

Contaminación y Difusión en la conducción de agua

Ing. Sonia Bueno, Unión Nacional de Arquitectos e Ingenieros de la Construcción de Cuba,
(UNAICC), Tel.: 045/ 61 41 42, s.bueno@t-online.de

RESUMEN

El flujo de sustancias líquidas y gaseosas a través de un material sólido se define como difusión, o sea, la transportación de átomos, moléculas u iones libres como consecuencia de la diferencia de concentración.

La difusión ocurre mayormente a través de dos vías:

- a) Orificios libres dentro de la estructura molecular formados bajo la influencia térmica.
- b) Capilares submicroscópicos.

La difusión de sustancias tóxicas a través de las paredes de las líneas conductoras de agua es la causante de contaminaciones de aguas potables, regadíos y suelos. El efecto de la contaminación por difusión se refleja en la afección de la salud humana y otras especies vivientes del planeta cada vez más creciente.

La corrosión en las líneas conductoras se acelera por los procesos de difusión que se adjunta al uso de materiales cuya conformación molecular favorece dicho fenómeno.

En el siguiente trabajo será discutido el impacto de los efectos de difusión en la calidad de las aguas y suelos, riesgos para los recursos naturales, el medio ambiente y la salud, así como las limitaciones engendradas para el uso de materiales no seguros contra la difusión en la conducción de agua con referencia específica a las condiciones climáticas del trópico.

Los riesgos para la salud de la población son tan variados como las sustancias que pueden difundir a través de las paredes de las conductoras. Metales pesados, compuestos orgánicos volátiles y sintéticos, solventes, asbesto, alcoholes y nitratos son solamente ejemplos que traen efectos cancerígenos, teratogénicos y mutagénicos, irritación de los ojos, la piel y mucosas, afectan el sistema gastrointestinal y respiratorio así como las células nerviosas y la sangre.

Muchos de los mencionados efectos sobre la salud tienen en común, que no consisten en intoxicaciones agudas pero en el lento deterioro de funciones vitales debido a la constante exposición del organismo a concentraciones relativamente bajas. La recepción en el organismo ocurre no solamente a través de la consumición de agua potable o alimentos pero también por absorción dermal e inhalación.

Típico también para las enfermedades provocadas por la contaminación de aguas y suelos por difusión es un largo período de dolencia, terapias largas y costosas y la limitada capacidad laboral de las personas afectadas.

INTRODUCCIÓN

Desde más de cinco décadas la difusión sobre todo en materiales termoplásticos ha sido analizada sistemáticamente en el sector de la construcción (penetración de oxígeno en membranas termoplásticas para edificaciones) y en la industria alimenticia (envases termoplásticos). También del año 1955 data uno de los primeros casos de contaminación de agua potable con hidrocarburos a través de una tubería de PE (Instituto de Certificación e Inspección de los Países Bajos, KIWA, Rijswijk, [1] KIWA 1985). Hasta los años '80 se pudo observar un aumento continuo de casos similares de contaminación que coincidió con el creciente uso de estos materiales en la

transportación de agua. La permeación de una gran variedad de sustancias dañinas afectó todos los tipos de materiales no seguros contra la difusión utilizados con este fin.

El impacto de esos efectos sobre la conducción de agua no se llegó a investigar debidamente hasta principio de los años '90. El incremento del número de casos de contaminación de aguas, suelos y personas, reportados desde Europa y Norteamérica promovió la intensificación de las investigaciones a partir de esta época.

Hoy se puede constatar que la preocupación por la calidad de las aguas y suelos no puede concluir con el saneamiento de fuentes y embalses, así como la disminución de desechos peligrosos. Se debe tener en cuenta la difusión de sustancias dañinas a través de las paredes de las conductoras como un problema serio.

Entre estas sustancias nocivas para la salud encontramos metales pesados, solventes, nitratos, asbesto e hidrocarburos, así como otros residuos líquidos, gaseosos y sólidos.

