

EL TRANSPORTE POR TUBERIA

Por ANTONIO MARTINEZ CATTANEO

Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos

El autor, profesor de esta especialidad en la Escuela de Ingenieros de Caminos, hace en este artículo una somera exposición de tan interesante medio de transporte, cuyo establecimiento acaba de iniciarse en España con el proyecto y construcción del oleoducto Málaga-Puertollano, que será descrito en sucesivos artículos.

Cuando en el año 1955 se nos confió, por el entonces Presidente del Instituto Nacional de Industria, D. Juan Antonio Suanzes, el encargo de estudiar un oleoducto para transportar petróleo crudo desde un puerto de la costa meridional española hasta Puertollano, en donde se pensaba construir la primera refinería interior de España y una de las primeras de Europa, acometimos el trabajo con gran entusiasmo por entender que este proyecto constituía una auténtica obra de ingeniería de construcción (la que se denomina civil en otras lenguas) y la primera de su género en España por su aplicación o uso civil, ya que entonces estaba en estudio el oleoducto de productos refinados para el abastecimiento de las bases conjuntas hispano-norteamericanas (1).

Esta obra es una auténtica instalación de transporte en el sentido estricto, ya que permite enviar varios millones de toneladas de petróleo al año, desde la costa a un punto situado a más de 200 Km. en el interior.

En este sentido piénsese que las obras hidráulicas son, en parte, obras de transporte.

Un abastecimiento de aguas a una gran ciudad de, por ejemplo, tres millones de habitantes y cuya fuente está situada a 50 Km. de distancia, significa un transporte anual de unos veinte mil millones de toneladas kilómetro.

De igual manera, un gran canal de riego que sirva para unas 60.000 Ha. y con una distancia de 70 Km., implica un transporte en mi-

llones de toneladas kilómetro/año análogo al anterior.

Frente a esos transportes de agua puede compararse el de petróleo crudo del oleoducto europeo desde Lavera (Marsella) a Estrasburgo, que con 800 Km. de longitud y una capacidad final de treinta millones de toneladas año, equivale a un transporte de veinticuatro mil millones de toneladas kilómetro anuales.

Estas obras o instalaciones de transporte de nuestro ejemplo, tienen características bien distintas:

El canal de riego a cielo abierto o en túnel, sin presión y con distancias relativamente pequeñas, transporta, en cambio, grandes volúmenes.

El abastecimiento de aguas con pequeñas presiones y distancias medias sirve, asimismo, para un gran caudal.

El oleoducto tiene, en cambio, caudales relativamente pequeños transportados a gran distancia y con elevadas presiones y materiales de alta resistencia y calidad.

Diferencia esencial de estos transportes es la que se refiere al precio del producto, ya que el agua vale al final unas pocas pesetas por metro cúbico, mientras que el petróleo (a veces después de un transporte realizado en buques petroleros a varios miles de millas de distancia) vale unos miles de pesetas por tonelada o metro cúbico.

Si dejamos a un lado estas consideraciones y comparaciones con los transportes hidráulicos y hablamos de otros productos al objeto de darnos idea del orden de magnitud que significan los transportes del petróleo, vemos que hoy día (1966) en España se transportan anualmente:

(1). Este oleoducto ya construido y en explotación desde 1958 une el puerto y terminal de Rota con Sevilla, Madrid (Torrejón) y Zaragoza. Tiene un diámetro inicial de 12" que después se reduce a 10" y termina en 8". Por su carácter militar tiene una serie de instalaciones que garantizan su máxima seguridad de funcionamiento e independencia y, además, es reversible.

- 6 millones de toneladas de hierro y acero (laminado no transformado).
- 4 à 5 millones de toneladas de trigo.
- 11 millones de toneladas de cemento.
- 15 millones de toneladas de carbón.
- 13 millones de toneladas de productos petrolíferos, contando solamente los refinados.

En nuestros días, el petróleo es la primera mercancía del mundo.

El petróleo, junto con el gas natural, han significado, en 1966, el 52 por 100 de la energía primaria del conjunto de los países de la C.E.E.

La evolución de la importancia de estos productos dentro del conjunto de la energía mundial ha sido la siguiente:

Año	%
1900	4
1940	23
1950	35
1959	44
1965 (estimado)	50

De igual manera, para dar idea de la importancia de las cifras de producción y consumo de petróleo y gas natural, damos a continuación las que corresponden a su evolución desde el comienzo de su aprovechamiento:

Petróleo:

Años	Millones de toneladas
1860	Primer sondeo
1900	27
1940	383
1950	682
1961	1 120
1965	1 525

Gas natural:

Años	Millones de m. ³
1900	0
1940	100 000
1950	260 000
1961	550 000
1965	760 000

Para España damos las cifras correspondientes en el gráfico de la figura 1.^a.

Aun cuando la historia de las tuberías de transporte, oleoductos y gasoductos va unida al de los diversos productos, tanto líquidos como gases, crudos y refinados, derivados del petróleo, las tuberías de transporte pueden servir para otros materiales o productos: Carbón (bien en suspensión acuosa o con gas-oil o fuel-oil ligero), cemento y caliza (con aire), madera (una de las últimas experiencias de transporte por tubería, mediante la trituración en el bosque y su impulsión con agua hasta las fábricas de celulosas), etc., etc.

