

Bazet, Juan ; Nicchi, Fernando

*Gestión económica eficiente en sistemas de
distribución de agua potable*

V Congreso de Ingeniería Industrial, 2012

Este documento está disponible en la Biblioteca Digital de la Universidad Católica Argentina, repositorio institucional desarrollado por la Biblioteca Central "San Benito Abad". Su objetivo es difundir y preservar la producción intelectual de la Institución.

La Biblioteca posee la autorización del autor para su divulgación en línea.

Cómo citar el documento:

Bazet J, Nicchi F.. Gestión económica eficiente en sistemas de distribución de agua potable [en línea]
En: V Congreso de Ingeniería Industrial COINI; 2012 Nov 8-9; Buenos Aires: Facultad de Ingeniería de la
Universidad Nacional de Lomas de Zamora, Asociación Argentina de Carreras de Ingeniería Industrial. Disponible en
<http://bibliotecadigital.uca.edu.ar/repositorio/contribuciones/gestion-economica-eficiente-sistemas-distribucion.pdf>
[Fecha de consulta: ...]

(Se recomienda indicar fecha de consulta al final de la cita. Ej: [Fecha de consulta: 19 de agosto de 2010]).

GESTIÓN ECONÓMICA EFICIENTE EN SISTEMAS DE DISTRIBUCIÓN DE AGUA POTABLE

Bazet, Juan, Nicchi, Fernando

*UCA, Facultad de Ciencias Fisicomatemáticas e Ingeniería.
Alicia Moreau de Justo 1500, Capital Federal.
fnicchi@uca.edu.ar*

RESUMEN.

El trabajo desarrolla la evaluación económica de la implementación de un programa de reducción de agua no comercializada (ANC) en un sistema de distribución de agua potable. Se describen las herramientas disponibles para disminuir los volúmenes de ANC propuestas por la International Water Association. Se definen los indicadores de *performance*. Se toma el caso de una localidad en Sudáfrica. Se utilizan los datos físicos de ese caso. Finalmente se llega al núcleo del trabajo, que consiste en realizar un análisis para definir el óptimo de volumen de ANC al que se debería tomar como objetivo. Para ello se consideran los costos de implementar el programa con distintos niveles de profundidad y las pérdidas económicas producidas por el ANC en el sistema. De esta situación de compromiso emerge el punto óptimo en cada locación particular. Se compara con las acciones que se realizaron en la localidad sudafricana y se sacan conclusiones y recomendaciones.

Palabras Claves: distribución - agua potable – pérdidas - eficiencia - economía.

1. INTRODUCCIÓN

Uno de los mayores problemas que enfrentan los sectores públicos proveedores de agua potable es la considerable diferencia que existe entre la cantidad de agua que introducen en un sistema de distribución y aquella realmente facturada a los consumidores finales (también llamada “Agua no Comercializada”– ANC). Altos niveles de ANC implican grandes volúmenes de agua perdidos a través de fugas en el sistema, errores en la facturación, o una combinación de ambos. Esto afecta seriamente la capacidad financiera de los proveedores del servicio, debido a las grandes disminuciones en los márgenes y aumento en los costos operativos. Un alto porcentaje de ANC es generalmente consecuencia de una falta en la capacidad de administración, los escasos conocimientos técnicos y la ineficiente capacidad de gestión.

El desperdicio de los recursos resultante de los altos niveles de ANC en los países en vías de desarrollo es alarmante. El costo total causado por ello a nivel mundial ha sido estimado conservadoramente en 14 billones de dólares por año, un tercio del cual es adjudicable a países emergentes. Alrededor de 45 millones de m³ de agua son perdidos diariamente a través de fugas en los sistemas de distribución, lo cual sería suficiente como para satisfacer a 200 millones de personas [1]. De la misma manera, cerca de 30 millones de m³ por día son suministrados al consumidor final, pero no son facturados debido a la poca calidad en las mediciones, corrupción por parte del personal responsable o robos. Esto complica enormemente la capacidad por parte del proveedor del servicio de obtener los ingresos suficientes para expandir y mejorar el mismo, afectando especialmente a los sectores más marginados de la sociedad.

Aunque no es factible eliminar por completo el ANC en un sistema de distribución, la reducción de los niveles actuales en un 50% parece un objetivo realizable. Esto generaría 2,9 billones de dólares extra en el flujo de caja anual (debido tanto al incremento en los ingresos como la reducción en los costos), y permitiría la extensión del servicio a 100 millones de personas más sin la necesidad de invertir en nuevas fuentes de agua potable.

