

El AGUA en CARACAS

Análisis situacional y propuesta
para la gestión técnica del
acueducto metropolitano.


Ciudadanía sin Límites





Ciudadanía_{sin}Límites

GRUPO TÁCTICA CONSULTORES

tacticagrupocreativo@gmail.com

Lya Isabel de Fuentes

Gerente Ejecutiva de Comunicaciones Políticas

Damarys Rojas

Diseño y diagramación

@GrupoTactica_

@tacticacatalogo_

CONTENIDO

<i>Introducción</i>	<i>4</i>
<i>¿Por qué el agua?</i>	<i>6</i>
<i>El derecho humano al agua en datos</i>	<i>10</i>
<i>Prólogo a la propuesta técnica</i>	<i>14</i>
<i>Propuesta para la gestión técnica del sistema de abastecimiento del agua en Caracas</i>	<i>15</i>
<i>Sobre Ciudadanía Sin Límites.....</i>	<i>52</i>
<i>¿Que hacemos?</i>	<i>53</i>
<i>Misión, Visión y Valores</i>	<i>54</i>
<i>Nuestros programas.....</i>	<i>56</i>
<i>Nuestro equipo.....</i>	<i>62</i>



JESÚS ARMAS

En el peor momento de la historia de nuestro país, un grupo de ciudadanos nos hemos reunido a nadar en contra de la corriente; nos hemos rebelado en contra del pesimismo y de los obstáculos del sistema, para trabajar, innovar y soñar. Lo que empezó como un esfuerzo vecinal, con la mente en el muy corto plazo, se ha convertido en una red de ciudadanos comprometidos, que incluye no solo a líderes comunitarios, sino también a expertos, activistas políticos, defensores de derechos humanos y comunicadores sociales, que luchan por el derecho humano al agua.



En medio del autoritarismo y la destrucción, los liderazgos tenemos que tener la mente en la democratización y en la reconstrucción.”

A pesar de que la vocación original del proyecto, era apoyarnos en la tecnología y en la participación ciudadana, para monitorear y registrar las fallas del suministro de agua en Caracas, hoy no solo nos hemos extendido geográficamente, sino que hemos pasado al plano propositivo.

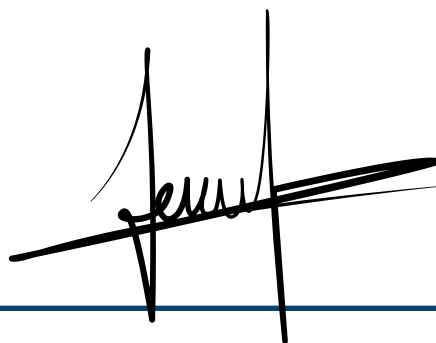
Gracias a nuestros datos y a la labor de los expertos que colaboran con la organización, hemos logrado no solo tener el registro de las fallas, sino una primera propuesta técnica para la rehabilitación y modernización del acueducto metropolitano.

Entendemos que llevar esta propuesta a cabo, solo es posible con la voluntad política de un gobierno democrático, lamentablemente Venezuela no tiene las condiciones necesarias en este momento. Sin embargo, lo peor que puede hacer la ciudadanía es quedarse con los brazos cruzados. En medio del autoritarismo

y la destrucción, los liderazgos tenemos que tener la mente en la democratización y en la reconstrucción. Hay que navegar a contra corriente y en dos canales a la vez, en uno luchar por alcanzar la transición a la democracia, en el otro tener las ideas y las propuestas claras, para saber cómo arrancar la nueva etapa de Venezuela.

El agua es un factor fundamental, no solo porque la Organización de Naciones Unidas señala el acceso a agua potable y al saneamiento, como una de los objetivos de desarrollo sostenible, sino porque el agua es un símbolo poderoso, cuya privación es un obstáculo para el desarrollo. El no tener acceso al agua, hace a los ciudadanos vulnerables a enfermedades, hace que millones de personas deban invertir horas a la semana que pudiesen dedicar a trabajar o a estudiar en acarrear el líquido vital.

En el momento en el que en Venezuela vuelva a correr el agua de manera constante por sus acueductos, por sus fuentes, por cada hogar del país, sabremos que estamos por buen camino y que cada venezolano podrá desarrollar sus capacidades. La Venezuela que soñamos donde el estado se dedica a lo suyo y garantiza las libertades a los individuos para buscar su propia felicidad, no está tan lejos. Mantengamos la fe y entendamos que no somos soñadores al generar estas propuestas, sino que estamos preparados para lo que se viene.

A stylized, handwritten signature in black ink, appearing to be 'Jenny', written over a horizontal line.

EL DERECHO HUMANO AL AGUA EN DATOS

Una radiografía del acceso al agua en Caracas

Desde Monitor Ciudad, hemos centrado nuestros esfuerzos en recolectar y analizar datos sobre la falla de servicios públicos en Caracas y más recientemente en Valencia y los Valles del Tuy. Nuestra metodología se apoya en la participación ciudadana, donde más de 200 voluntarios, nos ayudan semanalmente con el llenado de un instrumento digital, asociado a una herramienta de Información Geográfica, que nos permite geolocalizar su información y hacer análisis numéricos y espaciales, para visibilizar la crisis de servicios y proponer soluciones.

Nuestro tema principal ha sido el acceso al agua y en especial nos hemos centrado en hacer seguimiento, a las condiciones que caracterizan el acceso al Derecho Humano Al Agua, basados en la definición de la Organización de Naciones Unidas.



Desde Monitor Ciudad, hemos centrado nuestros esfuerzos en recolectar y analizar datos sobre la falla de servicios públicos en Caracas.”



EL AGUA DEBE SER SUFICIENTE

Para que se cumpla con el derecho humano al agua, son necesarios entre 50 y 100 litros de agua por persona al día, esto es lo mínimo para que se puedan cubrir las necesidades más básicas de consumo e higiene.

Nuestros estudios revelan que entre los meses de marzo y septiembre de 2020, en promedio los caraqueños llegaron a pasar 6.7 días sin agua a la semana. Además, quienes recibieron agua, apenas contaron con el recurso por 50 horas, es decir, estuvieron más del 70% del tiempo con las tuberías vacías.

En Caracas y Miranda quienes no reciben agua deben esperar una media de 15 días por

el suministro, mientras que los Valencianos esperan de media 8 días para recibirla, aunque en comparación con sus vecinos de la capital reciben la mitad del tiempo de agua (25,8 horas); cuando la reciben.

La interrupción del servicio de agua potable por más de una semana ya es una violación del derecho humano al agua y el saneamiento, sin embargo documentamos casos como el del barrio San Blas en Pétare Norte con más de 2.650 días continuos sin servicio (7,2 años) obligando a las familias de la comunidad a comprar pipotes de agua. En Luis Hurtado, los vecinos de la calle Luisa Caceres de Arismendi que tienen más 400 días en constante sequía,

solucionan sus necesidades recolectando agua de lluvias y de otras fuentes, ocasionalmente las autoridades les envían camiones cisterna. La desconexión del servicio no solo ocurre en las zonas que tienen mayor altitud. En el cementerio, parroquia Santa Rosalía, los vecinos al final de la calle Los Carmenes del sector Los Mangos, se contabilizan más de 500 días sin agua. Así hay muchos sectores en Venezuela, que padecen la falta de agua una crisis que pasa desapercibida para muchos.

Uno de los casos emblemáticos fue el de los habitantes de Colinas de la Trinidad, quienes luego de contabilizar 927 días sin agua, tuvieron en agosto del año 2020, suministro de agua por 20 horas.

Sin embargo, es motivo de preocupación que nuevamente se documenten casos de sectores con más de 35 días sin servicio.



EL AGUA DEBE SER SALUDABLE Y ACEPTABLE.

El agua debe estar libre de microorganismos, sustancias químicas y peligros radiológicos que constituyan una amenaza para la salud humana, además debe presentar un color, olor y sabor aceptables para uso personal y doméstico. Durante este año la percepción de los caraqueños acerca de la calidad del agua, ha desmejorado de manera significativa. En el mes de marzo de 2020 el 50,34% percibía la calidad del agua como mala, mientras que, en el mes de agosto, la cifra llega a 79.25%. Desde Monitor Ciudad, bimestralmente hacemos pruebas de laboratorio de calidad de agua en la ciudad. Durante la campaña de muestreo realizada en junio de este año, las muestras captadas en el sistema Tuy II arrojaron problemas de color aparente, atribuibles a valores de hierro en el agua superiores a los establecidos en las normas de calidad de agua potable.



EL AGUA DEBE SER FÍSICAMENTE ACCESIBLE.

Las fuentes de agua deben encontrarse a menos de 1.000 metros del hogar y el tiempo de desplazamiento para la recogida no debería superar los 30 minutos. Los caraqueños cada vez dependen más de almacenar agua.

Según nuestros datos, en promedio entre tanques de agua, o botellas de plástico, los ciudadanos de Caracas tienen capacidad para almacenar hasta 7 días de agua para sus necesidades básicas. Sin embargo, esto no es suficiente para muchos, que deben depender de acarrear agua diariamente y deben utilizar en promedio hasta 3,9 horas a la semana en esta actividad.



EL AGUA DEBE SER ASEQUIBLE

El costo del agua no debería superar el 3% de los ingresos del hogar. Caracas ha llegado a tener el agua más cara del mundo. Odense, una ciudad en Dinamarca, ostentaba este título hasta hace muy poco. El servicio por 10 mil litros de agua potable en la ciudad danesa cuesta \$105, por el contrario, en Caracas una cisterna de 10 mil litros de agua puede costar hasta \$200, en los momentos de mayor escasez. Por otro lado, si lo comparamos versus el salario, vemos como la diferencia es aun más significativa, en Dinamarca el servicio es por tuberías y el sueldo mínimo es de \$2.580 mensuales, en Venezuela con un salario de apenas \$1.52 al mes, el agua no es asequible para los venezolanos.

El monitoreo realizado indica que contratar el servicio de agua con camiones cisternas cuesta en promedio 70\$, el costo de pagar semanalmente a una persona el acarreo puede variar entre los \$2 y 14\$, mientras que la compra de botellones representa en promedio un costo para los Caraqueños es de 3\$ semanales. Estos montos son prohibitivos para la mayor parte de la población y dan cuenta de un problema en el que muchas familias deben destinar dinero necesario para la comida para tener agua en la casa.





Cuando los integrantes de Ciudadanía sin Límites y Monitor Ciudad, Jesús Armas y Jesús Vásquez me contactaron para revisar y escribirle el prólogo a este documento "GESTION TECNICA DEL SISTEMA METROPOLITANO DE ABASTECIMIENTO DE AGUA DE CARACAS", escrito por Mikel A. Salegui D León, me imagine que se trataba de un libro descriptivo del sistema de agua caraqueño.

Al revisar la idea y los conceptos definidos en el temario me di cuenta que lo presentado interpretaba la visión correcta del manejo de un sistema de abastecimiento de agua potable, bajo la premisa de que la gerencia y la ingeniería unidas empujan el funcionamiento de ese tipo de sistemas hacia un manejo eficaz.

Lo aquí presentado por Salegui tiene gran relevancia porque aparte de entregar al lector importante y fiable información de la conformación física de los sistemas de agua potable de la Gran Caracas, analiza las posibles estrategias a desarrollar para hacer de su funcionamiento una maquinaria poderosa, supervisada y controlada a distancia que funcionaría bajo el control de diferentes indicadores y criterios de competitividad, de manera que los ahorros energéticos y de volúmenes de agua sean notables.

Exponer conceptualmente cómo se puede lograr esto, además con la puntería afinada hacia los sitios claves cuya relación costo/beneficios sea más alta, denota claridad en el planteamiento y lo convierte en una herramienta a utilizar por los futuros gerentes y operadores de este tipo de sistemas.

Atreverse a presentar los pasos fundamentales a seguir para alcanzar un nivel de gestión de calidad en estas empresas hidrológicas no es algo común hoy en día, y aportar este detalle a nuestra ingeniería maltrecha es un síntoma de calidad, de esperanza, encarnado en las generaciones del futuro.

Ing. José Norberto Bausson García



Ciudadanía sin Límites



GESTIÓN TÉCNICA DEL SISTEMA METROPOLITANO DE ABASTECIMIENTO DE AGUA DE CARACAS

HIDRÁULICA URBANA

Mikel A Salegui D'Leon

AGOSTO 2020

Los análisis y conclusiones contenidos en el presente documento, son de la exclusiva responsabilidad del autor y en nada comprometen a Monitor Ciudad y Ciudadanía sin Límites, como organización que coordinó su elaboración y promovió su debate público.

Mikel A. Salegui

Ingeniero Hidráulico Civil.

Estudió ingeniería civil en la Universidad Católica Andrés Bello desde el 2004 hasta el 2010 y obtuvo una maestría en ingeniería hidráulica y medio ambiente que cursó en la Universidad Politécnica de Valencia (España) desde el 2013 al 2016. Cuenta con más de 7 años de experiencia en el ejercicio de la ingeniería civil e hidráulica.

INTRODUCCIÓN

La gestión técnica de abastecimientos hidráulicos a presión ha venido presenciando una serie de cambios considerables con respecto a la explotación y uso de los recursos naturales sobre todo a finales del siglo XX y comienzos del siglo XXI. Los cambios estructurales en la manera de gestionar el recurso hidráulico se suscitan a partir del llamado informe Brundtland, en donde por primera vez se debate la relación de la gestión sostenible del agua con la sostenibilidad del planeta, tal y como lo explica Cabrera R. (2001) en su Tesis Doctoral.

Las nuevas políticas de gestión, deben ser concordantes con los planteamientos realizados en dicho informe, cuestión que se ha puesto en práctica en varios sistemas de gestión a lo largo de todo el mundo. La nueva filosofía, explica Cabrera R. (2001), enlaza términos de meridiania importancia como: la mejora continua y la gestión de la calidad. Dos principios, que resultan de gran importancia en la gestión técnica de abastecimientos.

El Departamento de Energía de los EE.UU. [USDE, (2006)] realiza un análisis en el cual explica que debido a la crisis energética periódica global y la necesidad de reducir las emisiones de efecto invernadero, existe una creciente motivación para minimizar los requerimientos energéticos en el uso sostenible del agua. En cualquier caso, es comprensible que el grado de preocupación con una empresa de servicios hídricos, en términos de la eficiencia energética, dependerá de las circunstancias del sistema.

Resulta evidente que es necesario optimizar el funcionamiento hidráulico y energético del acueducto que surte el agua a la ciudad de Caracas, mediante la implementación de nuevas filosofías de gestión.

Para este menester se propone primeramente establecer el conocimiento de la condición inicial del Acueducto Metropolitano, esto se logra mediante el análisis de balances hídricos y energéticos del acueducto, conocer la situación actual física del sistema resulta necesario puesto que, a partir de ello, es posible definir el plan de acciones directas o indirectas que conduzcan a un mejoramiento de las condiciones actuales. Seguidamente, se propone la implementación de un sistema de medición, registro, comunicación, control y supervisión de los sistemas de producción, potabilización y distribución del acueducto. Posteriormente, se describen un compendio de acciones particularizadas para cada sistema del acueducto relacionadas a su operación. Por último, se propone un sistema de regulación del área institucional de la gestión técnica de los abastecimientos de manera que se cumpla la garantía del acceso universal al recurso cumpliendo con las condiciones de presiones mínimas, garantía del suministro y calidad del agua.

DESCRIPCIÓN DEL ACUEDUCTO METROPOLITANO

Vivas et al. (1998) comentan en sus escritos una descripción del Acueducto Metropolitano la cual se resume en los siguientes apartados.

