

**instrucción del
instituto eduardo torroja
para tubos de
hormigón armado o pretensado**

SEPTIEMBRE 2007

© INSTITUTO DE CIENCIAS DE LA CONSTRUCCIÓN EDUARDO TORROJA
Serrano Galvache, 4. 28033 Madrid
www.ietcc.csic.es

ISBN: 978-84-7292-365-2
Depósito Legal: M. 34966-2007

Realización: GRAFICAS/85, S.A.
Gamonal, 5. 28031 Madrid

Impreso en España - *Printed in Spain*

PRÓLOGO

A mitad de la década de los setenta, dada la evolución tecnológica que en aquellos momentos experimentaba el campo de los tubos de hormigón armado o pretensado, en lo que respecta a su proyecto, cálculo, fabricación, puesta en obra y control, a iniciativa de los fabricantes de tubos, y en colaboración con el entonces Instituto Eduardo Torroja de la Construcción y del Cemento y otros Organismos, se constituyó una Comisión con el fin de redactar una Instrucción, con carácter de recomendaciones, que actualizara todos los aspectos antes mencionados. Dicha Comisión, integrada por investigadores, fabricantes y usuarios tanto oficiales como particulares, quedó formada por los miembros que más adelante se reseñan.

Con el fin de garantizar el rigor exigible al trabajo que se había propuesto, la Comisión creó, con fecha 13 de diciembre de 1974 un Grupo de Investigación asesor, que cotejara normas, pliegos e instrucciones de los países más avanzados y contrastara experimentalmente diferentes teorías y puntos de vista.

El mencionado Grupo de Investigación, estructurado en torno a cinco temas de trabajo, tuvo la composición que se expresa en párrafos sucesivos.

La Instrucción se publicó finalmente en junio de 1980, en ese momento no existía ninguna normativa similar, con un alcance tan amplio, cubriendo diseño, cálculo, fabricación, transporte, montaje y pruebas finales.

Desde su publicación ha sido empleada para el cálculo de la mayoría de los tubos instalados en nuestro país y países de influencia de diseñadores y fabricantes españoles.

En junio de 1988 se publica la norma UNE-EN 1295-1 “Cálculo de la resistencia mecánica de tuberías enterradas bajo diferentes condiciones de carga”, versión española de la EN-1295-1 de julio de 1997. En dicha norma, en el apartado B.1.9, se incluye como método español para cálculo de tuberías de hormigón armado o pretensado la Instrucción del Instituto Eduardo Torroja.

En 2004 se comienza a normalizar la fabricación de tubos de presión de hormigón armado o pretensado con camisa de chapa mediante documentos de idoneidad técnica (DIT) expedidos y controlados por el Instituto Eduardo Torroja, basados en la citada Instrucción.

Pasados 27 años desde la aparición de esta Instrucción, el hecho de que durante ese tiempo y hasta el día de hoy haya sido un documento de referencia en los aspectos que en ella se trataban, quedando incluida en la nueva normativa armonizada con Europa, refleja el éxito conseguido en cuanto a los objetivos que en su momento se propuso. Pero durante un tiempo tan largo, era inevitable que el avance en los conocimientos técnicos, equipos de fabricación y puesta en obra, la aparición de nuevas normas, los cambios motivados por la entrada en vigor de la Instrucción de Hormigón Estructural (EHE), la nueva normativa europea, el cambio en los sistemas de unidades, etc., hicieran necesaria una revisión que actualizara su contenido y lo ajustara a las exigencias actuales.

Para esta labor se creó un grupo de trabajo compuesto por investigadores y técnicos pertenecientes al Instituto de Ciencias de la Construcción Eduardo Torroja, al Centro de Experimentación y Obras Públicas y a la Asociación de Fabricantes de Tuberías de Hormigón Armado y Pretensado, cuya composición aparece después de éste prólogo.

La comisión tiene especial interés en hacer notar que su trabajo ha respetado totalmente los métodos y la filosofía de la antigua norma, limitándose a poner al día los aspectos puntuales que habían quedado obsoletos y que fundamentalmente pueden resumirse en:

- Sistema de unidades.
- Normativa de referencia.

- Hipótesis de cálculo.
- Características de los materiales.
- Procesos de fabricación.
- Control de materiales y producto acabado.
- Condiciones de uso. Aspectos no considerados en el dimensionamiento.

COMISIÓN ORIGINAL DE LA NORMA DE 1980

MIEMBROS DE LA COMISIÓN

- JESÚS DE ARCENEGUI Y CARMONA (Canal de Isabel II).
- FRANCISCO ARREDONDO Y VERDÚ (I.E.T.c.c.).
- ÁNGEL BARROS LLERENA (Matubo, S. A.).
- JOSÉ BERNIS VILAGUT (S. G. de Aguas de Barcelona, S. A.).
- JOSÉ BONIFACIO JUÁREZ (Tuberías y Prefabricados, S. A. – T. y P.S.A.).
- AUGUSTO BOU BUYÉ (S. A. Española Tubo Fábrega – S.T.F.).
- ANTONIO BRIONES REUS (Entrecanales y Távora, S. A.).
- SANTIAGO BURGOS MATEU (S. G. de Aguas de Barcelona, S. A.).
- ANTONIO BURGUERA RODRÍGUEZ (Instituto Nacional de Urbanización-M.O.P.U.).
- VICENTE COELLO GÓMEZ (Laboratorio Central de Ensayo de Materiales de Construcción del Centro de Estudios y Experimentación de Obras Públicas).
- JOSÉ CONESA JAÉN (S. A. Española Tubo Fábrega – S.T.F.).
- EMETERIO CUADRADO DÍAZ (Canal de Isabel II).
- FRANCISCO GALÁN SORALUCE (Servicio de Aguas de Pamplona).
- ÁLVARO GARCÍA MESEGUER (I.E.T.c.c.).
- MIGUEL ÁNGEL GIL GINÉS (Laboratorio Central de Ensayo de Materiales de Construcción del Centro de Estudios y Experimentación de Obras Públicas).
- FELIPE GÓMEZ FERNÁNDEZ (I.E.T.c.c.).
- JOSÉ ANTONIO GONZÁLEZ GUTIÉRREZ (Construcciones y Contratas, S. A.).

- RAFAEL HERNÁNDEZ MARTÍN (Asociación de Investigación de la Construcción – A.S.I.C.).
- ANTONIO MIRANDA ROJAS (Matubo, S. A.).
- JOSÉ MARÍA MORERA BOSCH (Laboratorio Central de Ensayo de Materiales de Construcción del Centro de Estudios y Experimentación de Obras Públicas).
- JOSÉ LUIS MORRÁS OLASAGARRE (Entrecanales y Távora, S. A.).
- JOSÉ NARANJO HIRALDO (Dragados y Construcciones, S. A.).
- MIGUEL OLIVER ALEMANY (Materiales y Tubos Bonna, S. A.).
- JORGE PÁEZ MAÑÁ (I.E.T.c.c.).
- RAFAEL PIÑEIRO ABRIL (A.T.E.P.).
- ENRIQUE RAMOS DE ALÓS (Materiales y Tubos Bonna, S. A.).
- JOSÉ IGNACIO RODRÍGUEZ MIRA (Corsan, E.C.S.A.).
- FERNANDO RODRÍGUEZ-MARIBONA BENITO (Secretaría General Técnica del M.O.P.U.).
- JOSÉ MIGUEL SAN MIGUEL ROMERO (Matubo, S. A.).
- JUAN SEMPERE PALLARUELO (Construcciones y Contratas, S. A.).
- JUAN VICH COMAS (Materiales y Tubos Bonna, S. A.).
- JESÚS SÁNCHEZ VICENTE (S. A. Española Tubo Fábrega – S.T.F.).

CONSULTORES

- JOSÉ CALLEJA CARRETE (I.E.T.c.c.).
- MANUEL ELICES CALAFAT (Laboratorio Central de Ensayo de Materiales de Construcción del Centro de Estudios y Experimentación de Obras Públicas; Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos de Madrid).
- JUAN DE LABRA VALICI (I.R.E.T, S. A.).
- RAFAEL MUÑOZ MARTIALAY (I.E.T.c.c.).
- CÉSAR DEL OLMO RODRÍGUEZ (I.E.T.c.c.).
- La estructuración del texto y la coordinación general de su redacción ha corrido a cargo de JOSÉ IGNACIO RODRÍGUEZ MIRA.

- La propuesta de redacción definitiva ha sido elaborada por ANTONIO BRIONES REUS, RAFAEL PIÑEIRO ABRIL y JOSÉ IGNACIO RODRÍGUEZ MIRA.
- La Secretaría de la Comisión ha sido desempeñada por FELIPE GÓMEZ FERNÁNDEZ, con la colaboración de JORGE PÁEZ MAÑÁ.

GRUPO DE INVESTIGACIÓN

Presidente del Grupo:

- FRANCISCO ARREDONDO Y VERDÚ, Doctor Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos, del Instituto Eduardo Torroja de la Construcción y del Cemento.

Director de la Investigación:

- ÁLVARO GARCÍA MESEGUER, Doctor Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos, del Instituto Eduardo Torroja de la Construcción y del Cemento.

Director Delegado:

- JOSÉ BONIFACIO JUÁREZ, Doctor Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos, de la Empresa Tuberías y Prefabricados, S. A. – T. y P.S.A.

Tema I. PROTECCIÓN A BASE DE PINTURAS Y RESINAS

Director Coordinador:

- FRANCISCO SORIA SANTAMARÍA, Doctor en Ciencias Químicas, del Instituto Eduardo Torroja de la Construcción y del Cemento.

Miembros:

- JESÚS DE ARCENEGUI Y CARMONA, Doctor Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos, del Canal de Isabel II.
- MANUEL OLAYA ADÁN, Licenciado en Ciencias Físicas, del Instituto Eduardo Torroja de la Construcción y del Cemento.
- JUAN DE LABRA VALICI, Ingeniero Industrial, de la empresa I.R.E.T., S. A.
- JOSÉ BERNIS VILAGUT, Doctor Ingeniero Industrial, de la Sociedad General de Aguas de Barcelona, S. A.

Tema II. PERMEABILIDAD AL AGUA

Director Coordinador:

- RAFAEL MUÑOZ MARTIALAY, Doctor en Ciencias Físicas, del Instituto Eduardo Torroja de la Construcción y del Cemento.

Miembros:

- JOSÉ CONESA JAÉN, Ingeniero de Obras Públicas, de la empresa S. A. E. Tubo Fábrega – S.T.F.
- FRANCISCO GALÁN SORALUCE, Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos, del Servicio de Aguas de Pamplona.
- SILVESTRE VIVÓ GIRÓN, Ingeniero Técnico Industrial, de la Empresa Tuberías y Prefabricados, S. A. – T. y P.S.A.

Tema III. MÉTODOS DE CÁLCULO

Director Coordinador:

- MIGUEL OLIVER ALEMANY, Doctor Ingeniero Industrial y Aparejador, de la Empresa Materiales y Tubos Bonna, S. A.

Miembros:

- ÁNGEL BARROS LLERENA, Ingeniero Industrial, de la Empresa Matubo, S. A.
- ANTONIO BRIONES REUS, Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos, de la Empresa Entrecanales y Távora, S. A.
- JOSÉ NARANJO HIRALDO, Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos, de la Empresa Dragados y Construcciones, S. A.
- JOSÉ IGNACIO RODRÍGUEZ MIRA, Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos, de la Empresa Corsan E. C., S. A.
- JUAN SEMPERE PALLARUELO, Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos, de la Empresa Construcciones y Contratas, S. A.
- JUAN VICH COMAS, Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos, de la Empresa Materiales y Tubos Bonna, S. A.

Tema IV. ACEROS PARA TUBERÍAS PRETENSADAS

Director Coordinador:

- MANUEL ELICES CALAFAT, Dr. Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos, Catedrático de la Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos, de Madrid.

Miembros:

- JAVIER BETANZOS VERGARA, Doctor Ingeniero Industrial, de la Empresa S. A. Echevarría.
- PEREGRÍN ESTELLÉS PLANELLS, Licenciado en Ciencias Químicas, de la Empresa Elaborados Metálicos, S. A.
- JUAN MANUEL GARCÍA MONAR, Licenciado en Ciencias Químicas, de la Empresa Nueva Montaña Quijano, S. A.
- RAFAEL PIÑEIRO ABRIL, Aparejador y Arquitecto Técnico, de la A.T.E.P.
- VICENTE SÁNCHEZ GÁLVEZ, Doctor ingeniero de Caminos, Canales y Puertos, Profesor de la Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos, de Madrid.

Tema V. PROTECCIÓN DEL ALAMBRE DE PRETENSAR

Director Coordinador:

- JESÚS DE ARCENEGUI Y CARMONA, Doctor Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos, del Canal de Isabel II.

Miembros:

- JUAN DE LABRA VALICI, Ingeniero Industrial, de la Empresa I.R.E.T., S. A.
- MANUEL OLAYA ADÁN, Licenciado en Ciencias Físicas, del Instituto Eduardo Torroja de la Construcción y del Cemento.

**COMISIÓN DE PUESTA AL DÍA
DE LA INSTRUCCIÓN DEL INSTITUTO
EDUARDO TORROJA PARA TUBOS DE HORMIGÓN
ARMADO O PRETENSADO DE 2007**

- INSTITUTO DE CIENCIAS DE LA CONSTRUCCIÓN EDUARDO TORROJA (I.E.T.c.c.).
- FRANCISCO MORÁN CABRÉ.
- JOSÉ PEDRO GUTIÉRREZ JIMÉNEZ.
- CECILIO LÓPEZ HOMBRADOS.
- CENTRO DE ESTUDIOS Y EXPERIMENTACIÓN DE OBRAS PÚBLICAS (CEDEX).
- LUIS BALAIRÓN PÉREZ.
- CRISTINA LECHUGA GARCÍA.
- ASOCIACIÓN DE FABRICANTES DE TUBERÍA DE PRESIÓN DE HORMIGÓN ARMADO Y PRETENSADO (AFTHAP).
- COMITÉ TÉCNICO COORDINADO POR: LUIS-A. AGUDO FERNÁNDEZ.

PARTE I

Articulado y comentarios

CAPÍTULO I

Generalidades

Artículo 0. Normativa Aplicable

- Prescripciones comunes para tubos de presión de hormigón incluyendo juntas y accesorios (UNE-EN 639).
- Tubos de presión de hormigón armado con camisa de chapa, incluyendo juntas y accesorios (UNE-EN 641).
- Tubos de presión de hormigón postesado, con y sin camisa de chapa, incluyendo juntas, accesorios y prescripciones particulares relativos al acero de pretensar para tubos (UNE-EN 642).
- Guía Técnica sobre Tuberías para el Transporte de Agua a Presión (CEDEX).
- Abastecimiento de agua. Especificaciones para redes exteriores a los edificios y sus componentes (UNE-EN 805).
- Cálculo de la resistencia mecánica de tuberías enterradas bajo diferentes condiciones de carga. Parte 1: Requisitos generales (UNE-EN 1295-1).

Otras normas complementarias:

- Instrucción para el Proyecto y la Ejecución de Obras de Hormigón Estructural EHE (al existir normas específicas para tuberías, se convierte en complementaria).
- Reinforced concrete pressure pipe, steel-cylinder type, for water and other liquids (AWWA, C-300).
- Prestressed concrete pressure pipe, steel-cylinder type, for water and other liquids (AWWA, C-301).

Otros documentos de referencia:

- Prestressed Concrete Cylinder Pipe - Design Manual 301 (AMERON).
- Concrete Pipe HANDBOOK (American Concrete Pipe Association).

– Concrete Pipe DESIGN MANUAL (American Concrete Pipe Association).

Artículo 1. Campo de aplicación de la Instrucción

La presente Instrucción es aplicable a las condiciones que deben cumplir los materiales, la fabricación, el transporte y montaje, el proyecto y control de los tubos y piezas especiales, destinados a la conducción de fluidos, cuyos tipos se indican a continuación:

- a) Tubos de hormigón armado, con camisa de chapa.
- b) Tubos de hormigón postesado, con camisa de chapa.

Quedan excluidos del campo de aplicación de esta Instrucción los tubos fabricados con hormigones ligeros, pesados o refractarios, así como los que se encuentren expuestos normalmente a temperaturas superiores a 70 °C.

Artículo 2. Definiciones

Tubo es el elemento cuya sección transversal es una corona circular y que en sentido longitudinal es recto, hueco y de espesor uniforme, salvo eventualmente en los extremos.

Tubo de hormigón armado con camisa de chapa es el formado por una pared de hormigón que contiene una camisa cilíndrica de chapa, que le confiere estanquidad, siendo parte de la armadura resistente, normalmente situada más próxima al paramento interior, y una armadura transversal, dispuesta en una o varias capas, bien enrollada sobre la camisa o rigidizada mediante soldadura con otra longitudinal.

Tubo de hormigón, postesado transversalmente, con camisa de chapa es el formado por un núcleo de hormigón que contiene una camisa cilíndrica de chapa, que le confiere estanquidad, un alambre de acero de alta resistencia que se enrolla helicoidalmente alrededor del núcleo, a una tensión previamente fijada, que se designa «tensión de zunchado», y una capa exterior, de espesor y naturaleza variables, cuya misión principal es la protección del alambre. El núcleo zunchado, sin el revestimiento exterior, se denomina primario.

Piezas especiales son los elementos de tubería que permiten cambios de dirección, empalmes, uniones con otros elementos, derivaciones, etcétera.

Junta es el elemento de unión entre dos unidades consecutivas de la tubería.

Hay dos tipos de juntas: flexibles y rígidas, según permitan pequeños movimientos de la tubería o prácticamente los impidan.

Las juntas flexibles están formadas por boquillas metálicas con anillos de caucho sintético, y las juntas rígidas por boquillas metálicas unidas entre sí mediante soldadura.

Presión de diseño, *DP* (Design Pressure) presión máxima de funcionamiento (en régimen permanente) de la red o de la zona de presión, fijada por el proyectista, considerando futuras ampliaciones, pero excluyendo el golpe de ariete.

Presión máxima de diseño, *MDP* (Maximum Design Pressure) presión máxima de funcionamiento de la red o la zona de presión, fijada por el proyectista, considerando futuras ampliaciones e incluyendo golpe de ariete; se designa *MDPa*, cuando se fije previamente el golpe de ariete admitido; y *MDPc* cuando el golpe de ariete sea calculado.

Presión de prueba de red, *STP* (System Test Pressure) presión hidrostática aplicada a una conducción recientemente instalada de forma que se compruebe su integridad y estanquidad. La presión de prueba de la red se calcula a partir de la presión máxima de diseño (*MDP*), según se define en el artículo 59.2.2. Presión de prueba.

Presión de funcionamiento, *OP* (Operating Pressure) presión interna que aparece en un instante dado en un punto determinado de la red de abastecimiento de agua.

Presión de servicio, *SP* (Service Pressure) presión interna en el punto de conexión a la instalación del consumidor, con caudal nulo en acometida.

Presión de funcionamiento admisible, *PFA* presión hidrostática máxima que un componente es capaz de soportar de forma permanente en servicio.

Presión máxima admisible, PMA presión máxima, incluido golpe de ariete, que un componente es capaz de soportar en servicio.

Presión de prueba en obra admisible, PEA (Pression d'Épreuve Admissible sur Chantier/Allowable Site Test Pressure) presión hidrostática máxima que un componente recién instalado en obra es capaz de soportar, durante un periodo de tiempo relativamente corto, con objeto de asegurar la integridad y la estanquidad de la conducción.

Presión de prueba en fábrica, PP presión hidráulica aplicada, durante un periodo de tiempo relativamente breve, a un tubo con el fin de verificar su integridad, su estanquidad y/o su concepción.

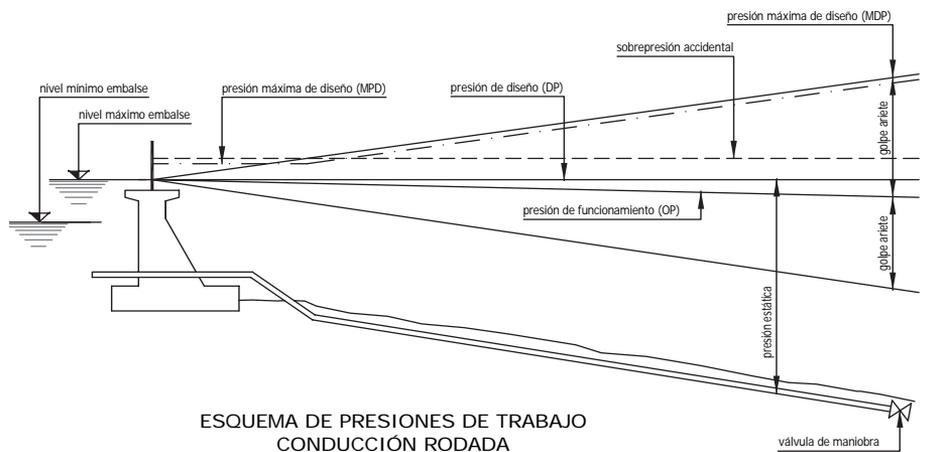
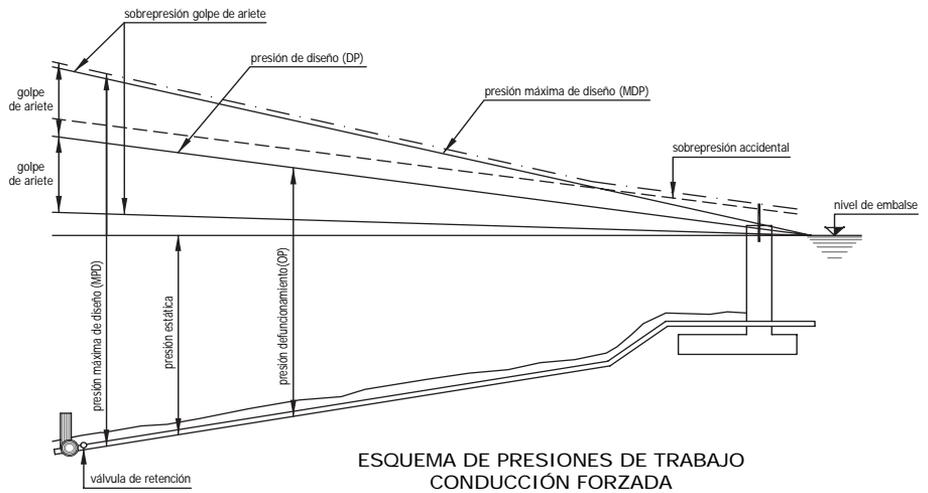


Fig. 2-1. Diagramas de presiones.

Dimensiones nominales son los valores teóricos fijados en Proyecto para las dimensiones de los tubos.

Artículo 3. Proyecto

En el Proyecto se deberán indicar las posibilidades de utilización en obra de los diferentes tubos, de acuerdo con su diseño, en un gráfico que tenga por ejes de coordenadas las presiones máximas de trabajo y las alturas equivalentes de tierras que se presenten a lo largo de la traza.

A partir de este gráfico se realizará la distribución de los tubos, en el perfil longitudinal de la tubería, según las diferentes tipologías.

Artículo 4. Tipificación de diámetros

La serie tipificada es:

500-600-700-800-900-1000-1100-1200-1300-1400-1500-1600-1800-2000-2200-2400-2500-2600-2800-3000-3200-3500.

Cada número indica el diámetro interior del tubo, en mm.

No hay motivo técnico que impida fabricar diámetros diferentes a los de esta serie, y puede hacerse en casos especiales.

Artículo 5. Unidades, convención de signos y notación

Las unidades adoptadas en la presente Instrucción corresponden a las del Sistema Internacional.

La convención de signos y notación utilizadas se adaptan a las normas europeas y a la EHE.

En el Anejo 1 se incluye la notación más frecuentemente utilizada en esta Instrucción.

TÍTULO 1.º

Realización de la obra

CAPÍTULO II
 Materiales

Artículo 6. Cemento

El cemento, en general, será de los tipos siguientes:

- Portland.
- Resistente a los sulfatos y/o al agua de mar.

El cemento satisfará las condiciones exigidas en el vigente Pliego de prescripciones técnicas generales para la recepción de cementos (RC).

Cualquier tipo de cemento que se emplee deberá tener un contenido de aluminato tricálcico ($3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$) del clinker inferior al 8%.

Artículo 7. Agua

El agua, tanto la empleada en el amasado como en el curado del hormigón de los tubos, será de las sancionadas como aceptables por la práctica.

Cuando no se posean antecedentes, o en caso de duda, el agua deberá ser analizada, y cumplirá las condiciones exigidas en la vigente Instrucción de Hormigón Estructural (EHE).

Se prohíbe el empleo de agua de mar.

En el caso de emplearse agua potable no es necesario hacer ensayos.

Artículo 8. Áridos

La naturaleza de los áridos, su preparación y granulometría serán tales que permitan garantizar la adecuada resistencia y durabilidad del hormigón. El árido empleado en la fabricación del hormigón de los

tubos de hormigón armado o postesado cumplirá las condiciones exigidas en la vigente Instrucción de Hormigón Estructural (EHE). Se comprobará asimismo el tamaño máximo del árido, de acuerdo con las consideraciones indicadas para los áridos en dichas Instrucciones y las prescritas por las normas UNE-EN 641 (tubos de presión de hormigón armado con camisa de chapa), y UNE-EN 642 (tubos de hormigón postesado con camisa de chapa).

El fabricante establecerá la serie de áridos a utilizar, para hacerlos compatibles con el proceso de fabricación del hormigón con el fin de alcanzar la resistencia a compresión óptima. La resistencia a abrasión y dureza de los áridos tiene mucha importancia en los estudios de durabilidad de las tuberías de hormigón, así, por ejemplo, la utilización de áridos con alta densidad y dureza produce hormigón con gran resistencia a la abrasión.

Se prohíbe el uso de escorias siderúrgicas, así como el de aquellos áridos que contengan piritas o cualquier tipo de sulfuros.

Artículo 9. Aditivos

Cumplirán las especificaciones de la Instrucción de Hormigón Estructural (EHE).

Artículo 10. Hormigones y Morteros

Se estudiará la composición de los hormigones y morteros con el fin de conseguir la impermeabilidad, resistencia y durabilidad exigidas.

Los hormigones y morteros de los tubos de hormigón armado o postesado cumplirán las condiciones exigidas en la vigente Instrucción de Hormigón Estructural (EHE).

El contenido de ión cloro del hormigón, determinado por cálculo, no podrá ser superior a los valores de la siguiente tabla, expresados en % de la cantidad de cemento.

Máximo contenido de ión cloro en el hormigón	
Tipo de hormigón	% de ión cloro sobre la masa de cemento
Tubos de hormigón armado	≤ 0,4
Tubos de hormigón postesado	≤ 0,2

Se emplearán dosificaciones de cemento ajustadas a lo expuesto en las normas UNE-EN 641 y UNE-EN 642. La resistencia característica a compresión del hormigón a veintiocho días, en probeta UNE cilíndrica de 15 × 30, no deberá ser inferior a 35 N/mm².

Si se utiliza hormigón autocompactante para la fabricación de tubos de hormigón armado o postesado, los materiales utilizados serán los mismos que en el hormigón convencional, pudiendo incluir además aditivos superplastificantes que cumplan la Norma UNE-EN 934-2. En su caso, este hormigón cumplirá las exigencias que para él se especifiquen en la vigente Instrucción de Hormigón Estructural.

Artículo 11. Armaduras pasivas

El acero para armaduras cumplirá con las normas nacionales que sean transcripción de las Normas EN, cuando existan.

En la armadura principal (transversal) se utilizarán barras o alambres corrugados.

En la armadura auxiliar (longitudinal) se utilizarán aceros lisos.

Los diámetros a utilizar serán 6, 8, 10, 12 mm.

Artículo 12. Armaduras activas

Los alambres de postesado cumplirán la normativa vigente [UNE 36094 e Instrucción de Hormigón Estructural (EHE)].

Los fabricantes facilitarán los valores de las características físicas, químicas y mecánicas que se les solicite, así como los de la relajación a mil horas, a temperatura de 20 ± 1 °C, para tensiones iniciales del 60% y el 80% de la carga unitaria máxima, f_{max} , garantizada.

Además, por las características específicas de este tipo de elementos, se incrementarán las exigencias de ductilidad. Así:

- a) El número de doblados-desdoblados que soportará el alambre en la prueba de doblado alternativo, no será inferior a 7.
- b) El alargamiento bajo carga máxima, con $L_0 = 100$ mm no será inferior al 5%.
- c) Se recomienda utilizar alambres de postesado de diámetros 5, 6, y 7 mm.

Dimensiones y propiedades de los alambres (Extractado de tabla 2 de UNE 36094)					
	Característica	DESIGNACIÓN DEL ACERO			
		Y 1770 C	Y 1860 C	Y 1770 C	Y 1670 C
Valores nominales	Diámetro (mm)	5,0	5,0	6,0	7,0
	Resistencia a la tracción (Mpa)	1.770	1.860	1.770	1.670
	Masa ⁽¹⁾ (g/m)	154	154	222	302
Valores específicos	Sección transversal recta (mm ²)	19,6	19,6	28,3	38,5
	Tolerancia de la sección transversal recta (mm ²)	±0,39	±0,39	±0,47	±0,58
	Valor característico mínimo de la carga de rotura (kN)	34,7	36,5	50,1	64,3
	Carga máxima de rotura (kN)	40,6	42,7	58,6	75,2
	Valor característico del límite elástico al 0,1% ⁽²⁾ (kN)	28,8	30,3	41,6	53,4
	Valor característico del límite elástico al 0,2% ⁽³⁾ (kN)	29,5	31,0	42,6	54,7
	Diámetro del mandril para el ensayo de doblado alternativo	30	30	37	45
⁽¹⁾ La masa se calcula a partir de la sección transversal recta especificada y dando un valor a la masa específica del acero de 7,85 kg/dm ³ . ⁽²⁾ Se calcula como el 83% de la carga de rotura. ⁽³⁾ Se calcula como el 85% de la carga de rotura.					

El valor del límite elástico al 0,2% de un alambre estará comprendido entre el 85% y el 95% de la carga característica de rotura.

Requisitos adicionales para los alambres	
Tabla 3, UNE 36094	
Propiedad	Especificación
Módulo elástico	205 kN/mm ² ± 7%
Mínimo alargamiento bajo carga máxima (A _{gt}) L ₀ ≥ 100 mm	5% (condición especial para alambres empleados en tubos)
Estricción a la rotura Alambres lisos Alambres grafilados	± 5% Visible a simple vista
Número mínimo de doblados alternativos	7 (condición especial para alambres empleados en tubos)
Relajación máxima a 1000 h Al 60% Al 70% Al 80%	1,5% 2,5% 4,5%
Fatiga Alambres lisos Alambres grafilados	200 N/mm ² 180 N/mm ²
Corrosión bajo tensión Valor mínimo individual Valor mínimo de la media de ensayos	1,5 h 4,0 h

Artículo 13. Chapa de acero

Pueden emplearse para la fabricación de camisas de los tubos, como mínimo, las chapas definidas como tipo S-235 JR en la norma UNE-EN 10025. La consideración en el cálculo de un límite elástico del acero superior a 210 MPa deberá justificarse debidamente.

A continuación se transcriben las características definidas en la citada norma del acero S-235 JR.

Composición química							
Designación	% C max para espesor en mm		Mn %	Si %	P %	S %	N %
	≤16	>16≤40					
S 235 JR	0,210	0,250	1,500	—	0,055	0,055	0,011

Características mecánicas				
Designación	Límite elástico mínimo N/mm²		Resistencia a la tracción N/mm²	
	s/espesor nominal en mm		s/espesor nominal en mm	
	≤16	>16≤40	<3	≥3≤ 100
S 235 JR	235	225	360-510	340-470

Artículo 14. Materiales elastoméricos para juntas

Cuando el caucho sea utilizado para juntas de conducciones de agua potable, no contendrá sustancias capaces de alterar las propiedades organolépticas del agua, ni sustancias tóxicas extraíbles y cumplirá la normativa vigente de materiales en contacto con agua potable.

El caucho, utilizado en las juntas de estanquidad, deberá cumplir el siguiente cuadro de características, de acuerdo con la norma UNE-EN 681-1.

Características del Caucho							
Propiedad	Unidad	REQUISITO PARA LA CLASE					
		40	50	60	70	80	88
Dureza nominal preferida	IRDH	40	50	60	70	80	88
Margen de dureza nominal	IRDH	36 a 45	46 a 55	56 a 65	66 a 75	76 a 84	85 a 91
<i>Requisitos generales</i>							
Tolerancias admisibles sobre la dureza especificada	IRDH	±5	±5	±5	±5	±4	±3
Alarg. de rotura mínimo	%	400	375	300	200	125	100
Deformación remanente por compresión:							
– después de 70 h a la temperatura normalizada de laboratorio, máximo	%	12	12	12	15	15	15
– después de 22 h a 70°, máximo	%	25	25	25	25	25	25
Envejecimiento: cambio respecto a los valores originales después de 7 días en aire a 70 °C:							
– Dureza, máximo	IRDH		-5 a +8			-5 a +8	±5
– Resistencia a la tracción, máximo	% orig.		-20			-20	-20
– Alargamiento en la rotura, máximo	% orig.		-30 a +10			-40 a +10	-40 a +10
Inmersión en agua: cambio de volumen después de 7 días de inmersión en agua destilada o desionizada, a 70 °C, máximo	%				0 a +8		
Relajación de esfuerzos a compresión después de 7 días a la temperatura normalizada de laboratorio, máximo	%			16			18

Artículo 15. Pinturas

En los casos en que la tubería se encuentre en un ambiente muy agresivo, es posible el uso de pinturas y revestimientos protectores como

alternativa para resistir el ataque de ácidos o cloruros. Puesto que no es normal que una tubería se encuentre en condiciones de exposición muy agresivas, es necesaria la realización previa de un estudio económico que incluya un análisis de las condiciones de servicio de la conducción y de los factores agresivos detectados.