El primer oleoducto fue construido en Pennsylvania, en 1865, poco después de perforarse el primer pozo de petróleo en los Estados Unidos. Estaba formado por una tubería de hierro de dos pulgadas, de 8 Km. de longitud, con dos estaciones de bombas a la presión de 15 atmósferas y podía transportar 800 barriles/día, es decir, aproximadamente, unas 40.000 toneladas/año.

De aquella modesta experiencia hasta las grandes realizaciones como la anteriormente citada del oleoducto de Lavera a Estrasburgo o del Transarabian, construido en 1952, con 1.700 Km. de longitud y un diámetro de 30-31 pulgadas, la técnica ha tenido que recorrer un largo camino de imaginación, investigación y sucesivas extrapolaciones.

Damos a continuación un cuadro, en el que figura la longitud de las principales tuberías de transporte en todo el mundo a la fecha de 1961, con unas estimaciones hechas por nosotros de las cifras correspondientes a 1965:

TIPOS	1 9 6 1					1 9 6 6
	USA	Canadá	URSS	Otros	Total	Estimado
Crudo	270 000	6 000	21 000	32 000	329 000	380 000
Productos	74 000	11 000	2 000	15 000	102 000	170 000
Gas	891 000	11 000	18 000	24 000	944 000	1 030 000
Total Km.	1 235 000	28 000	41 000	71 000	1 375 000	1 580 000

(Aunque se suman los kilómetros de tubería de todos los diámetros, ya se comprende que esta suma es muy heterogénea, puesto que se consideran todas por longitud, y lo mismo una pequeña tubería de 4 ó 5 pulgadas de diámetro que una grande de 30 ó 40 pulgadas.)

metro que una grande de 30 ó 40 pulgadas.)

Las principales características del transporte por tuberías, en lo que se refiere a los líquidos, son las siguientes:

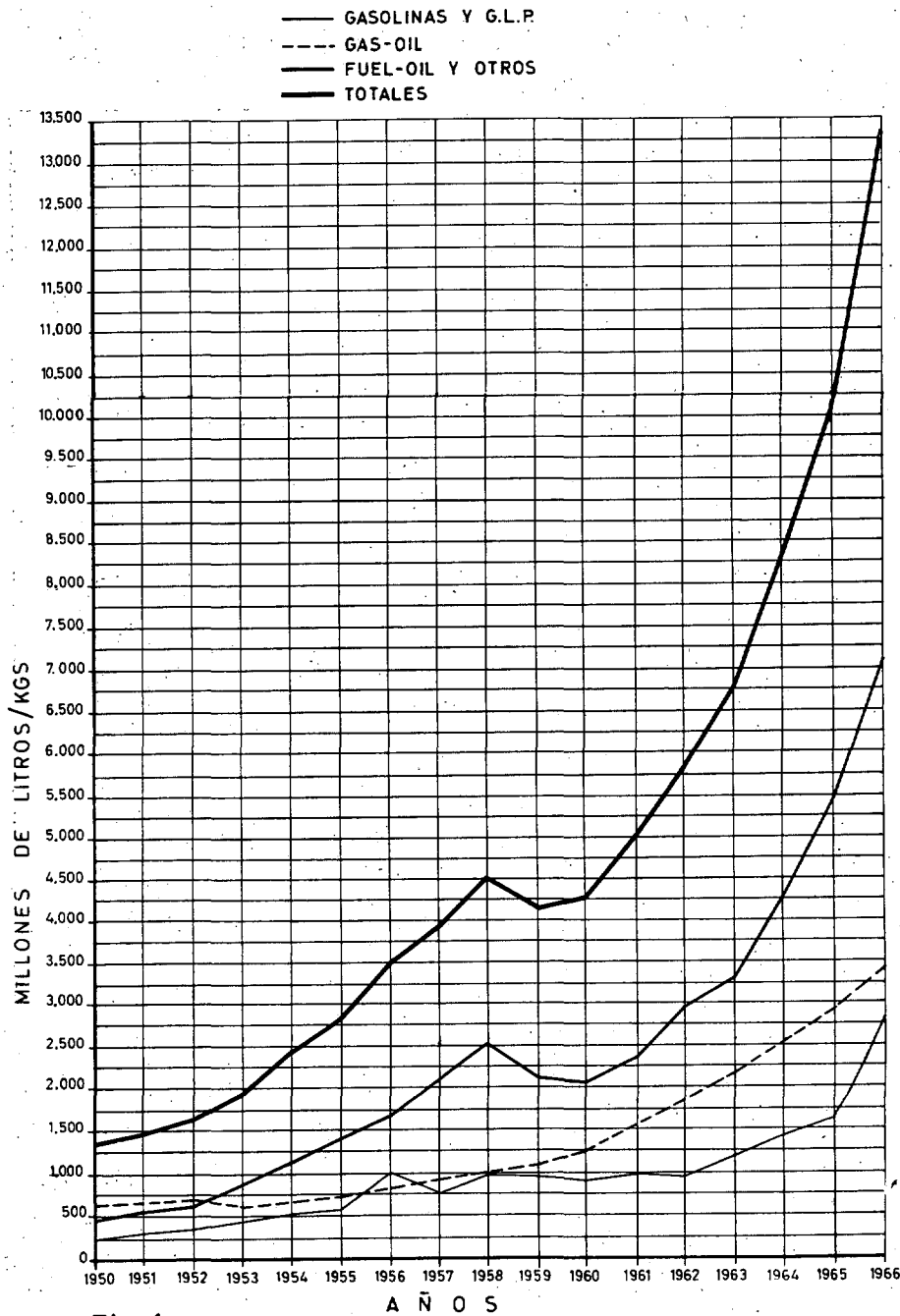


Fig. 1

Fig. 1.ª. — Gráfico de consumos de productos petrolíferos.