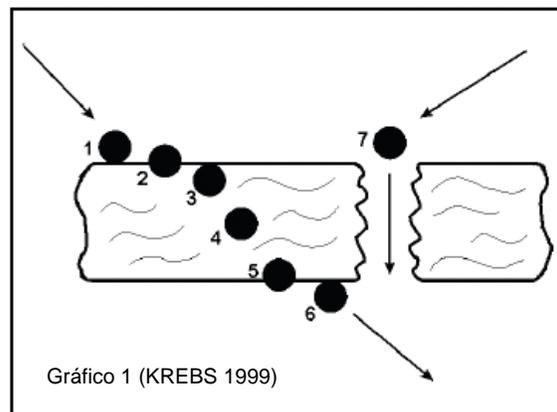
CONTEXTO FÍSICO-QUÍMICO

El flujo de sustancias líquidas y gaseosas a través de un material sólido se define como difusión, o sea, la transportación de átomos, moléculas u iones libres como consecuencia de la diferencia de concentración.

La difusión ocurre mayormente a través de dos vías:

- c) Orificios libres dentro de la estructura molecular formados bajo la influencia térmica. (difusión activada)
- d) Capilares submicroscópicos ([2] AFFOLTER 2006, [3] KREBS 1999), (Gráfico 1).

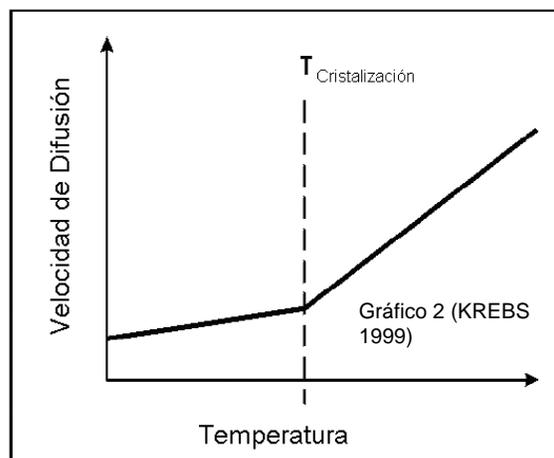
- **Difusión activada.** A causa de los efectos térmicos se origina en ciertos materiales un movimiento molecular interno constante. Este movimiento provoca dentro del material un desplazamiento continuo de los espacios intermoleculares (orificios). Dicho intercambio da lugar a la absorción de sustancias externas. El proceso de difusión se manifiesta en ambas direcciones (hacia adentro o hacia fuera de la tubería) y entonces ocurre a través de las fases siguientes:
 1. Adsorción,
 2. Absorción,
 3. Disolución,
 4. Difusión,
 5. Desorción,
 6. Evaporación.



- **Difusión a través de capilares.** Algunos materiales aplicados en la construcción, como termoplásticos, hormigón o cemento entre otros, contienen un número elevado de capilares submicroscópicos que pueden alcanzar el orden de 15.000 capilares/cm². Al contrario de los orificios libres estos capilares o micro-poros son estructuras estables. La difusión sucede en este caso como tránsito directo (7).

Ambos tipos de difusión dependen de:

- la temperatura ambiental (la velocidad de la difusión aumenta con la temperatura (Gráfico 2)),
- de la relación de tamaño entre los espacios intermoleculares del material de la conductora



- y las moléculas de la sustancia difundida (mientras mas pequeña la molécula mas rápido traspasa el material) ([4] MEVIUS 1994), así como
- de la diferencia de presión parcial entre los medios dentro y fuera de la tubería (la velocidad de difusión aumenta con la diferencia de la presión parcial).

