

Estudio del comportamiento metrológico de los contadores en abastecimientos de agua

Francesc J. Gavara

Cátedra FACSA de innovación en el ciclo integral del agua de la Universitat Jaume I
Castellón, 3 de Noviembre de 2016



Problemática de la gestión del agua

Suficiencia de recursos hídricos

Gestión de
la oferta

Gestión de la demanda

Infraestructura

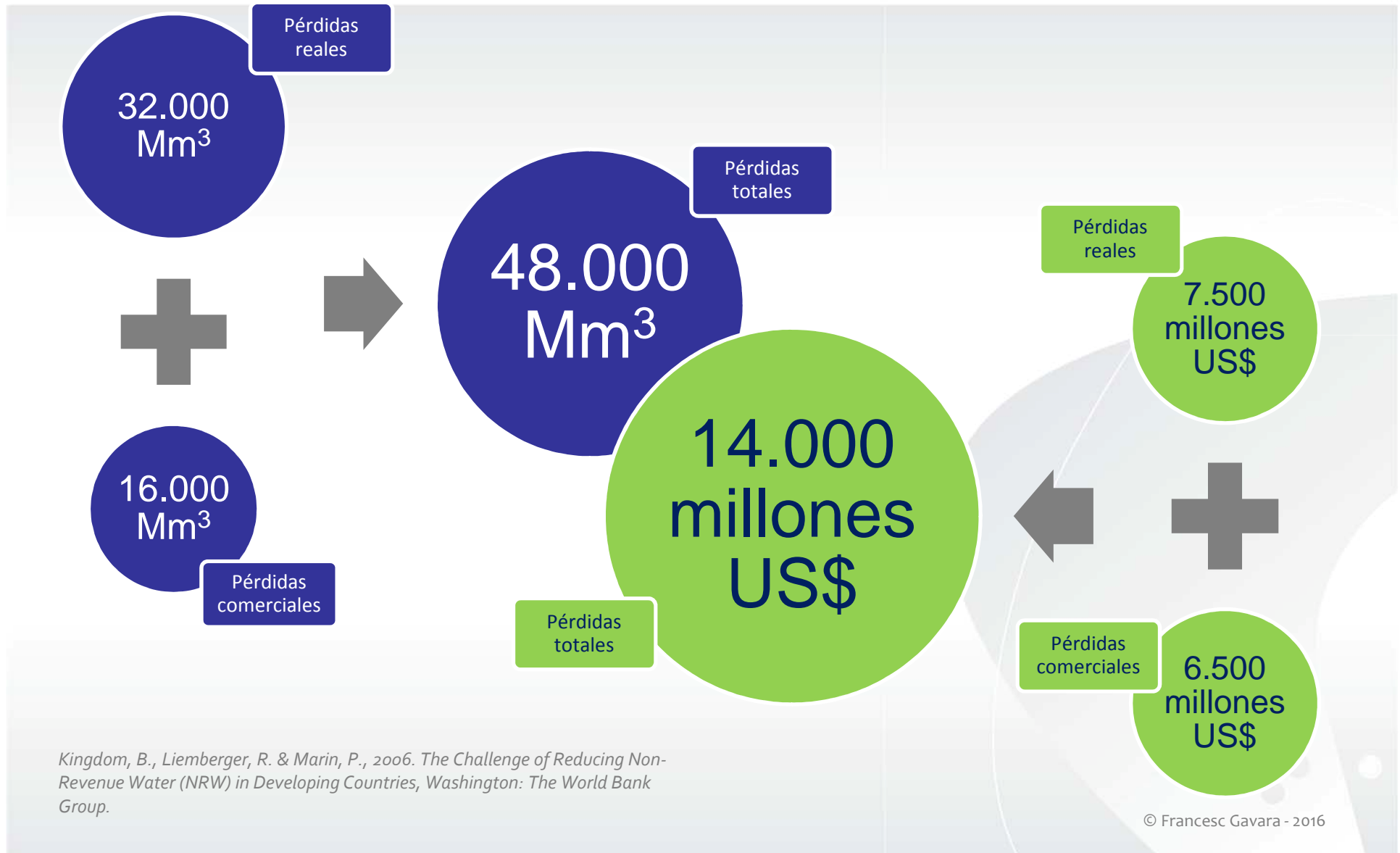
Optimizar
pérdidas agua

Modular
consumo
abonados

Balance hídrico de la IWA

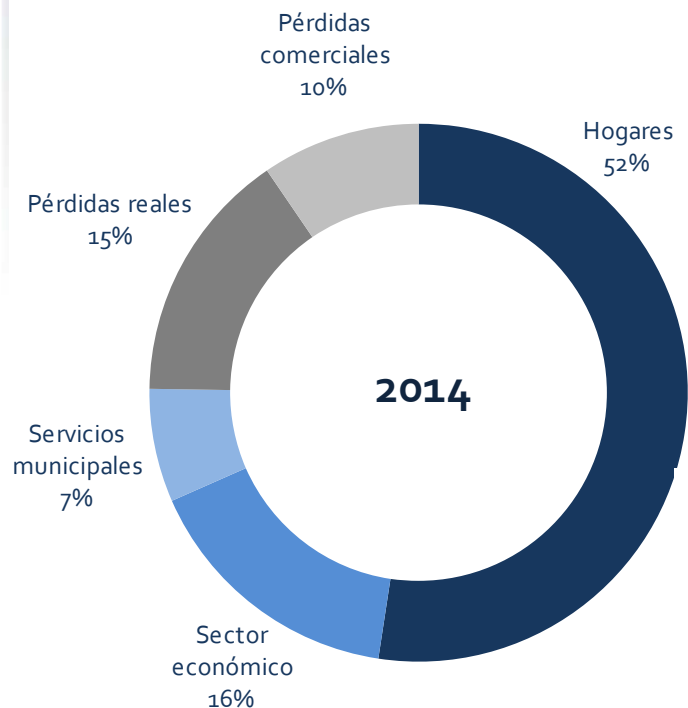


Importancia de las pérdidas de agua

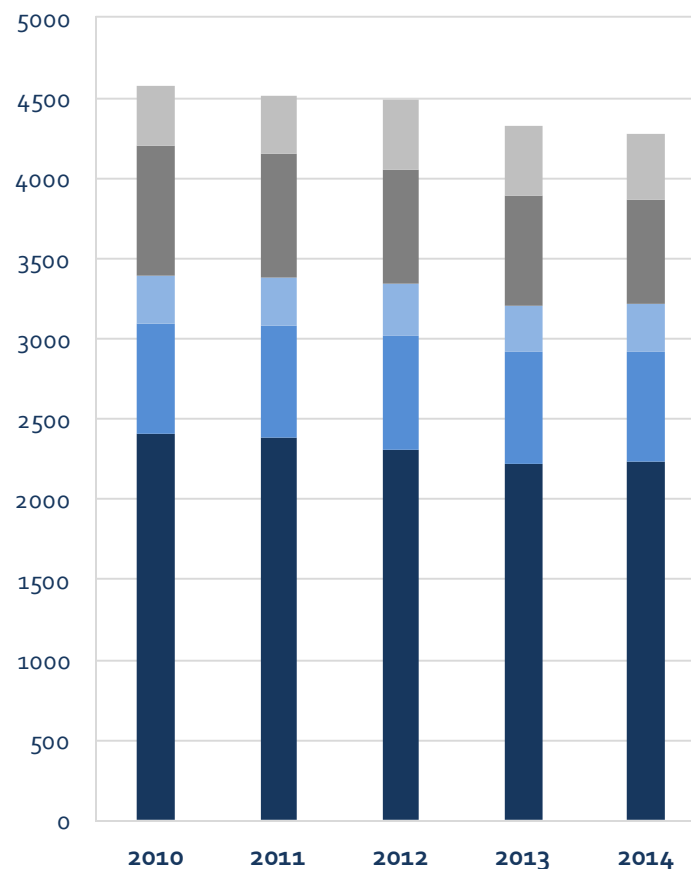


Kingdom, B., Liemberger, R. & Marin, P., 2006. *The Challenge of Reducing Non-Revenue Water (NRW) in Developing Countries*, Washington: The World Bank Group.

Importancia de las pérdidas de agua



Volúmenes totales suministrados a las redes de abastecimiento urbano (hm³)



