

EL PROYECTO DEL CANAL DE NAVARRA

Por Oswaldo Zaera Borobia (C.H. del Ebro), Javier Castiella Muruzábal (Gobierno de Navarra), Jesús Contreras Olmedo (Iberinsa) e Iñigo Barahona Fernández (Ayesa)

El canal de Navarra es un ambicioso proyecto emprendido en el marco del convenio MOPT (C.H. del Ebro)-Gobierno de Navarra que, tomando aguas del embalse de Itoiz, pondrá en riego 60.000 Has. de las zonas Baja y la Ribera. Para ello será preciso un trazado de 145 Km. con unas obras, cuyo coste se situará por encima de los 60.000 millones de pesetas y cuya contratación está prevista comenzarse en el presente año.

La infraestructura hidráulica actual de Navarra se encuentra al límite de sus posibilidades

1.- DESCRIPCIÓN GENERAL

■ Origen y razón de ser

El agua es un recurso natural imprescindible para la vida que permite podamos realizar la inmensa mayoría de nuestras actividades de forma que todas las sociedades avanzadas se preocupan por contar con cantidades suficientes de este bien, insustituible para el desarrollo económico y social.

La Comunidad Foral de Navarra dispone sin duda de un elevado potencial de riqueza hidráulica, evaluado en algo más de 10.000 Hm³ de agua circulando por sus ríos cada año. Sin embargo, la inexistencia de un sistema adecuado de embalses, canales y conducciones, hace que sólo se esté aprovechando un 10 % de los recursos disponibles, sufriendo además las consecuencias de las avenidas sin controlar, características de la irregularidad de los ríos españoles.

El desequilibrio entre recursos disponibles y regulables se manifiesta con especial incidencia en épocas de sequía (de las que el presente año es un claro exponente), existiendo problemas de abastecimiento en ciertas zonas de Navarra. Se estima que un 7 % de los habitantes de Navarra padecen este problema de forma permanente, aumentando esta cifra hasta el 15 % durante la época del verano. Por otro lado, no hay agua para atender los regadíos existentes, y mucho menos para nuevos regadíos en la zona media y Sur de Navarra, existiendo dificultades en algunas zonas para satisfacer las demandas industriales.

■ Historia

Desde la construcción del embalse de Yesa en el año 1954, sólo ha entrado en servicio en Navarra un nuevo embalse (Eugui 1971), con la fina-

lidad de abastecer a Pamplona. Puede afirmarse que la infraestructura hidráulica actual en Navarra se encuentra al límite de sus posibilidades. Por ello, las Instituciones de Navarra han puesto en marcha un trascendental programa de obras hidráulicas en colaboración con el Ministerio de Obras Públicas y Transportes que incluye 8 grandes obras de regulación y que suponen la construcción de 7 nuevas presas y un gran canal que lleve el agua de la zona Norte de la Comunidad, a las zonas media y Sur de Navarra, donde por otro lado se sitúan los terrenos potencialmente regables de mejores características.

Estas obras están constituidas por los embalses de Itoiz, Arizarte, El Ferial y el recrecimiento de la presa de Yesa en la Cuenca del río Aragón; los embalses de Urdalur y Araziz en la Cuenca del río Arga; el embalse de Oteiza en la Cuenca del río Ega y el Canal de Navarra con origen en el embalse de Itoiz y final en la margen derecha del Ebro (Fig. 1).

Del conjunto de estas obras, el sistema de regulación integrado por el embalse de Itoiz y el Canal de Navarra, es sin duda la obra más destacada y va a permitir controlar unos recursos anuales en torno a los 600 Hm³ que servirán para poner en regadío 60.000 nuevas Ha., consolidar otras 16.000 Ha. ya existentes y asegurar el abastecimiento de una población superior a los 200.000 habitantes.

La idea de construir un gran canal para llevar agua a amplias zonas de la geografía navarra no es nueva, siendo un tema candente en Navarra desde principios de este siglo. Ya en 1928 el Plan de Obras de la Confederación Hidrográfica del Ebro contemplaba el Canal de Navarra (llamado entonces Acequia de Navarra), con su origen en el Canal de Bardenas. La idea cobró actualidad en la década de los 50, cuando incluso se redacta un «Anteproyecto del Canal de Navarra», que fue finalmente desestimado al utilizar caudales ya asig-

problemas de: pendiente excesiva, profundidad insuficiente de suelo, salinidad y/o drenaje y aquellas que por su aislamiento o poca envergadura no eran, económicamente, transformables en regadío.

Este informe iba todavía más lejos: estimaba, por experiencias, que la superficie neta correspondiente sería un 9 % menor, es decir 146.403 Has. y las dividía con 87 áreas de riego a cada una de las cuales le asignó una prioridad (A, B, C, D, E, F, —A: prioridad máxima y F, nula—) de riego basado tanto en criterios de demanda de agua (climatología) como de demanda de tierras de regadío (cultivos); quedando distribuida:

Prioridad	Superficie (Has.)
A	23.109
B	62.705
C	38.628
D	21.875
	146.407

Indirectamente, en este informe se marca el límite norte del regadío de Navarra, según se indica en la figura 1. De esta línea hacia arriba no se incluye ninguna superficie regable, apuntándose que resultaría más conveniente encontrar soluciones locales e independientes, a base de pequeños embalses.

Posteriormente y dividiendo el área regable en 17 zonas climáticas se abordó la tarea, nada fácil, de establecer las alternativas de cultivos y en consecuencia, la demanda potencial de agua del embalse de Yesa y futuro embalse de Itoiz.

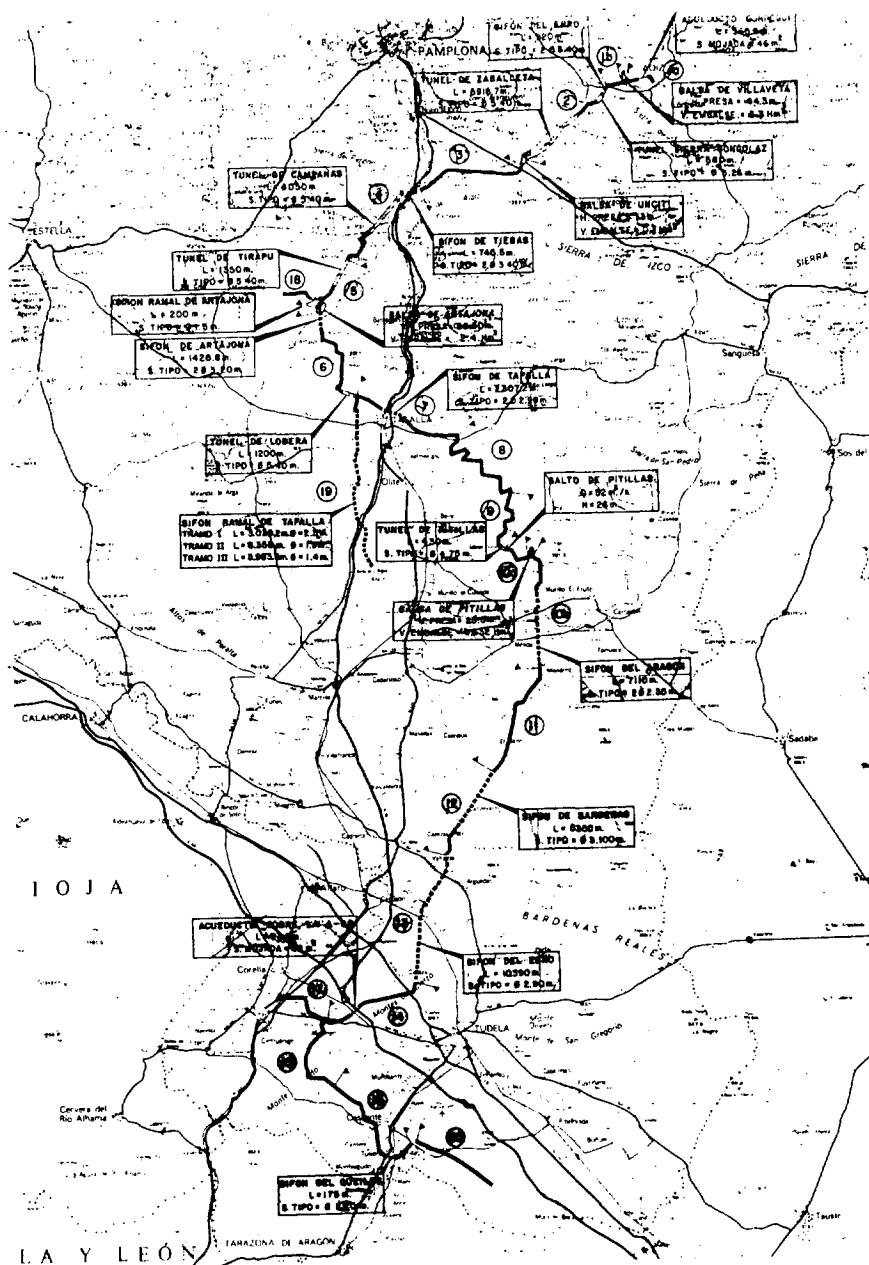
Basándose en este informe, INTECSA (diciembre 85), bajo la dirección de Riegos de Navarra, S.A. realizó el Estudio de Alternativas en la Utilización de agua de riego desde el futuro Embalse de Itoiz y Canal de Bardenas a zonas situadas en las márgenes izquierda y derecha del río Ebro (Navarra) cuyo objetivo final era la elección de la mejor alternativa para la conducción principal, considerando los distintos trazados posibles desde un punto de vista geológico-geotécnico y económico.

