



Resumen de la Tesina de Máster.

Master Oficial en Ingeniería Hidráulica y Medio Ambiente

Título: Programación óptima de la renovación de tuberías en un sistema de abastecimiento urbano: Análisis de los factores de influencia

Alumno/a: Carlos Daniel Alonso **E-mail** cдалonso@posgrado.upv.es
Guzmán

Director/a: Dr. Rafael Pérez García

Codirector/es:

Resumen: **Castellano** (máximo 2000 caracteres)

RESUMEN

En el presente trabajo se analizan los principales factores de influencia en el deterioro de las tuberías y se propone un método de apoyo a la toma de decisiones, con el objetivo de priorizar las necesidades de renovación de las redes de distribución de agua.

Para determinar las prioridades se aplica la técnica de los Sistemas de Ayuda a la Decisión Multicriterio (MDSS), así como los Algoritmos Genéticos y Lógica Difusa.

La metodología que se ha desarrollado propone una secuencia de intervenciones en la red de distribución de agua, identificando las jerarquías de los grupos de tuberías que deben ser objeto de renovación, tomando en consideración todos los factores asociados, tanto endógenos como exógenos, las limitaciones técnicas en el funcionamiento de la red de agua, y considerando también los presupuestos anuales disponibles para la rehabilitación de tuberías.

La metodología se construye alrededor de un conjunto de datos disponibles sobre las tuberías, con la determinación de las tuberías críticas y con la aplicación de un algoritmo genético. Dicho algoritmo toma en consideración las variables de decisión del problema, mediante una codificación específica, identificando las variables y los criterios incluidos en el problema. Asimismo se incluye la evaluación del análisis del riesgo de la probabilidad de fallo y sus consecuencias, aplicando la lógica difusa a través de números difusos triangulares (TFNs, por sus siglas en inglés). Con todo lo expuesto se obtiene un modelo híbrido para la toma de decisiones sobre la renovación tuberías.

La decisión sobre la renovación es sensible a la aparición de acontecimientos imprevistos (roturas, fugas) ligados al deterioro de las tuberías. Este deterioro puede ser descrito dentro de tres niveles, a saber:

- Deterioro estructural de la tubería: Se manifiesta por una rotura de la tubería, fuga o el hundimiento de la calzada. Se trata de un deterioro físico

SR. PRESIDENTE DE LA COMISIÓN ACADÉMICA DEL MÁSTER



vinculado al envejecimiento.

- Deterioro hidráulico: Se manifiesta por una disminución de presión y del caudal debido al estrechamiento de la sección interna (diámetro) de las tuberías, causado por depósitos de sedimentos, la corrosión o las fugas.
- Deterioro de la calidad del agua: Se manifiesta a través del deterioro del agua provocado por las infiltraciones de sustancias o materias en las tuberías.

El análisis del funcionamiento de la red de distribución de agua permite identificar las variables endógenas (diámetro, longitud, número de fallas, naturaleza del agua, la rugosidad de la tubería) y exógenas (naturaleza del terreno, la ocupación del suelo, el nivel de circulación del tráfico) que describen el deterioro de las tuberías y la manifestación del envejecimiento.

El objetivo final es presentar una lista ordenada (jerárquica) de tuberías que deben ser renovadas en la red de distribución, a partir de la elección de los criterios y la identificación de alternativas. Para ello se utilizan diferentes criterios, y para cada uno de ellos, cada grupo de tuberías tomará un valor concreto con un atributo que dependerá del criterio considerado. La tubería de mayor valor será la primera en la lista para su rehabilitación, esto es, se va a proponer una ordenación de las mismas pero sin entrar en condiciones mínimas o metas en los atributos de cada criterio.

Posteriormente se plantea la aplicación de un método de optimización para la priorización del conjunto de tuberías de cinco sectores de la red de la ciudad de Celaya, Gto. México, que son objeto de renovación en base a los factores de influencia seleccionados. Se ha establecido un conjunto de ocho criterios que merecen ser considerados, clasificados en tres grupos, denominados "Básicos", "Funcionales" y "Misceláneos".

