

Sistema de tuberías estructuradas  
para redes de saneamiento  
enterradas sin presión

**POLIECO ESPAÑA, S.A.**  
Pól. Ind. Bobalar, s/n  
46590 ESTIVELLA (VALENCIA)  
Tel. 96 262 85 87 - Fax 96 262 81 91

[www.polieco.es](http://www.polieco.es)  
[www.polieco.com](http://www.polieco.com)



## ÍNDICE

INTRODUCCIÓN	4
<b>CAPÍTULO 1. GENERALIDADES</b>	<b>6</b>
<b><u>1.1 – REDES DE SANEAMIENTO</u></b>	<b>6</b>
<b><u>1.2 – MATERIALES DE USO COMÚN</u></b>	<b>7</b>
<b><u>1.3 – TUBOS RÍGIDOS Y TUBOS FLEXIBLES</u></b>	<b>8</b>
<b><u>1.4 – INTERACCIÓN TUBO-TERRENO</u></b>	<b>10</b>
<b><u>1.5 – LOS TUBOS PLÁSTICOS PARA SANEAMIENTO-TIPOS</u></b>	<b>12</b>
<b><u>1.6 – NORMATIVA</u></b>	<b>12</b>
<b><u>1.7 – TUBOS ESTRUCTURADOS DE MATERIAL TERMOPLÁSTICO</u></b>	<b>12</b>
<b><u>1.8 – TIPOLOGÍA DE LOS TUBOS TERMOPLÁSTICOS ESTRUCTURADOS</u></b>	<b>13</b>
<b>CAPÍTULO 2. EL MATERIAL</b>	<b>14</b>
<b><u>2.1 – EL POLIETILENO</u></b>	<b>14</b>
<b><u>2.2 – CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DEL MATERIAL</u></b>	<b>16</b>
2.2.1 – MÓDULO DE ELASTICIDAD	16
2.2.2 – RESISTENCIA A LA AGRESIÓN QUÍMICA Y ELECTROQUÍMICA	16
2.2.3 – LA RESISTENCIA A LA ABRASIÓN	17
2.2.4 – COMPORTAMIENTO FRENTE A TEMPERATURA Y DILATACIÓN TÉRMICA	18
<b>CAPÍTULO 3. EL PRODUCTO</b>	<b>20</b>
<b><u>3.1 – EL PERFIL DE LA CORRUGACIÓN</u></b>	<b>20</b>
<b><u>3.2 – DIMENSIONES Y PESOS</u></b>	<b>21</b>
<b><u>3.3 – EL PROCESO DE PRODUCCIÓN</u></b>	<b>22</b>
<b><u>3.4 – TOLERANCIAS DE PRODUCCIÓN</u></b>	<b>24</b>
<b><u>3.5 – NORMATIVA ESPECÍFICA</u></b>	<b>26</b>
<b><u>3.6 – ESPECIFICACIONES TÉCNICAS</u></b>	<b>27</b>
<b><u>3.7 – MARCADO DE CONTROL Y SELLOS DE CALIDAD</u></b>	<b>28</b>
<b><u>3.8 – CERTIFICADOS DE PRODUCCIÓN</u></b>	<b>28</b>
<b><u>3.9 – PRESCRIPCIONES DE LA NORMA UNE-EN 13476 PARA LOS TUBOS ESTRUCTURADOS</u></b>	<b>29</b>
<b>CAPÍTULO 4. CÁLCULOS HIDRÁULICOS</b>	<b>31</b>
<b><u>4.1 – CÁLCULOS HIDRÁULICOS</u></b>	<b>31</b>
4.1.1 – LA RUGOSIDAD ABSOLUTA – DATOS COMPARATIVOS	31
4.1.2 – CÁLCULOS DEL CAUDAL	32
4.1.3 – CÁLCULOS HIDRÁULICOS PARA TUBOS DE SANEAMIENTO	28

<b>4. 2 – RESISTENCIA A LA PRESIÓN INTERNA</b>	<b>39</b>
<b>4. 3 – LA RIGIDEZ ANULAR (RCE O SN)</b>	<b>40</b>
<b>4. 4 – CÁLCULO DE LA DEFORMACIÓN BAJO CARGAS EXTERNAS</b>	<b>41</b>
4. 4. 1 – BASES DE CÁLCULO PARA LAS TUBERÍAS FLEXIBLES	41
4. 4. 2 – EL CÁLCULO DE LA DEFORMACIÓN BAJO CARGA	42
4. 4. 3 – CARGA DEL TERRENO	42
4. 4. 4 – CARGA DEBIDA AL TRÁFICO Y CARGAS ESTÁTICAS	44
4. 4. 5 – MÓDULO DE RESISTENCIA DEL TERRENO	46
4. 4. 6 – INFLUENCIA DEL ÁNGULO DE APOYO	47
4. 4. 7 – INFLUENCIA DE LAS CARACTERÍSTICAS DE LA ZANJA EN LA DEFORMACIÓN	48
4. 4. 8 – DEFORMACIÓN A CORTO Y LARGO PLAZO	50
4. 4. 9 – VALORES LÍMITES DE LA DEFORMACIÓN A LARGO PLAZO	52
4. 4. 10 – TENSIONES DE PARED	52
4. 4. 11 – PRESIÓN CRÍTICA EXTERNA.	52
4. 4. 12 – RESISTENCIA LONGITUDINAL A LA TRACCIÓN	53
4. 4. 13 – RADIOS DE CURVATURA Y MOMENTOS FLECTORES	53
<b>CAPÍTULO 5. UTILIZACIÓN E INSTALACIÓN</b>	<b>54</b>
<b>5. 1 – UNIONES Y ACCESORIOS DE TUBERÍAS - POZOS</b>	<b>54</b>
<b>5. 2 – UNIONES</b>	<b>55</b>
5. 2. 1 – MANGUITOS	55
5. 2. 2 – UNIÓN MEDIANTE SOLDADURA	56
<b>5. 3 – INSTALACIÓN</b>	<b>57</b>
5. 3. 1 – TRANSPORTE.	57
5. 3. 2 – DESCARGA Y ACOPIO EN LA OBRA.	57
5. 3. 3 – LECHO DE INSTALACIÓN.	57
5. 3. 4 – EXCAVACIONES	58
5. 3. 5 – INSTALACIÓN.	58
5. 3. 6 – INSTALACIÓN EN PRESENCIA DE NIVEL FREÁTICO	59
5. 3. 7 – INSTALACIÓN DE LOS POZOS Y CONEXIÓN TUBO-POZO	59
5. 3. 8 – UNIÓN A OTROS TIPOS DE TUBERÍAS.	59
5. 3. 9 – RELLENO DE LA EXCAVACIÓN.	60
5. 3. 10 – CONTROL HIDRÁULICO	61
ANEXO – Resistencia del PE a las sustancias químicas	61



## INTRODUCCIÓN

Hace más de 30 años la empresa italiana Polieco, en su fábrica de Cazzago San Martino (ITALIA), ha sido la pionera que puso en funcionamiento los equipos y las tecnologías para producir y poner a disposición del mercado italiano y europeo las tuberías corrugada en polietileno para redes de saneamiento y drenaje:

*Ecopal*<sup>®</sup>

Tube en polietileno estructurado, corrugado, de doble pared ligero y resistente.

Con el pasar del tiempo, Polieco se ha transformado en un holding de empresas y en la actualidad el Grupo POLIECO es líder en Europa. Polieco España S.A. forma parte de esta grande sociedad y representa una de las 8 fábricas que el Grupo ha establecido en 6 diferentes países (Italia, Francia, Suiza, Grecia, Eslovaquia y por supuesto España).

Este Manual Técnico pretende proporcionar a proyectistas y contratistas los elementos informativos y los métodos de cálculo necesarios para una correcta y ventajosa utilización del tubo *Ecopal*<sup>®</sup> en las redes de saneamiento y drenaje. Polieco también pone a disposición de Proyectistas y Técnicos, además del manual, un software de cálculo (EcoCalc) que permite verificar las condiciones de empleo de las tuberías *Ecopal*<sup>®</sup>. Polieco proporciona la asistencia técnica y comercial necesaria a través de los expertos que conforman los Departamentos Técnico y de I+D+I del Grupo; en casos particulares, a través de consultores externos, que sirven de apoyo al trabajo de nuestros técnicos y comerciales. Se pueden obtener referencias sobre los proyectos realizados y las tarifas de precios, bajo demanda a nuestra Dirección Comercial y Dirección Técnica o a través de la red comercial de Polieco España que cuenta con personal suficientemente cualificado, cuyos nombres y direcciones de contacto están disponibles en nuestras oficinas y en nuestra página Web. Desde sus comienzos Polieco fabrica bajo los requisitos y de conformidad con la norma ISO 9001. *Ecopal*<sup>®</sup> ha sido la 1ª tubería plástica que, en 1996, obtuvo la marca de calidad P-IIP otorgada por el Instituto Italiano de Plásticos, para tubos corrugados en base a las prescripciones técnicas de la normativa CEN, en 1999 la marca de calidad francesa *CSTBat* y en 2003 la marca de calidad española AENOR.

El presente manual se refiere a la situación actual, enero de 2009, de la norma UNE-EN 13476. No se prevén modificaciones substanciales en un futuro próximo, respecto a lo que está previsto en la actual edición de la norma UNE-EN 13476 Parte 1 y Parte 3: Sistemas de canalización en materiales plásticos para evacuación y saneamiento enterrado sin presión. Sistemas de canalización de pared estructurada de poli (cloruro de vinilo) no plastificado (PVC-U), polipropileno (PP) y polietileno (PE) - Parte 1: Requisitos generales y características de funcionamiento; Parte 3: Especificaciones para tubos, accesorios con superficie interna lisa y superficie externa corrugada y el sistema, de tipo B. Las futuras variaciones a dicha normativa, serán introducidas en las siguientes ediciones de éste manual.



A lo largo de todo el manual se utilizará el Sistema Internacional de medidas (SI). En particular se recuerda que la tensión se mide en  $\text{Pa} = \text{N}/\text{m}^2$ ,  $\text{MPa} = \text{N}/\text{mm}^2$ . El polietileno de alta densidad se indicará con la sigla PEAD. Los métodos de cálculo, referenciados tanto en este manual como en el software “Ecocalc”, han sido desarrollados sobre la base de fórmulas bien conocidas por la mayoría, utilizando en algunos casos simplificaciones con el fin de hacer más “operativo” el sistema. Conviene hacer una precisión preliminar de carácter técnico. Las tuberías estructuradas en general, esto es válido para cualquier material de base, están clasificadas en base del valor de la Rigidez anular (RCE o SN). Como se destaca en el Manual, la tipología de las paredes de *Ecopal*<sup>®</sup> permite la variación de la clase de rigidez a través de la variación del espesor de las paredes. Esto está unido a la tecnología de producción en coextrusión, que permite la variación de la clase de rigidez con la variación del espesor de la capa externa y/o interna con las consiguientes variaciones del peso y de la velocidad de producción. El peso unitario se indicará, únicamente para la clase 4 para suministrar al proyectista y al instalador un dato aproximado y destacar la ligereza de *Ecopal*<sup>®</sup> permitiendo una valoración de los pesos de desplazamiento en la obra.



## CAPÍTULO 1. GENERALIDADES

### 1. 1 – REDES DE SANEAMIENTO

En este capítulo, más que entrar en el mérito del empleo de diversos materiales, queremos destacar aquellos conceptos que todos los proyectistas y usuarios deberían tener presentes en relación con las redes de saneamiento. Los requisitos fundamentales exigidos en todas las tuberías de saneamiento son los siguientes:

- Características hidráulicas óptimas a corto y a largo plazo
- Resistencia adecuada a la presión interna y también en el caso de sobrepresiones temporales
- Resistencia idónea a las cargas externas
- Juntas de perfecta estanqueidad bidireccional a corto y a largo plazo
- Óptima resistencia a las agresiones químicas y electroquímicas
- Resistencia a la abrasión
- Baja rugosidad y mínima adherencia frente a posibles incrustaciones
- Facilidad de limpieza con las técnicas modernas
- Facilidad y rapidez de instalación y puesta en obra
- Precio competitivo, teniendo en cuenta todo el conjunto de costes de instalación

Los conceptos arriba indicados se prestan a algunas puntualizaciones:

La respuesta de cualquier material frente a los requisitos del proyecto, debe verificarse mediante bases realistas y homogéneas, lo cual debe ser válido, en particular, para las características hidráulicas, diámetro interno y sobre todo a valores de la rugosidad absoluta.

La resistencia a las agresiones químicas o electroquímicas y a la abrasión debe verificarse en función a las características del líquido a desaguar.

La resistencia a la presión interna y la garantía de una perfecta estanqueidad, incluso a largo plazo, se refiere a todas las tuberías, incluso las soldadas, cuya soldadura debe realizarse correctamente, pero en particular a los tubos con enchufe a campana, cuyo elemento clave es la longitud de la campana y las características de la unión.

La estanqueidad debe ser bidireccional (de dentro hacia fuera y de fuera hacia dentro). Muchos problemas de las redes de saneamiento existentes, que repercuten sobre la eficiencia de las EDAR, se producen por la filtración de agua debida al nivel freático o bien por las pérdidas a través de las uniones. **La ausencia de estanqueidad en la actualidad se debe principalmente a defectos de instalación**, por ejemplo la estructura de la junta y el tipo de manguito pueden contribuir a dicho problema, pero también la puesta en obra, recubrimiento y compactación del sistema de tubos.

Los sistemas de limpieza a alta presión o con medios mecánicos pueden tener efectos dañinos sobre algunos materiales, causando el desprendimiento de algunos tipos de juntas e incluso, por añadidura, la rotura del cuerpo central. En relación al coste queremos resaltar que, más que confrontar el coste del tubo, hay que considerar el coste del conjunto de la red de saneamiento, incluidos los previsibles gastos de mantenimiento y la vida útil de la obra, que debe ser la más larga posible.

*Ecopal*<sup>®</sup> presenta óptimas características en todos los puntos antes mencionados.



## 1. 2 – MATERIALES DE USO COMÚN

Históricamente las redes de saneamiento, donde existían, estaban constituidas por canales a cielo abierto o bien por estructuras realizadas con piedras, baldosas o ladrillos.

En la estructura del alcantarillado moderno por lo que respecta a las materias plásticas, el PVC ha sido el primer producto que se ha utilizado en alcantarillados y drenajes, dada la facilidad de colocación y el menor coste. Sin embargo, no siempre, por razones diversas, proporciona las prestaciones exigidas.

Los tubos en polietileno de alta densidad (PEAD), fabricados por extrusión de pared compacta, han tenido un uso irregular, y en la actualidad ya no se utilizan prácticamente para redes de saneamiento sin presión debido a que presentan problemas de costes.

Sin embargo durante los años 80 se han propuesto, con excelentes resultados, tuberías en PEAD estructuradas de doble pared, fabricación por coextrusión.

El concepto primordial de su gran éxito en toda Europa y en EEUU y Canadá, ha sido el de poder utilizar las ventajas intrínsecas del polietileno, en particular su óptima resistencia a aguas residuales especialmente agresivas, desarrollando tubos ligeros con elevada rigidez anular y costes competitivos frente al resto de materiales (teniendo en cuenta todo el conjunto de la instalación). Los primeros en intentarlo fueron empresas alemanas e inglesas como Bauku, Henze, KWH, fabricando mediante tecnologías patentadas y disponibles.

Sucesivamente, también en relación al desarrollo de nuevas licencias, han sido estudiados muchos diferentes tipos de pared estructurada para los tubos en PEAD que han dado la luz, entre otros, a la fabricación del *Ecopal*<sup>®</sup>.

Actualmente, las tuberías en materiales termoplásticos de pared estructurada son sobradamente conocidas en todo el mundo, y sobre todo en España, donde hay una experiencia de casi 20 años en la puesta en obra de estos productos.

Sin embargo puede resultar difícil, para los no conocedores, evaluar correctamente las características técnicas de los diversos tipos y de su fiabilidad para las diversas condiciones de empleo.

Los tubos *Ecopal*<sup>®</sup> presentan una óptima resistencia a la agresividad de las aguas canalizadas, a las sollicitaciones externas durante la instalación, gran facilidad de montaje, **larga vida útil (50 años mínimo) con reducido mantenimiento y una relación excelente de coste/eficacia para la tubería instalada**, que la convierten, si se utiliza correctamente, en el material más adecuado ahora y en el futuro.

Para una obra de saneamiento las consideraciones sobre el coste final de la obra y sobre su “vida útil”, deben resultar prioritarias con el fin de una correcta gestión de las obras públicas.

En base a esto, el proyectista y el usuario deben optimizar el “proyecto”, entendido como el conjunto constituido por el estudio y proyecto de los detalles, de la correcta elección de los materiales, de la precisa definición de los métodos de puesta en obra más económicos, con el propósito de obtener una realización de obra técnica y económicamente aceptable.



## **1.3 – TUBOS RÍGIDOS Y TUBOS FLEXIBLES**

El primer concepto a evidenciar, cuando se habla de tuberías para saneamiento, es la distinción entre tubos rígidos y tubos flexibles.

Se definen rígidos todos aquellos tubos cuya sección de circunferencial no puede sufrir deformaciones horizontales ni verticales, sin que el tubo presente daños. La AWWA (American Water Works Association) clasifica como rígidos aquellos tubos en los que una deformación del 0,1% causa daños y semi-rígidos a aquellos que absorben una deformación de hasta el 3%.

Sin embargo se definen como flexibles aquellos en los cuales la sollicitación externa puede causar cambios en la forma de la sección circunferencial (para AWWA > 3%) **sin causar daños**. La deformación a corto o largo plazo puede alcanzar valores incluso elevados, no compatibles con el correcto funcionamiento de la canalización, sin que el tubo presente daños en la estructura o síntomas de colapso. Son tubos rígidos los de hormigón, fibrocemento, fundición y gres, mientras que son flexibles los tubos de materiales plásticos en general y de PEAD en particular.

La flexibilidad, es decir la capacidad para deformarse en el sentido circunferencial, depende del valor de la Rigidez anular o Anular del tubo (RCE o SN).

**La rigidez anulares** el parámetro que caracteriza a los tubos flexibles y, en relación con su dependencia bien sea de los datos geométricos (momento de inercia de la pared), bien sea por las características del material (módulo de elasticidad), **es definido geoméricamente para los tubos de pared compacta** y con valores bien definidos del módulo de elasticidad (por ejemplo para el acero) **y es definido experimentalmente para otro tipos de tubos como los de pared estructurada o con materiales compuestos**.

En términos técnicos, la rigidez de circunferencial ha sido definida hasta ahora como:

$$SN = E I/D_m^3 \quad (1)$$

donde:

E = módulo elástico, en Pa

$D_m$  = diámetro medio del tubo, en m

I = momento de inercia, en  $m^4/m$

(esta fórmula tal cual, no se puede utilizar para el cálculo en tubos estructurados, sino solo en tubos de pared compacta como se explicará más adelante)

En el contexto de los tubos de saneamiento, “flexible” significa deformable en la dirección del diámetro vertical. En la valoración del concepto de “flexibilidad”, el módulo de elasticidad del material reviste una particular importancia.

El módulo de elasticidad, E, en los tubos rígidos, es mayor que el de los tubos flexibles fabricados con materiales plásticos, pero esto es más bien una desventaja.

Por ejemplo para el fibrocemento  $2,5 \cdot 10^4$  MPa, para el hormigón  $3 \cdot 10^4$  MPa, para el gres  $5 \cdot 10^4$  MPa, para la fundición  $10 \cdot 10^4$  MPa y para la fundición dúctil  $17 \cdot 10^4$  MPa, mientras que para el PVC los valores medios son de  $3,6 \cdot 10^3$  MPa, y para el PEAD  $1,0 \cdot 10^3$  MPa.





Hay que considerar que **en muchos casos un valor alto de E significa “fragilidad”** si el material no posee paralelamente valores elevados de resistencia al impacto; el PEAD además de ser un material flexible posee una muy alta resistencia al impacto incluso a bajas temperaturas (a diferencia por ejemplo del PVC que tiene un módulo mayor pero baja resistencia al impacto).

El segundo término que influye en la rigidez es el momento de inercia de la pared “I”.

Para obtener una adecuada rigidez anular en las tuberías estructuradas, con bajos valores de E, conviene actuar sobre el momento de inercia de la pared del tubo,  $I = s^3/12$ , y por tanto sobre el espesor “s” real o aparente (mejor definido como espesor “equivalente”).

El aumento de *I* se obtiene frecuentemente con un corrugado de la pared externa de la tubería, para evitar espesores importantes y por tanto, altos pesos y costes elevados.



