

PATOLOGÍAS EN REDES DE ABASTECIMIENTO DE AGUA DE POLIETILENO. CRITERIOS DE DISEÑO

PATHOLOGIES IN POLYETHYLENE WATER SUPPLY NETWORKS. DESIGN PRINCIPLES

A.M. Romero Sedó^{1,2,3}, P. Arrué Burillo^{1,2,3}, J.F. Romero i Miquel⁴
Dpto. Construcciones Arquitectónicas¹; Universitat Politècnica de València²; ETS. Ingeniería de Edificación³; Universitat de València⁴

INTRODUCCIÓN

En multitud de municipios en las redes de abastecimiento de agua potable de baja presión se producen un elevado número de fugas con un grave perjuicio socioeconómico. Este artículo realiza el diagnóstico del fallo de los materiales en servicio de las tuberías de polietileno (PE) instaladas en una UE terminada en 2004, con 1 fuga cada 6.17 metros entre 2015 y 2018. El diagnóstico del fallo requiere un extenso conocimiento multidisciplinar y un protocolo adecuado para la toma de datos, así como establecer la metodología específica de cada disciplina en base a las patologías identificadas, la toma de decisiones y el planteamiento de las estrategias de actuación.

OBJETIVOS

El objetivo del estudio es establecer la metodología de diagnosis del fallo y e indicar las causas y las acciones correctoras a realizar con la finalizad de corregir el fallo en servicio.

MATERIALES Y MÉTODOS

Las patologías más frecuentes en las redes de abastecimiento de agua potable son debidas generalmente a varias causas, por ello se realiza un análisis del comportamiento hidráulico de la red y el estudio de la compatibilidad del tipo de agua con el material. Se estudian las distintas patologías mediante cálculo computacional por MEF con objeto de determinar los estados límites de rotura. Y se realizan los ensayos de laboratorio para conocer las características fisicoquímicas de la tubería y conocer la resistencia a presión interna, así como la morfología de la rotura por SEM. La red mallada está formada por tuberías de polietileno PE100, SDR 17 serie S, MRS de 10 MPa y DN-110, sin sistemas automáticos de regulación y el desnivel entre depósito y la UE es de 71 m.

Tabla 1. Toma de datos y análisis previo / Table 1. Data collection and prior analysis			
ADMINISTRACIÓN PÚBLICA	EMPRESA CONSTRUCTORA	FABRICANTE DEL MATERIAL	EMPRESA ALMACENISTA
1 Proyecto de urbanización. Unidad Ejecución	1 Clasificación empresa constructora	1 Fecha de fabricación del material	1 Fecha de recepción de los materiales
2 Pliego de condiciones de contratación	2 Tipo y tiempo de acopio de los materiales	2 Certificado de fabricación del material	2 Tipo y tiempo de acopio de los materiales
3 Periodo de garantía de la obra	3 Tipo de transporte del material	3 Normativa de fabricación	3 Fecha de suministro del material
4 Libro de ordenes	4 Seguro de responsabilidad civil		
5 Certificado final de obra	5 Calificación profesional del encargado de obra		
6 Informes técnicos municipales			
7 Denuncias del servicio de la UE			
8 Daños en la propiedad privada por fugas			
EMPRESA GESTORA AGUA POTABLE	UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA	LABORATORIO HOMOLOGADO	NORMA UNE
1 Analíticas completas agua potable	1 Toma de muestras de las fugas de agua durante un periodo de 8 meses	1 Índice de fluidez	EN ISO 1133-1
2 Historial de fugas y ubicación en la UE	2 Preparación de las muestras para su análisis	2 Alargamiento a la rotura	ISO 6259
3 Historial de mantenimiento	3 Análisis morfológico de las patologías mediante microscopio metalúrgico	3 Retracción longitudinal	EN ISO 2505
4 Informe de regulación de la red	4 Búsqueda bibliográfica científica americana en ASM HANDBOOK	4 Tiempo de inducción a la oxidación	EN ISO 11357-6
5 Maniobras en las redes de la UE y fecha	5 Indicación de los puntos donde deben instalarse los loggers de presión y caudal en la UE, durante el periodo de tiempo estimado	5 Dispersión de negro de carbono	ISO 18553
6 Ficheros digitalizados de las redes en la UE		6 Determinación de negro de carbono	53-375-3
7 Puntos de conexión y presión de la red mallada de la UE		7 Presión interna estática	EN ISO 12201-2
8 Incidencias de transitorios		8 Análisis morfológico por SEM	
9 Quejas de los usuarios del servicio en la UE			
10 Alquiler de loggers, caudal y presión			

