

AYER, HOY Y MAÑANA EN EL SAHARA FRANCES

Por FEDERICO MACAU VILAR
y JORGE FANLO NICOLAS

Ingenieros de Caminos.

Presentan los autores una interesantísima y documentada información sobre el Sahara francés, en la que con gran amenidad se describe el enorme trabajo desarrollado en los últimos años en aquella región, de cuya fantástica transformación podrá darse perfecta cuenta el lector en este artículo, que podemos calificar de perfecto reportaje técnico.

La inmensidad impresionante de las interminables montañas de arena, los llamados "Ergs", volando sobre los cuales la vista se pierde en derredor, sin que sea capaz de definir en el límite del horizonte dónde termina la arena y dónde empieza el cielo, no obstante ser la visión más familiar que suele tenerse del desierto con todos los centenares de kilómetros de longitud que en su conjunto suman las dos principales cadenas de dunas que forman el "Gran Erg oriental" y el "Gran Erg occidental", con una anchura media del orden de otros doscientos kilómetros, no es, sin embargo, a pesar de ser el clásico, el único paisaje que ofrece esta región del planeta, al parecer olvidada hoy por la vida, y en la que la tierra muestra su corteza con la desnudez más absoluta.

Pese a la aridez dominante de este país, en el que no existen ni bosques, ni praderas, ni huertas, ni barbechos, ni ríos, ni fuentes..., el paisaje sigue mostrándose tan variado que resulta imposible cualquier intento de descripción general.

El desierto presenta, como cualquier otra unidad geográfica de su extensión, una topografía normal: hay montañas y valles, hay mesetas y llanuras; y en él se encuentra todavía el desarrollo y trazado de una importante red hidrográfica, aunque hoy inexistente por estar en seco, pero de cuya envergadura y caudales pasados nos hablan elocuentemente los profundos cañones que dejaron labrados sus ríos en tiempos remotos, y las huellas de la continua y enorme labor erosiva desarrollada por los mismos, aún patente en las laderas y márgenes de los viejos valles.

Junto a esta movida topografía de importantes desniveles, con cimas incluso que alcanzan los 3 000 metros de altura, se extienden asimismo vastas llanuras, de cuyo suelo fino y arenoso surgen a cualquier hora del día, especialmente en las épocas de calma, fantásticos remolinos de arena que, formándose a ras del suelo, se elevan rápidamente, emprendiendo veloces carreras, como persiguiéndose unos a otros en un extraño juego en el que desaparecen de golpe en un momento para resurgir un poco más allá, y así varias veces, muchas veces, hasta esfumarse en el seno de una atmósfera siempre azul.

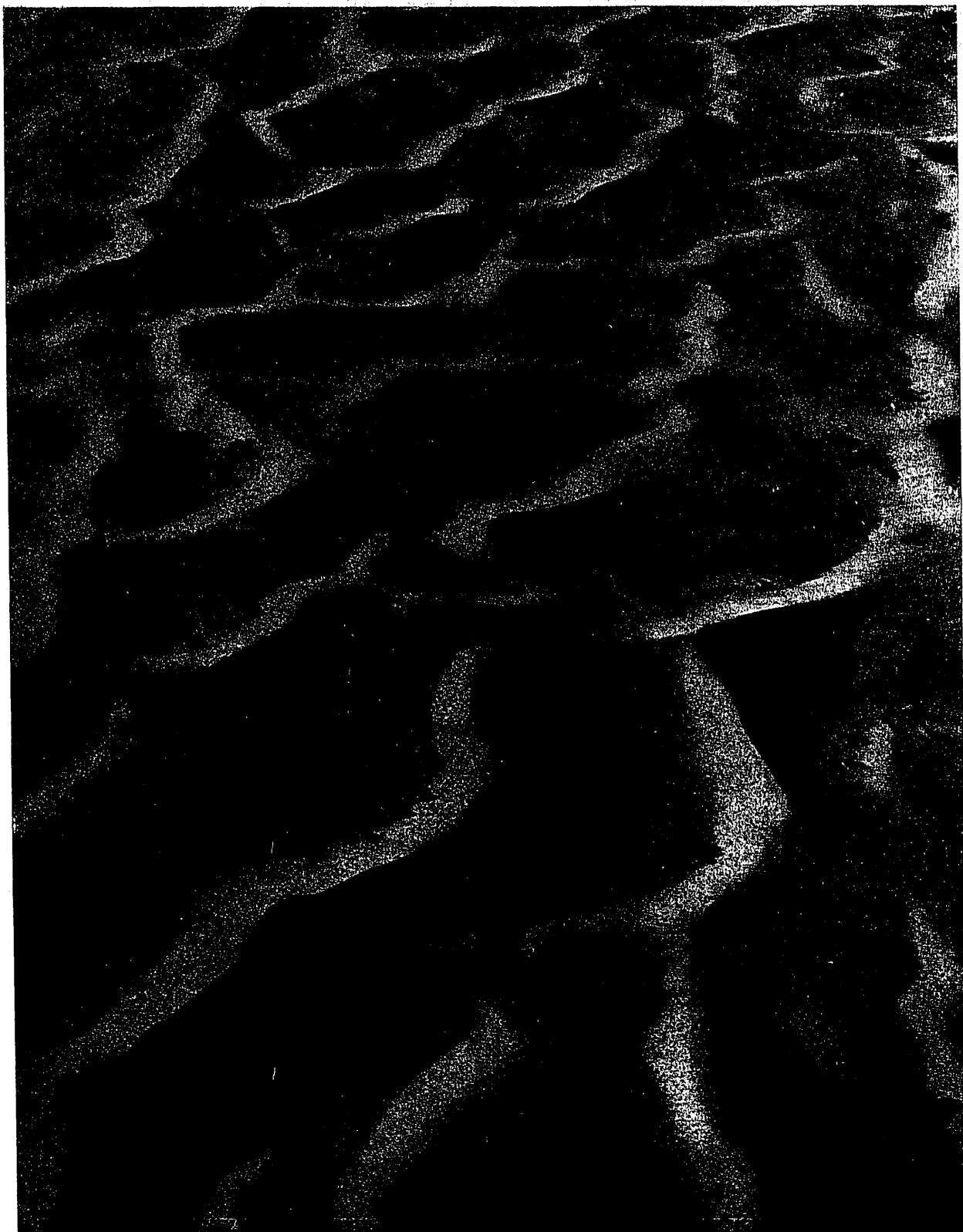
En otros lugares, la acción constante del viento ha logrado barrer toda la arena y queda el suelo cubierto solamente de cantos brillantes y pulidos durante decenas y decenas de kilómetros, formando las llamadas "hammadas", cuya monotonía sólo se interrumpe esporádicamente por los cerros testigos, cada vez más efímeros, de los restos de las formaciones que otro día las recubrían, y por las profundas y estrechas entalladuras por las que también en tiempos pasados circularon alegres arroyos o caudalosos ríos que vivificaron otros paisajes, de cuya presencia quedan hoy solamente restos de los troncos de sus bosques, fosilizados en duro sílex, como último recurso para poder perpetuar su memoria, supremo intento apenas conseguido tras la lucha constante con los fuertes vientos que soplan a menudo con tanta violencia, portadores, además, de partículas de arena de gran efecto erosivo, y con los rigurosos y ardientes efectos de las radiaciones del sol, en última instancia rey absoluto de esta inmensidad del silencio y del vacío.

Ayer.

Sin embargo, este país recocado por el sol y azotado y limado por los vientos, ha sido desde siempre, a pesar de todo, más o menos habitado por el hombre.

En la vertiente meridional del Atlas Sahariano, y en una franja paralela a esta cadena montañosa, se extiende la región de los Nómadas, que en su trashumante vivir cubren una zona de más de doscientos kilómetros de ancho.

Más al Oeste, entre Biskra y Touggourt, pequeños pueblos junto con sus minúsculos palmerales, salpican de tarde en tarde de manchas verdes el casi infinito dorado de las arenas sin fin; entre ellos merece especial mención El-Oued, en el borde Norte del "Gran Erg oriental", con sus estrechas calles y complicada urbanización, por la que no puede penetrar el sol, y sus viviendas, compuestas de minúsculas habitaciones, techadas cada una de ellas con su clásica cúpula de impresionante aspecto a vista de pájaro, construídas con yeso, único material de construcción



Vista aérea del desierto con sus clásicas alineaciones de dunas constantemente movidas por el viento.

El-Oued con sus típicos tejados formados con cúpulas y bóvedas para cada habitación



que, con la arena, se encuentra en aquel país, y en el que se presenta cristalizado formando macas múltiples que se hallan por todos su alrededores superficialmente enterradas y cuyo fantástico aspecto de flores petrificadas les ha valido el nombre de "rosas de arena".

