


Financiado por la Unión Europea
NextGenerationEU



PROYECTO DE MODERNIZACIÓN E IMPLANTACIÓN DE NUEVAS TECNOLOGÍAS Y LA MEJORA DE LA EFICIENCIA ENERGÉTICA EN LA ZONA REGABLE DEL CANAL DE ORELLANA (BADAJOZ Y CÁCERES)



ANEJO Nº4. ESTUDIO DE ALTERNATIVAS

ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN.....	1
2. SOLUCIONES TÉCNICAS ESTUDIADAS	1
2.1. ALTERNATIVA 0: NO REALIZAR LA ACTUACIÓN	2
2.2. ALTERNATIVA 1: MEJORA Y MODERNIZACIÓN DE LAS REDES DE RIEGO ACTUALES INSTALANDO CONDUCCIONES ABIERTAS FORMADAS POR ACEQUIAS PREFABRICADAS	3
2.3. ALTERNATIVA 2: MEJORA Y MODERNIZACIÓN DE LA RED DE RIEGO INSTALANDO CONDUCCIONES CERRADAS FORMADAS POR TUBERÍAS ENTERRADAS	4
2.4. ALTERNATIVA 3: MEJORA Y MODERNIZACIÓN DE LAS REDES DE RIEGO MEDIANTE IMPERMEABILIZACIÓN DE LAS ACEQUIAS ACTUALES	5
2.5. ALTERNATIVA 4: MEJORA Y MODERNIZACIÓN DE LA RED DE RIEGO INSTALANDO CONDUCCIONES CERRADAS FORMADAS POR TUBERÍAS ENTERRADAS PRESURIZADAS CON BOMBEO	6
2.6. CONCLUSIÓN Y PRIORIDADES EN LA SELECCIÓN DE ALTERNATIVAS.....	8
3. LISTADOS DE ACTUACIONES POR SOLUCIONES TÉCNICAS PROPUESTAS.....	10
3.1. ALTERNATIVA 0: NO ACOMETER NINGUNA ACTUACIÓN.....	10
3.2. ALTERNATIVA 1: MEJORA Y MODERNIZACIÓN DE LAS REDES DE RIEGO ACTUALES INSTALANDO CONDUCCIONES ABIERTAS FORMADAS POR ACEQUIAS PREFABRICADAS	10
3.3. ALTERNATIVA 2: MEJORA Y MODERNIZACIÓN DE LA RED DE RIEGO INSTALANDO CONDUCCIONES CERRADAS FORMADAS POR TUBERÍAS ENTERRADAS	11
3.4. ALTERNATIVA 3: MEJORA Y MODERNIZACIÓN DE LAS REDES DE RIEGO MEDIANTE IMPERMEABILIZACIÓN DE LAS ACEQUIAS ACTUALES	12
3.5. ALTERNATIVA 4: MEJORA Y MODERNIZACIÓN DE LA RED DE RIEGO INSTALANDO CONDUCCIONES CERRADAS FORMADAS POR TUBERÍAS ENTERRADAS PRESURIZADAS CON BOMBEO	12
4. SELECCIÓN DE MATERIALES PARA TUBERÍAS.....	12
4.1. CONSIDERACIONES GENERALES SOBRE LA SELECCIÓN DEL MATERIAL DE LA TUBERÍA	12
4.2. PRINCIPALES MATERIALES UTILIZADOS EN TUBERÍAS A PRESIÓN	13
4.3. CUESTIONES ADICIONALES	17
4.4. PANORÁMICA GENERAL DE LOS MATERIALES	19
4.5. PROPUESTA DE MATERIALES.....	20
5. SELECCIÓN DE TIPOLOGÍA DE ACEQUIAS	25

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Valores de eficiencia en la red de distribución	1
Tabla 2. Alternativa 1	10
Tabla 3. Alternativa 2	11
Tabla 4. Alternativa 3	12
Tabla 5. Comparativa de características de materiales para tuberías.....	20
Tabla 6. Comparativa de precios de tuberías	23

1. INTRODUCCIÓN

En el presente anejo se realiza una exposición y comparativa de las distintas soluciones o alternativas técnicas tenidas en cuenta, tomando como referencia la alternativa de no acometer ninguna actuación (Alternativa 0), así como una síntesis de la propuesta finalmente proyectada.

Además, debido a la importancia que representa para este proyecto, se estudian las distintas posibilidades de materiales a emplear tanto en tuberías como en acequias, proponiendo los criterios de selección en cada caso.

2. SOLUCIONES TÉCNICAS ESTUDIADAS

El aspecto fundamental estudiado, por ser el de mayor relevancia para el proyecto, ha sido la selección de la solución técnica más conveniente para cada una de las actuaciones lineales previstas, que tienen por objeto mejorar o corregir las conducciones actuales de la red de riego por encontrarse en mal estado de conservación, provocado principalmente por el paso del tiempo, habiendo agotado ya en la mayoría de los casos su vida útil.

Las alternativas que se plantean buscan resolver o mejorar el deterioro existente en las acequias propuestas para su actuación, que viene provocando pérdidas de volúmenes de agua considerables, motivo por el que se hace necesario su renovación para la optimización de este recurso.

En este sentido, para cada una de las conducciones (normalmente acequias) que la Comunidad General de Usuarios plantea con mayor necesidad de actuar, se estudia en primer lugar la tipología de actuación o solución técnica idónea en cada caso.

Este análisis es el de mayor importancia de cara al proyecto, puesto que resulta crucial en la definición de las distintas actuaciones.

En particular, el aspecto más relevante que se considera para la selección de las alternativas es la estimación de **mejora de la eficiencia hídrica de cada solución técnica propuesta**. Para ello, se toman como referencia los valores habituales de eficiencia para estimación directa en una red de distribución que se exponen a continuación (extraídos de los indicadores para el ahorro de agua de las *Bases Reguladoras de ayudas para la consolidación y modernización de los regadíos de Extremadura*):

Eficiencia en la red de distribución				
Tipo de conducción		Estado de la conducción		
		Deficiente	Regular	Bueno
Red abierta	Sin revestir	0,40	0,50	0,60
	Revestida	0,60	0,70	0,85
Conducción cerrada		0,80	0,90	0,95

Tabla 1. Valores de eficiencia en la red de distribución

En base a lo anterior, se plantean las siguientes soluciones técnicas:

- ALTERNATIVA 0: NO REALIZAR LA ACTUACIÓN

- ALTERNATIVA 1: MEJORA Y MODERNIZACIÓN DE LAS REDES DE RIEGO ACTUALES INSTALANDO CONDUCCIONES ABIERTAS FORMADAS POR ACEQUIAS PREFABRICADAS
- ALTERNATIVA 2: MEJORA Y MODERNIZACIÓN DE LA RED DE RIEGO INSTALANDO CONDUCCIONES CERRADAS FORMADAS POR TUBERÍAS ENTERRADAS
- ALTERNATIVA 3: MEJORA Y MODERNIZACIÓN DE LAS REDES DE RIEGO MEDIANTE IMPERMEABILIZACIÓN DE LAS ACEQUIAS ACTUALES
- ALTERNATIVA 4: MEJORA Y MODERNIZACIÓN DE LA RED DE RIEGO INSTALANDO CONDUCCIONES CERRADAS FORMADAS POR TUBERÍAS ENTERRADAS PRESURIZADAS CON BOMBEO

La explicación del estudio realizado se presenta en los siguientes apartados:

2.1. ALTERNATIVA 0: NO REALIZAR LA ACTUACIÓN

En las conducciones en las que se pretende actuar, la situación actual es insostenible por su mal estado estructural y de conservación, que se traduce normalmente en considerables pérdidas de agua y en un deficiente funcionamiento hidráulico que además ocasiona problemas de disponibilidad de agua para los usuarios ubicados en los tramos finales de las acequias.

A pesar de ello, se valora como Alternativa 0 la opción de mantener dichas redes de riego tal como se encuentran actualmente, como referente del punto de partida.

El problema fundamental de esta alternativa es que **no resuelve la problemática existente**.

Ventajas:

- No requiere inversión económica.
- Se evitan molestias y afecciones a los usuarios, al no ejecutarse obras.

Inconvenientes:

- Permanece la infraestructura actual, por lo que no se corrigen las pérdidas actuales. **No se consigue aumentar la eficiencia hídrica**, que se traduce en que se mantienen los actuales consumos de agua.
- Se mantiene y, por tanto, **no se corrige el funcionamiento hidráulico actual**, que en algunos casos es muy deficiente y que, en relación con el punto anterior, ocasiona falta de disponibilidad de agua en los tramos finales de las conducciones.
- Requiere mantener importantes costes en reparaciones, mantenimiento y conservación.
- Posibilidad de roturas o colapso de las infraestructuras actuales por el deficiente estado de conservación en muchos casos, con riesgo de accidentes para personas o bienes y de graves deficiencias en el riego si se producen durante la campaña de riegos.

