# Metodología para evaluar los índices de fiabilidad en un sistema complejo de abastecimiento de agua

## INTRODUCCIÓN

Un sistema de distribución de agua, como cualquier otro sistema grande y complejo, debe operarse adecuadamente de modo que funcione con un nivel aceptable de servicio. Muchas empresas de suministro de agua utilizan operadores humanos cuya función primordial es monitorear el estado del sistema de distribución de agua y proporcionar control al sistema cuando este lo requiere. Cuando las características del sistema de suministro comienzan a cambiar, el operador inicia una acción para asegurar que el sistema opera dentro de límites razonables. En sistemas complejos, los operadores pueden incluso operar válvulas y reguladores de modo que presiones, caudales y niveles de deposito se mantengan dentro de limites aceptables.

La tendencia actual nos conduce a procesos de automatización de las operaciones en un sistema en donde la mayor parte de las instalaciones utilizan alguna forma de sistemas de control supervisor y adquisición de datos (SCADA) en sus operaciones diarias.

El desarrollo de una metodología general para el control de funcionamiento y la definición de los índices de fiabilidad asociados al mismo no incluiría directamente el papel del mantenimiento en las operaciones de un sistema de suministro, aunque el mantenimiento preventivo y de emergencia ciertamente es crucial para la correcta operación de cualquier sistema de distribución de agua.

La metodología para el control de funcionamiento e índices de fiabilidad requiere de la construcción de un modelo que se centre sobre las acciones que tienen lugar para asegurar que sean entregados suficientes volúmenes de agua con un nivel de servicio adecuado.

En la medida que mas sistemas de abastecimiento de agua han incorporado tecnología en las acciones de operación, se ha abierto la investigación para las operaciones de los sistemas sin personal, lo cual puede ser ventajoso o no.


## Resumen / Abstract

*El diseño de un sistema de abastecimiento de agua suele hacerse por tanteo para encontrar una solución barata sin garantizar la fiabilidad del sistema. La fiabilidad de operación puede ser harto compleja. Para calcularla no existe método comprensible y práctico. En los últimos años la fiabilidad de sistemas ha sido objeto de interés. En sistemas de abastecimiento en el mundo existen programas de control y adquisición de datos (SCADA) para monitoreo continuo del funcionamiento. Desarrollar un modelo de operación incorporando fiabilidad implica una metodología sobre patrones de comportamiento de las variables operacionales (consumo, fallas y variables hidráulicas) que están almacenadas y que, con técnicas de minería de datos (data mining), se puedan extraer para obtener esquemas y escenarios de operación, evaluar fiabilidad e identificar problemas. En el presente trabajo se esquematiza una metodología general para cubrir estos objetivos.*


*Palabras clave: sistema de abastecimiento de agua, fiabilidad, SCADA, minería de datos, operación de sistemas de abasto.*



*The design of a water supply system is done usually by iterations to find a cheap solution without regard to reliability. Operational reliability can be quite complex. There is no comprehensive and practical method to calculate it. In recent years, systems reliability has been given great interest. In water systems around the world software for data control and acquisition software (SCADA) has been installed for their performance monitoring. To develop an operation model with reliability implies a methodology about behavioral patterns of operational variables (demand, failures and hydraulic variables) which are stored and can be recovered with data mining to formulate operational schemes and scenarios, calculate reliability and identify problems. In this work a general methodology is proposed to cover these objectives.*


*Keywords: water supply system, reliability, SCADA, data mining, water system operation.*



**Abrahán S. López R. Universidad Nacional Experimental Francisco de Miranda. Coro, Estado Falcón, Venezuela.**
**www.unefm.edu.ve.**
**email: abrahanlopez@unefm.edu.ve , abralo@cantv.net , abrahanr@cih.cujae.edu.cu,**

Las nuevas tecnologías ofrecen la posibilidad de gestionar el consumo energético y reducir los costos de operación, por lo que es fundamental estudiar el papel de los modelos de control óptimos dentro de las estructuras de operación de los sistemas.

La mayoría de los modelos de simulación capaces de predecir la hidráulica, consumo de energía o características de calidad del agua de un sistema, requieren información acerca del sistema mismo. Esta información típicamente incluye condiciones limites como niveles de deposito, estado de conexión o desconexión de bombas y ajustes de válvulas. La información antes señalada se puede obtener de los sistemas SCADA.

