

# EL OLEODUCTO MÁLAGA-PUERTOLLANO PROYECTO Y CONSTRUCCIÓN DE LA CONDUCCION PRINCIPAL

Por E. RODRIGUEZ PARADINAS y E. OROZCO VALLEJO  
Ingenierós de Caminos, Canales y Puertos.

*En el presente artículo describen los autores el proyecto y la construcción de la línea o conducción principal del oleoducto Málaga-Puertollano, primera gran tubería de transporte para uso civil que se ha construido en España. En un próximo artículo se describirán las instalaciones de descarga, almacenamiento y bombeo del citado oleoducto.*

En 1960 la demanda de productos petrolíferos ligeros de la zona central de España, cuyo principal núcleo consumidor es Madrid, alcanzó el medio millón de toneladas. Podía ya pensarse, por tanto, en instalar en esta zona central una nueva refinería, unida por un oleoducto a un punto de la costa de la mitad sur de España, dado que gran parte del crudo importado proviene de África o del Oriente Medio.

Ya desde 1955, la "Empresa Nacional Calvo Sotelo de Combustibles Líquidos y Lubricantes, S. A.", proyectaba construir en Puertollano una refinería unida a la costa por un oleoducto. Con ello se seguía la tendencia moderna de acercar las refinerías a los centros de consumo, disminuyendo los costes totales de transporte al utilizar el excepcional medio que es un oleoducto, intrínsecamente uno de los transportes terrestres de menores costes absolutos. En un artículo anterior de esta misma Revista, firmado por D. Antonio Martínez Cattanéo, se han analizado las características generales, técnicas y económicas del transporte por tuberías.

En dicho año 1955, "Calvo Sotelo" encargó al Departamento de Construcción del Instituto Nacional de Industria, integrado después en la Empresa Auxiliar de la Industria, S.A. AUXINI, la redacción de un primer estudio de un oleoducto que pudiese abastecer la proyectada refinería de Puertollano.

Se hizo, en principio, un informe general. Posteriormente, en diciembre de 1955, se terminó el llamado "II Estudio económico-compa-

rativo" del oleoducto. En estos dos estudios se comparaban las soluciones que partían de Rota (Cádiz), Escombreras (Cartagena, Murcia) y Málaga, cada una con diversos diámetros: 8", 10" y 12", deducidos de las capacidades de transporte entonces previstas: 750 000 toneladas anuales en una primera etapa y 1 500 000 en la segunda etapa. Como resultado de este análisis se proponía la solución Málaga-Puertollano, que era la más corta de las tres. Posteriormente, en septiembre de 1960, se redactó el "III Estudio económico-comparativo", en el que se tomaban como capacidades sucesivas 1,50 y 2,25 millones de toneladas anuales, con diámetros de 10", 12" y 14". En este estudio se indicaban, de una manera muy completa, las relaciones entre los distintos diámetros, inversiones, costes de transporte y horas de utilización anual.

La inversión inicial está en relación directa con el diámetro, pues depende en gran parte de la línea, siendo el presupuesto de terminales y estaciones de bombas de menor importancia relativa. El coste unitario de transporte, en cambio, decrece, en líneas generales, al aumentar la capacidad. No obstante, para cada capacidad determinada hay un coste mínimo, que fija a su vez un diámetro óptimo.

En septiembre de 1961 la Empresa Nacional Calvo Sotelo fue autorizada oficialmente para establecer en Puertollano una refinería de petróleo unida al puerto de Málaga por un oleoducto. La nueva refinería, que utilizaría parte de las instalaciones ya existentes, tendría como subsidiarias varias plantas petroquímicas.

En esa fecha, "Calvo Sotelo" encargó al Departamento de Construcción de AUXINI, la redacción definitiva del proyecto del oleoducto y la dirección de las obras a que diera lugar.

### **Redacción del proyecto. Primeros estudios y trabajos.**

Recibido el encargo de redacción del proyecto y dirección de obra, las primeras actuaciones de AUXINI se concretaron en los tres puntos siguientes:

1.º Replanteo de la traza de la conducción en el campo, por ser dicho trazado independiente en la práctica de las condiciones de diámetro, estaciones de bombas, etc., aún por determinar.

2.º Proceder a un estudio final para fijar definitivamente los puntos más importantes del proyecto, antes de empezar a desarrollarlo con detalle.

3.º Apertura de un concurso internacional para elegir una firma, dotada de una experiencia suficiente, que pudiese asesorar al Departamento de Construcción de AUXINI, en puntos de estricta especialidad.

Dicho concurso se adjudicó, en noviembre de 1961, a la casa italiana "Compagnia Tecnica Internazionale", TECHINT, de Milán, con la que se firmó el correspondiente contrato de colaboración y asistencia técnica.

El trazado se había elegido, en principio, sobre planos a escala 1 : 50 000. En ellos se fijó una banda, centrada sobre el eje del trazado, de 3 Km. de anchura. Esta banda fue fotografiada desde avión, obteniéndose una colección de parejas de fotos estereoscópicas y fotoplanos mosaicos de ellas, a una escala 1 : 10 000. Afinada la traza sobre las fotos estereoscópicas, se procedió al replanteo topográfico en el campo, terminado, incluidos los trabajos de gabinete, a finales de 1961.

El citado estudio preliminar del proyecto era en realidad una actualización de los estudios anteriores. Fechado en diciembre de 1961, fue titulado "Revisión del III Estudio económico", y en él se habían dado entrada ya a las observaciones de TECHINT. En este estudio se proponía el esquema que luego se ha llevado a la práctica y que explicamos brevemente a continuación.

Se nos había fijado como capacidad de

transporte, para centrar el proyecto, la de 2,25 millones de toneladas al año, correspondientes a los dos millones de módulo de la refinería. A su vez, había que estudiar y precisar las posibilidades de ampliación. Se comprobaron varias soluciones, determinadas por los diámetros de 12", 14" y 16" y una o dos estaciones de bombas, y se propuso la solución de 16" de diámetro y 265 Km. de longitud entre Málaga y Puertollano, con dos estaciones de bombas, una en Málaga, junto al terminal de depósitos, y otra en Montoro (Córdoba), en la margen derecha del río Guadalquivir.

Los costes de transporte quedaban por debajo de la cuarta o quinta parte de los correspondientes por ferrocarril, y esta proporción era aún más favorable respecto a los de transporte por carretera.

Con los grupos motobomba a instalar en la primera etapa se pensaban alcanzar los 3,35 millones de toneladas de transporte, y con sucesivas ampliaciones los 4,5 y 6 millones de toneladas, también al año. El terminal de depósitos de Málaga tendría una capacidad de unos 120 000 m.<sup>3</sup> y la del terminal de Puertollano se fijaría de acuerdo con las necesidades de la refinería (unos 200 000 m.<sup>3</sup>). A unos 100 kilómetros de Málaga, según el trazado, y en el término de Moriles (Córdoba), se preveía una estación de trasvase de rascadores. En el puerto de Málaga se habilitaba un atraque para barcos de hasta 45 000 toneladas de peso muerto.

Este esquema fue aprobado por "Calvo Sotelo", y se comenzó inmediatamente a redactar el proyecto detallado. Tanto para el desarrollo del proyecto como para la dirección de obra, se acordó dividir el conjunto en cuatro partes:

- 1.º Suministro de tubería para la línea.
- 2.º Colocación y tendido de dicha tubería.
- 3.º Estaciones de bombas.
- 4.º Instalaciones de descarga y almacenamiento, en Málaga. Instalaciones auxiliares, telecomunicaciones y protección catódica.

En el presente artículo hablaremos sólo del proyecto y construcción relativos a los dos primeros apartados. En un próximo artículo describiremos brevemente las numerosas y variadas instalaciones que implica todo oleoducto: obras de construcción, mecánicas, eléctricas, de telecomunicación, protección catódica, etc, y que en nuestro caso se englobaron en los dos últimos apartados citados.

## Proyecto de la línea o conducción principal.

Hablemos primero de las características del trazado. El trazado en planta de un oleoducto puede ser notablemente más recto que el de un ferrocarril o una carretera y es, en cierto modo, parecido al de una línea eléctrica de alta tensión. Conviene evitar las medias laderas, que dificultan la construcción y pueden dar origen a deslizamientos del terreno, es decir, deben seguirse las máximas pendientes. Como luego veremos, para la construcción hay que ejecutar una pista provisional por la que ha de avanzar la maquinaria de los tajos. Esta maquinaria soporta mejor las pendientes longitudinales que las medias laderas y, por supuesto, en el primer caso el movimiento de tierras es menor.

