

# Indicadores de gestión en sistemas de abastecimiento de agua potable. Experiencia internacional y la realidad en Venezuela.

## Management indicators in drinking water supply systems. International experience and reality in Venezuela.

Espinosa-Jiménez, Carlos<sup>1\*</sup>; Pérez-Montilla, María Alejandra<sup>1</sup>; Medina-Padilla, Miguel Eduardo<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Centro Integral de Desarrollo e Investigación Ambiental y Territorial. Universidad de Los Andes

<sup>2</sup>Departamento de Hidráulica y Sanitaria. Escuela de Civil de la Facultad de Ingeniería. Universidad de Los Andes

\*caesji@hotmail.com

### Resumen

*A partir del 2002 la IWA propone, la no utilización del Índice de Pérdida expresado como un porcentaje del consumo. En esta investigación documental se describe la propuesta hecha por la IWA, así como la realidad actual internacional respecto a la estimación de este indicador de gestión de sistemas de abastecimiento, la experiencia alemana y el caso Venezuela y su contexto latinoamericano.*

**Palabras clave:** IWA, Índice de Pérdida, Indicador de Gestión, Sistemas de Abastecimiento, Agua potable, Venezuela

### Abstract

*As of 2002, the IWA proposes the non-use of the Loss Index expressed as a percentage of consumption. This documentary research describes the proposal made by the IWA, as well as the current international reality regarding the estimation of this indicator of supply system management, the German experience and the Venezuela case and its context Latin American.*

**Keywords:** IWA, Loss Index, Management Indicator, Supply Systems, Drinking Water, Venezuela

## 1 Introducción

Estimar un índice de gestión utilizando como referencia las pérdidas como un porcentaje del consumo (volumen entregado), si bien es una práctica comúnmente utilizada, la IWA, en la segunda edición del Manual de Mejores Prácticas, “Indicadores de Gestión para Sistemas de Abastecimiento de Aguas” (Alegre y col., 2000), demuestra el por qué no debe utilizarse esta práctica, y propone, en base a ciertos criterios a analizar para obtener un mejor indicador de gestión en cuanto a la estimación del Agua No Contabilizada, para, entre otros aspectos, hacer éstos comparables entre las diferentes empresas prestadoras de servicio.

## 2 Marco teórico

Como puede apreciarse en el esquema de la Figura 1, (Farley y col., 2008) el Agua No Contabilizada se compone de diferentes aspectos a considerar, tal vez los más importantes, son los referidos a las Pérdidas Aparentes, y las Pérdidas Reales.

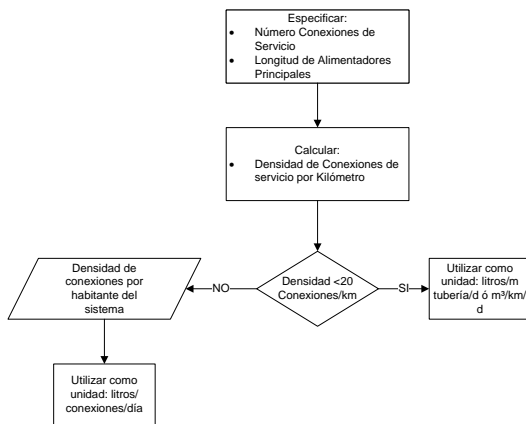
En cuanto a las Pérdidas Aparentes, se hace necesario determinar un mejor indicador de gestión, sin embargo, no se ha logrado establecer un consenso al respecto, por lo que priva, al momento de estimarlo, la experiencia personal, en función de los volúmenes atribuidos tanto al consumo no autorizado, como al de las pérdidas por errores en la medición. (Liemberger y col., 2008).

Dada la complejidad, se ha aceptado el concepto de, de acuerdo a lo expresado por Liemberger y col., (2007), “Máxima Pérdida Aceptable”, lo cual es similar a la estimación del Índice de Pérdidas por Infraestructura, IPI (ILI, por sus siglas en inglés), sugiriendo, como unidad de medida, “litros/conexión/día”, o “litros/medición correcta/día”, o incluso, como porcentajes de agua entregada o consumo autorizado.