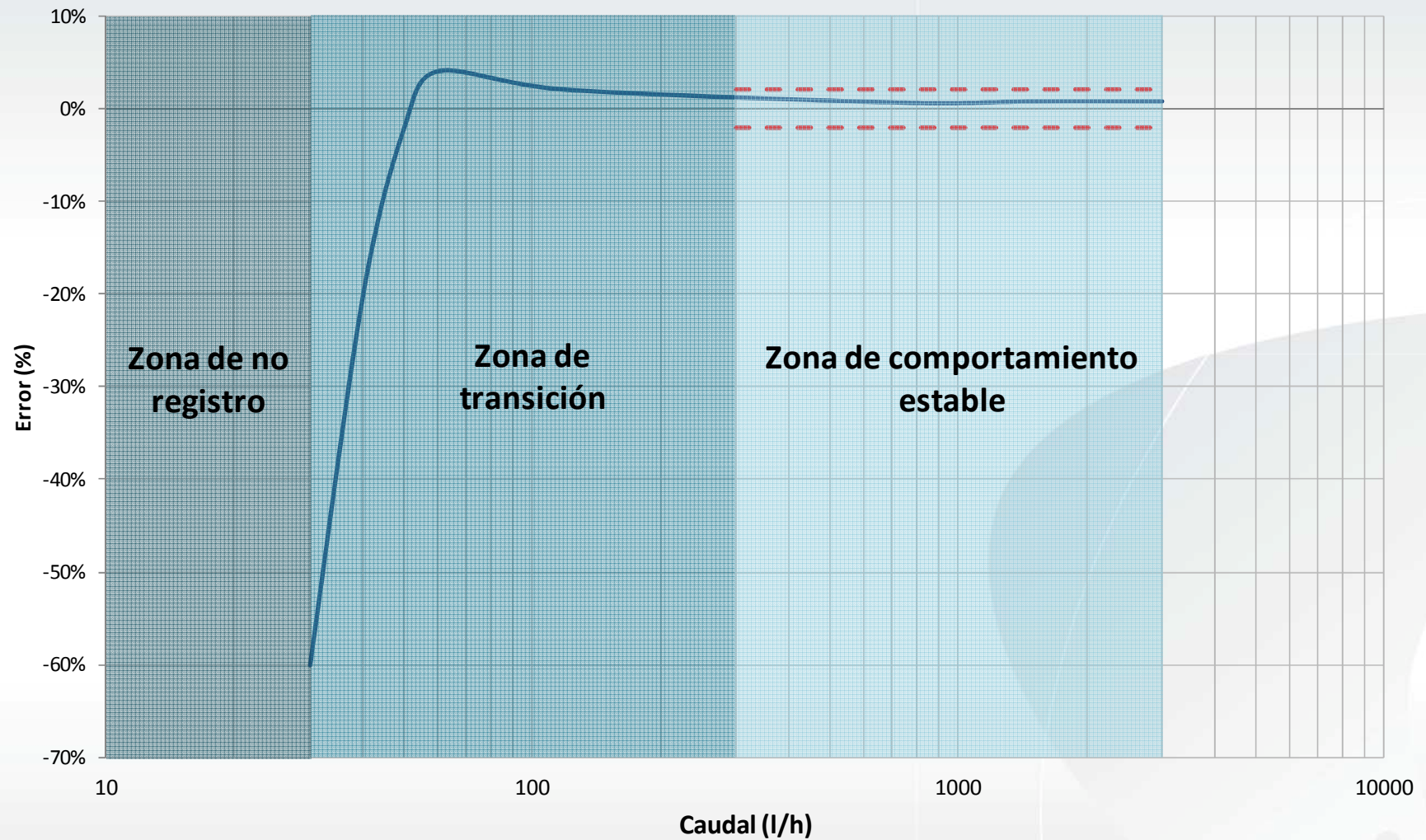
Instituto Nacional de Estadística (INE), 2016. Informe anual. Encuesta sobre el Suministro y Saneamiento del Agua 2014.

Pérdidas comerciales



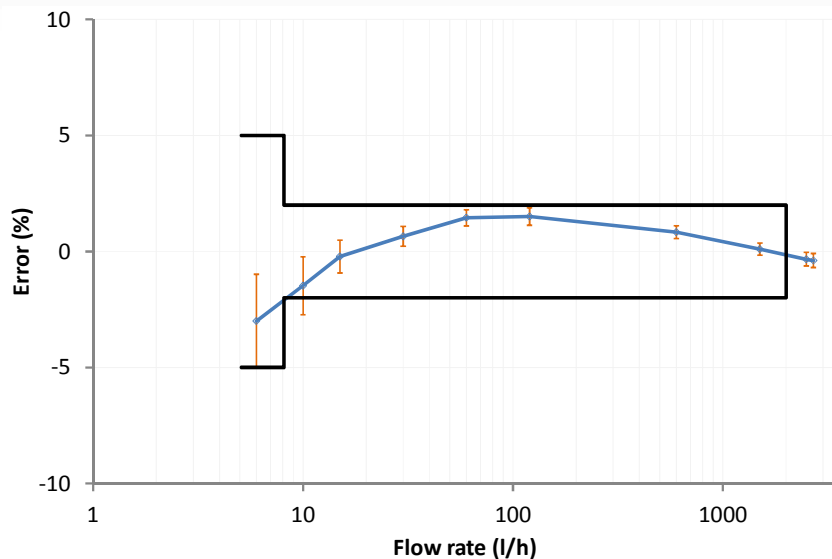
Nivel económico de los errores de medición

Curva de error de un contador

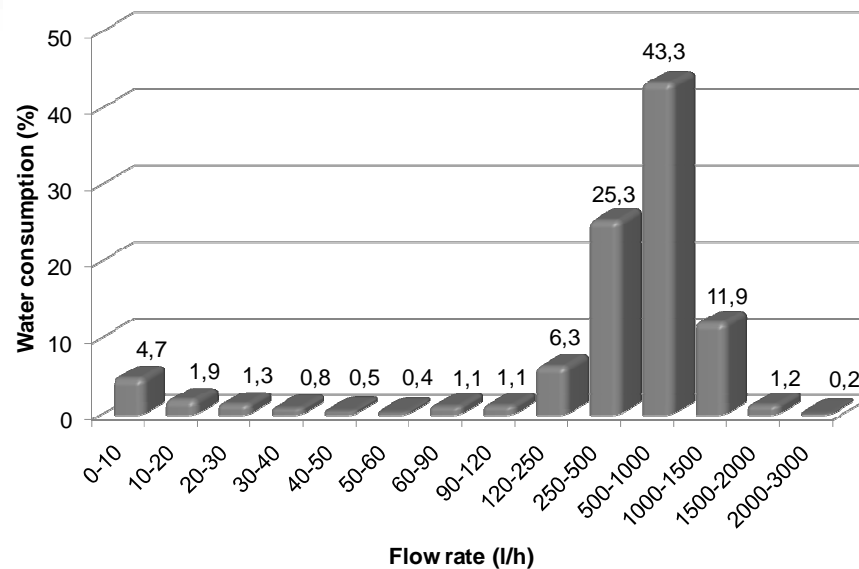


¿Cuánta agua es capaz de registrar un contador?

Curva de error



Patrón de consumo



Error medio ponderado

Necesitamos encontrar respuesta a estas preguntas:

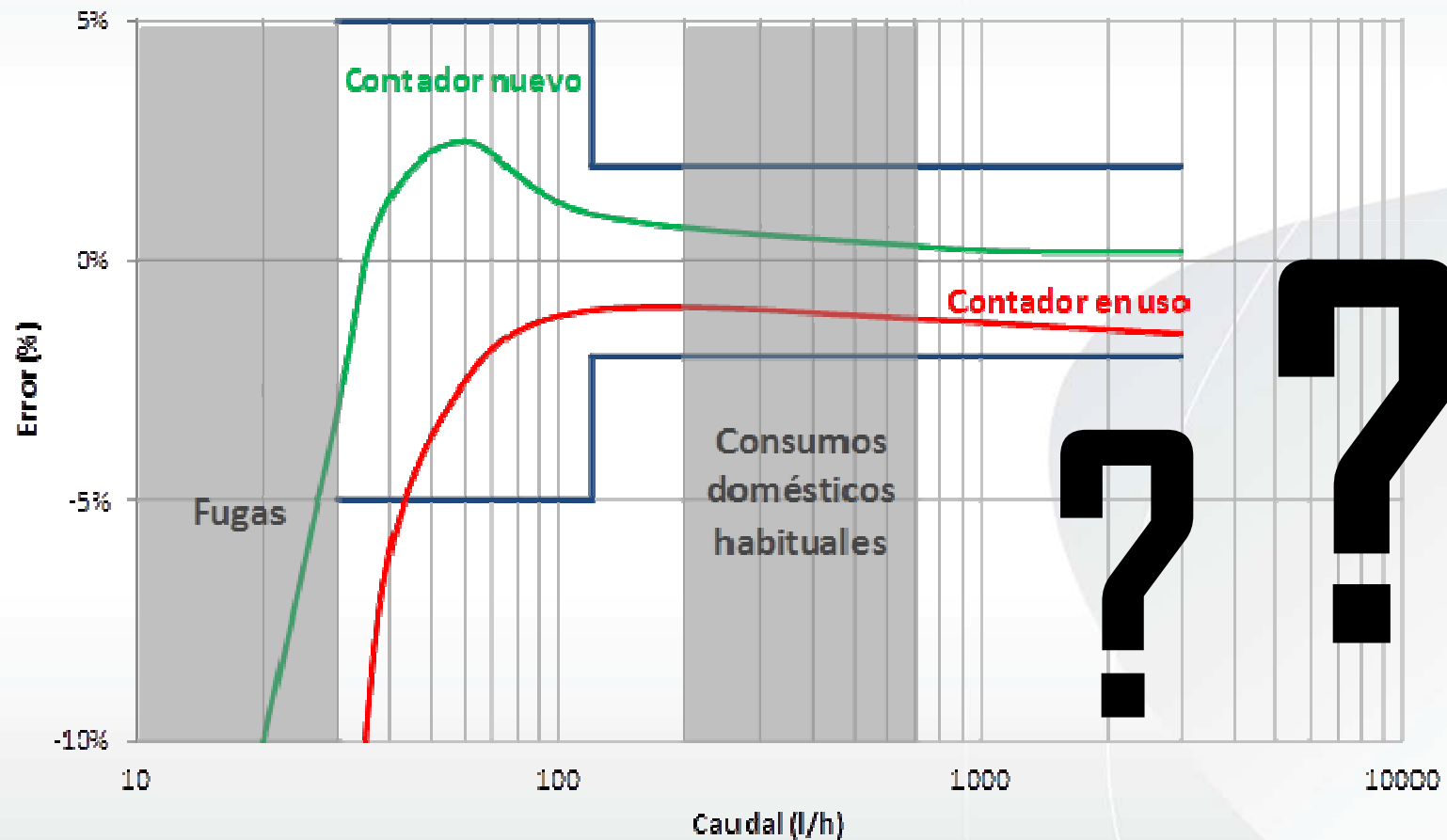
¿Qué contador instalamos?
¿Cuál será su período óptimo de renovación?



Para responderlas debemos saber:

¿Cuál es el error inicial de un contador?

¿Cómo se degrada este error?