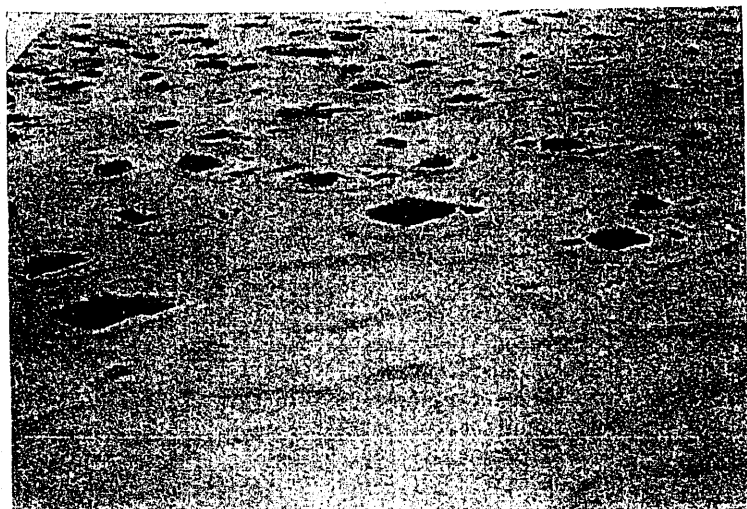
En el extremo del departamento de Constantine se extiende la región de M'Zab, sede de los Morabitas, pintoresca agrupación de pequeños pueblos, cuyas casas trepan por las faldas de las reducidas colinas que rodean y dominan un gran oasis y cuya silueta vemos siempre rematada en lo más alto por el clásico minarete piramidal de la respectiva mezquita. Ghardaia es su capital, y el conjunto se tiene como el centro más puro del Islám, donde practican su religión, tal y como debió ser en un principio, con el puritanismo e intransigencia característicos que recibieron en su día directamente del Profeta.

Esparecidos por todo el desierto suelen encontrarse

algunos oasis, tales como Touât, Gourara, Tidikelt, . . . , etcétera, etc., que son otros tantos puntos de verdor que, aunque al parecer perdidos en aquella inmensidad, jalonan, sin embargo, las viejas rutas de enlace con el Africa Negra.

Finalmente, en el Sahara central desarrollan su vida patriarcal, entre sus rebaños de camellos y cabras, los Tuaregs, pueblo de primitivas costumbres, que ha sido el que ha mantenido este enlace, aunque sólo fuera comercial, entre el Africa Blanca del Norte y los negros del Sudán.

El pasado de esta región, y casi su presente, se halla enterrado y celosamente defendido por estas montañas movedizas de arena, algunas de las cuales sobrepasan los cien metros de altura. Su historia resulta un tanto misteriosa y los testimonios y restos de la misma hay que arrancarlos uno a uno allá donde por un capricho cólico circunstancial quedan temporalmente al descubierto.



Vista aérea de los alrededores de El-Oued. Jardines de palmeras en el fondo de unos embudos artificiales excavados en medio de las arenas del desierto.

Entre la arena de las dunas, en medio del laberíntico conjunto de colinas y valles sin fin, de las series interminables de ondulantes cordilleras siempre tan iguales y tan distintas, en las que cualquiera que no posea este instinto especial de orientación que deben tener los indígenas, al igual que las aves migratorias, se pierde y perece irremisiblemente, se encuentran puntas de flechas, hachas y gran variedad de otros utensilios de sílex del neolítico; en otros puntos aparecen acumulaciones de cerámica fenicia y romana. . . , y así hasta llegar a los más recientes restos de los cascotes de botellas y latas de conserva, se pueden seguir en el desierto las huellas de todos los pasos sucesivos de la historia, y viendo los palmerales de "El Oued" en el fondo de unos embudos de arena de más de 15 y 20 m. de profundidad y de cerca de un centenar de diámetro, excavados artificialmente para plantar en su interior las palmeras, con objeto de que sus raíces puedan alcanzar las capas húmedas del subsuelo y que sólo persisten por la tenaz voluntad de sus habitantes, que sin tregua ni descanso tienen que acarrear la arena del fondo hasta sus bordes, so pena de que en menos de un año todo el palmeral haya quedado sepultado por ésta, se queda uno pensando qué no puede haber bajo estas montañas arenosas que, al conjuro del más pequeño soplo del viento, se ponen en movimiento sin respetar ni reconocer obstáculo alguno. ¿Cuántas ruinas y restos de anteriores civilizaciones no habrá bajo estas arenas que tan celosamente guardan su secreto?

Hoy.

Y, sin embargo, a pesar de este sol, de estas arenas, de estos vientos, en una palabra, del desierto, se ha trabajado, estudiando y buscando no solamente estos secretos que podríamos llamar superficiales, sino que, además, la investigación ha llegado hasta las zonas más profundas, arrancando los secretos más recónditos guardados en sus mismas entrañas.

El éxito ha coronado estos esfuerzos, y tras los improbos e ingratos años de duro trabajo, hoy día el oro negro fluye ya a la superficie con tal abundancia y tal fuerza, que está transformando rápidamente toda aquella zona que hasta hace pocos años era solamente cruzada de vez en cuando por las caravanas de camellos, única manifestación de la vida y del comercio tan elementalmente establecidos en este país.

En enero de 1956, la S. N. REPAL empezaba en la zona de El-Oued Mya su octavo sondeo de prospección, junto a un viejo pozo camellero llamado "Hassi Messaoud" (El pozo Bienaventurado), y el 15 de junio del mismo año, alcanzando una profundidad de 3 330 m., se atravesó una capa de arenisca impregnada de petróleo, siendo este hecho el punto de partida de toda la transformación y desarrollo que desde entonces viene afectando tan profundamente a toda esta región.

Casi simultáneamente, en otro de los sondeos realizados en Hassi-er-R'Mel, se alcanzaba, en noviembre de 1956 y a la profundidad de 2 132 m., una arenisca triásica que contenía un importante nivel gaseoso a gran presión.

Desde entonces, los sondeos de prospección se han ido multiplicando abundantemente, señalando la existencia de una zona productiva de más de 1 600 kilómetros cuadrados.

Esquemáticamente, la formación geológica de toda esta zona es la que indicamos en la figura 1.^a, en la cual puede apreciarse una gran sucesión de pisos sedimentarios con un espesor total superior a los 4 000 metros. Los primeros están constituidos por diversas capas arenosas y arcillosas que corresponden al neógeno, con una potencia de unos 250 m.; debajo de éstas hay una serie de estratos de dolomías, anhidritas y sal, cuyo espesor es de 650 m., que corresponden al cretácico superior, piso senonense. Inmediatamente debajo y hasta una profundidad cercana a los mil metros, se encuentran calizas del turonense y calizas y arcillas del cenomanense; a continuación y hasta los 1 700 m., se halla el albense, formado por capas alternadas de arcilla y arenisca, y en el que a la cota — 1 200 hay una importante capa acuífera de gran extensión. Debajo se encuentra una pequeña formación dolomítica que corresponde al aptense, que separa las arcillas y areniscas superiores de otros estratos formados con los mismos materiales correspondientes al neocomiense, y a continuación, a más profundidad, siguen los terrenos jurásicos con un espesor total de 820 m., constituidos por arcillas, areniscas y dolomías del jurásico superior y por calizas con intercalaciones arcillosas del jurásico medio, posiblemente del dogger, encima de otras formaciones de anhidritas y sal de lias.

Todo ello descansa directamente sobre una potente formación triásica de sal maciza de 500 m. de potencia, debajo de la cual se encuentran con un espesor de otro centenar de metros, varias capas de arcillas y areniscas rojas del bunter, y debajo de éstas aparecen ya, a los 3 200 m. de profundidad, las areniscas del ordoviciense y del cámbrico en algunas zonas recubiertas de cuarcitas, que constituyen la roca-almacén de los yacimientos petrolíferos de esta región.

En estas areniscas, cuyo aglomerante es arcillo-bituminoso, los petroleros saharianos distinguen tres zonas: la superior, cuyo espesor varía desde algunos metros hasta 110, presenta una porosidad variable entre el 4 y el 10 por 100, una permeabilidad aún mucho más variable y un contenido en agua del orden del 15 al 20 por 100. La intermedia, que está formada también por una arenisca, pero con aglomerante más silíceo y espesor medio de 65 m., de los cuales sólo son interesantes los 30 primeros, su porosidad es del 10 por 100 y el contenido de agua del 30 al 50 por 100. Finalmente, la zona inferior, formada también por una arenisca cuyo aglomerante es casi

CORTE GEOLOGICO ESQUEMATICO DEL DESIERTO SAHARIANO (HASSI-MESSAoud)

