

Cuadernos de I+D+i

19

Canal 
de Isabel II **gestión**

Un nuevo criterio
para el cálculo del caudal de agua
residual urbana

19

Un nuevo criterio para el cálculo del
caudal de agua residual urbana

© Canal de Isabel II Gestión S.A. (2013)

Autores

Humberto Sánchez

Alberto Casquero

Francisco Cubillo

Dirección del estudio

Francisco Cubillo

Agradecimientos

Los autores agradecen a los integrantes de la Subdirección de Ingeniería y Construcción, Subdirección de Operación de la Depuración, Subdirección de Planeamiento y Coordinación Municipal y Subdirección de I+D+i, todos ellos de Canal de Isabel II Gestión, la participación en distintas fases del desarrollo del estudio.

ISSN de la edición impresa: 2254-8955

ISSN de la edición en soporte electrónico: 2340-1818

Depósito Legal: M-34453-2013



Esta versión forma parte de la Biblioteca Virtual de la **Comunidad de Madrid** y las condiciones de su distribución y difusión se encuentran amparadas por el marco legal de la misma.



www.madrid.org/publicamadrid

Exclusión de Responsabilidad

Las afirmaciones recogidas en el presente documento reflejan la opinión de los autores y no necesariamente la de Canal de Isabel II Gestión S.A.

Tanto Canal de Isabel II Gestión S.A. como los autores de este documento declinan todo tipo de responsabilidad sobrevenida por cualquier perjuicio que pueda derivarse a cualesquiera instituciones o personas que actúen confiadas en el contenido de este documento, o en las opiniones vertidas por sus autores.

Presentación

Los cuadernos de I+D+i de Canal de Isabel II Gestión S.A. forman parte de la estrategia de gestión del conocimiento de la empresa y del desarrollo de su Plan de Investigación, Desarrollo e Innovación.

Son elemento de difusión de proyectos e iniciativas desarrollados y auspiciados desde la Empresa para la innovación en las áreas relacionadas con el servicio de agua en el entorno urbano.

Exponen las diferentes problemáticas abordadas en cada proyecto junto con los resultados obtenidos. La intención al difundirlos mediante estas publicaciones es compartir las experiencias y conocimientos adquiridos con todo el sector de servicios de agua, con la comunidad científica y con cuantos desarrollan labores de investigación e innovación. La publicación de estos cuadernos pretende contribuir a la mejora y eficiencia de la gestión del agua y, en consecuencia, a la calidad del servicio prestado a los ciudadanos.

Los títulos aparecidos en la colección de Cuadernos de I+D+i son los que figuran en la tabla siguiente.

TÍTULOS EN LA COLECCIÓN DE CUADERNOS DE I+D+I

Nº colección	Año	<i>Cuadernos Investigación, Desarrollo e Innovación publicados</i>
1	2007	Transferencias de derechos de agua entre demandas urbanas y agrarias. El caso de la Comunidad de Madrid
2	2008	Identificación de rachas y tendencias hidrometeorológicas en el ámbito del sistema de Canal de Isabel II
3	2009	Participación de Canal de Isabel II en el Proyecto Internacional de Eficiencia en la Gestión (IDMF)
4	2008	Microcomponentes y factores explicativos del consumo doméstico de agua en la Comunidad de Madrid
5	2008	El agua virtual y la huella hidrológica en la Comunidad de Madrid
6	2008	Estudio de potenciales de ahorro de agua en usos residenciales de interior
7	2008	Investigación sobre potenciales de eficiencia con el empleo de lavavajillas
8	2010	Precisión de la medida de los consumos individuales de agua en la Comunidad de Madrid
9	2010	Proyecto de investigación para la definición y evaluación de la aplicabilidad de un bioensayo para la determinación de la toxicidad del agua utilizando embriones de pez Cebra
10	2010	Eficiencia en el uso del agua en jardinería en la Comunidad de Madrid
11	2010	Técnicas de teledetección y sistemas de información geográfica para la evaluación de la demanda de agua para usos de exterior en la Comunidad de Madrid
12	2010	Estudio sobre la dinámica de cianotoxinas en dos embalses de abastecimiento de Canal de Isabel II
13	2011	Desarrollo de un sistema de validación, estimación y predicción de consumos horarios por sectores para la red de distribución de Canal de Isabel II
14	2011	Seguimiento de la consolidación del desarrollo urbano en la Comunidad de Madrid mediante técnicas de teledetección
15	2012	Experiencias para la recuperación del fósforo de las aguas residuales en forma de estruvita en Canal de Isabel II
16	2012	Integración de la predicción meteorológica en los módulos de gestión del sistema de abastecimiento de Canal de Isabel II, mediante modelos de aportación diaria
17	2012	Mejora de la capacidad de pronóstico de aportaciones mensuales y estacionales en el ámbito de Canal de Isabel II
18	2013	Aportación de nutrientes desde la cuenca al embalse de Pinilla. Incidencia en el proceso de eutrofización

ÍNDICE DE CONTENIDOS

1. RESUMEN EJECUTIVO	9
1.1. LA PLANIFICACIÓN EFICIENTE DE INFRAESTRUCTURAS	11
1.2. COMPROBACIÓN DE LA RELACIÓN ENTRE CAUDALES SUMINISTRADOS Y CAUDALES RESIDUALES URBANOS	12
1.3. CONSTRUCCIÓN DE UN NUEVO CRITERIO ALTERNATIVO PARA EL CÁLCULO DE CAUDALES RESIDUALES URBANOS	13
1.4. COMPROBACIÓN DE LA VALIDEZ DEL NUEVO CRITERIO	15
1.5. FORMULACIÓN DEL NUEVO CRITERIO PARA EL CÁLCULO DE CAUDALES DE DISEÑO DE AGUA RESIDUAL URBANA	17
1.6. ESTIMACIÓN DE LA TRASCENDENCIA DEL CAMBIO DE CRITERIO	18
2. OBJETO, JUSTIFICACIÓN Y ALCANCE DEL ESTUDIO	20
2.1. OBJETO DEL ESTUDIO	21
2.2. METODOLOGÍA Y ALCANCE	22
2.3. LO QUE OCURRE Y LO QUE PUEDE OCURRIR	23
2.4. EL COEFICIENTE DE SEGURIDAD DE DISEÑO	23
3. ANTECEDENTES Y COMPROBACIÓN DE LA IDONEIDAD DEL CRITERIO TRADICIONAL	24
3.1. ANÁLISIS DEL CONTEXTO SUMINISTRO-DEPURACIÓN	26
3.2. RELACIONES ENTRE MEDIDAS DE CAUDALES SUMINISTRADOS Y MEDIDAS DE CAUDALES DEPURADOS, SEGÚN DIFERENTES FILTROS DE FIABILIDAD	29
4. PROPUESTA DE UN CRITERIO ALTERNATIVO	33
5. COMPROBACIÓN DE LA VALIDEZ DEL NUEVO CRITERIO	36
5.1. VALIDACIÓN DEL CRITERIO PROPUESTO PARA SUELO URBANO DESARROLLADO	37
5.1.1. Aplicación del nuevo criterio a las circunstancias actuales	38
5.1.2. Verificación con registros actuales en depuradoras	41
5.1.3. Valoración del criterio sobre sectores de abastecimiento de forma aislada	43
5.2. COMPARACIÓN DEL AJUSTE DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS CON EL NUEVO CRITERIO PROPUESTO Y CON EL CRITERIO TRADICIONAL	44

6.	FORMULACIÓN DEL NUEVO CRITERIO PARA EL CÁLCULO DE CAUDALES DE DISEÑO	48
6.1.	CRITERIO DE CÁLCULO DE CAUDALES DE DISEÑO SOBRE SUELO URBANO DESARROLLADO	51
6.1.1.	Uso Doméstico Multivivienda	51
6.1.2.	Uso Doméstico Univivienda	52
6.1.3.	Usos Industriales, Dotacionales y Terciarios	52
6.2.	CRITERIO DE CÁLCULO DE CAUDALES DE DISEÑO SOBRE ÁREA URBANA EN PLANEAMIENTO NO DESARROLLADO	52
6.2.1.	Uso Doméstico Multivivienda en planeamiento no desarrollado	53
6.2.2.	Uso Doméstico Univivienda en planeamiento no desarrollado	53
6.2.3.	Uso Industrial, Dotacional y Terciario en planeamiento no desarrollado	53
6.3.	RESUMEN DE APLICACIÓN PARA EL CÁLCULO	54
7.	ESTIMACIÓN DE LA TRASCENDENCIA DEL CAMBIO DE CRITERIO	56
7.1.	COMPROBACIÓN DEL CAMBIO INDUCIDO EN EL RATIO ENTRE CAUDALES DE DISEÑO RESIDUAL URBANO Y DE ABASTECIMIENTO	58
7.1.1.	Trascendencia del cambio de criterio para la escala “Sector de abastecimiento”	58
7.1.2.	Trascendencia del cambio de criterio para la escala “Depuradora”	59
7.2.	ESTIMACIÓN DEL IMPACTO DEL CAMBIO DE CRITERIO EN LA PLANIFICACIÓN SOBRE UN SISTEMA REAL DE DEPURACIÓN. COMPARACIÓN CON EL CRITERIO TRADICIONAL	61
7.2.1.	Análisis para el caso de las depuradoras en el horizonte actual	61
7.2.2.	Comparación de resultados de diseño sobre sectores en el horizonte actual	63
7.2.3.	Estimación de la trascendencia en la planificación	67
8.	CONCLUSIONES	68
9.	ANEXOS	70
9.1.	ANEXO 1. DATOS DISPONIBLES PARA EL ESTUDIO	71
9.2.	ANEXO 2. FIABILIDAD DE LOS DATOS	73
9.2.1.	Fiabilidad en la medida de suministro a sectores	73
9.2.2.	Fiabilidad en la medida de caudales depurados en EDAR	74
9.2.3.	Fiabilidad combinada de datos	75
9.3.	ANEXO 3. ÍNDICE DE FIGURAS	76
9.4.	ANEXO 4. ÍNDICE DE TABLAS	78
9.5.	ANEXO 5. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	79
9.6.	ANEXO 6. GLOSARIO DE TÉRMINOS TÉCNICOS USADOS EN EL DOCUMENTO	80

1. Resumen Ejecutivo



Ficha Técnica

Título del proyecto	Un nuevo criterio para el cálculo del caudal de agua residual urbana
Línea de investigación	Eficiencia en la gestión estratégica de infraestructuras
Unidades implicadas de Canal de Isabel II Gestión, S.A.	Subdirección de Investigación, Desarrollo e Innovación Subdirección de Ingeniería y Construcción Subdirección de Operación de la Depuración
Participación externa	No ha sido necesaria la colaboración con ninguna empresa externa a Canal de Isabel II Gestión S.A.
Objeto y justificación del proyecto	Contribuir a la mejora de la eficiencia en la planificación de necesidades de inversión en el sistema de Saneamiento y Depuración, a través de un nuevo método de determinación de los caudales de aguas residuales urbanas en la Comunidad de Madrid.
Contribución al estado del arte	Propuesta de un nuevo criterio de cálculo de caudales de agua residual urbana que reemplaza al que se viene usando desde hace décadas.
Resumen del desarrollo del proyecto e hitos relevantes	<p>Se define el nuevo criterio de cálculo, a partir de datos de consumos registrados por tipo de uso, microcomponentes de consumos (usos exteriores), caudales suministrados y registrados en sectores de distribución, datos cartográficos y topográficos de cuencas de drenaje, y caudales controlados en EDAR (estación depuradora de agua residual).</p> <p>El criterio se basa en la consideración de coeficientes de retorno diferenciados para los tipos de usos del agua.</p> <p>Se validó el nuevo criterio con datos reales medidos en EDAR y en sectores de consumo. Se comprueba la bondad de la nueva propuesta mediante comparación de los resultados obtenidos frente a los resultados del criterio tradicional.</p>
Resumen de resultados obtenidos	Se observa que la aplicación del nuevo criterio propuesto se adapta mejor que el criterio tradicional al escenario real existente en la Comunidad de Madrid. Para escenarios a largo plazo, el nuevo criterio aporta un resultado global de caudal residual menor (entre un 15% y un 20%) que el resultante de aplicar el criterio tradicional (del 80% del agua suministrada).
Líneas de investigación abiertas para la continuación de los trabajos	Incorporar el criterio a las prácticas de diseño de depuradoras, con la inclusión de las consideraciones sobre cargas contaminantes.

Resumen Ejecutivo

1.1. LA PLANIFICACIÓN EFICIENTE DE INFRAESTRUCTURAS

La gestión integral de los servicios de abastecimiento, saneamiento y depuración en la Comunidad de Madrid, incluye la planificación de inversiones en infraestructuras hidráulicas. Estas inversiones cubren tanto las obras nuevas como las de ampliación y actualización de instalaciones existentes. Las inversiones deben planificarse de forma que en cada escenario presente y futuro, las infraestructuras y su operación sean capaces de atender a todas las solicitudes con resultados aceptables en calidad y continuidad del servicio.

El proceso de planificación se desarrolla en las siguientes etapas:

1. Definición de criterios y estándares de servicio
2. Definición de escenarios de análisis (ámbitos, horizontes temporales, e intensidad de las solicitudes)
3. Identificación de necesidades en escenarios y horizontes
4. Selección de actuaciones
5. Programación para el desarrollo de las actuaciones

Se programa así el volumen de inversiones, tanto para la implantación como para la explotación y mantenimiento. La planificación será eficiente cuando con la menor inversión posible, se cumplan los criterios definidos de calidad del servicio en todas las situaciones consideradas.

Las actuaciones se definen con cierto dimensionamiento y diseño en los que los caudales son claros protagonistas. El objetivo del estudio que se describe a continuación persigue la mejora de la eficiencia desde una valoración más precisa de los caudales considerados.

1.2. COMPROBACIÓN DE LA RELACIÓN ENTRE CAUDALES SUMINISTRADOS Y CAUDALES RESIDUALES URBANOS

El criterio tradicional empleado para estimar los caudales de agua residual urbana se basa en su cálculo como un 80% fijo del caudal de abastecimiento en cada área de estudio.

Canal de Isabel II Gestión cuenta con una gran disponibilidad de datos precisos y en cantidad suficiente en el ámbito de la Comunidad de Madrid, que ha permitido la generación de información muy útil de los caudales circulantes en diferentes puntos estratégicos de las redes de los distintos servicios. Esta disponibilidad es fruto de la implementación de proyectos de innovación relacionados con la planificación y operación de los sistemas de abastecimiento, saneamiento y depuración. Destacan por su contribución en este sentido la sectorización de la red de distribución, el estudio de microcomponentes del consumo doméstico, el panel de monitorización de consumos individuales, y el sistema de telecontrol y sistema de información geográfica corporativos. Esta información ha hecho posible comprobar si los caudales de agua potable suministrados a las áreas urbanas, mantienen una proporción constante con los caudales de aguas residuales urbanas generadas en esas mismas áreas.

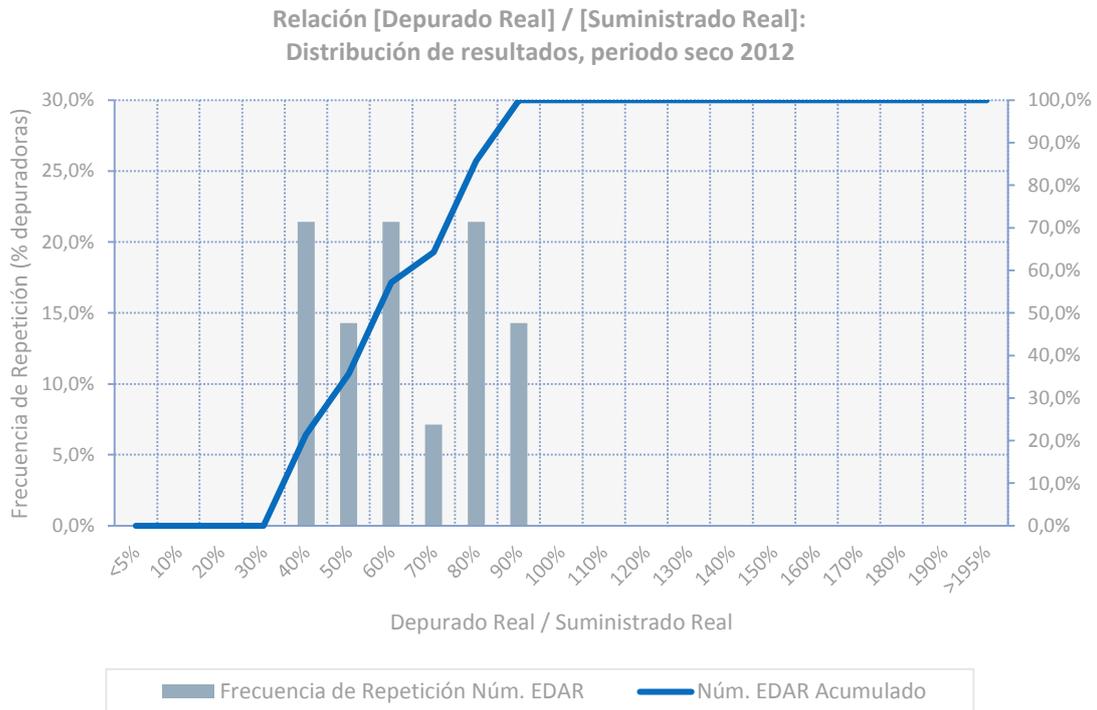
Para realizar esta comprobación se compararon los volúmenes reales entregados de agua potable con los circulantes por los colectores del sistema de saneamiento. El alcance de este estudio se limita al cálculo del caudal de agua residual urbana, excluyendo las consideraciones de drenaje de aguas pluviales. Para tenerlo en cuenta, todas las comprobaciones realizadas en el estudio se llevaron a cabo con datos reales registrados en periodos secos de meses completos del año 2012 en la Comunidad de Madrid.

Los registros de caudales suministrados de agua potable se obtuvieron del sistema sectorizado de operación del abastecimiento de Canal de Isabel II Gestión. En este trabajo se denominan “sectores” a las áreas de consumo de agua de configuración permanente, con las entradas y salidas de agua controladas con instrumentos de medida de caudal con frecuencia horaria. A través de la representación en el sistema de información geográfica se conocen todos los elementos de red que conforman cada sector, y se identifican todas las acometidas y todos los consumidores (de manera individual) localizados en su interior.

A su vez, el sistema de telecontrol ha permitido disponer de registros de caudales medidos a intervalos horarios en las depuradoras.

Con todo lo anterior, se estudiaron los pares de datos “caudal residual” y “caudal suministrado” en agrupaciones mensuales (partiendo de valores diarios, y con sus oportunas consideraciones de calidad de datos). Quedó comprobado, con datos reales de 14 depuradoras, que la relación entre caudal suministrado de abastecimiento y caudal residual urbano circulante no es constante para los sistemas de saneamiento y depuración controlados, en las que más de un 70% de los casos de caudales de entrada a depuradora quedaron por debajo del 80% considerado en el criterio tradicional, (figura 1).

FIGURA 1. RELACIÓN DEPURADO REAL / SUMINISTRADO REAL



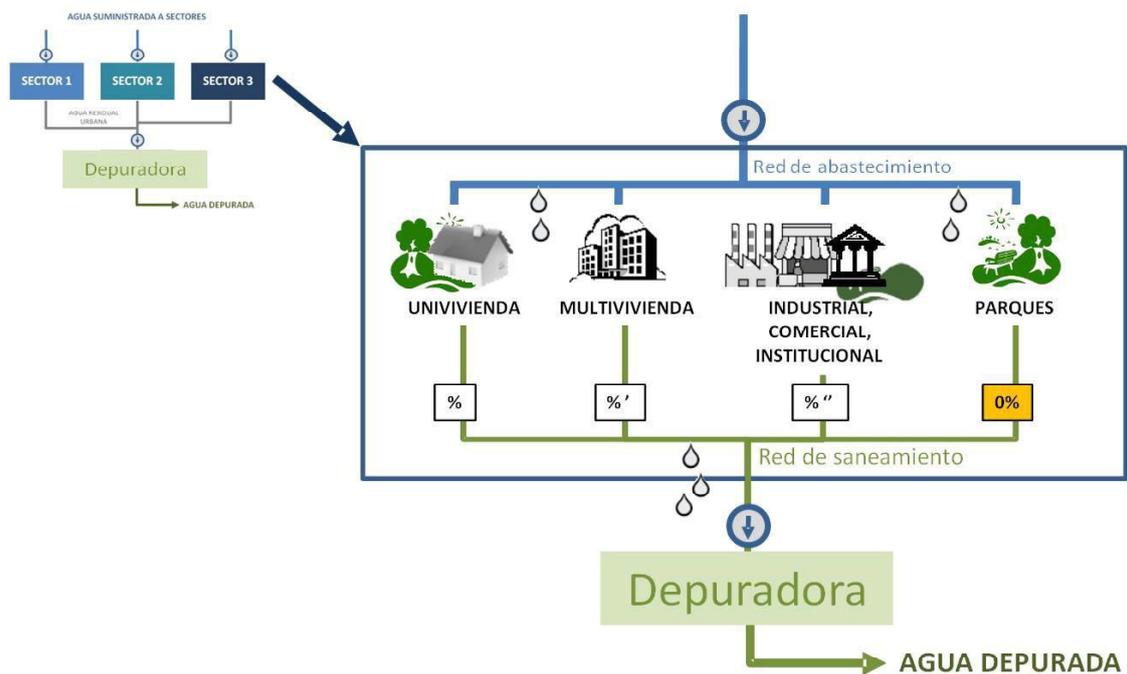
A la vista de los resultados obtenidos se concluyó que es oportuno buscar una alternativa más eficiente para el cálculo de caudales residuales urbanos, en la que no se dependa de una relación porcentual única entre caudal de saneamiento y caudal de abastecimiento.

1.3. CONSTRUCCIÓN DE UN NUEVO CRITERIO ALTERNATIVO PARA EL CÁLCULO DE CAUDALES RESIDUALES URBANOS

Para la concepción de un nuevo método de cálculo, se aprovecharon el conocimiento y las prácticas de diseño de sistemas de abastecimiento. En abastecimiento, el caudal se calcula por agregación de consumos individuales tipificados con sus correspondientes dotaciones individuales. Análogamente, se podría realizar el cálculo del caudal de agua residual urbana considerando las propiedades individuales con sus dotaciones y coeficientes de retorno específicos. Se abandonaría así el concepto de coeficiente de retorno constante para un área o núcleo de consumo en su conjunto.

La figura 2 muestra gráficamente el concepto propuesto.

FIGURA 2. CRITERIO ALTERNATIVO DE CÁLCULO DE CAUDALES RESIDUALES URBANOS



De esta manera, el nuevo criterio propuesto se basa en la consideración individual de las “propiedades” generadoras de agua residual. Estas propiedades son las unidades físicas de consumo de agua, que en lo que nos ocupa, se transforman en unidades físicas de aportación de retornos de agua al sistema de alcantarillado. Una propiedad es, en el caso de las viviendas, cada uno de los apartamentos o pisos en las construcciones multivivienda, y cada una de las casas o chalés para el caso de las construcciones univivienda. Y para el caso del resto de usos no domésticos, una propiedad es una unidad natural de consumo o generación de agua. Para el caso de la Comunidad de Madrid y su reglamento de contratación de servicio de agua, una propiedad no doméstica equivale a un contrato: una propiedad por cada local comercial, una propiedad por cada industria, una propiedad por cada toma de agua de usos públicos institucionales, una por cada serie de riegos en viales y parques, etc.

Las propiedades se clasifican según el tipo de uso que hacen del agua potable, que determina la proporción de la misma que retorna al alcantarillado. Esto quiere decir que cada tipo de propiedad contará con su “coeficiente de retorno” específico. La determinación del valor numérico del coeficiente de retorno se ha basado en las conclusiones del estudio de microcomponentes y usos finales realizado en la Comunidad de Madrid, y en otros estudios relevantes. Los microcomponentes (y usos finales) del agua potable son cada uno de los destinos a los que se dedica el agua dentro de una propiedad.

En el caso de los usos domésticos, los microcomponentes distinguen los destinos del agua en duchas, lavadoras, lavavajillas, grifos de mano, inodoros, y usos de exterior en patios y jardines. A partir del conocimiento de las partes proporcionales de cada uno de estos usos finales, se determina qué porcentaje del agua suministrada se devuelve al alcantarillado desde las viviendas, diferenciando estos coeficientes de retorno para hogares en formato multivivienda y univivienda.

Resumen Ejecutivo

Para el resto de usos se ha trabajado de forma análoga. Cabe destacar el caso de los usos de exterior en parques y jardines públicos y privados, de los que se ha supuesto un retorno nulo al alcantarillado.

Los coeficientes de retorno para los usos actuales se fijaron en:

- Usos domésticos, en edificación multivivienda: 1,00
- Usos domésticos, en edificación univivienda: 0,73
- Uso industrial, dotacional y terciario: 0,90
- Usos de exterior (riegos): 0,00

Para designar un coeficiente de retorno al resto de usos y destinos, que de hecho se realizan u ocurren en las áreas urbanas, se ha tenido en cuenta directamente la intención del nuevo criterio de representar el porcentaje de agua que circula finalmente por el alcantarillado. Este “resto de destinos” tuvo alguna importancia al trabajar con la comprobación más precisa posible para verificar la validez de este proceso, al incluir usos de agua en purgas y limpiezas de tuberías, usos fraudulentos, etc.

