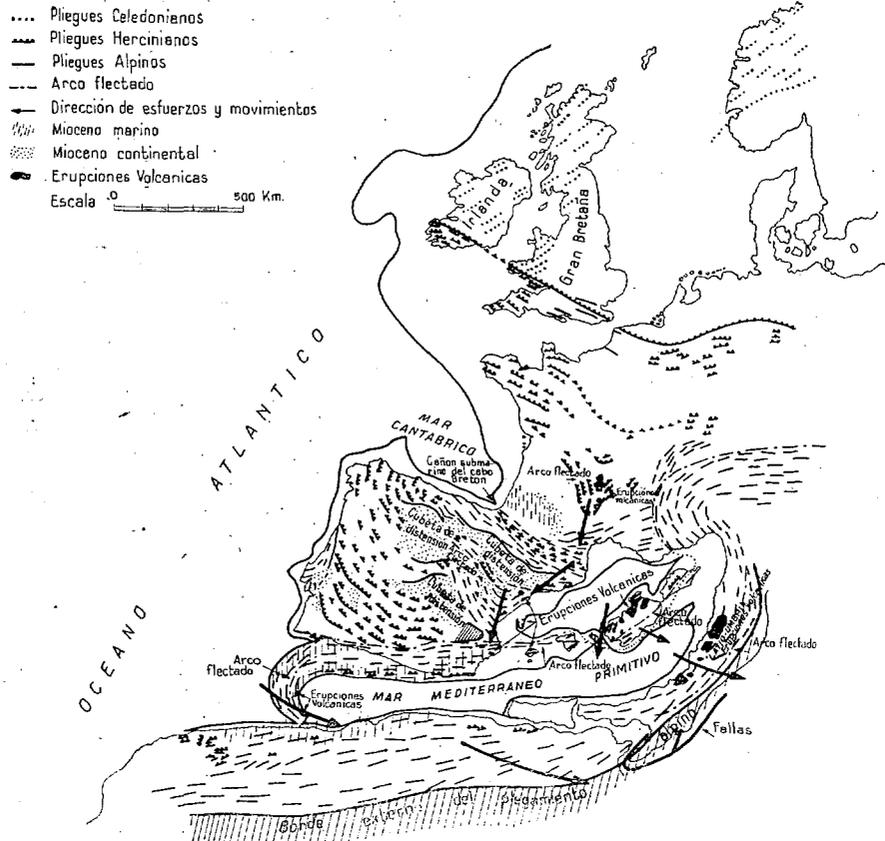


Figura 5.

Esta última teoría del movimiento y flexión del bloque peninsular, ha recibido en estos últimos años una total confirmación con el descubrimiento de los desplazamientos corticales continentales y oceánicos mediante la tectónica de placas, verificada ésta, a su vez, por las bandas paleomagnéticas oceánicas, las grietas generadoras de nueva corteza, y la subducción de ésta última en las grandes fosas marinas, hacia el interior del manto terrestre.

En España occidental y en Portugal, los pliegues paleozoicos forman amplios arcos, cóncavos hacia el interior de la Península, los cuales en el SW, en el Alentejo, Algarve, Badajoz y Huelva, a veces toman forma ondulante, como amplias omegas, y en el valle medio inferior del río Tajo, como abiertas S.

Los arcos de plegamiento citados, se formaron por la flexión del bloque peninsular de corteza terrestre y, como consecuencia de ello, fueron acompañados por un sistema de fallas y fracturas alpinas.

En efecto, según la teoría de la elasticidad, la distribución de tensiones alrededor de un punto de una placa elástica en tensión es una elipse, cuyos ejes coinciden con las tensiones principales, y en donde los máximos esfuerzos de corte tienen lugar a 45° con aquéllos, mas como la corteza terrestre no es perfectamente elástica y tiene cierta plasticidad, esto da lugar a que las direcciones de máximo esfuerzo cortante giren aumentando el ángulo con la tensión principal máxima, que en algunos casos puede llegar a cifras del orden de los 60° .

Por las circunstancias indicadas, al doblarse el bloque peninsular durante el terciario, a la vez que los arcos de pliegues, se formó un complicado sistema de fallas, unas normales generalmente en la dirección del plegamiento y otras oblicuas a este último, de desgarre por esfuerzo cortante.