|                               |                    |  |  |                   |
|-------------------------------|--------------------|--|--|-------------------|
| Volumen de Entrada al Sistema | Consumo Autorizado | Consumo Autorizado Facturado   | Consumo Facturado Medido                                   | Agua Facturada    |
|                               |                    |  | Consumo Facturado No Medido                                |                   |
|                               |                    | Consumo Autorizado No Facturado  | Consumo Medido No Facturado                                | Agua No Facturada |
|                               |                    |  | Consumo No Medido No Facturado                             |                   |
|                               | Pérdidas de Agua   | Pérdidas Aparentes   | Consumo No Autorizado                                      |                   |
|                               |                    |  | Deficiencias en la Medición                                |                   |
|                               |                    | Pérdidas Reales  | Fugas en la Transmisión y/o en las Redes de Distribución   |                   |
|                               |                    |  | Fugas y Reboses en los Tanques de Almacenamiento de la Red |                   |
|                               |                    | Fugas en las conexiones de servicio hasta el punto de medición del usuario |  |                   |

Fuente: Adaptado de Farley et al, 2008.  
Fig.1. Balance de Agua y terminología a nivel del Sistema de Distribución.

En cuanto a las pérdidas reales, se ha adoptado, como indicador de gestión, de acuerdo a lo mostrado en la Figura 2, el indicador que corresponde (Medina 2011).



Fuente: Medina 2011.  
Fig. 2. Diagrama de flujo para selección del Indicador Operacional de Rendimiento.

La selección del indicador de medida depende, en buena medida, del sector o núcleo urbano analizado, ya que, de acuerdo a lo que expone Medina (2011), este es un parámetro que depende tanto del nivel del estudio como

de la conformación urbanística del sector analizado. Tomemos como ejemplo el caso de análisis para una ciudad, en la que, en promedio, a cada suscriptor corresponde una conexión: en la ciudad de Mérida, (Medina 2011), la hidrológica, para el año 2008 registraba un total de 29607 suscriptores, siendo el total de habitantes igual a 176250, lo cual representa una densidad de 0.17 conexión por habitante.

Por otra parte, si el estudio se hace con mayor detalle, tomando en cuenta la distribución de los diferentes núcleos urbanos, por ejemplo, en una zona de edificios de apartamentos, en los que la alimentación (conexión) es única para, digamos 4 edificios, tomando en cuenta que cada edificio es de 8 pisos, y 4 apartamentos por piso, y suponiendo como valor promedio familias de 5 personas, se tiene una densidad de conexión por habitante igual a 0.0016.

Lo anterior demuestra la sensibilidad del indicador, por lo que se propone como metodología de selección del indicador para la estimación de las pérdidas reales en el sistema, lo expuesto en la Figura 2, y tomando en cuenta que el Índice Lineal de Pérdidas se puede calcular como la relación entre el volumen anual perdido y la longitud de la red, expresado en m<sup>3</sup>/km/h.

Liemberger (2018) ha desarrollado una sencilla herramienta computacional denominada WB-EASYCALC, que permite a la empresa hidrológica estimar el balance de agua, y el cálculo de diferentes indicadores de gestión, haciendo la distinción entre países en vías de desarrollo y países desarrollados, conforme a los valores que se presentan en la Figura 3.

El Índice de Pérdida por Infraestructura (IPI o ILI, este último por sus siglas en inglés), (American Water Works Association, AWWA), se estima de acuerdo a la siguiente relación:

$$ILI = \frac{CARL}{UARL}$$

Donde:  
CARL: representan las pérdidas físicas anuales reales del sistema, conforme a una auditoría de agua.

UARL: representa el límite teórico inferior de pérdidas físicas que se puede lograr si se aplican en el sistema las mejores tecnologías disponibles para su manejo.

El ILI o IPI es válido para sistemas con más de 3.000 suscriptores. En la práctica  $ILI \geq 1,00$  preferiblemente cercano a 1,00. El ILI requiere de mayor nivel de información del sistema de distribución “buen catastro de red”.

Este índice, a contraposición de los históricamente utilizados, permite, de acuerdo a la presión media de la red, estimar su valor, tomando en cuenta, que precisamente, una fuga, no es otra cosa que una descarga por orificio, que depende, entonces de la carga hidráulica que exista sobre éste.

