

RIOC

REVISTA INGENIERÍA DE OBRAS CIVILES



UNIVERSIDAD
DE LA FRONTERA

Facultad
de Ingeniería
& Ciencias



UNIVERSIDAD
DE LA FRONTERA
Departamento de
Ingeniería de Obras Civiles
Facultad de Ingeniería
& Ciencias



Director

Gonzalo Valdez

Editora Responsable

Viviana Letelier

Editores Asociados

Daphne Bormann

Ester Tarela

Revista Ingeniería de Obras Civiles

Avda. Francisco Salazar 01145
Temuco
Región de la Araucanía
Chile

Departamento de
Ingeniería de Obras Civiles
Universidad de la Frontera

Fono:
+ 56 (45) 2325680
Fax
+56 (45) 2325688

Correo Electrónico:
rioc@ufrontera.cl

ISSN 0719- 0514

Comité Editorial

Ph.D. Tatiana Amaral
Universidade Federal de Goiás, Brasil.

Ph.D. Adriana Martínez
Departamento de Infraestructura del Transporte y del Territorio,
Universidad Politécnica de Cataluña, Barcelona, España.

MSc. Carlos Aguirre
Escuela de Construcción Civil, Universidad Católica de Chile,
Santiago, Chile.

Ph.D. Galo Valdebenito,
Instituto de Obras Civiles, Universidad Austral, Valdivia, Chile.

Ph.D. Gonzalo Valdés,
Departamento de Ingeniería de Obras Civiles, Universidad de La Frontera,
Temuco, Chile.

Ph.D. Mario Salazar,
Departamento de Ingeniería Civil, Universidad Michoacana,
Morelia, México.

Ph.D. Oscar Link,
Departamento de Ingeniería Civil, Universidad de Concepción,
Concepción, Chile.

Ph.D. Oscar Reyes,
Departamento de Ingeniería Civil, Universidad Militar Nueva Granada,
Bogotá, Colombia.

MSc. Ramón Botella,
Departamento de Infraestructura del Transporte y del Territorio,
Universidad Politécnica de Cataluña, Barcelona, España.

Ph.D. Virginia Vásquez,
Departamento de Arquitectura, Universidad Austral, Valdivia, Chile.

Ph.D. Viviana Letelier,
Departamento de Ingeniería de Obras Civiles, Universidad de La Frontera,
Temuco, Chile.

Ph.D. Alejandra Calabi,
Departamento de Ingeniería de Obras Civiles, Universidad de La Frontera,
Temuco, Chile.



Sumario

- 09. Caracterización y análisis de la estadística Chilena para el diseño de pavimentos empírico-mecanicista**
Characterization and analysis of climate statistics for chilean mechanistic-empirical pavement design
Luis Osorio L., Rodrigo Delgadillo S., Carlos Whar D.
- 20. Determinación de la resistencia al corte de una arena limpia mediante ensayo de Dilatómetro Plano (DMT)**
Shear strength determination of clean sand with Flat Dilatometer Test (DMT)
Mauro Poblete, Karen Leal
- 26. Evaluación de la influencia del flujo hiporréico en el transporte de solutos mediante el uso de un modelo numérico**
Evaluating the influence of hyporheic flows on solute transport using a numerical model
Angel Monsalve
- 33. La problemática de los sistemas de suministro de agua intermitentes. Aspectos generales.**
The issues of intermittent water supply.
A general overview.
Amilkar Ernesto Ilaya-Ayza, Enrique Campbell, Rafael Pérez-García, Joaquín Izquierdo.
- 42. Matriz árido-ligante: factores implicados en la capacidad adhesiva y cohesiva del ligante asfáltico**
Aggregate – asphalt binder matrix: factors involved in the adhesive and cohesive capacities of asphalt binder.
Valdés G., Calabi A., Sanchez E., Miró R., Reyes O.

La problemática de los sistemas de suministro de agua intermitentes. Aspectos generales. The issues of intermittent water supply. A general overview.

Amilkar Ernesto Ilaya-Ayza¹, Enrique Campbell², Rafael Pérez-García³, Joaquín Izquierdo⁴

**1,2,3,4FluIng-IMM Universidad Politécnica de Valencia. Camino de la Vera s/n Edif. 5C, 46022
Valencia, España.**

**amilay@doctor.upv.es, encamgo1@posgrado.upv.es, rperez@upv.es, jizquier@upv.es, phone: 34-
963877007**

INFORMACIÓN DEL ARTICULO

Historial del
artículo:

Recibido
11-09-2014
Aceptado
03-09-2015
Publicado
09-12-2015

Palabras Claves:
Abastecimiento
de agua
Suministro
intermitente
Escasez de agua

Article history:

Received
11-09-2014
Accepted
03-09-2015
Available
09-12-2015

Keywords:
Water supply
Intermittent water
supply water
scarcity

Resumen

La escasez de agua no solamente tiene un sentido físico, también se puede hablar de escasez económica del agua y de escasez debida a una mala gestión de los sistemas de suministro, este tipo de escenarios dan lugar a los sistemas de suministro intermitentes, aquellos en los cuales se tienen periodos de suministro menores a las 24 horas. En el presente artículo se analiza la problemática de este tipo de sistemas, desde los inconvenientes y ventajas que puede tener esta forma de suministro, las medidas de solución que deberían tomarse en función de las características del sistema y el tratamiento hidráulico que se debe dar a las redes que trabajan de forma intermitente.