Asimismo es necesario un estudio acerca de la posibilidad de reducción de la agresividad del entorno, como por ejemplo, mediante el control de la cantidad de sulfuros que circulan por la red. También se puede tratar de mejorar la durabilidad del hormigón para prevenir los efectos de agresiones concretas, como por ejemplo, ante un posible ataque de ácidos, aumentando la alcalinidad total del hormigón.

El uso de tratamientos protectores específicos de sellado de la superficie de la tubería debería limitarse a aquellos casos en los que se presente la mejor relación eficacia/coste para poder cumplir las exigencias de durabilidad.

Una primera división de este tipo de tratamientos puede hacerse atendiendo al espesor de la capa aplicada sobre el tubo. Así se distingue entre tratamientos de pequeño espesor (o pinturas), los cuales se aplican normalmente con brocha, pistola o rodillo, variando el grosor del tratamiento entre 0,25 mm y 1,2 mm y tratamientos gruesos (o recubrimientos), de espesor superior a 1,2 mm; su uso es diferente dependiendo del tipo de protector.

Si se usan pinturas es fundamental lograr una adherencia correcta y uniforme al hormigón, si se quieren conseguir buenos resultados a largo plazo. Por ello es necesaria una preparación cuidadosa de la superficie de hormigón sobre la que se desea aplicar el tratamiento. Las pinturas utilizadas van desde resinas epoxi hasta productos bituminosos como betunes y alquitranes. Los materiales bituminosos son utilizados en la mayoría de los casos como recubrimientos exteriores, a fin de sellar la tubería contra ataques producidos por cloruros.

Los revestimientos protectores de espesor grueso –superior a 1,2 mm– son bastante más caros, pero proporcionan una protección más duradera. Para este tipo de revestimiento existen dos materiales de uso común: morteros de resina epoxi y láminas de cloruro de polivinilo.

PINTURA DE BOQUILLAS METÁLICAS

Las boquillas metálicas destinadas a unión elástica deberán ser tratados con una pintura epoxi adecuada para contacto con alimentos que garantice la perfecta conservación de los mismos durante la vida útil de la conducción. Para ello, se someterá a la pletina de acero, previamente a la aplicación de la pintura, a un chorreo con arena hasta un grado ISO-Sa2 que garantice una adecuada preparación de la superficie.

Una vez efectuada la preparación de la superficie, es preciso tratarla con una imprimación epoxi anticorrosiva. Es muy importante la adecuada elección del producto ya que si la imprimación pierde adherencia o falla, arrastrará a todo el sistema de pintado aplicado sobre ella por lo que deberá reunir dos requisitos fundamentales: por una parte, adherencia que sirva de base de anclaje para las capas posteriores, y por otra, compatibilidad con las pinturas que sobre ella se apliquen.

Finalmente, se aplicará la pintura de terminación o acabado que deberá ser una pintura epoxi adecuada para contacto con alimentos sin disolvente. Se aplicará un mínimo de dos o tres capas, según sea necesario hasta alcanzar un espesor total mínimo de 120 micras. La función de estas capas es rellenar el sistema aportando espesor y al mismo tiempo, proteger contra las agresiones externas.

CAPÍTULO III
Fabricación

Artículo 16. Tipos de fabricación

Los tubos se fabricarán en instalaciones debidamente preparadas para poder cumplir las prescripciones exigidas en este capítulo y el Pliego de Prescripciones Técnicas Particulares de la obra.

La fabricación puede hacerse por centrifugación, por compresión radial, por vertido en moldes verticales y vibración, por regla vibrante, por proyección, por empleo de hormigón autocompactable, por combinación de cualquiera de estos métodos, o por algún otro autorizado por el Director de obra.

En cualquier caso, se adoptarán las medidas necesarias para conseguir que las disposiciones constructivas y los procesos de ejecución se ajusten, en todo, a lo indicado en el Proyecto.

Artículo 17. Moldes

Los moldes tendrán una resistencia y rigidez suficientes para soportar, sin asientos ni deformaciones perjudiciales, las acciones de cualquier naturaleza que puedan producirse sobre ellos como consecuencia del proceso de hormigonado, y especialmente bajo las presiones del hormigón fresco o los efectos del método de compactación utilizado.

Los moldes serán suficientemente estancos para impedir pérdidas apreciables de lechada, habida cuenta del modo de compactación previsto.

Las superficies interiores de los moldes aparecerán limpias y lisas en el momento del hormigonado.

Al objeto de facilitar el desmoldeo de los tubos, se podrán usar desencofrantes, con las debidas precauciones, para evitar posibles efectos perniciosos.

El desmoldeo no deberá iniciarse hasta que el hormigón tenga la madurez suficiente para evitar daños a los tubos.

Se cuidará la correcta disposición de los moldes, tanto en la fase previa al hormigonado como durante el vertido y compactación del hormigón, para cumplir las tolerancias geométricas establecidas.

Artículo 18. Camisas de chapa

Las camisas de chapa, cuando se empleen en la fabricación de los tubos, tendrán un espesor mínimo de 1,5 mm, serán cilíndricas, con soldaduras transversales y longitudinales o bien helicoidales, hechas a tope o por solapo, con una resistencia a tracción mayor o igual a la de la chapa de acero. Se recomienda que el número de soldaduras de la camisa sea el menor posible.

De las camisas, antes de ser colocadas en los moldes, se eliminará aceite, grasa, petróleo, o cualquier materia extraña que pueda perjudicar la adherencia con el hormigón.

Se cuidará la correcta disposición de la camisa dentro del molde, tanto en la fase previa al hormigonado como durante la colocación y compactación del hormigón, para cumplir las tolerancias geométricas establecidas.

Artículo 19. Jaulas de armadura pasiva

Las armaduras pasivas se dispondrán en una o más capas cilíndricas, separadas convenientemente, formadas por barras transversales, arrolladas, generalmente en forma helicoidal, sobre barras longitudinales o sobre la camisa de chapa que les sirven de soporte.

La hélice será lo más continua posible. Sus empalmes estarán soldados a tope por resistencia eléctrica o por solapo al arco eléctrico, y en cualquier caso, la soldadura resistirá tanto como las barras.

Se cuidará especialmente la elaboración de la armadura transversal, para que sus espiras tengan una separación uniforme y una continuidad en su desarrollo.

Las generatrices se sueldan a las espiras en todos sus puntos de cruce.

En caso de disponerse armaduras longitudinales adicionales, éstas podrán sujetarse por soldadura o atado en los puntos que sea necesario para garantizar su correcta disposición.

Las distancias entre las barras, así como las longitudes de anclaje y de solapo, cumplirán las prescripciones establecidas en la vigente Instrucción de Hormigón Estructural.

La jaula de armadura pasiva debe incorporar un mínimo de generatrices con el fin de evitar una configuración poligonal, debiendo aumentarse su número conforme sea necesario, para que la separación entre cada dos generatrices contiguas no sobrepase los 450 mm en la parte cilíndrica de la jaula.

La distancia máxima entre dos espiras adyacentes de la armadura transversal no excederá de 1,5 veces el espesor de la pared, sin sobrepasar los 100 mm.

La distancia libre entre espiras no será menor de 1,25 veces el tamaño máximo del árido, o de 12 mm, cualquiera que sea el valor mayor.

Se cuidará la correcta disposición de las armaduras, tanto en los moldes como durante el vertido y compactación del hormigón, para que el eje de cada capa de armaduras cumpla la tolerancia establecida.

Artículo 20. Colocación y tesado de armaduras activas

Las armaduras activas transversales son armaduras postesas, arrolladas helicoidalmente alrededor de un núcleo de hormigón con camisa de chapa.

El diámetro del alambre no será menor de 5 mm. La separación libre entre las espiras será uniforme, y no será menor que el diámetro del alambre o 6 mm, la más restrictiva de ambas condiciones, para las espiras de una misma capa de la armadura.

La separación máxima inter-ejes de las espiras, será de 50 mm. Para los tubos zunchados sobre la camisa de chapa con alambre de 6 mm o más, el inter-eje máximo entre espiras será de 25 mm.

Los empalmes y anclajes se efectuarán de modo que no resulten modificadas las características del alambre, en especial su resistencia.

El sistema de postesado transversal deberá garantizar la tensión de zunchado de forma sensiblemente constante, permitir su medición y detectar las eventuales variaciones de la tensión que superen las tolerancias establecidas.

No se procederá al tesado de las armaduras postesas hasta que el hormigón haya alcanzado las resistencias de Proyecto fijadas para estas operaciones.

Artículo 21. Hormigonado

El transporte, colocación y compactación de hormigón o mortero se realizará de acuerdo con las prescripciones establecidas en la vigente Instrucción de Hormigón Estructural.

Se cuidará especialmente el hormigonado en tiempo frío, en tiempo caluroso y bajo lluvia, de acuerdo con la citada Instrucción.

La colocación del hormigón o mortero se efectuará en la forma más continua posible y no se admitirán juntas de hormigonado.

En los tubos centrifugados, se regulará la duración y velocidad de la centrifugación, para conseguir una distribución uniforme del hormigón y producir una superficie interior cilíndrica, lisa y compacta.

La compactación por vibración será uniforme en todo el tubo.

Artículo 22. Curado del hormigón

Durante el fraguado, primer período de endurecimiento del hormigón, deberá asegurarse el mantenimiento de su humedad, mediante las medidas adecuadas que constituirán el proceso de curado.

El curado de los tubos de hormigón con camisa de chapa, podrá realizarse por métodos acelerados de curado, como es el curado por calor, y en particular, el curado a vapor saturado a presión atmosférica.

Este tipo de curado se realizará colocando los tubos en cámaras, cajas u otros recintos estancos, que protejan al hormigón de las corrientes de aire y tengan un tamaño suficiente para permitir una perfecta circulación del vapor por los paramentos interior y exterior del tubo.

Cuando se utilice este procedimiento, hay que controlar adecuadamente las curvas de subida y bajada progresiva de la temperatura, con el fin de evitar que el hormigón sufra choques térmicos y desecaciones o excesivas condensaciones.

El tiempo del ciclo de curado al vapor depende de varios factores como el tamaño del tubo, la temperatura exterior y los medios de curado, prolongándose hasta que se ha alcanzado la resistencia necesaria para su manipulación.

El curado de los tubos también podrá realizarse por cualquier procedimiento que mantenga continuamente húmedas sus superficies interior y exterior, como son la inmersión, el riego directo que no produzca deslavado, o el riego indirecto, a través de un material adecuado, capaz de retener la humedad y que no contenga sustancias nocivas para el hormigón.

Artículo 23. Espesores y Recubrimientos

23.1. Tubos de Hormigón Armado con Camisa de Chapa

ESPESOR Y RECUBRIMIENTO INTERIOR

La tabla siguiente indica el espesor mínimo teórico de la pared del tubo y el espesor mínimo teórico del revestimiento interior para cada diámetro.

ESPESOR MÍNIMO TEÓRICO

**Espesor mínimo teórico de la pared del tubo $t_{mín.}$,
y del revestimiento interior $t_{imín.}$, incluida la camisa de chapa**

dn/d_i	$t_{mín.}$ (mm)	$t_{imín.}$ (mm)
500	55	20
600	60	20
700	65	20
800	70	20
900	75	20
1 000	80	20
1 100	85	25
1 200	95	25
1 300	105	25
1 400	110	25
1 500	115	25
1 600	125	25
1 800	140	30
2 000	155	40
2 200	170	40
2 400	185	45
2 500	195	45
2 600	200	45
2 800	215	45
3 000	220	45
3 200	230	45
3 500	250	50

En la sección del enchufe macho del tubo, la forma de la boquilla puede reducir el recubrimiento respecto a esta tabla, debiendo mantenerse el diámetro interior.

RECUBRIMIENTO EXTERIOR

El recubrimiento mínimo sobre los aceros será el mayor de los dos valores siguientes:

1,25 veces el tamaño máximo del árido o:

- 15 mm para los tubos de $d_i < 800$ mm.
- 20 mm para los tubos de $d_i \geq 800$ mm.

23.2. Tubos de Hormigón Postesado con Camisa de Chapa

ESPESOR DEL NÚCLEO

La tabla siguiente indica el espesor mínimo de cálculo de la pared del núcleo, incluyendo el espesor de la camisa de chapa.

Espesor mínimo previsto para las paredes de los tubos

dn/d_i	$t_{mín.}$ (mm)
500	50
600	50
700	50
800	50
900	55
1 000	65
1 100	70
1 200	75
1 300	80
1 400	85
1 500	90
1 600	100
1 800	115
2 000	125
2 200	135
2 400	145

dn/d_i	$t_{mín.}$ (mm)
2 500	150
2 600	160
2 800	170
3 000	180
3 200	190
3 500	210

RECUBRIMIENTOS EN NÚCLEO

El recubrimiento mínimo de los aceros embebidos en el núcleo será de 15 mm excepto en los extremos.

REVESTIMIENTO EXTERIOR

Es la capa exterior de espesor y naturaleza variables, cuya misión principal es la protección del alambre que zuncha transversalmente al núcleo.

El espesor mínimo del revestimiento de mortero o de hormigón, sobre el alambre de postesado transversal, será de 15 mm. El mortero o el hormigón del revestimiento deberá ser adecuado para cumplir los ensayos de permeabilidad y resistir la interacción con el medio en que vaya a colocarse el tubo.

El revestimiento exterior (que se aplicará dentro de las 48 horas siguientes al postesado transversal), se deberá fabricar, transportar, colocar y compactar, de forma que se consiga un alto grado de compacidad y por tanto un bajo índice de permeabilidad y porosidad.

Artículo 24. Reparaciones durante la fabricación

El hormigón defectuoso será sustituido en toda la extensión del defecto. El hormigón y mortero usado en las reparaciones, cumplirá las mismas prescripciones que el hormigón o mortero empleado en la fabricación de los tubos. Las reparaciones deben ser tratadas como se especifica en el apartado correspondiente de la norma del producto, o

por aplicación de un producto de curado conforme a las normas nacionales que sean transcripción de las normas EN cuando existan.

Un tubo reparado no se expedirá hasta que se complete el curado, o hasta pasadas 12 horas de la aplicación del producto de curado.

Artículo 25. Manipulación y acopio en fábrica

Los tubos, o sus componentes durante el proceso de fabricación, se manipularán de forma que no sufran golpes o rozaduras que puedan afectar a la resistencia, estanquidad o durabilidad.

Cuando se manipulen, durante el proceso de fabricación, tubos o núcleos que aún no han alcanzado la resistencia prevista en el cálculo, deberán emplearse medios de suspensión o utillajes que aseguren que no se alcanzan tensiones en los materiales superiores a las admisibles. En ningún caso deben manipularse elementos de hormigón armado con resistencias estimadas inferiores a $12,5 \text{ N/mm}^2$.

Cuando se utilicen cables o eslingas de acero, se protegerán éstos con un revestimiento adecuado, para evitar cualquier daño en la superficie del tubo. Especialmente se recomienda el empleo de eslingas de cinta ancha resistentes, recubiertas de caucho o procedimientos de suspensión basados en ventosas. Se prohíbe la descarga por lanzamiento.

Los primarios se manipularán con especial cuidado, para evitar que el alambre sufra golpes, rozaduras o presiones que deterioren su superficie.

El tubo se depositará suavemente sobre el suelo plano, cuando se acopie en vertical, o sobre apoyos de material adecuado que no dañen el tubo, cuando se acopie en horizontal. En este último caso, se recomienda no rodarlos; y si se efectúa esta operación, deberá seleccionarse la superficie de rodadura, para no ocasionar desperfectos en el tubo.

El acopio de los tubos deberá hacerse preferentemente en vertical, salvo que por consideraciones de fabricación, o prevención de posibles daños en la boquilla se considere necesario el acopio en horizontal.

En el caso de tubos acopiados en horizontal, preferentemente se colocarán en una sola capa, no obstante, si el diámetro y las características del tubo lo permiten, pueden acopiarse en dos o más capas, siempre que se justifique adecuadamente.

Con carácter orientativo, puede partirse de la tabla siguiente:

Diámetro (mm)	Número máximo de capas
$dn \leq 600$	3
$600 < dn \leq 900$	2
$900 < dn$	1

Artículo 26. Tolerancias

DIÁMETRO INTERIOR DE LOS TUBOS

d_i	Tolerancia media (mm)	Tolerancia del valor individual (mm)
$< d_i \leq 500$	$\pm \frac{20d_i}{1000}$	$\pm \frac{40d_i}{1000}$
$500 < d_i < 1200$	$\pm \left(6 + \frac{5d_i}{1000} \right)$	$\pm \left(12 + \frac{d_i}{100} \right)$
$d_i \geq 1200$	± 12	± 24

ESPESOR DE PARED DEL TUBO

El espesor de pared no será inferior al espesor teórico disminuido en el mayor de los valores siguientes: 5% del valor teórico, o 5 mm. El fabricante establecerá el espesor de pared para cada tipo de diseño dado.

OVALIZACIÓN DEL TUBO EN LA ZONA DE JUNTA

Las dimensiones de la unión (extremos de tubos) cumplirán las especificaciones de diseño y tolerancias que deberán figurar en la documentación técnica del fabricante, y permitirán satisfacer los requisitos relativos a la estanquidad de la unión.

Para juntas elásticas la diferencia entre los diámetros máximo y mínimo no debe exceder del valor mayor de:

- 0,5% del diámetro nominal.
- 5 mm.

El desarrollo de la circunferencia de la superficie interior de la boquilla hembra, no excederá del desarrollo de la circunferencia exterior de la boquilla macho, en más de:

- 5 mm para las juntas de estanquidad cuyo diámetro (o el lado menor del rectángulo circunscrito) es inferior a 17 mm.
- 6,5 mm para las juntas de estanquidad cuyo diámetro (o el lado menor del rectángulo circunscrito) es igual o superior a 17 mm.

Para junta soldada las tolerancias sobre los desarrollos de las boquillas terminadas se indican en la tabla siguiente:

Tolerancias sobre las longitudes desarrolladas en mm				
Todos los diámetros	Boquilla hembra		Boquilla macho	
		+8,5	–1,5	+1,5

Las tolerancias de ovalización de la superficie interior de la boquilla hembra y la superficie exterior de las boquillas macho, son las indicadas en la tabla siguiente:

Tolerancias de ovalización en mm. para junta soldada				
d_i	Boquilla hembra		Boquilla macho	
≤ 1500	+ 7	–3	+3	– 7
> 1500	+10	–5	+5	–10

DIMENSIONES DE LA CAMISA DE CHAPA Y DE LA JAULA DE ARMADURAS

En la camisa de chapa se medirá el perímetro externo. La diferencia de desarrollo respecto a la teórica no será superior a ± 10 mm.

En las jaulas de armadura la diferencia entre los diámetros máximo y mínimo de armadura no debe ser superior a 10 mm para tubos de diá-

metro nominal menor o igual a 1000 mm y al 1% del diámetro nominal en diámetros superiores.

El diámetro medio de las jaulas no se diferenciará del teórico en más del $\pm 5\%$ del espesor nominal no menor de 5 mm.

LONGITUD

Se seguirán los criterios siguientes:

- La longitud teórica interior del cuerpo cilíndrico, es especificada por el fabricante y está sujeta a una tolerancia de ± 10 mm para los elementos rectos y de ± 20 mm para los otros elementos.
- La longitud útil teórica especificada por el fabricante, es igual a la longitud teórica interior del cuerpo cilíndrico incrementada en la holgura de junta existente entre el extremo macho y el fondo de la hembra. La holgura de junta debe tener una tolerancia (\pm) especificada por el fabricante para el caso de tendido recto y para el caso de deflexión angular.

La relación entre la longitud útil teórica y el diámetro interior de un tubo no excederá de 21.

JUNTAS DE MOLDES

La tolerancia para las juntas de moldes será tal que el resalto que origine en el paramento de hormigón del tubo no exceda de 5 mm. Si se sobrepasa este valor máximo, deberá repasarse la junta, especialmente en el caso de núcleos de tubos de hormigón postesado, para lograr la aplicación directa del alambre de pretensar, en toda su longitud, sobre la superficie exterior del hormigón del núcleo.

ALAMBRES DE PRETENSAR Y DE ARMAR

Los aceros de pretensar cumplirán las especificaciones de la Norma UNE 36094 relativas a masa y sección transversal recta.

Los aceros de armado cumplirán las especificaciones de las Normas UNE 36065, UNE 36068, UNE 36099, o normas equivalentes que las

sustituyan en el futuro, relativas a masa, sección transversal, separación y altura de corrugas.

TENSIÓN DE ZUNCHADO

La tensión media será al menos igual a la tensión de cálculo. Las fluctuaciones normales de tensión, no variarán con relación a la media en más del 10%, y no más del 5% de las espiras podrán tener fluctuaciones instantáneas que excedan de la desviación permitida del 10%.

RECTITUD DE GENERATRICES

Las generatrices interiores de los tubos no presentarán una desviación superior al mayor de los valores siguientes:

- 0,5% de la longitud interna del tubo.
- 5 mm.

ORTOGONALIDAD DE EXTREMOS

El descuadre máximo admisible en los extremos de los tubos será de $0,02 d_i$, con un mínimo de 10 mm pero sin superar en ningún caso los 20 mm.

Artículo 27. Marcas

Cada componente será indeleblemente marcado de una forma claramente visible y duradera dando como mínimo la siguiente información en el extremo macho o hembra:

1. Identificación del fabricante;
2. Identificación de la fecha de fabricación;
3. Identificación de la certificación por tercera parte (p. e., el DIT);
4. Identificación del diámetro y del tipo de resistencia mecánica, si procede;
5. Identificación de un uso especial, cuando proceda;
6. Si se especifica en los documentos del contrato se colocarán en el tubo marcas especiales de identificación suficientes para indi-

car la localización adecuada del tubo o del accesorio en la conducción por referencia a dibujos y nomenclaturas;

7. Todos los tubos biselados serán marcados indicando su desviación angular, el lado corto será igualmente identificado;
8. Si se usa armadura elíptica, el eje menor de la armadura será identificado;
9. El marcado CE, DIT o DITE (cuando se lleve a cabo su aplicación).

Cuando las dimensiones del componente no permitan el marcado completo, la identificación del componente será hecha de forma que no exista duda.

CAPÍTULO IV

Transporte y montaje

Artículo 28. Transporte y manipulación

Los tubos se manipularán de forma que no sufran golpes o rozaduras.

Cuando se utilicen cables o eslingas de acero, se protegerán éstos con un revestimiento adecuado, para evitar cualquier daño en la superficie del tubo. Especialmente se recomienda el empleo de eslingas de cinta ancha, resistentes, recubiertas de caucho, o procedimientos de suspensión a base de ventosas.

Se prohíbe la suspensión del tubo por un extremo y la descarga por lanzamiento.

Los primarios se manipularán con especial cuidado, para evitar que el alambre sufra golpes, rozaduras o presiones que deterioren su superficie.

El tubo se depositará suavemente sobre el suelo plano, cuando se acopie en vertical, o sobre apoyos de material adecuado que no dañen el tubo, cuando se acopie en horizontal. En este último caso, se recomienda no rodarlos, y si se efectúa esta operación, deberá seleccionarse la superficie de rodadura, para no ocasionar desperfectos en el tubo.

Los tubos permanecerán debidamente humedecidos o se protegerán del sol y, especialmente, del viento, cuando las condiciones climáticas hagan prever posibles daños en el tubo, bien sea por retracción o por efectos térmicos.

El transporte desde la fábrica a la obra no se iniciará hasta que haya finalizado el período de curado.

Los tubos se transportarán sobre unas cunas que garanticen la inmovilidad transversal y longitudinal de la carga, así como la adecuada sujeción de los tubos apilados, que no estarán directamente en contacto entre sí, sino a través de elementos elásticos, como madera, gomas o sogas.

Los tubos se descargarán cerca del lugar donde deban ser colocados en la zanja y de forma que puedan trasladarse con facilidad al lugar en que hayan de instalarse. Se evitará que el tubo quede apoyado sobre puntos aislados.

Cuando la zanja no esté abierta en el momento de la descarga, se procurará acopiar los tubos en el lado opuesto a aquél en que se vayan a depositar los productos de la excavación.

El acopio de los tubos en obra se hará en posición horizontal, sujetos mediante calzos de madera, salvo que se disponga de alguna solera rígida que garantice el acopio vertical en las debidas condiciones de seguridad.

Durante su permanencia en la obra, antes del tapado de las zanjas, los tubos deberán quedar protegidos de acciones o elementos que puedan dañarles.

Igualmente se evitará que estén expuestos durante largo tiempo a condiciones atmosféricas en que puedan sufrir secados excesivos o calores o frío intensos. Si esto no fuera posible, se tomarán las precauciones oportunas para evitar efectos perjudiciales.

Artículo 29. Instalación

Las tuberías pueden instalarse en zanja, en terraplén o en zanja terraplendada.

El caso más habitual y deseable, es la colocación en zanja, pues, aún en el caso de terraplén, resultaría conveniente realizar primero el terraplén y posteriormente abrir la zanja para colocar la tubería, ya que aunque este procedimiento encarezca ligeramente la obra, preserva al tubo de los riesgos de rotura por un inadecuado proceso de compactación del terraplén.

EN ZANJA

Las tuberías habitualmente van alojadas en zanjas, cuya profundidad, anchura y taludes deben ser bien definidos.

La profundidad mínima de las zanjas se determinará de forma que las tuberías queden protegidas de los efectos del tránsito y cargas exteriores, así como preservadas de las variaciones de temperatura del medio ambiente. Salvo que se adopten precauciones especiales tales como losas de reparto de cargas, tubos embebidos en hormigón, etc., el recubrimiento mínimo de los tubos será de 1 m.

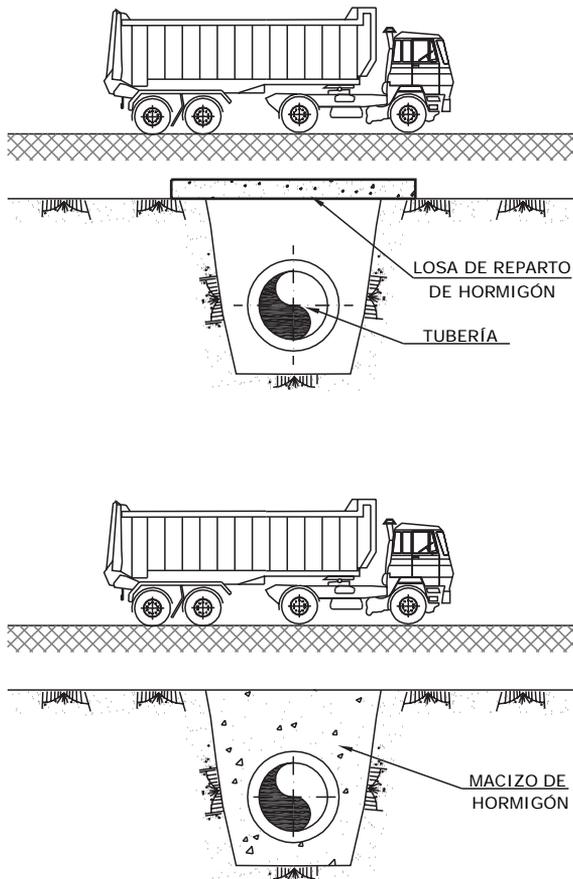


Fig. 29-1. Protecciones en tuberías.

La excavación de la zanja irá por delante de los trabajos de montaje de la tubería, con algunos días de margen, debiendo reducirse este plazo cuanto más inestables sean los terrenos que atraviesa la zanja, así:

- En terrenos rocosos la excavación debe realizarse con suficiente antelación para no llegar a retrasar el montaje de la tubería.
- En terrenos movedizos, la excavación irá inmediatamente por delante del montaje de la tubería. En este tipo de terrenos es aconsejable en vez de entibar, realizar un talud suficiente contra los riesgos de desprendimiento.

En caso de utilizar entibación recuperable, se asegurará que durante el proceso de retirada de la misma, no se originan en el tubo estados de carga más desfavorables que los considerados en su diseño.

La profundidad de la zanja será tal que en todo caso la tubería quede tendida por debajo de la zona de heladas.

La anchura de la zanja será la necesaria para que los operarios trabajen en buenas condiciones. Como norma general, se dejará un espacio mínimo de 0,30 m a cada lado del tubo, medido entre la intersección del talud con la solera y la proyección sobre éste del riñón del tubo, con el fin de facilitar tanto el montaje como de permitir una correcta compactación del relleno.

Una vez realizada la excavación mecánica se deberá rasantear el fondo de la zanja, manteniendo las pendientes estipuladas. El fondo de la zanja se acondicionará de forma que toda la tubería pueda apoyarse sobre él, por lo que en el caso de tuberías con formas acampanadas en sus boquillas, se exigirá una sobreexcavación en estas zonas de apoyo.

Las tuberías de agua potable se situarán, salvo demostrada imposibilidad, en plano superior a las de saneamiento, con las precauciones necesarias, en cada caso, para impedir que una eventual fuga de aguas negras pueda afectar a la tubería de agua potable.

Cuando la profundidad de la zanja o la pendiente de la solera sean importantes, deberá preverse un posible sobreancho en la zanja, para poder satisfacer las exigencias de montaje con medios auxiliares especiales, como pórticos o carretones.

Para terrenos estables se recomienda el talud 1/5.

Las zanjas deberán ajustarse a la traza, rasante y secciones de Proyecto y Plan de Seguridad y Salud.

Si es necesario efectuar voladuras para las excavaciones, sobre todo, en poblaciones, se adoptarán precauciones para la protección de personas o propiedades, siempre de acuerdo con la legislación vigente y las ordenanzas municipales, en su caso.

El material procedente de la excavación se apilará suficientemente alejado del borde de la zanja, para evitar desmoronamientos o desprendimientos que puedan poner en peligro a los trabajadores. Si la distancia de apilado al borde de la zanja no puede ser superior a la altura de la misma, se adoptarán las medidas de seguridad necesarias para evitar el posible corrimiento de las paredes de la zanja, por su base.

Se procurará excavar las zanjas en el sentido ascendente de la pendiente, para dar salida a las aguas por el punto bajo. Cuando las aguas no tengan salida, se procederá a su agotamiento mediante bombas, de manera que pueda ejecutarse el refino, solera y montaje en condiciones adecuadas.

Cuando la naturaleza del terreno no asegure la suficiente estabilidad de los tubos o piezas especiales, se mejorará la cimentación, mediante compactación o consolidación; y si no fuera suficiente, se estudiará una nueva cimentación o incluso la mejora del terreno de soporte.

La tubería no debe tener ningún tramo en posición horizontal, debiendo mantenerse siempre las pendientes mínimas de proyecto. No se recomienda pendientes menores del 2‰ subiendo, y del 5‰ bajando, para asegurar la salida del aire en los llenados.

En general se recomienda disponer drenes longitudinales, que irán a uno o a ambos lados de la tubería, con su correspondiente desagüe. Cuando se adopte la solución de dos drenes, se deberán unir entre sí cada cierto intervalo, a ser posible en la zona de junta de los tubos. En el caso de terrenos agresivos, estos drenes son imprescindibles. Cuando se adopte apoyo de material granular, podrá considerarse éste como dren y bastará con darle continuidad y desagüe.

Antes de proceder al tendido de la tubería, deberá comprobarse que son correctos los valores de:

- La profundidad de la zanja
- Su anchura
- La pendiente
- Las condiciones del fondo de la zanja

En ningún caso deben colocarse tuberías en zanjas inundadas. Si se encuentra agua en la zanja, ésta debe achicarse antes de colocar el tubo. Los métodos más normales de extracción del agua de las zanjas son el método de Well Points y el Jet Grouting, consistentes en bajar el nivel freático de la zona en la que se encuentra la zanja.

Los tubos deben descansar en un apoyo continuo adecuado, generalmente una cama de material granular o de hormigón.

Cuando el tipo de junta requiera que se abran nichos, éstos se ejecutarán a medida que se monten los tubos, para asegurar su posición y conservación.

Se recomienda que no transcurran más de ocho días entre la excavación de la zanja y la colocación de la tubería, cuando se temen desprendimientos y deformaciones de la rasante.

El esquema de la tubería colocada en zanja se muestra en la figura 29-2.

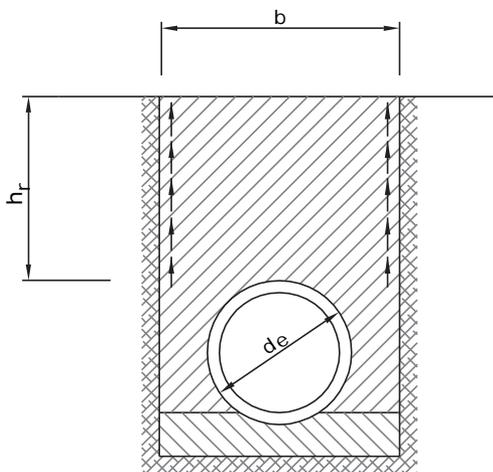


Fig.29-2. Esquema de tubería colocada en zanja.

En este tipo de instalación el relleno y el apoyo sufren un asentamiento relativo frente al terreno primitivo, y se producen unas fuerzas de rozamiento que originan un aligeramiento del peso del relleno sobre la tubería.

EN ZANJA TERRAPLENADA

Un tubo está colocado en zanja terraplenada cuando sobre la zanja que hay que rellenar se efectúa un terraplén.