1.4. COMPROBACIÓN DE LA VALIDEZ DEL NUEVO CRITERIO

Para validar este criterio como método de cálculo, se comprobó la bondad del ajuste de los datos reales medidos de caudales de agua residual urbana, con los que resultaron de aplicar los coeficientes de retorno específicos sobre los distintos usos de agua potable medidos en las propiedades consideradas individualmente. Con ello se convirtieron los flujos de *consumo real de agua potable* medidos en usuarios, en *caudal calculado de agua residual* circulante. Luego se comprobó el encaje de este caudal residual calculado, con los caudales residuales realmente circulantes.

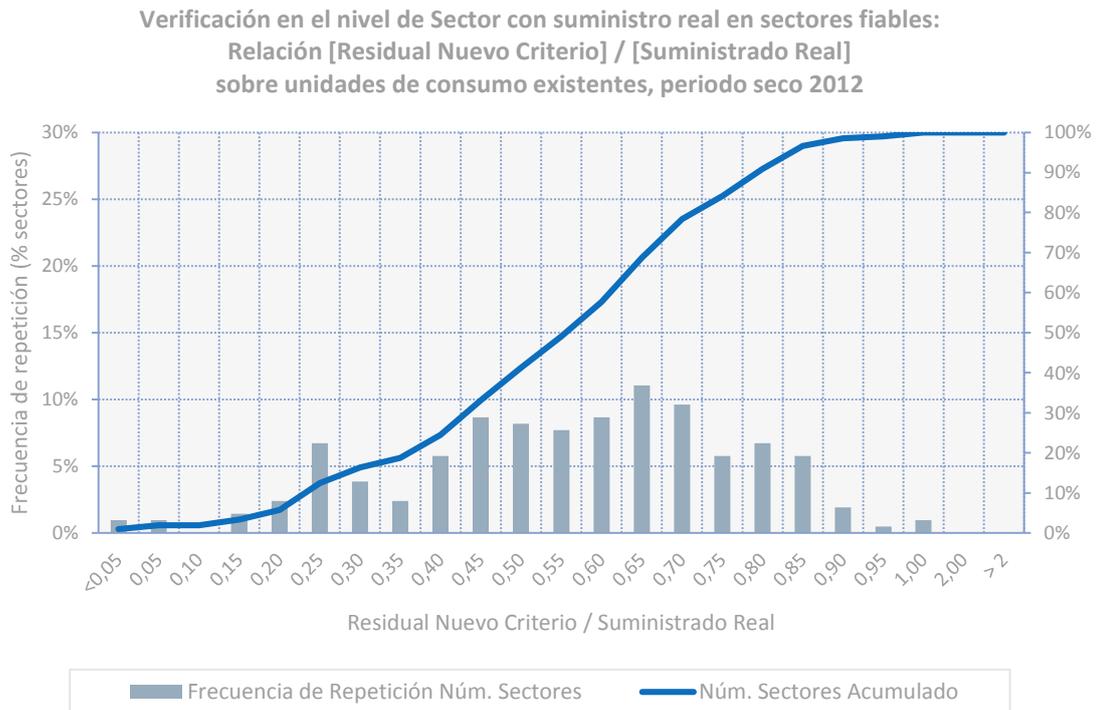
Para ello se empleó la base de datos de registros de consumos individuales medidos en contador de usuario, clasificándolos por su tipo de uso. Los volúmenes entregados a las redes de distribución en cada sector que no corresponden con consumos medidos en usuarios (agua no controlada), fueron obtenidos con los métodos de cálculo y estimación empleados en la elaboración de los distintos indicadores de eficiencia de los propios sectores de distribución.

Para todo lo anterior se trabajó sobre una matriz de asignación de áreas de consumo de agua potable (sectores de abastecimiento), sobre sistemas de alcantarillado y colectores (incluso cuencas de drenaje de depuradoras). Necesariamente se han caracterizado los registros según su grado de fiabilidad, atendiendo no sólo a la calidad supuesta del dato, sino a la representatividad y fiabilidad a los efectos que nos ocupan. Para evitar la interferencia de los caudales pluviales en los registros de las entradas a depuradoras, se ha trabajado con series de datos de periodos secos del año 2012.

Este cálculo de validación resultó significativamente más preciso que el resultado de aplicar el coeficiente del 80% al suministro en cabecera de sectores de abastecimiento. Para el conjunto de las depuradoras que trabajan con caudales reales por debajo de los 2.000 m³/día, el nuevo criterio evita los sobredimensionamientos que muestra el criterio tradicional. Y para los 4 mayores sistemas de depuración estudiados en condiciones de mayor fiabilidad (con caudales reales diarios por encima de los 9.000 m³), el nuevo criterio se aproxima significativamente mejor al cálculo óptimo.

En este escenario de calibración, se comprueba que de la aplicación del nuevo criterio de cálculo de agua residual urbana sobre los sectores de distribución, resulta una dispersión considerable de la relación entre agua residual calculada y agua suministrada medida, acumulándose un 80% de los sectores con esta relación por debajo del 0,8 (figura 3).

FIGURA 3. VERIFICACIÓN DEL CRITERIO CON SUMINISTRO REAL EN SECTORES FIABLES



Con este trabajo de validación se concluyó que para el cálculo de caudales de agua residual urbana, la consideración de coeficientes de retorno específicos para los diferentes usos del agua que tienen lugar en las propiedades individuales, da resultados más precisos que un coeficiente único para toda el área de influencia aplicado sobre los suministros totales de agua potable.

Así, con este nuevo criterio se garantiza una mayor eficacia en el pronóstico de generación de caudales residuales urbanos, que da lugar a una mayor eficiencia en el proceso de planificación de infraestructuras de saneamiento y depuración.

1.5. FORMULACIÓN DEL NUEVO CRITERIO PARA EL CÁLCULO DE CAUDALES DE DISEÑO DE AGUA RESIDUAL URBANA

Habiendo dado por buena la mayor validez del nuevo criterio descrito, se acometió el diseño de una formulación adecuada para el cálculo de caudales de agua residual urbana orientado a las labores de planificación de infraestructuras. La formulación buscada se plantea en términos relativos a las variables empleadas en la planificación y dimensionamiento de las infraestructuras de abastecimiento y distribución.

Esta planificación se basa, como se ha dicho, en la definición de ciertos escenarios de trabajo, en los que normalmente convivirán, para el horizonte y la escala espacial que corresponda en cada caso, propiedades asentadas sobre suelo ya desarrollado urbanísticamente y propiedades de nueva implantación. La separación en estas dos categorías tiene relevancia pues las dotaciones de diseño para cada propiedad están diferenciadas en las prácticas de diseño de abastecimiento en la Empresa, y se ha pretendido heredar estas mejores prácticas hacia el diseño de las infraestructuras de saneamiento y depuración de Canal de Isabel II Gestión.

Para la planificación y definición de las infraestructuras de abastecimiento, es habitual considerar la siguiente diferenciación de usos del agua:

- Usos domésticos, en edificación multivivienda
- Usos domésticos, en edificación univivienda
- Uso industrial, dotacional y terciario
- Zonas verdes

Esta desagregación coincide con las figuras de planeamiento urbano que más adelante se emplearán para la definición de escenarios futuros en la Comunidad de Madrid.

Cada uno de estos usos del agua potable cuenta con una dotación actual individual de diseño para propiedades que ya existen o podrían existir de forma inminente (pues corresponden a suelo ya desarrollado urbanísticamente). La cuantificación de estas dotaciones corresponde a resultados de trabajos estadísticos sobre consumos reales medidos en series largas en propiedades de la Comunidad de Madrid, a escala municipal para usos domésticos y clasificados en 11 zonas significativas en las que se divide el territorio, para usos no domésticos. Estas dotaciones de abastecimiento representan el consumo que puede realizarse para el horizonte actual en condiciones de consumos máximos de diseño. El método que aquí se describe identifica los “coeficientes de retorno” adecuados para transformar estas dotaciones de abastecimiento en los caudales individuales de diseño de agua residual urbana para propiedades existentes o de inminente implantación en suelo desarrollado.

Para el cálculo de generación de agua residual urbana en propiedades futuras, se partió de las dotaciones de abastecimiento definidas para esas propiedades, sobre las que se aplicaron los coeficientes de retorno propios de cada tipo de uso, modificados para adecuarse a las diferencias en la definición de dichas dotaciones. En el caso de las dotaciones futuras, se descontaron en cada caso, las partes proporcionales correspondientes a fugas y otros destinos que no han de computar en el cálculo de aguas residuales, pero que sí se consideraron al definir las dotaciones de abastecimiento.

Se propone entonces la implementación de un nuevo método de cálculo para el caudal de agua residual urbana, basado en coeficientes de retorno diferenciados para cada tipo de uso de agua de abastecimiento y para cada situación de consolidación o planificación de futuro del suelo urbano, según refleja la tabla 1.

TABLA 1. COEFICIENTES DE RETORNO

<i>Concepto</i>	<i>Coefficiente de retorno para dotaciones de diseño</i>	
	<i>Uso en suelo desarrollado</i>	<i>Uso en planeamiento futuro</i>
Doméstico Multivivienda	100%	95%
Doméstico Univivienda	73%	80%
Uso Industrial, Dotacional y Terciario	90%	85,5%
Resto de usos	0%	0%

1.6. ESTIMACIÓN DE LA TRASCENDENCIA DEL CAMBIO DE CRITERIO

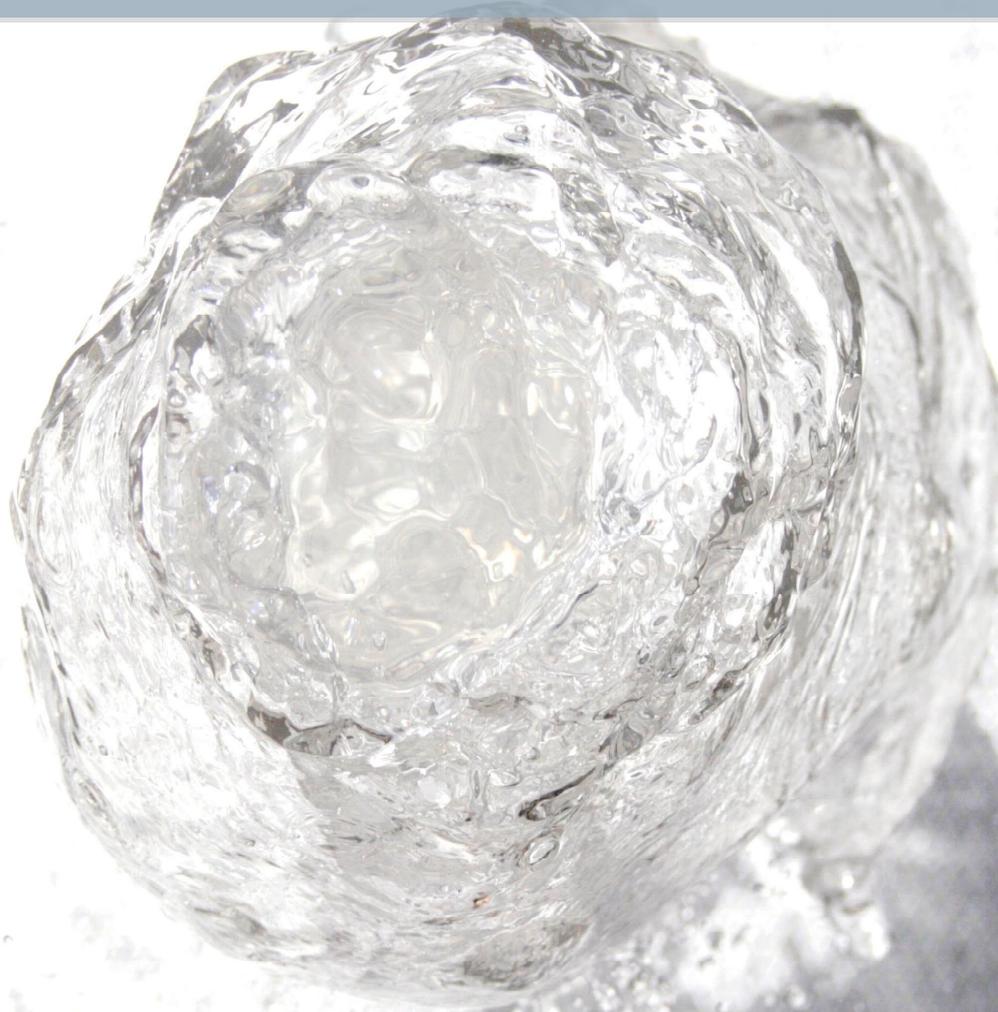
Una vez validado el criterio y formulada la aplicación del mismo para el cálculo de caudales sobre escenarios futuros, se procedió a cuantificar el impacto de la adopción del nuevo método de determinación de caudales de diseño para el sistema de depuración de la Comunidad de Madrid. Considerando significativo el horizonte a largo plazo (año 2027), se comparó, para cada depuradora ampliada y nueva prevista (según el proceso de planificación de inversiones de la Empresa), las solicitudes en términos de caudal diario para el día de máximo consumo calculadas con el nuevo criterio propuesto y con el criterio tradicional.

Se concluyó que la adopción de un método de cálculo para caudales de agua residual urbana basado en coeficientes de retorno individualizados para cada tipo de uso, desprende un resultado global que minorra en un 15% el resultado del cálculo obtenido con el criterio tradicional. El 74% de las actuaciones previstas para este horizonte resultaron con una disminución de caudales residuales en el intervalo del 10% al 25%, acumulando un “ahorro” del 90% de la disminución total calculada. Más concretamente, el 37% de las actuaciones estudiadas resultaron con una disminución de caudales residuales en el intervalo del 15% al 20%, concentrando un 54% del “ahorro” total. La figura 4 ilustra el proceso descrito.

FIGURA 4. IMPACTO DEL CRITERIO CALCULADO



2. Objeto, justificación y alcance del estudio



Objeto, justificación y alcance del estudio

2.1. OBJETO DEL ESTUDIO

La gestión integral de los servicios de saneamiento y depuración de las aguas residuales urbanas pasan por un correcto dimensionamiento de las infraestructuras sobre las que se realizan las operaciones pertinentes que facilitan la prestación del servicio encomendado. Este dimensionamiento de alcantarillas, colectores y depuradoras debe ser tal que permita responder con garantías al gran abanico de escenarios a los que se enfrentarán a lo largo de su vida útil.

El proceso de planificación se desarrolla en las siguientes etapas:

1. Definición de criterios y estándares de servicio
2. Definición de escenarios de análisis (ámbitos, horizontes temporales, e intensidad de las solicitudes)
3. Identificación de necesidades en escenarios y horizontes
4. Selección de actuaciones
5. Programación para el desarrollo de las actuaciones.

La **planificación eficiente** de infraestructuras de los sistemas de saneamiento y depuración se basa en la detección de las necesidades en los diferentes escenarios contemplados, y en el diseño de las actuaciones que cubran esas necesidades con la garantía debida. Los sobredimensionamientos de infraestructuras son desviaciones que aportan mayor garantía frente a posibles demandas futuras, pero que encarecen la inversión inicial de la obra, y los gastos de mantenimiento y explotación.

En el desarrollo de las actividades de mejora de la eficiencia de planificación de inversiones en la Comunidad de Madrid, se ha detectado la oportunidad de reconsiderar los cálculos de caudales de aguas residuales urbanas y de conseguir unos valores más precisos para el dimensionamiento adecuado de los colectores, emisarios y depuradoras del sistema de saneamiento y depuración que dan servicio a los núcleos urbanos.

El objeto de esta nueva propuesta es contribuir a la mejora de la eficiencia en la planificación de necesidades de inversión en el sistema de Saneamiento y Depuración, a través de un nuevo método de determinación de los caudales de aguas residuales urbanas.

Para la consecución de este objetivo se establece una metodología aplicable a escenarios presentes y futuros, mediante la parametrización de los cálculos en función de las propiedades (según tipología) y usos existentes, así como en los usos previstos en las superficies de las figuras de planeamiento.

Los caudales que determinan los dimensionamientos finales de las infraestructuras de saneamiento y depuración, están lógicamente muy influenciados por los caudales de drenaje de las aguas pluviales. De hecho se suele considerar que los caudales pluviales terminan dimensionando los decantadores, mientras los caudales de agua residual urbana dimensionan los reactores biológicos. El alcance de este estudio se limita al cálculo del caudal de agua residual urbana, debiéndose tener en cuenta, en su caso, la adición de otros caudales para la determinación de caudales de diseño de los diferentes elementos de las redes de saneamiento y de las depuradoras.

2.2. METODOLOGÍA Y ALCANCE

Hasta la fecha, las prácticas de dimensionamiento de infraestructuras de saneamiento y depuración, en lo referente a los caudales de agua residual urbana, se basan en el cálculo de estos caudales como una proporción fija del 80% respecto al caudal suministrado de diseño.

La elaboración de este estudio partió de la discusión de la idoneidad de este criterio tradicional. La comprobación de la validez del ajuste proporcionado por este criterio (residual como 80% del abastecimiento) se realizó mediante el análisis de las proporciones reales medidas entre caudales entregados a los sistemas de suministros de la Comunidad de Madrid, y sus correspondientes caudales de aguas residuales.

Una vez comprobada la dispersión de esta proporción, se trabajó sobre la definición de un nuevo criterio para la determinación de los caudales residuales, basado en la consideración de coeficientes de retorno distintos para los diferentes usos del agua suministrada. Para ello se definió una batería de coeficientes de retorno, deduciendo los valores más precisos posibles desde los estudios de I+D+i y trabajos previos realizados en Canal de Isabel II Gestión.

A partir de la definición de este nuevo criterio, se trabajó sobre la validación del mismo con una comprobación similar a la realizada para discutir la idoneidad del criterio tradicional. Con el nuevo criterio se calcularon los caudales residuales urbanos de los sistemas de distribución de la Comunidad de Madrid para escenarios existentes con registro de caudal. El cálculo consistió en la aplicación de los coeficientes de retorno diferenciados sobre los consumos realmente medidos y otros usos no registrados (pero estimados con los mejores procedimientos). A continuación, se contrastaron con los realmente medidos en los sistemas de saneamiento y depuración correspondientes. El resultado obtenido fue de mayor calidad que el proporcionado por el criterio tradicional, por lo que se procedió al desarrollo de un método de cálculo útil basado en este criterio.

La formulación del criterio para su empleo en el cálculo de caudales de diseño de agua residual en las tareas de dimensionamiento de infraestructuras se definió de forma relativa al cálculo de caudales de diseño de abastecimiento. Para ello, se especificaron los coeficientes de retorno a aplicar a las series de dotaciones de abastecimiento empleados en los dimensionamientos hidráulicos de agua potable, que distinguen tanto los usos domésticos (con tipificación de edificación univivienda y multivivienda) de usos industriales, dotacionales y terciarios, y usos de zonas verdes, como la inclusión de los usos en áreas urbanas ya desarrolladas o en planeamiento futuro.

El alcance del estudio se cierra con la estimación del impacto que resultaría de la adopción de este nuevo criterio propuesto sobre el ámbito de trabajo de la Comunidad de Madrid. Considerando significativo el escenario de diseño en el horizonte de largo plazo, se comparan los resultados obtenidos por los métodos de cálculo tradicional y nuevo propuesto.

2.3. LO QUE OCURRE, Y LO QUE PUEDE OCURRIR

Para la comprensión del contenido de este cuaderno de Investigación, Desarrollo e Innovación es necesaria la correcta distinción de los conceptos de escenarios reales y los hipotéticos de diseño.

Los **escenarios reales** y las medidas que de ellos disponemos para su estudio, son el reflejo de lo ciertamente ocurrido, en el intervalo de tiempo monitorizado. Representan hechos reales, y nos sirven para establecer proporciones y relaciones “factibles”. Estas condiciones realmente medidas son un conjunto de datos que podían ocurrir, puesto que se han registrado, pero no son todas las que podrían haber ocurrido en el pasado, ni mucho menos abarcan todas las que podrán ocurrir en el futuro.

Los **escenarios de diseño**, tal y como se conciben en el dimensionamiento de infraestructuras de obra civil, son las condiciones, demandas y cargas a las que se podría enfrentar la obra a lo largo de su vida útil. La “demanda máxima” a considerar se ha de relacionar con la garantía de servicio requerida, y su definición será labor de los equipos de normalización y planificación en cada caso. Los escenarios de diseño, por definición, son con alta probabilidad más exigentes que los escenarios reales.

En el sector de las aguas urbanas, los cálculos de las demandas normalmente se basan en los conceptos de “dotación unitaria”, número de unidades, y coincidencia temporal de estas demandas unitarias. Así, un escenario de cálculo se crea con la definición de las unidades de consumo existentes o previstas, la dotación de agua de cada unidad, según tipo de uso, y un coeficiente de simultaneidad de los usos en estos puntos de consumo.

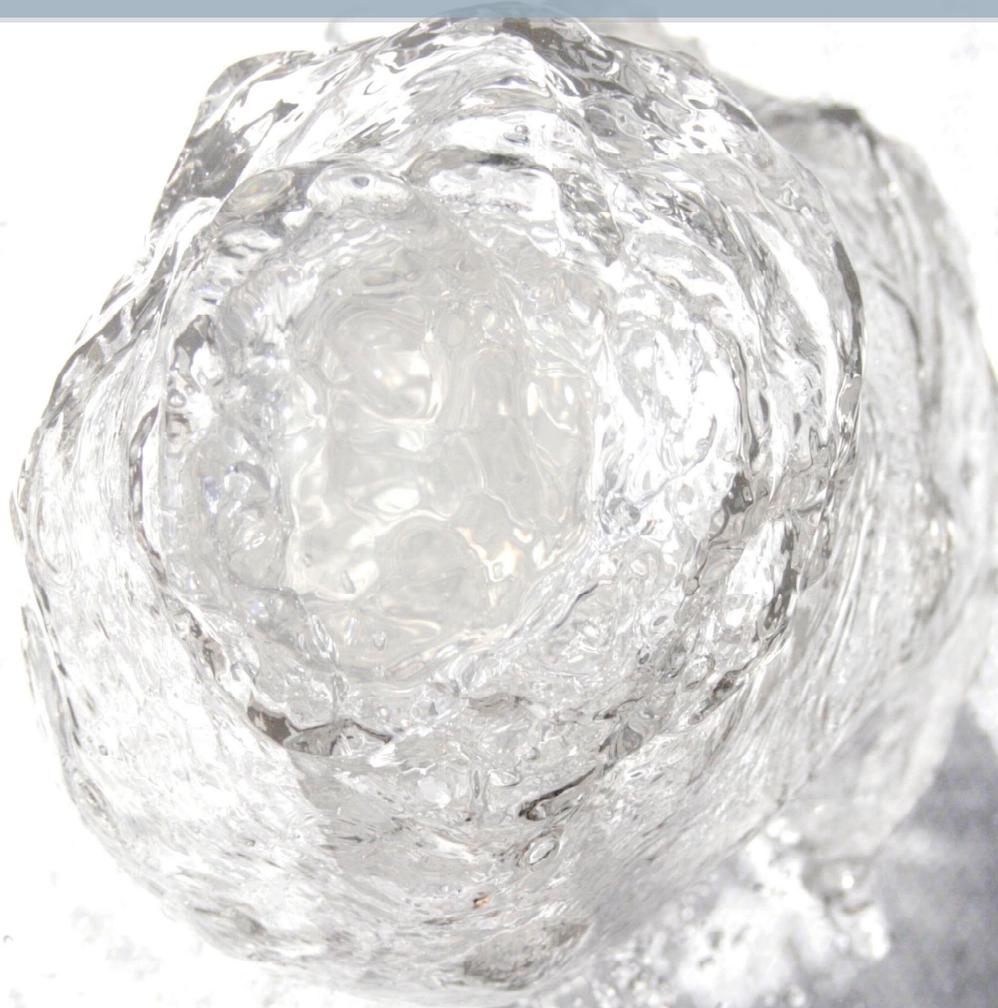
Para el desarrollo del estudio que se refleja en este cuaderno de Investigación, Desarrollo e Innovación se han tenido en cuenta escenarios reales tanto para la detección de la oportunidad de mejora, como para la validación del cambio de criterio de cálculo propuesto. Y los escenarios de diseño se emplearon para la formulación de la propuesta del nuevo criterio, y para la estimación de la trascendencia del cambio de criterio, mediante la simulación de diseño de cierto número de depuradoras en la Comunidad de Madrid.

2.4. EL COEFICIENTE DE SEGURIDAD DE DISEÑO

En el proceso de diseño de cualquier infraestructura se considera, de forma explícita o implícita, un coeficiente de seguridad de diseño con el que se cubre la garantía de respuesta frente a las solicitaciones a las que debe responder.

El método de cálculo basado en el nuevo criterio que se propone en este documento asume, por su definición relativa al suministro, los coeficientes de seguridad de abastecimiento, basados a su vez en las dotaciones de diseño.

3. Antecedentes y comprobación de la idoneidad del criterio tradicional



Desde hace años se ha estado utilizando el método de cálculo simplificado admitido en la *Instrucción de Planificación Hidrológica*¹, para caudales de diseño de aguas residuales urbanas. Este criterio tradicional, a falta de datos reales, asume una proporción directa y constante entre los caudales de agua suministrada y los devueltos al sistema de alcantarillado:

$$Q_{\text{diseño_saneamiento_diario}} = 0,8 \cdot Q_{\text{diseño_suministro_diario}}$$

Este criterio de cálculo también fue adoptado por Canal de Isabel II, como se recoge en las *Normas para Redes de Saneamiento*, en su versión del 2006² (vigente), donde se encuentra el mismo coeficiente de retorno como factor en las fórmulas de cálculo de caudales medios de aguas residuales de origen doméstico e industrial (páginas 96 y 97).