Por otra parte, dada su amplitud, es universalmente aplicable y comparable incluso entre países desarrollados y en vías de desarrollo, dado que en su concepción, incluye esta discriminación, la cual puede observarse en la Fig.3.

| CATEGORÍA DE RENDIMIENTO TÉCNICO | ILI | PÉRDIDAS FÍSICAS (l/conexión/día) CUANDO EL SISTEMA ESTÁ PRESURIZADO, EN PROMEDIO, EN: |           |           |           |           |            |
|----------------------------------|-----|--|-----------|-----------|-----------|-----------|------------|
|                                  |     | 10 m   | 20 m      | 30 m      | 40 m      | 50 m      |            |
| PAISES DESARROLLADOS             | A   | 1 - 2  |           | < 50      | < 75      | < 100     | < 125      |
|                                  | B   | 2 - 4  |           | 50 - 100  | 75 - 150  | 100 - 200 | 125 - 250  |
|                                  | C   | 4 - 8  |           | 100 - 200 | 150 - 300 | 200 - 400 | 250 - 500  |
|                                  | D   | > 8  |           | > 200     | > 30      | > 400     | > 500      |
| PAISES EN VÍA DE DESARROLLO      | A   | 1 - 4  | < 50      | < 100     | < 150     | < 200     | < 250      |
|                                  | B   | 4 - 8  | 50 - 100  | 100 - 200 | 150 - 300 | 200 - 400 | 250 - 500  |
|                                  | C   | 8 - 16   | 100 - 200 | 200 - 400 | 300 - 600 | 400 - 800 | 500 - 1000 |
|                                  | D   | > 16   | > 200     | > 400     | > 600     | > 800     | > 1000     |

Fuente: Adaptado de Farley et al, 2008.

Fig.3. Índice de Pérdidas en redes de distribución.

La clasificación en Categorías, responde a los siguientes criterios:

- Categoría A: Bueno. Mayor reducción de pérdidas podría resultar antieconómica y es necesario un meticoloso análisis para identificar mejoras en la relación costo – beneficio
- Categoría B: Potencial para mejoras identificadas. Considerar manejo de presiones, mejor control de fugas y mejor mantenimiento
- Categoría C: Pobre. Sólo tolerable si el agua es barata y abundante, sólo entonces, deben intensificarse los esfuerzos para la reducción del Agua No Facturada
- Categoría D: Malo. La empresa está utilizando de manera ineficiente los recursos y los programas para reducción de Agua No Facturada son imperativos.

Liemberger (s/f), en su análisis sobre la Norma vigente en Alemania, expone en detalle la experiencia en este país sobre la estimación del indicador para las pérdidas reales, haciendo referencia a los planes de monitoreo y su periodicidad en los diferentes componentes del sistema, de lo cual se obtiene la siguiente recomendación, de acuerdo al indicador estimado, mostrado en la Tabla 1.

Por otra parte, la experiencia alemana, hace distinción entre tres composiciones generales de la red (grandes ciudades, áreas urbanas, áreas rurales), en tres escenarios de niveles de pérdidas, a saber: Alto, Medio y Bajo, considerando como “Bajo” valores de pérdidas que pueden tomarse como inevitables, y “Alto”, aquellas situaciones que ameritan atención inmediata al sistema.

Alemania propone, de acuerdo a Liemberger (s/f) un método para estimar las pérdidas inevitables, mediante la aplicación del ILI, de acuerdo a la expresión:

$$U_{ARL} = (18L_m + 0.8N_c + 25L_p)P$$

Donde:

U<sub>ARL</sub>: Pérdidas reales inevitables (l/conexión/día)

L<sub>m</sub>: Longitud de la red principal (Km)

N<sub>p</sub>: Número de conexiones

L<sub>p</sub>: Longitud total de tuberías privadas hasta el medidor (Km)

P: Presión media de la red (m)

Tabla 1 Frecuencia recomendada de monitoreo de fugas

| Nivel de Pérdidas Reales (m <sup>3</sup> /km/h) | Frecuencia Recomendada de inspección de fugas |
|---|---|
| Alto  | Anual   |
| Medio   | Cada tres años                                |
| Bajo  | Máximo cada seis años                         |

Fuente: Liemberger, (s/f).