Si los números son tan contundentes, ¿por qué no se ataca el problema a nivel global? El motivo es que la reducción del ANC no es únicamente una cuestión técnica. Hay otra razón no menor, que tiene que ver con la gran falencia en la gestión por parte del responsable por la provisión del servicio del agua (principalmente en los países emergentes). Por lo general operan bajo gobiernos débiles y con poca capacidad financiera, por lo cual los encargados del servicio se ven muy presionados política y económicamente. Adicionalmente, no son incentivados lo suficiente como para llevar a cabo un correcto programa de reducción del ANC. Es por ello que muchos países han optado por la utilización de un contratista privado. Cabe aclarar que es fundamental que la Municipalidad encargada de proveer el servicio colabore con el contratado, y más importante aún se involucre en el programa de reducción tanto en los sectores operativos como financieros.

El objetivo de este trabajo es aportar con las metodologías necesarias para la correcta implementación de un programa de reducción de los volúmenes de ANC, en un sistema de distribución de agua potable. Se desarrollará un marco teórico analizando las diferentes técnicas y estrategias, teniendo en cuenta las buenas prácticas recomendadas por la “International Water Association – IWA”. Utilizaremos como ejemplo un sistema de distribución en Sudáfrica. uMgungundlovu District Municipality (uMDM) es la municipalidad encargada de la distribución del agua potable para uMgungundlovu, localidad de la provincia de Kwazulu-Natal. Mediante la implementación de las acciones de mejora (propuestas por la IWA para los aspectos técnicos como comerciales de un sistema) en los 6 sub-sistemas que componen la zona, buscaremos demostrar que los ahorros generados por las mismas superarán ampliamente los costos necesarios para su realización. De esta manera, la meta principal de este documento es probar que la rentabilidad de este tipo de inversiones es más que favorable, por lo que deberían tenerse en cuenta para cualquier sistema de distribución de agua. Ahora bien, las preguntas entonces son: ¿cuál es el mínimo nivel de ANC al que podemos llegar en nuestro sistema de distribución? ¿existe algún nivel que minimice nuestros costos totales? El segundo propósito de nuestro estudio, será entonces responder a estos dos interrogantes. Para ello, utilizaremos nuevamente como ejemplo a la Municipalidad de uMDM. Calcularemos el óptimo nivel de ANC al que deberíamos llegar para lograr así un valor mínimo de nuestros costos totales, considerando a ellos como la suma del costo del agua perdida y el de la gestión para reducir los volúmenes de ANC.

2. LAS PÉRDIDAS DE AGUA: EL BALANCE HÍDRICO Y SUS COMPONENTES

El primer paso para reducir los volúmenes de ANC es lograr tener una idea global del sistema de distribución de agua, lo que lleva a establecer un Balance Hídrico. Este proceso ayuda a los proveedores de agua a entender la magnitud, fuente y el costo del ANC. De esta manera, podremos entender cómo se encuentra nuestro sistema en el momento del inicio de las acciones de mejora, para cuantificar los ahorros a lo largo del proyecto.

Para ello, la Asociación Internacional de Agua (IWA) ha desarrollado un Balance Hídrico estandarizado, cuya estructura y terminología ha sido adoptada por muchos países (vid. Figura 1).

Volúmen Introducido al Sistema m³/año	Consumo Autorizado m³/año	Consumo Autorizado Facturado m³/año	Consumo Facturado Medido	Agua Comercializada m³/año	
			Consumo Facturado no Medido		
		Consumo Autorizado no Facturado m³/año	Consumo no Facturado Medido	Agua no Comercializada m³/año	
			Consumo no Facturado no Medido		
	Pérdidas de Agua m³/año	Pérdidas Aparentes m³/año			Consumo no Autorizado
					Errores de medición
Pérdidas Reales m³/año			Fugas en la red		
		Desborde de Reservorios			
		Fugas en Conexiones Domiciliarias			

Figura 1. Balance Hídrico Estándar

El Agua no Comercializada (ANC) es igual a la cantidad total de agua que se introduce en el sistema de distribución desde una planta de tratamiento menos el volumen total de agua que los consumidores residenciales e industriales están autorizados a consumir:

$$ANC = \text{Volumen Introducido al Sistema} - \text{Consumo Autorizado Facturado} \quad (1)$$

La Ecuación (1) asume que el valor a tomar como Volumen Introducido al Sistema (VIS) ha sido corregido de todo error posible y que el período de facturación tomado para calcular el Consumo Autorizado Facturado es consistente con el del VIS.

Las compañías proveedoras de agua deberían realizar un análisis exhaustivo del Balance Hídrico de sus sistemas y poner foco en aquellos aspectos de mejora más críticos, donde se logren los mayores ahorros. Es muy importante que para un correcto cálculo se tomen los mismos períodos de tiempo para cada campo del Balance Hídrico. Generalmente se lo calcula de forma anualizada.