Los materiales afectados por el fenómeno de difusión son:

- Todos los materiales termoplásticos (PVC, PE, PB y otros)
- Materiales porosos como hormigón y cemento

Como consecuencia de influencias térmicas (dilatación e hinchamiento irreversible), termo-oxidativas, químicas, biogénicas, foto-oxidativas o por hidrólisis, sufren una degradación estructural los materiales afectados, hecho que conduce también a un aumento de la velocidad de difusión activada con el paso del tiempo. En algunos casos se aplican aditivos a los materiales con el objetivo de contrarrestar algunos de dichos efectos. Todos estos aditivos con el paso del tiempo sufren una degradación o disolución, pues van dejando orificios libres adicionales que favorecen los procesos de difusión.

Durante la transportación, instalación y operación de las tuberías y componentes para la conducción de agua, principalmente fabricados de materiales ligeros y no seguros contra la difusión, están expuestos a fuerzas físicas que aún observando cuidadosamente las normas y manuales de instrucción tienen la tendencia de producir micro-fracturas dentro de los materiales. De esta manera se forman capilares adicionales que facilitan notablemente la difusión por tránsito directo.

LA DIMENSIÓN CUANTITATIVA

Desde los años '50 se han reportado alrededor de mil casos de contaminación de agua potable en el mundo donde la difusión ha sido identificada como causa única del incidente. Según una investigación realizada en el año 1991 ([5] HOLSEN 1991) en base de más que 100 casos de contaminación ocurridos entre 1980 y 1990 en EE.UU., los 98% de ellos eran incidentes con tuberías termoplásticas. Los restantes casos afectaron tuberías de asbesto-cemento (AC) y materiales de juntas (Gráfico 3).

Los casos analizados en ese estudio así como otros elaborados en los sectores de la construcción, hidráulica, química e ingeniería de calefacción también muestran que no existen diferencias significantes entre los distintos tipos de materiales termoplásticos en cuanto al fenómeno de la difusión.

Sustancias solventes presentes comúnmente en los suelos urbanos y aguas residuales penetran a través de tuberías termoplásticas dentro de un período de 2 a 9 semanas ([4] MEVIUS 1994, [6] SELLECK 1991, [7] GREENPEACE 2004). Un espesor mayor de la tubería solamente alarga gradualmente el período de difusión inicial hasta la saturación del material. Los solventes como por ejemplo el tolueno, el tricloroetileno, el cloruro de metileno y el xileno una vez difundido por las paredes provocan una hinchazón irreversible de los termoplásticos multiplicando la velocidad de difusión por un factor de 900 hasta 4000 ([6] SELLECK 1991).

Micro-fracturas sufridas durante la transportación e instalación, o inducidas por fuerzas alternadas durante la operación no solamente afectan la resistencia pero también la permeabilidad de los materiales termoplásticos. Una membrana termoplástica de 100mm de espesor y de última tecnología, por ejemplo, recibe durante la instalación (conforme a los manuales) un elevado número de micro-perforaciones que permiten la difusión de líquidos lixiviados a una velocidad de alrededor de 200 litros por hectárea y día ([8] ENVIRONMENTAL RESEARCH FOUNDATION, 1992). La AWWA

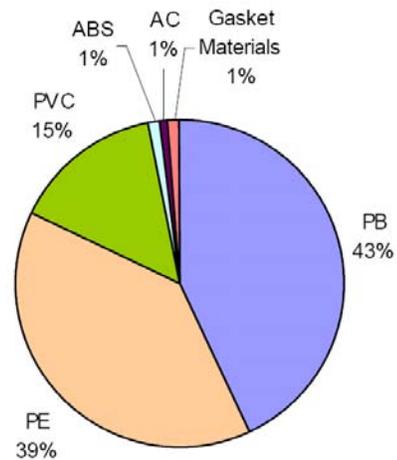


Gráfico 3: Incidentes de contaminación de agua potable debido a difusión por tipo de material de la tubería ([5] HOLSEN 1991)

(American Water Works Association) por esa razón exige para las tuberías termoplásticas según los estándares C906 (PE), C900, C 905 y C909 (PVC) que bajo ningún concepto sean instalados componentes que tengan defectos visible en sus superficie (arañazos) ya que aquellos son indicadores de micro-perforaciones y fracturas que afectan la integridad de la pared.

