

Proyecto de trazado de conducciones de fluidos y tuberías de transporte (*)

Por **MANUEL CEGARRA PLANE**
Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos.

*En este artículo se presenta de una manera ordenada y con un intento de enfoque original, la problemática del estudio para la correcta selección del **Trazado de Tuberías de Transporte de fluidos**. Se atiende primeramente a considerar lo que se titula **condicionantes** del trazado, tras haber hecho un análisis breve de los **criterios generales** para el proyecto del trazado. Finalmente, se considera la **metodología** a seguir en el desarrollo de los estudios del trazado.*

1. INTRODUCCION

El Transporte por Tubería constituye una tecnología relativamente reciente en España: el oleoducto Rota-Zaragoza fue terminado en 1958, siendo destinado primeramente a uso militar y luego para utilización compartida civil-militar, y el oleoducto Málaga-Puertollano, primer oleoducto español plenamente civil, data de 1965.

En el tiempo transcurrido desde entonces, las redes de Transporte por Tubería en España han tenido un desarrollo modesto (se contabilizan en el año 1985 unos 2.071 kilómetros de oleoductos y unos 1.018 de gasoductos de transporte sin contar redes de distribución), pero en la actualidad experimenta este modo de transporte un auge considerable, siendo cada vez mayor su contribución a la Formación Bruta de Capital Fijo (FBCF) en infraestructura de transporte, como se puede observar analizando los datos de la tabla 1, correspondientes a inversiones en infraestructura para los diversos modos de transporte que tienen incidencia en el Transporte de Mercancías.

Actualmente en España, el transporte por oleoducto mantiene la tendencia, iniciada hace unos años, de sustitución del ferrocarril, y también en cierta medida de la carretera, en el tráfico interior de productos petrolíferos, motivado por el menor coste unitario del transporte por oleoducto y por la disminución del consumo de fuelóleos.

(*)Se admiten comentarios sobre el presente artículo que podrán remitirse a la Redacción de esta Revista hasta el 31 de enero de 1989.

En España, los gasoductos de transporte de gas natural no comenzaron a construirse hasta bien entrada la década de los setenta, pero se encuentran en fase de acentuada expansión, a consecuencia del proceso de sustitución por el gas natural de otros combustibles industriales y domésticos en ciertas zonas urbanas y suburbanas, que cada vez se extienden más a todo el territorio nacional. Este desplazamiento por el gas natural de otros hidrocarburos derivados del petróleo (principalmente butano y fuelóleo, y también gasoleo), acarrea la disminución de tráfico de mercancías en los otros modos de transporte terrestre, afectando principalmente al ferrocarril.

Por otra parte, las tuberías para transporte de fluidos constituyen infraestructuras que deben ser tenidas en cuenta de manera global en la Planificación y Ordenación Urbanística y del Territorio, pues no en vano se puede decir que

TABLA 1

INVERSIONES EN INFRAESTRUCTURA DE DIVERSOS MODOS DE TRANSPORTE PARA MERCANCIA

(En millones de PTAS. de cada año)

MODO DE TRANSPORTE	AÑO	
	1975	1985
Carretera	61.707	115.298
Ferrocarril vía ancha	25.671	39.870
Marítima	6.385	25.385
Tubería	1.446	8.878

Fuente: Informe Anual sobre los Transportes, el Turismo y las Comunicaciones, 1985. Ministerio de Transportes, T. y C.

un índice del grado de desarrollo económico y de civilización de un país viene dado por la importancia de sus redes de canalización de fluidos de todo tipo (agua, petróleo, gas, ...).

En realidad, el antecedente ingenieril de la actual tecnología del transporte por tubería se encuentra en las traídas de agua con tramos de tubería a presión, de los que se han encontrado restos arqueológicos claros, desde la época romana. Durante los siglos transcurridos desde entonces, el gradual incremento de la demanda de agua por razones de urbanización, industrialización y mejora de las condiciones sanitarias ha creado unas redes de transporte de agua por tubería a presión cada vez más importantes y extendidas a todos los lugares del mundo, tanto para abastecimiento de agua, riegos o aprovechamiento de energía hidroeléctrica.

En la actualidad la tubería es un indiscutible modo de transporte para agua, petróleo, gas natural y otros fluidos, teniendo una implantación intensa en todo el mundo, de lo que sirve como referencia el caso paradigmático de los EE.UU., donde existen (datos de 1980) más de 330.000 kilómetros de gasoductos interestatales y 1.500.000 kilómetros de conducciones de agua por tubería a presión.

Dada su semejante concepción tecnológica, que proviene de su parentesco hidráulico, la mayor parte de lo que se diga para el trazado de oleoductos y gasoductos será válido para el trazado de las conducciones por tubería a presión de agua o de cualquier otro fluido, con las únicas excepciones procedentes de sus diferencias fundamentales, que se puntualizan a continuación:

- Oleoductos y gasoductos: conducciones de caudal medio, a presiones elevadas y a grandes distancias; mientras que las conducciones de agua son, en general, de gran caudal, presiones medias y distancias cortas o medias.
- La mayor peligrosidad de los fluidos transportados por oleoducto y gasoducto, lo que obliga a cuidar mucho el aspecto seguridad en los proyectos.
- El mayor precio de los hidrocarburos respecto al agua y, también, su carácter

contaminante, en ciertos casos, lo que determina un mayor cuidado con las posibles fugas de la conducción.

2. CRITERIOS GENERALES PARA EL PROYECTO DEL TRAZADO

El Proyecto de la conducción de un Transporte por Tubería plantea, entre otros, cuatro *problemas* fundamentales:

- Material del tubo.
- Diámetro interior.
- Trazado.
- Espesor del tubo.

para cuya resolución se parte de unos *datos* básicos, como son:

- La naturaleza del fluido a transportar.
- El caudal.
- Los puntos nodales del trazado (puntos de comienzo y final, y puntos obligados de paso, como son los de producción, almacenamiento o consumo).

En lo que sigue se va a desarrollar el *Proyecto de Trazado* de conducciones *terrestres*, quedando fuera de este artículo lo referente al trazado de conducciones submarinas, que presentan una marcada diferencia.

La *sección transversal tipo* de la conducción consiste en una tubería enterrada en una zanja cuyas dimensiones, anchura y profundidad, y la inclinación de sus paredes dependen del diámetro de la tubería, del fluido transportado, de las características geotécnicas del terreno y urbanísticas de la zona de emplazamiento. La *profundidad del recubrimiento*, h , medida sobre la arista superior del tubo (figura 1) es del orden de 1 m. Se modifica esta sección tipo

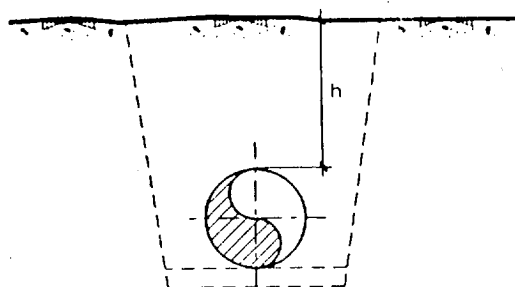


Figura 1.—Sección transversal.

en los *puntos o zonas especiales*, como son cruces de ríos, carreteras, ferrocarriles, etc., donde se suele aumentar la altura de recubrimiento, h, además de disponer otros sistemas de *protección*.

El trazado teóricamente ideal de una tubería de transporte se formaría mediante *líneas rectas*, uniendo los puntos nodales de la conducción, lo que daría la longitud menor posible. Sin embargo, el relieve topográfico, la geotecnia y los demás obstáculos encontrados determinan cambios de dirección, tanto en planta como en alzado, por lo que el trazado real de la tubería tiene la forma de una poligonal, constituida por una serie de alineaciones rectas entre *vértices*, que pueden ser de planta (ángulo horizontal), de perfil longitudinal (ángulo vertical) o combinación de ambos casos. En dichos vértices se dispondrán *curvas* de enlace entre alineaciones cuyo radio cumplirá unos ciertos valores mínimos.

Los *criterios generales* a tener en cuenta para una correcta *elección del trazado* son los siguientes:

- a) *Máxima seguridad* de explotación y mantenimiento.
- b) *Mínimo coste* total de la instalación.
 - b.1) Mínimo coste de primera instalación.
 - b.2) Mínimo coste de explotación y mantenimiento.
- c) *Mínimo impacto ambiental negativo*.

3. CONDICIONANTES DEL TRAZADO

El trazado de una tubería de Transporte presenta bastantes *grados de libertad*, sobre todo si se le compara con el de otras *obras lineales*. Se pueden relacionar éstas de menor a mayor libertad de trazado: Canal, Ferrocarril, Carretera, Tubería y Línea eléctrica.

No obstante su total flexibilidad, tanto en planta como en alzado, el trazado de la tubería debe cumplir una serie de condicionantes de variada índole, que se pueden clasificar de la siguiente manera:

A. *Condicionantes intrínsecos.*

A.1. *Condicionantes de tipo hidráulico.*

TABLA 2

Tipo de OBRA	Pendiente Longitudinal	Radio de curva	Velocidad media (m/s)	Trazado en planta
Canal	-a % (siempre bajando)	Pequeño	1-2	Muy rígido
Ferrocarril .	$\pm b \% > a$	Grande	20-50	Rígido
Carretera .	$\pm c \% > b$	Medio-grande	20-40	Ríg. Flex.
Tubería ...	$\pm d \% > c$	Pequeño	1-3 líquidos 10-30 gases	Flexible

A.2. *Condicionantes por limpieza interna de la tubería.*

B. *Condicionantes naturales.*

- B.1. Relieve topográfico.
- B.2. Geotecnia.
- B.3. Ríos y cursos de agua.
- B.4. Agresividad del suelo.
- B.5. Impacto ambiental.

C. *Condicionantes artificiales.*

- C.1. Infraestructuras y Planeamientos Urbano e Industrial.
- C.2. Ocupación temporal y servidumbres. Uso del suelo.
- C.3. Carreteras y Ferrocarriles.
- C.4. Líneas eléctricas.
- C.5. Otras infraestructuras.

D. *Condicionantes de Construcción.*

3.1. *Condicionantes Intrínsecos*

En general, en los *transportes terrestres* (carretera, ferrocarril) existen unas limitaciones o condicionantes impuestos por el *vehículo* sobre el *trazado* de la vía.