Etapas de la investigación

Introducción

- Problemática de la gestión del agua
- Necesidad control proceso de medición

Gestión de las pérdidas comerciales en abastecimientos de agua

- Importancia de las pérdidas comerciales
- Estado del arte

Patrón de consumo

- Consumidores domésticos
- Consumidores no domésticos: Grandes consumidores

Análisis de los errores iniciales en contadores de agua

- Ensayo y análisis de 5.904 contadores
- 52 modelos diferentes / 5 tecnologías de medición

Análisis de la degradación del error global en contadores de agua

- Ensayo y análisis de 1.456 contadores
- 7 modelos diferentes / 3 tecnologías de medición

Estudio económico

- Estimación de la vida útil de los contadores
- Valoración económica de las pérdidas comerciales

Conclusiones

- Errores iniciales y degradación en contadores domésticos
- Impacto económico de las pérdidas comerciales

Desarrollos futuros

- Aumento de las muestras (grandes consumidores)
- Profundización en factores que afecten a la degradación

Etapas de la investigación

Introducción

- Problemática de la gestión del agua
- Necesidad control proceso de medición

Gestión de las pérdidas comerciales en abastecimientos de agua

- Importancia de las pérdidas comerciales
- Estado del arte

Patrón de consumo

- Consumidores domésticos
- Consumidores no domésticos: Grandes consumidores

Análisis de los errores iniciales en contadores de agua

- Ensayo y análisis de 5.904 contadores
- 52 modelos diferentes / 5 tecnologías de medición

Análisis de la degradación del error global en contadores de agua

- Ensayo y análisis de 1.456 contadores
- 7 modelos diferentes / 3 tecnologías de medición

Estudio económico

- Estimación de la vida útil de los contadores
- Valoración económica de las pérdidas comerciales

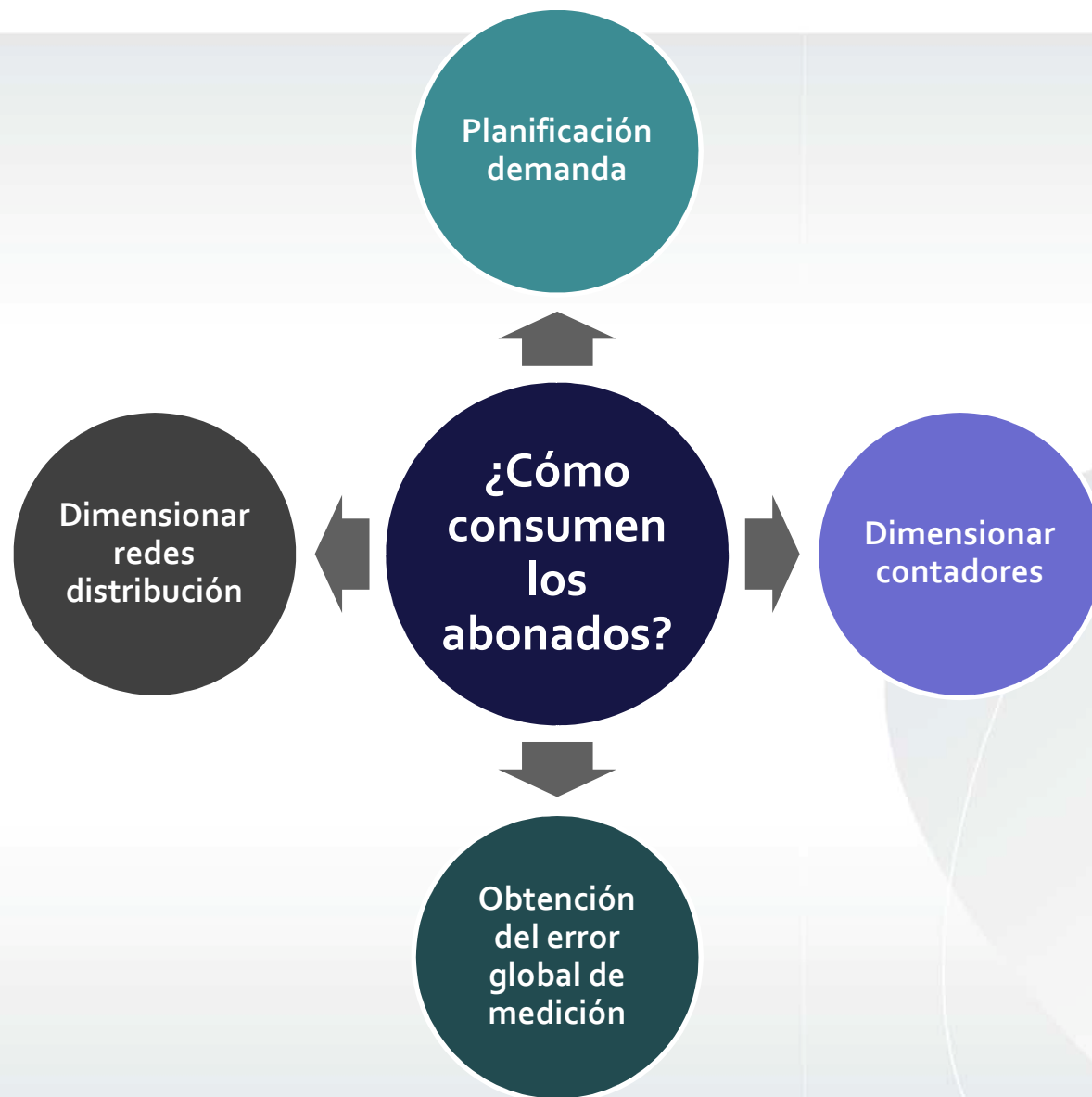
Conclusiones

- Errores iniciales y degradación en contadores domésticos
- Impacto económico de las pérdidas comerciales

Desarrollos futuros

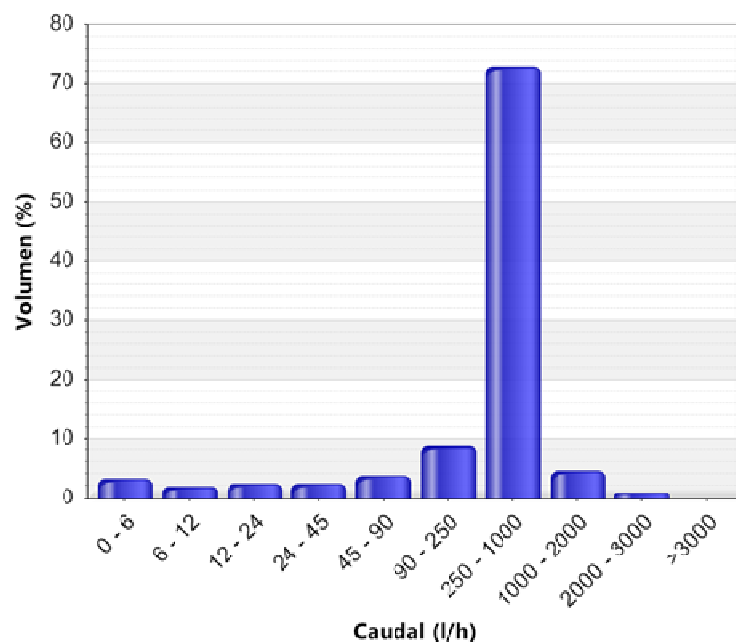
- Aumento de las muestras (grandes consumidores)
- Profundización en factores que afecten a la degradación

Patrón de consumo

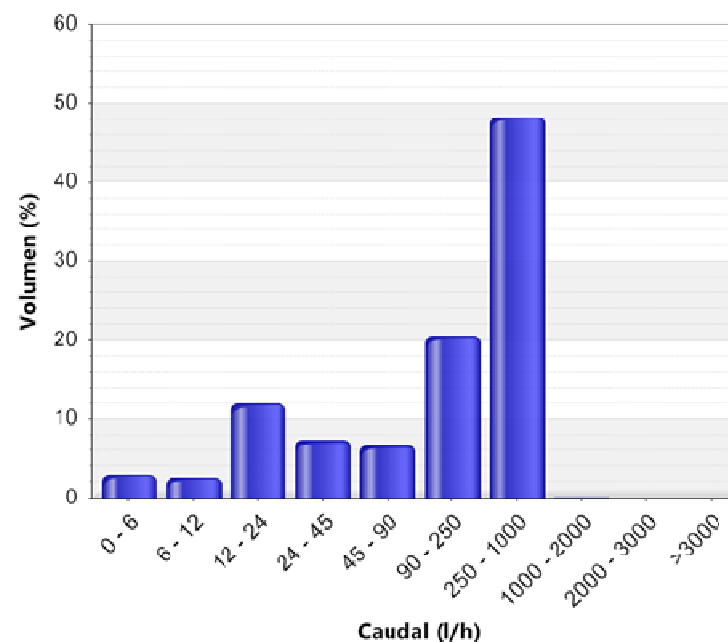


Consumidores domésticos

- Selección muestra (mínima incertidumbre)
- Monitorización 201 viviendas
- Se obtienen hasta cuatro patrones diferentes
- Pueden agruparse en dos tipologías:



Suministro directo



Suministro a depósito

Consumidores no domésticos (grandes consumidores)

- Proporción baja respecto domésticos vs facturación $\geq 30\%$
- Elevado potencial de mejora (aprovechamiento recursos)
- Monitorización 106 consumidores



¿Calibre?

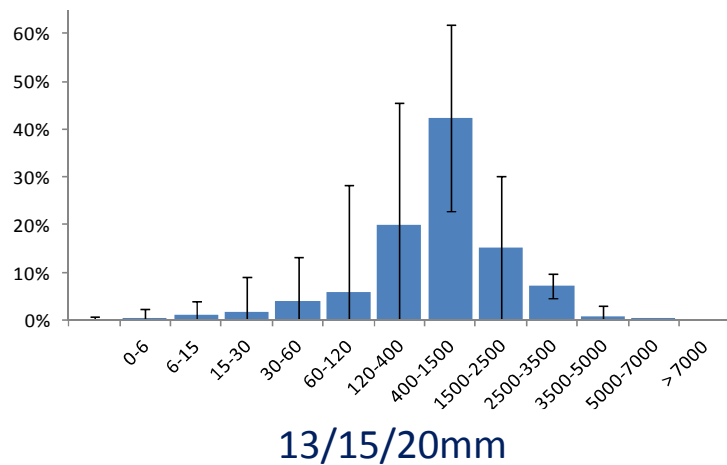


¿Caudal nominal?