## **1.4 – INTERACCIÓN TUBO-TERRENO**

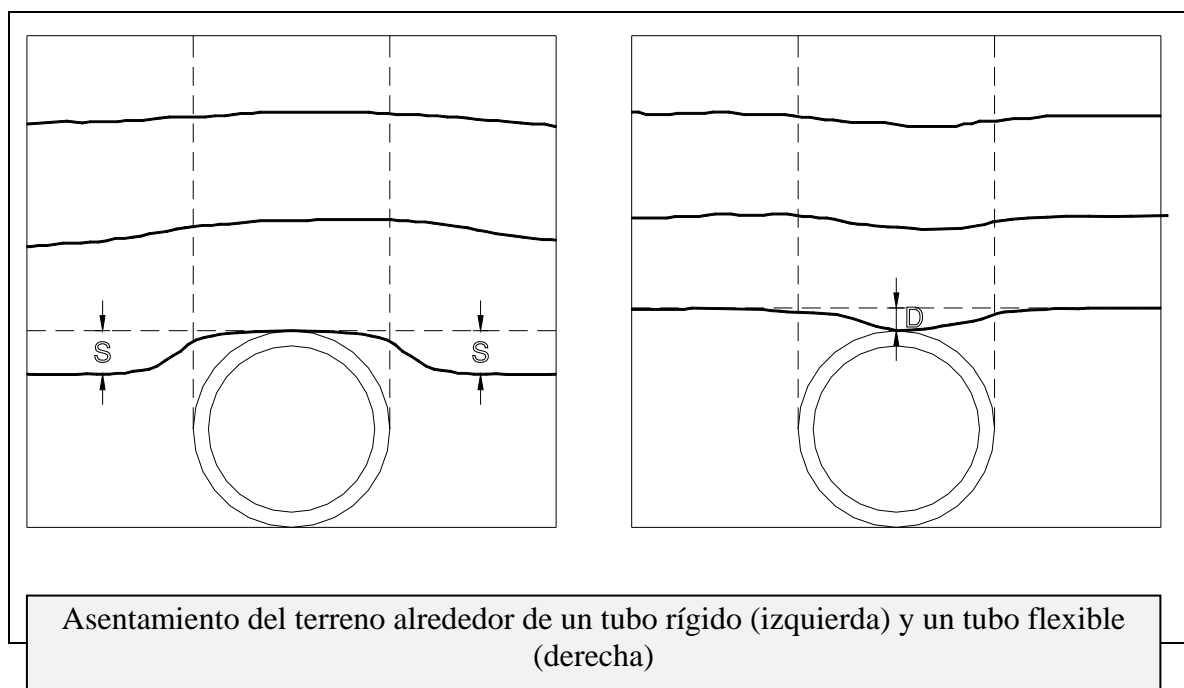
Casi toda tubería instalada en zanja o en terraplén está sometida a cargas externas, debidas al peso del material de recubrimiento y al peso de la maquinaria que pasa por encima. Estas cargas son definidas como cargas estáticas y cargas dinámicas debidas al paso de transportes terrestres, de ferrocarril o transporte aéreo rodante sobre la vertical o en las proximidades de la tubería.

En todas las tuberías instaladas en zanja y sujetas a cargas externas, se verifica una interacción entre el tubo, el material de relleno y la pared de la excavación.

En términos prácticos el conjunto “material de relleno – pared de la excavación” se opone a la deformación de la tubería.

El tipo de análisis y métodos de cálculo son diferentes entre tubos rígidos y flexibles.

En los tubos rígidos la deformación tiene valores absolutos insignificantes o nulos antes de alcanzar el colapso de la estructura. La reacción del terreno se traduce en una disminución de las tensiones de la pared debido a la carga lateral del mismo terreno, similar a un empuje “hidrostático” y representable mediante un diagrama triangular.



El asentamiento del terreno alrededor del tubo es diferente según se trate de tubo flexible o rígido. Véase la figura aquí arriba.

En los tubos flexibles la deformación puede alcanzar valores elevados, pero la “contraflecha” se traduce en una limitación de la deformación. El valor de la carga resulta inferior, la carga está más uniformemente distribuida entre la circunferencia del tubo y el terreno alrededor del tubo; esto se traduce en esfuerzos de compresión y la configuración estática es semejante, en la mayoría de los casos, a un arco cargado uniformemente y vinculado en sus extremos.



Se comprende, por consiguiente, la importancia de obtener en la instalación una resistencia suficiente, a través de la compactación de las zonas laterales y superior del tubo, de manera que limite la deformación a valores aceptables.

Se puede derivar de esta premisa, antes de examinar la fórmula relativa, que cuanto mayor sea la “rigidez” del material de relleno y de alrededor de la tubería, mayor es la resistencia de la canalización ante los esfuerzos externos.

La reacción del binomio “relleno - terreno” que se puede definir como rigidez del contorno, está relacionada con el módulo de elasticidad del material de relleno, que a su vez, depende en gran medida del grado de compactación, y con el módulo, inalterable, de las paredes de la excavación. Se verá más adelante como la rigidez del contorno prevalece, tanto para reducir las deformaciones como las tensiones, sobre la rigidez del tubo.

En general, para los tubos flexibles, se utilizan métodos de cálculo (derivados de los estudios de Spangler, Watkins, Barnard) los cuales tienen en consideración el hecho de que el valor “e” (módulo elástico o módulo de resistencia pasiva del material de relleno) no es constante, mientras que si lo es a fines prácticos, el factor  $E' = e \cdot r$  (donde r es el radio de la tubería), llamado “módulo de deformación” o “módulo secante” con unidades en Pa .

Los valores de E' vienen en tablas, en función del tipo de material y del porcentaje de compactación; el proyectista deberá trabajar con una correcta elección sobre la base de las condiciones locales y de las prescripciones que se impongan para el relleno.

La normativa UNE-EN 13476 explica para las tuberías flexibles el requisito de la resistencia al impacto a 0°C en relación, no sólo con las necesidades de manipulación en la obra, sino precisamente como defensa en el transcurso de la compactación.



## **1.5 – LOS TUBOS PLASTICOS PARA SANEAMIENTO-TIPOS**

Todos los tubos “plásticos” pueden clasificarse como tubos flexibles.

Los tubos de PVC, PE y PP están fabricados con resinas termoplásticas, bien con pared compacta o bien con pared estructurada.

Poseen una elevada resistencia a la agresión química y bajos valores de rugosidad absoluta.

El tipo de material es homogéneo en toda la pared y en las corrugas (salvo para tipos muy particulares con pared alveolar).

Los tubos de PVC se fabrican generalmente con enchufe a campana mientras que los tubos estructurados de PE y PP pueden encontrarse con enchufe a campana, con manguitos o con extremos planos para soldadura.

*Ecopal*<sup>®</sup> ha adoptado la solución con manguito y junta elástica, ya que es menos vinculante en fase de instalación y mucho más fiable que el enchufe a campana o la soldadura.

## **1.6 – NORMATIVA**

En la actualidad la actividad de normalización está cada vez más orientada a la elaboración de una normativa “armonizada” en el ámbito europeo y también internacional. Esto significa que las normas desarrolladas y aprobada a nivel de la comunidad europea (norma EN) son de obligado cumplimiento para todo los países miembros; en el caso de España, las normas europeas se asumen y traducen como normas UNE-EN, como en el caso de la norma de aplicación para los tubos plásticos estructurados para saneamiento UNE-EN 13476 Partes 1, 2 y 3.

En el presente manual se comentará el desarrollo de las normativas específicas para los tubos estructurados para saneamiento sin presión en PEAD como *Ecopal*<sup>®</sup>: UNE-EN 13476 Parte 1 y UNE-EN 13476 Parte 3.

## **1.7 – TUBOS ESTRUCTURADOS DE MATERIAL TERMOPLÁSTICO**

En los casos donde es importante la necesidad de valores elevados de rigidez (RCE o SN), el espesor de la pared (hablamos de pared compacta,) calculado para la correcta resistencia a cargas externas, está normalmente sobredimensionado respecto al espesor necesario para la resistencia a la presión interna.

Por lo tanto los tubos flexibles de pared compacta, tanto en PVC como en PEAD, con elevada rigidez anular, presentan pesos muy elevados y por lo tanto costes muy elevados, que reducen su conveniencia respecto a tubos rígidos.

**De esta consideración deriva fundamentalmente la conveniencia de recurrir a tubos estructurados** (también llamados corrugados) para su utilización en las redes de saneamiento, en baja presión o sin presión: mejora de los espesores de pared y por lo tanto disminución del peso, manteniendo valores elevados y adecuado de rigidez anular



## 1. 8 – TIPOLOGÍA DE LOS TUBOS TERMOPLÁSTICOS ESTRUCTURADOS

Los Tubos estructurados han sido definidos inicialmente como “tubos con pared externa perfilada y pared interna lisa”. La normativa de referencia para estos tubos es la UNE-EN 13476 válida para el PE, PVC y PP y prevé 3 tipos de pared con normalización alternativa para diámetros internos o externos: tipo A1: estructura tipo alveolar o pared hueca con huecos aislados; tipo A2: estructura de pared hueca con oquedades dispuestas en espiral; tipo B: estructura corrugada con ondulación helicoidal o anular, llena o vacía.

La norma UNE-EN 13476 indica las clases de rigidez 4 u 8 kPa referidas al diámetro medio.

Si se examina el uso en el mercado de los diferentes perfiles indicados en la UNE-EN 13476 se puede observar que: el perfil tipo A1 (alveolar) es poco utilizado por el PE, sin embargo, si lo es para el PVC y está, de cualquier manera, normalizado por el diámetro externo. El perfil tipo A2 es utilizado en los tubos de PE y PP, normalizados por el diámetro interno. La fabricación es principalmente alemana. **El perfil tipo B, como el de *Ecopal*<sup>®</sup>, es el más utilizado** para tubos de cualquier tipo de resina. Para el PVC la sección típica es la de corruga llena, para el PE y PP es el de corruga hueca coextruida. La UNE-EN 13476 además permite, para el tipo B, que es el que nos ocupa, la doble normalización sobre el diámetro interno (ID) o externo (OD), prescribiendo los espesores mínimos de la pared interna o indicando como debe ser medido.

Los fabricantes pueden elegir, en base a las exigencias propias y del mercado, el tipo de normalización; actualmente la tendencia para *Ecopal*<sup>®</sup> es sobre el diámetro externo, aunque ya se utilizan ampliamente los diámetros internos. En la tabla siguiente se puede ver la gama de diámetros de los tubos *Ecopal*<sup>®</sup> que fabrica Polieco (normalizado s externos e internos) y los valores de diámetros internos/externos (según aplique) mínimos previstos por la norma y medios de fabricación de Polieco.

### DIMENSIONALES: DIÁMETRO NORMALIZADO EXTERNO (OD)

DN/OD	110	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1000	1200
<b>Di min</b>	90	105	134	167	209	263	335	418	527	669	921	1005
<b>Di med</b>	92	107	138	186	216	271	343	427	535	678	951	1030

### DIMENSIONALES: DIÁMETRO NORMALIZADO INTERNO (ID)

DN/ID	300	400	500	600	800
<b>Dext</b>	<b>350</b>	<b>465</b>	<b>580</b>	<b>700</b>	<b>930</b>
<b>Di min</b>	294	392	490	588	785
<b>Di med</b>	300	400	500	600	800

Como se puede observar en las tablas, *Ecopal*<sup>®</sup> presenta valores de diámetros internos (Di med) muy superiores a los mínimos requeridos en la norma (Di min). Manteniendo los diámetros y actuando sobre los espesores de pared interna y externa del tubo se fabrican las clases SN4 y SN8 kN/m<sup>2</sup>.



## CAPITULO 2. EL MATERIAL

### 2. 1 – EL POLIETILENO

Consideramos útil recordar a continuación la clasificación de los Polietilenos en función de su resistencia y de las diferentes condiciones de los ensayos, en base a lo establecido en la norma UNE-EN 12201. La clasificación adjunta es válida para todos los PE.

La resistencia a la tracción circunferencial de una tubería puede entenderse como la capacidad para resistir esfuerzos de tracción derivados de la acción de la presión interior. La resistencia a la tracción de los tubos de PE se mide a través del parámetro conocido como Tensión Mínima Requerida, MRS. Los tipos de PE utilizados para la fabricación de tubos se suelen clasificar según su MRS, y así, según se indica en las normas españolas y europeas puede tomar los valores que se indican en la tabla adjunta, de manera que existen cuatro tipos posibles de tubos de polietileno: PE 40, 63, 80 y 100.

#### CLASIFICACIÓN DEL PE

Resistencia a largo plazo LCL (MPa)	Tensión mínima requerida MRS (MPa)	Denominación
4,00 - 4,99	4	PE 40
6,30 - 7,99	6,3	PE 63
8,00 - 9,99	8	PE 80
10,00 - 11,19	10	PE 100

Los anteriores valores normalizados del LCL y MRS son los que se estima tendrá el material en el largo plazo (50 años). La clasificación en base a la MRS es la que habitualmente se utiliza, hoy en día, para definir el tipo de PE en las tuberías, independientemente del tipo de la tubería fabricada. En la práctica, MRS define el mínimo valor de la tensión admisible a largo plazo para el material (50 años, 23°C).

#### ESPECIFICACIONES PARA LA RESISTENCIA A LA PRESIÓN INTERNA

Temperatura de ensayo	20°C	80°C	80°C
Duración del ensayo	100 h	165 h	1000 h
PE	MPa	MPa	MPa
100	12,4	5,5	5,0
80	9,0	4,6	4,0
63	8,0	3,5	3,2
40	7,0	2,5	2,0

Los números indican los valores de la presión en MPa a los cuales se debe ajustar la muestra, con la temperatura del ensayo y para la duración prevista. A la finalización del ensayo no deben aparecer roturas.

Para los tubos estructurados, está indicado en la norma que la prueba de clasificación pueda realizarse sobre muestras de tubo a pared llena, que hayan sido fabricados con el mismo material.



Para el **Ecopal<sup>®</sup>** se utiliza granza de polietileno de alta densidad (PEAD) de primera calidad cuyas características exigidas en la norma UNE-EN 13476 se detallan a continuación:

### PRESCRIPCIONES SOBRE EL MATERIAL (PE)

Características	Prescripciones	Parámetros del ensayo		Método del ensayo
		Característica	Valor	
Densidad	$\geq 930 \text{ kg/m}^3$	Temperatura	$(23 \pm 2) \text{ }^\circ\text{C}$	UNE-EN ISO1183
Índice de fluidez	MFR $\leq 1,6$	Temperatura	190 $^\circ\text{C}$	UNE-EN ISO 1133 condición T
		Carga	5 kg	
Resistencia a la presión interna (resistencia a largo plazo)  165 h	Ninguna rotura en el período del ensayo	Sistema de cierre Número muestras Temperatura ensayo Orientación Tensión circunf. Tipo de ensayo Duración	Tipos A o B 3 80 $^\circ\text{C}$ Libre 4,0 MPa Agua/Agua 165 h	UNE-EN ISO 1167 Parte 1 y 2
Resistencia a la presión interna (resistencia a largo plazo)  1000 h	Ninguna rotura en el período del ensayo	Sistema de cierre Número muestras Temperatura ensayo Orientación Tensión circunf. Tipo de ensayo Duración	Tipos A o B 3 80 $^\circ\text{C}$ Libre 2,8 MPa Agua/Agua 1000 h	UNE-EN ISO 1167 Parte 1 y 2
Estabilidad térmica	$\geq 20$ minutos	Temperatura	200 $^\circ\text{C}$	UNE-EN 728



## 2. 2 – CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DEL MATERIAL

### 2.2.1. MÓDULO DE ELASTICIDAD

El polietileno utilizado en la fabricación del *Ecopal*<sup>®</sup> presenta todas las características reconocidas de las resinas termoplásticas, en otras palabras, los parámetros técnicos en particular el módulo de elasticidad E y la deformación bajo carga, variables con la temperatura y el tiempo. El polietileno como todas las resinas tiene un comportamiento especialmente viscoelástico, por ello si está sometido a un esfuerzo algunas propiedades varían mucho y otras menos. Para cuantificar este comportamiento se ha utilizado la clasificación de los polietilenos utilizados para los tubos a presión. Se ha tomado como referencia el PE63, muy conocido y utilizado para tubos a presión para líquidos, ya que son los mejores para la fabricación de tubos estructurados. Naturalmente este sistema se completa con pruebas adecuadas para garantizar la duración de su buen comportamiento.

Las normas de referencia, incluyendo la ATV-127, indican las siguientes propiedades:

Módulo de elasticidad	<b>E ≥ 1000</b>
<b>MPa</b>	
Densidad media	≈ 940 kg/m <sup>3</sup>
Coefficiente de dilatación térmica	≈ 0,17 mm/m K
Conductibilidad térmica	(0,36 ÷ 0,50) W K <sup>-1</sup> m <sup>-1</sup>
Capacidad térmica	(2300 ÷ 2900) J kg <sup>-1</sup> K <sup>-1</sup>
Resistividad superficial	> 10 <sup>13</sup> Ω

### 2. 2. 2 – RESISTENCIA A LA AGRESIÓN QUÍMICA Y ELECTROQUÍMICA

Son bien conocidas las características de resistencia a la agresión química del PE.

Estas características se encuentran detalladas en la norma UNE-EN 13476, la cual afirma que los materiales de PE son resistentes a aguas con una amplia gama de valores de pH, cualquier residuo doméstico y la mayoría de los industriales, aguas de lluvia, aguas de superficie y subterráneas.

Hay que precisar que si los productos son utilizados para aguas contaminadas por productos químicos provenientes de desechos industriales, debe tenerse en cuenta tanto la resistencia química como la térmica. Informaciones al respecto se contienen en la norma ISO/TR 7474.

En lo relativo a la resistencia a la agresión electroquímica, el PE es eléctricamente inerte, por consiguiente, dicha agresión no puede presentarse.

Un argumento que utilizan los detractores de las resinas es la resistencia de los productos de PE a la agresión biológica. Mientras que el ataque bioquímico, hongos, encimas, etc., y los producidos por los insectos puede considerarse inexistente, no está claro que el ataque por parte de los roedores, topes y ratas, resulte realmente un peligro.





Según demuestra la amplia experiencia de más de 35 años en el mercado europeo e internacional, no hay ningún caso probado. Aunque si se han detectado algunas incisiones de dientes sobre algunos tramos de tubos antiguos que han sido sustituidos; estos se han producido en particular sobre tubos de PVC estabilizado con Pb.

En la práctica, se puede afirmar razonablemente que los tubos de PE no presentan agresiones para el ambiente y, a su vez, no eliminan sustancias dañinas para el mismo.

### 2. 2. 3 – LA RESISTENCIA A LA ABRASIÓN

La resistencia a la abrasión, o erosión, de los diferentes materiales es siempre objeto de debate, tanto por lo que respecta al mecanismo de la misma como a la evaluación de los efectos y de la duración a lo largo del tiempo de los materiales sometidos a un fluido que contiene material abrasivo. Respecto al fenómeno, que es evidente en los saneamientos como en los desagües, se ha intentado valorar sus efectos a través de pruebas prácticas, que casi nunca son comparables ya que se realizan con fluidos y condiciones diferentes.

En general, el trabajo se ha encaminado hacia dos parámetros de control: la cantidad de material desgastado en un determinado tiempo, o el tiempo necesario para “perforar” el tubo de un cierto material. En los saneamientos, la abrasión se produce sobre todo en la parte inferior del tubo, pero turbulencias localizadas pueden extenderla a toda la pared.

La abrasión sobreviene por fricción, rozamiento, rodadura o corte, tanto por arrastre como por turbulencia o por choque y es tanto más acentuada en cuanto la partícula sea más dura e irregular.

Los tipos de abrasión pueden clasificarse como:

- Penetración: la partícula “incide” en la tubería y seguidamente se suelta dejando una cavidad en el material del tubo.
- Arado: la partícula crea un surco, acumulando en el frente y en los lados el material que después es arrastrado.
- Corte: la partícula actúa como un utensilio cortante que elimina partículas de material.
- Fractura: la partícula crea una rotura superficial.

El mecanismo de abrasión es diferente según la dureza superficial y la elasticidad del material, pero tampoco esto puede generalizarse de manera absoluta.

Se han realizado diversos estudios, dirigidos tanto a comprobar el comportamiento real de las partículas sólidas en las tuberías (la cantidad es siempre indeterminada y de todos modos extremadamente variable), como los mecanismos de sedimentación y de autolimpieza de los conductos. Disponemos de textos tanto con datos de ensayos como con datos reales. En general, por la variabilidad de los parámetros del fenómeno (hablamos de tipo y material de las partículas, de su velocidad de sedimentación, velocidad de flujo, inclinación, presencia o no de celdas, de los parámetros mecánicos, de la rugosidad inicial de la superficie interna del tubo, etc.) es difícil alcanzar conclusiones unánimes.