La directiva Europea relativa al tratamiento de aguas residuales urbanas 91/271/CEE únicamente hace referencia a que el sistema de colectores y estaciones de tratamiento se deberá realizar con los mejores conocimientos técnicos que no redunden en costes excesivos, en especial en lo que respecta a:

- Volumen y características de aguas residuales urbanas
- Prevención de escapes
- Restricción por contaminación de las aguas receptoras por el desbordamiento de las aguas de tormenta

Por otra parte, existe una normativa americana, (*Recommended Standards for Wastewater Facilities*³) para instalaciones que se diseñan en función del caudal de agua residual urbana, que aplica en diferentes estados como Illinois, New York, Indiana, Ohio, Ontario, Michigan, Pennsylvania, Minnesota, Wisconsin o Missouri, y propone el cálculo con la consideración de diferentes aportaciones a la red, según el tipo de uso de agua en la propiedad considerada. En ella se distingue la dotación de agua residual de usos domésticos e industriales, sin consideraciones sobre otros usos.

Las diferencias evidentes entre las configuraciones urbanas que conviven en la Comunidad de Madrid, desde las urbanizaciones de recreo de la sierra de Guadarrama, a las altas densidades de edificación en ciertos barrios de la periferia metropolitana de Madrid capital, dan lugar a sospechas razonables sobre la idoneidad de adoptar un único criterio para el cálculo de los caudales de aguas residuales.

Canal de Isabel II Gestión cuenta con una gran disponibilidad de datos precisos y en cantidad suficiente en el ámbito de la Comunidad de Madrid, que ha permitido la generación de información muy útil de los caudales circulantes en diferentes puntos estratégicos de las redes de los distintos servicios. Esta disponibilidad es fruto de la implementación de proyectos de innovación relacionados con la planificación y operación de los sistemas de abastecimiento, saneamiento y depuración. Destacan por su contribución en este sentido, la sectorización de la red de distribución, el estudio de microcomponentes del consumo doméstico, el panel de monitorización de consumos individuales, y el sistema de telecontrol y sistema de información geográfica corporativos.

¹ Instrucción de Planificación Hidrológica, Ministerio de Medio Ambiente, y Medio Rural y Marino (2008).

² Normas para Redes de Saneamiento, Canal de Isabel II (2006).

³ Recommended Standards for Wastewater Facilities, 2004 edition Wastewater committee of the Great Lakes Upper Mississippi River.

Con la consideración de estos antecedentes, y con la vista puesta en la planificación más eficiente de las inversiones en infraestructuras de saneamiento y depuración, dentro del ámbito de responsabilidad de Canal de Isabel II Gestión, se aborda el trabajo descrito en este documento.

3.1. ANÁLISIS DEL CONTEXTO SUMINISTRO – DEPURACIÓN

A partir de los datos disponibles para el estudio se pudo trabajar sobre la correspondencia de caudales de agua potable entregados a las áreas urbanas, y los caudales de agua residual urbana generados en las mismas. Como se ha indicado, tradicionalmente se ha dado por válida una proporción del 80% entre estos caudales. Este porcentaje probablemente está influenciado por estimaciones dirigidas a análisis de cuencas en su conjunto, y no a áreas urbanas en particular. Se trata ahora de estudiar, en los distintos casos posibles, la relación real entre los caudales reales de los sistemas de abastecimiento y saneamiento y depuración en áreas urbanas conocidas.

El sistema de abastecimiento de Canal de Isabel II Gestión cuenta con 693 sectores, de los que se dispone de medidas en 343 sectores aislados para la estación de verano 2012. Se contó con una fiabilidad “7” (máxima), en 208 sectores (ver Anexo 9.1. Datos disponibles para el estudio).

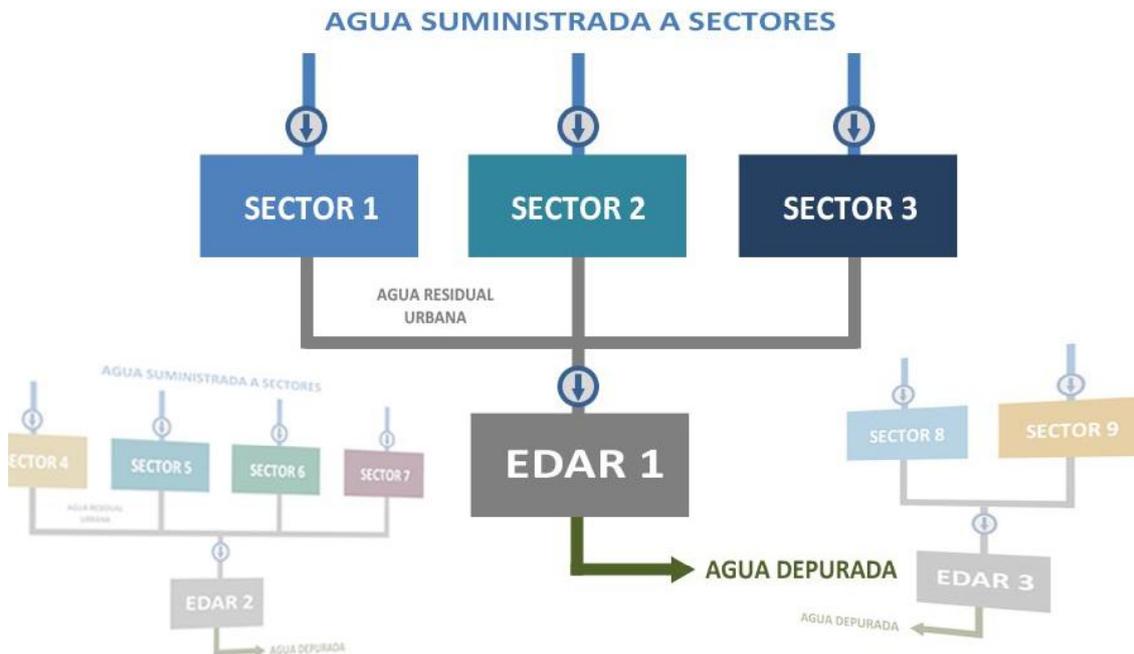
El primer paso para el estudio ha consistido en la comprobación de la relación existente actualmente, entre los caudales suministrados (medidos en entradas de los sectores), y los de llegada a las depuradoras, procedentes de los sectores que drenan en cada una de ellas.

La figura 5 representa el esquema de la relación hidráulica de dependencia de sectores con depuradoras.

Para cada depuradora (EDAR 1 en la figura 5), se comprobó la relación entre la suma de los caudales suministrados a sus correspondientes sectores de abastecimiento (sectores 1 + 2 + 3), con el caudal residual circulante total. Según la disponibilidad de datos, la comprobación se realizó con datos reales de depuración. Se trataba de contrastar la idoneidad de la suposición de la relación del 80% entre caudales de saneamiento y abastecimiento:

$$\frac{\text{Agua entrada a depurada EDAR 1}}{\text{Agua suministrada suma Sectores 1, 2 y 3}} = \% \text{ saneamiento/abastecimiento}$$

FIGURA 5. RELACIÓN DE SECTORES CON DEPURADORAS



El ámbito de estudio se basó en un total de 147 depuradoras con caudal controlado, a las que corresponden 147 cuencas de drenaje diferentes, con distinto grado de fiabilidad en la medida de sus caudales.

La agrupación de sectores para conformar el caudal de agua residual urbana de entrada en cada estación depuradora de aguas residuales (EDAR) se realizó mediante herramientas del sistema de información geográfico corporativo. La fiabilidad del análisis se apoya en la fiabilidad simultánea de ambas fuentes de información.

En el contraste entre los volúmenes suministrados a los sectores de abastecimiento, y los depurados en la correspondiente EDAR, se tuvo en cuenta que:

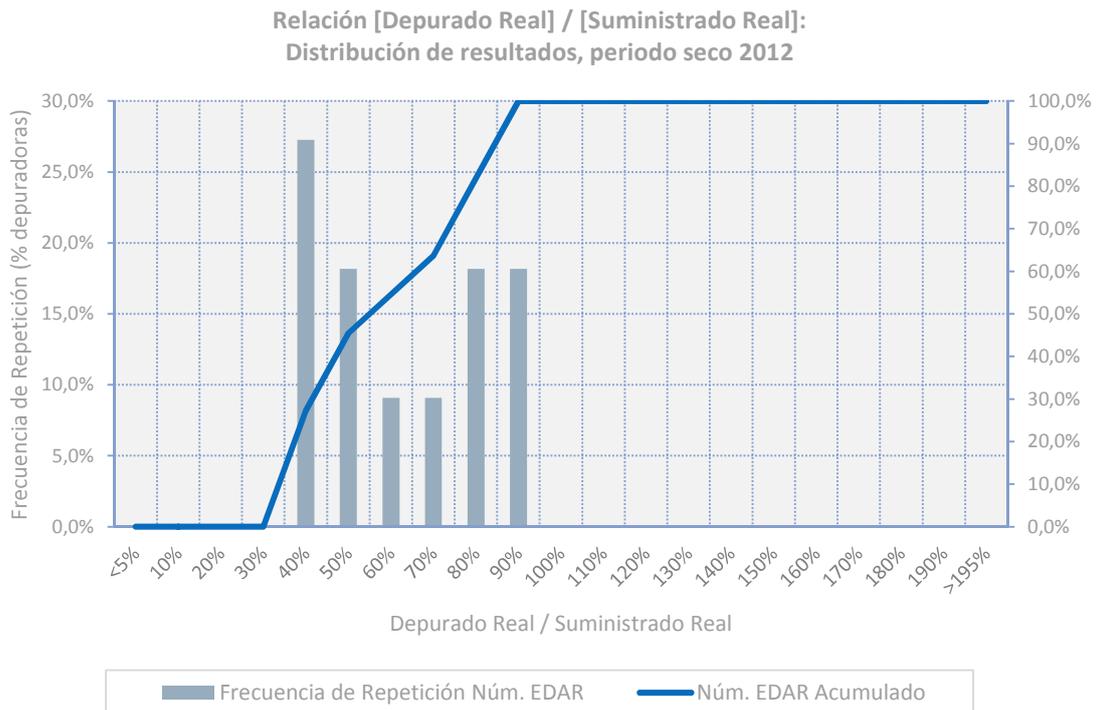
- Parte de los usos de agua en el suelo urbano no genera vertidos al alcantarillado
- Parte de los caudales vertidos al alcantarillado se pierde en el transporte por la red de saneamiento, y no llega a la EDAR

Como se explica en los comentarios a la fiabilidad de los datos (ver Anexo 9.1. Datos disponibles para el estudio), para realizar la comprobación de correspondencia entre **caudales suministrados medidos y depurados medidos** se evitaron los periodos de lluvias, en los que la escorrentía aporta caudales circulantes en el alcantarillado, que perturban el análisis. Con este motivo se ha limitado el periodo de análisis al verano de 2012.

El análisis realizado para cada depuradora, determina el porcentaje real de agua suministrada que realmente retorna al sistema de alcantarillado. En un 82% de los casos, siempre según los valores reales disponibles, se depuraron volúmenes no superiores al 80% del volumen suministrado, y en el 60% de estas depuradoras se midió por debajo del 70% de lo registrado en el suministro a sectores.

La figura 6 muestra el porcentaje de volumen depurado respecto al total suministrado a los sectores cuyos vertidos depuran, para las depuradoras de máxima fiabilidad combinada (Grupo 1, caracterizadas 11 depuradoras; ver Anexo 9.1. Datos disponibles para el estudio).

FIGURA 6. DISTRIBUCIÓN DE FRECUENCIAS DE LA RELACIÓN DE CAUDALES DEPURADO REAL Y SUMINISTRADO REAL EN EDAR. FIABILIDAD MÁXIMA

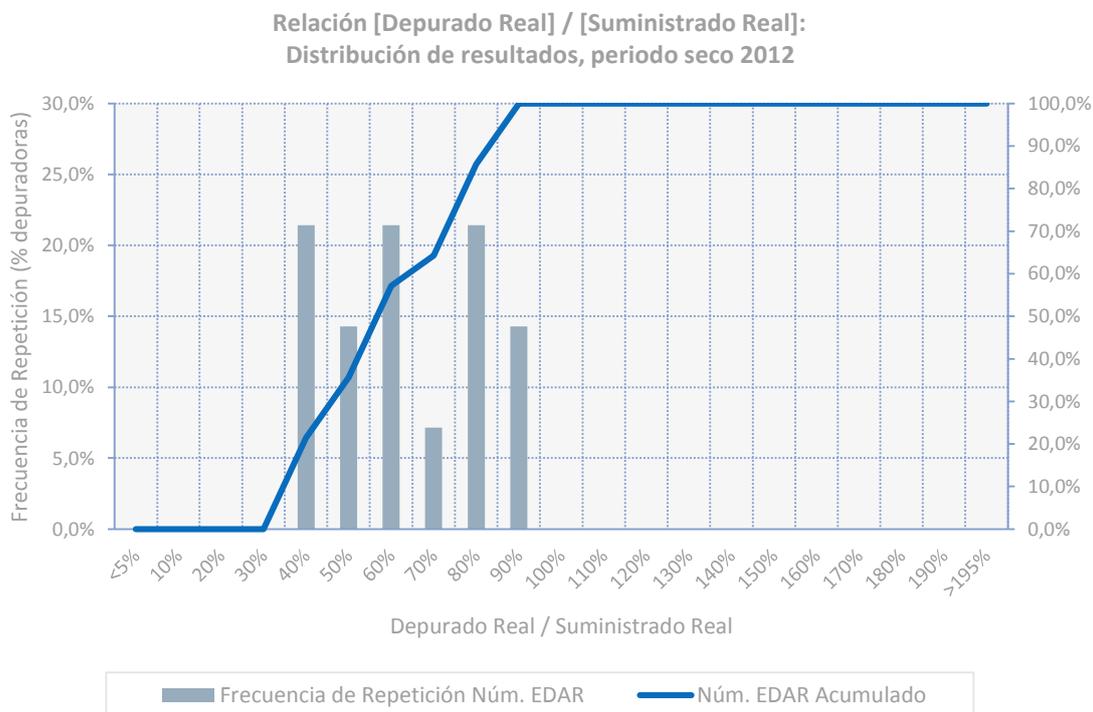


En la figura 7 se ofrece una gráfica para una combinación de fiabilidad más relajada (Grupo 2; ver Anexo 9.1. Datos disponibles para el estudio); el análisis resultó sobre 14 depuradoras y ofrece una dispersión relativamente parecida a la anterior.

En cualquier caso, la proporcionalidad entre caudal depurado real/caudal suministrado real se mostró como no constante.

En ambas muestras se puso de manifiesto la variabilidad de ratios existente entre los volúmenes suministrados y los de entrada al saneamiento y depuración (del 40%, al 90%), a pesar del efecto de compensación que, sin duda, se produjo al sumar sectores de diversa composición y características.

FIGURA 7. DISTRIBUCIÓN DE FRECUENCIAS DE LA RELACIÓN DE CAUDALES DEPURADO REAL Y SUMINISTRADO REAL EN EDAR. FIABILIDAD ALTA



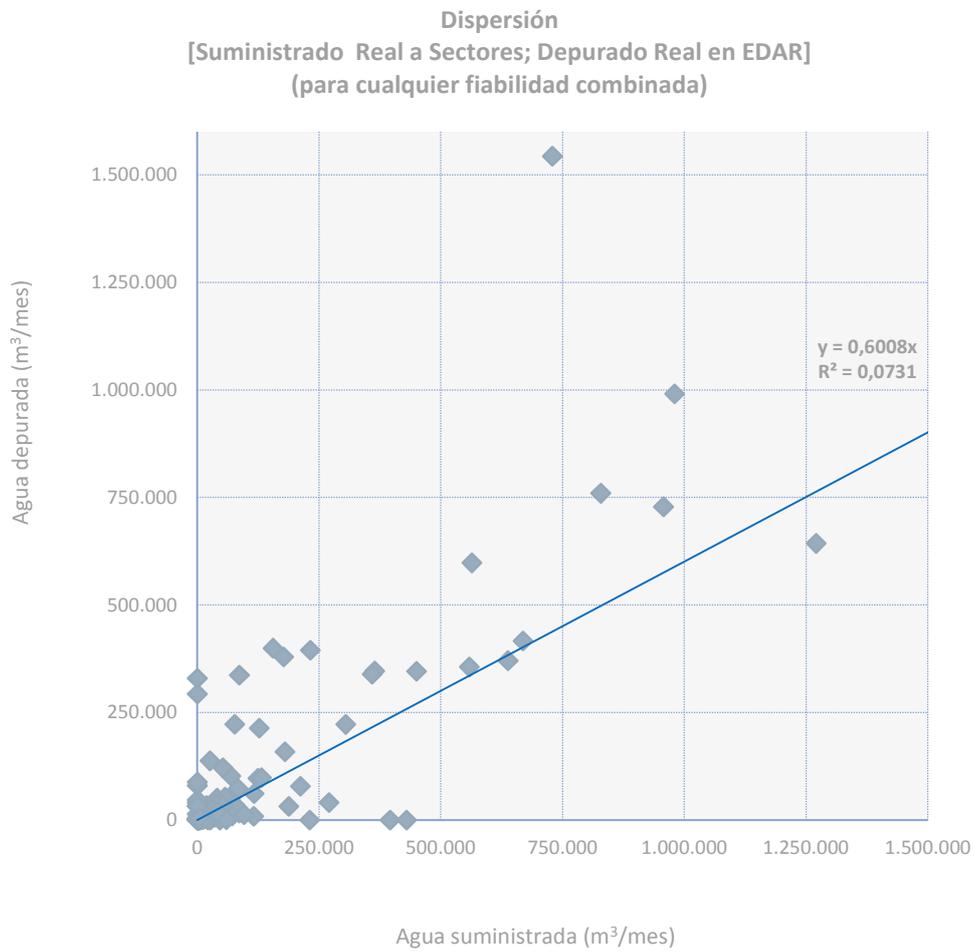
Esta dispersión avala la búsqueda de un criterio de cálculo de caudales de saneamiento que contemple las variadas características de los usos de agua en cada municipio y zona, y del estado de las infraestructuras de saneamiento.

3.2. RELACIONES ENTRE MEDIDAS DE CAUDALES SUMINISTRADOS Y MEDIDAS DE CAUDALES DEPURADOS, SEGÚN DIFERENTES FILTROS DE FIABILIDAD

Se ha realizado un análisis de la relación residual/suministro en el conjunto de los datos disponibles para todas las depuradoras con sus diferentes niveles de fiabilidad.

La relación entre los volúmenes suministrados, medidos en cabeceras de los sectores, y los volúmenes depurados, medidos en las depuradoras respectivas, da lugar a la gráfica de la figura 8. En ella se aprecia la falta de consistencia de la suposición de la relación porcentual fija.

FIGURA 8. DISPERSIÓN ENTRE SUMINISTRADO REAL A SECTORES Y DEPURADO REAL EDAR

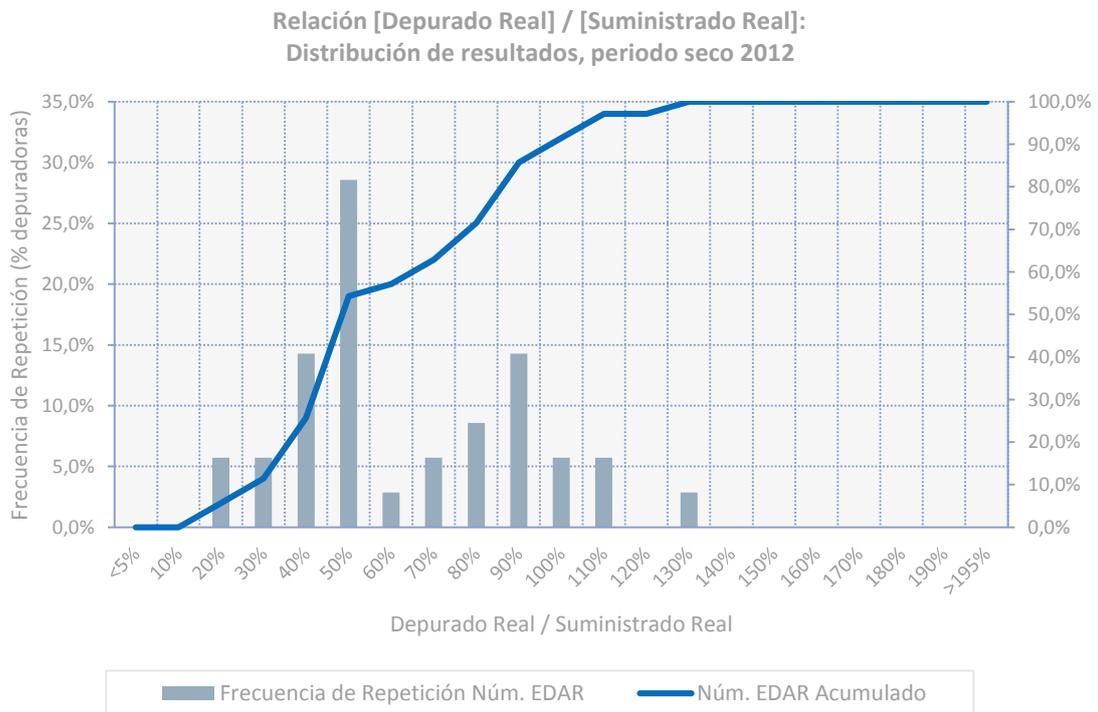


La dispersión resultante se analizó agrupando los resultados de ratios porcentuales de la relación “depurada medida/suministrada medida”.

Se aportan los gráficos de las figuras 9 y 10, seleccionando las depuradoras por grupos, según la fiabilidad combinada que presentan, a añadir a las dos combinaciones ya presentadas.

En la figura 9, se trabajó con las depuradoras del Grupo 3 de fiabilidad (35 depuradoras; ver Anexo 9.1. Datos disponibles para el estudio).

FIGURA 9. DISTRIBUCIÓN DE FRECUENCIAS DE LA RELACIÓN DE CAUDALES DEPURADO REAL Y SUMINISTRADO REAL EN EDAR. FIABILIDAD MEDIA



En este análisis se introdujeron todas las depuradoras que dan servicio a grupos de sectores con medida del caudal de agua suministrada de fiabilidad muy alta. Se ha deshecho la continuidad de la curva de frecuencias acumuladas, apareciendo un punto de inflexión en el punto “hasta 50%” (para la proporción entre caudal depurado respecto caudal suministrado). Aparece además, un subconjunto de frecuencias para relaciones depurado/suministrado altas, con máximo en el 90%. Nótese que existen registros de caudales depurados superiores a los suministrados de agua potable en las áreas a las que da servicio la EDAR: estas depuradoras lógicamente no se consideran de utilidad para los análisis de validación que se elaborarán en el estudio, ya que pueden confirmar errores en los datos o registros, errores en la configuración de los usos y sectores o intrusiones de caudales en la red de saneamiento.

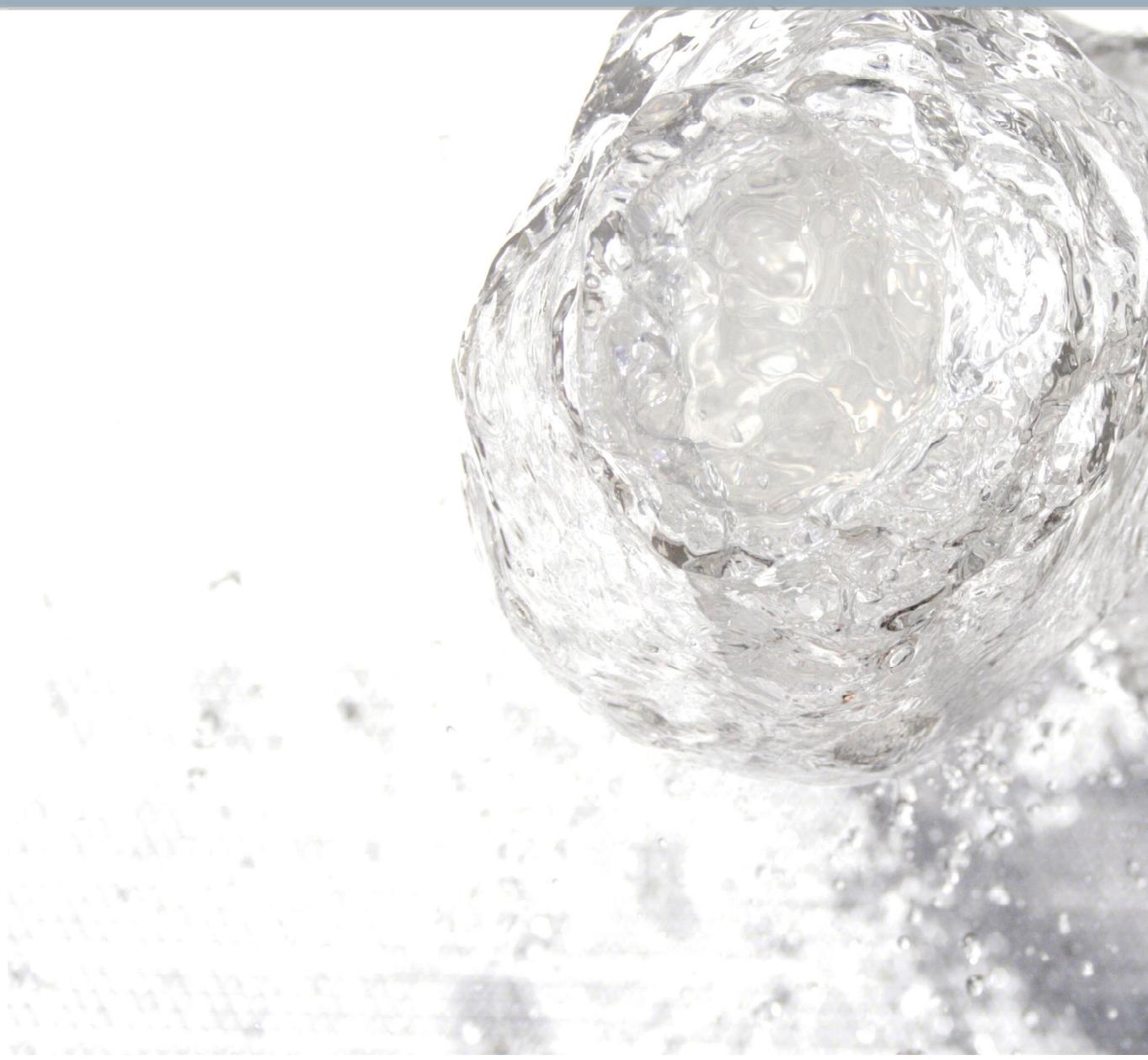
Y en la figura 10, se trabajó con las depuradoras del Grupo 4 de fiabilidad (76 depuradoras; ver Anexo 9.1. Datos disponibles para el estudio).