Fuente: C. A. M. P. S. A.

A favor.

La continuidad del transporte, que obtiene de sus instalaciones un elevadísimo coeficiente de utilización, del orden del 90 por 100 en el tiempo.

La falta de peso muerto o tara por coincidir en el mismo elemento el vehículo y la vía y, en

La indiferencia a la meteorología adversa y otros agentes exteriores.

Su funcionamiento con escaso personal, por el creciente automatismo de las instalaciones.

En contra.

La rigidez de la línea y de sus dimensiones. (Lo último puede ser vencido relativamente

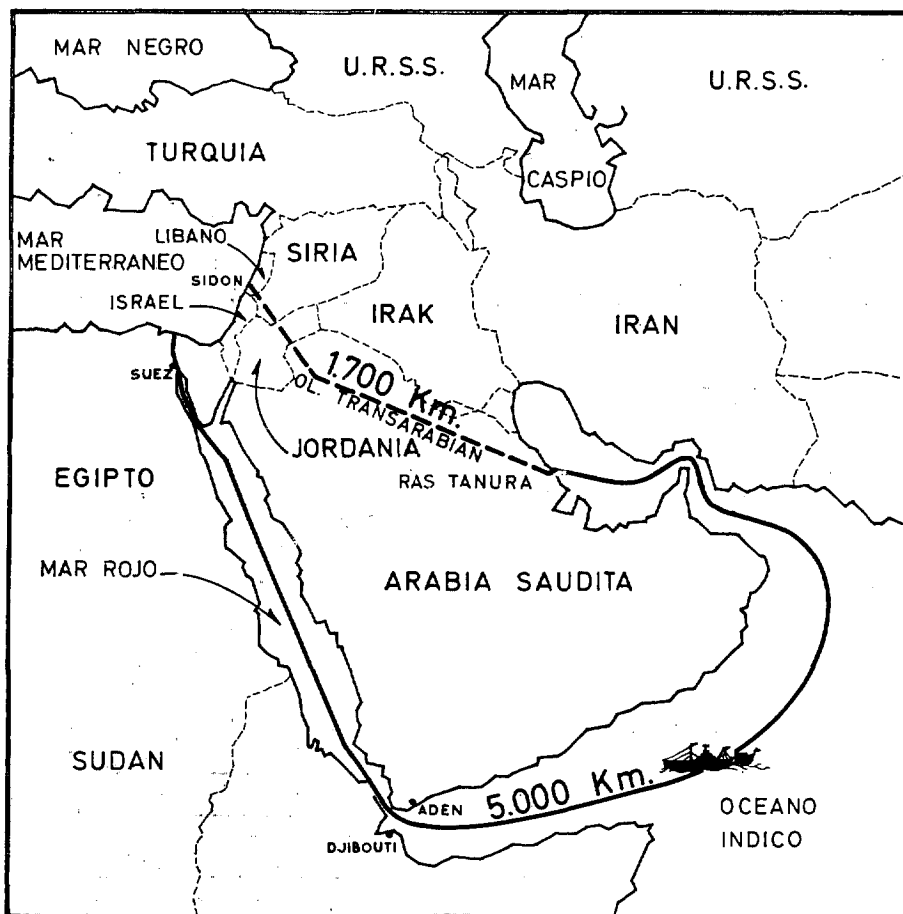


Fig. 2.^a. — Situación del oleoducto Transarabian y comparación de las distancias de transporte desde el golfo Pérsico al mar Mediterráneo por tubería y por buque petrolero.

Fuente: L'économie du transport par conduite. — Technip 1963.

consecuencia, el ahorro del retorno de los vehículos o recipientes en vacío.

El escaso consumo de energía por rozamiento y su recuperación en las bajadas o pendientes.

La posibilidad de un trazado en línea casi recta, con una economía sobre cualquier otro medio de transporte.

mediante la instalación posterior de más estaciones intermedias de bombeo.)

Como todas las instalaciones de elevado coste de primer establecimiento, el rápido aumento de costo del transporte al bajar el coeficiente de utilización.

La falta de adaptación a puntas o sobrecargas.