En mayor grado que en otras líneas de transporte, según acabamos de decir, conviene el trazado recto. Pero de todos modos hay que procurar evitar los pasos altos que puedan hacer subir las piezométricas y, por tanto, exigir más energía para el bombeo, y, por supuesto, los pasos difíciles o especiales: ríos, barrancos, etc. Además interesa huir de las zonas con peligro de corrimientos o de cultivos ricos, cuyo permiso de paso sea más costoso.

El trazado del oleoducto Málaga-Puertollano es difícil, por discurrir en gran parte por terreno accidentado o montañoso. En cambio, cruza zonas de poca densidad de población y comunicaciones y, en parte, con cultivos no muy ricos (fig. 1.<sup>a</sup>). Establecida una clasificación binaria: tierra y roca, a ésta correspondía el 22 por 100 del trazado. Como cruces de ríos importantes hay los del Guadalquivir y el Genil, ambos subálveos.

Las dos características más acusadas de un oleoducto como conducción de transporte de líquido, son las siguientes: la elevada presión a la que se efectúa el bombeo y la de contar con un sistema de control muy evolucionado. La primera, permite una gran separación entre las estaciones de bombas, y la segunda, una protección contra las sobrepresiones que hace posible afinar en otros puntos del proyecto.

Un oleoducto con dos o más estaciones puede ser de operación cerrada o abierta. Es abierta cuando cada estación lleva aneja uno o varios depósitos que ejercen una función de regulación. En nuestro caso es cerrada, lo cual significa que el lado de succión de la segunda estación de bombas recibe directamente lo im-

pulsado por la estación primera, sin ningún almacenamiento, es decir trabaja en serie con ella.

Ya hemos dicho que la capacidad de transporte anual establecida era de 2,25 millones de toneladas. La utilización, es decir, el número de horas de funcionamiento al año, suele ser en las tuberías de transporte muy elevada. Nosotros hemos supuesto 8 000 horas anuales, lo que representa un 91 por 100.

Se han dispuesto cuatro bombas idénticas, dos en la estación de Málaga y otras dos en la de Montoro. Una de las dos bombas de cada estación es de reserva. La distancia entre Málaga y Montoro, según el oleoducto, es de 171 kilómetros, y entre Montoro y Puertollano, de 94 kilómetros.

Utilizando una bomba de Málaga y otra de Montoro se obtiene la capacidad de transporte primero fijada: 2,25 millones de toneladas al año. Si se usan las cuatro bombas, todas en serie, se alcanzan 3,35 millones de toneladas anuales. La primera ampliación, tenida ya en cuenta en la instalación actual, consistiría en disponer unos grupos motobomba en la actual estación de rascadores, de Moriles. Con ello se alcanzarían los 4,5 millones de toneladas anuales. Finalmente, y como disposición que agotaría la capacidad del tubo, si se añaden a las dos actuales otras tres estaciones de bombeo, se alcanzan los seis millones de toneladas al año.

Como petróleo crudo tipo para el cálculo, se escogió el de peso específico 0,87 y viscosidad cinemática 0,21 stokes, que corresponde aproximadamente al procedente de Kuwait. Con arreglo a él se han dibujado las líneas piezométricas que aparecen en la figura 2.<sup>a</sup>, correspondientes a las capacidades que se indican.

Los puntos altos del relieve o los de succión mínima en una estación, son puntos determinantes de haces de líneas piezométricas. Hay que estudiar, además, todos los casos de parada y rotura, aunque se dispone de un sistema de control con el que se vigilan los puntos mínimos y máximos de dichas piezométricas, para que éstas no sobrepasen la línea de presiones admisibles de la tubería. Finalmente se fijan, pues, los espesores de pared del tubo.

El problema del golpe de ariete es de pequeña importancia en oleoductos. Aunque puede alcanzar valores absolutos considerables, su importancia relativa, frente a las altas presio-

nes con que se opera, es pequeña. Además el amortiguamiento por fricción hace que en casos como el nuestro la onda se anule, prácticamente, a los 70 Km., distancia menor que la que separa las estaciones de bombas. Hay, de todos modos, un sistema de seguridad que per-

mite evacuar el líquido, en caso de sobrepresión, a través de unas válvulas taradas, dispuestas en el lado de succión de la estación de bombas de Montoro y en la llegada a Puertollano.

Los tubos para oleoductos son de acero de

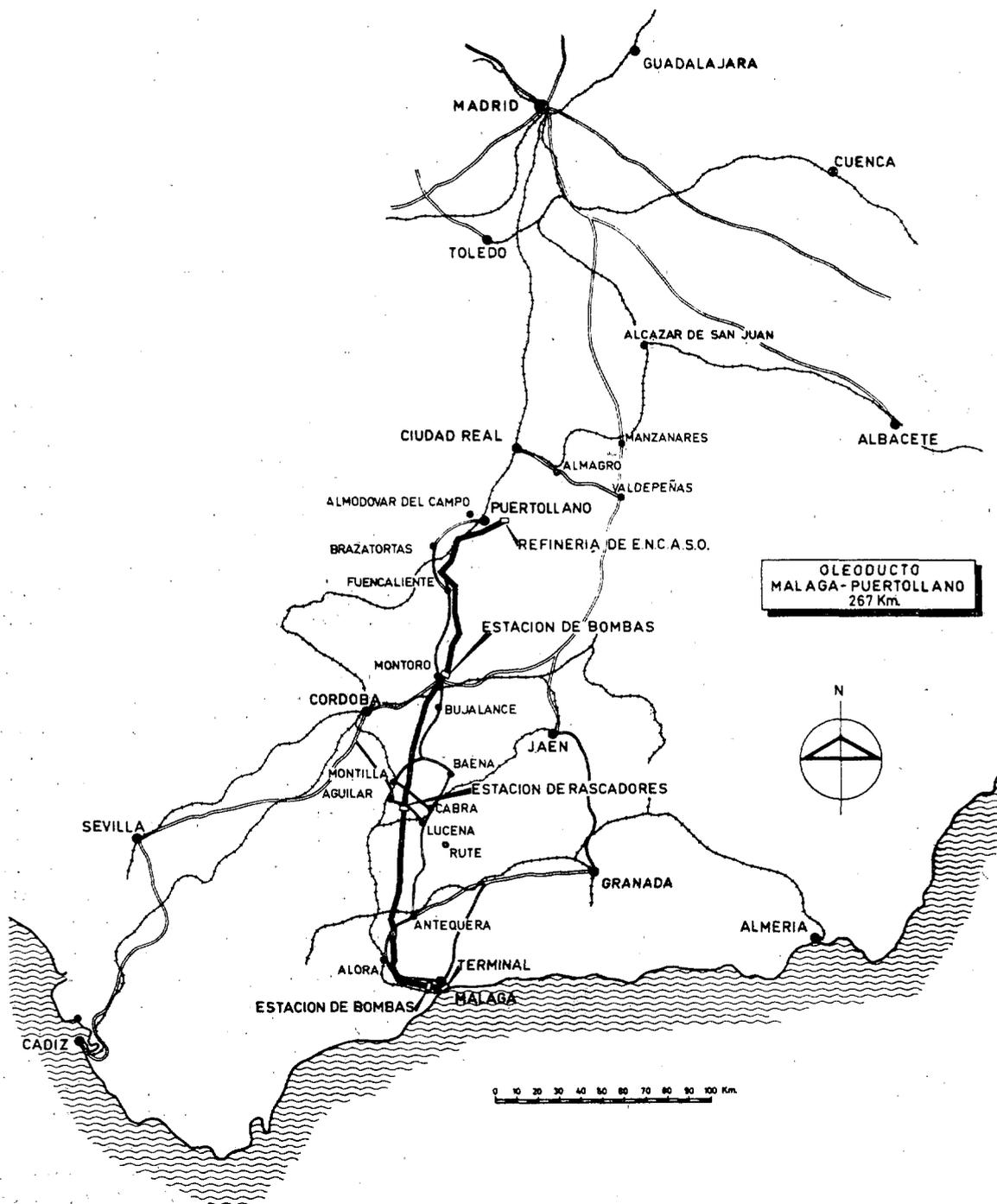


Fig. 1.ª — Planta del oleoducto Málaga-Puertollano.

alta resistencia y tienen los extremos dispuestos para soldar. La conducción es, pues, un todo continuo formado por tubos soldados por ambos extremos, con las naturales discontinuidades de válvulas, estaciones, etc.

Ya hemos dicho que nuestra conducción es de 16" = 406 mm. de diámetro exterior y en conjunto de 265 Km. de longitud. Pero la presión máxima que ha de soportar la tubería depende de cada tramo, según las piezométricas y posibles sobrepresiones. Hay dos modos de adaptar la tubería a la presión, llamados por los americanos "telescoping" y grade-tapering".

nas abruptas o montañosas, y puede resultar, en definitiva, más económico. En uno y otro caso, el revestimiento citado se recubre con una capa de fieltro de amianto, cuyo objeto principal es de protección contra las acciones mecánicas. En cambio la misión fundamental del primer revestimiento es de protección contra la corrosión, actuando de aislante frente al suelo y facilitando la ulterior protección catódica.