Dichos sistemas de fallas se observan con gran claridad y en gran número cerca del eje de la flexión, en el codo asturiano, especialmen-

te en Galicia, pero también existe en el resto del bloque, entre las que resaltan las de desgarre, de las que en años recientes, los geólogos españoles y portugueses han encontrado una enorme de unos 600 kilómetros de longitud, que partiendo del Cabo de San Vicente, en el sur de Portugal, corta el pliegue devónico de Beja, al oeste de dicha ciudad, penetra en España por Alburquerque, cruza el río Tajo por Garrovillas (véase fig. 3), pasa por Plasencia, remonta el río Jerte, atraviesa el puerto de Tornavacas y continúa al norte de Avila, estando en gran parte inyectada de diabasa.

El desplazamiento transversal producido por dicha gran falla, es del orden de 4 a 5 Km, con el bloque occidental corrido hacia el sur respecto del oriental, como se desprende de los dos pedazos cortados del pliegue devónico de Beja (fig. 3), y asimismo del sinclinal de cuarcitas ordovicienses de Mirabel, cortado y desplazado en Cañaveral, al norte del Tajo, el cual además ha sido deformado en planta en forma de S abierta, tal como se ve en el mapa estructural de la Península Ibérica de la figura antes citada.

Además de la falla principal descrita, existen otras fallas de desgarre paralelas a ella, muchas de las mismas también inyectadas de diabasa, como la que cruza el salto de Torrejón y remonta el Tietar, en la confluencia de este río con el Tajo; perteneciendo también a este sistema el haz de fallas de desgarre del bajo Guadiana y de la provincia de Huelva.

El túnel de San Silvestre y la estructura geológica.

El túnel de San Silvestre está dentro de la zona de terrenos del Carbonífero de la región del Alentejo, Algarve y Huelva, la cual presenta las características generales estratigráficas y tectónicas anteriormente definidas.

La región en detalle, está plegada por la orogénesis herciniana y deformada por la alpina, siendo característica la dirección ondulante de los ejes de plegamiento anteriormente descrita, que forma omegas muy abiertas, estando además afectada por un complicado sistema de fallas, entre las que resaltan por su importancia las de desgarre por esfuerzo cortante paralelas a la gran falla tipo, pero de la red conjugada con la anterior, y mucho menos frecuente, otras

de tipo normal con la dirección aproximada a la de plegamiento, y por último, algunas inversas debidas a pliegues volcados e imbricados hacia el SSW.

La estratigrafía en detalle de la zona del túnel es muy monótona, pues se reduce a pizarras grises o negras con filadios entre los que alternan grauwackas, que en algunos tramos faltan, mientras que en otros se presentan en bancos gruesos resistentes, siendo lo normal que aparezcan sólo en bancos delgados entre la masa predominante de pizarras.

En la figura 6, está representado el túnel, su enlace con la conducción del Chanza y su conexión con el arroyo afluyente al embalse del Piedras, estando asimismo dibujados, entre otros, los dos anticlinales más importantes que lo cruzan, el más meridional de los cuales es precisamente el de Alcoutim-Sanlúcar antes citado, y las dos fallas principales de desgarre que lo afectan, ambas paralelas a la fundamental del cabo de San Vicente, las cuales siguen en la topografía superficial vallonadas, cauces y collados desbastados por la erosión en la roca machacada de las fracturas.

En el plano anterior están representados tres anticlinales y tres sinclinales, de los que dos corresponden a los pliegues principales antes citados, y el tercero es probablemente una escama imbricada, siendo la vergencia de todos ellos hacia el SSW, oscilando la dirección de los ejes entre N-130°-E y N-110°-E, mientras que las fallas principales de desgarre tienen dirección usual N-50°-E, es decir, que el ángulo entre pliegues y fallas principales es de unos 60°, que es la cifra que cabía esperar, como se indicó anteriormente, dada la apreciable plasticidad de la importante formación de pizarras, resultando casi perpendiculares las direcciones del túnel y de las fracturas de desgarre.