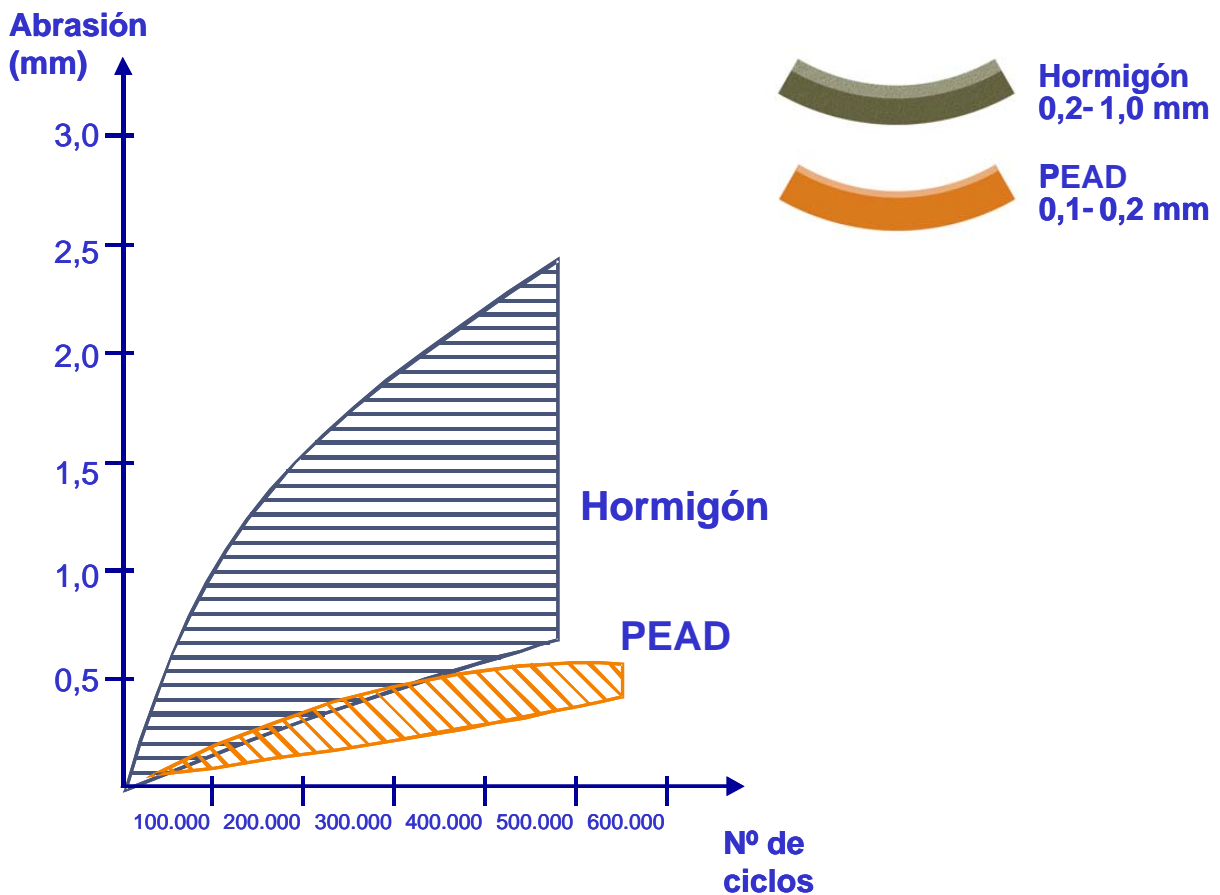
En el campo de los saneamientos, sólo el gres debe someterse a pruebas de desgaste (UNE-EN 476) puesto que las posibles imperfecciones de la superficie vitrificada pueden dar lugar a abrasiones localizadas.



Por lo que respecta al PE, se puede afirmar que, en igualdad de condiciones, éste presenta características de resistencia a la abrasión indudablemente muy superiores en comparación con otros materiales. Esto ha sido demostrado con pruebas específicas, realizadas especialmente en el Instituto para las Materias Plásticas de DARMSTAT (Alemania) y por algunos productores, pero sobre todo por la duración en funcionamiento de tuberías que transportaban escorias de minerales.

Una indicación a tener en cuenta se encuentra en las pruebas realizadas para determinar el tiempo necesario para el desprendimiento de la misma cantidad de material de la pared interna de diversos tipos de tubo, en igualdad de condiciones (agua con arena, proporción 15/85%, velocidad 10 m/s): se puede observar como la abrasión en los tubos de polietileno (como Ecopal) es muy inferior, y esto se traduce en una mayor vida útil de las tuberías de polietileno (aproximadamente hasta 5 veces más que el hormigón).

	HORMIGÓN	ACERO	PVC	GRÉS	PE
HORAS ENSAYO	20	34	50	60	100





## 2. 2. 4 – COMPORTAMIENTO POR TEMPERATURA Y DILATACIÓN TÉRMICA

Según la norma UNE-EN 13476, las tuberías y los accesorios deben ser idóneos para resistir la temperatura de acuerdo con lo indicado en la norma UNE-EN 476, es decir, 45 °C para diámetros de hasta 200 mm y 35°C para diámetros superiores.

El PE presenta un coeficiente de dilatación lineal igual a  $(1,7 \div 2)10^{-4} \text{ }^{\circ}\text{C}^{-1}$ .

La variación dimensional de los tubos estructurados no forma parte de los requisitos de la normativa, sino como causa de erosiones en las láminas o agrietamientos. La dilatación es sin embargo un factor significativo para la instalación, ya que se puede crear, como consecuencia de errores en el curso de la misma, tensiones anómalas o desencaje de las juntas. Por lo tanto es necesario tener en cuenta la dilatación en la fase de colocación y de recubrimiento.

Sin embargo **se puede afirmar que, en general, un tubo estructurado presenta una dilatación lineal inferior a la de los tubos de pared llena**. Esta afirmación se basa en el hecho de que la estructura presenta valores del coeficiente de dilatación iguales en toda la superficie expuesta, pero la expansión o contracción está contrastada con valores obtenidos a temperatura ambiente, con muestras de la misma longitud de una tubería de pared compacta del mismo diámetro y material base. Se han realizado pruebas de laboratorio sobre *Ecopal*<sup>®</sup> para comprobar su comportamiento respecto a la dilatación. Las muestras han sido acondicionadas a -10 e +70 °C y la longitud ha sido comparada con los valores medidos a temperatura ambiente y con los de una muestra de la misma longitud de tubo de pared compacta del mismo diámetro y material. El alargamiento de la muestra de *Ecopal*<sup>®</sup> ha sido, por término medio, inferior en un 50% al del tubo de pared compacta.

Se puede afirmar por lo tanto que **el coeficiente de dilatación aparente es para *Ecopal*<sup>®</sup> del orden de magnitud de  $1 \cdot 10^{-4} \text{ }^{\circ}\text{C}^{-1}$** . Además se han realizado pruebas para la comprobación de la variación del diámetro externo en función de la temperatura.

Para el complejo mecanismo de la dilatación longitudinal y del corrugado, se ha detectado que tanto a -10 como a +70 °C, la alteración del valor inicial a temperatura ambiente no supera el  $\pm 0.5 \%$ . *Ecopal*<sup>®</sup> reacciona ante las variaciones térmicas menos que el tubo de pared compacta.

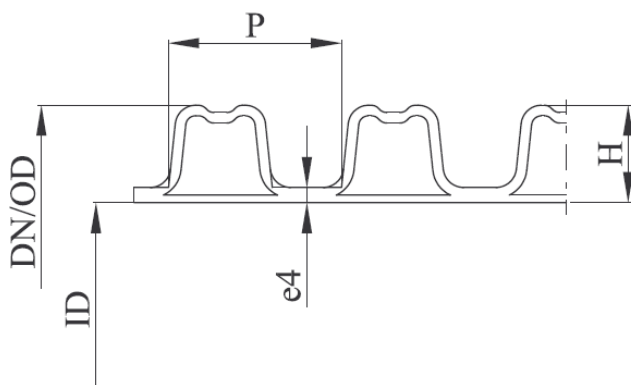


## CAPITULO 3. EL PRODUCTO

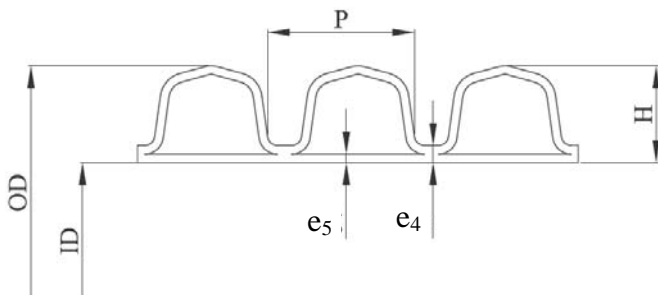
### 3.1 – EL PERFIL

La fabricación de *Ecopal*<sup>®</sup> deriva del desarrollo de un sistema de producción para una pared estructurada de corrugas anchas que ha tenido lugar en Canadá y ha sido aplicada, con la experiencia de varios años, en los países anglosajones. Perfiles similares se empezaron a fabricar hace muchos años de forma análoga en Alemania y Escandinavia.

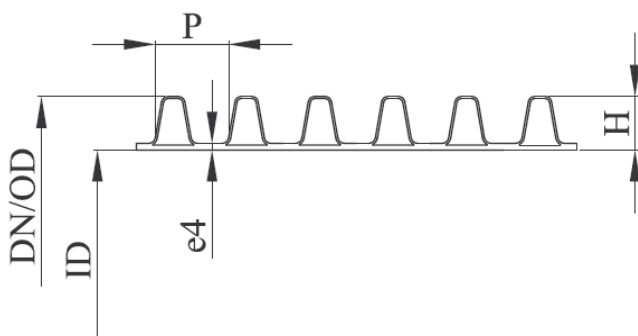
Los perfiles de *Ecopal*<sup>®</sup> son perfiles particulares, perteneciente al tipo B de las normas UNE-EN 13476, pero derivados del más reciente desarrollo de sistemas de producción de Polieco, que ha permitido modificar la tradicional estructura del corrugado, **obteniendo un perfil óptimo para cada diámetro** fabricado (con clave plana, semicircular o en doble arco):



Perfil típico de los diámetros normalizados externos (DN/OD) desde 250 mm hasta 1200 mm OD.



Perfil típico de los diámetros normalizados internos (DN/ID) desde 300 mm hasta 800 mm ID.



Perfil típico de los diámetros normalizados externos (DN/OD) desde 110 mm hasta 200 mm OD.

El perfil del tubo corrugado coextrusionado de doble pared de polietileno *Ecopal*<sup>®</sup> es el que está representado en la figura aquí arriba.



Los valores de ID para los diámetros normalizados internos y de OD para los diámetros normalizados externos (y por lo tanto los valores de H), son establecidos por cada fabricante en base a unas indicaciones de la norma, porque derivan del tipo de producción:

DN/OD: diámetro externo normalizado “externo” según UNE-EN 13476

DN/ID: diámetro interno normalizado “interno” según UNE-EN 13476

OD: diámetro externo

ID: diámetro interno

e<sub>5</sub>: espesor pared interna según UNE-EN 13476

e<sub>4</sub>: espesor zona soldadura (coextrusión) según UNE-EN 13476

P: paso entre dos corrugaciones

H: altura de corrugación

La forma característica de la onda o del doble arco de la parte superior del corrugado, que se suele utilizar para los diámetros  $\geq 250$  mm, está determinada por el sistema de producción basado en una tecnología patentada. La estructura con corrugado ancho, ofrece la posibilidad de modificar la rigidez de circunferencial  $SN = 4 \div 8$  kPa, actuando sólo en el espesor “s” del corrugado.

Para los diámetros  $< 250$  mm las características de la sección son ligeramente diferentes. Principalmente el paso resulta muy limitado por una estructura compleja y el espesor de las paredes no puede ser reducido excesivamente. En los pequeños diámetros *Ecopal*<sup>®</sup> presenta una estructura tradicional semicircular plana, permitiendo la interconexión y continuidad entre el espesor interno y el corrugado y, por otra parte, como casi todos los tubos estructurados, asume valores reales de SN muy superiores a los nominales (en general  $SN \geq 8 \div 10$  kPa).

La forma compleja hace laborioso el cálculo teórico de la posición del eje neutro y del momento de inercia de la pared.

### **3. 2 – DIMENSIONES Y PESOS.**

Las dimensiones y los pesos de la tabla han de considerarse puramente indicativos y son relativos a la clase  $SN = 4$  kPa correspondiente al producto más solicitado. Los valores indicados son los valores medios de producción. La producción con los valores medios indicados garantiza un valor de SN superior a 4 kPa (normalmente entre 5 y 6,5 kPa alcanzando incluso los 7 y 7,5 kPa en ocasiones).

PESOS (kg/ml) PARA LA CLASE 4: DIÁMETRO NORMALIZADO EXTERNO (OD)

DN/OD	110	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1000	1200
PESO (kg/ml)	0,8	1,0	1,5	1,8	2,9	4,6	7,0	12,0	17,7	24,5	40,5	56

PESOS (kg/ml) PARA LA CLASE 4: DIÁMETRO NORMALIZADO INTERNO (ID)

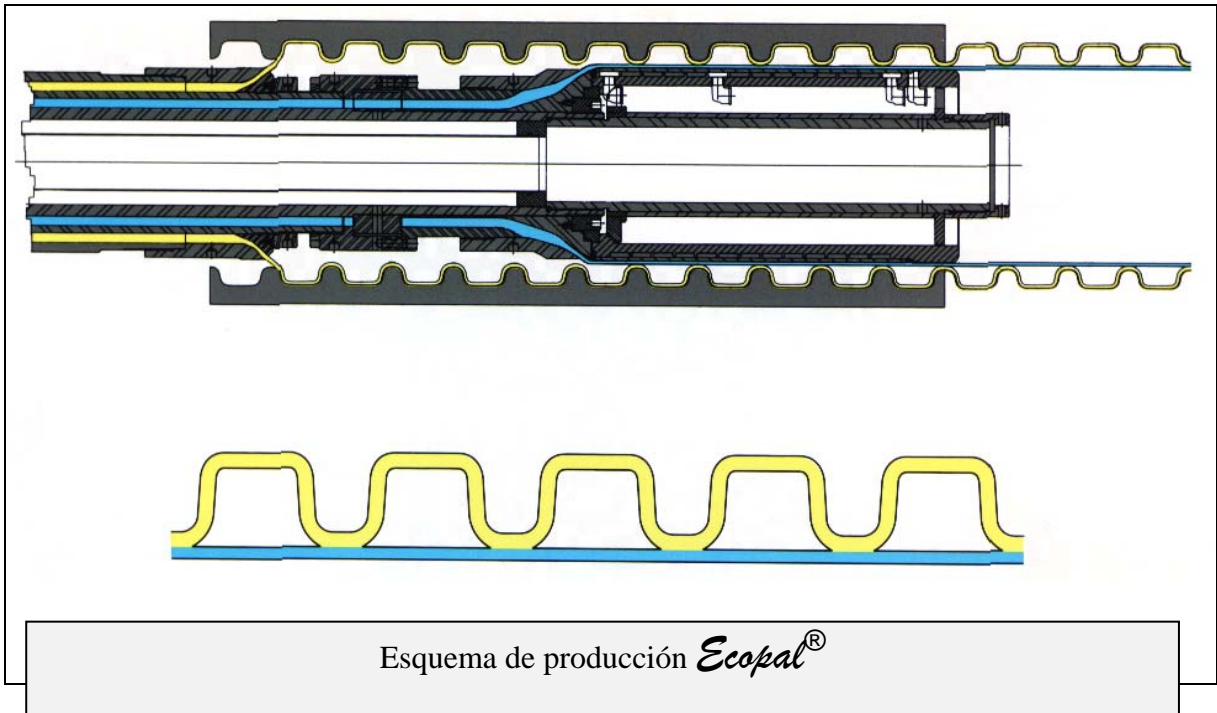
DN/ID	300	400	500	600	800
PESO (kg/ml)	5,6	9,0	13,9	20,4	39,1

Los datos corresponden a los valores indicados en la norma UNE-EN 13476.



### 3.3 – LA PRODUCCIÓN

La producción de *Ecopal*<sup>®</sup> se realiza con una máquina especial de coextrusión, de patente canadiense que posteriormente fue optimizada en Alemania. El esquema de la citada máquina está representado en la figura a continuación.



Conceptualmente, la máquina consiste en un doble cabezal que extrusiona el material sobre dos anillos concéntricos (de ahí la definición de “coextrusionado”) y sucesivamente forma las corrugaciones mediante una matriz móvil. Esquematisando el proceso de formación del tubo se puede individualizar en las siguientes fases:

- I) La primera hilera es la externa, que produce un “tubo” con pared de espesor “s” en el interior de la primera sección de la matriz. En esta sección se crea el exterior de modo que el material fluido se apoye en la pared interna de la matriz, asumiendo la forma del corrugado.
- II) La hilera más interna genera la parte interior del tubo, en la práctica construye un tubo de espesor  $e_5$  cuya forma circular es el diámetro interno controlado por el cilindro de la máquina.
- III) Al mismo tiempo que se crea el interior del tubo, el corrugado ya formado anteriormente a alta temperatura, se une al estrato interno con una adecuada compresión radial que permite la unión de los dos moldes en la zona de contacto y una perfecta soldadura del corrugado. Esta acción permite comprender como el espesor  $e_4$  resulta diferente de la suma ( $e_5+s$ ).

La materia prima que entra en los cabezales de extrusión es polietileno en granza; es transportado desde los silos de almacenamiento a las tolvas situadas sobre los extrusores. Cada uno de los dos extrusores que forman una línea de fabricación tiene diferente capacidad (en grandes diámetros la pared interna representa aproximadamente 1/3 de la masa total del tubo).



Este complejo sistema asegura una capacidad de producción hasta los 1000 kg/h para los grandes diámetros y con velocidades de fabricación que varían según el diámetro.

La matriz exterior (moldes) se mueve con un sistema de orugas.

La velocidad de extrusión y de la matriz están calibradas de manera tal que aseguran una estructura homogénea con parámetros geométricos óptimos; los parámetros regulares, velocidad, temperatura de la matriz, grado de vacío, presión del aire y potencias absorbidas son supervisados en unos cuadros de control computerizado.

Después, el tubo formado se mantiene bajo presión interna con aire; se enfría en una primera fase antes de la salida de la matriz y posteriormente se produce otro enfriamiento por circulación de aire refrigerado o agua.

Para finalizar, el tubo se corta a la longitud deseada, realizando dicho corte siempre en el valle entre dos corrugas.

La tecnología *Ecopal*<sup>®</sup> se diferencia de otras similares, en cuanto a que el tubo está producido por coextrusión de las dos capas que lo componen y la formación de corrugado anular por fusión de las dos capas por presión mecánica sobre el material a alta temperatura. Así mismo, con superposición de los perfiles sobre una estructura base ya parcialmente enfriada.

No se ha observado ninguna tensión interna o externa anómala debido a posibles alteraciones de la temperatura que pueden, a medio o largo plazo, producir el aflojamiento, la erosión de las láminas o el distanciamiento del corrugado.



### 3.4 – TOLERANCIAS DE PRODUCCIÓN

Los datos de pesos facilitados anteriormente son para los tubos de producción estándar en la clase de rigidez anular 4 kPa. Los valores garantizados son, además de la rigidez anular SN, que se obtiene de los ensayos de laboratorio sobre el tubo fabricado, los indicados en la tabla siguiente, con las respectivas tolerancias, tal y como se establece en la norma UNE-EN 13476:

**TOLERANCIAS DIMENSIONALES DE LA NORMA (mm)**

DIÁMETRO EXT DN/OD (mm)	TOLERANCIA DIÁMETRO EXT (mm)	DIÁMETRO INT MIN. (mm)	ESPESOR MIN. PARED INTERNA $e_5$ MIN (mm)	ESPESOR MIN. ZONA SOLDADURA $e_4$ MIN (mm)	ALTURA MIN. CORRUGACIÓN $E_C$ MIN (mm)
110	109,4 – 110,4	90	1,0	1,0	4,2
125	124,3 – 125,4	105	1,0	1,1	4,8
160	159,1 – 160,5	134	1,0	1,2	6,2
200	198,8 – 200,6	167	1,1	1,4	7,7
250	248,5 – 250,8	209	1,4	1,7	9,6
315	313,2 – 316,0	263	1,6	1,9	12,1
400	397,6 – 401,2	335	2,0	2,3	15,3
500	497,0 – 501,5	418	2,8	2,8	19,1
630	626,3 – 631,9	527	3,3	3,3	24,1
800	795,2 – 802,4	669	4,1	4,1	30,6
1000	994,0 – 1003,0	837	5,0	5,0	38,2
1200	1192,8 – 1203,6	1005	5,0	5,0	45,9

DN/ID (mm)	D. EXTERNO (mm)	DIÁMETRO EXT. MIN. (mm)	ESPESOR MIN. PARED INTERNA $e_5$ MIN (mm)	ESPESOR MIN. ZONA SOLDADURA $e_4$ MIN (mm)	ALTURA MIN. CORRUGACIÓN $E_C$ MIN (mm)
300	350	347,9	1,7	2,0	13,4
400	465	462,2	2,3	2,5	17,8
500	580	576,5	3,0	3,0	22,2
600	700	695,8	3,5	3,5	26,8
800	935	929,4	4,5	4,5	35,7

Los valores del diámetro interno adoptados como estándar para todas las clases de *Ecopal*<sup>®</sup> (en el caso de tubos normalizados externos OD) son superiores a los valores mínimos requeridos en la norma UNE-EN 13476. Esto depende del hecho de que los diferentes tipos de rigidez se obtienen solamente a través de la modificación del espesor del corrugado y no, como en otros tipos de tubo, a través de variaciones de altura y/o paso del corrugado. En cambio, la clase SN 8 se produce actuando también sobre el espesor  $e_5$  y por lo tanto sobre el diámetro interno, aunque las diferencias son mínimas.