Una vez soldada y revestida la tubería va depositándose en una zanja previamente efectuada. La profundidad de esta zanja se fijó para que la generatriz superior del tubo estu-

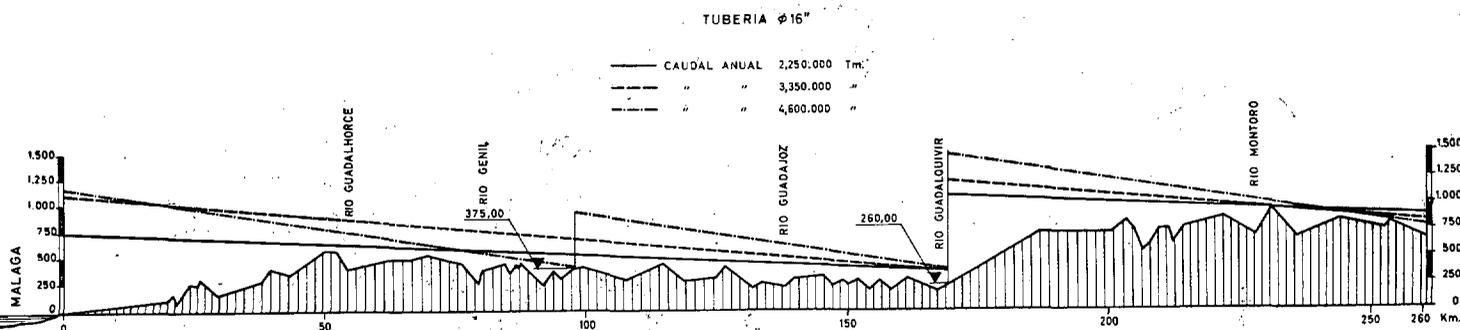


Fig. 2.<sup>a</sup> — Perfil y líneas piezométricas.

El primero consiste en variar el espesor de la pared del tubo. El segundo, en cambiar el grado o resistencia del acero según se necesite. Naturalmente, pueden combinarse ambos métodos.

Nosotros hemos escogido un mismo acero: el X-42 de la norma americana API-5LX, y cuatro espesores distintos 11,12 mm., 9,52 milímetros, 7,92 mm. y 5,56 mm. Siguiendo a dicha norma, los extremos de los tubos son lisos y tienen un chaflán para facilitar la ejecución del primer cordón de soldadura. Su longitud oscila entre 10 y 12 metros.

Después de soldar la tubería se efectúa un revestimiento exterior de protección mecánica y contra la corrosión, dado que el conjunto va a quedar enterrado después.

Este revestimiento puede ser de aplicación en frío o en caliente. El sistema tradicional es el de aplicar en caliente alquitrán de hulla o un producto bituminoso, armado con fibra de vidrio. Un sistema más reciente es el de enrollar al tubo una cinta de plástico. Este método es de más cómoda aplicación, sobre todo en zo-

viera a 0,80 m. por debajo de la superficie del terreno, en tierra, y a 0,40 m. en roca. La anchura de la zanja, en el fondo de ella, había de ser de 0,75 metros.

El método de construcción de un oleoducto exige efectuar una pista provisional, a lo largo del trazado, por la que ha de avanzar toda la maquinaria. Elegido un sentido de marcha de los tajos, se necesita como pista 5 m. a la izquierda del eje de la zanja y 10 m. a la derecha. Ello es debido a que la máquina especializada en el tendido, el tractor de grúa lateral, tiene ésta siempre a la izquierda. Los cinco metros citados se utilizan como vertedero de la zanja. Los otros diez metros sirven para prefabricar los tramos soldados antes de tenderlos en la zanja (véase figura 3.<sup>a</sup>).

No obstante, la autorización de paso se pidió para una pista de 10 m. a cada lado del eje de la traza. En efecto, aunque el contratista siguió en su mayor parte el sentido Málaga-Puertollano, se ejecutaron algunos tramos en sentido contrario. La servidumbre definitiva afecta sólo, en el caso general, a una franja de 2,50

metros a cada lado. Dentro de ella no se puede edificar ni plantar árboles, aunque sí llevar a cabo labores agrícolas ordinarias.

Para el cruce de ferrocarriles y carreteras principales se utiliza una técnica, específica de tuberías de transporte, que permite no interrumpir el tráfico. Un tubo protector, de mayor diámetro que la conducción, se introduce primero bajo la vía de comunicación, mediante un trépano horizontal. Después se pasa por él la tubería, centrada mediante unos espaciadores. En nuestro caso el tubo protector es de 20".

Para la limpieza del interior de la conducción se usan unos pistones a los que llamamos rascadores. Estos pistones se pasan por la tubería con cierta periodicidad, impulsados por el propio crudo. Provistos de guías de goma y cepillos metálicos, contribuyen a eliminar los posibles depósitos, manteniendo útil el diámetro interior y buenas las condiciones de la pared en cuanto a fricción, lo que se refleja en que se necesita una menor energía de bombeo. En el comienzo y en el final de cada tramo de la conducción entre estaciones, hay una tram-

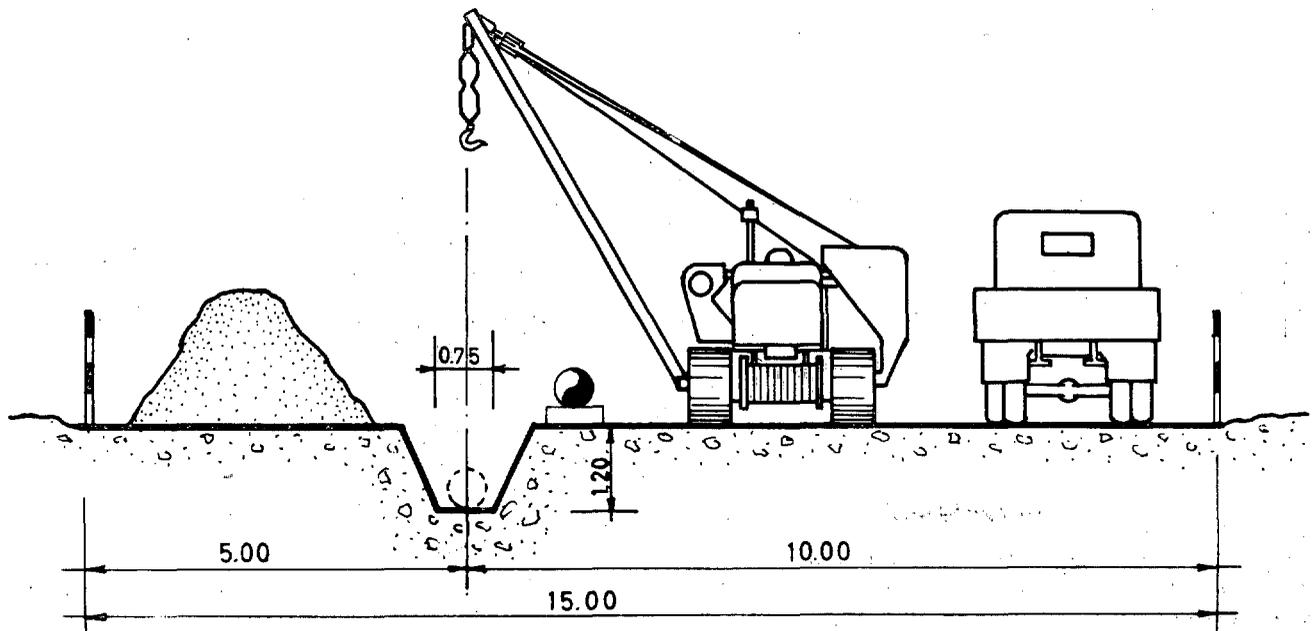


Fig. 3.<sup>a</sup>—Sección de la pista provisional para la construcción.

El cruce de caminos o carreteras de menor importancia se hace por simple excavación. La tubería se protege entonces mediante una bóveda o camisa de hormigón. En los barrancos muy estrechos se dispone un tramo aéreo. En el cruce de los arroyos se ha exigido un recubrimiento mínimo de 1,50 m. En casi todos los casos se ha lastrado la tubería, para evitar que pueda aflorar, con muertos o con una camisa continua de hormigón.

Problema aparte es el cruce de los ríos, que exige concentrar unos medios considerables para efectuar la prefabricación y el lanzamiento del tramo que constituye el propio cruce. Hablaremos de ello en el apartado dedicado a la construcción del oleoducto.

pa de rascadores, es decir, un cuerpo cilíndrico, con su correspondiente "by-pass", que permite introducir o sacar el rascador de la tubería (figura 4.<sup>a</sup>). El hacer posible el paso del rascador obliga a que todas las válvulas intercaladas en la línea sean de paso total y además a fijar para las curvas un radio mínimo (veinte veces el diámetro, es decir, en nuestro caso ocho metros).