El esquema de la tubería colocada en zanja terraplenada se muestra en la figura 29-3.

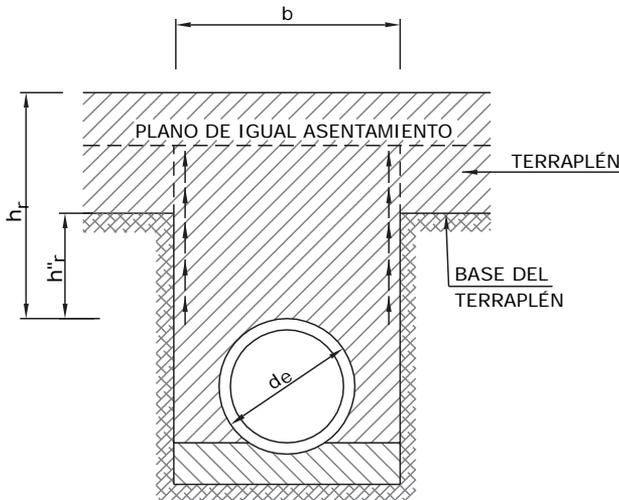


Fig.29-3. Esquema de tubería colocada en zanja terraplenada.

En la instalación en zanja terraplenada, el prisma central que está limitado por los planos que contienen las paredes de la zanja, es de mayor altura que los prismas exteriores, y por tanto, estos prismas asientan menos que el prisma central, y se producen unas fuerzas de rozamiento, sobre este último, que originan un aligeramiento del peso del relleno sobre la tubería.

EN TERRAPLÉN

En las instalaciones en terraplén (fig. 29-4), el prisma central, que está limitado por los planos verticales tangentes a la tubería, es de menor

altura que los prismas exteriores, y por tanto, estos prismas asientan más que el prisma central y se producen unas fuerzas de rozamiento, sobre este último, que originan un aumento del peso del relleno sobre la tubería.

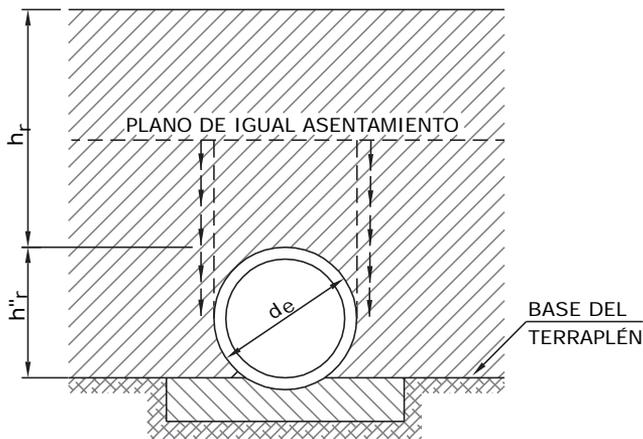


Fig. 29-4. Esquema de tubería colocada en terraplén.

Al aumentar la altura del relleno, disminuye la diferencia de asentamiento, que se hace nula en el plano de igual asentamiento.

Se recomienda que la distancia de la generatriz superior del tubo a la superficie del terreno natural (h'_r) sea como máximo el 70% del diámetro exterior del tubo (d_e).

Artículo 30. Apoyos

30.1. Preparación de la base del apoyo

El fondo de la zanja se compactará y nivelará adecuadamente, si la naturaleza del terreno no es apropiada para el apoyo de la tubería se excavará en exceso y se rellenará con material seleccionado. Cuando el material sea rocoso podrá prepararse el fondo de la zanja con una solera de hormigón de limpieza, debidamente nivelada, o con una capa de material granular de suficiente espesor.

El tipo de apoyo influye enormemente en los esfuerzos que soportará el tubo y por tanto debe ser tenido en cuenta en la fase de diseño.

El apoyo, sea del tipo que sea, debe adaptarse perfectamente al tubo, para que realmente reparta las fuerzas de reacción. En el caso de apoyos granulares, basta con no compactarlos excesivamente para que el propio peso del tubo consiga una adaptación correcta. En caso de apoyos de hormigón continuo, el tubo se nivela mediante apoyos provisionales de madera y posteriormente se rellena de hormigón la zona de cuna prevista en el proyecto.

Los tubos no se apoyarán directamente sobre la rasante de la zanja, sino sobre camas.

Se consideran dos tipos: cama granular y cama de hormigón, para cuya elección se atenderá a dos consideraciones fundamentales: tipo de junta y características del terreno.

- a) En terrenos de gran resistencia, tales como los rocosos, cualquiera que sea el tipo de junta, puede disponerse cama de grava, gravilla o suelo mejorado, con un espesor medio que oscile entre los quince y los treinta centímetros, en función del diámetro del tubo.
- b) En terrenos de tipo granular, cualquiera que sea el tipo de junta, puede usarse como cama el propio fondo de la zanja bien escarificado o el terreno de la excavación debidamente seleccionado.
- c) En terrenos normales, puede adoptarse cama granular y cama de hormigón.

Para la ejecución de la cama de hormigón se extenderá una solera de hormigón pobre, de 0,10 a 0,15 m de espesor, según los diámetros de los tubos, sobre el fondo de la zanja, y sobre esta solera se situarán los tubos, convenientemente calzados, de forma que la distancia entre su generatriz inferior y la solera sea, al menos, de 0,15 m. Posteriormente, sobre la solera antes citada, se extenderá un hormigón en masa cuya resistencia de Proyecto no sea inferior a 10 MPa, hasta alcanzar el ángulo de la cama de apoyo que se fije en Proyecto, que normalmente será de 120°. Las camas se interrumpirán en un espacio de 0,60 m, como mínimo, centrado con las juntas, para hacer posible la ejecución de éstas.

- d) Los terrenos malos, como los deslizantes, los constituidos por arcillas expansivas con humedad variable, los de previsible des-

aparición por estar en márgenes de ríos, y otros análogos, se tratarán con disposiciones adecuadas a cada caso, si bien el criterio general deberá ser evitarlos.

APOYO GRANULAR

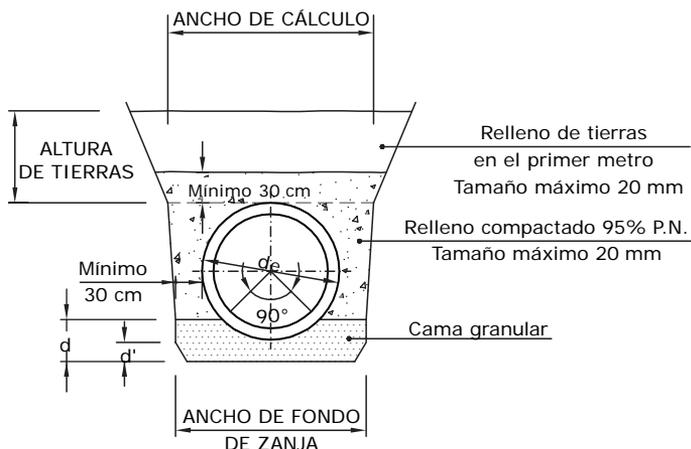


Fig. 30.1-1. Cama granular a 90°.

APOYO DE HORMIGÓN

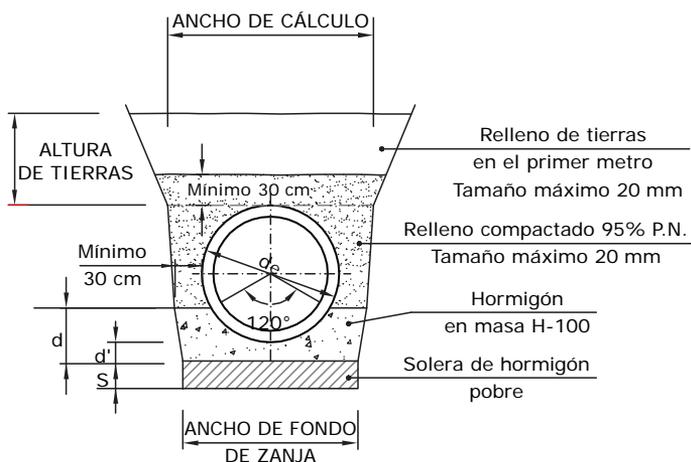


Fig. 30.1-2. Cama de hormigón de 120°.

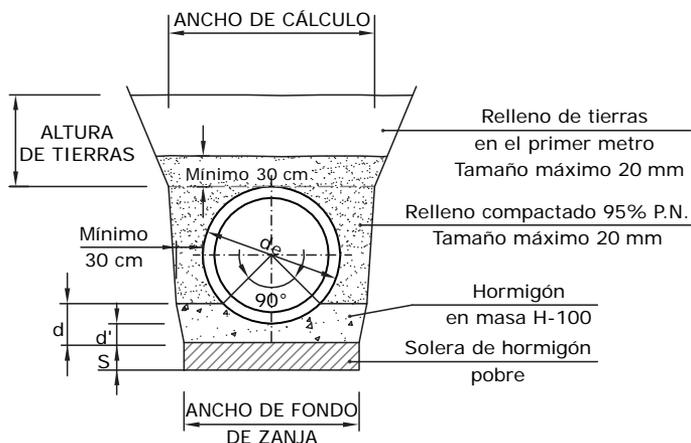


Fig. 30.1-3. Cama de hormigón de 90°.

Artículo 31. Montaje

El montaje se realizará por personal especializado. Una vez preparada la zanja y apoyo donde va a ir alojado el tubo, éste se baja al fondo de la zanja con los medios adecuados al diámetro, peso y longitud de la tubería, evitando que reciba golpes durante el descenso.

Se prohíbe la suspensión de los tubos por un extremo y la descarga por lanzamiento. Se deberá prestar atención a la realización del apoyo o base del tubo, para evitar problemas a largo plazo.

El enchufe de los tubos debe hacerse con medios que no dañen las boquillas. Deben respetarse siempre las tolerancias de enchufe y ángulo de deflexión admisible facilitado por el fabricante, debiendo además comprobarse la limpieza de las boquillas.

Además el enchufe de los tubos debe hacerse siempre “recto” y, si fuera necesario, girar posteriormente el tubo para conseguir el ángulo de deflexión. Para un enchufe correcto, se debe asegurar una buena alineación de los tubos según su eje, tanto en sentido horizontal como en vertical. En los tubos de gran diámetro se consigue generalmente con la ayuda de trácteles que aproximan la boquilla macho a la boquilla hembra.

La goma de la junta ha de colocarse adecuadamente, igualando las tensiones en la goma, una vez colocada ésta y antes de enchufar el

tubo. Una tensión desigual de la goma puede hacer que quede pillada y provocar fugas en el futuro.

Se alinearán las dos boquillas de los tubos a enchufar. Antes de proceder a su enchufe se deberá comprobar que la goma está en contacto con el interior de la boca hembra en todo la circunferencia de su alojamiento. Hay que asegurarse que los tubos están alineados correctamente; una alineación incorrecta puede desalojar la goma causando fugas.

Las tuberías y zanjas se mantendrán libres de agua mediante los correspondientes desagües en la zona de excavación, y si fuera necesario se agotará el agua con bomba, tanto si la junta es soldada como si es elástica.

Cuando las pendientes de la zanja sean superiores al 10%, la tubería se colocará en sentido ascendente, y se tomarán las debidas precauciones para evitar el deslizamiento de los tubos. Si se precisase reajustar algún tubo, deberá levantarse el relleno y prepararlo como para su primera colocación.

Cuando se interrumpa la colocación de la tubería se taponarán los extremos libres, para impedir la entrada de agua o cuerpos extraños, y al reanudar el trabajo se examinará con todo cuidado el interior de la tubería, por si pudiera haberse introducido algún cuerpo extraño en la misma.

Cuando pueda producirse la flotación de algún tramo de la conducción, como podría suceder en el caso de que los tubos montados tengan ya sus juntas estancas y esté la zanja abierta y en vaguada, sin desagües por sus puntos bajos, se tomarán las medidas necesarias para evitar la posible flotación.

Artículo 32. Juntas

32.1. Generalidades

Las juntas son elementos de unión entre distintos módulos cuyo fin es dar continuidad al sistema. Las juntas se utilizan para la unión de tubos con tubos o piezas.

Entre la pieza y el tubo pueden existir asientos diferenciales debido a diferentes tipos de lecho, cargas verticales, etc. Si el tubo está rígidamente unido a la pieza, esos asientos diferenciales pueden producir tensiones y fisuraciones transversales en el tubo.

En estos casos debe crearse una zona de transición a ambos lados del punto con asiento menor, para ello se dispondrá una cama degradada de hormigón, con espesor variable desde cero cm (0 cm) hasta 25 a 30 cm dependiendo del diámetro del tubo, y longitud correspondiente a al menos un (1) tubo.

32.2. *Tipos de juntas*

FLEXIBLES

Los tipos de juntas flexibles utilizadas en tuberías de hormigón son con alojamiento.

Las juntas están constituidas por dos boquillas, con alojamiento, donde la estanquidad se consigue mediante un anillo elástico de goma tal, que garantice su estanquidad durante el tiempo correspondiente a la vida previsible de la tubería con la necesaria fiabilidad.

La junta con alojamiento es tórica, y se coloca en el alojamiento prevista para ella.

La calidad de la junta debe acompañar al tubo de hormigón durante su vida de servicio, por lo que la elasticidad de la goma es primordial, y se comprueba con el test de relajación de esfuerzos a compresión.

RÍGIDAS

En las juntas soldadas, en alineación recta de los tubos, el solape de las boquillas no será inferior a 40 mm. En alineaciones curvas se podrá formar un ángulo en la junta, que depende del diámetro del tubo, y de la holgura entre los elementos que forman la misma. Esta holgura será, como mínimo, la necesaria para permitir un enchufe normal de los tubos y, como máximo, la que permita una correcta soldadura sin necesidad de añadir elementos suplementarios para el cierre de la junta.

Las juntas no se soldarán hasta que haya un número suficiente de tubos colocados por delante, para permitir su correcta colocación en alineación y rasante.

En los tubos de diámetro inferior a 800 mm, la soldadura se podrá efectuar por la parte exterior de la junta. En tubos de diámetro igual o superior a 800 mm, la soldadura se efectuará por la parte interior o por la exterior, pero nunca por ambas.

La soldadura se efectuará de forma que no quede ningún poro, para conseguir una completa estanquidad.

Se soldará un tubo de cada dos; los tubos dejados sin soldar se soldarán una vez transcurridas 24 horas.

Terminada la operación de soldadura de las juntas, se ejecutarán los manguitos interiores y exteriores, en los tubos de diámetro igual o superior a 800 mm, y solamente los exteriores, en los de diámetro inferior a 800 mm.

32.3. *Juntas elastoméricas*

Las juntas de estanquidad de tuberías empleadas en canalizaciones de agua, deben cumplir las especificaciones contenidas en la norma UNE-EN 681-1 Juntas Elastoméricas.

Para todas las etapas entre la fabricación y la utilización, las juntas deben almacenarse de acuerdo con las recomendaciones dadas en la Norma ISO 2230.

Deberán tenerse en cuenta los siguientes aspectos:

- La temperatura de almacenaje debe estar por debajo de 25° C y, preferiblemente, por debajo de 15° C.
- Las juntas deben estar protegidas de la luz, en particular de la luz solar intensa y de la luz artificial con un alto contenido de radiación ultravioleta.
- Las juntas no deben estar almacenadas en una sala con algún equipo capaz de generar ozono, como por ejemplo lámparas de vapor de mercurio o material eléctrico de alta tensión, los cuales pueden dar lugar a chispas o descargas eléctricas silenciosas.

- Las juntas deben almacenarse en condiciones relajadas, libres de tensión, compresión u otra deformación. Por ejemplo, no deben estar suspendidas por ninguna parte de su circunferencia.
- Las juntas deben mantenerse en condiciones de limpieza.

En el momento de su montaje presentarán una superficie suave, exenta de fisuras, poros, burbujas o rebabas.

Las superficies del tubo en contacto con el anillo estarán limpias y exentas de cualquier defecto superficial, que puedan afectar a la estanquidad o dañar al anillo.

Durante el montaje de la junta elástica, se efectuará el encaje correcto del anillo y se comprobará que los paramentos verticales de los extremos macho y hembra están debidamente separados, para poder absorber los posibles movimientos de la junta, considerados en el Proyecto, sin entrar en contacto ni desenchufarse. Asimismo, no debe agotarse en esta operación toda la deformación posible de la junta, para poder absorber eventuales asientos diferenciales posteriores; pero se respetarán los límites indicados en Proyecto.

Artículo 33. Rellenos

La zanja ha de rellenarse y compactarse lo antes posible, una vez concluido el montaje y las pruebas correspondientes, en su caso.

Antes de iniciarse el relleno deberá comprobarse que los tubos apoyan uniformemente en la cama sin que existan huecos, y que están correctamente nivelados, efectuándose las correcciones que fuesen necesarias.

El material de relleno debe tener las características contempladas en el cálculo del tubo, y será adecuado, compactable y no contendrá grandes piedras, guijarros, material helado u otro material desaconsejable como tierra vegetal, madera, escombros, etcétera.

Al rellenar la zanja se deben distinguir dos zonas: hasta la clave del tubo y por encima de la clave. La primera debe rellenarse de forma compensada para evitar desplazamiento de los tubos, en tongadas de

30 cm como máximo, debiendo compactarse con medios ligeros, generalmente pisones o ranas.

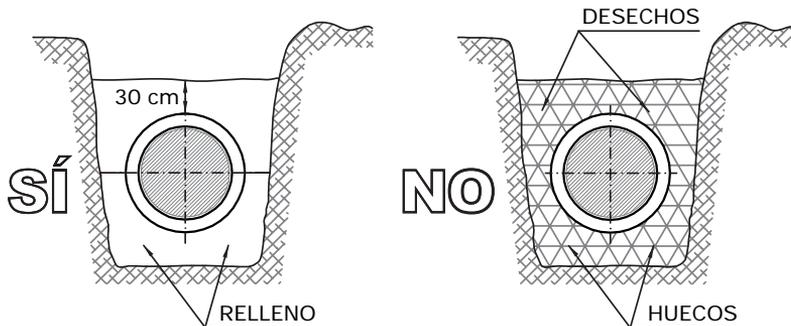


Fig. 33-1. Consideraciones del montaje.

El grado de compactación obtenido, debe ser el contemplado en el cálculo del tubo.

El material de relleno no deberá ser lanzado directamente sobre el tubo, para evitar desplazamientos o daños.

El relleno por encima de la clave se realizará por tongadas con espesores máximos de 30 cm compactadas con medios ligeros sobre el tubo hasta alcanzar un recubrimiento de un metro.

Realizado el relleno la tubería deberá ser probada a estanquidad.

Artículo 34. Compactación

Las cargas de compactación se evaluarán teniendo en cuenta el tipo de compactador, la profundidad y el tipo de estado del relleno.

Los efectos de este tipo de cargas, sobre el tubo, pueden calcularse suponiendo una carga uniformemente distribuida en superficie. En el Anejo 4 se incluye las fórmulas y tablas de las cargas producidas por los compactadores.

En el proceso de compactación, en especial en el caso de terraplén, habrán de tomarse las adecuadas precauciones para impedir que los tubos queden sometidos a mayores cargas que las de proyecto por un inadecuado proceso de compactación, que habrá de realizarse toman-

do en consideración la posición de la tubería y el grado de ejecución y de compactación de la zanja en la que aquella se ubica.

El relleno de las zanjas se compactará por tongadas sucesivas, muy especialmente en las zonas contiguas a los tubos.

Las tongadas, hasta unos 0,30 m por encima de la generatriz superior del tubo, se rellenarán con suelo máximo de 20 mm y con un grado de compactación, al menos, del 95 por 100 de Proctor Normal. Nunca se compactará la zona situada directamente sobre el tubo hasta haber alcanzado recubrimientos de al menos 0,60 metros, y para recubrimientos mayores se tendrá en cuenta los valores dados en la tabla de utilización de compactadores.

Las restantes tongadas podrán contener material más grueso; pero se recomienda no emplear elementos de dimensiones superiores a 0,20 m en el primer metro.

El procedimiento empleado para terraplenar zanjas y consolidar rellenos, no producirá movimientos ni daños en las tuberías. Las zanjas no se rellenarán con material helado.

Cuando existan fuertes pendientes de terreno, longitudinales o transversales, deberán preverse en Proyecto los dispositivos especiales que faciliten el tapado de la tubería.

Artículo 35. Obras de fábrica

Las obras de fábrica necesarias para alojamiento de válvulas, ventosas, desagües de fondo y piezas especiales en general, se construirán con dimensiones y formas adecuadas que permitan la fácil colocación, explotación, conservación y sustitución de estos elementos, sin necesidad de realizar demolición alguna. Asimismo se adoptarán las medidas de seguridad necesarias para impedir el acceso a estas instalaciones del personal no autorizado para ello.

Las cámaras y galerías estarán bien ventiladas y dispondrán del adecuado desagüe.

Artículo 36. Anclajes

Los cambios de alineación y rasante de los tubos o piezas especiales que están sometidos a acciones que puedan originar movimientos perjudiciales, se anclarán de acuerdo con las disposiciones definidas en el Proyecto.

Se recomienda no absorber estas acciones mediante el empuje pasivo del terreno, a no ser que se tengan garantías suficientes de su actuación.

Según la importancia y dirección de estos empujes, los anclajes o sujeciones serán de hormigón en masa, hormigón armado o metálicos.

Los apoyos, salvo prescripción expresa en contrario, deberán ser colocados de forma tal que las juntas de los tubos y piezas especiales sean accesibles para su montaje.

Las barras de acero o abrazaderas metálicas que se utilicen para anclaje de la tubería, deberán ser sometidas a tratamiento contra la oxidación, por ejemplo, pintándolas adecuadamente o embebiéndolas en hormigón.

Para estas sujeciones a anclajes se prohíbe terminantemente el empleo de cuñas que pueden desplazarse.

Cuando las pendientes sean excesivamente fuertes, o puedan producirse deslizamientos, se efectuarán los anclajes precisos de las tuberías mediante hormigón armado, abrazaderas metálicas o bloques de hormigón suficientemente cimentados en terreno firme.

TÍTULO 2.º

Realización del proyecto

CAPÍTULO V

Criterios hidráulicos

Artículo 37. Criterios generales

Los criterios generales de dimensionamiento hidráulico son aplicables a las tuberías de hormigón armado o postesado, con las puntualizaciones que se hacen en los siguientes artículos de este capítulo.

Artículo 38. Velocidad máxima admisible

Se recomienda, en general, no adoptar velocidades permanentes superiores a 3 m/s. Durante cortos períodos pueden admitirse velocidades superiores de hasta 6 m/s. Los posibles golpes de ariete pueden producir sobrepresiones importantes, que obligarán a hacer un estudio cuidadoso para determinar sus valores y tomar las medidas de seguridad correspondientes.

Artículo 39. Pérdida de carga. Fórmula de cálculo

La pérdida de carga por unidad de longitud, en una tubería, viene dada por la expresión:

$$J = \frac{f}{d_i} \cdot \frac{V^2}{2 \cdot g} \quad (39-1)$$

donde f, según Colebrook, se obtiene a partir de la expresión:

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = -2 \log \left(\frac{2,51}{R_e \cdot \sqrt{f}} + \frac{K}{3,71 \cdot d_i} \right) \quad (39-2)$$

$$R_e = \frac{V \cdot d_i}{\nu} \quad (39-3)$$

siendo:

J = pérdida de carga específica, en m.c.a./m (tubo).

f = coeficiente de pérdida de carga (adimensional).

V = velocidad del agua, en m/s.

g = aceleración de la gravedad, en m/s^2 .

d_i = diámetro interior de la tubería, en m.

K = rugosidad equivalente de Nikuradse, de la tubería, en m.

R_e = número de Reynolds (adimensional).

ν = viscosidad cinemática, en m^2/s .

El valor de K para los tubos de presión de hormigón armado o postestado 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 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.

El valor de ν depende fundamentalmente de la temperatura. En el caso del agua a $5\text{ }^\circ\text{C}$ se puede adoptar $\nu = 1,5 \times 10^{-6} m^2/s$.

Artículo 40. Importancia del cálculo de las sobrepresiones

En las hipótesis de cálculo se tiene en cuenta si el golpe de ariete ha sido estimado con una fórmula aproximada, o calculado con un modelo de régimen transitorio.

Cuando la influencia de este efecto es importante, los métodos aproximados o la estimación de los parámetros de cálculo, pueden llevar a sobredimensionar injustificadamente los tubos. Por tanto, debe ponerse especial cuidado en adoptar modelos y parámetros lo más ajustados posible a la realidad.

CAPÍTULO VI

Criterios de durabilidad

Artículo 41. Criterio general

Cuando existan agentes agresivos externos o internos a la tubería que puedan influir sobre su comportamiento, deberá tenerse en cuenta lo especificado en el Anejo 3 de esta Instrucción, en la normativa europea específica de tubos y en la vigente Instrucción de Hormigón Estructural que complementa dicha normativa específica.

CAPÍTULO VII
Criterios mecánicos

Generalidades

La resistencia necesaria de la tubería de hormigón se calcula conociendo las presiones interiores y las cargas exteriores a las que va a estar sometida. La magnitud total de dichas cargas, depende del terreno sobre el que se apoye la tubería y de las características –uniformidad y estabilidad– del terreno instalado encima y alrededor de la tubería.

En el dimensionamiento mecánico de una tubería cabe diferenciar las siguientes fases:

1. Determinación de las acciones a la que va a estar sometida la tubería.
2. Obtención de las solicitaciones producidas por dichas acciones. Estas solicitaciones son fundamentalmente esfuerzos transversales axiales y momentos flectores ovalizantes.
3. Cálculo de las secciones resistentes necesarias y de las tensiones de trabajo de los materiales, o dimensionamiento propiamente dicho.

Artículo 42. Acciones a considerar

Las acciones básicas que deben considerarse en los tubos de hormigón armado, o postesado, dado el tipo de elemento estructural que es el tubo, y su forma de fabricación y colocación, son las acciones directas, a las que hay que añadir las acciones debidas al postesado, cuando se trate de tubos de este tipo o de compresión longitudinal cuando sean tubos para hincar. Las acciones indirectas, con una cuidadosa fabricación y colocación de los tubos, son muy secundarias

frente a las anteriores, y normalmente no se consideran en el cálculo (salvo las acciones reológicas, a efectos de postesado).

Las acciones directas que deben tenerse en cuenta en función del tipo de tubo y del método de dimensionamiento, son las siguientes:

- Peso propio.
- Carga de fluido.
- Cargas verticales del relleno.
- Cargas concentradas.
- Cargas uniformemente distribuidas en superficie.
- Empuje lateral.
- Presión de diseño (*DP*).
- Presión máxima de diseño (*MDP*).
- Presión de prueba de red (*STP*).
- Presión de prueba en fábrica (*PP*).
- Toda fuerza resultante de la instalación o de sus consecuencias, incluyendo el caso de los tubos sobre soportes aislados.
- Acciones debidas a temperaturas.
- Efecto de empujes.

En la determinación de las cargas verticales del relleno se diferenciará entre la tubería situada:

- en zanja;
- en zanja terraplenada;
- en terraplén.

Un tubo está instalado en zanja cuando la cota de la generatriz superior del tubo esté situada por debajo de la rasante del terreno natural.

Un tubo está instalado en zanja terraplenada cuando sobre la zanja que hay que rellenar se efectúa un terraplén.

Un tubo está instalado en terraplén según que la cota de la generatriz superior del tubo esté situada por encima de la rasante del terreno natural.

Las cargas concentradas se aplicarán con los coeficientes de impacto correspondientes.

El empuje lateral será de tipo activo.

Las reacciones de apoyo serán de tipo radial, uniformes, en el caso de cama granular, y triangulares, con valor nulo en la sección de base, en el caso de cama de hormigón.

La determinación de estas acciones en los casos habituales se indica en el Anejo 4.

Artículo 43. Solicitaciones

Como esquema estructural, se asimila la sección transversal del tubo a un arco elástico. Se considera media sección transversal del tubo, supuesta empotrada en la base y con empotramiento deslizante en la clave.

Los esfuerzos transversales producidos por cada una de las acciones que actúan sobre el tubo, se obtienen por superposición de dos estados: el de esa acción y el de su reacción sobre el apoyo.

El apoyo de la tubería sobre cama granular o de hormigón se supone continuo en sentido longitudinal y transversal.

La presión interna produce un esfuerzo axial de tracción. Para el cálculo de dicho esfuerzo, se admite, como simplificación, utilizar la expresión correspondiente a los tubos de pared delgada.

Artículo 44. Dimensionamiento

44.1. Generalidades

En esta Instrucción se establecen, con carácter preceptivo, los procesos de cálculo que figuran en el Anejo 4.

44.2. Dimensionamiento transversal de los tubos

El dimensionamiento transversal de los tubos se efectúa según los criterios que para cada tipo de tubo se indican a continuación.

44.2.1. TUBOS DE HORMIGÓN ARMADO, CON CAMISA DE CHAPA

Los tubos serán calculados para soportar los esfuerzos de tracción y de flexión que resulten de cada una de las condiciones siguientes:

- una combinación de la presión máxima de diseño (*MDP*) y de las cargas fijas;
- una combinación de la presión de diseño (*DP*) y de las cargas fijas y móviles;
- presión de prueba en fábrica (*PP*);
- una combinación de la presión de prueba de red (*STP*) y cargas fijas correspondientes a 1 metro de tierra sobre clave;
- una combinación de cargas fijas y móviles sin presión.

Bajo estas condiciones, la tensión en el acero, no excederá de los dos tercios del límite elástico más bajo de los aceros empleados en el diseño. Pueden emplearse para la fabricación de camisas de los tubos, como mínimo, las chapas definidas como tipo S-235 JR en la norma UNE-EN 10025. La consideración en el cálculo de un límite elástico del acero superior a 210 MPa, deberá justificarse debidamente.

44.2.2. TUBOS DE HORMIGÓN, POSTESADOS TRANSVERSALMENTE, CON CAMISA DE CHAPA

Los tubos serán calculados para resistir los esfuerzos de flexión y los esfuerzos transversales que resulten de cada una de las siguientes condiciones:

- presión de diseño (*DP*) + cargas fijas: el núcleo estará sometido a una compresión igual o superior a 0,5 MPa;
- presión máxima de diseño (*MDP*) + 0,1 MPa + cargas fijas: la tensión en el núcleo no excederá de $f_{ct,k} = 0,21\sqrt[3]{f_{ck}^2}$;
- presión de diseño (*DP*) + cargas fijas + cargas móviles: no existirán tracciones en el núcleo;
- presión máxima de diseño (*MDP*): el núcleo estará sometido a una compresión igual o superior a 0,5 MPa;
- presión de prueba en fábrica (*PP*): el núcleo estará sometido a una compresión igual o superior a 0,5 MPa;
- presión de prueba de red + cargas fijas de 1 metro de tierra sobre clave: el núcleo estará sometido a una compresión igual o superior a 0,5 MPa;
- cargas fijas + cargas móviles, sin presión: el núcleo estará sometido a una compresión igual o superior a 0,5 MPa.

Además los tubos se dimensionarán para que, en cualquiera de sus secciones, se cumplan, una vez que han tenido lugar todas las pérdidas, las condiciones siguientes:

- La tensión en el alambre de pretensar no supere su tensión de zunchado.
- El hormigón del revestimiento no esté sometido a una tracción superior a la máxima admisible, $f_{ct,k}$.

En el proceso de zunchado del núcleo se tendrán en cuenta, además, las condiciones siguientes:

- Que durante el zunchado, la tensión del alambre no supere el $0,80 f_{max,k}$.
- Que inmediatamente después de terminado el zunchado, la fuerza de tesado proporcione a las armaduras activas una tensión no mayor que $0,75 f_{max,k}$.
- Que la compresión del hormigón del primario no supere el 0,55 de la resistencia característica a compresión del hormigón en ese momento.
- Que en la chapa no se supere el $0,80 f_{yk}$.
- Que la tracción longitudinal transitoria, producida durante el postesado transversal, y que no es absorbida por la resistencia admisible del hormigón del núcleo, lo sea mediante la chapa.

En el estado final de postesado, y a efectos de cálculo, se cumplirá además:

- Que el valor característico final de postesado adoptado (el obtenido una vez deducidas todas las pérdidas) no sea superior al que corresponde a una tensión en las armaduras activas igual a $0,60 f_{max,k}$.
- Que la compresión del hormigón no supere el 60% de f_{ck} después de pérdidas, sin presión interior y con carga de tierras.

44.3. Juntas y anclajes

Las juntas resistirán los esfuerzos mecánicos producidos en la hipótesis pésima de carga.

Cuando se produzcan cambios de dirección en la traza de la tubería, tales cambios serán estudiados con el fin de diseñar las juntas o los anclajes correspondientes, de forma que se absorban esas acciones sin detrimento de la tubería.

En los tubos con junta elástica deberán definirse las dimensiones geométricas del alojamiento del caucho y las características de éste, de acuerdo con lo establecido en el artículo 13 de la presente Instrucción, de modo que se garantice la estanquidad de la junta en las condiciones de presión y desviaciones angulares en que vaya a trabajar y la permanencia en el tiempo de dicha estanquidad.

TÍTULO 3.º

Realización del control

CAPÍTULO VIII
Control de materiales

Artículo 45. Control de los materiales

En esta Instrucción se establece con carácter preceptivo el control de la calidad de los materiales componentes del hormigón, del propio hormigón y de los aceros, tanto de la chapa como de la armadura pasiva y de la armadura activa, así como del material empleado en las juntas. El fin del control es verificar las características de calidad de los diferentes materiales que intervienen en la fabricación del tubo y en sus juntas.