Asimismo, están indicadas de trazos las fallas menores, apreciándose una serie de ellas de dirección aproximadamente paralela al túnel y por lo tanto normal a la de las fracturas principales de desgarre, las cuales por su dirección, deben ser del sistema conjugado de las últimas, pero de importancia muchísimo menor que la de éstas, y además otra serie sensiblemente paralela a la de los ejes de plegamiento, que debe corresponder a las fallas normales directas e inversas, estas últimas en algún caso serán seguramente superficies de imbricación.

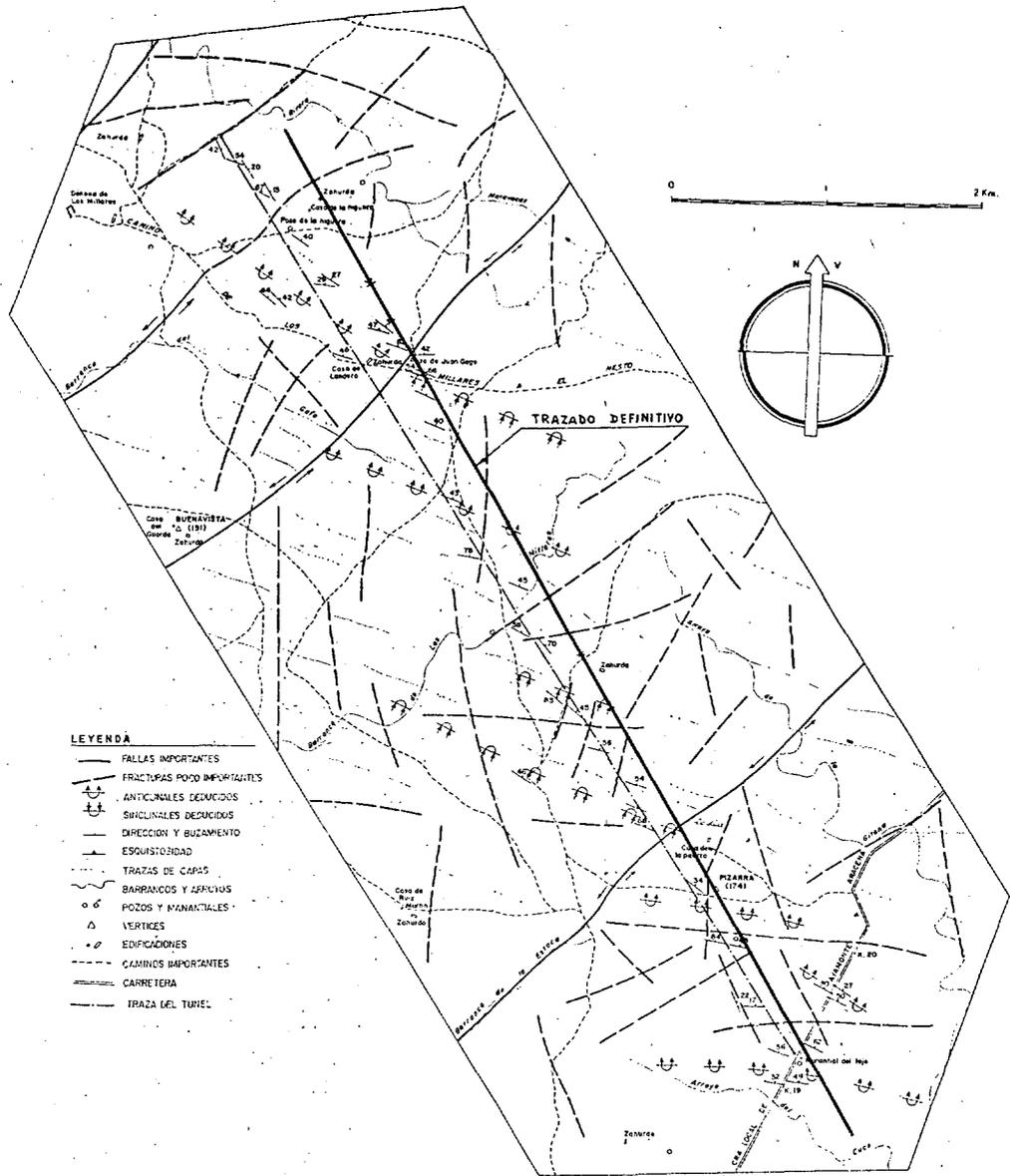


Figura 6.