AMBITO GEOGRÁFICO

HIDROCAPITAL se encarga de gestionar 6 sistemas: Metropolitano, Fajardo, Panamericano, Barlovento, Losada y Litoral.

En el presente informe se referirá únicamente al Sistema Metropolitano, que abastece principalmente a los municipios: Baruta, Chacao, El Hatillo, Sucre, Carrizal, Los Salias y de manera parcial a los municipios Vargas y Guaicaipuro.

SISTEMAS DE PRODUCCIÓN

Los Sistemas de Producción son los encargados de la captación, bombeo y conducción del agua cruda de las cuencas de los ríos Tuy y Guárico que serán trasegadas al sistema de potabilización del acueducto. De manera general el Sistema de Producción del Acueducto Metropolitano está conformado por los siguientes elementos:

Embalses y captaciones

Tabla 2.1. Embalses del Sistema de Producción (Fuente: Vivas et al. (1998))

Embalse	Sistema de Producción	Capacidad de Almacenamiento (MM m ³)
Embalse de Camatagua	Tuy III	1500
Embalse de Lagartijo	Tuy I	80
Embalse de Ocumarito	Sector Tuy Medio	10,6*
Embalse Taguaza	Tuy II	184

(*) HIDROCAPITAL

Tabla 2.2. Captaciones del Sistema de Producción (Fuente: Vivas et al. (1998))

Captaciones	Sistema de Producción	Capacidad de Producción (l/s)
Toma en el Río Tuy en San Antonio de Yare	Tuy I, Tuy II	6000
Toma en el Río Taguacita	Tuy I, Tuy II	4000

Aducciones y sus sistemas de bombeo

Tabla 2.3. Aducciones y sus Respectivas Estaciones de Bombeo (Fuente: Vivas et al. (1998))

Aducciones	Tuy I	Tuy II	Camatuy	Tuy III	Taguacita	Tuy IV
Estaciones de Bombeo	E/B 11	E/B 21		E/B 31		
	E/B 12	E/B 22		Mamonal		
	E/B Inter.	E/B 23		E/B 32		
	E/B 13	E/B 24		E/B 33		
	E/B 14	E/B 25				
Q (L/s)	3500	8600		15000*	4000	8800**

* Fase final con 5 unidades en servicio.

** Caudal de diseño del Tuy IV es 17.500 L/s.

Embalses compensadores

Son embalses en los cuales los aportes recibidos por su propia cuenca son despreciables en comparación de su capacidad de almacenamiento, de tal manera que es necesario que reciban aportes de otras cuencas y, en consecuencia, actuarían como una reserva dentro del sistema. En el Acueducto Metropolitano hay tres ejemplos de este tipo de embalses:

Tabla 2.4. Embalses Compensadores del Acueducto Metropolitano (Fuente: Vivas et al (1998))

Embalse	Sistema de Producción	Capacidad de Almacenamiento (MM m ³)
Quebrada Seca	Tuy I	8,4
La Pereza	Tuy II	8,0*
La Mariposa	Tuy I	8,0*

* HIDROCAPITAL

SISTEMAS DE POTABILIZACIÓN

Estos sistemas permiten tratar el agua cruda proveniente de las fuentes de abastecimiento (embalses, presas de derivación) de manera tal que esta sea aprovechable para la población de Caracas sin que esta represente una problemática para la salud. La manera en que se encuentra esquematizado este sistema en el Acueducto Metropolitano es mediante unas plantas de pretratamiento de tratamiento físico y de desinfección, y posteriormente las plantas de tratamiento donde ocurren procesos físicos, químicos y de desinfección para ser distribuida por los sistemas de distribución del sistema.

Planta de pretratamiento

Esta planta de pretratamiento se encuentra en el río Tuy y funciona como desarenadores del afluente del mismo río, tienen una capacidad nominal de 6000 L/s. El tratamiento es para reducir el color y turbidez y, por último, tratamiento de desinfección por medio de cloración.

Plantas de Tratamiento

Tabla 2.5. Plantas de Tratamiento Acueducto Metropolitano (Fuente: Vivas et al. (1998))

Planta de Tratamiento	Sistema de Producción	Capacidad de Tratamiento (l/s)	Fuentes
La Mariposa	Tuy I	5000	Embalse La Mariposa*
Ciudad de Caracas "La Guairita"	Tuy II	9000	Río Tuy, Embalses: Lagartijo, Taguaza, Taguacita, Quebrada Seca, La Perezza
Caujarito	Tuy III	12000	Embalse Camatagua

*El sistema Tuy I lo alimenta mediante aportes que son conducidos por el túnel de la Cortada del Guayabo y que posteriormente discurren por el río Valle hasta el embalse La Mariposa.

SISTEMA DE TRANSPORTE Y DISTRIBUCIÓN DE AGUA

Este sistema se encuentra compuesto por aproximadamente 5.500 km de tuberías que comprenden alimentadores y redes de distribución y que sirven 12 Niveles de Servicio. Los alimentadores principales se encuentran resumidos en la Tabla 2.6.

Alimentadores y redes

Tabla 2.6. Alimentadores Principales del Acueducto Metropolitano de Caracas (Fuente: Vivas et al. (1998))

Alimentador	Área de Influencia	Diámetros
Tuy I	Coche, El Valle, Los Chaguaramos, San Juan, El Paraíso, Sabana Grande, Chacao	72"/48"/34"
Tuy II (Norte)	El Cafetal, La Florida, La Pastora El Calvario	72"/60"/54"/48"
Tuy II (Este)	Macaracuay, El Marqués, Petare, La Castellana	48"/34"
Tuy II (Sur)	Los Naranjos, El Hatillo, Oripoto, La Lagunita, La Boyera	30"/16"
Tuy II (N-Mariche)	Petare, Fila de Mariche	30"/24"/16"
Tuy III (Baruta)	Manzanares, Baruta, Prados del Este, Santa Fe	100"/48"/30"/24"
Tuy III (Central)	Santa Mónica, Bello Monte	100"/60"/30"
Tuy III (Nor-Oeste)	La Pastora, Avenida Sucre, Catia	85"/60"
Tuy III (Sur-Oeste)	La Vega, Antimano, El Junquito*, Macarao	85"/60"/20**

Si bien es cierto que en la Tabla 2.6 se describen los principales alimentadores de la ciudad, es importante destacar que dentro de Caracas existen tres tramos de túneles que unen los Morochos de Baruta con el tanque El Pinar.

ESTANQUES

El Acueducto Metropolitano cuenta con más de 90 estanques con una capacidad de almacenamiento comprendida entre 60.000 m³ y 100 m³. La siguiente tabla, comprende una lista de los estanques de más de 2000 m³, en la cual se señala la capacidad en m³, el nivel de servicio de cada estanque y sus respectivas cotas de fondo y rebose:

Tabla 2.7. Estanques del Acueducto Metropolitano (Fuente: Vivas et al. (1998))

NOMBRE	NIVEL DE SERVICIO	CAPACIDAD (m ³)	COTA DE FONDO (m.s.n.m)	COTA DE REBOSE (m.s.n.m)
Morochos de Baruta	4	60000	1083	1097
El Pinar	1	22100	925	930
Maripérez	2	22100	960	985
Agua Salada	3	22100	987	992
Santa Mónica	1	20900	925	930
Calvario Alto	3	14235	997	1020
El Marqués	0	15725	880	885
Chua	0	12600	880	885
El Mamón	3	12000	1010	1015
La Bombilla	4	12000	1010	1015
Alto Paují	8	12000	1240	1252
Panamericano La Vega	7	10000	1250	1254
El Polvorín	4	8900	1046	1050
Calvario Bajo	2	8740	968	971
Casalta	4	8000	1048	1050
La Florida	1	7585	925	930
Morochos del Cafetal	3	6000	1010	1016
Panamericano N.º 2	7	6000	1221	1231
Prados del Este N.º 1	1	5900	926	930
Sebucán medio	2	5600	960	965
Colinas de Los Caobos	3	5600	1001	1006
Himalayas	17	5000	1700	1705
Colinas de Bello Monte	5	4700	1105	1110
Prados del Este N.º 2	2	4500	960	985
Ciudad Universitaria N.º 1	1	3500	918	922

Ciudad Universitaria N.º 2	2	3500	950	954
Panamericano N.º1	2	3000	937	947
Calvario Viejo	3	2800	996	1000
El Guarataro	1	2500	926	930
Los Magallanes	4	2400	1034	1038
El Seminario	3	2290	988	992
Oripoto N.º 1	7	2100	1206	1215
Alto Hatillo	8	2100	1205	1215
Panamericano N.º 3	10	2000	1375	1385

ESTACIONES DE BOMBEO

Se encuentran las del sistema de producción mencionadas anteriormente en el apartado 2.2.2. y las correspondientes al sistema de distribución del Acueducto Metropolitano, que cuenta con 84 estaciones de bombeo con capacidades que oscilan entre 8000 kW y menos de 50 kW según las investigaciones realizadas por Vivas et al. (1998).

DETERMINACIÓN DE LA CONDICIÓN INICIAL DEL ACUEDUCTO METROPOLITANO

En el presente apartado se propone establecer el conocimiento de la condición inicial del acueducto (tanto física como energética) mediante el análisis de balances hídricos y energéticos de los sistemas que lo componen (sistema de producción, potabilización y distribución).

EL BALANCE HÍDRICO DE LA IWA

Se describe la metodología para cuantificar el nivel de pérdidas que presenta el Acueducto Metropolitano mediante la aplicación de un balance hídrico, información que resulta esencial para diagnosticar el estado de salud de la red. La gestión del agua desde un punto de vista bien sea, técnico, económico o ambiental de una red de abastecimiento, exige conocer con relativa exactitud el destino final de toda el agua introducida en el sistema a través de los diferentes puntos de inyección. De la misma manera se presentan diferentes directrices para llevar la contabilidad del agua mientras que en apartados subsecuentes se expondrán las técnicas y actuaciones para optimizar la eficiencia global de la red.

Es importante destacar que el presente apartado busca uniformizar criterios con respecto a las terminologías de manera tal que estas ya no dependan del balance hídrico que cada gestor de un abastecimiento en específico establezca según su criterio, sino que pueda establecerse un denominador común entre sistemas de abastecimiento y de esta manera poder establecer comparaciones (benchmarking), esta ha sido una de las iniciativas más importantes de la IWA (*International Water Association*) con respecto al balance hídrico de un acueducto, con la finalidad de regular la gestión de las compañías que mantienen un sistema de distribución de agua.

Este balance desarrollado por el Grupo de Trabajo "Pérdidas de Agua" de la IWA nace en el marco del contexto comentado anteriormente: la falta de uniformidad para definir los términos que componen el balance hídrico de los sistemas pertenecientes a un acueducto. El resultado tal y como

se ha expuesto, es un balance de carácter más internacional y que no puede ignorar la razón de ser de toda industria del agua, que es su facturación. Con respecto a lo anterior, este balance podría denominarse hídrico - económico.

Es importante destacar, que este balance hídrico requiere que se hagan estimaciones de los volúmenes de agua en cada punto de medida aplicable al sistema en consideración. Si hubiese contadores reales en la red, los datos de estos se emplearían normalmente, pero en ausencia de ellos, es necesario una mejor estimación basada en otros datos disponibles y en la aplicación de un buen criterio de ingeniería.

Alegre et al. (2000) establecieron en sus escritos un balance hídrico - económico y su terminología el cual puede resumirse tal y como se muestra en la Tabla 3.1.

Tabla 3.1.- Balance Hídrico - Económico de la IWA

A	B	C	D	E
			Consumo facturado medido (incluyendo agua exportada) [m ³ /año]	
		Consumo autorizado facturado [m ³ /año]	Consumo facturado no medido [m ³ /año]	Agua facturada [m ³ /año]
	Consumo autorizado [m ³ /año]		Consumo no facturado medido [m ³ /año]	
		Consumo autorizado no facturado [m ³ /año]	Consumo no facturado no medido [m ³ /año]	
			Consumo no autorizado [m ³ /año]	
		Pérdidas aparentes [m ³ /año]	Imprecisiones de medida [m ³ /año]	
Volumen de entrada al sistema [m ³ /año]			Pérdidas reales en conducciones de agua bruta y en tareas de tratamiento (si procede) [m ³ /año]	
	Pérdidas de agua [m ³ /año]		Fugas en transporte y/o conducciones de distribución [m ³ /año]	Agua no facturada [m ³ /año]
		Pérdidas reales [m ³ /año]	Fugas y desbordamientos en transporte y/o estanques de almacenamiento [m ³ /año]	
			Fugas en tomas de servicio hasta el punto de medida [m ³ /año]	

Esta tabla muestra el formato y la terminología estándar que recomienda Alegre et al. (2000) para el cálculo del balance hídrico en cualquiera de las etapas que integran el conjunto de un sistema de suministro de agua (tanto el sistema de producción como del sistema de potabilización y de distribución). Una condición importante a destacar, es que, si los datos originales del balance hídrico están disponibles en algún formato o terminología alternativas, deben ser estructurados de manera que coincidan con los diferentes términos definidos y expresados en volumen por año (expresados en la Tabla 3.1.), todo ello antes de poder calcular alguno de los indicadores de gestión definidos por la IWA, que mejor se adapten a las condiciones particulares del sistema.

El Proceso de cálculo para establecer el balance hídrico mediante la aplicación de la metodología de la IWA se muestra en la Tabla 3.2.

Tabla 3.2.- Cálculos a realizar para establecer el Balance Hídrico - Económico de la IWA

Etapas	Operación a realizar
1	Determinar el volumen de entrada al sistema.
2	Definir consumo facturado medido y consumo facturado no medido; introducir el total en consumo autorizado facturado y agua facturada.
3	Calcular el volumen de agua no facturada como volumen de entrada al sistema menos agua facturada.
4	Definir consumo no facturado medido y consumo no facturado no medido; transferir el total a consumo autorizado no facturado.
5	Añadir volúmenes de consumo autorizado facturado y consumo autorizado no facturado; introducir la suma como consumo autorizado.
6	Calcular las pérdidas de agua como la diferencia entre volumen de entrada al sistema y consumo autorizado.
7	Evaluar los componentes de consumo no autorizado y de imprecisiones de medida con los mejores medios disponibles, añadir éstos e introducir la suma en pérdidas aparentes.
8	Calcular las pérdidas reales como pérdidas de agua menos pérdidas aparentes.
9	Evaluar las pérdidas reales con los mejores medios disponibles (análisis de caudales nocturnos, de la frecuencia/duración/caudales en roturas, modelaciones del sistema, etc.), añadir éstos y comprobar con el volumen de pérdidas reales.

Resulta complejo establecer, con precisión razonable, el balance hídrico cuando no se mide el consumo de una parte significativa de los usuarios. El consumo autorizado, en ese caso, debe deducirse a partir de una muestra de consumidores de diferentes categorías y sub - categorías suficientemente representativas y/o mediante la medición de los caudales totales inyectados en áreas concretas (ver gestión de la infraestructura, apartado 7.1.1.3) con perfiles de consumo similares estructurados en distintas categorías y subcategorías. En este último paso es necesario descontar las fugas reales de la entrada total. Dichas fugas pueden calcularse analizando los subcomponentes de la demanda nocturna (ajustando si es preciso, las variaciones diurnas de presión). Con respecto a lo mencionado anteriormente, se evidencia la clara dificultad de establecer un balance hídrico con un bajo porcentaje de medición.

