

Aplicación para conducciones en obras de Modernización de Riego

Revestimiento del *Canal de Sentmenat* en el Baix Empordá (Girona) con tubería de hormigón postesado con camisa de chapa

El *Canal de Sentmenat*, en la provincia de Girona, es un canal abierto en tierras de 19 km de longitud que deriva agua a la margen izquierda del río Ter. Tiene su origen en el azud de Colomers y desemboca en el mar, en la playa del Rec del Molí, pasando por los términos municipales de Colomers, Jafre, Verges, la Tallada, Bellcaire y finalmente La Escala (el canal atraviesa el interior de las poblaciones de Verges y de Bellcaire). Para conseguir mejorar el transporte, la distribución y la gestión del agua para riego, se proyecta una conducción telescópica en hormigón camisa de chapa de 10.140 m de longitud con diámetros entre 1800-1400 mm. Igualmente se proyecta la obra de captación para la conducción, así como la obra final de entrega en Mas Durán. Las características del proyecto y la tubería utilizada se describe en este artículo

El *Canal de Sentmenat* riega la zona regable de la Comunidad de Regantes de la *Presa de Colomers*. La zona regable por el canal abarca una superficie de 4.040 ha, siendo la superficie neta de riego actual de unas 3.030 ha.

Las diferentes funciones que realiza el canal en la actualidad son:

- Recogida de agua de escorrentía superficial.
- Recogida de aguas de sobrantes de riegos.
- Drenaje de las aguas freáticas de la zona próxima a su trazado.
- Distribución de agua para riego.
- Distribución de agua para molinos, aunque la mayoría están fuera de servicio y con concesión posiblemente caducada.
- Función sanitaria al paso por los pueblos.
- Función paisajística y ecológica.

El objeto del proyecto que se describe es mejorar la eficiencia en el transporte, la distribución y la gestión del agua para riego que actualmente se deriva del *azud de Colomers*, o que se pueda derivar en el futuro de la presa nueva de Colomers hasta el paraje conocido como *Mas Durán* en el T.M. de La Tallada d'Emporda.

Promotor

El promotor de este Proyecto es la Sociedad Estatal de Infraestructura Agrarias, Dirección Territorial del Nordeste. SEIASA es una sociedad anónima creada en 1999 y que depende del Ministerio de Medio Ambiente, Medio Rural y Marino (MARM), que tiene como instrumento de actuación pública para obras de modernización y consolidación de regadíos.

Palabras clave: AGUA, CAMISA DE CHAPA, CANAL, CONDUCCIÓN, GESTIÓN, HORMIGÓN POSTESADO, JUNTA, OBRA, RED, REGULACIÓN, TUBERÍA, ZANJA.

👤 José A. HERNÁNDEZ y Daniel PASTOR, Ings. Agrónomos. SEIASA, D.T. Nordeste

El objeto de la *Sociedad Estatal* es, entre otros, la financiación, ejecución y explotación de obras e infraestructuras de modernización y consolidación de regadíos todas ellas declaradas de interés general.

SEIASA la conforman cuatro direcciones territoriales (**Fig. 1**), Sur Y Este, Norte, Meseta Sur y Nordeste, estando la presidencia en Madrid.

Generalidades del proyecto de Canal de Sentmenat

• Datos Comunidad de regantes:

- Superficie Neta de Riego Comunidad Presa de Colomers: 3.030 Hectáreas.
- Número de propietarios catastrales: 1.657 propietarios.
- Superficie media por propietario: 1,83 Hectáreas.
- Fincas afectadas por la actuación: 752 parcelas.

- Términos municipales afectados: Colomers, Jafre, Verges, La Tallada d'Emporda y Bellcaire d'Emporda.

• Cultivos:

- Frutales: 21 %
- Arroz: 2,6 %
- Maíz: 38 %
- Forraje: 39 %

• Datos presupuestarios:

- Presupuesto Proyecto: 14.822.163,34 €
- Empresa constructora: TRAGSA.
- Plazo de ejecución: 39 meses (Marzo 2012).

• Datos de la obra:

Datos de diseño:

- Caudal Diseño en Captación: 3,51 m³/s.
- Caudal Diseño en Mas Durán: 1,99 m³/s.
- Desnivel Captación-Mas Durán: 10,75 m.

Red de tuberías:

- Excavación en zanja: 252.984 m³.
- Tubería HPCCJE⁽¹⁾ DN 1800,1600 y 1400: 10.025 m.
- Tubería de Acero DN1800 mm: 77 m.
- Tuberías PEAD⁽²⁾ DN 1600-800: 660 m.
- Tuberías PEAD DN 500-250: 4.500 m.
- Piezas especiales de Acero: 183.897 kg.
- Válvulas de seccionamiento DN1600-800 8 uds.

- Bocas de Riego DN150-400: 116 uds.

- Ventosas DN200-100 mm: 20 uds.

• Obras de captación y regulación Canal Sentmenat:

- Excavación: 1.821 m³.
- HA-25: 420 m³.
- Acero corrugado: 17.621 Kg.



■ [Figura 1].- Direcciones Territoriales de SEIASA.

(1) Hormigón Postesado Camisa de Chapa con unión mediante Junta Elástica.

(2) Polietileno de Alta Densidad.

- Escollera: 341 m³.
- Equipos: 1 filtro de cadenas de malla 2 mm y 6 compuertas acabado AISI 316, dimensiones de tablero desde 0,6x0,6 m a 2,1x2,8 m.

• **Obras complementarias:**

- 1.-11.484 m de reposición de caminos afectados por las obras (Perfilado, compactación de la explanación, bacheado y construcción de base de ZA-25/sablón).
- 2.-Dos estaciones de aforo de caudal en Canal de Sentmenat: instalación equipos medida de nivel y velocidad y telemando de datos a la Sede de la Comunidad de Regantes (CR) y Agencia Catalana del Agua (ACA).
- 3.-Equipos de medición de caudal conducción: Instalación de un caudalímetro ultrasónico DN1800 en cabecera y de tres caudalímetros electromagnéticos en la arqueta final de la conducción (*Más Durán*).