FIGURA 10. DISTRIBUCIÓN DE FRECUENCIAS DE LA RELACIÓN DE CAUDALES DEPURADO REAL Y SUMINISTRADO REAL EN EDAR. SIN FILTROS DE FIABILIDAD



Introduciendo todos los casos disponibles (con cualquier fiabilidad asignada) se suaviza el efecto de doble campana de la figura 10 anterior.

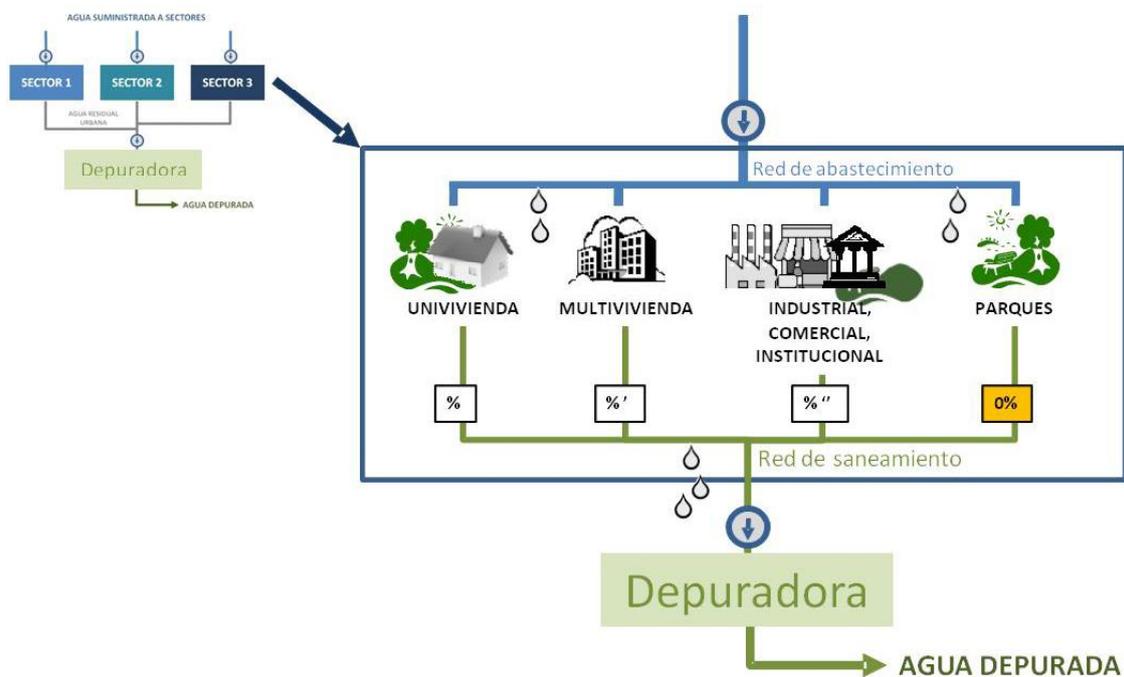
4. Propuesta de un criterio alternativo



El criterio propuesto para el cálculo de caudal de agua residual urbana se fundamenta en la segregación y tipificación de los usos del agua de abastecimiento. La propuesta está orientada al cálculo de caudales en tiempo seco, para el diseño de redes de saneamiento y depuración.

El criterio se basa en la distinción de dos componentes en cada uso que se le da al agua suministrada: un componente “**consuntivo**” y otro que “**vierte al alcantarillado**”. Así, se aplica un porcentaje de vertido diferente para cada uso de agua suministrada (figura 11), de forma que el caudal de agua residual urbana generada por cada sector dependerá de los usos del agua suministrada que efectivamente se realicen en él.

FIGURA 11. VERTIDOS SEGÚN USOS DEL AGUA



Para la concepción de un nuevo método de cálculo, se aprovecharon el conocimiento y las prácticas de diseño de sistemas de abastecimiento. En abastecimiento, el caudal se calcula por agregación de consumos individuales tipificados con sus correspondientes dotaciones individuales. Análogamente, se podría realizar el cálculo del caudal de agua residual urbana, considerando las propiedades individuales con sus dotaciones y coeficientes de retorno específicos. Se abandonaría así el concepto de coeficiente de retorno constante para un área o núcleo de consumo en su conjunto.

Las propiedades se clasifican según el tipo de uso que hacen del agua potable, que determina la proporción de la misma que retorna al alcantarillado. Esto quiere decir que cada tipo de propiedad contará con su “coeficiente de retorno” específico. La determinación del valor numérico del coeficiente de retorno se ha basado en las conclusiones del estudio de microcomponentes y usos finales realizado en la Comunidad de Madrid, y en otros estudios relevantes. Los microcomponentes (y usos finales) del agua potable son cada uno de los destinos a los que se dedica el agua dentro de una propiedad.

De esta manera, el nuevo criterio propuesto se basa en la consideración individual de las “propiedades” generadoras de agua residual. Estas propiedades son las unidades físicas de consumo de agua, que en lo que nos ocupa, se transforman en unidades físicas de aportación de retornos de agua al sistema de alcantarillado. Una propiedad es, en el caso de las viviendas, cada uno de los apartamentos o pisos en las construcciones multivivienda, y cada una de las casas o chalés para el caso de las construcciones univivienda. Y para el caso del resto de usos no domésticos, una propiedad es una unidad natural de consumo o generación de agua. Para el caso de la Comunidad de Madrid y su reglamento de contratación de servicio de agua, una propiedad no doméstica equivale a un contrato: una propiedad por cada local comercial, una propiedad por cada industria, una propiedad por cada toma de agua de usos públicos institucionales, una por cada serie de riegos en viales y parques, etc.

En el caso de los usos domésticos, los microcomponentes distinguen los destinos del agua en duchas, lavadoras, lavavajillas, grifos de mano, inodoros, y usos de exterior en patios y jardines. A partir del conocimiento de las partes proporcionales de cada uno de estos usos finales, se determina qué porcentaje del agua suministrada se devuelve al alcantarillado desde las viviendas, diferenciando estos coeficientes de retorno para hogares en formato multivivienda y univivienda.

Para el resto de usos se ha trabajado de forma análoga. Cabe destacar el caso de los usos de exterior en parques y jardines públicos y privados, de los que se ha supuesto un retorno nulo al alcantarillado.

Para designar un coeficiente de retorno al resto de usos y destinos, que de hecho se realizan u ocurren en las áreas urbanas, se ha tenido en cuenta directamente la intención del nuevo criterio, de representar el porcentaje de agua que circula finalmente por el alcantarillado. Este “resto de destinos” tuvo alguna importancia al trabajar con la comprobación más precisa posible para verificar la validez de este proceso, al incluir usos de agua en purgas y limpiezas de tuberías, usos fraudulentos, etc.

5. Comprobación de la validez del nuevo criterio



Comprobación de la validez del nuevo criterio

Para validar el nuevo criterio propuesto como método de cálculo, se comprobó la bondad del ajuste de los datos reales medidos de caudales de agua residual urbana, con los que resultaron de aplicar los coeficientes de retorno específicos (ajustados para los valores reales) sobre los distintos usos de agua potable medidos en las propiedades consideradas individualmente. Con ello, se convirtieron los flujos de consumo real de agua potable medidos en usuarios, en caudal calculado de agua residual circulante. Luego, se comprobó el encaje de este caudal residual calculado, con los caudales residuales realmente circulantes y llegados a las depuradoras de los sistemas de Canal de Isabel II Gestión.

Esto supuso la definición de un “escenario de calibración” en la que se determinaron todos los destinos del agua suministrada a cada sector de abastecimiento útil para el análisis. Para ello se empleó la base de datos de registros de consumos individuales medidos en contador de usuario, clasificándolos por su tipo de uso. Los volúmenes entregados a las redes de distribución en cada sector que no corresponden con consumos medidos en usuarios (agua no controlada), fueron obtenidos con los métodos de cálculo y estimación empleados en la elaboración de los distintos indicadores de eficiencia de los propios sectores de distribución.

Para todo lo anterior se trabajó sobre una matriz de asignación de áreas de consumo de agua potable (sectores de abastecimiento), sobre sistemas de alcantarillado y colectores (cuencas de drenaje de depuradoras). Necesariamente se han caracterizado los registros según su grado de fiabilidad, atendiendo no sólo a la calidad supuesta del dato, sino a la representatividad y fiabilidad a los efectos que nos ocupan. Como se apuntó en el capítulo 3 “Antecedentes y comprobación de la idoneidad del criterio tradicional”, se ha trabajado con series de datos de periodos secos del año 2012.

Finalmente, los coeficientes de retorno para los usos actuales se fijaron en:

- Usos domésticos, en edificación multivivienda: 1,00
- Usos domésticos, en edificación univivienda: 0,73
- Uso industrial, dotacional y terciario: 0,90
- Usos de exterior (riegos): 0,00

A continuación, se detalla la justificación de los coeficientes utilizados en la formulación específica para la calibración de la propuesta.

5.1. VALIDACIÓN DEL CRITERIO PROPUESTO PARA SUELO URBANO DESARROLLADO

La validación se realizó comprobando la capacidad del criterio propuesto para reproducir mediante cálculo, los caudales circulantes a la entrada de las depuradoras existentes en el ámbito de estudio.

Para ello, en las cuencas de influencia de cada depuradora, se aplicó a los consumos registrados reales en cada propiedad individual su oportuno coeficiente de retorno. La agregación de estos caudales individuales se contrastó con las medidas de reales de caudales circulantes en la entrada de las depuradoras. La figura 12 muestra gráficamente la selección de datos que alimentan la fórmula de validación:

$$\sum (\text{Retornos_Individuales})_i \approx \text{Medida_entrada_Depuradora } i$$

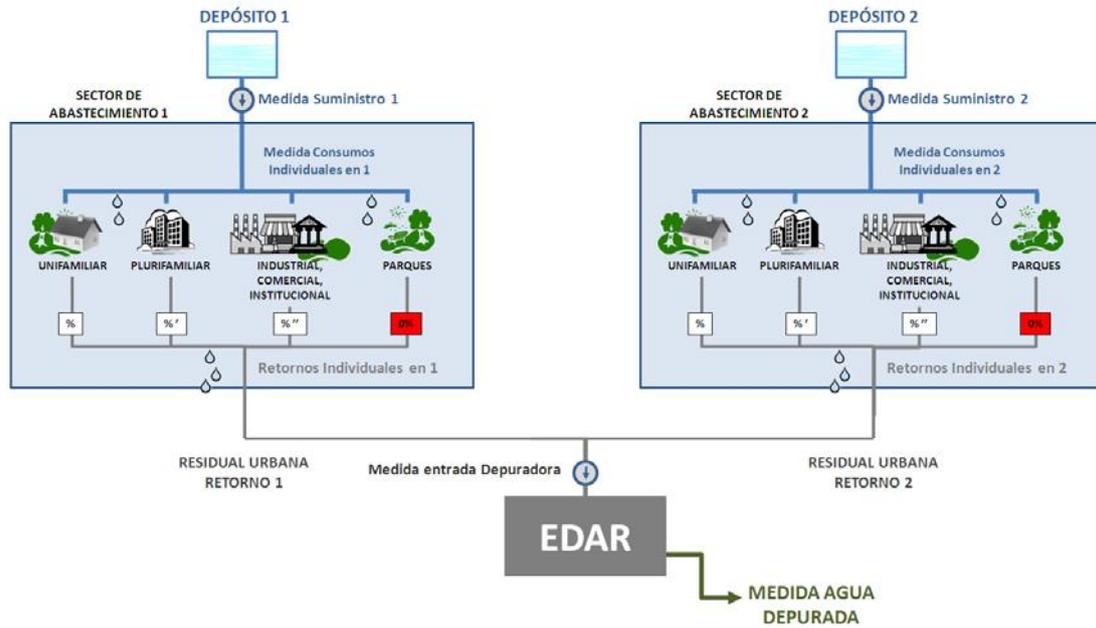
Suma de caudales devueltos al saneamiento ≈ Caudal medido entrada depuradora

Donde:

$$\sum (\text{Retornos_Individuales})_i = \sum (\text{Coeficientes_Retorno} \times \text{Medida_Consumos_Individuales})_i$$

Suma de caudales devueltos al saneamiento = Suma de cada caudal registrado en usuario por su Coeficiente de retorno

FIGURA 12. ESQUEMA DE TRABAJO PARA LA VALIDACIÓN DEL CRITERIO PROPUESTO



5.1.1. Aplicación del nuevo criterio a las circunstancias actuales

En este epígrafe se justifica y explica la utilización de los coeficientes que se muestran en la formulación, y que se ha realizado sobre registros reales de depuradoras y sectores.

- **Doméstico Multivivienda**

El agua residual urbana generada en los usos domésticos en edificación en bloques de viviendas, se calculó como el **100%** del volumen realmente registrado en **uso doméstico multivivienda**, en las áreas estudiadas.

Este volumen se mayoró con el subcuenta propio calculado.

- **Doméstico Univivienda**

Se calculó como el **73%** del volumen realmente registrado en **uso doméstico univivienda**, para cada área en cuestión.

El descuento del **27%** correspondió a los **usos de exterior** típicos de este tipo de viviendas, según los datos vertidos en la publicación Cuaderno de I+D+i *"Microcomponentes y factores explicativos del consumo doméstico de agua en la Comunidad de Madrid"*⁴. La pertinencia en la aplicación de este porcentaje se ha comprobado con el panel monitorizado de consumidores domésticos activo en 2012.

Este volumen se mayoró con el subcuenta propio calculado.

⁴ Cuaderno de I+D+i nº 4 Microcomponentes y factores explicativos del consumo doméstico de agua en la Comunidad de Madrid, Canal de Isabel II, Madrid 2008.

- **Uso Industrial**

Se calculó como el **90%** del volumen realmente registrado en **uso industrial**, en cada área en cuestión.

Se asumió que el **100%** de industrias son de uso de agua no consuntivo, esto es, que devuelven al sistema de saneamiento todo el volumen de agua recibida.

Este volumen se mayoró con el subcontaje propio calculado.

- **Uso Comercial**

Se calculó como el **90%** del volumen realmente registrado en **uso comercial**, en las áreas en cuestión.

Este volumen se mayoró con el subcontaje propio calculado.

- **Uso Institucional**

Se calculó como el **90%** del volumen realmente registrado en uso institucional, en cada área en cuestión.

En particular en el municipio de Madrid se atendió especialmente a la no inclusión de usos de riegos municipales en esta categoría (pues existe cierto solape de tarifas entre usos institucionales y riegos).

Este volumen se mayoró con el subcontaje propio calculado.

- **Fraudes estimados**

Se ha considerado que los fraudes permanentes son de uso doméstico, por lo que se calculó como el **100%** del volumen estimado para el consumo de agua en **conexiones fraudulentas**, en cada área analizada.

La falta de precisión en la estimación de este capítulo hace estéril el esfuerzo de discriminaciones mayores. El reparto del volumen total estimado de fraude en el consumo para la Comunidad de Madrid se repartió proporcionalmente a la superficie comprendida en cada área en estudio.

- **Purgas en la red de distribución**

Se calculó como el **100%** del volumen estimado para el **consumo en purgas** en las áreas estudiadas. El cálculo se basa en el conocimiento individualizado de las actuaciones de purga en la red de distribución, a partir del registro en el sistema corporativo de avisos e incidencias de Canal de Isabel II Gestión. La georreferenciación de estas actuaciones, y la inclusión de registro de datos temporales y de los elementos de desagüe empleados otorgan una fiabilidad alta al método.

- **Limpieza de nuevas tuberías e instalaciones**

Se calculó como el **100%** del volumen calculado para el **consumo en limpiezas**, en las áreas en cuestión. El cálculo de este capítulo se basa en la información de las obras realizadas en el periodo de estudio, tanto de instalación de tubería nueva como de sustitución de elementos existentes. La disponibilidad de esta información en el sistema de información geográfico corporativo y el cumplimiento de las instrucciones técnicas relativas a la limpieza y desinfección de tuberías, hace fiable este cálculo.

- **Usos en riegos controlados, y no controlados; otros usos, y pérdidas reales**

Se asignó el **0%** del volumen registrado o calculado para el resto de consumos del agua suministrada. Con ello se descartaron para el cálculo de agua residual urbana circulante los suministros de agua empleados en usos que no revierten en el alcantarillado.

Comprobación de la validez del nuevo criterio

Puesto que el registro de consumos reales se realiza mediante lecturas en contadores individuales que cuentan con un error inherente, los volúmenes de agua con este origen (base de datos de lecturas individuales) se mayoraron en cada caso con el “Subconteo” propio calculado según los conocimientos adquiridos en el Cuaderno I+D+i nº8 Precisión de la medida de los consumos individuales de agua en la Comunidad de Madrid.

La fórmula de cálculo resultó de la suma de todos los factores anteriores, como se muestra:

$$\begin{aligned}
 Q_{\text{Saneamiento}} = & \text{[Dmv} \cdot (1+S)] \cdot \text{Núm_Multiviviendas} && \text{Multiviviendas} \\
 & + \text{[Duv} \cdot (1+S - \text{Euv} \cdot S - \text{Euv})] \cdot \text{Núm_Univiviendas} && \text{Univiviendas} \\
 & + \text{[Di} \cdot (1+S)] \cdot \text{Área} && \text{Industrias en suelos urbanos desarrollados} \\
 & + \text{[Dc} \cdot (1+S)] \cdot \text{Área} && \text{Comercios en suelos urbanos desarrollados} \\
 & + \text{[Dy} \cdot (1+S)] \cdot \text{Área} && \text{Usos institucionales en suelos urbanos desarrollados} \\
 & + \text{[Fa+P+L]} \cdot \text{Área} && \text{Estimación de fraudes, purgas y limpiezas en suelos urbanos desarrollados}
 \end{aligned}$$

Siendo los conceptos los definidos en la tabla 2.

TABLA 2. CONCEPTOS DE LA FORMULACIÓN DEL NUEVO CRITERIO DE CÁLCULO. ESCENARIO DE CALIBRACIÓN

Concepto	Escenario actual de Calibración
Doméstico Multivivienda [Dmv]	Registrado Real
Doméstico Univivienda [Duv]	Registrado Real
Usos Exterior en Doméstico Univivienda [Euv]	27%
Subconteo [S]	10% (Aproximado, según ámbito y periodo)
Uso Industrial [Di]	90% Registrado Real
Uso Comercial [Dc]	90% Registrado Real
Uso Institucional [Dy]	90% Registrado Real
Estimación de Fraudes [Fa]	100% Según capítulo del Balance Hidráulico
Cálculo o estimación de Purgas [P]	100% Según capítulo del Balance Hidráulico
Cálculo o estimación de Limpiezas de tuberías e instalaciones [L]	100% Según capítulo del Balance Hidráulico

5.1.2. Verificación con registros actuales en depuradoras

Para verificar la adecuación del criterio con los registros disponibles de las depuradoras, se realizaron las agrupaciones de los sectores correspondientes a cada cuenca de drenaje, según los sistemas de saneamiento existentes. Se hubo de comprobar que se cumple para toda EDAR “u” de registro fiable en el periodo de análisis:

$$\sum R_u^c \approx D_u$$

Siendo:

R_u^c Caudal Residual de Validación calculada de los sectores que drenan en la EDAR “u”

D_u Caudal de entrada en la EDAR “u”

La perfecta adaptación del criterio propuesto a la diversidad de consumos, usos y estado del alcantarillado y colectores produciría un acercamiento muy preciso al 100% en la relación entre el caudal calculado y el realmente circulante.

La suma de los resultados de agua residual de sectores para su contraste con medidas reales de depuración dio lugar a una dispersión en los resultados con el 55% de las depuradoras con un ajuste muy bueno (entre el 90% y el 120%). Los valores resultantes más repetidos se sitúan en el 60% y el 120%.

La verificación se muestra en la gráfica de la figura 13, con las 11 depuradoras que tienen las combinaciones de la máxima fiabilidad (Grupo 1, caracterizadas 11 depuradoras; ver Anexo 9.1. Datos disponibles para el estudio).

Para el grupo 2 de fiabilidad, de 14 depuradoras, el resultado muestra una dispersión parecida, excepto en los valores muy altos de la relación. Se volvió a concentrar la mayor frecuencia de resultados entre el 60% y el 120%, como se aprecia en el gráfico de la figura 14.

FIGURA 13. VERIFICACIÓN DE APLICABILIDAD DEL NUEVO CRITERIO PARA REGISTROS DE MÁXIMA FIABILIDAD

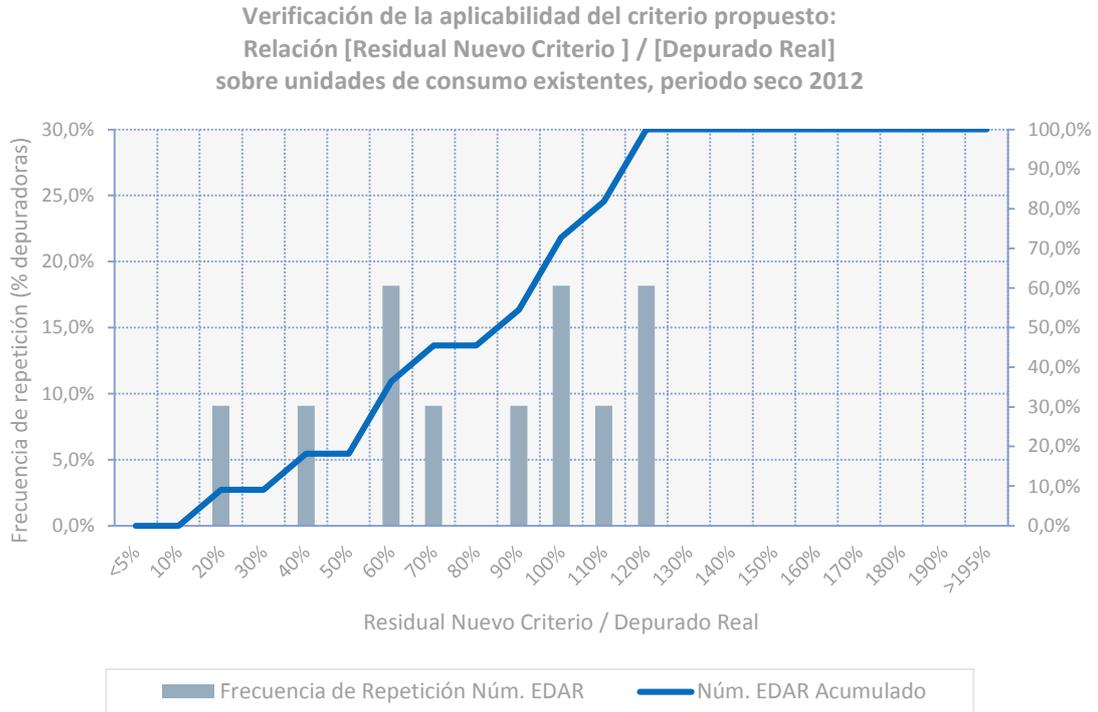
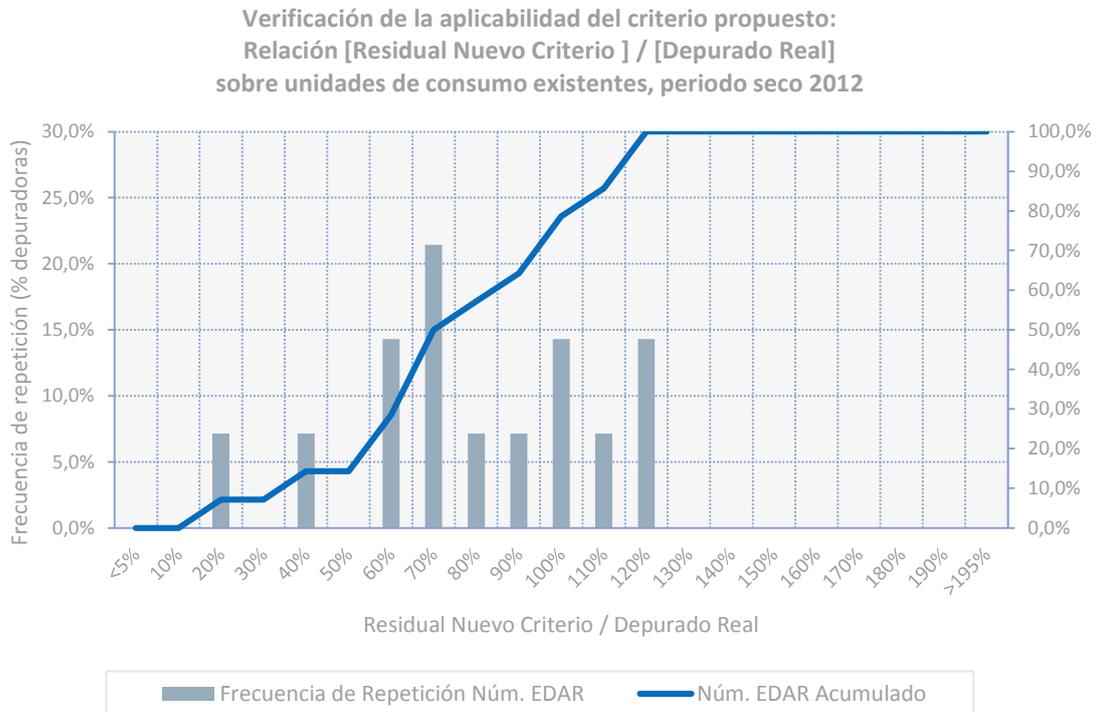


FIGURA 14. VERIFICACIÓN DE APLICABILIDAD DEL NUEVO CRITERIO PARA REGISTROS DE ALTA FIABILIDAD



5.1.3. Valoración del criterio sobre sectores de abastecimiento de forma aislada

Se consideró oportuno realizar además una comprobación de los resultados del cálculo con el nuevo criterio del caudal residual sobre los sectores de abastecimiento con suministro controlado. En esta comprobación se trató de analizar la proporción resultante entre el caudal calculado de agua residual urbana y los caudales suministrados realmente medidos en cabeceras de sectores. Se trabajó como en el resto de aspectos abordados en este documento sobre los datos de meses de verano de 2012. El grupo de ámbitos seleccionados para el análisis se compuso con los sectores con fiabilidad alta.

