

LA CONEXIÓN CON EUROPA: UNA OBRA QUE DEFINE UNA NUEVA ETAPA EN LA GASIFICACIÓN ESPAÑOLA

Joaquín Valdés Ruiz.*

Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos.

José Rivera Ysasi-Ysasmendi.**

Ingeniero de Caminos., Canales y Puertos.

Este artículo tiene por objeto, en primer lugar, desvelar los "secretos" encerrados por el proyecto y la construcción de los gasoductos de transporte en general. En segundo lugar, concretar las características y particularidades del Gasoducto de Conexión con Europa, recientemente inaugurado. Se ha pretendido brevedad en la exposición, además de un contenido que, aún huyendo de esoterismos, no careciera de un cierto rigor. Se piden disculpas si no se ha sabido conseguir.

Los primeros estudios para conectar la red española de gas natural con la europea se inician en 1985. En un principio se analiza la posible conexión a través del pirineo oscense, partiendo de la conducción que enlaza los campos de gas del Serrablo con el Gasoducto Barcelona-Zaragoza-Bilbao. Problemas de diversa índole hacen abandonar progresivamente esta idea, tomando paralelamente fuerza la alternativa de conexión a través del pirineo navarro. Se contempla además, aprovechando el gasoducto a construir, un ambicioso plan para impulsar la gasificación de la Comunidad Foral. El proyecto cuenta con el decidido apoyo del Gobierno Navarro, hecho que incide muy favorablemente en la determinación finalmente adoptada de llevarlo a cabo. El Gasoducto de Conexión con Europa marca una inflexión en la política de gasificación española, diversificando las fuentes de aprovisionamiento y reduciendo con ello los riesgos que lleva implícitos una excesiva concentración. En una primera fase está pre-

visto que a su través circulen 2.000 millones de metros cúbicos de gas natural procedente de los yacimientos noruegos situados en Tröll (Mar del Norte). No obstante, su dimensionamiento permitiría duplicar en el futuro esa cifra, sin que sean necesarias nuevas inversiones. En el gráfico nº1 se incluye este gasoducto, enmarcado en la red europea de transporte. Su longitud total es de 208 Km., de los cuales 145 están situados en territorio español. La parte francesa del Proyecto es gestionada por GAZ DE FRANCE y GAZ DU SUD-OUEST. La parte española, cuya inversión total es de 8.000 millones de pesetas, es gestionada por ENAGAS. Lo recogido en este artículo, salvo que expresamente se indique lo contrario, se refiere exclusivamente a la parte gestionada por ENAGAS

Programa

Decidida la conveniencia de su construcción, los primeros pasos para la realización de un gasoducto arrancan con la solicitud de la Concesión Administrativa, siguiendo por este orden la redacción del Proyecto de Autorización y la del Proyec-

*Director de Construcción de ENAGAS

**Coordinador de Obras de ENAGAS

El proyecto constructivo y los criterios de diseño en gasoductos

■ Trazado

Una vez finalizados los estudios de viabilidad y el Proyecto Básico o Anteproyecto, en el que quedan definidas las características generales de la obra y la banda de paso de la conducción, se inicia el Proyecto de Detalle o Constructivo. Como en toda obra lineal, es esencial la definición del trazado. Para ello se han realizado dos vuelos fotogramétricos generales. Uno alto, para obtener los planos de traza, con datos altimétricos y a escala 1:5.000, y otro bajo, sobre el que se representan a escala 1:1.000 los parcelarios, sólo con planimetría. De las zonas con especial dificultad se realiza un tercer vuelo, aún más bajo, obteniéndose planta y altimetría. Complementariamente, se realizan batimetrías de los ríos más importantes. Sobre los planos de trazado, y apoyándose en la visión estereoscópica proporcionada por los fotogramas, se fijan, o "pinchan", en gabinete los vértices. Es un criterio básico encajar el trazado por zonas llanas, líneas de máxima pendiente y cuerdas de alineaciones montañosas, además de eludir medias laderas y afloraciones rocosas. Se pretende con esto, en fase de construcción, minimizar los movimientos de tierra durante la apertura de pista y reducir los riesgos de corrimientos transversales por descalzamiento de estratos. Fundamental es también perseguir la longitud mínima del trazado, siendo preciso para ello ajustarlo lo más posible a las alineaciones rectas definidas por los puntos obligados de paso.

En una fase subsiguiente se implantan los vértices en campo, tomándose sus coordenadas y referenciándose a puntos fijos que permitan su posterior replanteo. En esta fase se ajusta el trazado sobre el terreno, al objeto de evitar obstáculos que pudieran no haber sido anteriormente detectados.

Con el trazado definido se procede al estudio geotécnico de detalle, partiendo para ello del estudio previo incluido en el Proyecto Básico. Adicionalmente, se realizan catas a lo largo de la traza y en aquellos cruces de carreteras y ferrocarriles que deban ser resueltos por perforación. En los cruces de los ríos en los que se requiera mayor información se realizan adicionalmente sondeos geotécnicos.