2.2. ALTERNATIVA 1: MEJORA Y MODERNIZACIÓN DE LAS REDES DE RIEGO ACTUALES INSTALANDO CONDUCCIONES ABIERTAS FORMADAS POR ACEQUIAS PREFABRICADAS

Con esta alternativa, se trata de mejorar la red de distribución de riego mediante la sustitución de las conducciones actuales (normalmente acequias prefabricadas o ejecutadas in situ, aunque también algunos tramos puntuales de tubería) por nuevas acequias, formando una conducción abierta, en lámina libre.

En esta alternativa, la modernización aprovecha total o parcialmente la cimentación existente cuando su estado actual lo permite, puesto que el trazado de la red coincide con el mismo trazado actual de las conducciones.

En líneas generales, resolvería y mejoraría el deterioro existente en las acequias propuestas para su actuación, que viene provocando pérdidas de volúmenes de agua considerables.

Ventajas:

- Consigue mejorar la eficiencia hídrica al reducir pérdidas por fugas. Tomando como referencia los valores de eficiencia para estimación directa citados anteriormente, esta alternativa **mejoraría la eficiencia hídrica en la red de distribución pasando del 0,6 actual al 0,85.**
- Permite aprovechar parte de las infraestructuras actuales.
- Da continuidad a las mejoras llevadas a cabo mediante acequia en actuaciones de modernización realizadas previamente.
- Las afecciones durante la ejecución de las obras por ocupación temporal son moderadas, menores que con tubería.

Inconvenientes:

- No reduce las pérdidas por evaporación ni las pérdidas por excedentes al final de la acequia. **No es la solución de mayor eficiencia hídrica.**
- Es la actuación que mayor inversión supone.
- Los costes de explotación y mantenimiento son mayores que con conducciones cerradas enterradas.
- No favorece el control de consumo en parcelas y no facilita la implantación de riegos localizados, más eficientes.
- Requiere la demolición o retirada de la infraestructura actual, que obliga a gestionar los residuos generados.

2.3. ALTERNATIVA 2: MEJORA Y MODERNIZACIÓN DE LA RED DE RIEGO INSTALANDO CONDUCCIONES CERRADAS FORMADAS POR TUBERÍAS ENTERRADAS

Esta alternativa trata de mejorar y modernizar la red de distribución de riego mediante la sustitución de la red de conducciones actuales (normalmente acequias prefabricadas o ejecutadas in situ, aunque también algunos tramos puntuales de tubería) por nuevas tuberías enterradas, con la disposición de hidrantes de parcela o derivaciones hacia los ramales o acequias derivadas.

En líneas generales, también resolvería y mejoraría esta alternativa el deterioro existente en las acequias propuestas para su actuación, que viene provocando pérdidas de volúmenes de agua considerables.

De hecho, en principio **es la alternativa que se plantea como más idónea, por ser la que en mayor intensidad consigue el principal objetivo del proyecto: ahorrar agua mediante el aumento de la eficiencia hídrica sin necesidad de consumo energético.**

En los casos en los que se trata de sustitución de tubería existente por nueva tubería, es prácticamente la única alternativa posible, puesto que se trata de antiguas actuaciones de entubado de acequias, que tienen problemas de funcionamiento hidráulico o que están en mal estado. En estos casos, no se contempla como posible solución volver a colocar acequia.

Ventajas:

- **Es la solución que mayor eficiencia hídrica consigue (junto con Alternativa 4).** Se basa en que, además de que reduce casi la totalidad de las pérdidas actuales por fugas en paños fisurados, juntas, etc., supone menores pérdidas respecto a la opción de sustituir por acequia nueva (al reducir pérdidas por fugas en juntas y elementos de regulación, y por evitar las pérdidas evaporación).

Tomando como referencia los valores de eficiencia para estimación directa citados anteriormente, esta alternativa mejoraría la eficacia hídrica en la red de distribución según lo siguiente:

- **Mejora de eficiencia del 0,6 actual al 0,95, en el caso de sustitución de acequias por tubería.**
 - **Mejora de eficiencia del 0,8 actual al 0,95 en el caso de sustitución de tuberías en mal estado por otras nuevas.**
- Además, esta alternativa abunda en la mejora de la eficiencia hídrica, en tanto que:
 - Supone mayor control y regulación del consumo de agua, al contar con sistemas de regulación y control en la red y en parcela. Mejora en mayor medida la capacidad de control y regulación del consumo de agua.
 - La red entubada permite consumir bajo demanda ordenada, por lo que no se producen pérdidas por caudales sobrantes al final de la red, como ocurre en redes de acequias.
 - En la mayoría de los casos, los hidrantes de riego pueden tener presión al aprovechar el desnivel del terreno respecto al nivel piezométrico del canal desde el que se abastecen. Al margen de tener mayor control y eficiencia en la red, contar con cierta presión en el hidrante presenta las ventajas siguientes:

- Permite (fomenta) la implantación de sistemas de riego más eficiente, por riego localizado, fundamentalmente.
 - Se favorece que los agricultores opten por cultivos más rentables.
 - Donde ya está implantado el sistema de riego localizado (actualmente con el consumo de energía necesario para presurizar), se puede reducir el consumo energético asociado al mismo, en la proporción equivalente a la presión otorgada en hidrante.
- El coste de la inversión es menor que en acequia.
 - El coste de mantenimiento y conservación es menor que en acequias, al ser infraestructuras más simples, manejables y duraderas.
 - No supone barreras a la movilidad en la zona, al ser conducción enterrada.
 - Reduce los riesgos de rotura accidental por impacto de vehículos o acciones vandálicas, al no estar visible.

Inconvenientes:

- El transporte de agua por tubería tiene **mayores pérdidas de carga que en lámina libre**. Por ello, solo es posible esta solución cuando la orografía lo permite. En terrenos con escasa pendiente, donde no existe desnivel suficiente, se requeriría elevar el nivel piezométrico mediante bombeo (conforme Alternativa 4).
- Al tratarse de redes de baja presión, el funcionamiento hidráulico está más comprometido y requiere de especial cuidado la aireación de la tubería.
- Por ser redes dimensionadas a caudales máximos y que una buena parte del tiempo pueden funcionar con caudales menores, hay posibilidad de sedimentación en las tuberías, generando posibles deficiencias de funcionamiento por pérdida de capacidad hidráulica y generando costes asociados a la limpieza de las redes.
- Requiere la demolición o retirada de la infraestructura actual, que obliga a gestionar los residuos generados.
- Aunque la ocupación de terrenos es pequeña, requiere mayor franja de terrenos ocupados temporalmente durante la ejecución de las obras que para la ejecución de acequias.

2.4. ALTERNATIVA 3: MEJORA Y MODERNIZACIÓN DE LAS REDES DE RIEGO MEDIANTE IMPERMEABILIZACIÓN DE LAS ACEQUIAS ACTUALES

Esta opción consiste en mejorar y modernizar la red actual mediante la impermeabilización de las acequias en las que su estado estructural es aceptable, pero que puntualmente tienen paños con fisuras por donde hay fugas de agua y oxidación de las armaduras de acero de la estructura. Se valora como opción, en estos casos, la impermeabilización de los paños para corregir las fisuras mediante aplicación de morteros especiales de reparación y sellado.

Al igual que en las alternativas previas, con esta se resolvería y mejoraría el deterioro existente en las acequias propuestas para su actuación, que viene provocando pérdidas de volúmenes de agua considerables.

Ventajas:

- Consigue mejorar la eficiencia hídrica al reducir pérdidas por fugas. Tomando como referencia los valores de eficiencia para estimación directa citados anteriormente, esta alternativa **mejoraría la eficacia en la red de distribución pasando del 0,6 actual al 0,85**.
- Es la actuación que menor inversión supone (sin considerar la Alternativa 0).
- Mantiene la infraestructura actual prolongando su vida útil, evitando demoliciones que generan residuos.
- No produce afecciones o son mínimas durante la ejecución de las obras.
- Reduce la generación de residuos al no ser necesaria la demolición de la acequia actual.

Inconvenientes:

- No reduce las pérdidas por evaporación ni las pérdidas por excedentes al final de la acequia.
- Se mantiene el sistema de riego en lámina libre, igual que en la actualidad, por lo que se mantiene en nivel actual de control en parcelas y no se facilita la implantación de riegos localizados, más eficientes.

2.5. ALTERNATIVA 4: MEJORA Y MODERNIZACIÓN DE LA RED DE RIEGO INSTALANDO CONDUCCIONES CERRADAS FORMADAS POR TUBERÍAS ENTERRADAS PRESURIZADAS CON BOMBEO

Se trata de mejorar y modernizar la red de distribución de riego mediante la sustitución de la red de conducciones actuales (normalmente acequias prefabricadas o ejecutadas in situ, aunque también algunos tramos puntuales de tubería) por nuevas tuberías enterradas, **incorporando sistemas de bombeo para lograr presurizar la red**.