• **Ejecución de la obra por tramos:**

- Tramo 0: Obra de Captación.
- Tramo 1: Captación a Molí de Jafre. THPCCJE con Ø Nominal (DN) 1800.
- Tramos 2: Molí de Jafre. Acero Helicolidado DN1800 y THPCCJE DN 1800.
- Tramo 3: Desde Molí de Jafre a C-252. THPCCJE DN1800 y DN1600.
- Tramo 4: Desde C-252 a C-31 (PK 6+747 a PK 7+680). THPCCJE DN1600
- Tramo 5: Desde C-31 hasta Más Durán. THPCCJE DN1600 y DN1400.

Problemática construcción en zonas regables

Las obras de construcción en zonas regables llevan consigo una serie de particularidades que es importante estudiar para planificar correctamente la obra y dividirla por tramos en función de las características intrínsecas de la zona. En resumen, se debe realizar una correcta planificación de los tramos de montaje teniendo en cuenta los siguientes aspectos: la climatología de la zona, época de riego (circulación de agua en infraestructuras de transporte y riego en parcela), cultivos existentes (épocas de siembra, recolección, riego), condicionantes ambientales (restricciones temporales o medidas especiales a aplicar por especies protegidas), otras (zonas inundables, actividades extractivas de áridos, disponibilidad de terrenos, etc).

En el caso particular del Proyecto de Revestimiento de Canal de Sentmenat la división por tramos obedece a los siguientes factores:

- **Climatología.** Precipitaciones de 600-700 mm/año. Promedio de 150 días de lluvia año. Precipitaciones estivales < 100 mm. Lluvias



[Figura 2].- Vista aérea de la zona regable del Canal de Sentmenat.

concentradas en septiembre-diciembre y abril-mayo con alta probabilidad de lluvias fuertes.

- **Cultivos de la zona.** Manzana (período crítico junio-octubre), maíz/alfalfa (período crítico junio-octubre), arroz (período crítico abril-noviembre), cereal de invierno (período crítico junio-julio)

- **Hidrología.** La práctica totalidad de la actuación está dentro de zona inundable del río Ter. La zona del Molí de Jafre está encajonada entre el brazo de aguas altas del río Ter y el Canal de Sentmenat.

- **Riego.** Riego en parcela e infraestructura de riego secundarias (junio-septiembre). Circulación de caudal en Canal de Sentmenat (de octubre-mayo: 0,6-0,4 m³/s y junio-septiembre: 1,5-3 m³/s)

- **Condicionantes ambientales en fase de construcción.** Se debe dar cumplimiento al patrón de caudales fijado por ACA en el Canal de Sentmenat todo el año (medida enfocada a la protección del hábitat de nutria y náyades o bivalvos de agua dulce). Los trabajos de cruce o en proximidad del *Canal de Sentmenat* han de contar con medidas adicionales/auxiliares que garanticen circulación de agua (*by-pass*, rescates de ejemplares, tablestacado, etc).

- **Condicionantes ambientales en fase de explotación.** La Declaración de Impacto Ambiental de esta obra fija una serie de condicionantes relacionadas con el mantenimiento de hábitats de fauna amenazada/protegida y con algunas de las funciones que desempeña el *Canal de Sentmenat* actualmente. Esto se traduce en el establecimiento de estaciones de aforo en dos puntos del Canal (objetivo velar cumplimiento del caudal de mantenimiento) y realizar seguimiento a lo largo de los 19 km del canal de la calidad del agua y realización de inventarios de botánico-faunísticos (objetivo evaluar el impacto de la puesta en servicio de la instalación sobre los ecosistemas asociados al *Canal de Sentmenat*).

- **Actividades extractivas de áridos.** La obra afecta parcelas en las que se está extrayendo áridos y a fincas que tienen un contrato vigente/en negociación para la extracción en un futuro. En las parcelas en las que se está realizando actividad, la problemática se resuelve acordando entre las partes la priorización de la actividad extractiva en la zona afectada por las obras. En las parcelas sin actividad extractiva o programada a largo plazo, la problemática se traduce en falta de disponibilidad de terrenos/necesidad de expropiación (el propietario no percibe la parte proporcional de terreno ocupado por la servidumbre de la conducción). En el primer caso normalmente no implica una alteración del programa de trabajos de la obra, en el segundo caso la solución a la problemática pasa por retrasar e incluso paralizar los trabajos programados.

- **Disponibilidad de terrenos.** Para la construcción de la conducción de 10.140 m de longitud se afecta a un total de 752 parcelas, o dicho de otra manera, cada 27 m de conducción se afecta a dos parcelas distintas (considerando una a cada lado de camino). Según los convenios firmados con SEIASA las comunidades de regantes deben aportar la disponibilidad de terrenos previo al inicio de las obras. La realidad es que al iniciarse la obra se hace necesario asistir a la comunidad de regantes en el proceso de habilitar la disponibilidad de terrenos, lo cual se lleva a cabo mediante actas de mutuo acuerdo que por lo general no es necesaria la expropiación. En el caso de no obtener mutuo acuerdo se recurre a la expropiación forzosa, que se tramita a solicitud de la comunidad de regantes al MARM. De las 752 parcelas afectadas por las obras, en 554 se ha firmado mutuo acuerdo y en las 198 restantes ha sido necesario tramitar un expediente de expropiación. La tramitación completa del expediente, al ser obra de interés general, puede durar entre 3-6 meses,

una vez realizada la solicitud de inicio por parte de la comunidad de regantes.

Solución adoptada

Para definir el diseño del proyecto se realizó un estudio de soluciones, en un principio la tubería que se planteaba era de Poliéster con Fibra de Vidrio *PRFV* (tubería flexible), pero con el objetivo de dotar a la conducción de un tubo de mayor resistencia, sin depender tanto de las características resistentes del terreno, se optó por un tubo de hormigón postesado con camisa de chapa y junta elástica (tubería rígida).