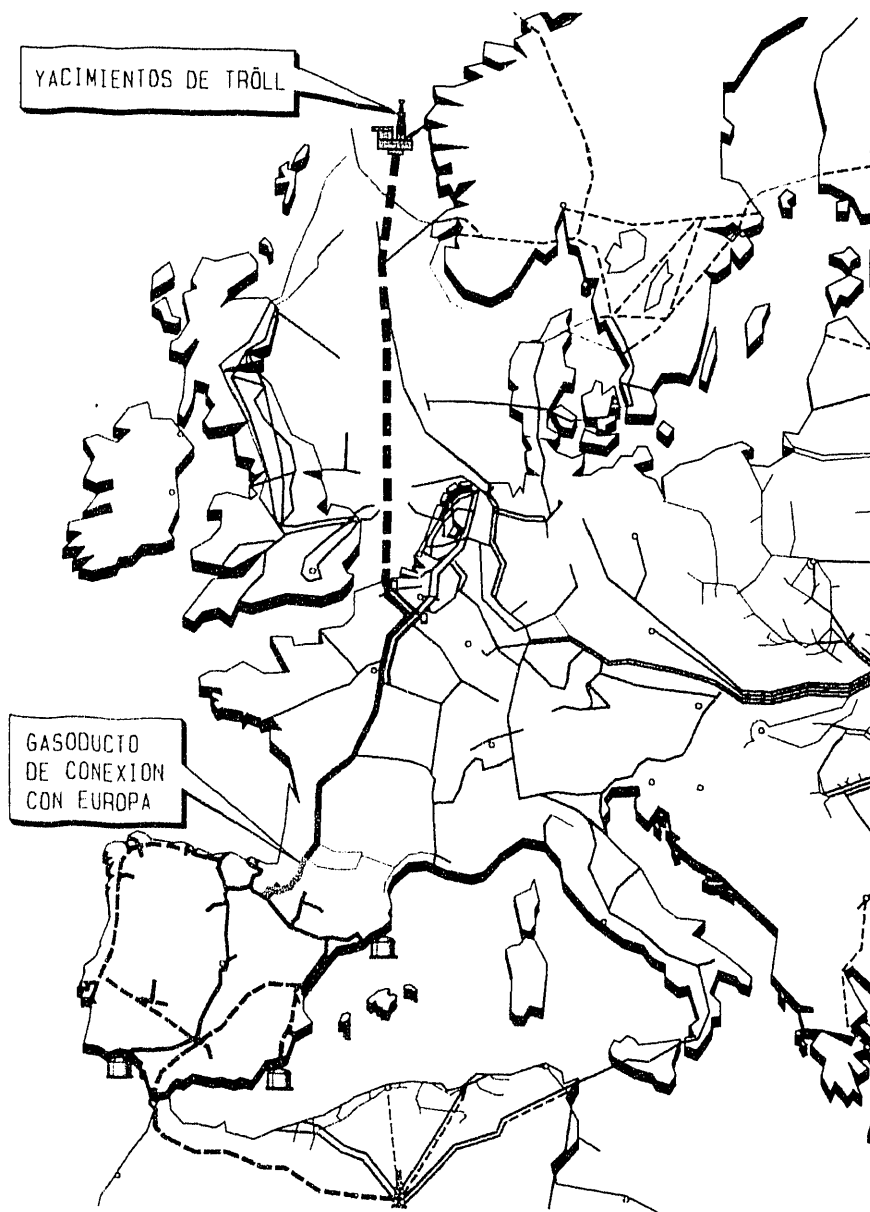


Gráfico 1: Red europea de Gasoductos

to Constructivo, la gestión de terrenos, permisos y licencias y la compra de los materiales, proceso que finaliza con la construcción, pruebas y puesta en marcha de la instalación. Los detalles concretos de la programación de esta secuencia, por lo que se refiere al Gasoducto de Conexión con Europa, se incluyen en el gráfico nº 2. Al respecto cabe destacar, como hecho más significativo, que el período transcurrido desde el lanzamiento del Proyecto hasta su puesta en operación, alcanza escasamente los tres años y medio. Este tiempo, que se puede considerar exigente, ha sido no obstante en la práctica escrupulosamente respetado: la obra se encuentra en orden de marcha desde los primeros días de septiembre de 1993.

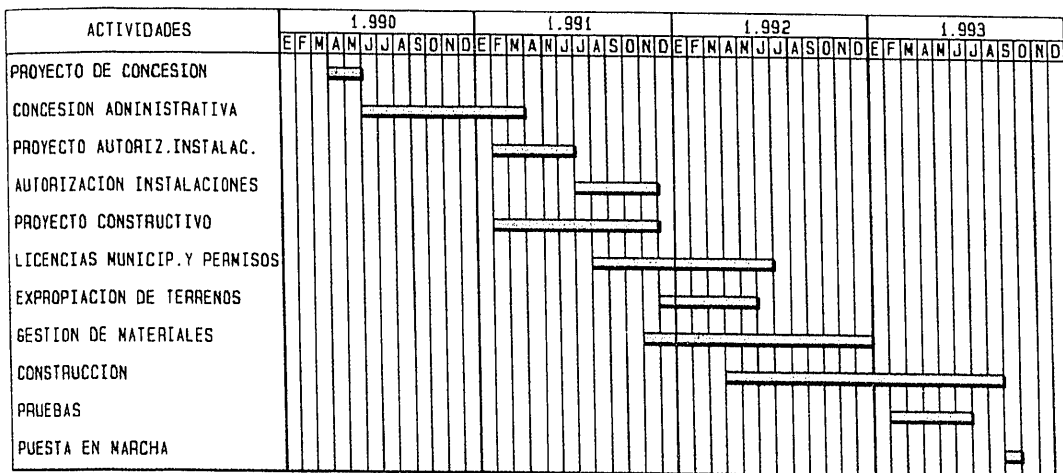


Gráfico 2: Programación del proyecto del gasoducto de conexión con Europa

■ Cálculo mecánico

En lo que respecta al propio diseño de la conducción, se parte, como dato básico, de la presión interna de utilización. Esta se puede considerar uniforme a lo largo de toda la tubería; al transportarse el fluido en fase gaseosa, son mínimas las implicaciones que tiene la variación de la altura piezométrica. El caudal máximo a transportar, la longitud del gasoducto y su rugosidad interna definen el binomio diámetro de la tubería-potencia de compresión. La decisión última viene impuesta por consideraciones económicas.

En cuanto al cálculo del espesor de la pared del tubo, se parte de la presión interna y de las características mecánicas. Intervienen además, de acuerdo con la Instrucción Técnica del Ministerio de Industria y Energía MIG-5.1 "Canalizaciones de Transporte y Distribución de Gas en Alta Presión B", los denominados factores de diseño, los cuales minoran la resistencia nominal del acero. Estos oscilan entre 0'4 y 0'7, en función de la categoría del emplazamiento por la que transcurre el gasoducto. Esta categoría tiene en cuenta la densidad de edificación y el índice de habitabilidad. Es de hacer notar que, en general, no se contemplan, al ser sus efectos despreciables, otras cargas distintas a la de la presión interna.

■ Sección transversal. Cruces

La tubería se entierra a una profundidad, medida sobre la generatriz superior del tubo, no inferior a 1 m. No obstante, el mínimo absoluto aceptado por la Instrucción antes mencionada es de

0,60 m. y el recomendado de 0,80 m. En cruces de carreteras y ferrocarriles se incrementa la profundidad hasta, como mínimo, 1,5 y 2,5 m. respectivamente, colocándose además elementos de protección que, en general, suelen ser tubos de mayor diámetro. Estos permiten, por una parte, hacer la perforación sin interrumpir el tráfico y, por otra, evitar las cargas exteriores directas sobre la tubería.

Los cruces con cursos de agua se resuelven, por condiciones de seguridad, sistemáticamente enterrados. Sólo muy excepcionalmente, si esta solución se revela inviable en la práctica, se acude a la solución aérea. Partiendo de la batimetría, de la información geotécnica, de las condiciones hidráulicas y del régimen de avenidas, se definen la geometría del cruce y el tipo y las características de las protecciones a colocar en lecho, márgenes y tubería, además del lastrado de ésta.

■ Posiciones de válvulas

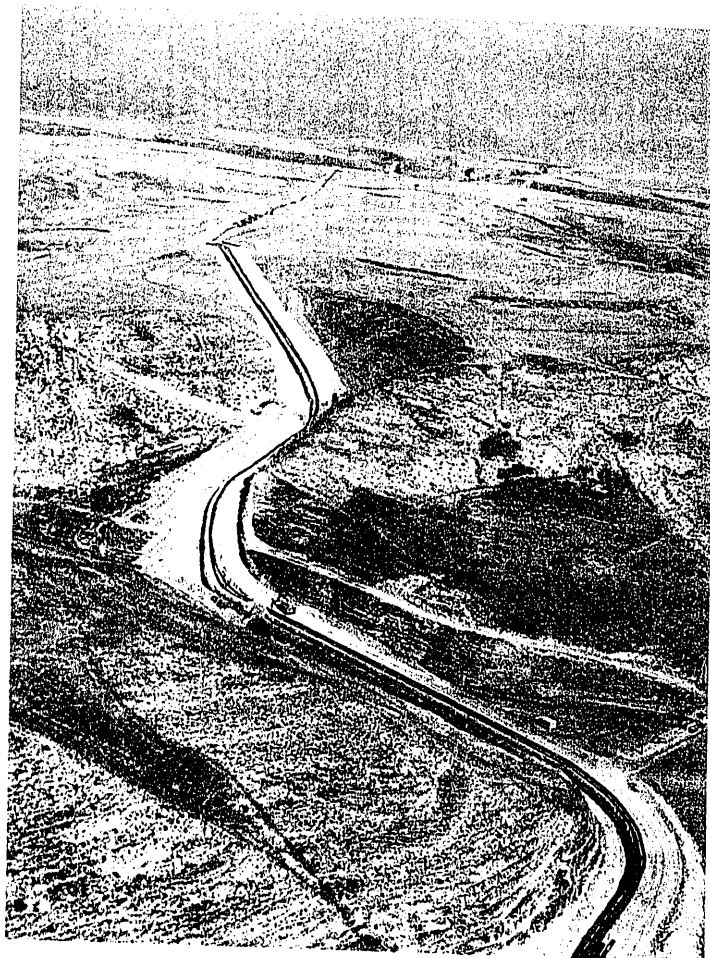
Dentro del Proyecto del Gasoducto, otro elemento importante son las posiciones de válvulas, con o sin trampas de rascadores. Su definición responde tanto a criterios de seguridad, de hecho por esta causa vienen impuestas en la Instrucción anteriormente mencionada M.I.G.-5.1, como a consideraciones basadas en la posterior operación y mantenimiento del gasoducto. Básicamente existen tres tipos de posiciones:

■ **Posiciones de seccionamiento.** Permiten el corte del flujo de gas a través del tubo y el ven-

El gasoducto de conexión con Europa marca una inflexión en la política de gasificación española, diversificando las fuentes de aprovisionamiento y reduciendo con ello los riesgos que lleva implícita una excesiva concentración



Dos vistas generales



teo de los dos tramos en que seccionan al gasoducto. Compartimentan la tubería de forma que el volumen de cada tramo no supere un máximo preestablecido.