En materiales metálicos no ocurren efectos de difusión mientras se encuentran en fase sólida. ([9] AWWA 2002)

LOS IMPACTOS SOBRE LA SALUD HUMANA Y EL MEDIO AMBIENTE

Los impactos sobre la salud de la población son tan variados como las sustancias que pueden difundir a través de los materiales no seguros contra la difusión. Metales pesados, compuestos orgánicos volátiles y sintéticos, solventes, asbesto, alcoholes y nitratos son solamente ejemplos que traen efectos cancerígenos, teratogénicos y mutagénicos, irritan los ojos, piel y mucosas, afectan el sistema gastrointestinal y respiratorio así como las células nerviosas y la sangre ([7] GREENPEACE 2004).

Muchos de los mencionados impactos sobre la salud tienen en común, que no consisten en intoxicaciones agudas pero en el lento deterioro de funciones vitales debido a la constante exposición del organismo a concentraciones relativamente bajas. La recepción en el organismo ocurre no solamente a través de la consumición de agua potable o alimentos pero también por absorción dermal e inhalación.

El riesgo para otras enfermedades como por ejemplo la metahemoglobinemia provocada por altas concentraciones de nitrato en el agua potable ([10] GARCÍA 1982), a través de procesos de difusión en las líneas puede llegar a niveles superiores a pesar de que la contaminación en las fuentes y embalses haya disminuido.

Típico también para las enfermedades provocadas por la contaminación de aguas y suelos es un largo período de dolencia, terapias largas y costosas y la limitada capacidad laboral de las personas afectadas.

La tabla 1 muestra algunas sustancias tóxicas que han sido causantes de contaminaciones de aguas y suelos por difusión así como sus efectos sobre la salud humana ([7] GREENPEACE 2004).

Tomando de inicio la gran variedad de sustancias nocivas que pueden difundir a través de las líneas conductoras debemos considerar los efectos sumados y combinados que las mismas pueden tener sobre la salud humana.

Concentraciones bajas de solventes y metales pesados en el organismo paralizan, por ejemplo, parcialmente las funciones vitales de hígado, riñones y células nerviosas como la auto-desintoxicación del cuerpo y la transmisión de impulsos nerviosos. De esta forma aumenta la concentración de otras sustancias nocivas en el cuerpo. Esta combinación afecta la autodefensa del organismo disminuyendo su capacidad inmunológica llevándolo a una elevado nivel de estrés y vulnerabilidad. ([11] EEA 2000)

Dichos efectos son difíciles de valorar y pronosticar, significando en la mayoría de los casos, que solamente se pueden determinar valores límites de concentración para cada una de las sustancias separadas en los diferentes medios (agua, aire, suelo) pero no para su acción combinada. Los efectos sobre la salud también están influidos por el tiempo de permanencia de las sustancias en el organismo y los órganos donde tienen tendencia de acumularse (efectos acumulativos).

La entrega de sustancias tóxicas desde suelos contaminados hacia las líneas de agua potable por causa de la difusión afecta principalmente la salud de los seres humanos y los animales. Por otra parte el uso de sistemas no seguros contra la difusión para el desagüe, el alcantarillado y la conducción de sustancias nocivas contribuye directamente a la distribución de los contaminantes hacia otras zonas. La Asamblea Mundial de Mujeres sobre el Medio Ambiente mencionó en el 2004 el uso de sistemas de alcantarillado inadecuados como primera causa de la contaminación de aguas y suelos, seguida por la eliminación de desechos, los efluentes industriales y los residuos agrícolas. ([12] UNEP 2004)

En el caso específico de la agricultura encontramos la difusión como causa de la contaminación del agua de riego donde sustancias nocivas logran entrar a la cadena alimentaria, la entrega de fertilizantes hacia líneas de agua potable que cruzan por debajo de los campos de cultivo y la distribución de los fertilizantes a través de las líneas de desagüe.