Conceptualmente hablando, operar un sistema de distribución de agua no es difícil. Todo lo que se necesita es mantener la vista sobre las medidas de rendimiento del sistema que pueden estar en forma de presión, caudal, o niveles de agua en los estanques. En este sentido si un operador se da cuenta que un parámetro de los antes señalados esta fuera de los rangos admitidos, toma una acción para regularizar la situación. Esto es factible siempre y cuando la complejidad del sistema lo permita con reducidos márgenes de incertidumbre. En sistemas grandes y complejos no es sencillo tomar acciones para corregir desviaciones en el funcionamiento del sistema ya que las operaciones efectuadas pueden traer aun más complicaciones en las variables que necesitan ser controladas.

El uso de la modelización por computador, permiten mejorar las operaciones de los sistemas de abastecimiento de agua, por ejemplo mediante la modelización del control de bombas, análisis del rendimiento de los depósitos, optimización energética y entrenamiento de operadores.

La preparación de un modelo para la operación de un sistema complejo de abastecimiento de agua requiere de una sistematización de las fases necesarias, además de la incorporación de nuevas y mas eficientes herramientas para el manejo de la información que caracterizara al modelo así como de el manejo preciso de la data para construcción, calibración y validación del mismo, esto garantizaría la consecución de predicciones para la operación con niveles de fiabilidad asociados.

Las series de datos aportados por un sistema SCADA representan un insumo indispensable para el análisis de las variables de funcionamiento hidráulico de un sistema de abastecimiento de agua. Las bases de datos sobre las labores de operación y mantenimiento almacenan conocimiento valioso sobre los patrones relacionados con dichas variables y por otro lado las variables administrativas de registros de clientes por ejemplo también almacenan conocimiento fundamental para la optimización del servicio.

Los volúmenes de información contenidas en esas bases de datos son de difícil manejo si no se cuenta con un sistema que las gestione eficientemente. El conocimiento acumulado en esas bases de datos y el uso de los mismos representa una herramienta clave para la optimización de los sistemas de abastecimiento. La extracción de ese conocimiento almacenado es factible de obtener mediante un proyecto de Minería de Datos, el cual consiste en la aplicación de técnicas estadísticas y de inteligencia artificial para obtener conocimiento y modelar el comportamiento del sistema generando entre otros los beneficios siguientes:

♦ Descubrir y predecir relaciones interesantes y de gran valor existentes entre los datos que se pueden usar en actividades de apoyo para toma de decisiones:

• Creación de perfiles de usuarios y determinación de valores óptimos de demanda para la definición de los límites de fiabilidad en cuanto a la satisfacción de la misma.

• Detección y predicción de fugas y fraude en los sistemas de abastecimiento de agua.

• Determinación y predicción de secuencias de datos de gran valor para la optimización de operaciones y mantenimiento y por ende en la definición de índices de fiabilidad del sistema.

• Predicción de tendencias futuras en el crecimiento y ampliación de los sistemas en cuanto a la demanda a satisfacer valores de presión a manejar y esquemas de suministros con probabilidades asociadas de satisfacción de los mismos.

• Perfilado de respuestas a escenarios de operación, tendencias a las estrategias de mantenimiento y rehabilitación de los sistemas.

• Realización de predicciones, clasificación y segmentación.

♦ Filtrado a través de vastas cantidades de datos a partir de automatización y descubrimiento de patrones de utilidad.

## MATERIALES Y MÉTODOS

Desarrollo de la metodología.

El núcleo fundamental de la metodología se apoya en la construcción de un modelo de simulación hidráulica del sistema y de la extracción de conocimientos almacenados en las bases de datos de un sistema SCADA. Se propone utilizar las herramientas de desarrollo del modelo EPANET (Rossman, 1997). Estas herramientas de desarrollo están constituidas por una librería externa de enlace dinámico (DLL) que incluye un conjunto de subrutinas y funciones de cálculo que permiten personalizar dicho modelo y ampliar su potencia. Una de las mayores ventajas que esto aporta, es que es posible incorporar nuevas herramientas y utilidades programadas para resolver problemas específicos sobre la base de un núcleo de cálculo como el de EPANET, uno de los programas de análisis de redes más utilizados, y que ha sido ampliamente utilizado.

Otra de las ventajas que ha inclinado al uso de estas herramientas es la posibilidad de disponer de ellas de forma gratuita. Además, se propone como una fase de la metodología para el manejo de las bases de datos existentes generadas por el SCADA, herramientas computacionales de minería de datos específicamente la herramienta SPSS Clementine 2008. Por otro lado se utilizara como apoyo para el estudio de los datos y las series de tiempo generadas el software Table Curve 2D v5.01 y Table curve 3D v4.0 para el análisis de residuos y definición de patrones.