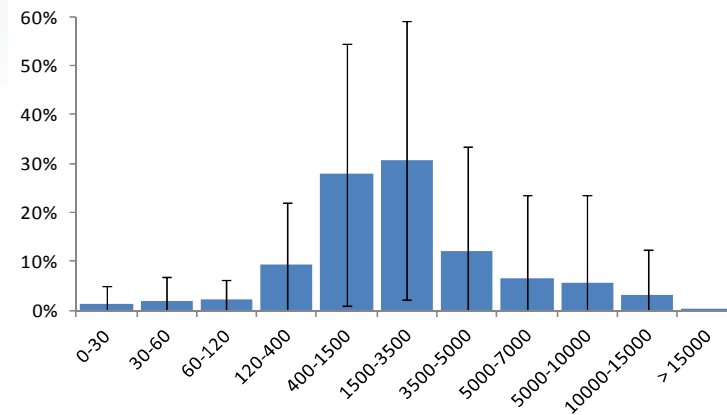
Usuarios no domésticos que consumen un elevado volumen de agua y requieren de un seguimiento individualizado

Consumidores no domésticos (grandes consumidores)

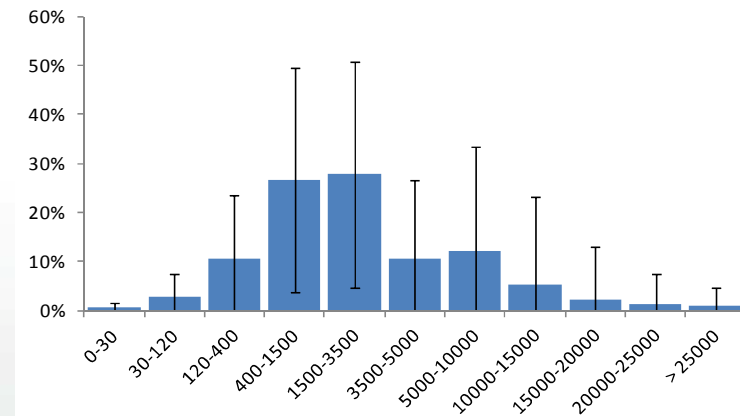
- Gran variabilidad y heterogeneidad en instalaciones y procesos
- Imposible generalizar comportamientos de consumo (muestra reducida)



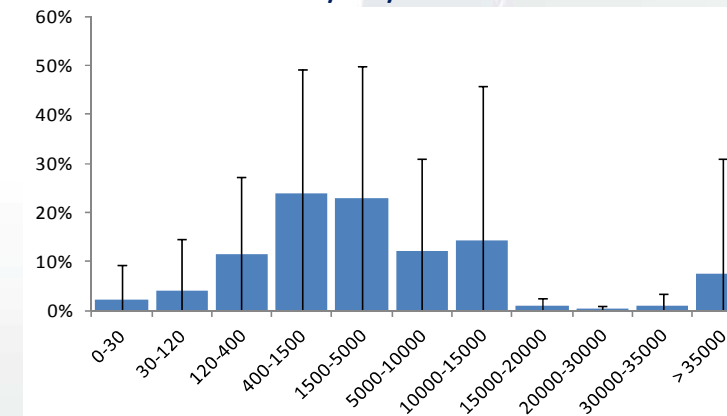
13/15/20mm



25/30/32mm

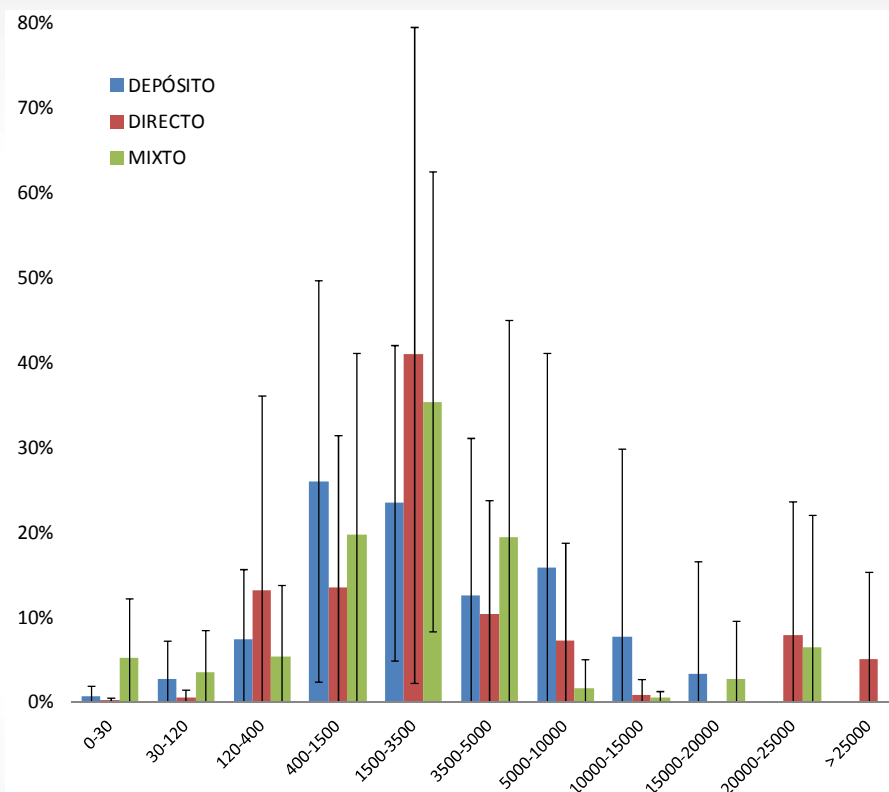


40mm

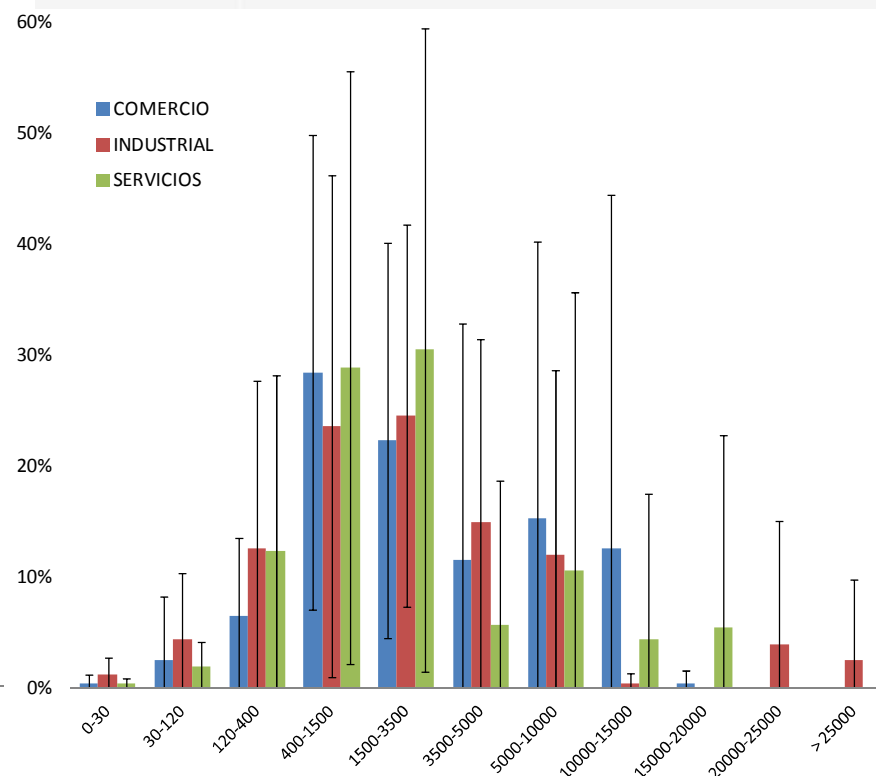


50mm

Consumidores no domésticos (grandes consumidores)



40mm por tipo instalación

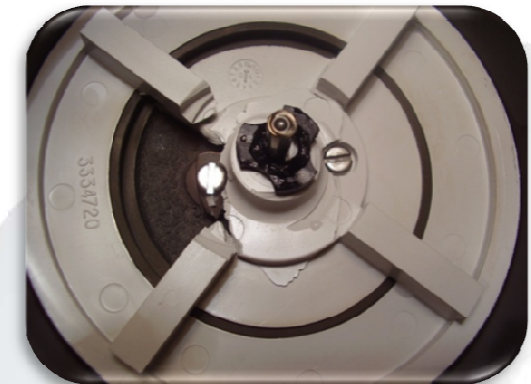
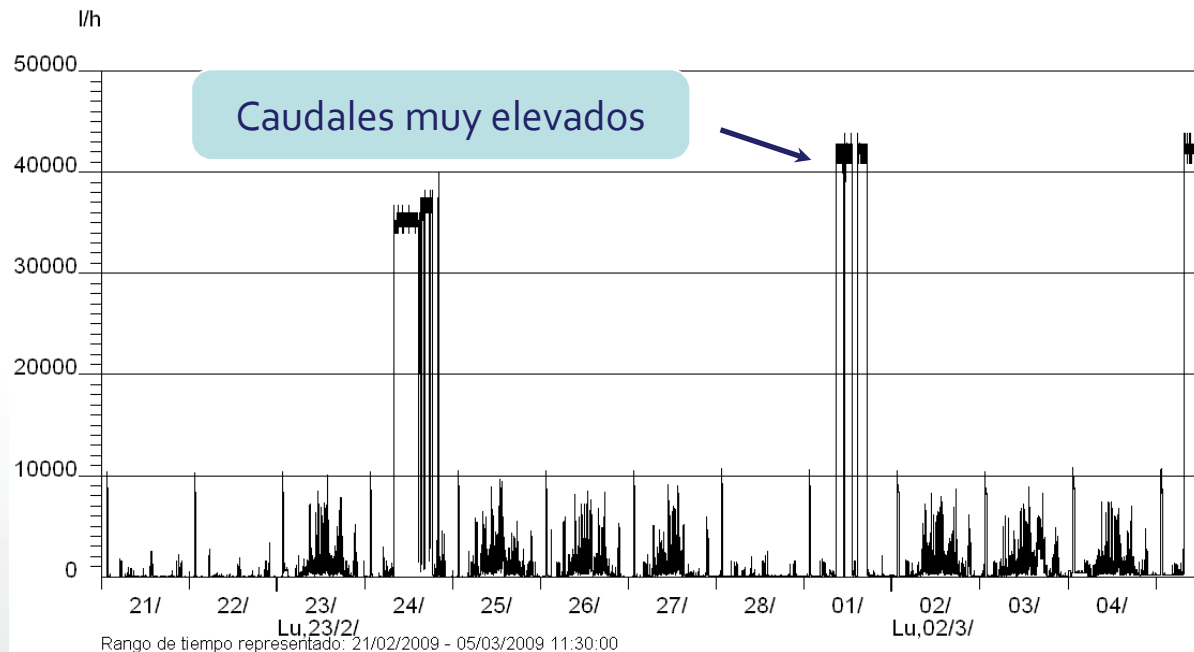