La dificultad del transporte o bombeo de los productos viscosos que requieren calentamiento o un elevado aislamiento térmico de las tuberías (esta circunstancia es la que ha influido decisivamente en la nueva estrategia de las

nes iguales o parecidas (diámetro de la tubería, separación y potencia de estaciones de bombas y compresores, etc.) los caudales de gas comparados con los de los líquidos bombeados significan, en poder calorífico, solamente de 1/5

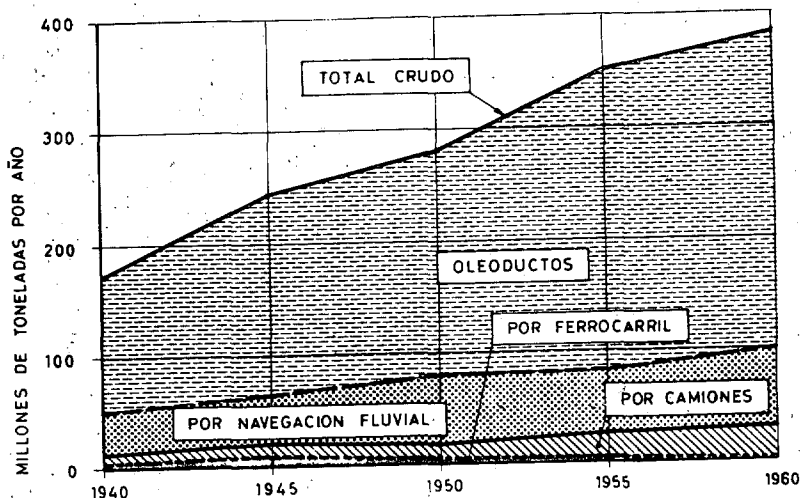


Fig. 3.ª. — Tendencias en el transporte del petróleo crudo transportado en los Estados Unidos. (Datos de la Asociación de Oleoductos.)

refinerías, de la que hablaremos más adelante).

En lo que se refiere al gas, su transporte se realiza en condiciones técnicas análogas a los líquidos ligeros, pero, en cambio, en instalacio-

a 1/7 como consecuencia del mayor volumen ocupado por el gas aun comprimido y del mayor poder calorífico del petróleo.

Dentro de esta rápida exposición es del ma-

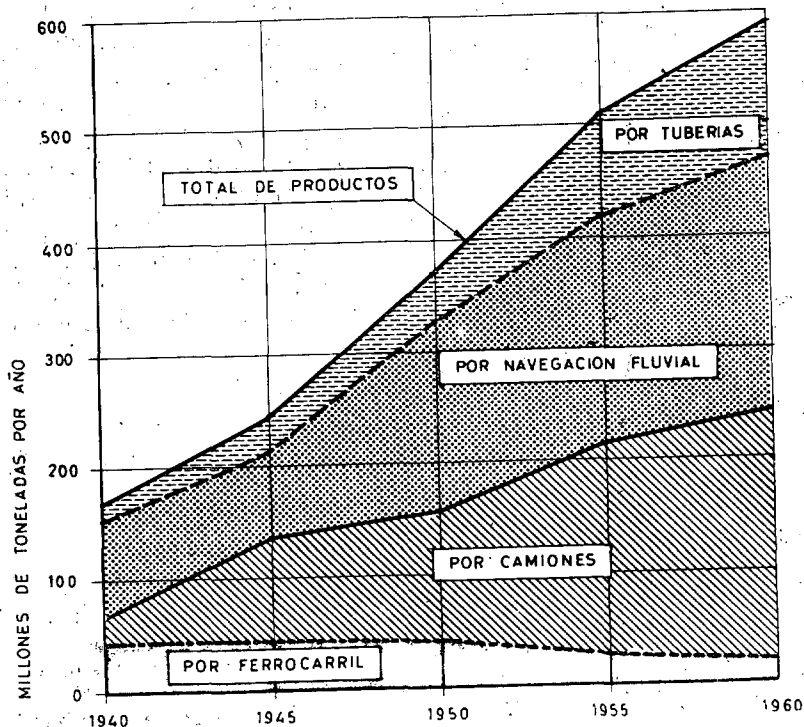


Fig. 4.ª. — Productos refinados transportados en los Estados Unidos. (Datos de la Asociación de Oleoductos.)

yor interés que hagamos algunas indicaciones sobre la comparación de este medio de transporte con los que podíamos llamar clásicos, tanto en cuanto a la utilización de cada uno como, lo que haremos más adelante, en cuanto a su relativa economía o coste.

El transporte por tuberías es complementario, del que se realiza en buques en cuanto al crudo de petróleo y al gas natural. Por el contrario, el transporte en ferrocarril y en camiones por carretera es complementario de la tubería de transporte en los productos refinados y en pequeña escala en el transporte de gas.

Los oleoductos de crudo se establecen entre los campos de petróleo y la costa, en los países productores, y desde la costa a las refinerías, en las zonas de consumo, cuando no coinciden con el propio país productor, en cuyo caso el oleoducto puede ir del campo petrolífero a la refinería ubicada en la zona de consumo.

Los oleoductos de productos refinados van desde las refinerías a las zonas de consumo.

Los gasoductos se construyen desde los

campos o yacimientos a la costa, como en el caso del petróleo crudo, y desde la costa a las zonas de consumo. El tráfico marítimo se comienza a realizar en la actualidad con buques metaneros, en los que se transporta el gas a la temperatura de -160° C. y presión ordinaria. También se construyen los gasoductos desde los campos a las zonas de consumo y a veces con largos tramos bajo el mar, como en el proyectado gasoducto "Eurafrigas", para el abastecimiento europeo desde los yacimientos de Argelia, gigantesco proyecto en el que habían de salvarse grandes dificultades técnicas, especialmente las referentes al paso de la tubería por el fondo del Mediterráneo, y cuyos trabajos han quedado en suspenso, salvo en lo que se refiere a ensayos e investigaciones, como consecuencia de la reciente aparición de gas natural en la plataforma costera de Holanda.