Abstract

Water scarcity should not only be taken into account in its physical sense, but it should also be considered in the economic and poor management sense. This scenario provokes the application of intermittent water supply systems with less than 24 hours of service. In this paper we study the problems of the use of this kind of systems, analyzing the disadvantages and advantages of this form of supply. Possible solutions are proposed in base of the characteristics of the system, and the hydraulic approach that should be taken for intermittent working networks.

1. Introducción.

El acceso al agua es limitado para millones de mujeres y hombres pobres alrededor del mundo, debido a que las razones van más allá de los recursos físicos. En algunos lugares el agua es abundante, pero debido a la falta de infraestructura, producto de los problemas políticos y socio-culturales, se dificulta el acceso para la gente. En otros lugares la demanda de agua de la población es mayor a la disponible como recurso natural.

De esta forma, se define la escasez de agua, en términos de acceso al agua. Más de 1200 millones de personas alrededor del mundo (quinta parte de la población mundial) vive en zonas con escasez física de agua, insuficiente para cubrir sus demandas. Alrededor de 1600 millones de personas viven en cuencas con escasez económica de agua, donde la capacidad de recursos humanos o financieros son insuficientes para desarrollar los recursos hídricos de la región. El crecimiento de la población es un factor importante en la demanda, sin embargo no es el único, puede entonces hablarse de una escasez física y una escasez económica para acceder al agua [1].

Uno de los problemas de las ciudades en países en vías de desarrollo es el incremento de la población urbana, generada por la migración de habitantes del área rural, incrementando la demanda de servicios básicos como el agua potable. Esta situación incide en la cantidad de agua disponible para el abastecimiento. En otros casos, la capacidad del sistema no abastece o la cantidad de agua en la fuente de suministro es insuficiente. Estas limitaciones se ven afectadas aún más con tarifas bajas, las cuales agravan los problemas; de esta forma las empresas de agua potable muchas veces se ven en la necesidad de reducir las horas de suministro, dando pie de esta forma a un sistema con suministro intermitente.

En el informe Benchmarking Internacional de redes de agua y saneamiento del Banco Mundial, se recogen datos sobre los servicios de agua potable, el cual indica que en los países en vías de desarrollo solamente el 16% de las empresas operadoras del suministro de agua cumplieron con el abastecimiento de 24 horas y en promedio se tiene un servicio por 16 horas al día [2].

En el presente artículo se analiza la problemática del suministro intermitente, sus inconvenientes y ventajas, las medidas de solución que deberían tomarse en función de las características del sistema y el tipo de criterios hidráulicos que se deben adoptar para la modelización de estos sistemas.

2. Sistemas de suministro de agua intermitente.

Se considera suministro de agua intermitente cuando el abastecimiento del servicio se realiza por una cantidad limitada de tiempo, la periodicidad con que se abastece es diaria, aunque en los casos extremos alcanza a más de un día. Paradójicamente, este tipo de suministro requiere mucha más agua que los sistemas continuos, veinticuatro horas los siete días de la semana, debido a los niveles altos de desperdicio [3].

Generalmente, este tipo de sistemas están diseñados y construidos para trabajar como sistemas continuos. Sin embargo, son varias las causas para que el suministro se realice de forma intermitente y que, en varias horas del día, la tubería se encuentre vacía con presencia de aire. En muchas ciudades pequeñas con sistema intermitente el servicio es por horas para toda la red simultáneamente. En ciudades más grandes el abastecimiento es con rotación de horas de servicio diferenciados por sectores.

Existen muchas razones por las que existen los sistemas de abastecimiento intermitente. Muchos autores sugieren tres tipos de problemas que pueden provocar o perpetuar el suministro intermitente de agua: la mala gestión técnica, la escasez económica y la escasez absoluta del recurso hídrico [4]. En todos estos casos las empresas encargadas del suministro de agua pueden recurrir como respuesta a corto plazo al abastecimiento de forma intermitente.

Los suministros intermitentes, generalmente buscan reducir la demanda per cápita de agua, bajo una idea de ahorro en costes de inversión y costes operativos. Sin embargo, en lugar de ser una estrategia inteligente, trae consigo consecuencias negativas que prevalecen sobre los factores positivos [4]. Los síntomas de carencia del sistema son niveles de presión en la red muy bajos e insuficiencia en el suministro en los puntos más alejados y/o elevados. El suministro continuo es la visión a largo plazo para los sistemas de abastecimiento intermitentes. Sin embargo, el suministro por horas es la forma de acceso actual para millones de personas en el mundo, el cual ha existido desde hace décadas y seguirá existiendo, algunos investigadores sugieren que la creciente escasez de agua debido al cambio climático y el aumento de la demanda por el incremento de la población puede llevar a que el uso de suministro intermitente sea más frecuente [5]. Aunque el suministro intermitente es quizás la última medida a tomar en condiciones de escasez de agua, es una situación que debe ser evitada mediante una planificación proactiva y con respuestas oportunas a las condiciones críticas [6].