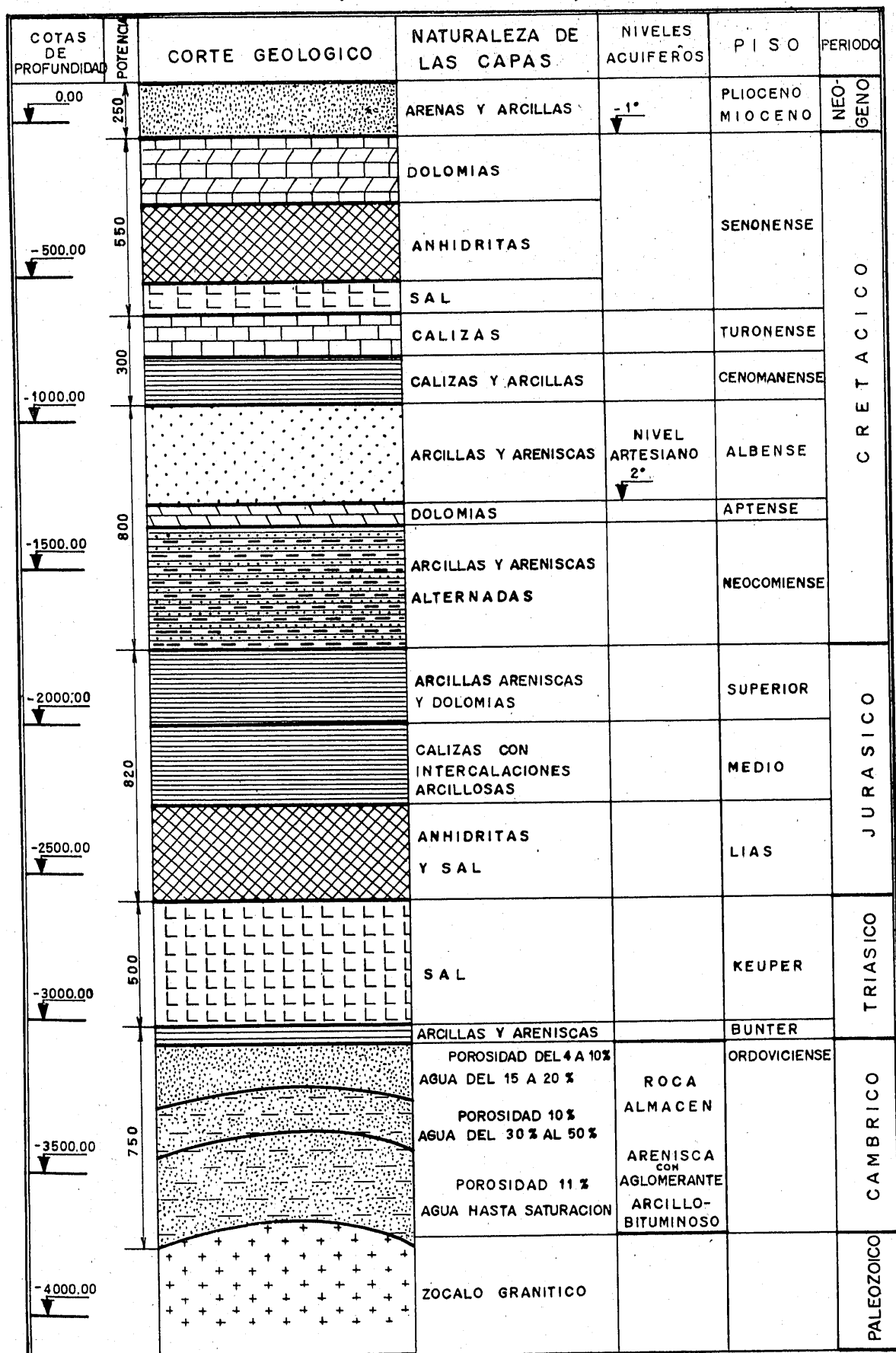


Figura 1.ª

Entre la arena de las dunas, en medio del laberíntico conjunto de colinas y valles sin fin, de las series interminables de ondulantes cordilleras siempre tan iguales y tan distintas, en las que cualquiera que no posea este instinto especial de orientación que deben tener los indígenas, al igual que las aves migratorias, se pierde y perece irremisiblemente, se encuentran puntas de flechas, hachas y gran variedad de otros utensilios de sílex del neolítico; en otros puntos aparecen acumulaciones de cerámica fenicia y romana. . . , y así hasta llegar a los más recientes restos de los cascos de botellas y latas de conserva, se pueden seguir en el desierto las huellas de todos los pasos sucesivos de la historia, y viendo los palmerales de "El Oued" en el fondo de unos embudos de arena de más de 15 y 20 m. de profundidad y de cerca de un centenar de diámetro, excavados artificialmente para plantar en su interior las palmeras, con objeto de que sus raíces puedan alcanzar las capas húmedas del subsuelo y que sólo persisten por la tenaz voluntad de sus habitantes, que sin tregua ni descanso tienen que acarrear la arena del fondo hasta sus bordes, so pena de que en menos de un año todo el palmeral haya quedado sepultado por ésta, se queda uno pensando qué no puede haber bajo estas montañas arenosas que, al conjuro del más pequeño soplo del viento, se ponen en movimiento sin respetar ni reconocer obstáculo alguno. ¿Cuántas ruinas y restos de anteriores civilizaciones no habrá bajo estas arenas que tan celosamente guardan su secreto?

Hoy.

Y, sin embargo, a pesar de este sol, de estas arenas, de estos vientos, en una palabra, del desierto, se ha trabajado, estudiando y buscando no solamente estos secretos que podríamos llamar superficiales, sino que, además, la investigación ha llegado hasta las zonas más profundas, arrancando los secretos más recónditos guardados en sus mismas entrañas.

El éxito ha coronado estos esfuerzos, y tras los improbos e ingratos años de duro trabajo, hoy día el oro negro fluye ya a la superficie con tal abundancia y tal fuerza, que está transformando rápidamente toda aquella zona que hasta hace pocos años era solamente cruzada de vez en cuando por las caravanas de camellos, única manifestación de la vida y del comercio tan elementalmente establecidos en este país.

En enero de 1956, la S. N. REPAL empezaba en la zona de El-Oued Mya su octavo sondeo de prospección, junto a un viejo pozo camellero llamado "Hassi Messaoud" (El pozo Bienaventurado), y el 15 de junio del mismo año, alcanzando una profundidad de 3 330 m., se atravesó una capa de arenisca impregnada de petróleo, siendo este hecho el punto de partida de toda la transformación y desarrollo que desde entonces viene afectando tan profundamente a toda esta región.

Casi simultáneamente, en otro de los sondeos realizados en Hassi-er-R'Mel, se alcanzaba, en noviembre de 1956 y a la profundidad de 2 132 m., una arenisca triásica que contenía un importante nivel gaseoso a gran presión.

Desde entonces, los sondeos de prospección se han ido multiplicando abundantemente, señalando la existencia de una zona productiva de más de 1 600 kilómetros cuadrados.

Esquemáticamente, la formación geológica de toda esta zona es la que indicamos en la figura 1.^a, en la cual puede apreciarse una gran sucesión de pisos sedimentarios con un espesor total superior a los 4 000 metros. Los primeros están constituidos por diversas capas arenosas y arcillosas que corresponden al neógeno, con una potencia de unos 250 m.; debajo de éstas hay una serie de estratos de dolomías, anhidritas y sal, cuyo espesor es de 650 m., que corresponden al cretácico superior, piso senonense. Inmediatamente debajo y hasta una profundidad cercana a los mil metros, se encuentran calizas del turonense y calizas y arcillas del cenomanense; a continuación y hasta los 1 700 m., se halla el albense, formado por capas alternadas de arcilla y arenisca, y en el que a la cota — 1 200 hay una importante capa acuífera de gran extensión. Debajo se encuentra una pequeña formación dolomítica que corresponde al aptense, que separa las arcillas y areniscas superiores de otros estratos formados con los mismos materiales correspondientes al neocomiense, y a continuación, a más profundidad, siguen los terrenos jurásicos con un espesor total de 820 m., constituidos por arcillas, areniscas y dolomías del jurásico superior y por calizas con intercalaciones arcillosas del jurásico medio, posiblemente del dogger, encima de otras formaciones de anhidritas y sal de liás.

Todo ello descansa directamente sobre una potente formación triásica de sal maciza de 500 m. de potencia, debajo de la cual se encuentran con un espesor de otro centenar de metros, varias capas de arcillas y areniscas rojas del bunter, y debajo de éstas aparecen ya, a los 3 200 m. de profundidad, las areniscas del ordoviciense y del cámbrico en algunas zonas recubiertas de cuarcitas, que constituyen la roca-almacén de los yacimientos petrolíferos de esta región.