En todos los casos se esperó un caudal residual calculado menor que el caudal suministrado de agua potable.

Matemáticamente:

$$R_i^c < A_i$$

Para todo sector "i" de suministro fiable en el periodo de análisis.

Siendo:

R_i^c Caudal Residual Urbano para Validación calculado en el sector "i"

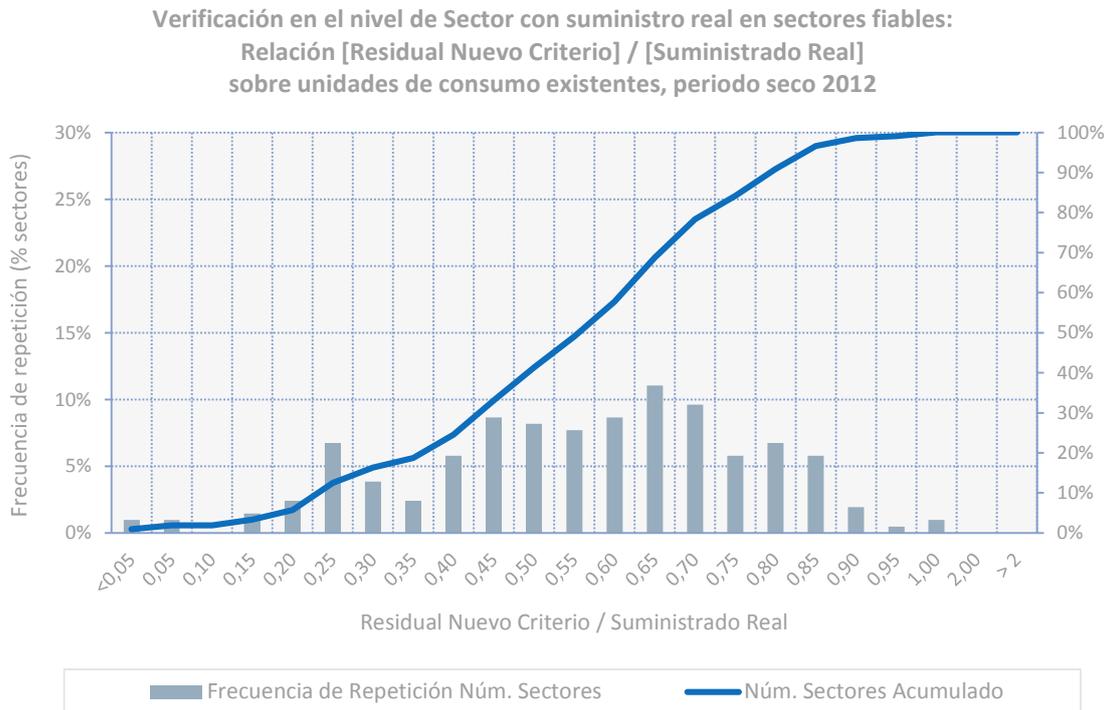
A_i Suministro de abastecimiento en el sector "i"

Resultó que el 80% de los sectores están por debajo de una relación de 0,80 entre el caudal residual calculado con el criterio propuesto y el caudal suministrado realmente medido. El valor más frecuente se sitúa en el 65%.

La gráfica de la figura 15 muestra, para los 208 sectores de más fiabilidad, la relación obtenida entre los caudales de aguas residuales calculadas con el criterio propuesto, y el caudal de suministro realmente medido.

La dispersión resultante es mayor que la obtenida para el análisis de depuradoras, no sólo por el mayor número de casos de estudio, sino por el efecto de compensación que los sectores ejercen entre sí al agruparse en ámbitos mayores (las cuencas de drenaje y depuración).

FIGURA 15. VERIFICACIÓN DEL NUEVO CRITERIO SOBRE SECTORES DE MÁXIMA FIABILIDAD



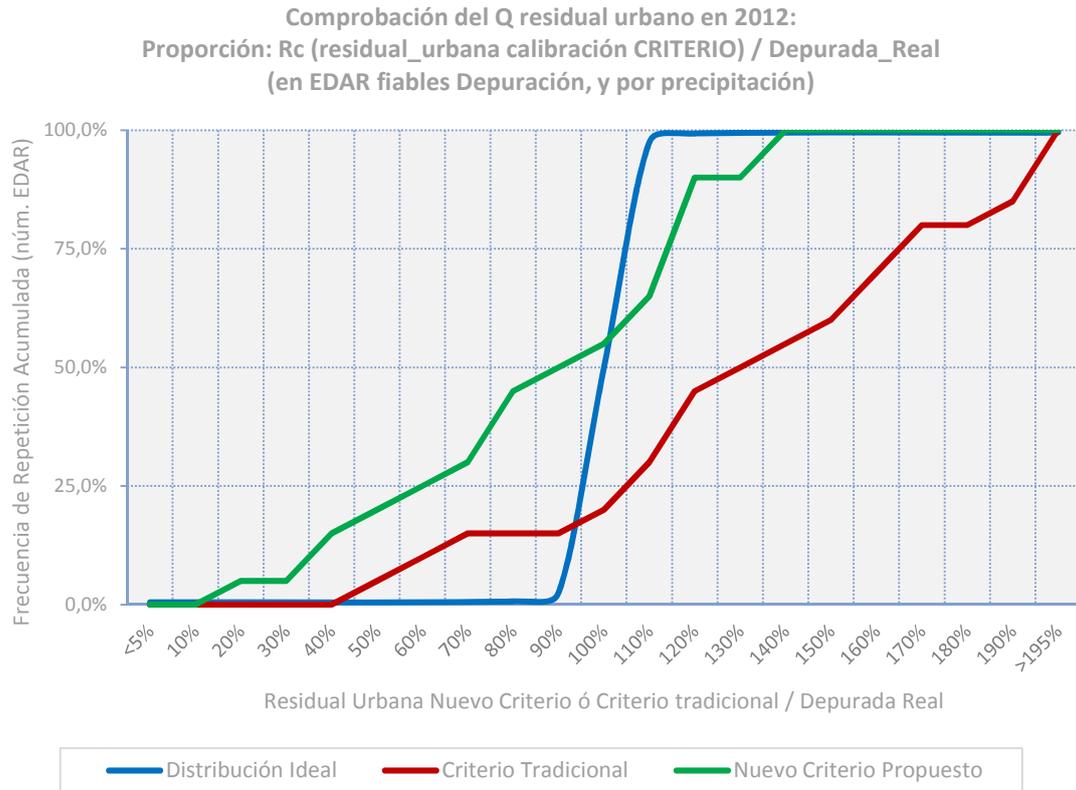
5.2. COMPARACIÓN DEL AJUSTE DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS CON EL NUEVO CRITERIO PROPUESTO Y CON EL CRITERIO TRADICIONAL

Para determinar si se estaba logrando una mejora del ajuste con los cálculos realizados con el “**criterio fijo tradicional**” y con el “**nuevo criterio propuesto**” adaptado para la calibración con datos actuales, se procedió a la comparación simultánea del ajuste de ambos respecto al caudal residual realmente circulante medido en los sistemas de depuración.

Los resultados mostraron un mejor ajuste del nuevo criterio como método de cálculo para aguas residuales urbanas.

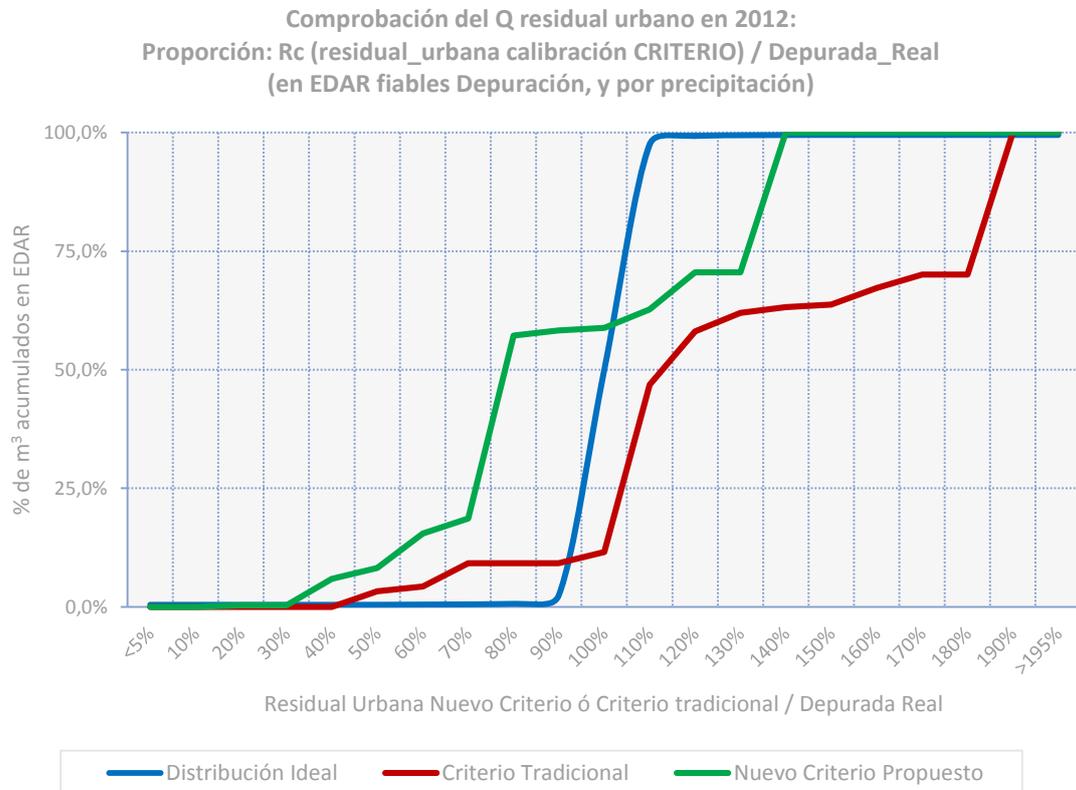
El análisis llevado a cabo se muestra gráficamente mediante la curva de frecuencias acumuladas del número de depuradoras que resultan en cada intervalo de ajuste (% caudal calculado, respecto al realmente circulante). Ver figura 16. La curva presentada en color azul es una referencia gráfica que representa la distribución ideal en la que el caudal de aguas residuales sería igual al caudal depurado para todos los casos analizados.

FIGURA 16. COMPARACIÓN NUEVO CRITERIO PROPUESTO VS. CRITERIO TRADICIONAL. EDAR



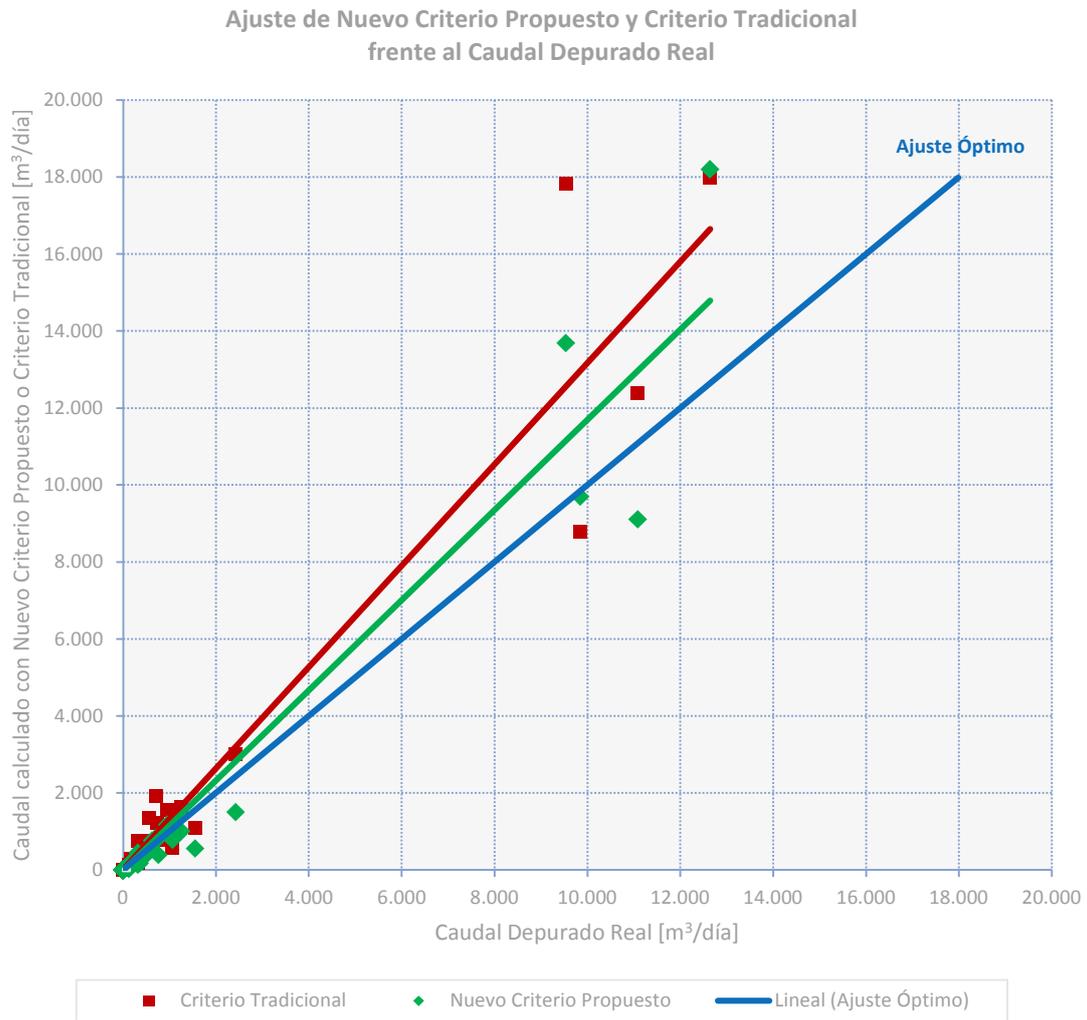
Análogamente, se realizó el análisis del ajuste valorando cuánto volumen se está depurando en los diferentes intervalos de ajuste entre caudales calculados y reales, en lugar de contabilizar el número de depuradoras que integran cada rango, se suman los caudales diarios de éstas. Se comprobó con esta presentación de resultados que se mantiene la mejora aportada por la aplicación del nuevo criterio. Se observa en la figura 17 que efectivamente, el nuevo criterio propuesto se acerca más a la curva ideal que el criterio tradicional.

FIGURA 17. COMPARACIÓN NUEVO CRITERIO PROPUESTO VS. CRITERIO TRADICIONAL. CAUDAL RESIDUAL URBANO EN M³ PONDERADOS



De forma desagregada, para la correcta apreciación de la importancia de las mejoras aportadas por el nuevo criterio, se han representado en el gráfico de dispersión de la figura 18, los datos del cálculo de caudal de agua residual urbana con ambos criterios, frente a lo que realmente depura cada depuradora. Se pone de manifiesto, una vez más, que el nuevo criterio propuesto se ajusta mejor que el criterio tradicional a la proporción ideal entre el caudal depurado real y el resultante para la validación con ambos criterios.

FIGURA 18. NUEVO CRITERIO PROPUESTO Y TRADICIONAL FRENTE AL CAUDAL DEPURADO REAL



Estos análisis permiten concluir que con la definición del nuevo criterio para el cálculo de caudales residuales se ha dado un paso en la dirección adecuada, así como comprobar que aún existe margen de mejora.

6. Formulación del nuevo criterio para el cálculo de caudales de diseño



Habiendo dado por buena la validez mayor de la adecuación a la realidad de dispersión de usos del agua del nuevo criterio descrito, se acometió el diseño de una formulación adecuada para el cálculo de caudales de agua residual urbana orientado a las labores de planificación y dimensionamiento de infraestructuras. La formulación buscada se plantea en términos relativos a las variables empleadas en la planificación y dimensionamiento de las infraestructuras de abastecimiento y distribución. Esto quiere decir que la formulación propuesta para la utilización del nuevo criterio en cálculos de diseño de saneamientos se ha definido con la determinación de los valores de los coeficientes de retorno apropiados a cada dotación de abastecimiento empleada.

Es importante señalar que los trabajos descritos en este documento apuntan al cálculo del caudal medio del día de máximo consumo, y no entra en consideraciones de hora punta de diseño.

La planificación se basa, como se ha dicho, en la definición de ciertos escenarios de trabajo, en los que normalmente convivirán, para el horizonte y la escala espacial que corresponda en cada caso, propiedades asentadas sobre suelo ya desarrollado urbanísticamente, y propiedades de nueva implantación. La separación en estas dos categorías tiene relevancia pues las dotaciones de diseño para cada propiedad suelen estar diferenciadas en las prácticas de dimensionamientos de abastecimientos, y se ha asumido el mantenimiento de esta práctica en el diseño de las infraestructuras de saneamiento y depuración.

Las dotaciones que se han utilizado en este estudio han sido calculadas de acuerdo a la metodología y supuestos indicados en el informe *Proyección de demanda en la Comunidad de Madrid a los horizontes de planificación, revisión 1*⁵. Para el cálculo de los caudales medios diarios de diseño de saneamiento, se tendrá en cuenta el coeficiente de caudal del día de máximo consumo, de igual manera que en las infraestructuras de abastecimiento.

Para la planificación y definición de las infraestructuras de abastecimiento, se considera la siguiente diferenciación de usos del agua:

- Usos domésticos, en edificación multivivienda
- Usos domésticos, en edificación univivienda
- Uso industrial, dotacional y terciario
- Zonas verdes

Esta desagregación coincide con las figuras de planeamiento urbano que más adelante se emplearán para la definición de escenarios futuros.

Cada uno de estos usos del agua potable cuenta con una **dotación actual individual de diseño para propiedades que ya existen** o podrían existir de forma inminente (pues corresponden a suelo ya desarrollado urbanísticamente).

⁵ *Proyección de demanda en la Comunidad de Madrid a los horizontes de planificación, revisión 1*. Canal de Isabel II, Subdirección de Investigación, Desarrollo e Innovación, Madrid, diciembre 2008.

La cuantificación de estas dotaciones corresponde a resultados de trabajos estadísticos sobre consumos reales medidos en series largas en propiedades de la Comunidad de Madrid, a escala municipal para usos domésticos; y clasificados en 11 zonas significativas en las que se divide el territorio, para usos no domésticos. Estas dotaciones de abastecimiento representan el consumo que puede realizarse para el horizonte actual en condiciones de consumos máximos de diseño. El método que aquí se describe identifica los “coeficientes de retorno” adecuados para transformar estas dotaciones de abastecimiento en los caudales individuales de diseño de agua residual urbana para propiedades existentes o de inminente implantación en suelo desarrollado.

Para el cálculo de generación de **agua residual urbana en propiedades que existirán en el futuro**, se parte de las dotaciones de abastecimiento definidas para esas propiedades en escenarios futuros, sobre las que se aplicaron los coeficientes de retorno propios de cada tipo de uso, modificados (respecto a los coeficientes para usos actuales) para adecuarse a las diferencias en la definición de dichas dotaciones. En el caso de las dotaciones futuras, se descontaron en cada caso, las partes proporcionales correspondientes a fugas y otros destinos que no han de computar en el cálculo de aguas residuales, pero que sí se consideraron al definir las dotaciones de abastecimiento.

Se propone entonces la implementación de un nuevo método de cálculo para el caudal de agua residual urbana, basado en coeficientes de retorno diferenciados para cada tipo de uso de agua de abastecimiento y para cada situación de consolidación o planificación de futuro del suelo urbano, según se detalla en la tabla 3.

TABLA 3. COEFICIENTES DE RETORNO PROPUESTOS SEGÚN TIPO DE USO Y SITUACIÓN DE CONSOLIDACIÓN

Concepto	Coefficiente de retorno para dotaciones de diseño	
	Uso en suelo desarrollado	Uso en planeamiento futuro
Doméstico Multivivienda	100%	95%
Doméstico Univivienda	73%	80%
Uso Industrial, Dotacional y Terciario	90%	85,5%
Resto de usos	0%	0%

Estos valores porcentuales resultan del estudio hecho para el caso concreto de Canal de Isabel II Gestión, y dependen, tanto de la definición de las dotaciones de diseño de abastecimiento, como de los componentes de los usos finales en cada tipo de uso. Para otros casos y ámbitos de aplicación, se deberán adaptar los correspondientes coeficientes de retorno.

La determinación de los valores mostrados para los coeficientes de retorno se detalla en los siguientes apartados.

6.1. CRITERIO DE CÁLCULO DE CAUDALES DE DISEÑO SOBRE SUELO URBANO DESARROLLADO

El caudal medio diario de agua residual urbana generado en un área se calcula atendiendo a los usos previstos para el agua suministrada, mediante la consideración de las dotaciones de cada tipo de consumo de forma individual. Así, el caudal de agua residual se compone de las devoluciones al alcantarillado del agua proveniente de usos domésticos univivienda, domésticos multivivienda, y usos en actividades industriales, dotacionales y terciarios. En cada uno de ellos se aplica el coeficiente de retorno propuesto sobre la correspondiente dotación de abastecimiento.

Las dotaciones disponibles para cálculos en el ámbito de la Comunidad de Madrid están diferenciadas para cada municipio en el caso de las dotaciones de usos domésticos (multivivienda y univivienda). Para los usos industriales, dotacionales y terciarios las dotaciones están definidas de forma diferenciada para once zonas socioeconómicas de la Comunidad de Madrid. En el cálculo de las dotaciones domésticas se ha tenido en cuenta la existencia de una cierta proporción de viviendas secundarias, que se ha estimado en el 50% de la diferencia entre las viviendas contempladas en el Planeamiento urbano, y el número de viviendas principales de la proyección oficial de hogares del Instituto Nacional de Estadística.

Estas dotaciones de abastecimiento, para propiedades en suelo ya desarrollado, fueron calculadas explotando datos reales registrados de los meses de junio y julio en cierta serie significativa de años. Para la obtención del caudal de día máximo deberán ser multiplicadas por un coeficiente de día máximo. Este coeficiente es función del número total de propiedades que coexisten en el ámbito de estudio, ya sea un sistema hidráulico local, un depósito de regulación, etc., y representa el coeficiente de simultaneidad de las demandas: a mayor número de propiedades, menor coeficiente de día máximo (pues más raramente se producirá una demanda máxima global simultánea). La formulación del coeficiente de día máximo también responde al análisis de datos reales sobre los sistemas de abastecimiento de sectores en la Comunidad de Madrid.

Se procederá de igual modo para el caso del cálculo de caudales de diseño para el dimensionamiento de saneamientos y depuradoras.

6.1.1. Uso Doméstico Multivivienda

En el caso de las dotaciones clasificadas en la categoría **suelo urbano desarrollado para uso doméstico multivivienda**, el cálculo incluirá el **100%** de las dotaciones de diseño de abastecimiento.

Se corresponderán con las dotaciones en el área significativa en que se ubique la zona o sector considerado.

Estas dotaciones se entienden libres de mayoraciones por partes proporcionales de usos no controlados (fugas, fraudes, usos de operación, etc.).

6.1.2. Uso Doméstico Univivienda

En el caso de las dotaciones clasificadas bajo la categoría **suelo urbano desarrollado para uso doméstico univivienda**, el cálculo incluirá el **73%** de las dotaciones de diseño de abastecimiento del sector en cuestión.

Se corresponderán con las dotaciones en el área significativa en que se ubique la zona o sector considerado.

En este caso, el descuento del 27% corresponde a los usos de exterior típicos de este tipo de viviendas, según los estudios realizados por Canal de Isabel II y publicados en el número 4 de la colección Cuadernos I+D+i *“Microcomponentes y factores explicativos del consumo doméstico de agua en la Comunidad de Madrid”*.