Se barajaron tres hipótesis de regulación: Itoiz 400 Hm³; Itoiz 400 Hm³ y Yesa 100 Hm³; Itoiz 400 Hm³ y Yesa 200 Hm³ y otras tantas de trazado con diferentes orígenes del agua.

La solución elegida por el Gobierno de Navarra por varios motivos fue la denominada en el estudio como: «Recursos de Itoiz. Zonas de Riego Tafalla y Margen derecha del Ebro».

Una vez adoptada esta solución, Riegos de Navarra, S.A. retoma el asunto y elabora (agosto 1986) un estudio donde ya se ajustan las superficies que podrían regarse con el trazado elegido: «Informe de viabilidad técnico económica para la puesta en riego de 57.713 Has. de nuevos regadíos, con caudales regulados en el futuro Embalse de Itoiz y áreas regables situadas en los márgenes derecha e izquierda del Río Ebro (Navarra)».

Obviamente, este último informe consiste en una concreción del primero en la solución específica elegida, donde ya se desciende a calcular el caudal de diseño del canal y un segundo perfilado



do de las áreas potencialmente regables con el trazado adoptado.

Figura 2.

Resultó una demanda de caudal total en cabecera de 39,402 m³/seg. Posteriormente, en fase de proyecto se adoptó un coeficiente como rendimiento de red, de 7/6 con lo que resultó un caudal de diseño en cabecera de Q = 45 m³/seg.

□ Anteproyecto y Proyecto de Trazado

En mayo de 1988, el Gobierno de Navarra y la C.H.E. firman un acuerdo de colaboración para proceder de forma conjunta a la redacción del Anteproyecto y Proyecto de Trazado de toda la conducción del Canal de Navarra con origen en el Embalse de Itoiz, tomando como punto de partida el

Desde el embalse de Itoiz hasta la laguna de Lor, el Canal recorre con sus 177 kilómetros toda la zona media y la Ribera de Navarra

trazado definido en los estudios agronómicos elaborados por el Gobierno de Navarra en el año 86. Los trabajos se inician en septiembre de ese año con la asistencia técnica de las empresas consultoras IBERINSA y AYESA constituidas en unión temporal de empresas (IBAYNA), que han sido las encargadas de redactar además, los sucesivos proyectos de construcción del Canal encontrándose en la actualidad en fase de finalización de los mismos.

En una primera etapa se procedió a encajar sobre topografía 1/10.000 el trazado del canal, diseñándose en base a él la primera campaña de reconocimientos y una primera distribución de compuertas y balsas para regulación, investigándose en los organismos competentes y con visitas al trazado sus interferencias con los planteamientos urbanos y zonas ecológicas protegidas. Con la información recogida se procedió a redactar el anteproyecto del Canal sobre topografía 1/5.000 cuyo objetivo era definir sus datos básicos técnicos de forma que se pudiera obtener una primera valoración de las obras. Esta primera etapa se finalizó en abril de 1989.

A partir de esta fecha se iniciaron los trabajos para la redacción del proyecto de trazado cuyo objetivo prioritario era la definición completa del trazado sobre topografía 1/1000 obtenida específicamente para este proyecto, garantizando su viabilidad técnica y diseñando el sistema de regulación a adoptar en el canal. Como segundo objetivo, se trataba de profundizar en el grado de definición de las estructuras más singulares para posibilitar una más ajustada valoración de las obras. Estos trabajos se concluyeron en mayo de 1990 de forma conjunta con el proyecto de construcción del primer tramo del Canal y de la presa de Itoiz.

Para conseguir estos objetivos, se ha obtenido la cartografía a escala 1/1.000 en más de 6.000 Ha. extendidas a lo largo de la traza del canal, implantándose una red poligonal de hitos topográficos a partir de la red de tercer orden existente en Navarra, colocándose un total de 200 señales que servirán de base para el futuro replanteo de las obras.

Asimismo, se ha creado una red de nivelación de alta precisión de especial importancia en una obra de estas características, formada por cerca de 300 señales distribuidas en el trazado de forma uniforme, lo que permitirá acometer las obras de varios tramos del canal de forma simultánea, si esto fuera oportuno.

Un factor decisivo en estas primeras fases de los trabajos fue sin duda el conocimiento de las características geotécnicas de los terrenos sobre los que se asienta, así como la disponibilidad de materiales susceptibles de ser utilizados en su construcción. Para este fin y a lo largo de las fases de anteproyecto y proyecto de trazado, se emprendieron reconocimientos exhaustivos del terreno, realizándose 117 sondeos a rotación con más de 2.500 metros de perforación, 100 sondeos eléctrico-verticales, 5.250 metros de perfiles sísmicos y cerca de 300 calicatas, con obtención de un sinfín de muestras ensayadas de laboratorio, lo que ha permitido la identificación de terrenos y en definitiva asegurar la viabilidad técnica de la obra.

En la concepción del Canal de Navarra ha habido una serie de puntos básicos establecidos en el inicio de los trabajos y que constituyen los ejes fundamentales sobre los que ha pivotado su diseño que se pueden resumir en:

a) **Recursos:** Como todo canal moderno, debe ser capaz de aprovechar la totalidad de recursos disponibles, minimizando e incluso anulando las pérdidas o vertidos en sus distintas fases de operación.

b) **Capacidad:** El Canal de Navarra es una obra para el futuro, por lo que debía diseñarse para caudales superiores a los contemplados como estrictos para riesgos en el momento actual, de forma que no queden hipotecadas posibles ampliaciones de zonas de riego o abastecimiento, o incluso el cambio en la ubicación de alguna de estas zonas.

c) **Afecciones:** Evidentemente, dadas las características de la obra (180 Km. de canal), existen impactos negativos imposibles de evitar, tales como la destrucción de la vegetación en su zona de ocupación o la modificación del paisaje. Estos impactos se minimizarán con medidas correctoras tales como vegetación de taludes y buscando además impactos positivos, como la habilitación de balsas para esparcimiento o la regeneración de lagunas naturales y cauces que en la actualidad pudieran encontrarse deteriorados. Del mismo modo el trazado se ha realizado, aún a costa de un mayor presupuesto de las obras, evitando afecciones a planteamientos urbanos y zonas de interés ecológico.

En cuanto a afecciones sobre planteamientos urbanos existentes o sobre zonas ecológicas de interés, se debían evitar con carácter prioritario, modificando su trazado aun a costa de un mayor presupuesto de las obras.

■ Descripción de las obras

El Canal de Navarra, con una longitud total de 177 Km., ha quedado dividido en 20 tramos: del 1 al 16 corresponden al tronco y del 17 al 20 a sus ramales principales (Fig. 2).

El canal se inicia en la obra de toma del embalse de Itoiz, a una cota de 527 m. sobre el nivel del mar y con una capacidad de transporte de 100 m³/seg.

En sus primeros kilómetros el Canal se dirige en dirección Oeste, hacia las proximidades de Villaveta. Salva el arroyo Gurpegui mediante un acuerdo de gran capacidad y de 364 m. de longitud.

Posteriormente alcanza la balsa de Villaveta, pieza clave para la regulación del canal. Esta balsa tiene una presa de 44 m. formada por materiales sueltos de escollera con núcleo impermeable de arcilla y una capacidad de 5,3 Hm³.

El canal remonta a continuación el valle del río Erro por su margen izquierda hasta las proximidades de Urroz, donde se produce el cruce del río mediante un sifón de 920 m. de longitud.

Ya en la margen derecha del río Erro, el canal se encuentra con la sierra de Góngolaz, que se atraviesa mediante un túnel de 637 m. de longitud.