En estas areniscas, cuyo aglomerante es arcillo-bituminoso, los petroleros saharianos distinguen tres zonas: la superior, cuyo espesor varía desde algunos metros hasta 110, presenta una porosidad variable entre el 4 y el 10 por 100, una permeabilidad aún mucho más variable y un contenido en agua del orden del 15 al 20 por 100. La intermedia, que está formada también por una arenisca, pero con aglomerante más silíceo y espesor medio de 65 m., de los cuales sólo son interesantes los 30 primeros, su porosidad es del 10 por 100 y el contenido de agua del 30 al 50 por 100. Finalmente, la zona inferior, formada también por una arenisca cuyo aglomerante es casi

CORTE GEOLOGICO ESQUEMATICO DEL DESIERTO SAHARIANO (HASSI-MESSAOUD)

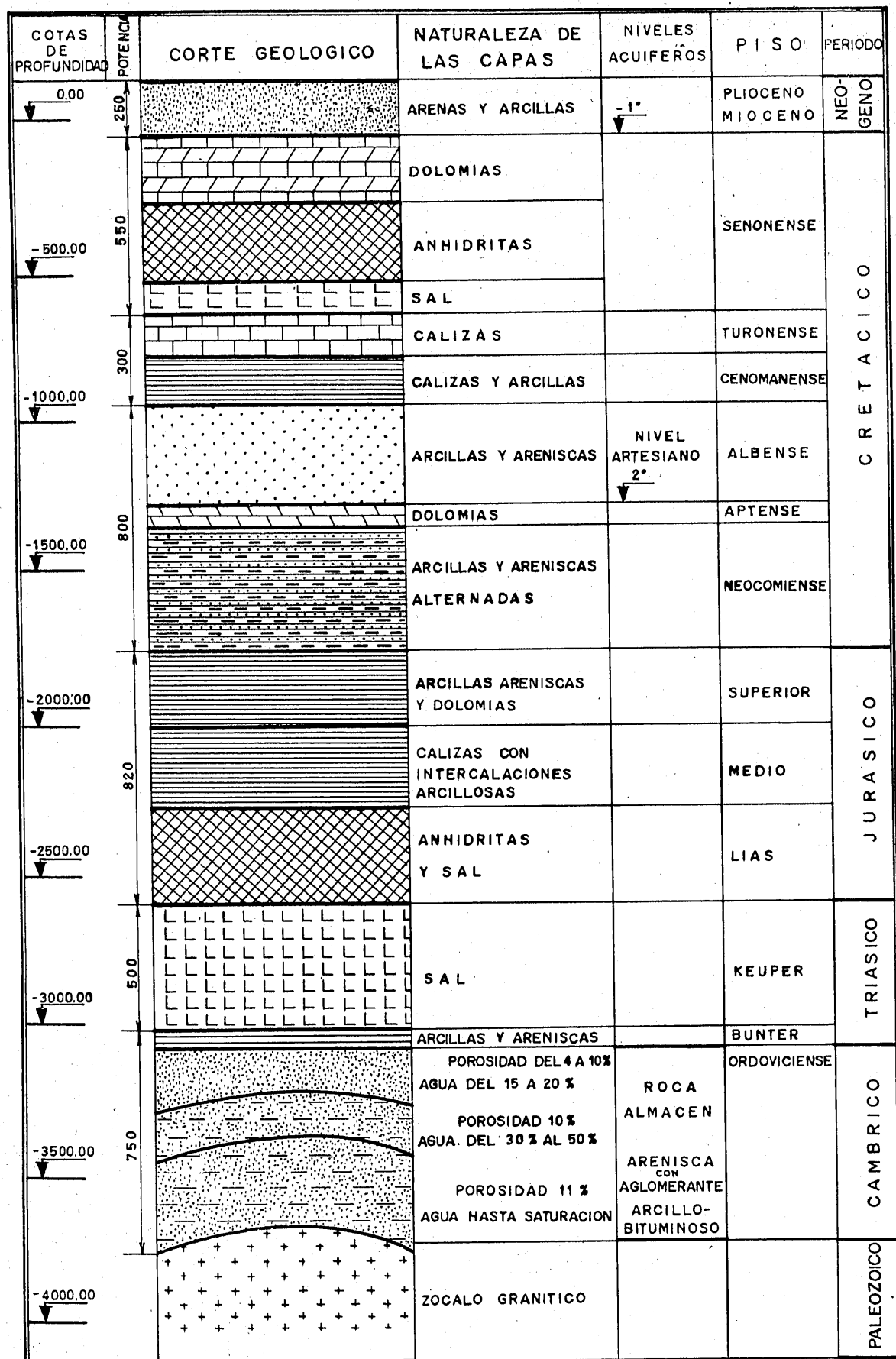
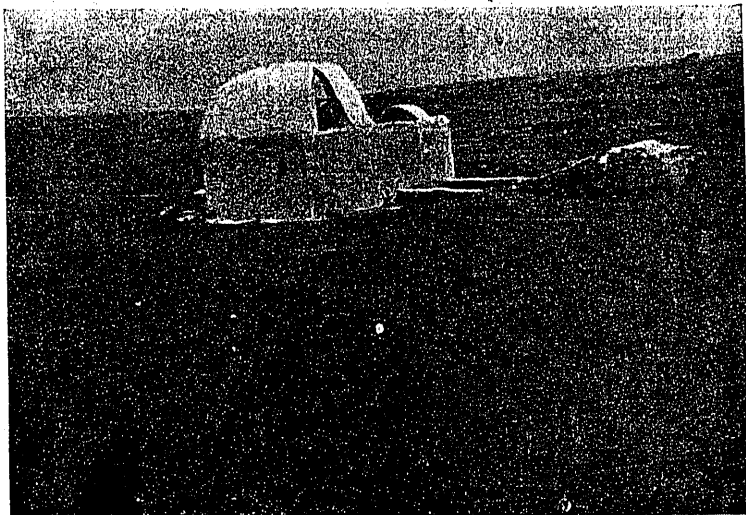


Figura 1.ª



El primitivo pozo camellero de Hassi-Messaoud. "Pozo Bienaventurado".

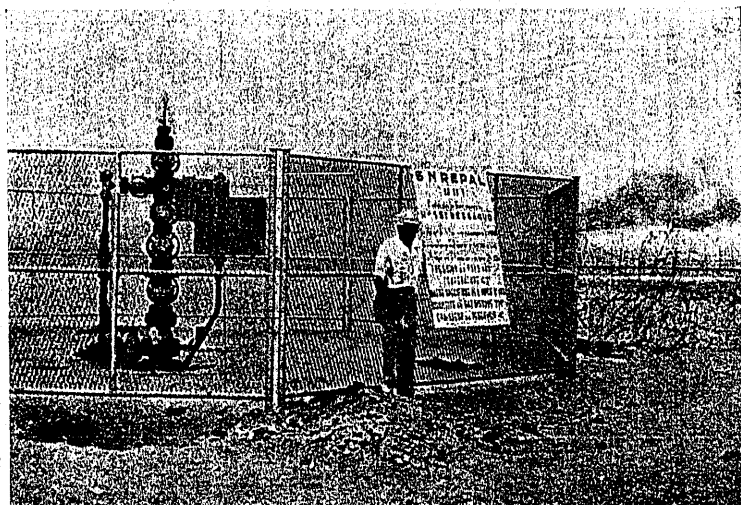
totalmente arcilloso, se extiende hasta el zócalo granítico; la porosidad de esta última capa es del 11 por 100 y se encuentra totalmente saturada de agua.

Antes de 1956 toda esta región, cubierta por las dunas de arena, era solamente visitada, como hemos dicho, por las caravanas que acudían a los pozos camelleros para renovar sus reservas de agua; pero en los últimos cuatro años el paisaje ha cambiado completamente y las antiguas sendas de las caravanas han sido sustituidas por modernas carreteras, y los camellos por pesados camiones, especialmente concebidos y contruidos para esta clase de climas y trabajos, y el antiguo pozo de Hassi-Messaoud apenas si se encuentra hoy, conservado como una reliquia histórica, en medio de las instalaciones y máquinas de todas clases establecidas a su alrededor, rodeado de de pabellones contruidos y en construcción para talleres, almacenes, viviendas, etc.; de los dos hoteles

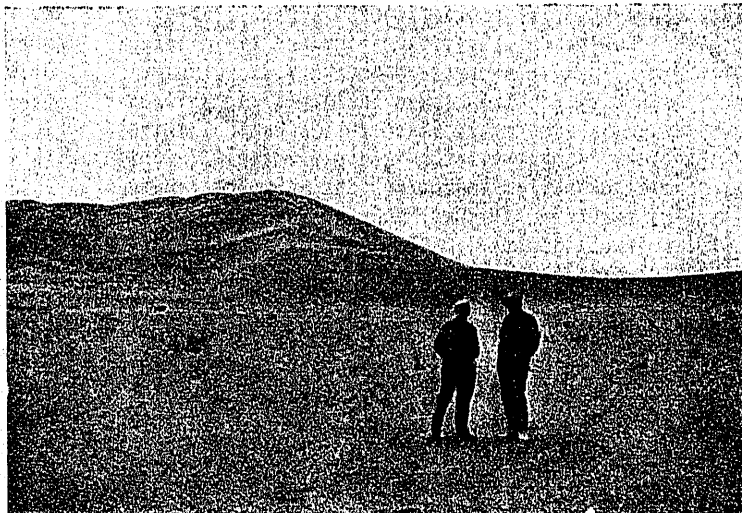
de más de doscientas camas cada uno y con capacidad para servir un millar de comidas diarias, que se han establecido en un radio de diez kilómetros, y que son los centros de una curiosa y especial población de más de siete mil personas, pertenecientes a un centenar de sociedades distintas, que trabajan y viven en los más dispares alojamientos; desde la clásica tienda de campaña provisional o las cabinas individuales metálicas herméticamente cerradas pero convenientemente climatizadas, a los más modernos apartamentos prefabricados o en llamativos bungalows establecidos en medio de los jardines de palmeras y flores exóticas artificialmente conseguidos y mantenidos, en los que no falta incluso ni el pequeño detalle de su parque zoológico.