Una forma de minimizar las dificultades derivadas de los sistemas de abastecimiento intermitente es potenciar un sistema de gestión técnica; que no es más que la administración de un conjunto de procedimientos orientados a mejorar e incrementar, progresivamente y de forma integral, la calidad del servicio [7].

El suministro de agua de forma intermitente es un tipo de servicio muy común en los países en vías de desarrollo. Sin embargo, existen antecedentes, aunque pocos, en países europeos como es el caso de la segunda ciudad más grande de Chipre, Limasol [6], a causa de un periodo extenso de sequía. Asimismo, en Sevilla (España), debido al periodo bastante seco de 1975-1976, precedido por escasas precipitaciones en los dos años anteriores, se tuvo un abastecimiento con restricciones durante noviembre de 1975 a diciembre de 1976 [8].

Un elemento característico de los sistemas de suministro intermitente son los depósitos domiciliarios, enterrados o elevados, indispensables para el almacenamiento de agua en las horas sin suministro. Las conexiones domiciliarias en estos sistemas generalmente constan de la acometida en sí o ramal externo, el ramal de alimentación domiciliario, almacenamiento y la red de distribución interna hacia los puntos de consumo o de utilización [9].

Cuando existe la suficiente presión y caudal para alimentar a los depósitos de almacenamiento elevados se utiliza la conexión indirecta sin bombeo (Figura 1).

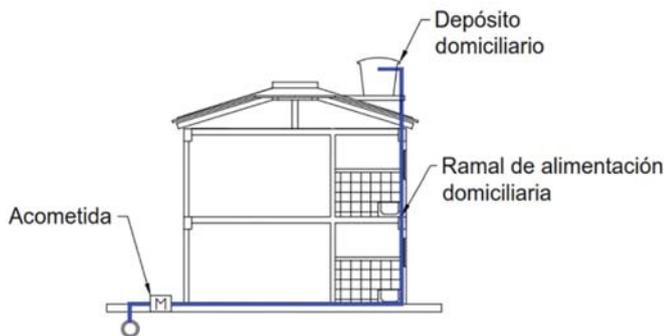


Figura 1. Sistema de conexión indirecta, sin bombeo

Las conexiones indirectas con bombeo (Figura 2) son utilizadas generalmente en edificios multifamiliares, debido al costo que implica el uso de energía eléctrica para la impulsión del agua.

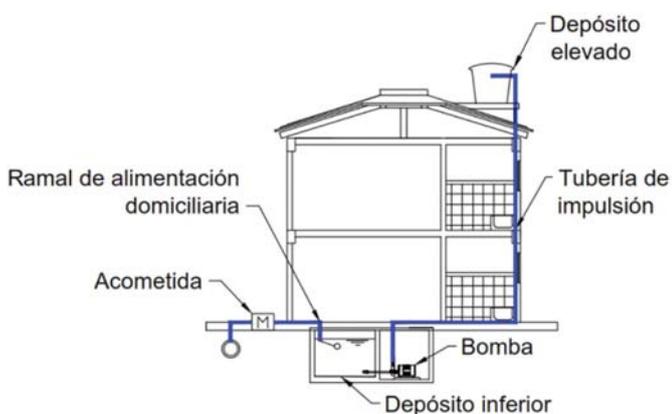


Figura 2. Sistema de conexión indirecto, con bombeo.

2.1. Inconvenientes de los sistemas de suministro intermitente.

El abastecimiento de agua intermitente genera problemas tanto a la empresa encargada del suministro de agua como a los hogares, bajo esta clasificación se tienen los siguientes inconvenientes:

A la empresa de agua:

Se dificultan las tareas de operación, mantenimiento y se incrementa el personal que opera el sistema; las válvulas son operadas con frecuencia por lo que requiere mayor mano de obra, más que en el caso de suministro continuo; según el análisis de 45 empresas de servicios públicos en el Perú, el número de empleados por cada mil conexiones de agua se incrementa en proporción inversa a las horas de servicio [10].

Las fallas de la infraestructura son más frecuentes que en un sistema continuo, debido a la operación del sistema [6], una de las principales fallencias se produce en las válvulas, que sufren un desgaste más rápido [11].

No importa lo bien que se opere la red de distribución del suministro intermitente, sin duda existirán efectos perjudiciales en su integridad [6].

Se dificulta la localización de fugas en el sistema, se genera una mayor cantidad de fugas de fondo.

Es ineficiente desde el punto de vista energético, la demanda de los consumidores llega a tanques o depósitos sometidos a presión atmosférica por lo que el sistema de la vivienda trabajará con menor presión. Muchas veces los tanques domiciliarios no cuentan con válvulas flotador, lo que puede incrementar el desperdicio en las viviendas [12]

El volumen de almacenamiento en los depósitos principales del sistema es insuficiente, el sistema intermitente exige cantidades grandes de almacenamiento [11].

Debido a las horas de suministro limitadas, el factor de pico se incrementa a valores de 4 a 6 en la mayoría de los sistemas [11]; esta situación exige grandes diámetros en la red para satisfacer los requisitos hidráulicos y de demanda, los sistemas intermitentes pueden producir presiones insuficientes, incluso llegar a valores de cero.

Los usuarios pueden estar descontentos con el servicio, lo cual dificultaría las tareas de cobro.