Por otra parte, la IWA admite el uso de indicadores relativos de gestión, los cuales permiten analizar las pérdidas de agua desde tres puntos de vista principales: financiero, técnico e hídrico. Cabe destacar que la aplicación de estos indicadores de gestión puede calcularse si y solo si, se ha realizado un balance hídrico completo de la red de abastecimiento. En consecuencia, resulta necesario completar el proceso de cálculo del balance hídrico hasta la etapa 9, referida en la Tabla 3.2 para analizar los tres aspectos mencionados anteriormente. Por ejemplo, si el balance hídrico no llega más allá de la etapa 3, solo el indicador financiero puede ser determinado.

3.1.2. El Índice de Fugas Estructural (IFE)

La IWA propugna indicadores relativos para analizar las pérdidas de agua en una red de abastecimiento. Estos indicadores son de gran importancia en la valoración del estado físico del sistema y sustituyen a los tradicionales rendimientos porcentuales. El planteamiento anterior está basado, principalmente, porque en primera instancia los rendimientos porcentuales no reflejan de manera exacta el estado físico de la red, y consecuentemente, porque no sirven para establecer comparaciones entre sistemas diferentes, aspecto de vital importancia, si se quiere implementar un plan de gestión comparativa del abastecimiento del Acueducto Metropolitano.

Como es sabido, las fugas de una red, dependen fundamentalmente de cuatro factores: longitud, presión media de trabajo, tiempo de servicio y número de tomas de servicio.

A la hora de valorar el estado de un sistema, indicadores que tomen en cuenta los 4 factores anteriormente comentados son más adecuados que los rendimientos porcentuales, sobre todo en una red de abastecimiento, como el Acueducto Metropolitano que, debido a su elevado nivel de fugas, interrumpe el servicio un determinado número de días a la semana con el fin último de disimular la falta de estanqueidad de las redes.

El uso de indicadores de gestión relativos son sin dudas más representativos que los rendimientos tradicionales. Lambert et al. (2000) describen en sus escritos que la IWA, en su esfuerzo por crear uniformidad con respecto a los entes reguladores a nivel mundial, a través de su grupo de trabajo "Pérdidas de Agua" impulsó el establecimiento de un indicador que, de la mejor manera posible, pudiera servir de denominador común entre diferentes abastecimientos. Finalmente llegó al establecimiento del Índice de Fugas Estructural (IFE).

De manera general, para la definición del IFE, se exploró de manera detallada cual es el punto débil de un sistema de abastecimiento, obteniéndose, por unanimidad, que la mayor parte de las pérdidas están localizadas en las tomas de servicio. Por esta razón la IWA recomienda referir las pérdidas de agua al parámetro de mayor sensibilidad, el número de tomas de servicio. Así pues, surge, el indicador técnico de **Volumen Incontrolado Fugado (VIF)** el cual puede ser determinado mediante la expresión:

$$VIF = \frac{Q_{if}}{N^{\circ} \text{ tomas de servicio}} = \frac{V_{if}}{(\text{día})(N^{\circ} \text{ tomas de servicio})} \quad (3.1)$$

Este nivel real de pérdidas debe relacionarse con otro indicador que refleje el estado óptimo de la red, para ello, se ha propuesto el **Umbral Mínimo de Fugas (UMF, Unavoidable Average Real Losses (UARL))**, que debe expresarse, en las mismas unidades que el VIF.

El UMF toma en consideración los factores de riesgo del sistema (longitud de la red, presión media del sistema, número de tomas de servicio y longitud de las tomas de servicio), factores todos, que contribuyen a aumentar el nivel de fugas de la red, con ponderaciones más o menos críticas. Entonces, el UMF puede expresarse como sigue:

$$UMF = \frac{(AL_t + BN_a + CL_a)p}{N_a} \quad (3.2)$$

donde:

L_t : longitud total de las tuberías de distribución de la red (en km)

N_a : número total de tomas de servicio existentes

L_a : suma de las longitudes de todas las tomas de servicio (en km)

p : presión media del sistema (en mca)

A, B y C : constantes que ponderan de la influencia del parámetro que acompañan

La determinación de las constantes A, B, C son propios de cada sistema en particular, pero luego de un análisis estadístico de datos de 27 abastecimientos en diferentes países se obtuvieron los siguientes valores, presentados en los escritos de Lambert et al. (1999):

$$\begin{aligned} A &= 18 \\ B &= 0,8 \\ C &= 25 \end{aligned} \quad (3.3)$$

Coefficientes que, en concordancia con lo expuesto anteriormente, expresan la posibilidad de un mayor caudal de fugas en las tomas de servicio de la red. Es importante destacar que, para obtener las constantes anteriormente expuestas, las longitudes deben expresarse en kilómetros (de las tuberías y tomas de servicio) y presión en mca.

Para finalizar, El IFE se obtiene con la relación entre VIF y UMF tal y como se evidencia en la expresión (3.4):

$$IFE = \frac{VIF}{UMF} = \frac{\frac{V_{if}}{d N_a}}{\frac{(AL_t + BN_a + CL_a)p}{N_a}} = \frac{V_{if}}{d(AL_t + BN_a + CL_a)p} \quad (3.4)$$

Los 27 abastecimientos antes mencionados arrojaban IFE en un rango de valores entre 1 y 10 según los análisis realizados por Lambert et al. (1999). Los abastecimientos con un amplio margen de mejora, tal y como el Acueducto Metropolitano, generalmente tienen valores de IFE de importante magnitud.

AUDITORÍA ENERGÉTICA DEL ACUEDUCTO METROPOLITANO

En este apartado se propone una metodología que permite calcular la energía consumida por una red de abastecimiento, de manera tal que pueda utilizarse como una herramienta de medición fiable para determinar desde un punto de vista comparativo (condición inicial y condición luego de la optimización energética) los consumos energéticos del acueducto.

Hasta hace poco, el ahorro de energía en la industria del agua era una operación de difícil implantación, problemática; eran circunstancias relativas a la eficiencia de una bomba, una mejora del proceso, o simplemente un objetivo de eficiencia de gestión, según los escritos realizados por Lingireddy et al. (1998). Sin embargo, debido a la crisis energética periódica y la necesidad de reducir las emisiones de efecto invernadero, existe una creciente motivación para minimizar los requerimientos energéticos en el uso sostenible del agua tal y como sostiene el Departamento de Energía de Estados Unidos [(USDE) 2006]. En cualquier caso, es comprensible que el grado de preocupación con una empresa prestadora de servicios hídricos, en términos de la eficiencia energética dependerá de las condiciones propias del sistema.

Si se obtiene agua de una planta desaladora, la energía requerida antes de ingresar al sistema es de al menos $3,5 \text{ kW h/m}^3$ según estudios del National Research Council [(NRC) 2008], en consecuencia, la atención al uso de la energía para obtener agua potable sería alta. Sin embargo, si la fuente de agua es natural y tiene alta calidad, los costos de tratamiento serían bajos y los problemas energéticos serían secundarios como, por ejemplo, costos de energía por volumen de agua producida que en California varía de $0,18$ a $0,32 \text{ kW h/m}^3$ según la Comisión de Energía de California [(CEC), 2005].

Uno de los objetivos principales de esta auditoría es analizar en detalle la fase de distribución en relación con la energía suministrada en los sistemas de abastecimiento de agua. Hasta ahora los análisis realizados han consistido en dividir la energía pagada en kW h , por el volumen de agua entregada a los usuarios medidos en m^3 .

Este indicador global no proporciona información suficiente sobre cómo la energía se usa a lo largo del proceso de distribución, que es el objetivo principal de la auditoría energética aquí presentada.

Cabrera et al. (2010) proponen un modelo matemático que se origina como resultado del estudio de la ecuación de energía y representa una auditoría completa del sistema de distribución, el cual se encuentra contenido en un volumen de control que puede ser la red completa o un distrito hidrométrico. Los diferentes términos del flujo en todos los límites necesitan ser conocidos. Por lo tanto, un balance hídrico y un modelo matemático calibrado de la red son necesarios. En otras palabras, el problema hidráulico debe ser primero resuelto.

La novedad más relevante del balance energético que introduce el modelo presentado en este apartado, está en la evaluación de los usos finales de la energía inyectada al sistema y, específicamente, a la pérdida de energía asociada con las fugas. Tal pérdida de energía resulta de dos términos diferentes: uno asociado con el agua que se escapa de la red y otro relacionado con la energía disipada en pérdidas por fricción debido al caudal adicional necesario para compensar la fuga mientras se satisfacen las demandas. Los indicadores de rendimiento se utilizan seguidamente para caracterizar todo el balance energético, lo que permite la evaluación de la eficiencia energética de la red, así como la influencia de las pérdidas de energía en el periodo óptimo de renovación de la tubería a través de un análisis de costo-beneficio.

Balance energético de la red de abastecimiento

La ecuación integral de energía puede ser aplicada a un volumen de control con cantidades conocidas de agua fluyendo por sus fronteras. Esto implica resolver el Balance Hídrico propuesto anteriormente y un modelo matemático fiable de la red en cuestión a la cual se le ha definido un volumen de control. Las fronteras definen cuales elementos son externos (contribuyen con el flujo de energía) o internos (almacenan o disipan energía). El modelo matemático es necesario para cuantificar el flujo de energía (inherente al flujo de agua) a través de las fronteras. La demostración matemática del problema escapa de los alcances del presente informe, sin embargo, se considera que la ecuación de balance debe ser formalmente presentada, en consecuencia, la ecuación final del balance de energía puede resumirse según la siguiente expresión:

$$\begin{aligned}
 P_0 &= \sum_i^{n_N} \gamma Q_{Ni} H_{Ni} + \sum_i^{n_p} \gamma Q_{Pi} H_{Pi} \\
 &= \sum_i^{n_N} \gamma Q_{oi} H_{oi} + \rho \left[\sum_i^n \gamma Q_{oi} u_{oi} - \sum_i^{n_N} \gamma Q_{Ni} u_{Ni} \right] \\
 &\quad + \sum_{i=1}^{n_c} \gamma \frac{\delta}{\delta t} \iiint_{VC} z_i dV
 \end{aligned} \tag{3.5}$$

donde:

- La energía suministrada por embalses y estanques es: $P_N = \sum_i^{n_N} \gamma Q_{Ni} H_{Ni}$
- La energía artificial suministrada por bombas es: $P_P = \sum_i^{n_p} \gamma Q_{Pi} H_{Pi}$
- La energía total suministrada al sistema es la sumatoria de las dos energías anteriores (P_0).
- El término $\sum_i^n \gamma Q_{oi} H_{oi}$ es la salida de energía de la red a través de los nodos, es la suma de la energía suministrada a los usuarios (P_U) y la energía perdida que resulta de las fugas del sistema (P_L).
- El término $\rho \left[\sum_i^n \gamma Q_{oi} u_{oi} - \sum_i^{n_N} \gamma Q_{Ni} u_{Ni} \right]$ es la variación de la energía interna del agua en el tiempo. Lo anterior, sin incluir intercambio de calor, el incremento de la energía interna del flujo en el tiempo es igual a las pérdidas de energía por fricción (P_F).
- Por último, el término $\sum_{i=0}^{n_c} \gamma \frac{\delta}{\delta t} \iiint_{VC} z_i dV$ es el cambio en el tiempo de la energía $i=0 \delta t VC$ potencial en los tanques de compensación del sistema (P_C).

La ecuación (3.5) representa el balance energético de todo el sistema y puede expresarse de manera más compacta tal y como se expresa en la ecuación (3.6).

$$P_N + P_P = P_U + P_L + P_F \mp P_C \tag{3.6}$$

Esta ecuación describe que la energía suministrada al sistema es igual a la energía suministrada a los usuarios más la energía perdida tanto por el agua no facturada del sistema (pérdidas reales y aparentes) como por la fricción mecánica del sistema, finalmente el balance es ajustado por el término de compensación, determinado por los tanques del sistema.

Balance energético global del sistema

La integración en el tiempo de la ecuación (3.5) da como resultado el balance de energía de un sistema para un periodo determinado. Estas energías, a excepción del término de compensación, entran o salen del sistema o simplemente son disipadas. Lo anterior deriva en la expresión (3.7):

$$\begin{aligned} E_{\text{Ingreso}}(t_p) &= E_N(t_p) + E_p(t_p) = E_U(t_p) + E_L(t_p) + E_F(t_p) + \Delta E_c(t_p) \\ &= E_{\text{Salida}}(t_p) + E_{\text{Disipada}}(t_p) + E_{\text{compensación}}(t_p) \end{aligned} \quad (3.7)$$

A la cual se le puede despreciar el término de compensación si el periodo de estudio es anual, puesto que la máxima energía de compensación a lo largo de ese periodo es un pequeño porcentaje del ingreso de energía al sistema (E_{Ingreso}).

Indicadores energéticos de gestión

Estos indicadores tradicionalmente han sido expresados en kW h/m³ como la razón entre la energía facturada y el volumen de agua medido ingresado al sistema. Los indicadores que se propondrán en este apartado proveen una evaluación que resulta intuitiva y general del sistema y tienen más sentido de aplicación a largo plazo.

Información de contexto

Desde el punto de vista energético, cada sistema de abastecimiento es diferente. Las redes de abastecimiento pueden ser planas o sistemas que deben vencer grandes desniveles desde sus fuentes de abastecimiento hasta el consumidor final., el cual es el caso del Acueducto Metropolitano de Caracas en donde cada metro cúbico de agua transportada requiere una significativa cantidad de energía antes de que llegue a los usuarios. La diferencia entre las dos situaciones descritas anteriormente es resumida mediante el primer "indicador de contexto" C_1 . El indicador de contexto anteriormente discutido muestra cual proporción de la energía suministrada al sistema es natural (no requiere de estaciones de bombeo) y su rango es comprendido entre 0 y 1, siendo el máximo una situación en la cual toda el agua inyectada al sistema es gravitacional, suplida por fuentes de agua en puntos altos de cota.

El segundo indicador de contexto C_2 toma en cuenta cuan exigente desde el punto de vista energético es la red. La relación entre la energía útil mínima, definida como la altura piezométrica mínima requerida en cada nodo ($h_{\text{min},i} = z_i + P_{\text{min}}/\gamma$) y la energía mínima teórica requerida (de una red sin fricción, plana con todos los nodos ubicados a la misma cota máxima z_{max} , y sin fugas). El valor máximo que puede adquirir este indicador es 1.

En la Tabla 3.3. se resumen las expresiones que componen a los indicadores de contexto mencionados anteriormente.

Tabla 3.3. Información de contexto

C_1 Energía natural	C_2 Requerimientos energéticos de la red
$C_1 = E_N(t_p) / E_{Ingreso}(t_p)$	$C_2 = E_{min,útil} / E_{min,plana}$

Indicadores de eficiencia energética

Tal y como mencionan Alegre et al. (2006) en el manual de indicadores de gestión de la IWA, los "indicadores de contexto" tratados en el anterior apartado, son útiles para realizar una caracterización de las redes del sistema. Sin embargo, al ser indicadores propios de las características de la red, no pueden ser cambiados por decisiones de gestión y, por consiguiente, no pueden ser utilizados para medir que tan bien gestionado está el sistema. Se proponen en consecuencia, cinco indicadores de desempeño para realizar tal análisis:

- El primer indicador I_1 , es la razón entre la energía real que entra al sistema y la energía útil mínima.
- El segundo indicador, es una medida de la eficiencia del uso de la energía inyectada al sistema.
- I_3 , representa la capacidad hidráulica de la red. Valores más altos de este indicador implican redes de más baja eficiencia.
- El cuarto indicador, I_4 , mide la pérdida de energía debido a las fugas en el sistema, el cual resulta de la suma de la energía perdida debido a las fugas de agua del sistema y la energía adicional requerida para superar la fricción debido al incremento del flujo necesario para superar las pérdidas de agua.
- Por último, el indicador, I_5 es la proporción directa entre la energía entregada a los usuarios y la mínima energía útil requerida.