■ **Posiciones de derivación.** Definen puntos en los que se extrae parte del gas transportado para derivarlo, a través de otros gasoductos o ramales, hacia áreas de consumo. Su emplazamiento viene lógicamente definido por éstas.

■ **Posiciones con trampas de rascadores.** Además de permitir el seccionamiento del gasoducto, también permiten introducir o extraer de su interior elementos de limpieza o instrumentos de control. Se ubican, además de al inicio y al final del gasoducto, en distintos puntos intermedios habitualmente distanciados en el entorno de los 100 Km.

■ Normativa

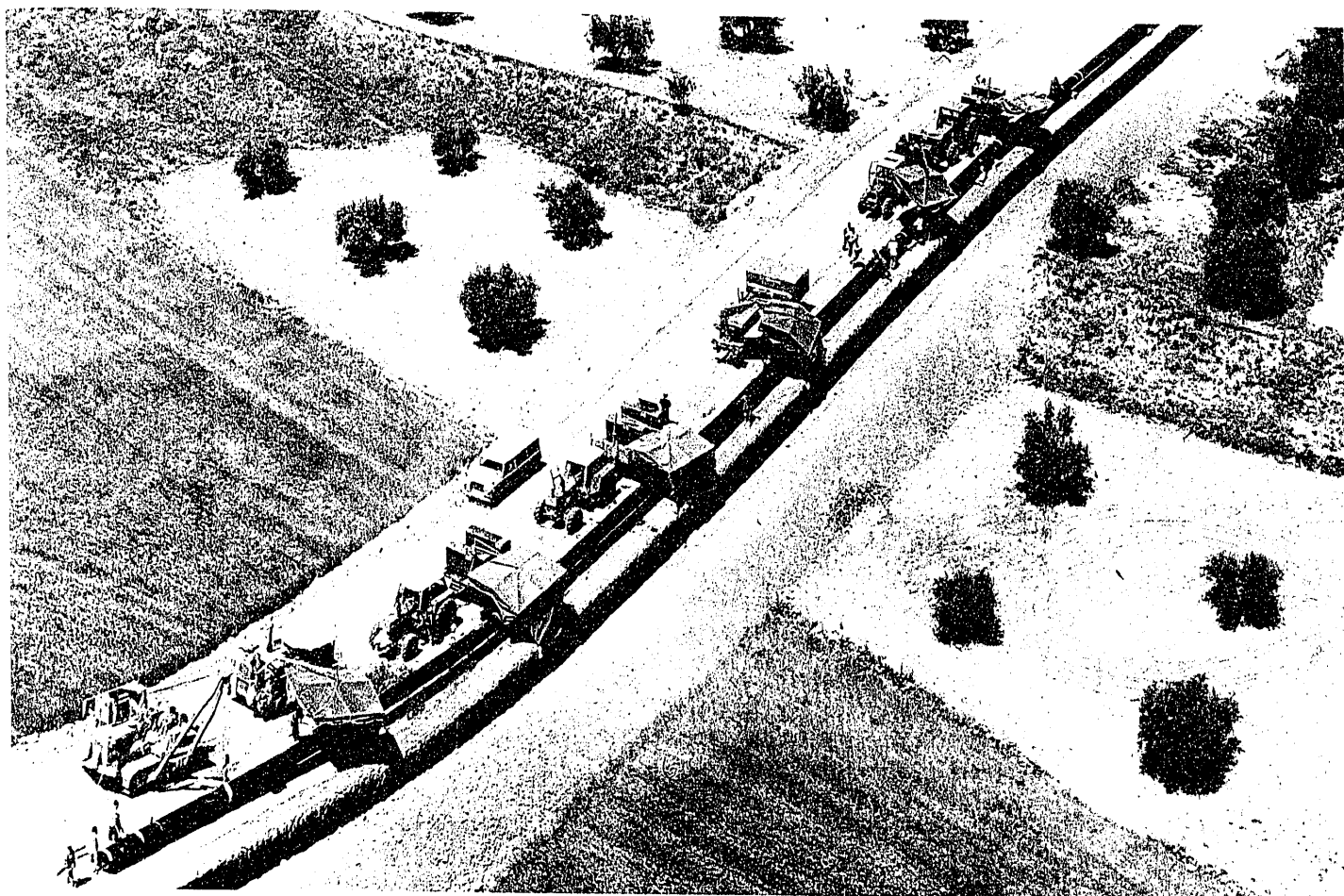
Como parte final de este capítulo a continuación se efectúa una breve referencia a las normas

habitualmente utilizadas en el cálculo y diseño de gasoductos:

- Instrucciones Técnicas Complementarias ITC-MIG-5.1, ITC-MIG-R 7.1 y R.8
- Normas UNE
- Normas API
- Normas ASTM
- Normas ASME
- E.H.-91
- Normas N.T.E.
- Reglamento Electrotécnico de Baja Tensión
- Normas I.E.C.
- Protección Catódica: N.A.C.E.-Standard RP-01-69

Construcción de gasoductos

La idea esquemática de que la construcción de un gasoducto consiste en excavar una zanja y enterrar en ella una tubería, si bien sin duda no es equivocada, en la práctica se traduce en una serie de actividades o fases que, sin comportar una



Tren de soldadura

gran complejidad técnica, sí requieren un alto grado de sincronismo en su progresión. El evitar tiempos de espera de los equipos y daños en las obras parcialmente realizadas es un objetivo fundamental. De él dependen en gran medida el cumplimiento de los compromisos contractuales y el éxito económico de las obras. La realidad revela que el objetivo enunciado no siempre se alcanza.

A continuación muy resumidamente se describen, siguiendo para ello el mismo orden con que se llevan a cabo, las principales actividades integradas por la construcción de gasoductos.

■ Replanteo y estaquillado de la pista

El trazado o eje del gasoducto se conforma mediante el encadenamiento de una serie de alineaciones rectas cuyos puntos de cambio de dirección o vértices vienen definidos en Proyecto con exactitud. Durante esta fase se replantean en campo estos vértices, procediéndose a continuación a estaquillar las alineaciones rectas entre vér-

tices y la zona de ocupación temporal o pista de trabajo.

■ Apertura de la pista de trabajo

La banda de terreno que, a ambos lados de las alineaciones definidas por los vértices, es utilizada para el desarrollo de los trabajos y para el trasiego de los distintos equipos y materiales, recibe el nombre de pista. Su apertura o realización comporta las siguientes actividades:

- Retirada del arbolado y del resto de la vegetación.
- Retirada y conservación al borde de la pista, para su posterior reposición, de la capa superior del terreno vegetal, de existir éste.
- Eliminación de obstáculos (afloraciones rocosas, ribazos, vallados, etc).
- Mejora de la capacidad portante del terreno en zonas con problemas de esta índole.
- Reducción de la pendiente transversal, hasta mínimos operativos próximos a la horizontal.