Se ha verificado la congruencia de aplicación de este porcentaje con el panel monitorizado de consumidores domésticos activo en 2012, confirmándose positivamente.

Estas dotaciones se entienden libres de mayoraciones por partes proporcionales de usos no controlados (fugas, fraudes, usos de operación, etc.).

6.1.3. Usos Industriales, Dotacionales y Terciarios

En el criterio de cálculo se contemplará el **90%** de las dotaciones de diseño de abastecimiento en suelo urbano desarrollado para usos industriales, dotacionales y terciarios en el sector en cuestión.

Se corresponderán con las dotaciones en el área significativa en que se ubique la zona o sector considerado.

Este porcentaje establece la relación entre los usos que vierten al alcantarillado y los que no lo hacen, y el porcentaje que se deduce equivale al descuento de las aguas suministradas de diseño para riegos en zonas ajardinadas y otros usos consuntivos.

6.2. CRITERIO DE CÁLCULO DE CAUDALES DE DISEÑO SOBRE ÁREA URBANA EN PLANEAMIENTO NO DESARROLLADO

Para calcular la futura aportación al caudal residual urbano de cada unidad de consumo, se diferencian los 3 grupos siguientes: Uso doméstico multivivienda (bloques de viviendas), uso doméstico univivienda (casas individuales), y usos en suelo industrial, dotacional y terciario. En cada uno de ellos se aplica el coeficiente de vertido propuesto relativo a la correspondiente dotación de abastecimiento.

Por su definición en el ámbito de estudio, las dotaciones de abastecimiento para propiedades futuras incluyen la parte proporcional de fugas en los sistemas de distribución. Este “destino” no produce caudales de saneamiento, y será excluido de los cálculos de agua residual urbana que nos ocupa.

6.2.1. Uso Doméstico Multivivienda en planeamiento no desarrollado

En el criterio de cálculo se contemplará el **95%** de las dotaciones para futuro de diseño de abastecimiento para uso doméstico multivivienda, en el sector en cuestión. Esta dotación de abastecimiento se fijó, para el uso doméstico en edificaciones multivivienda sobre suelo de planeamiento futuro, en 8 litros/m² edificable y día.

El **5%** descontado corresponde con la parte proporcional de pérdidas reales, que no han de ser computadas.

6.2.2. Uso Doméstico Univivienda en planeamiento no desarrollado

En el criterio de cálculo se contemplará el **80%** de las dotaciones para futuro de diseño de abastecimiento para uso doméstico univivienda, en el sector en cuestión. Para el uso doméstico en edificación univivienda, la dotación de abastecimiento para propiedades en planeamiento futuro se fijó en 9,5 litros/m² edificable y día

Este coeficiente de vertido es el resultado de la superposición de:

- el **15,8%** correspondiente a los usos de exterior en este tipo de viviendas, según documento de dotaciones de abastecimiento acordado en Canal de Isabel II Gestión.
- un descuento del **5%** sobre el resultado anterior, correspondiente a la parte proporcional de pérdidas reales, que no han de ser computadas.

6.2.3. Uso Industrial, Dotacional y Terciario en planeamiento no desarrollado

En el criterio de cálculo se contemplará el **85,5%** de las dotaciones para futuro de diseño de abastecimiento para usos industriales, dotacionales y terciarios en el sector en cuestión.

Este porcentaje establece el reparto del **90% / 10%** entre los usos que vierten al alcantarillado y los que no lo hacen (riegos en zonas ajardinadas y otros usos consuntivos), y sobre este resultado, un descuento del **5%** correspondiente a la parte proporcional de pérdidas reales, que no han de ser computadas.

6.3. RESUMEN DE APLICACIÓN PARA EL CÁLCULO

En el cálculo, con dotaciones en litros por metro cuadrado edificable, se aplica la fórmula siguiente:

$$Q_{\text{Saneamiento}} = [D_{mv}] \cdot \text{Núm_Multiviendas} + [D_{uv} \cdot (1 - E_{uv})] \cdot \text{Núm_Univiendas} + [D \cdot (1 - K)] \cdot \text{Área}$$

En la tabla 4 figuran los coeficientes aplicables en la formulación para el cálculo de caudal de agua residual urbana de diseño, en función del concepto y del tipo de suelo, ya sea urbano desarrollado o que figure, previsto como tal, en el planeamiento urbano.

TABLA 4. CONCEPTOS DE LA FORMULACIÓN DEL CRITERIO DE CÁLCULO, SUELO URBANO Y SUELO URBANO EN PLANEAMIENTO FUTURO

Concepto	En cálculo de Diseño sobre Suelo	
	Urbano Desarrollado	Urbano Planeamiento Futuro
Doméstico Multivienda [Dmv]	100% Dotación actual de diseño	95% Dotación para futuro de diseño
Doméstico Univienda [Duv]	100% Dotación actual de diseño	95% Dotación para futuro de diseño
Usos Exterior en Doméstico Univienda [Euv]	27% Dotación actual de diseño	15,8% Dotación para futuro de diseño
Uso Industrial, Dotacional y Terciario (único) [D]	100% Dotación actual de diseño	95% Dotación para futuro de diseño
Factor de usos no consuntivos en uso industrial, dotacional y terciario [K]	10%	10%

Y, atendiendo al escenario de calibración empleado en el capítulo de validación de la propuesta del nuevo criterio, el resumen de aplicación para el cálculo en todos los escenarios es el que sigue.

Formulación del nuevo criterio para el cálculo de caudales de diseño

$$\begin{aligned}
 Q_{\text{Saneamiento}} = & \text{[Dmv} \cdot (1+S)] \cdot \text{Núm_Multiviviendas} && \text{Multiviviendas} \\
 & + \text{[Duv} \cdot (1+S - \text{Euv} \cdot S - \text{Euv})] \cdot \text{Núm_Univiviendas} && \text{Univiviendas} \\
 & + \text{[D} \cdot (1-K)] \cdot \text{Área} && \text{áreas dotacionales para diseño} \\
 & && \text{en suelos urbanos desarrolladas o futuros} \\
 & + \text{[Di} \cdot (1+S)] \cdot \text{Área} && \text{industrias para calibración} \\
 & && \text{en suelos urbanos desarrollados} \\
 & + \text{[Dc} \cdot (1+S)] \cdot \text{Área} && \text{comercios para calibración} \\
 & && \text{en suelos urbanos desarrollados} \\
 & + \text{[Dy} \cdot (1+S)] \cdot \text{Área} && \text{usos institucionales para calibración} \\
 & && \text{en suelos urbanos desarrollados} \\
 & + \text{[Fa+P+L]} \cdot \text{Área} && \text{estimación de fraudes, purgas y limpiezas} \\
 & && \text{para calibración en suelos urbanos desarrollados}
 \end{aligned}$$

Los conceptos son los definidos en la tabla 5.

TABLA 5. CONCEPTOS USADOS EN LA FORMULACIÓN DEL CRITERIO DE CÁLCULO Y CALIBRACIÓN

Concepto	Diseño en suelo desarrollado	Diseño de Planeamiento Futuro	Calibración
Doméstico Multivivienda [Dmv]	Dotación actual de diseño	95% Dotación para futuro de diseño	Registrado Real
Doméstico Univivienda [Duv]	Dotación actual de diseño	95% Dotación para futuro de diseño	Registrado Real
Usos de Exterior en Doméstico Univivienda [Euv]	27%	15,8%	27%
Subconteo [S]	-	-	10% (Aproximado, según ámbito y periodo)
Uso Industrial, Dotacional y Terciario (único) [D]	Dotación actual de diseño	95% Dotación para futuro de diseño	-
Factor de usos no consuntivos en uso dotacional [K]	10%	10%	-
Uso Industrial [Di]	-	-	90% Registrado Real
Uso Comercial [Dc]	-	-	90% Registrado Real
Uso Institucional [Dy]	-	-	90% Registrado Real
Estimación de Fraudes [Fa]	-	-	100% Según capítulo del Balance
Cálculo o estimación de Purgas [P]	-	-	100% Según capítulo del Balance
Cálculo o estimación de Limpiezas de tuberías e instalaciones [L]	-	-	100% Según capítulo del Balance

7. Estimación de la trascendencia del cambio de criterio



Una vez validado el criterio y formulada la aplicación del mismo para el cálculo de caudales sobre escenarios presentes y futuros, se procedió a cuantificar la trascendencia de la posible adopción del nuevo método de determinación de caudales de diseño para el sistema de depuración de la Comunidad de Madrid.

Para valorar este posible “impacto”, se trabajó sobre los escenarios de diseño para horizontes actuales y futuros. De estos análisis destacan por su importancia el escenario actual de diseño, y el escenario a largo plazo.

En el horizonte actual, escenario de diseño, se comprobó el cambio del ratio entre caudales de diseño de aguas residuales y de abastecimiento, inducido por el cambio de criterio de cálculo para caudales de aguas residuales.

En el horizonte actual se comprobó también la trascendencia del cambio con la comparación entre los resultados de diseño de las depuradoras existentes, a modo de simulación de un hipotético, *a posteriori* rediseño de caudales de día máximo.

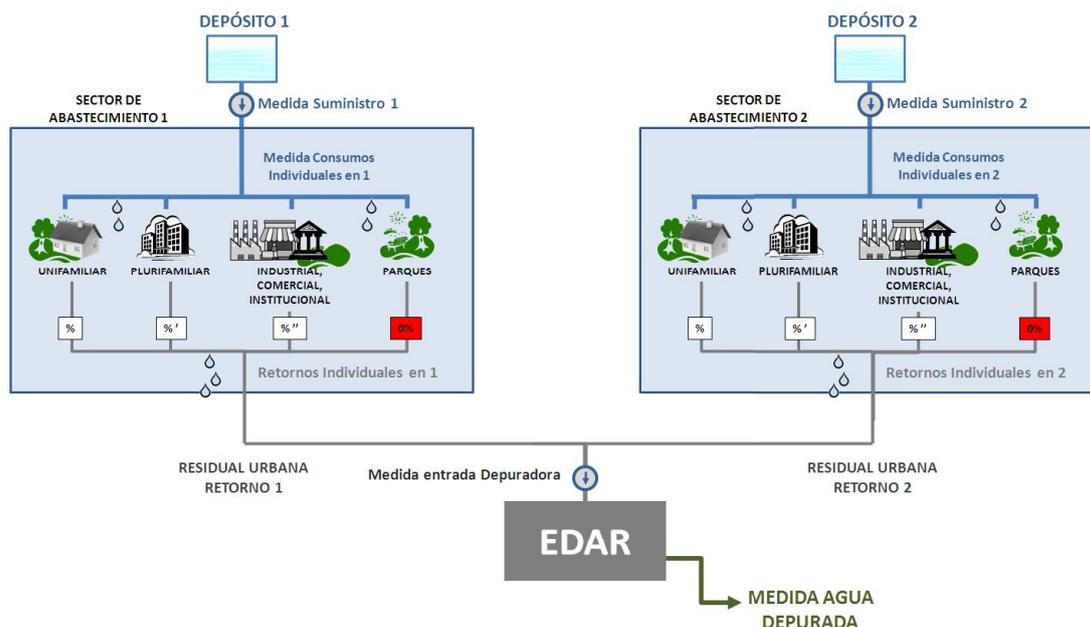
En el escenario de diseño a largo plazo se analizó el impacto del cambio de criterio, cuantificando los cambios en caudales residuales de diseño (caudal medio del día de máximo consumo) para las nuevas depuradoras y las ampliaciones de las existentes, previstas en la planificación de la Comunidad de Madrid.

Este análisis se realizó aplicando los coeficientes de retorno oportunos sobre las unidades de consumo individuales de abastecimiento previstas en el horizonte a largo plazo, con sus correspondientes dotaciones de diseño. Con ello se calculó el caudal residual correspondiente a ese escenario para cada depuradora en estudio, y se pudo comparar con los resultados obtenidos por el método tradicional (del 80% del caudal de diseño de abastecimiento). En la figura 19 se representa gráficamente este ejercicio de análisis.

$$\text{Caudal Residual Urbano} = \sum (\text{Dotaciones_diseño_abastecimiento} \times \text{Coeficientes_Retorno}) \text{ i}$$

Caudal medio del día punta en Depuradora = Suma de las dotaciones de abastecimiento por sus correspondientes Coef. de Retorno

FIGURA 19. ESQUEMA DE TRABAJO PARA LA VALIDACIÓN DEL CRITERIO PROPUESTO



7.1. COMPROBACIÓN DEL CAMBIO INDUCIDO EN EL RATIO ENTRE CAUDALES DE DISEÑO RESIDUAL URBANO Y DE ABASTECIMIENTO

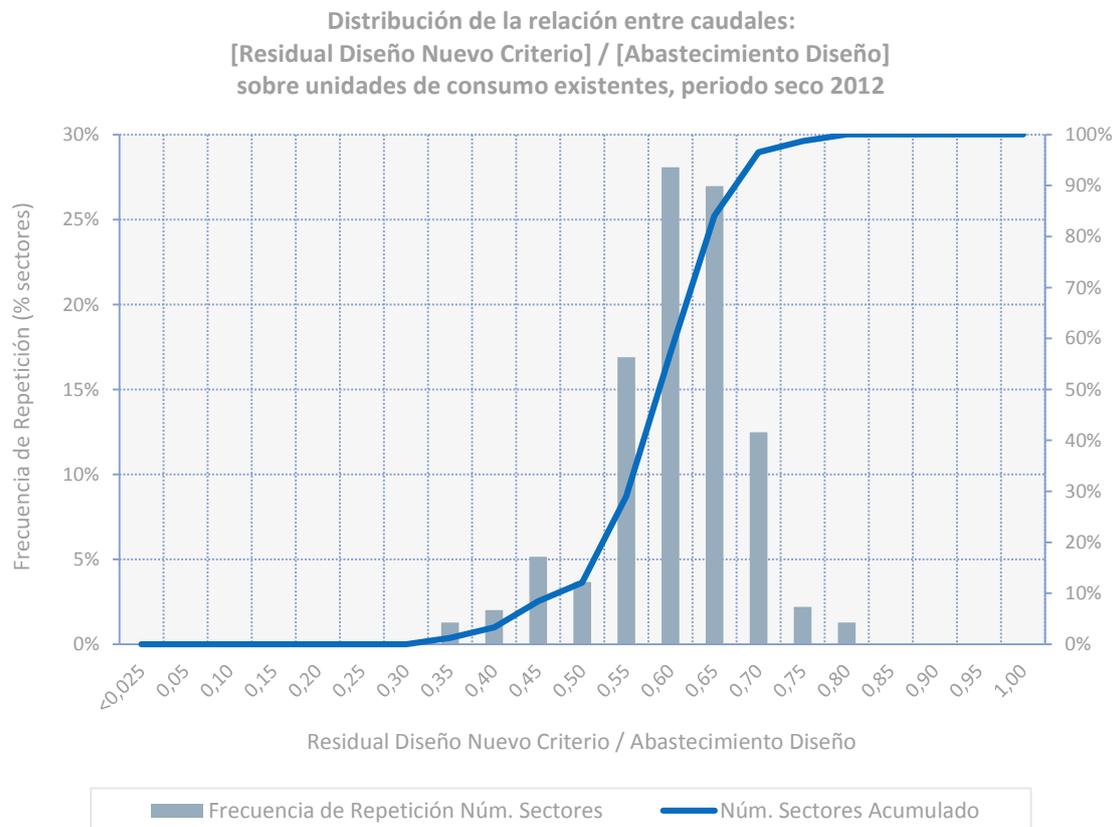
El objeto del estudio no es la propuesta de un cambio en el ratio entre caudales de diseño de aguas residuales y de abastecimiento, sino de un método más preciso y adaptable de estimación de caudales residuales. Aún así, no cabe duda de que comprobar el ratio resultante en casos reales de diseño ilustra el impacto del cambio inducido por el nuevo criterio. Esta comprobación se muestra en los párrafos siguientes, para el escenario de diseño (consumo máximo diario), en el horizonte actual (propiedades existentes diciembre 2012).

7.1.1. Trascendencia del cambio de criterio para la escala “Sector de abastecimiento”

A escala de sector, se comprueba la relación del **caudal residual de diseño** calculado con el criterio propuesto, y el **caudal de abastecimiento de diseño**.

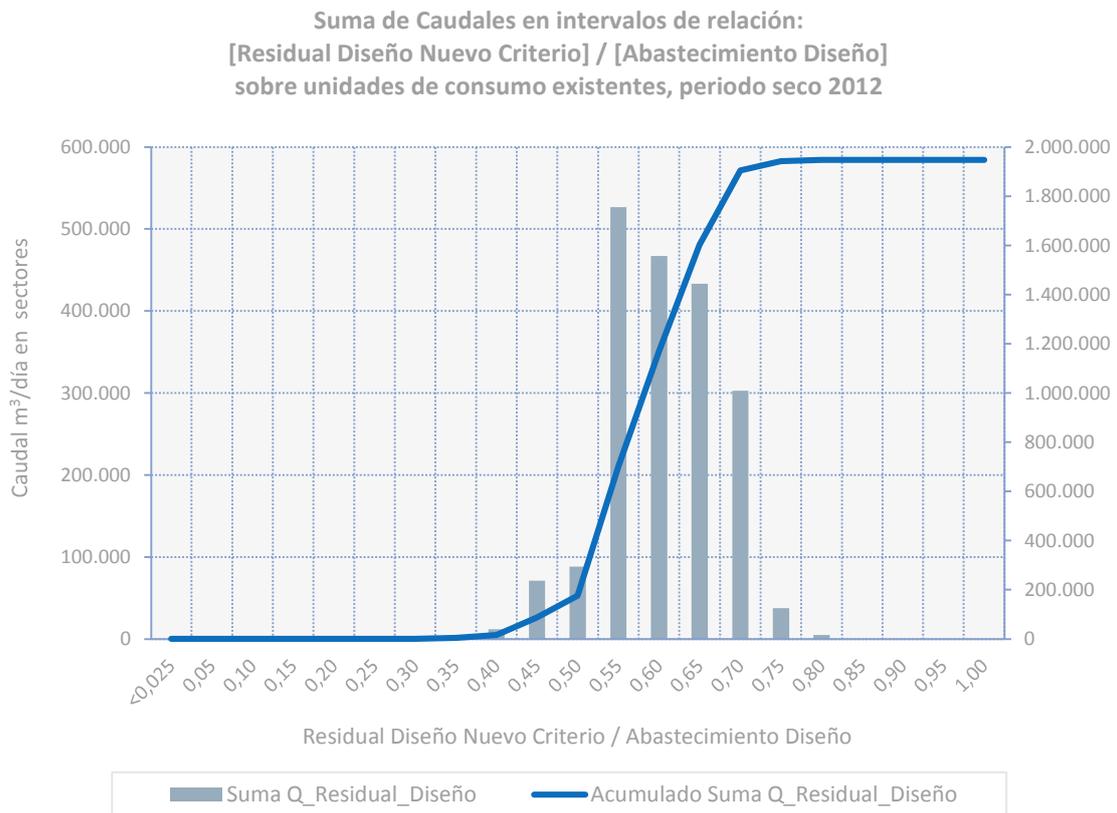
Se representa (ver figura 20) en forma de frecuencia de repetición para intervalos del ratio de **residual de diseño** (según el criterio propuesto), respecto a **abastecimiento de diseño**.

FIGURA 20. DISTRIBUCIÓN DE SECTORES SEGÚN EL RATIO DE CAUDALES RESIDUAL DISEÑO NUEVO CRITERIO Y ABASTECIMIENTO DISEÑO



En términos de volúmenes, para los mismos intervalos del ratio entre caudales de diseño, se dibuja el perfil de la figura 21, que representa el caudal residual urbano acumulado en cada intervalo del ratio estudiado.

FIGURA 21. DISTRIBUCIÓN DE CAUDAL ACUMULADO SEGÚN LA RELACIÓN DE CAUDALES DE DISEÑO NUEVO CRITERIO Y ABASTECIMIENTO DE DISEÑO EN EL NIVEL SECTOR

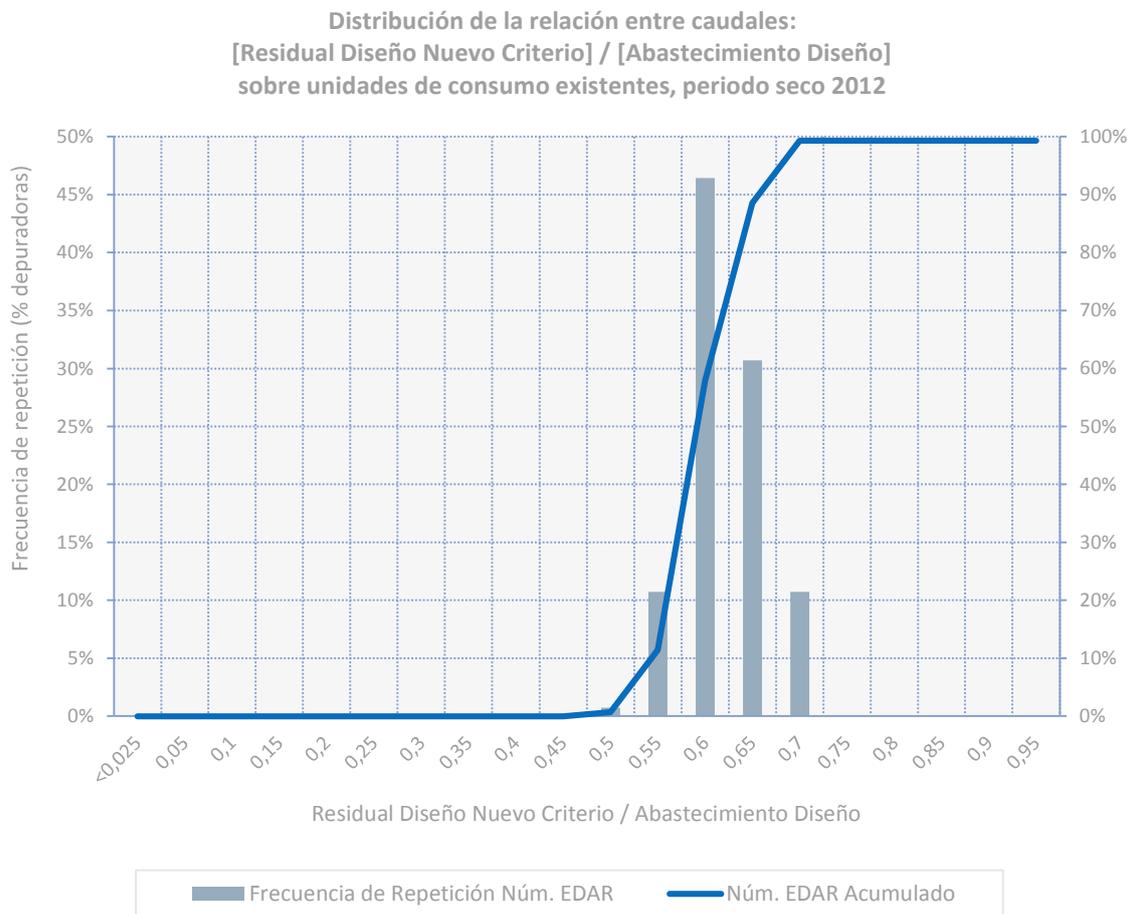


7.1.2. Trascendencia del cambio de criterio para la escala “Depuradora”

Agrupando los sectores en sus cuencas de drenaje a depuradoras, cambian las condiciones de diseño al introducir los coeficientes de simultaneidad. Las gráficas de las figuras 22 y 23 muestran los resultados obtenidos, en los que se aprecia el agrupamiento entre los ratios 55% y 70% de la relación estudiada.

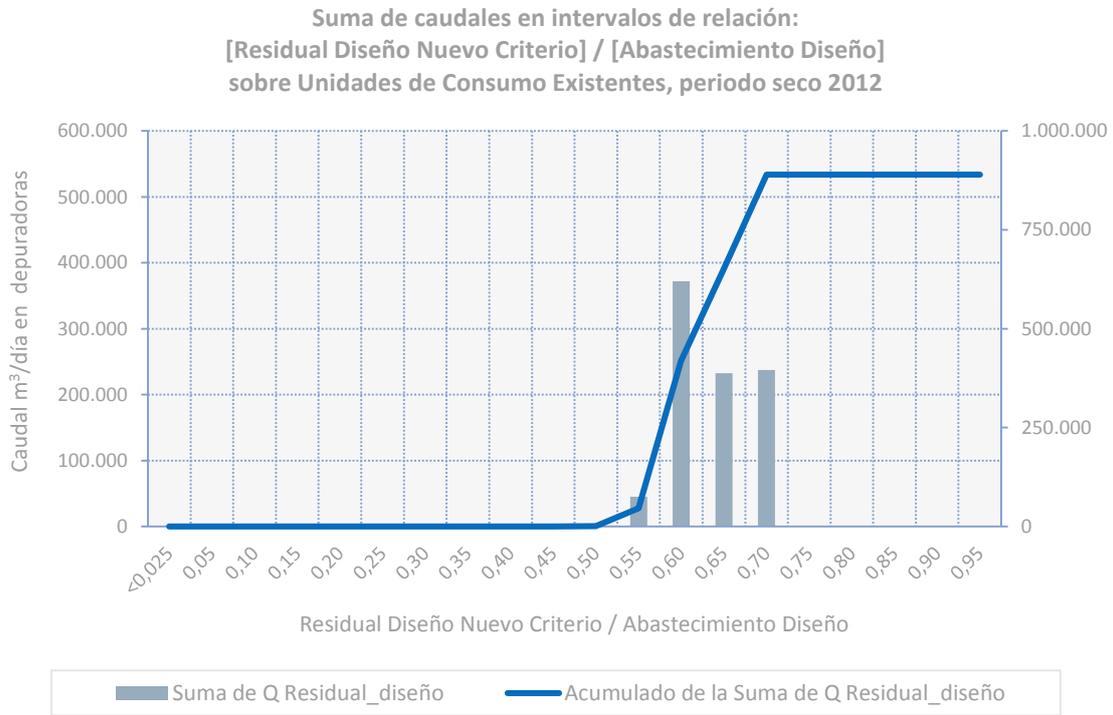
La relación del **caudal residual de diseño de entrada** a la EDAR, calculado con el criterio propuesto, y el **caudal de abastecimiento de diseño** de los sectores que drenan en la EDAR, (calculado con las unidades de consumo existentes).