Cada cierta distancia, entre 10 y 20 Km., se disponen en la línea válvulas, tanto de compuerta como de retención. La función de las válvulas de retención es evitar, en parte, el vaciado de la tubería en caso de rotura, protegiendo, sobre todo, los cauces públicos. Análoga misión, y la de poder aislar tramos de la conduc-

ción cuando convenga, tienen las de compuerta. Estas son también de gran utilidad en la prueba hidrostática por tramos, que se lleva a cabo antes de operar con crudo. Cada estación de bombas tiene, además, a la entrada y a la salida una válvula de compuerta para bloqueo de la estación.

En varios de los puntos altos del perfil se disponen ventosas provistas de tomas de presión. La función de las ventosas es poder ex-

oleoducto, fueron objeto de un primer proyecto; presentado a aprobación administrativa en febrero de 1962.

Para estas dos partes y con base el citado proyecto se abrió un concurso internacional, con fecha 31 de marzo de 1962, dándose dos meses como plazo de presentación de ofertas. Se especificaba que las empresas licitantes podían ofertar a una sola de las partes, o a ambas, por separado o en conjunto.

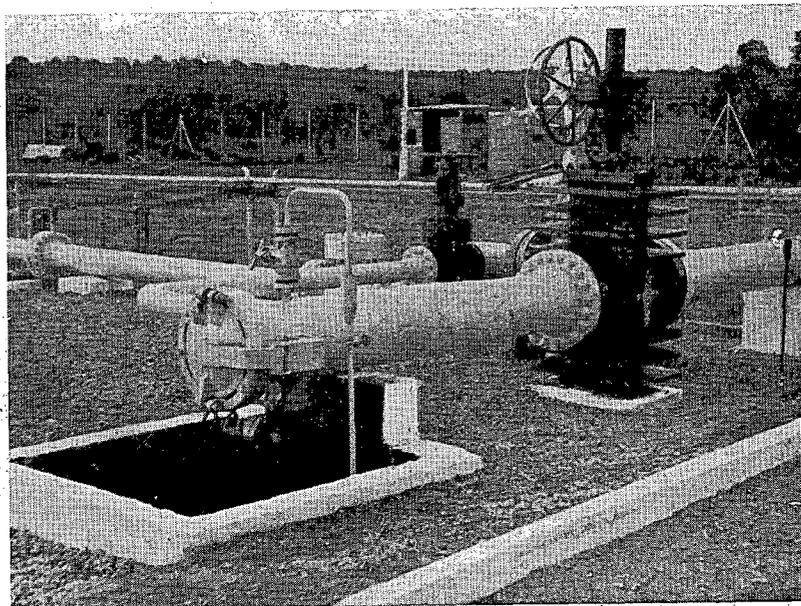


Fig. 4<sup>a</sup>—Trampa de rascadores.

pulsar el aire en el primer llenado y en el caso de vaciados parciales. La toma manométrica permite vigilar las presiones para poder compararlas con las piezométricas previstas, comprobándolas de paso en los puntos más peligrosos.

Es también conveniente, para la protección catódica del oleoducto, aislar la tubería en varios tramos por medio de juntas aislantes. Se ha dispuesto una junta aislante aneja a cada válvula de compuerta.

#### Tendido de la conducción principal.

Las dos primeras partes, suministro de tubería y colocación y tendido de ella, de las cuatro en que se dividió, para su ejecución, el

Se pedía que, para los tramos del oleoducto que han de soportar menor presión, se diesen precios alternativos para los tubos de espesor 5,56 mm. y 6,35 mm. En conjunto sumaban 190 Km., de los 265 Km. totales. Se efectuó esta doble consulta para ver si la diferencia económica compensaba los inconvenientes del espesor de 5,56 mm., de más difícil y delicado manejo. Además en la colocación y tendido se daba la doble opción de efectuar el revestimiento en caliente: con alquitrán de hulla o con cinta de plástico. Se pedían, pues, en total cuatro soluciones, dado que el mayor o menor espesor del tubo, es decir, su peso, influye en el coste de la construcción de la línea.

Se recibieron en total 30 ofertas, en las que participaban 31 empresas de los Estados Unidos, Japón y Europa Occidental. Casi todas las

referentes a la construcción estaban constituidas por la asociación de una empresa extranjera y una española.

Tras sucesivas consultas y aclaraciones, se adjudicó el suministro de la tubería al "Comptoir Franco Belge des Tubes". Dicha sociedad suministraría las dos terceras partes del total y el tercio restante estaría a cargo de la sociedad británica "Stewarts and Lloyds". Todo ello en operación concertada con ENSIDESA, que les vendía material siderúrgico por un tonelaje

tregas de tubería, para poder fijar una fecha de comienzo al adjudicatario y que éste pudiese programar sus trabajos. Habiendo decidido el contratista empezar la obra con un conjunto único de tajos, desde Málaga hacia Puertollano, con arreglo a ello se reguló el citado ritmo de entrega de permisos.

A partir de los tubos, la construcción de la conducción y su tendido se hacen en el campo, progresivamente, por un conjunto de máquinas especializadas, agrupadas en tajos para

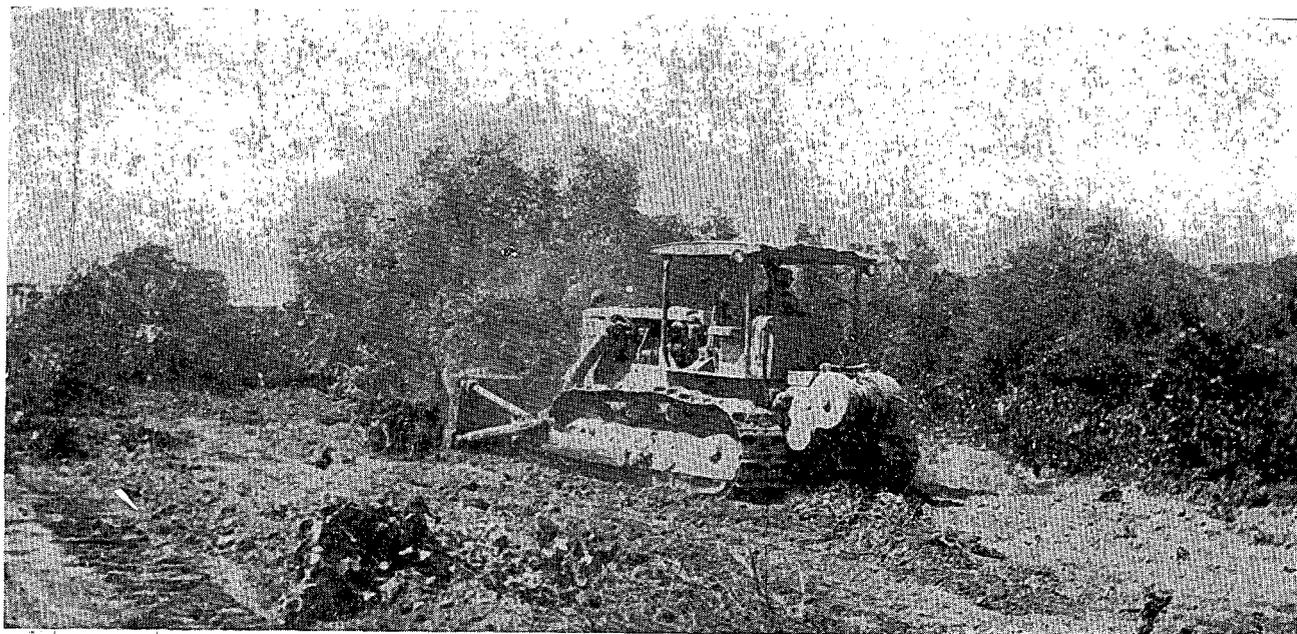


Fig. 5.<sup>a</sup> — Ejecución de la pista.

aproximadamente igual al de la tubería. La colocación y tendido se adjudicó a la firma italiana SNAM-NAIPEM, del grupo ENI (Ente Nazionale Idrocarburi).

Se escogió, por fin, tubo de 5,56 mm. de espesor en la parte de la línea sometida a menos presión, y como revestimiento cinta de polietileno recubierta a su vez por fieltro de amianto. En conjunto esto representaba un ahorro de 21 millones de pesetas sobre la solución de espesor 6,35 mm. y revestimiento en caliente.

Inmediatamente se comenzaron los trámites administrativos y las numerosas gestiones con propietarios. La traza resultó afectar a más de mil parcelas. Hubo que coordinar los ritmos de obtención de permisos con las sucesivas en-

cada operación. Esta construcción y tendido constituye, pues, en realidad, una producción en serie, una fabricación móvil en serie, efectuada por una cadena de equipos que se desplazan a lo largo de la traza, por una pista provisional hecha por el primero de ellos.