Igual que con la Alternativa 2, incorporaría la disposición de hidrantes de parcela o derivaciones hacia los ramales o acequias derivadas.

Esta alternativa también resolvería y mejoraría el deterioro existente en las acequias propuestas para su actuación.

Ventajas:

- **Es la solución que mayor eficiencia hídrica consigue (junto con Alternativa 2)**. Se basa en que, además de que reduce casi la totalidad de las pérdidas actuales por fugas

en paños fisurados, juntas, etc., supone menores pérdidas respecto a la opción de sustituir por acequia nueva (al reducir pérdidas por fugas en juntas y elementos de regulación, y por evitar las pérdidas evaporación).

Tomando como referencia los valores de eficiencia para estimación directa citados anteriormente, esta alternativa mejoraría la eficacia en la red de distribución pasando:

- **Mejora de eficiencia del 0,6 actual al 0,95, en el caso de sustitución de acequias por tubería.**
 - **Mejora de eficiencia del 0,8 actual al 0,95 en el caso de sustitución de tuberías en mal estado por otras nuevas.**
- Además, esta alternativa abunda en la mejora de la eficiencia, en tanto que:
 - Suponer mayor control y regulación del consumo de agua, al contar con sistemas de regulación y control en la red y en parcela. Mejora en mayor medida la capacidad de control y regulación del consumo de agua.
 - La red entubada permite consumir bajo demanda ordenada, por lo que no se producen pérdidas por caudales sobrantes al final de la red, como ocurre en redes de acequias.
 - La presión de servicio en hidrante sería en todos los casos suficiente para implantar sistemas de riego localizado, evitaría así las instalaciones de bombeo particulares de los regantes y el consumo y coste energético derivado de la presurización que soporten particularmente los mismos.
 - Puede acometerse cuando la orografía no permite el entubado por gravedad o cuando la orografía solo es favorable para conducción en lámina libre.
 - El dimensionamiento de la red podría optimizarse encontrando el punto óptimo entre consumo energético – diámetro de tuberías de la red.
 - El coste de mantenimiento y conservación de la red es menor que en acequias, al ser infraestructuras más simples, manejables y duraderas. Sin embargo, se requiere mantener y conservar las estaciones de bombeo necesarias.
 - No supone barreras a la movilidad en la zona, al ser conducción enterrada.
 - Reduce los riesgos de rotura accidental por impacto de vehículos o acciones vandálicas, al no estar visible.

Inconvenientes:

- Requiere de red de distribución o alimentación eléctrica (infraestructuras actualmente no existentes).
- Requiere de instalaciones de bombeo.
- Conlleva consumo de energía eléctrica.

- Requeriría actuar en redes completas, para optimizar bombeos y red, en cambio, en este caso se actúa normalmente en tramos concretos. No se ajusta bien a una modernización parcial de la red de riego.
- El transporte de agua por tubería tiene mayores pérdidas de carga que en lámina libre, que hay que suplirlas mediante bombeo cuando la orografía no permite contar con nivel piezométrico suficiente.
- Requiere la demolición o retirada de la infraestructura actual, que obliga a gestionar los residuos generados.
- Aunque la ocupación de terrenos es pequeña, requiere mayor franja de terrenos ocupados temporalmente durante la ejecución de las obras que para la ejecución de acequias.

2.6. CONCLUSIÓN Y PRIORIDADES EN LA SELECCIÓN DE ALTERNATIVAS

La Alternativa 0 no ha sido adoptada en ningún caso, puesto que **no resuelve la problemática** y la necesidad de actuar en las acequias que se plantean en este proyecto es urgente, tanto por la necesidad de ahorrar agua, como por el deficiente estado estructural y funcionamiento hidráulico de las mismas. No actuar podría incluso conducir al abandono de la actividad en algunos casos.

No se selecciona una alternativa única para todas las actuaciones, sino que, **para cada caso, se selecciona la alternativa más adecuada, teniendo en cuenta la situación particular de cada acequia y las ventajas e inconvenientes de cada tipología aplicadas a dicho caso particular.**

En este sentido, la propuesta de solución técnica para actuaciones lineales sigue el siguiente orden de prioridad:

- 1º. Donde la orografía y condiciones hidráulicas lo permiten, siempre se opta por la ALTERNATIVA 2: MEJORA Y MODERNIZACIÓN DE LA RED DE RIEGO INSTALANDO CONDUCCIONES CERRADAS FORMADAS POR TUBERÍAS ENTERRADAS, atendiendo principalmente a que **es la que mayor eficiencia hídrica y mayor ahorro de agua puede conseguir, con menor inversión y menores costes de explotación**. Además, favorece la implantación de sistemas de riego más eficientes, así como cultivos de mayor rentabilidad asociados a riego por goteo, principalmente.
- 2º. Cuando el estado de conservación de la acequia actual lo permite, se opta por la ALTERNATIVA 3: MEJORA Y MODERNIZACIÓN DE LAS REDES DE RIEGO MEDIANTE IMPERMEABILIZACIÓN DE LAS ACEQUIAS ACTUALES, puesto que se **consigue un considerable incremento de la eficiencia hídrica con una reducida inversión**, en comparación con la que sería necesaria si hubiera que ejecutar una infraestructura nueva.
- 3º. Cuando por razones de orografía no tengamos desnivel que permita una piezométrica suficiente para el diseño de una conducción cerrada de baja presión (sin bombeo), se opta por la ALTERNATIVA 1: MEJORA Y MODERNIZACIÓN DE LAS REDES DE RIEGO ACTUALES INSTALANDO CONDUCCIONES ABIERTAS FORMADAS POR ACEQUIAS PREFABRICADAS, puesto que aporta una mejora considerable de la eficiencia hídrica cuando el estado de conservación de la acequia no hace posible limitar la mejora a una impermeabilización.

- 4º. Si se actúa en un tramo intermedio y tanto aguas arriba como aguas abajo hay actualmente una conducción abierta (acequia) en buen estado, se opta también por la ALTERNATIVA 1: MEJORA Y MODERNIZACIÓN DE LAS REDES DE RIEGO ACTUALES INSTALANDO CONDUCCIONES ABIERTAS FORMADAS POR ACEQUIAS PREFABRICADAS, para mantener la continuidad de la red que actualmente está en buenas condiciones de servicio sobre la que no se actúa.
- 5º. La ALTERNATIVA 4: MEJORA Y MODERNIZACIÓN DE LA RED DE RIEGO INSTALANDO CONDUCCIONES CERRADAS FORMADAS POR TUBERÍAS ENTERRADAS PRESURIZADAS CON BOMBEO **queda descartada en todos los casos**, principalmente por el importante peso que tienen los inconvenientes vinculados a la necesidad de importantes infraestructuras para bombeo y suministro de energía, así como al coste energético asociado, que no pueden acometerse en el ámbito del proyecto actual. También, por tratarse de actuaciones lineales que se realizan de forma parcial, en tanto que tienen como objeto la mejora en tramos concretos.

Si bien, las tuberías proyectadas contarán con mayores timbrajes de los estrictamente necesarios, en previsión de que la red se pueda presurizar en un futuro.

3. LISTADOS DE ACTUACIONES POR SOLUCIONES TÉCNICAS PROPUESTAS

3.1. ALTERNATIVA 0: NO ACOMETER NINGUNA ACTUACIÓN.

No se propone esta alternativa en ningún caso.

3.2. ALTERNATIVA 1: MEJORA Y MODERNIZACIÓN DE LAS REDES DE RIEGO ACTUALES INSTALANDO CONDUCCIONES ABIERTAS FORMADAS POR ACEQUIAS PREFABRICADAS

Nombre Acequia	Conducción actual	Longitud total actuación (m)	Justificación
A-II-B-3	Acequia	1.616,98	Topografía no favorable para red entubada sin sustituir tramos previos
A-VIII-B-1-MOTOR	Acequia	2.034,89	Topografía no favorable para red entubada. En otro caso, requeriría de rehabilitación de bombeo antiguo y coste energético asociado.
A-XXI-D-8	Acequia (prefabricada)	1.416,32	Topografía no favorable para red entubada. Requeriría bombeo
A-XXIV-9	Acequia (prefabricada)	742,55	Tramos de acequia de la misma red recientemente mejorados.
A-XXVIII-C	Acequia (prefabricada)	1.947,83	Tramos de acequia de la misma red recientemente mejorados. Topografía no favorable para red entubada
A-XXVIII-D	Acequia (prefabricada)	3.143,49	Tramos de acequia de la misma red recientemente mejorados.
A-XXIX-5-2	Acequia (prefabricada)	1.726,50	Topografía no favorable para red entubada, requeriría bombeo
A-XXIX-5-BIS-2	Acequia (prefabricada)	2.128,38	Tramos de acequia de la misma red recientemente mejorados. Topografía no favorable para red entubada, requeriría bombeo
A-XXX-6	Acequia (prefabricada)	3.657,70	Topografía no favorable para red entubada
A-XXXI-D	Acequia (prefabricada)	893,55	Tramos de acequia de la misma red recientemente mejorados. Topografía no favorable para red entubada, requeriría bombeo