FIGURA 22. DISTRIBUCIÓN DE EDAR SEGÚN EL RATIO DE CAUDALES RESIDUAL DISEÑO NUEVO CRITERIO Y ABASTECIMIENTO DISEÑO



Y sobre esta distribución de las depuradoras, según el ratio **residual de diseño/abastecimiento de diseño**, se calcula el **caudal residual urbano de diseño acumulado** en cada intervalo.

FIGURA 23. DISTRIBUCIÓN DE CAUDAL ACUMULADO SEGÚN LA RELACIÓN DE CAUDALES DE DISEÑO NUEVO CRITERIO Y ABASTECIMIENTO DE DISEÑO EN EL NIVEL EDAR



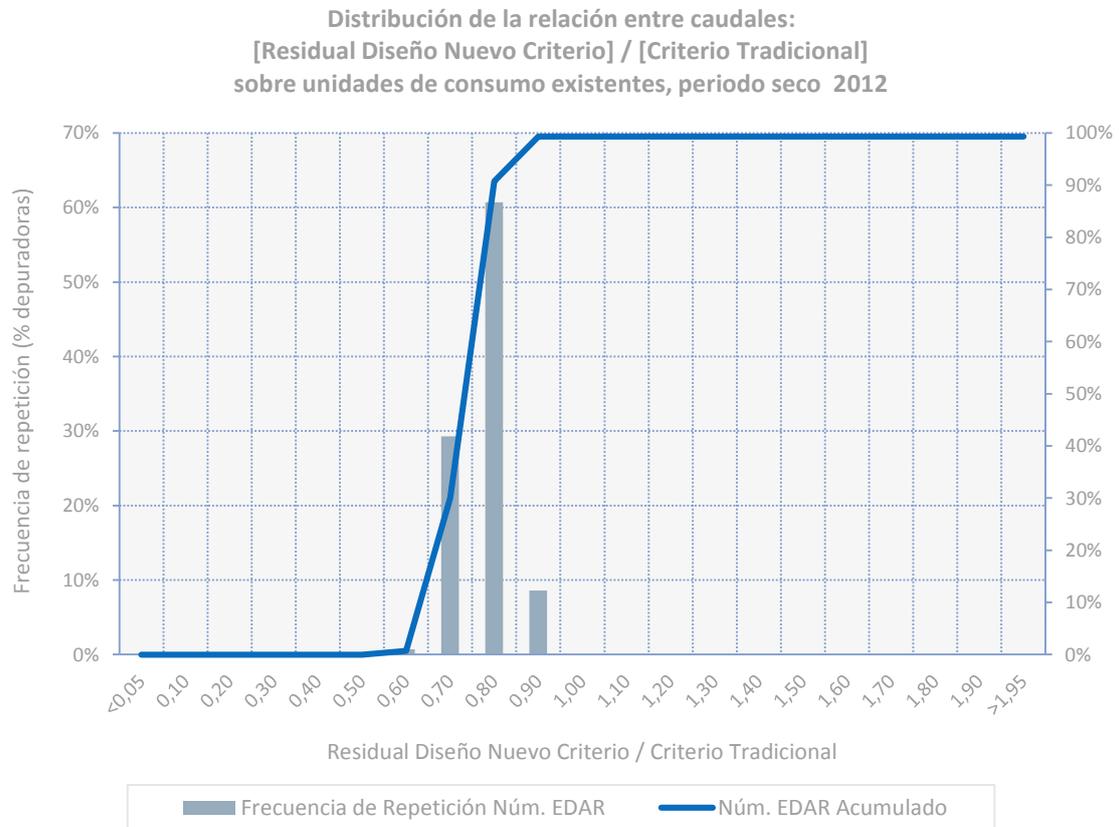
La aplicación del criterio propuesto al diseño de infraestructuras de saneamiento y depuración genera diferencias respecto a la aplicación del criterio tradicional, pasando del 80% a valores que se sitúan en el entorno del 65%.

7.2. ESTIMACIÓN DEL IMPACTO DEL CAMBIO DE CRITERIO EN LA PLANIFICACIÓN SOBRE UN SISTEMA REAL DE DEPURACIÓN. COMPARACIÓN CON EL CRITERIO TRADICIONAL

7.2.1. Análisis para el caso de las depuradoras en el horizonte actual

Se construyó la curva de frecuencias del ratio entre residual de diseño, con el criterio propuesto, y el residual de diseño tradicional (80% del abastecimiento de diseño). Para los casos estudiados, el caudal residual de diseño para el día máximo rebaja en torno a un 10% los valores que resultarían con el criterio tradicional (ver figura 24).

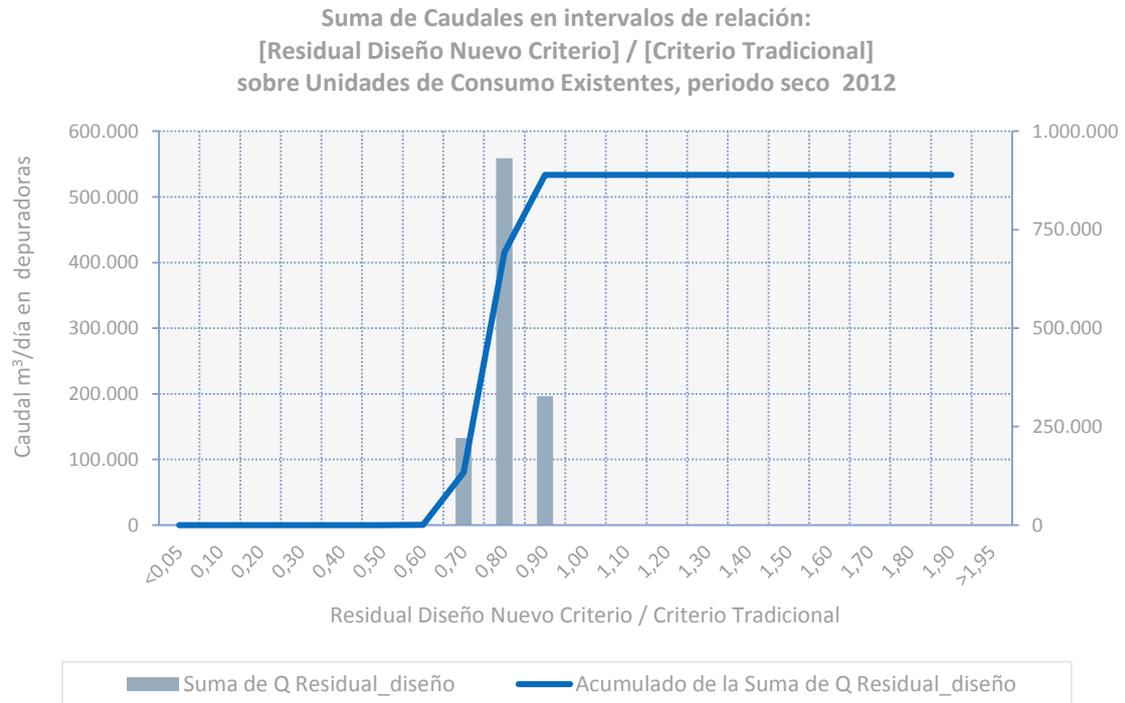
FIGURA 24. DISTRIBUCIÓN DE EDAR SEGÚN EL RATIO DE CAUDALES: RESIDUAL DISEÑO NUEVO CRITERIO Y CRITERIO TRADICIONAL



Este mismo análisis se realizó, en lugar de con el número de depuradoras, para los volúmenes de depuración que corresponden a cada caso. Se observa la importancia del peso de las depuradoras que resultaron con un ratio mayor que 0,8 (entre el caudal residual calculado con el criterio propuesto y el calculado con el 80% del caudal suministrado). Así mismo, las depuradoras que resultaron con descuentos mayores, son las de menor caudal de diseño. Ver figura 25.

Del análisis de estas dos figuras se concluye claramente que aplicando el nuevo criterio propuesto en el diseño de las infraestructuras de saneamiento y depuración sería requerida una menor inversión.

FIGURA 25. DISTRIBUCIÓN DE CAUDAL ACUMULADO SEGÚN LA RELACIÓN DE CAUDALES DE DISEÑO NUEVO CRITERIO Y CRITERIO TRADICIONAL EN EL NIVEL EDAR



7.2.2. Comparación de resultados de diseño sobre sectores en el horizonte actual

De la misma manera que se ha hecho en las dos figuras anteriores, se plantea el gráfico de la figura 26, representadas para el nivel de sector.

En la gráfica de la figura 26 se presentan las diferencias generadas con los dos criterios de cálculo de volúmenes de residual urbana, para cada intervalo del ratio criterio propuesto/criterio tradicional.

El resultado muestra la señalada diferencia acumulada en volumen entre ambos criterios, de una forma más acusada que lo detectado a nivel de depuradora.

La agregación de cálculos sobre sectores individuales no coincide exactamente con los mostrados para depuradoras, pues el coeficiente punta de día de máximo consumo depende del número de propiedades sobre el que se está considerando el cálculo.

Si se comparan en un gráfico de dispersión (figura 27) los caudales residuales de diseño calculados con el nuevo criterio propuesto y lo que están depurando realmente las depuradoras, se puede apreciar que se cuenta con un margen de seguridad en el diseño cuando se aplica este nuevo criterio propuesto, o lo que es lo mismo, el nuevo criterio propuesto es fiable en su aplicabilidad.

FIGURA 26. DIFERENCIA DE CAUDALES DE DISEÑO ENTRE AMBOS CRITERIOS EN SECTORES

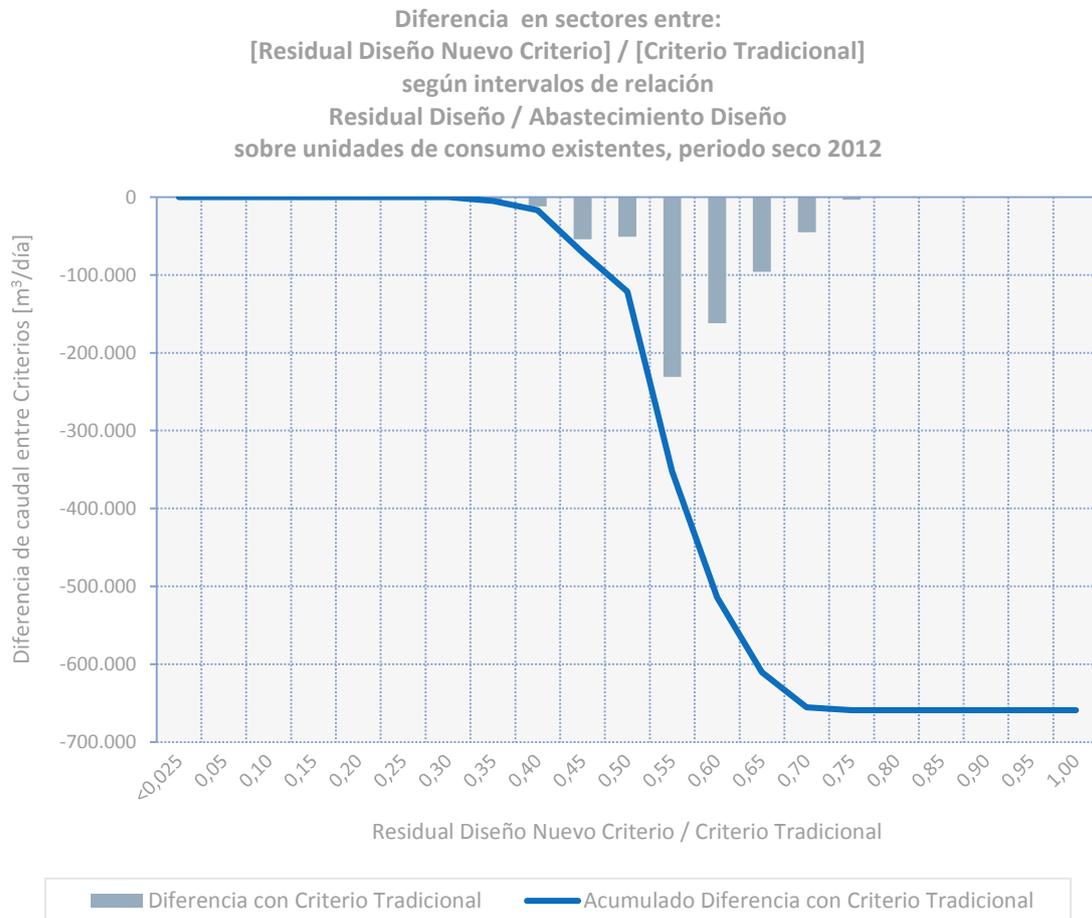
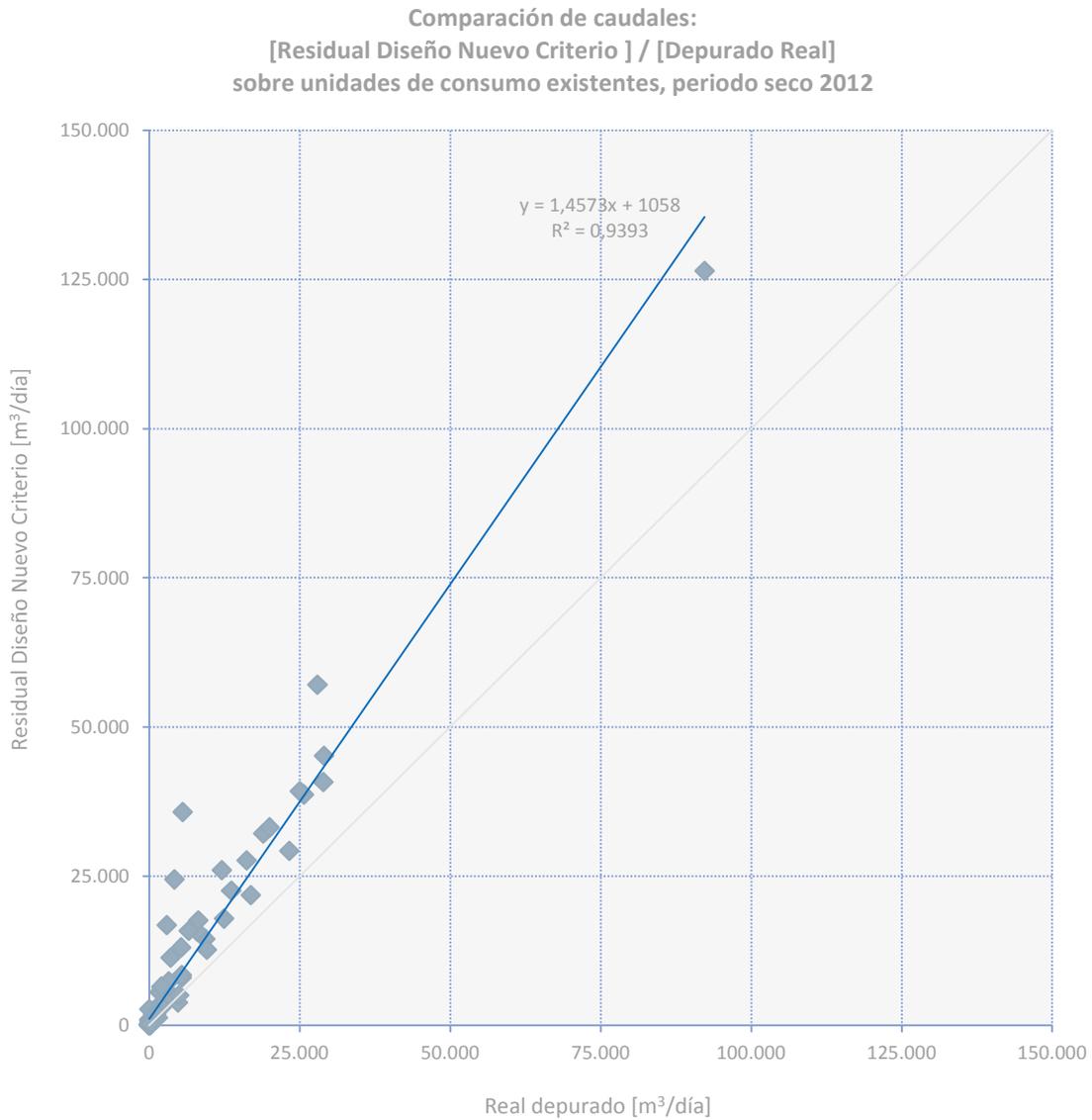


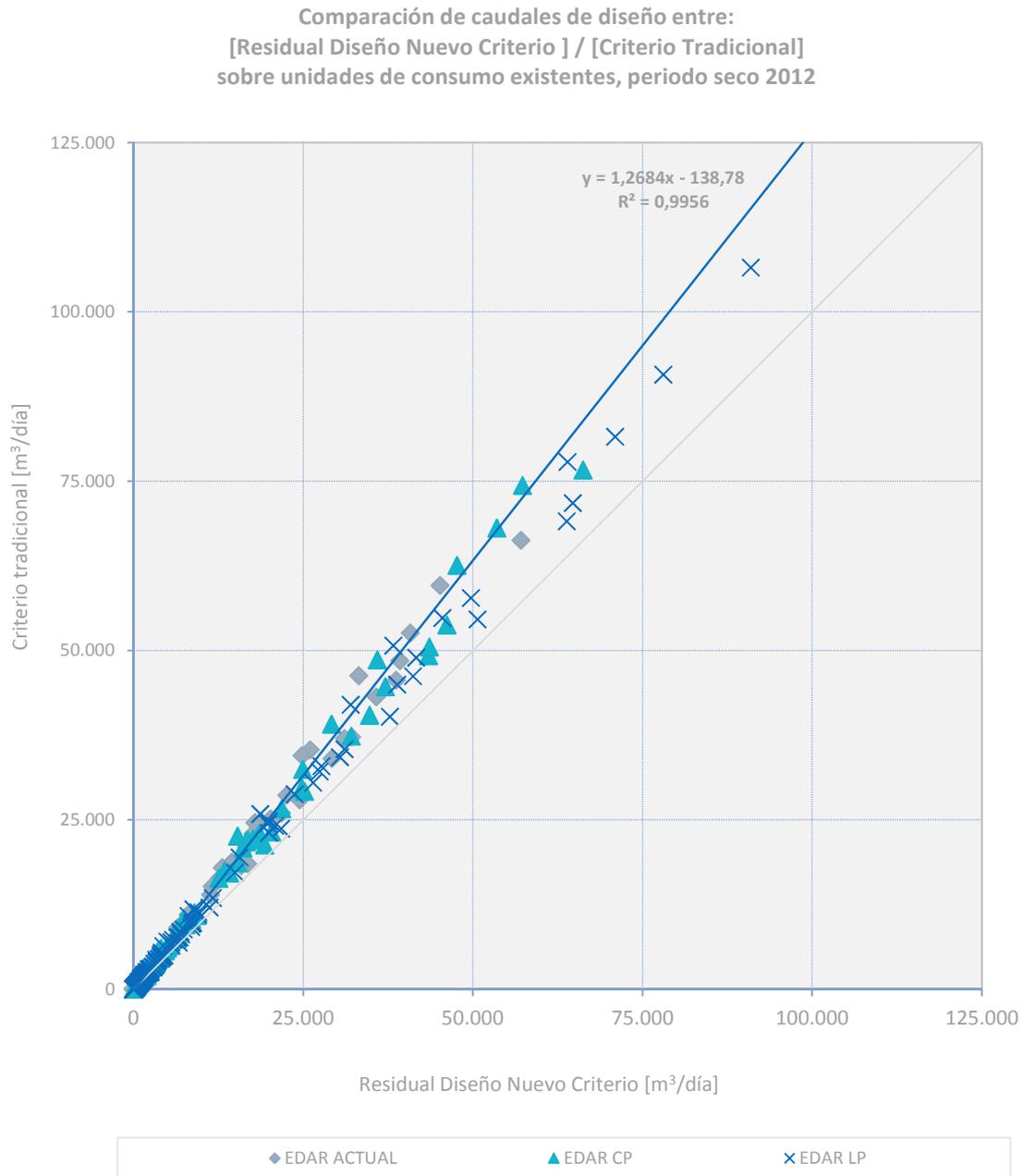
FIGURA 27. COMPARACIÓN DE CAUDALES, RESIDUAL DISEÑO NUEVO CRITERIO Y DEPURADO REAL



Se añadió la comprobación de los caudales de diseño calculados con el criterio tradicional y el nuevo criterio propuesto, en diferentes escenarios futuros de corto, medio y largo plazo. Los resultados para el escenario actual se muestran en la figura 28.

Del análisis se pudo concluir que el criterio tradicional dimensiona con un carácter demasiado conservador. Por tanto, si aplicamos el nuevo criterio propuesto en el planeamiento y el diseño de las infraestructuras de saneamiento y depuración será necesaria una menor inversión, en comparación con lo que resultaría con la aplicación del criterio tradicional, como se muestra en el apartado siguiente.

FIGURA 28. COMPARACIÓN DE CAUDALES DE DISEÑO ENTRE AMBOS CRITERIOS

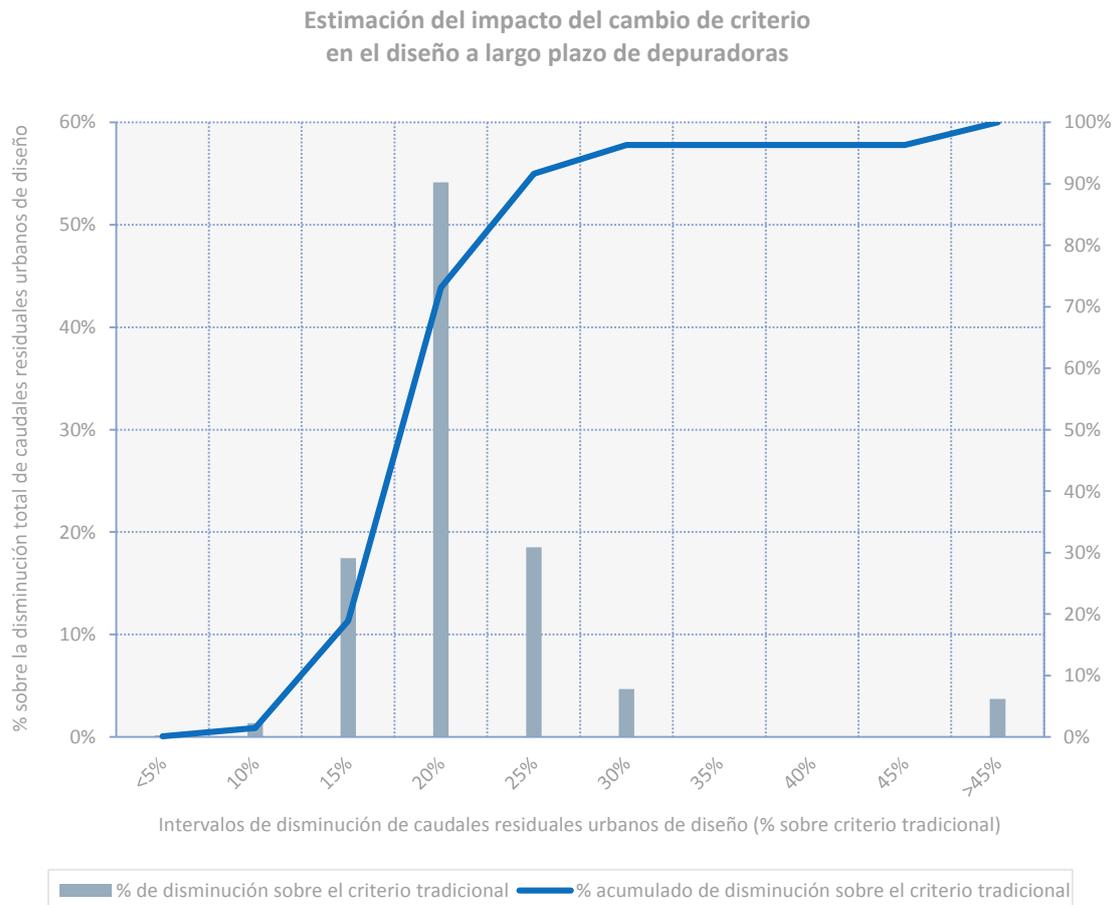


7.2.3. Estimación de la trascendencia en la planificación

Considerando significativo el horizonte a largo plazo (año 2027), se comparó, para cada depuradora ampliada y nueva prevista (según la planificación de inversiones de Canal de Isabel II Gestión), las solicitudes, en términos de caudal diario para el día de máximo consumo, calculadas con el nuevo criterio propuesto y con el criterio tradicional.

Se concluyó que la adopción de un método de cálculo para caudales de agua residual urbana basado en coeficientes de retorno individualizados para cada tipo de uso, desprende un resultado global que minora en un 15% el resultado del cálculo obtenido con el criterio tradicional. El 74% de las actuaciones previstas para este horizonte resultaron con una disminución de caudales residuales en el intervalo del 10% al 25%, acumulando un “ahorro” del 90% de la disminución total calculada. Más concretamente, el 37% de las actuaciones estudiadas resultaron con una disminución de caudales residuales en el intervalo del 15% al 20%, concentrando un 54% del “ahorro” total. Ver figura 29.