INTRODUCTION

In many municipalities in the low pressure drinking water supply networks there are a high number of leaks with serious socioeconomic damage. This article performs the diagnosis of the failure of the materials in service of the polyethylene (PE) pipes installed in an EU completed in 2004, with 1 leak every 6.17 meters between 2015 and 2018. The diagnosis of the failure requires extensive multidisciplinary knowledge and a adequate protocol for data collection, as well as establishing the specific methodology of each discipline based on the identified pathologies, decision-making and the approach to action strategies.

OBJECTIVES

The objective of the study is to establish the fault diagnosis methodology and indicate the causes and corrective actions to be carried out in order to correct the fault in service.

MATERIALS AND METHODS

The most frequent pathologies in drinking water supply networks are generally due to various causes, therefore an analysis of the hydraulic behaviour of the network and the study of the compatibility of the type of water with the material is carried out. The different pathologies are studied by means of computational calculation by MEF in order to determine the limit states of rupture. And laboratory tests are carried out to know the physicochemical characteristics of the pipe and to know the resistance to internal pressure, as well as the morphology of the rupture by SEM. The mesh network is made up of polyethylene pipes PE100, SDR 17 series S, MRS of 10 MPa and DN-110, without automatic regulation systems and the difference in level between the tank and the EU is 71 m.

RESULTADOS / RESULTS

Análisis hidráulico / Hydraulic analysis

Se instaló un data logger de 60 Hz de frecuencia, con recogida de datos durante 8 meses. Se detectaron 11 fugas registradas como descensos bruscos de presión en horas de mayor demanda, los jueves y los viernes, repitiéndose el mismo patrón semanal. A 60 Hz frequency data logger was installed, with data collection for 8 months. Eleven leaks were detected as sudden drops in pressure during peak hours, on Thursdays and Fridays, repeating the same weekly pattern.

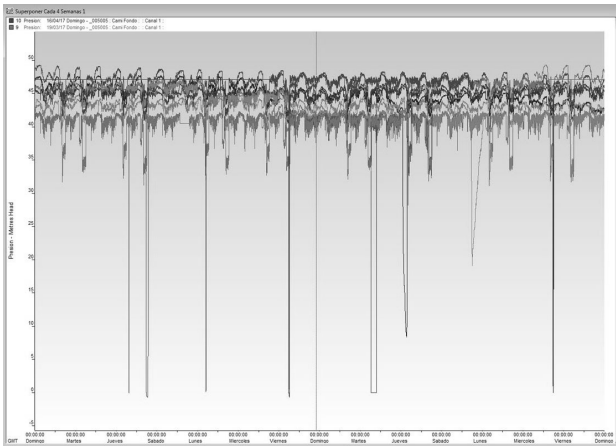


Figura 1. Fugas, presiones (mca) y Correlación Presión (mca) vs. Tiempo periodo mensual
Image 1. Leaks, pressures (mca) and Pressure Correlation (mca) vs. Monthly period time.

Compatibilidad del agua potable con el material instalado/ Compatibility of drinking water with installed material

Los valores elevados del índice de Langelier de 0.74 (2016) y 0.91 (2017), aconsejan no utilizar materiales poliméricos ya que pueden producirse depósitos de CaCO₃. Las tuberías analizadas presentan una patina micrométrica de CaCO₃ atribuible a la elevada presión del agua y tiempos mínimos de permanencia del agua. El material proyectado no es el más aconsejable por la compatibilidad, no obstante, las patologías detectadas no son atribuibles a la compatibilidad con el agua. The high values of the Langelier index of 0.74 (2016) and 0.91 (2017), advise not to use polymeric materials since CaCO₃ deposits may occur. The pipes analyzed present a micrometric patina of CaCO₃ attributable to the high pressure of the water and minimum residence times. The projected material is not the most advisable due to compatibility, however, the pathologies detected are not attributable to compatibility with water.

Patologías / Pathologies

La rotura del material es por fractura frágil MODO I con una superficie pulida con la aparición de líneas de Wallner, indicador de ciclos de fatiga, por variación de la presión. Los ensayos de alargamiento la rotura, tiempo de inducción y negro de carbono no cumplen las especificaciones confirmando la rotura tipo frágil. Material breakage is due to MODE I brittle fracture with a polished surface with the appearance of Wallner lines, an indicator of fatigue cycles, due to pressure variation. The tests of elongation at break, induction time and carbon black do not meet the specifications confirming the brittle type break.