SITUACION GEOLOGICA DEL CANAL DE NAVARRA

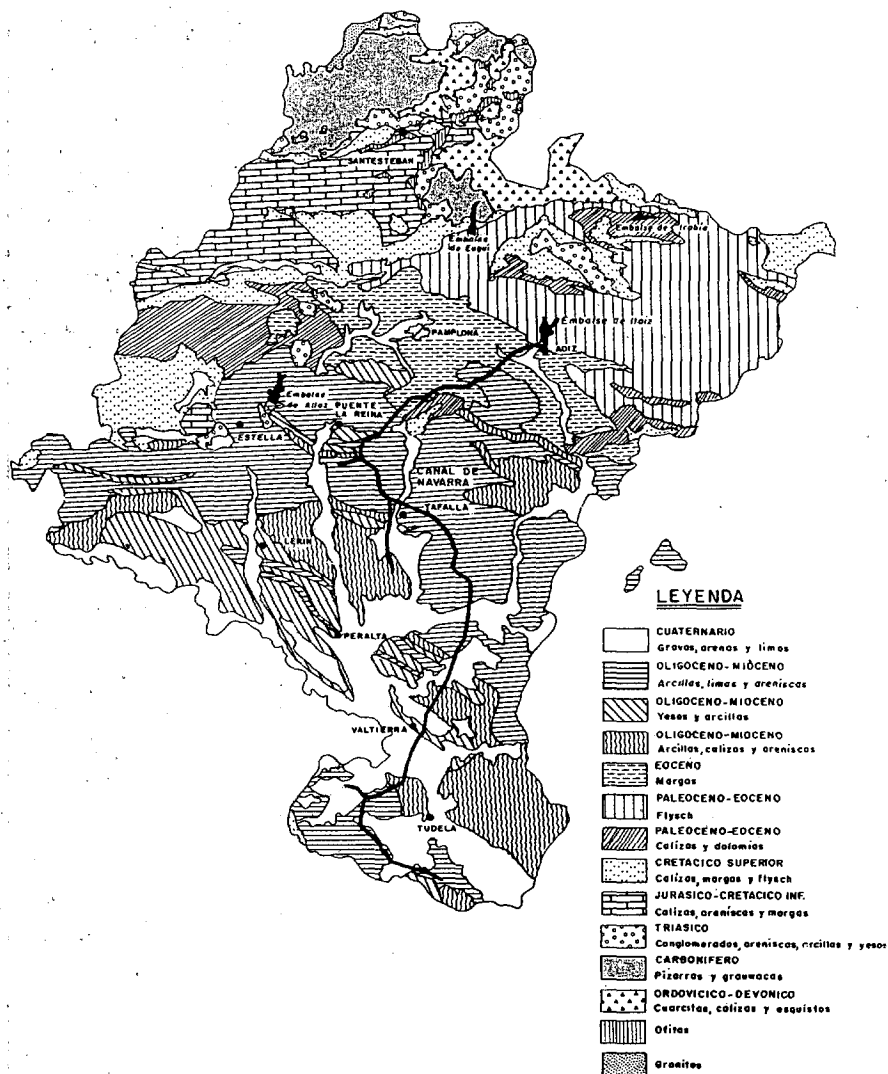


Figura 3.

una longitud de 15,2 Kilómetros y un caudal de 9,9 metros cúbicos por segundo. El trazado de este ramal queda claramente orientado hacia la zona regable de Olite.

En la llegada del canal a Tafalla se encuentra el origen de un nuevo sifón, de 2.307 metros de longitud, que posibilita el cruce del río Cidacos y de tres importantes vías de comunicación, como son la autopista, la carretera nacional y el ferrocarril.

Desde la terminación del sifón de Tafalla, el canal continúa en dirección Este con trazado paralelo a la carretera de Tafalla a San Martín de Unx. En las proximidades de esta localidad gira hacia el Sur. Después de atravesar los municipios de Beire y Ujué entra en el término municipal de Pitiillas, donde se ubica la última balsa de regulación.

La balsa de Pitiillas es otro de los hitos importantes del Canal. Se sitúa sobre el arroyo de Mos-tracas, afluente del río Aragón. Está formada por

Desde la vertiente sur de esta sierra, el canal discurre unos pocos kilómetros a cielo abierto y en dirección Sur-Oeste para volver a enterrarse en el subsuelo y poder salvar la divisoria entre las cuencas de los ríos Erro y Unciti.

Para este fin se proyecta el denominado túnel de Zabalqueta, de 5.850 metros de longitud y sección circular de 5,40 metros. Este túnel es sin duda una de las obras más importantes del Canal.

El final del túnel se sitúa sobre una segunda balsa de regulación: la balsa de Unciti, con 0,3 hectómetros cúbicos de capacidad. La balsa se ubica sobre el río Unciti, junto al cruce de la carretera de Pamplona a Huesca con la carretera de Urroz a Campanas, y está formada por un dique de gravedad de 18 metros de altura.

Desde este punto el Canal se dirige en dirección Sur-oeste atravesando el valle del río Elorz, para después bordear la sierra de Alaiz por su vertiente Norte, hasta alcanzar la autopista Pamplona-Tudela junto a la localidad de Tiebas.

Este es otro de los puntos delicados del trazado, ya que es necesario cruzar no sólo la autopista sino también la carretera nacional y la vía del ferrocarril. El paso se efectúa mediante un sifón de 1.350 metros.

A partir de aquí, el Canal sigue en la misma dirección hacia el municipio de Artajona. El terreno es bastante ondulado, lo que obliga a la construcción de dos nuevos túneles.

El primero, Túnel de Campanas de 4.050 metros de longitud, se inicia aguas abajo del sifón de Tiebas. Discurre por el municipio de Campanas, paralelo al trazado de la autopista y del ferrocarril. Sale al aire libre una vez cruzada la carretera que va de Campanas a Puente de la Reina.

El canal gira hacia el sur para salvar la localidad de Tirapu, a la que bordea por su zona Sur-este, para a continuación volver a entrar en un segundo túnel, de 1.300 metros de longitud (túnel de Tirapu).

A la salida de este túnel se sitúa la primera derivación para riego. A tal fin existe un ramal a cielo abierto, de 3.700 metros de longitud y caudal de 2,4 metros cúbicos por segundo, que va en dirección oeste hasta alcanzar la zona regable situada en Artajona.

El tronco principal del canal continúa unos kilómetros adelante y llega a la tercera de las balsas de regulación proyectadas: la balsa de Artajona. Esta balsa está formada por una presa de materiales sueltos, homogénea de 33,6 metros de altura, que crea un embalse de 2,4 hectómetros cúbicos.

Hasta aquí, el Canal ha recorrido 38,4 kilómetros con un caudal de 45 metros cúbicos por segundo, excepto en la parte inicial, que alcanza por razones de explotación óptima un caudal de 100. En la balsa de Artajona finaliza la parte del canal considerada fundamentalmente de transporte.

Desde esta balsa, el canal se dirige en dirección Sur-este hacia Tafalla, serpenteando en torno a la carretera de Artajona a Tafalla.

Para salvar una zona de mayor relieve, conocida como Lobera, es necesaria la construcción de un nuevo túnel, de 1.200 metros de longitud.

A la salida del túnel de Lobera se produce la derivación del llamado ramal de Tafalla, que tiene

6 túneles (13,5 km.)
12 sifones (51,0 km.)
2 acueductos (570 m.)

una presa de materiales sueltos de 25 metros de altura, que forma un embalse de 0,6 Hm³.

Hasta este punto, el Canal de Navarra ha recorrido, desde su inicio en Aoiz, un total de 78,5 kilómetros, sin contar los 19 kilómetros de los ramales de Artajona y de Tafalla.

A lo largo de nueve tomas se ha derivado un caudal de 20,73 metros cúbicos por segundo para alcanzar las zonas regables de Artajona, Tafalla y Olite, es decir, las situadas en la margen derecha del río Aragón, en la zona media de Navarra, con una superficie total puesta en riego de unas 26.000 hectáreas.

A partir de la balsa de Pitillas, al canal se dirige en dirección Sur atravesando el valle del río Aragón mediante un gran sifón de 7.110 metros de longitud. Llega a la zona alta de «El Plano», para introducirse posteriormente en la depresión de las Bardenas Reales, donde se proyecta un nuevo sifón de 5.915 metros de longitud, que tiene su salida en las proximidades de la Ermita de Ntra. Sra. del Yugo, en la zona del «Planillo», que es cruzada por el Canal hasta su vertiente Sur.

En este punto se inicia el sifón del valle del Ebro, otra de las grandes obras del canal. Tiene una longitud de 10.390 metros. La tubería de descenso del sifón se sitúa en la margen izquierda del río, pasa entre las localidades de Valtierra y Arguedas, para mantenerse en dirección sur hasta alcanzar el Noroeste de Tudela.

El canal lleva recorridos desde su origen en Aoiz un total de 117 kilómetros y desde la balsa de Pitillas un total de 38. El caudal total derivado para riegos es de 6,3 metros cúbicos y permite la puesta en riego de una superficie próxima a los 8.100 hectáreas situadas en ambas márgenes del río Aragón, zona de Bardenas y margen izquierda del río Ebro.

A partir del sifón del Ebro, el Canal de Navarra se dirige ya hacia su final en la laguna de Lor junto a Ablitas con un tratado en zig-zag. Atraviesa en dirección Sur-oeste los Montes del Cierzo. Posteriormente pasa junto a los municipios de Cintruénigo, Cascante, Tulebras y Barillas antes de verter sus aguas en la Laguna de Lor.

La longitud total de estos tramos finales es de 28 kilómetros, derivándose en ellos un caudal de 17,8 metros cúbicos por segundo para regar una superficie de 23.600 hectáreas, para lo que se proyectan dos ramales: el ramal de Corella y Cintruénigo y el ramal de Ablitas.

En resumen, la longitud total del Canal de Navarra, desde su origen en Aoiz hasta la Laguna de Lor en Ablitas, es de 177 kilómetros: de ellos, 145 corresponden al Canal y los 32 restantes a sus ramales principales.

Las obras del canal incluyen la construcción de 6 túneles, con una longitud de 13,5 kilómetros; 12 sifones, con una longitud total de 51,0 kilómetros; y 2 acueductos, con una longitud de 570 metros.