Tabla 2. Alternativa 1

3.3. ALTERNATIVA 2: MEJORA Y MODERNIZACIÓN DE LA RED DE RIEGO INSTALANDO CONDUCCIONES CERRADAS FORMADAS POR TUBERÍAS ENTERRADAS

Nombre Acequia	Conducción actual	Longitud total actuación (m)	Justificación
A-II-B	Acequia (in situ)	428,01	Topografía favorable para red entubada
A-II-B-2	Mixta Acequia (in situ y prefabricada) + Tubería	1.335,92	Topografía favorable para red entubada
CSN1-A-I-A	Mixta Acequia (in situ) +Tubería en cajero	2.032,48	Topografía favorable para red entubada
CSN1-A-I-B	Acequia (in situ)	1.122,40	Topografía favorable para red entubada
A-IV-3	Tubería	292,04	Se trata de un cruce bajo cauce en tubería
A-VIII-A	Tubería en cajero	340,78	Topografía favorable para red entubada
A-VIII-B	Acequia	4.023,33	Topografía favorable para red entubada
A-X-A	Mixta Acequia (prefabricada) + Tubería en cajero	3.523,73	Topografía favorable para red entubada
A-XIII-A-2	Mixta Acequia (in situ) +Tubería	2.812,99	Topografía favorable para red entubada
A-XVIII-F	Acequia (prefabricada)	3.949,47	Topografía favorable para red entubada
A-XVIII-F-11	Acequia (prefabricada)	6.872,72	Topografía favorable para red entubada
A-XX-A-15	Acequia (prefabricada)	4.536,37	Topografía favorable para red entubada
A-XX-A - 8 prima	Acequia (prefabricada)	556,26	Topografía favorable para red entubada
A-XXIII-C	Acequia (prefabricada)	2.087,32	Topografía favorable para red entubada
A-XXV-G-Bis	Acequia (prefabricada)	1.102,24	Topografía favorable para red entubada
A-XXXV-J	Acequia (prefabricada)	2.784,77	Topografía favorable para red entubada
A-IX-H	Acequia	75	Se anula acequia mediante tramos en tubería de conexión con toma directa

Tabla 3. Alternativa 2

3.4. ALTERNATIVA 3: MEJORA Y MODERNIZACIÓN DE LAS REDES DE RIEGO MEDIANTE IMPERMEABILIZACIÓN DE LAS ACEQUIAS ACTUALES

Nombre Acequia	Conducción actual	Longitud total actuación (m)	Justificación
A-XXVIII-D	Acequia (prefabricada)	1.573,21	Estado estructural aceptable que permite resolver la problemática con impermeabilización
A-XXX-6	Acequia (prefabricada)	4,49	Estado estructural aceptable que permite resolver la problemática con impermeabilización

Tabla 4. Alternativa 3

3.5. ALTERNATIVA 4: MEJORA Y MODERNIZACIÓN DE LA RED DE RIEGO INSTALANDO CONDUCCIONES CERRADAS FORMADAS POR TUBERÍAS ENTERRADAS PRESURIZADAS CON BOMBEO

No se propone esta alternativa en ningún caso.

4. SELECCIÓN DE MATERIALES PARA TUBERÍAS

4.1. CONSIDERACIONES GENERALES SOBRE LA SELECCIÓN DEL MATERIAL DE LA TUBERÍA

En el presente trabajo, las tuberías son de gran relevancia, por lo que se considera de interés analizar los posibles materiales que podrían dar solución a las actuaciones que se pueden resolver mediante tubería.

Desde un punto de vista estrictamente hidráulico, el criterio de selección de un material pasaría únicamente por adoptar la tubería más lisa, puesto que, a igualdad de diámetros, se tiene la máxima capacidad de transporte. Esto, evidentemente, es un análisis muy simple, ya que seleccionar un material es una cuestión que depende de múltiples factores, como son coste, facilidad de transporte y montaje, resistencia a cargas internas y externas, protección requerida en función del tipo de terreno en que va a ser instalada y del agua a transportar, envejecimiento que puede experimentar, mantenimiento que requiere y tiempo de vida previsto.

No existe una solución óptima global. Todos los materiales tienen sus ventajas e inconvenientes y, en consecuencia, la solución adoptada lo debe hacer desde un escenario específico.

La selección del material de la tubería viene condicionada tanto por el **entorno** en el que va a ser instalada como por sus **condiciones de uso**. Ambas circunstancias constituyen datos de partida para tal elección y tenemos:

- ✓ La misión asignada a la tubería y su importancia en el conjunto del sistema.
- ✓ El tipo de terreno en que va a ser instalada y el agua que debe transportar, aspectos que condicionan la protección que requiere.
- ✓ Las cargas internas y externas que debe soportar (resistencia mecánica).

- ✓ Relación calidad/precio (coste) en su más amplia acepción.
- ✓ Facilidad de transporte, montaje y reparación.
- ✓ Envejecimiento en el tiempo (durabilidad - corrosión).
- ✓ La incidencia del material en la calidad de las aguas.
- ✓ Los tipos de rotura que se producen y las posibilidades que la tubería presenta para su rehabilitación.

4.2. PRINCIPALES MATERIALES UTILIZADOS EN TUBERÍAS A PRESIÓN

Muchos son los criterios que condicionan la selección del material de una tubería, por ello, a continuación, se describen las particularidades de cada uno de ellos:

4.2.1. Tubería de plástico (PVC, PE y PRFV)

Bajo la palabra “plástico” se engloban un conjunto de materiales que tienen una serie de propiedades comunes y otras distintas.

Presentan la máxima capacidad hidráulica al poderse catalogar como tuberías hidrodinámicamente lisas. Desde el punto de vista de la resistencia a terrenos agresivos son las que mejores prestaciones poseen. Finalmente, y en base a su bajo peso, abaratan mucho el transporte, son muy manejables y fáciles de montar.

Las limitaciones también están bastante bien definidas, su **deformabilidad** ante cargas externas les hace perder su geometría cilíndrica y ello las hace vulnerables a las depresiones. De otra parte, sus coeficientes de resistencia a la tracción las hace poco útiles cuando nos situamos en la gama de presiones elevadas, sobre todo, a partir de un determinado diámetro. Dado el caso, las tuberías de PVC (cloro de polivinilo) serían el material más apto para trabajar en la gama de presiones más elevadas.

Por otro lado, las características de resistencia y módulo de elasticidad se ven sensiblemente modificadas a causa de la temperatura y el paso del tiempo, por lo que un elevado factor de seguridad se obliga a considerar en los cálculos, no por la resistencia inicial sino por la que tendrá el tubo al final de su vida más probable (50 años), por lo que en el corto plazo resultan sobredimensionados.

Tuberías de PVC: en conducciones de abastecimiento o riego se suelen utilizar la versión de PVC duro, no plastificado (PVC-U), es decir, con menos flexibilidad en frío. Las presiones de trabajo llegan hasta las 16atm, ya que en mayores presiones sólo hay diámetros muy pequeños. Lo habitual es no pasar de 10-12.5atm, con las que se llega a 400-630mm de diámetro exterior, pudiendo llegar hasta 900-1000mm. Las juntas utilizables son de diversos tipos: unas son por encolado en frío (desaconsejables) y otras son elásticas flexibles, con enchufe y campana, impermeabilizadas con un aro de elastómero. Se pueden utilizar juntas Gibault y existen especiales con bridas para unir a válvulas, etc. Existen en el mercado todo tipo de piezas especiales.

Dentro del PVC, existe una variación al comúnmente utilizado PVC-U, que es el denominado PVC orientado (PVC-O). El tubo de PVC-O está compuesto al igual que el PVC-U, por policloruro de vinilo, si bien a estos tubos se les realiza un proceso de estiramiento en condiciones de presión y temperatura, consiguiendo la orientación de las moléculas del polímero en la dirección en la que se ha producido el estiramiento. De esta forma se consigue aumentar la resistencia a tracción y a la fatiga, flexibilidad y resistencia al impacto. Estas características hacen que el rango de utilización de estos tubos sea en presiones medias y altas entre 12,5-25 atm, con los que se llega entre 90-800 mm de diámetro exterior, pudiendo llegar hasta 1200 mm aunque con muy poca disponibilidad. La unión entre tubos se realiza mediante junta elástica con enchufe campana. La junta va incorporada

en el propio tubo, se trata de un anillo de polipropileno y un labio de caucho. La existencia de piezas especiales para este material es limitada, debido al proceso de fabricación, se ciñe a algunos codos, reductores y manguitos, todos ellos diseñados para soportar una presión de 16atm, por lo que en el resto de casos, se suele utilizar piezas de fundición.