Debido a que en algunos periodos la tubería se encuentra vacía o con presiones bajas, puede ocurrir contaminación por el ingreso de agua del nivel freático o aguas residuales por fisuras o uniones en las tuberías [11] [4].

La presencia de aire en las tuberías puede causar inexactitud en las lecturas de los contadores o medidores domiciliarios, debido a que al inicio del suministro primero empieza a salir aire de la red, midiéndose este volumen adicional para el usuario, aunque cuando se tienen condiciones de vacío en la tubería puede darse el caso contrario si no se tienen válvulas de retención; asimismo, bajo condiciones secas y húmedas repetidas, el deterioro del rendimiento del contador se acelera. Esta situación trae consigo dificultades en el control del consumo y en el cobro de tarifas, puede generar también escepticismo entre los consumidores sobre la exactitud de sus facturas de agua [13].

Debido a que las tuberías están expuestas alternadamente al aire y agua, se corroen más rápidamente, de esta forma tienen que ser reparadas y cambiadas con mayor frecuencia que en los sistemas continuos [3].

La presencia de aire atrapado entre dos columnas de agua sometidas a presión, puede provocar importantes sobrepresiones [14], situación común en sistemas intermitentes cuando comienza el horario de suministro, lo que puede causar daño a la tubería, juntas y accesorios, generando posteriormente fugas o el ingreso de contaminación a la red, como se comentó anteriormente.

Existe el riesgo de contaminación en los depósitos domiciliarios; según un análisis de la calidad del agua en depósitos domiciliarios de Estambul (Turquía), el 24% de las muestras resultaron tener presencia de coliformes [10].

La incertidumbre del suministro entre los consumidores hace que almacenen agua en los periodos de servicio [11], en algunos casos, mayor cantidad de agua que la requerida, también es muy probable que los consumidores mantengan sus grifos abiertos [13], incrementando las cantidades de demanda y generando desperdicio.

Requieren más inversión en infraestructura que los sistemas continuos, muchos de los componentes del sistema son infrautilizadas y otros son sobreexplotados hasta dañarlos [3].

El agua que queda en las tuberías después de la distribución, se encuentra mayor tiempo en la tubería, por lo que el efecto residual del cloro puede reducirse.

Se incrementa el número de acometidas clandestinas debido a que estas se realizan con mayor facilidad en periodos en los cuales no hay agua en la red.

Debido a las presiones bajas en los puntos más desfavorables del sistema, se tendrán caudales de consumo mínimos, los cuales pueden no ser medidos de forma correcta por los contadores o medidores, debido al error que tienen para medir caudales bajos [15].

A la población:

Debe almacenar agua en cantidad suficiente para cubrir las necesidades de las horas o días en los cuales no se tenga el abastecimiento de agua. Si los hogares no pueden recibir esta cantidad recurrirán a otras fuentes de agua como pozos, los cuales pueden estar contaminados en las grandes ciudades, o a pagar mucho más a camiones cisterna que venden el agua, al costo adicional que deben cubrir estas familias para un acceso al agua se denomina costo de afrontamiento, frecuentemente este monto es mayor a la cantidad que se paga por una tarifa en un suministro continuo. Los pobres, por su parte, pagan mucho más por el agua debido a que deben recurrir a métodos para asegurar la salubridad del agua que consumen, por ejemplo hervir el agua. Un estudio realizado en Tegucigalpa (Honduras) [10], estima que los costos de las familias más pobres que deben hacer frente al tipo de suministro intermitente alcanza a 180 % de la tarifa del agua.

La mayoría de los consumidores cuentan con tanques de almacenamiento en su propia vivienda, sin embargo esto se dificulta en las zonas de bajos ingresos, debido a que no cuentan con el dinero ni a veces el espacio para instalar un depósito domiciliario, por lo que se recurre al almacenamiento en pequeños recipientes; también es común que en las horas de suministro estas personas realicen actividades adicionales en las cuales se requiere agua, como el aseo y otros, aprovechando de esta forma las horas de servicio consumiendo mayor caudal.

Debido a que el agua llega a depósitos domiciliarios, en varios casos es necesario elevar el agua a niveles superiores, donde la presión de la red en suministro continuo sería suficiente, esto implica costos de adquisición de equipos de bombeo y pago de energía por parte del consumidor.

Otra dificultad radica en que la gente en las zonas de bajos recursos económicos solamente cuenta con un grifo en la vivienda, lo cual exige que se encuentre en la hora de suministro con los recipientes necesarios. Los sistemas de distribución intermitentes resultan una inequitativa forma de distribución de caudal y presión en los sistemas de abastecimiento [4].

Causa trastornos y agitación de las actividades diarias de las personas, en casa o en el trabajo [6], debido a que el momento en que se dispone de agua no siempre es conveniente para los usuarios; por otra parte, varios consumidores, de las zonas más pobres, tendrán que ir a piletas públicas, las largas distancias y las colas son un problema típico que sufren mujeres y los niños perdiendo de esta forma un tiempo productivo [4].

Insalubridad, debido a los problemas de contaminación que pueden causarse en los depósitos de almacenamiento domiciliario. Los sistemas de abastecimiento intermitente no cubren los riesgos

de incendio durante los períodos sin suministro, este tipo de inconvenientes durante estos períodos puede ocasionar desastres y un gran daño a la propiedad, inclusive a la vida [10].