Incluye también cuatro balsas de regulación, con una capacidad de almacenamiento de 8,6 hectómetros cúbicos.

■ Proyectos de Construcción

Una vez finalizado el Proyecto del trazado del Canal y el de construcción del primer tramo, se

está continuando con el resto de los proyectos de construcción, estando previsto que se pueda disponer de la totalidad de los correspondientes a la 1.ª fase del Canal en mayo del presente año. Esta primera fase, abarca los 10 primeros tramos del Canal, los ramales de Artajona y Tafalla y las presas de Villaveta, Unciti, Artajona y Pitillas, lo que supone una definición completa del Canal desde su origen en Itoiz hasta el inicio del cruce con el río Aragón; la longitud total de estos tramos es de 97.516 metros, de los cuales 13.467 metros corresponden a túneles, 19.577 metros son en sifón y el resto (64.472 metros) a canal a cielo abierto, permitiendo la puesta en riego de una superficie total de 26.000 Ha., derivándose para ello un caudal de 20,73 m³/seg. a lo largo de 9 tomas que alcanzarán las zonas regables de Artajona, Tafalla y Olite.

2. CARACTERÍSTICAS GEOTÉCNICAS DEL TRAZADO

■ Marco geológico

La gran longitud del Canal de Navarra, y su recorrido Norte-Sur por prácticamente toda la Zona Media y Ribera Navarra, implica que se atraviesen y afecten de una gama muy variada de terrenos, de épocas geológicas diferentes, pero que presentan características geológicas similares, que nos han permitido agrupar todos los materiales existentes en una serie de unidades relativamente homogéneas en sus características geotécnicas.

Se han diferenciado un total de seis unidades, definidas de esta forma:

- I - Margas de Pamplona
- II - Arcillas, limos y areniscas (Facies de Tafalla)
- III - Arcillas, calizas y areniscas (Facies de Tudela)
- IV - Yesos y arcillas (Facies de Valtierra)
- V - Arcillas, limos y areniscas con yeso (Facies de Alfaró-Cascante)
- VI - Terrazas del Ebro y del Aragón.

Estos materiales, a excepción de las Margas de Pamplona de Edad Eocena, pertenecen al Terciario continental (Oligoceno-Mioceno) de la Depresión del Ebro.

■ Tramos 1 — 3

El inicio del trazado proyectado (tramos 1, 2 y 3) discurre sobre materiales eocenos y oligocenos, de naturaleza predominantemente arcillosa que, por lo general, originan morfologías suaves.

Dentro de estos materiales hay que destacar por su amplia representación y por sus especiales características geotécnicas la formación conocida como Margas de Pamplona.

La litología es totalmente monótona estando constituida por margas gris-azuladas, entre las que se intercalan eventualmente niveles arcillosos

**A pesar de la
variedad de terrenos
las características
geológicas son
similares, lo que
permite agrupar los
materiales en series
homogéneas**

■ Tramos 4 - 10

Al final del tramo 4, la presencia de materiales oligocenos y miocenos con gran cantidad de niveles areniscos ocasiona un cambio en la morfología, manteniéndose estas condiciones en los tramos 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 18 (ramal de Artajona) y 19 (ramal de Tafalla) en los que las litologías predominantes consisten en limos y arcillas con intercalaciones más o menos frecuentes de areniscas (Facies de Tafalla).

Estos niveles de arenisca corresponden, por lo general, a paleocanales con escaso desarrollo horizontal y espesor que oscila entre 1 y 6 m., aunque en ocasiones la potencia de las capas de arenisca es tan sólo de unos centímetros.

Hay que destacar la presencia de intercalaciones centimétricas de yeso y calizas en ciertas zonas, así como de yeso disperso en el seno de la masa rocosa.

La existencia de esta alternancia de niveles de distinta competencia origina una morfología típica, constituida por relieves abruptos, en cuyas laderas afloran los niveles más competentes.

El espesor de alteración superficial de esta formación se sitúa en torno a los 4 m., correspondiendo a un suelo del tipo CL (arcillas limosas y limo-arenosas de baja a mediana plasticidad), con límite líquido comprendido entre 32 y 42 % e índice de plasticidad entre 18 y 24 %.

El contenido en carbonatos de las margas sanas o alteradas se sitúa entre el 38 y el 44 %, mientras que el de sulfatos va desde simples indicios hasta un 7,27 %, con un valor medio de 1,13 %.

Los análisis mineralógicos realizados en los niveles lutíticos dan los siguientes resultados:

Cuarzo	10 - 30 %
Calcita + dolomita	32 - 55 %
Minerales arcillosos	30 - 55 %
Ilita	10 - 40 %
Clorita + caolinita	5 - 15 %
Esmectita	0 - 25 %

■ Tramos 11 - 13

En la zona comprendida entre los valles de los ríos Aragón y Ebro (tramos 11, 12 y 13) el trazado discurre mayoritariamente sobre los aluviales y terrazas suspendidas de los ríos mencionados y, en menor medida, sobre depósitos miocenos constituidos por arcillas con intercalaciones de calizas y areniscas (Facies de Tudela) y por los yesos masivos con arcillas de Valtierra.

Las terrazas están formadas principalmente por gravas con matriz limo-arcillosas o arenosa, que en los niveles más altos se encuentran bastante cementadas. Los aluviales contienen, además, limos y arcillas, encontrándose éstos en la parte superior de los mismos.

Dentro de estos niveles de terrazas merecen especial atención una serie de terrazas altas del río Ebro que se encuentran fuertemente deformadas por la actividad halocinética de los materiales

yesíferos que constituyen su substrato. Estos niveles localizados en el área de Valtierra han sufrido grandes deformaciones, pudiendo encontrarse estos materiales a más de 230 m. sobre el nivel actual del río.

Las facies de Tudela ocupan una gran extensión en el sur de la zona de estudio. Las litologías que forman esta unidad son esencialmente arcillosas y calcáreas, con gran predominio de las primeras.

Intercaladas entre los niveles arcillosos de tonos rojizos y pardos, se encuentran bancos de calizas de tonos claros, muy puros y compactos, que normalmente no sobrepasan los 50 cm. de espesor, pero que ocasionalmente pueden llegar a los 2 m. En la base de esta unidad, se pueden observar intercalaciones de areniscas muy calcáreas. Además se encuentran vetas de yeso fibroso y yeso disperso en toda la masa arcillosa.

La alteración superficial de las arcillas compactas da lugar a un suelo tipo CL (arcillas limosas de mediana-alta plasticidad), con límite líquido comprendido entre 42 y 55 % e índice de plasticidad entre 24 y 35 %.

El contenido en carbonatos de las arcillas alteradas presenta un valor medio del 27 %, y los sulfatos solubles oscilan entre el 0,1 y el 6 %.

La composición mineralógica de los niveles arcillosos es la siguiente:

Cuarzo	5 - 10 %
Calcita + dolomita	25 - 40 %
Minerales arcillosos	50 - 65 %
Ilita	15 - 52 %
Clorita + caolinita	0 - 45 %
Esmectita	0 - 33 %

Esta formación, con propiedades variable, presenta, por su contenido arcilloso una acusada meteorabilidad, a la que hay que añadir su susceptibilidad a desarrollar presiones de hinchamiento elevadas cuando se producen cambios importantes de humedad.

La unidad de yesos de Valtierra aflora en las proximidades del río Ebro, estando formada por una alternancia de arcillas y yesos, con mayor proporción de estos últimos en esta zona. Todo el conjunto presenta un aspecto terroso con tonalidades pardo-amarillentas.

Los niveles yesíferos se presentan en capas milimétricas o centimétricas alternando con hiladas arcillosas del mismo espesor. Intercalados entre estos niveles se encuentran capas de escala decimétrica de yesos sacaroideo, de tonos blanquecinos. Los niveles arcillosos presentan frecuentemente tonalidades gris-verdosas cuando están poco alterados.

Las arcillas presentan un riesgo de expansividad calcificado como crítico.

■ Tramos 14 - 20

A partir del valle del río Ebro y hasta el final del trazado proyectado (tramos 14, 15, 16, 17 y 20), éste discurre por una zona con relieves tabulares,

normalmente coronados por niveles de terraza del río Ebro, y formados por facies detríticas parecidas a las de Tafalla, pero con un mayor contenido yesífero (Facies de Alfaro - Cascante).

Las litologías que componen esta unidad miocena son esencialmente arcillas, limos y areniscas con intercalaciones yesíferas.

Las areniscas están formadas por gramos de cuarzo y fragmentos de roca, mayoritariamente calizas. El cemento es calcáreo y yesífero.

Los niveles más potentes de arenisca corresponden a paleocanales. Ocasionalmente, los canales están formados por depósitos conglomeráticos.

Los niveles de limos y arcillas, así como los de areniscas finas, tienen un elevado contenido yesífero que se encuentra de manera dispersa en la masa o como yeso fibroso, rellenando fisuras; ocasionalmente, se encuentran bancos de yesos sacaroides y de caliza de poco espesor.

En superficie y hasta una profundidad media de unos 3 metros, las arcillas compactas se encuentran alteradas.