Tuberías de PE: el campo habitual de utilización de los tubos de polietileno es el de los diámetros pequeños y medianos, 400-500mm, con presiones de hasta 10 atm, pero se puede llegar hasta 16-20atm puntualmente. Las uniones entre tubos pueden hacerse por soldadura en caliente a tope, con máquinas especiales o con varilla. También pueden usarse bridas de polietileno soldadas al tubo, que luego se unen con tornillos.

Tuberías de PRFV: en estos tubos de poliéster, la fibra de vidrio confiere una gran resistencia a tracción, de forma parecida a cómo actúan las barras de acero en el hormigón armado. Pueden soportar presiones internas mucho mayores que las de los tubos de plástico sin reforzar, con presiones de trabajo de 25atm en diámetros de hasta 1400mm. El número de capas de enrollamiento del tejido de fibras con resina depende naturalmente de los esfuerzos a soportar, pudiéndose fabricar tubos de alto timbraje y grandes diámetros (150 a 2400mm). Las juntas pueden ser de diversos tipos, flexibles y rígidas. Entre los tipos de junta flexible destaca por su frecuencia la de manguito, con bandas de elastómero en sus extremos, abrazando a los extremos de dos tubos contiguos, pero también las de enchufe y campana (cubriendo todo el rango de presiones). Estos permiten desviaciones angulares de entre 0.5-3 grados en función del diámetro del tubo.

4.2.2. Tubería de fundición dúctil (FD)

Este tipo de conducción se comercializa en el intervalo 40mm a 2000mm, presentando su máxima aplicabilidad entre los 200mm y los 1600mm. El rango de presiones de trabajo habituales oscila entre las 25 atm para diámetros de hasta 1200mm y las 16atm hasta 1600mm. Las distintas piezas especiales (codos, derivaciones, conos, etc.) se hacen de fundición también.

Las juntas de los tubos suelen ser fundamentalmente de dos tipos: elástica flexible y mecánica Express. La primera es del tipo enchufe y campana, con un anillo de elastómero con sección transversal más o menos complicada, que tiene una misión impermeabilizante; la segunda, está dotada de unos tornillos unidos a la boca hembra de un tubo y sujeta a la boca macho del siguiente, dispone también de un elastómero que le confiere impermeabilidad. Un tercer tipo sería las juntas tipo brida atornillada, utilizada mucho en válvulas y conexiones de piezas especiales.

Contiene aproximadamente un 3.5% de carbón en forma esferoidal o de nódulos, lo que le otorga el nombre dúctil. Estos nódulos son los responsables de un material más elástico (menos frágil). Un inconveniente, su vulnerabilidad a la corrosión, sigue presente debido al elevado contenido en carbón que contiene. Sin embargo, los revestimientos que se llevan a cabo con las tecnologías actuales son bastante eficaces y este problema queda resuelto, salvo en casos muy especiales y concretos.

El revestimiento interior de la fundición se suele llevar a cabo con mortero de cemento de entre 3.5 y 9mm de espesor en función del diámetro. El revestimiento exterior suele ser con pintura de bituminosas o epoxi, aunque puede aplicarse también una protección con zinc por metalización en caliente. Si el terreno es muy agresivo, se recurre a envolver la tubería en unas fundas o mangas de polietileno que la aíslan y protegen.

Tiene más ductilidad que el acero, por lo que, ante cargas externas de terreno y tráfico, su comportamiento se asemeja al de una tubería totalmente flexible. Ello se traduce en una gran **resistencia estructural**, haciéndola **menos sensible** que otros materiales a una deficiente puesta en obra de la tubería.

Las ventajas de la fundición dúctil frente a otros materiales son su elevada resistencia y baja fragilidad, así como su fácil mecanización. Asimismo, y como consecuencia de su elevado módulo elástico de Young, presenta una resistencia a la presión interior muy elevada que la hace especialmente competitiva cuando se trata de instalaciones cuyas máximas son importantes.

Generalmente no suele colocarse una capa de arena sobre el fondo de la zanja, lo cual es un ahorro económico, pero hay que cuidar un buen apoyo en toda la longitud del tubo. Hay que señalar que las tuberías de fundición pueden cortarse con sierras adecuadas, cualidad muy útil durante el montaje.

4.2.3. Tubería de hormigón armado y pretensado.

El hormigón es un material económico por unidad de volumen, pero resiste mal las tracciones, por tanto, **no** se pueden utilizar tuberías de hormigón en masa por la presión interior relativamente importante. En cambio, sí son factibles las tuberías de hormigón armado, que suelen disponer de armaduras circunferenciales en una o dos capas en función del espesor del tubo para hacer frente a las flexiones de aplastamiento.

La presión interior debe ser igualmente soportada por las armaduras circunferenciales, pero como el hormigón se fisura con tracciones relativamente bajas, el acero trabaja poco, por ello se suele dejar embebida dentro del tubo una camisa cilíndrica de chapa soldada, que garantiza la impermeabilidad. Esta camisa se considera como material resistente de la sección y es habitual que no supere los 8mm de espesor por su dificultad en el curvado de las camisas.

Otros tubos de hormigón, que también resisten importantes presiones interiores, son los de hormigón pretensado. Constan de un alambre de acero de alto límite elástico, de 5 a 8mm de diámetro, enrollado bajo tensión sobre un tubo de hormigón de gran resistencia. Al igual que en los tubos de hormigón armado, puede tener una camisa o forro de chapa. La principal diferencia es que, mientras en los tubos de hormigón armado la camisa se considera parte integrante de la armadura de tracción, a la camisa de los tubos de pretensado se le asigna fundamentalmente la misión de impermeabilizar, alcanzando espesores pequeños de 1.5 o 2mm.

Durante el enrollamiento se crean unas flexiones y esfuerzos cortantes en las generatrices de los tubos que son resistidas por la camisa de chapa, si existe. Si no tiene forro, el tubo debe tener un pretensado longitudinal previo para al menos resistir estos esfuerzos, más lo que se puedan presentar de flexión o tracción en el conjunto del tubo.

Los tubos de hormigón armado sin camisa de chapa suelen utilizarse en presiones interiores de a lo sumo 1 atm. Su utilización más adecuada es en conducciones en lámina libre.

El gran enemigo de estos tubos es la corrosión de los elementos de acero, de ahí la importancia de los **espesores y la calidad** del recubrimiento de chapa. En terrenos fuerte agresivos, se recurre a pintar el tubo con protecciones bituminosas, pinturas plásticas tipo poliuretano o, incluso, sistemas de protección catódica.

Esta tubería, a efectos de su comportamiento mecánico antes solicitaciones de cargas externas, se comporta como una **conducción rígida o semirrígida**. Esta condición hace que sea el propio tubo quien resista las solicitaciones sin contar con la ayuda del relleno, de manera que no se producen deformaciones o roturas frágiles. Por ello, las condiciones de instalación son más sencillas que en tubos flexibles, especialmente en los que se refiere a las exigencias de los rellenos de las zanjas. Se fabrica para una amplia gama de diámetros que partiendo de 200mm alcanza los 4000mm, e incluso valores superiores, si bien el intervalo de mayor utilización se sitúa entre los 500mm y

3500mm y en presiones medias y elevadas, siendo habitual llegar a los 2500mm en tubos de hormigón pretensado con camisa de chapa.

Las uniones de los tubos de hormigón (armado y pretensado), pueden ser de dos tipos: soldadas o elásticas flexibles.

- Las **soldadas** son sólo posibles cuando los tubos tienen camisa de chapa. Los tubos se van colocando enchufados y se sueldan sus boquillas en todo el perímetro. Cada junta soldada se protege con un anillo de hormigón armado exteriormente y un revestimiento por su interior. Esta junta es estanca, pero hace trabajar al tubo longitudinalmente a tracción, pues el tubo establece contracciones de las tuberías, sin contar los fenómenos debidos a la soldadura. El conjunto resulta también muy rígido, lo que aumenta las posibilidades de esfuerzos por flexión longitudinal cuando hay diferencias de asiento. Con diámetros inferiores a 800mm, la soldadura se efectúa por el exterior, mientras que para diámetros iguales o mayores puede efectuarse tanto por el interior como por el exterior.
- La **junta elástica** es del tipo enchufe y campana y elimina los inconvenientes anteriores. Consta de uno o dos anillos de elastómero que se alojan en una acanaladura del macho preparada para tal efecto. En las tuberías a presión se disponen boquillas metálicas para garantizar la estanqueidad.

La clase de unión, la presión de diseño y el tipo de apoyo de la tubería están íntimamente relacionadas, de tal manera que, para diámetros hasta 2000mm aproximadamente son factibles uniones flexibles (junta elástica) con apoyo granular para todo rango de presiones; mientras que para diámetros grandes entre 2000-3000mm es habitual utilizar uniones soldadas con cama de hormigón.