3. EL ANC EN UMGUNGUNDOVU DISTRICT MUNICIPALITY

3.1. Características de la zona y extensión del área de operación

El Distrito de uMgungundlovu (uMDM) se encuentra ubicado en la provincia de Kwazulu-Natal, Sudáfrica, en las proximidades de Pietermaritzburg. Está compuesto por siete municipalidades

locales llamadas uMshwathi, uMngeni, Mpofana, Impendle, Richmond, Msunduzi y Mkhambathini. La municipalidad de Msunduzi posee su propia autoridad proveedora de agua y no es responsabilidad de uMDM, por lo que no forma parte de este plan estratégico (vid. Figura 2).

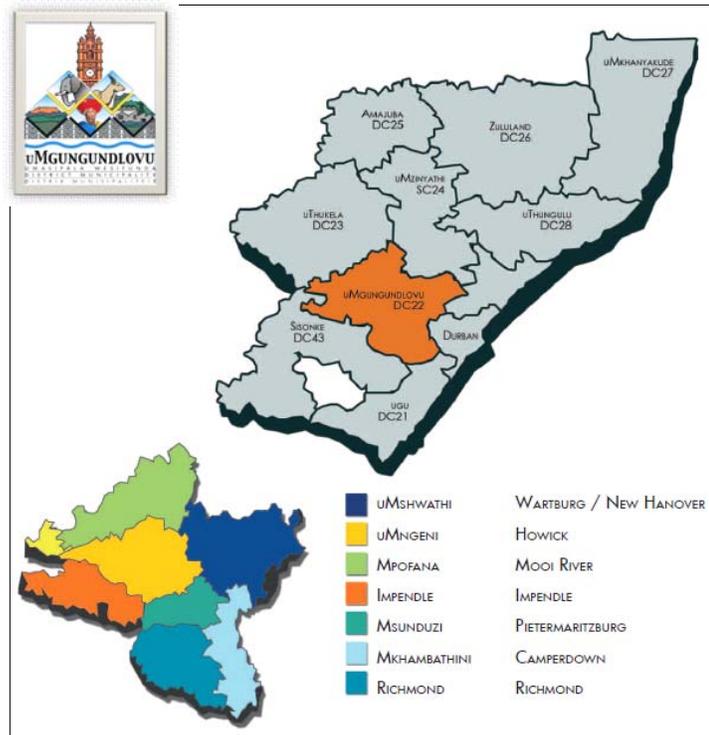


Figura 2. uMgungundlovu District Municipality

Las principales características de los sistemas de distribución de la zona son las de la Tabla 1:

Tabla 1. Características de los sistemas de uMDM

Municipalidad Local	Longitud de las cañerías principales y secundarias (km)	Cantidad de conexiones registradas	Cantidad de propiedades suministradas	Población total	Presión media estimada de la zona
uMshwathi	341	4 881	8 626	130 128	50*
uMngeni	458	9 214	12 267	97 585	50*
Mpofana	248	4 591	5 519	36 278	50*
Impendle	176	603	4 303	45 351	50*
Mkhambathini	206	789	3 877	52 452	50*
Richmond	261	6 855	10 497	65 346	50*
Totales	1 691	26 933	45 089	427 140	50*

3.2. Balance Hídrico para uMgungundlovu District Municipality

Combinando los Balances Hídricos de las Municipalidades Locales obtenemos la totalidad de uMgungundlovu District Municipality (vid. Tabla 2).

Tabla 2. Balance Hídrico para uMDM

Componente del balance hídrico	Volúmen para el FY 2009/10	Nivel de confianza del 95%
Volúmen Introducido al Sistema	19,129,324	±15%
Consumo Autorizado Facturado	6,481,556	±10.0%
Consumo Autorizado no Facturado	3,638,718	±23.7%
Pérdidas Aparentes	2,162,172	±120.2%
Pérdidas Reales	6,846,878	±8.2%
Pérdidas de Agua	9,009,050	±29.5%
Agua no Comercializada	12,647,768	±22.1%

La aplicación de un nivel de confianza del 95% no solo permite al Balance Hídrico realizar una estimación teniendo en cuenta rangos estadísticos, sino que también asiste en la determinación de aquellos componentes con mayores debilidades en la confianza de la información disponible. Estos Balances Hídricos ayudan a tener un mejor entendimiento de cada sistema de distribución y asisten en la preparación de una estrategia de intervención económicamente viable. En la Figura 3 podemos observar el Balance Hídrico detallado para todo uMDM.