En el Sistema Unificado corresponden fundamentalmente a los tipos CL y ML (arcillas limosas y arcillas arenosas de mediana-alta plasticidad, y limos arcillosos de baja plasticidad) con límite líquido comprendido casi siempre entre 30 y 50 % e índice de plasticidad entre 10 y 28 %.

El contenido en carbonatos de todo el conjunto varía entre el 30 y el 38 %, y el valor medio de los sulfatos solubles es del 3,5 %.

La composición mineralógica de los tramos lutíticos es la siguiente:

Yeso.....	0 - 20 %
Cuarzo.....	15 - 30 %
Calcita + dolomita.....	25 - 40 %
Minerales arcillosos.....	30 - 38 %
Ilita.....	20 - 25 %
Clorita + caolinita.....	5 - 10 %
Esmectita.....	0 - 10 %

Se ha confirmado un posible riesgo de expansividad en ciertas zonas de la unidad referida, habiéndose obtenido un índice de hinchamiento que califica al suelo como crítico.

Entre estos relieves tabulares, se sitúan amplios valles prácticamente horizontales recubiertos de glaciares y terrazas de los ríos Alhama y Queiles, ocupando éstas en ocasiones grandes extensiones, como por ejemplo todo el tramo 17, situado prácticamente en su totalidad sobre una terraza del Alhama.

■ Problemas geotécnicos

Las diferentes unidades geológico-geotécnicas que se han diferenciado, con sus propias peculiaridades, presentan, sin embargo, los siguientes rasgos comunes:

1) Están formando rocas arcillosas de resistencia baja a media, con diferente grado de carbonatación y variable presencia de yesos en su composición.

CUADRO RESUMEN DE CARACTERÍSTICAS LITOLÓGICAS Y GEOMECÁNICAS

	Margas de Pamplona	Margas facies de Tafalla	Margas finas de Tudela	Margas facies Alfaro-Cascante
Clasificación USCS	CL	CL	CL	CL, ML
Límite líquido	40-47	32-42	42-55	30-50
Índice de plasticidad	20-25	18-24	24-35	10-28
Densidad seca (margas alteradas)	1,72-2,07	1,83-1,98	1,7-1,9	1,37-1,61
Densidad seca (margas sanas)	2,42-2,57	2,49	2,17	2,07-2,25
Humedad (margas alteradas) %	1,18-17,20	12,2-16,6	15,3-20,7	26,5-29,9
Humedad (margas sanas) %	2,8-5,3	4,36-6,2	3-10	7,1-15,3
qu (margas alteradas) Kg/cm ²	2-10	2-5	1-10	0,43-5
qu (margas sanas) Kg/cm ²	150-200	125-250	200	50-100
c (margas alteradas) Kg/cm ²	0,2-1,35	0-0,3	0,07-0,09	0,10
φ (margas alteradas)	25°-35°	20°-30°	24°-26°	28°
c (margas sanas) Kg/cm ²	2°-15°	11,5-12,5	15°	2,3
φ (margas sanas)	30°-35°	20°-30°	30°	25°
Módulo de deformación (m. alteradas) Kg/cm ²	250-500	150-200	100	30-300
Módulos de deformación (m. sanas) Kg/cm ²	10.500-11.650	6.300-19.500		4.125

qu = Resistencia a compresión simple

c = Cohesión

φ = Angulo de rozamiento interno

II) Estas rocas arcillosas se presentan en algunos tramos con intercalaciones de rocas arenosas y calcáreas competentes, de resistencia media a alta.

III) Debido a su componente arcilloso son rocas de tipo evolutivo, con un mayor o menor grado de alterabilidad, y por tanto son susceptibles de degradarse mecánicamente ante las variaciones cíclicas de humedad.

IV) Su alteración da lugar al desarrollo de suelos arcilloso-limosos, de baja a media competencia, y de espesor medio que recubren las distintas formaciones. Dichos suelos, en general, son dispersivos.

V) No suelen existir aguas subterráneas próximas a la superficie, salvo en el cruce de los diferentes ríos y algunos niveles colgados detectados a favor de las rocas arenosas.

Los principales problemas a resolver son por tanto los derivados de la presencia y características de estos terrenos, entre los que destacan los siguientes:

Alterabilidad de los suelos por cambios de humedad que condiciona el diseño del revestimiento del canal, evitando en lo posible el contacto del agua con estos materiales.

Esta circunstancia condiciona también las inclinaciones de los taludes de las excavaciones a realizar con objeto de garantizar su estabilidad a largo plazo, y a adoptar sistemas de protección ante pequeñas caídas de material.

Presencia de formaciones con rocas permeables en alternancia con rocas arcillosas impermeables, que permiten la circulación subterránea de agua y la existencia de aguas colgadas que deben ser drenadas, singularmente en los tramos 5, 6, 7, 8, 9 y 10 del Canal.

Presencia de minerales solubles, especialmente yeso, dentro de las rocas arcillosas o rellenando fisuras existentes dentro de la masa rocosa, que por una parte son agresivos a los conglomerantes hidráulicos y por otra son susceptibles de ser disueltos en contacto con el agua. Estos problemas aparecen de forma discontinua a lo largo del Canal, especialmente en los tramos 2, 5, 12, 13, 14, 16 y 20.

Por otra parte la alteración de estas rocas originan suelos limo-yesíferos de carácter metaestable que deben ser tratados geotécnicamente para evitar una evolución desfavorable posterior.

■ Presencia de componentes mineralógicos arcillosos de carácter expansivo, montmorillonitas y esmectitas principalmente, que por absorción de la humedad ambiental o en contacto con el agua, sufren importantes cambios de volumen, y son origen de importantes problemas geotécnicos especialmente en obras hidráulicas como las del Canal. Estos problemas se han detectado en los tramos 2, 3, 12, 13, 14, 15, 16 y 20 del Canal dentro de las unidades geológicas denominadas margas de Pamplona, y principalmente en las argilitas de las facies Tudela, Valtierra y Alfaro-Cascante.

■ El aprovechamiento de estos materiales, procedentes de las excavaciones a realizar, exige también un cuidado diseño de los terraplenes, teniendo en cuenta un sistema adecuado de puesta en obra y acondicionando al revesti-

miento del Canal de los tramos de terraplén con objeto de asegurar su estabilidad y permanencia en el tiempo.

Además de los problemas intrínsecos a los materiales existentes, existen otros derivados de la singularidad de las obras a realizar en ellos como son los túneles, balsas y los cruces en sifón de los ríos, donde se deben resolver los problemas constructivos planteados: sostenimiento de las excavaciones subterráneas y cruce dentro de estas estructuras geológicas desfavorables; excavaciones bajo el nivel freático, asegurando la protección de las obras frente a la socavación de la corriente, etc

Frente a los problemas anteriormente descritos y partiendo del conocimiento adquirido mediante el estudio geológico-geotécnico realizado, se están diseñando las diferentes obras que comprenden el Canal de Navarra, con aplicación de las técnicas más modernas y adecuadas a la realidad existente, y en base a la amplia experiencia española en construcción de obras hidráulicas.

Para la solución de los problemas derivados de la presencia de materiales evolutivos, expansivos o solubles en contacto con el canal, se han diseñado diferentes sistemas de protección que van desde la interposición de una lámina plástica impermeable entre el terreno y el revestimiento del canal, a la sustitución del terreno natural por un relleno inerte e impermeable denominado CNS (cohesive non swelling). En aquellos tramos donde la presencia de niveles permeables podrían originar aguas subterráneas someras que desequilibrasen el canal se ha optado por la sustitución del terreno natural por material de relleno drenante. La conjunción de los diferentes problemas geotécnicos con la naturaleza de los materiales afectados ha dado lugar a nueve tipos de revestimiento distintos.

Los taludes de las excavaciones en desmonte y en terraplén se han ajustado teniendo en cuenta la estructura del macizo rocoso y la orientación de sus juntas mecánicas, la resistencia al corte del material y su probable evolución a lo largo del tiempo. En aquellos tramos donde la presencia de rocas competentes diaclasadas pudiera dar lugar a caídas aisladas de material, se han dispuesto cunetes de protección al pie de los taludes. En el apoyo de los terraplenes se ha considerado la retirada de los terrenos sueltos y menos competentes cuando su espesor es reducido. Cuando este espesor alcanza magnitudes considerables en general superiores a 4 m., se ha optado por diseñar un tratamiento en consolidación geotécnica (compactación dinámica, etc.). Se ha tenido especial cuidado cuando se afectaba a materiales metaestables, especialmente en los terrenos limosos presumiblemente colapsables.

Las balsas de regulación previstas se han diseñado en general en la solución de presa de materiales sueltos, tipología ampliamente desarrollada en todo el mundo, tendiendo a aprovechar los materiales locales existentes ya que se trata de altura moderada. En el diseño se han considerado los tratamientos de drenaje e impermeabilidad necesarios para asegurar la estabilidad e impermeabilidad de la cerrada y la del propio terreno ocupado por el embalse.

Por lo que respecta a los túneles se ha optado por la excavación mecánica, teniendo en cuenta la aptitud de los materiales afectados a este sistema de excavación, mediante el uso de máquinas tuneladoras a sección completa o topes en los cuatro túneles más largos e importantes del canal, y mediante máquinas de ataque puntual o rozadoras en los túneles de Lobera y Pitillas en donde su corta longitud no parece rentable la utilización del topo.