Algunas variaciones pueden detectarse en los valores de los espesores, que de todos modos no influyen en la característica principal del tubo, es decir la SN, estas variaciones por las tolerancias de elaboración y por las contracciones de enfriamiento, presentes en todos los tipos de tuberías de PE. Los estándares de fabricación permiten mantener constante el valor del diámetro interno, dentro de las tolerancias normales de contracción y por lo tanto, permiten al proyectista realizar los cálculos hidráulicos sobre la base de valores reales y constantes.

Puesto que los valores de la Rigidez anular (SN) se obtienen a través de un ensayo de laboratorio sobre el producto, de debe poner en evidencia que todos los tubos que están por debajo del valor mínimo de clase se clasifican en la clase inferior.

Por ejemplo, pertenecen a la clase SN 4 todos los tubos en los que  $4 \text{ kPa} \leq \text{SN} < 8 \text{ kPa}$ .

La tipología de las máquinas de producción, con moldes que producen un corrugado de medidas normalizadas, garantiza de todos modos el cumplimiento de las medidas indicadas. La forma del corrugado no sufre variaciones salvo las derivadas de la retracción durante el enfriamiento.

Por lo que respecta a las tolerancias de producción los valores fijados son los mínimos, por lo tanto las tolerancias son todas del tipo  $= -0/+XX$ , y no influyen negativamente en las características de rigidez de circunferencial.

En especial, como ya se ha indicado, SN debe ser  $\geq$  del valor mínimo declarado.

Para los pequeños diámetros, hasta DN 200 incluido, los valores reales de rigidez son mucho mayores que los declarados. La razón reside en la imposibilidad para los tubos estructurados de pequeño diámetro, de realizar los espesores finos que se derivan del cálculo teórico, en cuanto que los mismos no resultan estables durante la fase de producción.



### **3.5 – NORMATIVA ESPECÍFICA**

La normativa de referencia para el *Ecopal*<sup>®</sup> está contenida en la norma UNE-EN 13476 Parte 1 y Parte 3.

La norma UNE-EN ISO 9969 citada en este catálogo reviste particular importancia ya que constituye la base para la determinación de la rigidez anular y por lo tanto para la definición de la clase de rigidez SN.

*Ecopal*<sup>®</sup> es definido como:

TUBO CORRUGADO COEXTRUSIONADO DE DOBLE PARED CON CORRUGADO ANULAR TIPO B según la norma UNE-EN 13476.

Las normas adoptadas, además de la ya citada UNE-EN 13476, son principalmente:

- UNE-EN ISO 9969: Tubos de materiales termoplásticos. Determinación de la rigidez anular.
- Normas UNE, ISO y EN incluidas en la norma UNE-EN 13476.

En el mercado se encuentran referencias a otras normas, principalmente alemanas o americanas que, aún refiriéndose a tubos estructurados y siendo sustancialmente análogas, difieren en detalles bien importantes, por ejemplo, el ya citado dimensionamiento, tanto en relación al diámetro como a los espesores, la definición de la rigidez, algunos métodos de ensayo, etc. Por ejemplo, la característica principal que es la rigidez anular se obtiene con métodos y fórmulas similares aunque con parámetros y condiciones de ensayo diferentes.

Dada la confusión que se crea cada vez entre los valores de la deformación aplicada en el curso del ensayo (para la determinación experimental de SN) y el límite para la deformación a largo plazo del tubo instalado y en servicio, es interesante para el proyectista la precisión dada por la ASTM: “ El criterio del 5% de deformación escogido arbitrariamente por conveniencia en el ensayo (3% para las normas UNE-EN ISO 9969) no debe ser considerado una limitación de la deformación en obra. El ingeniero es responsable de la definición de la deformación aceptable ... [obviamente en fase de servicio]”.

Sin embargo la norma UNE-EN 13476 indica: “.. las prescripciones para tubos, accesorios y otros componentes y las condiciones funcionales para sistemas de tubos de pared estructurada de polietileno (PE) ... especifica los parámetros y los métodos de prueba para los ensayos previstos en la presente norma” y desarrolla :

- Características del material.
- Prescripciones generales sobre los tubos en términos de: aspecto, color, características geométricas, características mecánicas y características físicas.
- Prescripciones para las uniones y accesorios.
- Compatibilidad con el uso, prescripciones y ensayos.
- Marcado.
- Especificaciones para el uso de materiales que se pueden volver a procesar y a reciclar .
- Características del material PE.



### **3.6 – ESPECIFICACIONES TÉCNICAS.**

El proyectista, el constructor o el cliente, público o privado, que debe prescribir o adquirir un tubo para saneamiento, debe emitir una especificación precisa apta para individualizar las características del tubo deseado que comprenda, además de las prescripciones sobre el material base, todos los parámetros característicos del tubo mismo.

La especificación típica para tubos estructurados, tipo *Scopal*<sup>®</sup>, está indicada a continuación. Esta misma comprende las referencias normativas y los datos relativos a la tipología particular del producto.

Tubería para la conducción de aguas residuales domésticas e industriales, fabricado en Polietileno (PE) con densidad  $> 930 \text{ kg/m}^3$ , según la norma UNE-EN 13476.

Diámetro exterior ..... mm y diámetro interior ..... mm (normalizado OD o ID) en base a la norma UNE-EN 13476) en barras de (6 - 12 m – o bajo pedido).

Corrugado externamente y con pared interna lisa, tipo B según UNE-EN 13476, fabricado con doble pared mediante coextrusión, asegurando la rigidez anular necesaria gracias al corrugado anular.

Pared resistente con espesor  $e_5 \geq$  (valor de la normativa), medido en la zona del interior de la corrugación, según las especificaciones de la norma, apto para soportar una carga hidrostática mínima  $h \geq \dots$  m de columna de agua (permanente o eventual). Clase de Rigidez anular  $SN \geq (4 - 8) \text{ kN/m}^2$  obtenida sobre muestras del producto según UNE-EN ISO 9969.

Normativas de referencias:

- UNE-EN 13476 Parte 1 y Parte 3
- UNE-EN ISO 9969

Normativas de referencia para los parámetros de ensayo como se indica en las normas citadas.

Color: interior blanco para facilitar la inspección mediante cámara de TV (otro según pedido); exterior negro para protección contra los rayos UV (otro según pedido).

Marcado según norma, conteniendo: [marca de calidad y referencia del contrato] [referencia normativa], [fabricante y marca], [material], [tipo de tubo y aplicación], [diámetro nominal OD o ID], [clase de rigidez SN], [referencia flexibilidad RF30], [referencia impacto IMPO°C], [fecha/hora/minuto de fabricación].

Extremos cortados perpendicularmente al eje en la hendidura entre corrugas sucesivas.

Uniones a realizar con manguito en polietileno (a parte o soldado al tubo) y junta de estanqueidad en EPDM.

La especificación arriba indicada sirve para identificar el tipo de tubo solicitado y creemos se puede utilizar incluso en el Pliego de Condiciones Técnicas Particulares. En la práctica y en la experiencia (y también en base a lo que prescribe la norma UNE-EN ISO 9969) los valores del módulo elástico E no se deben tener en cuenta a la hora de definir la tubería: la rigidez anular que sirve para la clasificación del tubo se obtiene a través de un ensayo fuerza-deformación. En las pruebas de determinación de SN, el valor de E no aparece en la fórmula de cálculo. El Término  $E \cdot I$ , que indica la rigidez en el caso de tubos de pared compacta, no permite obtener el valor de I sin conocer E. En la determinación del momento de inercia de la pared I, dado el SN, se adopta generalmente un valor de E estándar.



Dichos valores de E son en cualquier caso variables en función de la tensión de la pared, de la temperatura y del tiempo y por tanto no son valores constantes. El proyectista deberá indicar en las especificaciones requeridas al material, los datos relativos a la carga hidrostática máxima en la canalización, al menos si la misma supera los límites previstos en la norma UNE-EN 13476 y particularmente para las juntas y precisar si la misma va a ser continua o eventual. En la normativa las tuberías en cuestión, aunque de hecho son resistentes a la presión interna, son consideradas “Tuberías sin presión”.

*Ecopal*<sup>®</sup> se fabrica en las clases SN 4 y 8 kPa. La clase 16, se fabrica bajo pedido en PP.

### **3. 7 – MARCADO DE CONTROL Y SELLOS DE CALIDAD.**

El marcado de los tubos sigue las prescripciones de la UNE-EN 13476. Dichas prescripciones exigen como mínimo:

- Referencia a la norma de aplicación;
- Nombre o símbolo del fabricante;
- Clase de rigidez (indicada con SN);
- material (PE);
- código U para la aplicación en el exterior de edificios;
- lote de fabricación;

El marcado puede ser directamente impreso sobre el tubo o también puede aplicarse con etiquetas en las que el nivel de legibilidad sea conforme al tipo “duraderas incluso durante el uso”.

La tubería *Ecopal*<sup>®</sup>, además de ser fabricada bajo los procedimientos y controles en conformidad con la ISO 9001 (registro de empresa ER AENOR), posee la marca de calidad N de AENOR con nº de contrato 001/000630, tal y como indicamos en nuestros marcados.

Ejemplo: N, AENOR, 001/000630, UNE-EN 13476, POLIECO, ECOPAL, PE, Tipo B -U-, DIÁMETRO EXT.(mm) OD, SN (4 u 8), RF30, IMP 0°C, FECHA HORA Y MINUTOS

### **3. 8 – CERTIFICADOS DE PRODUCCIÓN**

Toda la fabricación del *Ecopal*<sup>®</sup> está controlada de forma continua en producción y diariamente por nuestro Laboratorio de Control de Calidad.

Las características son las indicadas en las fichas técnicas de producto, que cubren los ensayos exigidos por la norma UNE-EN 13476.

Para cada lote de material (granza) realizamos los ensayos requeridos por la norma, antes de que éste entre en el proceso productivo.

Polieco realiza diariamente para cada tipo o lote de tubo los ensayos relativos a:

- Longitud y aspecto del producto terminado según UNE-EN ISO 13476;
- Control dimensional sobre el diámetro interno, externo y espesores de pared según UNE-EN ISO 13476 y UNE-EN ISO 3126;
- Determinación de la rigidez anular según UNE-EN ISO 9969;



- Flexibilidad con deformación hasta el 30% y observación de ausencia de defectos y fisuras según UNE-EN 1446 (será sustituida por la UNE-EN ISO 13968: 2009)
- Resistencia al Impacto a baja temperatura a 0°C y observación de ausencia de defectos y fisuras según UNE-EN 744.
- Resistencia al calor con observación de ausencia de deslaminaciones según ISO 12091.

Los otros ensayos previstos por la UNE-EN 13476 (estanqueidad de las uniones y fluencia), son realizados con la frecuencia establecida en el reglamento particular de marca N AENOR (RP 01-45) y en nuestro propio sistema y forman parte de la documentación de fabricación.

Además, en los laboratorios del Grupo POLIECO, se llevan a cabo puntualmente pruebas de comportamiento *tubo + manguito + junta* llenando de agua a presión hidrostática en relación con la deformación bajo carga externa. Estas son pruebas no requeridas por la normativa, pero han sido puestas a punto en nuestros laboratorios para examinar todos los aspectos del comportamiento del *Ecopal*<sup>®</sup> en relación con las esfuerzos más diversos que se pueden considerar en su empleo.

### **3. 9 – PRESCRIPCIONES DE LA NORMA UNE-EN 13476 PARA LOS TUBOS ESTRUCTURADOS**

A parte de los requisitos dimensionales, que ha sido examinada específicamente en los párrafos precedentes, la UNE-EN 13476 contiene 3 grupos de prescripciones aplicables a todos los tubos estructurados:

- Características mecánicas.
- Características físicas.
- Características funcionales.

#### **CARACTERÍSTICAS MECÁNICAS**

Características	Prescripciones	Parámetros de ensayo		Métodos de ensayo
		Características	Valores	
Rigidez anular	$\geq$ a la SN de la clasificación			UNE-EN ISO 9969
Fluencia	$\leq 4$ , con extrapolación a 2 años			UNE-EN ISO 9967
Resistencia al impacto a 0°C	TIR $\leq 10\%$	Temperatura ensayo Acondicionamiento Tipo de percutor Masa del percusor  Altura de caída	0°C Agua/aire d90 de 0,5 kg a 3,2 kg según diámetro 1,6 mt y 2 mt según diámetro	UNE-EN 744
Flexibilidad del anillo al 30%	Véase UNE-EN 13476	Deformación	30 % del diámetro externo	UNE-EN 1446 (será sustituida por la UNE-EN ISO 13968)



## CARACTERÍSTICAS FÍSICAS

Características	Prescripciones	Parámetros de ensayo		Métodos de ensayo
		Características	Valores	
Resistencia al calor (Oven Test)	Véase UNE-EN 13476	Temperatura ensayo Tiempo de ensayo: espesor pared $\leq 8$ mm espesor pared $> 8$ mm	$(110 \pm 2) ^\circ\text{C}$  30 min 60 min	ISO 12091

## CARACTERÍSTICAS FUNCIONALES

Características	Prescripciones	Parámetros de ensayo		Métodos de ensayo
		Características	Valores	
Estanqueidad de las uniones	Ninguna pérdida Ninguna pérdida $\leq - 0,27$ bar	temperatura	$(23 \pm 2) ^\circ\text{C}$	UNE-EN 1277 Cond. B (deformación diametral)
		deform. tubo	$\geq 10$ %	
		deform. manguito	$\geq 5$ %	
		pres. agua	0,05 bar	
		pres. agua	0,5 bar	
		pres. aire	- 0,3 bar	
		temperatura	$(23 \pm 2) ^\circ\text{C}$	UNE-EN 1277 Cond. C (deflexión angular)
		$D_e \leq 315$	ángulo $2^\circ$	
		$315 < D_e \leq 630$	ángulo $1,5^\circ$	
		$630 < D_e$	ángulo $1^\circ$	
		pres. agua	0,05 bar	
		pres. agua	0,5 bar	
		pres. aire	- 0,3 bar	

En lo relativo a las características superficiales de los tubos, las normas prescriben que:

- Mediante examen visual, las superficies interna y externa deben ser lisas, limpias y ausentes de incisiones, oquedades u otras irregularidades superficiales;
- El material no debe contener impurezas visibles o poros;
- Los extremos del tubo deben estar cortados perpendicularmente al eje, sin rebabas.

Las características geométricas deben responder a las dimensiones indicadas en la norma UNE-EN 13476 medidas de acuerdo con la norma UNE-EN ISO 3126.



## CAPITULO 4. CÁLCULOS HIDRÁULICOS

### 4. 1 – CÁLCULOS HIDRÁULICOS

#### 4. 1. 1 – LA RUGOSIDAD ABSOLUTA – DATOS COMPARATIVOS

Para las tuberías en general, un término de discusión, desde siempre, es el valor de la rugosidad absoluta “k” en mm (o de los coeficientes aplicables en las diversas fórmulas hidráulicas) aplicable en la fórmula de Colebrook. Cada fabricante tiende a presentar su tubería como “lisa”, sugiriendo valores de k lo más bajos posibles. La tabla siguiente nos da un ejemplo parcial de la disparidad de valores obtenidos de diversas fuentes, en mm.

Acero nuevo	de 0,01 a 0,1
Fundición nueva	de 0,01 a 1
Fundición con revest., bituminoso o cemento	de 0,03 a 0,2
Materiales plásticos en general	de 0,01 a 0,1
PEAD	de 0,007 a 0,5
Hormigón nuevo centrifugado	0,03
Hormigón nuevo alisado	de 0,2 a 0,5
Hormigón nuevo basto	de 1,0 a 2,0
Gres	de 0,1 a 1,0
Tuberías viejas de aguas agresivas y corrosivas	2,0

El examen de la tabla nos lleva a la conclusión de que, incluso en los mismos materiales, existen disparidad de interpretaciones y que a menudo los valores se sugieren sin indicar sus límites de aplicabilidad y sin tener en cuenta el natural envejecimiento y deterioro de las tuberías en servicio.

El proyectista debe por tanto evaluar correctamente las condiciones de funcionamiento y sobre todo, en el caso de que compare diferentes materiales, adoptar órdenes de magnitud homogéneos.

En general, es necesario adoptar preferiblemente valores de la rugosidad absoluta o de los coeficientes que puedan proporcionar la máxima tranquilidad no sólo en el presente, sino también en el funcionamiento futuro, teniendo en cuenta todas las incógnitas a partir de las capacidades de cada proyecto, que entran a formar parte del mismo.

El software de cálculo de *Scopal*<sup>®</sup> presenta los valores de 0,25 mm. para aguas limpias y de 0,50 mm. para aguas residuales, frente al 0,007 - 0,01 adoptado comúnmente para tubos nuevos.

Si examinamos las reglamentaciones internacionales encontramos:

Austria: OWWV - R5 (Directrices para el cálculo hidráulico de los alcantarillados):

- k = 0,4 ÷ 1,0 mm para conductos largos;
- k = 1,0 mm para canalizaciones largas para transporte;
- k = 1,5 mm para canalizaciones normales

Suiza: SIA 190 y Doc. 38 - Canalizaciones

- k = 0,1 mm para tubos lisos - plásticos;
- k = 1,0 mm para tubos rugosos - cemento



Francia: Instructions techniques relatives aux réseaux d'assainissement des agglomérations.  
Se basa en Bazin, con k entre 0,16 y 0,46 mm

Inglaterra: Code of Practice CP 2005, Sewerage : no obligatorio.  
Suministra las “Charts for the Hydraulic design of Channels and pipes” con valores de  
 $k = 0,003 \div 60$  mm. El proyectista es responsable del valor elegido.

Alemania: ATV 110,  $k = 0,25$  mm para aguas limpias y saneamientos lineales y  $k = 0,5$  mm  
Para saneamientos con aguas residuales o saneamientos con pozos o piezas especiales,  
teniendo siempre en cuenta que las pérdidas localizadas de carga deben tenerse en  
cuenta en los cálculos del proyecto.

#### 4. 1. 2 – CÁLCULO DEL CAUDAL

El cálculo hidráulico para una tubería se basa, hasta hoy, preferentemente en la ecuación de Prandtl-Colebrook, en su formulación para tuberías “técnicamente rugosas”  
En su forma general la fórmula se presenta como:

$$1/\sqrt{\lambda} = 2\log\{(2,51/Re\sqrt{\lambda}) + (k/3,71D_i)\} \quad (2)$$

donde:

$Re = v D_i/v$  es el número de Reynolds,

$D_i$  es el diámetro interno en m

$v$  es la velocidad media en m/s

$\nu$  la viscosidad cinemática del fluido a la temperatura de funcionamiento.

$\nu$  varía para el agua de  $1,52 \cdot 10^{-6}$  m<sup>2</sup>/s a 5°C a  $0,661 \cdot 10^{-6}$  m<sup>2</sup>/s a 40 °C.

Para los saneamientos, en casos particulares, se utiliza una densidad  $\gamma = 999 \approx 1000$  kg/m<sup>3</sup> y una viscosidad cinemática  $\nu = 1,142 \cdot 10^{-6}$  m<sup>2</sup>/s (correspondiente a 15 °C). La fórmula permite obtener  $\lambda$  por interacción que se utiliza en la fórmula

$$\Delta h = \lambda v^2 / 2 g D_i \quad (3)$$

que proporciona la pérdida de carga unitaria en la tubería – excluidos los desniveles geodésicos – en función del diámetro y de la velocidad.

$\lambda$  puede obtenerse a partir del diagrama de Moody, que desarrolla la fórmula (2).

La otra formulación, de cálculo más sencillo, proporciona la velocidad y por tanto la capacidad, en función de la pendiente hidráulica  $J$  ( m /m) = (  $h \pm h_o / L$  ) donde  $h$  es la pérdida de carga unitaria disponible y  $h_o$  es el desnivel geodésico.

La fórmula es más cómoda puesto que parte de una hipótesis de carga hidráulica disponible (desnivel dividido por la longitud) y no requiere operaciones complejas.





$$v = 1/\sqrt{\lambda} = 2 \log \left\{ (2,51/D_i \sqrt{(2g D_i J)}) + (k/3,71D_i) \right\} \sqrt{(2g D_i J)} \quad (4)$$

donde:

$$Q = v \pi D_i^2 / 4 \quad (5)$$

Obviamente es más cómodo, en el dimensionamiento de una conducción en general, partir de la capacidad y obtener las pérdidas de carga.

Son interesantes para el proyectista, además de las consideraciones sobre la rugosidad, los datos suministrados para los valores críticos de velocidad y de pendiente para evitar la sedimentación en la conducción.

Los valores se tabulan en relación al diámetro interno y van de  $v_{crit}=0,50$  m/s,  $J_{crit}=0,204\%$  para  $D_i = 200$  mm a  $v_{crit} = 1,12$  m/s,  $J_{crit} = 0,126\%$  para  $D_i = 1000$  mm.

Se suministran también las tablas para el cálculo de caudal en función de la altura de llenado y para el cálculo de la altura de llenado en función del caudal para diversas secciones de las canalizaciones. En caso de deformación por aplastamiento, el área del elipsoide resultante tiende a disminuir respecto al área del círculo inicial, quedando inalterado el perímetro; el radio hidráulico, por lo tanto, disminuye en proporción directa.