En este sentido, se pueden considerar radios mínimos del trazado en planta, pendientes máximas del perfil longitudinal, anchura mínima de carril, peralte mínimo y máximo en curva, etc., a todos los cuales llamamos *condicionantes intrínsecos* de la vía de transporte, es decir, *condicionantes independientes del medio*, natural o artificial, que envuelve a la citada vía.

Sin embargo, el *transporte por tubería* presenta, desde este punto de vista, una marca-

da peculiaridad: consiste en una *línea de transporte* en la que coinciden el *vehículo* y la *vía*, constituyendo su unión la *tubería*, dentro de la cual se mueve el fluido transportado. Por tanto, no existen condicionantes impuestos propiamente por el vehículo. Ahora bien, existen unos condicionantes intrínsecos, es decir, esenciales del propio modo de transporte e independientes del medio, de los que se va a tratar a continuación.

3.1.1. Condicionantes de tipo hidráulico

El condicionante primordial consiste en que el *perfil longitudinal* de la tubería no sobrepase en sus puntos altos la *línea piezométrica* del fluido transportado, tanto en régimen de movimiento estacionario como en los regímenes transitorios, con sus correspondientes *depresiones*.

La altura de presión P/γ para los líquidos suele ser del orden de los centenares de metros, llegando a los valores del millar de metros de columna de líquido, pero en el caso de transporte de gases, la citada altura de presión P/γ es del orden de las varias decenas de miles de metros de columna de fluido. Esto determina una diferencia fundamental: el trazado de los

gasoductos, en lo referente a su *perfil longitudinal*, resulta en la práctica *independiente* de las presiones del fluido en su movimiento por la tubería; al contrario de lo que ocurre con las conducciones de líquidos.

Cuando se presente el caso de que la *línea piezométrica* corte al *perfil longitudinal* se puede recurrir a alguna de las soluciones que se explican a continuación. Supongamos el perfil longitudinal de la tubería de la *figura 2*. Para un cierto caudal, Q , se ha ajustado un *diámetro* D que da una pendiente $I = \Delta H / L$ de la *línea piezométrica*, tal que ésta corta al perfil en el punto alto. La *línea piezométrica* ha quedado definida por la *presión* al *final* de la conducción (pf) y por no poder superar uno de los dos valores: H_1 (máxima presión en el bombeo) o H_2 (máxima presión a resistir por la tubería). Hay diversas soluciones:

- Ajustar un *diámetro menor* $D' < D$, tal que la *línea piezométrica* pasa por encima del punto alto con una presión mínima, *presión de resguardo*, (p_r) y poner una *estación de bombeo intermedia*, aguas arriba del punto alto.
- Ajustar un *diámetro mayor* $D'' > D$, y un *reductor de presión* aguas abajo del punto alto.

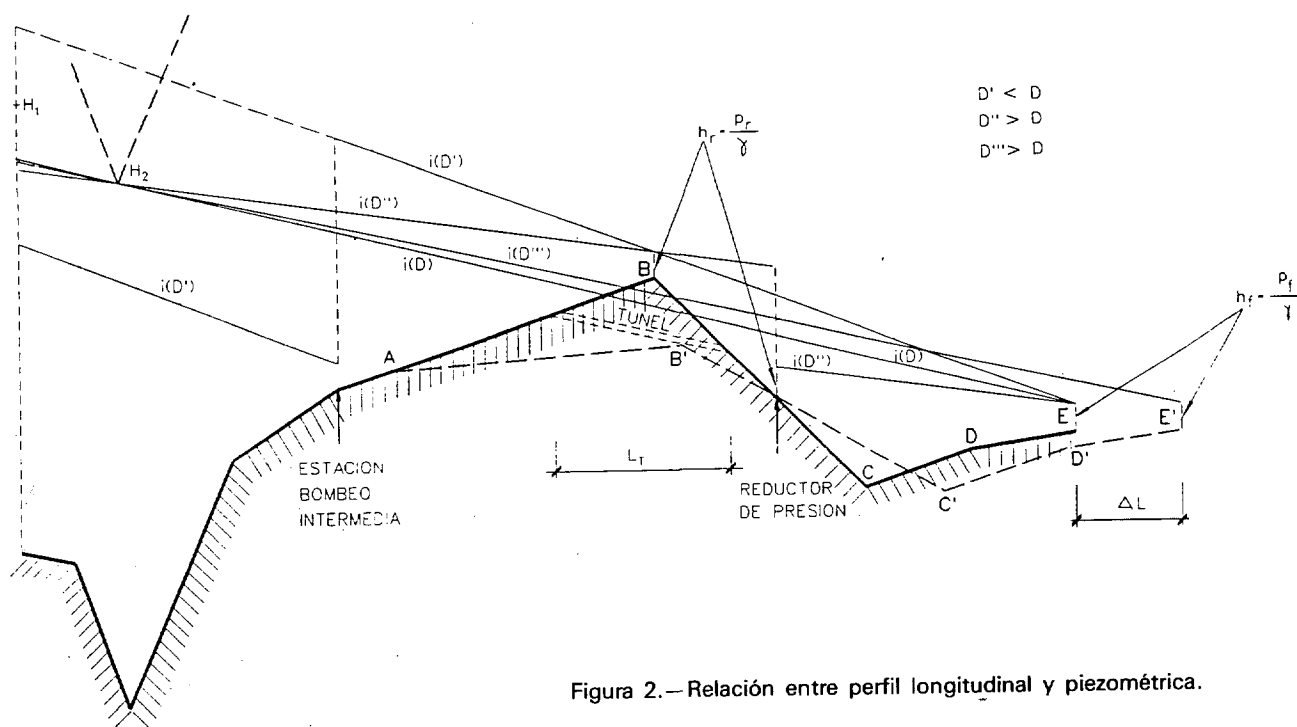


Figura 2.—Relación entre perfil longitudinal y piezométrica.

- c) *Variante del trazado* en planta que rebaje las cotas del perfil longitudinal. Normalmente, se incrementará la longitud total de la tubería (ΔL).
- d) Finalmente, construir un *túnel*, de longitud LT, para rebajar las cotas del perfil longitudinal; solución poco probable, por cara y problemática.

Respecto a los valores de la *pendiente máxima admisible* de la conducción, no existe tal limitación, en la práctica, para el transporte de gases y líquidos homogéneos, por razones puramente hidráulicas, (sí la hay por razones constructivas, como se verá más adelante). En el transporte de sólidos pulverizados en suspensión, para limitar la *abrasión* de la pared interna de la tubería, se fija una pendiente máxima admisible, función de la dureza del material transportado (puede ser del orden del 15 por 100).

En las conducciones de líquidos, que puedan contener gases disueltos, conviene que la *pendiente* esté siempre por encima de un valor *mínimo*, para facilitar la evacuación de las bolsas de gas por las ventosas. En los gasoductos, cuando el gas transportado pueda producir condensaciones, hay que dejar una pendiente mínima de 0,5 por 100 descendente hacia dispositivos de evacuación (Reglamento de Redes y Acometidas). En general, una cierta pendiente mínima ayuda a sacar el agua de la prueba hidráulica después de la construcción.

Las pérdidas de carga localizadas en los cambios de dirección dependen del *radio de las curvas*. Disponer radios lo más grandes posibles disminuirá tales pérdidas, que en conjunto no revisten gran importancia en las conducciones de transporte a larga distancia, por lo que no hay, en este sentido, una limitación estricta.

3.1.2. *Condicionantes por limpieza interna de la tubería*

Es práctica muy usual disponer sistemas de limpieza interna de la tubería, con el doble objeto de evitar la corrosión interna y de mantener la rugosidad de sus paredes interiores dentro de límites aceptables. Para cumplir esta función se disponen sendas *trampas de rasca-*

dores en los dos extremos de cada tramo de tubería, que tienen la misión de lanzar y de recibir, respectivamente los accesorios de limpieza. Para no obstaculizar el paso por el interior de la conducción de los cepillos *rascadores*, utilizados para la limpieza periódica se requiere un *radio mínimo* en las curvas. Así, se pretende asegurar no sólo que el rascador, que puede constar de varios cuerpos, articulados o no, pase físicamente, sino que no se produzca al curvar el tubo una *ovalización* de la sección que obstaculice también dicho paso.

Por ello dicho radio mínimo depende del procedimiento de curvado. Para *curvas* hechas *en obra*, mediante máquina curvadora el radio mínimo es de *40 veces el diámetro*. Las curvas hechas *en taller* pueden tener un radio mínimo de 10 diámetros, si se efectúa el curvado en caliente de un tubo con soldadura relleno de arena y de *5 diámetros*, si se curva en caliente por inducción, sea el tubo con soldadura o sin ella.

Por la misma razón de paso de rascadores se limita el ángulo entre alineaciones de dos tubos que se sueldan en *chaflán* en línea, y que es del orden de 2-3°. Por ello, no se pueden hacer, cuando se quiere disponer limpieza interna por rascadores, *curvas mitradas* (por sucesivas soldaduras en chaflán) de ángulos en cada chaflán mayores que el indicado.

3.2. *Condicionantes Naturales*

3.2.1. *Relieve topográfico*

En general, las formas del relieve de la superficie del terreno tienen escasa influencia en la elección del trazado de una tubería de transporte: el paso por *terrenos llanos* y *ondulados* se hace con toda facilidad e incluso los *terrenos accidentados* o *muy accidentados* no presentan problemas insalvables, desde el punto de vista puramente topográfico. Unicamente, se procurará que la línea del trazado corte lo más perpendicularmente posible las curvas de nivel de terreno, pues así será mínimo el volumen de excavación para la pista de obra. Las fuertes pendientes longitudinales o transversales producen problemas de tipo constructivo, que se analizarán en su apartado correspondiente.

Más que las formas del relieve en sí, debe

considerarse su origen, su forma de producirse y su evolución, lo que en realidad constituye un enfoque *geomorfológico*, más propio de la Geotecnia que de la Topografía.