En la técnica de minería de datos se engloban un conjunto de técnicas encaminadas a la extracción de conocimiento procesable, implícito en las bases de datos. El fundamento de la minería de datos se encuentra en la inteligencia artificial y en el análisis estadístico y mediante los modelos extraídos utilizando estas técnicas se aborda la solución a problemas de predicción, clasificación y segmentación, las cuales serán de utilidad para la obtención de los patrones de consumo, los patrones de falla y caracterización de variables claves para la construcción de escenarios de operación y sus probabilidades asociadas.

Como herramientas fundamentales, la metodología propuesta considera la aplicación de modelos de optimización basados en métodos heurísticos y técnicas de algoritmos evolutivos, así como los análisis de sensibilidad respectivos.

Como estrategia para la implementación de un proyecto de minería de datos en el caso particular, se formulan una serie de interrogantes básicas que requieren respuestas consistentes en función de las bases de datos gestionadas. Las respuestas deben ayudar al enfoque preciso de una metodología para el control del funcionamiento, generación y evaluación de índices de fiabilidad en los sistemas de abastecimiento de agua, en tal sentido como tarea pendiente la formulación de esas interrogantes son básicas para apoyar la investigación. Existe una segunda serie de interrogantes que seguramente surgirán en el proceso de manejo de las bases de datos en función de los patrones y el modelado que se vaya obteniendo en la implementación del proyecto de minería de datos que se prepone. La extracción de conocimiento útil de las bases de datos es apenas una fase para la definición de la evaluación de los índices de fiabilidad en los sistemas complejos de abastecimiento de agua y por ende en la elaboración de los esquemas operativos y administrativos de los sistemas antes referidos.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La fiabilidad de las redes de abastecimiento de agua se ha analizado con criterios que tienen en cuenta el número de fallos que se producen. En la metodología propuesta, se considera un proceso de análisis de las bases de datos que provee el sistema SCADA, de tal manera, se pueden tomar en cuenta otros índices que midan la repercusión económica de dichos fallos, así como, se consideran otros aspectos de gran importancia como son: duración y frecuencia de los fallos, magnitud del descenso de la presión, número de usuarios afectados y otros aspectos derivados del registro de funcionamiento del sistema.

Partiendo de las bases de datos del sistema (SCADA), planos y esquemas de la red, se construye un modelo para la simulación del funcionamiento del sistema. El fundamento de la metodología se basa en la simulación en modalidad de periodo extendido (EPS). Como producto de las simulaciones realizadas se generan bases de datos de variables que caracterizan el funcionamiento del sistema, tales resultados se contrastan con las bases de datos medidas y registradas en el sistema SCADA para proceder a la cuantificación de las diferencias entre lo simulado y lo medido generar bases de datos de las diferencias como insumos para la calibración del modelo y su posterior validación.

Validado el modelo se prepara para su aplicación con base a la definición de escenarios de operación generados a través de un proceso de extracción de conocimientos proveniente de las bases de datos de los registros de operación, mantenimiento y funcionamiento del sistema.

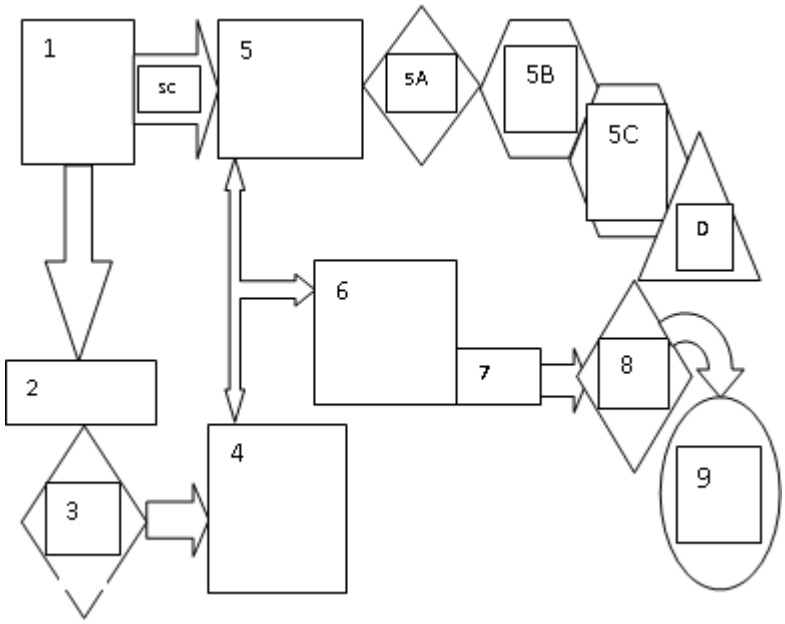
Una de las fases claves en la metodología propuesta se refiere a lograr definir la función de comportamiento de cada nodo en la red, la función de comportamiento de cada tubería en el sistema y la definición de la función de comportamiento de la variación de niveles en cada estanque, para ello es indispensable la minería de datos del sistema SCADA.