Artículo 46. Control de los componentes del hormigón

CEMENTO

La periodicidad de los ensayos será la siguiente:

- a) Al comenzar el hormigonado de una serie de tubos, que no presente la debida continuidad con otra anterior, bien sea por:
 - Comienzo de la fabricación.
 - Cambio del suministrador del cemento o de las condiciones de suministro.
 - Cambio del tipo, clase o categoría del cemento.
- b) Durante la fabricación:
 - Bimensualmente, si se consumen menos de 1.000 t por mes.
 - Mensualmente, si se consumen más de 1.000 t por mes.

La toma de muestras se realizará según se indica en la vigente Instrucción de Hormigón Estructural.

Si el cemento empleado en la fabricación del hormigón de los tubos está en posesión del marcado CE y de un distintivo de calidad de ca-

rácter voluntario oficialmente reconocido, está exento de realizar los ensayos para la recepción.

Si solamente tuviera el marcado CE se realizarán trimestralmente ensayos de identificación:

- Resistencias mecánicas a 2 y 28 días.
- Determinación de pérdida por calcinación.
- Determinación de componentes (del clínker).

De acuerdo con la RC-03, por cada lote de cemento suministrado se conserva una muestra preventiva de cemento al menos durante 100 días.

En caso de no disponer del sello de calidad, en los ensayos se determinarán los valores de pérdida de calcinación, residuo insoluble, contenido de sulfatos, contenido de cloruros, principio y fin de fraguado, estabilidad de volumen, resistencia a compresión; y sus resultados satisfarán los límites fijados para el tipo, clase y categoría del cemento ensayado, en la citada Instrucción para la recepción de cementos vigente. Si el cemento dispone del sello de calidad será suficiente con el Certificado de Ensayos emitido por el fabricante proveedor.

Si algún resultado de los ensayos efectuados, una vez confirmado por el oportuno contraensayo, no cumple la especificación correspondiente, ello será motivo suficiente para el rechazo de la partida de cemento. Si este cemento se hubiese empleado en la fabricación de algún tubo, se deberá comprobar la idoneidad del mismo.

AGUA

Se cumplirá lo establecido en el artículo 7 de la presente Instrucción.

ÁRIDOS

La periodicidad en los ensayos será la siguiente:

- a) Al comenzar el hormigonado de una serie de tubos, que no presente la debida continuidad con otra anterior, bien sea por:
 - Comienzo de la fabricación, si no se poseen antecedentes.

- Cambio de la procedencia de los áridos, si no se poseen antecedentes.
- Sospecha de variación en sus características.

b) Durante la fabricación:

- Semestralmente; si bien mensualmente se comprobarán las granulometrías, los finos y el equivalente de arena.

En los ensayos se determinarán los valores de las características exigidas; y sus resultados cumplirán los límites que se fijan en la Instrucción de Hormigón Estructural.

Si algún resultado, una vez confirmado por el oportuno contraensayo, no cumple la especificación correspondiente, ello será motivo suficiente para el rechazo del árido. Si este árido se hubiese empleado en la fabricación de algún tubo, se deberá comprobar la idoneidad del mismo.

ADITIVOS

Se exigirán a las casas suministradoras certificados de control de calidad relativos a las características que deban cumplir. Durante la fabricación se comprobará que se mantienen sus características, las cuales cumplirán las especificaciones fijadas para ellas en la Instrucción de Hormigón Estructural.

Si no cumplen alguna especificación, una vez confirmado este extremo mediante los oportunos ensayos y contraensayos, ello será motivo suficiente para el rechazo del aditivo. Si este aditivo se hubiese empleado en la fabricación de algún tubo, se deberá comprobar la idoneidad del mismo.

Artículo 47. Control del hormigón

Resistencia a compresión a 28 días, de al menos dos probetas, cilíndricas o cúbicas, diarias.

Artículo 48. Control de la armadura pasiva y activa

El control de las partidas de acero se regulará de acuerdo con la vigente Instrucción de Hormigón Estructural. El nivel de control será normal.

Se recomienda utilizar acero con distintivo de Conformidad, AENOR o cualquier otro sello de calidad homologado en un país miembro de la UE que tenga un nivel de seguridad equivalente.

Artículo 49. Control de la chapa de acero

Se exigirá de las casas suministradoras los certificados de control de calidad, relativos a las características que deben cumplir.

Se recomienda utilizar acero con distintivo de Conformidad, AENOR o cualquier otro sello de calidad homologado en un país miembro de la UE que tenga un nivel de seguridad equivalente.

Se procederá, al comienzo de la fabricación, y por cada lote de 50 t, a la realización de los ensayos necesarios para comprobar las características exigidas.

Artículo 50. Control del material para juntas

Se exigirá de las casas suministradoras los certificados de control de calidad relativos a las características que deben cumplir.

Se recomienda utilizar juntas con distintivo de Conformidad, AENOR o cualquier otro sello de calidad homologado en un país miembro de la UE que tenga un nivel de seguridad equivalente.

En caso de no disponer de sello de calidad se procederá, al menos una vez al año, a la realización de los ensayos necesarios para comprobar las características exigidas.

CAPÍTULO IX
Control de ejecución

Artículo 51. Control de la fabricación

Es preceptivo el control de calidad de la fabricación de los tubos. El fin del control es verificar las características de calidad durante las diferentes fases de la fabricación. Tales características serán las generales de esta Instrucción más las específicas del correspondiente Pliego de Prescripciones Técnicas Particulares.

El control será el definido como intenso en la Instrucción de Hormigón Estructural. Para el control de las diferentes fases se establecerán las correspondientes marcas de identificación en los elementos constitutivos del tubo, a medida que superen los controles que se indican en los restantes artículos de este capítulo.

Artículo 52. Control de las camisas de chapa

Los controles que deberán efectuarse serán los siguientes:

1. Comprobación del espesor de la chapa de la camisa y de las boquillas.
2. Comprobación del diámetro y longitud de la camisa.
3. Prueba de presión interior, mediante la introducción de una presión que produzca en la chapa una tensión igual al valor máximo supuesto en el cálculo. Cuando, por el elevado espesor de la chapa, no sea posible alcanzar estas presiones, el ensayo puede realizarse a la máxima presión que pueda dar el equipo de prueba que, como mínimo, debe ser la que produciría una tensión igual a la de cálculo en una chapa de 3,5 mm. Esta presión se mantendrá el tiempo suficiente para comprobar todas las soldaduras. Los eventuales poros serán reparados y la camisa se probará nue-

vamente hasta que no se observe ninguna fuga. No se permitirá el calafateo.

4. Prueba mediante productos detectores de poros.

Como alternativa a la prueba de presión interior en piezas especiales y tubos excepcionalmente grandes podrán emplearse detectores de poros.

Las soldaduras de todos los elementos deben ser sometidas a alguna de estas dos últimas pruebas, o alguna otra equivalente, que proponga el fabricante. Queda proscrito el empleo para estos fines de gas-oil u otros productos grasos que perjudiquen la adherencia del hormigón.

Artículo 53. Control de las jaulas de armaduras pasivas

Los controles que deberán efectuarse serán los siguientes:

1. Comprobación del diámetro de las espiras y generatrices así como su separación.
2. Comprobación del diámetro y longitud de la jaula.
3. Comprobación de la indeformabilidad de la jaula. En las soldaduras no existirán dos puntos contiguos libres, bien sea sobre espira o sobre generatriz; y se comprobará que no hay en las soldaduras pérdidas de material que disminuyan el diámetro de las espiras.

Artículo 54. Control del tesado de las armaduras activas

En los tubos postesados se controlarán las operaciones de tesado de las armaduras activas.

Los controles que deberán efectuarse serán los siguientes:

1. Comprobación del diámetro de los alambres y distancia entre ellos.
2. Comprobación de la tensión del alambre.
3. Comprobación de que el hormigón ha alcanzado la resistencia exigida para el tesado de la armadura postesa.

Artículo 55. Control del hormigonado

Durante el hormigonado se controlará el transporte, colocación y compactación del hormigón, así como el hormigonado en tiempo frío, caluroso o bajo lluvia, para asegurarse de que se podrán alcanzar las resistencias fijadas en Proyecto.

Se controlarán las operaciones de desencofrado y curado de los tubos de acuerdo con lo indicado en el capítulo de fabricación de esta Instrucción).

También se comprobará la geometría del tubo, para asegurarse de que su diámetro interior, espesor, ovalización en zonas de junta, excentricidades de camisa y/o de armaduras, longitud y las juntas de los moldes, cumplen las prescripciones fijadas, con las tolerancias establecidas.

Se controlará que se toman las medidas adecuadas para evitar que, tanto los tubos como los núcleos, sufran daños durante el período de acopio.

Artículo 56. Control de acabado

Se revisará el aspecto del tubo, debiendo ser reparadas todas aquellas fisuras de anchura superior a 0,15 mm.

CAPÍTULO X

Control del producto acabado

Artículo 57. Controles dimensionales

Se comprobará para el 100% de la producción que se satisfacen las tolerancias dimensionales.

Artículo 58. Pruebas de estanquidad de los tubos en fábrica

FRECUENCIA DEL ENSAYO

Uno de cada 250 tubos será sometido a una prueba de presión hidráulica. Si el tubo no supera la prueba, se probarán otros dos del mismo lote de los 250. Si ambos tubos responden positivamente a la prueba, el lote será aceptado. Si uno de los dos tubos da resultado negativo, el lote será rechazado, o bien cada uno de los tubos del lote será probado para su aceptación individual. La prueba individualizada podrá efectuarse para la presión previamente determinada o bien para otra menor, fijada por el fabricante, en cuyo caso, de ser positivo el ensayo, el tubo quedará sancionado para ésta nueva presión.

Tubos de hormigón armado con camisa de chapa

PRESIÓN DE PRUEBA EN FÁBRICA (PP)

La presión de prueba será:

- Para tubos de diámetro nominal menor o igual de 1.200 mm el mayor de los dos valores siguientes:
 - La presión máxima de diseño (*MDP*) más 0,2 MPa.
 - 1,2 veces la presión máxima de diseño (*MDP*).

- Para tubos de diámetro nominal mayor de 1.200 mm el mayor de los dos valores siguientes:
 - La presión máxima de diseño (*MDP*) más 0,1 MPa.
 - 1,2 veces la presión máxima de diseño (*MDP*).

La presión se mantendrá al menos 5 minutos. Durante el ensayo el tubo debe permanecer estanco y no presentar ninguna fuga. No deberán aparecer en la superficie exterior del tubo fisuras sensiblemente longitudinales de abertura superior a 0,5 mm en una longitud de 0,30 m ininterrumpidamente.

Tubos de hormigón postesado con camisa de chapa

PRESIÓN DE PRUEBA EN FÁBRICA (PP)

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 minutos. 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.

CAPÍTULO XI

Pruebas en obra

Artículo 59. Ensayo de las conducciones

59.1. Especificaciones generales

Toda conducción tras haberse instalado, debe someterse a una prueba de presión con agua para garantizar la integridad de los tubos, uniones, racores y otros componentes tales como macizos de anclaje.

Previo al comienzo de las operaciones, debe llevarse a cabo una inspección para asegurarse de que está disponible el equipo de seguridad apropiado y de que el personal dispone de la vestimenta de protección adecuada.

Después de la instalación de la conducción y hasta el restablecimiento del relleno, todas las excavaciones deben permanecer convenientemente protegidas. Todo trabajo no relacionado con las pruebas de presión debe prohibirse en las zanjas durante las mismas.

Las conducciones deben llenarse de agua lentamente, con cuidado para que los dispositivos de purga de aire se mantengan abiertos y los tramos de la conducción suficientemente purgados. Antes de realizar la prueba de presión, debe hacerse una verificación que garantice que el equipo de ensayo está calibrado, en buen estado de funcionamiento y conectado correctamente a la conducción. La secuencia prevista del proceso y toda modificación de operaciones debe controlarse en todas las etapas de ensayo, para evitar daños al personal. Todos los empleados deben estar informados de la intensidad de las cargas sobre soportes y accesorios temporales, y de las consecuencias en caso de producirse un fallo.

Las conducciones deben despresurizarse lentamente, estando todos los dispositivos de purga de aire abiertos al vaciar las tuberías.

59.2. Prueba de presión

59.2.1. OPERACIONES PRELIMINARES

59.2.1.1. Relleno y anclaje

Previo a la realización de la prueba de presión, las tuberías deben, donde sea adecuado, cubrirse con materiales de relleno, de forma que se eviten cambios en las condiciones del suelo, que pueden provocar fugas. No se deben rellenar las juntas. Las sujeciones y macizos de anclaje definitivos deben realizarse para soportar el empuje resultante de la prueba de presión. Los macizos de sujeción o de anclaje de hormigón deben alcanzar las características de resistencia requeridas antes de que las pruebas comiencen. Se debe prestar atención a que los tapones y extremos cerrados provisionales se fijen de forma adecuada y que los esfuerzos transmitidos al terreno sean repartidos de acuerdo con la capacidad portante de éste. Todo soporte temporal, sujeción o anclaje en los extremos del tramo de prueba no debe ser retirado hasta que la conducción no haya sido despresurizada.

59.2.1.2. Selección y llenado del tramo de prueba

La conducción debe probarse en su totalidad o, cuando sea necesario, dividida en varios tramos de prueba.

Los tramos de prueba deben ser seleccionados de tal forma que:

- La presión de prueba pueda aplicarse al punto más bajo de cada tramo de prueba.
- Pueda aplicarse una presión al menos igual a la presión máxima de diseño (*MDP*) en el punto más alto de cada uno de ellos, salvo especificación diferente del proyectista.
- Pueda suministrarse y evacuarse sin dificultad, la cantidad de agua necesaria para la prueba.

Todo escombros y cuerpo extraño debe ser retirado de la conducción antes de la prueba. El tramo de prueba debe llenarse con agua. Para conducciones de agua potable debe utilizarse agua potable en la prueba de presión, salvo especificación contraria del proyectista.

La conducción debe purgarse completamente del aire contenido tanto como sea razonablemente posible. El llenado debe realizarse lentamente, sí es posible a partir del punto más bajo de la conducción; con objeto de evitar los retornos de agua y que se evacue el aire a través de los dispositivos de purga convenientemente dimensionados.

59.2.2. PRESIÓN DE PRUEBA

Para todas las conducciones, la presión de prueba de la red (*STP*) debe calcularse a partir de la presión máxima de diseño (*MDP*) del modo siguiente:

- Golpe de ariete calculado

$$STP = MDP_c + 0,1 \text{ MPa}$$

- Golpe de ariete no calculado

$$STP = MDP_a \times 1,5$$

ó

$$STP = MDP_a + 0,5 \text{ MPa}$$

El menor de los dos valores.

El cálculo del golpe de ariete debe efectuarse por métodos apropiados y utilizando ecuaciones generales aplicables, de acuerdo con las condiciones fijadas por el proyectista y basadas en las condiciones de explotación más desfavorables.

En circunstancias normales, el equipo de prueba debe estar situado en el punto más bajo del tramo de prueba. Si no es posible instalar el equipo de prueba en el punto más bajo del tramo de prueba, la presión de la prueba de presión debe ser la presión de prueba de la red calculada para el punto más bajo del tramo considerado, minorado con la diferencia de cota.

59.2.3. PROCEDIMIENTO DE ENSAYO

59.2.3.1. Especificaciones generales

El procedimiento de prueba debe llevarse a cabo en tres fases:

- Prueba preliminar.
- Prueba de purga.
- Prueba principal de presión.

59.2.3.2. Prueba preliminar

La prueba preliminar tiene por objeto:

- Estabilizar la parte de la conducción a ensayar permitiendo la mayor parte de los movimientos dependientes del tiempo.
- Conseguir la saturación de agua apropiada.

La conducción debe dividirse en tramos de prueba practicables, completamente llenos de agua y purgados, y la presión debe incrementarse hasta al menos la presión de funcionamiento sin exceder la presión de prueba de la red (*STP*).

Sí se producen cambios de posición inaceptables de cualquier parte de la tubería, y/o aparecen fugas, la tubería debe despresurizarse y los fallos deben corregirse.

La duración de la prueba preliminar deberá ser como mínimo de 24 horas para tubos de hormigón armado y de hormigón postesado con camisa de chapa embebida y de 72 horas para tubos de hormigón postesado con camisa de chapa revestida.

59.2.3.3. Prueba de purga

La prueba de purga permite la estimación del volumen de aire remanente en la conducción.

El aire en el tramo de tubería a ensayar produce datos erróneos que podrían indicar fuga aparente o podrían, en algunos casos, ocultar pequeñas fugas. La presencia de aire reducirá la precisión de la prueba de pérdida de presión y la prueba de pérdida de agua.

El proyectista deberá especificar si la prueba de purga debe llevarse a cabo. Un método para realizar el ensayo y los cálculos necesarios se describen en el anejo A de la norma UNE-EN 805.

59.2.3.4. Prueba principal de presión

59.2.3.4.1. Generalidades

La prueba principal de presión no debe comenzar hasta que haya sido completada satisfactoriamente la prueba preliminar.

Se admiten dos métodos de prueba básicos:

- El método de prueba de pérdida de agua.
- El método de prueba de caída o pérdida de presión.

El proyectista debe especificar el método a utilizar.

59.2.3.4.2. Método de prueba de pérdida de agua

Pueden utilizarse dos métodos equivalentes para la medida de la pérdida de agua, por ejemplo, medida del volumen evacuado o medida del volumen bombeado, según se describe a continuación:

a) Medida del volumen evacuado.

Incrementar la presión regularmente hasta que se alcance la presión de prueba de la red (*STP*). Mantener *STP* mediante bombeo, si es necesario, durante un período no inferior a una hora.

Desconectar la bomba y no permitir que entre más agua en la conducción durante un período de prueba de una hora o durante un intervalo de tiempo más largo, si así lo especifica el proyectista.

Al final de este período medir la presión reducida y proceder a recuperar *STP* bombeando. Medir la pérdida, evacuando agua hasta que la anterior presión reducida se alcance nuevamente.

b) Medida del volumen bombeado.

Aumentar la presión regularmente hasta el valor de la presión de prueba de la red (*STP*).

Mantener la presión de prueba de la red *STP* como mínimo durante una hora, o más, si el proyectista lo especifica.

Utilizando un dispositivo apropiado, medir y anotar la cantidad de agua que es necesario bombear para mantener la presión de prueba de la red.

El proyectista debe especificar el método a utilizar.

La pérdida de agua aceptable, al finalizar la primera hora de la prueba, no debe exceder el valor calculado utilizando la siguiente fórmula:

$$\Delta V_{max} = 1,2 \cdot V \cdot \Delta p \left(\frac{1}{E_w} + \frac{d_i}{e \cdot E_R} \right) \quad (59.2.3.4.2-1)$$

ΔV_{max} es la pérdida de agua admisible, en litros;

V es el volumen del tramo de conducción en prueba en litros;

Δp es la caída de presión admisible definida anteriormente, en kilopascales;

E_w es el módulo de deformación del agua, en kilopascales;

d_i es el diámetro interior del tubo, en metros;

e es el espesor de la pared del tubo, en metros;

E_R es el módulo de deformación de la pared del tubo, en kilopascales;

1,2 es un factor de corrección (por ejemplo para el aire residual) durante la prueba principal de presión.

59.2.3.4.3. Método de prueba de pérdida o caída de presión

Aumentar la presión regularmente hasta alcanzar el valor de la presión de prueba de la red (*STP*).

La duración de la prueba de caída de presión debe ser de 1 hora o de mayor duración si así lo especifica el proyectista. Durante la prueba, la caída de presión Δp debe presentar una tendencia regresiva y al finalizar la primera hora no debe exceder los 20 kPa para tubos de hormigón con camisa de chapa acero.

59.2.3.4.4. Examen de resultados de la prueba

Si la pérdida de estanquidad sobrepasa lo especificado o si se encuentran defectos, la red debe examinarse y rectificarse donde sea ne-

cesario. La prueba debe repetirse hasta que su resultado sea conforme a las especificaciones.

59.2.3.5. Prueba general de la red

Cuando la conducción haya sido dividida en dos o más tramos de prueba y todos ellos hayan pasado con éxito la prueba de presión, el conjunto de la red deberá someterse, si así lo especifica el proyectista, a la presión de funcionamiento de la red (*OP*) durante al menos dos horas. Los componentes adicionales (no ensayados) incluidos después de la prueba de presión en secciones adyacentes deben ser inspeccionados visualmente para detectar fugas y cambios de alineamiento y nivel.

59.2.4. Anotación de resultados de la prueba

Debe realizarse y archivar un informe completo con los detalles de las pruebas.

CAPÍTULO XII

Control de puesta en servicio y mantenimiento de las tuberías

Artículo 60. Control de puesta en servicio de la tubería

Una vez terminada satisfactoriamente la prueba de la tubería instalada, se procederá a la puesta a punto final de la tubería que haya obtenido la calificación de “apta para el servicio”, mediante la realización de las operaciones previas, mínimas, que a continuación se indican:

- La determinación del relleno de las zanjas y la regularización de la superficie del terreno.
- La regularización de todos los mecanismos para las condiciones de servicio, de acuerdo con las especificaciones de sus suministradores y con las instrucciones del Director de obra.
- La retirada de todos los elementos auxiliares utilizados en el llenado y prueba de la tubería.
- La recopilación de los documentos necesarios para conocer cómo ha quedado instalada la tubería y los resultados de las pruebas realizadas.
- El lavado de la tubería, para lo cual tendrá la red las llaves y desagües necesarios. El lavado de la tubería debe hacerse con agua limpia y caudal reducido, recomendándose el de 1/15 a 1/20 del caudal normal en servicio. Conviene realizar la operación con extracción sucesiva del agua sucia por cada uno de los desagües de la tubería, para arrastrar los sedimentos depositados en los puntos bajos, y repetir el lavado al cabo de unos cuantos días, para eliminar los eventuales materiales en suspensión que, entre tanto, se hubieran depositado.
- La completa esterilización de la tubería, si se destina al abastecimiento de agua potable. Se recomienda efectuar la esterilización con agua limpia, clorada, a razón de 10 g de Cl_2 por m^3 , mediante la adición de hipoclorito sódico en la proporción adecuada. El caudal

de agua clorada debe ser análogo al utilizado en la limpieza de la tubería; y se mantendrá hasta que por el punto de salida del tramo que haya que esterilizar se mida, en el caudal vertido, una concentración mínima de Cl_2 de $0,5 \text{ g/m}^3$. En este momento se cerrará la entrada y la salida de agua clorada, y se mantendrá después el tramo lleno durante unas dieciséis horas. Conviene comprobar la concentración de Cl_2 en el agua a las ocho horas de empezada la esterilización, para reanudar la circulación de agua clorada a razón de 10 g/m^3 , si se observara disminución del contenido de cloro.

Terminadas las operaciones anteriores, se realizará la inspección final de la tubería, acto que consistirá en la comprobación de la correcta terminación de las diversas partes de la obra y de su puesta a punto final, así como de que existe la suficiente definición de la forma en que ha quedado instalada. Examinados estos extremos, se comprobará también la ausencia de circunstancias que pudieran impedir que se considerara la tubería como “obra completa apta para el servicio”.

Terminada la inspección final con resultado satisfactorio, quedará autorizada la entrada en servicio de la tubería; entrada que podrá ser inmediata o demorarse por causas ajenas a la propia obra. En cualquier caso, a partir de este momento, se llenará la tubería de agua, a ser posible circulante, para evitar su posible deterioro.

Artículo 61. Control de mantenimiento de la tubería

Los tubos de hormigón armado o postesado, adecuadamente instalados, no requieren ninguna conservación propiamente dicha, cuando su utilización es correcta. El mantenimiento de las tuberías construidas con ellos se reduce, prácticamente, a velar por la permanencia de las condiciones de Proyecto, durante el servicio, y evitar todo aumento accidental de la presión interior y de las cargas exteriores por encima de los máximos previstos, así como la alteración de las condiciones de apoyo de los tubos.

A esta actividad principal debe añadirse:

- El control de actuaciones de terceros que puedan afectar a la seguridad de la tubería, sin provocar directamente cambios de las con-

diciones de Proyecto. Deben evitarse, por ejemplo: las excavaciones próximas a la zanja, susceptibles de provocar descalces de los tubos o acumulaciones de agua indebidas, y la plantación de árboles excesivamente próximos, por ser sus raíces posible causa de daños.

- El mantenimiento ordinario, propio de los dispositivos mecánicos y electrónicos instalados; por ejemplo: engrase, pintura y reposición periódica de piezas o fusibles.
- El pequeño mantenimiento que pueda necesitar la propia tubería, mediante operaciones tales como la purga periódica de sedimentos depositados en los desagües.
- Una acción preventiva de averías, en dos campos: por una parte, al accionar periódicamente los mecanismos estáticos como compuertas, para evitar agarrotamientos y comprobar el funcionamiento de automatismos y transmisores de datos; por otra, al eliminar sistemáticamente ocasiones de avería, muy especialmente, al imposibilitar falsas maniobras, mediante enclavamientos u otras medidas de seguridad; al verificar periódicamente la regulación de los mecanismos que así lo exijan, como cámaras de aire y válvulas de cierre automático, o al evitar posibles acumulaciones de agua en las arquetas, que serían una fuente de oxidaciones.

Como precauciones suplementarias que contribuyen a la seguridad de las tuberías se recomienda:

- Recoger en un plan sistemático de mantenimiento y seguridad, la aplicación de las recomendaciones anteriores.

Este plan debe definir claramente las operaciones que deben realizarse, su periodicidad y el responsable de efectuarlas; establecerá también la forma de controlar la aplicación del propio plan, y definirá, por último, la forma de actuar para minimizar los daños en caso de averías o emergencias.

- Confiar la explotación de la tubería a personal capacitado y conocedor del plan antes mencionado.
- Evitar que las operaciones de llenado y vaciado de la tubería, que deben realizarse lentamente, sean demasiado frecuentes. Por sistema, las tuberías deben estar siempre llenas.

En el caso de tuberías de impulsión, se recomienda la instalación de un manómetro registrador junto a la estación elevadora, cuya observación durante el período de garantía permita comprobar el valor de las sobrepresiones que se produzcan y compararlo con el previsto, para poder corregir, en caso necesario, el tarado o la disposición de los elementos antiarriete existentes.

PARTE II
Anejos

ANEJO 1

Notación

1. Mayúsculas Romanas

A	Coeficiente de Lamé del núcleo.
A_1	Área de la sección de la armadura más traccionada.
A_2	Área de la sección de la armadura menos traccionada.
A_{ch}	Sección de la chapa de acero.
A_{cr}	Área de la zona de la sección que es cobaricéntrica con la armadura o armaduras en tracción.
A_e	Sección de acero de las espiras exteriores.
A_{min}	Sección de la armadura mínima.
A_r	Área de reparto, a una profundidad h_r , de la carga Q aplicada en superficie según un rectángulo de contacto de dimensiones a_1 y a_2 .
A_r	Coeficiente de Lamé del revestimiento.
A_s	Área total de la armadura en tracción.
B	Coeficiente de Lamé del núcleo.
B_r	Coeficiente de Lamé del revestimiento.
B_p	Coeficiente que se obtiene a partir de la sección de alambre de postesado transversal ω .
C	Coeficiente de Lamé del núcleo.
C_i	Coeficiente de impacto.
C_q	Carga sobre la clave del tubo debida a los compactadores.

C_z C_{zt} C_t	Coefficientes de Marston en Zanja, Zanja Terraplenada y Terraplén.
D	Coefficiente que se obtiene a partir de los coeficientes de Lamé y de la sección de armadura de postesado transversal.
DP	Presión de diseño
E	Módulo de deformación.
E_c	Módulo de deformación del hormigón del núcleo. Módulo de deformación del hormigón.
E_{ci}	Valor inicial del módulo de deformación del hormigón del núcleo.
E_p	Módulo de deformación longitudinal de la armadura activa.
E_r	Módulo de deformación del revestimiento.
E_R	Módulo de deformación de la pared del tubo.
E_s	Módulo de elasticidad del acero de espiras y chapa.
E_w	Módulo de deformación del agua.
H	Sobrepresión, positiva y negativa. Sobreespesor equivalente de relleno, para sobrecarga uniforme aplicada sobre una instalación en terraplén o zanja terraplenada.
I	Intensidad eléctrica.
I_0	Momento de inercia de la sección homogeneizada del tubo.
J	Pérdida de carga, por unidad de longitud, en una tubería.
K	Rugosidad equivalente de Nikuradse.
K_a	Coefficiente resultante de tener en cuenta la armadura exterior del tubo, empleado en el Anejo 6.
L	Longitud de la conducción.

L_0	Longitud inicial.
M	Momento flector, en la sección que se dimensiona, en la hipótesis pésima de carga.
$M_1 M_2 M_3 M_4 M_5$	Momentos flectores transversales debidos, respectivamente, al peso propio, peso del fluido, carga de tímpanos, carga sobre clave y empuje lateral.
M_{abs}	Valor absoluto del momento flector, en la sección que se dimensiona, en la hipótesis pésima de carga.
MDP	Presión máxima de diseño. Se designa $MDPa$, cuando se fije previamente el golpe de ariete admitido; y $MDPc$ cuando el golpe de ariete sea calculado.
N	Esfuerzo axil, en la sección que se dimensiona, en la hipótesis pésima de carga.
$N_1 N_2 N_3 N_4 N_5$	Esfuerzos axiles transversales debidos, respectivamente, al peso propio, peso del fluido, carga de tímpanos, carga sobre clave y empuje lateral.
N_6	Esfuerzo axil, debido a la presión máxima de trabajo, en los tubos de hormigón armado con camisa de chapa.
N_{ov}	Esfuerzo axil, debido a las acciones ovalizantes, en la sección que se dimensiona.
OP	Presión de funcionamiento.
P_c	Carga del compactador por m de ancho de rodillo.
P_{cp}	Presión crítica de pandeo.
PEA	Presión de prueba en obra admisible.
PFA	Presión de funcionamiento admisible.
PMA	Presión máxima admisible.
PP	Presión de prueba en fábrica.
Q	Carga concentrada aplicada en la superficie del terreno.
R_e	Número de Reynolds.
SP	Presión de servicio.

<i>STP</i>	Presión de prueba de red.
<i>T</i>	Periodo en s.
<i>V</i>	Valores que figuran en los cuadros del Anejo 3. Volumen del tramo de conducción en prueba. Diferencia de potencial entre los electrodos de referencia del ensayo de resistividad del terreno. Velocidad del agua en el interior de una tubería.
<i>V₀</i>	Velocidad en régimen anterior al cierre.

2. Minúsculas Romanas

<i>a</i>	Separación recíproca entre electrodos, en el ensayo de la resistividad del terreno.
<i>a₁ a₂</i>	Dimensiones del rectángulo de contacto de una carga concentrada <i>Q</i> aplicada en superficie.
<i>a_v</i>	Deformación vertical del tubo.
<i>b</i>	Anchura de la sección considerada. Anchura de la zanja a la cota de la generatriz superior del tubo.
<i>c</i>	Celeridad de la onda. Cohesión del terreno.
<i>d</i>	Distancia de la fibra más comprimida o menos traccionada del hormigón al centro de gravedad de la armadura menos comprimida o más traccionada, en la sección considerada. Separación entre los piquetes extremos, en el ensayo de la resistividad del terreno.
<i>d₁</i>	Distancia de la fibra menos comprimida o más traccionada del hormigón al centro de gravedad de la armadura menos comprimida o más traccionada, en la sección considerada.

d_2	Distancia de la fibra más comprimida o menos traccionada del hormigón al centro de gravedad de la armadura más comprimida o menos traccionada en la sección considerada.
d_e	Diámetro exterior del tubo.
d_i	Diámetro interior del tubo.
d_m	Diámetro medio del tubo.
dn	Diámetro nominal
e	Número e.
e	Espesor del tubo.
e_1	Distancia entre ejes de dos ruedas.
f	Coefficiente de pérdida de carga, según Colebrook.
f_{ck}	Resistencia de proyecto del hormigón a compresión. Resistencia característica del hormigón a compresión.
$f_{ct,k}$	Resistencia del hormigón a tracción.
f_{max}	Carga unitaria máxima, a tracción, del acero de las armaduras activas.
$f_{max,k}$	Carga unitaria de rotura del acero de las armaduras activas.
f_s	Carga unitaria de rotura del acero.
f_y	Límite elástico convencional de un acero deformado en frío.
f_{yk}	Límite elástico de proyecto de las armaduras pasivas.
g	Aceleración de la gravedad.
h	Canto total de una sección de hormigón armado.
h_5	Altura de tierras equivalente.
h_0	Diferencia de cotas entre la generatriz superior del tubo y el plano de igual asentamiento.

h_q	Altura de terraplén equivalente a una carga vertical uniforme q_u .
h_r	Altura de relleno de tierras, medida desde la cota de la generatriz superior del tubo hasta la cota cero del terreno, en la sección considerada. Profundidad del plano de reparto.
h_{rlim}	Profundidad h_r a la que se interfieren varias cargas concentradas, próximas entre sí.
h'_r	Altura de relleno de tierras, medida desde la cota superior del apoyo hasta la cota de la generatriz superior del tubo.
h''_r	Diferencia de cotas entre la generatriz superior del tubo y el plano crítico.
k	Relación entre el diámetro exterior y el diámetro medio del tubo, en los cuadros de esfuerzos de ovalización. Coeficiente que se obtiene a partir de los coeficientes de Lamé del núcleo y del revestimiento.
k_1 k_2 k_3 k_4 k_5	Coeficientes auxiliares utilizados en los cuadros, para la obtención de los esfuerzos transversales.
n	Coeficiente de equivalencia entre el hormigón del núcleo y el alambre de pretensar.
n_1	Coeficiente de equivalencia entre el hormigón del revestimiento y el alambre de pretensar.
n_2	Coeficiente de equivalencia entre el hormigón del núcleo y el del revestimiento.
n_i	Coeficiente de equivalencia inicial entre el hormigón del núcleo y el alambre de pretensar.
q	Carga, por unidad de longitud del tubo, que actúa sobre el plano tangente a la generatriz superior, debida a una sobrecarga uniforme.
q_0	Carga, por unidad de longitud del tubo, que actúa sobre el plano tangente a la generatriz superior, debida a una

carga concentrada. Si la carga concentrada tiene efecto de impacto, el valor de q_0 deberá mayorarse multiplicándola por el correspondiente coeficiente C_i .