System Input Volume 19,129,324 m ³ /year ± 15.0%	Authorised Consumption 10,120,274 m ³ /year ± 10.7%	Billed Authorised Consumption 6,481,556 m ³ /year ± 10.0%	Billed Metered Consumption 6,481,556 m ³ /year ± 10%	Revenue Water 6,481,556 m ³ /year ± 10.0%		
			Billed Unmetered Consumption - m ³ /year ± 5%			
	Water Losses 9,009,050 m ³ /year ± 29.5%	Unbilled Authorised Consumption 3,638,718 m ³ /year ± 23.7%		Unbilled Municipal Use 191,293 m ³ /year ± 20%	Non-Revenue Water 12,647,768 m ³ /year ± 22.1%	
				Unbilled Unmetered 3,447,425 m ³ /year ± 25%		
		Real Losses 6,846,878 m ³ /year ± 8.2%	Apparent Losses 2,162,172 m ³ /year ± 120.2%	Illegal Consumption 2,032,541 m ³ /year 127.8%		Metering Inaccuracies 129,631 m ³ /year ± 2.0%
				Mains and Distribution Leaks 5,598,744 m ³ /year ± 10%		Reservoir Overflows 68,469 m ³ /year ± 5%
		Service Connection Leaks 1,179,665 m ³ /year ± 5%				

Figura 3. Balance Hídrico detallado para uMDM

3.3. Los costos actuales

Como todo proyecto de inversión, debemos ahora realizar un análisis de los costos en los que estamos incurriendo y los beneficios que brindará la inversión.

Teniendo en cuenta el costo de compra de agua potable para uMDM, que actualmente tiene un valor de 3,32 R/kl, analicemos el impacto económico de los volúmenes de agua en cada componente del Balance Hídrico (obtenidos en la sección anterior) para la totalidad del distrito. Esto ha sido representado en la tabla 3.

Tabla 3. Costos actuales de cada componente del Balance Hídrico para uMDM

Componente del Balance Hídrico	Volumen Anual (kl)	Costo Anual para uMDM (R3,32/kl)
Volumen Introducido al Sistema	19 129 324	R 63 509 356
Consumo Autorizado no Facturado	3 638 718	R 12 080 544
Consumo Municipal no Facturado	191 293	R 635 093
Consumo no Facturado no Medido	3 447 425	R 11 445 451
Pérdidas Aparentes	2 162 172	R 7 178 411
Consumo no Autorizado	2 032 541	R 6 748 036
Errores de Medición	129 631	R 430 375
Pérdidas Reales	6 846 878	R 22 731 636
Fugas en la red	5 598 744	R 18 587 831
Desborde de Reservorios	68 469	R 227 317
Fugas en Conexiones Domiciliarias	1 179 665	R 3 916 488
Total Agua no Comercializada	12 647 768	R 41 990 591

3.4. "Key Performance Indicators" para uMDM

Como vimos anteriormente, para una correcta gestión de un sistema de distribución de agua es necesario contar con un tablero de comando adecuado (vid. Tabla 4).

Tabla 4. KPIs para uMDM

Sistema	Pérdidas totales en litros/conexión/día	ANC/VIS (%)	Ineficiencia en la utilización del agua	Ranking
uMshwathi	361.3	43%	19%	6
uMngeni	1374.5	65%	53%	2
Mpofana	1069.0	83%	56%	1
Impendle	3898.4	98%	36%	3
Mkhambathini	1040.7	45%	24%	4
Richmond	317.2	63%	22%	5
Total uMDM	916.4	66%	36%	

Donde:

$$\text{Pérdidas totales} = \text{Pérdidas de agua (m}^3\text{/año)} * 1000 / 365 / \text{cantidad de conexiones} \quad (2)$$

$$\text{Ineficiencia en la utilización del agua} = \text{Pérdidas Reales} / \text{VIS} \quad (3)$$

El % de ANC para la totalidad de uMDM será entonces del 66%

3.5. Indicadores de Operación para uMDM

Calculemos ahora los indicadores de operación analizados anteriormente, para la totalidad de la zona de uMgungundlovu District Municipality:

$$\text{Pérdidas totales} = \text{Pérdidas de agua (m}^3/\text{año)} * 1000/365 / \text{cantidad de conexiones} \quad (4)$$

$$\text{Pérdidas totales} = 9.009.050(\text{m}^3/\text{año}) * 1000(\text{l/m}^3)/365 (\text{días/año}) / 26,933 \text{ conexiones} \quad (5)$$

$$\text{Pérdidas totales} = 916 \text{ litros/conexión/día} \quad (6)$$

$$\text{CARL [litros/conexión/día]} = \text{Pérdidas reales (m}^3/\text{año)} * 1000/365 / \text{cantidad de conexiones} \quad (7)$$