Este tipo de obra ha ido creando máquinas cada vez más especializadas: zanjadoras, tractores de grúa lateral, máquinas de soldar, revestir, etc. Además, muchas de estas máquinas son válidas sólo para una corta gama de diámetros.

En conjunto, estos equipos operan sobre una longitud de 40 a 60 kilómetros y avanzan a un ritmo de uno a varios kilómetros diarios. Ello hace que los problemas logísticos, de coordi-

nación y aprovisionamiento, sean importantes. Una parada de un tajo repercute en los siguientes. El retardo en un envío o un fallo en la previsión del ritmo de avance supone un gasto suplementario.

Iremos a continuación describiendo los diversos tajos, indicando las características de su trabajo y su maquinaria, así como su relación con los otros equipos, para obtener una visión articulada de la obra.

### 1.º Ejecución de la pista.

Hemos hablado ya de la función y anchura: 20 m., de la pista y de su ajuste al trazado. Esta pista es realmente sólo una explanación, es decir, carece de firme, y sigue exactamente en sus pendientes las de la traza.

Las máquinas son, en general, explanadoras. Un trabajo previo es el de talar y desgajar árboles y desbrozar la vegetación (figura 5.ª). Además, en los tramos en roca habrá que hacer alguna voladura previa. También puede convenirle al contratista acondicionar los caminos de acceso a la pista e incluso abrir algunos nuevos.

SNAM-SAIPEM comenzó la obra precisamente por la preparación de la pista en Málaga, en marzo de 1963. Dicha pista estaba acabada en junio de 1964.

### 2.º Recepción, entrega y transporte de tubos.

A finales de marzo de 1963, llegó al puerto de Málaga el primer buque con tubería para el oleoducto. Sucesivamente y hasta agosto del mismo año prosiguió la llegada de barcos, hasta un total de 19, y la descarga de tubería, que totalizó 17 000 toneladas (fig. 6.ª).

Durante el apilado de los tubos en el muelle se procedió, por parte de AUXINI, a la recepción de ellos al suministrador y su entrega al contratista. Los tubos vienen con los extremos listos para soldar y en ellos las tolerancias de diámetro, espesor, chaflanes, etc., son muy estrictas. Por ello el manejo ha de ser cuidadoso y la inspección rigurosa, ordenando cuando proceda la reparación de defectos e incluso el corte del extremo y su nuevo achaflanado.

El transporte de tubos a partir del muelle de Málaga, a cargo del contratista, se hizo en

tres etapas. En la primera de ellas el tubo se transportó por ferrocarril desde Málaga y hasta 11 estaciones, separadas, según la traza, de

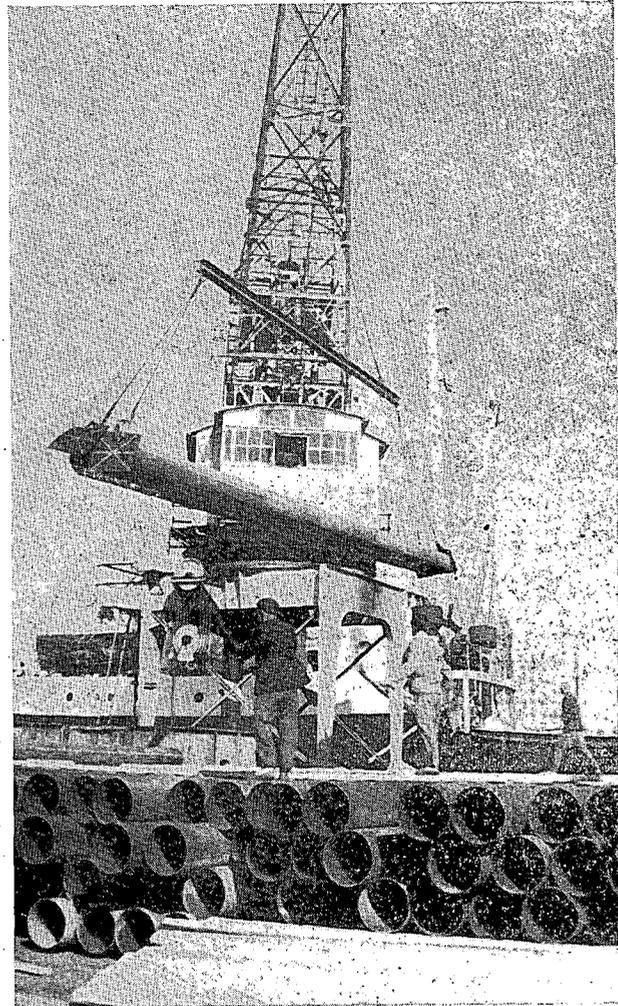
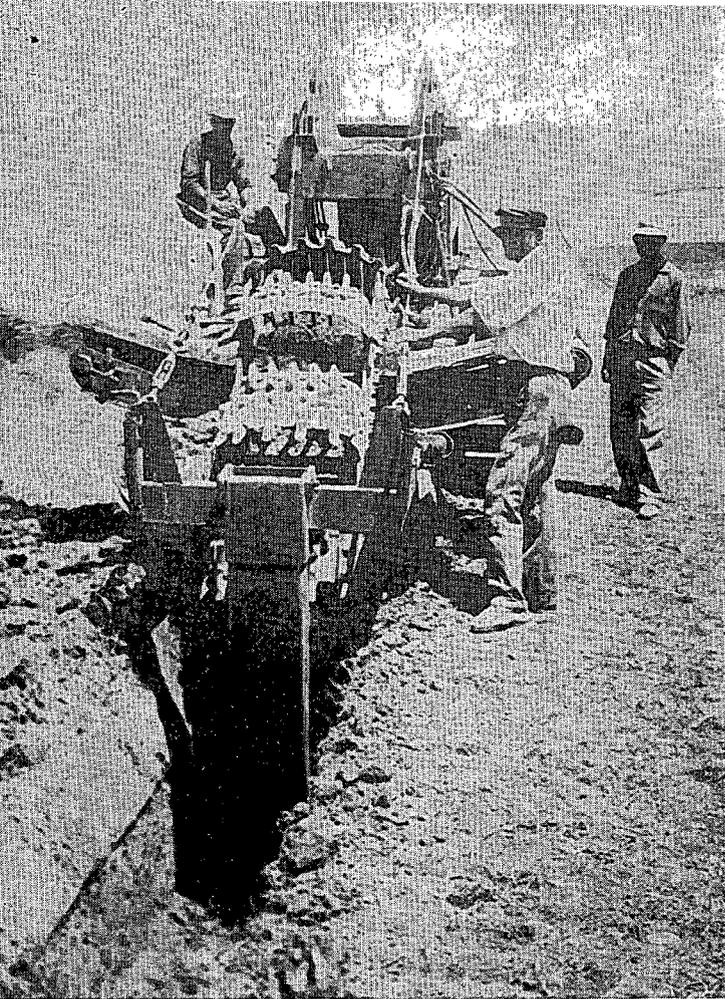


Fig. 6.ª — Descarga de tubos en el puerto de Málaga.

20 a 30 Km. (fig. 8.ª). Las otras dos fases consistieron en el transporte en camiones, en general con semirremolques, desde las citadas estaciones hasta la pista, y, por fin, en el transporte y distribución de los tubos en ella, mediante trineos y tractores de grúa lateral. Todo ello se llevó a cabo en marzo de 1963 a junio de 1964.

### 3.º Apertura de zanja.

En terreno normal, se opera con una zanjadora de cangilones que efectúa en una sola pa-



sada la zanja en su sección completa (fig. 7.<sup>a</sup>). En puntos especiales se emplean retroexcavadoras. Para los tramos en roca hay que practicar voladuras, cuyos barrenos suelen hacerse con perforadores gemelos sostenidos por un tractor de grúa lateral (fig. 9.<sup>a</sup>).