- q_1 Peso propio del tubo, por unidad de longitud.
- q_2 Carga del fluido, por unidad de longitud del tubo.
- q_3 Carga debida al relleno de los tímpanos, por unidad de longitud del tubo.
- q_4 Carga, por unidad de longitud del tubo, que actúa sobre el plano tangente a la generatriz superior, debida a la suma de las cargas q_0 y q_r .
- q_5 Valor auxiliar para la obtención de los esfuerzos transversales debidos al empuje lateral.
- $q_{aéreo}$ Carga, por unidad de longitud del tubo, que actúa sobre el plano tangente a la generatriz superior, debida al tráfico aéreo.
- q_c Carga, por unidad de longitud del tubo, que actúa sobre el plano tangente a la generatriz superior, debida a los compactadores.
- q_{UIC} Carga, por unidad de longitud del tubo, que actúa sobre el plano tangente a la generatriz superior, debida al tráfico ferroviario en vía UIC 71.
- q_r Carga por unidad de longitud del tubo, que actúa sobre el plano tangente a la generatriz superior, debida al peso del relleno.
- Carga de tierra en condiciones de hincado o perforado.
- q_s Sobrecarga uniforme.
- q_u Carga vertical uniforme aplicada sobre un relleno.
- q_Q Carga unitaria, actuante sobre el área de reparto, debida a una carga concentrada Q .
- q_β Expresión del empuje lateral en función del ángulo β .

r	Radio interior del tubo.
r_c	Radio exterior del núcleo.
r_{ch}	Radio interior de la camisa de chapa.
r_{co}	Radio exterior del núcleo, homogeneizado con la camisa de chapa.
r_e	Recubrimiento mecánico de la armadura.
r_m	Radio medio del recubrimiento interior.
r_r	Radio exterior del revestimiento.
r_{ro}	Radio exterior del núcleo, homogeneizado con la camisa de chapa, incluido el revestimiento.
s_1 s_2 s_3 s_4	Asentamientos.
s_{ch}	Espesor de la camisa de chapa.
s_r	Espesor interior de hormigón.
s_{ro}	Espesor homogeneizado del tubo revestido.
t	Tiempo de cierre de válvula o de parada de flujo en bomba.
t_l	Acción recíproca entre el núcleo y el revestimiento de un tubo postesado, inducida por la retracción y fluencia de éstos.
t_{imin}	Espesor mínimo teórico del revestimiento interior, incluida la camisa de chapa, en tubos de hormigón armado con camisa de chapa
t_{min}	Espesor mínimo teórico de la pared del tubo, en tubos de hormigón armado con camisa de chapa.
	Espesor mínimo previsto de la pared del núcleo, incluyendo el espesor de la camisa de chapa, en tubos de hormigón postesado con camisa de chapa.
y_e	Distancia de la fibra neutra a la cara exterior del núcleo.
y_i	Distancia de la fibra neutra a la cara interior del tubo.

y_r Distancia de la fibra neutra a la cara exterior del revestimiento.

3. Mayúsculas Griegas

Δp Caída de presión admisible.

ΔT Diferencia de temperatura.

ΔV_{max} Pérdida de agua admisible.

$\Delta \sigma_a$ Incremento de tensión sufrido por la armadura como consecuencia de la existencia de un gradiente de temperatura en el espesor del tubo.

$\Delta' \sigma_p$ Pérdida de tensión inicial en el alambre de postesado transversal, debida al acortamiento elástico del hormigón.

$\Delta'' \sigma_p$ Pérdida de tensión inicial en el alambre de postesado transversal, debida al acortamiento elástico del hormigón $\Delta''' \sigma_s$.

$\Delta_o'' \sigma_p$ Pérdida de tensión en el alambre de postesado transversal, correspondiente al valor teórico α de la relajación del alambre de pretensar.

$\Delta''' \sigma_p$ Pérdida de tensión en el alambre de postesado transversal, debido a la retracción y la fluencia del núcleo y del revestimiento.

\emptyset Diámetro.

Ω Ohmios.

4. Minúsculas Griegas

α Ángulo que abarca la cama de apoyo del tubo.

Relajación del acero de postensar que resulta para la vida estimada de la obra, o para un millón de horas a falta de este dato, expresada en tanto por ciento.

α	Coeficiente de clasificación para tráfico ferroviario. Coeficiente de dilatación térmica del hormigón.
β	Ángulo cuyo significado se explica en la figura 2.1.6-1 del Anejo 4.
γ_c	Coeficiente de seguridad o de minoración de la resistencia del hormigón.
γ_f	Coeficiente de seguridad o de ponderación de las acciones o solicitaciones.
γ_l	Peso específico del fluido.
γ_r	Peso específico del relleno.
γ_s	Coeficiente de seguridad o de minoración del límite elástico del acero.
γ_t	Peso específico del material que constituye las paredes del tubo.
δ, δ'	Coeficientes (Razón de asentamiento).
ε_c	Deformación por retracción, del hormigón del núcleo.
ε_r	Deformación por retracción, del hormigón del revestimiento.
η, η'	Coeficientes (Razón de proyección).
λ	Coeficiente de Ranking o relación entre el empuje lateral y la presión vertical.
μ	Coeficiente de rozamiento interno del relleno.
μ'	Coeficiente de rozamiento del relleno contra los laterales de la zanja.
ν	Viscosidad cinemática.
ρ	Resistencia específica aparente de un suelo.
ρ_e	Cuantía geométrica de la armadura respecto al espesor del tubo sin el recubrimiento de dicha armadura.

$\sigma_{ci.ov}$ $\sigma_{ce.ov}$	Tensión en las caras interior y exterior del núcleo, respectivamente, en la hipótesis pésima de carga, en la sección que se dimensiona.
$\sigma_{ci.p}$ $\sigma_{ce.p}$	Tensión en las caras interior y exterior del núcleo, respectivamente, debida a la presión máxima de diseño MDP.
$\sigma_{ci.t}$ $\sigma_{ce.t}$	Tensión en las caras interior y exterior del núcleo, respectivamente, en la hipótesis pésima de carga, en la sección que se dimensiona.
$\sigma_{ri.ov}$ $\sigma_{re.ov}$	Tensión en las caras interior y exterior del revestimiento, respectivamente, debida a los esfuerzos de ovalización, en la sección que se dimensiona.
$\sigma_{ri.p}$ $\sigma_{re.p}$	Tensión en las caras interior y exterior del revestimiento, respectivamente, debida a la presión máxima de diseño MDP.
$\sigma_{ri.t}$ $\sigma_{re.t}$	Tensión en las caras interior y exterior del revestimiento, respectivamente, en la hipótesis pésima de carga, en la sección que se dimensiona.
σ_p	Tensión inicial en el alambre de postesado transversal. (Tensión de zunchado).
σ_s	Tensión en el acero de las armaduras pasivas considerada en el cálculo.
$\sigma_{p.ov}$	Tensión en el alambre de postesado transversal, debida a los esfuerzos de ovalización, en la sección que se dimensiona.
$\sigma_{p.p}$	Tensión en el alambre de postesado transversal, debida a la presión máxima de diseño MDP.
$\sigma_{p.t}$	Tensión en el alambre de postesado transversal, en la hipótesis pésima de carga, en la sección que se dimensiona.
σ'_{ci} σ'_{ce}	Tensión en las caras interior y exterior del núcleo, respectivamente, en la fase correspondiente a σ'_p .

σ'_p	Tensión en el alambre de postesado transversal, una vez deducidas las pérdidas por acortamiento elástico del hormigón.
σ''_p	Tensión en el alambre de postesado transversal, una vez deducida la pérdida $\Delta_0'' \sigma_p$.
$\sigma'''_{ci} \quad \sigma'''_{ce}$	Tensión en las caras interior y exterior del núcleo, respectivamente, en la fase correspondiente a σ'''_p .
$\sigma'''_{ri} \quad \sigma'''_{rc}$	Tensión en las caras interior y exterior de revestimiento, respectivamente, en la fase correspondiente a σ'''_p .
σ'''_p	Tensión en el alambre de postesado transversal, una vez deducidas todas las pérdidas.
φ	Ángulo de rozamiento interno del relleno.
φ_c	Coefficiente de fluencia del hormigón del núcleo.
φ_r	Coefficiente de fluencia del hormigón del revestimiento.
φ'	Ángulo de rozamiento interno del relleno contra los laterales de la zanja.
ω	Sección del alambre de postesado transversal.

ANEJO 2

Ensayos de Permeabilidad del Revestimiento
en Tuberías Postesadas

1. Objeto del ensayo

El ensayo tiene como objeto determinar la permeabilidad del revestimiento del hormigón o mortero, en el tubo terminado, por medios no destructivos. El material utilizado es el habitualmente empleado para medir la cantidad de agua absorbida bajo presión constante.

2. Frecuencia de los ensayos

Se ensayará un tubo de cada 100 fabricados. Si el tubo resulta defectuoso, se ensayarán otros dos del lote. Si el ensayo de los dos nuevos tubos es satisfactorio, el lote será aceptado. Si uno o los dos son defectuosos, el lote será rechazado, o bien se ensayarán todos los tubos del lote aceptándose o no individualmente según el resultado.

3. Equipo de ensayo

Un esquema del equipo necesario se indica en la figura 1. La precisión de los elementos del equipo se garantizará mediante certificación.

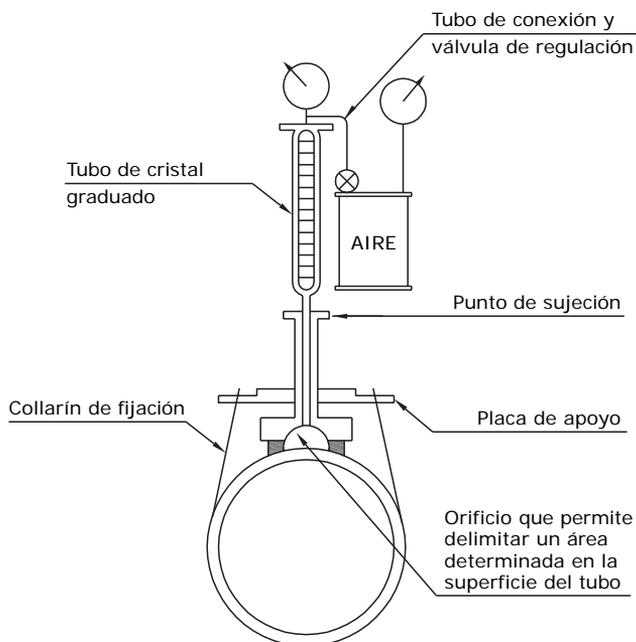


Fig. 1. Típico equipo que prueba la permeabilidad del tubo.

El equipo debe disponer de:

- Una cámara con superficie de apoyo elástica a sujetar firmemente sobre la superficie externa del tubo. Esta cámara tendrá un orificio a través del cual entre en contacto directo con la superficie del tubo.
- Un tubo de cristal graduado fijado a la cámara y provisto de un manómetro en su parte superior.
- Un depósito de aire comprimido capaz de proporcionar de forma regular una presión constante de 300 kPa (± 20 kPa) en el extremo superior del tubo graduado.
- Una cantidad suficiente de agua coloreada con una intensidad tal, que permita su observación a través del tubo de cristal, sobre la superficie libre del tubo.
- Un reloj cronómetro de al menos 6 h, graduado en minutos.

4. Método de ensayo

El revestimiento exterior debe estar completamente saturado de agua antes de realizar el ensayo.

El ensayo se realizará de forma continuada durante 6 horas.

El equipo de prueba se sujetará firmemente al tubo, y se rellenará con el agua coloreada el tubo de cristal graduado. Tras esto, se conectará el aire comprimido, sometiendo el conjunto a la presión requerida de 300 kPa (± 20 kPa), a fin de detectar las fugas.

La cantidad de agua coloreada en el tubo graduado será registrada cada 30 minutos durante un periodo de al menos 6 horas, manteniendo constante la presión mencionada de 300 kPa (± 20 kPa), asegurándose de la presencia permanente del agua coloreada sobre la superficie del tubo.

5. Resultados de los ensayos

Los resultados de los ensayos, serán expresados como cantidad de líquido coloreado que ha salido del tubo graduado en el intervalo de tiempo previsto, referida al área del orificio de la cámara, que coincide con el área de contacto del agua coloreada sobre la superficie del tubo.

Las cantidades de agua coloreada en el tubo graduado se expresarán en centímetros cúbicos, y el área del orificio en centímetros cuadrados. La cantidad de agua coloreada que pasa por el orificio (cm^3), por unidad de área del orificio de la cámara situado en la superficie del tubo (cm^2), se medirá cada 30 minutos.

La pendiente del diagrama correspondiente (véase figura 2), es igual a la relación siguiente:

$$\frac{\text{Cantidad de agua coloreada expulsada del tubo graduado (cm}^3\text{) por hora}}{\text{Superficie del área coloreada en la superficie del tubo (cm}^2\text{)}}$$

6. Criterio de aceptación del ensayo

El ensayo se considera satisfactorio si se cumple lo siguiente: la relación definida en el apartado 5, no será superior a 0,15 por hora durante el período comprendido entre los 121 minutos y 180 minutos de ensayo. Si ésta no se cumple durante dicho período, la relación ante-

rior debe determinarse para los períodos que van de 121 minutos a 240 minutos, 300 minutos, 360 minutos, 420 minutos o 480 minutos, hasta que se cumpla esta condición. Si no llegara a cumplirse al cabo de los 480 minutos el tubo no habrá superado el ensayo.

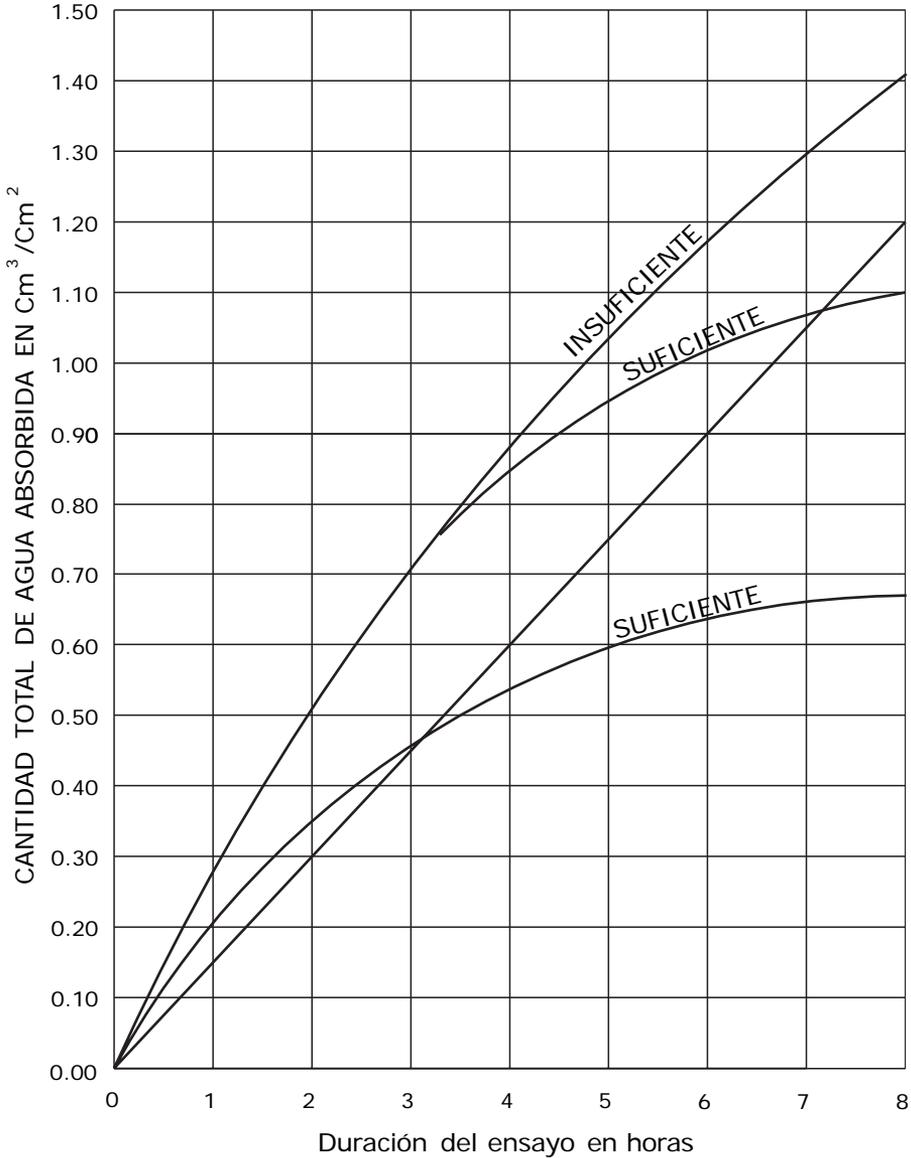


Fig. 2. Resultados y ejemplos de la prueba de permeabilidad.

ANEJO 3

Agresividad de los terrenos
y de las aguas

1. Generalidades

Existen terrenos que, por su naturaleza, pueden resultar potencialmente agresivos para los materiales colocados en ellos; sin embargo, para que esta acción perjudicial se ponga de manifiesto, es necesaria la presencia de humedad en el terreno, que disuelva y movilice las sustancias agresivas que contiene. Por esta razón, los terrenos permanentemente secos no ejercen ataque alguno.

Del mismo modo, las aguas que entran en contacto con los materiales, pueden ejercer sobre ellos una acción perjudicial. Esta acción puede ser de dos tipos: mecánica y química. La primera comprende: la erosión producida por el agua al fluir sobre los materiales, y el efecto disruptivo del hielo que se forma en las oquedades y poros del material. La acción química del agua incluye: la disolución (o lixiviación) del material, y la reacción de éste con las sustancias que contiene el agua.

Las acciones mecánicas ejercidas por el agua sobre los tubos quedan reducidas al mínimo, dada la compacidad del hormigón que prescribe esta Instrucción.

Las acciones de tipo químico afectan con mayor intensidad al acero, ya que de los dos materiales que componen los tubos, el acero es el más sensible al efecto de los agentes agresivos. No obstante, esta acción perjudicial puede alcanzar también al propio hormigón, en los casos menos frecuentes que se mencionan más adelante.

Sin embargo, con las excepciones antes aludidas, el propio hormigón constituye una excelente protección del acero, que le preserva de las acciones citadas; por lo que los tubos, por sí mismos, presentan una gran resistencia a la corrosión. La protección que ejerce el hormigón

sobre el acero (ya se trate de armaduras o de camisa de chapa), reside en una triple característica del material. En primer lugar, el hormigón interpone una barrera física entre el acero y el medio exterior. En segundo lugar, el hormigón posee una alcalinidad elevada (su pH es del orden de 12), que confiere al acero un estado de pasivación (protección). Y por último, el hormigón presenta, después de endurecido, una baja conductividad eléctrica; lo que hace que a través de su masa quede poco favorecido el paso de corriente eléctrica.

Según esto, para conseguir la durabilidad de los tubos, deben cuidarse las características del hormigón en los aspectos antes mencionados.

En primer lugar, el hormigón debe ser compacto, lo que a su vez condiciona la fabricación del material y las características de sus componentes, granulometría de los áridos, relación agua/cemento, vibrado del hormigón, etc. Asimismo, el espesor de recubrimiento de hormigón de las armaduras debe ser adecuado, en función de las características del medio donde vaya a ser ubicado.

La alcalinidad del hormigón (medida por el valor del pH) debe superar un mínimo; lo que en la práctica se consigue fácilmente. El pH del hormigón deberá ser superior a 11,7.

La conductividad eléctrica del hormigón debe ser reducida al mínimo. Por ello, se limita el contenido de electrólitos (cloruros y sulfatos principalmente) que el hormigón puede recibir, bien a través de sus componentes o, en su caso, por el uso de aditivos. El contenido de sustancias perjudiciales (en especial, los sulfatos en proporciones altas) repercute también desfavorablemente en la durabilidad del propio hormigón.

Como puede observarse, existe un gran número de parámetros y son muy variadas las condiciones particulares que se dan en la realidad. Esto hace muy delicada la determinación de los índices de agresividad, para el correcto empleo de los tubos de hormigón. Aún así, las recomendaciones y límites que se fijan en este Anejo son suficientemente conservadoras para asegurar un comportamiento satisfactorio de las tuberías; pero conviene no olvidar las condiciones particulares del Proyecto (dureza del agua, temperatura, velocidad, etc.), que pueden alterar sustancialmente los límites establecidos.

2. Clasificación de los medios agresivos (aguas y terrenos) y medidas de protección

2.1. Terrenos y aguas exteriores al tubo

Los terrenos y las aguas exteriores pueden presentar, por su contenido de sustancias perjudiciales, un cierto grado de agresividad potencial frente a los tubos. En primera aproximación, los factores o características que se toman para definir la agresividad de las aguas son los siguientes: el pH y los contenidos de dióxido de carbono (CO_2), amonio (NH_4^+), magnesio (Mg^{2+}) y sulfatos (en SO_4^{2-}); y en los terrenos, el contenido de sulfatos (en SO_4^{2-}).

La valoración de estos grados de agresividad se hace a partir de las características previstas para el hormigón en la presente Instrucción y, en consecuencia, de la resistencia intrínseca que las características aludidas confieren al tubo frente a dicha agresividad.

Las medidas de protección que deben adoptarse en cada caso para contrarrestar su efecto, se indican en forma esquemática en los cuadros siguientes.

		Factores que deben considerarse	Valores de los factores	
Medio agresivo	Aguas	pH	$V \geq 4,5$	$4,5 > V \geq 4,0$ $4,0 > V$
		CO ₂ agresivo	en mg/l	$V \leq 60$ $60 < V \leq 100$ $100 < V$
		NH ₄ ⁺	en mg/l	$V \leq 30$ $30 < V \leq 60$ $60 < V$
Medidas de protección	Hormigón	Mg ²⁺	en mg/l	$V \leq 1.500$ $1.500 < V \leq 3.000$ $3.000 < V$
		Dosificación de cemento	en kg/m ³	400
		Relación a/c		0,5 0,45
		Necesidad		No No
	Adicional			Sí

		Factores que deben considerarse	Valores de los factores				
Medio agresivo	Aguas	SO ₄ ²⁻	en mg/l	$200 < V \leq 600$ (**)	$600 < V \leq 3.000$	$3.000 < V \leq 6.000$	$6.000 < V$
	Terrenos	SO ₄ ²⁻	en mg/Kg	$2.000 < V \leq 3.000$	$3.000 < V \leq 12.000$	$12.000 < V$	$12.000 < V$ (*)
Medidas de protección	Hormigón	Dosificación de cemento	en kg/m ³	350	350	400	400
		Relación a/c		0,5	0,5	0,45	0,45
		Tipo cemento		Normal	SR	SR	SR
	Adicional	Necesidad		No	No	No	Sí

(*) En caso de terrenos que alternen ciclos de humedad con desecación o tuberías semienterradas.

(**) En el caso de agua interior, el límite para emplear cemento resistente a los sulfatos (SR) se baja hasta los 200 mg/l.

El caso del agua de mar, el ion cloruro ejerce un efecto atenuante sobre la acción de los iones sulfato y magnesio.

2.2. Aguas interiores

Para las aguas interiores rige todo lo mencionado en el apartado anterior.

Para el caso de aguas muy puras, veáse lo especificado en el apartado 3.1.

2.3. Suelos con baja resistividad

Los límites considerados a partir de los cuales hay que tomar medidas adicionales así como las medidas a tomar son las siguientes:

	Criterio	Medidas a tomar	Observaciones
Resistividad del terreno	$< 15 \Omega \times m$	Aislar la tubería mediante pintura adecuada.	Estos valores de resistividad indican gran concentración de sales solubles. Aplicar entre 300 y 400 micras.

2.4. Existencia de corrientes vagabundas

El efecto corrosivo de las corrientes vagabundas se ve mitigado en la tubería de hormigón. No se produce corrosión inicialmente ya que la reacción anódica producida no afecta al acero al consumir iones hidróxido aportados por la elevada alcalinidad del hormigón. Los límites considerados a partir de los cuales hay que tomar medidas adicionales así como las medidas a tomar son las siguientes:

	Criterio	Medidas a tomar	
Corrientes vagabundas	$\leq 200 \text{ mV}$	Ninguna	La discontinuidad de la junta elástica dificulta la circulación de corrientes y beneficia al tubo.
	$> 200 \text{ mV}$	Eliminar o controlar.	

3. Medidas de protección adicionales

Deberán adoptarse medidas adicionales de protección de los tubos, cuando el nivel de agresividad del medio (exterior o interior) sea de tal magnitud que su acción no pueda ser contrarrestada con la sola adopción de un aumento de la calidad del hormigón del tubo.

Las medidas adicionales previstas son las siguientes:

3.1. *Tratamiento de las aguas que conduce la tubería*

Cuando las aguas que conduce la tubería de hormigón son muy puras existe el riesgo de que, por su acción continuada, puedan causar daños de importancia en las paredes interiores de las tuberías. Este efecto, que conviene comprobar, será más grave si el hormigón de los tubos se ha fabricado con áridos calizos que si se han utilizado áridos silíceos.

Las aguas muy puras resultan agresivas al hormigón, cuando su pH está por debajo del de equilibrio. Este hecho puede ser comprobado por medio del ensayo del mármol, aplicado a una muestra de agua, o recurriendo a la utilización de diagramas teóricos que relacionan el pH de equilibrio con la alcalinidad; uno de estos diagramas es el que se reproduce en la figura 1.

RELACIONES ENTRE LA ALCALINIDAD Y EL pH

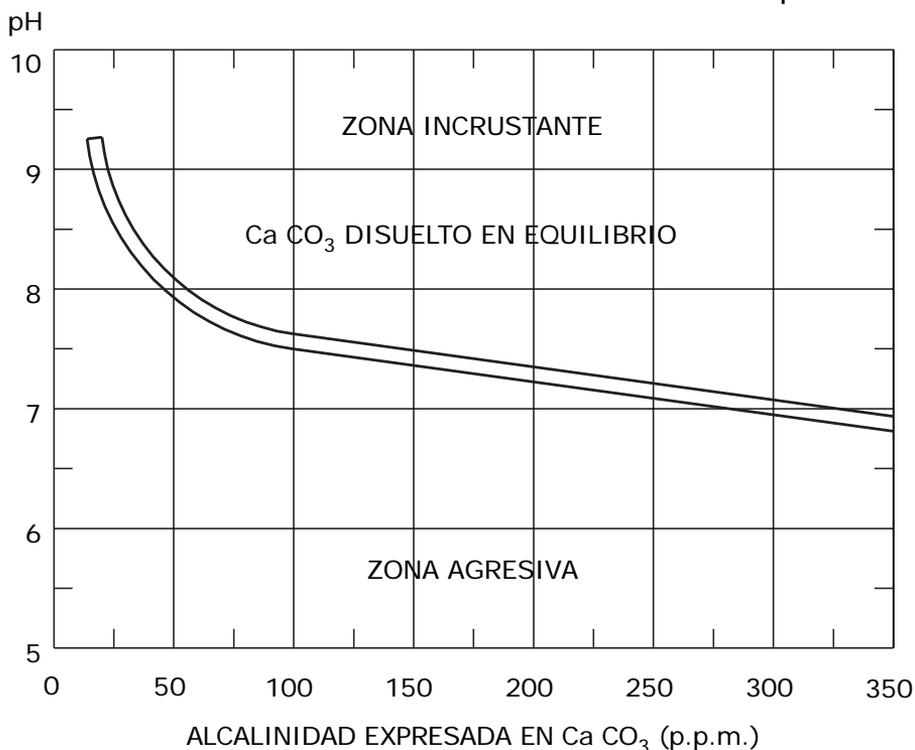


Fig. 1.

Para prevenir el ataque de una tubería de hormigón por las aguas muy puras, un método que puede ser utilizado es el de aplicar un tratamiento previo al agua, que modifique ligeramente su composición. Este tratamiento consiste en añadir al agua un producto alcalino que haga aumentar el valor de su pH hasta conseguir el de equilibrio. Las sustancias que se emplean para lograr este aumento del pH son las siguientes: hidróxido cálcico, hidróxido sódico y carbonato sódico. Este tratamiento apenas cambia las características organolépticas del agua, y conserva su potabilidad. La cantidad de producto necesaria para el tratamiento se determina por cálculo, a partir de los datos obtenidos por los métodos antes indicados (ensayo del mármol y/o diagramas mencionados).

3.2. *Revestimientos especiales*

Tienen por objeto aislar los tubos del medio ambiente exterior o del agua interior. Cuando sea necesario proteger los tubos con algún revestimiento especial, lo prescribirá el correspondiente Pliego de Prescripciones Técnicas Particulares.

En los casos en que se requieran revestimientos especiales, se podrán emplear tratamientos de superficie o de masa.

Los revestimientos de superficie podrán estar compuestos por pinturas, mástiques bituminosos, tejidos de vidrio, resinas, etcétera.

Los revestimientos con tratamiento de masa podrán ser hormigones o morteros, con impregnación de resinas; hormigones con resinas; morteros reforzados con fibras de vidrio resistentes a los álcalis, etcétera.

En cualquier caso, los revestimientos han de cumplir las siguientes condiciones:

- a) Buena adherencia al soporte.
- b) Resistencia física y química frente al medio corrosivo en que estén situados.
- c) Impermeabilidad a dicho medio corrosivo.
- d) Capacidad, en su caso, para adaptarse a variaciones térmicas o de humedad, que evite el riesgo de aparición de fisuras.

Deberán preverse apariciones de pequeñas fisuras en aquellos tubos que puedan sufrir secados excesivos o fríos intensos, como consecuencia de su permanencia en el tajo antes de proceder al relleno de la zanja. Para evitar los efectos de dichas fisuras deberán recubrirse los tubos con materiales fácilmente deformables. Esta operación puede realizarse también después de que hayan aparecido las fisuras.

3.3. *Protección catódica*

La tubería de hormigón, por la pasivación que éste produce en los aceros es de por sí una de las mejores protecciones posibles frente a agentes externos.

Normalmente no se precisa ninguna protección más.

En terrenos altamente agresivos, con contenidos elevados de sulfatos y/o cloruros, debe aumentarse el grado de protección, empleando cementos resistentes a estos compuestos, pudiendo siempre complementarse la protección con pinturas.

En terrenos con presencia de corrientes parásitas deben disponerse drenajes eléctricos.

En terrenos susceptibles de formar pilas naturales, por heterogeneidad eléctrica de las capas atravesadas por la conducción, es conveniente cortar la continuidad eléctrica de la tubería, disponiendo junta elástica entre tubos.

La protección catódica puede perjudicar a la tubería y a las estructuras o cimentaciones aledañas, especialmente si está sobredimensionada. Ponerla como sistema preventivo, sin conocer ni tener cuantificada su necesidad, está totalmente contraindicado. Su uso, prácticamente debe reducirse a casos de tuberías antiguas, en mal estado, cuyos aceros comiencen a mostrar signos de corrosión, y sus hormigones hayan perdido la capacidad de proteger al acero, y aun en esos casos, solo cuando la corrosión provenga de un ataque electrolítico.

En casos de duda, terrenos con resistividades muy bajas, puede emplearse una solución preventiva, consistente en dejar preparada la conducción para una posible instalación de la protección en el futuro. Para conseguir esto es preciso:

- Dar continuidad eléctrica a las armaduras (normalmente esto está asegurado por el propio diseño de las mismas).
- Dar continuidad eléctrica a las juntas (en el caso de junta soldada esto está asegurado por diseño, en junta elástica se disponen puentes eléctricos).
- Preparar las arquetas de alojamiento de los elementos de suministro de corriente eléctrica y disponer en ellos picas para medir potenciales.

Una vez dispuesta así la conducción, es fácil tomar medidas periódicas de potencial y conectar los elementos suministradores de energía eléctrica cuando las mediciones detecten su necesidad.

La protección catódica solo debe instalarse cuando esté muy clara su necesidad, partiendo de un estudio geológico serio del terreno, realizado a ser posible, por empresas no relacionadas con instaladores de sistemas de protección, y después de haber medido potenciales en la tubería instalada.

4. Conexión a otras conducciones

Cuando una tubería de hormigón con camisa de acero se conecta a una conducción metálica con revestimientos orgánicos o protegida católicamente es necesario garantizar el aislamiento eléctrico de la conexión entre las conducciones.

Siempre que se conecten tuberías de hormigón con camisa de chapa con materiales metálicos de electronegatividad diferente (por ejemplo: acero inoxidable, cobre, bronce, etc.), deben disponerse juntas que garanticen el aislamiento eléctrico entre ambas.

5. Ensayo de la resistividad del terreno

El método más conveniente para medir sobre el terreno la resistividad o resistencia específica de un suelo, es el llamado de “Los cuatro electrodos”. Este método puede ser aplicado en la superficie del terreno, con vistas a la rápida orientación sobre la resistividad del suelo a lo largo de un trazado en proyecto o existente, presentando la ventaja de no destruir la estructura del suelo.