Se realiza un estudio exhaustivo de los materiales previstos en el proyecto, y se tienen en cuenta las ventajas que ofrece el tubo de hormigón postesado con camisa de chapa (*THPCCJE*):

- El comportamiento de este tipo de tubería es muy bueno ante cualquier esfuerzo, tanto interior como exterior. En cuanto a las acciones exteriores los esfuerzos ovalizantes son absorbidos fácilmente y por su tapado es fácil y seguro. En cuanto a las presiones ó depresiones interiores su comportamiento es excelente.
- El hormigón del núcleo se encuentra en un estado tensional de compresión muy favorable para la tubería.
- El núcleo está hecho con hormigón y no modifica las características organolépticas del agua transportada, por lo que ésta no ve alteradas sus condiciones.
- El hormigón del revestimiento exterior, con una relación agua-cemento muy bajas, se aplica con regla vibrante proporcionándole una compacidad muy alta, siendo una protección o barrera exterior muy impermeable.
- Material prefabricado producido en serie, por lo que la uniformidad de todos los tubos es muy elevada en diámetros y espesores.
- Junta muy sencilla, evitando las soldaduras a tope. De esta forma se evitan muchos riesgos técnicos de montaje.
- Aún siendo un tubo pesado el montaje es rápido gracias a un enchufe sencillo. Este tubo tiene menor peso que el tubo de hormigón armado.
- El hormigón mantiene en un ambiente básico la chapa y las armaduras activas, lo que hace que su *Pasivación* proteja eficazmente a estos materiales y no sea necesario ninguna conservación en este aspecto, ya que es una protección *Química* no orgánica, dando una garantía de conservación muy superior a la chapa simplemente protegida por pintura.
- En cuanto al uso de junta elástica, garantiza la no continuidad eléctrica entre tubos evitándose la protección catódica de

la conducción. En la obra existe un tramo de junta soldada, los tubos están conectados en su integridad, en donde es necesario comprobar los potenciales para determinar si es necesario colocar ánodos de sacrificio para su protección.

- El hormigón de la protección exterior de la tubería está fabricado con cemento sulforresistente.
- La tubería, una vez montada sobre apoyo granular y con un relleno hasta riñones adecuado es prácticamente inamovible. Los asentamientos diferenciales que puedan ocurrir son perfectamente absorbidos por la estructura del tubo.
- La flotabilidad de la conducción, en caso de inundaciones, es minimizada por el superior peso estructural de la tubería.
- La tubería no es sensible al efecto de fatiga producido por las variaciones de presión durante su puesta en marcha y en explotación.
- El peligro de pequeños golpes ó deterioros durante el transporte, acopios y montaje son mínimos, incluso se pueden reparar en obra.
- Las características resistentes del hormigón mejoran con el tiempo.
- Los posibles defectos en el proceso de relleno final apenas si afectan al comportamiento del tubo.
- Para diámetros nominales superiores a 1200 mm, como son los del proyecto de referencia, las tuberías de *HPCJE* son muy competitivas en comparación con otros tubos del mercado.
- Hay obras con tuberías de *HPCJE* con más de 30 años en perfecto funcionamiento.

Para justificar que tipo de tubería era la más recomendable colocar en la obra se llevó a cabo un estudio comparativo entre materiales, *PRFV* y *HPCCJE*; se consideraron diversos aspectos hasta llegar a la conclusión final, fueron:

- 1.- Teniendo en cuenta el estudio geotécnico se hicieron cálculos mecánicos tanto para *PRFV* como para *HPCCJE* considerando diámetros y presiones equivalentes. En el primer caso se realizaron los cálculos según el Manual M-45 de la AWWA y para las tuberías de hormigón pretensado se siguió la "Instrucción del Instituto Eduardo Torroja" (Sept. 2007). Para ambos casos se consideró que la presión máxima de diseño era de 4 Kg/cm², la carga de tierras de 3 metros y el tráfico de 60 t. Se tuvo en consideración el elevado nivel freático en terrenos arenosos y francos en varios tramos de la obra; este hecho se le dio importancia ya que el riesgo de asentamientos diferenciales era muy

probable si no se hacían rellenos más costosos (por ejemplo con el *PRFV* los cálculos apuntaban a un relleno con grava por encima de la generatriz del tubo).

Tengamos en cuenta que cuando se instalan tuberías plásticas, como el caso del *PRFV*, el relleno tiene gran importancia ya que el terreno aporta aproximadamente un 85% de la resistencia total al conjunto estructura terreno. En tuberías rígidas, como el *HPCCJE*, el terreno aporta tan sólo un 15% de la resistencia total al conjunto estructura terreno, es decir, el relleno tiene mucha menos influencia que en el caso del *PRFV* y por tanto para el proyecto de referencia se podía pensar en hacerlos en prácticamente el 100% del trazado de la tubería con material proveniente de la propia excavación. Por esta razón todas las hipótesis para el cálculo mecánico obligaban en cierta medida a que los rellenos de *PRFV* fueran más cuidadosos lo que se traducía en la necesidad constante de traer material de préstamo.

- 2.- Comparativo de los costes de fabricación. *SEIASA* tenía que elaborar el presupuesto del proyecto con tarifas *Tragsa* 2008 por consiguiendo los precios de las tuberías puestas en obra, tanto de *PRFV* como de *HPCCJE*, se confeccionaron a partir de dicho documento.
- 3.- Se comparó el coste medio de instalación de las tuberías de *PRFV* y *HPCCJE*. El *PRFV* es un material cuya estructura es menos pesada que el *HPCCJE* lo que hace que la maquinaria a emplear sea de menor toneladas. En este capítulo también se valoraron las piezas especiales a emplear en *PRFV* y *HPCCJE*; las conclusiones sobre este asunto no influían demasiado en la decisión final ya que de partida se condicionaba a que citadas piezas fueran de acero.
- 4.- Se revisaron las experiencias que había en obras de regadío con redes a presión para diámetros nominales superiores 1400 mm. Un factor que se tuvo en cuenta fue el mantenimiento que tenían ambos tipos de tuberías.