3.2.2. Túneles

Por su trazado más libre, la tubería, a diferencia del ferrocarril y la carretera puede evitar puntos de paso seculares, no obstante lo cual, se tenderá a utilizar *puertos de montaña*, aunque a veces convendrá cruzar en *túnel* determinadas montañas o divisorias, por ejemplo, en alta montaña, como los oleoductos y gasoductos internacionales que cruzan los Alpes.

Antes de decidir la construcción de un túnel se hará el correspondiente estudio econó-

mico, sin olvidar los dos grandes inconvenientes de los túneles:

- La incertidumbre de su *viabilidad*: aunque se hagan previamente los estudios geológicos y geotécnicos adecuados, pueden presentarse en la ejecución problemas imprevistos que afecten a la viabilidad de construcción del túnel.
- La inseguridad de *plazo*: la construcción de un túnel tiene un ritmo más lento que el de la conducción a campo abierto, y además, puede verse afectado por los imprevistos.

Los túneles para tuberías de transporte son de pequeña sección (del orden de 1,5-2 metros de radio, aunque depende del diámetro de la tubería), disponiéndose a un lado la conducción, que suele ir apoyada sobre rodillos, y al otro lado, el paso para la inspección y el mantenimiento (*figura 3*). Presentan la particularidad de que pueden tener tramos inclinados con fuerte pendiente, lo que facilita o sustituye a las chimeneas verticales de acceso y ventilación. Para la inspección de la tubería y del túnel en dichos tramos inclinados se dispone un funicular o vehículo sobre carriles accionado por un cable (*figura 4*).

3.2.3. Geotecnia

Las tuberías de transporte van posadas en una zanja atravesando diversos tipos de terrenos, por lo que las características geotécnicas de éstos influyen grandemente en la idoneidad del trazado a elegir.

Es este un conjunto de cuestiones que repercuten fuertemente en el *coste* de construcción y tendido (roca, nivel freático alto, etc...) y en la *seguridad* de explotación (estabilidad del terreno en el que se construye la zanja, duración del revestimiento, etc...), por lo que se justifica sobradamente la realización de *estudios geotécnicos* apropiados.

Los *objetivos* de dichos estudios geotécnicos son, entre otros, los siguientes:

- Ayudar en la *elección del trazado* más conveniente, *evitando* en lo posible los terrenos deslizantes, inestables, de excavación, difícil, con nivel freático elevado

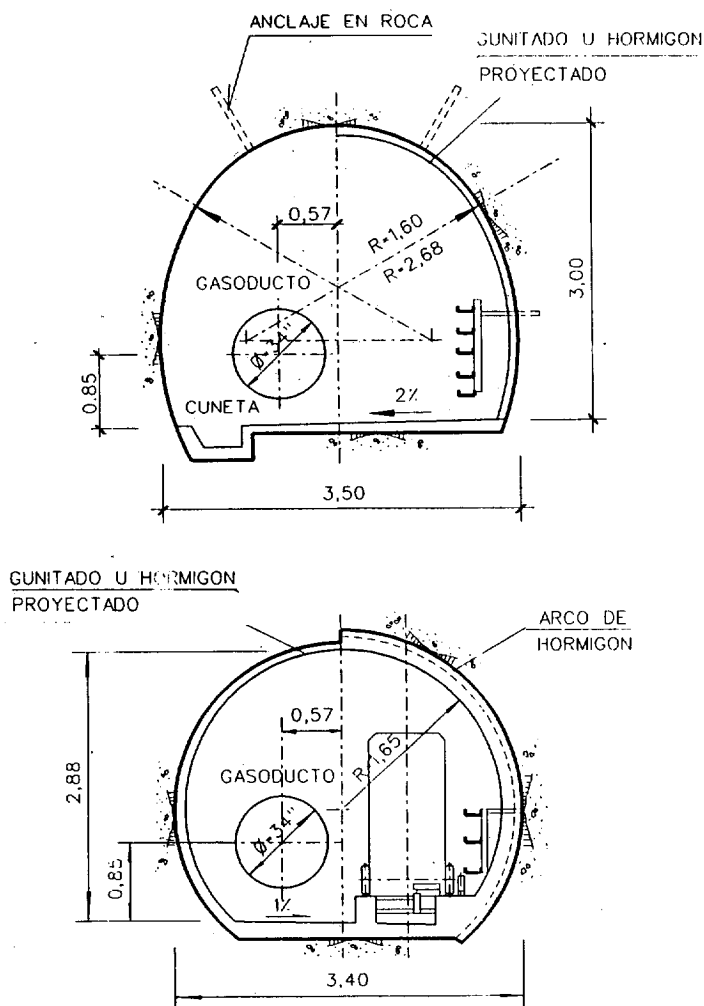
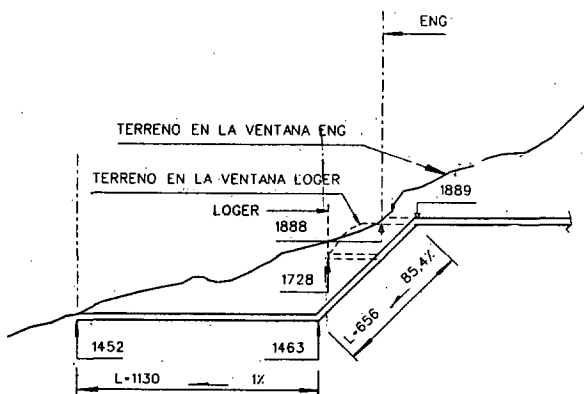


Figura 3.— Secciones de túneles en los Alpes suizos del gasoducto Holanda-Italia.



BOBINA PARA CABLE GUIA Y DE CORRIENTE QUE ACABA EN UN CABRESTANTE DE 5 IN. EN LA CABEZA DEL TUNEL, PERMITIENDO SERVICIO DIRECTO DESDE EL VEHICULO FUNICULAR

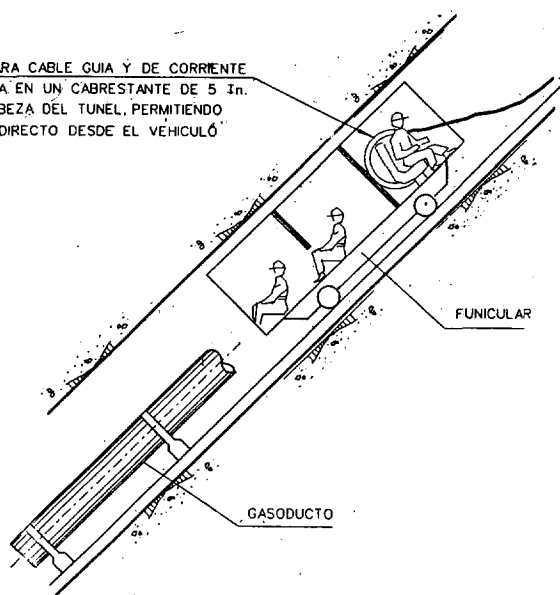


Figura 4.— Sección longitudinal de un túnel en los Alpes suizos para el gasoducto Holanda-Italia.

o que presenten cualquier otro tipo de problema geotécnico.

- b) En el caso de tener que atravesar *terrenos con problemas geotécnicos*, por no ser convenientes variantes de trazado para evitarlos, recomendar las *medidas preventivas o correctoras* necesarias y ayudar en el proyecto detallado de los elementos o estructuras para proteger a la conducción de los deslizamientos, erosiones, etc.

- c) Realización de los *planos litológicos*, con la clasificación de los terrenos según su excavabilidad, y de los demás planos geotécnicos, que son muy útiles para la evaluación de los costes de construcción y para la redacción de los presupuestos.

Hasta llegar a un trazado definitivo del que se conozcan con detalle los problemas que aparecerán durante su construcción y hasta definir mediante el proyecto correspondiente las soluciones a esos problemas, hay que pasar por una serie de *aproximaciones sucesivas*. Se pueden considerar tres etapas de estudio del trazado de una tubería, a las que corresponden tres niveles de estudio geotécnico: preliminar, básico y de detalle.

Como resultado de dichos estudios, se determinará la *excavabilidad* del terreno y la *accesibilidad* de la maquinaria. Igualmente, se localizarán las zonas con *problemas geotécnicos* especiales, que son las que convendrá evitar al elegir el trazado, y que podemos relacionar, entre otros, de la siguiente manera:

- Los trazados por terrenos a *media ladera*, que sean susceptibles de corrimientos.
- Los terrenos *rocosos*, que producen un alto costo de construcción de la zanja (voladuras, etc...).
- Los terrenos *kársticos*.
- Los *terrenos inestables* de manera natural, antes de ser afectados por la excavación para la conducción.
- Los *terrenos inestables* con motivo de la excavación de la pista de obra y de la zanja.
- Los terrenos susceptibles de *erosión* por agua o por viento, o de topografía cambiante.
- Las *marismas*, lagunas, albuferas, etc...
- Los terrenos con *nivel freático alto*, que pueda afectar a la conducción.
- Los terrenos con *drenaje defectuoso* o inundable temporalmente.
- Los terrenos de *baja capacidad portante*.
- Los *terrenos colapsables*.
- Las zonas de *alta sismicidad*.

3.2.4. Ríos y cursos de agua

El cruce de un río supone siempre un punto singular del trazado, desde los puntos de vista técnico y económico, pues requiere un tratamiento especial respecto al tendido general de la tubería, tratamiento tanto más cuidadoso cuanto mayor sea la importancia del río.

Dos son las decisiones fundamentales a tomar: la elección del *sitio* del cruce y el *tipo* de cruce, ambos relacionados entre sí.

Los puntos de cruce de los ríos importantes influyen decisivamente en el coste final de la conducción. Para estar en condiciones de elegir el sitio donde efectuar el cruce es necesario estudiar las características topográficas, geotécnicas e hidrológicas del río en una amplia zona.

Desde el punto de vista *topográfico* habrá que obtener el perfil transversal en la zona del posible cruce y la pendiente longitudinal del río, aguas arriba y aguas abajo. El perfil transversal se obtiene realizando una batimetría del cauce y un levantamiento topográfico de las márgenes. La pendiente del río puede ser obtenida simplemente de la cartografía existente.