En la Tabla 3.4 se resumen las expresiones matemáticas de los indicadores anteriormente mencionados.

Tabla 3.4. Indicadores de eficiencia energética

I_1 Exceso de energía suministrada	$I_1 = E_{ingreso}(t_p) / \gamma \cdot \sum_{i=1}^n \overline{v_{u,i}}(t_p) \cdot h_{min,i}$
I_2 Eficiencia energética de la red	$I_2 = E_U(t_p) / E_{ingreso}(t_p)$
I_3 Energía disipada por la fricción	$I_3 = E_F(t_p) / E_{ingreso}(t_p)$
I_4 Energía perdida en fugas	$I_4 = E_L(t_p) + E_F(t_p) - E_U(t_p) / E_{ingreso}(t_p)$
I_5 Cumplimiento de estándares	$I_5 = E_U(t_p) / \gamma \cdot \sum_{i=1}^n \overline{v_{u,i}}(t_p) \cdot h_{min,i}$

El nuevo enfoque que ha puesto al agua como un agente que consume energía, ha convertido a los sistemas de distribución en una faceta relevante en la cual no solo se toma en cuenta cuanta energía se consume sino también cuanta energía es utilizada en el proceso. Una apropiada contabilización

de cuanta energía es desaprovechada como producto de las fugas del sistema de distribución es el objetivo de este apartado. Es una herramienta que puede utilizar desde una perspectiva administrativa o de regulación del Acueducto Metropolitano, en concordancia con otros sistemas de operación y obtención de datos como el sistema SCADA.

IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA SCADA PARA MEJORAR LA EFICIENCIA OPERATIVA DEL ACUEDUCTO

La gestión de los sistemas hidráulicos a presión requiere de monitorización, control y obtención de datos de los diversos elementos físicos que los componen. La correcta gestión de un abastecimiento requiere obtener mediciones de variables de diferente índole y parámetros en tiempo real pertenecientes a los sistemas de producción, potabilización y distribución. Para este menester se ha desarrollado una herramienta denominada SISTEMA SCADA, de las siglas sajonas *Supervisory Control And Data Acquisition* y que podría describirse en castellano, tal y como comentan Vivas et al. (1998) como: Sistema para Medición, Registro, Comunicación, Control y Supervisión de los Sistemas de Producción, Potabilización y Distribución de Agua Potable. La información anteriormente comentada, es registrada y transmitida a un centro de operación donde se podrían comunicar eventuales comandos de control en función a la información recibida. Con la información de datos, parámetros y variables es posible la realización de modelos estadísticos y matemáticos que analicen y supervisen las operaciones.

Concretamente Vivas et al. (1998) describen los principales aportes que sistemas como el SCADA puede ofrecer: aumento de la cantidad de agua, mejoras en la capacidad de planificación y operación del acueducto, optimización del consumo eléctrico, y mejoramiento de la fiabilidad del sistema.

Un Sistema como el comentado anteriormente se intentó implementar en el marco de lo que sería para aquel entonces el Programa de Rehabilitación Física del Sistema de Distribución del Acueducto Metropolitano de Caracas. Para el año 1996 HIDROCAPITAL elaboró un documento que se resume como: SISTEMA DE TELEMETRÍA TUY- CARACAS, julio de 1996/MECOFLU el cual se refiere al suministro e instalación de equipos de medición y comunicación de información en tiempo real de los sistemas de producción y distribución del área metropolitana de Caracas. A partir del referido informe se empezaron a realizar las gestiones para la implantación del que sería el Sistema SCADA CARACAS como se acordó abreviar.

Para el año de 1998 Vivas et al. (1998) realizaron la "Memoria Técnica Sobre la Implementación de un Sistema SCADA para el Acueducto Metropolitano de Caracas" del cual en una primera fase (Proyecto SCADA Piloto) comprendía 24 estaciones de medición y control y 3 centros de supervisión y control.

Vivas et al. (1998) concluyen que el conocimiento del comportamiento hidráulico de una red de abastecimiento como la del Acueducto Metropolitano es realmente necesario para operar de manera apropiada la red y, en consecuencia, encontrar soluciones a las problemáticas relativas a: la interrupción del servicio, la distribución no equitativa de las dotaciones y fugas; a su vez una operación más eficiente redundaría en un ahorro de energía. En concordancia con lo anteriormente descrito, Bausson (1995) señala que la introducción de automatismos que permitan la operación y recolección de datos de los elementos físicos del sistema con el menor concurso del hombre es imprescindible, la colocación de medidores de variables hidráulicas significativas, parámetros eléctricos, mecánicos y de calidad es una necesidad impostergable.

OPERATIVIDAD DE LOS SISTEMAS DE PRODUCCIÓN

El Sistema de Producción está compuesto por embalses, aducciones y estaciones de bombeo descritas en el apartado 2.2. del presente informe, este se encarga de captar el agua y transportarla a las plantas de potabilización.

EMBALSES

La operación de embalses es una actividad muy importante dentro del aprovechamiento de los recursos hidráulicos del sistema de producción del Acueducto Metropolitano. El problema en la práctica es complejo debido a que estas obras se ven afectadas tanto por la aleatoriedad de las variables climáticas e hidrológicas como por la variabilidad de las demandas a la que están sujetas.

En la gestión óptima de embalses, la eficiencia en la operación implica la minimización de fallas para las variaciones de demandas a lo largo de un período determinado. Cuestión que cobra relevante importancia cuando en el manejo de las fuentes se deban establecer políticas de racionamiento en periodos de sequía prolongada.

Existen métodos de operación óptima de embalses, entre los cuales destacan: simulación, programación lineal, programación dinámica y los modelos conjuntos con predicción en tiempo real.

Modelos de operación de embalses como el de programación lineal estocástica han sido implementados en la operación de sistemas de embalses para de esta manera establecer las políticas de aprovechamiento óptimas. Esta premisa toma en consideración que se respeten las restricciones impuestas por el sistema, en particular de niveles máximos y mínimos del embalse y las descargas máximas y mínimas de retorno de los embalses.

Sin embargo, estos elementos reguladores pueden dotarse de dispositivos de medición de manera tal que se pueda adquirir información en tiempo real de niveles y caudales de descarga, los cuales se enlazarían con los centros de control y, en función a ello diseñar políticas de aprovechamiento ajustadas a las circunstancias propias del sistema en un momento determinado.

ADUCCIONES Y ESTACIONES DE BOMBEO

Las aducciones del sistema de producción del acueducto se deben dotar de dispositivos de medición y comunicación tales como: transductores de presión, medidores de caudal, y unidades remotas de control (RTU), equipos de transmisión para obtener en tiempo real los datos que permitan realizar maniobras como el cierre de una válvula para la reparación de una fuga de un tramo intermedio de una aducción.

En relación con las Estaciones de Bombeo en miras a monitorear correctamente estos elementos del sistema de producción, resulta necesario hacer mediciones de presión, caudal, parámetros eléctricos y estado de funcionamiento de la bomba, para lo cual es necesario la instalación de los siguientes dispositivos: transductores de presión, medidores de caudal, Unidades de Transmisión Remota (RTU), transductores de parámetros eléctricos, transductores de nivel, indicadores de status prendido/apagado de la bomba, dependiendo de su ubicación medidores de cloro y de pH y por último equipos de transmisión. De manera tal de obtener datos de manera permanente de las variables hidráulicas significativas, eléctricas y mecánicas de estas estaciones y de esta manera supervisar y controlar estas estaciones remotamente a través los centros de control principales.

OPERATIVIDAD DE LOS SISTEMAS DE POTABILIZACIÓN

Estos elementos deben ser monitoreadas con elementos de medición y comunicación con el fin último de adquirir datos de su comportamiento hidráulico, parámetros de calidad (pH, color, concentración de cloro, temperatura, turbidez, sólidos disueltos y en suspensión) del agua e incluso del comportamiento eléctrico de las instalaciones, esta acción es posible mediante la instalación de los siguientes dispositivos: transductor de presión, turbidímetros, medidor de pH, temperatura, analizador de cloro, RTU, equipos de transmisión, transductor de parámetros eléctricos y transductor de nivel en estaciones de tratamiento de agua potable en las que haya estanques; con el fin de obtener registros históricos, supervisar y controlar permanentemente, las operaciones que sean necesarias para garantizar las restricciones hidráulicas y de parámetros de calidad de los efluentes de las Plantas de Potabilización.

Las formas para captar correctamente las muestras, el tipo y manera de ejecutar los análisis requeridos para la determinación de parámetros de calidad y los aspectos relativos a los procesos de tratamiento de agua recaen dentro del campo de la ingeniería sanitaria y por lo tanto no serán tratados en el presente informe.

OPERATIVIDAD DE LOS SISTEMAS DE DISTRIBUCIÓN

En este apartado se resumen las medidas que deben implementarse en los sistemas de distribución (redes, estanques y estaciones de bombeo de inyección directa red) del Acueducto Metropolitano para optimizar su operatividad.

Se proponen una serie de acciones para aumentar su rendimiento hidráulico, optimizar su rendimiento energético e implementar indicadores de gestión de manera tal que se puedan evaluar los esfuerzos realizados en mejorar las condiciones actuales del sistema de distribución.

ALIMENTADORES, MATRICES Y REDES

En el presente apartado se resumen las acciones orientadas a mejorar el rendimiento hidráulico las redes, todas las acciones que se describirán a continuación requieren la adquisición de datos y registros históricos que mediante la implementación de un sistema SCADA pueden obtenerse.

Actuaciones orientadas a disminuir las pérdidas de agua en el Acueducto Metropolitano

Una vez se ha realizada la auditoria volumétrica del Acueducto Metropolitano, y sintetizado los resultados más relevantes con los correspondientes indicadores técnicos de gestión, se debe realizar un diagnóstico afinado para establecer el estado de salud general del sistema de abastecimiento desde el punto de vista de la eficiencia hídrica. En ese sentido, las acciones consecuentes deben consistir en identificar las medidas más eficaces para mejorar y mitigar la problemática suscitada actualmente en la red de distribución.

Existen diversas maneras de incidir en la infraestructura del Acueducto Metropolitano para que su estado de operación actual mejore, las cuales se deben adecuar a las circunstancias particulares de este sistema de distribución. En este apartado se describirán todas las actuaciones que deben

realizarse para la mejora de la situación actual, prestando atención en establecer su jerarquización temporal durante el desarrollo de planes de reducción de pérdidas de esta red de abastecimiento.

En todo caso conviene subrayar que la misma auditoria volumétrica ya arroja luz acerca de qué medida, de entre todo el conjunto disponible puede resultar más eficaz. Entendiendo por eficaz, aquella que presenta el menor cociente entre los metros cúbicos de agua que se recuperan y la inversión requerida. Porque tal y como se ha comentado anteriormente, resulta de vital importancia no solo conocer qué medidas se pueden implementar sino (ello es aún si cabe más importante) como ordenarlas en el tiempo.

Tipos de pérdidas y su origen

De manera general, en el presente informe se ha considerado relevante hacer un resumen sucinto de los tipos de pérdidas y su origen en redes de abastecimiento, puesto al caracterizar las fugas, en primer lugar, se permite esquematizar las medidas más apropiadas para rehabilitarlas y, en segundo lugar, el conocimiento de su origen permite que estas no se repitan en el tiempo (generación de datos históricos de las causas que las originan).

Se entiende por "pérdidas de agua" de un sistema de abastecimiento, al volumen de agua que ingresa en él sin que sea contabilizado por los contadores de los usuarios. Y ello con que independencia de que el agua registrada sea o no facturada por los usuarios, un hecho de gran importancia desde el punto de vista financiero de la empresa, que justifica que el balance hídrico presentado en el apartado 3.1. se le otorgue gran relevancia, aunque desde el punto de vista estrictamente técnico su interés es relativo.

Desde una óptica general, y en miras a conceptualizar sucintamente las pérdidas que pueden generarse en el sistema, se tiene que las pérdidas se traducen como reales o aparentes. Las pérdidas reales, o sencillamente, fugas se corresponden con el volumen de agua que escapa del sistema a través de los defectos de las tuberías y los accesorios. Son muy diversas las causas que originan estas pérdidas, pero de manera general pueden resumirse en dos fundamentales. Por una parte, se encuentran los defectos físicos del sistema a través de los cuales escapa el agua y, por otra parte, la presión de la red que lo favorece. Las fugas mayores, debidas a grandes defectos, son fácilmente detectables, mientras que las fugas de bajo caudal tienen una localización más compleja. Ello tiene una lógica consecuencia, y es que la mayor parte de las pérdidas reales, con respecto al Índice Estructural de Fugas (IFE), se localizan en las tomas de servicio.

En relación al otro tipo de pérdidas, las aparentes, conceptualmente no las pierde el sistema, porque el agua llega al usuario ilegal, pero sin que la compañía las conste. Sin embargo, en Caracas los desperfectos de las grandes infraestructuras (tanques, plantas de tratamiento, estaciones de bombeo, ventosas, descargas) conjuntamente con las tomas clandestinas autorizadas se contabilizan como un gran porcentaje de las pérdidas físicas del sistema.

Si el total de los usos del agua se miden, las pérdidas aparentes se deberían a errores de medición o a consumos ilegales. Las pérdidas aparentes se componen de estos sumandos: error de medición, error de estimación de las asignaciones de consumo y consumos ilegales.

Los consumos ilegales es un problema de gran relevancia en el Acueducto Metropolitano. Pocos sistemas están exentos de estas pérdidas aparentes.

Según Ochoa et al. (1998) existen tres tipos de situaciones ilegales identificadas. La primera corresponde a tomas de servicio que, en primera instancia figuraban como usuarios de un determinado tipo (por ejemplo: doméstico) y posteriormente pasan a utilizar la toma de servicio para un propósito diferente de mayor consumo como por ejemplo el comercial. La segunda situación corresponde a tomas de servicio legales que son manipuladas e impiden que el caudal que fluye a través de la tubería sea registrado por el respectivo contador. Por ejemplo, mediante la instalación de un *by-pass* que evita el paso el agua a través del medidor.

Por último, el tercero de los consumos ilegales consiste en conectarse a la red de manera ilegal. Un tipo de fraude extremadamente frecuente en los asentamientos informales de la ciudad de Caracas. Esta situación debe ser subsanada mediante la implementación de un plan técnico de reordenamiento de la ciudad, en el que se establezca un plan de urbanización que sea construido de manera planificada y que asegure una prestación de servicio óptimo (variables hidráulicas, garantía de suministro y de calidad), condición que escapa de los alcances del presente informe. En consecuencia, a partir del próximo apartado, nos centraremos específicamente en las actuaciones orientadas a disminuir las pérdidas reales en los sistemas hidráulicos a presión.

Modelación y control de pérdidas reales

Las pérdidas reales se deben a desperfectos, que con el paso del tiempo aparecen en la red y las cuales aumentan a medida que pasa el tiempo y, en consecuencia, resulta necesario controlar. De acuerdo con la expresión de descarga libre a través de un orificio, estas pérdidas reales mencionadas anteriormente dependen de la presión, tal y como se expresa en la ecuación (7.1):

$$Q_f = A_f \sqrt{2g \left(\frac{p}{\gamma} \right)} \quad (7.1)$$

Siendo en este caso A_f representa el área del orificio (cuantifica la importancia de la falla) y “ p ” la presión interior en el punto de la falla. Las pérdidas se reducen evitando las causas y minimizando sus efectos. En primera instancia se va a referir a las causas que corresponden a los defectos estructurales de la tubería y a maniobras inconvenientes que alteren bruscamente la presión en el sistema, estas causas se encuentran resumidas en la Tabla 7.1.