La resistencia específica del suelo se expresa habitualmente en $\Omega \times m$.

Para efectuar las medidas, se hincan cuatro electrodos en la tierra, siguiendo una línea recta. Los dos extremos son varillas de acero y los dos intermedios electrodos de referencia ($Cu - SO_4 Cu$). Los cuatro electrodos se unen por medio de cables al aparato de medida, en sus respectivas bornas. Por los dos electrodos metálicos exteriores, se aplica corriente estable (I) que proporciona una batería y, simultáneamente, se mide la diferencia de potencial (V) de los dos electrodos interiores de referencia. En la figura 2 se representa esquemáticamente el método.

La profundidad de los dos electrodos externos no debe sobrepasar el valor $1/3$ de “ a ”, en donde “ a ” representa la correspondiente separación entre electrodos.

La profundidad de terreno explorada por la medición corresponde muy aproximadamente a $1/3$ de la separación (d) entre los piquetes extremos. Los valores obtenidos por este método son considerados como los de la resistencia específica aparente.

Admitiendo que la separación de electrodos sea “ a ” (metros), la resistencia específica aparente (ρ) se calcula según la fórmula:

$$\rho = 2 \cdot \pi \cdot a \cdot \frac{V}{I}, \text{ en } \Omega \times \text{m}$$

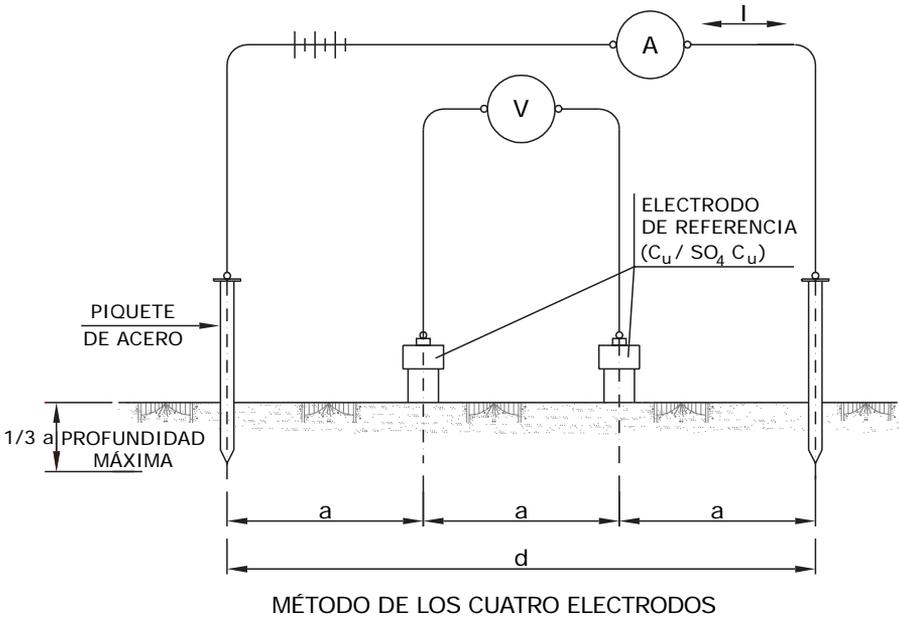


Fig. 2.

ANEJO 4

Cálculo mecánico

1. Generalidades

Se han efectuado las tipificaciones e hipótesis que se indican en los apartados 1.1. a 1.4, siguientes:

1.1. *Apoyo de los tubos*

El apoyo de la tubería se supone continuo en sentido longitudinal y, en sentido transversal, con ángulos de 90° sobre cama granular, y de 90° ó 120° sobre cama de hormigón.

1.2. *Colocación de los tubos*

La colocación de los tubos puede ser.

- En zanja.
- En zanja terraplenada.
- En terraplén.

Un tubo está colocado en zanja o terraplén según que la cota de la generatriz superior del tubo esté situada por debajo o por encima, respectivamente, de la rasante del terreno primitivo. Un tubo está colocado en zanja terraplenada cuando sobre la zanja que hay que rellenar se efectúa un terraplén.

Para el cálculo de las cargas verticales que producen los rellenos, se ha utilizado la teoría propuesta por Marston, válida en principio para instalaciones en zanja, pero ampliada por Schilk y Spangler posteriormente. Estas teorías consideran la compactación del terreno lateral, el peso del relleno, y las fuerzas de rozamiento que se originan en el mismo y que producen aumento o disminución del peso del re-

lleno que gravita directamente sobre el tubo, en función del tipo de instalación.

El esquema de la tubería colocada en zanja aparece en la figura 1.2.1.

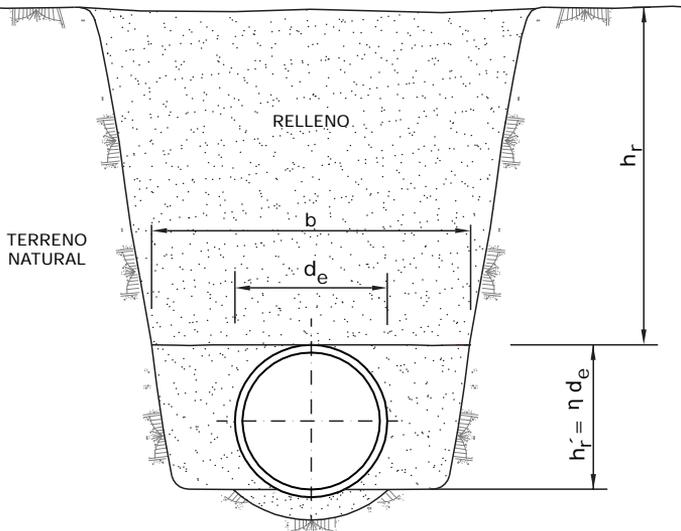


Fig. 1.2-1. Esquema de la tubería colocada en zanja.

En este tipo de instalación, el relleno y el apoyo sufren un asentamiento relativo frente al terreno primitivo, y se producen unas fuerzas de rozamiento que originan un aligeramiento del peso del relleno sobre la tubería.

Este efecto favorable disminuye a medida que aumenta la anchura de la zanja lo que obliga a calcular, también, el peso del relleno como si la tubería estuviera colocada en terraplén, y considerar como real el menor de ambos, ya que la carga para el caso de instalación en terraplén es la mayor que se puede producir para una altura de relleno determinada.

Esta consideración resulta obligada para cualquier tipo de zanja incluso la terraplenada.

El esquema de la tubería colocada en zanja terraplenada aparece en la figura 1.2.2.

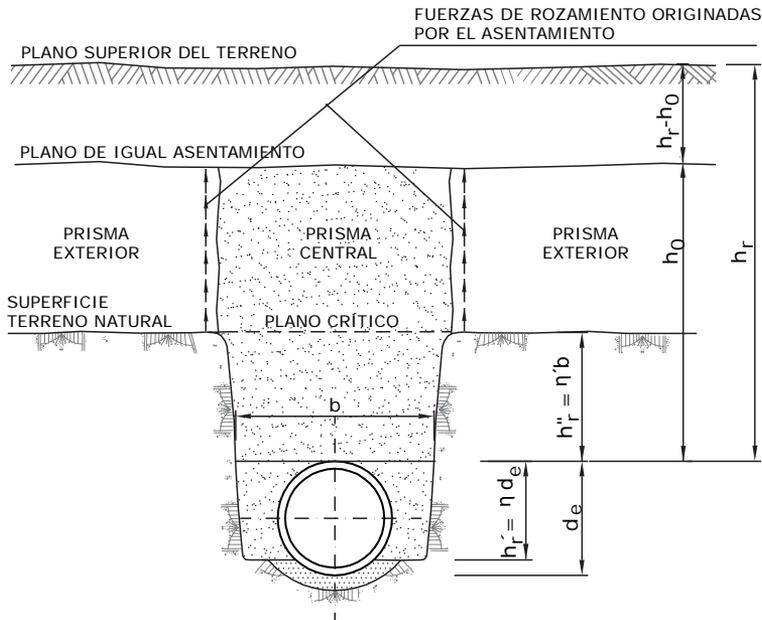


Fig. 1.2-2. Esquema de la tubería colocada en zanja terraplenada.

En este tipo de instalación, el prisma central que está limitado por los planos que contienen las paredes de la zanja, es de mayor altura que los prismas exteriores, y por tanto, estos prismas asientan menos que el prisma central, y se producen unas fuerzas de rozamiento, sobre este último, que originan un aligeramiento del peso del relleno sobre la tubería.

Al aumentar la altura del relleno, disminuye la diferencia de asentamiento que se hace nula en el llamado plano de igual asentamiento.

En este tipo de instalación se denomina:

- Razón de proyección o coeficiente de proyección, η' , al coeficiente cuyo numerador es la distancia de la generatriz superior del tubo al plano crítico (ver figura 1.2-2) y cuyo denominador es la anchura de la zanja al nivel de la generatriz superior:

$$\eta' = \frac{h_r''}{b} \quad (4.1.2-1)$$

– Razón de asentamiento, δ' , (fig. 1.2-3), al valor definido por la expresión:

$$\delta' = \frac{s_1 - (s_2 + s_3 + a_v)}{s_2} \quad (4.1.2-2)$$

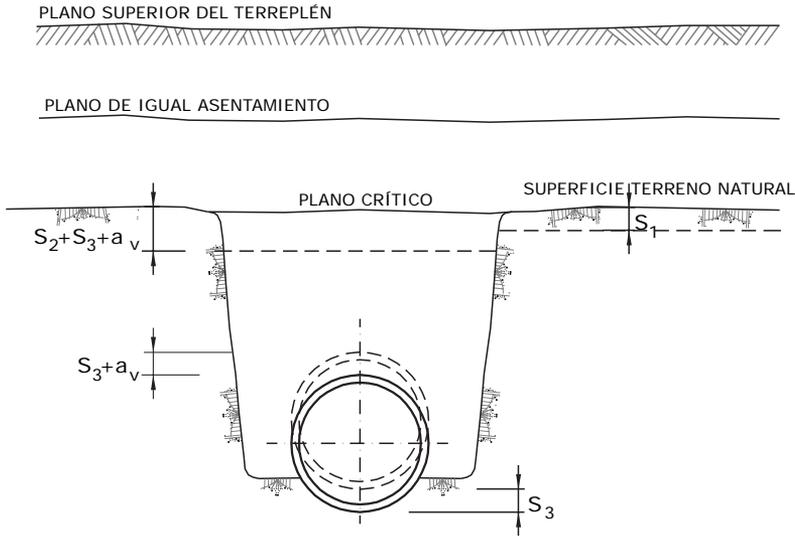


Fig. 1.2-3. Esquema de la tubería colocada en zanja terraplenada. Razón de asentamiento.

Donde:

- s_1 es el asentamiento de la superficie del terreno natural.
- s_2 es el asentamiento del relleno en la zanja, entre el nivel del terreno natural y la generatriz superior del tubo.
- s_3 es el asentamiento de la generatriz inferior del tubo.
- a_v es la deformación vertical del tubo.

El esquema de la tubería colocada en terraplén aparece en la figura 1.2-4.

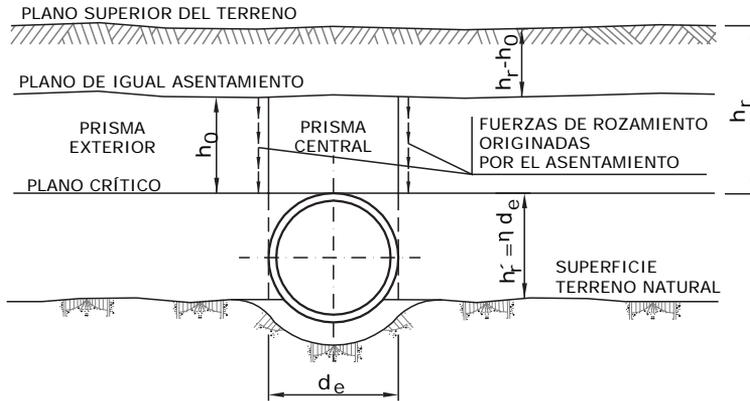


Fig. 1.2-4. Esquema de la tubería colocada en terraplén.

En este tipo de instalación, el prisma central, que está limitado por los planos verticales tangentes a la tubería, es de menor altura que los prismas exteriores, y por tanto, estos prismas asientan más que el prisma central y se producen unas fuerzas de rozamiento, sobre este último, que originan un aumento del peso del relleno sobre la tubería.

Al aumentar la altura del relleno, disminuye la diferencia de asentamiento, que se hace nula en el plano de igual asentamiento.

En este tipo de instalación se denomina:

- Razón de proyección o coeficiente de proyección, η , al cociente cuyo numerador es la distancia de la generatriz superior del tubo a la superficie del terreno natural y cuyo denominador es el diámetro exterior del tubo (ver figura 1.2-4).

$$\eta = \frac{h'_r}{d_e} \quad (4.1.2-3)$$

- Razón de asentamiento, δ , (ver figura 1.2-5) al valor definido por la expresión:

$$\delta = \frac{(s_4 + s_1) - (s_3 + a_v)}{s_4} \quad (4.1.2-4)$$

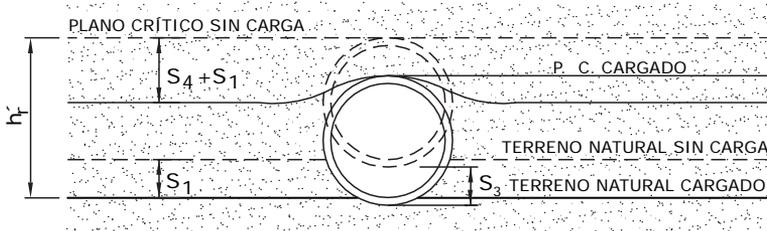


Fig. 1.2-5. Esquema de la tubería colocada en terraplén.

Donde:

- s_1 es el asentamiento de la superficie del terreno natural.
- s_3 es el asentamiento de la generatriz inferior del tubo.
- a_v es la deformación vertical del tubo.
- s_4 es el asentamiento del relleno a la cota h' .

1.3. *Parámetros relativos a la carga de relleno*

La carga de relleno depende de diversas características, siendo las principales:

- Geométricas:
 - Altura de relleno (h_r).
 - Anchura de la zanja (b).
- Materiales:
 - Peso específico (γ_r).
 - Ángulo de rozamiento interno del relleno (φ).
 - Ángulo de rozamiento del relleno contra los laterales de la zanja (φ').

A partir de las características indicadas se obtiene:

- Coeficiente de Rankine:

$$\lambda = \operatorname{tg}^2 \left(45 - \frac{\varphi}{2} \right)$$

- Coeficiente de rozamiento interno del relleno:

$$\mu = \operatorname{tg} \varphi.$$

– Coeficiente de rozamiento del relleno contra los laterales de la zanja:

$$\mu' = tg\varphi'$$

Si bien generalmente es $\mu' < \mu$, una correcta compactación de las zanjas puede permitir utilizar $\lambda\mu$ en vez de $\lambda\mu'$. En la tabla siguiente se dan los valores de $\lambda\mu'$ para las cinco clases de relleno consideradas.

Tipo de relleno	Naturaleza del relleno	$\lambda\mu'$	γ_r
No cohesivo	Rocas machacadas	0,192	19,0
	Rocas con gravas	0,165	17,6
Cohesivo	Arena arcillosa	0,150	19,2
	Arcillas ordinarias	0,130	19,2
	Arcillas plásticas	0,110	21,0

No se considera la cohesión del relleno por ser un valor incierto y depender de su humedad, que es muy variable por estar generalmente las tuberías a poca profundidad.

Se considera que la carga del terreno es estática y uniformemente repartida en lo ancho del tubo.

1.4. *Influencia de las cargas verticales aplicadas en la superficie*

La carga vertical uniforme q_u , aplicada sobre un relleno, se puede asimilar a una altura de terraplén equivalente $h_q = q_u / \gamma_r$; y el caso de zanja con carga uniforme se estudiará como una zanja terraplendada.

El análisis de la influencia en profundidad de las cargas verticales aplicadas en la superficie, está teóricamente resuelto por Boussinesq. Este método permite calcular las presiones producidas en profundidad en la hipótesis de un medio semiinfinito, homogéneo, isótropo, elástico, limitado por un plano superior y cargado en una zona de dicho plano.

No obstante, las condiciones reales de un relleno, ya sea en zanja o en terraplén, difieren notablemente de estas hipótesis. Por ello, así como por lo laborioso que resultarían los cálculos basados en dicho

método, se estima conveniente adoptar un procedimiento simplificado que, por otra parte, se considera suficientemente aproximado para los valores normales de altura de tierra sobre los tubos.

La simplificación consiste en suponer que una carga geométrica, limitada, aplicada en la superficie, se transmite uniformemente en profundidad, en el interior de un tronco de pirámide de igual pendiente, cuyas aristas están redondeadas y cuyas caras laterales forman un ángulo de 35° con la vertical.

Se considera que todas las cargas verticales que actúan, originan el correspondiente empuje horizontal, que se admite de tipo activo (para estar del lado de la seguridad) y que actúa desde la generatriz de clave hasta la superficie del apoyo (fig. 2.1.6-1).

2. Determinación de acciones

2.1. Acciones a considerar

Se consideran las siguientes acciones:

- Peso propio, q_1 .
- Carga del fluido, q_2 .
- Cargas verticales del relleno, q_3 , q_r .
- Cargas concentradas, q_0 .
- Cargas uniformemente distribuidas en superficie.
- Empuje lateral, q_β .
- Presión máxima de diseño, MDP .

A continuación se fijan los valores que deben adoptarse para estas acciones.

2.1.1. PESO PROPIO

El peso propio, q_1 , por metro lineal, es:

$$q_1 = \gamma_i \cdot \pi \cdot d_m \cdot e \quad (\text{kN/m}) \quad (4.2.1.1-1)$$

donde:

γ_t = Peso específico del material que constituye las paredes del tubo (kN/m³).

d_m = Diámetro medio del tubo (m) = $(d_i + d_e)/2$.

e = Espesor del tubo (m).

2.1.2. CARGA DEL FLUIDO

La carga del fluido, q_2 , por metro lineal, es:

$$q_2 = \gamma_f \cdot \pi \frac{d_i^2}{4} \text{ (kN/m)} \quad (4.2.1.2-1)$$

donde:

γ_f = Peso específico del fluido (kN/m³).

d_i = Diámetro interior del tubo (m).

2.1.3. CARGAS VERTICALES DEL RELLENO

Estas cargas se descomponen en dos:

– La carga q_3 , debida al peso del relleno de los tímpanos:

$$q_3 = 0,11 \cdot \gamma_r \cdot d_e^2 \text{ (kN/m}^2\text{)} \quad (4.2.1.3-1)$$

donde:

γ_r = Peso específico del relleno (kN/m³).

d_e = Diámetro exterior del tubo (m).

– La carga q_n , que actúa sobre el plano tangente a la generatriz superior del tubo, y que depende del tipo de colocación de la tubería. Su valor se indica en los apartados a, b, c y d siguientes:

a) Instalación en zanja:

a.1. Relleno lateral sin compactar:

En este caso se estima que el peso del relleno es íntegramente soportado por la tubería, con el efecto favorable de su rozamiento contra los laterales de la zanja.

Entonces:

$$q_r = C_z \cdot \gamma_r \cdot h_r \cdot d_e \frac{b}{d_e} = C_z \cdot \gamma_r \cdot h_r \cdot b \text{ (kN/m)} \quad (4.2.1.3-2)$$

con h_r en m, y donde C_z es el coeficiente de Marston para tubería colocada en zanja, vale:

$$C_z = \frac{1 - e^{-2 \cdot \lambda \cdot \mu' \frac{h_r}{b}}}{2 \cdot \lambda \cdot \mu' \frac{h_r}{b}} \quad (4.2.1.3-3)$$

a.2. Relleno lateral adecuadamente compactado
(Proctor Normal 95%):

No debe emplearse esta hipótesis de cálculo en casos de zanjas anchas (por ejemplo, las de varias tuberías y, en general, aquellas en las cuales $h_r < 0,3 b$).

La distribución del peso, en el plano tangente a la generatriz superior del tubo, es virtualmente uniforme y, por lo tanto, la carga que actúa sobre la tubería será la correspondiente a su proyección vertical, es decir:

$$q_r = C_z \cdot \gamma_r \cdot h_r \cdot d_e \text{ (kN/m)} \quad (4.2.1.3-4)$$

En esta expresión, las unidades son las mismas anteriormente indicadas.

A medida que aumenta la anchura de la zanja, disminuye el efecto reductor de las paredes laterales, y como q_r es función de la anchura de la zanja, siempre es necesario comparar este valor de q_r con el que se obtendría si la tubería estuviera colocada en terraplén, y tomar el menor de ambos, ya que, como se comentó anteriormente, la carga de terraplén es la mayor que se puede producir para una altura de relleno determinada.

b) Instalación en zanja terraplenada:

$$q_r = C_{zt} \cdot \gamma_r \cdot h_r \cdot b \quad (\text{kN/m}) \quad (4.2.1.3-5)$$

o

$$q_r = C_{zt} \cdot \gamma_r \cdot h_r \cdot d_e \quad (\text{kN/m}) \quad (4.2.1.3-6)$$

Según esté el relleno adecuadamente compactado o no.

El coeficiente de Marston, C_{zt} , para tubería colocada en zanja terraplenada, vale:

Si $h_r \leq h_0$:

$$C_{zt} = \frac{1 - e^{-2 \cdot \lambda \cdot \mu \frac{h_r}{b}}}{2 \cdot \lambda \cdot \mu \frac{h_r}{b}} \quad (4.2.1.3-7)$$

Si $h_r > h_0$:

$$C_{zt} = \frac{1 - e^{-2 \cdot \lambda \cdot \mu \frac{h_0}{b}}}{2 \cdot \lambda \cdot \mu \frac{h_r}{b}} + \left(1 - \frac{h_0}{h_r}\right) e^{-2 \cdot \lambda \cdot \mu \frac{h_0}{b}} \quad (4.2.1.3-8)$$

El valor de h_0 se deduce de:

$$e^{-2 \cdot \lambda \cdot \mu \frac{h_0}{b}} = -2 \cdot \lambda \cdot \mu \frac{h_0}{b} + |\delta' \cdot \eta'| \cdot 2 \cdot \lambda \cdot \mu + 1 \quad (4.2.1.3-9)$$

donde:

$$\eta' = \frac{h_r''}{b} \quad (4.2.1.3-10)$$

Como valores de la razón de asentamiento, δ' , se recomienda tomar los adoptados por la ASCE (American Society of Civil Engineering), que son los que a continuación se indican, en función de la razón de proyección η' .

Razón de proyección η'	Razón de asentamiento δ'
0,5	- 0,3
1,0	- 0,5
1,5	- 1,0
2,0	- 0,1

Para rellenos que queden por debajo del plano de igual asentamiento, la zanja terraplénada se comporta como una zanja normal; mientras que para rellenos superiores, la reducción de carga es menor, por no establecerse las fuerzas de rozamiento por encima del plano de igual asentamiento.

Al igual que ocurre con las colocaciones en zanja, siempre hay que calcular también la carga como si se tratara de una colocación en terraplén y considerar el menor de los valores obtenidos.

c) Instalación en terraplén:

$$q_r = C_t \cdot \gamma_r \cdot h_r \cdot d_e \quad (\text{kN/m}) \quad (4.2.1.3-11)$$

El coeficiente de Marston, C_t , para tubería colocada en terraplén, vale:

Si $h_r \leq h_0$:

$$C_t = \frac{e^{2 \cdot \lambda \cdot \mu \frac{h_r}{d_e}} - 1}{2 \cdot \lambda \cdot \mu \frac{h_r}{d_e}} \quad (4.2.1.3-12)$$

Si $h_r > h_0$:

$$C_t = \frac{e^{2 \cdot \lambda \cdot \mu \frac{h_0}{d_e}} - 1}{2 \cdot \lambda \cdot \mu \frac{h_r}{d_e}} + \left(1 - \frac{h_0}{h_r}\right) \cdot e^{2 \cdot \lambda \cdot \mu \frac{h_0}{d_e}} \quad (4.2.1.3-13)$$

El valor de h_0 se deduce de:

$$e^{2 \cdot \lambda \cdot \mu \frac{h_0}{d_e}} = 2 \cdot \lambda \cdot \mu \frac{h_0}{d_e} + \delta \cdot \eta \cdot 2 \cdot \lambda \cdot \mu + 1 \quad (4.2.1.3-14)$$

donde:

$$\eta = \frac{h'_r}{d_e} \quad (4.2.1.3-15)$$

Como valores de la razón de asentamiento, δ , se recomienda tomar los adoptados por la ASCE (American Society of Civil Engineering), que son los que a continuación se indican en función del tipo de suelo.

Tipo de suelo	RAZÓN DE ASENTAMIENTO δ	
	Valor usual	Valor de diseño
Roca o suelo no asentable	1,0	1,0
Suelo ordinario	0,5 a 0,8	0,5
Suelo asentable	0,0 a 0,5	0,3

2.1.4. CARGAS CONCENTRADAS

2.1.4.1. Cargas concentradas, sin efecto de impacto

Se admite que una carga concentrada Q , aplicada en la superficie del terreno, se transmite uniformemente en profundidad, en el interior de un tronco de pirámide, de igual pendiente, cuyas aristas están redondeadas y cuyas caras laterales forman un ángulo de 35° con la vertical.

El valor de la carga q_0 , que actúa sobre el plano tangente a la generatriz superior del tubo, y que depende del tipo de colocación de la tubería, zanja o terraplén, en la práctica se considera admisible utilizar las expresiones correspondientes al caso de terraplén.

$$q_0 = q_Q \cdot d_e \text{ (kN/m); siendo } q_Q = \frac{Q}{A_r} \text{ (kN/m}^2\text{)} \quad (4.2.1.4.1-1)$$

y donde:

q_0 = Carga estática, en kN/m.

Q = Carga concentrada, en kN.

A_r = Área de reparto, en m^2 , a una profundidad h_r , de la carga Q aplicada en la superficie del terraplén, según un rectángulo de dimensiones a_1 y a_2 , en m.

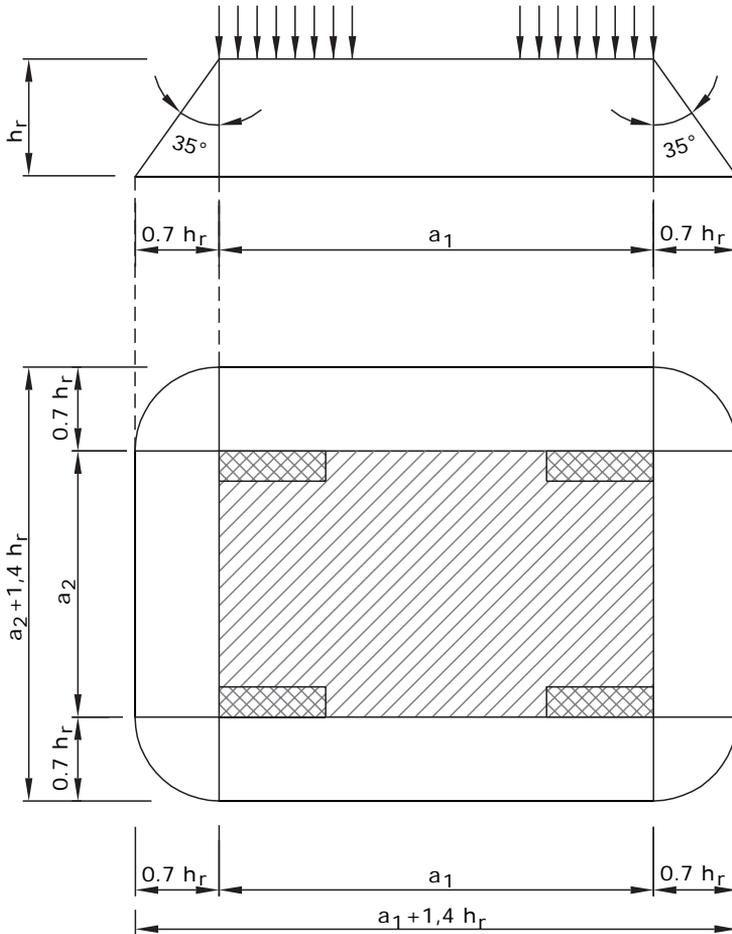


Fig. 2.1.4.1-1. Superficie de reparto a la profundidad h_r .

Este área viene dada por la expresión:

$$A_r = 1,54 \cdot h_r^2 + 1,4 \cdot h_r \cdot (a_1 + a_2) + a_1 \cdot a_2 \quad (m^2) \quad (4.2.1.4.1-2)$$

d_e = Diámetro exterior del tubo, en m.

h_r = Profundidad del plano de reparto, en m.

Esto presupone la existencia de una h_r mínima, para que la anchura de la zona de reparto a esa profundidad sea mayor o igual que el diámetro exterior del tubo, es decir, que dicho diámetro no sea mayor que la sección transversal de la superficie de reparto a la profundidad h_r . De no cumplirse esta condición será preciso utilizar la sección transversal en lugar del diámetro exterior. Con lo que la altura límite a la que se interfieren las superficies de reparto es:

$$h_{r \text{ lim.}} = \frac{e_1 - a_1}{2 \cdot \text{tg } 35^\circ} \quad (4.2.1.4.1-3)$$

siendo:

$h_{r \text{ lim.}}$ = profundidad h_r a la que se interfieren varias cargas concentradas, próximas entre sí.

e_1 = distancia entre ejes de dos ruedas, en m.

a_1 = ancho de la huella de la rueda, en m.

Cuando actúan varias cargas concentradas, próximas entre sí, cuyas superficies de reparto a la profundidad h_r se interfieren, la cohesión de los rellenos permite, en general, considerarlas como una carga única cuya superficie de aplicación, al nivel del suelo es la envolvente de la superficie de reparto de las distintas cargas.

2.1.4.2. Cargas concentradas con efecto de impacto

En este caso, los valores obtenidos para q_0 , han de mayorarse por un coeficiente de impacto igual a:

Para el tráfico carretero: $C_i = 1 + 0,3/h_r$

Para el tráfico ferroviario: $C_i = 1,67 - 0,1 (h_r - 1) \geq 1,0$
(según UIC).

Donde:

h_r = altura de relleno de las tierras, en m.

Para altura de relleno de tierras igual o superior a tres metros, $C_i = 1$.

2.1.4.3. Aplicación a algunos casos de cargas

- *Cargas producidas por el tráfico carretero*

A continuación se aplica el método explicado a los siguientes casos de cargas:

- Eje de 70 kN.
- Eje de 130 kN.
- Vehículo de 600 kN.

Los esquemas de cargas de cada uno de estos casos se indican a continuación.

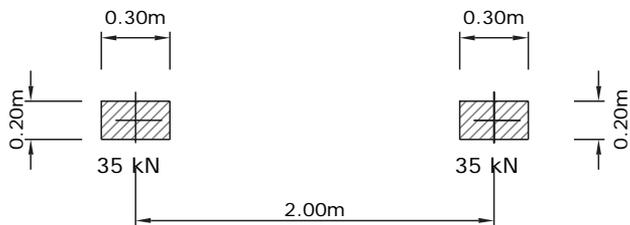


Fig. 2.1.4.3-1. Eje de 70 kN. Esquema de cargas.

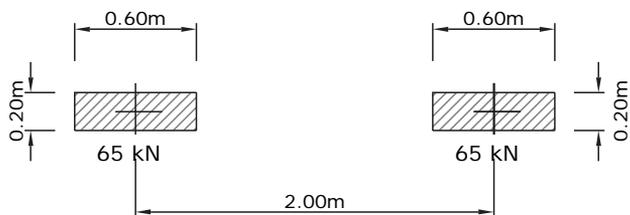


Fig. 2.1.4.3-2. Eje de 130 kN. Esquema de cargas.

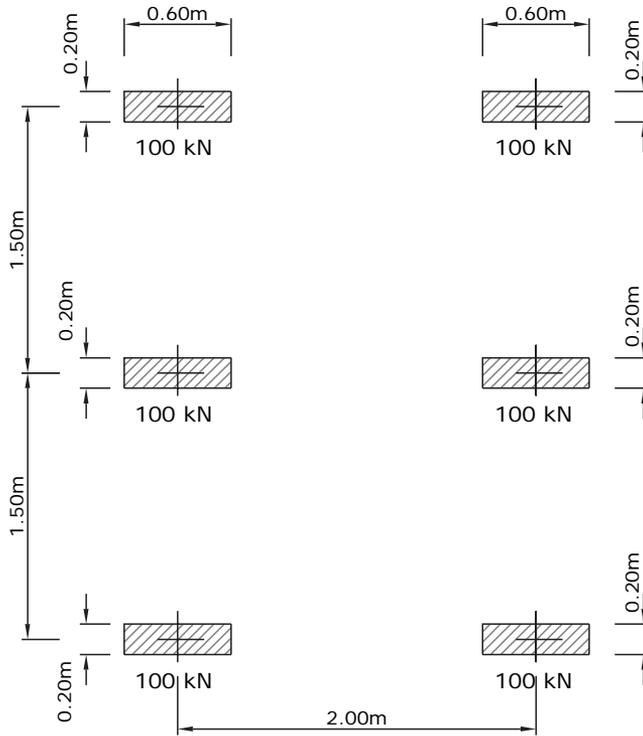


Fig. 2.1.4.3-3. Vehículo de 600 kN. Esquema de cargas.