En todo caso, desde el punto de vista hidráulico, un porcentaje de deformación dentro de los límites aceptables del 5 ÷ 6% resulta poco influyente en la pérdida de la carga.

Por lo tanto se puede asumir, con suficiente aproximación, que los parámetros de flujo permanecen inalterados incluso en el caso de pequeñas deformaciones.

En el anexo se aporta una tabla con los valores de la rugosidad relativa  $k/D_i$  y un diagrama indicativo de las pérdidas de carga en m/1000 m en función de la capacidad para los tubos *Ecopal*<sup>®</sup>.

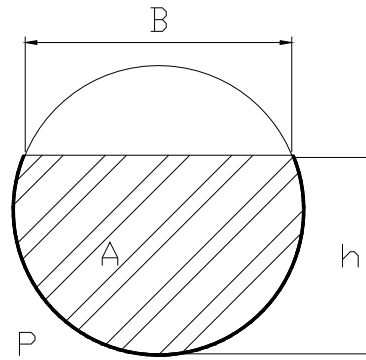
#### 4. 1. 3- CÁLCULOS HIDRÁULICOS PARA TUBOS DE SANEAMIENTO

Supongamos que el tubo se comporte como un canal, es decir que el flujo del líquido sea el de un canal de sección circular y que el líquido moje sólo una parte del tubo.

Como es sabido, se emplea la fórmula de Chézy para el movimiento uniforme de corrientes de superficie libre:

$$v = \chi R^{1/2} i^{1/2} \quad (6)$$

donde  $v$  es la velocidad media del fluido,  $\chi$  un coeficiente de conducción dependiente de la rugosidad homogénea equivalente,  $\varepsilon$  (mm), del número de Reynolds,  $Re$ , y del coeficiente de forma del canal,  $\varphi$  (igual a 1 para la sección circular).  $R$  es el radio hidráulico definido como la relación entre la superficie de la sección del flujo,  $A$ , y el contorno del mismo que toca el canal,  $P$ . En el caso considerado la sección es una parte del círculo y por lo tanto:



$$A = \frac{1}{2} r^2 \{[(\pi/90^\circ) \arccos(1-h/r)] - \sin[2 \arccos(1-h/r)]\} \quad (7)$$

$$P = r [(\pi/90^\circ) \arccos(1-h/r)] \quad (8)$$

$$B = r [2 \sin \arccos(1-h/r)] \quad (9)$$

$i$  es la pendiente.

En general la forma de la función  $\chi$  resulta de (Colebrook - Marchi):

$$\chi = 5.7 \log (\chi / \varphi \text{Re} + \varepsilon / 13.3 \text{R} \varphi) \quad (10)$$

En el caso de movimiento totalmente turbulento, la expresión se simplifica en varias fórmulas empíricas y las más empleadas para  $\chi$  son las de:

a) Bazin

$$\chi_B = 87 / (1 + \gamma / \text{R}^{1/2}) \quad (11)$$

b) Gauckler- Stricker

$$\chi_{GS} = K_S \text{R}^{1/6} \quad (12)$$

en las cuales  $\gamma$  y  $K_S$  son parámetros ligados a la rugosidad de la canalización. Por tanto:

$$V_B = \chi_B \text{R}^{1/2} i^{1/2} \quad (13)$$

$$V_{GS} = \chi_{GS} \text{R}^{1/2} i^{1/2} \quad (14)$$

### Parámetros de rugosidad

Los valores de los parámetros de rugosidad, ( $\gamma$ ,  $K_S$ ), de las fórmulas del movimiento uniforme se asignan en función de la naturaleza, del estado de conservación y de empleo del material que constituye las paredes del canal. Para canales que transportan aguas blancas, los valores recomendados se indican en la tabla [Marchi y Rubatta 1981].



TIPO DE CANALIZACIÓN	Bazin $\gamma$ [ $m^{1/2}$ ]	Gauckler - Stickler $K_S$ [ $m^{1/3} s^{-1}$ ]
Paredes de cemento perfectamente alisado.		
Paredes de polietileno ( <i>Ecopal</i> <sup>®</sup> )		
Paredes metálicas sin resaltes en las uniones.	0,06	100 ÷ 90
Paredes de cemento no perfectamente alisado.		
Mampostería de ladrillos muy regular.		
Paredes metálicas de clavado estándar.	0,16	85 ÷ 75
Paredes de cemento en condiciones no perfectas.		
Mampostería más o menos cuidada.	0,23 ÷ 0,36	70 ÷ 65

Por lo que respecta a las redes de saneamiento, hay que observar que las características de rugosidad, en condiciones de material nuevo, de las superficies destinadas a ponerse en contacto con el líquido no son significativas ya que, con el uso, sobre el fondo y las paredes se forma una película biológica que, conjuntamente con los depósitos, determina la rugosidad hidráulica de la canalización.

El aumento de la rugosidad con el uso, que caracteriza más o menos marcadamente todos los materiales, depende de la facilidad con la cual las sustancias orgánicas se adhieren a las paredes de la canalización y, sobre todo, de las velocidades que caracterizan a los caudales transitantes.

Las rugosidades homogéneas equivalentes  $\varepsilon$  (de la fórmula de Colebrook - Marchi) que, en condiciones de canalización nueva, asumen valores dependientes del tipo de material, pero de todas maneras se encuentran aproximadamente en unas fracciones de milímetro ( $\varepsilon = 0,02 \div 0,1$  mm), después de unos días de utilización, pueden asumir valores diferentes de algunos milímetros dependiendo del tipo de material y de las velocidades de flujo que han afectado a la canalización.

Teniendo también en consideración las prescripciones de la American Society for Testing Materials (ASTM) y de la Water Pollution Control Federation (WPCF) [Mongiardini 1984], y del manual [ASCE y WEF 1992], los valores de los parámetros de rugosidad recomendados para las redes de saneamientos están indicados en la tabla.

#### PARÁMETROS DE RUGOSIDAD

MATERIAL	Marchi, Colebrook $\varepsilon$ [mm]	Gauckler - Stickler $K_S$ [ $m^{1/3} s^{-1}$ ]
Hormigón monolítico		
- con encofrados lisos	0,3 ÷ 1,5	90 ÷ 70
- con encofrados rugosos	1,5 ÷ 6	70 ÷ 60
Mampostería de ladrillos	1,5 ÷ 6	70 ÷ 60
Tuberías de hormigón	0,3 ÷ 3	90 ÷ 67
Tuberías de gres	0,3 ÷ 3	90 ÷ 67
Tuberías de material plástico	0,3 ÷ 3	90 ÷ 67
Tuberías de fundición	0,3 ÷ 3	90 ÷ 67
Tuberías de fibrocemento	0,3 ÷ 3	90 ÷ 67



La tabla indica los valores predefinidos del parámetro  $K_S$  de Gauckler - Stickler asumidos por el programa de cálculo MOUSE para la simulación del comportamiento hidráulico de redes de saneamiento. Este programa calcula por separado las pérdidas de carga relacionadas con la presencia de registros de inspección, acometidas y cambios de dirección.

<u>MATERIAL</u>	<u>Gauckler - Stickler <math>K_S</math> [m<sup>1/3</sup> s<sup>-1</sup>]</u>
Hormigón liso	85
Hormigón normal	75
Hormigón rugoso	68
Materiales plásticos	80
Fundición	70
Productos cerámicos	70
Gres vitrificado	80



## Discusión

Para obtener una representación visual, hemos representado las velocidades  $V_B$  y  $V_{GS}$  en función de  $r$  por  $h = 1/2$  y tres valores de los parámetros  $\gamma$  y  $K_S$ .

	$\gamma$	$K_S$	$\chi_B$	$\chi_{GS}$	$V_B$	$V_{GS}$
$r = 0,1$	0,06	100	68,8	60,7	15,4	13,3
$r^{1/2} = 0,316$	0,16	80		51,1	48,6	11,5
$R = 0,05$		0,25	70		41,1	42,5
$R^{1/2} = 0,224$						9,2
$R^{2/3} = 0,136$						9,5
$R^{1/6} = 0,607$						
$r = 0,2$	0,06	100	73,0	68,1	23,1	21,5
$r^{1/2} = 0,448$	0,16	80		57,9	54,5	18,3
$R = 0,1$		0,25	70		48,5	47,7
$R^{1/2} = 0,316$						15,0
$R^{2/3} = 0,215$						13,5
$R^{1/6} = 0,681$						
$r = 0,4$	0,06	100	76,7	76,5	34,3	34,2
$r^{1/2} = 0,632$	0,16	80		64,1	61,1	28,7
$R = 0,2$		0,25	70		55,8	53,5
$R^{1/2} = 0,448$						26,0
$R^{2/3} = 0,342$						23,9
$R^{1/6} = 0,765$						
$r = 0,6$	0,06	100	78,5	81,8	43,0	44,8
$r^{1/2} = 0,776$	0,16	80		67,5	65,4	37,0
$R = 0,3$		0,25	70		59,9	57,2
$R^{1/2} = 0,548$						32,8
$R^{2/3} = 0,448$						31,4
$R^{1/6} = 0,818$						

Se advierte una dependencia considerable tanto del radio como del parámetro relacionado con la rugosidad. Teniendo en consideración que la pared de polietileno que constituye la pared interna del tubo es muy lisa a nivel microscópico y además, siendo el polietileno extremadamente inerte a los varios compuestos químicos, no existiendo ningún empalme, la formación de estratos peliculares biológicos resultará muy reducida.

Los hundimientos tendrían que actuar como frenos del flujo sólo en caso de flujos muy reducidos y, por consecuencia, muy lentos. Sin embargo esta eventualidad es muy rara en las redes de saneamiento. De todos modos, si se tiene en consideración que en un proyecto hidráulico en lo que concierne al tubo rectilíneo, la parte preponderante, durante el frenado del flujo, viene dada por las fisuras en los puntos de unión, se puede considerar totalmente insignificante la presencia de ligeros hundimientos, que aumentan el diámetro, aunque sea poco, en esa parte en el régimen hidráulico.



### Determinación del caudal correspondiente a un tirante hidráulico convenido por medio de la fórmula de Bazin

Se calcula en función de  $h$  la superficie mojada  $A$  y su contorno  $P$ . Se obtiene el radio hidráulico  $R = A/P$ . Sucesivamente por medio de la (8) se obtiene la  $v_B$ . Por tanto  $Q = v A$ .

Ejemplo

Tubo *Ecopal*<sup>®</sup> de diámetro nominal externo igual a 0,5 m.

Diámetro interno igual a 0,427 m.

Pendiente  $i$  igual a 2 m/1000m.

Tirante hídrico igual a 0,3 m.

Elegiremos  $\gamma = 0,16$ .

Realizados los cálculos obtendremos:

$$A = 0,106 \text{ m}^2$$

$$P = 0,835 \text{ m}$$

$$R = 0,127 \text{ m}$$

$$i^{1/2} = 0,0447$$

$$v = 0,166 \text{ ms}^{-1}$$

$$\chi = 37,14$$

$$Q = 0,0176 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$$

### Determinación del tirante hidráulico correspondiente a un caudal convenido

Supongamos establecer  $Q$ , y querer determinar  $h$ . Sabemos que

$$Q = \chi A R^{1/2} i^{1/2} \quad (15)$$

$$v = \chi R^{1/2} i^{1/2} \quad (6)$$

La (15) y la (6) contienen implícitamente  $h$ , gracias a las fórmulas (7) y (8), que se pueden calcular mediante un método interactivo o más simplemente utilizando las tablas o los gráficos aunque sean computerizados que dan  $Q$  y  $v$  para diferentes valores de  $h$ .

Para secciones frecuentes se pueden utilizar cómodamente escalas de caudal específicas referidas a una pendiente unitaria ( $i = 1$ ).



## **4. 2 – RESISTENCIA A LA PRESIÓN INTERNA**

Por lo general se considerarán los saneamientos como tubos no sometidos a presión; las mismas normativas no se apartan de este concepto, aunque prevean el concepto de hermeticidad a presión, limitada a 0,5 bar, en las uniones. Eso es cierto en general, puesto que los sistemas de gravedad no permiten alcanzar físicamente valores de presión superiores a  $5 \div 6$  m de columna de agua; sin embargo el proyectista y el usuario se preocupan siempre de las posibles condiciones anómalas de funcionamiento. A pesar de no ser considerados tubos a presión, algunos tipos de tubos estructurados, incluido el *Ecopal*<sup>®</sup>, presentan una buena resistencia a la presión interna, en particular si se utiliza la unión por soldadura, aunque no se debe olvidar nunca que no es en ningún caso un tubo a presión.

La resistencia a la presión interna puede ser comprobada de dos maneras:

Verificación de la presión admisible sobre el espesor mínimo  $e_5$ .

Utiliza la misma fórmula empleada para el cálculo de la tensión de la pared que se aplica para los tubos de pared llena.

$$\sigma_c = P(D_i + s)/2s \quad \text{en Pa} \quad (16)$$

donde

$\sigma_c$  : tensión efectiva de la pared (únicamente para la presión interna), en Pa

P : presión interna, en Pa

$D_i$  : diámetro interno, en m

s : mínimo espesor resistente, en m

de la cual, para *Ecopal*<sup>®</sup> :

$$P_{\text{amm}} = 2e_5\sigma_{\text{amm}} / (D_i + e_5) \quad \text{en Pa} \quad (17)$$

Se obtiene el mínimo valor de la presión admisible, pero los resultados son discutibles en cuanto que no se tiene en cuenta la rigidez creada por el corrugado.



### **4.3 – LA RIGIDEZ ANULAR**

Hemos visto como SN depende del producto E·I y del diámetro medio sobre el eje neutro. En las paredes con configuración geométrica simple, el cálculo del eje neutro y del momento de inercia de la pared es relativamente simple; del mismo se puede obtener el diámetro medio y por tanto, conociendo la E del material (que puede ser obtenido del ensayo de tracción, ISO 527), la rigidez.

De la misma forma, el momento de inercia de la pared obtenido, conociendo E, resulta aproximado ya que no se conoce el diámetro medio.

En presencia de tipos complejos de pared y, en algunos casos, de paredes formadas con materiales no homogéneos, sin **embargo la normativa prevé la determinación de SN por medio de ensayos mecánicos, que son independientes tanto de valores geométricos que no se pueden medir ( $D_m$ , I) como del módulo de elasticidad E o de los materiales.**

La ventaja de este planteamiento es que permite el uso de una amplia gama de paredes, diámetros, espesores y granulados para los cuales se indican solamente algunos parámetros mínimos.

De aquí resulta la máxima libertad, dentro de los límites de la norma, para el fabricante que sin embargo está obligado a garantizar la clase de rigidez por medio de ensayos prácticos.

En general, los fabricantes más serios fijan sus propios estándar internos de fabricación de manera que se obtengan siempre valores de SN superiores al mínimo de la clase de rigidez.

El equipamiento para la prueba es en general una prensa vertical, con monitorización de la fuerza aplicada y del desplazamiento.

Se ha podido obtener para el tubo estructurado *Ecopal*<sup>®</sup>, un esquema generalizado que permite el cálculo del momento de inercia de la pared suficientemente aproximado y los valores de resistencia a la tracción, radio de curvatura y momento flector admisibles.

El radio de curvatura se verifica sucesivamente, incluso geoméricamente, por la posible interferencia de las corrugas. Los cálculos han sido realizados sobre una aproximación que se considera satisfactoria, tanto en relación con el valor teórico de SN – verificado en numerosos ensayos, como en relación con los pesos teóricos.

La esquematización se basa en hacer el símil de la sección del corrugado un trapecio de base L, altura  $H_t$ ,  $e_s$ , lados inclinados de 6° y espesor s, con un factor de reducción del 0,8 sobre el valor del momento de inercia de la pared.

El factor de reducción tiene en cuenta no solo el contorno curvilíneo del corrugado, sino también la variación del espesor s a lo largo del contorno. En las pruebas de control de dichos valores, que en realidad no son significativas en función de la clasificación del SN, se debe asumir un valor s medio resultante de al menos 4 medidas en la zona central de la pared.





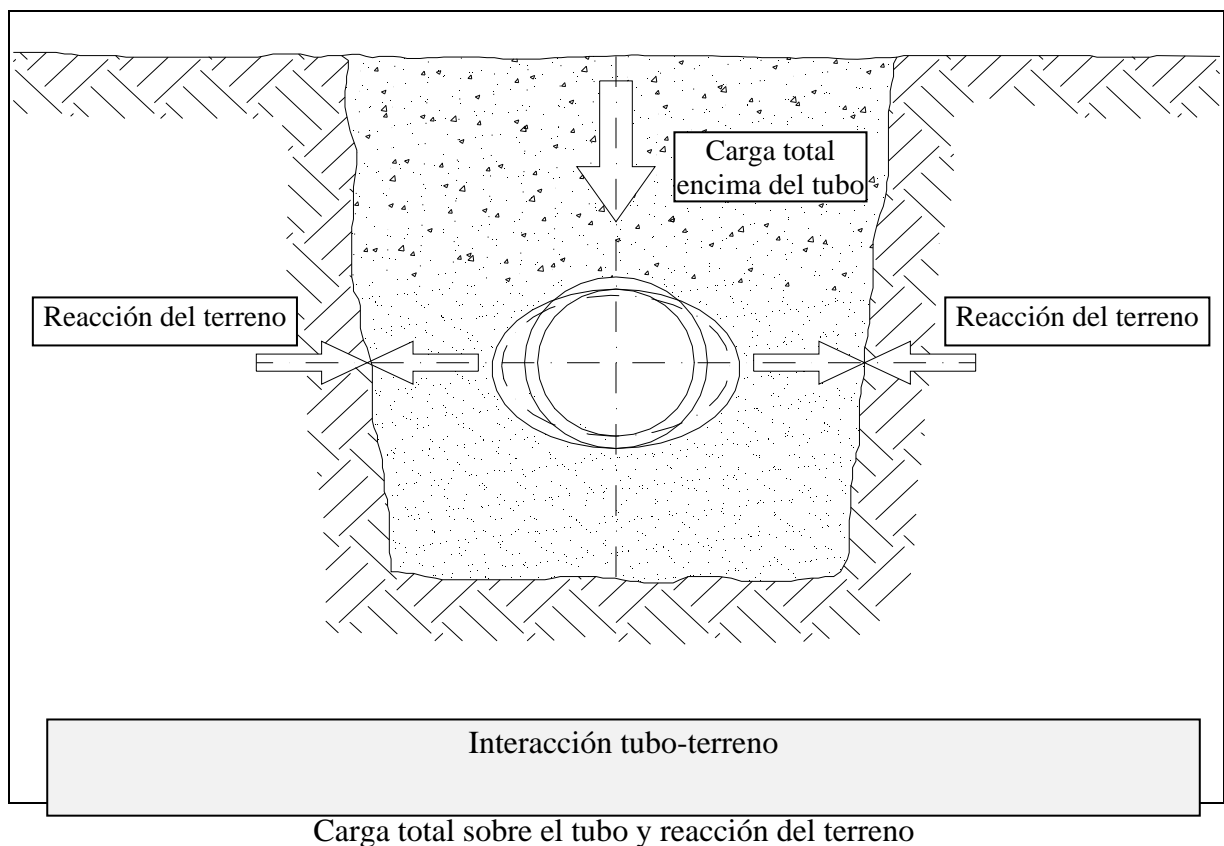
## 4. 4 – CÁLCULO DE LA DEFORMACIÓN BAJO CARGAS EXTERNAS

### 4. 4. 1 – BASES DE CÁLCULO PARA LAS TUBERÍAS FLEXIBLES

Todos los tubos flexibles sometidos a carga externa interactúan con el sistema de “material de relleno de las paredes de la zanja” (o presión del terreno que la rodea en el caso de zanja ancha o terraplén), que se opone a la deformación.

El comportamiento de una tubería cualquiera sometida a carga puede compararse con el de las estructuras en arco, donde las cargas se transmiten a los extremos.

En las teorías utilizadas normalmente para el cálculo de la deformación, el análisis de la estructura tubo-terreno se simplifica aceptando que las deformaciones en el tubo son planas y que el tubo equivale a un cilindro de longitud infinita y de pequeño espesor, considerando además que la tierra reacciona elásticamente, véase la figura.



El análisis del sistema estructurada tubo flexible-terreno ha sido desarrollado en la Universidad de Iowa por Spangler y Marston. La ecuación de Spangler fue modificada posteriormente, sobre la base de los estudios de Barnard y otros, y adquirió la forma generalmente aceptada para calcular la deformación de los tubos flexibles. Dicha fórmula, como se indica más adelante, se presenta como:

$$\text{Deformación} = (\text{Carga sobre el tubo}) / (\text{Rigidez del tubo} + \text{rigidez del terreno})$$

En la fórmula no aparecen directamente los datos correspondientes a la zanja, que influyen sin embargo en el cálculo de la carga.