Soldadura

■ Excavación de la zanja

El gasoducto se instala apoyándose, de forma continua, en el fondo de una zanja con unas dimensiones mínimas determinadas de profundidad y anchura. En esta misma zanja se tiende también un cable portador de distintas señales de mando, comunicaciones y control. Su excavación persigue:

- Garantizar en cualquier punto la profundidad de enterramiento mínima requerida.
- Carecer de salientes en sus paredes y fondo que pudieran producir daños a la tubería, o a su revestimiento, tanto en fase de montaje como una vez instalada.
- Presentar radios de curvatura horizontales y verticales acordes con los admisibles por el tubo.
- Posibilitar un apoyo suficientemente uniforme de la tubería.

■ Distribución y curvado

En la secuencia de construcción más usual, la apertura de la zanja viene seguida por la distribución de la tubería, alineada a un lado de la zanja, en toda la longitud del trazado. Posteriormente se procede a su curvado en frío, con un radio mínimo de 40 diámetros, empleándose para ello maquinaria específica de accionamiento hidráulico. En aquellos puntos en los que se hace preciso al-

canzar radios de curvado, horizontales o verticales, inferiores a 40 diámetros, se instalan tubos curvados en fábrica.

■ Soldadura

La unión de los tubos, una vez curvados y aún fuera de la zanja, se efectúa mediante soldadura de arco eléctrico, con electrodos revestidos o bajo atmósfera protectora. Este tipo de soldadura, denominada en línea, se realiza por un procedimiento similar al de producción en serie: los soldadores, agrupados en parejas, se despliegan a lo largo de los tubos, efectuando cada pareja una sola pasada, siempre la misma, en cada junta de soldadura. De este modo, el número de pasadas de cada junta define el número de parejas. La primera de éstas da la primera pasada, la segunda la segunda y, así, sucesivamente.

Es también usual la soldadura denominada de uniones. Generalmente se emplea en aquellas juntas que tienen ambos extremos no libres. Suele ser realizada cada junta íntegramente por una misma pareja de soldadores.

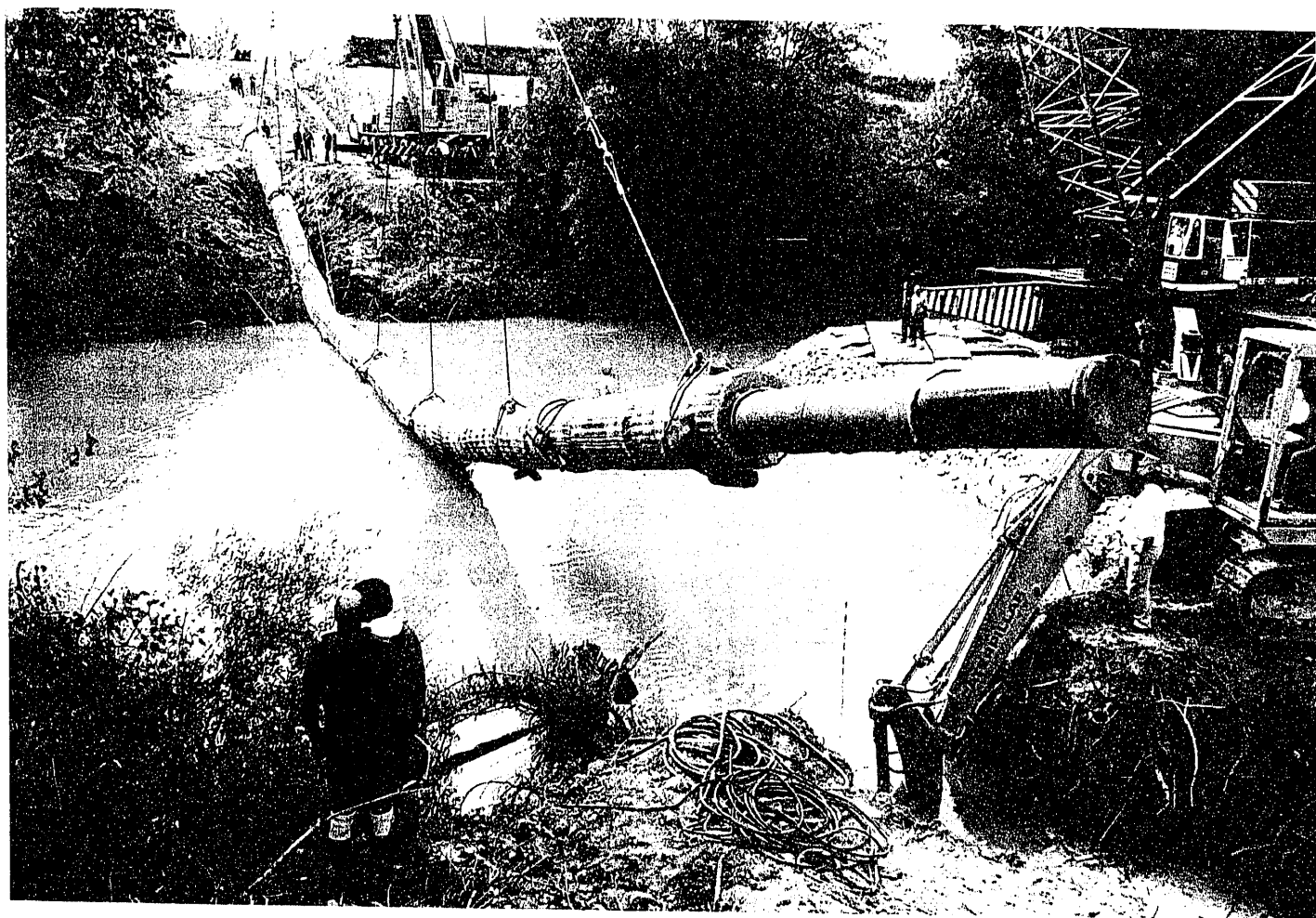
■ Revestimiento

Los extremos de los tubos, que llegan de fábrica sin revestir para posibilitar su soldadura, una vez realizada ésta son revestidos en obra mediante la aplicación de bandas plásticas en frío o de bandas termorretráctiles en caliente. Todas ellas se fabrican con un soporte de polietileno y un adhesivo con base de alquitrán o de resinas epoxídicas.

■ Descenso a zanja y tapado

Los tramos de tubería, una vez revestidas las juntas y tras medir el aislamiento eléctrico proporcionado al acero por el revestimiento, son depositados en el fondo de la zanja, donde previamente se ha creado un lecho de apoyo con la aportación ocasional de material. La operación de tendido es realizada por maquinaria específica de este tipo de obras, tiende-tubos, que inician la operación por un extremo del tramo progresando hacia el extremo opuesto. La elasticidad del tubo permite que durante esta fase existan tramos continuos con tubería en fondo de zanja, con tubería suspendida de la maquinaria en proceso de descenso y con tubería situada aún fuera de zanja en la pista de trabajo. Esta maniobra posibilita bajar a

El gasoducto, en su parte española, arranca del Puerto de Larrau y conecta, tras 145 Kms. con el de Barcelona-Zaragoza-Bilbao en el Término Municipal de Villar de Arnedo, en La Rioja



Tendido en cruce de río

zanja tramos de tubería de longitud a veces superior a los mil metros lineales.