Compuesto Orgánico Volátil	Efectos en la Salud
Benceno	Cancerígeno, mutagénico, posible teratogénico; efectos sobre el sistema nervioso central y periférico; efectos sobre el sistema inmunológico y gastrointestinal; desórdenes en las células de la sangre; alergias; irritaciones en los ojos y la piel
Cloroformo	Probable cancerígeno y teratogénico; efectos sobre el sistema nervioso central y efectos gastrointestinales; daños en el hígado y el riñón; embriotóxico; irritaciones en los ojos y la piel
1,1-dicloroetano	Embriotóxico; efectos sobre el sistema nervioso central, hígado y riñones
Etilbenceno	Efectos sobre el sistema nervioso central; daños en los riñones y el hígado; irritaciones en el sistema respiratorio, en los ojos y la piel
Cloruro de metileno	Posible cancerígeno; efectos sobre el sistema nervioso central, pulmones / sistema respiratorio y sistema cardiovascular; desórdenes en la sangre; irritaciones en la piel y los ojos
Tetracloroetileno	Probable cancerígeno; efectos sobre el sistema nervioso central, pulmones / sistema respiratorio; embriotóxico; daños en los riñones e hígado; irritaciones al sistema respiratorio y los ojos
Tolueno	Posible mutagénico y cancerígeno; efectos sobre el sistema nervioso central y sistema cardiovascular; daños en los riñones y el hígado; irritaciones al sistema respiratorio, la piel y los ojos; alergias
Tricloroetileno	Posible cancerígeno y teratogénico; efectos en el sistema nervioso central, riñones e hígado, sistema cardiovascular, pulmones / sistema respiratorio; desórdenes en las células de la sangre; irritaciones en el sistema respiratorio, la piel y los ojos; alergias
1,1,1-tricloroetileno	Cancerígeno; mutagénico; efectos en el sistema nervioso central, pulmones / sistema respiratorio; daños en el hígado y el riñón; irritación en ojos y piel
Cloruro de vinilo	Cancerígeno; mutagénico; posible teratogénico; efectos en el sistema nervioso central; daños en el hígado y el riñón; irritación en ojos y piel; desórdenes en las células de la sangre
Xileno	Efectos en el sistema nervioso central, sistema cardiovascular; daños en el hígado y el riñón; irritación en ojos y sistema respiratorio
Metal	Efectos en la Salud
Arsénico	Cancerígeno; potencialmente teratogénico; efectos sobre los sistemas cardiovascular, nervioso periférico, reproductivo y pulmones / respiratorio; daños en el hígado y el riñón
Cadmio	Probable cancerígeno y teratogénico; embriotóxico; efectos en el sistema nervioso central, sistema reproductivo y sistema respiratorio / pulmones; daños en el riñón
Cromo	Cancerígeno; probable mutagénico; efectos sobre el sistema pulmonar / respiratorio; alergias, irritación en los ojos
Plomo	Probable teratogénico; daños en el riñón y el cerebro; efectos sobre el sistema nervioso central y reproductivo; desórdenes en las células de la sangre
Mercurio	Teratogénico; efectos sobre el sistema nervioso central, cardiovascular y pulmonar / respiratorio; daños en riñón y la vista
Níquel	Probable cancerígeno; probable teratogénico; efectos sobre el sistema pulmonar / respiratorio; alergias; irritación en el ojo y la piel; daños en el hígado y el riñón
Compuestos Orgánicos sintéticos	Efectos en la Salud
2,4-D	Mutagénico, posible cancerígeno y teratogénico; daños en el hígado, el riñón, en los nervios y en el sistema reproductor; efectos pulmonares / sistema respiratorio; irritación en la piel y los ojos
Lindano	Daños en el sistema reproductor y nervioso; posible cancerígeno
Pentaclorofenol	Posible mutagénico y teratogénico, irritación en los ojos, la piel y en los pulmones / sistema respiratorio; daños en el hígado y el riñón
Alcohol	Efectos en la Salud
Etanol	Mutagénico; cancerígeno; causa de malformaciones congénitas
1-propanol	Posible cancerígeno
2-propanol	Posible cancerígeno; irritación en la piel, los ojos y en el sistema respiratorio; posibilidad de generar efectos en el sistema nervioso central
4-nitrofenol	Posible mutagénico y cancerígeno; desórdenes en las células de la sangre; irritación en la piel y el sistema respiratorio; efectos en el sistema nervioso central