Información reciente relativa a los indicadores de gestión en diferentes países, publicada por la Organización Mundial de la Salud, OMS (2000), muestra cómo aún no se ha implementado la utilización propuesta por la IWA (Figura 4), y refiere el índice en términos porcentuales. (IANC)

Se puede observar que en América Latina y El Caribe el promedio del IANF en sus grandes ciudades es del 42%. Valores similares se registran en Asia y África, con 42% y 39% de IANF respectivamente. En América del Norte el IANF promedio es del orden del 15% en sus grandes ciudades.

| Región | África | Asia | América Latina y El Caribe | Norte América |
|--------|--------|------|----------------------------|---------------|
| IANC % | 39     | 42   | 42                         | 15            |

Fuente: OMS-OPS, (2000).

Fig. 4. Promedio del IANF en grandes ciudades de África, Asia, América Latina y El Caribe y Norte.

En este mismo orden de ideas, la hidrológica venezolana, HIDROVEN, reporta en el período comprendido entre 2004 hasta el primer semestre del 2006, el IANF, según se puede apreciar en la Figura 5.

| Años                         | Hidro Andes | Hidro Llanos | Hidro Páez | Hidro Falcón | Hidro Lago | Hidro Caribe | Hidro Capital | Hidro Seroeste | Hidro Centro |
|------------------------------|-------------|--------------|------------|--------------|------------|--------------|---------------|----------------|--------------|
| 2004                         | 61,62       | 77,69        | 54,46      | 44,38        | 62,65      | 72,83        | 63,46         | 56,13          | 71,90        |
| 2005                         | 62,04       | 77,58        | 53,24      | 45,79        | 61,89      | 72,23        | 61,87         | 53,87          | 71,10        |
| 1 <sup>o</sup> semestre 2006 | 59,83       | 75,36        | 53,68      | 43,62        | 60,37      | 70,91        | 61,68         | 55,99          | 66,45        |

Fuente: HIDROVEN, (s/f).

Fig. 5. IANF reportados para las distintas Empresas Hidrológicas Venezolanas.

Gilles y col., (1996), citado por Medina (2011) propone, mientras se adopta, universalmente, como definitivo el ILI como Índice de Gestión, una metodología que permite comparar el indicador estimado como porcentaje, y el ILI, lo cual se presenta en la Figura 6.

| Índice de Pérdidas (%) | Índice Lineal de Pérdidas |                      | Evaluación cualitativa | Observación                                     |
|------------------------|---------------------------|----------------------|------------------------|---|
|                        | m <sup>3</sup> /Km/h      | m <sup>3</sup> /Km/d |                        |   |
| < 3                    | < 0,06                    | < 1,44               | muy pocas              | inevitables                                     |
| 3 a 10                 | 0,06 a 0,25               | 1,44 a 6,00          | pocas                  | redes nuevas, muy buen mantenimiento            |
| 10 a 15                | 0,25 a 0,40               | 6,00 a 9,60          | medias                 | se puede alcanzar con medios técnicos adecuados |
| 15 a 30                | 0,40 a 1,00               | 9,60 a 24,00         | elevadas               | bajo nivel de mantenimiento                     |
| 30 a 50                | 1,00 a 2,00               | 24 a 48              | muy elevadas           | mantenimiento muy limitado                      |
| > 50                   | > 2,00                    | >48                  | demasiado altas        | inaceptables                                    |

Fuente: Adaptado de Medina, 2011.

Fig. 6. Índice Lineal de Pérdidas en redes de distribución.

### 3 Conclusiones y recomendaciones

En el largo plazo las consecuencias de altos IANF son: Deterioro progresivo de las finanzas de la Empresa Prestadora del Servicio y de toda la infraestructura sanitaria con el consecuente deterioro de la calidad del agua y la confiabilidad del servicio.

El Índice de Pérdidas por Infraestructura propuesto por la AWWA, es una relación adimensional, entre las pérdidas físicas anuales reales del sistema, producto de una auditoría de agua, y el nivel teórico inferior de pérdidas físicas que se puede lograr si se aplican en el sistema las mejores tecnologías disponibles para su manejo.

Con la finalidad de obtener un Indicador Operacional de Rendimiento para pérdidas reales, autores proponen ajustar la unidad del ILI de acuerdo a la densidad de conexiones en la red por kilómetro de tubería.

El parámetro de densidad de conexiones en la red por longitud de tubería, es altamente sensible según el nivel de estudio llevado a cabo, y la complejidad urbanística del centro poblado analizado.