Los estudios *geológicos* se concretan en el conocimiento de la estructura geológica de la zona, la naturaleza del terreno y la granulometría y capacidad portante de los suelos que constituyen el lecho del río. Para la obtención de estos datos se harán catas y sondeos, así como ensayos de laboratorio. En general, será suficiente hacer un (o dos) sondeo (s) en una (o ambas) márgenes del río. En caso de ríos anchos, habrá que realizar uno o varios sondeos en medio del cauce, normalmente más difíciles y costosos.

Es también importante estudiar la *dinámica* del cauce y sus márgenes, para prevenir que el tubo pueda quedar al descubierto por la erosión y quede expuesto a daños, en el caso de cruce subálveo.

De las características *hidrológicas* a estudiar la más importante es el caudal de máxima avenida, que se determinará para un período de retorno en función de la vida útil de la conducción, siendo más que suficiente considerar un período de retorno de 100 años. Después se

calculará la velocidad máxima de la corriente y el calado y extensión de la lámina de agua para la máxima avenida.

Con el calado máximo se definirán las zonas inundables en ambas márgenes del río, así como el gálibo de los cruces aéreos. La velocidad máxima nos dará una idea de la posible socavación del fondo (cruce subálveo) y de la acción sobre las pilas en caso de cruce aéreo.

Hay tres *tipos* de cruce de río:

- Subálveo (tubería enterrada en zanja).
- Aéreo (en puente).
- Perforación inclinada dirigida.

En el *cruce subálveo* hay que excavar en el lecho del río una zanja donde se deposite la conducción, rellenando luego la zanja. La profundidad del enterramiento vendrá determinada por la naturaleza del fondo y la previsible evolución del cauce y de las márgenes. En general el recubrimiento sobre el tubo será del orden de 1,5 a 2 metros bajo la línea de los fondos más bajos. Si el fondo del cauce es rocoso el recubrimiento puede ser menor. Por el contrario, el recubrimiento tendrá que ser mayor si hay posibilidad de socavación fuerte (por ejemplo, ramblas mediterráneas).

Las ventajas del cruce subálveo son su menor vulnerabilidad y su menor incidencia en el paisaje, y además es el más económico para ríos no demasiado anchos. Por el contrario, las dificultades de excavación del cauce y márgenes o la necesidad de un enterramiento profundo pueden hacer más económica una solución aérea.

El *cruce aéreo* de un río puede hacerse:

- Utilizando un puente u obra existente.
- Tubería autoportante en arco o colgada.
- Tubería autoportante con estructura de refuerzo.
- Sobre puente en vigas de tramo recto.
- En puente colgante.

La elección del tipo más económico o conveniente en cada caso depende de la longitud del cruce y de las condiciones del cauce y márgenes. También hay que tener en cuenta la navegabilidad del río.

El inconveniente del puente colgante y en general de la solución puente, es su vulnerabili-

dad a los atentados. También depende de las características de las márgenes. Como es sabido en un puente colgante las tensiones son transmitidas a los macizos de anclaje a construir en las márgenes. Si éstas son, por ejemplo, fangos y resultan unos macizos de anclaje muy grandes, en definitiva pierde viabilidad la solución puente. Por el contrario, la solución aérea se ve favorecida en ríos encajados con márgenes duros o rocosas.

El sistema de la *perforación inclinada dirigida* es una tecnología moderna indicada sólo en casos especiales, como por ejemplo, en ríos navegables, con tráfico marítimo importante, al que no se debe afectar (como el río Guadalquivir en su tramo Sevilla-desembocadura).

En general, la elección estará entre cruce subálveo o en puente.

3.2.5. Agresividad del suelo

Al estudiar el trazado de la tubería, es conveniente evitar, aunque no siempre es posible, los terrenos muy agresivos, por el riesgo de corrosión de la tubería.

La agresividad de un terreno depende de muchos factores, como son la humedad, la aireación, el contenido del terreno en iones solubles, la presencia de bacterias anaerobias, etc. La medición de cada uno de estos factores presenta en la práctica grandes dificultades. En consecuencia, se recurre a medir unos parámetros, que representan la velocidad de los intercambios iónicos, base a su vez del fenómeno de la corrosión, y estos son la *resistividad* del terreno, su *acidez* (medida por el pH) y el *potencial* entre la tubería y el terreno. Estas mediciones y otras complementarias constituyen la campaña de campo del correspondiente *Estudio de Protección Catódica*.

Hay que destacar, por otra parte, que la corrosión se potencia en las zonas de discontinuidad, por lo que una zona agresiva aumenta extraordinariamente su agresividad si se encuentra rodeada de una amplia zona nada o casi nada agresiva.

3.2.6. Impacto ambiental

Si bien la normativa española (Real Decreto

Legislativo 1302/1986) no incluye los oleoductos y gasoductos en su lista de proyectos que obligatoriamente deben ser considerados desde el punto de vista de su impacto ambiental, parece conveniente la realización de estudios de este tipo, durante y después de los estudios del trazado.

Desde un punto de vista objetivo se habla de impacto ambiental cuando una acción o actividad humanas produce una alteración en el medio, ya sea en sentido negativo o positivo, ya sea de magnitud grande o pequeña. Cuando estas alteraciones son de efecto negativo, el concepto de impacto ambiental se aproxima al de contaminación; por el contrario cuando es positivo mejora la calidad de vida.

Las evaluaciones de impacto ambiental tienen como objeto estudiar, de modo sistematizado, las consecuencias de un proyecto determinado sobre el medio natural, los organismos y paisajes. Los objetivos de un Estudio de Impacto Ambiental son, entre otros:

- Reducir los efectos a largo plazo sobre el medio ambiente.
- Lograr un adecuado equilibrio entre el uso y ocupación del suelo por la tubería y la conservación del medio ambiente.
- Construir un instrumento válido para los análisis de posibles alternativas.

Si bien el impacto ambiental negativo de un oleoducto o un gasoducto puede ser apreciable durante la fase de construcción, se considera bajo o mínimo durante el período de explotación o funcionamiento, teniendo por otra parte una influencia positiva en las regiones que atraviesa o sirve, mediante el efecto de sustitución de otros modos de transporte, como realizan los oleoductos frente a la carretera y el ferrocarril, tratándose además de mercancías peligrosas. Los gasoductos pueden tener además otro efecto beneficioso de mejora de la calidad de vida al reemplazar el gas natural, combustible limpio, a otros combustibles más contaminantes. Hay que poner atención, entre otras cosas, a que no se produzca pérdida de la cubierta vegetal sobre la conducción, que pueda originar *erosión*, con las consecuencias de impacto ambiental negativo y de inseguridad de la tubería.

3.3. Condicionantes artificiales

3.3.1. Infraestructuras y planeamiento urbano e industrial

El eje de la tubería deberá mantener unas distancias mínimas (*zona de seguridad*) a los edificios habitados. Tales distancias mínimas dependen de la peligrosidad del fluido transportado; las exigencias deben ser mayores en orden creciente de transportar agua, productos petrolíferos, gas natural, fluidos tóxicos o contaminantes, etc. Por ejemplo, la normativa española sobre gasoductos está constituida por el «Reglamento de Redes y Acometidas de Combustibles gaseoso» (Orden de 26.10.83 del MIE) y las anejas normas UNE 60.302 (Categorías de emplazamiento). En dichas normas se define como *edificio habitado* aquel que es susceptible de ser ocupado por personas y se fija unas zonas de seguridad de 10, 5 y 2,5 metros a cada lado del eje, en función de la categoría de emplazamiento.

Pero no solamente se han de considerar las edificaciones e infraestructuras actuales, sino que hay que considerar el *Planeamiento* de cada uno de los *municipios* atravesados por la tubería, con objeto de respetar los planes de urbanización residencial e industrial, y no entrar en colisión con ellos. Igualmente, se deberá considerar el *Planeamiento* a nivel de otros organismos supramunicipales (Entes autonómicos, etc.), tanto referente a planes urbanísticos como a nuevas obras de carreteras, autovías, autopistas, ferrocarriles, etc.

Convendrá evitar y dejar una distancia mínima del trazado de la conducción a canteras y explotaciones mineras a cielo abierto y en galería.

También, en el desarrollo del trazado de la tubería se deberá respetar no solamente el patrimonio económico, sino también el *patrimonio cultural*, teniendo el cuidado de alejarse y pasar a la distancia conveniente de los lugares de interés histórico o arqueológico.

3.3.2. Ocupaciones temporales y servidumbres. Uso del suelo.

Para la construcción de una tubería de transporte es preciso disponer durante la obra de

una franja de terreno (*ocupación temporal*) de anchura suficiente para permitir la evolución y el trabajo de los equipos de tendido con todo su material.

Como se puede observar en la *figura 5* la *pista de obra* no está centrada en el eje de la conducción. El *sentido de avance* de la obra resulta de considerar la máquina clave para el tendido de la tubería: el tractor tiendetubos (sideboom) tiene la pluma a la izquierda y ello determina que queden a la izquierda la zanja y los productos de excavación, mientras que por la derecha se hace el acopio de tubos, circula la maquinaria de soldadura, el tractor tiendetubos y el resto de los vehículos y equipos.

Las distancias A y B que se indican en la *figura 5* crecen al aumentar el diámetro, siendo del orden de los indicado en la *tabla 3*.

TABLA 3

ANCHURA DE LA PISTA DE OBRA

Ø TUBERIA	Pista Ancho Normal			Pista Ancho Restringido		
	A (m)	B (m)	L = A + B	A (m)	B (m)	L = A + B
2 - 6"	4	8	12	3	5	8
8 - 10"	5	9	14	4	6	10
12 - 18"	5	13	18	4	7	11
20 - 24"	6	13	19	4	8	12
26 - 30"	7	13	20	5	9	14
32 - 38"	9	13	22	5	10	15
40 - 48"	10	14	24	5	11	16

Una vez acabada la construcción se imponen unas *servidumbres permanentes*, que se recogen en la *figura 6*.

La *servidumbre de paso* sirve para los trabajos de vigilancia, reparaciones, etc. La razón de prohibir plantar árboles o arbustos de raíces profundas es porque éstas pueden dañar el revestimiento de la tubería. La distancia de edificación tiene como fundamento la seguridad de la conducción durante la construcción de la vivienda y también la seguridad de la vivienda y sus ocupantes, una vez construida ésta.