Descripción de tuberías y piezas especiales

La conducción está constituida por una tubería de longitud 10.140 m, mediante una conducción en tubería de hormigón postesado de diámetro 1800, 1600 y 1400 mm, que es un tubo de 6 m de longitud útil, constituido por un núcleo de hormigón con una camisa de chapa que le confiere estanqueidad y una armadura activa arrollada helicoidalmente alrededor del núcleo, que zuncha este núcleo de hormigón. A este conjunto, denominado *primario* (ele-

mento resistente), se le reviste en último lugar de una capa exterior de hormigón cuya misión es proteger la armadura activa.

La junta elástica de este tubo se realiza mediante unos cabezales metálicos. El cabezal macho consta de una acanaladura en la que se alojará durante el proceso de montaje un anillo elastomérico de diámetro 20 mm, que consiste en una goma tórica. El cabezal hembra tiene una forma acampanada. Ambos son perfiles del espesor suficiente según la presión situados en los extremos del tubo. Ésta es una junta fácil de montar y, debido a las estrictas tolerancias de fabricación, una junta estanca de gran garantía.

Los tubos están calculados según las siguientes hipótesis:

Tipo de tubo:

Hormigón postesado con camisa de acero.

Cálculo mecánico:

Instrucción del Inst. Eduardo Torroja para tubos de hormigón armado y postesado (Septiembre 2007).

Diámetro interior: 1.400, 1.600 y 1800 mm.

Tipo de colocación: Zanja.

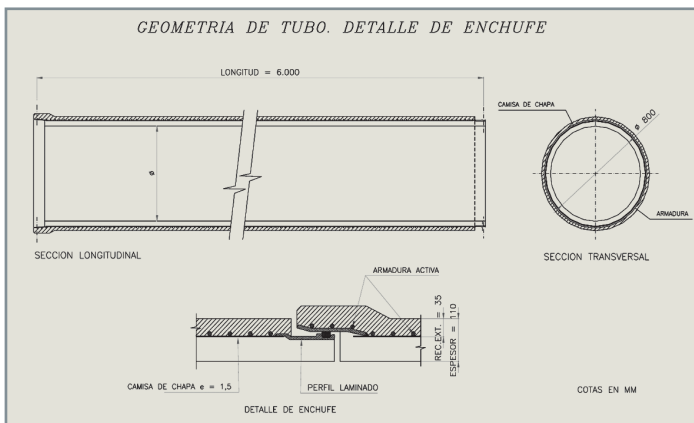
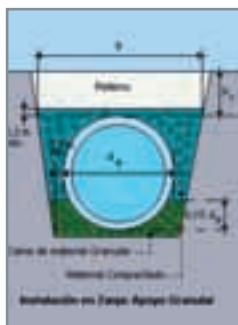
Tipo de cama de asiento: Granular a 90°.

Relleno: Compactado.

Altura del relleno: 3 m. sobre generatriz superior del tubo, algún tramo HT= 5 m.

Sobrecarga de tráfico: Carro de 60 t. Se tuvo en cuenta el transito de camiones pesados (existe actividad extractiva de arena/grava en la zona).

DP(presión diseño)/MDP(máxima de diseño)/STP(prueba en obra): 3/4/5 atm.



[Figura 3].- Plano de detalle de la tubería.

mento resistente a los sulfatos tipo CEM I 42,5 R/SR. En la ejecución de ambos hormigones se utilizaron tanto áridos silíceos como calizos.

Para la armadura activa se utilizaron unos alambres de pretensado del tipo UNE 36094-97 Y 1770 C 5,0.

En lo referente a las piezas especiales como tes para desagües y ventosas, codos y válvulas de seccionamiento se están ejecutando en chapa de acero. Las piezas especiales tenían como características fundamentales las que se presentan a continuación:

- **Calidad del acero:** S 275 JR.
- **Tratamiento interior:** Chorreo de arena grado Sa 2 1/2 y posterior pintado con resina epoxi alimentaria espesor mínimo 200 micras.
- **Espesor de chapa:** Conducción Principal y Derivación 12 mm
- **Codos:** según AWWA C208-83.
- **Bridas** según norma DIN 2576-PN-10
- **Tornillería galvanizada** según definición DIN.
- **Junta plana** de goma para bridas
- **Ensayos con líquidos** penetrantes realizados en fase de fabricación y obra (100% de las soldaduras).

Criterios hidráulicos de la tubería

El valor de **K** para los tubos de presión de hormigón postesado con camisa de chapa, normalmente es del orden de 0,03 mm. A fin de considerar otros factores, como juntas, cambios de alineación, etc., en las redes normales se aconseja adoptar el valor global de **K= 0,2 mm**.

Valores inferiores del coeficiente de rugosidad para diámetros grandes no son aconsejables en ningún tipo de material, insistimos en que en el valor de este coeficiente influyen más los factores adicionales (juntas, etc.) que la propia rugosidad del tubo.

Proceso de fabricación

El proceso de fabricación se compone de las siguientes fases (Fig. 4):



I. Fabricación de cabezales.

Las pletinas con las medidas adecuadas para la formación de las boquillas, se curvan y se sueldan sus extremos. A continuación se procede al expansionado de las mismas mediante una prensa hidráulica preparada al efecto, con lo que se consigue un perfecto control dimensional.

Como los cabezales son de junta elástica, el material que los compone es previamente granallado, para una vez conformado geométricamente, recibir una pintura de imprimación y posteriormente, una vez incorporado al tubo, un tratamiento a base de 200 micras de resina

En la Fig. 3 se muestra un detalle de la tubería .

El hormigón utilizado en el núcleo del tubo es de 45 N/mm² de resistencia con cemento CEM I 42,5 R, con la particularidad de que a los siete días de curado debe alcanzar una resistencia de 40 N/mm² para poder realizar el zunchado del núcleo del tubo. Para el revestido de hormigón, cuya única misión es la de proteger la armadura activa, se utilizó un hormigón de 35 N/mm² de resistencia con ce-





■ **Expansionado para conformar cabezas.**

epoxy, lo que garantiza su durabilidad ante cualquier agente agresivo.