En la perforación del túnel por la boca de entrada, se utilizaron métodos clásicos usuales, pero no maquinaria moderna de alto rendimiento, siendo ésta la razón de que la excavación progresase a ritmo relativamente lento, no habiéndose encontrado grandes dificultades, y sí sólo pequeños tramos algo fracturados por fallas secundarias.

La perforación del túnel por la boca de salida, se empezó utilizando grandes medios; con un jumbo de taladro múltiple de gran rendimiento, y con un tren de carga y transporte de

amplia capacidad, prácticamente automático, consiguiéndose con esta maquinaria en roca normal, un avance medio de 15 m al día, el cual en roca semifracturada bajaba a la mitad, es decir, de 6 a 8 m, descendiendo por último en la zona de la primera falla principal de desgarre a 1 m diario.

En los tramos de roca sana no ha habido necesidad de poner entibación, mas en las partes de roca semifracturada, hubo que situar cerchas metálicas, las cuales, en las zonas de roca machacada de las fracturas y de la falla, estas úl-

timas en mayor número, estaban reforzadas con codales, sosteniendo además un revestimiento de madera en rollizos de poco diámetro, los cuales tenían que montarse en visera apoyada en las cerchas anteriores, para poder trabajar en la excavación de la masa deslizante de roca descompuesta.

La intrusión de agua ha sido moderada y perfectamente controlable, sólo en algún corto período de tiempo ha surgido en cantidad, mas ha ido disminuyendo progresivamente al ir desagando la zona de rocas fracturadas.

En alguna de las fallas secundarias, y sobre todo en la falla principal de desgarre, se produjeron algunos hundimientos de chimeneas, el peor de los cuales tuvo una dimensión aproximada de unos 9 m de altura, los cuales se pudieron controlar con la entibación, mas todo este sistema de accidentes, retrasó considerablemente la excavación del túnel.

El freno principal para la excavación, tuvo lugar en la zona de roca machacada de la falla principal, que resultó tener un ancho de 30 m de longitud, y que en atravesar la cual se tardó un mes, cuando a marcha normal debía haberse tardado dos días solamente.

La falla principal está a 2.350 m de la boca de salida, y una vez atravesada se restableció la velocidad media de avance de 15 m al día.

El retraso sufrido en la obra debido a la roca fracturada se repitió en la segunda falla principal de desgarre situada a 3.500 m más allá de la primera, e incluso se volvió a sufrir en otra tercera falla del mismo tipo en la vertical del barranco de Los Millares, a unos 1.900 m de la anterior, mas en todos los casos, el ancho de

roca machacada fue siempre del orden de 30 m y las dificultades análogas en todas la fracturas.

Las fallas secundarias no ofrecieron dificultades apreciables, sólo pequeños retrasos en el avance, de poca importancia.

La solución utilizada para el caso de las fallas importantes, fue la de inyectar y consolidar la roca machacada de las mismas con un haz divergente de taladros, realizando después la excavación de modo natural, mas en nuestro caso debido a la naturaleza especial de la roca, pizarra algo blanda, ésta produjo al fracturarse bastante material arcilloso que podía interferir con la inyección, por lo que hubo que modificar el procedimiento usual de consolidación, realizando por los taladros antes de la inyección un lavado de la masa rocosa con una mezcla de aire y agua a presión, siguiendo a continuación el macizado con la lechada de cemento, y la excavación con explosivos.

Todas las estructuras geológicas encontradas durante la excavación del túnel, encajan perfectamente con las previsibles por la teoría de la flexión del bloque cortical ibérico para la zona sudoccidental de la Península, en las proximidades de la gran falla del cabo de San Vicente.

El túnel se terminó en el plazo previsto por la empresa contratista Entrecanales y Távara, S. A., realizando algunos trabajos de exploración Tierras y Aridos, siendo el director de la obra el ingeniero D. Pablo Murga Rodríguez, de la Confederación Hidrográfica del Guadiana, del Ministerio de Obras Públicas, bajo la supervisión del Director de dicho Servicio, D. Juan Domercq Touchard.