Una de las ventajas de la tubería de hormigón es que puede fabricarse para un amplio rango de condiciones de servicio, incluyendo grandes cargas externas e internas. También presenta una **excelente resistencia** a las **presiones negativas**, por lo que difícilmente puede colapsarse, siendo ante este tipo de solicitaciones el material que mejor se comporta.

Otra ventaja significativa la constituye el hecho de que el **revestimiento de protección** es intrínseco al propio material de la tubería. En el caso de tuberías de uniones soldadas y diámetros inferiores a 800mm, la protección interior es complicada por su acceso.

La principal desventaja de la tubería de hormigón es su elevado **peso** en los grandes diámetros, lo que conlleva altos costes de transporte. También su manipulación in situ y la dificultad que presente el cortar los tubos para adaptarlos a las condiciones que cada montaje requiere, constituye una notable limitación, sobre todo cuando se trata de reparar una avería. En el caso de uniones soldadas (forro de chapa), además de una cuidadosa ejecución y control de calidad, el número de ellas es mayor, frente a otras alternativas, habida cuenta de la menor longitud de los tubos debido a su peso.

Las piezas especiales a intercalar en tuberías de hormigón armado y/o pretensado suelen ser, en general, de hormigón armado con camisa de chapa o de acero. No están, en general, normalizadas sus dimensiones, sino que deben dimensionarse para cada aplicación. Esto tiene la ventaja de adaptarse a las necesidades de cada proyecto sin excesivos sobredimensionamientos, pero, por otro lado, esta no estandarización puede presentar problemas para solventar determinadas reparaciones.

4.2.4. Tubería de acero

Salvo en pequeños diámetros, que suele utilizarse el método de fabricación de estirado sin costura, en los diámetros mayores, usado normalmente en distribución, se sigue el sistema de soldar helicoidalmente largas bandas de chapa.

Este tipo de tubería se fabrica en un amplio rango de diámetros, desde 400mm hasta 3000mm, e incluso superiores. Su máxima utilización corresponde al rango de diámetros 500mm a 1500mm.

Es práctica común dotar de un espesor mínimo de entre 4 y 6mm las paredes de las tuberías, lo que resulta conveniente tanto para prevenir colapsos de la tubería por depresión (aplastamiento), como por constituir un factor de seguridad adicional ante una hipotética corrosión. En cualquier caso, los revestimientos que se aplican a los diferentes materiales metálicos, así como la utilización de la protección catódica, ha posibilitado el disminuir estos espesores de pared sin pérdida de eficacia, cuando las condiciones de servicio no requieren timbrajes superiores.

Las ventajas de la tubería de acero son un coste de implantación relativamente discreto, baja fragilidad y un amplio rango de tipos de juntas y diámetros disponibles. Asimismo, es muy resistente a condiciones extremas de operación, pudiendo llegar a soportar presiones internas de hasta 400mca.

Su principal desventaja, como se ha dicho, radica en el riesgo de **corrosión interna** y, sobre todo, externa, por lo que se utilizan recubrimientos con tratamiento bituminoso, brea, epoxi, polietileno o mortero de cemento y, en su caso (habitualmente en diámetros grandes), protección catódica.

Las juntas de los tubos de acero suelen ser soldadas (> 600mm): a tope, el tipo más utilizado, los tubos presentan extremos biselados; abocardados esféricos, ofrecen la posibilidad de rotación de 10 grados en la tubería sin utilizar piezas especiales y son soldados desde el exterior una vez fijado el ángulo requerido; abocardados lisos, se utilizan especialmente en tubos con revestimiento interior de mortero de cemento, son soldados desde el exterior y permiten un ángulo de giro de 2-3 grados; y de bridas, soldadas a los extremos del tubo y unidas posteriormente con pernos (por debajo de 400mm habitualmente). En estos casos hay que tener en cuenta los esfuerzos longitudinales debido a los cambios de temperatura, e incluso al efecto Poisson. Otro tipo de uniones pueden ser las de tipo Gibault o las enchufe y campana con juntas de anillo de elastómero, pero tienen poco empleo en la práctica.

4.3. CUESTIONES ADICIONALES

Además de tener en consideración las características del material y su relación calidad/precio, hay que considerar otros factores:

- En primer lugar, la **especialización del personal** encargado de su montaje y mantenimiento. Es indudable que con un personal de montaje cualificado un material menos noble puede proporcionar resultados tan satisfactorios como los de otro de mejores prestaciones.
- El **mantenimiento** de toda la red requiere disponer de un stock suficiente. En consecuencia, cuantos menos materiales se utilicen, menos almacenamiento requerirá, y, por consiguiente, si un material se comporta correctamente y su precio en el mercado es competitivo, no parece lógico sustituirlo por otro material más “de tendencia”. En este sentido, dada la gran longitud de red que tenemos y los diferentes “requisitos” de las mismas, es lógico seleccionar diferentes materiales adecuados a las condiciones de trabajo.

- La mayor o menor sencillez con la que puede llevarse a cabo una **reparación** en un determinado material, y el tiempo que se invierte en la misma, es un parámetro a considerar también. La facilidad con que se corta un tubo, el personal y medios que requiere su manipulación (no se dispone de los mismos útiles de trabajo en un montaje que en una reparación rutinaria llevada a cabo por el propio personal de mantenimiento), el tipo de junta con que cuenta, el tiempo de respuesta del proveedor en caso de requerirse una determinada pieza, etc., son detalles a los que el día a día les da su debida importancia.
- Finalmente, el tipo de **rotura** que acostumbra a presentar un determinado material puede tener notable importancia. De hecho, la detección de una fuga será más o menos sencilla en función de la clase de rotura, toda vez que para su localización acústica es muy importante el tipo de escape del agua a presión:
 - Fisura, longitudinal a lo largo de una generatriz del tubo.
 - Astilla, menos larga pero más ancha que la fisura.
 - Picadura, cuando la tubería aparece perforada por pequeños poros.
 - Orificio, equivalente a una picadura con poros de mayor tamaño.
 - Juntas, cuando la tubería pierde agua por las uniones de los tubos.
 - Rotura neta, correspondiente a una sección limpia y transversal del eje de la tubería.

Cuanto más clara sea la rotura, mejor detección tiene. Consecuentemente, podrá ser objeto de una reparación más rápida.

A continuación, de forma aproximada, se presentan las incidencias que acostumbran a presentarse en cada uno de los materiales:

- **Plásticos:** las averías que suelen presentar tienen forma de fisura longitudinal y aparecen, por lo general, cuando la tubería ya tiene unos años. Posiblemente, sea debido al tipo de estructura molecular que rigidiza longitudinalmente el material, esto ha mejorado con las actuales estructuras reticulares y con los certificados de garantía de producto.
- **Fundición dúctil:** en forma de astilla, cuando la rotura es debida una sobrepresión generada por ejemplo por una bolsa de aire. También el tubo se astilla como consecuencia de un progresivo deterioro del mismo debido al óxido. Dichas astillas acostumbran a tener una longitud importante que obliga a cambiar la totalidad del tubo. La conducción puede llegar a presentar una fractura limpia, en forma de tronchado, cuando consecuencia de un asentamiento del terreno o una sobrecarga puntual se ve sometida a un importante esfuerzo cortante.
- **Hormigón armado:** el que mejor se comporta a los efectos de las averías es el hormigón armado con camisa de chapa, que en muy raras ocasiones presenta fugas, salvo cuando las provoca un accidente. Cabe la posibilidad de que un poro en la chapa ocasione con el paso del tiempo la oxidación de la misma hasta que el propio óxido dé lugar a un aumento de volumen que a la larga provoque la rotura del hormigón y la aparición de la fuga. El hormigón con armadura metálica convencional rompe en forma de astilla, como consecuencia de una sobrepresión, o con un tronchado por cortante puro generado por un asentamiento del terreno. Las tuberías de hormigón, de excelentes prestaciones mecánicas, tienen como talón de Aquiles las juntas elásticas, por lo que requiere especial cuidado tanto en la fabricación como en el montaje de las mismas.

- **Acero:** las principales roturas acostumbran a ser por aplastamiento, debidas a depresiones o sobrecargas externas, ya que esta tubería presenta escasa **rigidez** ante esfuerzos cortantes o aplastamientos. Ello es debido a que, con un escaso espesor, la nobleza de este material posibilita soportar importantes cargas internas. Si se recurre a espesores superiores para obviar estas limitaciones, el material deja de ser competitivo. Como consecuencia de algún defecto de fabricación, pueden generarse picaduras o incluso poros de mayor entidad que a la larga pueden derivar en fugas importantes. En cualquier caso, estos defectos tienen fácil detección si se utilizan métodos acústicos.