Un aspecto importante considerado es la protección biotécnica de los taludes creados, tanto en desmonte como en terraplén, mediante la implantación de especies vegetales autóctonas. Esta solución además de la mejora del impacto proporciona una adecuada y conveniente protección a los taludes, disminuyendo su erosión y reduciendo por tanto las pérdidas del suelo. Estas, si no se combaten, dan lugar a aterramientos en las obras de drenaje que dejan de funcionar a medio plazo, y ponen en peligro la estabilidad de los taludes al permitir la infiltración del agua dentro del terreno, con la consiguiente alteración y cambio en sus propiedades geomecánicas.

■ Investigación geotécnica

Un factor decisivo para el diseño del Canal ha sido la ejecución de un amplio programa de investigación y prospección geotécnica de los terrenos sobre los que se asienta. Los reconocimientos realizados se han dividido en tres fases sucesivas: Anteproyecto, Proyecto de Trazado y Proyecto de Construcción, que se corresponden con los diferentes documentos a redactar. Cabe señalar que las dos primeras fases fueron las más importantes en orden a la definición del mejor trazado posible y en orden a asegurar la factibilidad del mismo.

Así se han realizado más de 140 sondeos mecánicos a rotación, con extracción continua de testigo para observación directa del subsuelo, toma muestras representativas del terreno, tanto inalteradas como alteradas, y ensayos de resistencia in situ. También se han realizado determinaciones directas de la permeabilidad de las diferentes formaciones afectadas. En estos sondeos, cuya profundidad máxima ha sido de hasta 65 m. por debajo de la superficie del terreno se han instalado diapósitos que permiten medir la profundidad del agua subterránea, si existe, y su evolución en el tiempo. El número total de metros perforados superó los 3.000.

Como complemento de estos reconocimientos profundos se han realizado más de 370 reconocimientos superficiales de hasta 4,0 m. de profundidad, con observación directa del terreno, toma de muestras inalteradas en bloque de 0,50 x 0,50 m. y toma de muestras alteradas en saco de peso superior a 50 kg.

En aquellos lugares donde se han previsto estructuras que transmitan al terreno cargas importantes se han realizado además más de 50 ensayos de resistencia a la penetración estática, que permite medir en profundidad y de modo continuo la capacidad portante del terreno de fundación.

Con objeto de medir los espesores de alteración en las distintas formaciones, su aptitud frente a la excavación mecánica y la presencia de capas de diferente resistencia interestratificadas en el subsuelo se han realizado más de 5.500 m. de perfil sísmico de refracción y más de 100 unidades de sondeos eléctricos verticales (SEV).

Esta importante investigación ha tenido como fin la comprobación de la estratigrafía supuesta a partir del estudio geológico; determinar directamente espesores de recubrimientos y suelos de alteración; observar la profundidad de alteración de los materiales rocosos arcillosos; determinar su resistencia in situ; observar la profundidad de las aguas subterráneas y obtener los testigos y muestras necesarias para realizar ensayos en laboratorio que caractericen y cuantifiquen sus propiedades más importantes: identificación y litología, resistencia mecánica, deformabilidad, alterabilidad y erosionabilidad, presencia de sustancias solubles y minerales arcillosos expansivos, presencia de materia orgánica y posibilidad de uso en terrenos artificiales para terraplenes. Para las aguas subterráneas se ha investigado fundamentalmente su agresividad al hormigón.

Para ello se han realizado más de 600 ensayos de identificación (granulométrica, plasticidad, contenido natural de agua, etc.); más de 400 ensayos de resistencia mecánica en sus diferentes tipos (compresión uniaxial, compresión triaxial, carga puntual, etc.) en suelos y rocas; más de 60 ensayos de deformabilidad incluyendo ensayos de colapso.

Para conocer su composición mineralógica se han realizado más de 100 análisis mineralógicos por difracción y rayos X, completados con más de 260 ensayos de determinación de sustancias agresivas (sulfatos, contenido de yeso, etc.). Asimismo se han realizado más de 45 ensayos para caracterizar su capacidad de hinchamiento.

Por último para conocer su aptitud para la deformación de rellenos y estimar su puesta en obra se han realizado más de 200 ensayos de compactibilidad y de determinación de su capacidad portante.

3. CONSIDERACIONES AMBIENTALES

La consideración de los aspectos ambientales en el proyecto del Canal de Navarra se ha tenido presente desde su fase inicial con objeto de evitar cualquier afección irreversible sobre recursos del medio natural de calidad relevante.

Esta práctica, que es la adecuada en el proceso proyectual de cualquier obra, es particularmente importante en el diseño de una infraestructura lineal como el Canal, dado que su trazado presenta una gran rigidez en planta y en el perfil longitudinal, mayor incluso que la de un ferrocarril y mucho mayor que la de una carretera. Por ello, la selección de un trazado ambientalmente inadecuado en la fase inicial condicionaría de forma irreversible al proyecto.

El primer lugar se detectaron los enclaves de mayor calidad y fragilidad ecológica, paisajística o arqueológica, existentes en el corredor inicialmente definido a escala 1:50.000, que pudieran resultar afectados, buscándose en cada caso al-

La consideración de los aspectos ambientales en el proyecto del Canal de Navarra se ha tenido presente desde su fase inicial

ternativas de menor impacto. Lugares de interés como el Pinar de Santa Agueda, el Vedado de Eguaras, ciertos sotos en el cruce de los ríos Aragón y Ebro, como el Soto de la Val en el primero y el de Arguedas en el segundo, y restos arqueológicos como el dolmen de Farangotea, por ejemplo, se encontraban dentro del corredor inicial, que fue modificado para evitar cualquier afección sobre ellos. En esta primera etapa también se buscó que el tratado fuera compatible con el PlanTEAMIENTO Urbanístico vigente.

A partir de este encaje inicial de la obra en el territorio, el diseño del trazado y de Construcción ha tenido en cuenta las consideraciones ambientales en aspectos puntuales, como puedan ser en el diseño de boquillas de túneles, o de los cruces de carreteras o ríos, así como también, en la minimización de impactos de acciones de proyecto no contempladas en la fase inicial, como la localización de los lugares de extracción de materiales y de los vertederos del material sobrante. Al respecto se ha producido que los materiales para relleno se obtengan de las propias excavaciones a efectuar a lo largo del trazado, con lo que a su vez, se evita el problema de crear vertederos como consecuencia de los movimientos de tierra a que obligan la construcción de tales obras.

Dentro del Proyecto de Construcción y con su mismo nivel de detalle, se ha incluido un Proyecto de Medidas Correctoras que se ha centrado fundamentalmente en el tratamiento paisajístico del conjunto de la obra. Con objeto de integrarla visualmente en su entorno, se proyecta la implantación de los taludes de una cubierta vegetal, para lo cual inicialmente se realizan siembras con especies herbáceas que permitan la consecución de unas condiciones ambientales que faciliten una colonización posterior de estas superficies por plantas del entorno. Se proyectan también plantaciones con especies leñosas autóctonas, seleccionando en cada tramo del Canal aquellas más adecuadas de acuerdo con las características paisajísticas del entorno.

Se ha previsto la recuperación de la tierra vegetal existente a lo largo del Canal con lo cual se aprovecha un recurso de calidad que facilitará la implantación vegetal en las áreas a restaurar.

Por otra parte, el Proyecto de Medidas Correctoras ha propuesto el suministro de agua a partir del Canal para la disolución de ríos de escaso caudal, como es el caso del río Elorz, con problemas de contaminación aguas abajo de su cruce con el Canal. Asimismo, se está estudiando la viabilidad de suministrar agua a la Reserva Natural de la Laguna de Pitillas desde una balsa de regulación del Canal situada en sus cercanías lo cual sería de gran interés para un ecosistema de alto valor ecológico con problemas de déficit de agua. Asimismo, se prevé que las balsas de regulación permitan su uso recreativo y, en particular, la práctica de deportes náuticos.

4. ASPECTOS DEL PROYECTO

■ Trazado

El trazado en planta está constituido por alineaciones rectas que se acuerdan circularmente; los

radios medios son variables a lo largo del trazado pero en cualquier caso, superiores a los 100 metros.

Las pendientes longitudinales son variables según el tipo de sección; para tramos en canal a cielo abierto en general se ha ido a pendientes de 1,5 diezmilésimas mientras que en tramos en túnel esta pendiente se ha aumentado hasta 6 diezmilésimas. Estas pendientes así como las distintas secciones tipo diseñadas, se han establecido teniendo en cuenta criterios de regulación y de economía de la sección.

■ Secciones tipo

El número de secciones tipo adoptadas en los tramos en canal a cielo abierto es de 10, teniendo carácter de telescópica. En general se han adoptado secciones tipo trapezoidal, con talud de cajeros 1,5H:1V, revestida de hormigón en masa H-200 reforzado con fibra de polipropileno de espesor de revestimiento variable entre 15 y 11 cm., excepto en tres tramos de corta longitud y fuertes desmontes donde se han adoptado secciones de tipo rectangular de hormigón armado atoorresistentes.