II. Fabricación de camisas.

Las camisas están constituidas por un cilindro de chapa, soldado helicoidalmente a solapo, en máquina automática, a partir de bobinas de chapa de 1 m. de ancho, al que se suelda en sus extremos las correspondientes *boquillas* macho-hembra, garantizando sus tolerancias dimensionales.



■ **Elimaster, máquina para fabricar las camisas de chapa.**

El conjunto se somete a una prueba de presión hidráulica de modo que se garantice la estanqueidad del 100 % de las camisas.

III. Fabricación de núcleos.

Verificada la total estanquidad de la camisa de chapa, ésta se deposita en posición vertical sobre una arandela base mecanizada que conforma la boquilla hembra. Exteriormente se coloca un molde metálico resistente para absorber los esfuerzos sobre la camisa de chapa durante el proceso de compresión radial.

El conjunto moldeado, se deposita en la plataforma rotativa inferior de la máquina y ésta lo sitúa en el eje de la misma. La parte superior del molde es abrazada por una plataforma, que centra al mismo con el eje de la máquina y desciende un cilindro hidráulico en cuyo extremo inferior está situado un pistón rotativo cuyo diámetro conforma el diámetro interior del hormigón del tubo. Este cilindro desciende hasta la posición de la boquilla situada en el extremo inferior de la camisa.



■ **Turbomaster, hormigonado del núcleo por compresión radial.**

Combinando las velocidades de rotación del pistón y velocidad de subida del mismo, hace que el hormigón que se va introduciendo por la parte superior, se vaya comprimiendo contra la camisa de chapa, quedando compactado y con una superficie lisa, en toda la longitud de la camisa.

Una vez liberado el molde de la plataforma superior y con giro de la plataforma inferior, queda al alcance del puente grúa que lo traslada a la zona de acopio cubierta y libera el molde exterior para situarlo en otra camisa. La camisa hormigonada interiormente permanece en esta zona el tiempo suficiente, hasta que el hormigón tenga la resistencia mínima para poder ser transportado hasta el parque de acopio donde permanece en riego hasta que alcance la resistencia prevista para ser sometido al proceso de tesado.

IV. Postesado.

Cuando el hormigón de los núcleos alcanza la resistencia requerida para soportar la compresión inducida por el postesado, se procede a la operación de zunchado.

El postesado transversal se realiza mediante una zunchadora que enrolla en espiral un alambre en tensión sobre el núcleo colocado en la posición adecuada.

Para ello se utiliza alambre liso especial de carga de rotura 18000 kg/cm^2 y bajo grado de relajación. El diámetro que utilizamos en este caso es de 5 mm. Para saber en todo momento la tensión del alambre la máquina ve provista de un registrador gráfico de tensión que permite verificar el valor de ésta.

Un sistema de variador de velocidad permite el sincronismo entre el avance del tubo y la alimentación de acero, para obtener el paso de hélice requerido.



■ **Máquina de postesado**

V. Revestimiento exterior.

Una vez efectuado el postesado del núcleo, se procede a la protección del acero por aplicación sobre el mismo de una capa de hormigón de 35 mm. medida sobre la superficie exterior de la camisa de chapa, empleándose para ello una máquina de regla vibrante.



■ **Regla vibrante para revestido del núcleo.**

El proceso consiste en girar el tubo en posición horizontal al tiempo que se va depositando sobre la generatriz superior, una capa de hormigón que fluye por efecto de una vibración de alta frecuencia.

La adherencia se logra por la acción combinada de la vibración y la compresión producida al paso obligado del hormigón por el espacio comprendido entre la regla y el tubo.

Acopio y presión de prueba en fábrica

Para estos tubos en fábrica existen dos zonas de acopio, una zona de acopio en posición vertical para núcleos hormigonados donde permanecerán el tiempo suficiente (al menos 7 días) para alcanzar la resistencia prevista (40 N/mm^2), para ser sometido al tesado. Y la otra, un acopio en posición horizontal de tubos revestidos en el patio de la fábrica, donde se mantienen bajo riego por aspersión como mínimo el tiempo de curado (al menos 15 días). Una vez transcurrido el tiempo de curado y efectuadas las operaciones de acabado del tubo, que son: repaso de los defectos que pudiera tener el tubo, pintado de los cabezales y control dimensional para evitar tubos en obra con ovalizaciones, los tubos están listos para su expedición a obra.

Como acción complementaria al control de



■ Acopio de tubería en fábrica.

calidad del producto terminado, se realiza el siguiente ensayo: Pruebas de estanqueidad de tubos en fábrica. Uno de cada 250 tubos será sometido a una prueba de presión hidráulica.

La presión de prueba a aplicar debe ser tal, que la tensión en la pared del tubo sea de $-0,5$ MPa, teniendo en cuenta las pérdidas de postesado en el momento de realizar la prueba. La presión de prueba se mantendrá un tiempo mínimo de 3 min. Durante el ensayo no se producirán fugas ni fisuración. No deberán aparecer en el revestimiento fisuras sensiblemente longitudinales de abertura superior a $0,1$ mm en una longitud de $0,30$ m ininterrumpidamente.

Para esta prueba la dirección de obra realizó una visita a fábrica para estar presente por cada diámetro 1800, 1600 y 1400. Todas con resultados satisfactorios.



Instalación y ejecución

Para la explicación de este proceso se pueden distinguir los capítulos siguientes:

- Transporte.
- Excavación y preparación de la zanja.
- Montaje de la tubería.
- Piezas especiales.
- Pruebas hidráulicas.

Incidir en que tanto en la excavación como el montaje es de vital importancia conocer el sustrato en el que se va a instalar la conducción. Geológicamente, el área de proyecto está situada en el curso bajo del Río Ter, donde las importantes llanuras aluviales caracterizan la morfología de la zona. La sucesión litoestratigráfica queda constituida por 2 niveles diferentes, que de techo a base son:

- Depósitos Cuaternarios (Q).
- Unidad Terciaria (T).

Los depósitos cuaternarios son los más abundantes y representativos, que, atendiendo a su génesis y edad, se pueden agrupar en los siguientes tipos:

- Depósitos de Llanura Deltaica.
- Terrazas Fluviales.
- Meandros Abandonados.
- Dunas fijas
- Aluviales actuales.