Este tema de las servidumbres suele requerir la máxima atención de los equipos de proyecto, en función del *uso del suelo* de los terrenos atravesados. En las regiones de fuerte densidad de población, desarrollo industrial elevado, zo-

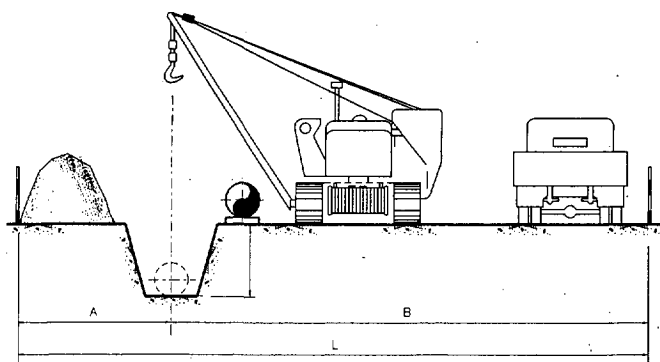


Figura 5.— Sección de la pista provisional para la construcción.

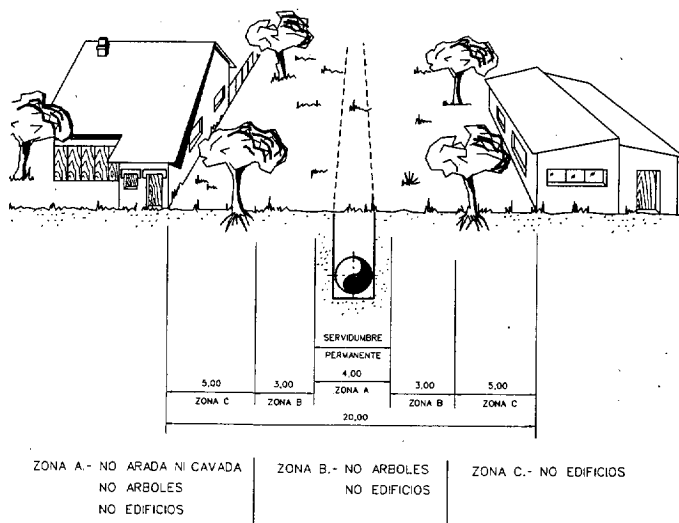


Figura 6.— Servidumbres permanentes.

nas de huerta, propiedad muy repartida, etc., estas cuestiones llegan a pesar mucho en la selección del trazado.

En dichas regiones, en las que el trazado de la conducción se ve afectado además por la presencia de los núcleos urbanos e industriales, el técnico trazadista debe esforzarse en pasar la conducción por los terrenos menos valiosos, evitando, en lo posible, las huertas, vergeles, viñedos, bosques, etc.

Sin embargo, contornear todos estos obstáculos puede conducir a un trazado demasiado sinuoso y más largo, a una puesta en obra complicada y a una explotación costosa.

Caso de no poderse evitar el paso por estos terrenos ricos, se pueden limitar los daños utilizando una pista de obra de anchura menor (*pista restringida*) (Tabla 3), siempre que el en-

carecimiento de la construcción que de ello resulta, quede compensado por el menor importe de las indemnizaciones.

También las distancias de no plantar árboles, etc., pueden reducirse en casos especiales, si se protege la tubería adecuadamente. Por ejemplo, los gasoductos que atraviesan la *huerta valenciana* han permitido plantar *naranjos* sólo a dos metros de la tubería, que se ha cubierto de un revestimiento especial. Igualmente, los gasoductos que atraviesan los *viñedos riojanos* han permitido, tras del correspondiente estudio, la consideración de las vides como plantas de raíces no peligrosas, dado el alto coste de las indemnizaciones, que hubieran resultado en caso contrario.

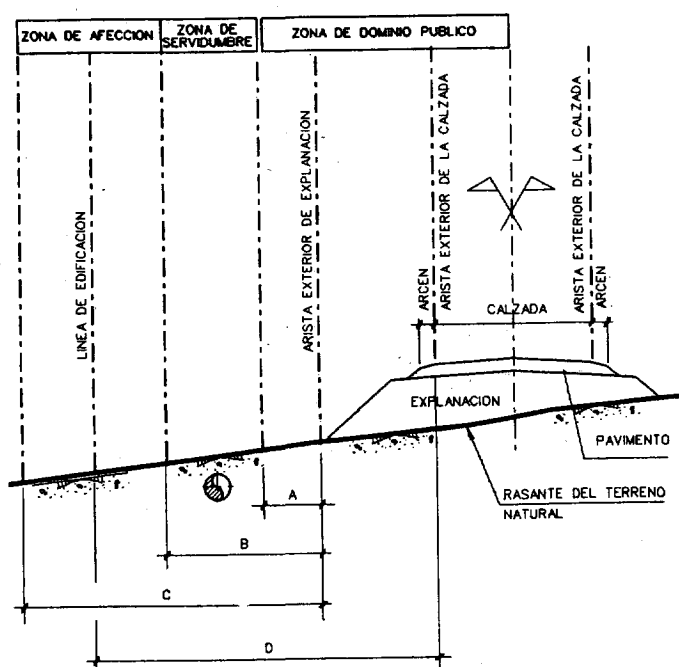
Si la tubería de transporte es *declarada de utilidad pública* la imposición de servidumbres se puede realizar amparándose en la *Ley de Expropiación Forzosa*, pero se prefiere en general, llegar a acuerdos previos por negociación directa con los propietarios. Durante estos procesos, además de la valoración de la servidumbre permanente, también se valoran las indemnizaciones al propietario por las ocupaciones temporales, los daños a los cultivos y las pérdidas en las cosechas.

3.3.3. Carreteras y ferrocarriles

Los *cruces* con carreteras y ferrocarriles rara vez desaconsejan un trazado, pero si producen aumentos del coste por las obras de protección que hay que disponer y la rotura del ritmo de tendido de la conducción. Por el contrario, es ventajoso llevar la tubería en *paralelismo* con las vías de comunicación (a excepción de los ff.cc. electrificados), donde se pueden esperar, en general, menos problemas en la servidumbre e indemnizaciones, así como facilidad de acceso.

a) Paralelismo con carreteras

Se entiende que hay paralelismo entre el gasoducto y la carretera cuando el trazado de la tubería va más o menos paralelo a la arista exterior de la explanación y dentro de una de las zonas definidas como de *dominio*, de *servidumbre* o de *afección* en la *Ley de Carreteras de 19-XII-1974* (figura 7) y en el *Reglamento General de 8.11.1977*.



DENOMINACION	DISTANCIAS			
	A	B	C	D
REDES NACIONALES	3,00	8,00	50,00	25,00
AUTOPISTAS Y AUTOVIAS	8,00	25,00	100,00	50,00
RESTO	3,00	8,00	30,00	18,00

Figura 7.—Paralelismo con carreteras.

Es muy deseable la ubicación del trazado de la conducción dentro de la *zona de servidumbre*, que consiste en la faja de terreno de ancho que va de 8 a 25 metros (autopistas y autovías), contados a partir de la arista exterior de la explanación, o de 3 a 8 metros, para los restantes tipos de carreteras.

Caso de querer utilizar la *zona de dominio*, (0 a 8 metros, para autopistas y autovías, contados como en el caso de la zona de servidumbre, y 0-3 metros, para las restantes carreteras), se considerará lo expresado en el Reglamento General, Art. 86.1, c, que dice: «Conducciones subterráneas. No se autorizarán nunca por la zona de dominio público, a excepción de las *travesías de poblaciones*, donde podrán ir por debajo de las aceras si no hubiese otra solución».

También se podrá trazar la conducción por la *zona de afección*, consistente en la faja de te-

rreno del siguiente ancho:

- 25 a 100 metros para autovías y autopistas.
- 8 a 50 metros, para carreteras Red Nacional.
- 3 a 30 metros, para restantes carreteras.

a medir desde la arista exterior de la explanación. Sin embargo, aquí las facilidades expropiatorias pueden ser menores, y además, hay que cuidar que la tubería quede a la suficiente distancia de la *línea de edificación*, situada en cada caso a la siguiente distancia:

- A 50 metros, para autovías y autopistas.
- A 25 metros, para carretera Red Nacional.
- A 18 metros, para las restantes carreteras.

medida a partir de la arista exterior de la calzada. Dentro de la línea de edificación se prohíben las obras de construcción, reconstrucción o ampliación de edificaciones (Art. 37.1 de la Ley de Carreteras y 77.1 del Reglamento).

b) Paralelismo con ferrocarriles

En el caso de ferrocarriles, se entiende por paralelismo cuando el trazado de la tubería se encuentra dentro de la distancia establecida en el Capítulo II, artículo 4.º del Reglamento para ejecución de la Ley de Policía de Ferrocarriles de 8 de septiembre de 1878.

Dicha distancia es de 20 metros a uno y otro lado del ferrocarril, medida «desde la línea inferior de los taludes en los terraplenes, desde la superior de los desmontes y desde el borde exterior de las cunetas, cuando el ferrocarril se halle en terreno natural. A falta de éstas, se contará la distancia de 20 metros desde una línea paralela al carril exterior, a metro y medio de distancia del mismo». (Ver artículos 1.º, 9.º y 10.º de Ley de Policía de Ferrocarriles de 23 de noviembre de 1877).

Cuando se trate de ferrocarriles electrificados, se debe rehuir el paralelismo con las tuberías, por el peligro de corrosión provocado por las posibles corrientes vagabundas que se pueden inducir en el terreno. Si no se puede o no conviene evitar el paralelismo, se estudiará muy bien la distancia mínima entre la tubería y los postes de la catenaria para evitar efectos eléctricos indeseables sobre la conducción.

c) Cruces con carreteras y ferrocarriles

Hay que evitar, en lo posible, perturbaciones en el tráfico que discurre por la vía de comunicación. Por ello, es necesario respetar los taludes existentes, manteniendo, a la vez, unos recubrimientos mínimos al punto más cercano de la vía.

Se estudiarán las características topográficas y geotécnicas del entorno del cruce, con objeto de *situar* el punto idóneo para el cruce y de fijar la *cota* de paso de la tubería, así como el *procedimiento* de excavación.