Se desarrolla la metodología empleada para la asignación de prioridades de renovación de tuberías mediante el uso del sistema soporte a la toma de decisión de las sumas ponderadas. Se presenta y analiza asimismo las herramientas y la información necesaria para el desarrollo de dicha metodología, detallando las matrices de ponderación de alternativas y valoración de resultados.

Posteriormente se realiza un análisis de sensibilidad de los resultados para las posibles variaciones de los valores en los pesos asignados a los diferentes criterios. Seguidamente aplicamos el método para jerarquizar cada uno de los grupos de tuberías para cada factor de influencia considerado, aplicando algoritmos genéticos a través del programa Evolver. Por último se incluye el aspecto económico para determinar el orden de priorización en base al ahorro de energía eléctrica y el volumen recuperado del caudal fugado al rehabilitar las tuberías. Para complementar este trabajo, se ha integrado el análisis del riesgo de fallo y sus consecuencias, evaluando dichos conceptos a través de la lógica difusa, que proporciona un lenguaje adecuado para traducir los conocimientos cualitativos en razonamientos numéricos.

Las técnicas basadas en lógica difusa son capaces de trasladar la ambigüedad de las variables probabilísticas hacia un razonamiento aproximado, que posteriormente ayudará al proceso de toma de decisiones, aplicando números difusos triangulares (TFNs). Finalmente se evalúa el posible ahorro (beneficio) que se obtendría al evitar las consecuencias de un posible fallo mediante la rehabilitación de las tuberías.

Para determinar la priorización mediante un criterio económico se utiliza nuevamente la técnica de los algoritmos genéticos, obteniendo la longitud

SR. PRESIDENTE DE LA COMISIÓN ACADÉMICA DEL MÁSTER



óptima de cada grupo de tuberías para conseguir maximizar los beneficios.

Inglés (máximo 2000 caracteres)

ABSTRACT

In this work the main factors influencing pipelines deterioration is analyzed and an instrument to aid in the decision-making process that allows for the prioritization of needs for water distribution network renewal planning is proposed.

To identify these priorities we apply Multicriteria Decision Support Systems (MDSS), Genetic Algorithms and Fuzzy Numbers.

By considering the various influencing factors involved in decision-making, the developed instrument proposes an acceptable sequence of interventions in the water network. It identifies the hierarchy of groups of pipes needing renovation and takes into account all aspects associated with the endogenous and exogenous factors and the technical constraints of operation of the water network for a given planning horizon. It also considers the yearly available budgets for pipeline rehabilitation.

The methodology is built based on a set of available data regarding pipes, by considering the identification of critical pipelines and through the application of a genetic algorithm. This algorithm takes into consideration the decision variables of the problem, using a specific codification, and genetic operators adapted to the problem. Also, the assessment of risk analysis of the failure probability and its consequences, using fuzzy logic through triangular fuzzy numbers (TFNs), is included. These ingredients integrate a hybrid and tangible model for decision-making on pipe renewal schedules.

Decision on renovation is sensitive to the manifestation of unforeseen events (breaks, leaks) connected to the deterioration of pipelines. This deterioration can be described according to three levels, depending on the element of analysis taken into consideration

- Structural deterioration of pipes: manifested as pipeline breakage, leakage or pavement collapse. It is a kind of physical deterioration linked to aging.
- Hydraulic deterioration: discernible in pressure and flow decrease, due to reduction of the internal section (diameter) of pipelines caused by deposits of sediments, corrosion or leakage.
- Deterioration of the quality of water: perceptible in water coloration provoked by infiltrations of substances into the pipes.

The analysis of the water distribution network operation enables the identification of the endogenous variables (diameter, length, number of failures, nature of water, pipe roughness) and exogenous (quality of the terrain, land cover, level of traffic), which describes the deterioration of pipes and the manifestation of aging.