$$\text{CARL [litros/conexión/día]} = 6.846.878 (\text{m}^3/\text{año}) * 1000 (\text{l/m}^3)/365 (\text{días/año}) / 26,933 \text{ conexiones} \quad (8)$$

$$\text{CARL} = 696 \text{ litros/conexión/día} \quad (9)$$

$$\text{UARL [litros/conexión/día]} = (18 \times \text{Lm}/\text{Nc} + 0,8 + 25 \times \text{Lp}/\text{Nc}) \times \text{P} \quad (10)$$

$$\text{UARL [litros/conexión/día]} = (18 \times 1691 / 26,933 + 0,8 + 25 \times 134.67 / 26,933) \times 50 \quad (11)$$

$$\text{UARL} = 102.7 \text{ litros/conexión/día} \quad (12)$$

$$\text{Infrastructure Leakage Index (ILI)} = \text{CARL}/\text{UARL} \quad (13)$$

$$\text{Infrastructure Leakage Index (ILI)} = 696/102.7 \quad (14)$$

$$\text{Infrastructure Leakage Index (ILI)} = 6.8 \quad (15)$$

Con los indicadores calculados, podemos ahora evaluar la categoría técnica de desempeño de nuestro sistema según la Tabla 5:

Tabla 5. Análisis de uMDM según la matriz de evaluación de pérdidas físicas [2]

Matriz de evaluación de pérdidas físicas							
Categoría técnica de desempeño	ILI	Pérdidas Físicas [litros/conexión/día] a una presión promedio de:					
		10 m	20 m	30 m	40 m	50 m	
País desarrollado	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	> 300	> 400	> 500	
País en vías 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

Tomando en cuenta el CARL como criterio de evaluación [2], nuestro sistema se encuentra dentro de la categoría "C", que consiste en: "Pobre. Únicamente tolerable si nos encontramos en un lugar donde el agua es barata y hay en exceso. Aún en estos casos, es recomendable intensificar los esfuerzos de reducción de pérdidas"

4. PROYECCIÓN DE LA DEMANDA

Teniendo en cuenta la tendencia de crecimiento de la zona y el desgaste natural del sistema, se presenta una proyección del Balance Hídrico para los 5 años del proyecto en la Tabla 6. Para el

cálculo de los valores proyectados, hemos estimado el incremento anual que tendrá cada componente del Balance Hídrico de cada una de las Municipalidades Locales. Utilizando estos porcentajes estimados de crecimiento, podemos proyectar los volúmenes del Balance Hídrico de los próximos 5 años para cada una de las Municipalidades Locales. De este análisis surge que para este escenario “sin intervención” el VIS en uMDM tendrá un crecimiento del 26% en 5 años, llegando a un valor final de 24.924 MI/año. Por otro lado, el ANC incrementará aproximadamente un 41%, con un volumen de 17.768 MI/año. La “Ineficiencia del recurso de agua” permanecerá similar en 36% y el ANC en volumen se incrementará a 71% en el 2015. Esto significa que el impacto del desgaste del sistema en las pérdidas físicas es relativamente bajo en comparación con el que producen las pérdidas comerciales a lo largo de los años.

Tabla 6. *Proyección del crecimiento del consumo en cada Municipalidad Local*

Proyección del incremento anual por zona								
Consumo Autorizado Facturado	Consumo Autorizado no Facturado	Pérdidas Aparentes	Pérdidas Reales					
Consumo Facturado Medido	Consumo Municipal Medido	Consumo Municipal no Medido	Consumo no Facturado no Medido	Consumo no Autorizado	Fugas en la red	Desborde de Reservorios	Fugas en Conexiones Domiciliarias	
% anual de crecimiento	% anual de crecimiento	% anual de crecimiento	% anual de crecimiento	% anual de crecimiento	% anual de crecimiento	% anual de crecimiento	% anual de crecimiento	% anual de crecimiento
uMshwathi	2%	3%	4%	12%	5%	5%	1%	5%
uMngeni	2%	3%	4%	12%	5%	5%	1%	5%
Mpofana	2%	3%	4%	12%	5%	5%	1%	5%
Impendle	2%	3%	4%	12%	5%	5%	1%	5%
Mkhambathi ni	2%	3%	4%	12%	5%	5%	1%	5%
Richmond	2%	3%	4%	12%	5%	5%	1%	5%

5. COSTOS Y BENEFICIOS DE LA INTERVENCIÓN

Para poder lograr un correcto análisis de la conveniencia de implementar mejoras en la gestión de los volúmenes de ANC, es necesario realizar una estimación de los costos y beneficios asociados a cada una de ellas¹. Para ello, hemos tomado las actividades más representativas y estimado sus costos para cada una de las Municipalidades Locales en las que se quieran aplicar.