Es frecuente efectuar el cruce sin interrumpir el tráfico, haciendo la excavación mediante el procedimiento de *perforación horizontal* con trépano y disponiendo la tubería dentro de una vaina metálica de mayor diámetro que aquel, e introducida a la vez que se hace la perforación. Si la carretera o camino es de poca importancia puede efectuarse la excavación del cruce *a cielo abierto*, disponiendo, en caso necesario, como medio de protección una losa de hormigón encima de la tubería.

3.3.4. Líneas eléctricas

Conviene alejar el trazado de la tubería de las líneas eléctricas de *corriente continua* (por ejemplo, catenaria de ff.cc. electrificados) por el peligro de corrosión por corrientes vagabundas.

Igualmente hay que guardar distancia de las líneas de *corriente alterna*, que pueden influir eléctricamente en la tubería mediante alguno de los tres fenómenos siguientes: capacitancia, inducción y conducción. El primer fenómeno es el menos frecuente y de los otros dos, el más importante es el de la conducción de una corriente a partir de la base de la torre de apoyo de la línea eléctrica.

En servicio normal no ocurre nada, pero en determinadas circunstancias se produce una perturbación eléctrica o cambio del régimen normal de funcionamiento, provocado por causas diversas: caída de un rayo en la línea, defecto de aislamiento a tierra, cortocircuito franco a tierra o una sobretensión de maniobra, etc...

Dicha perturbación eléctrica produce el paso a tierra de una corriente de alta intensidad y de corta duración (fracciones de segundo), por en-

trar en acción rápidamente los dispositivos de seguridad de línea, pero que, no obstante, puede perforar el revestimiento aislante y hasta la propia tubería de acero. Ello determina un cierto riesgo de incendio o explosión del fluido transportado, desperfectos en juntas aislantes y aparatos de protección catódica e incluso hay posibilidad de producirse desgracias personales, por contactos accidentales u operacionales con parte aéreas de la conducción, como de hecho ha ocurrido en alguna ocasión

Las descargas atmosféricas o rayos producen efectos que pueden transmitirse a la tubería bien directamente a través del terreno, bien por intermedio de una línea aérea o subestación. Dada su variabilidad, el control de tales efectos resulta muy difícil.

Los medios de prevenir estas influencias negativas sobre la tubería son de tres clases:

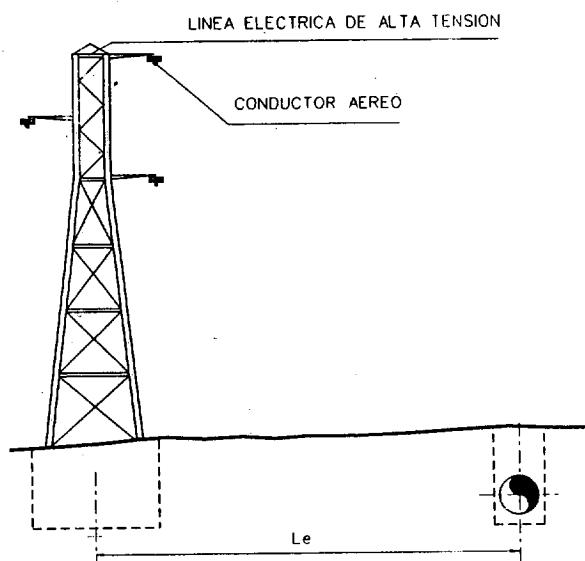
- *Alejamiento* entre la tubería y la línea eléctrica.
- Acciones sobre la línea eléctrica.
- Protección de la tubería.

Durante el estudio de trazado del gasoducto se utilizará el primer medio, estudiándose cuidadosamente las incidencias del trazado en relación a cruces, aproximaciones y paralelismo con instalaciones eléctricas existentes. Dicho *Estudio Eléctrico del Trazado* puede hacerse en paralelo con (o incluido en) el *Estudio de Protección Catódica* de la tubería.

A efectos de tales estudios se podrá considerar que no son apreciables los efectos producidos por las líneas eléctricas de tensión inferior a 15 kV.

Al estudiar el trazado de la conducción, se debe evitar en la medida de lo posible, el paralelismo cercano de la tubería a las líneas eléctricas. En los cruces con estas se procurará que la tubería pase por el centro del vano de los cables y que el ángulo entre éstos y aquella sea lo más cercano posible a 90°.

La calidad del revestimiento anticorrosivo de la tubería se prueba en obra con un detector eléctrico a 10 kV. Por lo tanto, si la influencia por conducción o por inducción de la línea eléctrica aérea sobre el tubo metálico es menor de 10 kV, no habría daño sobre el revestimiento. En la práctica, se considerará un factor de seguridad,



NOTAS:

- 1.—Ver distancia L_e * TABLA 4
- 2.—En aquellas zonas que no se pueda mantener la separación indicada, se tomarán medidas de seguridad adecuadas, de acuerdo con la compañía eléctrica.

Figura 8.—Cruce y paralelismo con líneas eléctricas de alta tensión.

y se toma la mitad de la cifra citada (5 kV.), y se calcula la distancia mínima L_e , que se debe alejar entre el eje de la torre eléctrica y la tubería, para no superar en ésta los 5 kV. (figura 8). Los valores resultantes se indican en la tabla 4. Se han obtenido tales distancias bajo las condiciones más desfavorables que pudieran presentarse: resistividad del terreno excepcionalmente

TABLA 4

SEPARACION L_e MINIMA ENTRE EL EJE DE UN PILONO DE UNA LINEA ELECTRICA AEREA Y LA CONDUCCION METALICA ENTERRADA

Tensión nominal de la línea KV	Resistividad del suelo ohm/m.	Resistencia a tierra del pylon ohm.	Distancia L_e en m.	
			Sin cable de guarda	Con cable de guarda
15	—	—	10	10
63	300	25	30	15
225	300	15	110	20
225	60	3	90	20
380	1.000	30	200	50
380	300	10	170	35
380	100	3	120	25

NOTA: Se toman como base las siguientes corrientes de defectos.
10 KA en 63 KV; 30 KA en 225 KV; 40 KA en 380 KV.

elevada, proximidad a las estaciones alimentadoras de los apoyos afectados por la perturbación eléctrica, máximos valores de potenciales de cortocircuito, longitudes reducidas de paralelismo, etc.

En el caso de imposibilidad (topografía del terreno, accesos, pasillos de penetración, etc.) de mantener las distancias mínimas citadas, se recurrirá al estudio de detalle de los puntos que no cumplen y se recurrirá a actuar sobre la línea (cable de guarda, etc.) y/o a la protección de la conducción, tomando medidas de seguridad adecuadas, de acuerdo con la Compañía Eléctrica.

Al contrario que las aéreas, las líneas eléctricas subterráneas no suelen producir fenómenos eléctricos apreciables sobre las tuberías metálicas enterradas, debido a la buena calidad del aislamiento y la vaina protectora, generalmente conectada a tierra, de la que suelen ir provistas las líneas eléctricas enterradas.

3.3.5 Otras infraestructuras

Se trata de infraestructuras varias que hay que tener en cuenta, sobre todo, en el estudio de detalle del trazado.

Un canal constituye una infraestructura superficial, cuyo cruce presenta una problemática intermedia entre la carretera y el río. Se puede cruzar a cielo abierto o por perforación horizontal y puede ser necesario tener en cuenta la flotabilidad de la tubería, si son de temer filtraciones.

Respecto al cruce de otras infraestructuras enterradas: cables, otras conducciones, alcantarillado, etc., hay que fijar una separación mínima en cada caso, estudiando la estabilidad mutua (deslizamientos, hundimientos, etc.) para evitar roturas y accidentes. En los cruces con otros elementos metálicos, hay que evitar los fenómenos de corrosión inducida, para lo que hay que establecer una protección catódica coordinada de la tubería y la otra infraestructura.

3.4. Condicionantes de construcción

Desde el punto de vista de la construcción, las dificultades proceden de los obstáculos que impiden el despliegue de las máquinas, que fre-

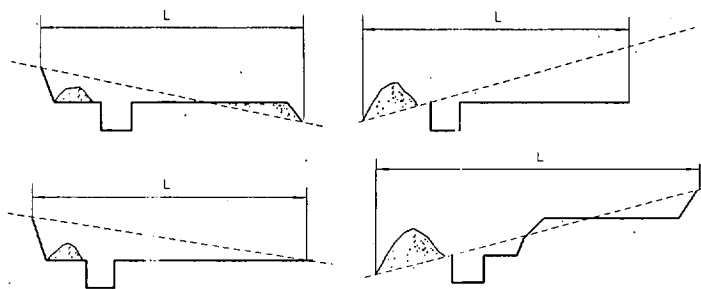


Figura 9.— Terreno a ocupar para la pista provisional de construcción.

nan su avance o que imponen una preparación y medios costosos.

La primera operación de la construcción es la realización de la *pista de obra*, explanación por la que han de circular las grandes máquinas que realizarán la construcción en tajos sucesivos. Desde este punto de vista, conviene mejor que el trazado vaya por las máximas pendientes longitudinales y no por las *medias laderas*. En primer lugar, las máquinas admiten mejor las fuertes pendientes longitudinales que las transversales. En segundo lugar, el movimiento de tierras para realizar la pista a media ladera es mayor que en la máxima pendiente longitudinal (figura 9).

Los relieves accidentados deben ser considerados en función de la ruptura de los métodos de trabajo y de la mayor o menos *accesibilidad de la maquinaria* a los diversos puntos de trabajo. En este sentido, las *pendientes longitudinales* se deben limitar a aquellos valores que impidan el paso normal de las máquinas, sin ayuda (del orden de 30-40 por 100). Más allá de este límite, de no poderse evitar superarlo, la construcción se encarece de manera importante.

También se deben evitar los terrenos en los que la construcción es más costosa, como por ejemplo, los terrenos *rocosos* (voladuras con explosivo o excavación con martillo) y los *pan- tanosos* (agotamiento de zanja, entibación).

3.5. Resumen de condicionantes

Las tuberías de transporte son *obras lineales subterráneas*, que presentan un alto grado de *libertad* en la definición de su *trazado*. No obstante, éste debe respetar una serie de *condi-*

cionantes, que han sido tratados en lo que antecede.