El sistema de impermeabilización y drenaje adoptado, es muy variable a lo largo del trazado y función de los materiales disponibles en los distintos tramos, pero en cualquier caso y dadas las características geotécnicas de los materiales sobre los que se asienta el canal, responde de forma general al criterio de impedir que el agua transportada por el canal pueda alcanzar a estos materiales tanto en los tramos de terraplén como en desmonte.

Así en algunos tramos donde no existe material inerte de carácter impermeable, se garantiza la impermeabilidad del canal mediante la colocación de una lámina de polietileno de alta densidad de espesor 1,5 mm. colocada bajo el revestimiento de hormigón, mientras que en las zonas que ha sido posible disponer de materiales naturales de estas características, se ha procedido a su colocación bajo el revestimiento, formando con este material las cabezas de los terraplenes o sobreexcavando la caja en zonas de desmonte para proceder a colocar material impermeable e inerte.

Para evitar subpresiones en el trasdós del revestimiento en aquellas zonas se prevé la existencia de nivel freático, se han diseñado zanjas de drenaje longitudinales situadas bajo las banquetas que acompañan al canal, disponiéndose además de unas losetas de protección en la coronación de sus cajeros que evitan la entrada de aguas superficiales a la zona del trasdós.

El revestimiento dispone en general de juntas de contracción transversales espaciadas 4 metros entre sí y 2 juntas longitudinales en cada cajero. Estas juntas se prevén sin sellar en aquellos tramos que se han proyectado con lámina, para facilitar el drenaje del trasdós del revestimiento a través del geotextil dejado entre la lámina y el revestimiento. En el resto de los tramos, las juntas se proyectan selladas con caucho de polisulfuro. Hay que resaltar que no son de temer episodios de vaciado rápido del canal ya que el sistema de regulación diseñado contempla el mantenimiento

del nivel en el canal durante todas las épocas del año.

El canal dispone en ambas márgenes de sendas banquetas para facilitar su mantenimiento; el camino de servicio propiamente dicho discurre por la plataforma del canal generalmente situado en su margen derecha, diseñándose su calzada con una anchura útil de 6,00 metros y con peralte del 2 % hacia el exterior para evitar entradas de agua, estando constituido su afirmado por una capa de subbase de suelo cemento de espesor 15 cm., capa de base granular de 20 cm. y un doble tratamiento superficial como capa de rodadura. En la otra margen se proyecta una banqueta que tiene una anchura útil de 5,0 metros disponiéndose con un pavimento formado por una capa de suelo cemento de 15 c. de espesor.

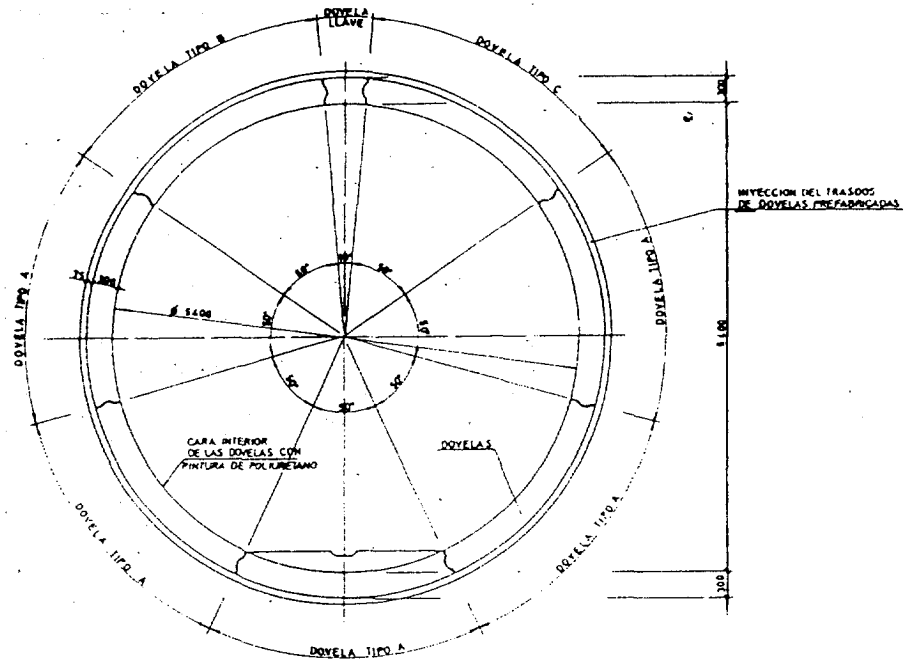
Para comunicación entre ambas márgenes del canal y reposición de caminos interceptados por el canal, se proyectan estructuras tipo de cruce a nivel ortogonales al eje del canal con un tablero formado con losa postensada con arco superior de canto variable salvando vanos de hasta 18,70 metros de luz y de ancho 6,50 metros y evitando la formación de lomos en las banquetas del canal.

El diseño se completa con el proyecto de rampas de acceso al fondo del canal de ancho 2,50 metros de forma que se garantice el acceso de maquinaria ligera a cualquier punto del mismo, así como salidas de emergencia previstas de malla de nylon sujeta al fondo y cajeros con flotadores de superficie complementados con escalera de pates para facilitar la salida del canal.

■ Obras especiales: Túneles, Sifones y Acueductos

Como ya se ha reflejado anteriormente, se han proyectado un total de seis túneles que suponen una longitud total de 13.467 m. doce sifones con una longitud total de 51.095 m. y dos acueductos con 570 m. El cuadro 1 resume las características de estas obras.

Los túneles se han proyectado con sección circular de diámetro interior 5,40 m. y 6,10 m. de diámetro de excavación, estando prevista su ejecución mediante excavación mecánica a sección



SECCION TIPO I

TUNEL EXCAVADO CON TOPO DE DIAMETRO 6150

completa con revestimiento a base de dóvelas prefabricadas, excepto los dos últimos donde se prevé su ejecución con rozadera y revestimiento de hormigón in situ. El sistema de ejecución (topo), se ha adoptado después de realizar un estudio económico comparativo para todos los túneles del Canal de Navarra considerando distintas alternativas de agrupación de túneles, lo que ha condicionado la tramificación definitivamente adoptada para el canal, y teniendo en cuenta los plazos de ejecución.

La sección elegida es la de menor diámetro compatible con las necesidades de regulación y funcionamiento estable del túnel, habiéndose unificado por razones obvias de economía en su construcción. Secciones de mayor diámetro me-

Figura 6.

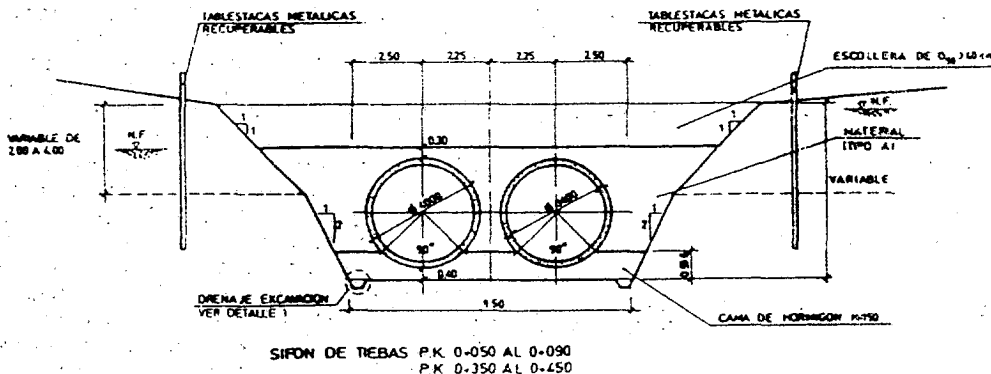


Figura 7.

Dentro del Proyecto de Construcción y con su mismo nivel de detalle, se ha incluido un Proyecto de Medidas Correctoras que se han centrado fundamentalmente en el tratamiento paisajístico del conjunto de la obra

TABLA 1

Denominación	Sección tipo	Tramo	Longitud
Sifón río Erro	2 Φ 3,40 m.	2	920
Sifón de Tiebas	2 Φ 3,40 m.	4	1.350
Sifón de Artajona	2 Φ 3,20 m.	7	1.426
Sifón de Tafalla	2 Φ 2,90 m.	7	2.310
Sifón río Aragón	2 Φ 2,35 m.	10	7.110
Sifón de Bardenas	2 Φ 3,10 m.	12	5.915
Sifón río Ebro	1 Φ 2,90 m.	13	10.390
Sifón Ramal Artajona	1 Φ 1,30 m.	18	200
Sifón Ramal Tafalla I	1 Φ 2,50 m.	19b	3.038
Sifón Ramal Tafalla II	1 Φ 1,90 m.	19b	6.350
Sifón Ramal Tafalla III	1 Φ 1,40 m.	19b	3.983
Ramal de Ablitas	1 Φ 1,30 m.	20	8.103

joran la regulación del canal pero encarecían la solución de forma considerable.

Para garantizar la estanquidad del túnel, las juntas entre dovelas se proyectan selladas con hidrotite, producto de expande en contacto con el agua y se prevé además la pintura del parámetro interior con poliuretano.