Tabla 7.1. Aspectos de la Infraestructura y de la Presión en Redes que Propician la Aparición de Fugas (AWWA, 1990)

FACTORES DE INFRAESTRUCTURA	FACTORES DE PRESIÓN
Buena elección del material de la tubería original, y análisis de la calidad del agua en su interior y del estado del terreno alrededor de la tubería.	Excesiva presión en la red.
Cumplimiento de una normativa apropiada para el montaje, el asentamiento, y el relleno cuando se diseñan y se colocan las tuberías y los accesorios de acuerdo a especificaciones apropiadas y probadas con agua a presión antes de ser aceptadas.	Llenado de tuberías demasiado rápido.

Calidad del transporte, almacenaje y manipulación de las tuberías (distribución a lo largo de la traza y alojamiento en la zanja).	Cierre rápido de válvulas.
Calidad de la política de las reparaciones y mantenimiento para las tuberías y accesorios.	
Gestión de la presión: cuando las tuberías y los accesorios se convierten en parte de la red presurizada, están sometidas a fatiga continua y hay un gran potencial de que ocurran daños físicos.	Consecuencias del fenómeno del golpe de ariete.

Si se quiere minimizar los efectos de una fuga, hay que determinar el volumen fugado durante un periodo de tiempo determinado. Tal volumen es igual al caudal unitario, establecido en la ecuación (7.1) multiplicado por el tiempo que está activa dicha fuga, tal y como se resume en la ecuación (7.2).

$$V_f = tA_f \sqrt{2g \left(\frac{p}{\gamma} \right)} \quad (7.2)$$

Entonces, las estrategias a seguir para minimizar el volumen de agua que una red pierde, se pueden resumir como sigue: control de presión, minimizar los tiempos de actividad de estas fugas, y tratar que estas se produzcan evitando las fallas que las propician (ver Tabla 7.1). Lo anterior se sintetiza en la Figura 7.1 atribuida a Lambert et al. (1998) del grupo de trabajo de "Pérdidas de Agua" de la IWA. Es importante destacar, que cada acción resumida en esta figura condiciona alguna de las variables de la expresión (7.2).

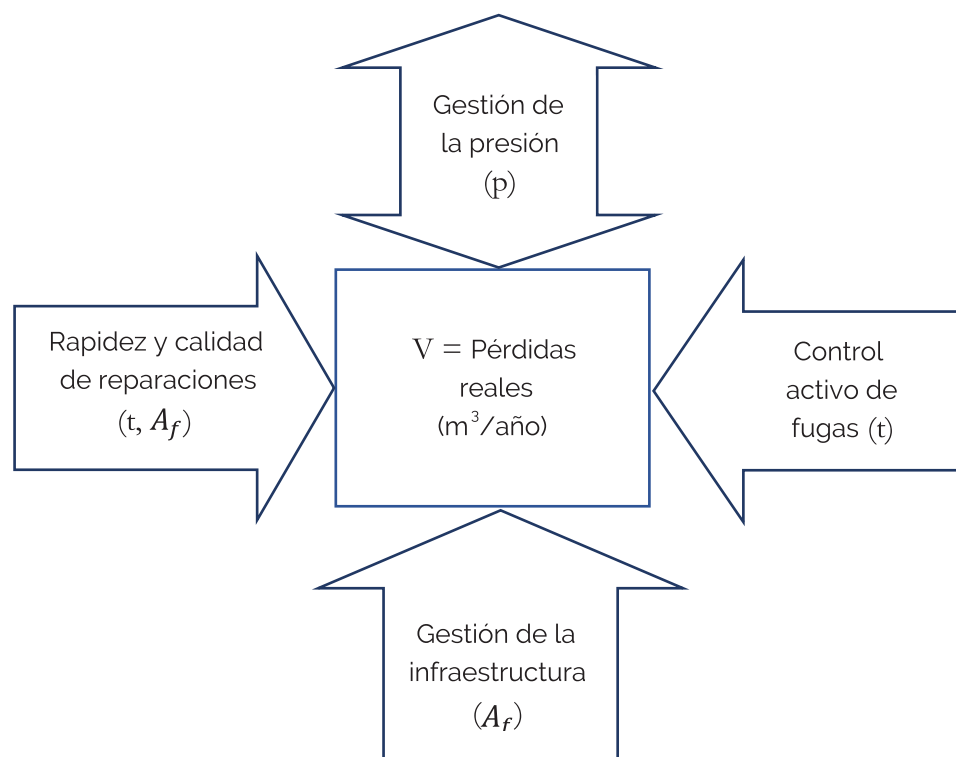


Figura 7.1. Aspectos de la Infraestructura y de la Presión en Redes que Propician la Aparición de Fugas (AWWA, 1990)

Resulta necesario hacer énfasis en la importancia de la presión en el control de fugas es muy superior al que evidencian las precedentes expresiones que suponen para una falla dada, una sección de paso A_f constante. Condición que dista mucho de ser cierto, sobre todo en tuberías plásticas.

Estas fugas reales están esquematizadas según diversos criterios entre los cuales destacan: con respecto a su visibilidad, con respecto a su origen, con respecto a su localización, con respecto a su tiempo de actividad, con respecto a su caudal y las que atienden a la conveniencia económica de su reparación y con respecto al tipo de falla. De las anteriores la clasificación más importante o la más usual es con respecto a su caudal de fuga, las cuales pueden subdividirse como sigue: comunicadas, no comunicadas y de fondo.

Las estrategias orientadas a la disminución de fugas presentadas en la Figura 7.1 deben ser entendidas en un contexto muy general.

Gestión de la infraestructura

Las redes de distribución están integradas por diferentes elementos tales como: tuberías, válvulas, juntas, hidrantes y otros elementos que se encuentran constantemente sometidos a solicitudes internas y externas que condicionan de mayor o menor manera el estado en que se encuentran a lo largo del tiempo. Es por esto que resulta necesario prever acciones que las mantengan en un estado aceptable. En esta oportunidad el enfoque será independiente de la gestión de la infraestructura física (rehabilitación y renovación de elementos) y se enfocará en las causas que generan las fugas, la importancia de las tomas de servicio y la sectorización de la infraestructura.

Con respecto a las causas que generan las fugas es necesario prestarle atención a una serie de aspectos y circunstancias que propician las fugas en los sistemas de distribución. Aspectos que resultan fundamentales en la gestión técnica de un abastecimiento puesto que al conocer las causas que provocan las fugas y los indicadores que las cuantifican (para lo que es imprescindible recoger y analizar sistemáticamente información histórica de tuberías y válvulas relacionadas a las fugas del sistema) es más fácil evitar que se repitan. En la Tabla se revisan las categorías de las causas que generan las pérdidas reales en los sistemas de abastecimiento de agua.

Tabla 7.2. Categorización de las Causas que Generan la Fugas

MATERIAL DEFECTUOSO	Una deficiente elección de los materiales de las tuberías y de las juntas, así como de los asentamientos sobre los que deberán estar los mismos. Esto ocurre en los casos donde el diseño es principalmente insuficiente.
MALA COLOCACIÓN O ASENTAMIENTO DE TUBERÍAS	Una pobre pericia en la colocación de las tuberías. Así por ejemplo debido a tuberías que trabajan como vigas simplemente apoyadas, o debido a piedras alrededor de la tubería que no se han eliminado, o debido a una falta de previsión del tráfico pesado, se originan unas roturas que suelen ser desgraciadamente de una mayor proporción que la deseada.
DEFICIENCIAS EN LA VALVULERÍA	Se presentan en muchos casos: fugas en accesorios como válvulas, ventosas, tomas para sacar derivaciones de la tubería, hidrantes, fugas en zonas de relleno o terraplenes, fugas en asientos de compuertas con piedras en el propio asiento, incrustaciones, válvulas viejas de inadecuada construcción, ejes rotos causados por fuerzas excesivas en las operaciones, abrazaderas mal puestas en las tomas, etc.

CORROSIÓN	Una corrosión interna debida a agua agresiva, y/o externa debida a una insuficiente protección en los materiales metálicos de cierta tierra agresiva y de las aguas subterráneas.
GOLPE DE ARIETE	Operaciones realizadas sobre válvulas de funcionamiento en el sistema que dan lugar ocasionalmente a excesivas presiones, o llenado de tuberías demasiado rápidamente, o cerrado de válvulas excesivamente rápido dando lugar al fenómeno de golpe de ariete.
DESMONTAJE DEFICIENTE	Averías accidentales en hidrantes, llaves o grifos desmontados de los tubos verticales de manera deficiente originan fugas que deberían evitarse.

Se debe hacer hincapié que en una gestión técnica de los abastecimientos debe generar una base de datos de las incidencias habidas para de esta manera obtener estadísticas de ocurrencia de fugas en función al tiempo. Estadísticas que pueden ser obtenidas mediante la implementación del sistema SCADA.

Otro de los factores de importancia en la gestión de abastecimientos técnicos radica en la cuantificación de los volúmenes de agua que se pierden a través de fugas no comunicadas frente a las que sí lo son, ya invita a pensar que las tomas de servicio contribuyen de manera notable al conjunto de las pérdidas de una red. Ello no viene sino a confirmar el peso relativo de las tomas de servicio frente al de las tuberías de la red de distribución en la expresión que la IWA ha propuesto para el cálculo del umbral mínimo de fugas. En lo que sigue se analizan las razones que lo explican. Aun cuando en un principio se creía que las juntas de las tuberías eran la principal causa de las fugas, los datos aportados por las compañías gestoras de una gran parte del mundo, evidencian que no es así. Las pérdidas en las juntas representan un porcentaje menor en el volumen total de las fugas porque el caudal de fuga es muy pequeño. Lo mismo ocurre con las fugas debidas a fallas originadas por la corrosión. Por último, tampoco en las válvulas se localizan fugas relevantes, aunque ello no es generalizable a redes operadas de manera deficiente.

Sin embargo, en ello hay unanimidad, las tomas de servicio y las tuberías de las tomas de servicio pueden ser fuente de un gran número de fugas que dan lugar a caudales relativamente importantes, sumando así importantes pérdidas de volumen. Por su elevada densidad, son estos elementos los que más contribuyen a aumentar los volúmenes de agua fugados. Ya en un lejano informe de la AWWA (1987) se trataba que las tomas de servicio son puntos comunes de fuga, y era muy importante asegurarse que cualquier nueva toma de servicio debía estar perfectamente construida. Incluso que a la vista de los numerosos problemas encontrados en las tomas de servicio había que extremar los controles de calidad durante la construcción y conexión de las tomas de servicio.

Algunos de los principales factores que propician la aparición de fugas en las tomas de servicio son:

- Gran número de uniones y accesorios (llaves de cierre externos, contadores) en una corta longitud de tubería.
- La carga de tráfico.
- Los materiales de las tuberías y de la conexión.
- La defectuosa protección contra la corrosión facilitada a las tuberías y a la conexión.
- La calidad de la instalación: punto de toma de servicio a poca profundidad.
- La supervisión de la instalación no es siempre la adecuada.

En México, Ochoa et al. (1998) han comprobado que en los sistemas de distribución de agua el 80-90 % de las fugas tienen lugar en las tomas de servicio. Ello es debido a la deficiente calidad de los materiales y al incumplimiento de la normativa establecida (se intenta ahorrar). La mayor parte de las fugas de las tomas de servicio (el 75%) están en los propios tubos que la constituyen y el restante 25 % en codos, válvulas de inserción y control y en las uniones.

En resumen, pues, con independencia del país o del año del informe, hay unanimidad a la hora de asignar el mayor porcentaje de agua perdida a las tomas de servicio, sobre todo en los sistemas de alta densidad (por encima de las 80 tomas de servicio por kilómetro de longitud). Sin embargo, Bausson hace referencia a que en el Acueducto Metropolitano de Caracas debe prestarse especial atención a problemas de diferente índole: corrosión, válvulas defectuosas, válvulas de control de tanques, valvulería en plantas de tratamiento, presiones inadecuadas de la red, servicio discontinuo, mal funcionamiento de ventosas y fugas en la red de alimentadores obligadas por las altas presiones.

Por otra parte, la gestión de la infraestructura implica una gran inversión en tuberías, accesorios y medidores los cuales deben estar en concordancia con el sistema de monitorización y, que deben realizarse en dentro de sectores particulares de un sistema de abastecimiento, lo que se conoce como sectorización de la red, proveniente del término sajón *District Metering Area (DMA)* o en castellano, distritos hidrométricos. Lo anterior, en esencia, es subdividir la red en diferentes sectores con el fin de realizar una gestión particularizada al caso, lo que tiene total sentido dada la heterogeneidad del Acueducto Metropolitano. A medida que se sectoriza la red a auditar en menores tamaños es posible establecer acciones más precisas que si se considerara toda la red. Las tomas de datos, posteriores cálculos y análisis de los balances de agua de manera separada permitirán conocer las tendencias de las pérdidas reales y aparentes en cada sector. Lógicamente, la anterior medida implica la monitorización en puntos de medidas para las entradas y salidas del sistema.

Por lo general, esta acción implica una inversión de importante magnitud, sobre todo en sistemas del tamaño del Acueducto Metropolitano, acción en la que la inversión se verá disminuida en los sectores donde la red no esté muy mallada.

Resulta de gran relevancia la elección del tamaño apropiado del distrito hidrométrico y que lógicamente depende de las circunstancias de cada caso. Acostumbra a ser una solución de compromiso entre los costes de su establecimiento y las ventajas que reporta (bien para mejorar la gestión de la presión o bien para establecer el nivel de identificación de los caudales de fuga). En miras a establecer el orden de magnitud de los distritos hidrométricos de una red, se detallan algunos criterios derivados de la experiencia inglesa, que en cierta manera pueden ser generalizadas porque las características de sus redes, con muy baja densidad de tomas de servicio, es singular.

El tamaño óptimo del sector es el que incluye entre 500 y 1000 tomas de servicio concluyen Lambert et al. (1998), cuando se recurre a la medición de caudales nocturnos para identificar nuevas fugas originadas en el sector. El tamaño del sector debe ser el adecuado para no confundir la nueva fuga con la variabilidad aleatoria y estacional del consumo de agua en la noche. Así se tiene:

Para un número de tomas de servicio por cada sector de 500:

Opción más cara, ya que se necesitan más sectores para cubrir toda la red. Cantidad mínima en el caudal de fuga que se desea detectar: $1 \text{ m}^3/\text{h}$.

Para un número de tomas de servicio por cada sector de 1000:

Opción más barata, ya que se necesitarán menos sectores para cubrir toda la red. Cantidad mínima en el caudal de fuga que se desea detectar: 2 m³/h.

Por encima de 5000 tomas de servicio, sería difícil discernir entre una fuga y una simple variación del consumo nocturno si existiese un incremento en el caudal nocturno de un orden de magnitud de 10 m³/h.

Una vez se ha sectorizado una red de distribución, los pasos a seguir para la detección de fugas son: la vigilancia permanente a intervalos de volúmenes inyectados y consumidos (durante la noche), la localización relativa de la fuga y la localización exacta. Si bien es cierto que la sectorización hecha dentro de un sector ya establecido, permite ir descartando puntos

en donde no existan fugas y así obtener el punto de origen de la misma, también encarece el método. Es por esto que no se debe llevar a cabo la sectorización de una red a un extremo excesivo puesto que hay otros métodos para localización de fugas que no ameritan tanta inversión.