• Transporte.

El transporte de los tubos se realizó con camiones tipo trailer que permitían transportar 2 tubos por camión, por lo que el acondicionamiento de los accesos es vital para permitir la circulación y maniobras de este tipo de vehículos.

Normalmente el montaje se hacía directamente sobre camión obra, pero en ocasiones se necesitaban acopios intermedios (zonas de ancho restringido), donde los tubos se apoyaban sobre cunas de madera o montones de tierra evitando elementos punzantes, respetando las secuencias de apoyo ($L/5$)-apoyo ($3L/5$)-apoyo- $(L/5)$, siendo L la longitud del tubo (6 m).

• Excavación y preparación de la zanja

El replanteo de la traza se realizó mediante estacas cada 20 m, marcando la traza con cal y señalando los puntos singulares de la misma,

tales como ventosas, desagües, válvulas de corte, pasos de caminos y cruces de carretera. En la fase posterior al replanteo se realizó una campaña de catas (1 cata/ 150 m aprox.) coincidentes con los puntos donde se instalaría piezas especiales, de esta manera se caracteriza el material para el correcto dimensionado del anclaje y el perfil del terreno (presencia de nivel freático y tipo de perfil del terreno (arenoso o textura media)). La información recogida es de vital importancia para la elección de los equipos de agotamiento de nivel freático, dimensionar el ancho de zanja y ocupaciones necesarias.

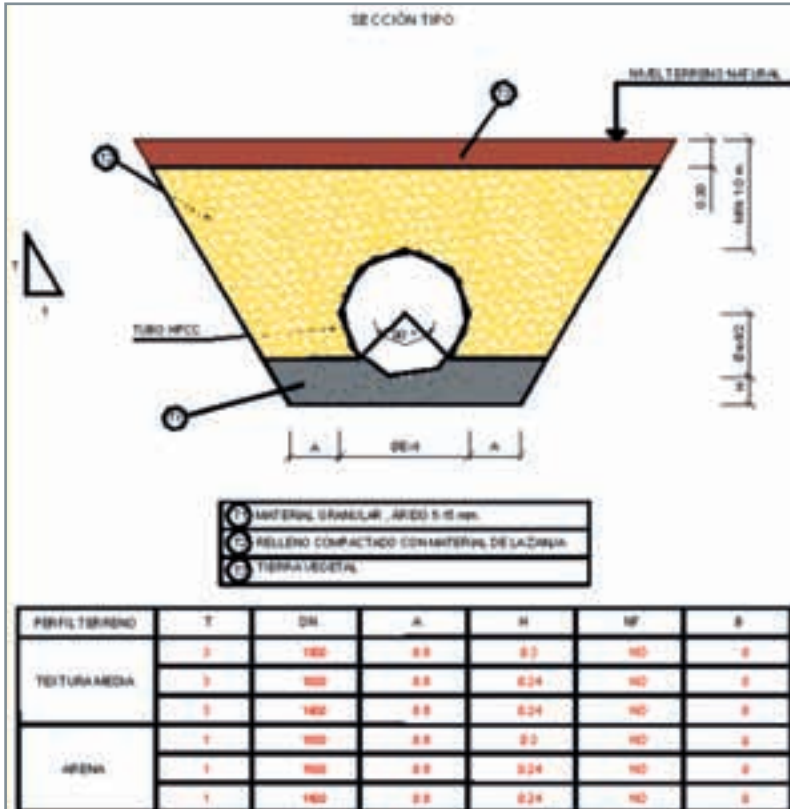
Para la excavación de la zanja se procedió en primer lugar a hacer el desbroce de la tierra vegetal teniendo en cuenta el ancho de la zanja y además el acondicionamiento del camino de acceso para el montaje de la tubería. Esta operación se ha realizado con motoniveladora.



En segundo lugar se procedió a realizar la excavación de la zanja de alojamiento. El ancho de zanja en la base inferior debe garantizar una solera de entre $3,2$ - $2,8$ m (variable en función del diámetro) para la construcción de la cama de asiento de la conducción (espesores 24 - 30 cm). El ancho de zanja en la parte superior viene condicionado por el material del suelo ($H=1:V=3$ en el caso de suelo de textura media y $H=1:V=1$ en caso de suelos arenosos) y por la profundidad de zanja (entre 3 - 6 m de profundidad). Se ha hecho mención en apartados anteriores que en el diseño del tubo las alturas de relleno de tierras consideradas sobre la generatriz superior del tubo fueron de 1 - 3 m (en casos puntuales hasta 5 m).



Canalización



■ Preparación de la cama.



■ Zanja en terreno arenoso (Izda.) y zanja en terreno de textura media (Dcha.).



■ Proceso de montaje.

La maquinaria empleada en la excavación han sido excavadoras giratorias de orugas de 55 y 20 t. En el caso de zanjas en perfil arenoso son necesarias 2 giratorias una que realiza el vaciado y otra que realiza remonte de tierras excavadas por la primera.

Destacar que en algunos tramos la presencia del nivel freático y/o la poca estabilidad de los terrenos hizo necesario el empleo de tablestacas y *well point*, que se explicará en el siguiente punto.



Es importante hacer hincapié en la seguridad de las excavaciones que se realizaron, ya que no se produjo durante toda la obra ningún desprendimiento que ocasionará daños materiales o físicos.