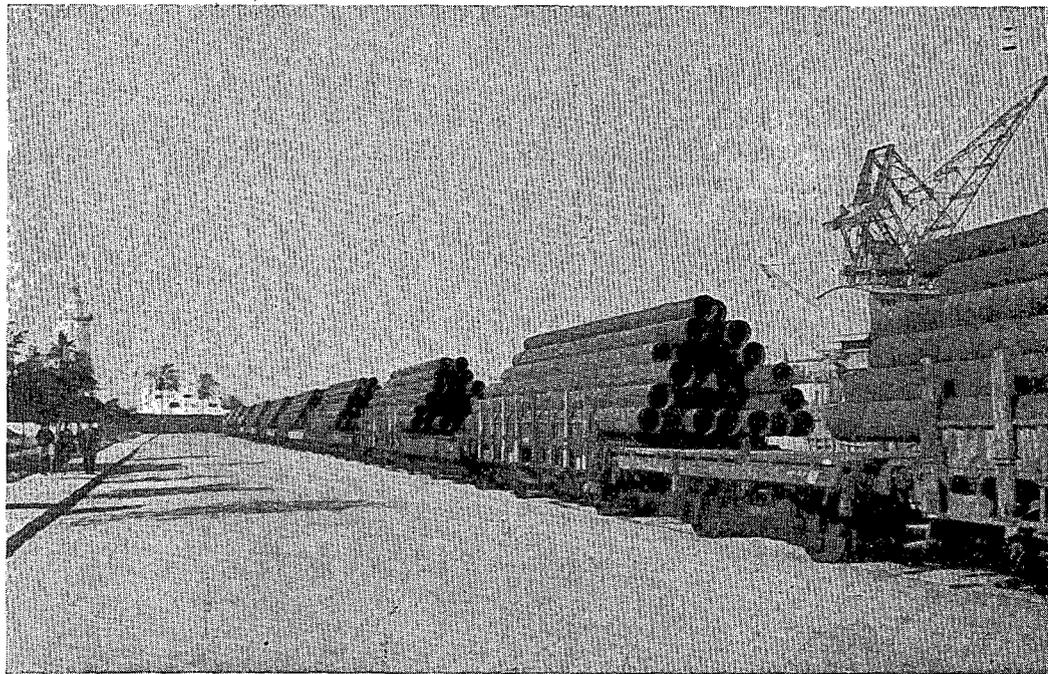
En nuestro oleoducto la apertura de zanja comenzó a mediados de abril de 1963, y finalizó en julio de 1964. Hemos indicado anteriormente las dimensiones normales de la zanja, en tierra y en roca. Sin embargo, en determinados tramos y por exigencias de algún organismo o particular, hubo que hacer la zanja más profunda.

#### 4.º Curvado.

El fondo de la zanja es paralelo al terreno, o mejor dicho a la superficie de la pista, y para acomodarse a él hay que efectuar el curvado del tubo a pie de obra, previamente a su soldadura. El curvado se hace en frío, mediante unas prensas o mordazas hidráulicas instaladas en un bastidor móvil.

Fig. 7.<sup>a</sup> — Apertura de zanja en tierra.

Fig. 8.<sup>a</sup> — Transporte de tubos.



## 5.º Soldadura.

Como operación previa y por medio de tractores de grúa lateral, se colocan los tubos sobre unos apoyos de madera y se alinean mediante unas mordazas interiores que fijan los extremos de cada dos tubos que se van a soldar.

El número de cordones de la soldadura depende del espesor del tubo. La ejecución de los cordones primero y segundo es la operación clave de la obra y ocupa a personal altamente especializado; los restantes son de ejecución más fácil. Se trata de una soldadura manual por arco eléctrico, con electrodo metálico revestido (fig. 10). La corriente se toma de grupos electrógenos móviles.

La inspección y ensayo de las soldaduras se encomendaron al Instituto de la Soldadura, hoy integrado en el Centro Nacional de Investigaciones Metalúrgicas. Bajo la dirección del personal del citado Instituto, se llevaron a cabo los ensayos de calificación de soldadores y procedimientos de soldeo. Se fijó que había de efectuarse una inspección radiográfica del 10 por 100 de las soldaduras, escogidas, dentro de ciertos límites, por la dirección de obra, aparte de un determinado número de ellas en circunstancias especiales. La redacción de las condi-

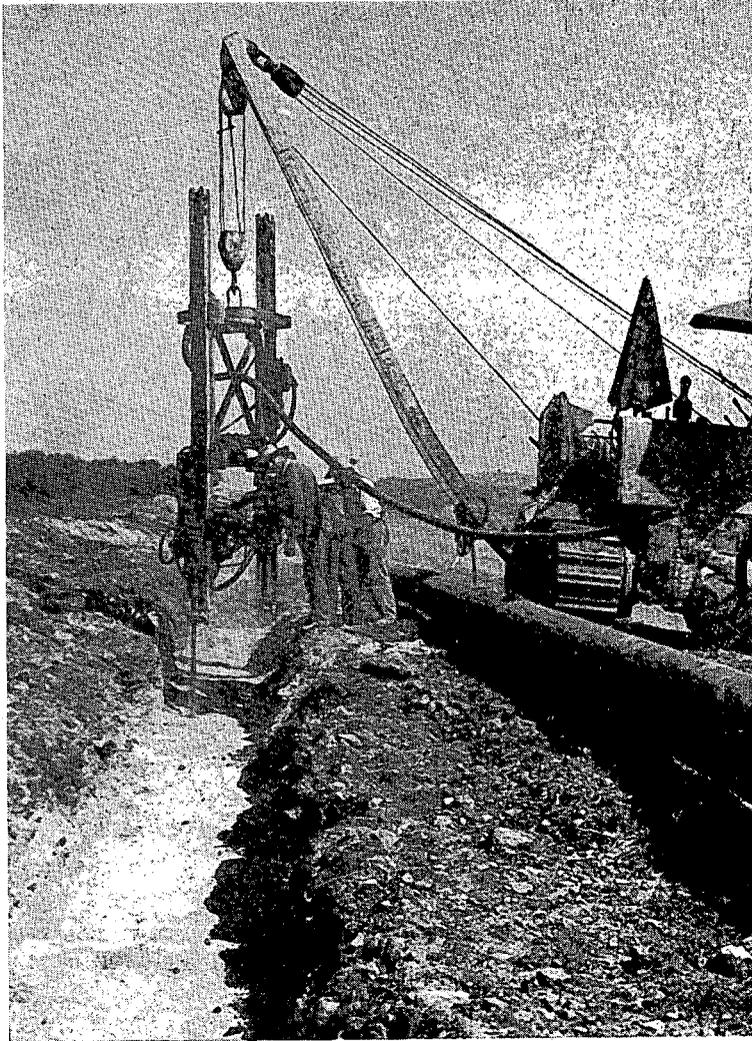


Fig. 9.ª — Apertura de zanja en roca.

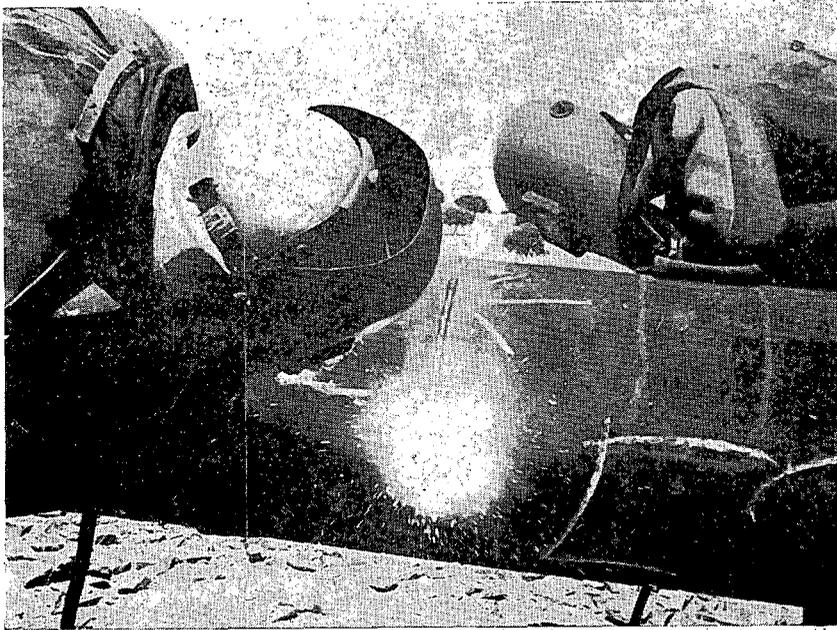


Fig. 10. — Soldadura.