The prime aim is to sort the pipes by certain importance of renewal need following a number of criteria and identification alternatives. For any of these

SR. PRESIDENTE DE LA COMISIÓN ACADÉMICA DEL MÁSTER



criteria every group of pipelines will take specific values related to predefined attributes. That pipeline with greater value will be the first of the list for rehabilitation. It is worth to note here that the output is a plain ordered list of pipes and no minimum conditions or goals for the attributes are established.

As an application, the implementation of the optimization method for the prioritization of the pipes of five sectors of the network in the city of Celaya, Gto, Mexico, that need rehabilitation according to the considered criteria, is addressed. A set of eight criteria that are worth considering has been classified into three groups: "Basic", "Functional" and "Miscellaneous".

The allocation of priorities for renewal of pipes is addressed by using the system to support decision-making based on the weighted sums. Also, the tools and the information needed to develop such a methodology, including the weighting matrices of alternatives and evaluation of results, are presented and analyzed.

Afterwards, a sensitivity analysis of the results due to possible variations of the values for the criteria weights is conducted. Then, we apply the method to rank each groups of pipes for each considered influence factor, by using genetic algorithms through the program Evolver. Finally, the economic aspects are considered in order to determine the order of priority based on electricity savings and the amount of recovered flow directly imputed to the rehabilitation action. To complement this work, risk analysis of the probability of failure and its consequences are evaluated by using concepts of fuzzy logic, which provides a language in terms of syntax and semantics suitable to translate the qualitative knowledge into numerical reasoning.

The techniques based on fuzzy logic are able to effectively interpret vague and imprecise variables and reasoning as approximate thinking that will ease later the decision-making process. Frequently, linguistic variables are handled by using triangular fuzzy numbers (TFNs), which can be used both as input and output. Finally, potential savings (benefit) derived from avoiding through rehabilitation the consequences of a possible failure are addressed and assessed.

To determine the prioritization based on economic aspects, Evolver, based on genetic algorithms, is used again, and the optimal length of each set of pipes that maximizes benefits is obtained.

Valenciano (máximo 2000 caracteres)

RESUM

En el present treball s'analitzen els principals factors d'influència en el deteriorament de les canonades i es proposa un mètode de suport a la presa de decisions, amb l'objectiu de prioritzar les necessitats renovació de les xarxes de distribució d'aigua.

Per a determinar les prioritats s'aplica la tècnica dels Sistemes d'Ajuda a la Decisió Multicriteri (MDSS), així com els Algoritmes Genètics i Lògica Difusa.

La metodologia que s'ha desenvolupat proposa una seqüència d'intervencions en la xarxa de distribució d'aigua, identificant les jerarquies dels grups de

SR. PRESIDENTE DE LA COMISIÓN ACADÉMICA DEL MÁSTER



canonades que han de ser objecte de renovació, prenent en consideració tots els factors associats, tant endògens com exògens, les limitacions tècniques en el funcionament de la xarxa d'aigua, i considerant també els Pressupostos anuals disponibles per a la rehabilitació de canonades.

La metodologia es construeix al voltant d'un conjunt de dades disponibles sobre les canonades, amb la determinació de les canonades crítiques i amb l'aplicació d'un algoritme genètic. El dit algoritme pres en consideració les variables de decisió del problema, per mitjà d'una codificació específica, identificant les variables i els criteris inclosos en el problema. Així mateix s'inclou l'avaluació de l'anàlisi del risc de la probabilitat de fallada i les seues conseqüències, aplicant la lògica difusa a través de números difusos triangulars (TFNs, per les seues sigles en anglès). Amb tot allò que s'ha exposat s'obté un model híbrid per a la presa de decisions sobre la renovació de canonades.

La decisió sobre la renovació és sensible a l'aparició d'esdeveniments imprevistos (ruptures, fugues) lligats al deteriorament de les canonades. Este deteriorament pot ser descrit dins de tres nivells, a saber:

Deteriorament estructural de la canonada: Es manifesta per una ruptura de la canonada, fuga o l'afonament de la calçada. Es tracta d'un deteriorament físic vinculat a l'envelliment.