Durante los primeros minutos de suministro, se produce el lavado inicial de la red, en este periodo la calidad del agua es baja [16], estos niveles peligrosos de contaminación persisten hasta por 20 minutos de re-presurización [17]. Las pocas horas de suministro producen caudales punta, que generan a su vez velocidades excesivas, las cuales pueden producir el desprendimiento de biopelículas que incrementarán el riesgo en la salud de los usuarios [18].

2.2. Ventajas de los sistemas de suministro intermitente

Entre las ventajas que ofrece un sistema intermitente:

Puede dar lugar al ahorro de agua, relacionado con las pérdidas (fugas y errores en la medición principalmente), debido a que las mismas ocurren durante menos tiempo por las restricciones en el suministro de agua, por estas razones se adopta este tipo de servicios en los lugares donde hay escasez de agua en la fuente de abastecimiento [6][10], aunque el sistema está sometido a un estado de intermitencia que tenderá a generar mayor cantidad de pérdidas de agua en el periodo con suministro.

Con una planificación adecuada, las tareas de mantenimiento pueden realizarse en horas en las cuales no hay agua en la red [19], aunque en el caso de reparación de fugas, la identificación de los puntos donde se producen se dificulta cuando no existe agua en la red.

Generalmente son sistemas con redes sectorizadas, debido a que necesitan dar el servicio por horas, esta situación puede ser aprovechada para establecer los Distritos Hidrométricos (DMA) para el monitoreo y control de las pérdidas.

3. Categorización de los sistemas intermitentes.

Uno de los primeros pasos para dar respuesta o solución tanto a la gestión como a la construcción de infraestructura de ampliación en un sistema de suministro de agua intermitente es la categorización, de esta forma se podrán elegir las medidas pertinentes para la mejora de este tipo de sistemas.

En este sentido, Totsuka et al. [4] proponen una categorización basada en una matriz que relaciona el tipo de escasez del sistema intermitente y el tipo de problemas que tiene el mismo, ver Tabla 1.

Escasez de agua	Tipo 1: Escasez debida a una mala gestión	Tipo 2: La escasez económica	Tipo 3: La escasez absoluta
Problemas Tipo A: Uso de sistemas de 24 horas	Categoría 1A	Categoría 2A	Categoría 3A
Problemas Tipo B: Problemas de sistemas genuinamente intermitentes	Categoría 1B	Categoría 2B	Categoría 3B

Fuente: [4]

Tabla 1. Categorización de los sistemas de abastecimiento intermitente

Los sistemas intermitentes que tienen escasez debida a una mala gestión, son aquellos que tienen capacidad en el sistema de distribución o infraestructura necesaria (tuberías principales, depósitos de almacenamiento y otros) y la cantidad de agua disponible extraída de las fuentes de abastecimiento es suficiente para cubrir el nivel actual de demanda. Por lo que la causa principal porque el suministro se vuelve intermitente es la mala gestión del sistema de abastecimiento (fugas, desperdicio, operación y mantenimiento deficiente, etc.). También se incluye a aquellos sistemas en los cuales el suministro de electricidad es pobre y no depende del control del operador del servicio público de agua, lo cual puede generar intermitencia.

Los sistemas de escasez económica son aquellos que tienen suministro intermitente debido a que las demandas y el número de conexiones exceden la capacidad hidráulica del sistema de distribución. En esta última etapa, la demanda también supera la capacidad de la fuente de abastecimiento (pozos, tomas de río, embalses, etc.); el agua se vuelve escasa porque la capacidad financiera del operador no es lo suficientemente fuerte como para ampliar la infraestructura existente. Puede llegarse a esta situación como resultado de la poca planificación de la demanda de agua, aunque el sistema requerirá necesariamente la construcción de infraestructura de ampliación.

El caso más crítico es el de escasez absoluta, causada por volúmenes insuficientes en la fuente. Este puede ser el problema más complicado de resolver, a veces las fuentes alternativas pueden estar situadas a grandes distancias o pueden requerir gran consumo de energía. En este caso debe recurrirse al racionamiento y conservación del agua, tanto la empresa de agua y los consumidores deben compartir la responsabilidad.

Los problemas tipo A están relacionados con sistemas que fueron diseñados y construidos para trabajar continuamente, sin embargo son operados como intermitentes como por ejemplo: presiones bajas en los extremos de la red, molestias a los usuarios, presencia de aire en el medidor o contador, etc.

Los problemas Tipo B surgen debido a un suministro propiamente intermitente, por ejemplo: la contaminación del agua por los motivos ya expuestos, costes de afrontamiento y desperdicio de agua.

4. Características hidráulicas de un sistema intermitente.

El diseño de sistemas de distribución de agua, generalmente parte del supuesto de suministro continuo, sin embargo cuando se tiene un suministro intermitente las condiciones hidráulicas de funcionamiento cambian, esta situación genera pérdidas de presión y gran desigualdad en la distribución del agua [20].

Existe abundante literatura para la planificación, diseño, operación y mantenimiento de los sistemas de suministro continuos, mientras que el funcionamiento de los sistemas de abastecimiento intermitentes se basa principalmente en la experiencia y el análisis de la oferta y la demanda de agua [3].