#### 4. 4. 2 – EL CÁLCULO DE LA DEFORMACIÓN BAJO CARGA

La ecuación de Spangler modificada, que se utiliza habitualmente es la siguiente:

$$\Delta_v = (d p_0 + p_t) K_x / (8SN + 0.061 E'), \quad \text{en m} \quad (18)$$

donde :

$\Delta_v$ : deformación, en m

d: factor de auto compactación (1,5 para compactaciones moderadas y 2 para compactaciones medias con limitada altura de recubrimiento)

$p_0$ : carga del terreno, en  $N m^{-1}$

$p_t$ : carga debida al tráfico, en  $N m^{-1}$

$K_x$ : constante de fondo (dependiente del ángulo de apoyo)

SN: rigidez anular a largo plazo (referida al diámetro), en Pa

$E'$ : módulo secante del terreno, en Pa

#### 4. 4. 3 – CARGA DEL TERRENO

La carga del terreno que gravita sobre la unidad de longitud del tubo se puede obtener con la siguiente fórmula:

$$p_0 = C \gamma_t D_e B \quad \text{carga del terreno en } N m^{-1} \quad (19)$$

donde :

C = coeficiente de carga del terreno [fórmula (2)]

$\gamma_t$  = peso específico del material de relleno que gravita sobre el tubo, en  $N/m^3$

$D_e$  = diámetro externo del tubo, en m

B = anchura de la excavación medida en relación al extradós superior de la tubería, en m. (ver también)

En su forma más habitual,

$$C = [1 - e^{(-2K\mu H/B)}] / 2K\mu \quad (20)$$

donde:

H = altura de recubrimiento medida desde el extradós superior del tubo, en m

$\mu$  = coeficiente de rozamiento entre el material de relleno y el de los laterales de la excavación,

$K = (1 - \sin\phi) / (1 + \sin\phi)$  = coeficiente de Rankine, con  $\phi$  igual al ángulo de rozamiento interno del terreno de aportación.

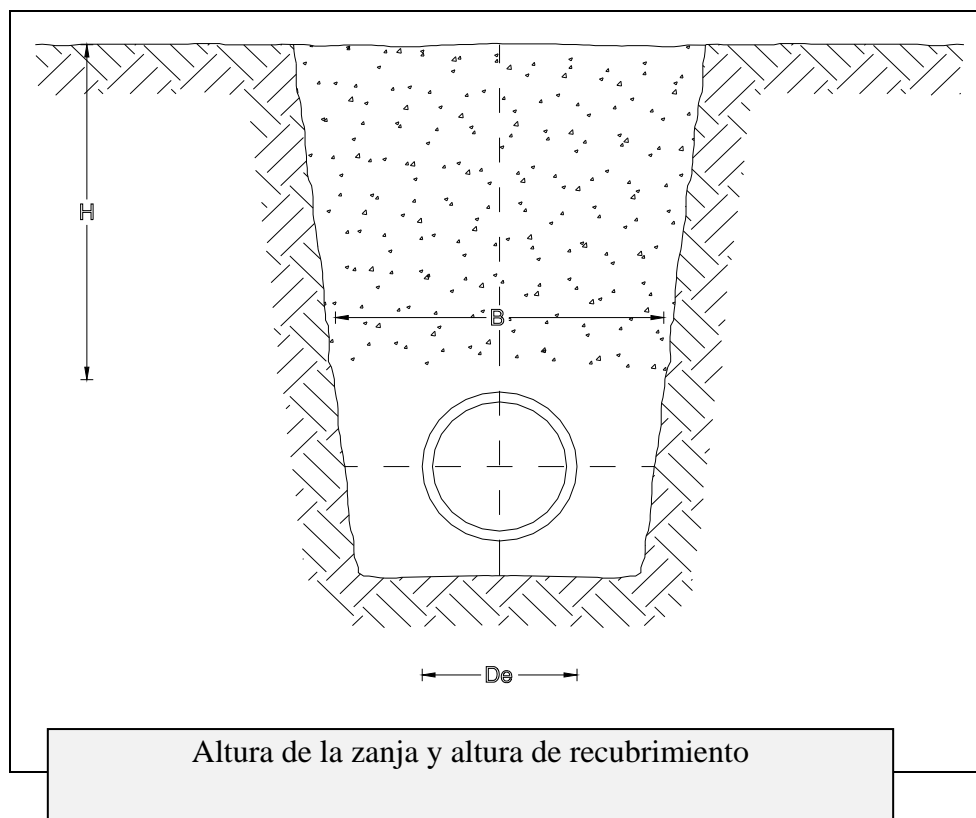
El valor de  $\varphi$  cambia según el tipo de terreno como se explica en la tabla:

Tipo de terreno	$\varphi$ en grados
Terreno no cohesivo	35
terreno ligeramente cohesivo	30
terreno cohesivo mezclado	25
terreno cohesivo	20

Para la condición de “zanja ancha o terraplén” se utiliza sin embargo la carga total que gravita sobre la tubería (carga del prisma indicado como:

$$p_0 = \gamma_t D_e H \quad \text{en N m}^{-1} \quad (21)$$

Valores medios para algunos tipos de terreno de relleno,  $\varphi$ ,  $\gamma_t$  e  $\mu$ , están indicados en la tabla insertada en el software *Ecopal*<sup>®</sup>.





#### 4. 4. 4 – CARGA DEBIDA AL TRÁFICO Y CARGAS ESTATICAS

La carga  $p_t$ , que generalmente se indica como carga debida al tráfico, aunque debería indicarse como carga superficial, entra en el cálculo de la deformación como término adicional.

La carga superficial, dada como carga puntual en N, debe comprender la carga  $Q_s$  causada por las estructuras que gravitan sobre la zanja (cimientos, paredes, etc.) y la carga  $Q_t$  debida al tráfico.

La formulación deriva de la teoría de Boussinesq, con la cual se calcula la tensión vertical debida a una carga superficial en un punto cualquiera bajo la superficie:

$$\sigma_z = 3Q/2\pi H^2 [1/(1+r/H)^2]^{5/2} \quad \text{en Pa} \quad (22)$$

donde:

- $\sigma_z$  = tensión vertical, en Pa;
- $Q$  = carga superficial total =  $Q_t + Q_s$ , en N
- $H$  = altura de recubrimiento, en m
- $r$  = distancia horizontal desde el punto de carga, en m

La tensión se considera igualmente distribuida sobre una anchura igual al diámetro horizontal del tubo y de longitud unitaria. La carga  $P_t$  unitaria se convierte en:

$$P_t = z D_e \quad \text{en N/m} \quad (23)$$

En el caso de carga puntual aplicada sobre la vertical de la tubería, caso de tensión máxima,

$r = 0$  por tanto la carga unitaria por unidad de longitud resulta

$$p_t = 3Q D_e / 2\pi H^2, \quad \text{en N/m} \quad (24)$$

Las cargas puntuales  $Q_t$  debidas al tráfico están por lo general normalizadas. Los valores relativos a las mismas se adjuntan en la tabla siguiente.

**CARGAS DEBIDAS AL TRÁFICO**

Tipo de carga	Carga total Q, kN	Carga por rueda Q, kN
Tráfico pesado	600	100
Tráfico medio	450 300	75 50
Tráfico ligero	120 60	20 20
Automóvil	30	10



Como se deriva de las fórmulas, la carga  $P_t$  disminuye con el cuadrado de la profundidad y resulta equivalente con una altura de recubrimiento  $\leq 1,5 \div 2$  m.

Esta carga puede ser permanente o intermitente. En general, se considera permanente aunque se considere solamente Q.

Lógicamente,  $Q_t$  sería intermitente (a no ser que se trate de un aparcamiento) y por lo tanto causaría reacciones elásticas discontinuas, en términos tanto de tensión como de deformación. De hecho, la carga vial puede llevar claramente a hundimientos por esfuerzos cíclicos (que en los tubos rígidos puede causar rotura por esfuerzo), y no porque se sobrepasen las tensiones o las deformaciones admisibles.

Considerar permanente la carga  $Q_t$ , como aparece en la fórmula, resulta positivo para los tubos de resina en favor de la seguridad.

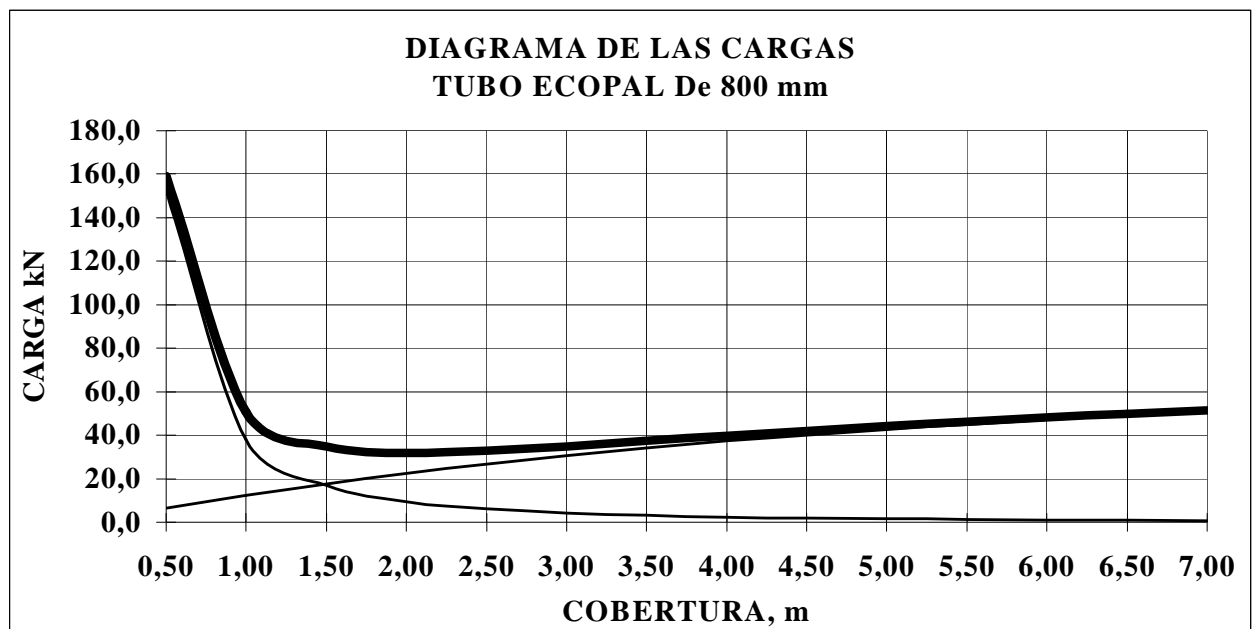
La tabla siguiente facilita la variación de las cargas del terreno, debidas al tráfico y las totales en función de la altura de recubrimiento. Como puede verse, la influencia de la carga debida al tráfico disminuye con el aumento del recubrimiento.

Se ha tomado como ejemplo un tubo *Ecopal*<sup>®</sup> con diámetro externo 800 mm, rigidez SN = 4 kPa. La zanja, de anchura B = 1,8 m, está prevista con un relleno de arena ( $\gamma = 17,2$  kN/m<sup>3</sup> ;  $\mu = 0,75$  ; K = 0,25 ;  $\varphi = 0,33^\circ$  ;  $E' = 2,76$  kPa ). La carga del tráfico está tomada en vertical,  $Q_t = 100$  kN

Los resultados de los cálculos están indicados en la tabla e ilustrados en el diagrama.

#### CARGAS EN FUNCIÓN DE LA PROFUNDIDAD DE ENTERRAMIENTO

H, m	0.5	1	2	3	4	5	6	7
$P_o$ , kN	6.5	12	23	31	37	43	47	51
$P_t$ , kN	153	38	10	2,2	2,4	1,5	1,1	0,8
$P_{tot}$ , kN	159	51	32	35	40	44	48	52





El cálculo preciso puede ser fácilmente realizado con el software *Ecopal*<sup>®</sup>.

#### 4. 4. 5 – MÓDULO DE RESISTENCIA DEL TERRENO

Como ya se ha indicado, en función de los estudios de Barnard, se ha introducido en las fórmulas para el cálculo de la deformación, el módulo de resistencia del terreno o módulo secante  $E' = e r$

(con “e” módulo elástico del terreno y “r” radio de la tubería).

$E'$  es una constante para todos los diámetros de los tubos y es función, entre otras, de la naturaleza del terreno y del grado de compactación del mismo.

La clasificación generalmente adoptada para la definición del material es la de la ASTM 2487, en la cual los terrenos se definen mediante siglas que no aportamos.

La presente tabla está incluida, para mayor comodidad, en el software *Ecopal*<sup>®</sup>.

#### VALORES DE $E'$

	MATERIAL NO COMPACTADO	MATERIAL COMPACTADO		
		< 85 %	85÷90 %	> 95 %
INDICE PROCTOR		< 40 %	40÷70 %	> 70%
DENSIDAD RELATIVA		E' N / mm <sup>2</sup>		
TIPO DE TERRENO				
Terreno de baja granulometría LL > 50	0	0	0	0,35
Suelos con media y alta plasticidad	(se recomienda un análisis particularizado)			
Terreno cohesivo de baja granulometría LL>50 Suelos de media y baja plasticidad con menos del 25% de partículas gruesas	0,35	1,38	2,76	6,9
Terreno de baja granulometría LL>50 Suelos de baja y media plasticidad, con más del 25% de partículas gruesas Suelos con granulometría gruesa con más del 12% de partículas finas	0,69	2,76	6,9	13,8
Terreno con granulometría gruesa con menos del 12% de partículas finas	0,69	6,9	13,8	20,7
Mezcla de cantera ( crushed rock )	6,9	20,7	20,7	20,7
Aproximación en términos de diferencia entre deformación calculada y la real ( en % )	± 2 %	± 2 %	± 2 %	± 0,5 %

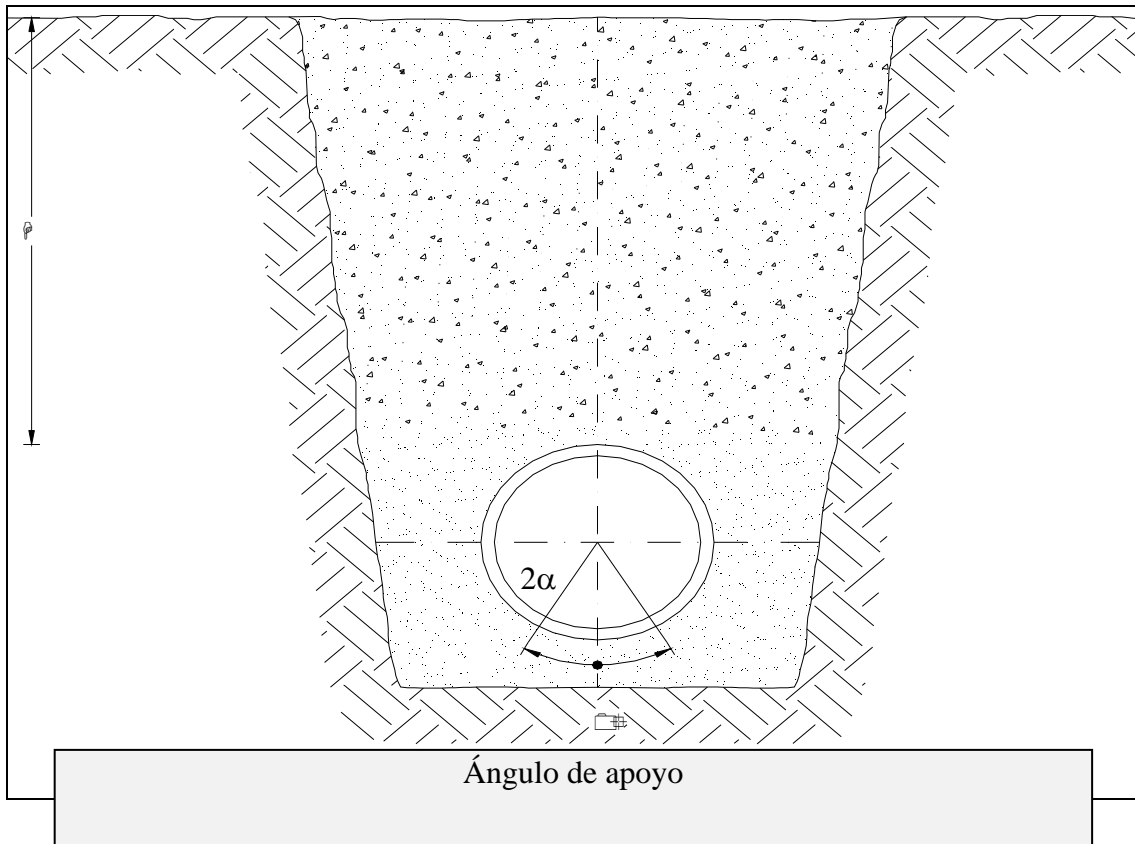
Los datos de la tabla son válidos para el cálculo de la deformación inicial, puesto que a medio y largo plazo se puede contar con una mayor compactación, debida tanto al paso, incluso simplemente peatonal, en el área de la excavación, como a la autocompactación del suelo bajo su propio peso. Para el cálculo de la deformación a largo plazo, se aplica el factor de autocompactación (lag factor)  $d_l$ . De todos modos es necesario tener presente que el grado de compactación, y por tanto  $E'$ , aumenta con el tiempo. En la fórmula empleada en el software de *Ecopal*<sup>®</sup> se introduce como multiplicador de la carga introducida  $p$  (carga total) un factor de constante incremento de la carga misma, constante de flexión, igual a 1,5.

ASTM aplica el “lag factor” tan solo a  $p_0$ , con valor de 1,5; aunque aconseja utilizar 2 en el caso de realizar rellenos con materiales incoherentes.



#### 4. 4. 6 – INFLUENCIA DEL ÁNGULO DE APOYO

El término  $K_x$ , constante de fondo, que aparece en el numerador en la fórmula de la deformación está relacionado con el valor del ángulo de apoyo, véase la figura.



En las formulaciones normales, el ángulo de apoyo se indica con  $2\alpha$ , siendo  $\varphi$  el semiángulo tendido bajo el arco de la circunferencial en contacto con el fondo de la zanja.

Ángulo $2\alpha$ , °	0	90	120	180
$K_x$	0,110	0,096	0,090	0,083

Como se ve, al aumentar el ángulo, disminuye el valor de la constante y por lo tanto de la deformación. Los valores de  $K_x$  se pueden interpolar linealmente.

La disminución de la deformación entre el apoyo puntual y el apoyo máximo es del 24,5%.

Por lo tanto, para cualquier tubo flexible - pero también para los rígidos, en los cuales el apoyo tiene la misma importancia - es conveniente crear un lecho de instalación que permita un ángulo de apoyo entre 90 y 120°.

Se tiende a alcanzar las condiciones de máximo apoyo realizando una cuidadosa compactación del material de los laterales en su base, hasta alcanzar una altura superior al radio del tubo.



#### 4. 4. 7 – INFLUENCIA DE LAS CARACTERÍSTICAS DE LA ZANJA EN LA DEFORMACIÓN

En todos los métodos de cálculo, uno de los elementos claves es la anchura de la zanja. Igual que otras condiciones, cuanto menor es la anchura de la zanja, mayor es la resistencia a la deformación bajo carga.

Por acuerdo, el valor de la anchura de la zanja es el valor de proyecto o en correspondencia con la generatriz superior de la tubería. La deformación de los tubos flexibles se produce, en ausencia de solicitaciones particulares, en el eje horizontal; es en esta posición cuando se verifica la reacción de “soporte” aportada por el relleno y por las paredes de la zanja.

La referencia se hace sobre la generatriz superior, para tener en cuenta el efecto del flanco, en términos de presión lateral, que se distribuye sobre toda la altura del tubo.

Por lo que respecta a la clasificación de la zanja, mientras para ATV se pasa a la denominación “zanja ancha o terraplén” para  $B > 4D_e$ , en otros textos se encuentra

Zanja estrecha	$B < 3D_e < H/2$
Zanja ancha	$3D_e < B < 10D_e < H/2$
Zanja infinita o terraplén	$B \geq 10D_e > H/2$

La variación de la deformación, igual que otros datos, con la anchura de la zanja no es lineal.

En especial el cálculo para zanja ancha/terraplén lleva a valores superiores a los que corresponden tanto a  $B = 4D_e$  como a  $B = 10D_e$ .

El valor  $B = a \cdot D_e$  que señala el paso de “zanja estrecha” a “zanja ancha o terraplén” es un valor convencional, no establecido, que se encuentra en textos técnicos.

El concepto en la base de este límite, que implica también una formulación de cálculo diferente, dado que, para distancias mayores, a un cierto número de veces el diámetro de la tubería, el lateral de la zanja cesa de actuar conjuntamente con el relleno, mientras interviene la carga, asimilable a una carga hidrostática del terreno circundante.

En la práctica se admite que esta reacción se da sólo para el componente horizontal del peso propio del terreno que le rodea.

Como se evidencia por el siguiente diagrama, la anchura de la excavación influye sobre la deformación igual que otras condiciones.

El aumento de “B” corresponde un aumento de “y %” o “ $D_y/D_e$ ” con tendencia asintótica (en relación con la influencia de la anchura de excavación en el cálculo de la carga).

El cálculo en la tabla y el correspondiente diagrama han sido extendidos hasta una anchura de excavación de 10 m. ( $12,5 D_e$ ) para mostrar el desarrollo de la curva.