El tráfico marítimo del petróleo exige la habilitación y en ocasiones construcción de puertos, dársenas, muelles o fondeaderos para la carga y descarga de los buques petroleros, cuyo creciente tonelaje (2) produce importantes economías en el transporte, junto a las naturales dificultades para la habilitación de los puertos o fondeaderos (unidos a la costa mediante tuberías submarinas) para permitir la carga y descarga de tan gigantescos buques.

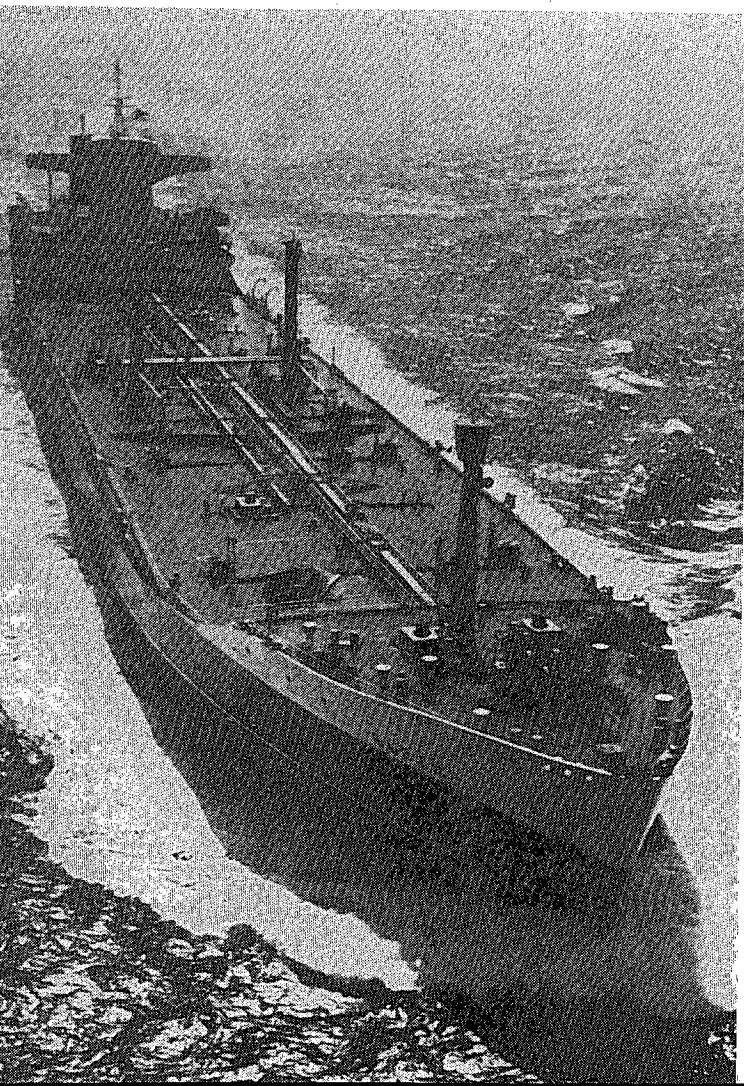
Junto a los puertos se proyectan y construyen grandes parques terminales con depósitos para líquidos y gases, con todas las instalaciones precisas para realizar la carga y descarga de los buques, estaciones de bombas, abastecimiento de combustible y agua, contraincendios, etc., etc. Los grandes petroleros de 100.000 TPM o mayores cargan o descargan a un caudal de 6.000 Tn./hora. (Las bombas de un buque están usualmente dimensionadas para descargar en dieciséis horas.)

(2) La flota petrolera mundial estaba formada en 1960 por 3.200 buques con 66 millones de TPM. Esto es la tercera parte de la flota mercante mundial que transporta la mitad del tonelaje total de mercancías.

Los petroleros siguen la tendencia de continuo aumento de su tamaño. El mayor buque del mundo es el japonés "Idemitsu Maru", con 209 000 TPM. Están en construcción en el Japón otros 6 buques de 276 000 TPM y en estudio o proyecto otros de 300 000 TPM, que tendrán 330 m. de eslora y un calado en carga de 22 m. (74 pies).

En Alemania se construye actualmente el mayor buque europeo con 170 000 TPM con calado de 17 m.

La velocidad de estos buques se conserva casi fija entre los 16 y 18 nudos.



Los depósitos para líquidos y gases pueden ser de tipos muy distintos: de techo flotante, techo fijo, esferoides y semiesferoides, esferas y depósitos de techo elevable todos ellos metálicos. Los primeros se emplean para los líquidos, volátiles o no. Los esferoides y semiesferoides para líquidos volátiles a media expresión. Las esferas, para líquidos volátiles y gases licuables a alta presión. Los de techo elevable, asimismo para productos volátiles y gases. Se emplean también especialmente para el almacenamiento de gas los depósitos de hormigón armado pretensado, con o sin revestimientos interiores de protección para la corrosión o de impermeabilización. En las estaciones de carga y descarga de gas natural, licuado, se utilizan también depósitos subterráneos donde el gas se conserva en estado líquido y presión normal a la temperatura de -161°C . y con pequeña pérdida de frigorías. Se aprovechan aquí las ventajas del pequeño volumen del gas en estado líquido: un m.³ corresponde casi a 700 m.³ de gas a presión normal.