Tabla 1: Sustancias tóxicas con habilidad de difundir por materiales termoplásticos o porosos y su efecto sobre la salud ([7] GREENPEACE 2004)

LOS IMPACTOS SOBRE LA INTEGRIDAD DE LAS LÍNEAS CONDUCTORAS

La difusión a través de las paredes de las conductoras juega un papel importante para la degradación de los mismos componentes así como otros materiales usados en la conducción de agua.

Sistemas termoplásticos:

Los procesos de difusión permiten que las sustancias agresivas para los termoplásticos como son los oxidantes, cetonas, éster, diferentes hidrocarburos, cloroformo ([2] AFFOLTER 2006) así como la naftalina, la margarina, el vinagre y el lustre de zapatos ([7] GREENPEACE 2004) penetren al material ,degradando no solamente la superficie si no también la estructura interna. Típico de los termoplásticos es que pequeñas degradaciones químicas tienen un mayor impacto en las propiedades físicas de los materiales, razón por lo que la vida útil real de los termoplásticos no cumple con los pronósticos elaborados en los laboratorios ([2] AFFOLTER 2006).

Debidos a los procesos de producción y la forma de unión (pegamento, termofusión), los componentes termoplásticos de las conductoras poseen una estructura irregular formando zonas con diferentes grados de cristalización en las cuales también varia el plazo de difusión. Sustancias que difunden por esos materiales llegan a acumularse entre dichas zonas provocando una presión mecánica que logra romper los lazos entre los polímeros. Típicamente las uniones entre diferentes componentes así como por ejemplo las zonas de unión entre el tubo interior y el exterior de las piezas corrugadas son lugares donde se observan estos fenómenos. ([13] VDI 2005, [14] BAKELITE 2006, [15] MAHMOOD 2005)

Sistemas compuestos:

Las diferencias en el plazo de difusión en sistemas compuestos (hormigón, centro acero, termoplásticos con capas metálicas y otros) provoca efectos similares a los anteriormente descritos. Se produce una separación de los materiales que afecta la integridad del sistema y da vía libre a los procesos de filtración y corrosión ([16] ICA 2006). La foto 1 muestra los daños originados por procesos de difusión en una tubería de centro acero con un tiempo de explotación de



Foto 1, daños originados por difusión en una tubería de centro acero

aproximadamente 13 años, donde se observa la pérdida de gran parte de la capa de cemento continuada por la corrosión de los componentes metálicos.

Las estadísticas de contaminación por difusión (vea arriba) muestran que los componentes de hormigón y de centro acero tienen menos probabilidad de ser afectados por este fenómeno que aquellos hechos de materiales termoplásticos. Sin embargo el plazo de difusión aumenta durante de la vida útil por causa del envejecimiento y la degradación de esos materiales. En consecuencia el mantenimiento de esos componentes exige una especial atención.

Sistemas metálicos:

Muchos de los sistemas de conducción de agua que se encuentran funcionando desde finales del siglo XIX o de la primera mitad del XX están integrados por componentes metálicos, de hormigón o cemento. Dichos sistemas no estaban provistos de una protección adecuada contra sustancias corrosivas, cuya concentración en el agua era anteriormente muy baja en relación a las condiciones actuales.