Cada una de las funciones establecidas, serán objeto de optimización por lo que es necesario ensayar varias herramientas, tanto de métodos convencionales como heurísticos.

La generación de escenarios de operación con base a los registros existentes es una etapa compleja del proceso ya que requiere de un volumen importante de información a procesar.

La aplicación del modelo validado sobre los escenarios de operación generados a partir de un proyecto de minería de datos y de la extracción de los patrones que caracterizan el funcionamiento del sistema, cubre los aspectos básicos para la simulación y pronostico de las operaciones, así como la exploración y evaluación de índices de fiabilidad del sistema. Esta metodología general se presenta como el producto de una revisión bibliográfica preliminar y como una estrategia única para sistematizar modelos predictivos en el comportamiento de los sistemas de abastecimiento de agua y el estudio para la generación y evaluación de índices de fiabilidad en un sistema con disponibilidad de registros.

A continuación se presenta como resultado el esquema general de la metodología propuesta y la información básica para el desarrollo de la misma.




ESQUEMA METODOLOGICO GENERAL PROPUESTO.

1. ELEMENTOS FISICOS DEL SISTEMA. SC: SCADA
2. CONSTRUCCION DEL MODELO.
3. SIMULACION DEL SISTEMA (EPS)
4. BASE DE DATOS DE RESULTADOS SIMULADOS.
5. BASE DE DATOS MEDIDOS.
   - A. MINERIA DE DATOS.
   - B. MODELOS DE DECISION.
   - C. MODELOS GRAFICOS PROBABILISTICOS.
   - D. ESCENARIOS DE OPERACIÓN.
6. BASE DE DATOS DE DIFERENCIAS ENTRE RESULTADOS SIMULADOS Y MEDIDOS.
7. CALIBRACION Y VALIDACION DEL MODELO.
8. APLICACIÓN DEL MODELO.
9. CONTROL DE FUNCIONAMIENTO IDENTIFICACION Y EVALUACION DE

## CONCLUSIONES

Según la literatura consultada L. Mays(2002) y otros, no se ha desarrollado ninguna evaluación o técnica de diseño de la optimización de la fiabilidad con aplicación general, para los sistemas de abastecimiento de agua. La proposición de una metodología general que considere los aspectos de mínimo costo y fiabilidad en el diseño, operación y mantenimiento de los sistemas, debería tomar en cuenta cada una de las condiciones de emergencia caracterizadas según los registros de funcionamiento disponible para cada sistema y examinarlas una por una, de manera de conocer su importancia en la operación del sistema de abastecimiento de tal manera de desarrollar medidas relevantes de rendimiento y contribuir entre otros aspectos al diseño en condiciones de carga de emergencia con un grado aceptable de fiabilidad.

La metodología propuesta es aplicable a aquellos sistemas que cuenten con un registro suficiente y adecuado de sus variables de funcionamiento, operación y mantenimiento.

## REFERENCIAS

**[1]** L.W. Mays "Manual de Sistemas de Distribución de Agua", 2nd ed.,A.G.Brague, Ed. España: McGraw-Hill, 2002, pp. 15.1-15.18.

**[2]** L.W. Mays "Manual de Sistemas de Distribución de Agua", 2nd ed.,A.G.Brague, Ed. España: McGraw-Hill, 2002, pp. 16.1-16.47.

**[3]** SPSS. White paper. Data Mining: an introduction Clementine™ - Working with health care. Printed in the U.S.A © Copyright 1999 SPSS Inc. WPDMINTRO-0699J

**[4]** *Clementine® 8.0 Algorithms Guide.* SPSS Inc.233 South Wacker Drive, 11th Floor Chicago, IL 60606-6412 Copyright © 2003 by Integral Solutions Limited Available: http://www.spss.com

Recibido: Mayo del 2009
Aprobado: Junio del 2009