Si se desean establecer comparaciones con el ILI a nivel regional, nacional o internacional, se deben tomar en cuenta las tres limitantes que versan sobre la asignación para la densidad de conexiones, la distancia entre el límite de la propiedad hasta el medidor (o primer punto de consumo) y la presión media. Es por ello que se propone, entonces, la utilización del Índice de Pérdidas por Infraestructura (ILI), para ser utilizado en los casos que corresponda, junto con el Indicador Operacional.

El ILI para su implementación es un indicador que requiere de mayor nivel tecnológico y de información que el IANF.

Es evidente, de acuerdo a los datos publicados por HIDROVEN, que las redes en el país se evalúan, de acuerdo a lo anterior, como pérdidas demasiado altas, lo cual, entonces es INACEPTABLE (valores cercanos al 60%). Es evidente que los sistemas gerenciados por las diferentes empresas hidrológicas del Estado, ameritan atención inmediata. Estas acciones, de llevarse a cabo, podrían resultar beneficiosas respecto a la robustez del sistema, sino además, permitiría la posible extensión de la vida útil de los mismos frente al fenómeno de cambio climático tendiente a la reducción de disponibilidad de agua en el país.

La experiencia en Alemania podría estudiarse y seguirse como modelo a replicar en el país, con miras a reducir los niveles excesivos de pérdidas en los sistemas de abastecimiento, además de implementar, como índice de gestión, el propuesto por la IWA.

### Referencias

- Farley M, Wyeth G, Ghazali Z, Istandar A Singh S, 2008, The Manager's Non-Revenue Water Handbook. A Guide to Understanding Water Losses, USAID, EUA.
- Liemberger R. WB-EASYCALC V 5.16 [Software informático]. (2018). Disponible en: <http://www.liemberger.cc/>
- Liemberger R, Brothers K, Lambert A, McKenzie R, Rizzo A, Waldron T, 2007, Water Loss Performance Indicators. Disponible en: [http://www.waterloss2007.com/pdf\\_vortraege/Montag/B2-1.pdf](http://www.waterloss2007.com/pdf_vortraege/Montag/B2-1.pdf)
- Liemberger R, (s/f). The New German water loss regulations in context with other international applications of the IWA water balance and real loss performance indicators, Disponible en: [http://www.miya-water.com/fotos/artigos/12\\_the\\_new\\_german\\_water\\_loss\\_regulations\\_13977082395a325ff8c4ddc.pdf](http://www.miya-water.com/fotos/artigos/12_the_new_german_water_loss_regulations_13977082395a325ff8c4ddc.pdf)
- Medina M, 2011, Análisis de Demandas Domésticas. Herramientas para Estimación de Demandas de Agua de Usuarios Urbano, Trabajo de Grado Magister Scientiae en Planificación y Desarrollo de Recursos Hidráulicos.

Universidad de los Andes, Mérida, Venezuela.  
OMS-OPS, 2000, Informe sobre la evaluación mundial del abastecimiento de agua y el saneamiento. Informe Regional de América Latina y El Caribe, Organización Mundial de la Salud. Organización Panamericana de la Salud. Washington, DC, USA.<http://www.iwahq.org>

**Medina-Padilla, Miguel Eduardo:** Ingeniero Civil, M.Sc. En Planificación y Desarrollo de Recursos Hidráulicos. Prof. Instructor del Departamento de Hidráulica y Sanitaria. Escuela Civil. Facultad de Ingeniería. Universidad de Los Andes. Correo electrónico: [miguelp5ster@gmail.com](mailto:miguelp5ster@gmail.com)

**Recibido:** 02 de enero de 2019

**Aceptado:** 10 de junio de 2019

**Espinosa-Jiménez, Carlos Francisco:** Ingeniero Civil, M.Sc. en Obras Hidráulicas, Master of Engineering in Sanitary Engineering, Magister en Ingeniería Sanitaria y Ambiental. Prof. Titular del Centro Interamericano de Desarrollo e Investigación Ambiental y Territorial, Universidad de Los Andes. CIDIAT-ULA.

**Pérez-Montilla, María Alejandra:** Ingeniero Civil, M.Sc. En Planificación y Desarrollo de Recursos Hidráulicos. Prof. Instructor de Centro Interamericano de Desarrollo e Investigación Ambiental y Territorial, Universidad de Los Andes CIDIAT-ULA. Correo electrónico: [alalej22@gmail.com](mailto:alalej22@gmail.com).