Las expresiones que dan, en estos casos, los valores de la presión vertical q_0 a la profundidad h_r , obtenidos considerando el caso de terraplén, y sin tener en cuenta el impacto, son las siguientes:

– Eje de 70 kN:

$$h_{r \text{ lim.}} = \frac{e_1 - a_2}{2 \cdot \operatorname{tg} 35^\circ} = \frac{2 - 0,3}{1,4} = 1,21 \text{ m} \quad (4.2.1.4.3-1)$$

Para $1 \leq h_r \leq 1,21 \text{ m}$,

$$q_0 = \frac{35}{1,54 \cdot h_r^2 + 0,7 \cdot h_r + 0,06} \text{ kN/m}^2 \quad (4.2.1.4.3-2)$$

Para $h_r > 1,21 \text{ m}$,

$$q_0 = \frac{70}{1,54 \cdot h_r^2 + 3,5 \cdot h_r + 0,46} \text{ kN/m}^2 \quad (4.2.1.4.3-3)$$

– Eje de 130 kN:

$$h_{r \text{ lim.}} = \frac{e_1 - a_2}{2 \cdot \operatorname{tg} 35^\circ} = \frac{2 - 0,6}{1,4} = 1,00 \text{ m} \quad (4.2.1.4.3-4)$$

Para $h_r \geq 1,00 \text{ m}$,

$$q_Q = \frac{130}{1,54 \cdot h_r^2 + 3,92 \cdot h_r + 0,52} \text{ kN/m}^2 \quad (4.2.1.4.3-5)$$

– Vehículo de 600 kN (vehículo de tres ejes de la Instrucción de puentes de carreteras):

$$h_{r \text{ lim.}} = \frac{e_1 - a_2}{2 \cdot \operatorname{tg} 35^\circ} = \frac{2 - 0,6}{1,4} = 1,00 \text{ m} \quad (4.2.1.4.3-6)$$

siendo:

a_2 : ancho de la rueda, en m

Para $h_r \geq 1,00 \text{ m}$,

$$q_Q = \frac{600}{1,54 \cdot h_r^2 + 8,12 \cdot h_r + 8,32} \text{ kN/m}^2 \quad (4.2.1.4.3-7)$$

- *Cargas producidas por el tráfico ferroviario*

El tren de cargas considerado es el de la UIC 71 (cuya configuración es la del esquema de la figura 2.1.4.3-4), recogido en la reglamentación vigente (Instrucción de Acciones en Puentes de Ferrocarril del Ministerio de Fomento), considerando tal y como se ha prescrito con carácter general, el uso de un coeficiente de clasificación $\alpha = 1,21$, para vía de ancho internacional.

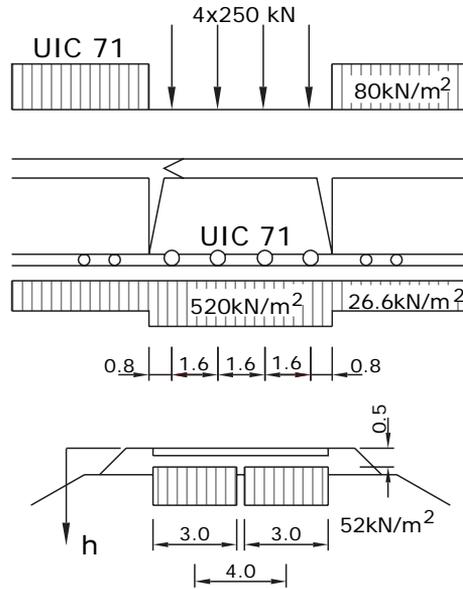


Fig. 2.1.4.3-4. Tren tipo UIC 71 de 1000 kN. Esquema de cargas.

La sobrecarga debida a la locomotora es de:

$$q_{JVIC} = \frac{1000 \cdot 1,21}{6,4 \cdot 3} = 63 \text{ kN/m}^2 \quad (4.2.1.4.3-8)$$

La sobrecarga debida a los vagones es de:

$$26,6 \cdot 1,21 \cdot 32,2 \text{ kN/m}^2$$

Ante la gran diversidad de situaciones y dimensiones que se pueden presentar, se aconseja adoptar como coeficiente de impacto el valor de 1,67 considerado en la reglamentación. Asimismo también se aconseja la adopción de la reducción en profundidad definida por esta misma reglamentación, es decir 0,1 ($h_r - 1$).

Por lo tanto, el coeficiente de impacto quedaría:

$$C_i = 1,67 - 0,1 (h_r - 1) \quad (4.2.1.4.3-9)$$

siendo siempre $C_i \geq 1$ y aplicable para $h_r \geq 1$.

Considerando la situación de confinamiento de la tubería en el terreno así como la incertidumbre en las características y los parámetros

geotécnicos del terreno, se considera suficiente la aplicación del método simplificado incluso en el caso de velocidades superiores a 220 km/h.

Dada la instalación mostrada en la figura 2.1.4.3-5, se considera un reparto a 35°, teniéndose en cuenta la superposición de presiones debidas a locomotora y vagones y a la presencia de varias vías, si procede.

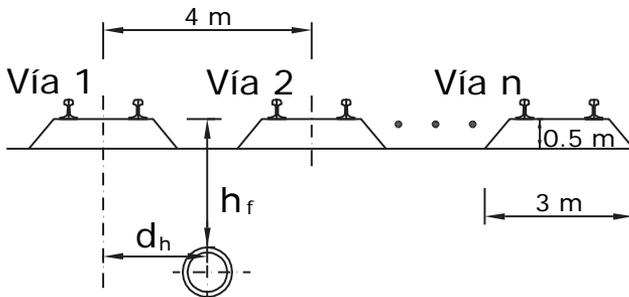


Fig. 2.1.4.3-5.

La carga ferroviaria a aplicar, en función de la profundidad de la clave del tubo h_r , es la siguiente:

$$q_{fvc} = \left(\frac{(52 - 26,6) \cdot 6,4 \cdot 3}{(6,4 + 1,4 \cdot (h_r - 0,5)) \cdot (3 + 1,4 \cdot (h_r - 0,5))} + \frac{26,6 \cdot 3}{(3 + 1,4 \cdot (h_r - 0,5))} \right) \cdot 1,21 \cdot C_i \cdot d_e$$

$$= \frac{135,5 \cdot h_r + 1142,3}{1,96 \cdot h_r^2 + 11,2 \cdot h_r + 13,11} \cdot C_i \cdot d_e \text{ en kN/m}$$

(4.2.1.4.3-10)

Si la tubería está instalada transversalmente a la traza de la vía férrea, sólo se tendrá en cuenta para el cálculo la carga expresada anteriormente en función de h_r , multiplicada por el número máximo de vías cuyas sobrecargas se solapan a la profundidad de instalación de la tubería.

- *Cargas producidas por el tráfico de aviones*

Los tubos por debajo de la pista de rodaje, vías de aproximación y estacionamiento de aviones del aeropuerto están sometidos a las cargas de los aviones.

La presión del suelo que está por debajo de las ruedas de los aviones puede ser determinada usando los mismos modelos que para las cargas del tráfico rodado.

A profundidades no inferiores a 1,0 m, la presión determinada incluye el coeficiente de impacto si la carga de 150 kN/m² se aplica en la superficie y no se considera el efecto de reparto de las cargas producido por el pavimento.

Valores de la presión vertical a distintas profundidades

$q_{aéreo} = d_e \cdot q_Q$ en kN/m, obteniéndose q_Q de la tabla siguiente:

h_r (m)	q_Q (kN/m ²)				
	AVIONES ESTÁNDARES				
	900 kN (DC 9)	1800 kN (DC 8)	3500 kN (Jumbo)	5500 kN	7500 kN
≥ 1,0	100	120	135	140	150
2,0	40	70	90	110	120
3,0	20	40	60	80	90
4,0	15	25	40	60	80
5,0	10	20	30	40	55
6,0	10	15	25	35	40
7,0	5	10	20	25	35
8,0	5	10	15	25	30
9,0	5	10	15	20	25
10,0	5	10	15	15	20
≥ 15	5	5	5	10	15
Para valores intermedios se interpola					

- *Cargas producidas por los compactadores*

Las cargas debidas a compactadores se evalúan como sigue: $q_c = C_q \cdot d_e$.

Donde

q_c : carga sobre el tubo (N/m)

d_e : diámetro exterior del tubo (m)

C_q : carga sobre la clave del tubo (N/m²)

P_c : carga del compactador por m de ancho de rodillo (N/m)

C_q : se obtiene de la expresión:

– Para carga estática:

$$C_q = \frac{2 \cdot P_c}{\pi \cdot h_r} \quad (4.2.1.4.3.-11)$$

– Para carga dinámica: $0,3m \leq h_r \leq 2m$

$$C_q = \frac{12 \cdot P_c}{\pi \cdot h_r} \quad (4.2.1.4.3.-12)$$

$2m \leq h_r \leq 3m$

$$C_q = \frac{10 \cdot P_c}{\pi \cdot h_r} \quad (4.2.1.4.3.-13)$$

$h_r > 3m$

$$C_q = \frac{8 \cdot P_c}{\pi \cdot h_r} \quad (4.2.1.4.3.-14)$$

A título informativo se recogen las recomendaciones de la tabla siguiente:

Tabla de utilización de compactadores

h_r	Compactación recomendada	Tipo carga	Tipo de compactador	Peso rodillo recomendado
0	Sólo lateral	Cualquiera	Rana o bandeja	
* $0 < h_r \leq 0,5m$	Preferiblemente lateral	Cualquiera	Rana o bandeja	
$0,5 < h_r \leq 1m$	Lateral y superior	Estática	Rodillo liso	1 t
			Neumáticos	
$1 < h_r \leq 2m$	Lateral y superior	Estática	Rodillo liso	10 t
			Neumáticos	
		Dinámica	Rodillo liso	2 t
$h_r > 2m$	Lateral y superior	Estática	Rodillo liso	30 t
			Neumáticos	
		Dinámica	Rodillo liso	8 t
* La primera pasada sobre el tubo será con un relleno mínimo de 60 cm.				

NOTA.—Se prestará especial cuidado en la ejecución del relleno en las proximidades del tubo.

2.1.5. CARGAS UNIFORMEMENTE DISTRIBUIDAS EN SUPERFICIE

Cuando sobre el relleno de una zanja, de ancho b en metros, se localiza una sobrecarga uniforme q_s en kN/m^2 , la repercusión sobre el tubo se calcula de la siguiente forma:

$$q = b \cdot q_s \cdot e^{-2 \cdot \lambda \cdot \mu' \cdot \frac{h_r}{b}} \text{ en kN/m} \quad (4.2.1.5-1)$$

Si la carga se aplica sobre una instalación en terraplén o zanja terraplenada, se asimila a un sobreespesor H de relleno de valor equivalente a:

$$H = \frac{q_s}{\gamma_r} \quad (4.2.1.5-2)$$

donde

γ_r es el peso específico del terreno en kN/m^3 y q_s es la carga uniforme de superficie en kN/m^2 .

2.1.6. EMPUJE LATERAL

La expresión del empuje lateral (fig. 2.1.6-1) es:

$$q_{\beta} = \lambda \cdot \gamma_r \left[h_5 + \frac{d_e}{2} (1 - \cos \beta) \right] \quad (\text{kN/m}^2) \quad (4.2.1.6-1)$$

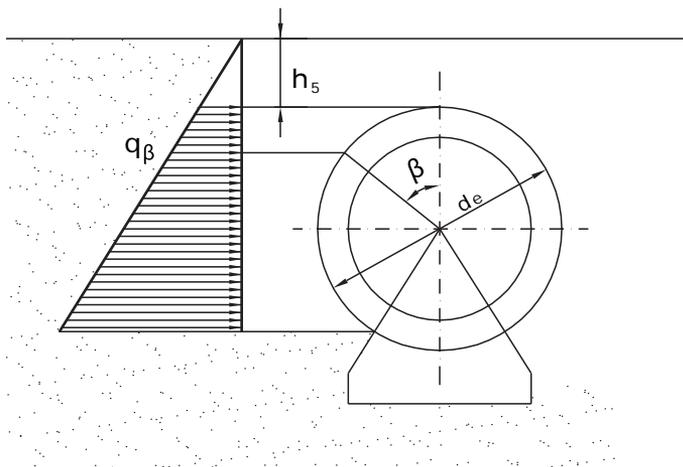


Fig. 2.1.6-1. Empuje lateral.

Según se encuentre la tubería en zanja o terraplén, la expresión de la altura de tierras equivalente, h_5 , es:

a) En zanja:

$$h_5 = C_z \cdot h_r + \frac{q_0}{\gamma_r \cdot d_e} \quad (\text{m}) \quad (4.2.1.6-2)$$

b) En terraplén:

$$h_5 = h_r + \frac{q_0}{\gamma_r \cdot d_e} \quad (\text{m}) \quad (4.2.1.6-3)$$

A efectos prácticos de determinación de esfuerzos transversales, se denomina q_5 al producto $\lambda \cdot \gamma_r \cdot d_e$ en kN/m^2 .

2.1.7. PRESIÓN INTERNA

Se considera como presión interna la presión máxima de diseño MDP .

2.2. Tubería de presión

Valores adoptados para las acciones directas:

- Peso propio.
- Carga del fluido
- Cargas verticales del relleno.
 - a) Zanja con relleno lateral sin compactar.
Zanja con relleno lateral adecuadamente compactado.
 - b) Zanja terraplenada con relleno lateral sin compactar.
Zanja terraplenada con relleno lateral adecuadamente compactado.
 - c) Terraplén.
- Cargas concentradas
(Profundidad de aplicación de la carga: h_r)
- Cargas uniformemente distribuidas en superficie
- Empuje lateral
- Presión máxima de diseño (MDP)

2.3. Tubería de hincá

Valores adoptados para las acciones directas:

- Peso del prisma de tierras sobre la perforación.
- Fuerza de rozamiento entre el prisma de tierra situado sobre la perforación y los prismas adyacentes.
- Cohesión del terreno.

En función de todo ello la carga de tierras es igual al peso de tierra sobre la perforación menos las fuerzas de rozamiento entre el prisma superior y los prismas adyacentes a la perforación y por la cohesión del terreno situado sobre la perforación.

$$q_r = C_z \cdot \gamma_r \cdot d_e^2 - 2 \cdot c \cdot C_z \cdot d_e \quad (4.2.3-1)$$

Donde:

q_r = Carga de tierra en condiciones de hincado o perforado (kN/m).

C_z = Coeficiente de Marston o de carga

γ_r = Densidad del terreno (kN/m^3)

d_e = Diámetro exterior del tubo (m).

c = Cohesión del terreno (kN/m^2)

Los valores de la cohesión, son los siguientes:

Tipo de suelo	Valores de c (kN/m^2)
Arcilla	
Blanda	2
Media	12,2
Dura	48,8
Arena	
Desecada	0
Cenagosa	4,8
Compactada	14,6

Tomamos como valor de cálculo una cohesión de 2 kN/m^2 por ser ésta un valor incierto y depender de la humedad, que es muy variable.

$$C_z = \frac{1 - e^{-2 \cdot \lambda \cdot \mu' \cdot \frac{h_r}{d_e}}}{2 \cdot \lambda \cdot \mu'} \quad (4.2.3-2)$$

Se consideran cinco tipos de terreno con los siguientes parámetros:

Tipo de relleno	$\lambda \cdot \mu'$	γ_r (kN/m^3)
Arcilla plástica	0,110	21,0
Arcilla ordinaria	0,130	19,2
Arena arcillosa	0,150	19,2
Arenas y gravas	0,165	17,6
Material granular sin cohesión	0,190	19,0

h_r = Altura de relleno (m).

λ = Coeficiente de Rankine o relación entre el empuje lateral y la presión vertical.

μ' = Coeficiente de rozamiento entre el material del prisma superior y las paredes laterales.

Se tomará como valores de terreno tipo, la arcilla plástica ($\gamma_r = 21,0 \text{ kN/m}^3$ y $\lambda \cdot \mu' = 0,110$), ya que en general se desconoce la naturaleza del terreno en el que se va a ejecutar la perforación y estos valores están claramente del lado de la seguridad.

– Sobrecargas móviles.

3. Determinación de esfuerzos transversales

Los esfuerzos transversales de momento flector y esfuerzo axial se obtienen a partir de las acciones determinadas en la fase anterior, y de las reacciones correspondientes a los dos apoyos tipificados (fig. 3-1).

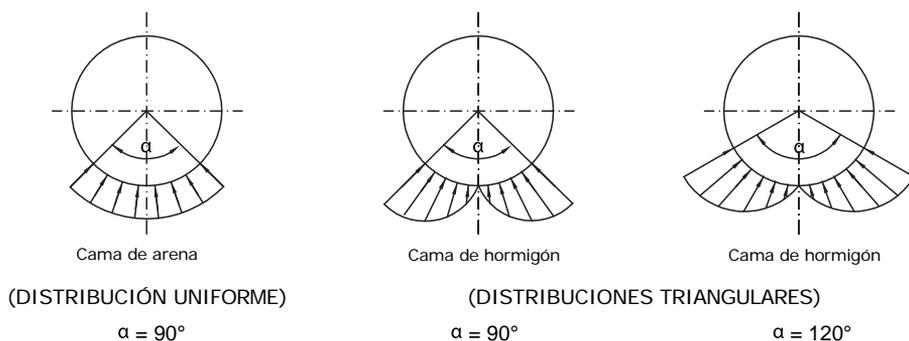


Fig. 3-1.

Como esquema estructural, se asimila la sección transversal del tubo a un arco elástico. Se considera media sección transversal del tubo, supuesta empotrada en la base y con empotramiento deslizante en la clave.

Los esfuerzos transversales producidos por cada una de las acciones que actúan sobre el tubo, se obtienen por superposición de dos estados: el de esa acción y el de su reacción sobre el apoyo.

El apoyo de la tubería se supone continuo en sentido longitudinal y en sentido transversal, sobre cama granular o de hormigón.

La presión interna produce un esfuerzo axial de tracción. Para el cálculo de dicho esfuerzo, en los tubos de hormigón armado se admite,

como simplificación, utilizar la siguiente expresión, correspondiente a los tubos de pared delgada:

$$N_6 = 0,5 \cdot MDP \cdot d_i \text{ (N/mm)}$$

En donde:

MDP = Presión máxima de diseño, en N/mm².

d_i = Diámetro interior del tubo, en mm.

Por el contrario, en los tubos de hormigón postesado, se consideran las diferentes capas coaxiales y adherentes que constituyen el tubo, y para cada una de ellas se aplican las fórmulas de Lamé.

A continuación se incluyen los cuadros con las fórmulas que permiten obtener los momentos flectores transversales y los esfuerzos axiales transversales, debidos a las distintas acciones consideradas, en función del tipo de apoyo adoptado.

Momentos flectores transversales

$k = d_r/d_m$	PESO PROPIO	PESO DEL FLUIDO	CARGAS VERTICALES		EMPUJE LATERAL	
			CARGAS DE TÍMPANOS	CARGAS SOBRE CLAVE		
			$M_3 = k_3 \cdot q_3 \cdot d_m$	$M_4 = k_4 \cdot q_4 \cdot d_m$		
	k_1	k_2	k_3	k_4	k_5	
Apoyo Granular $\alpha = 90^\circ$	Clave	0,03151	0,03151	- 0,02934 k + 0,06453	- 0,04069 k + 0,10727	$h_5 (-0,11490 + 0,05369 k) + d_e (+ 0,01275 k - 0,03764)$
	Riñones	- 0,03662	- 0,03662	0,06323 k - 0,11759	0,03125 k - 0,09912	$h_5 (+ 0,11364 - 0,05255 k) + d_e (- 0,02214 k + 0,05213)$
	Base	0,04169	0,04169	- 0,03836 k + 0,09671	- 0,02179 k + 0,09092	$h_5 (- 0,08459 + 0,02870 k) + d_e (+ 0,00978 k - 0,04024)$
Apoyo de Hormigón $\alpha = 90^\circ$	Clave	0,02681	0,02681	- 0,02934 k + 0,05983	- 0,04069 k + 0,10257	$h_5 (- 0,11490 + 0,05369 k) + d_e (+ 0,01275 k - 0,03764)$
	Riñones	- 0,03149	- 0,03149	0,06323 k - 0,11247	0,03125 k - 0,09399	$h_5 (+ 0,11364 - 0,05255 k) + d_e (- 0,02214 k + 0,05213)$
	Base	0,01564	0,01564	- 0,03836 k + 0,07066	- 0,02179 k + 0,06487	$h_5 (- 0,08459 + 0,02870 k) + d_e (+ 0,00978 k - 0,04024)$
Apoyo de Hormigón $\alpha = 120^\circ$	Clave	0,01551	0,01551	- 0,02934 k + 0,04853	- 0,04069 k + 0,09127	$h_5 (- 0,10496 + 0,04707 k) + d_e (+ 0,00743 k - 0,02967)$
	Riñones	- 0,01777	- 0,01777	0,06323 k - 0,09874	0,03125 k - 0,08027	$h_5 (+ 0,10056 - 0,04347 k) + d_e (- 0,01486 k + 0,04167)$
	Base	- 0,01143	- 0,01143	- 0,03836 k + 0,04359	- 0,02179 k + 0,03780	$h_5 (- 0,06892 + 0,02224 k) + d_e (+ 0,00453 k - 0,02762)$

$$M = M_1 + M_2 + M_3 + M_4 + M_5; \quad q_r = q_r + C; \quad q_5 = \lambda \cdot \gamma_r \cdot d_e.$$

M positivo produce tracciones en la fibra interior. Las unidades son: m y kN.

Esfuerzos axiles transversales

$k = d_i/d_m$	PESO PROPIO $N_1 = k_1 q_1$	PESO DEL FLUIDO $N_2 = k_2 q_2$	CARGAS VERTICALES		EMPUJE LATERAL	
			CARGAS DE TÍMPANOS	CARGAS SOBRE CLAVE		
			$N_3 = k_3 q_3$	$N_4 = k_4 q_4$		
	k_1	k_2	k_3	k_4	$N_5 = k_5 q_5$	
Apoyo de Granular $\alpha = 90^\circ$	Clave	0,04542	0,20458	0,20316 k - 0,13573	0,10610 k - 0,08720	$h_5 (-0,45709 - 0,03751 k) + d_e (+0,02812 k - 0,17954)$
	Riñones	- 0,25000	0,06830	- 0,50000	- 0,50000	0
	Base	- 0,25252	0,22493	- 0,20316 k - 0,07137	- 0,10610 k - 0,11990	$h_5 (-0,39646 + 0,03751 k) + d_e (-0,02812 k - 0,18470)$
Apoyo de Hormigón $\alpha = 90^\circ$	Clave	0,02567	0,18483	0,20316 k - 0,15548	0,10610 k - 0,10695	$h_5 (-0,45709 - 0,03751 k) + d_e (+0,02812 k - 0,17954)$
	Riñones	- 0,25000	0,06830	- 0,50000	- 0,50000	0
	Base	- 0,31482	0,16263	- 0,20316 k - 0,13367	- 0,10610 k - 0,18220	$h_5 (-0,39646 + 0,03751 k) + d_e (-0,02812 k - 0,18470)$
Apoyo de Hormigón $\alpha = 120^\circ$	Clave	- 0,02427	0,13488	0,20316 k - 0,20543	0,10610 k - 0,15690	$h_5 (-0,41104 - 0,06892 k) + d_e (+0,00290 k - 0,14267)$
	Riñones	- 0,25000	0,06830	- 0,50000	- 0,50000	0
	Base	- 0,39647	0,08098	- 0,20316 k - 0,21532	- 0,10610 k - 0,26385	$h_5 (-0,33896 + 0,06892 k) + d_e (-0,00290 k - 0,13858)$

$N = N_{ov} + N_6$; Donde: $N_{ov} = N_1 + N_2 + N_3 + N_4 + N_5$; $N_6 = 0,5 \cdot MDP \cdot d_i$; $q_4 = q_r + C_i \cdot q_o$; $q_5 = \lambda \cdot \gamma_r \cdot d_e$.
 N positivo produce tracciones. Las unidades son: m y kN, excepto en el caso de MDP que se da en MPa.

4. Dimensionamiento de los tubos

4.1. Tubos de hormigón armado con camisa de chapa

Como procedimiento práctico de cálculo se adopta el desarrollado a continuación en los apartados a) y b), cuya consideración simultánea es necesaria para dimensionar el tubo.

a) Comprobación del estado límite de rotura

Se averigua en cada sección si las solicitaciones producen un estado de tracción compuesta o flexión compuesta.

Es tracción compuesta si:

$$\frac{M_{abs}}{N} \leq \frac{d - d_2}{2} \quad (4.4.1-1)$$

Entonces, si A_l es la armadura más traccionada, se obtiene:

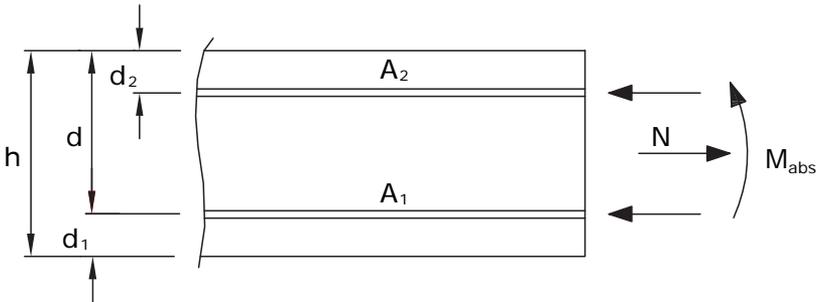


Fig. 4.1-1. Tracción compuesta.

$$A_l = \frac{N}{\left(\frac{f_{yk}}{\gamma_f \cdot \gamma_s} \right)} \left(\frac{A_l}{A_1 + A_2} + \frac{M_{abs}}{N \cdot (d - d_2)} \right) \quad (*) \quad (4.4.1-2)$$

Las armaduras A_1 y A_2 deberán ser mayores o iguales que A_{min} siendo:

$$A_{min} = 0,04 \frac{f_{ck}}{f_{yk}} \cdot \frac{\gamma_s}{\gamma_c} h \quad (4.4.1-3)$$

(*) Véase apartado b) en relación con las limitaciones impuestas por el estado límite de fisuración controlada.

Es flexión compuesta si:

$$\frac{M_{abs}}{N} > \frac{d - d_2}{2} \quad (4.4.1-4)$$

Entonces, si A_1 es la armadura más traccionada, se obtiene:

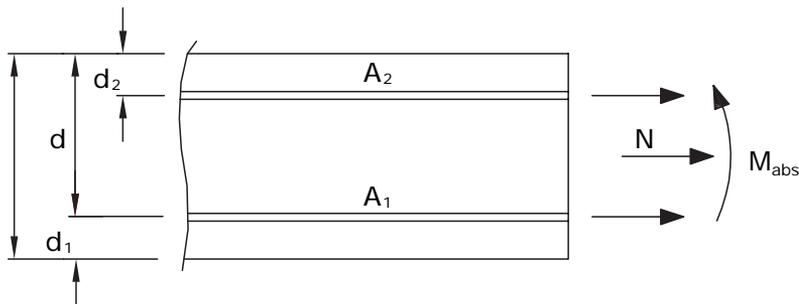


Fig. 4.1-2. Flexión compuesta.

$$A_1 = \frac{N}{\frac{f_{yk}}{\gamma_f \cdot \gamma_s}} \left(1 + \frac{\frac{M_{abs}}{N} - \frac{d - d_2}{2}}{d} \cdot 0,97 \left(1 + \frac{M_{abs} - N \frac{d - d_2}{2}}{\frac{f_{ck}}{\gamma_f \cdot \gamma_c} b \cdot d^2} \right) \right) \quad (*) \quad (4.4.1-5)$$

siendo:

b = Anchura de la sección considerada, que será igual a la unidad cuando se opere con las unidades indicadas en las tablas de esfuerzos.

A_1 deberá cumplir:

$$A_1 \leq 0,04 \frac{f_{ck}}{f_{yk}} \frac{\gamma_s}{\gamma_c} d \quad (4.4.1-6)$$

(*) Véase apartado b) en relación con las limitaciones impuestas por el estado límite de fisuración controlada.

b) Comprobación del estado límite de fisuración controlada.

La determinación de la anchura previsible de las fisuras es un problema muy complejo y de naturaleza aleatoria, pues en él influye principalmente la resistencia del hormigón a tracción.

Experimentalmente se ha comprobado que se está en buenas condiciones con respecto al estado límite de fisuración controlada, cuando se verifica simultáneamente:

- b.1. Que el valor de la tensión de trabajo del acero en servicio, σ_s no supere los dos tercios del límite elástico más bajo de los aceros empleados en el diseño.
- b.2. Que el diámetro, \emptyset , en mm, del redondo de las espiras, no rebasa los valores que figuran en el siguiente cuadro, para las relaciones A_s/A_{cr} y los valores de la resistencia característica del hormigón a compresión, f_{ck} , que se indican:

Valores máximos de \emptyset (mm)			
A_s/A_{cr}	30 N/mm ²	40 N/mm ²	≥ 50 N/mm ²
0,0125	9	—	—
0,0143	10	—	—
0,0167	12	12	—
0,0200	14	14	14
0,0250	17	17	17
0,0333	23	23	23
0,0500	35	35	35

En este cuadro:

A_{cr} = Sección de hormigón cobaricéntrica con la armadura o armaduras A_s en tracción.

A_s = $\begin{cases} A_{ch} \text{ o } A_e, & \text{en flexión compuesta.} \\ A_{ch} + A_e, & \text{en tracción compuesta.} \end{cases}$

A_{ch} = Sección de chapa.

A_e = Sección de espiras.

También debe verificarse que los espesores de chapa no sean superiores a la mitad de los diámetros del redondo, indicados para cada caso en el cuadro anterior.

Cuando la tensión de la sección homogeneizada sea inferior a la admisible para el hormigón en tracción, no existe limitación en el diámetro de las espiras ni en el espesor de la chapa; razón por la que existen en el cuadro zonas con \emptyset máximo no indicado.

- b.3. Que no se superan los valores de A_s/A_{cr} indicados a continuación, para evitar la posible fisuración por retracción:

Valores máximos de A_s/A_{cr}			
35 N/mm²	40 N/mm²	50 N/mm²	60 N/mm²
0,096	0,125	0,200	0,330

4.2. *Tubos de hormigón postesado con camisa de chapa*

En este proceso de cálculo se parte de una sección prefijada de alambre de postesado y de unas características geométricas y materiales del tubo, que con las correspondientes solicitaciones de ovalización y de postesado, permiten obtener su presión máxima de trabajo.