Evidentemente, dadas las características tan peculiares de este país, el descubrimiento y la posterior puesta en explotación de los ricos yacimientos petro-

El pozo petrolero MD-1, primer pozo productivo de la S.N.R.E.P.A.L. en Hassi-Messaoud.



Dunas de arena a lo largo del trazado de la carretera de Ouargla a Fort Lallemand.

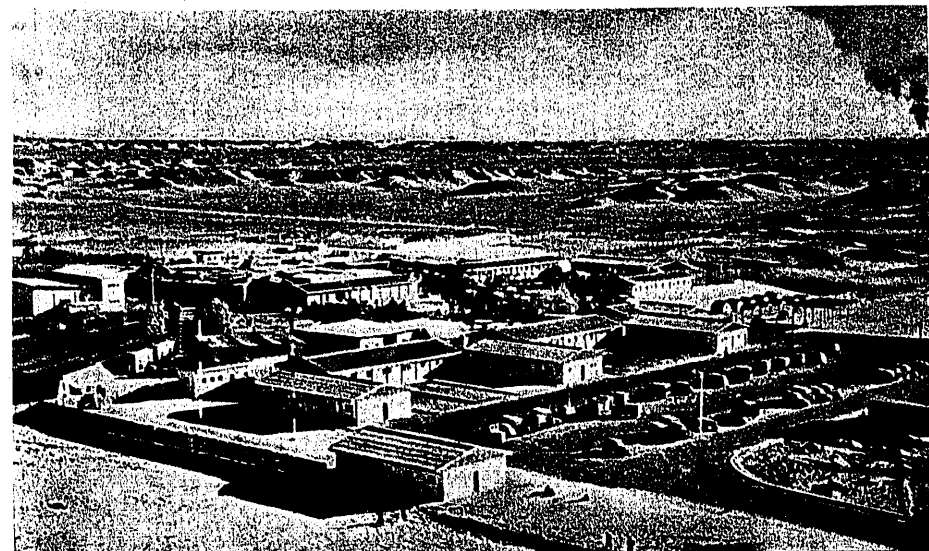


líferos encontrados, aparte de los problemas técnicos propiamente dichos que plantea toda explotación de este tipo, han surgido otros no menos importantes, que son, en realidad, la clave de la posible solución de los primeros; nos referimos al problema hidráulico y al de las comunicaciones.

El principal problema hidráulico nacido al socaire de estas explotaciones es el que presenta la gran cantidad de agua requerida, no sólo por las operaciones mineras y obras de todas clases que han de realizarse, sino también por las necesidades de la población humana que tiene que llevarlas a cabo, exacerbadas aún más por el carácter árido y desértico de la climatología regional.

Para los estudios de todos los problemas hidráulicos que plantean los abastecimientos de agua, por una parte, y la evacuación de las aguas negras, por otra, en todo el país en general, se ha creado, con

sede central en Argel, un "Servicio de Estudios científicos aplicados a la Hidráulica", dependiente directamente de la Dirección General de Obras Hidráulicas y Rurales, establecida en aquella misma capital. En este Servicio están reunidos ingenieros, hidrólogos, climatólogos, geólogos, químicos, edafólogos, agrólogos y demás especialistas que estudian todos los aspectos científicos de los problemas hidráulicos, trabajando en equipo los ingenieros y demás especialistas en el estudio y elaboración de los distintos proyectos que se necesitan para el alumbramiento y aprovechamiento de las aguas, empezando desde los estudios meteorológicos, que se preocupan especialmente del agua procedente de las lluvias, controlando incluso la cantidad de lluvia caída hora a hora en cualquier zona de todo el territorio, desde los numerosos puntos pluviométricos que, repartidos en una tupida red, cubren todo el país. Como en todas partes, una parte



Instalaciones de Hassi-Messaoud, oasis artificial en medio de las montañas de arena y pozos petrolíferos.

del agua de lluvia discurre por los ríos y arroyos, otra se infiltra en el terreno y otra, no despreciable en estos climas, se evapora, volviendo a la atmósfera. La Sección de Climatología e Hidrogeología procura seguir en todo momento la suerte de estas distintas fracciones del agua caída, y tiene establecido un fichero en el cual están controlados todos los puntos de agua naturales (fuentes, manantiales, etc.) o artificiales (pozos, sondeos, etc.), a medida que los ingenieros y demás especialistas los registran. A cada punto de agua se le asigna un número, que permite situarlo rápidamente sobre un mapa, y en la ficha correspondiente se anotan todas las características posibles: coordenadas geográficas, caminos de acceso, variaciones de caudal, constitución geológica, forma de captación (para una fuente), profundidad y corte geológico del terreno (para pozos y sondeos), análisis químicos del agua, etc., etc. En la actualidad este fichero consta ya de más de 30 000 fichas correspondientes a otros tantos puntos de agua, pero se considera aún como relativamente incompleto.

En otro fichero especial se anotan todos los abastecimientos de agua municipales establecidos, en proyecto y en estudio, con todos los datos correspondientes a los mismos.

En cuanto a la parte de agua que vuelve a la atmósfera por evaporación, que como hemos dicho no es despreciable en estos climas subáridos y áridos, se mide asimismo de un modo sistemático, al objeto de conocer estos datos tan importantes para el estudio de los proyectos de embalses y de riego.

En este mismo Servicio existe otra sección que se preocupa de los estudios y experiencias referentes a la lluvia artificial.

Dada la complejidad y diversidad de las cuestiones que se plantean desde el punto de vista hidrogeológico, para la solución, no sólo de los problemas de los abastecimientos de aguas, sino también para los de carreteras, ferrocarriles y, en general, para toda clase de obras públicas, se ha empezado simultáneamente con el inventario emprendido de los puntos de agua, el estudio sistemático de la geología de todo el país, trabajando en esta amplia misión equipos completos de ingenieros, hidrogeólogos y geólogos, que estudian conjuntamente y de un modo sistemático todo el país en general, dividido en zonas, y las distintas regiones en particular, donde en un momento dado se plantean esta clase de problemas de un modo acuciante.

En particular, por lo que se refiere a la zona de los yacimientos petrolíferos de Hassi-Messaoud, donde a los problemas planteados por la aridez total de la región se suman los resultantes de la ingente cantidad de agua que en ellos se necesita, y que a título de información basta indicar, por ejemplo, que un sólo aparato de sondeo utiliza del orden de los 50 metros cúbicos de agua diaria y un sondista necesita para beber de 10 a 15 litros de agua por jornada de trabajo, además de la necesaria para la construcción

de edificios, carreteras, etc., hace que el caudal del que se debe disponer se eleve a cifras prácticamente muy por encima de las consideradas como normales para este mismo tipo de trabajo, en otras regiones.

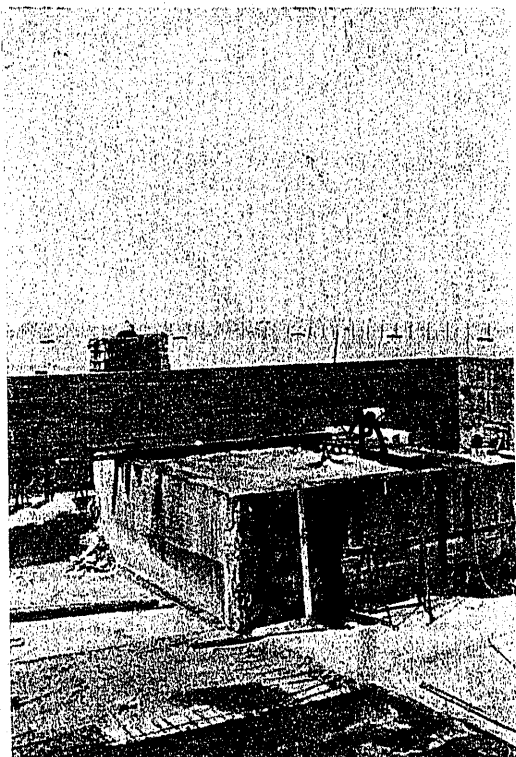
En el estudio geológico del subsuelo de esta región, y como indicamos en el corte esquemático de la figura 1.ª, se encontraron dos niveles acuíferos que han sido objeto de atención especial.