Teniendo en cuenta los ahorros generados por las actividades (Tabla 7) podremos así proyectar la demanda “con intervención” en cada uno de los sistemas de las Municipalidades Locales, y así agregarlos para conocer los volúmenes para la totalidad de uMDM.

Una vez realizado esto analizaremos el punto óptimo de ANC a alcanzar, teniendo en cuenta los costos en los que se incurre para hacerlo y sus ahorros relacionados [3].

6. ANÁLISIS ECONÓMICO Y RESULTADOS OBTENIDOS

6.1. Nivel óptimo de ANC

Teniendo en cuenta la información anterior, hemos podido proyectar no sólo los costos de cada actividad aplicada en nuestro sistema, sino también los ahorros que generan las mismas. Estos ahorros se deben a mejoras tanto en las pérdidas físicas como las comerciales.

Considerando estas dos variables, calculamos qué nivel de ANC es el óptimo para nuestro sistema tomando en consideración el costo total incurrido.

Como se puede observar en el gráfico de la Figura 4, a medida que incrementa el % de Agua no Comercializada disminuyen los costos de gestión de la misma pero aumentan aquellos relacionados

¹ Todos los costos se encuentran expresados en Rand Sudafricano. US\$1=R7,98.

Quinto Congreso Argentino de Ingeniería Industrial



V COINI 2012



Universidad Nacional de Lomas de Zamora
FACULTAD DE INGENIERÍA

con los volúmenes de agua perdida. A medida que invertimos más en reducir el % de ANC sucede lo contrario. Al agregar las dos curvas obtendremos entonces el "Costo Total".

Tabla 7. Ahorro correspondiente con cada intervención implementada en el sistema
uMshwathi uMngeni Mpofana Impendle Mkhambathini Richmond

		ACTIVIDAD							
Consumo Facturado Medido	Consumo Municipal Medido	Optimizar facturación en los 25 mayores consumidores del sistema	% de crecimiento	1%	1%	1%	1%	1%	1%
		Mejora en la medición y % de facturación	crecimiento	3%	3%	3%	3%	3%	3%
		Instalar medidores y facturar correctamente al Departamento al que le corresponde	% de crecimiento	20%	20%	50%	50%	20%	20%
Consumo Municipal Medido	Consumo Municipales	Medir y facturar correctamente e conexiones domiciliarias y canillas de servicio	% transferido al Consumo Autorizado Facturado	30%	30%	30%	30%	20%	30%
		Medir y facturar correctamente e conexiones domiciliarias y canillas de servicio	% transferido al Consumo Autorizado Facturado	65%	75%	75%	75%	60%	80%
Pérdidas Aparentes	Consumo Autorizado	Rectificar conexiones ilegales instalando medidores	% transferido al Consumo Autorizado Facturado del sistema afectado	80%	80%	80%	80%	60%	80%
		Factor de reducción de presión del sistema (kl/km/día)	Factor de reducción	2	3	3	3	2	3
Pérdidas Reales	Fugas en la red	Detección de Fugas	% del sistema afectado	10%	10%	10%	10%	10%	10%
		Factor de reducción de pérdidas (kl/km/día)	Factor de reducción	5	8	5	5	5	5
		Detección de Fugas en conexiones domiciliarias	% de pérdidas (l/conexión/día)	1	1	1	1	1	1

Podemos observar que para el caso de uMDM, incurriremos en el costo mínimo de R 43.594.840 al llevar los volúmenes de ANC a un 28,22 %.

Sin embargo, la realidad es que la experiencia adquirida en otros sistemas de distribución de características similares, nos indica que una reducción del ANC de aproximadamente un 43% (considerando el valor proyectado de 71 % ANC para el 2015) no es realizable en el período de 5 años planteado para este proyecto. Es por ello que para esta primera etapa proponemos un valor target de ANC de 35 % [4]. Para ello, estaríamos hablando de un costo total de R 45.100.000 (R 1.505.160 por encima del óptimo) y un “Costo de Gestión del ANC” de aproximadamente R 23.400.000.