Una vez fijados los *puntos* de control o *de paso obligado* del trazado: puntos inicial y final, puntos intermedios de consumo, derivación o almacenamiento, etc., se estudiarán otros *puntos de paso casi obligado*, motivados en los grandes accidentes, como paso de cordilleras, embalses, *cruce de ríos* o barrancos importantes, etc.

No todos los condicionantes referidos anteriormente influyen de igual manera. El trazado es relativamente *independiente del relieve* topográfico. Con respecto al *relieve*, el trazado de la tubería cortará más bien perpendicularmente a las curvas de nivel, evitando las medias laderas y buscando casi las crestas, con menos probabilidad de nivel freático alto.

Sin embargo, el trazado es muy dependiente de la Geotecnia: Por ser la tubería una obra subterránea, aunque somera, es muy dependiente de las características geotécnicas de los terrenos atravesados, de ahí se deduce un *binomio trazado-geotecnia* muy interrelacionado.

Los *condicionantes hidráulicos* serán más exigentes en los *oleoductos* que en los *gasoductos*; en aquellos habrá que prestar más atención a los puntos altos por la posibilidad de depresiones y a los puntos bajos, por si se alcanzan presiones excesivas.

A pesar de ser las tuberías de transporte obras que, al ser enterradas, no producen ni intrusión visual ni efecto barrera, al menos una vez acabadas las obras, hay que procurar un trazado que produzca el mínimo *impacto ambiental* negativo, sobre todo durante el período de construcción.

Igualmente es muy tributario el trazado de la conducción de *Planeamiento* de las zonas atravesadas, del *uso del suelo*, que van a influir decisivamente en la facilidad y en el coste de la consecución de permisos y de imposición de las *servidumbres*, sean éstas temporales o definitivas. En función de la peligrosidad del fluido transportado, se dejarán las adecuadas zonas de *seguridad*.

Conviene evitar las *líneas eléctricas* y los *ferrocarriles electrificados*; por el contrario, se debe favorecer el paralelismo con caminos y ca-

reteras, pues hace más accesible la conducción. Las restantes infraestructuras viarias a cruzar (*carreteras*, caminos, ferrocarriles) hay que considerarlas fundamentalmente en el trazado de detalle, y van a influir decisivamente en el presupuesto final de la conducción. De la misma manera las restantes infraestructuras enterradas. La *agresividad* de los terrenos tiene su importancia en el coste de primera instalación y en el mantenimiento de la Protección Catódica.

En resumen, los puntos a tener en cuenta, entre otros, para cumplir satisfactoriamente los criterios generales para una correcta elección del trazado son:

a) *Máxima seguridad*

- Mantener distancias mínimas a núcleos habitados, industrias, instalaciones eléctricas, etc...
- Evitar medias laderas inestables.
- Evitar, en general, terrenos inestables.
- Buena accesibilidad.
- Evitar terrenos agresivos, de mal drenaje, etc...

b) *Mínimo coste*

b.1.) *De primera instalación*

- Longitud optimizada (menor coste posible).
- Evitar puntos muy bajos.
- Evitar terrenos rocosos, pantanosos, agresivos, etc...
- Evitar pendientes transversales fuertes.
- Evitar suelos agrícolas ricos, huertas, bosques, etc...
- Buena accesibilidad.
- Evitar sistemas constructivos difíciles o costosos.

b.2.) *De explotación y mantenimiento*

- Longitud menor posible.
- Evitar puntos muy altos.
- Buena accesibilidad.
- Evitar suelos agresivos, pantanosos, de mal drenaje, etc...

c) *Mínimo impacto ambiental negativo*

- Evitar alterar los ecosistemas, sobre todo los protegidos.

4. METODOLOGIA Y ETAPAS DEL ESTUDIO DEL TRAZADO

El proyecto de trazado de una tubería de transporte presenta una gran semejanza con el de otras obras lineales, sobre todo en lo que atañe a su método de trabajo, basado fundamentalmente en tantear soluciones a nivel cada vez más preciso, desde una etapa preliminar hasta llegar a la definición del trazado en detalle, tendiendo a alcanzar la solución *óptima*. Se pueden distinguir las siguientes etapas:

- Estudio preliminar del trazado.
- Trazado básico.
- Trazado definitivo.

cuyas características fundamentales se explican a continuación y se resumen en la *tabla 5*. La partición en tres etapas es un tanto artificiosa y, en realidad, se trata de un proceso continuo de aproximación cada vez mayor, a base de información cada vez más completa y precisa, al *trazado óptimo*, y que, a veces, y por razones prácticas, se presenta el resultado parcial a nivel intermedio, sea éste preliminar o básico.

4.1. Estudio preliminar del trazado

Todo comienza con la *concepción general* de la *conducción de transporte*, en base a estudios de Economía del Transporte, en los que se analizará, entre otras cosas, los puntos de recogida y entrega (yacimientos de petróleo o gas, minas de carbón, puertos de embarque o desembarque, centros de consumo), estudios de mercado, otros modos de transporte en competencia o en coordinación, etc...

Se empezará considerando el trazado ideal, constituido por la poligonal que pasa por los puntos de paso obligado, analizados con anterioridad. Se estudiará una zona de terreno a un lado y a otro de dicha poligonal, determinando varios corredores posibles de paso del trazado, procurando separarse lo mínimo de la tectónica teórica, y a la vez, procurando cumplir los condicionantes tratados en el apartado 3, aunque con especial influencia en esta etapa de los obstáculos importantes (puntos altos: cordilleras, túneles; puntos bajos: ríos, embalses; núcleos urbanos e industriales,...). Aunque depende mucho de las características del territorio

TABLA 5

ETAPAS DEL ESTUDIO DEL TRAZADO

ETAPA	Ancho banda de estudio	Condiciones del trazado más importantes a considerar	Medios a utilizar	Geotecnia	Sistema de trabajo	Resultado de la etapa	Escala de planos presentación del trazado
Estudio Preliminar	$\approx 1/3. L$	<i>Obstáculos importantes:</i> • Puntos altos, cordilleras, túneles. • Puntos, bajos ríos. • Embalses. • Núcleos urbanos.	• Cartografía existente. • Fotografías aéreas existentes.	Estudio Geotécnico Preliminar.	• Gabinete. • Visita campo.	Corredor con varios trazados posibles.	<i>Pl. del trazado</i> 1:200.000 1:100.000 1: 50.000
Trazado Básico o Anteproyecto	$\approx 3 \text{ km}$	<i>Uso del suelo. Planeamiento.</i> • Organismos afectados: Patrimonio económico y cultural. <i>Geotecnia.</i>	• Cartografía existente. • Fotografías aéreas existentes.	Estudio Geotécnico Básico.	• Gabinete. • Entrevistas. • Organismos • Recorrido campo	Trazado básico. Base para trab. topog.-geotéc.	<i>Pl. del trazado</i> 1: 50.000 1: 25.000 1: 10.000
Trazado Definitivo o de Detalle	Variantes $\approx 1 \text{ km}$	<i>Puntos especiales</i> • Cruces con ríos, carreteras, y f.c.	• Vuelo fotogramétrico específico del trazado (fotografías aéreas propias). • Planos topográficos	Estudio Geotécnico de Detalle	• Gabinete. • Implantación de vértices. • Recorrido de detalle campo.	Trazado Definitivo	<i>Pl. del trazado de Planta y perfil</i> 1/5.000, 1/1.000 <i>Pl. Puntos Esp.</i> 1/500 <i>Planos parcelarios</i> 1: 1.000

atravesado, es raro que el ancho de la banda de estudio supere $1/3$ de la longitud del trazado.

Punto final de esta etapa es la *elección de un corredor* entre los varios considerados como posibles, para lo cual hay que proceder a una valoración económica de todos ellos, escogiendo el que resulte más barato. En base a los datos de caudales, se estimarán velocidades, y se calcularán pérdidas de carga, lo que nos facilitará un predimensionamiento del diámetro, el cálculo de las presiones de transporte y espesores. Para los tanteos económicos se manejarán costes medios de construcción, en función de diámetro y espesor, y diferentes para cada tramo de tubería, en razón a las dificultades de construcción respectivas (geotecnia, cruces, etc...).

La diferencia de los costes de construcción de la tubería para cada tramo influye decisivamente

en la elección de trazado entre las diferentes alternativas, como se puede observar en el ejemplo esquemático de la *figura 10*. Sean O y F los puntos de origen y final de la conducción (o cualquiera de los puntos nodales de paso obligado, intermedios en el trazado). El trazado puramente rectilíneo OF no es posible, por la existencia de una zona a evitar (la rayada en la figura), por razones diversas (embalses, pendiente excesivas, grandes alturas, geotecnia desaconsejable, por núcleos urbanos o industriales, etc. En la figura 10 se ha considerado dividido el territorio en tres zonas, de costes respectivos C_1 , C_2 y C_3 . No siempre la solución de trazado más conveniente será la más corta posible, pues dependerá de la relación entre los costes de construcción por kilómetro en cada tramo.