Aparte de los pequeños lentejones de agua más o menos superficiales, alumbrados de antiguo por los primitivos pozos camelleros y totalmente insuficientes para cualquier núcleo de población fija por pequeño que sea, que intentara abastecerse de ellos, se encontró una capa de agua potable situada a unos 100 metros de profundidad en los estratos permeables del neógeno, pero se comprobó en seguida que bien pronto iba a ser también insuficiente ante las necesidades crecientes de la misma en cuanto se salvara la época del establecimiento de los primeros campamentos provisionales. Afortunadamente en 1958, en uno de los sondeos de prospección, se encontró una segunda capa acuífera en los estratos arenosos del alense, a unos 1200 m. de profundidad, que proporciona un interesante caudal artesiano que puede sobrepasar los 15 000 metros cúbicos de agua diarios.

Este importante caudal de agua, que ha permitido abastecer no solamente las necesidades industriales y humanas de la población, sino que además permite poder llevar a cabo la total transformación de esta zona tan árida en otra relativamente fresca y agradable, por medio de los oasis artificiales creados con plantaciones de palmeras que se están realizando en plan intensivo al pie mismo de las zonas acotadas para parques de materiales y maquinaria, y que, resguardados por ahora con endeble vallas de cañizo en las que se cultivan los planteles de palmeras, han de ser, a no mucho tardar, convertidos en espesos y sombríos jardines.

Con este caudal de agua alumbrado se podrá, además, resolver otro problema de carácter social muy interesante, puesto que una vez terminada la primera etapa de prospección y cuando las instalaciones de alumbramiento del petróleo estén ya en régimen normal de explotación, se podrá fijar la casi totalidad de la población indígena sobrante que ahora trabaja como peones, colonizando estas zonas debidamente parceladas y convertidas en regadío, para lo cual ya desde ahora han empezado a funcionar escuelas agrícolas especiales de capacitación y experimentación, donde, además de ensayar los cultivos que resulten más adecuados para el país, se enseñan a la población indígena los métodos de cultivo que requieren. Estas parcelas en principio, como decimos en plan de experimentación y enseñanza, pasarán a ser más adelante propiedad de la misma gente que ahora aprende en ellas, para ellos y para esta región, nuevos sistemas de cultivo.

Otro de los grandes problemas aparecido a medida que las explotaciones petrolíferas han ido toman-



Pozo artesiano de Touggourt, alumbrando aguas del Albense a 1 200 m. de profundidad.

do importancia, ha sido la cuestión de los transportes.

Ha sido necesario para atenderla crear una densa red de comunicaciones por vía terrestre y aérea, a fin de llevar a pie de obra todo el material necesario de prospección primero y de explotación después, y de asegurar, además, el suministro de recambios y las rápidas comunicaciones, tanto de los diversos puntos de trabajo entre sí como entre éstos, el Norte y Francia.

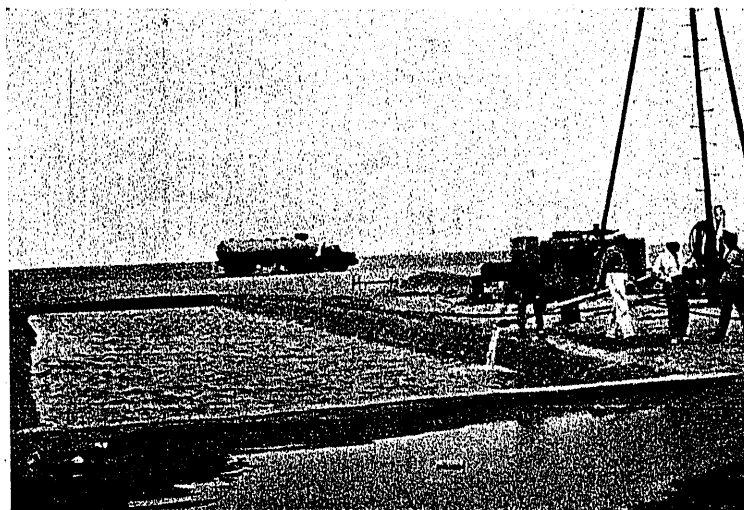
Prácticamente, hasta 1955 las vías de penetración en el Sahara estaban constituidas por pistas militares que, teniendo como soporte las primitivas sendas de las caravanas de comerciantes, eran el único enlace entre la zona Norte y lo que pudiera considerarse como "lo desconocido".

A principios de 1956, la pista de Ouargla-Fort Lallemand era la única vía de acceso a Hassi-Messaoud, y en ella se alternaban pocos trozos transitables con otros, en su mayoría casi siempre enarenados, en los que se precisaba el empleo continuo de telas metálicas onduladas para poder circular. A partir de estas fechas, aquellas primitivas pistas, más o menos rudimentarias, han sido sustituidas por excelentes carreteras, construidas por iniciativa y bajo la dirección de los equipos de Ingenieros de Caminos franceses.

En 1959, los 10 000 kilómetros de pistas y los 350 kilómetros de carreteras inventariados en 1955, se habían convertido en 9 175 kilómetros de pistas y 1 800 kilómetros de carreteras, con 600 kilómetros más en construcción y 4 000 kilómetros estudiados, esperando los créditos necesarios para su ejecución. Y todo ello realizado en pleno desierto, en condiciones tan adversas como las que, además de las ya indicadas, recordamos a continuación.

El clima es bien conocido por sus extremas condiciones de sequedad y temperatura, y en aquel país se considera "lluvioso" el año en el que las precipitaciones llegan a los 80 mm. de agua, y es normal que, en ciclos de diez años, sólo en dos o en tres se lleguen a superar los 50 mm. de agua. La variación de temperatura puede llegar hasta los 75° C., con mínimas de 0° C., y es raro el día en el que el grado de humedad es superior al 5 por 100.

La falta de experiencia en la realización de proyectos y obras similares, las dificultades para conseguir mano de obra, lo impreciso de los salarios y jornales, la falta de datos sobre el rendimiento de la

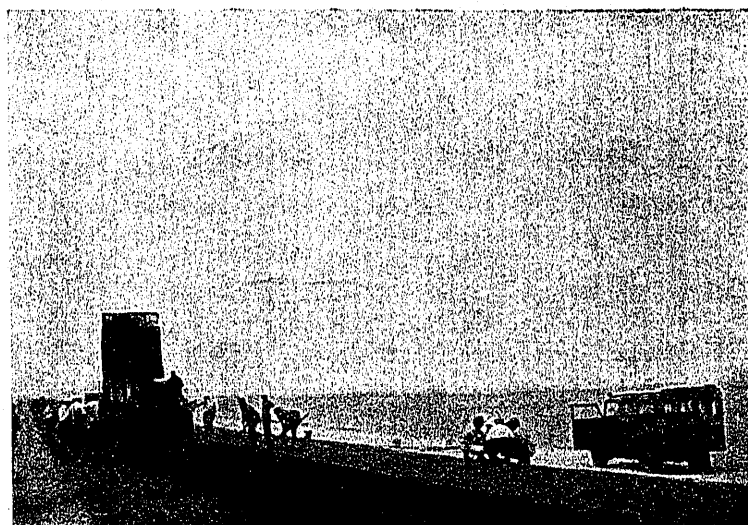


Pozo artesiano en pleno desierto para la construcción de la carretera de Ouargla a Fort Lallemand.



Laboratorio a pie de obra para estudio de los materiales para las carreteras. Instalación móvil en la obra de la carretera de Abdala a Tindouf.

Carretera de Ouargla a Fort Lallemand, en construcción.

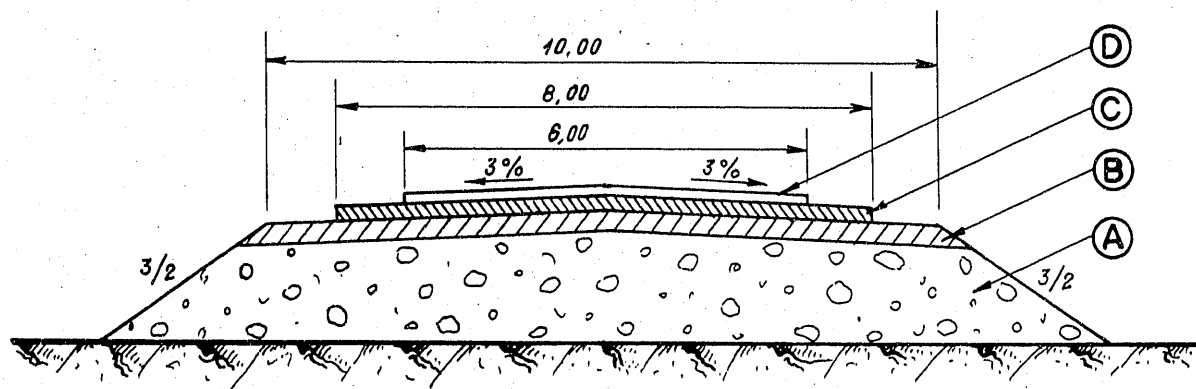


Carretera de Ouargla a Fort Lallemand, en construcción.

maquinaria, el establecimiento de vivacs y alojamientos, las dificultades de todo orden en los avituallamientos y, fundamentalmente, los enormes problemas

problema que se planteó fué el de la elección de la solución más adecuada al binomio transporte-vía de circulación. Por una parte, se ofrecía la posibilidad

1ª SOLUCION



1ª SOLUCION

	ESPESOR cm.	TERRAPLEN	MATERIAL	LIGANTE	OBSERVACIONES
A TERRAPLEN COMPACTADO EN SECO	ALTURA DEL TERRAPLEN 10 - 15	COMPACTADO EN SECO HASTA 95% PROCTOR MODIFICADO EN SECO			
B TERRAPLEN COMPACTADO CON AGUA	10 - 15	COMPACTADO CON AGUA CON RODILLO DE NEUMATICOS DE 50 T. HASTA 95% P.M	MATERIAL SELECCIONADO		
C MACADAM CON PENETRACION	10		120 l MACHACADO 20 / 100 15 l MACHACADO 0 / 25	3,5 Kg. C B. 150/250 EN PENETRACION	CUT BACK Y ARIDO EXTENDIDOS EN 2 VECES
D PAVIMENTO	4		55 l. MACHACADO 0 / 25 (REG)	5,5% C B 150/250	AGLOMERADOS EN FRIO CON MOTO-PAVER COMPACTADOS AL 90% L.C.P.C.