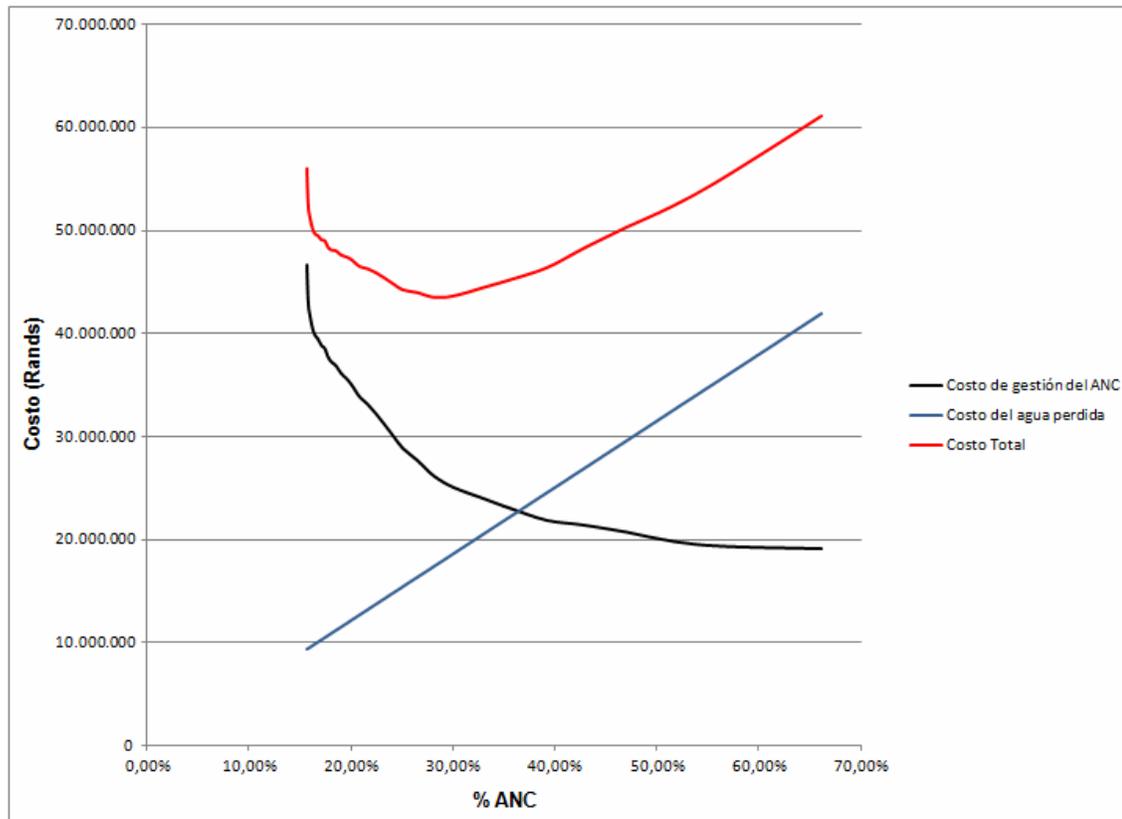


Figura 4. Nivel óptimo para el sistema

6.2. Impacto de las intervenciones en las componentes del Balance Hídrico

Como se puede observar en la Figura 5, la implementación de las acciones de intervención tiene un claro impacto positivo para el sistema.

6.3. Relación costo-beneficio de la intervención

Habiendo analizado el impacto de cada intervención, observemos ahora la relación costo-beneficio de las acciones propuestas anteriormente (vid. Tabla 8)

7. CONCLUSIONES

En este trabajo hemos abordado el acuciante problema del agua no comercializada en un sistema de distribución de agua potable, en particular, en el caso de una localidad sudafricana.

Los porcentajes de pérdidas técnicas y no técnicas son abrumadores. Sin embargo, es necesario evitar caer en cualquiera de los dos extremos posibles: invertir demasiado dinero para evitar totalmente las pérdidas hasta el punto de volver el proyecto injustificable, así como convivir

irracionalmente con un nivel de pérdidas cuyos costos hacen elemental el emprendimiento de medidas correctivas.

Para el caso de la localidad de uMgungundlovu hemos cuantificado las pérdidas existentes, hemos proyectado la evolución de la demanda futura y hemos propuesto una serie de medidas para reducir el agua no comercializada a un nivel asequible adecuado en función del óptimo teórico encontrado en el *trade off* entre ahorrar pérdidas y ahorrar inversiones.

No quedan dudas de que se trata de inversiones altamente convenientes desde el punto de vista económico y, más importante aún, desde el punto de vista de la sustentabilidad del medio ambiente, donde el derroche del agua debe ser puesto en el foco de la atención.

Con la misma metodología sería posible extender el análisis a otras localidades en el resto del mundo, cada una con sus particularidades.

Se trata de un aporte desde la ingeniería para una gestión económica más eficiente del agua potable, en un mundo con requerimientos de cuidados ambientales cada vez más urgentes.

8. REFERENCIAS

- [1] World Bank (2005) "Water Supply and Sanitation Sector Board Discussion" *Papers Series* – Paper no. 8.
- [2] Farley, M. G. Wyeth, A. Istandar and S. Singh (2002) *The Manager's Non Revenue Water Handbook*. New York, Wiley and Son.
- [3] Seago, C. and R. McKenzie (2007) *Assesment on No Revenue Water in South Africa*. Washington, World Bank.
- [4] Farley, M. and S. Trow (1998) *Losses in Water Distribution Networks*.