FIGURA 29. REPARTO DE LA DIFERENCIA TOTAL DE CAUDALES DIARIOS DE DISEÑO EN INTERVALOS DE REDUCCIÓN PORCENTUAL INDIVIDUAL, RESPECTO AL CRITERIO TRADICIONAL, PARA LA PLANIFICACIÓN DE DEPURADORAS A LARGO PLAZO EN LA COMUNIDAD DE MADRID



8. Conclusiones



Conclusiones

Se constata una gran dispersión en los ratios de transformación de caudales suministrados, a los que alcanzan los sistemas de saneamiento.

Las variaciones zonales de estos ratios en los registros de contraste fiables disponibles se mueven entre el 40 y el 90%, con los valores más frecuentes en el entorno del 60%, que resulta alejado del 80% tradicional.

La aplicación del criterio propuesto se adapta mejor a las particularidades de los distintos usos del agua que se producen en cada zona. La comprobación realizada en las hipótesis y valores registrados actuales ha dado validaciones significativas en las muestras con mayor fiabilidad. Los valores más frecuentes apuntan hacia el 100% de coincidencia entre el valor registrado y el resultante de la aplicación del criterio propuesto.

La dispersión en los ratios de comprobación no debe interpretarse como una reducción de la validez del criterio propuesto, ni de la variada fiabilidad de los registros, sino como un reflejo de la variación que existe respecto al criterio único propuesto para cada unidad y tipo de consumo, la variabilidad en las pérdidas (reales y aparentes) en redes de distribución y en las de alcantarillado.

Una aproximación de contraste teórico de los porcentajes del valor de diseño de suministro que resultarían de aplicar este criterio a la situación actual en todo el ámbito de la Comunidad de Madrid (sector a sector), ha mostrado variaciones zonales en el rango del 35 al 80%, con un 70% de los casos entre el 55 y el 70% del ratio (residual de diseño sobre suministrado de diseño).

Una valoración equivalente con las agrupaciones zonales que drenan a cada EDAR concentran, en el intervalo del 55 al 70% del ratio, el 90% de las EDAR estudiadas.

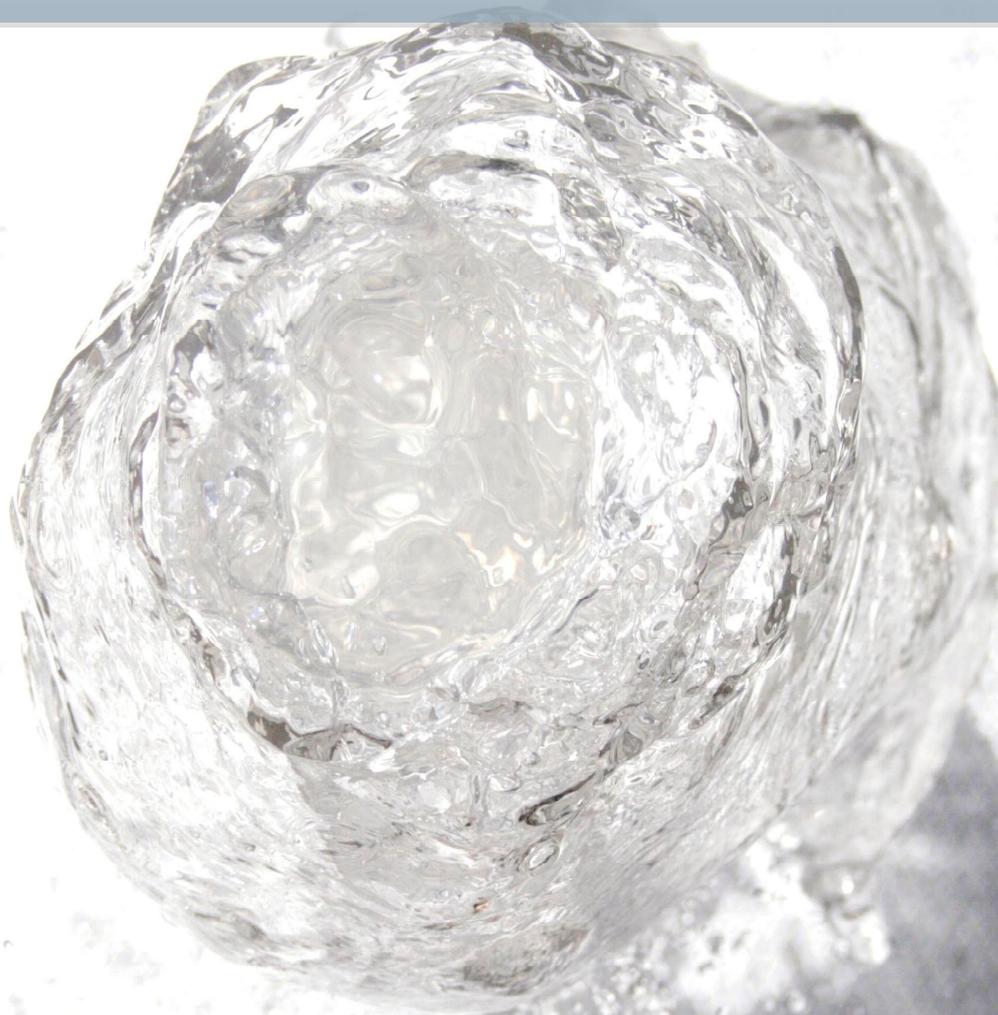
El **nuevo criterio propuesto** se valida al constatarse que, para el grupo de mayor fiabilidad, la relación del caudal residual, calculado con el nuevo criterio propuesto, entre el caudal depurado real por estas depuradoras se encuentra en el entorno del 100%.

Se concluye, por tanto, que el **criterio tradicional** sobredimensiona las infraestructuras de saneamiento y depuración, puesto que, para el grupo de mayor fiabilidad en un 82% de los casos, siempre según medidas reales disponibles, se depuraron volúmenes no superiores al 80% del volumen suministrado.

Igualmente se ha comprobado que el **nuevo criterio propuesto** se ajusta mejor que el **criterio tradicional al caudal depurado real**.

La **aplicación de este nuevo criterio supone un ahorro económico** y una **gestión más eficiente** en el planeamiento de las infraestructuras de saneamiento y depuración, actuales y futuras, siempre y cuando las condiciones de contorno en el sistema de abastecimiento de agua y depuración de que se trate, hagan posible su aplicabilidad.

9. Anexos



ANEXO 9.1. DATOS DISPONIBLES PARA EL ESTUDIO

Para el desarrollo del criterio propuesto se partió de las siguientes fuentes de información de componentes del consumo, y de la disponibilidad de datos reales relacionados con las etapas del ciclo integral del agua urbana:

- **Consumos individuales registrados caracterizados por tipo de uso**

Doméstico (univivienda y multivivienda), industrial, comercial, otros, institucional, riegos. El origen de estos datos es el Sistema Comercial Corporativo de Canal de Isabel II Gestión, (Greco). En 2012 se registran 1.342.353 contratos activos con contador individual, inscritos en sectores medidos y/o identificados topológica y geográficamente. Los datos disponibles con los que se ha trabajado incluyen agosto de 2012.

- **Microcomponentes de consumos**

Panel monitorizado de usuarios (activo en 2012 y anteriores), desde el que se determina la proporción media de usos finales (duchas, inodoros, riegos, etc.) en cada tipo de consumidor, especialmente en univiviendas y multiviviendas. La fuente de información es el Cuaderno de I+D+i número 4, *Microcomponentes y factores explicativos del consumo doméstico de agua en la Comunidad de Madrid*⁶.

- **Proyecto de sectorización, contorno y ubicación** de todos los sectores de abastecimiento

Esta información se encuentra georreferenciada en el Sistema de Información Geográfica corporativo de Canal de Isabel II Gestión (Gaudy). A los efectos de este estudio, existen 693 sectores (ya confinados y medidos, identificados para su confinamiento y medición, o solo previstos como desarrollos futuros).

- **Proyecto de sectorización, balances y componentes de agua no controlada a nivel sector**

Caudales suministrados y registrados por sectores, con clasificación de consumidores y consumos. Se dispone de datos horarios de suministro y balances mensuales de 343 sectores, en el periodo de análisis 2012.

⁶ Cuaderno de I+D+i número 4, *Microcomponentes y factores explicativos del consumo doméstico de agua en la Comunidad de Madrid*, Canal de Isabel II, Madrid (2008).

- **Cuencas de referencia de cada EDAR** (estación depuradora de agua residual) del sistema de depuración del Canal de Isabel II Gestión.
Esta información está georreferenciada en el Sistema Gaudy, de Información Geográfica Corporativo, de Canal de Isabel II Gestión. Consta de 147 cuencas de drenaje con sus respectivas depuradoras.
- **Caudales controlados en EDAR**
Datos disponibles en el sistema de Telecontrol corporativo y registros validados por la Subdirección de Operación de la Depuración de la Empresa.
- **Asignación de cada sector de abastecimiento a la EDAR en la que se depuran sus aguas residuales urbanas**
- **Criterios para la consideración de dotaciones de unidades de consumo** para el dimensionamiento del sistema de suministro y distribución en las diferentes figuras de planeamiento urbano. La información relativa a las dotaciones de abastecimiento de diseño tiene su origen en los documentos de carácter interno del *Grupo de Trabajo de Estudio de Dotaciones de cálculo para abastecimiento*, de aplicación en el Plan de Infraestructuras Estratégicas⁷ de la empresa.
- **Series de datos de estaciones meteorológicas**, para determinar la precipitación en cuencas de drenaje (milímetros), y la oportunidad de realizar el estudio en periodos con poca precipitación (periodo seco).

⁷ Normalización de evaluación de las demandas para la planificación y proyecto de las infraestructuras de abastecimiento, Canal de Isabel II, Madrid (revisiones marzo 2009 y diciembre 2011).

ANEXO 9.2. FIABILIDAD DE LOS DATOS

La verificación y validación de los criterios propuestos exigió prestar especial atención a la fiabilidad de los datos de caudales suministrados a sectores y de los caudales depurados en las depuradoras.

De igual manera, cobró especial importancia la **combinación de fiabilidades** de los grupos de sectores cuyas aguas residuales convergen en cada EDAR, y a su vez, combinada con la fiabilidad de los datos disponibles en la propia EDAR.

Se decidió utilizar el periodo más reciente con estabilidad climática y representatividad en los caudales de entrada a depuradoras, para lo que se eligió el intervalo de datos disponibles de los meses junio y julio de 2012. La ausencia de lluvias significativas permitió el trabajo sobre una relación más precisa de los caudales depurados en cada EDAR, asimilándolas a las aguas residuales urbanas generadas en los sectores de su cuenca respectiva.

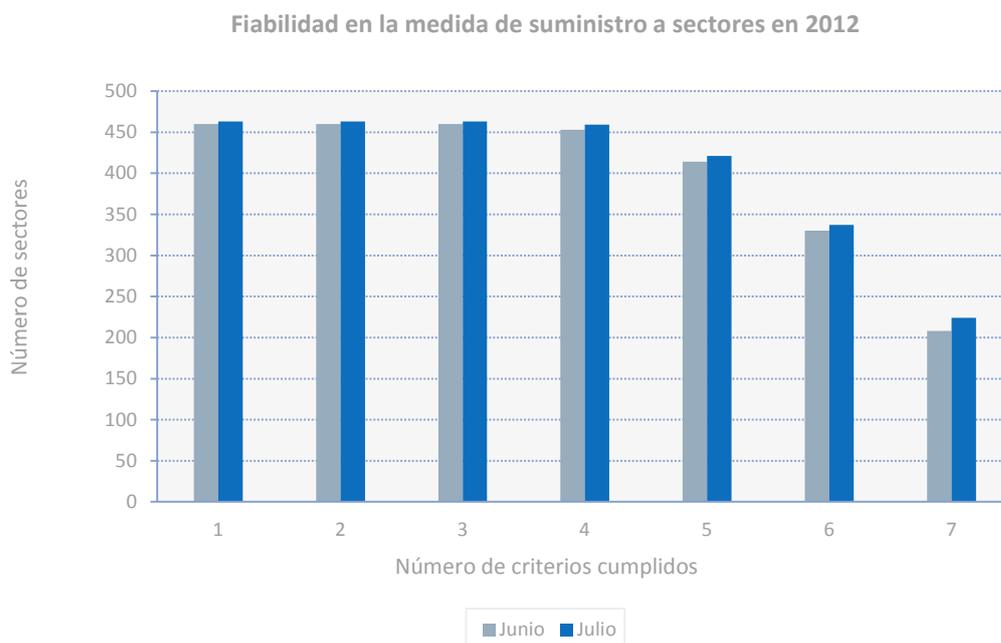
9.2.1. Fiabilidad en la medida de suministro a sectores

La **fiabilidad de la medida de suministro a sectores** está definida en el proyecto de sectorización, mediante un índice numérico de 1 a 7 (siendo 7 el de mayor fiabilidad). Se utilizaron los resultados en los meses de verano de 2012 sobre los que se trabajó, y se emplearon diferentes valores de filtrado.

Los siete criterios de fiabilidad de sectores, para un periodo de análisis son los siguientes:

- Criterio 1: Funcionamiento continuo del equipo de medida*
- Criterio 2: Dimensionamiento adecuado de los equipos de medida*
- Criterio 3: Ausencia de datos fuera de rangos de validación*
- Criterio 4: Ámbito estable, cambios no significativos en acometidas e infraestructuras*
- Criterio 5: Ausencia de maniobras significativas en fronteras*
- Criterio 6: Balance validado Registrado / Suministrado*
- Criterio 7: Valores registrados de suministro validados por modelo*

Para los meses de junio y julio de 2012, se presenta en la figura 30, el número de sectores que cumplen cada nivel de fiabilidad. En el desarrollo del trabajo se emplearon los 337 sectores que cumplen un nivel de fiabilidad 6.

FIGURA 30. SUMINISTRO A SECTORES, CRITERIOS Y NIVEL DE FIABILIDAD

9.2.2. Fiabilidad en la medida de caudales depurados en EDAR

La fiabilidad de la medida de caudales depurados en las depuradoras la determinó la propia Subdirección de Operación de la Depuración de Canal de Isabel II Gestión. A los efectos de este estudio se aplicó un índice de dos escalones:

- **Nivel 1**, para las depuradoras con medidas de caudal muy fiable, 55 depuradoras
- **Nivel 2**, (por omisión) para depuradoras con datos de caudal con fiabilidad media, resto de las depuradoras.

Para el objeto que nos ocupa, las medidas de caudal más precisas en las depuradoras son las registradas de entrada a cada EDAR. Sin embargo, las medidas **fiables** de aguas depuradas disponibles corresponden a la salida de las instalaciones, esto es, al volumen depurado, y no al de entrada a la EDAR. Se limitó el periodo de análisis al verano de 2012, especialmente seco, para evitar la imprecisión de este desfase. En estas condiciones se supone que no existieron vertidos no medidos.

9.2.3. Fiabilidad combinada de datos

La combinación de fiabilidad de los grupos de sectores que confluyen en cada EDAR, con la fiabilidad de la medida en la propia EDAR, dieron lugar al panel de trabajo para cada escenario contemplado.

Estos escenarios se caracterizaron en 4 grupos.

- **Grupo 1 – fiabilidad máxima**

- Todos los sectores que drenan hacia la EDAR cuentan con máxima fiabilidad (7)
- La EDAR pertenece al **Nivel 1** de fiabilidad

Para junio de 2012, se compone de 11 depuradoras.

- **Grupo 2 – fiabilidad alta**

- Todos los sectores que drenan hacia la EDAR cuentan con fiabilidad alta, pero no completa, (6 ó 7 criterios cumplidos)
- EDAR con fiabilidad máxima (**Nivel 1**)

Para junio de 2012, se compone de 14 depuradoras.

- **Grupo 3 – fiabilidad media**

- Todos los sectores que drenan hacia la EDAR cuentan con la máxima fiabilidad (7 criterios cumplidos) y
- EDAR con cualquier fiabilidad (**Niveles 1 y 2**)

Para junio de 2012, se compone de 35 depuradoras.

- **Grupo 4 – sin filtro de fiabilidad**

- Todos los sectores y todas las depuradoras, con cualquier nivel de fiabilidad en ambos grupos.
- Pertenecen a este grupo todas las depuradoras con datos disponibles, y con sectores con datos disponibles.

Para junio de 2012, se compone de 76 depuradoras.

ANEXO 9.3. ÍNDICE DE FIGURAS

<i>Figura</i>	<i>Título</i>	<i>Página</i>
1	RELACIÓN DEPURADO REAL / SUMINISTRADO REAL	15
2	CRITERIO ALTERNATIVO DE CÁLCULO DE CAUDALES RESIDUALES URBANOS	16
3	VERIFICACIÓN DEL CRITERIO CON SUMINISTRO REAL EN SECTORES FIABLES	18
4	IMPACTO DEL CRITERIO CALCULADO	21
5	RELACIÓN DE SECTORES CON DEPURADORAS	31
6	DISTRIBUCIÓN DE FRECUENCIAS DE LA RELACIÓN DE CAUDALES DEPURADO REAL Y SUMINISTRADO REAL EN EDAR. FIABILIDAD MÁXIMA	30
7	DISTRIBUCIÓN DE FRECUENCIAS DE LA RELACIÓN DE CAUDALES DEPURADO REAL Y SUMINISTRADO REAL EN EDAR. FIABILIDAD ALTA	31
8	DISPERSIÓN ENTRE SUMINISTRADO REAL A SECTORES Y DEPURADO REAL EDAR	32
9	DISTRIBUCIÓN DE FRECUENCIAS DE LA RELACIÓN DE CAUDALES DEPURADO REAL Y SUMINISTRADO REAL EN EDAR. FIABILIDAD MEDIA	33
10	DISTRIBUCIÓN DE FRECUENCIAS DE LA RELACIÓN DE CAUDALES DEPURADO REAL Y SUMINISTRADO REAL EN EDAR. SIN FILTROS DE FIABILIDAD	34
11	VERTIDOS SEGÚN USOS DEL AGUA	37
12	ESQUEMA DE TRABAJO PARA LA VALIDACIÓN DEL CRITERIO PROPUESTO	42
13	VERIFICACIÓN DE APLICABILIDAD DEL NUEVO CRITERIO PARA REGISTROS DE MÁXIMA FIABILIDAD	45
14	VERIFICACIÓN DE APLICABILIDAD DEL NUEVO CRITERIO PARA REGISTROS DE ALTA FIABILIDAD	46
15	VERIFICACIÓN DEL NUEVO CRITERIO SOBRE SECTORES DE MÁXIMA FIABILIDAD	48
16	COMPARACIÓN NUEVO CRITERIO PROPUESTO VS. CRITERIO TRADICIONAL. EDAR	49
17	COMPARACIÓN NUEVO CRITERIO PROPUESTO VS. CRITERIO TRADICIONAL. CAUDAL RESIDUAL URBANO EN M ³ PONDERADOS	50
18	NUEVO CRITERIO PROPUESTO Y TRADICIONAL FRENTE AL CAUDAL DEPURADO REAL	51
19	ESQUEMA DE TRABAJO PARA LA VALIDACIÓN DEL CRITERIO PROPUESTO	65
20	DISTRIBUCIÓN DE SECTORES SEGÚN EL RATIO DE CAUDALES: RESIDUAL DISEÑO NUEVO CRITERIO Y ABASTECIMIENTO DISEÑO	66

<i>Figura</i>	<i>Título</i>	<i>Página</i>
21	DISTRIBUCIÓN DE CAUDAL ACUMULADO SEGÚN LA RELACIÓN DE CAUDALES DE DISEÑO NUEVO CRITERIO Y ABASTECIMIENTO DE DISEÑO EN EL NIVEL SECTOR	67
22	DISTRIBUCIÓN DE EDAR SEGÚN EL RATIO DE CAUDALES: RESIDUAL DISEÑO NUEVO CRITERIO Y ABASTECIMIENTO DISEÑO	68
23	DISTRIBUCIÓN DE CAUDAL ACUMULADO SEGÚN LA RELACIÓN DE CAUDALES DE DISEÑO NUEVO CRITERIO Y ABASTECIMIENTO DE DISEÑO EN EL NIVEL EDAR	69
24	DISTRIBUCIÓN DE EDAR SEGÚN EL RATIO DE CAUDALES: RESIDUAL DISEÑO NUEVO CRITERIO Y CRITERIO TRADICIONAL	70
25	DISTRIBUCIÓN DE CAUDAL ACUMULADO SEGÚN LA RELACIÓN DE CAUDALES DE DISEÑO NUEVO CRITERIO Y CRITERIO TRADICIONAL EN EL NIVEL EDAR	71
26	DIFERENCIA DE CAUDALES DE DISEÑO ENTRE AMBOS CRITERIOS EN SECTORES	72
27	COMPARACIÓN DE CAUDALES: RESIDUAL DISEÑO NUEVO CRITERIO Y DEPURADO REAL	73
28	COMPARACIÓN DE CAUDALES DE DISEÑO ENTRE AMBOS CRITERIOS	74
29	REPARTO DE LA DIFERENCIA TOTAL DE CAUDALES DIARIOS DE DISEÑO, EN INTERVALOS DE REDUCCIÓN PORCENCUAL INDIVIDUAL, RESPECTO AL CRITERIO TRADICIONAL, PARA LA PLANIFICACIÓN DE DEPURADORAS A LARGO PLAZO EN LA COMUNIDAD DE MADRID	75
30	SUMINISTRO A SECTORES, CRITERIOS Y NIVEL DE FIABILIDAD	86

ANEXO 9.4. ÍNDICE DE TABLAS

<i>Tabla</i>	<i>Título</i>	<i>Página</i>
1	COEFICIENTES DE RETORNO	18
2	CONCEPTOS DE LA FORMULACIÓN DEL NUEVO CRITERIO DE CÁLCULO ESCENARIO DE CALIBRACIÓN	40
3	COEFICIENTES DE RETORNO PROPUESTOS SEGÚN TIPO DE USO Y SITUACIÓN DE CONSOLIDACIÓN	50
4	CONCEPTOS DE LA FORMULACIÓN DEL CRITERIO DE CÁLCULO SUELO URBANO Y SUELO URBANO EN PLANEAMIENTO FUTURO	54
5	CONCEPTOS USADOS EN LA FORMULACIÓN DEL CRITERIO DE CÁLCULO Y CALIBRACIÓN	55

ANEXO 9.5. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Canal de Isabel II

Normas para Redes de Saneamiento, Madrid, (2006).

Canal de Isabel II

Normalización de evaluación de las demandas para la planificación y proyecto de las infraestructuras de abastecimiento, Madrid (revisiones marzo 2009 y diciembre 2011).

Canal de Isabel II

Proyección de demanda en la Comunidad de Madrid a los horizontes de planificación, revisión 1 Subdirección de Investigación, Desarrollo e Innovación, Madrid, diciembre 2008.

Francisco Cubillo, Teresa Moreno, Silvia Ortega

Microcomponentes y factores explicativos del consumo doméstico de agua en la Comunidad de Madrid, Cuaderno de I+D+i nº 4, Canal de Isabel II, Madrid, (2008). ISBN: 978-84-93394-9-1. ISSN: 2254-8955

Isabel Díaz Guzmán, Jaime Flores Cabeza

Precisión de la medida de los consumos individuales de agua en la Comunidad de Madrid, Cuaderno de I+D+i nº 8, Canal de Isabel II, Madrid, (2010). ISBN: 978-84-936445-3-6. ISSN: 2254-8955

Ministerio de Medio Ambiente, y Medio Rural y Marino

Instrucción de Planificación Hidrológica, (2008)

Recommended Standards for Wastewater Facilities

2004 edition Wastewater committee of the Great Lakes – Upper Mississippi River.

ANEXO 9.6. GLOSARIO DE TÉRMINOS TÉCNICOS USADOS EN EL DOCUMENTO

EDAR	Estación depuradora de aguas residuales, instalación destinada a reducir la carga contaminante de las aguas residuales antes de devolverlas al medio natural receptor. WWTP (Waste Water Treatment Plant) en la versión inglesa.
MICROCOMPONENTES	Los microcomponentes y usos finales del agua potable son cada uno de los destinos a los que se dedica el agua dentro de una propiedad. En el caso de los usos domésticos, los microcomponentes distinguen los destinos del agua en duchas, lavadoras, lavavajillas, grifos de mano, inodoros, y usos de exterior en patios y jardines. Canal de Isabel II realizó un proyecto específico al respecto cuyos resultados se publicaron en el nº 4 de la colección de Cuadernos de I+D+i <i>Microcomponentes y factores explicativos del consumo doméstico de agua en la Comunidad de Madrid</i> , 2008.
PROPIEDAD	Cada una de las unidades físicas de consumo de agua o de vertido a la red de alcantarillado y saneamiento.
SECTORES	Áreas urbanas de consumo de agua perfectamente definidas y caracterizadas, monitorizadas electrónicamente, cuyos caudales de agua suministrada y agua consumida son conocidos están controlados en función de unos patrones de frecuencia horaria previamente establecidos.
SECTORIZACION	Proyecto de Canal de Isabel II Gestión cuyo objetivo es la definición, identificación de contornos, caracterización y medición de consumos, de cada una de las áreas de consumo de la Comunidad de Madrid.



Santa Engracia, 125. 28003 Madrid
www.gestioncanal.es