En el caso de zanja en el límite ( $B \approx 4 \div 4,5D_e$ ) conviene, en beneficio de la seguridad, utilizar el caso “zanja ancha” o “terraplén”, sobre todo en relación con la escasa precisión, generalmente, de las zanjas anchas.



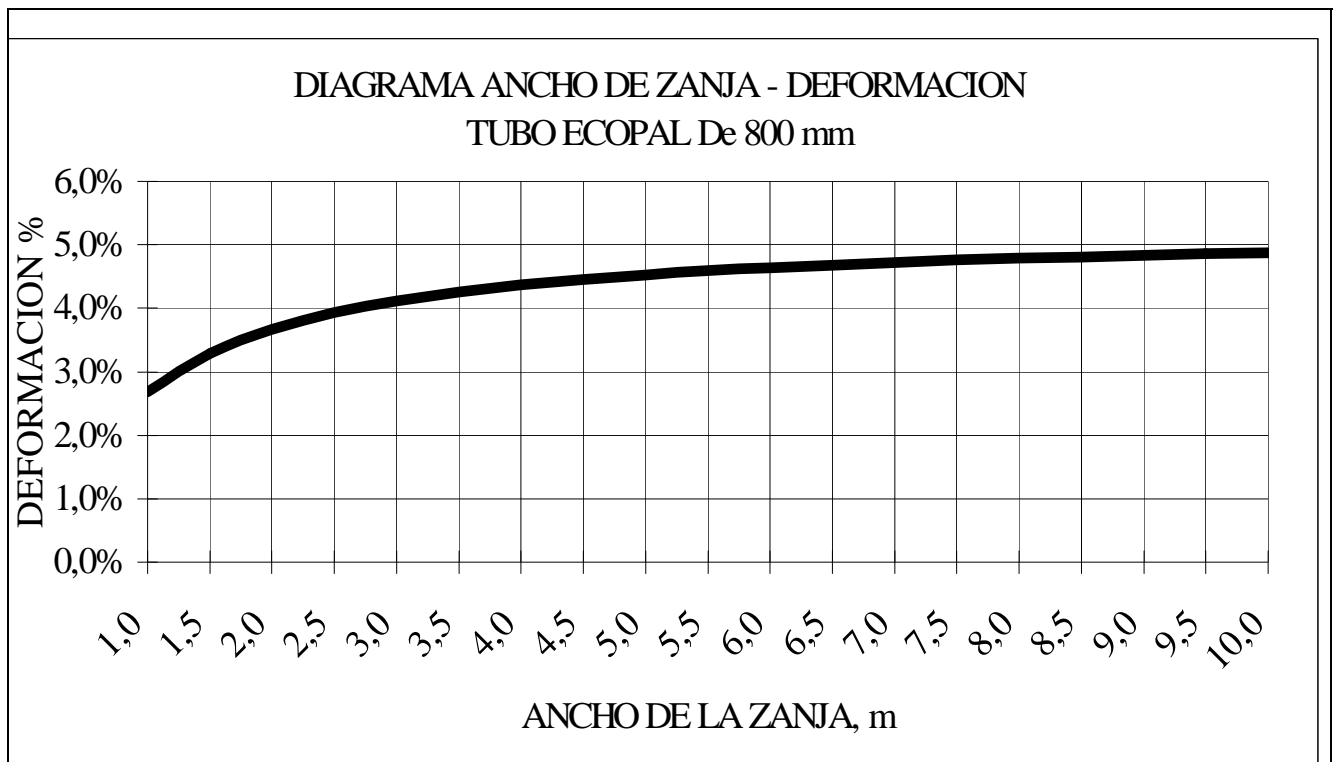


La diferencia entre los dos valores es aproximadamente de un 20% (en el caso que se examina en el diagrama la deformación por zanja ancha es del 5,26 %).

En el caso de zanja relativamente estrecha, pero con paredes inestables, como por ejemplo de arena, es aconsejable tomar la precaución de emplear el cálculo para zanja ancha.

De todos modos, depende de la sensibilidad del proyectista decidir que formulación debe usar, en relación con la vasta gama de situaciones que pueden encontrarse en la práctica.

El diagrama reporta las deformaciones, para el diámetro 800 y para las condiciones ya vistas





#### 4. 4. 8 – DEFORMACIÓN A CORTO Y LARGO PLAZO

La deformación a corto y a largo plazo está en el centro del amplio debate de porqué la materia plástica se comporta como un cuerpo con características tanto elásticas como viscosas. Por este motivo el material es llamado viscoelástico. Un tubo fabricado con este material sujeto a una carga constante se deformará con una deformación inicial que puede ser estimada utilizando la rigidez del tubo.

Esta es determinada, como ya se ha dicho, utilizando el método indicado en la UNE-EN ISO 9969 mediante la fórmula

$$SN = (0,0186 + 0,025 y/D_i)F/Ly \quad \text{en Pa} \quad (25)$$

donde:

- SN = rigidez anular, en Pa  
F = fuerza necesaria para obtener la deformación deseada, en N  
L = longitud de la muestra de tubo, en m  
y = flexión del diámetro del tubo, en m.

La rigidez anular puede ser calculada por medio de la formula que une el módulo elástico, E, del material con el cual está fabricado el tubo, el momento de inercia, I, y el diámetro medio del tubo,  $D_m$ , mediante la fórmula:

$$SN = E I / D^3$$

Los tubos plásticos sujetos a una carga constante se deforman ulteriormente con el paso del tiempo a causa de su viscoelasticidad. Este fenómeno se llama deslizamiento plástico o deformación viscosa, comúnmente **fluencia**. Comúnmente se utiliza la palabra inglesa "creep". La relación tensión/deformación viscosa se llama "creep modulus". Esta denominación induce a error porqué se le confunde con el módulo elástico del material, lo cual no es verdad. El material después de haberse deformado viscosamente si se le ha sometido a esfuerzo responde de manera igual de la que tenía antes de que la deformación viscosa hubiera tenido lugar.

Teniendo en cuenta que para los tubos estructurados no es fácil calcular el momento de inercia ni siquiera con un módulo de elasticidad que tenga en cuenta la deformación viscosa se ha preferido determinar el comportamiento a largo plazo de manera experimental.

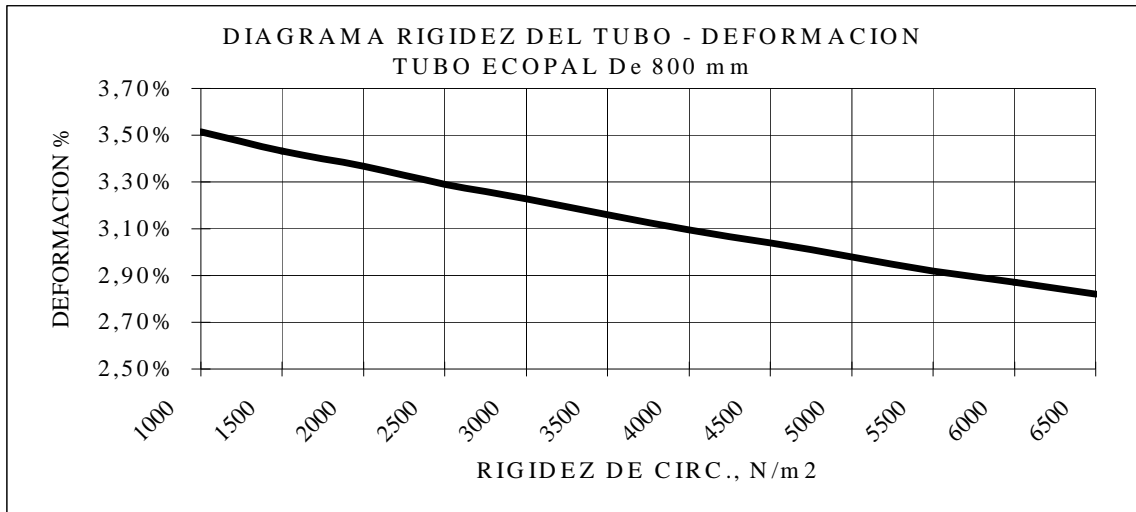
Con esta finalidad la rigidez anulara largo plazo se obtiene dividiendo la rigidez anular en un cierto momento inicial por el "creep modulus" (coeficiente de fluencia) extrapolado en un cierto tiempo. Tiempo indicado por la norma. El valor de relación entre la deformación final y la inicial se utilizará como buena calidad del tubo.

Los tiempos se eligen viendo que una vez instalado el tubo se deforma inmediatamente en una cierta cantidad para luego deformarse lentamente durante un cierto tiempo. Este tiempo cambia según las condiciones del suelo y de las modalidades de colocación pero que no exceda más de dos años. Por lo que se ha adoptado como tiempo de extrapolación dos años.

La deformación inicial ha sido fijada en una deformación del uno y medio por ciento del diámetro interno. La fuerza necesaria para esto se mantendrá hasta el final de la prueba. Para los detalles véase la norma UNE-EN ISO 9967.

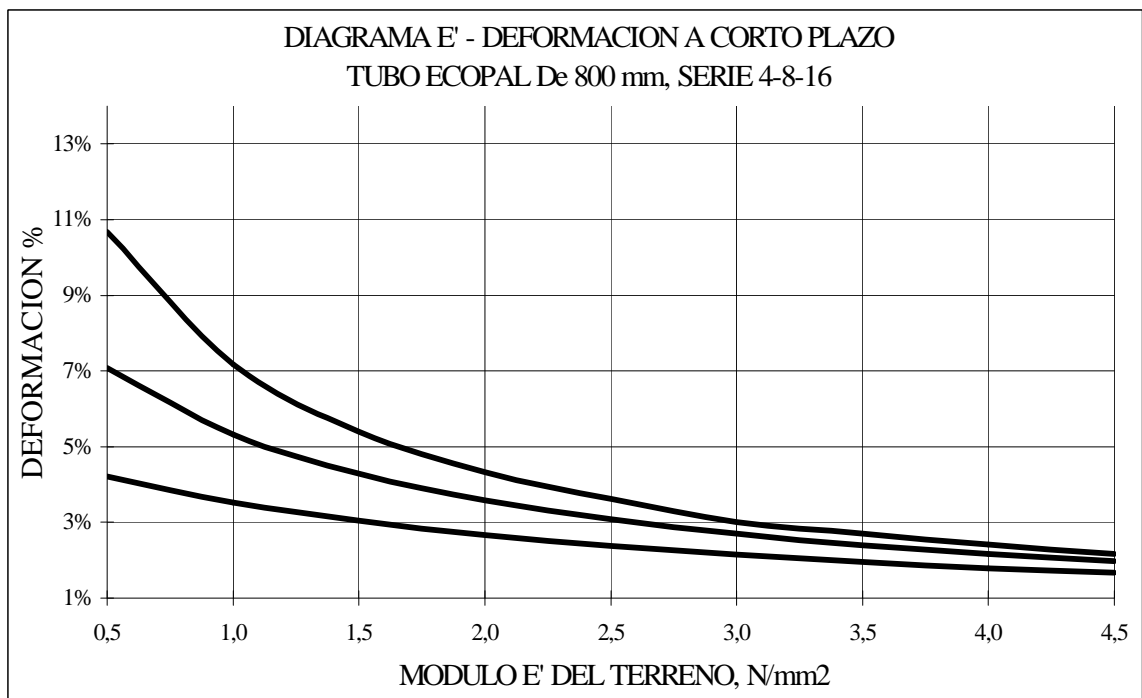


Ejemplo: diagrama típico de valores tiempo-deformación en la figura siguiente:



una vez obtenido el valor extrapolado  $Y_2$  y el inicial  $y_0$  se obtiene el **coeficiente de fluencia** buscado por medio de la fórmula

$$\gamma = Y_2(8,0186 + 0,025y_0/D_i)/y_0(0,0186 + 0,025Y_2/D_i) \quad (26)$$





#### 4. 4. 9 – VALORES LÍMITES DE LA DEFORMACIÓN A LARGO PLAZO

El valor límite de la deformación a largo plazo es una elección del proyectista. Este valor puede establecerse tanto dentro de los límites del funcionamiento hidráulico correcto, como en los de la máxima tensión admisible en la pared y, en cualquier caso debe depender de la correcta evaluación de todos los coeficientes que forman parte del cálculo. Como se verá más adelante, los tubos *Ecopal*<sup>®</sup> se someten, según las prescripciones de la UNE-EN 13476, a la prueba de aplastamiento sin que se presenten defectos o curvaturas irregulares. En los tubos *Ecopal*<sup>®</sup>, gracias al corrugado anular no se presenta, entre otros, el riesgo de desarrollo de esfuerzo de torsión, que pueden sin embargo estar presentes en los tubos con estructura helicoidal.

#### 4. 4. 10 – TENSIONES DE PARED

En el tubo actúan una serie de sollicitaciones que contribuyen a crear las tensiones sobre la pared del tubo mismo. Dichas sollicitaciones, orientadas de modos diversos, se deben al peso de la tubería misma, al peso del líquido contenido, a la eventual presión interna, a las cargas externas, a los momentos de flexión debidos a la curvatura y a las posibles fuerzas de corte. En un tubo estructurado, el análisis de las tensiones resulta más complicado cuanto más complejo es el perfil. En la mayor parte de las condiciones de funcionamiento, la sollicitación predominante es la de la carga externa, sin embargo también las otras pueden ser significativas.

En el caso de tubos estructurados, para los cuales se elabora la SN y no el espesor, aquí se debe basar sobre un espesor equivalente y por tanto el cálculo no parece resultar del todo significativo.

#### 4. 4. 11 – PRESIÓN CRÍTICA EXTERNA.

El cálculo de la presión crítica no se refiere generalmente a los tubos enterrados, para los cuales se habla de cargas críticas. En cambio es necesario el control en todos aquellos casos donde está presente una presión externa, por ejemplo en un tubo sometido a presión hidrostática por la presencia de nivel freático. La fórmula clásica para los tubos flexibles se puede presentar con la formulación:

$$P_{cr} = 8(n^2 - 1)SN / (1 - \mu^2) \quad \text{en Pa} \quad (27)$$

$P_{cr}$  = presión crítica, en Pa

$SN$  = rigidez de circunferencial, en Pa

$\mu$  = 0.4 módulo de Poisson para el PE

$n$  = 2 coeficiente de forma, correspondiente al número de lóbulos que se formen en el aplastamiento (2 para un solo lóbulo)



La fórmula es válida para las tuberías a pared compactado para la zona entre las corrugas en los tubos estructurados con corrugas a distancias importantes. Sería por consiguiente más preciso para los tubos estructurados aplicar la fórmula con el único espesor de la zona intercostal para algunos más sujeta a deformaciones en particular si la corruga no está sólidamente unida al cuerpo de la tubería y no a un espesor equivalente no del todo significativo. En *Ecopal*<sup>®</sup>, la distancia intercostal es mínima, cerca del 40% del paso, que a su vez no supera los 100 mm en el diámetro 1000, y por tanto la verificación es inútil. Por otra parte, la tipología constructiva asegura la perfecta interconexión entre la corruga y el cuerpo del tubo, que en consecuencia interactúa como un todo único.

#### 4. 4. 12 – RESISTENCIA LONGITUDINAL A LA TRACCIÓN

La norma UNE-EN 13476 prescribe un valor mínimo de resistencia a la tracción axial solo para la tubería de formación helicoidal, esto es para las tuberías del tipo A2, que podrían presentar separación de la estructura por adhesión defectuosa de los elementos.

No existe ninguna prescripción para las del tipo B, como *Ecopal*<sup>®</sup> cuyo espesor resistente es continuo. La consideración sobre la resistencia a la tracción depende del hecho de que las tuberías pueden estar sujetas a sollicitaciones en el sentido axial con motivo de la colocación o en relación con los esfuerzos causados por las variaciones térmicas, en particular para los tubos con juntas con manguitos o soldadas. La resistencia longitudinal de un tipo estructurado con corrugas próximas, puede considerarse resistente en la práctica por el efecto de la corruga que actúa como un telar vinculado a la capa resistente y por tanto, contribuye a reducir las tensiones longitudinales. También frente a la duración probable, frente a la vida de la tubería, del esfuerzo axial, se considera correcto, incluso dejando de lado el efecto positivo del corrugado, considerar como sección resistente el espesor de pared entre dos corrugas.

Se obtiene, pues, el valor de la sollicitación longitudinal,  $F = s \cdot A$ , donde A se refiere al área toroidal referida al espesor  $e_4$ .

#### 4. 4. 13 – RADIOS DE CURVATURA Y MOMENTOS FLECTORES

Para los radios y los momentos de flexión el supuesto de cálculo puede ser el mismo indicado para la resistencia longitudinal. Aceptando por tanto que el espesor que interactúa en el momento de flexión es el espesor resistente indicado anteriormente, se puede determinar el radio de curvatura mínimo como:

$$R = (E D_{m(e4)}/2)/\sigma \quad \text{en m} \quad (28)$$

- R = radio de curvatura, en m
- E = coeficiente de elasticidad del material, en Pa
- $D_{m(e4)}$  = diámetro medio, en m
- $\sigma$  = tensión aplicada, en Pa.

Se obtienen por tanto de la fórmula, radios de curvatura teóricos del orden de los 13/14 diámetros. Se debe por ello tener en cuenta que la presencia de las corrugas no permite alcanzar el valor teórico.

Los valores de R generalmente aconsejados por *Ecopal*<sup>®</sup> son de 40-50 diámetros.



## CAPÍTULO 5. UTILIZACIÓN E INSTALACIÓN

Enlazando con lo que se ha afirmado anteriormente, una correcta instalación es, unida a la calidad y a las características estructuradas de la tubería, uno de los puntos claves del resultado final.

En éste capítulo están descritos los accesorios (manguitos, uniones y pozos) disponibles con la gama *Ecopal*<sup>®</sup>, los métodos de unión y las directrices generales para la puesta en obra.

### 5.1 – UNIONES Y ACCESORIOS DE TUBERÍAS - POZOS

El sistema *Ecopal*<sup>®</sup> se completa con una amplia gama de piezas especiales.

Las piezas especiales y los accesorios estándar están esquematizados en el presente manual. Todas las piezas especiales y los pozos y arquetas se obtienen de la tubería y los diversos componentes, ensamblados mediante soldadura por aportación de polietileno y/o extrusión. También fabricamos piezas por inyección y rotomoldeo.

La estructura responde a las prescripciones de las normas UNE-EN 13476, en particular en lo relativo a la estanqueidad y al aplastamiento.

Las características y las prescripciones para las piezas especiales están contenidas en la norma UNE-EN 13476.

Básicamente las características físicas, mecánicas y de prestaciones se muestran análogas a las ya indicadas para los tubos. Se pueden realizar piezas especiales según las necesidades de la obra.

Uno de los problemas que pueden presentarse en la obra es la inserción de una derivación en una posición imprevista. *Ecopal*<sup>®</sup> no prevé elementos del tipo de la fig. 12, que no aseguran, dada la estructura y la forma del corrugado, una buena estanqueidad. Se ha predispuesto, para el uso en casos particulares, un equipo de inserción.

*Ecopal*<sup>®</sup> es ideal para la formación de pozos.



## **5. 2 – UNIONES**

El sistema de unión del tubo *Scopal*<sup>®</sup> se realiza con manguito y junta de estanqueidad en EPDM (el manguito puede ser instalado mecánicamente o soldado en una extremidad del tubo directamente desde fábrica). La unión con manguito se ha preferido al simple enchufe a campana ya que permite una mayor libertad en el curso de la instalación, permitiendo utilizar secciones de longitud necesaria sin estar condicionados por la presencia de una junta posicionada en la campana.

### **5. 2. 1 – MANGUITOS**

Los manguitos cumplen todas las disposiciones de la norma UNE-EN 13476 y son sometidos a las pruebas estipuladas por la misma UNE-EN 13476.

Como se ha indicado anteriormente, las prescripciones para los manguitos son perfectamente análogas a las utilizadas para las tuberías. El elemento geométrico determinante es el diámetro interno que debe estar en consonancia con el diámetro externo de la tubería; están indicados diámetros y tolerancias tanto para los manguitos destinados a los tubos con normalización sobre el diámetro externo, como para aquellos con normalización sobre el diámetro interno.

En el caso de *Scopal*<sup>®</sup> el diámetro externo del tubo cumple ampliamente las tolerancias de la normativa, como también lo cumple el diámetro interno del manguito fabricado específicamente para *Scopal*<sup>®</sup>. Los manguitos se fabrican generalmente mediante moldes pero, en casos particulares, por ejemplo en el caso de enlaces especiales al pozo o similares, pueden realizarse con torneado de tubo extrusionado. El manguito tiene suficiente longitud como para introducir al menos 2 – 3 corrugas de manera que se garantice la coaxialidad de las tuberías contiguas. La posible derivación horizontal o vertical, que en los otros tipos de tuberías con uniones de enchufe campana está permitida para un desplazamiento angular en la misma junta, se garantiza para *Scopal*<sup>®</sup> con la posible curvatura del cuerpo de la tubería, mientras que el manguito asegura la fijación axial sin deformaciones anómalas de la junta.