Agradecimientos

Los autores agradecen al Proyecto "Ingeniería Económica de la Infraestructura Nacional" de la Facultad de Ciencias Fisicomatemáticas e Ingeniería de la Pontificia Universidad Católica Argentina.

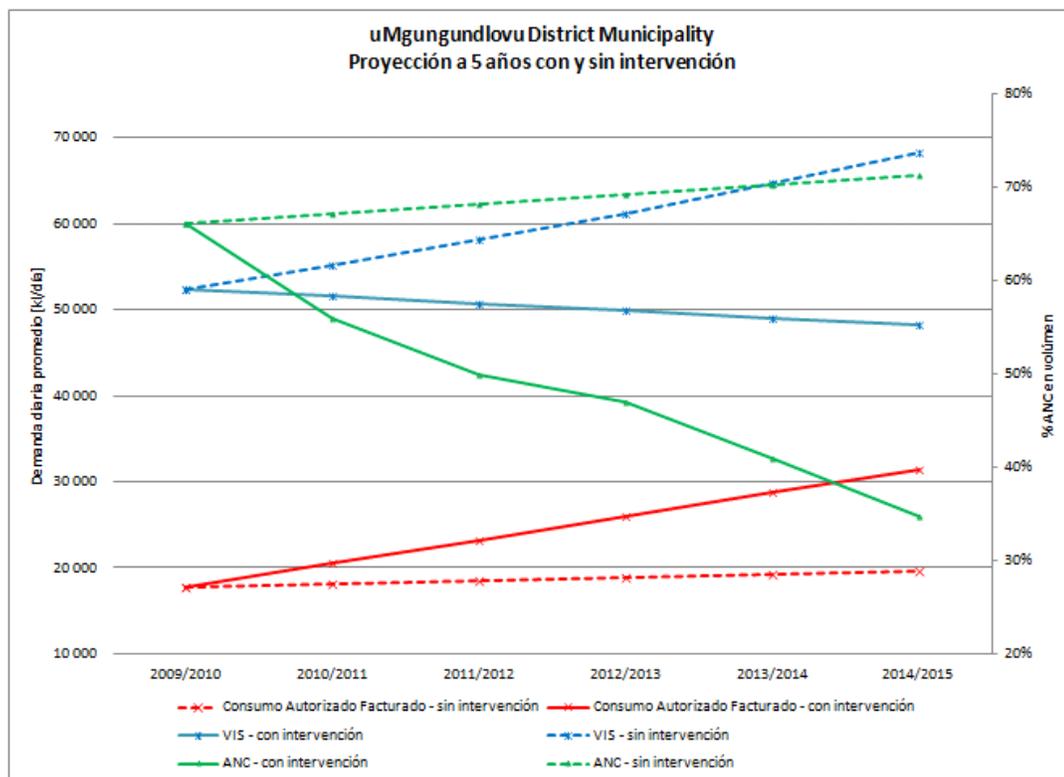


Figura 5. Proyección a 5 años del consumo, con y sin intervención

Tabla 1. Matriz costo-beneficio de las acciones implementadas en uMDM

Sistema	uMshwathi	uNgeni	Mpofana	Impendle	Mkhambathini	Richmond	Total uMDM
Volumen anual actual (MI) potable (R)	2,529	8,686	2,448	1,825	943	2,698	19,129
Costo de capital de las intervenciones (R) (R)	R 8,394,882	R 28,837,002	R 8,128,615	R 6,059,000	R 3,131,902	R 8,957,954	63,509,356
	R 3,066,887	R 6,548,850	R 7,156,342	R 5,376,262	R 1,208,546	R 3,505,433	26,862,321
	R 250,415	R 218,630	R 183,665	R 128,645	R 100,235	R 236,825	1,118,415
Reducción en el Volumen Introducido al Sistema	56	430	353	307	103	296	1,545
Ganancia bruta/incremento en el Volumen Facturado	916	3,424	1,057	1,710	275	1,804	9,186
Beneficio anual (MI)							
Reducción en la compra de agua potable	R 185,482	R 1,426,883	R 1,170,980	R 1,020,653	R 341,646	R 982,624	R 5,128,268
Ganancia bruta/incremento en el Volumen Facturado	R 6,778,400	R 25,337,600	R 7,821,800	R 12,654,000	R 2,035,000	R 13,349,600	R 67,976,400
Beneficio anual (R)							
Relación costo-beneficio	0.48	0.25	0.82	0.4	0.55	0.26	0.38