4.4. PANORÁMICA GENERAL DE LOS MATERIALES

A modo de resumen, en este apartado se recogen los aspectos más relevantes de cada material:

	HORMIGÓN CON CAMISA DE CHAPA	HORMIGÓN PRETENSADO CON CAMISA DE CHAPA	PVC	PVC-O	POLIETILENO	PRFV	ACERO	FUNDICIÓN DÚCTIL
PRESIONES DE TRABAJO HABITUALES (DP)	< 20 atm	< 20 atm	< 16 atm	< 25 atm	< 10 atm	< 10 atm (hasta D=2400mm) < 25 atm (hasta D=1400mm)	< 100 atm	< 16 atm (hasta D=1600mm) < 25 atm (hasta D=1200mm)
RANGO DE DIÁMETROS HABITUALES	200 - 3500 mm	500 - 2500 mm	110-630 mm	90 - 800mm	50 - 500mm	150 - 2400 mm	400 - 3000 mm	40 - 1600 mm
RUGOSIDAD	Buena	Buena	Muy buena	Muy buena	Muy buena	Muy buena	Bastante buena	Buena (con revestimiento o de mortero)
LONGITUDES HABITUALES	2.5 a 7 metros (<2500mm) 2.5 a 3 metros (>2500mm)	2.5 a 7 metros (<2500mm) 2.5 a 3 metros (>2500mm)	6 metros	6 metros	6/12 metros	6/12 metros	4 - 13.5 metros	5 a 7 metros
FRAGILIDAD	Sí, en el transporte	Sí, a las ranuras	Sí, a los choques	No	No	No	No	No
PROTECCIÓN FRENTE A LA CORROSIÓN	Buena, salvo por corrientes vagabundas	Buena, salvo por corrientes vagabundas	Buena	Buena	Buena	Buena	Requiere protección especial	Buena, salvo terrenos agresivos
FACILIDAD DE REPARACIÓN – MODIFICACIÓN	Difícil	Muy difícil	Fácil	Fácil	Fácil	Fácil	Bastante fácil	Fácil
NORMALIZACIÓN DE PIEZAS ESPECIALES	Bajo pedido	Bajo pedido	Sí, en PVC o Fundición	Limitada en PVC-O, fundición	Sí, limitada a pequeñas presiones	Según fabricantes, no normalizadas	Sí	Sí
TIPOS DE JUNTAS	Soldada, Enchufe-Campana	Soldada, Enchufe-Campana	Encolada, Enchufe-Campana,	Enchufe campana	Soldado térmicamente	Enchufe-Campana, Manguito	Soldada (a tope, abocardada)	Enchufe-Campana, Mecánica o Bridas

	HORMIGÓN CON CAMISA DE CHAPA	HORMIGÓN PRETENSADO CON CAMISA DE CHAPA	PVC	PVC-O	POLIETILENO	PRFV	ACERO	FUNDICIÓN DÚCTIL
			Mecánica o Bridas					
FACILIDAD DE TRANSPORTE - MONTAJE - COLOCACIÓN	Baja (peso elevado)	Baja (peso elevado)	Alta (peso escaso)	Alta (peso escaso)	Alta a Media (peso escaso a medio)	Alta a Media (peso escaso a medio)	Baja a media (peso elevado a medio)	Media (peso medio)
LOCALIZACIÓN ELECTROMAGNÉTICA	Sí	Sí	No	No	No	No	Sí	Sí
COMENTARIOS	Sólo para grandes diámetros	Aducciones y grandes diámetros	Para diámetros pequeños o medianos y presiones moderadas (10atm)	Para diámetros pequeños o medianos y presiones medio-altas (<25atm)	Para diámetros pequeños o medianos y presiones moderadas (10atm)		Requiere revestimiento interior y exterior. Para diámetros grandes y elevadas presiones.	

Tabla 5. Comparativa de características de materiales para tuberías

A partir de dicha tabla se constata que en función de los criterios que se prioricen y las condiciones particulares de cada proyecto, la selección del material puede ser completamente diferentes, ya que no existe un material absolutamente superior a los demás considerándolo de forma aislada. No obstante, esta tabla proporciona una idea general sobre la conveniencia de uno u otro tipo, que nos permite descartar en primera instancia algunos de ellos, para posteriormente, en base a criterios más específicos o los ya comentados analizados con más profundidad y detalle, seleccionar el material más adecuado dentro de un escenario específico.

4.5. PROPUESTA DE MATERIALES

Desde el punto de vista de la ejecución, sería ideal que hubiese el menor número de tipologías diferentes de materiales, ya que facilitaría el montaje, las reparaciones, el almacenamiento de piezas. Si bien esto supondría un incremento económico, al no optimizar las conducciones en función de las propiedades de los materiales, además de los previsibles problemas de stock, al realizar grandes pedidos en un corto periodo. En contraposición, un cambio continuo de tipologías perjudicaría el mantenimiento al existir multitud de juntas entre diferentes materiales que requieren piezas especiales. Por tanto, es necesario encontrar un equilibrio entre las diferentes propiedades de los materiales, características hidráulicas, estructurales, económicas... que hagan que el diseño de la red sea sólido desde el punto de vista de la explotación y mantenimiento.

El mayor diámetro requerido en el proyecto es de 1.100 mm, aunque la gran mayoría de las tuberías del proyecto se requieren en diámetros de hasta 800 mm. Aun así, el rango **de diámetros** es amplio, **comprendido entre 110 y 1.100mm.**

Las presiones de servicio, sin embargo, son siempre bajas, inferiores a 6 atm. Sin embargo, teniendo en cuenta que en un futuro podría presurizarse la red, se podría pensar en presiones hasta 10-12 atm.

Por ello, toda la red en este rango de diámetros se propone inicialmente en PVC-U y PVC-O, salvo para diámetros mayores, que se propone en acero.

Para la elaboración de este estudio, se ha recabado información relativa a costes, protección de las tuberías frente a agentes nocivos, bondades y desventajas técnicas de cada una de ellas, capacidades máximas o los tipos de juntas, entre otros, apoyado también en experiencias en la zona.

La durabilidad de los materiales plásticos **PVC y PE es de unos 40 años**, ligeramente superior en los tubos de PRFV, en cuanto a la durabilidad destaca sobre la **fundición con unos 80 años**, prácticamente el doble de la duración que los materiales plásticos.

El tratamiento al que se somete a las tuberías de PVC-O aumenta la resistencia de los tubos con respecto a las tuberías de PVC-U, consiguiendo la **reducción de los espesores** en las paredes.

Este tratamiento que mejora la resistencia, provoca que para ser competitivo económicamente el tubo de PVC-O frente al tubo de PVC-U en el rango de presiones bajas PN6, deberían reducir tanto las paredes, que los fabricantes no garantizarían sus propiedades. Por este motivo, el límite inferior que los fabricantes establecen a los tubos de PVC-O es de PN12,5, donde ya empieza a ser competitivo en precio frente al PVC-U.

Otros materiales que se podrían valorar son:

- ✓ Fundición, sus propiedades resistentes son tales que, para diámetros pequeños y presiones nominales bajas, **no son competitivos económicamente** con los materiales plásticos, salvo que se prime la **tasa de reposición** de las tuberías frente a cualquier otro parámetro. Entre diámetros de 150 y 600mm la mínima clase de presión resistente es C40/C30, lo cual para el caso que nos ocupa, supondría un sobredimensionamiento de la red a un coste muy elevado. Al igual que ocurre con las tuberías de PVC-O para disminuir la clase de presión, deberían reducir los espesores tanto que los fabricantes no podrían garantizar el resto de propiedades de los tubos.

Por tanto, se **descarta** el empleo de este material.

- ✓ PRFV, las tuberías están compuestas de un **material muy versátil**, la resina de poliéster reforzada con fibra de vidrio, conformadas a base de capas de resina y fibra que hace que soporte muy bien las tracciones. Al ser un material tan versátil permite obtener tuberías de casi cualquier diámetro y presión resistente, basta con reforzar en mayor o menor medida sus paredes. Igual ocurre con las piezas especiales, la moldeabilidad del material permite realizar piezas especiales de cualquier tipo mediante la aplicación de capas de resina y fibra. Su alta resistencia conseguida con fibra de vidrio, hace que a la vez sean tubos poco flexibles y por tanto en su empleo, se deba **cuidar** muy bien el tratamiento de apoyo de los tubos, evitando que puedan aparecer asientos diferenciales, así como el enchufe de las juntas, tratando de no aplicar ningún golpe que pueda fragilizar los tubos en las uniones.

Tras un estudio preliminar, se **descarta** este material, por no aportar claras ventajas respecto a los materiales plásticos y que, además, requiere mayor cuidado en la ejecución de camas de apoyo y mayor riesgo de rotura de la conducción.

- ✓ PE. Las conducciones de polietileno necesitan una pared mayor para resistir solicitaciones similares a las conducciones de PVC, si bien poseen una cualidad que las hace muy versátiles en diámetros pequeños de hasta 110mm, que es la posibilidad de doblado en frío y por tanto la de suministro en rollos, haciendo que la instalación de grandes longitudes de tubería, sea muy rápida.