Control activo de fugas

Naturalmente, a medida que pasa el tiempo los elementos que componen un sistema de distribución de agua se deterioran por lo que las fugas van a ir aumentando con el tiempo si no se actúa adecuadamente, independientemente de que exista, o no, una alta inversión en la renovación de elementos.

Para ilustrar esta premisa, se comenta lo que sucedió en una ciudad alemana en la que con una campaña agresiva de reducción de pérdidas posibilitó alcanzar el excelente valor de 48 l/toma de servicio y día (presión 35 mca y = 43 tomas de servicio/km). Es decir 2,1 m³/km y día, según expresan Lambert et al. (1998). Pero durante los siguientes 4 años, incluso con una renovación anual entre el 1% y el 2% para todos los elementos, pero sin un programa de control activo de fugas, las fugas anuales fueron en aumento. En los dos primeros a razón de 9,6 l/toma de servicio y día, y alrededor de 5 l/toma de servicio y día los dos siguientes. Cuatro años después la red presentaba un valor de 77,2 l/toma de servicio y día, casi el doble del valor inicial. La conclusión es clara, hay que tener un plan activo de detección de fugas. El cometido fundamental del control activo de fugas, en contraposición a la pasividad inherente a la sola reparación de las no comunicadas, es disminuir su duración. En consecuencia, se deben acortar los plazos de un proceso de tres etapas que resumen la Tabla 7.3.

Tabla 7.3. Etapas que componen el proceso de supresión de una fuga

ETAPAS	DEFINICIÓN
Detección	Tiempo promedio desde el momento en que se originó la fuga hasta que la compañía sabe de su existencia, pero sin conocer su localización.
Localización	Tiempo promedio desde el conocimiento de la fuga hasta su localización.
Reparación	Tiempo promedio requerido para reparar la fuga, una vez ha sido localizada.

En síntesis, pues, la política de gestión de fugas depende de su duración promedio. Almandoz et al. (2004) explican que, si se utiliza la inspección regular como método de control activo de fugas únicamente, el tiempo promedio, desde un punto de vista estadístico, de detección es la mitad del intervalo entre dos inspecciones consecutivas y el tiempo de localización es cero, pues la compañía

localiza la fuga al tiempo que conoce su existencia. Pero si, por ejemplo, un sector utiliza la medición y análisis de caudales nocturnos para la detección de las nuevas fugas no comunicadas, se puede asumir el tiempo de detección promedio de las mismas a la mitad del tiempo de recogida de datos. Si se recogen semanalmente, el tiempo de detección promedio es de 3,5 días, pero si los caudales nocturnos son medidos por telemetría (por ejemplo, Sistema SCADA CARACAS), el tiempo de detección para las nuevas fugas no comunicadas puede ser inferior a 1 día. En consecuencia, el tiempo de localización de fugas depende del método utilizado.

Se resume la importancia de implementar un control activo de fugas en la gestión técnica de abastecimientos de agua, lo que se puede conseguir manualmente o de manera automática. En relación a esta última opción, se puede optar por metodologías que utilizan un control y detección de los ruidos generados por las fugas (de manera automática se almacenan) o mediante la medición de las variables significativas del flujo y comparándolas con valores predeterminados. Estos métodos estarían dentro del concepto genérico de SCADA (*Supervisory Control And Data Acquisition*).

En relación sistema SCADA una de las opciones que se tienen para monitorear un sector en específico de un acueducto es mediante la predicción del consumo el cual se ha determinado mediante datos históricos y se compara con el caudal entrante medido, comparación que se efectúa de manera continua. Sobre la predicción, se incrementa un porcentaje que se considere oportuno para las condiciones particulares del sistema, ese porcentaje suele ser aproximadamente del 15 % del caudal. Si el caudal medido en tiempo real supera a la predicción incrementada se activa una alarma.

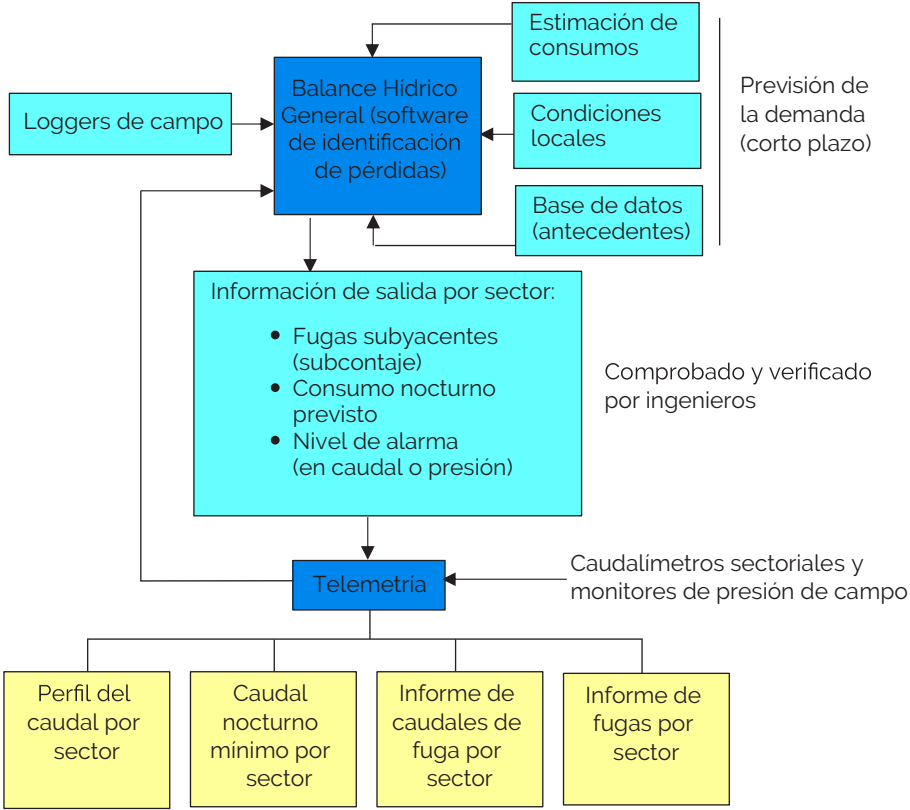


Figura 7.2. Control de Fugas en un Distrito Hidrométrico con Aplicación del Concepto SCADA

La metodología resumida en el párrafo anterior es aplicable para cuando se trata de controlar el rendimiento de amplias zonas y están resumidas en la Figura 7.2. Tal y como puede observarse,

el sistema es alimentado por telemetría, que son puntos monitorizados que transmiten de manera automática las medidas de presión y caudal.

Gestión de la presión y rapidez y calidad de las reparaciones

Son las dos restantes alternativas al planteamiento general de la Figura 7.1., la gestión de la presión, acción muy eficaz, es posible realizarla mediante la optimización de los sistemas inyección directa a redes del sistema de distribución del acueducto (estanques y estaciones de bombeo) invirtiendo en sistemas de regulación y asegurando el seguimiento lo más ajustado posible a las curvas de consignas correspondiente a cada punto de inyección, curva de consigna que debe lograrse mediante la obtención de las presiones en el nodo de demanda más desfavorable de un modelo hidráulico de la red y caudales medidos en cada uno de ellos a partir de un sistema SCADA. Y en lo que respecta a la importancia de la rapidez y calidad de las reparaciones, su trascendencia a la hora de minimizar las fugas está fuera de toda duda. Rapidez para disminuir al máximo el tiempo en que una fuga está activa (control activo de fugas) y calidad para que el problema no vuelva a producirse, calidad que pasa por la selección de los materiales adecuados (un ejemplo límite lo constituyen los tapones de madera colocados en los agujeros originados por la corrosión que se utilizan en países en desarrollo) y por la adecuada calificación del personal que interviene en la reparación.

En cuanto a la rapidez no sólo es una cuestión de voluntad, sino también de disponer de las piezas adecuadas en el momento preciso. De ahí que cada vez convenga más optar por un mantenimiento preventivo, que se anticipe a la aparición del problema, en lugar del tradicional correctivo, que se enfrenta al mismo una vez ya está presente. Ello es particularmente importante en los elementos del sistema que jueguen un papel más relevante. Esta cuestión, por su importancia y trascendencia, se aborda con más detalle en bibliografía técnica específica tal y como se verifica en los escritos de Salegui (2010), en donde se propone una matriz de decisión que permite seleccionar la técnica de mantenimiento, rehabilitación y renovación de las tuberías sin apertura de zanjas más adecuada tanto para sistemas hidráulicos a presión como para tuberías de alcantarillados.

ESTANQUES

Los estanques de regulación deben estar monitoreados permanentemente mediante implementación de dispositivos de medición de las variables hidráulicas significativas y en consecuencia, realizar una explotación óptima de su capacidad de regulación, para este menester, es necesario dotar a estos elementos con dispositivos de medición y comunicación tales como: transductores de nivel, medidores de caudal, transductores de presión y equipos de transmisión, para obtener en tiempo real información propia de los requerimientos hidráulicos, que deberá ser enviadas a los centros de control para establecer esquemas operacionales que permitan adaptarse de una mejor manera a la curva de consigna⁽¹⁾ del sector que esté alimentando.

En el caso de alimentación de una red a través de un estanque elevado alimentado a su vez desde una estación de bombeo, se plantea un problema de optimización donde deben tenerse en cuenta:

- Horas de funcionamiento de las bombas.
- Caudal de bombeo.
- Número de bombas.

- Volumen del estanque, condicionado por el caudal que se puede bombear desde la estación de bombeo y la curva de variaciones horarias.

La noción de seguridad en el suministro queda garantizada si se dispone de un volumen de reserva suficiente en el estanque, o mediante la constante monitorización de sus niveles de almacenamiento.

Sin embargo, desde el punto de vista del sistema estanque red el rendimiento disminuirá considerablemente, tanto cuanto menores sean los caudales a suministrar puesto que a menor caudal nos alejamos de la curva de consigna de la red.

ESTACIONES DE BOMBEO DIRECTO A RED

El problema de optimización que en este apartado se plantea es el caso de regulación sin la inclusión de un estanque compensador (ver apartado 2.6). Bajo esta premisa se pueden conseguir rendimientos más elevados del sistema dada la capacidad de maniobra que proporciona disponer de altura de cabecera variable, en comparación con la rigidez de un estanque.

Bajo un esquema de regulación directa a red se persiguen los siguientes objetivos:

- Optimizar el rendimiento de la propia estación de bombeo, haciendo que las bombas trabajen en zonas de elevada eficiencia
- Funcionar siempre lo más cerca posible de la curva de consigna de la red, a fin de que el rendimiento global de la instalación sea lo más alto posible, evitando gastos energéticos innecesarios.
- Mantener seguridad de suministro en caso de averías en la estación de bombeo
- Limitar al máximo las bruscas variaciones de caudal originadas por las maniobras de arranque o parada de grupos.

Para este tipo de regulación García-Serra et al. (1996) plantean que generalmente se acude a una de estas soluciones o a la combinación de ellas:

Instalación de una *válvula motorizada* a la salida de la estación de bombeo, la cual puede ser accionada de manera remota por el centro de control de un sistema SCADA. Esta válvula estaría en serie con a la tubería de impulsión a fin de crear pérdidas de carga adicionales, de manera que la presión de la red se mantenga dentro de unos límites aceptables. También puede utilizarse una válvula reductora de presión hidráulica, que será capaz de mantener la presión a la salida de la estación de bombeo en un valor previamente determinado.

Con respecto al uso de válvulas motorizadas, una señal de presión emitida por un transductor de presión a la salida de la estación de bombeo deberá ser enviada al centro de control. Una vez allí esta señal se compara con un valor de referencia o una banda de presiones. En caso de existir una desviación se envía una orden de apertura o cierre de la válvula a fin de corregir esta. En el caso de un valor de referencia variable será más elevada en horas de mayor consumo y menor en horas de bajo consumo (curva de variación horaria). De esta manera se puede lograr que la presión en la red sea más cercana a la que nos da la curva de consigna⁽⁴⁾ y, en consecuencia, mayor eficiencia del grupo de bombeo. Este esquema es también posible llevarlo a cabo mediante medidores de caudal.

Instalación de un *by-pass* hidráulico a la salida de la estación de bombeo de manera que la bomba siempre trabaje en una zona de rendimiento máximo. Dado que el consumo de la población variará a lo largo del día según la curva de variaciones horarias, el caudal sobrante en cada momento se derivará a través del *by-pass* hacia el estanque de succión de la bomba.

Una válvula instalada en el *by-pass* se encargará en cada momento de regular la cantidad de agua a devolver al estanque de succión siguiendo un valor de referencia de presión o caudal.

Acoplamiento de varias bombas de velocidad fija en paralelo arrancando o parando las mismas en función a la curva de variación horaria de la población. Las señales de arranque y parada deben hacerse de manera que se consiga un rendimiento satisfactorio de las bombas que estén funcionando en cada momento y de esta manera acercarse lo más posible a la curva de consigna⁽¹⁾ del sector.

En este caso no se puede hablar de disipación de energía en válvulas o de recirculación de caudal por lo que en principio este esquema presenta un rendimiento superior al de los discutidos anteriormente. Sin embargo, si se dispone tan solo de una señal de presión de arranque y otra de parada, cuanto menor sea el caudal, más nos alejaremos de la curva de consigna, siendo necesario establecer un sistema de regulación más sofisticado para aumentar el rendimiento de la instalación.

Implantación de *bombas de velocidad variable*, con este tipo de bombas se puede seguir en cada instante la curva de consigna⁽¹⁾. No obstante, dado que el rendimiento de estas bombas disminuye considerablemente si nos alejamos mucho de la velocidad de giro nominal, es conveniente acoplar varias de ellas en paralelo o bien, establecer una combinación de bombas de velocidad fija y variable.

En este último caso las bombas de velocidad fija se encargarían de realizar la regulación de mayor caudal y las de velocidad variable la regulación del caudal sobrante, para seguir en cada momento la curva de consigna. Mediante la utilización de este tipo de bombas se consigue el máximo rendimiento de la instalación.

Es posible combinar todos estos sistemas a fin de lograr en todo momento una presión a la salida de la estación de bombeo igual a la presión de consigna⁽¹⁾. Es posible, por ejemplo, entonces acoplar varias bombas de velocidad fija en paralelo con una válvula motorizada a la salida que se encargue de realizar la regulación precisa del sistema.

Por otra parte, los transitorios hidráulicos generados por los continuos arranques y paradas de los grupos de bombeo pueden originar averías en el sistema. Sin lugar a dudas son una fuente generadora de fugas en el sistema. Para sobrellevar esta situación es necesario instalar estanques hidroneumáticos a la salida de las estaciones de bombeo de manera de suavizar las variaciones de caudal que inevitablemente se producen.

Por último, en relación a la tecnología de bombas de velocidad variable, todavía está a la espera de mejoras que la hagan más competitiva desde el punto de vista económico, pero de manera general, la electrónica de potencia ofrece actualmente soluciones que pueden resultar asequibles para lograr la variación de la velocidad.

Esta variación de la velocidad de giro permite hacer pasar en cada momento la curva motriz por el punto de la curva de consigna que corresponda con el caudal solicitado. Condición que introduce, desde la perspectiva hidráulica, ventajas con respecto a los esquemas de regulación mencionados anteriormente, entre las cuales se encuentran:

- Mínimas pérdidas hidráulicas en la impulsión, al adaptarse en cualquier momento a la curva de consigna según el caudal requerido.
- El rendimiento del grupo de bombeo es cercano al óptimo.
- Menor número de bombas necesarias para efectuar la regulación.

Lo que se traduce, indudablemente, en un coste energético menor. Sin embargo, el coste de implantación, puede resultar elevado, viéndose justificado en instalaciones con un gran número de horas de funcionamiento.