40mm por sector económico

Consumidores no domésticos

- Dimensionado de los contadores
 - Análisis caudal mínimo, medio y máximo
 - Correctamente dimensionados: 32%

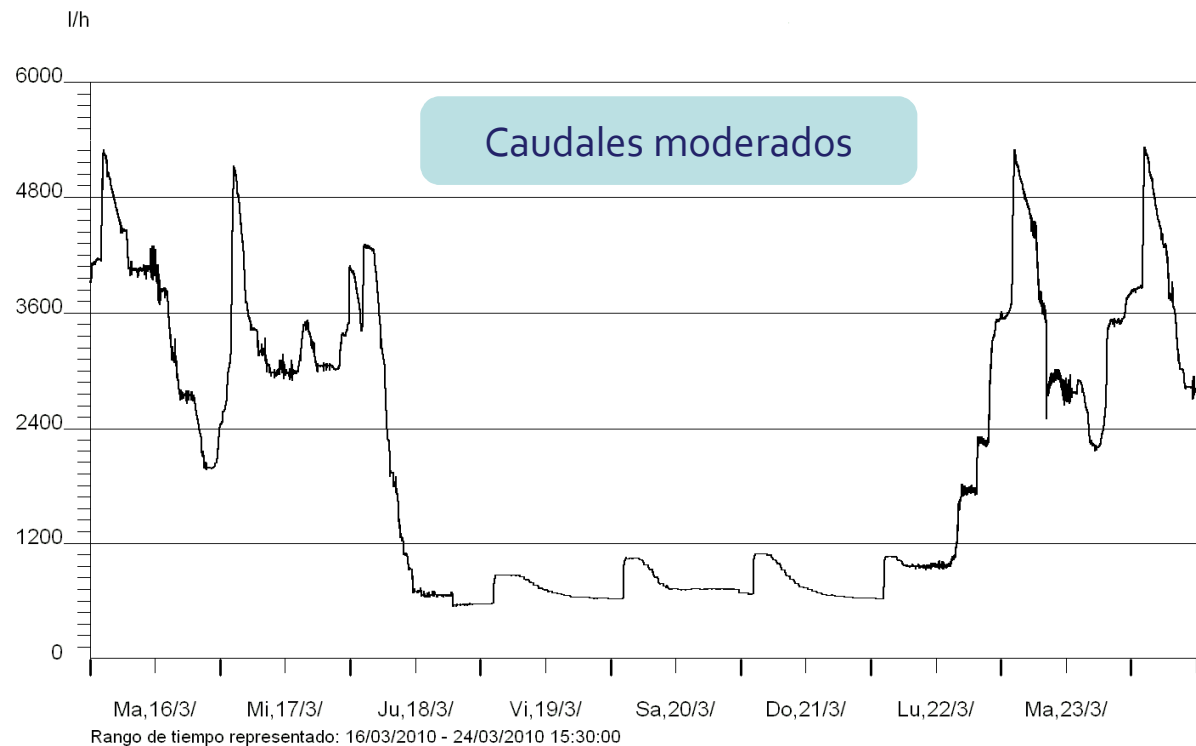
Consumo: 50 m³/día
Contador: Chorro único DN 50mm
 $Q_n = 15 \text{ m}^3/\text{h}$ $Q_{\text{max}} = 30 \text{ m}^3/\text{h}$
Aparentemente bien dimensionado



Consumidores no domésticos

- Dimensionado de los contadores

Consumo: 55 m³/día
Contador: Chorro múltiple DN 25mm
 $Q_n = 3,5 \text{ m}^3/\text{h}$ $Q_{\text{max}} = 7 \text{ m}^3/\text{h}$

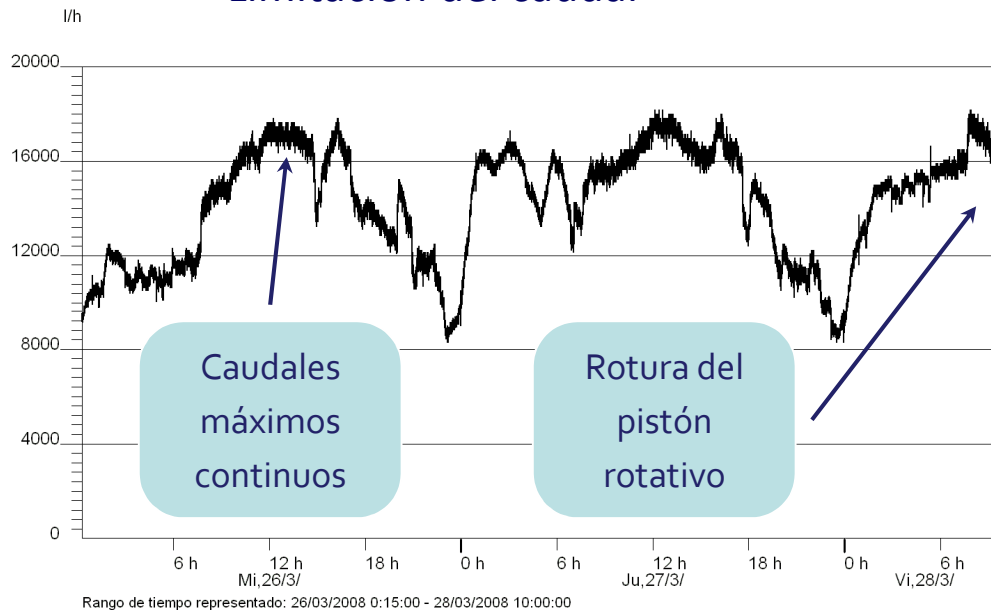


Para dimensionar un contador debe considerarse el "cuánto" pero sobre todo el "cómo" se consume.

Dimensionar el contador únicamente con el consumo diario/mensual: no es suficiente.

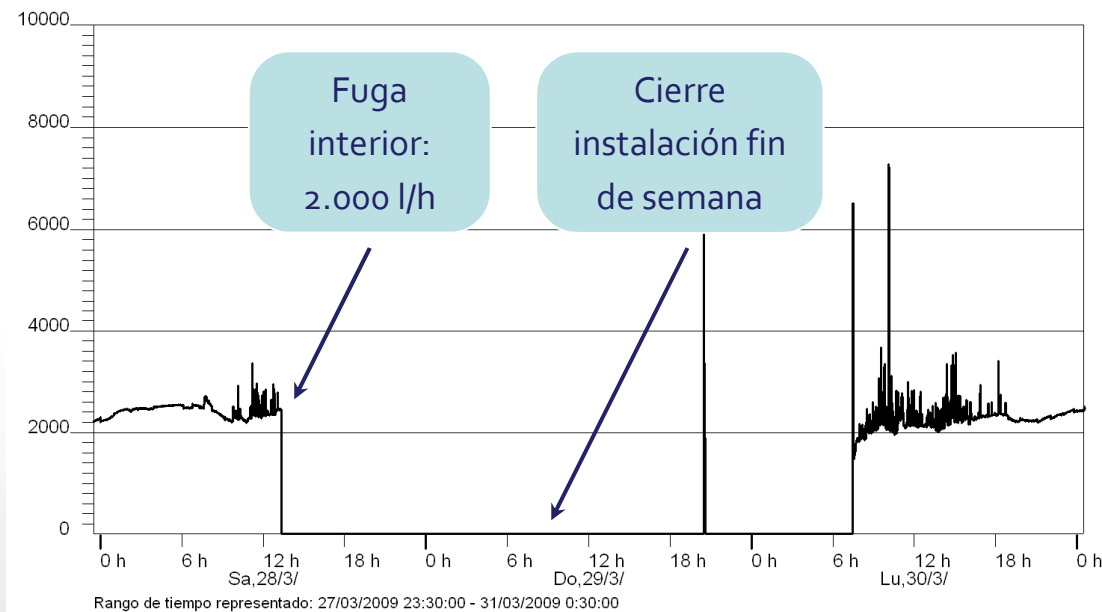
Consumidores no domésticos

- **Análisis del caudal máximo**
 - 56% deben aumentar su diámetro inicial
 - 17% superan su caudal máximo
 - Subcontaje
 - Cambio contador
 - **Solución:**
 - Redimensionar / Cambio tecnología / Limitación del caudal