Coefficientes de equivalencia:

$$n_i = \frac{E_p}{E_{ci}}; \quad n = \frac{E_p}{E_c}; \quad n_1 = \frac{E_p}{E_r}; \quad n_2 = \frac{E_r}{E_c} \quad (4.4.2-1)$$

Coefficientes de Lamé:

$$A = \frac{2 \cdot r^2}{r_{co}^2 - r^2}; \quad B = A + 1; \quad C = A + 2 \quad (4.4.2-2)$$

$$A_r = \frac{2 \cdot r_{co}^2}{r_{ro}^2 - r_{co}^2}; \quad B_r = A_r + 1; \quad B_p = \frac{r_c}{\omega} \quad (4.4.2-3)$$

$$k = \frac{B}{B_r} \quad (4.4.2-4)$$

$$D = n_2 \cdot B \left(B_p + n_1 \cdot B_r \right) + B_r \cdot B_p \quad (4.4.2-5)$$

- Características geométricas:

$$s_{ro} = (r_c - r) + (n - 1) s_{ch} + (n - n_2) \omega + n_2 (r_r - r_c) \quad (4.4.2-6)$$

$$y_e = r_c - r - y_i \quad (4.4.2-7)$$

$$y_i = \frac{(r_c - r)^2}{2 \cdot s_{ro}} + \frac{(n - 1) s_{ch} (r_{ch} - r)}{s_{ro}} + \frac{(n - n_2) \omega (r_c - r)}{s_{ro}} + \frac{n_2 (r_r - r_c) (r_r + r_c - 2 \cdot r)}{2 \cdot s_{ro}} \quad (4.4.2-8)$$

$$y_r = r_r - r_c - y_e \quad (4.4.2-9)$$

$$I_0 = \frac{1}{12} (r_c - r)^3 + (r_c - r) \left(y_i - \frac{r_c - r}{2} \right)^2 + (n - 1) s_{ch} (r + y_i - r_{ch})^2 + (n - n_2) \omega y_e^2 + \frac{1}{12} n_2 (r_r - r_c)^3 + n_2 (r_r - r_c) \left(\frac{r_r - r_c}{2} + y_e \right)^2 \quad (4.4.2-10)$$

$$r_{co} = r_c + (n - 1) s_{ch} \quad (4.4.2-11)$$

$$r_{ro} = r_r + (n - 1) s_{ch} \quad (4.4.2-12)$$

- Características de los materiales:

Como valores orientativos se pueden considerar los siguientes:

- Resistencias de proyecto a compresión y módulos de deformación, del hormigón del núcleo y del revestimiento.

$$f_{ck(\text{núcleo})} = 45 \text{ N/mm}^2$$

$$E_{ci} = 30.000 \text{ N/mm}^2$$

$$E_c = 40.000 \text{ N/mm}^2$$

$$f_{ck(\text{revest})} = 35 \text{ N/mm}^2$$

$$E_r = 35.000 \text{ N/mm}^2$$

- Tensión de rotura o tracción y módulo de deformación longitudinal, del alambre de acero:

$$\begin{aligned} f_{max,k} &= 1.800 \text{ N/mm}^2 \\ E_p &= 200.000 \text{ N/mm}^2 \end{aligned}$$

- Relajación final de los alambres de acero, a mil horas, al ser tesa- dos al 70% de la carga de rotura, a 20 °C:

$$\alpha = 2\%$$

- Límite elástico de proyecto y módulo de elasticidad de la chapa:

$$\begin{aligned} f_{yk} &= 240 \text{ N/mm}^2 \\ E_s &= 210.000 \text{ N/mm}^2 \end{aligned}$$

- Deformación por retracción del hormigón del núcleo y del revesti- miento:

$$\begin{aligned} \varepsilon_c &= - 0,0002 \\ \varepsilon_r &= - 0,0003 \end{aligned}$$

- Coeficientes de fluencia del hormigón del núcleo y del revesti- miento:

$$\begin{aligned} \varphi_c &= 1,50 \\ \varphi_r &= 0,75 \end{aligned}$$

- Postesado transversal:

Tensiones producidas inmediatamente después del zunchado:

$$\Delta' \sigma_p = \frac{n_i \cdot \sigma_p}{4 \cdot B_p} \frac{r_c + r}{r_c - r} \quad (4.4.2-13)$$

$$\sigma'_p = \sigma_p - \Delta' \sigma_p \quad (4.4.2-14)$$

$$\sigma'_{ci} = - \frac{C \cdot \omega \cdot \sigma'_p}{r_c} \quad (4.4.2-15)$$

$$\sigma'_{ce} = - \frac{B \cdot \omega \cdot \sigma'_p}{r_c} \quad (4.4.2-16)$$

Tensiones finales debidas al postesado:

$$\Delta_0'' \sigma_p = \frac{\alpha}{100} \cdot \sigma_p \quad (4.4.2-17)$$

$$\sigma_p'' = \sigma_p' - \Delta_0'' \sigma_p \quad (4.4.2-18)$$

$$\Delta''' \sigma_p = 2 \cdot \frac{n \cdot \varphi_c \cdot \omega \cdot B \cdot \sigma_p'' (1 + \varphi_r) - E_p \cdot \varepsilon_c (1 + \varphi_r) r_c - E_p \cdot \varepsilon_r \cdot n_2 \cdot k \cdot r_c}{2 \cdot r_c (1 + \varphi_r + n_2 \cdot k) + n \cdot \omega \cdot B (1 + \varphi_r) (2 + \varphi_c)} \quad (4.4.2-19)$$

$$t_l = \frac{E_p \cdot \varepsilon_r + \Delta''' \sigma_p}{n_1 \cdot B_r (1 + \varphi_r)} \quad (4.4.2-20)$$

$$\Delta'' \sigma_p = \Delta_0'' \sigma_p \left(1 - 2 \frac{\Delta''' \sigma_p}{\sigma_p} \right) \quad (4.4.2-21)$$

$$\sigma_p''' = \sigma_p - (\Delta' \sigma_p + \Delta'' \sigma_p + \Delta''' \sigma_p) \not\geq 0,6 f_{max, h} \quad (4.4.2-22)$$

$$\sigma_{ci}''' = -C \left(\frac{\omega \cdot \sigma_p'''}{r_c} - t_l \right) \quad (4.4.2-23)$$

$$\sigma_{ce}''' = -B \left(\frac{\omega \cdot \sigma_p'''}{r_c} - t_l \right) \quad (4.4.2-24)$$

$$\sigma_{ri}''' = -t_l \cdot B_r \quad (4.4.2-25)$$

$$\sigma_{re}''' = -t_l \cdot A_r \quad (4.4.2-26)$$

Tensiones producidas por los esfuerzos de ovalización:

$$\sigma_{p,ov} = \frac{n \cdot N_{ov}}{s_{ro}} - \frac{n \cdot M \cdot y_e}{I_0}, \text{ en N/mm}^2 \quad (4.4.2-27)$$

$$\sigma_{ci,ov} = \frac{N_{ov}}{s_{ro}} + \frac{M \cdot y_i}{I_0}, \text{ en N/mm}^2 \quad (4.4.2-28)$$

$$\sigma_{ce,ov} = \frac{N_{ov}}{s_{ro}} + \frac{M \cdot y_e}{I_0}, \text{ en N/mm}^2 \quad (4.4.2-29)$$

$$\sigma_{ri,ov} = \frac{n_2 \cdot N_{ov}}{s_{ro}} - \frac{n_2 \cdot M \cdot y_e}{I_0}, \text{ en N/mm}^2 \quad (4.4.2-30)$$

$$\sigma_{re,ov} = \frac{n_2 \cdot N_{ov}}{s_{ro}} - \frac{n_2 \cdot M \cdot y_r}{I_0}, \text{ en N/mm}^2 \quad (4.4.2-31)$$

Tensiones producidas por la presión máxima de diseño (MDP en MPa)

$$\sigma_{p,p} = \frac{B_p \cdot n_2 \cdot A}{D} n_1 \cdot B_r \cdot MDP \quad \text{en N/mm}^2 \quad (4.4.2-32)$$

$$\sigma_{ci,p} = B \cdot MDP - \frac{C \cdot n_2 \cdot A}{D} (B_p + n_1 \cdot B_r) MDP \quad \text{en N/mm}^2 \quad (4.4.2-33)$$

$$\sigma_{ce,p} = A \cdot MDP - \frac{B \cdot n_2 \cdot A}{D} (B_p + n_1 \cdot B_r) MDP \quad \text{en N/mm}^2 \quad (4.4.2-34)$$

$$\sigma_{ri,p} = \frac{B_r \cdot n_2 \cdot A}{D} B_p \cdot MDP \quad \text{en N/mm}^2 \quad (4.4.2-35)$$

$$\sigma_{re,p} = \frac{A_r \cdot n_2 \cdot A}{D} B_p \cdot MDP \quad \text{en N/mm}^2 \quad (4.4.2-36)$$

Tensiones en la hipótesis pésima de carga.

Tanto para las secciones de máximo momento positivo como para las de máximo momento negativo, se obtendrán las siguientes tensiones.

$$\sigma_{p \cdot t} = \sigma_p''' + \sigma_{p \cdot ov} + \sigma_{p \cdot p} \quad (4.4.2-37)$$

$$\sigma_{ce \cdot t} = \sigma_{ce}''' + \sigma_{ce \cdot ov} + \sigma_{ce \cdot p} \quad (4.4.2-38)$$

$$\sigma_{ci \cdot t} = \sigma_{ci}''' + \sigma_{ci \cdot ov} + \sigma_{ci \cdot p} \quad (4.4.2-39)$$

$$\sigma_{ri \cdot t} = \sigma_{ri}''' + \sigma_{ri \cdot ov} + \sigma_{ri \cdot p} \quad (4.4.2-40)$$

$$\sigma_{re \cdot t} = \sigma_{re}''' + \sigma_{re \cdot ov} + \sigma_{re \cdot p} \quad (4.4.2-41)$$

ANEJO 5

Golpe de ariete

En el caso de que el golpe de ariete lo produzca una válvula, debe reducirse aumentando el tiempo de cierre de ésta. Es importante no suponer tiempos de cierre muy cortos al dimensionar la tubería pues ello nos lleva a coeficientes de seguridad excesivos, sin relación con la realidad, ya que las válvulas en general se construyen para cierres obligatoriamente lentos, y el cierre rápido es físicamente imposible. Otro sistema barato y eficaz de reducir la sobrepresión por cierre de válvula es disponer un *by-pass* con una válvula de pequeño diámetro enclavada con la válvula principal, de modo que para cerrar la principal es preciso que esté abierta la secundaria. Una vez cerrada totalmente la válvula grande se cierra la pequeña. Con este dispositivo se alarga enormemente el tiempo de cierre y se reduce muchísimo el golpe de ariete.

En impulsiones el golpe de ariete no puede evitarse, aunque sus efectos sobre la tubería sí pueden reducirse mediante el empleo de sistemas reductores, como calderines, chimeneas de equilibrio, o conexiones susceptibles de funcionar como chimeneas de equilibrio.

En cualquier caso, si hemos calculado un golpe de ariete reducido y tememos que pueda ser sobrepasado, podemos disponer válvulas de alivio de presión. Éstas consisten en elementos que se abren y sueltan agua cuando la presión supera un valor prefijado.

Todos estos sistemas son más baratos y eficaces que sobredimensionar el conjunto de la conducción.

Nunca debe olvidarse el golpe de ariete **negativo**, las sobrepresiones por golpe de ariete son simétricas, y pueden llegar a producir presiones por debajo de la presión de vapor del agua, lo cual puede ser nefasto para las piezas metálicas y en general elementos que no resistan presiones negativas.

ANEJO 6

Efecto de la temperatura del agua
transportada por la tubería

Cuando exista un gradiente de temperatura en el espesor del tubo, se podrá considerar este efecto evaluando el incremento de tensión que se produce en la armadura.

Cuando la temperatura del líquido interior sea superior a la temperatura exterior, el incremento de tensión se producirá en la armadura exterior y, en caso contrario, el incremento de tensión se producirá en la armadura interior.

El valor del incremento de tensión sufrido por la armadura ($\Delta\sigma_a$) viene dado por la siguiente fórmula:

$$\Delta\sigma_a = \Delta T \cdot \alpha \frac{(e - r_e)}{e} E_s \cdot K_a \quad (6-1)$$

Donde:

ΔT = Diferencia de temperatura entre el agua interior y el exterior del tubo, en °C.

e = Espesor del tubo en mm.

r_e = Recubrimiento mecánico de la armadura considerada.

E_s = Módulo de elasticidad del acero = $2.1 \cdot 10^5$ N/mm².

α = Coeficiente de dilatación térmica del hormigón = 10^{-5} °C⁻¹.

$K_a = \beta - \sqrt{\beta^2 - 1}$ De forma simplificada se puede considerar $K_a = 0.70$. (6-2)

$$\beta = 1 + \rho_e \frac{E_s}{E_c} \quad (6-3)$$

$$\rho_e = \frac{A_e}{(e - r_e)} \quad (6-4);$$

ρ_e = Cuantía geométrica de la armadura considerada respecto al espesor del tubo sin el recubrimiento de dicha armadura.

E_c = Módulo de deformación del hormigón.

En la mayor parte de los casos este incremento de tensión constituye una acción transitoria, puesto que desaparece al igualarse la temperatura en el espesor del tubo.

ANEJO 7

Resistencia al vacío

Se entiende que la presión de una tubería es negativa cuando la presión interior de la tubería es inferior a la presión exterior de la misma.

En condiciones normales, la presión exterior a la que supuestamente está sometida la tubería, es la presión atmosférica (que se considera como 0 atmósferas), por lo que la presión negativa está limitada a $-0,1 \text{ N/mm}^2$ (vacío absoluto).

Presión crítica de pandeo

La presión dirigida hacia el interior que provocaría el aplastamiento de un cilindro hueco (presión crítica de pandeo del cilindro) está dada por la fórmula:

$$P_{cp} = E (s_r / r_m)^3 / 4 \quad (7-1)$$

Donde:

E = módulo de deformación del material (hormigón) =
= 25.000 N/mm^2

s_r = espesor interior de hormigón

r_m = radio medio del recubrimiento interior

No consideramos el espesor de la chapa.

ANEJO 8

Condiciones de uso.
Aspectos no considerados
en el dimensionamiento

A continuación se describen las causas más frecuentes de mal uso en conducciones de hormigón con camisa de chapa, que quedan agrupadas en las siguientes familias con características comunes. Asimismo, aparte de la descripción del mal uso en sí, se describen sus causas, así como las soluciones y medidas a adoptar en caso de que aparezcan.

1. Cargas excesivas

Este mal uso se caracteriza por la aparición de fisuras longitudinales en la clave y en la solera de los tubos, y puede producirse por alguna de las siguientes causas:

- Altura de tierras de relleno y/o cargas de tráfico mayores que las contempladas en el cálculo.
- Compactación excesiva en la parte de relleno situada sobre el tubo. De hecho, no es recomendable compactar directamente con vibrador sobre el tubo hasta tener al menos 1 m de cobertura.
- Material de relleno de los laterales inadecuado o falta de compactación.
- Que se opte por un tipo de instalación distinto del calculado (zanja-terraplén-zanja terraplenada).
- Que el fondo de la zanja se encuentre mal preparado.

2. Defectos en los apoyos

Se manifiesta mediante la aparición de fisuraciones longitudinales o transversales, debidas a alguna de las siguientes causas:

- Que el ángulo de apoyo sea distinto que el considerado en el cálculo.
- Que el tipo de apoyo sea distinto del considerado en cálculo (p.e., apoyo granular en lugar de hormigón).
- Una mayor rigidez que la considerada en el cálculo. De hecho, las camas granulares no deben compactarse, ya que se supone que han de ser flexibles y proporcionar un apoyo uniforme.
- Que se presente una discontinuidad diferencial en el asiento. Si se producen cambios de rigidez de la cama a lo largo de la tubería, se pueden provocar asientos diferenciales. Deben cuidarse especialmente las transiciones con piezas de cimentación rígida como anclajes, arquetas, etcétera.

3. Defectos en las juntas

El desplazamiento por relleno incorrecto de los laterales de los tubos puede provocar daños en juntas, sobre todo en las elásticas. Por lo tanto, debe rellenarse y compactarse por tongadas alternativas a ambos lados de la tubería, nunca primero un lado y luego el otro.

Juntas soldadas

Se distinguen las siguientes causas:

- Efectos térmicos. Pueden aparecer fisuraciones por soldar tubos a temperatura muy diferente de la de su estado final. El error más frecuente es soldar tubos a temperatura elevada, lo cual origina posteriormente tensiones muy altas en la junta y en los tubos.
- Soldar por ambos lados. Produce tensiones importantes en las juntas. Debe soldarse el tubo a ser posible por dentro. Si el diámetro no lo permite se soldará por fuera, pero nunca por ambos lados. Se cuidará dejar de soldar un tubo de cada dos, a fin de eliminar las tensiones provocadas por las soldaduras. El tubo que se deje sin soldar se soldará transcurridas 24 horas.
- Rejuntado de protección incorrecto o inexistente. En este caso, posteriormente se puede producir corrosión en la junta, ya que ésta no puede llevar una protección previa, puesto que se destruiría en el proceso de soldadura.

Juntas elásticas

Se distinguen las siguientes causas.

- Falta de limpieza o de lubricante. La junta debe estar limpia y lubricada antes de colocar la goma en su alojamiento, así como durante el proceso de enchufado.
- Junta pellizcada, cortada o arrollada. La junta debe estar bien alojada, sin tensiones diferenciales a lo largo del desarrollo. Durante el enchufe debe comprobarse visualmente que no se produce el pellizcado. Una vez enchufado el tubo, debe comprobarse que la goma está correctamente alojada.
- Ángulo de deflexión mayor que el admisible. El ángulo máximo depende del diámetro del tubo y del diseño de la junta, debiéndose pedir al fabricante el valor máximo admisible y cuidar que no se supere. El ángulo debe medirse en el espacio, es decir, si hay ángulo vertical y horizontal, sus valores deben componerse vectorialmente para obtener el ángulo en el espacio, el cual no debe superar el admisible.
- Enchufe de tubos de ejes no coincidentes. Esta maniobra daña la junta, ya que los tubos deben enchufarse siempre en alineación recta. Cuando deban formar ángulo, se enchufan en recta, y se deflectan una vez enchufados correctamente.
- Rejuntado exterior inadecuado. Las juntas elásticas no suelen llevar rejuntado exterior, y con determinados niveles de protección podría prescindirse del interior, pero si el perfil de junta no está preparado para ser durable en el medio en que está colocada la tubería, debe hacerse el rejuntado exterior.

4. Efectos térmicos

Se distinguen las siguientes causas:

- Deformación diferencial por soleamiento de una cara, en junta soldada.
- Deformaciones rápidas por llenado en prueba de tuberías descubiertas si la temperatura de éstas es excesiva.

5. Sobrepresiones negativas o positivas

Se distinguen las siguientes causas:

- Presión mayor que la considerada en el diseño.
- Falta o mal funcionamiento de elementos de protección, calderines, válvulas de alivio de presión o chimeneas de equilibrio, que se traduce en unas sobrepresiones accidentales que pudieron no ser consideradas en la fase de diseño.
- Golpe de ariete negativo, que puede llegar a producir depresiones. Éstas dan lugar a cavitación y a posibles aplastamientos en piezas de chapa. Es un error de diseño relativamente frecuente el sobrevalorar el golpe positivo y olvidar el negativo.

6. Errores durante la colocación

Podemos distinguir las siguientes causas:

- Flotabilidad. Si la zanja se inunda accidentalmente durante la fase de montaje, en los puntos bajos la tubería puede flotar y dañar las juntas, tanto si son elásticas como si son soldadas. Por tanto, es preciso mantener siempre salidas de agua en los puntos bajos.
- Mala colocación en terraplenes. Es más difícil compactar adecuadamente un terraplén que lleva instalada una tubería. Se recomienda compactar primero el terraplén y posteriormente excavar y rellenar la zanja, al menos en la cobertura de 1 m sobre la clave.
- Fondo de zanja irregular con espesor de cama escaso. Para regularizar la reacción de apoyo, el espesor de la cama ha de ser al menos de 15 cm si el terreno es roca, y 10 cm si está compuesto por suelos.

7. Anclajes

En los anclajes se distinguen las siguientes causas:

- Movimientos de los macizos de anclaje durante la prueba o en servicio. La presión de prueba no debe ser mayor que la considerada en el dimensionamiento, y si se ejecuta con tubería parcialmente

descubierta, las condiciones son mucho más desfavorables, en cuanto a movimientos, que las de servicio. Durante la prueba es normal que se produzcan pequeños movimientos en los macizos de anclaje, aunque estos no deben superar los valores admisibles según el tipo de tubería y junta empleada. Deben controlarse los movimientos durante la prueba, y si se aprecian desplazamientos, quitar inmediatamente presión y reforzar el anclaje antes de reanudar la prueba.

- Anclaje insuficiente o inadecuado de válvulas y piezas especiales. Debe prestarse especial atención al diseño y ejecución de los anclajes, así como vigilar su comportamiento durante las pruebas de presión.

8. Aire ocluido

Un diseño inadecuado de la rasante, falta de ventosas en los puntos altos o un llenado incorrecto en la prueba puede provocar la presencia de aire en la tubería, reduciendo su capacidad hidráulica y pudiendo ocasionar desperfectos en piezas delicadas como válvulas.

- En prueba, debe llenarse la tubería de aguas abajo a aguas arriba. Las ventosas deben estar colocadas en los puntos altos de cada tramo y encontrarse en perfecto estado de funcionamiento.
- Asimismo, durante el uso normal la tubería debe contar con ventosas en buen estado de funcionamiento en los puntos altos.
- Además, para una correcta explotación la tubería, debe contar con desagües en los puntos bajos. No es necesario, pero sí muy conveniente, dejar entradas de hombre permanentes en diámetros mayores o iguales de 800 mm.

9. Reparación

Cuando se detectan fisuras en las tuberías, en primer lugar debe averiguarse la causa que las ha producido.

Si las fisuras son activas, es decir, siguen creciendo, debe actuarse sobre las causas que las producen hasta conseguir que dejen de progresar. Los métodos más usuales son:

- Estabilizar el terreno con inyecciones.
- Eliminar o reducir cargas.
- Reforzar interiormente con cerchas.
- Instalar refuerzos puntuales, como macizados de hormigón, o zunchos postesados.

Una vez estabilizadas las fisuras, puede procederse a su reparación. El método a emplear depende del ancho de fisura.

- Cuando las fisuras tienen un espesor inferior a 0,3 mm, lo mejor es no efectuar ningún tipo de actuación, ya que éstas se autosellan por colmatación en un plazo muy breve.
- Cuando las fisuras tienen espesores comprendidos entre 0,3 y 1 mm, deben limpiarse con cepillo y tratarse con un producto sellante.
- Cuando las fisuras son de un espesor mayor de 1 mm, pueden sellarse con mástic que permita desplazamientos, como puede ser el sulfuro de thiokol. Este tipo de sellado requiere el cajado de la fisura con radial para ajustarse a las dimensiones de junta especificadas por el fabricante del producto.

ANEJO 9

Control de calidad

El proyecto deberá incluir un Plan de Calidad que contemple las diferentes actuaciones a realizar relativas a la fabricación, recepción en obra, montaje, cubrimiento de la instalación y pruebas.

1. Fabricación

Deberá ajustarse al Documento de Idoneidad Técnica (DIT) en vigor. Para productos no certificados se deberá tener en cuenta que:

- El control de los materiales, se hará de acuerdo con el capítulo VIII.
- El control de fabricación, se hará de acuerdo con el capítulo IX. El fabricante deberá tener establecido un sistema de actuación en base a las especificaciones de la UNE 66902.
- El control del producto acabado, se hará de acuerdo con el capítulo X.

2. Control de recepción en obra

Los productos certificados deberán cumplir el reglamento de certificación.

En los productos no certificados deberán hacerse al menos las siguientes comprobaciones:

- Dimensiones: Un (1) tubo de cada diez (10) unidades.
- Diámetro interior: Cumplirá el artículo 26.
- Espesor: Cumplirá el artículo 26.
- Ovalización de los tubos en la zona de junta: Cumplirá el artículo 26.
- Longitud: Cumplirá el artículo 26.

- Rectitud de las generatrices: Cumplirá el artículo 26.
- Ortogonalidad de los extremos: Cumplirá el artículo 26.

Se rechazarán aquellos tubos que no cumplan las especificaciones, volviéndose a comprobar un número doble de los rechazados.

Así mismo, se comprobará el estado externo de todos los tubos que lleguen a obra, prestando especial atención a la aparición de fisuras, coqueas, fallos de hormigonado y posibles roturas de los bordes ocasionadas por el transporte.

Por último, se comprobará que todos los tubos están marcados.

3. Control de ejecución

Se hará de acuerdo con la norma UNE 1610.

Antes de proceder al tendido de la tubería, deberá comprobarse que son correctos los valores de:

- profundidad de la zanja;
- anchura;
- pendiente;
- condiciones del fondo de la zanja;
- características del material de relleno.

Instalada la tubería y previamente a su recubrimiento, deberá ser sometida a las siguientes operaciones:

- inspección visual de la colocación;
- comprobaciones topográficas.

Posteriormente, una vez rellena la zanja, se someterán a los siguientes controles:

- prueba a presión interior por tramos;
- prueba de estanquidad final.

Índice

	<u>Págs.</u>
COMISIÓN ORIGINAL DE LA NORMA DE 1980	VII
– Miembros de la Comisión.....	VII
– Consultores	IX
– Grupo de Investigación	IX
• Tema I. Protección a base de pinturas y resinas.....	X
• Tema II. Permeabilidad al agua	X
• Tema III. Métodos de cálculo	XI
• Tema IV. Aceros para tuberías pretensadas.....	XI
• Tema V. Protección del alambre de pretensar	XII
COMISIÓN DE PUESTA AL DÍA DE LA INSTRUCCIÓN DEL INSTITUTO EDUARDO TORROJA PARA TUBOS DE HORMIGÓN ARMADO O PRE- TENSADO DE 2007	XIII

PARTE I

Articulado y comentarios

CAPÍTULO I. Generalidades	3
Artículo 0. Normativa Aplicable.....	5
Artículo 1. Campo de aplicación de la Instrucción	6
Artículo 2. Definiciones	6
Artículo 3. Proyecto	9
Artículo 4. Tipificación de diámetros.....	9
Artículo 5. Unidades, convención de signos y notación	9

TÍTULO 1.º

Realización de la obra

CAPÍTULO II. Materiales.....	13
Artículo 6. Cemento	15
Artículo 7. Agua.....	15
Artículo 8. Áridos.....	15
Artículo 9. Aditivos.....	16

	<i>Págs.</i>
Artículo 10. Hormigones y Morteros	16
Artículo 11. Armaduras pasivas.....	17
Artículo 12. Armaduras activas	17
Artículo 13. Chapa de acero	19
Artículo 14. Materiales elastoméricos para juntas	20
Artículo 15. Pinturas	21
Boquillas metálicas.....	23
CAPÍTULO III. Fabricación.....	25
Artículo 16. Tipos de fabricación.....	27
Artículo 17. Moldes	27
Artículo 18. Camisas de chapa.....	28
Artículo 19. Jaulas de armadura pasiva	28
Artículo 20. Colocación y tesado de armaduras activas.....	29
Artículo 21. Hormigonado	30
Artículo 22. Curado del hormigón	30
Artículo 23. Espesores y Recubrimientos	31
23.1. Tubos de Hormigón Armado con Camisa de Chapa	31
Espesor y Recubrimiento Interior.....	31
Espesor mínimo teórico.....	32
Recubrimiento exterior.....	33
23.2. Tubos de Hormigón Postesado con Camisa de Chapa	33
Espesor del núcleo.....	33
Recubrimientos en núcleo.....	34
Revestimiento exterior.....	34
Artículo 24. Reparaciones durante la fabricación.....	34
Artículo 25. Manipulación y acopio en fábrica	35
Artículo 26. Tolerancias	36
Diámetro interior de los tubos.....	36
Espesor de pared del tubo.....	36
Ovalización del tubo en la zona de junta	36
Dimensiones de la camisa de chapa y de la jaula de	
armaduras	37
Longitud.....	38
Juntas de moldes	38
Alambres de pretensar y de armar	38
Tensión de zunchado	39
Rectitud de generatrices	39
Ortogonalidad de extremos	39
Artículo 27. Marcas.....	39
CAPÍTULO IV. Transporte y montaje.....	41
Artículo 28. Transporte y manipulación.....	43

	<i>Págs.</i>
Artículo 29. Instalación.....	44
En zanja	45
En zanja terraplenada	49
En terraplén	49
Artículo 30. Apoyos.....	50
30.1. Preparación de la base del apoyo.....	50
Apoyo granular.....	52
Apoyo de hormigón.....	52
Artículo 31. Montaje	53
Artículo 32. Juntas	54
32.1. Generalidades.....	54
32.2. Tipos de juntas	55
Flexibles.....	55
Rígidas	55
32.3. Juntas elastoméricas	56
Artículo 33. Rellenos	57
Artículo 34. Compactación	58
Artículo 35. Obras de fábrica	59
Artículo 36. Anclajes	60

TÍTULO 2.º

Realización del proyecto

CAPÍTULO V. Criterios hidráulicos	63
Artículo 37. Criterios generales.....	65
Artículo 38. Velocidad máxima admisible	65
Artículo 39. Pérdida de carga. Fórmula de cálculo.....	65
Artículo 40. Importancia del cálculo de las sobrepresiones.....	66
CAPÍTULO VI. Criterios de durabilidad	67
Artículo 41. Criterio general.....	69
CAPÍTULO VII. Criterios mecánicos.....	71
Generalidades.....	73
Artículo 42. Acciones a considerar	73
Artículo 43. Solicitaciones	75
Artículo 44. Dimensionamiento	75
44.1. Generalidades.....	75
44.2. Dimensionamiento transversal de los tubos.....	75
44.2.1. Tubos de hormigón armado, con camisa de chapa	75
44.2.2. Tubos de hormigón, postesados transversal- mente, con camisa de chapa	76
44.3. Juntas y anclajes.....	77

TÍTULO 3.º

Realización del control

CAPÍTULO VIII.	Control de materiales	81
Artículo 45.	Control de los materiales	83
Artículo 46.	Control de los componentes del hormigón	83
	Cemento	83
	Agua	84
	Áridos.....	84
	Aditivos.....	85
Artículo 47.	Control del hormigón	85
Artículo 48.	Control de la armadura pasiva y activa	86
Artículo 49.	Control de la chapa de acero.....	86
Artículo 50.	Control del material para juntas	86
CAPÍTULO IX.	Control de ejecución.....	87
Artículo 51.	Control de la fabricación	89
Artículo 52.	Control de las camisas de chapa	89
Artículo 53.	Control de las jaulas de armaduras pasivas.....	90
Artículo 54.	Control del tesado de las armaduras activas.....	90
Artículo 55.	Control del hormigonado	91
Artículo 56.	Control de acabado.....	91
CAPÍTULO X.	Control del producto acabado	93
Artículo 57.	Controles dimensionales.....	95
Artículo 58.	Pruebas de estanquidad de los tubos en fábrica.....	95
	Frecuencia del ensayo	95
	Tubos de hormigón armado con camisa de chapa	95
	Presión de prueba en fábrica (PP).....	95
	Tubos de hormigón postesado con camisa de chapa.....	96
	Presión de prueba en fábrica (PP).....	96
CAPÍTULO XI.	Pruebas en obra	97
Artículo 59.	Ensayo de las conducciones.....	99
	59.1. Especificaciones generales	99
	59.2. Prueba de presión	100
	59.2.1. Operaciones preliminares	100
	59.2.1.1. Relleno y anclaje	100
	59.2.1.2. Selección y llenado del tramo de prueba	100
	59.2.2. Presión de prueba	101
	59.2.3. Procedimiento de ensayo.....	101

	<i>Págs.</i>
59.2.3.1. Especificaciones generales.....	101
59.2.3.2. Prueba preliminar.....	102
59.2.3.3. Prueba de purga.....	102
59.2.3.4. Prueba principal de presión.....	103
59.2.3.4.1. Generalidades.....	103
59.2.3.4.2. Método de prueba de pérdida de agua.....	103
59.2.3.4.3. Método de prueba de pérdida o caída de presión.....	104
59.2.3.4.4. Examen de resultados de la prueba.....	104
59.2.3.5. Prueba general de la red.....	105
59.2.4. Anotación de resultados de la prueba.....	105
CAPÍTULO XII. Control de puesta en servicio y mantenimiento de las tuberías.....	107
Artículo 60. Control de puesta en servicio de la tubería.....	109
Artículo 61. Control de mantenimiento de la tubería.....	110

PARTE II

Anejos

ANEJO 1. Notación.....	115
1. Mayúsculas Romanas.....	117
2. Minúsculas Romanas.....	120
3. Mayúsculas Griegas.....	125
4. Minúsculas Griegas.....	125
ANEJO 2. Ensayos de Permeabilidad del Revestimiento en Tuberías Postesadas.....	129
1. Objeto del ensayo.....	131
2. Frecuencia de los ensayos.....	131
3. Equipo de ensayo.....	131
4. Método de ensayo.....	132
5. Resultados de los ensayos.....	133
6. Criterio de aceptación del ensayo.....	133
ANEJO 3. Agresividad de los terrenos y de las aguas.....	135
1. Generalidades.....	137
2. Clasificación de los medios agresivos (aguas y terrenos) y medidas de protección.....	139
2.1. Terrenos y aguas exteriores al tubo.....	139

	<i>Págs.</i>
2.2. Aguas interiores.....	141
2.3. Suelos con baja resistividad.....	141
2.4. Existencia de corrientes vagabundas.....	141
3. Medidas de protección adicionales.....	142
3.1. Tratamiento de las aguas que conduce la tubería.....	142
3.2. Revestimientos especiales.....	144
3.3. Protección catódica.....	144
4. Conexión a otras conducciones.....	146
5. Ensayo de la resistividad del terreno.....	146
ANEJO 4. Cálculo mecánico.....	149
1. Generalidades.....	151
1.1. Apoyo de los tubos.....	151
1.2. Colocación de los tubos.....	151
1.3. Parámetros relativos a la carga de relleno.....	156
1.4. Influencia de las cargas verticales aplicadas en la superficie.....	157
2. Determinación de acciones.....	158
2.1. Acciones a considerar.....	158
2.1.1. Peso propio.....	158
2.1.2. Carga del fluido.....	159
2.1.3. Cargas verticales del relleno.....	159
a) Instalación en zanja.....	159
a.1. Relleno lateral sin compactar.....	159
a.2. Relleno lateral adecuadamente compactado (Proctor Normal 95%).....	160
b) Instalación en zanja terraplenada.....	161
c) Instalación en terraplén.....	162
2.1.4. Cargas concentradas.....	163
2.1.4.1. Cargas concentradas, sin efecto de impacto.....	163
2.1.4.2. Cargas concentradas con efecto de impacto.....	165
2.1.4.3. Aplicación a algunos casos de cargas.....	166
• Cargas producidas por el tráfico carretero.....	166
• Cargas producidas por el tráfico ferroviario.....	168
• Cargas producidas por el tráfico de aviones.....	170
• Cargas producidas por los compactadores.....	171
2.1.5. Cargas uniformemente distribuidas en superficie.....	173
2.1.6. Empuje lateral.....	174
2.1.7. Presión interna.....	174
2.2. Tubería de presión.....	175
2.3. Tubería de hinca.....	175
3. Determinación de esfuerzos transversales.....	177
4. Dimensionamiento de los tubos.....	181
4.1. Tubos de hormigón armado con camisa de chapa.....	181

	<i>Págs.</i>
a) Comprobación del estado límite de rotura.....	181
b) Comprobación del estado límite de fisuración controlada.....	183
4.2. Tubos de hormigón postesado con camisa de chapa.....	184
• Características geométricas.....	185
• Características de los materiales	185
• Postesado transversal	186
ANEJO 5. Golpe de ariete	189
ANEJO 6. Efecto de la temperatura del agua transportada por la tubería.....	193
ANEJO 7. Resistencia al vacío	197
ANEJO 8. Condiciones de uso. Aspectos no considerados en el dimensionamiento	201
1. Cargas excesivas.....	203
2. Defectos en los apoyos.....	203
3. Defectos en las juntas.....	204
Juntas soldadas	204
Juntas elásticas	205
4. Efectos térmicos.....	205
5. Sobrepresiones negativas o positivas.....	206
6. Errores durante la colocación.....	206
7. Anclajes.....	206
8. Aire ocluido	207
9. Reparación.....	207
ANEJO 9. Control de calidad.....	209
1. Fabricación.....	211
2. Control de recepción en obra.....	211
3. Control de ejecución.....	212