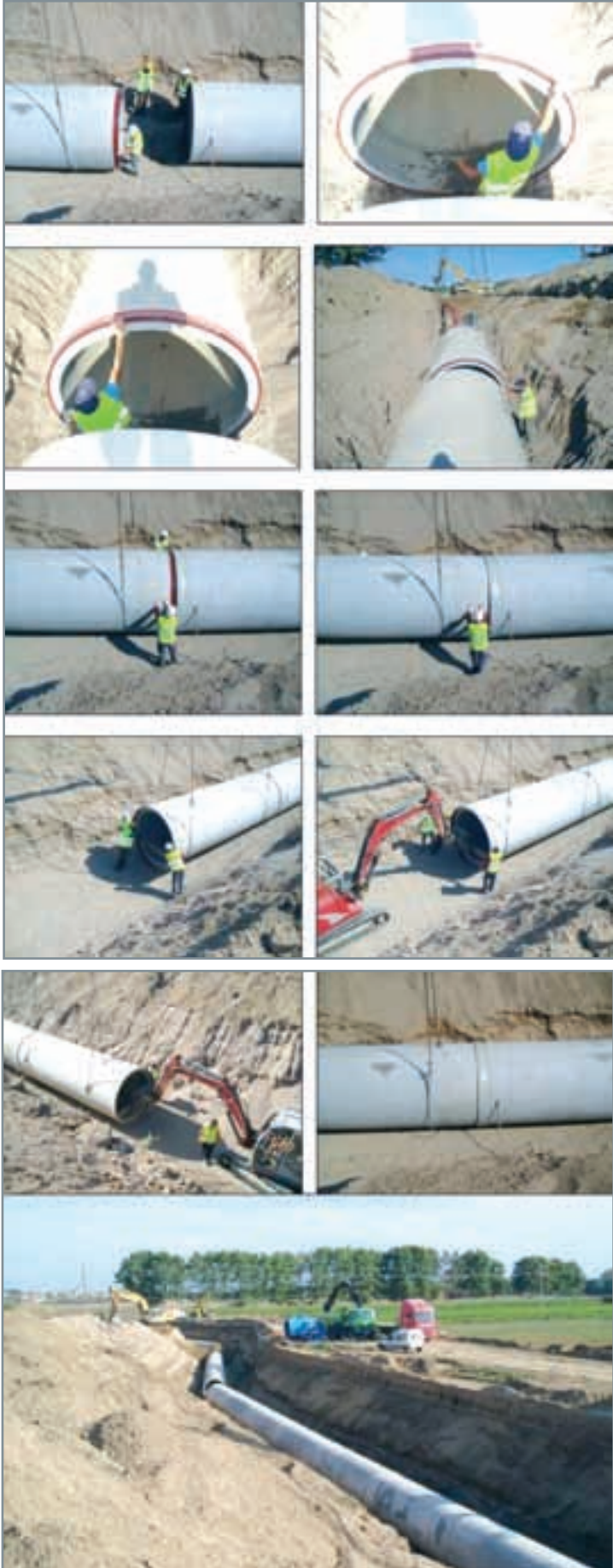
• Montaje de la tubería

El montaje de la tubería se hizo directamente desde el camión trailer que transportaba los tubos a la zanja o bien desde acopios interme-

dios acondicionados con el siguiente equipo de montaje: un oficial montador, dos peones y una grúa de 100 toneladas que permitiera montar 4 tubos en una posición.

Realizado un buen rasanteo de la zanja y ejecutada la cama de apoyo granular (nivelación con láser), el montaje de la tubería es relativamente sencillo: se limpian los cabezales perfectamente; se monta la junta elástica en su alojamiento en el cabezal macho repartiendo la tensión a toda la goma para evitar arrollamientos; se impregna con jabón neutro toda la junta, y se hace penetrar el tubo que tiene suspendido la grúa en la hembra del tubo anterior ayudado por un tráctel. En esta obra se empleó en vez de un tráctel una mingiratoria que introducida en la zanja hacia las funciones de elemento de apriete (el empuje no se realiza directamente en el tubo sino en un sufridor de madera tipo travesa), hasta que el cabezal hembra quede enfrentada con el borde exterior del hormigón del cabezal macho.

Canalización



Instalado el tubo se completa el relleno granular hasta 90° del tubo. A continuación se procede al relleno de la zanja con material procedente de la excavación, vertiéndolo de manera uniforme a ambos lados del tubo y compactándolo mediante medios ligeros hasta alcanzar el tapado completo de la zanja.

• Piezas especiales

Los puntos singulares de cambios de dirección, derivaciones (desagües, ventosas y ramales de riego) y reducciones en la conducción se resuelven mediante piezas de calderería, cuyas características se han comentado en apartados anteriores.

En la obra se han colocado un total de 82 piezas de calderería (promedio de 1 pieza cada 123 m). El planteamiento de ejecución de obra se ha realizado de manera que cuando el montaje de tubería de HPCC llega a un punto singular se monta la pieza y a continuación se sigue montando tubo de HPCC. Esta opción exige un trabajo importante de topografía y diseño para ajustar los tramos de tubería a múltiplos de 6 m y encajar la pieza especial que resuelve cada punto singular.

Por otro lado es muy relevante el suministro continuado de las mismas para que no ralenti-



ce el montaje de la tubería. Las ventajas que presenta la opción elegida son mayor rapidez en el montaje de las mismas, reducción de riesgo de entrada de agua/barro a la tubería por lluvia o riego y finalmente reducción del tiempo de ocupación a los afectados por las obras.

Las piezas para derivaciones o reducciones se han montado con junta elástica, las piezas van provistas de los cabezales suministrados por el fabricante de la tubería al taller de calderería. En el caso de los cambios de dirección se optó por suministrar piezas con cabezales, montaje sin junta y posterior soldadura (el montaje con junta elástica es complicado por necesitarse varios trácteles para el montaje).

Con este modo de ejecución se ahorra una soldadura por pieza en comparación con otros tipos de ejecución que se realiza en dos partes: la que se enchufaba al cabezal hembra del tubo y una virola telescópica de cierre que unía la pieza metálica con el cabezal macho del tubo siguiente. Por tanto había que ejecutar tres cordones de soldadura en obra para montar la pieza.

En la mayoría de piezas se ha instalado una boca de hombre de Ø600mm, cuyo objetivo es facilitar en explotación inspecciones interiores de la conducción y durante la fase de obra facilitar acceso y aireación en el momento de ejecutar soldadura.

Todas las piezas están revestidas exteriormente por hormigón, bien para su protección y en el caso de codos, reducciones, válvulas y cambios de dirección con su macizo de anclaje perfectamente dimensionado para evitar movimientos.

■ Proceso de montaje.