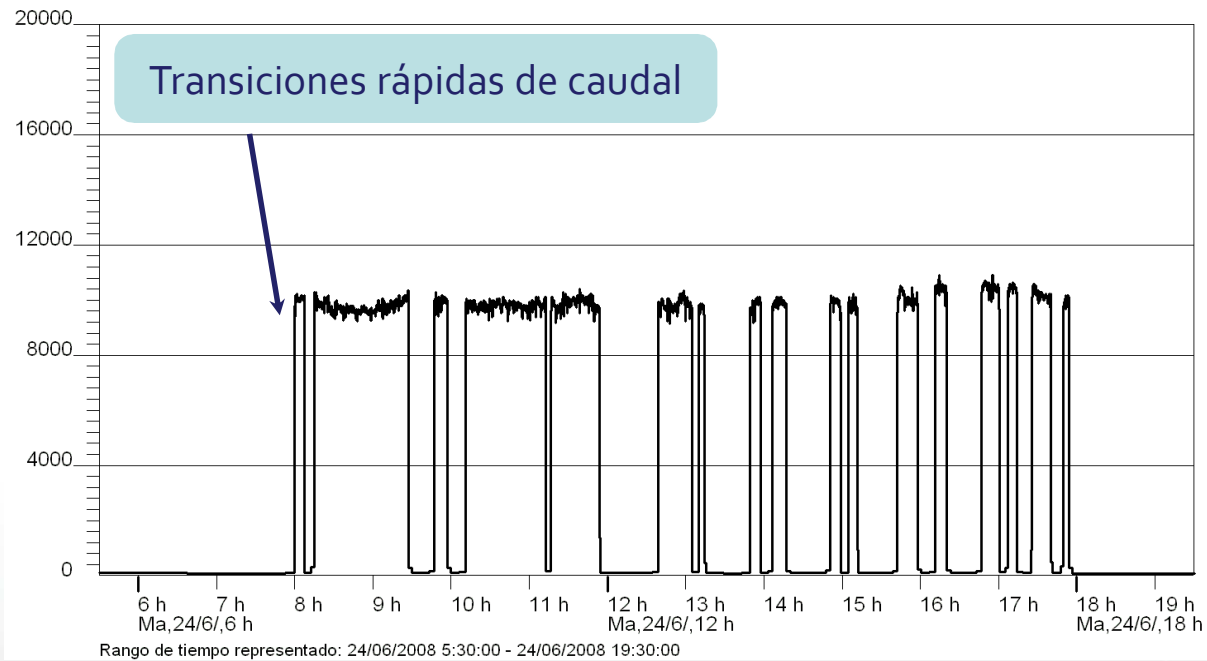
Consumidores no domésticos

- **Análisis del caudal mínimo**
 - Caudal mínimo positivo: 58%
 - Fuga interior: 32%
 - Llenado depósitos en continuo: 19%



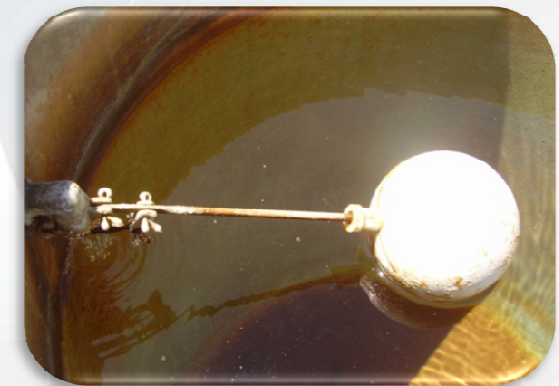
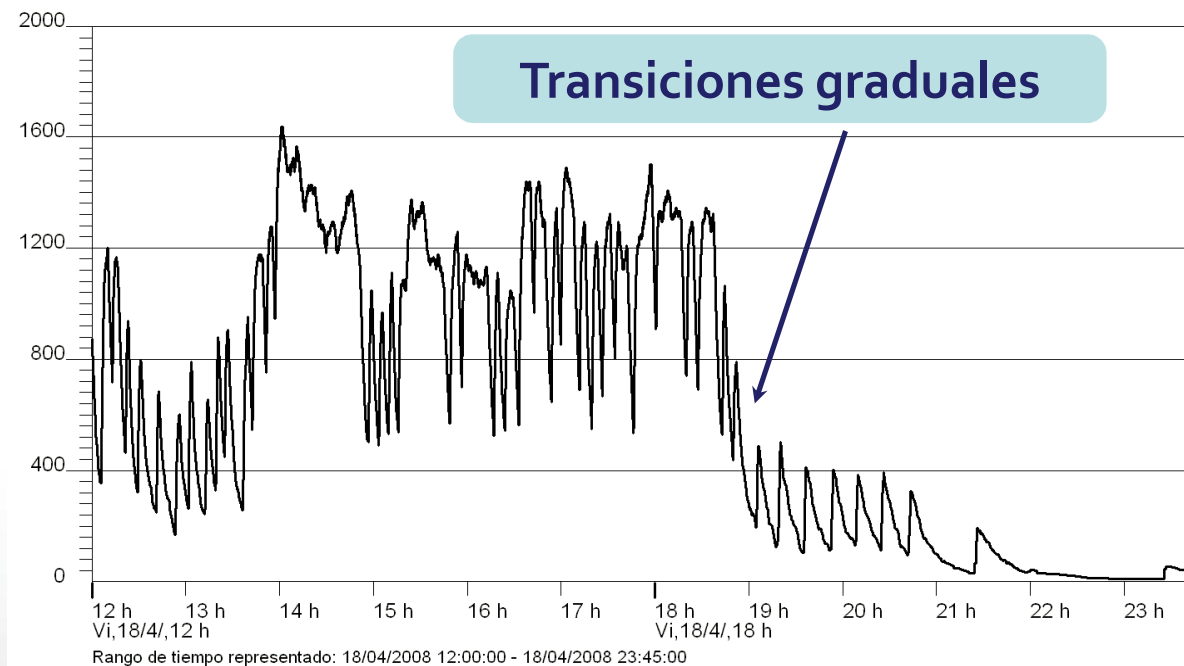
Consumidores no domésticos

- **Análisis del perfil de consumo**
 - Válvula llenado depósito: todo/nada
 - Ideal para el dimensionado
 - Posible golpes ariete: rotura contador



Consumidores no domésticos

- **Análisis del perfil de consumo**
 - Válvula llenado depósito: proporcional (flotador)
 - Presencia de consumos a caudales bajos
 - Mayores errores medición



Patrón de consumo

Conclusiones

Ampliación

- Solamente se ha obtenido para un abastecimiento
- ¿Fiable para la toma de decisiones?
- Monitorización en más abastecimientos

Actualización

- Los patrones se obtuvieron hace 10 años
- Actualización continua: Patrón de consumo "vivo"

Depósitos

- Gran influencia de la válvula de llenado

Grandes consumidores

- Estudios individualizados
- Graves problemas de dimensionamiento: 68%.
- Superan caudal máximo: 17%
- Fugas interiores: mínimo del 32%.

Estudio usos finales

- Mejora en el conocimiento de la demanda de los usuarios.
- Evolución tecnológica

Etapas de la investigación

Introducción

- Problemática de la gestión del agua
- Necesidad control proceso de medición

Gestión de las pérdidas comerciales en abastecimientos de agua

- Importancia de las pérdidas comerciales
- Estado del arte

Patrón de consumo

- Consumidores domésticos
- Consumidores no domésticos: Grandes consumidores

Análisis de los errores iniciales en contadores de agua

- Ensayo y análisis de 5.904 contadores
- 52 modelos diferentes / 5 tecnologías de medición

Análisis de la degradación del error global en contadores de agua

- Ensayo y análisis de 1.456 contadores
- 7 modelos diferentes / 3 tecnologías de medición

Estudio económico

- Estimación de la vida útil de los contadores
- Valoración económica de las pérdidas comerciales

Conclusiones

- Errores iniciales y degradación en contadores domésticos
- Impacto económico de las pérdidas comerciales

Desarrollos futuros

- Aumento de las muestras (grandes consumidores)
- Profundización en factores que afecten a la degradación