Cuando se tienen infraestructuras diseñadas para suministro continuo y se las usa para suministro intermitente, esto se traduce en el transporte de mayores caudales que los esperados por las tuberías, en consecuencia se producen grandes pérdidas de carga en la red, los consumidores más alejados de los puntos de suministro son los más afectados, debido a que no pueden abastecerse con una cantidad suficiente de agua durante las primeras horas de suministro, cuando todos están consumiendo agua.

4.1. Demanda dependiente de la presión

Convencionalmente, se ha optado por el análisis DDA (Demand-Driven Analysis) para resolver problemas hidráulicos de redes (suministro continuo). Esta técnica supone que la cantidad de agua requerida a lo largo de las tuberías se conoce y estas pueden ser agrupadas en un punto de demanda (nodos de la red), por lo tanto, se obtiene el comportamiento del sistema calculando presiones y caudales, la resolución de las ecuaciones se basa en valores fijos de demanda en los nodos. En este tipo de análisis, cualquier relación entre la demanda y la presión es ignorada y las demandas son siempre satisfechas aun cuando las presiones en los nodos del modelo puedan estar por debajo de cero, esto implica que los consumidores pueden tener un suministro normal con presiones bajas e incluso negativas. Obviamente, esta hipótesis no es realista y representa la principal deficiencia de los enfoques del DDA [21]. En muchos casos la presión nodal no es suficiente para suminis-

trar la demanda deseada, en estas situaciones la demanda pasa a depender de la presión, a este enfoque se lo conoce como PDD (Pressure Dependent Demand).

En un sistema de suministro intermitente, con depósitos domiciliarios en la red, considerando que el nudo de suministro tendrá variaciones de presión entre un valor mínimo, que genera el comienzo del suministro, hasta un valor máximo de presión definido por las condiciones del sistema, se obtienen las relaciones mostradas en la Figura 3.

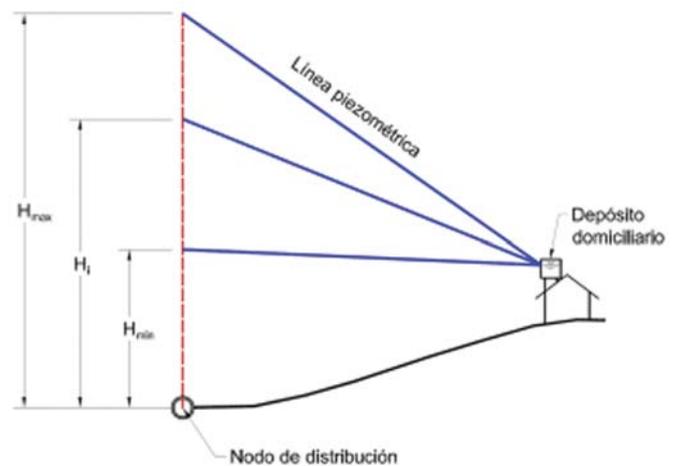


Figura 3. Esquema simplificado de la variación de la presión y su relación con el caudal suministrado

Donde:

H_{min} = Presión mínima en el nudo de suministro, a partir de esta presión comienza el suministro.

H_{max} = Presión máxima en el nudo de suministro

Q_i = Caudal de suministro o demanda del grupo de viviendas.

Q_{max} = Caudal máximo disponible para suministro.

De forma general, la pérdida de carga está definida por la relación:

$$(4.1)$$

Donde:

K = Factor que depende del tipo de material, tipo de fluido, longitud y diámetro del conducto.

n = Exponente relacionado con la ecuación de pérdidas de carga utilizada (Darcy-Weisbach = 2, Hazen-Williams = 1.852, etc.)

Del gráfico se observa que:

$$(4.2)$$

$$(4.3)$$

Entonces se tendrá:

$$(4.4)$$

$$(4.5)$$

Haciendo la pérdida de carga función del caudal, se tiene:

$$(4.6)$$

$$(4.7)$$

Considerando que las condiciones de la conducción de suministro se mantienen, dividiendo ambos términos se tiene una relación entre el caudal demandado y las presiones[22]:

$$(4.8)$$

Esta es una primera aproximación de la relación entre el caudal demandado y la presión para un sistema de suministro con depósitos domiciliarios (Figura 4).

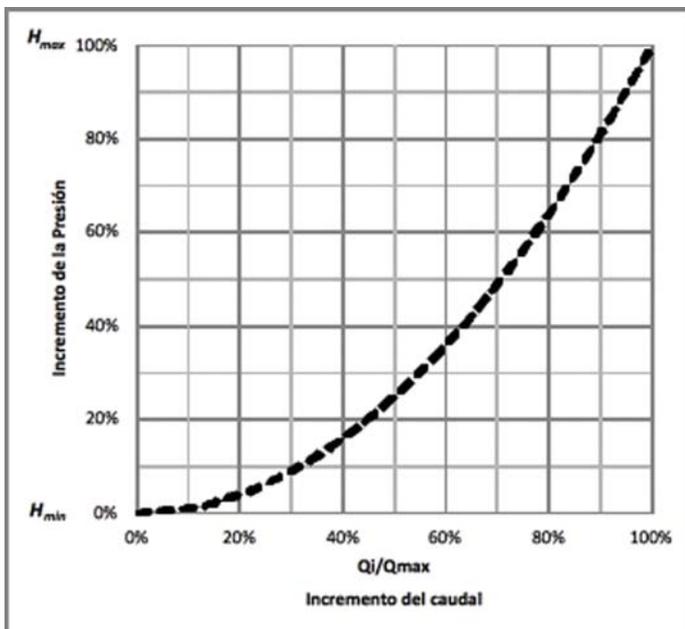


Figura 4. Incremento del caudal ofertado o suministrado con relación a la presión de servicio, $n=2$