Tras las comprobaciones pertinentes realizadas sobre la situación final de la tubería, principalmente profundidad de enterramiento y continuidad del apoyo, se procede al tapado con material adecuado, unas veces procedente de la propia excavación de la zanja y otras procedente de préstamos.

■ Cruces especiales

Los cruces con obstáculos que, por sus características e importancia, requieren procedimientos constructivos especiales e independientes del resto del gasoducto, reciben el nombre de cruces especiales. Dentro de este grupo se incluirían los cruces con ríos, autopistas, ferrocarriles, canales, carreteras, etc. Su procedimiento de ejecución más normal, excepción hecha de los ríos, es el de perforación, procedimiento que hace

factible realizar el cruce sin afectar al funcionamiento de la vía atravesada. Los sistemas de perforación son diversos en función del diámetro de la tubería y de la naturaleza del terreno. Los más usuales son trepanación, hincado y mina.

Por lo que se refiere a los ríos, se requieren en cada caso procedimientos distintos de ejecución, siendo muy amplia la casuística existente al respecto. Son frecuentes las soluciones basadas en desvíos de cauces, realización por mitades, rellenos artificiales, tendido con tiende-tubos o grúas y lanzamiento con flotadores.

Las dificultades constructivas más significativas de los gasoductos surgen habitualmente con ocasión de estas obras especiales.

■ Restitución

Concluidas las obras se procede a devolver los terrenos, en la medida de lo posible, a su esta-

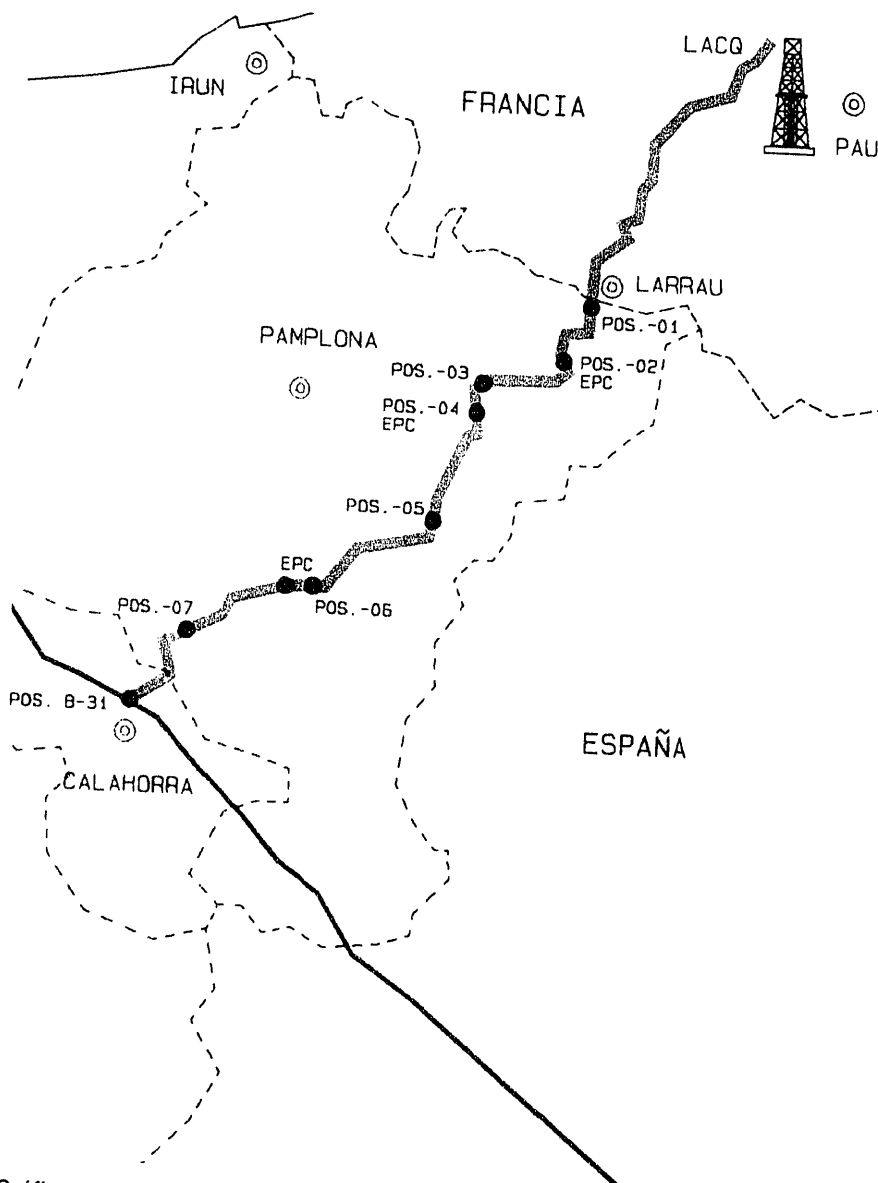


Gráfico 3: Esquema de la conexión con Europa

do original. Se restituyen la tierra vegetal, los vallados, muros, ribazos, acequias, pavimentos y cuantos elementos existieran inicialmente.

El gasoducto de conexión con Europa

Características de la instalación

■ Planta y perfil

El trazado del gasoducto, en su parte española, se recoge en el gráfico nº 3, gráfico que incluye sus principales instalaciones. Arranca del Puerto de Larrau, en la frontera francesa, recorriendo un total de 145 Km. hasta conectar con el gasoducto Barcelona-Zaragoza-Bilbao en el Término Municipi-

pal de Villar de Arnedo (La Rioja). Su longitud se distribuye entre Navarra y la Rioja: 127 y 18 Km. respectivamente. En su recorrido atraviesa un total de 2.251 parcelas pertenecientes a 29 Términos Municipales.

El perfil del gasoducto presenta una primera parte, los 20 Kms. iniciales, muy abrupta, con pendientes que alcanzan porcentajes máximos del 60%. Las cotas de esta zona oscilan entre un máximo de 1.608 m. en el Puerto de Larrau y un mínimo de 659 m. en el Valle de Salazar. A partir de aquí, si bien se atraviesan zonas puntualmente también abruptas, el relieve se suaviza gradualmente. Las cotas varían entre los 789 m. en el PK. 41,6 y los 293 m. en el cruce del Río Ebro en Calahorra.

■ Cruces especiales

Entre sus cruces se incluyen, como más importantes, los ríos Anduña, Salazar, Irati, Cidacos, Arga, Ega y Ebro, las líneas de ferrocarril Castejón-Alsasua y Castejón-Bilbao, la Autopista A-68 y el Canal de Lodosa, además de 42 cruces con carreteras de distintas categorías, 13 de ellos realizados por perforación.

■ Sección transversal

La conducción discurre en toda su longitud enterrada, a una profundidad mínima de un metro. Esta profundidad se incrementa hasta 3 m. en los cruces de los ríos Ebro y Ega, que por las características de sus lechos presentan socavaciones importantes en grandes crecidas. El ancho de zanja mínimo es de 1'30 metros, pudiendo producirse ocasionalmente anchos mayores por problemas constructivos. La anchura de la pista normalmente es de 18 m.

■ La conducción

La tubería del gasoducto tiene un diámetro externo de 660,4 mm. Su espesor, en función de las características de las zonas atravesadas, puede ser de 8,7; 11,1; 12,7 ó 15,9 mm. Está fabricada en acero de alto límite elástico, clasificado según normas API en la categoría 5LX-65. Su límite elástico y su carga de rotura son, respectivamente, no inferiores a 4.570 y 5.620 kg/cm².

La tubería se suministra, revestida interna y externamente, en tubos de longitud máxima 13 m.