En las tuberías de transporte de gas o gasoductos es conveniente, cuando no imprescindible, el establecimiento de grandes depósitos de regulación, que por economía se buscan o habilitan en forma subterránea en adecuadas estructuras geológicas (madres estériles del petróleo, rocas porosas o fisuradas) en donde puede inyectarse a presión el gas para después recuperarlo en horas posteriores.

Para la fabricación de las tuberías de transporte se emplean aceros especiales con características definidas en los pliegos de condiciones o especificaciones de la API (American Petroleum Institution) que se denomina 5 L para las calidades normales, y 5 LX para las de alta resistencia. Aun cuando la utilización de acero de alta resistencia significa una economía importante de acero, las dificultades de soldadura han frenado durante algún tiempo el desarrollo en la utilización de los aceros de mayor resistencia, pero el mejoramiento de las técnicas de soldadura e incluso la utilización eventual del precalentamiento en las zonas a soldar han permitido resolver tales dificultades dando lugar a una rápida extensión en el uso de los aceros especiales de alta resistencia en este campo.

A continuación damos un cuadro con las ca-

racterísticas principales de los aceros utilizados en estas tuberías:

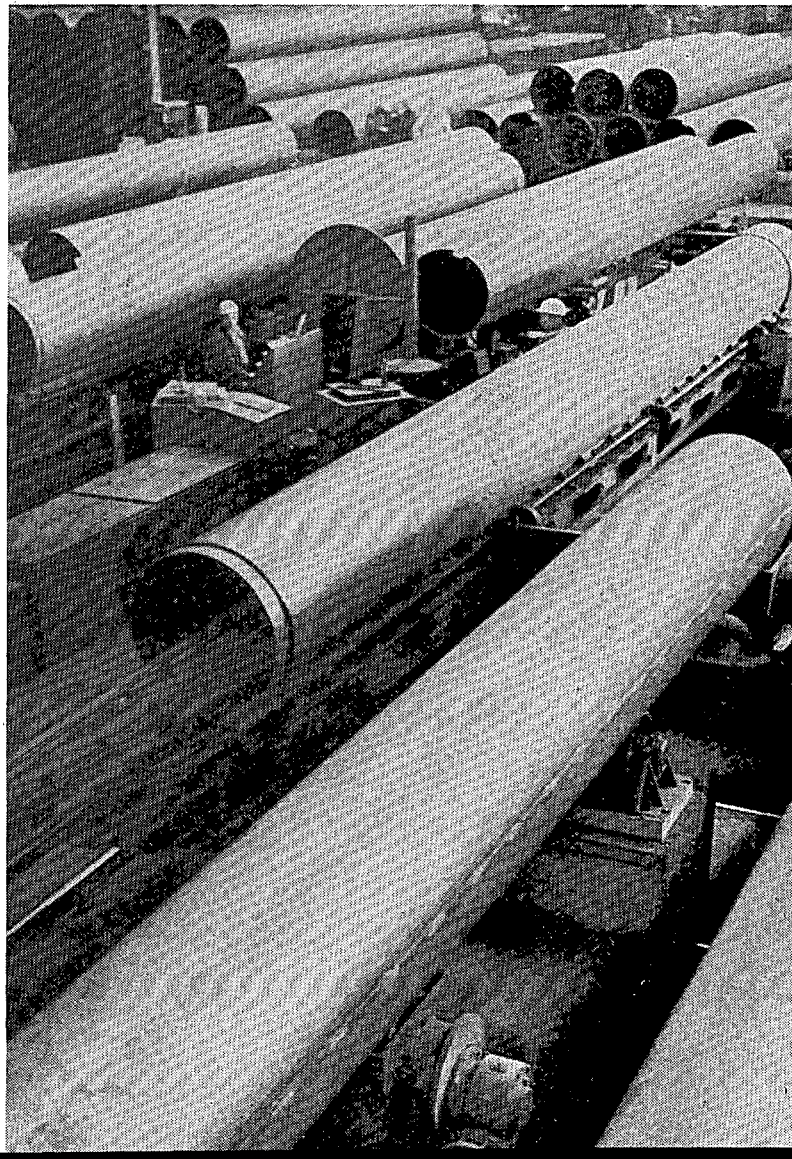
A. P. I.	Grado	Límite elástico — Kg./mm. ² .	Resistencia a la rotura — Kg./mm. ² .
5 L	A	21	34
5 L	B	25	42
5 L	C	32	47
5 LX	X 42	29	42
5 LX	X 46	32	45
5 LX	X 52	37	47

La tubería se fabrica por diversos procedimientos, bien sin costura o soldada por diversos métodos. Un índice de los diversos tipos de tubo de acero es el siguiente:

Sin costura.

Con soldadura forjada con solape.

Con soldadura forjada a tope.



- Con soldadura por inducción.
- Con soldadura por resistencia eléctrica.
- Con soldadura por arco (no sumergido).
- Con soldadura por arco sumergido.
- Con soldadura helicoidal (3).

Como será descrito en otros artículos, los tubos se sueldan al arco eléctrico para obtener una completa continuidad y después se revisan para su protección contra la corrosión, que es completada, después de su arriado y colocación en la zanja, mediante la adecuada protección catódica.