Figura 2.ª

humanos que hubo y hay que resolver, son jalones que definen un espíritu y un deseo de superación admirables.

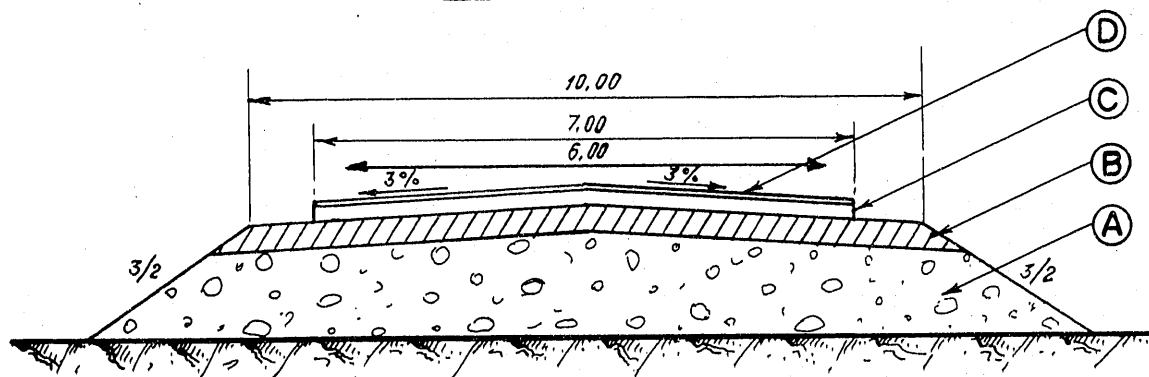
Desde un punto de vista económico, el primer

de efectuar los transportes a base de camiones del tipo "todo terreno" sobre el desierto virgen, en contraposición con el transporte sobre pistas o carreteras. Partiendo de los costes de la tonelada-kilómetro,

que oscilan entre 20 francos franceses, para carreteras revestidas, y 60 francos franceses, para transportes sobre camiones "todo terreno", y de los de construcción y conservación de pistas y carreteras, que varían entre 2 y 22 millones de francos franceses, y 200 000 y 350 000 francos franceses, respectivamen-

blema de especial interés. Al igual que en el resto del mundo civilizado; la carga útil deseable para el transportista está en oposición con la óptima desde el punto de vista de la Administración. No se puede olvidar que, en el caso que nos ocupa, los transportes a realizar son, en general, pesados. Un equipo normal

2ª SOLUCION



2ª SOLUCION

	ESPESOR cm.	TERRAPLEN	MATERIAL	LIGANTE	OBSERVACIONES
A TERRAPLEN COM- PACTADO EN SECO	ALTURA DEL TERRAPLEN 10-15	COMPACTADO EN SECO HASTA 95 % PROCTOR MODIFI- CADO EN SECO			
B TERRAPLEN COM- PATADO CON AGUA	10-15	COMPACTADO CON AGUA CON RODILLO DE NEUMATICOS DE 50 T. HASTA 95 % P. M.	MATERIAL SELECCIONADO		
C SUELO BETUN	7		100 L. 60-70 % — 0 / 40 30-40 % ARENA (REG)	4,5 % CB 50 / 100	AGLOMERADOS EN FRIO CON MOTOR PAVER
D PAVIMENTO	3		45 L. MACHACADOS 0/25	5,5 % CB . 150 / 200	AGLOMERADOS EN FRIO CON MOTOR-PAVER

Figura 3.ª

te, junto con los datos de durabilidad de las vías construídas en las especiales circunstancias del desierto, los ingenieros franceses han deducido que la conversión de una pista en carretera queda justificada a partir de un tráfico de las 70 000 toneladas-año.

El tipo de transporte plantea, asimismo, un pro-

blema de especial interés. Al igual que en el resto del mundo civilizado; la carga útil deseable para el transportista está en oposición con la óptima desde el punto de vista de la Administración. No se puede olvidar que, en el caso que nos ocupa, los transportes a realizar son, en general, pesados. Un equipo normal

que, por sus dimensiones, requieren una legislación especial. Los esfuerzos transversales que tales cargas producen son la causa principal de la natural disconformidad de las autoridades hacia estos vehículos, muy lejos de los que podrían definirse partiendo del deseable principio "ni demasiado, ni demasiado poco".

Sin embargo, la realidad es que, por el momento, el Ingeniero que proyecta se encuentra con estas cargas y debe contar con ellas.

En la fase de estudios previos, la primera dificultad que hubo que vencer fué la falta de datos respecto al terreno en el que se había de asentar la carretera. De suficiente garantía, sólo se poseen mapas topográficos a escala 1/500 000. Así, se hizo necesario acudir a la fotografía aérea, trabajándose a escala 1/50 000, sin que, en la mayoría de los casos, fuera precisa la restitución.

Estos mapas se complementan con posteriores reconocimientos sobre el terreno, una vez que ha quedado prácticamente definida la traza que, muchas veces, no es sino modificación de la de antiguas pistas.

Las actuales carreteras, algunas de cuyas secciones transversales corresponden a las de las figuras 2.ª y 3.ª, tienen plataformas de 8 a 10 m. y calzadas de 6 a 7 m.; se están proyectando para velocidades específicas de 100 y 120 Km./h., evitando desmontes que serían puntos de acumulación de arena, y situándolas sobre pequeños terraplenes, con el fin de que los torbellinos que se formen por su presencia impidan, en lo posible, la perniciosa acción del viento de arena, aun cuando para corregir esto, en muchos casos, no hay más remedio que acudir al establecimiento de dunas artificiales. Una vez fijadas las cotas rojas, se supone que el terreno es horizontal y se prescinde de los perfiles transversales.

El proyecto del firme no es sino un estudio racional y sistemático de los materiales locales, que plantean problemas de enorme interés técnico, como han sido los del aprovechamiento de materiales yesosos y la estabilización de suelos y bases contra la falta o el exceso de agua, por paradójico que ello parezca.

Estos problemas sólo se han podido resolver gracias a la colaboración de los laboratorios, cuyos estudios preliminares deben ser intensos, sin que se pueda confiar en las apreciaciones puramente visuales, ya que uniformidades aparentes conducen, con frecuencia, a interpretaciones erróneas. Tales reconocimientos se encaminan a la selección de los materiales cuya aplicación sea factible a la vista de las circunstancias que concurren en la obra que se proyecta.

Los materiales tradicionales de que normalmente se dispone consisten en arenas de todas clases y zahorras naturales de tamaños gruesos conocidas con el nombre de regs. Además, y particularmente en la zona oriental, aparecen los materiales yesosos, cuya aplicación en la construcción de carreteras se puede considerar como una verdadera novedad. En general, el yeso se presenta unido a regs o arenas de natura-

leza caliza y el éxito de su empleo parece residir en una óptima proporción de yeso, aproximadamente del 50 por 100, a cuyos finos, en forma de sulfatos y carbonatos, se debe la cohesión que se manifiesta cuando estos materiales se compactan en determinadas condiciones de humedad. Los terraplenes varían entre cotas de 20 y 60 cm., y como, en general, se trabaja en seco o con humedades inferiores a la óptima, se precisan elementos de compactación pesados, normalmente rodillos de neumáticos de 50 toneladas.

Las bases se ejecutan con materiales locales, que se compactan hasta alcanzar densidades superiores al 95 por 100 de la Proctor Modificada, utilizando como técnica de aplicación aquella que más se preste a las condiciones de empleo. Normalmente, no es suficiente la estabilización mecánica y se emplean, en su defecto, diversos sistemas de estabilización, fundamentalmente encaminados a evitar la acción destructora del agua.