GESTIÓN ÓPTIMA DEL SISTEMA DE DISTRIBUCIÓN

El sistema de abastecimiento de la ciudad capital, es el caso de una red abastecida desde varios puntos, con la inclusión de estanques de regulación en cada uno de los sistemas que la componen (Tuy I, II, III). El planteamiento de la generación de curvas de consigna⁽¹⁾ podría constituir una visión simplificada del problema, que resulta valido únicamente para sectores específicos de la red.

El objetivo global del problema de regulación, corresponde a encontrar un régimen de explotación integral óptimo del sistema teniendo en cuenta que debe haber compatibilidad entre: la capacidad hidráulica de la red, capacidad de regulación de los estanques compensadores y estaciones de bombeo de inyección directa a red, discriminación horaria de las tarifas eléctricas, coste de transporte de cada metro cúbico producido, el nivel de consumo y su variación horaria, con las condiciones necesarias para prestar un servicio de calidad, como lo son: la presión, garantía de suministro y calidad del agua.

Tal y como se puede observar la solución óptima al problema anteriormente planteado no es de fácil consecución, sin embargo, algunos intentos se han hecho para simplificarlo, y de esta manera, disponer de algunas directrices básicas que guíen de manera sucinta las acciones para el establecimiento de una explotación óptima del abastecimiento.

En primera instancia se tienen modelos de programación lineal, los cuales deben basarse en hipótesis simplificativas tales, que los caudales que aporta cada punto de inyección es un valor fijo, con independencia de si la red es mallada o ramificada y con dependencia únicamente de los grupos en funcionamiento, repartiendo de manera óptima, los caudales entrantes y salientes de los estanques, teniendo como restricción que los consumos sean compatibles.

Más recientemente, hay propuestas más complejas, desde el punto de vista de su formulación, puesto que en ellas interviene el comportamiento de la red y la localización de los estanques en ella, así como también de los puntos de suministro. La metodología implica la optimización de subsistemas de manera particular bajo directrices previamente determinadas. Posteriormente, y después de un proceso de recopilación de resultados parciales, se concluyen las directrices para abordar de manera iterativa, un nuevo proceso de optimización de los sectores de la red.

Para finalizar, y en relación al Acueducto Metropolitano, deben construirse herramientas básicas particularizadas al sistema y sus subsistemas, y así de establecer esquemas de gestión óptimos, siempre y cuando las restricciones intrínsecas de la red lo permitan.

(1) La curva de consigna se puede definir como una curva teórica de la red, que indica la mínima energía necesaria proporcionada como altura de presión que debe existir en el punto de inyección (estanque, estación de bombeo), para que el sistema cumpla con las restricciones de presión impuestas en todos los nodos de demanda.

REGULACIÓN DE LAS OPERADORAS DE SERVICIOS DE AGUA POTABLE A NIVEL NACIONAL

La regulación de las empresas de acueductos hace referencia al aspecto institucional de la gestión técnica de los abastecimientos. Puesto que la demanda de agua potable es un bien público y debe garantizarse el acceso universal a ella, las empresas que operan el servicio deben ser lo suficientemente competentes para garantizar tanto las presiones mínimas que requiere el sistema, como las condiciones de garantía del suministro y la calidad.

Un esquema de regulación en el ámbito local es el que comenta Bausson (1995), el cual hace referencia a una serie de consideraciones administrativas que debían ser atendidas en este caso por Hidroven, para asegurar las condiciones mínimas de prestación de servicio (presión, garantía y calidad del suministro), entre las cuales se destaca, que las políticas tarifarias, de adiestramiento y presupuestarias deben ser regidas por esta hidrológica, y que, a su vez, esta debe negociar las tarifas eléctricas del servicio mediante una política de compensación que permita a las empresas de acueductos pagar tarifas acordes con el servicio prestado. Ya en este informe se comentaba sobre la participación de capital privado en un proceso que debía ser diseñado por Hidroven, agregaba además, que la formación de personal gerencial en acueductos extranjeros era una necesidad.

Por estas razones, si una empresa de acueductos, quiere gestionar un abastecimiento, surgen una serie de consideraciones a tener en cuenta en miras de normalizar su desempeño, entre ellas se encuentran:

- Fijación de precios
- Competencia que mueva a mejorar a las empresas
- Como bien público, debe haber garantía de acceso al recurso
- Garantía de que los ingresos del agua se reinvierten en la red de abastecimiento.

En concordancia con estas consideraciones, resulta necesario la existencia de un ente que se dedique a que estas se cumplan a cabalidad. Es aquí cuando surge el concepto de regulación. Con respecto a ello, es necesario recalcar que existe una serie de opciones, de las cuales, solo se mencionarán las que se consideran más aplicables a la situación actual del Acueducto Metropolitano, entre estas opciones se encuentran:

- Establecer competencia en el mercado (concesiones y outsourcing)
- Establecer métodos comparativos
- Requerir a las empresas que coticen en el mercado de valores.
- Competencia artificial (*yardstick competition*)

Todas las iniciativas importantes de privatización del servicio de agua en los últimos años han generado esquemas de regulación. En relación a las experiencias suscitadas en otros países la que mejor resultados ha dado, desde el punto de vista de la competencia artificial generada entre empresas es el "*yardstick competition*". El cual, de manera resumida, se implementa de la siguiente manera:

- Se seleccionan una serie de indicadores de gestión de acuerdo a las prioridades de la regulación (eficiencia, sostenibilidad, calidad en la gestión).

- Se comparan los valores de dichos indicadores para todas las empresas (benchmarking métrico). Se establece un ranking.
- Se analizan los resultados de la comparación y se determina la bondad de la gestión de cada una de las empresas.
- En función del resultado, se establece una política tarifaria que permite en cualquier caso recuperar costes (una buena gestión puede resultar premiada con un aumento de tarifas para incrementar las inversiones).

Por supuesto, la implementación anterior genera importantes ventajas que pueden resumirse como sigue:

- Introduce la necesidad de la eficiencia más allá de los resultados económicos de las empresas.
- Incorpora el concepto de sostenibilidad del servicio con independencia del contrato de concesión/privatización.
- Incorpora la transparencia a la industria del agua. Los datos son auditados y hechos públicos por los reguladores, e incluso por las empresas.
- Promueve la mejora continua del servicio.
- Garantiza homogeneidad y transparencia en los criterios de asignación de nuevas concesiones.

Para finalizar es importante enfatizar que, al concebir al agua como un monopolio natural, además de la continua privatización de las empresas que gestionan el servicio a lo largo de diferentes ciudades del mundo, resulta necesario la constitución de un ente regulador que vele por las necesidades de los ciudadanos. Sin embargo, es un sistema que dista de ser perfecto, pero la existencia de algún tipo de regulación suele ser mejor que la ausencia total de control.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

En el presente informe se presenta una panorámica general de un significativo número acciones orientadas a mejorar la operatividad del Acueducto Metropolitano. A continuación, se resumen las conclusiones más relevantes en cada uno de los apartados que lo componen.

Balance hídrico del Acueducto Metropolitano

En primera instancia se ha definido un balance hídrico aplicable a la condición actual del Acueducto Metropolitano. Este balance, además de uniformizarla terminología en cada una de sus etapas, debe poder establecer la cuantificación de las pérdidas reales y aparentes del sistema (estado físico del sistema). Seguidamente se propone el estudio e implementación de indicadores relativos (volúmenes de fugas referidos a la unidad de tiempo, a la longitud de las tuberías, de las tomas de servicio o, en fin, al número de éstas) y, muy especialmente, el Índice de Fugas Estructural, IFE, indicador adimensional cuyo uso preconiza la IWA.

A la hora de calificar las condiciones en que se encuentran los sistemas, los indicadores relativos resultan mucho más severos porque incorporan de manera directa los factores que condicionan las

prestaciones de un sistema, como el número de horas diarias que presta servicio, la longitud de las tuberías (red y tomas de servicio), la presión media de servicio y, en fin, el número de tomas de servicio total.

Y hablando del número de tomas de servicio conviene una vez más hacer hincapié en referirse a ellas. Porque, sin duda, un volumen apreciable de fugas se presenta en las tomas de servicio. Ya se ha dicho que no es casualidad que el Volumen Incontrolado de Fugas (VIF) esté referido a ellas. De hecho 2/3 de los sumandos del numerador del Umbral Mínimo de Fugas (UMF) dependen de parámetros derivados de las tomas de servicio (el número y su longitud total). Sin embargo, en el Acueducto Metropolitano deben prestarse atención a problemáticas que propician la aparición de fugas como: corrosión, válvulas defectuosas, problemas en válvulas de control de tanques, valvulería de las plantas de tratamiento presiones inadecuadas en la red, servicio discontinuo, y agarrotamiento de ventosas.

Para finalizar, dos son las razones que explican una concentración de fugas en las tomas de servicio. Por una parte, porque son muchas las conexiones existentes y, por tanto, la probabilidad de que allí se presenten fugas es elevada. Y la otra razón relevante es que como su caudal de fuga es bajo son más difíciles de detectar (fugas no comunicadas).

Auditoría energética

Si bien es cierto que la auditoría energética está más orientada a las fugas y su dependencia con la energía, los elementos externos al volumen de control como las estaciones de bombeo, y los estanques pueden ser optimizadas mediante la implantación de sistemas de monitorización y control.

Hasta hace una década, el aspecto más relevante del agua en relación a la energía era la producción hidroeléctrica. Actualmente, el foco se ha desplazado hacia el agua como un agente que consume energía. Esta nueva perspectiva ha convertido la distribución del agua en un muy relevante escenario y ha llamado la atención no solo sobre cuánta energía es consumida sino también sobre cómo esa energía es utilizada. Una evaluación adecuada de cuánta energía se desperdicia como resultado de las fugas en la red de abastecimiento ha sido el objetivo principal de este apartado. Tal pérdida de energía resulta no solo por la energía que sale del sistema a través de fugas que pueden ser bastante significativas dependiendo de la huella energética del agua producida, (por ejemplo, el Acueducto Metropolitano que presuriza en cabecera hasta los estanques compensadores, lo que implica un coste de explotación energética más elevado), sino también por la energía necesaria para superar las pérdidas de fricción adicionales creadas por un flujo de mayor caudal para compensar las fugas en las tuberías.

La auditoría presentada en este trabajo puede usarse para identificar usos finales de la energía que ingresa a la red y así definir un sistema de evaluación del desempeño que caracterice la red desde una perspectiva energética, a través de indicadores de "información de contexto" y además evalúa su rendimiento energético. El enfoque de auditoría energética también se puede complementar con información sobre precios del agua y la energía, para formar parte de una evaluación más integral de la mejora del rendimiento del sistema. De hecho, estas herramientas podrían usarse fácilmente desde una perspectiva regulatoria o administrativa para crear incentivos para un uso más eficiente de la energía en la distribución del agua. La auditoría energética, como los indicadores asociados, requiere un previo balance hídrico y que ambos se apliquen en condiciones similares ya sea a toda la red o a un sector.

Implementación de un sistema SCADA para mejorar la eficiencia operativa del Acueducto Metropolitano

En este apartado se desprende la necesidad de adquisición de datos para conocer en tiempo real parámetros de las variables hidráulicas significativas, de calidad y parámetros eléctricos, correspondientes a los distintos elementos que componen los sistemas de producción, potabilización y distribución del acueducto. Estos datos y registros históricos adquiridos por el sistema SCADA resultan de gran importancia para la operación del acueducto. Con la adquisición de estos datos es posible también la realización de modelos hidráulicos de diversa índole, que permitan conocer de mejor manera el funcionamiento del acueducto.

Operatividad del Acueducto Metropolitano

La operatividad del acueducto exige la implementación de un sistema para medición registro, comunicación, control y supervisión de los sistemas de producción, potabilización y distribución del acueducto metropolitano.

Con respecto a los sistemas de producción se requiere medición de las variables como niveles de embalse y caudales de descarga para realizar políticas de explotación y gestionar de manera eficiente el acueducto. En relación a los sistemas de potabilización se requiere información relativa a las variables hidráulicas y parámetros de calidad de manera tal que pueda supervisarse que el efluente de las plantas cumple con los requisitos sanitarios establecidos por la norma.

En relación al sistema de distribución resulta necesario establecer distintas estrategias para controlar y limitar las pérdidas de agua en redes urbanas. Las denominadas pérdidas aparentes cobran relevante importancia en el Acueducto Metropolitano puesto que en la región capital existen zonas de crecimiento desorganizado, que extraen el agua ilegalmente de la red, y que requieren de un proyecto de planificación de la ciudad para mitigar su efecto.

Las pérdidas reales del sistema, están inspiradas en la expresión que proporciona el volumen de las pérdidas reales de una red. Estas incluyen: el tiempo de actuación, la presión y la sección de paso que encuentra el agua para escapar de la tubería. Todas ellas se dirigen a minimizar de manera directa o indirecta (control activo de las fugas) sus efectos. Es preciso recalcar que estas acciones pueden implementarse antes de la sectorización y su consecuente monitorización del sistema, de manera que se pueda mejorar paulatinamente el estado físico global de la red antes de generar la inversión de importante magnitud que implica esta acción.

De este apartado se desprende que resulta necesario invertir en regulación y control para hacer un sistema más eficiente. Es decir, se deben mantener las variables hidráulicas (presión, caudal, nivel de estanques, etcétera) y de calidad (cloro, nitratos, etcétera) dentro de unos márgenes aceptables y minimizar los costes energéticos. Para ello es necesario establecer la curva de consigna de la red o de sectores de la red que permitan definir las alturas piezométricas mínimas necesarias en cabecera, sin embargo, este requisito no es suficiente puesto que deben diseñarse modelos de optimización particularizados al sistema.

En concordancia con el establecimiento de esquemas de regulación y control del sistema, la regulación de presiones (una de las cuatro estrategias orientadas a minimizar las pérdidas en las redes) permite disminuir el volumen fugado y al disminuir el caudal impulsado, la energía necesaria para su distribución.

Por otra parte, una vez asegurada la eficiencia y fiabilidad del Acueducto Metropolitano mediante la operatividad del mismo, se propone optimizar el sistema mediante el estudio particularizado de las estaciones de bombeo y estanques para después, mediante modelos matemáticos más o menos complejos optimizarlos como un conjunto perteneciente a un sistema.

Para finalizar, se debe hacer énfasis en regulación mediante motores de velocidad variable, la cual debe incluirse como prioridad dentro de las tendencias futuras, debido a la cantidad de beneficios en relación, tanto a la optimización del sistema, como del ahorro de energía y agua, temas de fundamental importancia dentro del contexto mundial actual.

Regulación de las empresas prestadoras de servicio de agua potable

Se evaluó la importancia que tiene la regulación para el establecimiento de la competencia de las empresas de acueductos no solo en la Región Metropolitana de Caracas, sino a nivel nacional. El ente encargado de la regulación, debe velar por el mejoramiento continuo y la gestión de la calidad en la prestación del servicio.

Existen numerosas formas de regulación, aunque la más extendida en la industria del agua es el *"yardstick competition"*, que establece competencia directa entre los operadores del suministro a través de la implementación de indicadores. Sin embargo, algunas consideraciones deben tener en cuenta con respecto a este tipo de regulación:

- Dista mucho de ser un modelo perfecto, depende de los indicadores seleccionados.
- La evaluación de la eficiencia siempre es relativa (y no absoluta).
- Los reguladores la utilizan como un comienzo para la negociación.
- Ninguna forma de regulación es perfecta, pero la existencia de alguna de ellas suele ser mejor que la ausencia total de control.