Elemento esencial de estas instalaciones lo constituyen, como es natural, las estaciones de bombas y compresores mediante las cuales se consigue el movimiento de los fluidos a transportar. Desde hace veinte años existe una tendencia muy fuerte a instalar en los oleoductos tubería de mayor diámetro y a separar las estaciones, unido a una mayor utilización del automatismo y control a distancia. Antes de 1940 muchos oleoductos tenían separación de estaciones de unos 80 Km., mientras que ahora son frecuentes separaciones de 130 a 140 Km.

Las bombas y compresores pueden ser del tipo del alternativo y rara vez del volumétrico, pero usualmente son centrífugos; las bombas trabajan con presiones superiores a las 100 atmósferas, lo que implica columnas de líquido de más de 1.000 m. Los compresores llegan a presiones análogas o algo inferiores con relación de compresión comprendida entre 1,1 y 1,5 (los alternativos, para menor caudal, llegan a 1,8).

La sencillez y la seguridad, junto a la economía, es la que impone la elección de la fuente de energía y en consecuencia el tipo de los motores de accionamiento de bombas y compresores. La energía puede ser eléctrica, un carburante que, en general, es el transportado por la tubería, diesel o crudo, o bien el gas transportado. En el caso de oleoductos, bien sea de crudos o de productos, la electricidad puede ser competitiva, aparte de que los motores eléctricos son más sencillos y económicos que los diesel o de gas, pero en los gasoductos es evidente que el gas transportado es notable-

(3) Los tubos helicoidales no han recibido todavía la aceptación del API ni su consiguiente homologación.

mente la fuente de energía más económica, bien se utilice en motores o en turbinas. Sin embargo, en numerosos oleoductos de crudo el producto transportado se utiliza en motores diesel, si es suficientemente ligero, y también pueden emplearse turbinas de gas alimentadas por la combustión del crudo.

Es muy importante, para el funcionamiento en serie de las diversas estaciones de bombas y compresores a lo largo de una tubería de transporte, establecer el adecuado control y mando a distancia, así como el automatismo, para lo cual se precisa también unos sistemas de telecomunicación que sirven a estos fines y al de la transmisión de órdenes y programas en la explotación desde el puesto de mando correspondiente.

Resultado de todas estas técnicas que se han expuesto tan someramente, es una gran economía del transporte. En el gráfico de la figura 5.^a, a continuación, se recogen los costes de transporte en función de la capacidad para oleoductos de diversos diámetros; su envolvente o la curva que una los puntos de mínimo coste para cada diámetro, nos da la variación del coste en función de la capacidad o volumen anual transportado al año, en general. Aparece aquí bien claro el enorme descenso del coste unitario cuando se aumenta el volumen transportado al año.

Al objeto de dar una idea comparativa de los diferentes costes de transporte para productos petrolíferos líquidos, indicamos a continuación unas cifras generales que recogen costes en diversos países del mundo (4):

(4) El coste del transporte por tubería es casi independiente del país en que se realiza la instalación, bien sea desarrollado, en vías de desarrollo o subdesarrollado, como consecuencia de que la mayor parte de las instalaciones se adquieren o son construidas sobre la base de modernos procesos de fabricación, tanto para la maquinaria instalada como para la que se usa durante la construcción. Los materiales y combustibles, tanto para la construcción como para explotación, tienen también precios internacionales. En consecuencia, si se descuenta la mano de obra de peonaje en la construcción y la que corresponde al personal de explotación en tan pequeño número como consecuencia del automatismo de las instalaciones, los precios resultantes son, por tanto, verdaderamente internacionales. Por nuestra parte, hemos podido comprobar este aserto al obtener los precios de coste del oleoducto Málaga-Puertollano que se sitúan casi exactamente dentro de las curvas que corresponden a los internacionales, deducido de fuentes autorizadas.

TIPO DE TRANSPORTE	Ptas./Ton./Km.
Carretera	0,90 a 2
Ferrocarril	0,50 a 1,50
Barcazas fluviales	0,25 a 0,60
Oleoducto de mediano diámetro	0,08 a 0,15
Oleoducto de gran diámetro	0,05 a 0,06
Petroleros pequeños o medianos	0,05 a 0,07
Superpetroleros	0,025 a 0,035

ubicación frente a las zonas de producción o consumo son de tres tipos: refineries en los centros de productos en las cuales el petróleo crudo es refinado y convertido en productos derivados que después se exportan y transportan por separado; refineries en los centros o zonas de consumo en las cuales se recibe el petróleo crudo, que es refinado y distribuido en el interior de dichas zonas y, finalmente, refineries intermedias, muy escasas, que son aquellas si-