De forma general, otros autores definen una relación PDD establecida por una función exponencial y un tramo lineal [23], las relaciones son las siguientes:

$$(4.9)$$

Donde:

H_i = Presión calculada en el nodo

Q_{ri} = Demanda de referencia o demanda solicitada en el nodo

Q_{is} = Demanda calculada en el nodo

H_{ri} = Presión de referencia que se considere para abastecer la demanda total solicitada o de referencia

H_t = Límite de presión, por encima de este valor la demanda es independiente de la presión del nodo

α = Exponente de la relación de demanda/presión

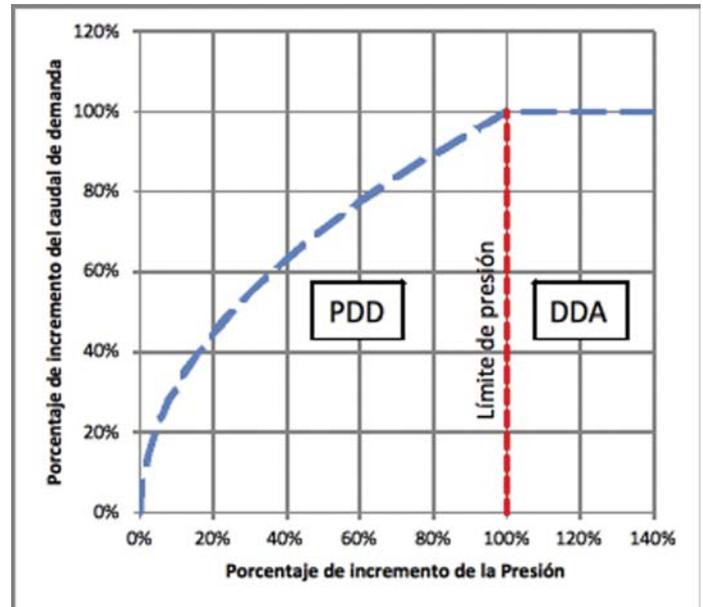


Figura 5. Curva típica de la Demanda Dependiente de la Presión (PDD), adaptado de [23]

A diferencia del modelo de distribución de agua convencional, donde la demanda en el nodo es un valor conocido, en el enfoque de modelado de la demanda dependiente de la presión (PDD), se establece que tanto la demanda como la presión en el nudo son valores desconocidos.

En los sistemas de suministro intermitente, el efecto de los tanques de almacenamiento domiciliarios y las pocas horas de servicio, dificultan superar el límite de presión que independiza a la demanda de la presión, por lo que el análisis de este tipo de sistemas, en las horas en las cuales existe suministro, debe realizarse considerando el criterio PDD. De esta forma pueden ser analizadas las horas con suministro.

La modelización de sistemas con suministro intermitente es una tarea difícil, debe considerarse que la red no está presurizada por completo en los primeros minutos de suministro, en consecuencia las presiones son muy bajas; las horas limitadas de suministro por día y los puntos de consumo conectados a tanques de almacenamiento domiciliarios generan el vaciado y llenado frecuente de las tuberías, complicando la modelación dinámica con software convencional [22].

Un modelo dinámico del sistema con suministro intermitente necesita simular el proceso de carga en las tuberías, se requiere la integración de la ecuación de momento y la ecuación de velocidad para conocer las posiciones de la primera línea de agua en la red en cualquier momento [24] [25].

5. Conclusiones.

A pesar de la enorme cantidad de inconvenientes de los sistemas de suministro intermitente, mundialmente existen varios sistemas de suministro de agua que trabajan de esta forma, sin embargo, no son gestionados ni estudiados como debería ser.

La amenaza de factores como el cambio climático o el crecimiento de la población ponen en riesgo la disponibilidad de recursos hídricos en el futuro, situación que dificultaría la transición de los sistemas intermitentes existentes a suministros continuos y generarían condiciones para nuevos sistemas intermitentes donde actualmente el suministro es continuo.

La categorización del sistema intermitente permite establecer las medidas necesarias de solución para el sistema intermitente; cuando la escasez se debe a una mala gestión, se requerirá de medidas relacionadas con gestión técnica, acompañada de poca infraestructura, sin embargo cuando la escasez es económica es necesario plantear infraestructura adicional para ampliar la capacidad del sistema.

El cálculo hidráulico en los periodos con suministro debe realizarse con el criterio PDD, de esta forma se tendrán valores de caudal y presión más cercanos a la realidad, cuando se utiliza el criterio DDA las presiones calculadas en el modelo pueden llegar a ser incluso negativas.

6. Bibliografía.

[1] International Water Management Institute. 2007. Water for Food, Water for Life: A Comprehensive Assessment of Water Management in Agriculture. London: International Water Management Institute.