Errores iniciales en contadores de agua

Banco de ensayo volumétrico



Errores iniciales en contadores de agua

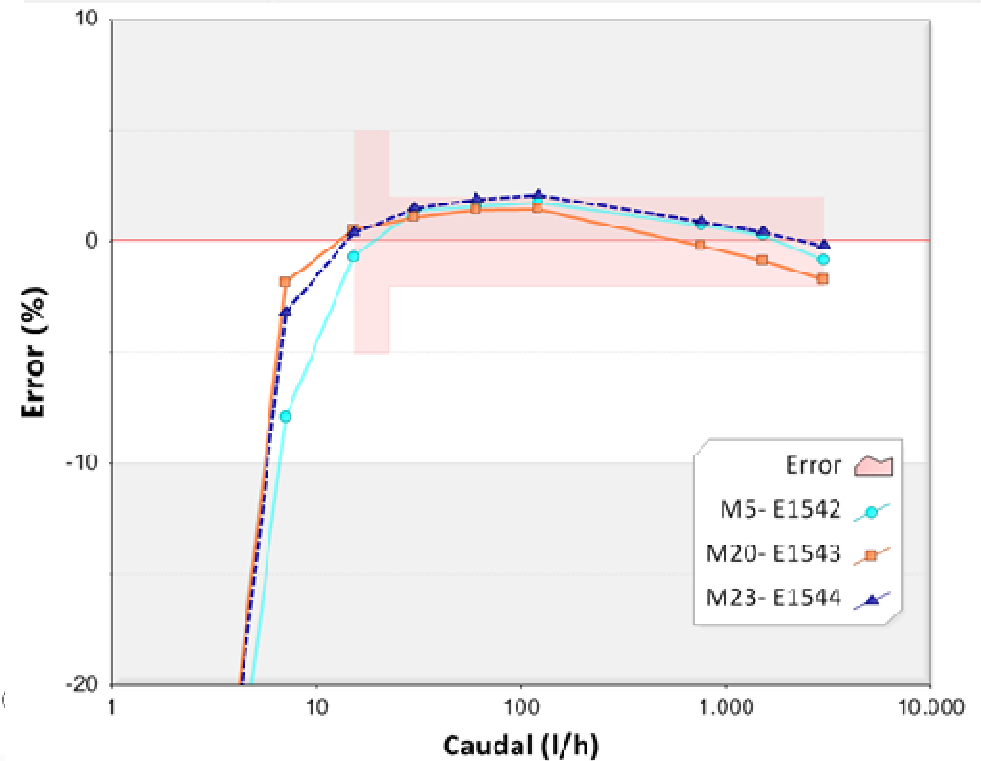
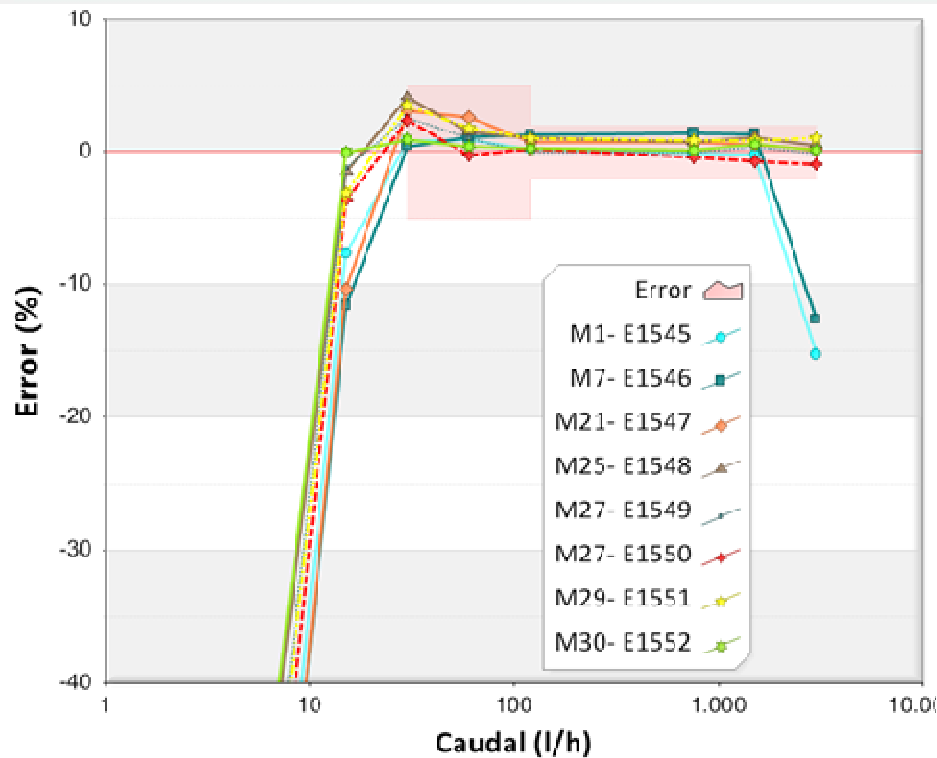
5.904 Contadores ensayados a 7 caudales

Caudal de arranque / Error medio ponderado

		Qarr (l/h)	15	30	60	120	750	1500	3000	EMP(%)	ECM
M1	MEDIA	5,11	-7,37	0,88	0,96	0,23	-0,05	-0,18	-15,21	-4,33	0,19
	DESV EST.	0,66	4,39	1,13	0,92	0,57	0,54	0,42	25,13	0,46	
M2	MEDIA	3,31	-1,27	0,94	1,79	1,45	0,42	0,47	-0,23	-3,19	0,51
	DESV EST.	1,35	2,00	1,14	0,86	0,92	0,93	0,80	0,73	0,81	
M5	MEDIA	1,28	-0,76	1,40	1,57	1,76	0,74	0,28	-0,84	-1,21	0,30
	DESV EST.	2,17	11,41	2,07	1,61	0,19	0,29	1,56	8,26	0,55	
M7	MEDIA	5,81	-11,20	0,49	1,15	1,30	1,41	1,33	-12,35	-3,26	0,48
	DESV EST.	3,06	13,77	7,88	1,17	0,78	0,57	0,66	22,31	0,71	
M20	MEDIA	1,00	0,64	1,32	1,51	1,61	0,05	-0,56	-1,47	-1,52	0,06
	DESV EST.	0,00	0,69	0,46	0,34	0,27	0,38	0,46	0,45	0,30	
M21	MEDIA	5,59	-10,20	3,11	2,64	0,78	0,78	0,61	0,23	-3,58	0,53
	DESV EST.	2,19	11,96	5,37	1,32	0,83	0,80	0,75	4,26	0,73	
M23	MEDIA	1,01	0,37	1,48	1,89	2,09	0,90	0,42	-0,22	-0,87	0,09
	DESV EST.	0,09	1,12	0,67	0,43	0,41	0,33	0,34	0,70	0,35	
M25	MEDIA	3,75	-1,31	4,18	1,49	1,10	0,79	1,11	0,54	-3,00	0,32
	DESV EST.	1,10	1,89	0,99	0,95	0,70	0,70	0,71	0,77	0,57	
M26	MEDIA	4,20	-1,33	2,56	1,07	0,03	-0,01	0,36	-0,10	-3,83	0,23
	DESV EST.	0,58	3,84	1,81	0,74	0,44	0,67	0,65	0,52	0,58	
M27	MEDIA	4,70	-2,93	2,77	-0,02	0,25	-0,36	-0,60	-0,63	-4,13	0,21
	DESV EST.	1,16	4,39	1,84	1,02	0,34	0,35	0,44	0,61	0,46	
M29	MEDIA	4,42	-2,81	3,55	1,83	1,05	0,90	0,90	1,08	-3,06	0,27
	DESV EST.	0,41	2,71	0,84	0,52	0,73	0,86	0,79	0,57	0,74	
M30	MEDIA	3,46	0,19	0,97	0,43	0,35	0,16	0,66	0,17	-3,58	0,26
	DESV EST.	0,73	0,97	0,77	1,02	0,73	0,63	0,61	0,74	0,57	