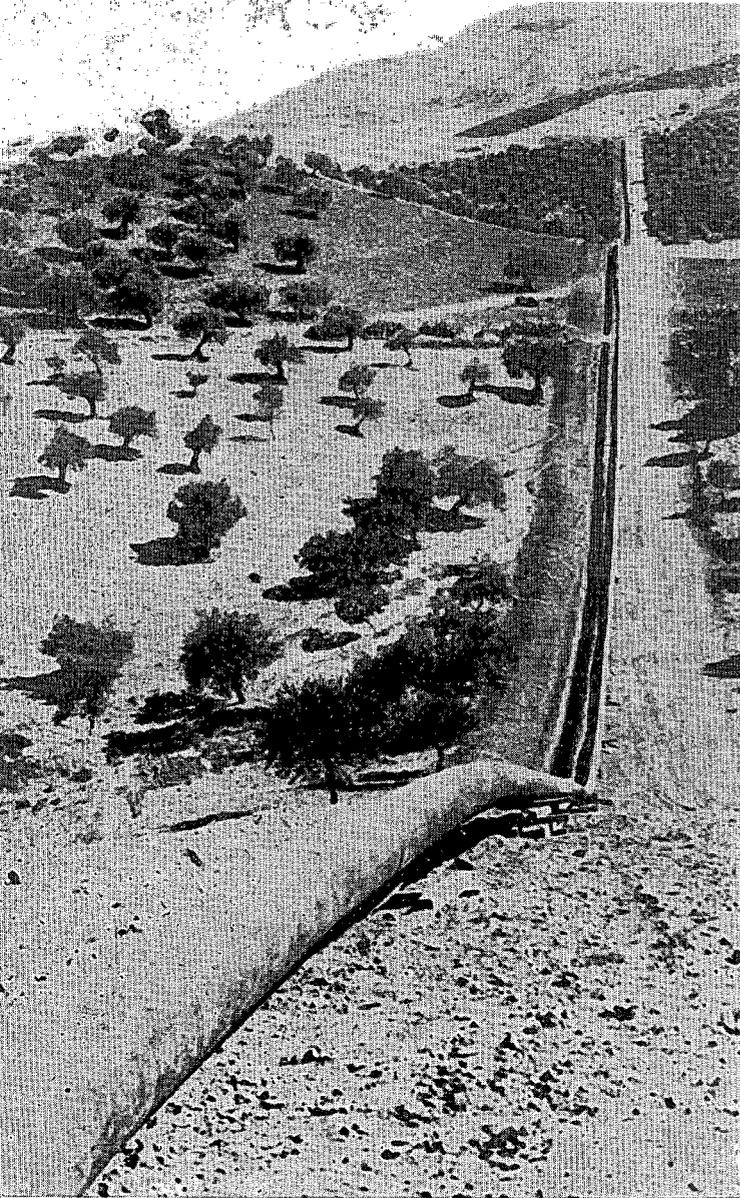


Fig. 11. — Tubería antes del tendido.

ciones específicas que habían de regir en dicha inspección motivó que se publicasen las propuestas de normas UNE, números 14 040, 14 041 y 14 042.

El 1 de junio de 1963 comenzó el tajo de soldadura, quedando completo el equipo en agosto. Duró su actuación hasta junio de 1964.

Para la ejecución de la radiografía el contratista hizo uso de equipos gammagráficos. La película se ata en circunferencia a la soldadura y se expone en un breve intervalo a la acción de un isótopo radiactivo, en nuestro caso de iridio, incluido en un pequeño aparato móvil. Si tras de la inspección de las radiografías éstas revelan defectos no aceptables, se procede

a su corte y reposición. Periódicamente, y de un modo riguroso, se comprueba la calidad del trabajo de cada soldador.

#### 6.º Limpieza y primeros ensayos.

Se sueldan, primeramente, tramos de un kilómetro aproximadamente, que se dejan sobre apoyos de madera (fig. 11). Es decir, cada kilómetro se deja una junta sin soldar.

En esos tramos se hace la limpieza y ensayo del modo siguiente: primero se hace pasar un rascador o pistón, impulsado por aire comprimido, que limpia el interior del tubo, expulsando la tierra u objetos extraños, y después se lleva a cabo un ensayo con aire a 7 Kg./cm.<sup>2</sup> de presión. Durante este ensayo se untan las soldaduras con agua jabonosa para comprobar si existen fisuras o grietas en la tubería.

Por supuesto, al terminar la construcción del oleoducto se efectúan los ensayos finales hidrostáticos y con crudo, de que hablaremos más tarde.

#### 7.º Revestimiento y tendido.

Un grupo especial de soldadura va uniendo las juntas que habían quedado entre los tramos en que se habían ejecutado los ensayos anteriores. E inmediatamente después se efectúa el revestimiento, que se hace, por tanto, sobre un todo continuo de tubería.

Según hemos dicho antes, se ha utilizado como revestimiento cinta de plástico autoadhesiva, de polietileno, recubierta a su vez por un fieltro de amianto. El revestimiento es efectuado por una máquina autopropulsada que corre sobre la tubería, que le sirve de carril mientras es sostenida por tractores de grúa lateral (figura 12). Esta misma máquina limpia primeramente la superficie exterior de los tubos, condición necesaria para que la cinta adhesiva agarre bien, y enrolla también el recubrimiento de fieltro de amianto.

La calidad del revestimiento se controla mediante un detector de alto voltaje. Consiste en un anillo que rodea el tubo y que registra cualquier irregularidad en el dieléctrico que constituye el revestimiento: poros, arrugas, etc., defectos que hay que subsanar, por ser fundamental la buena ejecución para su calidad posterior.

Otro equipo de tractores de grúa lateral,



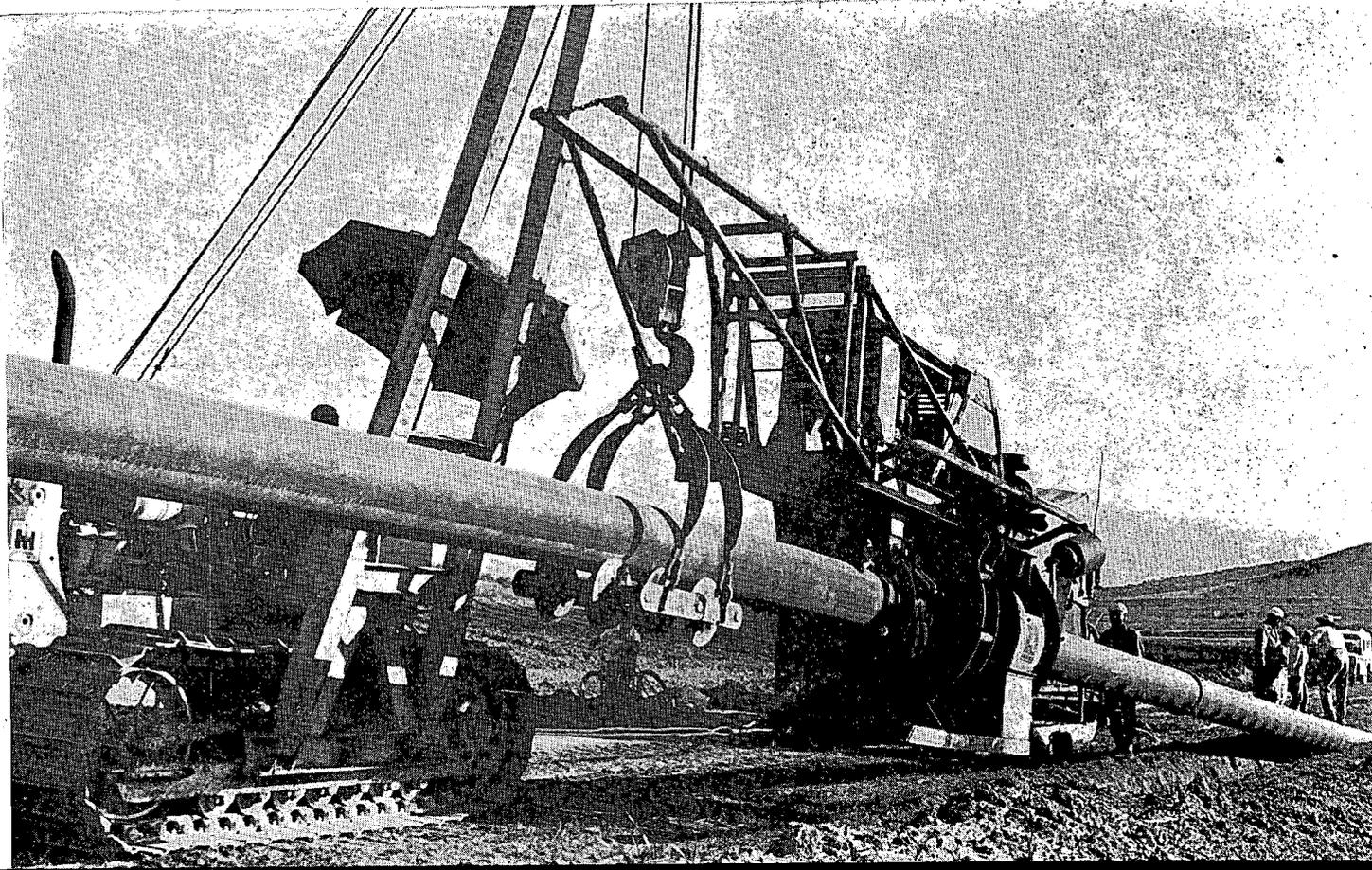
Fig. 12. — Máquina de revestir.

que sigue al revestimiento, va depositando la conducción en la zanja (figs. 13 y 14). El tendido se llevó a cabo de junio de 1963 a septiembre de 1964.