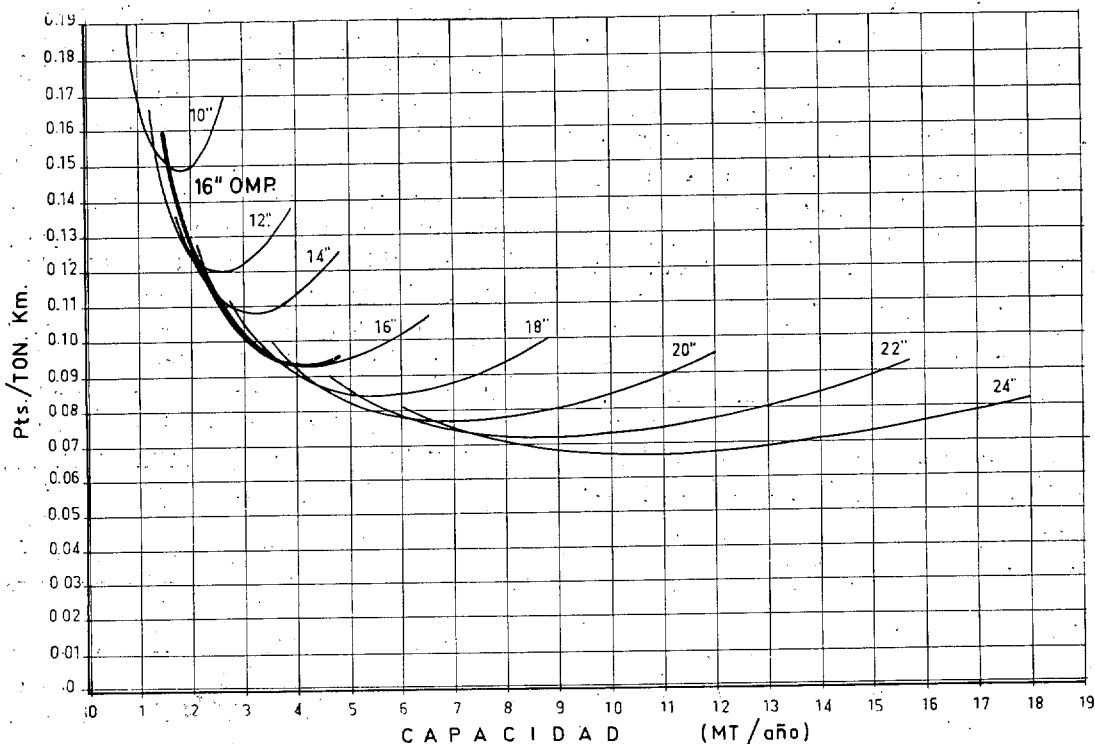


Fig. 5.^a — Oleoductos, coste de transporte-capacidades.

Para el transporte del gas por gasoductos puede recogerse cuanto anteriormente hemos dicho en relación con este tipo de transporte. Aproximadamente una instalación equivalente puede transportar por cada millón de toneladas/año de crudo o productos líquidos, un caudal de 200 millones de m.³ de gas, o si se quiere, la relación: 200 m.³ de gas por cada 1.000 Kg. de petróleo.

Los costes de transporte del gas natural en condiciones medias, varían de 0,0002 a 0,0007 pesetas/m.³ Km., según la importancia o tamaño del gasoducto (5).

Las refineries de petróleo en relación con su

(5) Por buque metanero los costes pueden ser de 0,00025 a 0,00035 ptas./m.³ Km.

tuadas en lugares no caracterizados por ser centros de producción o consumo y donde se recibe de unos para su transformación y exportación o distribución a otros.

La tendencia o evolución en la distribución de estas refineries ha sido en los últimos veinticinco años la que figura en el cuadro que damos a continuación:

AÑOS.	REFINERIAS		
	Junto a producción %	Intermedias %	Junto a consumo %
1939	69,8	—	30,2
1960	25,3	8,4	66,3
1965	16,3	5,9	77,8

Excluidos Estados Unidos y Canadá de una parte y Rusia, Europa Oriental y China por otra.

En este movimiento de transferencia o creación de nuevas refinerías en las zonas de consumo, y hasta el año 1960, las refinerías de Europa estaban localizadas en la costa. A partir del citado año se inició un extenso programa de construcción de refinerías internas, cada vez más lejanas del mar, cercanas a los centros de consumo, grandes zonas industriales del interior de Europa, y enlazadas con el puerto de desembarco por medio de oleoductos.

La razón principal, junto a otras secundarias, de esta nueva estrategia de las refinerías, consiste en la facilidad que significa para el transporte hasta las zonas interiores de alta concentración industrial, el conjunto de los productos petrolíferos reunidos en forma de crudo, que son posteriormente distribuidos mediante pequeños oleoductos, los productos blancos o ligeros y mediante camiones cisterna, vagones por ferrocarril o gabarras fluviales, los productos negros o más viscosos. Se aprovechan así las ventajas de las economías obtenidas con el transporte masivo de productos líquidos por tubería junto a la que proviene de la imposibilidad prác-

tica de grandes transportes de fuel-oil y otros productos viscosos por tubería, una vez que éstos han sido refinados, fraccionados o separados del crudo, mientras que, como antes decimos, en el conjunto de éste pueden ser fácilmente bombeados con los ligeros.

Las anteriores razones son las que presidieron la decisión de establecer en Puertollano la primera refinería interior de España. Estas razones y estas decisiones son las que, como anteriormente hemos dicho, motivaron la orden de estudio, y posteriormente el proyecto y la construcción del oleoducto Málaga-Puertollano. Por otras circunstancias la refinería no ha sido construida hasta los años 1963-65, cuando esta estrategia con su base o fundamento se ha extendido por toda Europa. De haberse construido esta refinería cuando fue inicialmente planeada hubiese sido sin duda la primera refinería interior de Europa.

En próximos artículos se describirá el proyecto y construcción del oleoducto Málaga-Puertollano, así como los estudios previos comparativos que sirvieron de base para la elección de aquel puerto como cabeza o terminal de esta tubería de transporte.