El revestimiento interno, con base epoxídica y espesor de 80 micras, reduce la rugosidad de la pared interna del tubo y, paralelamente, la pérdida de presión del gas. El revestimiento externo, de un espesor de 2'5 mm. está formado por tres capas: epoxi, mastic y polietileno. Tiene por objeto, además de ser una defensa pasiva contra la corrosión, aislar la tubería de su entorno para permitir el correcto funcionamiento del sistema de protección catódica. El peso total de la tubería instalada es de 21.000 toneladas.

■ Posiciones de válvulas

El gasoducto cuenta con seis posiciones de válvulas de seccionamiento y/o derivación, con una posición intermedia con trampas de rascadores situada en Lumbier y con una posición de conexión con el gasoducto Barcelona-Vascongadas, también equipada con trampa de rascadores, situada en Villar de Arnedo. En la parte francesa cuenta con una posición con trampa de rascadores, ubicada al inicio del gasoducto, y con seis de seccionamiento y/o derivación, además de una estación de compresión en cabecera y una de medición poco antes de la frontera.

■ Caudales y presiones

El dimensionamiento del gasoducto permite transportar, como se ha indicado con anterioridad, 4.000 millones de m³(normales)/año, equivalente a 456.000 m³(normales)/hora, si bien en un principio está previsto que a su través circule exclusivamente el 50% de este caudal. En todo caso, y puesto que el gasoducto se ha diseñado reversible, los volúmenes indicados pueden circular en cualquier de los dos sentidos: Francia-España o España-Francia. En el caso de flujo Francia-España, las presiones son las siguientes:

- Presión máxima de diseño: 80 bares.
- Presión mínima en frontera: 60 bares.
- Presión mínima en Villar de Arnedo: 45 bares

■ Protección catódica

Salvo durante las primeras fases del montaje, la tubería enterrada se encuentra protegida de la corrosión, además de por el revestimiento externo, por el mantenimiento del potencial del tubo respecto al del suelo por debajo de ciertos límites. En concreto, el potencial del tubo, medido con

respecto a un electrodo de Cobre-Sulfato de Cobre puesto a tierra, se mantiene por debajo de 0'86 voltios en cualquiera de los puntos del gasoducto. Este potencial impide la progresión de posibles reacciones químicas entre el metal del tubo y los aniones del suelo y, por tanto, impide la corrosión. De este hecho es parte fundamental el revestimiento de la tubería, que aporta una doble ventaja; por una parte, al minimizar las pérdidas de corriente desde la tubería hacia el suelo, permite mantener sin grandes consumos y sin numerosos puntos de inyección el potencial de la tubería; por otra, supone una barrera pasiva, aún sin contar con la protección catódica, frente al ataque de la corrosión.

El mantenimiento de la protección catódica se produce en dos fases distintas. Inicialmente, mientras dura la construcción del gasoducto, se utilizan ánodos de sacrificio de magnesio que, al ser más electropositivos que el acero, introducen en éste un potencial negativo que se mantiene hasta el total consumo del magnesio. En una segunda fase, el voltaje negativo se debe al potencial creado con respecto al suelo en las denominadas Estaciones de Protección Catódica (EPC), instalaciones que "extraen" electrones del suelo a través de lechos de ánodos y los "inyectan" a la tubería.

El Gasoducto de Conexión con Europa cuenta, en la parte española, con tres EPC, situadas en las Posiciones 12 y 14 dos de ellas y en las intermediaciones de la Posición 16 la tercera. Los sistemas de protección catódica de los tramos español y francés se independizan mediante una junta aislante, instalada en las proximidades de la frontera, que supone una interrupción a la transmisión eléctrica a lo largo del tubo.

■ Sistema de telecomunicaciones

El gasoducto incorpora, instalado conjuntamente con la tubería y en la misma zanja, un tubo de polietileno por cuyo interior, y por el procedimiento de "soplado", se tiende un cable de fibra óptica que sirve de soporte para la realización de las siguientes funciones:

■ **Telemando:** determinadas posiciones de válvulas están telemandadas. Esto significa que la válvula principal que intercepta el flujo de gas a través del gasoducto puede ser operada (apertura, cierre) por control remoto, al igual que las dos

El gasoducto incorpora un tubo de polietileno por cuyo interior se tiende un cable de fibra óptica que sirve de soporte al telemando, telecontrol y telefonía

válvulas que ponen en funcionamiento el "by-pass" de la válvula principal. La energía que se utiliza para producir este movimiento es la proporcionada por la expansión del gas transportado por el gasoducto. Las órdenes se emiten a través del cable de fibra óptica.

■ **Telecontrol:** existen en la mayor parte de las posiciones elementos para controlar determinadas magnitudes físicas del gas, principalmente la presión, cuyas mediciones son enviadas a los distintos Centros de Control a través del cable. Se procede de igual manera con la información obtenida por los sistemas de seguridad posteriormente descritos instalados en las Posiciones. El equipamiento de los sistemas de Telemando y Telecontrol es de tipo digital.

■ **Telefonía:** además de las fibras ópticas, el cable incorpora un par de hilos de cobre que sirven de soporte de la telefonía entre las distintas posiciones y entre éstas y el Centro de Control.

■ Seguridad en posiciones

Las posiciones de válvulas, por su fácil identificación y accesibilidad y puesto que cuentan con elementos aéreos, presentan una cierta vulnerabilidad frente a hipotéticas acciones de terceros. Esto, unido a que lo complejo de sus instalaciones convierte siempre en laboriosa, costosa y lenta una posible reparación, hace aconsejable reforzar en ellas las medidas de seguridad antiintrusión.

Las posiciones del Gasoducto de Conexión cuentan, además de con vallados de tela metálica, con una serie de elementos adicionales de seguridad que son los siguientes:

- Sistema de detección perimetral por barreras de microondas.
- Circuito cerrado de televisión, con cámaras cubriendo todo el perímetro y vigilándose entre sí.
- Iluminación sorpresiva.
- Alarmas acústicas.

El conjunto de las señales generadas por el sistema de seguridad son enviadas, a través del cable óptico, al Centro de Control.

Las obras

Las obras del Gasoducto de Conexión con Europa se han fraccionado en tres tramos constructivos:

- Tramo I: Frontera-Güesa (23,1 km)
- Tramo II: Güesa-Lumbier (40,6 km)
- Tramo III: Lumbier-Villar de Arnedo (81,3 km)

Este fraccionamiento se ha basado en que las características y dificultades constructivas fueran, dentro de cada tramo, sensiblemente homogéneas, pretendiéndose además aproximar los plazos y los costes de los tres tramos entre sí. A la vista de sus longitudes, es evidente que, en términos comparativos, la mayor parte de las dificultades se concentran en el Tramo I, siendo medias las del Tramo II y reducidas las del Tramo III.