#### 8.º Relleno de zanja.

Se suele hacer con explanadoras con hoja oblicua. En determinados tramos, por ejemplo,

Fig. 13. — Tendido de la tubería.



en roca, se prescribió que había que hacer el relleno con material seleccionado.

#### 9.º Cruces especiales.

Un equipo especial estaba dedicado a la ejecución de los cruces de carreteras, ferrocarril-

estrechos. La longitud de estos cruces aéreos ha oscilado entre 5 y 25 metros, con dos apoyos como máximo.

#### 10. Restitución de los terrenos.

Se trata de un equipo cuya misión es no

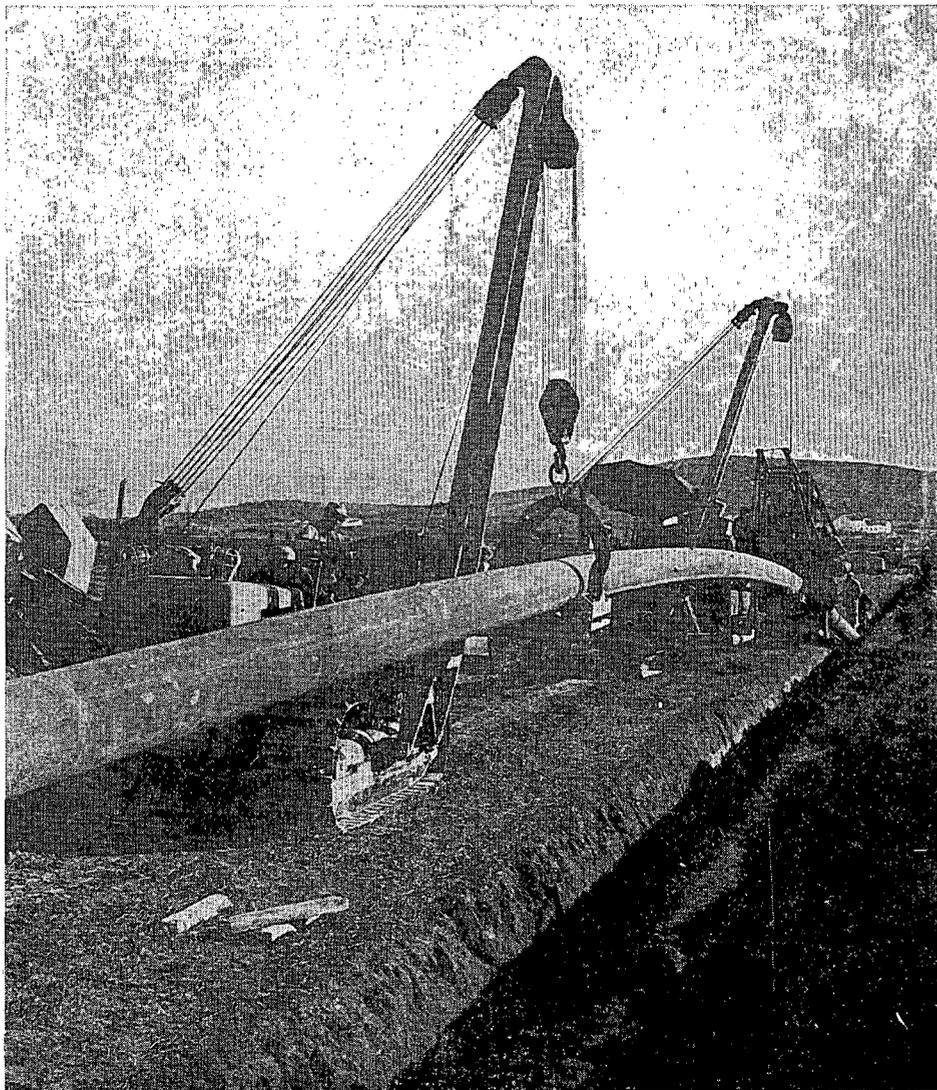


Fig. 14. — Tendido de la tubería.

les y arroyos. En los casos en que se disponía tubo protector la excavación se hizo mediante un trépano horizontal. En los restantes casos por simple excavación y protección con hormigón. También estaba encargado de ejecutar los cruces aéreos, localizados en barrancos muy

sólo afinar la labor de relleno de la zanja, sino limpiar la pista, distribuir bien la tierra que haya podido quedar sobrante y volver a sus condiciones originales la superficie agrícola, cercas, drenes y demás instalaciones que hayan podido ser afectadas.

## 11. Otros trabajos.

Se organizaron también otros equipos para colocación de válvulas, ventosas, hitos kilométricos y tomas de potencial, ataguías de sacos terreros, gaviones para defensa de márgenes, etcétera, etc.

## 12. Cruce de ríos.

Ya hemos dicho que el cruce de los ríos constituye un problema aparte, por la cantidad de medios que es necesario preparar para efectuarlos.

En nuestro oleoducto había nueve cruces determinados como de ríos y compensados por un precio especial. Entre ellos destacan los del Guadalhorce, Genil y Guadalquivir.

Todo el tramo del cruce se prefabrica en una orilla. La tubería se recubre con una camisa continua de hormigón de protección y lastrado y después se procede a su tendido gradual en el fondo.

El cruce de mayores dimensiones fue el del Guadalquivir, de 100 metros de anchura y 7 de profundidad en aquella zona. Hubo que excavar en roca y después prefabricar y tender toda la tubería. La zanja en el fondo, en la que va la conducción, se cubrió y protegió con sacos de hormigón. Es importante en todos estos tendidos la continua inspección subacuática.

### **Corrimientos. Ensayos finales y puesta en servicio.**

Un enemigo de los oleoductos, como de cualquier otra vía de transporte, lo constituyen los terrenos con tendencia a deslizar.

Ya hemos dicho que el trazado del oleoducto busca las máximas pendientes y procura evitar las medias laderas, lo cual se traduce en una menor perturbación del terreno y una mayor resistencia del tubo a deslizar. Además, en la elección del trazado se había procurado evitar los terrenos peligrosos.

No obstante, a fines de 1963 hubo algunos corrimientos en varios puntos de la traza, entre los kilómetros 18 y 39. Corresponden a una faja de terreno eoceno, en su facies flisch, que circunda Málaga y era imposible evitar. Este terreno es bastante inestable y causa continuos perjuicios a las obras públicas de la zona.

Tras de varios informes, se hicieron algunas obras en el terreno para contrarrestar los posibles deslizamientos: drenes, corrección de to-

rrentes, etc., y se rehicieron algunos tramos de conducción.

Como ensayo final se efectuó una prueba hidrostática a una presión equivalente a la de la de la piezométrica máxima, en tramos comprendidos, en general, entre válvulas, o sea, de unos 20 a 30 Km. Después quedaba ya únicamente operar con crudo. Podía, pues, considerarse acabada la conducción principal con la terminación de dichos ensayos, en febrero de 1965.

Como es natural, simultáneamente con la construcción de la línea se había trabajado en el proyecto, concurso y ejecución de las obras de las numerosas y variadas instalaciones para la descarga, almacenamiento y bombeo, es decir, los terminales y estaciones de la vía de transporte que es un oleoducto.

En cuanto fueron terminados los depósitos de crudo en Málaga, se programó la llegada de barcos petroleros, que los llenaron entre agosto y septiembre. Terminadas las primeras pruebas de bombeo con crudo, el oleoducto se inauguró oficialmente en Málaga el 6 de octubre de 1965. Ello permitió situar en Puertollano, en la fecha prevista, las cantidades de crudo necesarias para las pruebas y posterior funcionamiento de la refinería.

El presupuesto del suministro de la tubería ha sido de 180 millones de pesetas y el coste real de la colocación y tendido de la línea de 168 millones. En total, 348 millones frente a los 670 millones de pesetas del conjunto del oleoducto. En esta cifra se han incluido los depósitos de crudo de Puertollano. En todas se ha excluido el coste de los terrenos y derechos de paso y el coste de la ingeniería, es decir, del proyecto y dirección de la obra.

En España el primer oleoducto que se construyó fue el que va de Rota a Zaragoza, para servicio de las bases conjuntas hispano-norteamericanas. Pero en este proyecto la participación de la técnica nacional fue muy escasa. En cambio, en el oleoducto Málaga-Puertollano el proyecto, gestión de compra y dirección de obra ha sido llevado totalmente por el Departamento de Construcción de AUXINI, con un limitado asesoramiento técnico extranjero.

Por otra parte, el oleoducto Málaga-Puertollano ha sido la primera instalación civil de su clase puesta en funcionamiento en España. Con él se ha iniciado en nuestro país la historia de un nuevo sistema de transporte, que es de esperar se extienda a otros puntos de la geografía española.