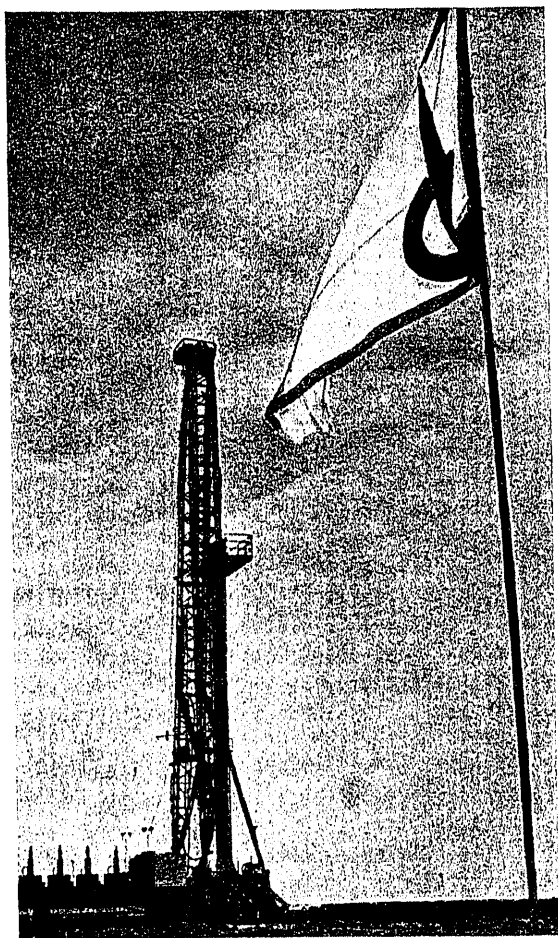
Aun cuando todavía no es momento, quizá, para emitir un juicio terminante sobre los procedimientos empleados, parece que las estabilizaciones químicas basadas en el empleo de pequeñas cantidades de diversos productos, como los obtenidos en la fabricación de papel con madera de pino y otras sustancias de carácter hidrófobo, han dado un resultado francamente satisfactorio.

Tras una capa de imprimación con betunes fluidificados, los pavimentos que inicialmente se emplearon fueron los riegos multicapas, que, desechados en la actualidad, han sido reemplazados por mezclas bituminosas de materiales locales aglomerados con *cut-backs* o betunes, según que su fabricación se realice en frío o en caliente. Como nota característica se puede señalar que, con objeto de paliar los efectos de la erosión por la acción de los vientos de arena, conviene tender a dotaciones máximas de ligante, compatibles, como es natural, con los criterios de proyecto que se emplean en el estudio de las mezclas correspondientes.

El avión ha sido también un auxiliar indispensable en el desarrollo industrial de toda esta zona, habiéndose construido por los mismos equipos de Ingenieros más de un centenar de aeropuertos en pleno desierto, en los que por lo menos un avión diario toma tierra. Habiéndose transportado en total por vía aérea cientos de viajeros y de toneladas de carga. Actualmente los "Caravelle", en tres horas, hacen el viaje de París a Hassi-Messaoud, trayecto que tres años atrás requería más de tres semanas.

Mañana.

El Sahara, según los datos encontrados hasta ahora, puede considerarse como uno de los más productivos yacimientos petrolíferos del mundo. En su conjunto representa una de las más importantes acumulaciones de depósitos sedimentarios conocida, y como se sabe, en principio, la presencia del petróleo



Equipo de sondeo para la perforación de pozos de petróleo (Hassi-Messaoud).

es estadísticamente proporcional al volumen de estos depósitos.

Según los estudios realizados en los yacimientos americanos, el contenido de petróleo se estima para aquel país en 1 700 toneladas por kilómetro cúbico de sedimentos, cifra que se considera más bien baja, puesto que para los yacimientos del Oriente Medio y los de Venezuela, el contenido de petróleo se estima del orden de las 3 600 toneladas por kilómetro cúbico. Por lo que se refiere al Sahara, la superficie interesante desde el punto de vista petrolífero, sobrepasa el millón y medio de kilómetros cuadrados en unas formaciones cuyo espesor medio es de 4 000 m. Basta considerar el producto de estas cifras y un rendimiento intermedio, para tener una idea aproximada de las reservas petrolíferas teóricas que pueden esconderse bajo el desierto.

El Sahara presenta una geología relativamente sencilla y uniforme, en la que los actuales descubrimientos en su borde septentrional y del Sur del Atlas no pueden ser fenómenos aislados; se calcula, por tanto, que los yacimientos saharianos contienen, por lo menos, unos 900 millones de toneladas de petróleo recuperables, que viene a ser aproximadamente el consumo de Francia en unos treinta años.

Además de los descubrimientos petrolíferos, hay que añadir los del gas, cuyas reservas se estiman en más de 2 000 billones de metros cúbicos, de los cuales se podrá, además, obtener 300 millones de toneladas de gasolina.

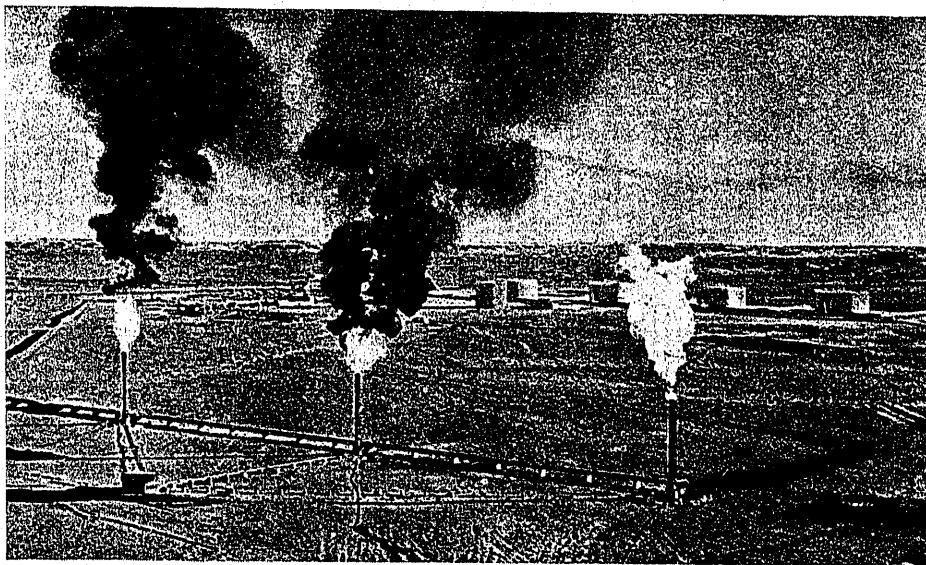
La productividad de estos yacimientos está limitada, evidentemente, por el diámetro de las tuberías que se emplean para su extracción, pero se puede valorar en unos 600 000 metros cúbicos diarios con tuberías de 8,75 centímetros de diámetro (3,5 pulgadas), o de 900 000 metros cúbicos diarios con tuberías

Instalación de desgasificación del petróleo bruto (Hassi-Messaoud).



de 11,65 centímetros (4,5 pulgadas). De todos los pozos perforados hasta ahora, cinco son francamente buenos productores; uno de ellos proporciona el millón de metros cúbicos diarios, y la media puede establecerse en los 600 000 metros cúbicos. Los coeficientes de recuperación de gasolina dependen de la presión

Estos son los resultados obtenidos hasta ahora en los cuatro años escasos de trabajo transcurridos desde que se empezó el primer sondeo, y evidentemente queda mucho todavía para estar todo ello en plena producción; el desarrollo reciente de toda esta zona asegura, por lo menos, para más de un siglo la acti-



Tres de los siete mecheros en los que se quema el gas procedente de la desgasificación del petróleo bruto (Hassi-Messaoud).

de partida en los oleoductos, para una presión de 80 kilos por centímetro cuadrado; las reservas recuperables probables se valoran en 800 billones de metros cúbicos de gas y 50 millones de toneladas de gasolina, que representan, en equivalencia calorífica, la producción francesa de carbón de veinte años.

Del petróleo que se obtiene actualmente en Hassi-Messaoud en el proceso de desgasificación que se lleva a cabo antes de enviarlo a Bouggie, se obtiene una cantidad de gas que, mientras no se pueda poner en marcha la central térmica para producción de energía eléctrica que ya se halla en construcción o incorporarlo al de Hassi-M'Rel, se quema en siete imponentes mecheros en los que cada día arde una cantidad de gas igual al consumo de París en un año.

vidad técnica e industrial que se está implantando en esta parte del desierto, superficialmente mayor que toda la Francia europea y que hasta ahora sólo ha estado cubierta de arenas, que el viento trae y lleva de un lado a otro, haciendo y deshaciendo estas imponentes cadenas de dunas, hasta hace pocos días transitadas sólo por caravanas de camellos, cuya clásica estampa tras un breve período de convivencia con las sondas y los aviones, terminará por desaparecer.

Agradecemos cordialmente todas las atenciones de que en nuestro viaje por estas regiones fuimos objeto por parte del B.I.A., del B.R.P., del O.C.R.S. y de S.E.L.I.S. y de sus amables representantes que tuvieron la gentileza de acompañarnos.