La traducción a grandes cifras del volumen de las obras, en sus magnitudes más relevantes, es la siguiente:

■ Obra Civil

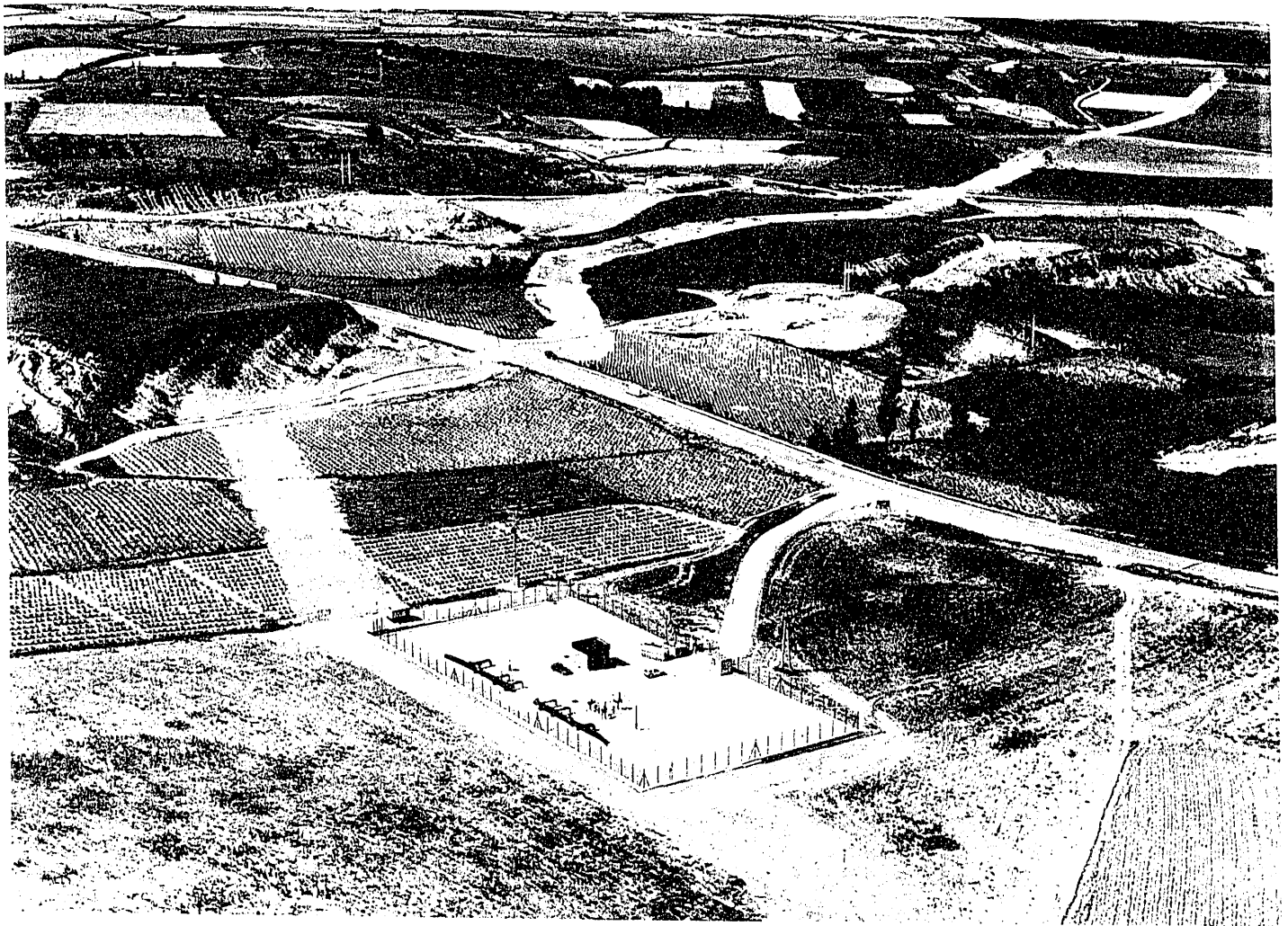
- 510.000 m³ de excavación en todo tipo de terreno
- 105.000 m³ de excavación en roca
- 128.000 m³ de material transportado a vertedero
- 110.000 m³ de material aportado
- 14.000 m³ de hormigón

■ Obra mecánica

- 11.800 tubos incorporados (con un peso medio de 2.000 kg) (cada uno)
- 40 tubos curvados en fábrica
- 5.100 tubos curvados en obra
- 160.000 ml. de cordón de soldadura
- 39.000 placas radiográficas de 70 cm. de longitud
- 12.500 juntas revestidas.

Dificultades

Las obras del Gasoducto de Conexión, que en su conjunto se pueden calificar de dificultad media-alta, han tenido puntualmente que superar situaciones de elevada complejidad. Además de los cruces de los ríos, ya citados con anterioridad, destacan particularmente las siguientes:



Posición con trampa de rascadores

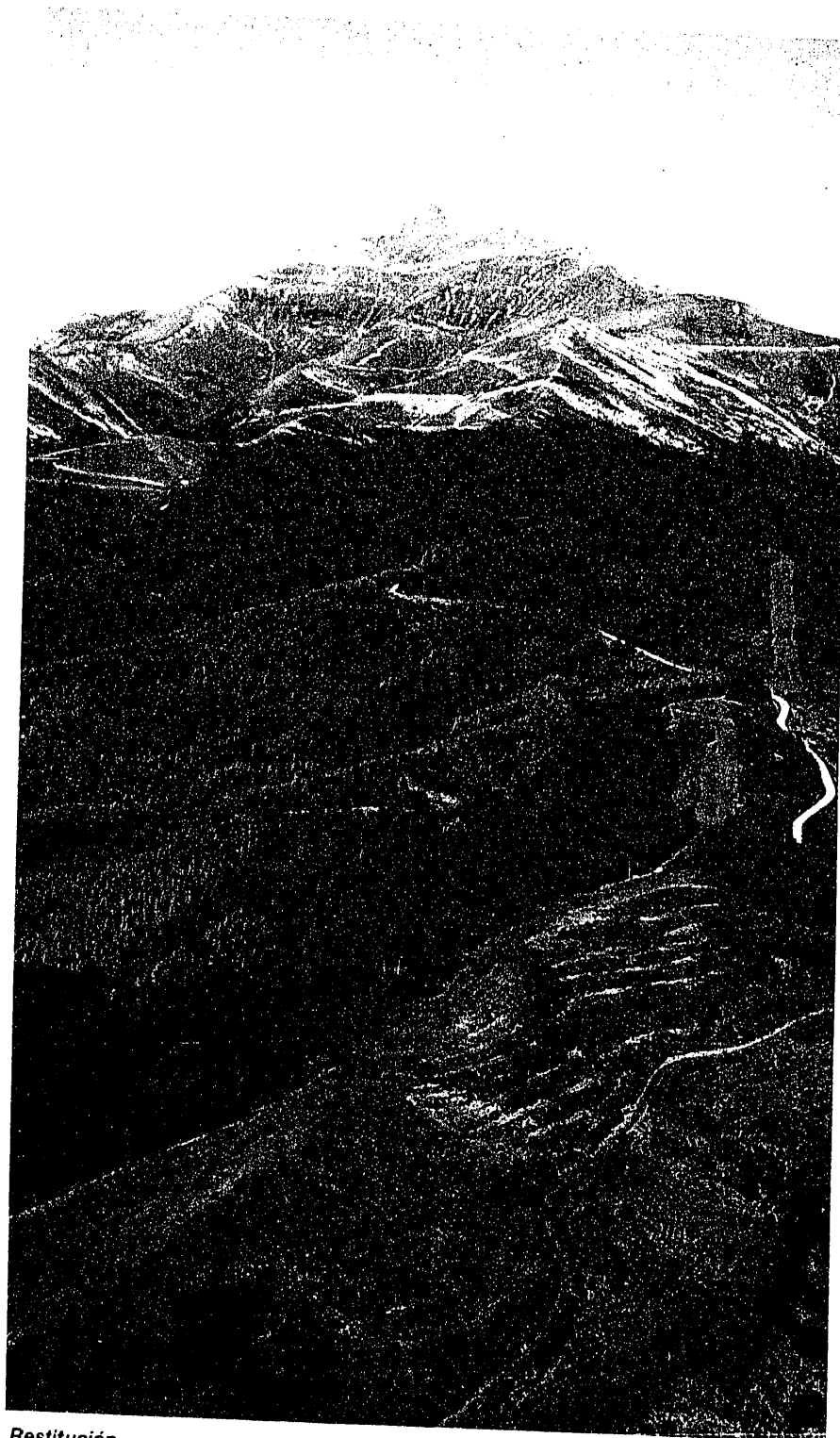
■ Se han retirado de la pista, en la zona del puerto de Larrau, 12.000 m² de pastos subalpinos en forma de "tepes", que se han mantenido acopiados durante varios meses en condiciones adecuadas de tempero. Posteriormente se han reposito a su emplazamiento original. Las operaciones han tenido que realizarse en un alto porcentaje a mano.