Estas sustancias químicas, biológicas y además gases atmosféricos que difunden hacia el interior de las líneas conformadas de termoplástico, no atacan directamente al material pero si a los componentes metálicos, de hormigón y cemento sin protección adecuada que acelera la corrosión y degradación de los mismos.

Numerosos componentes antiguos aún contienen sustancias tóxicas (plomo, mercurio, asbesto y otros) que se desprenden del material cuando se ponen en contacto con las sustancias solventes difundidas al agua.

El efecto de difusión de oxígeno a través de tuberías termoplásticas ha sido investigado durante muchos años por la ingeniería de calefacción. El uso de componentes termoplásticos ha sido limitado a un bajo porcentaje en cada red para evitar la corrosión de las piezas metálicas (calderas, radiadores, etc.) sometidas a una concentración de oxígeno elevada en la línea([17] BDH 2004).

LIMITACIONES PARA EL USO DE MATERIALES Y SISTEMAS EN LA CONDUCCIÓN DE AGUA Y SUSTANCIAS NOCIVAS

En varios países alrededor del globo el uso de sistemas no seguros contra la difusión para la conducción de agua ha sido limitado a suelos y medios no contaminados (UE, Canadá, partes de EE.UU. y Japón) .En caso de contaminación o cuando la posibilidad de una contaminación no puede ser excluida, deben ser instalados sistemas impermeables.

Dentro de la situación específica en zonas tropicales existen circunstancias que hacen una estrategia similar aún más necesaria:

- La contaminación de los suelos y medios a transportar en muchos casos no puede ser determinado con precisión.
- Las pruebas de materiales en cuanto a la velocidad de difusión bajo condiciones reales han sido mayormente elaboradas según las condiciones en los países del norte. Con la influencia de altas temperaturas, el plazo de difusión sobre todo en los termoplásticos es aún mayor ([2] AFFOLTER 2006).
- La alta salinidad de los suelos así como la humedad relativa en muchos países tropicales ([18] GONZÁLEZ 2004, [19] SIMEÓN 1990) elevan las posibilidades de degradación de los termoplásticos y materiales compuestos por causa de envejecimiento biogénico ([2] AFFOLTER 2006). De esta forma micro- y macroorganismos provocan un crecimiento del plazo de difusión.
- Especialmente materiales termoplásticos deben ser tratados cuidadosamente durante la transportación e instalación para evitar micro-fracturas y perforaciones que aceleran el plazo de difusión en el material. El uso de las herramientas adecuadas es imprescindible. En los sitios de construcción esas condiciones muchas veces no pueden ser garantizadas.
- América Central y el Caribe poseen numerosas ciudades antiguas con redes de conducción de agua desprovistas de protección adecuada contra la corrosión. La difusión de sustancias agresivas a través de sistemas no seguros significa un alto riesgo para un deterioro acelerado del patrimonio cultural.