BIBLIOGRAFÍA

Alegre, H., et al. (2006), "Performance indicators for water supply services", IWA Publishing, London.

Alegre H., Hirner W., Melo Baptista, J. (2000), "Performance Indicators for Water Supply Systems". Documento elaborado por la Task Force Indicadores de Gestión de la IWA.

Almandoz, J., Cabrera, E., Arregui, F., Cabrera, E. Jr., Cobacho, R. (2004), "Leakage assessment through water networks simulation", Journal of Water Resources Planning and Management, ASCE.

AWWA, American Water Works Association (1990), "Water audits and leak detection", Ed.: American Water Works Association. Denver. Colorado. USA.

AWWA, American Water Works Association (1987), "Leaks in Water distribution systems", a technical and economic overview AWWA editorial, Denver, Colorado.

Bausson, N. (1995), "Futuro de los acueductos en Venezuela", Primeras Jornadas Venezolanas de Ingeniería Civil, Caracas, Venezuela.

Cabrera, M., Pardo, M.A., Cobacho, R., Cabrera R. (2010), "Energy audit of water networks", Journal of Water Resources Planning and Management, ASCE, p 669-677

Cabrera, R. (2001), Diseño de un sistema para la evaluación de la gestión de abastecimientos urbanos. Tesis Doctoral. Universitat Politècnica de València, España.

Colombo, A. F., and Karney, B. W. (2005), "Impacts of leaks on energy consumption in pumped systems with storage" Journal of Water Resources Planning, Management, 131(2), 146-155.

García-Serra, J., Martínez, F., Cabrera E., Espert, V. (1996), Ingeniería hidráulica aplicada a los sistemas de distribución de agua. Instituto Tecnológico del Agua. Universitat Politècnica de València, España.

Goodwin, S.J. (1980), "The results of the experimental programme on leakage and leakage control" Water Research Center, Technical Report TR 154, Swindon, United Kingdom.

Hirner, W. (1998), "Definition of performance indicators: the example of water losses", Simposium on the application of performance indicators for water and sewerage services in Europe. Montpellier. France, 4-5 June, 1998.

Lambert A., Myers S., Trow S. (1998), "*Managing water leakage*" Ed. Financial Times Energy, London.

Lingireddy, S., and Wood, J. (1998), "Improved operation of water distribution systems using variable-speed pumps." *J. Energy Eng.*, 124(3), 90-103.

NRC, National Research Council (2008), "Desalination a national perspective", NAP Press, Washington, D.C.

Ochoa, A.L., Bourguett, O.V. (1998), "Reducción integral de pérdidas de agua potable", Ed. Instituto Mexicano de Tecnología del Agua. IMTA. México.

Pelli, T., and Hitz, H. U. (2000), "Energy indicators and savings in water supply" J. American Water Works Association, 92(6), 55–62.

Salegui, M. A. (2010), Construcción de una matriz de selección para la determinación de la metodología relacionada con el proceso de rehabilitación de tuberías para conducción de agua sin apertura de zanja. Trabajo Especial de Grado. Universidad Católica Andrés Bello, Venezuela.

Todini, E. (2000), "Looped water distribution networks design using a resilience index based heuristic approach" Urban Water, 2, 115–122.

USDE, U.S. Department of Energy (2006), "Energy demands on water resources" Rep. to congress on the interdependency of energy and water, Washington, D.C.

Vivas, J., Duarte E. (1998), Memoria técnica sobre la implementación de un sistema SCADA para el Acueducto Metropolitano de Caracas. Trabajo Especial de Grado. Universidad Católica Andrés Bello, Venezuela.

Organización Civil:

CIUDADANÍA SIN LÍMITES

Fundada en 2012, por jóvenes activistas caraqueños, cuyo propósito es promover una sociedad libre, a través de la tecnología y la participación ciudadana empoderamiento ciudadano.

Con el objetivo de tener una herramienta de organización que diera pie a ese vínculo entre la ciudadanía y los partidos políticos, donde se pudiese agrupar a toda persona en la lucha por la libertad. Todo esto sin tener una aspiración a un puesto de poder, más que las ganas incansables de ayudar y colaborar con los venezolanos.

Buscando que nuestro accionar genere un impacto positivo ante lo que hoy vivimos. Teniendo no solo presencia en las diferentes zonas residenciales de la capital sino también en sus sectores más vulnerables.

La actual crisis que atraviesa el país es lo que nos hace luchar por la libertad, ser voceros de las denuncias y promover soluciones para paliar la crisis por la Emergencia Humanitaria Compleja que hoy agobia a los venezolanos.

Por eso brindamos apoyo en nuestros comedores y usamos la tecnología como forma de identificar los problemas, poniendo nuestro conocimiento y estudio al servicio de nuestra gente.

Tratando de informar a los ciudadanos en medio de esta hegemonía comunicacional que hoy mantiene bajo su poder el régimen de Nicolás Maduro.



“

*La libertad no es un
medio para llegar a un
fin político superior.
Es en sí mismo el más
alto fin político”*

LORD ACTON

¿QUÉ HACEMOS?

DOCUMENTAMOS

generamos investigaciones, para visibilizar problemas y proponer políticas que ayuden a promover reformas en los servicios públicos y la planificación urbana.



MOVILIZAMOS

utilizamos la organización comunitaria para fortalecer la data de nuestras investigaciones, pero también para defender los derechos de los ciudadanos.

COMUNICAMOS

nos aseguramos que nuestras ideas sean escuchadas por formadores de opinión, hacedores de política y los ciudadanos

CARIDAD

promovemos la fraternidad, para paliar la crisis humanitaria compleja en Venezuela

INNOVAMOS

nos apoyamos en la tecnología para alcanzar los objetivos de nuestra organización

Misión

Nuestra misión es promover y defender una sociedad libre utilizando la tecnología y la organización ciudadana como nuestras herramientas.

Visión

Nuestra visión es un Venezuela pacífica, libre y próspera, donde la propiedad privada, el gobierno limitado, los mercados libres y la innovación puedan ser los motores del desarrollo de nuestro país.

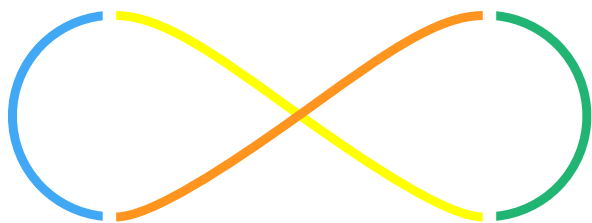
Valores

Libertad, Solidaridad e Igualdad ante la ley.





Porque hoy en Venezuela ser ciudadano significa más que nunca exigir derechos y también cumplir deberes, la acción ciudadana es indispensable para la transformación de nuestra realidad para sacar a nuestro país adelante, es tarea de todos contribuir desde nuestros espacios por una sociedad más informada, con oportunidades y sobre todo libre.



Ciudadanía sin Límites

“

Desde Ciudadanía Sin Límites, buscamos aportar día a día a través de distintos proyectos creados de ciudadanos para ciudadanos.”

NUESTROS PROGRAMAS

MONITOR CIUDAD

¡Defendemos los derechos humanos y nos apoyamos en el uso de la tecnología!

Nuestro observatorio de servicios públicos que busca mediante el uso de la tecnología visibilizar el impacto social de la falla de los servicios públicos. Con más de un año de estudios, con datos conectados a través de un sistema de información geográfico y apoyados en una red de más de 300 ciudadanos, en los Estados Distrito Capital, Miranda, Carabobo y Zulia.



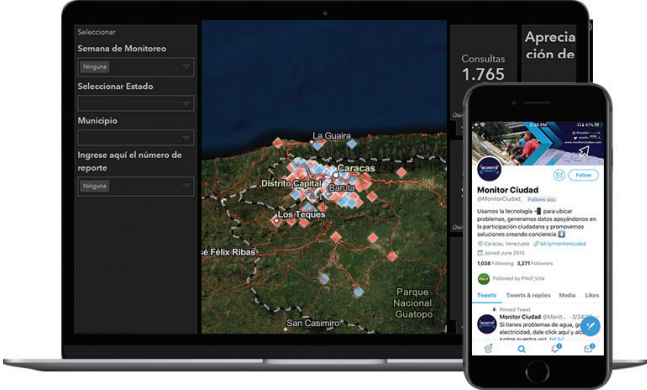
“

A mi hijo le ha dado dos veces sarna porque no puedo cambiarle regularmente las sábanas, porque no se las puedo lavar”

**TESTIMONIO DE
VECINA DEL MUNICIPIO
LIBERTADOR DE CARACAS**



Estos datos los utilizamos para denunciar la crisis de servicios públicos en Venezuela y además para proponer soluciones para crear conciencia.



PROGRAMA DE ALIMENTACIÓN FERNANDO ALBÁN

Ilspiración y trabajo constante!

Gracias a la alianza con World Central Kitchen y con Alimenta Venezuela, generamos 7 comedores comunitarios en las comunidades más necesitadas del Municipio Libertador, como Carapita, La Vega, El Valle, Coche, El Paraíso, La Pastora y El Guarataro. Apoyamos mensualmente a 1200 niños, con un almuerzo que cubre la carga calórica y los nutrientes necesarios para su alimentación, además hacemos seguimiento a su salud y hacemos con regularidad eventos recreativos.

Es un programa que busca evitar el ausentismo y la deserción escolar, además de combatir la desnutrición infantil en los sectores populares. Este programa se le garantiza a los niños almuerzos de lunes a viernes, atención médica de manera bimensual, control nutricional y actividades recreativas.

Actualmente seguimos de cerca la atención brindada en nuestros comedores que no se encuentran ajenos a la crisis que atraviesa el país, por eso también apoyamos a los mismos y a las comunidades en la ausencia de los servicios.



En homenaje al dirigente de Caracas, Fernando Albán, quien fue secuestrado, torturado y asesinado por el Servicio Bolivariano de Inteligencia Nacional (SEBIN), en honor a su trabajo favorito en vida, la olla solidaria, desde la cual apoyaba a través de la iglesia católica con alimentación a personas en situación de calle.



WITH AND FOR THE FRIENDS OF
FERNANDO ALBÁN

Llevamos 5 comedores populares:

1. "Una Gotita de Esperanza María"

Calle 13 Los Jardines.
Parroquia El Valle.

50 NIÑOS BENEFICIADOS.

.....

2. "La Bendición de las 3 Torres"

Calle Carlos Delgado Chalbaud.
Parroquia Coche.

50 NIÑOS BENEFICIADOS.

.....

3. "Niño Jesús"

Sector la J, parte alta Las Casitas.
Parroquia La Vega

50 NIÑOS BENEFICIADOS.

.....

4. "Bendecido por Dios"

Callejón Mata de Palo en el sector Carapita. Parroquia Antimano.

90 NIÑOS BENEFICIADOS.

.....

5. "San Vicente"

Calle Arismendi.
Parroquia El Paraíso.

470 NIÑOS BENEFICIADOS



INFORMACIÓN EN MI BARRIO

¡La información es poder!

En alianza con el medio de comunicación El Pitazo, armamos una red de líderes sociales, formándolos como infoc Ciudadanos, con el objetivo de tener información de lo que sucede en los sectores populares de Caracas, pero a su vez de hacer reproducciones en formato cine de calle en las comunidades, para llevar información.



RED DE MUJERES POR EL AGUA

El objetivo de la **#RedMujeresXEIAgua** es monitorear la situación de los suministros, resaltando el derecho al acceso al agua e implementar una campaña de sensibilización y visibilización del impacto que tienen las fallas del servicio de distribución y saneamiento del agua sobre la calidad de vida de las mujeres



NUESTRO EQUIPO



Jesús Armas

Ingeniero Industrial de la Universidad Católica Andrés Bello (UCAB), con maestría en Políticas Públicas en la Universidad de Bristol en Reino Unido. Concejal de Caracas, en el período 2013-2018, militante del Partido Político Primero Justicia. **Fundador y Presidente de la ONG Ciudadanía Sin Límites, Coordinación General del proyecto. Redes sociales @jesusarmasccs en Instagram y Twitter, Facebook.com/jesusarmasccs y en web www.jesusarmasccs.com.**



Jesús Vásquez

Ingeniero Civil, con más de 6 años de experiencia en el desarrollo de proyectos de ingeniería sanitaria, y aspirante a la Maestría de Ingeniería Ambiental en la UCAB. Creyente de que el acceso al agua potable y saneamiento es fundamental para acabar con la desigualdad y la pobreza. Colegio de Ingenieros de Venezuela Proyecciones de Aumentos Salariales y Gestión de Pagos. Reclutamiento y selección de personal. Optimización de Procesos y capacitación de personal. Academia GIS - ESRI Venezuela RJCD Proyectos y Construcciones. **Gerente del Proyecto, Coordinación de Análisis Espacial y procesamiento de data. Redes sociales @jesusvasquezch en Instagram y Twitter.**



Glennys González

Arquitecto, M.Sc. en Planificación Urbana mención política y acción local de la Universidad Central de Venezuela UCV (En Curso). Coordinación de apoyo técnico a los equipos de las Áreas de Infraestructura y Servicios Públicos del Plan País desde el año 2019. Miembro de la ONG Ciudadanía sin límites en el proyecto de Monitor Ciudad desde el año 2019. **Dirección de cooperación institucional, Coordinación de alianzas y gestión organizativa. Redes sociales @glennyspg en Instagram y Twitter.**

Los logros de nuestra organización, son el resultado del esfuerzo combinado y continuo de cada uno de sus miembros.

***!El compromiso es un acto,
no una palabra!***



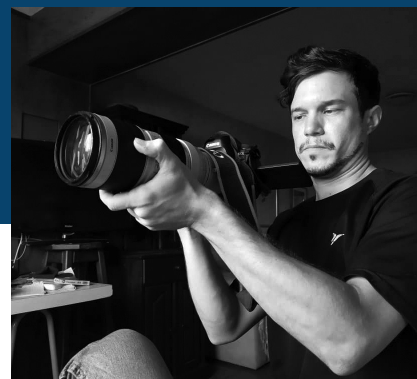
Luis Rivas

Líder comunitario de la Parroquia La Vega del Municipio Libertador del Área Metropolitana de Caracas, más de 20 años de experiencia en organización comunitaria, promotor de actividades como asambleas de vecinos en las 22 parroquias del Municipio Libertador, defensor de los derechos de libertad y democracia. **Coordinador de activismo, Coordinación y seguimiento de redes de monitoreo.**



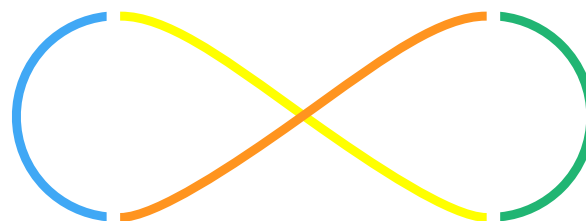
Bárbara Rodríguez

Se incorporó recientemente al equipo, luego de haber trabajado en medios como El Pitazo. Hoy tiene la responsabilidad de la secretaria ejecutiva de la fundación y por su talento con el lente, nos apoya también en el área fotográfica.



Mikel Ferreira

Viene apoyando al Monitor Ciudad y a CSL desde hace más de 5 años. Desde su productora Cachicamo Estudios, ha sido el principal responsable del tema audiovisual de nuestras denuncias.



Ciudadanía sin Límites

CONTÁCTANOS



Ciudadanía sin Límites

 @ciudadaniasinlimites

 @CSLvenezuela_

 Ciudadanía sin Límites

 www.ciudadaniasinlimites.org/



 @Monitorciudad_

 @MonitorCiudad_

 www.monitorciudad.com