Para los sifones se ha adoptado, en general, la solución de tubería de hormigón armado con camisa de chapa y, como se puede apreciar en el cuadro se ha ido a doblar la tubería en cada sifón con el fin de evitar diámetros excesivos y sobre todo para dar una mayor flexibilidad a su planificación y a la propia explotación futura del canal. El dimensionamiento de las tuberías se ha realizado con el criterio de mantener en su interior velocidades inferiores a los 3 m/seg.

Los acueductos se han resuelto mediante estructuras empujadas de hormigón pretensado con luces de hasta 40 m.

■ Vías de comunicación

El cruce de autopistas y ferrocarril se ha solucionado con sifones o acueductos, mientras que el cruce de carreteras de categoría igual o superior a un tipo local se ha resuelto disponiendo pasos elevados o inferiores al canal pero en cualquier caso independientes, habiéndose proyectado hasta un total de 16 estructuras de este tipo.

■ Balsas

Para posibilitar la regulación del Canal de Navarra, éste ha quedado dividido en tres sectores de regulación claramente diferenciados y que correctan las cuatro balsas de regulación proyectadas cuya situación y principales características se resumen a continuación:

- Balsa de Villaveta: situada en el 1º Tramo del Canal, se ha proyectado formada por una presa de materiales sueltos de 44 m. de altura formada por núcleo central impermeable de material arcilloso y espaldones de escollera que embalsa un volumen de 5 Hm³.
- Balsa de Unciti: situada a la salida del túnel de Zabalqueta, dentro del 1º Sector de regulación, se proyecta mediante un dique de hormigón

con perfil tipo gravedad de 18 m. de altura sobre cimientos, que embalsa 0,5 Hm³ cuya misión es posibilitar la regulación difícil del Túnel situada inmediatamente aguas arriba.

- Balsa de Artajona: situada al final del tramo 5 del Canal, supone la delimitación del 1º Sector de regulación del mismo (zona exclusivamente del transporte) y se proyecta formada por una presa de materiales sueltos tipo homogénea y zonificada de 34 m. de altura sobre cimientos con capacidad para 2,4 Hm³, donde se sitúa además el centro de control de todo el Canal.
- Balsa de Pitillas: situada intercalada dentro del tramo 10 del Canal, supone el fin del segundo Sector de regulación e inicio del tercero, posibilitando la regulación de este último donde se proyectan numerosas estructuras tipo sifón de longitud importante. Se diseña formada por una presa de materiales sueltos homogénea y zonificada de altura sobre cimientos de 25 m. con una capacidad de embalse de 0,6 Hm³.

■ Sistema de regulación

El Canal de Navarra ha sido concebido con las técnicas más modernas sobre regulación en obras lineales de transporte hidráulico a cielo abierto. Estas técnicas de regulación automática de canales comenzaron a principios de los años sesenta en Estados Unidos y en Francia, y existe hoy en día sobrada experiencia sobre su utilidad y rentabilidad siendo ya empleadas con pleno éxito en la mayoría de los países.

Se puede decir que desde el momento en que un regante abra su toma al comenzar la jornada de riego, todo un sistema de sensores y ordenadores pondrá automáticamente en marcha las estaciones de bombeo intermedias, abrirá las compuertas del canal y en fin moverá las válvulas de la presa de Itoiz para que el agua comience su largo recorrido desde el río Irati hasta un cultivo que puede estar situado a más de ciento sesenta kilómetros de distancia.

El sistema empleado permitirá el funcionamiento del Canal a la demanda: de forma que al solicitarse caudales aguas abajo del canal, las compuertas responderán automáticamente, realizan-

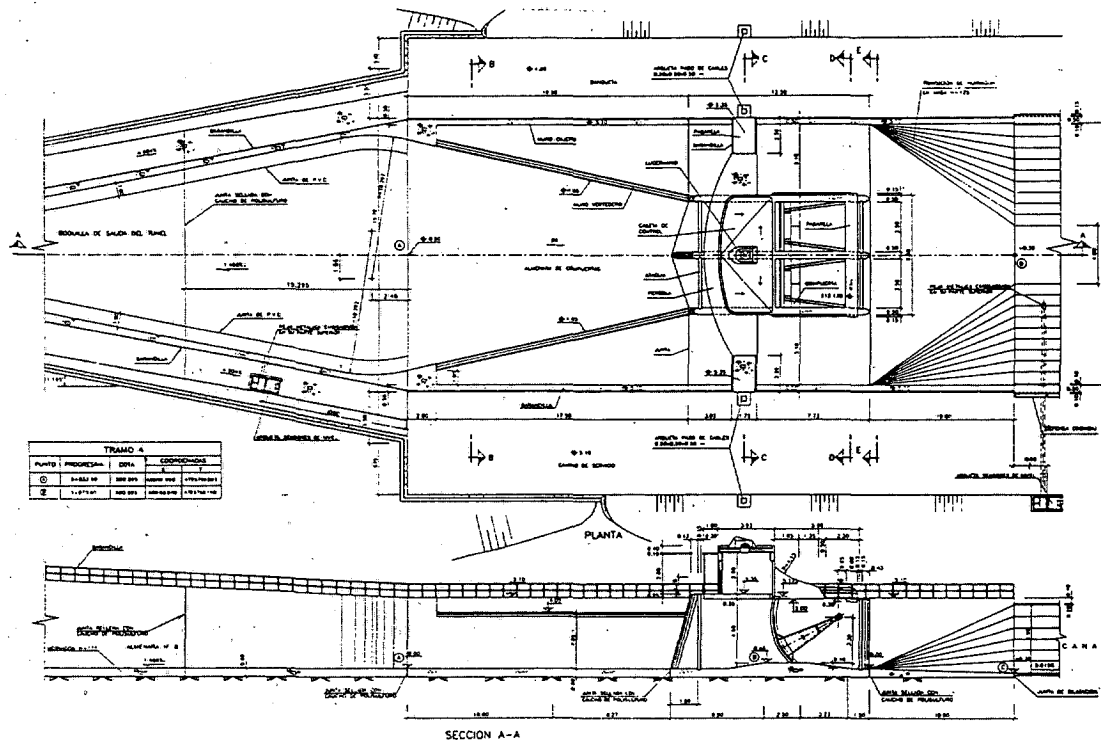


Figura 8.

do las aperturas necesarias para servir estos caudales. La onda de demanda se transmitirá de cada almenara de compuerta a la siguiente situada aguas arriba, hasta alcanzar las balsas intermedias, que servirán para amortiguar las ondas de demanda. Si persisten las demandas, el canal irá entrando en funcionamiento hasta alcanzar su cabecera en la presa de Itoiz. Al cesar las demandas en las tomas se producirá el fenómeno inverso, cerrándose en cadena las compuertas y almacenándose los sobrantes de agua circulantes en las balsas intermedias de regulación.

Las compuertas de cada almenara son comandadas por un autómatas en base a un algoritmo de control denominado TRAY y a tres niveles de calado en el canal, dos situados aguas abajo de la compuerta y el tercero situado justo aguas arriba de ésta.

El Canal de Navarra dispondrá de 33 almenaras de compuertas en su tronco principal. Cada almenara va provista de dos compuertas para regulación tipo Taintor situadas en su zona central, disponiendo aguas arriba de dos aliviaderos laterales en pico de pato con su labio de vertido situado a la cota de coronación de las compuertas y diseñados para evacuar todo el caudal circulante por el canal caso de fallo en las compuertas.

Aunque el funcionamiento de estas compuertas puede ser local, existirá una red de comunicación a lo largo de todo el Canal, de forma que se centralizará toda la información de estado de compuertas y niveles en un centro de control. El edificio que albergará este Centro de control se situará en las proximidades de la balsa de Artajona, y permitirá realizar el seguimiento durante las 24 horas del día de los niveles y caudales en el Ca-

nal. Desde el centro de control se podrá intervenir remotamente, si fuese necesario en cualquiera de las compuertas, telemandando la orden de cierre o apertura de éstas. Asimismo el edificio servirá para albergar todos los equipos humanos y los medios mecánicos que realicen las labores de mantenimiento y conservación.

Existen grandes ventajas en disponer de un canal regulado automáticamente, entre las que cabe señalar:

Aprovechamiento de todos los recursos hidráulicos, sin desperdiciar ningún volumen de agua por cola de canal. Aprovecha además la infraestructura del canal almacenándose en los pequeños embalses intermedios creados por las compuertas, el agua circulante durante las horas en que no existe consumo.

Seguridad de las propiedades y poblaciones próximas al trazado del canal, ya que el sistema de control dará la alarma ante hipotéticas roturas o bajadas de los niveles en el canal y actuará en consecuencia.

Mantenimiento constante del nivel de la lámina de agua en el canal, lo que además de prolongar la vida útil del mismo facilitará la explotación de los canales derivados y de las estaciones de bombeo que se instalen.

La elección del sistema de regulación, su desarrollo y puesta a punto, ha sido posible gracias a la simulación del funcionamiento del canal en ordenador ante hipótesis de trabajo muy desfavorables. Las simulaciones del Canal de Navarra se han desarrollado a lo largo de las fases de Anteproyecto y Proyecto de Trazado, permitiendo el diseño más apropiado para conseguir un óptimo funcionamiento del sistema de control del canal.