■ El ancho de pista, en la gran masa boscosa del Término Municipal de Esparza (3.000 ml.), se ha restringido a exclusivamente 12 metros. La fuerte pendiente transversal del trazado ha requerido además la realización de la pista en dos niveles. Toda la zona presenta un porcentaje de roca próximo al 80%. Su cota mínima supera los 1.100 metros.

■ Se han realizado 2.000 ml. de paralelismo con la carretera NA-2011, tendiéndose la tubería en la cuneta de ésta. La anchura disponible para

los trabajos ha sido, una vez descontada la zanja, de escasamente 4 metros. El inevitable cierre al tráfico de la carretera ha obligado a programar los trabajos durante el cierre invernal del Puerto de Larrau. Han sido necesarios 4.000 m³ de hormigón para proteger la tubería de las cargas exteriores.

■ La superación de tres grandes crestones rocosos, en el valle del río Salazar, estaba inicialmente prevista mediante la realización de cuatro microtúneles. La solución hubo finalmente que abandonarla, a la vista de las características de la roca a perforar y del impacto ambiental generado por las embocaduras de los microtúneles. Alternativamente ha sido preciso instalar la tubería, en tres zonas distintas, en la cuneta de la carretera NA-117, manteniendo al mismo tiempo el tráfico de vehículos con cortes de duración no superior a diez minutos. Se han bulonado parcialmente los crestones, al objeto de minimizar el riesgo de



Restitución

desprendimientos. La tubería se ha protegido frente a las solicitaciones producidas por la ampliación prevista de esta carretera.

■ La adecuada restitución de los terrenos ha requerido la aportación de 8.500 m³ de tierra ve-

getal, estando en curso la revegetación de un área próxima a los 650.000 m². Esta actividad incluye la plantación de árboles de 2-3 savias.

El gasoducto y el medio ambiente

Pese a que los gasoductos no están sujetos, de acuerdo con la legislación vigente, a la declaración de Impacto Ambiental, ENAGAS ha optado por dar en esta obra un tratamiento preferente a los factores medioambientales puestos en juego. Desde un primer momento, en la fase de la elección del trazado, las implicaciones medioambientales han tenido una importancia decisiva. El proyecto constructivo incluye un estudio detallado de impactos, cuya propuesta de medidas correctoras, previa aprobación por los organismos competentes del Gobierno Navarro, ha sido puesta en práctica sin escatimar esfuerzos. De la inversión total del proyecto, algo más de un 4% ha sido la cifra dedicada a la protección del entorno natural (340 millones de pesetas). En este sentido, las facetas más relevantes de las obras han sido las siguientes:

■ Impartición de cursillos para la sensibilización del personal participante en las obras.

■ Presencia constante de asesores especialistas en medio ambiente durante la ejecución de los trabajos.

■ Minimización de las áreas de pastos subalpinos ocupadas.

■ Retirada, conservación y reposición de 12.000 m² de pastos subalpinos.

■ Minoración de la afección a masas boscosas.

■ Elusión de zonas con especial interés faunístico.

■ Prohibición de voladuras.

■ Transporte a vertedero de la totalidad de los volúmenes de materiales sobrantes de la obra civil.

■ Reducción de la afección a aguas, márgenes y cauces en cruces de ríos.

■ Modificación del diseño de los hitos de señalización en zonas de especial impacto visual.

■ Reposición simulada de farallones y afloraciones rocosas.

■ Revegetación y reposición de suelos en vertederos y préstamos.

■ Adopción de colores de terminación, en partes vistas, acordes con el entorno

Control de calidad

■ Organización

En estas obras se ha iniciado la implantación de un sistema de control de calidad de producción. No obstante, y en tanto en cuanto esta cultura no vaya arraigando y madurando en nuestros contratistas, se ha seguido considerando imprescindible mantener un control de calidad de recepción realizado por cuenta de o directamente por ENAGAS. Con este objeto se han destacado a las obras tres equipos, uno por tramo constructivo, pertenecientes a otras tantas empresas de ingeniería. A todos ellos se les ha agregado personal de empresas con calificación de Entidad Colaboradora con el Ministerio de Industria y Energía. Por parte de ENAGAS ha habido un Ingeniero Residente y dos Ayudantes. También se ha contado con la presencia de un equipo de especialistas en medio ambiente. En su conjunto, el número de personas ha tenido un máximo de 47 que, en términos económicos, ha representado el 5% del total de la inversión del Proyecto.

Esta organización ha tenido encomendadas, dentro del control de calidad y como más relevantes, las siguientes responsabilidades:

- Recepción y traceado de materiales en obra.
- Supervisión y aceptación de pruebas y ensayos.
- Emisión y aprobación de documentos finales y planos según construcción.

■ Ensayos y pruebas

Son numerosos los ensayos y pruebas que se han realizado durante y a la conclusión de las obras. Se enumeran los más significativos:

- Calibración de tubos curvados.
- Ensayos no destructivos, mediante gammagrafía y/o líquidos penetrantes, del 100% de las juntas de soldadura.
- Ensayos destructivos, sobre el 1% de las juntas soldadas, con determinación de características mecánicas.
- Ensayos destructivos del 2% de las juntas revestidas.
- Prueba hidráulica de la resistencia y de la estanqueidad de la conducción.

■ Control dimensional del interior de la conducción una vez tapada y tras las pruebas hidráulicas.

■ Verificación del estado del revestimiento con tubería tapada y a la conclusión de las obras.

La operación de puesta en marcha del gasoducto se ha realizado directamente por ENAGAS. Por cuestiones operativas se ha dividido en dos fases. En una primera, en el mes de julio pasado, se ha puesto en marcha el tramo Villar de Arnedo-Lumbier, con gas procedente del gasoducto Barcelona-Bilbao. En una segunda, ya con gas procedente de Europa, se ha puesto en gas a finales de septiembre el tramo Frontera-Lumbier.

Puesta en marcha

La operación de puesta en gas obviamente consiste en rellenar con gas natural la conducción. Para ello previamente se comprueba la sección libre del tubo en toda su longitud para, a continuación, introducir por delante del gas e impulsado por éste un "tren" integrado por los siguientes elementos (se indican los volúmenes empleados en la puesta en gas del tramo Frontera-Lumbier):

- Nitrógeno (350 m³)
- Pistones de separación
- Metanol (24 m³)
- Pistones de separación
- Gas (10.000 m³)
- Pistones de separación
- Metanol (36 m³)
- Pistones de separación
- Gas de impulsión y llenado

El metanol, altamente higroscópico, seca las paredes del tubo. El nitrógeno y los pistones empaquetan los diferentes productos e impiden que se creen atmósferas explosivas mezcla de aire-metanol o aire-gas. Los "trenes" se introducen y extraen en las posiciones con trampas de rasca-dores.

Agradecimientos

Son muchas las empresas de ingeniería y contratistas que han ayudado y colaborado con ENAGAS para hacer realidad este proyecto. Desde aquí les agradecemos el esfuerzo realizado.■

En la fase de la elección del trazado, las implicaciones medioambientales han tenido una importancia decisiva