En el rango de diámetros mayores, el PE presenta un coste elevado, por lo que sustituir la opción PVC por este material en esa franja de diámetros, consideramos que tendrá una repercusión económica bastante significativa.

Por tanto, **se descarta** al no contemplar en proyecto diámetros en los que este material podría tener claras ventajas.

- ✓ Hormigón armado y Acero. Las conducciones de acero o de hormigón armado tienen un comportamiento hidráulico muy adecuado y resisten altas presiones, aunque no son necesarias en este proyecto. En cambio, requieren tener una buena protección ante corrosión y son por lo general tuberías que pueden ser vulnerables en este aspecto.

Hasta DN 800, a partir de PN16 el precio del tubo de acero es similar e incluso más barato que el tubo de PVC-O. Pero para las presiones inferiores (que es nuestro caso), resulta más económico el tubo plástico comparado con acero u hormigón armado.

Por tanto, atendiendo a un primer estudio preliminar, se descarta como material tanto el acero como el hormigón armado, para el rango de diámetros inferiores a DN800, al considerarse que las ventajas de sus características técnicas no compensan el mayor coste económico que requieren.

En cambio, para los diámetros superiores, no alcanzan tanta disponibilidad en el mercado el material PVC-O como los diámetros hasta DN800, además de tener mayor coste, motivo por el que se propone el acero en diámetros superiores a DN800.

Descartados los materiales anteriores, se continúa el análisis con los materiales que a continuación se citan, indicando brevemente las **bondades y aspectos negativos** que presentan cada uno de ellos:

➤ **Tubos de PVC-U**

✓ Ventajas

- Tuberías **ligeras**, montaje manual de tuberías de diámetros hasta 200mm, menor coste de instalación.
- Fabricación de tuberías para **presiones nominales bajas**.
- Rápida puesta en servicio principalmente en el caso de uniones con junta elástica.

✓ Inconvenientes

- Disminución de la rigidez circunferencial con el paso del tiempo, debido al comportamiento de fluencia de los materiales plásticos con el paso del tiempo.
- Limitación de diámetros en presiones medias y altas.
- Afección solar al material.
- Reducida capacidad mecánica ante cargas externas para presiones bajas.
- Desviación angular limitada 1°.

➤ **Tubos de PVC-O**

✓ Ventajas

- Tuberías **ligeras**, montaje manual de tuberías de diámetros hasta 200mm, menor coste de instalación.
- Es el material más tecnológico de los plásticos, tendencia en las casas comerciales.
- Elevada **resistencia al impacto** y buena flexibilidad.
- Espesores menores que PVC-U, mayores capacidades hidráulicas.
- El tratamiento de orientación confiere a la tubería unas propiedades que hace que aumente su **resistencia a tracción** en comparación con el PVC-U y el PE. Esta cualidad permite fabricar tuberías para presiones nominales medias y altas de hasta diámetro 800mm.

✓ Inconvenientes

- Ausencia de tuberías para presiones inferiores a PN 12,5.
- Piezas especiales limitadas, debido al proceso de fabricación, generalmente se sustituyen por piezas especiales de fundición.
- Desviación angular limitada 2º.
- El número de empresas que fabrican este tipo de tuberías es limitado en España.

Comparativa de precios de instalación

Considerando los materiales seleccionados, se realiza comparativo de precios de instalación, basado en los precios de Tarifas TRAGSA que se utilizan en el presente proyecto:

DIAMETRO (mm)	Precio €/m PVC-U		Precio €/m PVC-O	Precio €/m ACERO	
	PN-6	PN-10	PN-12,5	DIAMETRO (mm)	Ø con e=8 mm
160	11,01	13,44	11,75		
200	17,2	22,61	19,93		
250	26,41	34,47	30,35		
315	38,83	52,12	43,68	324	160,05
400	54,03	77,66	61,49	406	207,49
450			87,89	457	230,25
500	89,2	120,21	104,85	508	239,14
630	123,96	212,32	157,71	610	274,39
710	-	-	-	711	303,83
800	-	-	250,47	813	410
900	-	-	-	914	422,99
1000	-	-	436,01*	1016	434,83
1100	-	-	596,00*	1118	502,06
1200	-	-	644,71*	1219	629,66

Tabla 6. Comparativa de precios de tuberías

Se observa que, para presiones bajas, siempre interesa económicamente el PVC-U. En cambio, para presiones mayores (>6 atm), resulta más interesante el PVC-O. Esa diferencia es de escasa entidad para diámetros pequeños. En cambio, la diferencia de precio para diámetros >500mm se dispara entre el PVC-U 10atm y el PVC-O 12,5atm a más del 30%.

Para diámetros grandes (>800 mm) es más interesante económicamente el acero.

A raíz de la información de partida y del análisis realizado, se adoptan las siguientes propuestas de materiales en función de cada situación:

- Todas las tuberías de diámetro ≤ 800 mm se proponen en PVC.
- Se propone PVC-U PN 10 para las tuberías de diámetro ≤ 500 mm, considerado las ventajas mecánicas que aporta el timbraje PN10 ante recubrimientos mínimos y teniendo en cuenta la posibilidad de presurizar la red a futuro. Solo si se estima totalmente innecesario de cara a futuro, se proyecta PN 6 atm. Aunque el PVC-O es ligeramente más barato que el PVC-U para timbraje >6 atm en este rango de diámetros, se opta por el PVC-U por haber mayor disponibilidad de fabricación y de piezas especiales, además de aportar ventajas ante cargas externas y versatilidad de piezas y opciones del montaje, que facilita el mantenimiento.
- Cuando las tuberías son >500 mm y ≤ 800 mm, se proponen en PVC-O, puesto que no hay PVC-U para ese rango de diámetros. El diámetro 630 mm también se propone en PVC-O porque el diferencial de precio con el PVC-U PN 10 es demasiado grande; solo si se estima totalmente innecesario de cara a futuro un timbraje >6 atm, se proyecta este diámetro en PN 6 atm. Se propone no realizar cambios de material a mitad de trazado entre PVC-O y PVC-U.
- Las tuberías de diámetro >800 mm se proponen en acero helicoidal con junta soldada abocardada, atendiendo fundamentalmente a que, en comparación con la de hormigón con camisa de chapa, es menos frágil, de mayor facilidad en la instalación y de más fácil reparación, además de ser de menor precio de ejecución. Respecto al PVC-O, el acero es más barato y cuenta con mayor disponibilidad, además de tener mejores características mecánicas.

5. SELECCIÓN DE TIPOLOGÍA DE ACEQUIAS

En el caso de las acequias, las alternativas planteadas son más limitadas:

- Acequias de hormigón ejecutadas in situ.
- Acequias de hormigón prefabricadas.
- Acequias de tierra con impermeabilización (se descarta por el importante coste asociado al movimiento de tierras de préstamo que sería necesario).

En este caso, siempre **se opta por elementos de hormigón prefabricados** (tanto en acequias como en otros elementos como arquetas, etc. siempre que es posible por sus dimensiones) por presentar las siguientes ventajas:

- Se reducen enormemente las tareas auxiliares y la mano de obra necesaria para la ejecución.
- No requiere encofrados.
- Su ejecución/fabricación no depende de la climatología.
- Se reduce el plazo de ejecución, aspecto muy importante tanto por el coste que ello conlleva como por la necesidad de ejecutar estas obras del proyecto fuera de campaña de riegos.
- Se mejora el nivel de control de calidad de la ejecución, al fabricarse en talleres más controlados. Así, la calidad del producto viene avalada por el fabricante en base a sus certificados y ensayos de calidad.
- Se generan menos residuos. Los métodos de construcción tradicionales requieren materiales adicionales que conducen a un mayor desperdicio. Sin embargo, dado que las piezas prefabricadas se construyen en una fábrica, los materiales adicionales se pueden reciclar internamente. Además del beneficio ambiental de reducir la cantidad de residuos, se reducen los costes asociados a la gestión de los mismos.
- También se genera durante la construcción menos polvo, ruidos, etc. y menos costes para minimizar esos inconvenientes: medidas para prevenir o reducir polvo y ruidos, etc.
- Se reducen riesgos laborales. Los procesos de montaje están completamente pautados para que cada trabajador cumpla con total seguridad las misiones que tiene encomendadas durante el proceso de unión de piezas.
- Menor coste económico. La mayoría de las ventajas expuestas anteriormente redundan en una reducción de costes. Además, se evita la posibilidad de contratistas o subcontratistas poco confiables.

Como inconveniente reseñable de las acequias prefabricadas, destacar que el suministro depende de la disponibilidad y rapidez de fabricación, para lo que hay que programar bien plazos de entrega necesarios.

Por tanto, tanto para las acequias como para los elementos puntuales que sus dimensiones sean asimilables a módulos prefabricados, **se opta por elementos prefabricados de hormigón por ser la solución más rápida, rentable y ecológica, que además asegura mejor la calidad del resultado final.**