Deteriorament hidràulic: Es manifesta per una disminució de pressió i del cabal a causa de l'estretiment de la secció interna (diàmetre) de les canonades, causat per dipòsits de sediments, la corrosió o les fugues.

Deteriorament de la qualitat de l'aigua: Es manifesta a través del deteriorament de l'aigua provocat per les infiltracions de substàncies o matèries en les canonades.

L'anàlisi del funcionament de la xarxa de distribució d'aigua permet identificar les variables endògenes (diàmetre, longitud, nombre de falles, naturalesa de l'aigua, la rugositat de la canonada) i exògenes (naturalesa del terreny, l'ocupació del sòl, el nivell de circulació del tràfic) que descriuen el deteriorament de les canonades i la manifestació de l'envelliment.

L'objectiu final és presentar una llista ordenada (jeràrquica) de canonades que han de ser renovades en la xarxa de distribució, a partir de l'elecció dels criteris i la identificació d'alternatives. Per a això s'utilitzen diferents criteris, i per a cada un d'ells, cada grup de canonades prendrà un valor concret amb un atribut que dependrà del criteri considerat. La canonada de major valor serà la primera en la llista per a la seua rehabilitació, açò és, es va a proposar una ordenació de les mateixes però sense entrar en condicions mínimes o metes en els atributs de cada criteri.

Posteriorment es planteja l'aplicació d'un mètode d'optimització per a la priorització del conjunt de canonades de cinc sectors de la xarxa de la ciutat de Celaya, Gto. Mèxic, que són objecte de renovació basant-se en els factors d'influència seleccionats. S'ha establert un conjunt de vuit criteris que mereixen ser considerats, classificats en tres grups, denominats "Bàsics", "Funcionals" i "Miscel·lanis".

Es desenrotlla la metodologia empleada per a l'assignació de prioritats de renovació de canonades per mitjà de l'ús del sistema suport a la presa de decisió de les sumes ponderades. Es presenta i analitza així mateix les ferramentes i la informació necessària per al desenrotllament de la dita metodologia, detallant les matrius de ponderació d'alternatives i valoració de resultats.

Posteriorment es realitza una anàlisi de sensibilitat dels resultats per a les

SR. PRESIDENTE DE LA COMISIÓN ACADÉMICA DEL MÁSTER



possibles variacions dels valors en els pesos assignats als diferents criteris. A continuació apliquem el mètode per a jerarquitzar cada un dels grups de canonades per a cada factor d'influència considerat, aplicant algoritmes genètics a través del programa Evolver. Per últim s'inclou l'aspecte econòmic per a determinar l'ordre de prioritització basant-se en l'estalvi d'energia elèctrica i el volum recuperat del cabal escapat al rehabilitar les canonades. Per a complementar aquest treball, s'ha integrat l'anàlisi del risc de fallada i les seues conseqüències, avaluant els dits conceptes a través de la lògica difusa, que proporciona un llenguatge adequat per a traduir els coneixements qualitatius en raonaments numèrics.

Les tècniques basades en lògica difusa són capaços de traslladar l'ambigüitat de les variables probabilístiques cap a un raonament aproximat, que posteriorment ajudarà al procés de presa de decisions, aplicant números difusos triangulars (TFNs). Finalment s'avalua el possible estalvi (benefici) que s'obtingria a l'evitar les conseqüències d'un possible fallada per mitjà de la rehabilitació de les canonades.

Per a determinar la prioritització per mitjà d'un criteri econòmic s'utilitza novament la tècnica dels algoritmes genètics, obtenint la longitud òptima de cada grup de canonades per a aconseguir maximitzar els beneficis.

Palabras clave
(máximo 5):

renovación / jerarquización / toma de decisiones / optimización /
redes de distribución de agua

Fecha: 09 de diciembre de 2008

El/La Alumno/a

Fdo: Carlos Daniel Alonso Guzmán

SR. PRESIDENTE DE LA COMISIÓN ACADÉMICA DEL MÁSTER