Acta de una de las pruebas de presión.

• Pruebas hidráulicas

Conforme se iba realizando el montaje de la conducción, se probó la conducción por tramos totalmente terminado, dividiendo ésta en ocho tramos con longitudes de 1000 a 1500 m.

Todos los elementos de la red deben cumplir las pruebas de tubería en zanja, para ello, piezas especiales y valvulería estaban instalados antes de su ejecución, con sus correspondientes anclajes y en perfecto estado de funcionamiento.



Para la realización de la prueba se cerraron los extremos con los tapones de prueba unidos a los tubos mediante junta elástica, para evitar que la tubería sufriese esfuerzos longitudinales. Éstos se anclaron con los muros de reacción para la ejecución de las Hincas y a unas arquetas de piezas especiales que se reforzaron.



El protocolo de pruebas para la obra de referencia se dividió en dos fases:

A.- Preliminar

1er paso: Llenado lento de las redes de riego. Limpieza de tuberías por desagües. Ventosas abiertas para la salida de aire.

2º paso: Tramo con MDP (Presión de Máxima de Diseño).- Para el caso que nos ocupa el valor de MDP se fijó, para todos los tramos a

probar, a la mitad de la presión de prueba. Se fue incrementando la presión muy lentamente. Alcanzada la presión de consigna se anota el valor de presión en el punto de prueba y dejaba la tubería reposar entre 48 y 72 horas, siendo este paso fundamental para el buen desarrollo de la prueba ya que el hormigón del núcleo tiene que llegar a saturarse de agua. Pasado el tiempo de reposo, y en el caso de no observarse fuga, se volvía a tomar el valor de presión.

B.- Principal

SEIASA D.T. Nordeste, S.A. realiza las pruebas de presión basándose en la norma UNE – EN 805:2000 aunque introduciendo pequeñas

variaciones:

La presión de prueba (SP) se determinará según el material de la tubería, para el caso de HPCCJE del proyecto de referencia sería $STP = PN \text{ tubería} \times 1,1 = 4,4 \text{ atm}$.

La caída de presión admisible durante el tiempo de prueba tiene que ser inferior a $2 \text{ mca} = 0,2 \text{ atm}$.

El tiempo de duración de la prueba se fijó en 1 hora.

Si se observaba una caída constante, a pesar de cumplir todos los requisitos anteriores, la Dirección Facultativa puede prolongar el tiempo de duración de la prueba para decidir si la prueba es válida o por el contrario hay que revisar el tramo para detectar la fuga.

Obras Complementarias

• Montaje Zona Molino de Jafre



I. DATOS DE LA TUBERÍA Y DEL TRAMO PRUBADO	
Identificación del grupo de tuberías	Tramo 5
Material	HPCCJE (1000 mm x 100 mm)
Diámetro	1000
Longitud de tramo (m)	4
N. Ancho	1000
N. Alto	1000
Longitud de tubería (m)	1,200
Marca fabricante de tubería (mca)	1,42 m (100,79 mca = 0,94 mca x 1,42)

II. DATOS DE LA PRUEBA		
	PUNTO INICIAL	PUNTO FINAL
m	24,270-00	24,270
Cota (m) (EJE o centro tubería)	6,371 (24,270)	6,371 (24,270)
Medida máxima tubería (mca)	4,4	4,4
Medida total de prueba (mca) (según norma)	4,4	4,4
Medida total de prueba (mca) (según norma) + 0,2	4,6	4,6
Medida máxima tubería de la prueba de prueba (mca)	2	2

III. RESULTADOS DE LA PRUEBA		
	PUNTO INICIAL	PUNTO FINAL
Medida final de la prueba (mca)	4,4	4,4
Caída máxima de presión de prueba (mca)	0,2	0,2

IV. CONCLUSIONES DE LA PRUEBA	
VALORES	COMENTARIOS
VALORES	RESULTADOS
SE ACEPTA	

Nota: Se adjunta plano de perfil del tramo probado.

ACEPTADO POR JEFE DEL MONTAJE: *[Firma]* ACEPTADO POR TRABAJOS: *[Firma]*

Revisor: Manuel Alejandro Rojas Fecha: Revisor: Alfredo Ojeda Martínez Fecha:

• Tablestacas en el montaje de tubería



• Utilización de Well Point

Previo a la instalación se rebaja el terreno hasta dejar la cota superior a 20-30 cm del nivel freático. En la imagen inferior se muestra la preparación de la zanja para la utilización del



Canalización

Well Point en la instalación de una tubería de HPCCJE DN 1400. El perfil del suelo se presenta con los primeros 1,5-2 m de terreno franco y por debajo arena. Para poder ejecutar la zanja es necesaria la construcción de una berma de protección de 0,7-1m y taludes 1:1 hasta llegar a cota de excavación.

En la fotos siguientes se muestra el montaje de los colectores y el acopio de lanzas, todo ellos elementos fundamentales del *Well Point*. El montaje de las lanzas se realiza mediante agua a presión que facilita la introducción de la lanza en el terreno.



Introducción de la lanza en el terreno.



Introducida la lanza en el terreno se desacopla de la tubería de presión y se conecta al colector que conduce el agua aspirada por la bomba



• Hincado de DN1800



Conclusión

Mostrar a la tubería postesada con camisa de chapa y junta elástica como una solución técnicamente idónea para cualquier actuación de tubería con presión y diámetros superiores a 800 mm. Como ejemplo, se ha descrito la utilización de este tipo de tubo para una red principal, en una de las obras que se están ejecutando en la actualidad de Modernización de Regadíos.



Para estas redes principales es muy importante la elección del material a instalar porque se necesitan las siguientes características, que en este caso se confirman:

- Durabilidad.
- Resistencia a las cargas exteriores e interiores.
- Funcionalidad.
- Simplicidad en la instalación.
- Solución competitiva.



PREFABRICADOS DELTA, S.A.
Retama, 7 • 28045 Madrid
☎: 915 300 047 • Fax: 915 300 187
E-mail: delta@prefabricadosdelta.com
Web: www.prefabricadosdelta.com