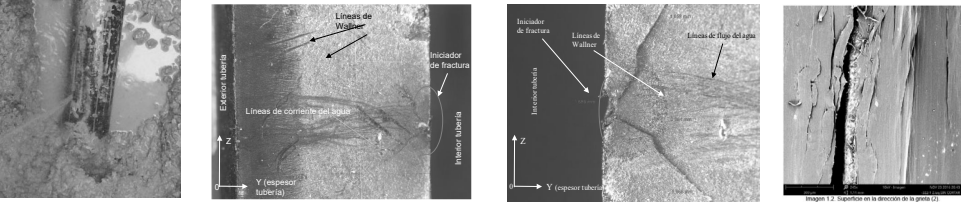


Figura 2. (a) Fuga de calle 2, en la tubería de PE 100, DN-110. (b) Lateral izquierdo (32 X). (c) Fractura frágil MODO I (plano ejes Z, X) con aparición de líneas Wallner. (d) Grieta / Image 2. (a) Sample 1. Water leak in lane 2, in the PE 100, DN-110 pipe. (b) Left side (32 X). (c) MODE I brittle fracture (Z, X axis plane) with appearance of Wallner lines. (d) Crack.

Modelización mediante cálculo computacional por MEF / Modeling by computational calculation by MEF

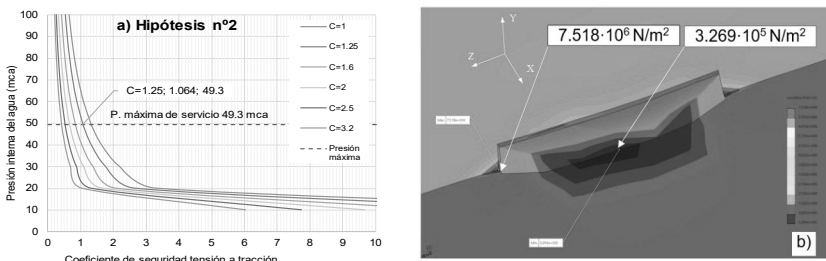


Figura 3. (a) Presión interna vs. Coef. de seguridad tensión a tracción. (b) Tensiones por von Mises / Image 3. Internal pressure vs. Coeff. tensile stress safety. (b) Stresses by von Mises

Para una presión máxima de 49.3 mca y un coeficiente de diseño C=1.25, el coeficiente de seguridad frente a la tensión por tracción es de 1.064, no alcanzando la rotura. No obstante, la aparición de iniciadores de fractura disminuye el coeficiente de seguridad. For a maximum pressure of 4.93 bar and a design coefficient C=1.25, the safety factor against tensile stress is 1.064, not reaching breakage. However, the appearance of fracture initiators decreases the safety factor.

Propuesta de diseño / Design proposal

Se reemplazan las tuberías de PE por FD PN 250 mca, debido a la calidad del agua, protección frente a la corrosión a largo plazo y características mecánicas excelentes. Y se instalan sistemas de control y regulación de presión y caudal, así como su monitorización mediante sistema Scada. PE pipes are replaced by FD PN 250 mca, due to water quality, long-term corrosion protection and excellent mechanical characteristics. And pressure and flow control and regulation systems are installed, as well as their monitoring using the Scada system.

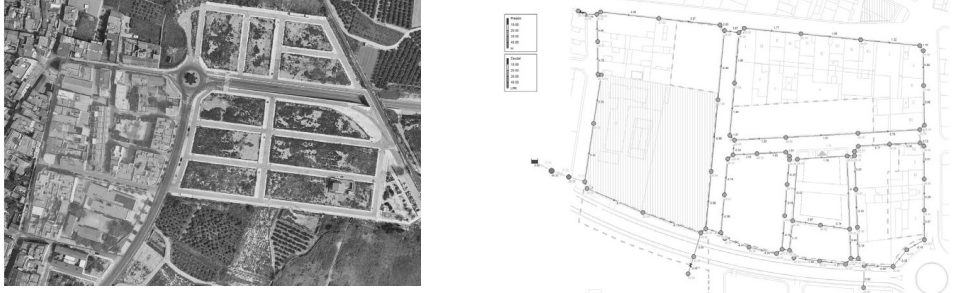


Figura 4. Unidad de Ejecución. Presión y caudal, periodo 8:00 horas
Image 4. Execution Unit. Pressure and flow, period 8:00 hours

El análisis del transitorio en la unión de la tubería de PE, válvula reductora de presión y tubería de fundición dúctil, indica un tiempo de maniobra superior a 2.1 s para evitar sobrepresiones excesivas o depresiones. The analysis of the transient at the junction of the PE pipe, the pressure reducing valve and the ductile iron pipe, indicates a maneuvering time greater than 2.1 s to avoid excessive overpressures or depressions.