La junta se realiza con un diseño específico, ya ampliamente probado y que cumple las disposiciones de la normativa. La junta se coloca entre las dos primeras corrugas a continuación del principio del tubo, con el labio situado en dirección opuesta al lado por el que se introduce.

Además de garantizar la estanqueidad desde el interior hacia el exterior, comprobada a presiones muy superiores a las mínimas de norma incluso en condiciones de aplastamiento bajo carga, el labio situado de cara al exterior garantiza una resistencia óptima a las infiltraciones causadas, por ejemplo, por nivel freático que es particularmente peligroso para la gestión de plantas depuradoras.

La especial forma y posición de la junta y la longitud del manguito, garantizan que en la fase de instalación la junta no sufra daños y que no se pueda producir una desviación angular que provoque deformaciones diferenciadas y por lo tanto pérdidas. La introducción del manguito debe realizarse con una previa lubricación del interior del mismo.



La introducción debe realizarse con mecanismo de palanca o de todos modos con empuje o tensión axial, cerciorándose de que la entrada es correcta y evitando dar martillazos que puedan dañar la junta y el manguito.

La junta, contrariamente a otros tipos de uniones, se encuentra en una posición protegida. El material tiene sin embargo una adecuada resistencia a las eventuales abrasiones que puedan originarse como consecuencia de remolinos por cortes defectuosos en la cabeza del tubo.

### 5. 2. 2 – UNIÓN MEDIANTE SOLDADURA

En ocasiones se ha realizado la unión del tubo *Scopal*<sup>®</sup> mediante soldadura a tope; aunque para diámetros grandes (a partir de 800 OD) el espesor “e<sub>4</sub>” de la pared del tubo podría ser adecuado para ofrecer la posibilidad de una buena fusión, no es aconsejable.

Las técnicas de soldadura son las mismas que se utilizan para los tubos de pared compacta y puede ofrecer las mismas garantías de éxito, obviamente proporcionales al espesor.

No hay que olvidar que la soldadura a tope “sella” la zona de unión del tubo pero no ofrece una rigidez geométrica que se pueda comparar con la del manguito o del tubo, porque el espesor real es inferior al del tubo de pared compacta que tenga igual rigidez de circunferencial.

En general el fresado se limita a pocos milímetros y la fase de calentamiento se realiza con mucha atención para evitar que afecte también al corrugado.

Tiempos y presiones de soldadura son los mismos que se utilizan para soldar tubos de pared compacta con espesores finos.

Para mayores detalles consulten la normativa de aplicación para la soldadura a tope de tubos en polietileno de pared compacta.

Además, cada fabricante de equipos para la soldadura a tope facilita las tablas en la que están indicados las temperaturas y los tiempos aconsejados.





## 5.3 – INSTALACIÓN

### 5.3.1 – TRANSPORTE.

El transporte del *Ecopal*<sup>®</sup> se realiza prácticamente en las mismas condiciones que cualquier transporte de tuberías.

Dado el peso reducido y la considerable rigidez de circunferencial, las tuberías pueden apoyarse directamente una sobre otra sin inconvenientes.

Los tubos de pequeño diámetro deben suministrarse paletizados.

### 5.3.2 – DESCARGA Y ACOPIO EN LA OBRA.

La descarga debe realizarse directamente con todo el palet o separadamente, en los pequeños diámetros puede hacerse incluso a mano.

Es necesario prestar atención y evitar el uso de ganchos en los extremos (para evitar daños en los extremos a curvaturas excesivas causadas por el ángulo de tiro; eventualmente podría utilizarse un compensador).

Siempre es aconsejable utilizar tiras de material no abrasivo o cuerdas de cáñamo.

La primera capa de tuberías que se apoya sobre el terreno debe colocarse sobre un fondo uniforme para evitar posibles daños en la superficie externa del tubo y flexiones longitudinales.

### 5.3.3 – LECHO DE INSTALACIÓN.

Si el fondo de la zanja es de material blando y sin estratos duros o piedras, *Ecopal*<sup>®</sup> puede instalarse directamente sobre el fondo de la excavación, siempre que la nivelación sea correcta.

Sin embargo, en general, esta condición ideal se encuentra raramente.

Por lo tanto, es conveniente realizar un lecho de arena o grava de pequeño tamaño, nunca material de cantera que tiene aristas, con un grosor de al menos dos veces la altura de la pared del tubo.

Como para todos los otros tipos de tubos, es importante realizar un buen soporte del tubo mismo, en relación con la influencia que el ángulo de soporte tiene en la deformación.

De todos modos la base también puede realizarse durante la fase de compactación de las primeras capas, siempre que la compactación se realice sin levantar el tubo.

En el cálculo simplificado que ya hemos visto, el único parámetro que influye es el ángulo de apoyo.



### 5. 3. 4 – EXCAVACIONES

Si se examina la normativa europea (sobre todo la alemana) se observa que el trazado de las excavaciones para alojar saneamientos debe cumplir disposiciones muy precisas.

La única recomendación razonable que se puede dar al respecto es la de predisponer en los Pliegos la zanja estrecha, máximo 2/3 veces el diámetro, al menos hasta 1 m sobre la generatriz superior del tubo.

Las paredes deben ser lo más vertical posible, al menos en dicha zona, y deben estabilizarse eventualmente con apuntalamiento o estacas, sobre todo por la seguridad del personal que trabaja en la excavación.

En el caso de terraplén o zanja ancha, sería conveniente predisponer una zona de contraste con el material de recubrimiento, de manera que la situación se transforme en zanja estrecha.

### 5. 3. 5 – INSTALACIÓN.

*Ecopal*<sup>®</sup> puede soldarse fuera de la excavación o dentro, o unirlo con manguitos directamente en el fondo de la excavación.

Dada la ligereza de la tubería, la realización de las uniones fuera de la excavación para tramos lineales de longitud incluso elevada, se presenta como el sistema más interesante, aunque el saneamiento, en general, suele interrumpirse con derivaciones y pozos, para las cuales la realización fuera de la excavación debe examinarse como una posibilidad y no considerarse como un estándar.

En el lugar de la instalación, debe prestarse una especial atención a las posibles dilataciones aunque el alargamiento de *Ecopal*<sup>®</sup> sea netamente inferior al de los tubos extrusionados de pared llena.

Si la unión se efectúa con una soldadura no existen problemas especiales puesto que el espesor “e<sub>4</sub>” ofrece una resistencia suficiente a los esfuerzos provocados por la retracción.

En el caso de unión con manguitos, teóricamente podrían presentarse fenómenos de desencajado. En este caso es necesario tomar la precaución de bloquear con un relleno parcial del tubo cada 30/40 m y, previo control de los posibles movimientos, completar el relleno de la excavación.

De todos modos debe tenerse presente que, una vez se ha efectuado correctamente el relleno, no están previstos desplazamientos en sentido longitudinal puesto que el terreno compactado alrededor de las corrugas “frena” cualquier efecto de la dilatación.



### 5. 3. 6 – INSTALACIÓN EN PRESENCIA DE NIVEL FREÁTICO

Como puede intuirse claramente, *Ecopal*<sup>®</sup>, como todos los otros tubos estructurados, presenta un notable empuje de flotación del tubo vacío sumergido en el agua.

Mientras para muchos de los otros tipos de pared, la flotación es difícilmente contrastable si no es con dispositivos para aumentar el peso o bloqueo externos, *Ecopal*<sup>®</sup> puede suministrarse con las corrugas agujereadas de manera que se puedan llenar con agua.

El perforado del corrugado, en una parte proporcional de su superficie, no causa ninguna disminución práctica de la rigidez y permite reducir el empuje a valores por debajo de 2 ó 3 kg/m, haciendo fácil por tanto un aumento de peso, incluso temporal, con sacos de arena o material diverso y después el hundimiento, con el tubo lleno de agua, en el fondo de la excavación.

Lo expuesto anteriormente permite evitar, en las fases de relleno de la excavación, deformaciones verticales del tubo causadas por la flotación .

La instalación en agua, con las precauciones citadas, es técnicamente correcta, siempre que nos aseguremos de las condiciones del fondo de la excavación (nivelación y material). De todos modos es prudente prever un buen lecho de colocación.

Anticipamos que el relleno, incluso con material árido, tiende a levantar el tubo. Por lo tanto es necesario prestar una especial atención a esta fase del trabajo.

### 5. 3. 7 – INSTALACIÓN DE LOS POZOS Y CONEXIÓN A LOS MISMOS

Los pozos *Ecopal*<sup>®</sup> son estructuras autónomas dotadas de los necesarios tramos de entrada y de salida.

Estos están dotados de los necesarios tramos de embocadura y de salida y el fondo, si está precisado, se perfila según el dibujo.

La unión entre las conexiones de los pozos y los tubos de línea se realiza generalmente con un manguito.

Para la conexión con pozos realizados normalmente en hormigón, se han realizado algunos dispositivos especiales, tanto con junta elástica invertida fijada en el agujero de paso situado en el pozo prefabricado, como con piezas especiales, introducidas en la fase de hormigonado en la pared del pozo mismo.

### 5. 3. 8 – UNIÓN A OTROS TIPOS DE TUBERÍAS.

*Ecopal*<sup>®</sup> puede empalmarse, mediante piezas especiales proyectadas con tal fin, con cualquier otro tipo de tuberías. Sin embargo se aconseja prever la transición entre un sistema existente y una nueva línea de *Ecopal*<sup>®</sup>, a través de un pozo de paso convenientemente preparado.



### 5. 3. 9 – RELLENO DE LA EXCAVACIÓN.

El relleno de la excavación es la parte más delicada e importante del trabajo de instalación de los tubos de saneamiento. Hemos visto que un relleno sin una adecuada compactación influye negativamente tanto en los tubos rígidos como en los flexibles. Asimismo hemos visto que una compactación realizada sin los necesarios medios adecuados, podría producir roturas. Se han observado tras una inspección filmada realizada después de la instalación, colectores de cemento, gres e incluso PVC destruidos, antes de entrar en funcionamiento.

Independientemente del tipo del tubo, el relleno de la excavación debe realizarse con una correcta compactación por capas sucesivas, según la norma EN 1295.

Los conceptos que llevan a una correcta y duradera instalación son :

- 1) Elección del material de relleno correcto, el material debe ser árido, de baja granulometría, sin material con aristas fuertes, piedras o detritos al menos en la parte en contacto con el tubo y al menos hasta 30 cm por encima de éste.
- 2) Compactación cuidadosa. La compactación debe realizarse en capas sucesivas de unos 30 cm de espesor, con un equipamiento idóneo (como dispone la normativa alemana) hasta al menos 0,70 m de recubrimiento sobre la clave del tubo. Una buena compactación debería alcanzar como mínimo el 90–92 % Proctor. La primera capa de refuerzo debe superar el semidiámetro del tubo para evitar levantamientos del mismo, en caso contrario es necesario prever un bloqueo temporal durante la compactación de la primera capa de refuerzo. Según los estándares alemanes, que no siempre se respetan totalmente después del recubrimiento con material de calidad, al menos hasta 1 m por encima de la clave, se puede utilizar para el relleno el mismo material procedente de la excavación.
- 3) Compactación regular. Se debe evitar compactar de manera discontinua, para evitar desplazamientos, y por consiguiente esfuerzos sobre las juntas, o curvaturas anormales en el cuerpo del tubo.
- 4) Maquinaria para la compactación. Hasta 1 m, por encima del tubo la compactación debe realizarse con maquinaria ligera, además de otros medios normales. Sin embargo, cuidado con exagerar la realización de la compactación con maquinaria para carretera sin calcular el efecto de la carga dinámica sobre el tubo que está debajo.

Para la elección del material bien para el lecho de apoyo, bien para el relleno, es necesario que el mismo posea un factor de compactación y un valor de  $E'$  correctos.

Una simple prueba para evaluar el grado de compactación que puede alcanzarse con el material disponible utilizando por consiguiente un valor válido de consideración de  $E'$  (obtenido de las tablas), puede realizarse del siguiente modo:

1. Se pone un cilindro abierto de 160mm de diámetro y 250mm de longitud sobre una superficie plana.
2. Se toma del material de excavación, una muestra representativa, y se vierte en el cilindro hasta el nivel superior.
3. Se retira el material sobrante con una regla y se vuelca el cilindro en un recipiente.
4. Un cuarto del material se pone nuevamente en el cilindro y se compacta con un pistón de 40mm de diámetro y de 1 kg de peso.
5. Se repite la fase anterior tres veces más.
6. Se mide la altura  $H$  entre el material y la parte superior del cilindro y la relación representa el factor de compactación para dicho material.



### 5. 3. 10 – CONTROL HIDRÁULICO

Teniendo en cuenta que las juntas con manguito responden a las disposiciones de la UNE-EN 13476 y por lo tanto resisten a las presiones de control incluso en presencia de deformaciones, es necesario tener cuidado para no causar deformaciones iniciales en la fase de relleno y de compactación.

De todos modos, siempre es conveniente realizar un control hidráulico de estanqueidad sobre la conducción instalada.

El control hidráulico puede efectuarse cerrando con tapas desmontables algunos tramos de la conducción, que se someten sucesivamente a presión estática aplicada con un medidor de la presión o con bomba de control a 0,5 bar o mayor , de acuerdo con el tipo de tubería o de acoplamiento.

Para le ejecución con manguitos, una conducción de *Ecopal*<sup>®</sup> bien instalada resiste sin problemas a controles incluso 0,5 bar, como está prescrito en la norma.

Esto mientras se produzcan fenómenos de dilatación, que causen la disminución de la presión de prueba incluso en ausencia de pérdidas.

En cualquier caso resulta que no tenemos sin embargo procesos estables y criterios de control, además de los parámetros de aceptación para los tubos estructurados.

Podrían adoptarse los mismos criterios utilizados para los tubos rígidos con junta de campana, pero teniendo en cuenta las dilataciones.



## ANEXO - Resistencia del PE a las sustancias químicas

	Alta resistencia	Media resistencia	Baja resistencia
Cambio de volumen	< 3 %	3 - 8 %	> 8%
Pérdida de carga	< 0,5 %	0,5 - 5%	> 5%
Alargamiento a rotura	ningún cambio	disminución <50%	disminución >50%

Sustancias Químicas	a 20°C			a 60°C		
	Alta resistencia	Media resistencia	Baja resistencia	Alta resistencia	Media resistencia	Baja resistencia
Acetato de amilo	•			•		
Acetato de butilo	•				•	
Acetona	•			•		
Ácidos aromaticos	•			•		
Ácidos grasos (superiores a C6)	•				•	
Ácido acético (10%)	•			•		
Ácido acético glacial (100%)		•			•	
Ácido benzoico		•			•	
Ácido bórico	•			•		
Ácido bromhídrico (50%)		•			•	
Ácido butírico	•				•	
Ácido carbonico	•			•		
Ácido cianhidrico	•			•		
Ácido cítrico	•			•		
Ácido clorhídrico (cualquier concentración)	•			•		
Ácido cromoico (80%)	•					•
Ácido dicloroacético (50%)	•			•		
Ácido dicloroacético (100%)	•				•	
Ácido fluorhídrico (40-70%)	•				•	
Ácido fórmico	•			•		
Ácido fosfórico (50%)	•			•		
Ácido fosfórico (95%)	•				•	
Ácido ftálico (50%)	•			•		
Ácido glicólico (55-70%)	•			•		
Ácido láctico (96%)	•			•		
Ácido maléico		•			•	
Ácido monocloroacético	•			•		
Ácido nítrico (25%)	•			•		
Ácido nítrico (50-70%)		•				•
Ácido oleico (concentrado)		•			•	
Ácido oxálico (50%)	•			•		
Ácido perclórico (20%)	•			•		
Ácido perclórico (50%)	•				•	
Ácido perclórico (70%)	•					•



Sustancias Químicas	a 20°C			a 60°C		
	Alta resistencia	Media resistencia	Baja resistencia	Alta resistencia	Media resistencia	Baja resistencia
Ácido propionico (50%)	•			•		
Ácido propionico (100%)	•				•	
Ácido silícico	•			•		
Ácido sulfhídrico (hidrogeno sulfurado)	•			•		
Ácido sulfocromico			•			•
Ácido sulfurico (50%)	•			•		
Ácido sulfurico (98%)		•				•
Ácido sulfuroso	•			•		
Ácido stearico	•				•	
Ácido succinico (50%)	•			•		
Ácido tartarico	•			•		
Ácido tricloroacetico (50%)	•			•		
Ácido tricloroacetico (100%)		•				•
Agua de mar	•			•		
Agua oxigenada (30%)	•			•		
Agua oxigenada (100%)	•					•
Aguarás		•				•
Acrilonitrilo		•				•
Alcohol alílico	•			•		
Alcohol bencílico	•			•		
Alcohol butílico	•					
Alcohol etílico (96%)	•			•		
Alcohol furfurílico	•			•		
Alcohol isopropílico	•			•		
Alcohol metoxibutílico	•				•	
Aldehído acético	•				•	
Alumbre	•			•		
Amoniaco	•			•		
Anhídrido acético	•				•	
Anhídrido sulfurico		•			•	
Anhídrido sulfuroso	•			•		
Anilina	•				•	
Benzaldehido	•			•		
Bencene		•			•	
Gasolina			•		•	
Benzoato de sodio	•			•		
Dicromato de potasio (40%)	•			•		
Sodio tetraborato decahidrato	•			•		
Borato de sodio	•			•		
Bromo			•			•
Alcánfor	•				•	



Sustancias Químicas	a 20°C			a 60°C		
	Alta resistencia	Media resistencia	Baja resistencia	Alta resistencia	Media resistencia	Baja resistencia
Carbonato de sodio	•			•		
Acetona	•			•		
Ciclohexano	•			•		
Ciclohexanol	•			•		
Ciclohexanon	•				•	
Clorito de sodio (50%)	•			•		
Clorobenceno		•				•
Cloroformio			•			•
Cloro liquido y gaseoso			•			•
Cloruro de aluminio	•			•		
Cloruro de amonio	•			•		
Cloruro de antimonio	•			•		
Cloruro de calcio	•			•		
Cloruro ferrico	•			•		
Cloruro de magnesio	•			•		
Cloruro de mercurio	•			•		
Cloruro de metileno			•			•
Cloruro de potasio	•			•		
Cloruro de sodio	•			•		
Cloruro de sulfurilo			•			
Cloruro de tionilo			•			
Cloruro de zinc	•			•		
Cresol	•			•		
Decalina			•		•	
Detergentes	•			•		
Diclorobenceno (para)		•				•
Dicloroetano		•			•	
Dicloroetileno			•			•
Dioxano	•			•		
Epiclorhidrina	•			•		
Esencia de trementina	•				•	
Esteres alifaticos	•				•	
Eter		•			•	
Eter de etilico		•			•	
Etere de petroleo			•		•	
Fenoles	•			•		
Fluor			•			•
Formaldehído (40%)	•			•		
Fosfatos	•			•		
Ftalato de butilo	•				•	
Gelatina	•			•		





Sustancias Químicas	a 20°C			a 60°C		
	Alta resistencia	Media resistencia	Baja resistencia	Alta resistencia	Media resistencia	Baja resistencia
Glicerina	•			•		
Glicol	•			•		
Glicol butílico	•			•		
Ipoclorito de calcio	•			•		
Ipoclorito de sodio	•			•		
Iso-octano			•			•
Levadura	•			•		
Lixiviados		•				•
Mermelada	•			•		
Melisa	•			•		
Mercurio	•			•		
Metanol	•			•		
Metiletilchetone		•				•
Metiglicol	•			•		
Morfolino	•			•		
Nafta (gasolina pesada)			•			•
Naftalina		•			•	
Nitrato de plata	•			•		
Nitrato de sodio	•			•		
Oleum			•			•
Aceites esenciales		•			•	
Aceites minerales			•			•
Aceites de parafina	•			•		
Aceites vegetales y animales		•			•	
Aceite de silicona	•			•		
Oxicloruro de fosforo	•				•	
Ozono	•			•		
Pentóxido de fosforo	•			•		
Permanganato de potasio	•			•		
Petroleo			•			•
Piridina			•			•
Poliglicoles	•			•		
Sosa caustica	•			•		
Reveladores fotograficos	•			•		
Salmuera	•			•		
Sales de níquel	•			•		
Sales de cobre	•			•		
Jarabes	•			•		
Sego	•			•		
Silicato de sodio	•			•		
Sosa caustica (lixiviado)	•			•		



Sustancias Químicas	a 20°C			a 60°C		
	Alta resistencia	Media resistencia	Baja resistencia	Alta resistencia	Media resistencia	Baja resistencia
Sulfatos metalicos	•			•		
Sulfuro de carbonio					•	
Sulfuro de sodio	•			•		
Zumos de frutta	•			•		
Tetracloruro de carbonio			•			•
Tetrahidrofurano		•				•
Tetralina			•		(D)	•
Tintura de iodo	•					
Tiofeno		•			•	
Tiosulfato de sodio	•			•		
Tolueno			•			•
Tricloroetileno			•			•
Tricloruro de antimonio	•			•		
Tricloruro de fosforo	•				•	
Trietanolamina	•			•		
Vapor de agua	•			•		
Vaselina		•			•	
Xileno			•			•
Azufre	•			•		