BIBLIOGRAFÍA

- [2] AFFOLTER, Prof. Dr. Samuel, Langzeitverhalten von Thermoplasten, Interstaatliche Hochschule für Technik NTB, Buchs, Suiza, 2006
- [9] AWWA (American Water Works Association) y Economic and Engineering Services, Inc., Permeation and leaching, Estados Unidos, 2002
- [14] BAKELITE AG, Thermoplastics – Defects on Moulded Parts, Iserlohn, Alemania, 2006
- [17] BDH (Bundesindustrieverband Deutschland Haus- Energie- und Umwelttechnik e.V.), Korrosionsschäden durch Sauerstoff im Heizungswasser – Sauerstoffkorrosion –, 4. Auflage August 2004, Alemania
- [11] EEA (European Environment Agency), Technical report No 38: Dangerous substances in waste, Jürgen Schmid, Andrea Elser, Renate Ströbel, ABAG-itm Mathew Crowe, EPA, Ireland, Copenhagen, Dinamarca, Feb. 2000
- [8] ENVIRONMENTAL RESEARCH FOUNDATION, 16 de diciembre de 1992 “New Evidence that All Landfills Leak”; semanario N° 316 de “Rachel’s Environment and Health News”; Estados Unidos
- [10] GARCÍA, M./ Rodríguez, D./ Rabelo, I, Nitratos en aguas de consumo como factor de riesgo para la población infantil, Editorial: Instituto de Hidroeconomía, Conferencia Científico-Técnica 20 Años de Desarrollo Hidráulico en la Revolución, Ciudad de La Habana, Cuba, Nov. 1982
- [18] GONZÁLEZ-Núñez, LM., Tóth, T., García, D., Manejo integrado para el uso sostenible de los suelos afectados por salinidad en Cuba, UNIVERSIDAD Y CIENCIA, Volumen 20, Número 40 Diciembre 2004, México
- [7] GREENPEACE Argentina, Campaña Contra las Sustancias Tóxicas, Segunda Revisión: Julio 2004, Argentina
- [5] HOLSEN, Thomas M., Park, Jae K., Jenkins, David, and Selleck, Robert E, “Contamination of Potable Water by Permeation of Plastic Pipe,” Journal AWWA, Vol. 83 No. 8, pp. 53-56., Estados Unidos, ., Agosto 1991
- [16] ICA (Independent Composite Agency), Gasoline Diffusion HDPE Epoxy, Reino Unido, Dic. 2006
- [1] KIWA (Keuringinstitut voor waterleiding) N.V., Permeatie van organische verbindingen door leidingsmaterialen, Medeling nr. 85, Países Bajos, 1985
- [3] KREBS, C., Avondet, M.A., K.W. Leu, Langzeitverhalten von Thermoplasten – Alterungsverhalten und Chemikalienbeständigkeit, Hanser-Verlag München, Alemania, 1999
- [15] MAHMOOD, Nasir, Investigations on the Adhesion of Polyurethane Foamson Thermoplastic Material Systems, Mathematisch-Naturwissenschaftlich-Technische Fakult(Ingenieurwissenschaftlicher Bereich)der Martin-Luther-Universit-Wittenberg, Wittenberg, Alemania, 2005
- [4] MEVIUS, Walter, von Oepen, Birgit, Steinbrecht Harald, Permeabilität von Polyethylenrohren gegenüber Umweltchemikalien, Hamburger Wasserwerke, Fachliche Berichte 1/94, Alemania
- [6] SELLECK, Robert E. and Marinas, Benito J., July 1991, “Analyzing the Permeation of Organic Chemicals Through Plastic Pipes,” Journal AWWA, Vol. 83 No. 7, pp. 92-97., Estados Unidos
- [19] SIMEÓN, F.R./ Galinsky, I.D., Base normativa y metodológica del tomo 'Condiciones del suelo y su mejoramiento' - Esquema regional precisado del aprovechamiento integral de los recursos de agua

y suelo de las provincias La Habana, Matanzas y Ciego de Ávila, Instituto Nacional de Recursos Hidráulicos, Ciudad de La Habana, Cuba, 1990

[12] UNEP, La mujer y la gestión de los recursos hídricos: un enfoque integrado, Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente, Asamblea Mundial de Mujeres sobre el Medio Ambiente: La mujer como portavoz del medio ambiente, Primera reunión Nairobi 11 a 13 de octubre de 2004, Chapter five, Nairobi, Kenya, 2004

[13] VDI (Verband Deutscher Ingenieure), K. Gebert, M. Gehringer; Burgbernheim, Rohstoffpaarungen – derzeitige Möglichkeiten, Haftungsmechanismen, mögliche Rohstoffkombinationen, Hart-Weich-Verbindungen, Burgbernheim, Alemania, 2005