[2] Van den Berg C, Danilenko A. 2011. The IBNET Water Supply and Sanitation Performance Blue Book. Washington D.C.: TheWorld Bank.

[3] Faure F, Pandit M. 2010. Intermittent Water Distribution. Available: <http://www.sswm.info/category/implementation-tools/water-distribution/hardware/water-distribution-networks/intermittent-w>. Accessed 20/06/2013.

[4] Totsuka N, Trifunovic N, Vairavamoorthy K. 2004. Intermittent urban water supply under water starving situations. In 30th WEDC International Conference, Vientiane, Lao.

[5] Tsegaye S, Eckart J, Vairavamoorthy K. 2011. Urban water management in cities of the future: emerging areas in developing countries. *Onthewaterfront*, p. 42-48.

[6] Charalambous B. 2012. The Effects of Intermittent Supply on Water Distribution Networks. In *WaterLoss 2012*, Manila, Philippines.

[7] Vela A, Días J, Aguirre A. 1996. Gestión técnica de Sistemas de Abastecimiento.

[8] [EMASESA] Empresa Metropolitana de Abastecimiento y Saneamiento de Aguas de Sevilla S. A. 2005. Así éramos, así somos. 1975-2005. Available: http://www.aguasdesevilla.com/fileadmin/uploads/tx_user_embed_pdf/ASI_ERAMOS_ASI_SOMOS.pdf. Accessed 20/06/2013.

[9] Ministerio de Medio Ambiente y Agua de Bolivia. 2011. Reglamento Nacional de Instalaciones Sanitarias Domiciliarias, La Paz: Ministerio de Medio Ambiente y Agua- Viceministerio de Agua Potable y Saneamiento Básico.

[10] Yepes G, Ringskog K, Sarkar S. 2001. The High Cost of Intermittent Water Supplies. *Journal of Indian Water Works Association*, p. 33.

[11] Dahasahasra SV. 2007. A model for transforming an intermittent into a 24x7 water supply system. *Geospatialtoday*, p. 34-39.

[12] Cabrera-Bejar JA, Palma J, Cerón B, De Jesús M. 2009. Suministro intermitente de agua potable: caso Chilpancingo. In XXII Congreso Nacional de Hidráulica, Acapulco.

[13] [IWWA] Indian Water Works Association. 2000. International Seminar on Intermittent Drinking Water Supply System Management: Technical Papers. Proceeding for the International Seminar on Intermittent Drinking Water Supply System Management, Mumbai, India.

[14] Fuertes V, Izquierdo J, Iglesias P, Cabrera E, García-Serra J. 1997. Llenado de tuberías con aire atrapado. *Ingeniería del Agua*, Vol.4, nº3, p. 53- 63.

[15] Criminisi A, Fontanazza CM, Freni G, La Loggia G. 2009. Evaluation of the apparent losses caused by water meter under-registration in intermittent water supply. *WaterScience and Technology*, vol. 60, nº 9, p. 2373-2382.

[16] Kumpel E, Nelson KL. 2013. Comparing microbial water quality in an intermittent and continuous piped water supply. *WaterResearch*, vol. 47, p. 5176-5188.

[17] Neelakantan T, Rammurthy D, Smith ST, Suribabu C. 2014. Expansion and Upgradation of Intermittent Water Supply System. Asian Journal of Applied Sciences, vol. 7, p. 470-485.

[18] Tokajian S, Hashwa F. 2003. Water quality problems associated with intermittent water supply. Water Sci Technol., vol. 47, n° 3, p. 229-234.

[19] Tavera M. Metodología para la gestión y planificación de un sistema de agua potable intermitente [doctoral thesis]. Valencia, España: Universidad Politécnica de Valencia.

[20] Vairavamoorthy K, Akinpelu E, Lin Z, Ali M. 2001 Design of sustainable water distribution systems in developing countries. In ASCE conference, Orlando, Florida.

[21] Cheung PB, Van Zyl JE, Reis LFR. 2005. Extension of EPANET for Pressure Driven Demand modeling in water distribution system. Computer and Control in Water Industry, Water Management for the 21st Century.

[22] Ingeduld P, Svitak Z, Pradhan A, Tarai A. 2006. Modelling intermittent water supply systems with EPANET. In 8th annual WD symposium, Cincinnati.

[23] Wu ZY, Wang RH, Walski TM, Yung SY, Bowdler D, Baggett CC. 2006. Efficient pressure dependent demand model for large water distribution system analysis. In 8^o Annual International Symposium on Water Distribution System Analysis, Cincinnati, Ohio.

[24] Battermann A, Macke S. 2001. A Strategy to Reduce Technical Water Losses for Intermittent Water Supply Systems, Judayta.

[25] De Marchis M, Fontanazza CM, Freni G, La Loggia G, Napoli E, Notaro V. 2010. A model of the filling process of an intermittent distribution network. Urban Water Journal, vol. 7, n° 6, p. 321-333.

[26] Maurya S, Bind YK, Srivastava V. 2008. Cost Estimation and Comparative study of Intermittent & Continuous Water Supply System of Dulhi Village, Kheri. International Journal of Emerging Technology and Advanced Engineering, p. 668- 672, 2008.