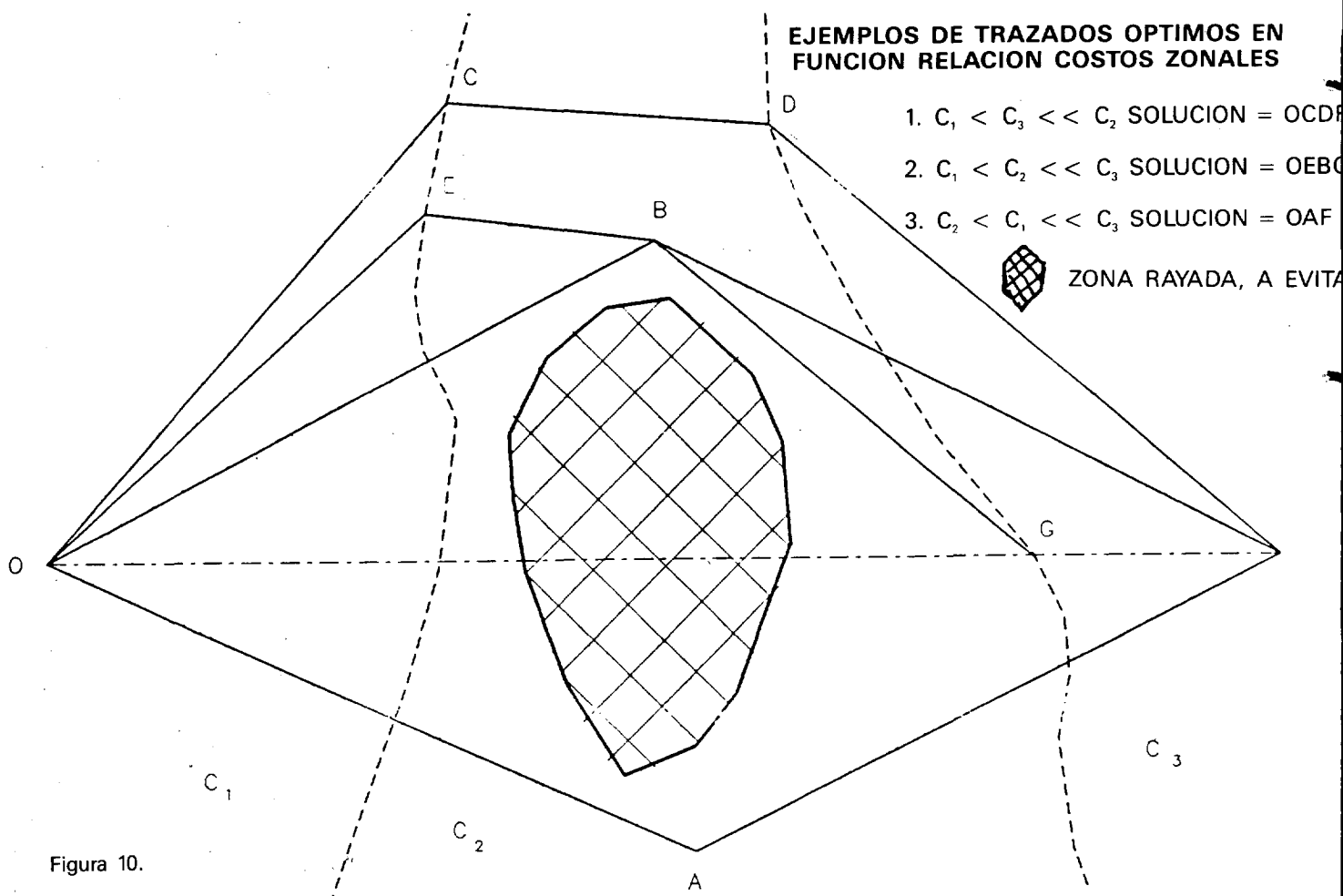


Figura 10.

4.2. Trazado básico

En esta etapa se analizan alternativas del trazado dentro del corredor seleccionado en la etapa anterior. Dichos trazados alternativos se desarrollan en una cierta banda de estudio, cuya anchura, aunque depende mucho de las características del territorio atravesado, podemos estimar del orden de los tres kilómetros.

Hay que volver a considerar todos los *condicionantes* del trazado que se han considerado en el apartado 3, a nivel de trazado básico, aunque con mayor hincapié en los *geotécnicos* y los derivados del *uso del suelo*. El *Estudio Geotécnico Básico* suministrará datos fundamentales para estudiar las diversas alternativas de trazado. Tras el detenido estudio de la documentación recopilada, se realizará un recorrido de campo y una campaña de *entrevistas con los Organismos Oficiales y Empresas afectadas*

(Ayuntamiento, Consejerías autonómicas, Delegaciones Provinciales de la Administración del Estado, RENFE, etc...), a los que se informará del trazado en estudio y se pedirá sus comentarios al mismo, documentación e información sobre las *infraestructuras* existentes, la calificación actual del suelo y la *planificación* correspondiente. Conviene tener en cuenta, además de las infraestructuras económicas, el patrimonio histórico-cultural (restos arqueológicos, etc...).

Conviene subrayar la necesidad de hacer la labor descrita anteriormente de manera exhaustiva, procurando no dejar ningún Organismo afectado sin considerar, y así evitar cambios importantes del trazado a destiempo en la etapa posterior, lo que ocasionaría sobrecostos y retrasos en el proyecto.

Realizados los tanteos pertinentes, y en base a unos valores determinados de diámetros,

espesores, predimensionamiento de instalaciones concentradas, etc..., se realiza la evaluación de las diferentes variantes, y por un proceso determinado de *optimación del trazado* se llega a la elección del llamado *Trazado Básico*, que servirá de eje a los trabajos topográficos, geotécnicos y de otro tipo de la etapa siguiente.

4.3. Trazado definitivo

El Estudio Geotécnico Básico, además de información sobre el Trazado Básico, dará recomendaciones para la campaña geotécnica de campo a realizar en el *Estudio Geotécnico de Detalle*. Este debe comenzar dando validez al Trazado Básico o recomendando las variantes pertinentes. Al estudio detallado de estas variantes y, en suma, al del trazado en su totalidad, ayuda extraordinariamente la utilización de las fotografías aéreas y la cartografía topográfica obtenida por fotogrametría o, en caso de no ser posible o conveniente, por topografía clásica.

Hay que volver a repasar la incidencia sobre el trazado de los concionantes, que ya se han citado anteriormente, con especial énfasis en los llamados *puntos especiales* (cruces de ríos, autopistas, ferrocarriles, etc...) En base a todos los estudios realizados, tanto en gabinete como en campo, y una vez recogidos los cambios de trazado acordados con ciertos Organismos o particulares, se llega al *Trazado Definitivo*, el cual se procede a implantar en el terreno, estaquillando los vértices del trazado. Las *fotografías aéreas* constituyen una excelente ayuda a utilizar en las operaciones previas a la *implantación* de los vértices en campo.

Dicha implantación debe ser lo más cuidadosa posible, procurando adaptar el trazado en detalle a las irregularidades del terreno, teniendo en cuenta los detalles constructivos y creando, en cada caso necesario, algún vértice nuevo o auxiliar, no previsto en gabinete. A la vez que la implantación de los vértices se hace el *recorrido detallado* de la traza, tomando nota de todas aquellas singularidades encontradas que deban retenerse para proyectar los detalles constructivos, los cuales revisten gran importancia en los cruces con ríos y obras viarias.

A continuación de la implantación del trazado hay que realizar los restantes trabajos de topografía y de geotecnia, que conducirán al final a los planos de trazado en planta y perfil longitudinal y los planos de puntos especiales, que han de servir para realizar las mediciones y presupuestos del proyecto de construcción. Raramente será necesario realizar perfiles transversales, salvo en casos de medias laderas pronunciadas, que no haya sido posible evitar, o por razones geotécnicas. Igualmente se realizarán los planos parcelarios, que han de utilizarse en el proceso de ocupaciones temporales e imposición de servidumbres definitivas.

REFERENCIAS

1. COS LOPEZ, Antonio de.: «Diseño de una conducción de transporte. Trazado y dimensionamiento de la línea». II Curso sobre Transporte por Tubería. Fundación J.A. Artigas. Madrid, junio de 1984.
2. MARTINEZ CATTANEO, Antonio; RODRIGUEZ PARADINAS, Eduardo; OROZCO VALLEJO, Esteban.: «El Transporte por Tubería. Proyecto y construcción del oleoducto Málaga-Puertollano». Revista de Obras Públicas, Madrid, febrero y marzo de 1967.
3. OROZCO VALLEJO, Esteban.: «El oleoducto Málaga-Puertollano, primer oleoducto civil español». Simposium sobre Oleoductos y Gasoductos, (Madrid, 2-4 junio de 1971).
4. ROMAN BUJ, Fernando.: «Metodología para Estudios de Trazado y Geológico-Geotécnicos de Gasoductos y Oleoductos» (inédita).
5. VALDES RUIZ, Joaquín.: «Geotecnia aplicada a los gasoductos». Petrogás. Madrid, junio de 1981.
6. VALDES RUIZ, Joaquín.: «La selección de trazados y su repercusión en la economía de los proyectos de gasoductos». XII Asamblea Nacional del Gas. San Sebastián, abril de 1986.
7. VALDES RUIZ, Joaquín.: «Trazado y Geotecnia en oleoductos y gasoductos». Curso de Transporte de Hidrocarburos por Tubería. Colegio de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos. Madrid, mayo de 1987.
8. MARTINEZ LOZANO, Fernando.: «Problemas que presentan a las canalizaciones de transporte de gas las líneas eléctricas aéreas de alta tensión». IX Asamblea Técnica de Gas. Barcelona, mayo de 1983.
9. VICENT-GENOD, J.: «Le transport des hydrocarbures liquides et gazeux par canalisation». Editions Technip. Paris, 1966.
10. SZILAS, A.P.: «Production and Transport of oil and gas» (2 tomos). Elsevier. Amsterdam-Oxford-New York-Tokyo, 1985.

11. CEGARRA PLANE, Manuel.: «Ingenierie et Construction d'un gazoduc. Influence du terrain et du climat». Conferencia-cursillo en Universidad Politécnica de Rabat (Marruecos). Instituto de Cultura Hispano-árabe. Rabat, diciembre de 1983.
12. CEGARRA PLANE, Manuel.: «Proyecto de conducciones de Transporte». Curso de Transporte de Hidrocarburos por Tuberías. Colegio de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos. Madrid, mayo de 1987.
13. CEGARRA PLANE, Manuel.: «Proyecto del trazado de gasoductos. Condicionantes a considerar para la elección del trazado». III Curso de Verano de la Universidad de Cantabria. Laredo, agosto de 1987.

Manuel Cegarra Plané



El autor de este artículo, tras sus primeras actuaciones profesionales dedicadas a obras hidráulicas, carreteras y autopistas, ha desarrollado una gran parte de su quehacer ingenieril en el campo del Transporte por Tubería, primero en lo referente a Proyecto e Ingeniería, después en lo relacionado con la Construcción, como Director Técnico de A.P.L., puesto que ocupa en la actualidad. A lo anterior se suma su actividad docente, como Profesor de la Asignatura de Transporte por Tubería de la Escuela T.S. de Ingenieros de Caminos de Madrid, desde el año 1985.