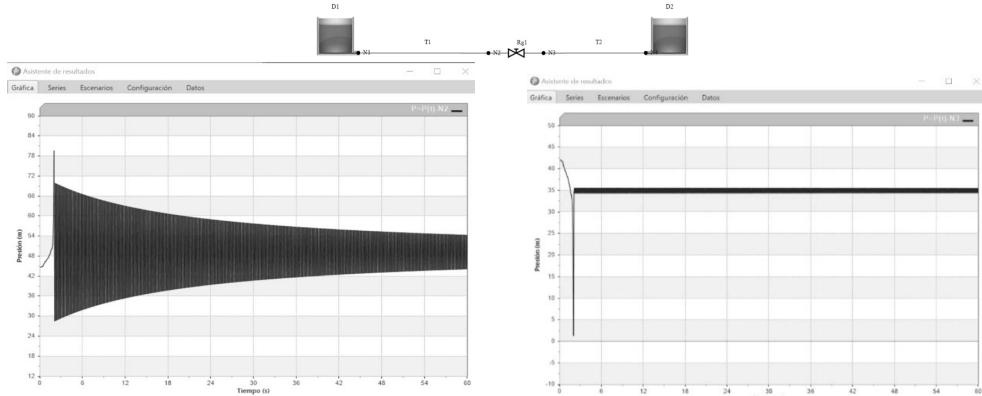


Figura 5. Transitorio en el nudo N2 (a) y N3 (b), para un tiempo de maniobra de 2,1 s.
Image 5. Transient at node N2 (a) and N3 (b), for a maneuvering time of 2.1 s.

CONCLUSIONES

- Las redes de polietileno de 605 m ha tenido 98 fugas entre 2015 y 2018, ello supone un aumento de accesorios instalados, incrementando la probabilidad de nuevas fugas por existencia de iniciadores de fractura cercanos a la fuga reparada, disminución del rendimiento hidráulico, etc., derivando en una mala calidad del servicio de agua potable.
- Las numerosas fugas son atribuibles al material en combinación con pérdida de elasticidad del material, falta de eficacia del antioxidante residual del material o envejecimiento por la intemperie y radiación ultravioleta que han provocado la rotura frágil.
- El estudio de la calidad del agua, hidráulico y de transitorios ha permitido proponer la sustitución de toda la red por tuberías de fundición DN-110 e instalar una válvula reguladora de presión con tiempo de maniobra mínimo de 2.1 s, con la finalidad de disminuir las presiones evitando fatiga en los materiales, pérdidas elevadas de agua por poros o fugas en las redes, aumentando el rendimiento en la red hidráulica, la vida útil de los materiales, aumento del ahorro económico, etc. Estos sistemas de regulación deben ubicarse en emplazamientos adecuados previo análisis por modelación matemática. En previsión a futuras ampliaciones la válvula de compuerta debe disponer de un tiempo de maniobra mínimo de 15 s.

CONCLUSIONS

- The 605 m polyethylene networks have had 98 leaks between 2015 and 2018, this implies an increase in installed accessories, increasing the probability of new leaks due to the existence of fracture initiators near the repaired leak, decreased hydraulic performance, etc. resulting in a poor quality of drinking water service.
- The numerous leaks are attributable to the material in combination with loss of elasticity of the material, lack of effectiveness of the residual antioxidant of the material or aging due to weathering and ultraviolet radiation that have caused brittle breakage.
- The study of water, hydraulic and transient quality has made it possible to propose the replacement of the entire network with DN-110 cast iron pipes and to install a pressure regulating valve with a minimum operating time of 2.1 s, in order to reduce the pressures avoiding fatigue in the materials, high water losses through pores or leaks in the networks, increasing the performance in the hydraulic network, the useful life of the materials, increasing economic savings, etc. These regulation systems must be located in suitable locations after analysis by mathematical modeling. In anticipation of future extensions, the gate valve must have a minimum operating time of 15 s.