Curvas de error por modelo y tecnología

Oscilaciones en el rango de medida vs parábola invertida

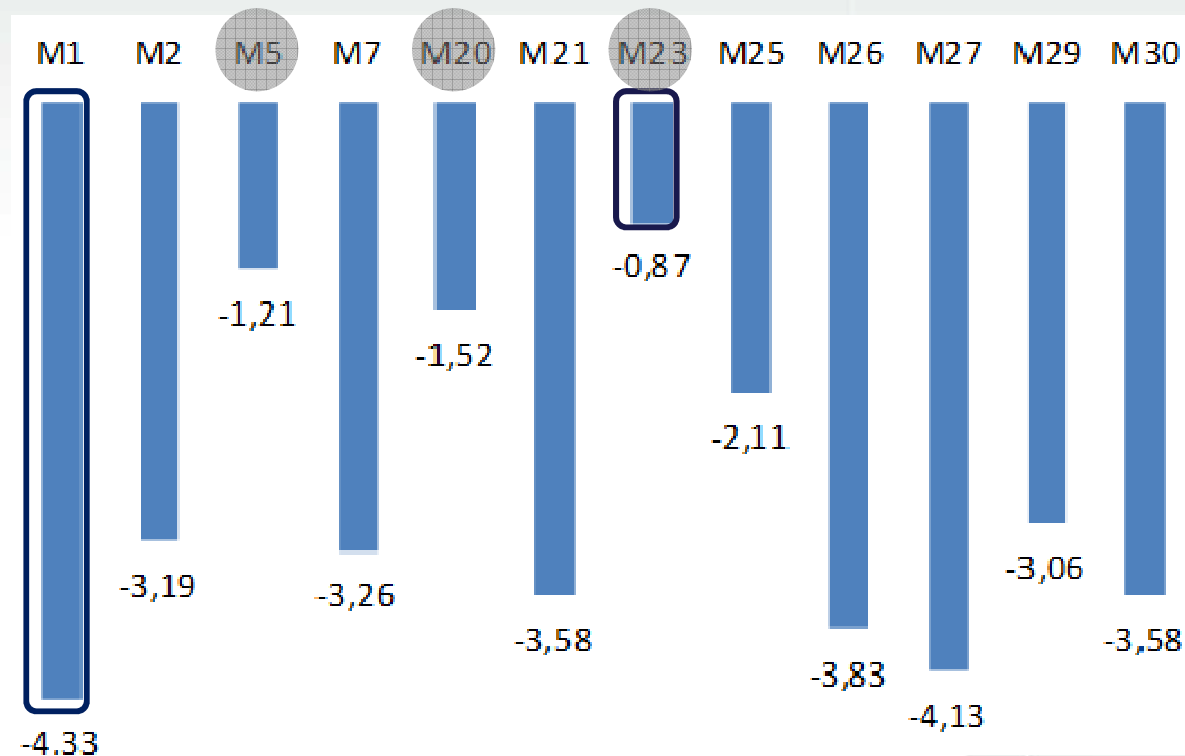


Velocidad chorro único

Volumétricos pistón rotativo

Comparativa errores medios ponderados

Diferencia en los errores globales del 3,5%



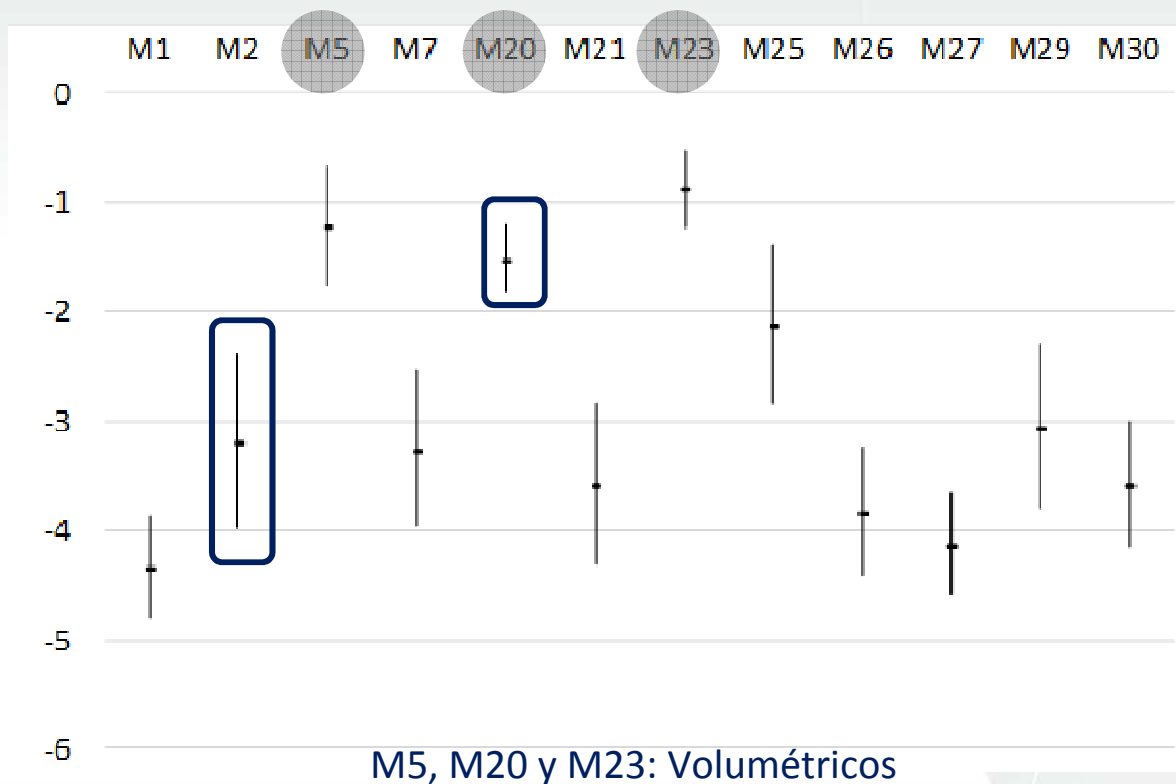
M5, M20 y M23: Volumétricos

Justificado el control de calidad a origen

- Modificación componentes
- Cambios proceso fabricación
- Diferentes centros de producción

Variabilidad de los errores medios ponderados

Variabilidades de los errores entre el 0,8% y el 0,3%

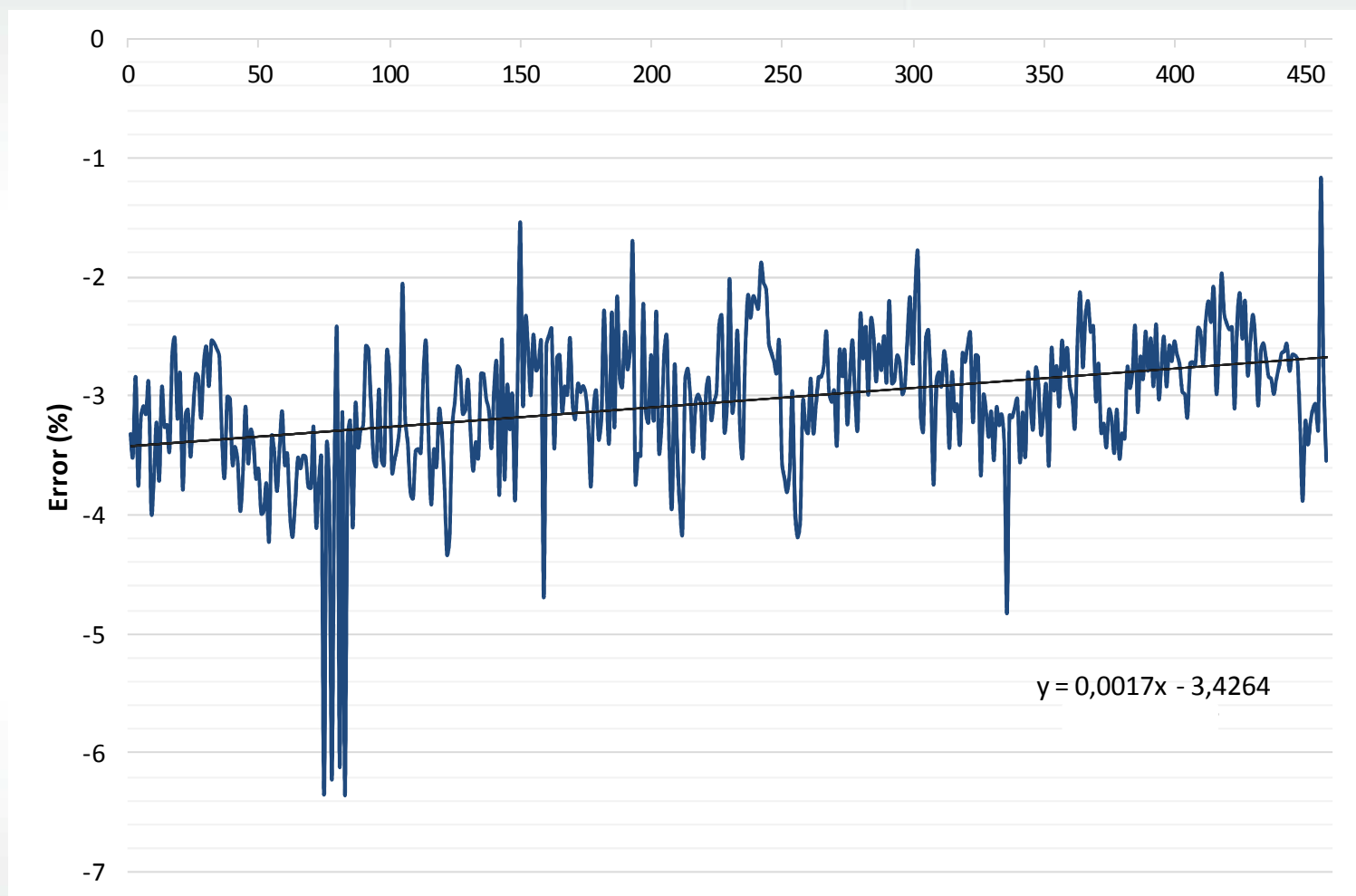


Menores variaciones en Volumétricos

- Componentes y materiales de mayor calidad
- Proceso de fabricación preciso
- Mínimas tolerancias cámara medición

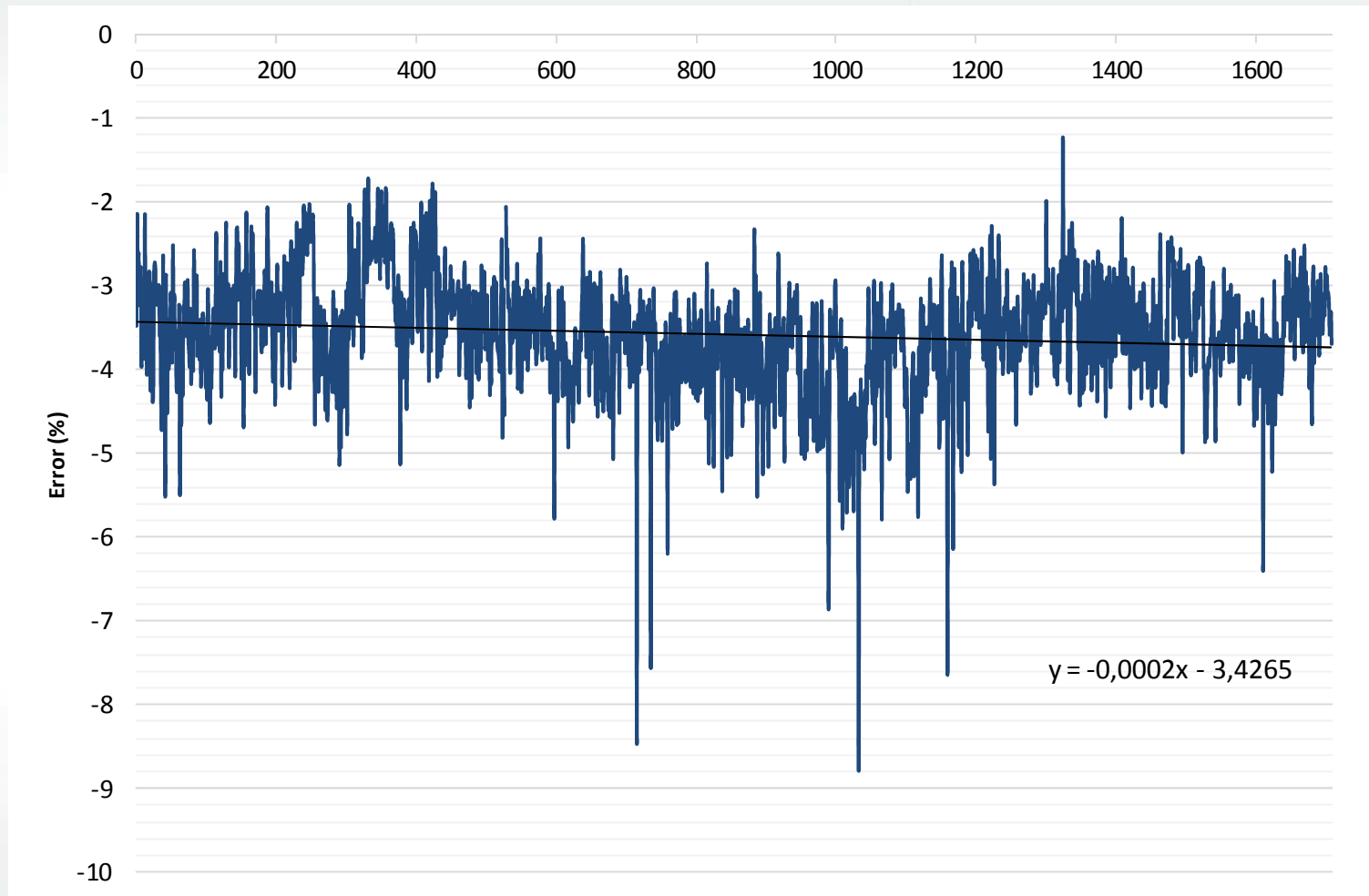
Evolución del EMP por modelo ensayado

Evolución del EMP positiva



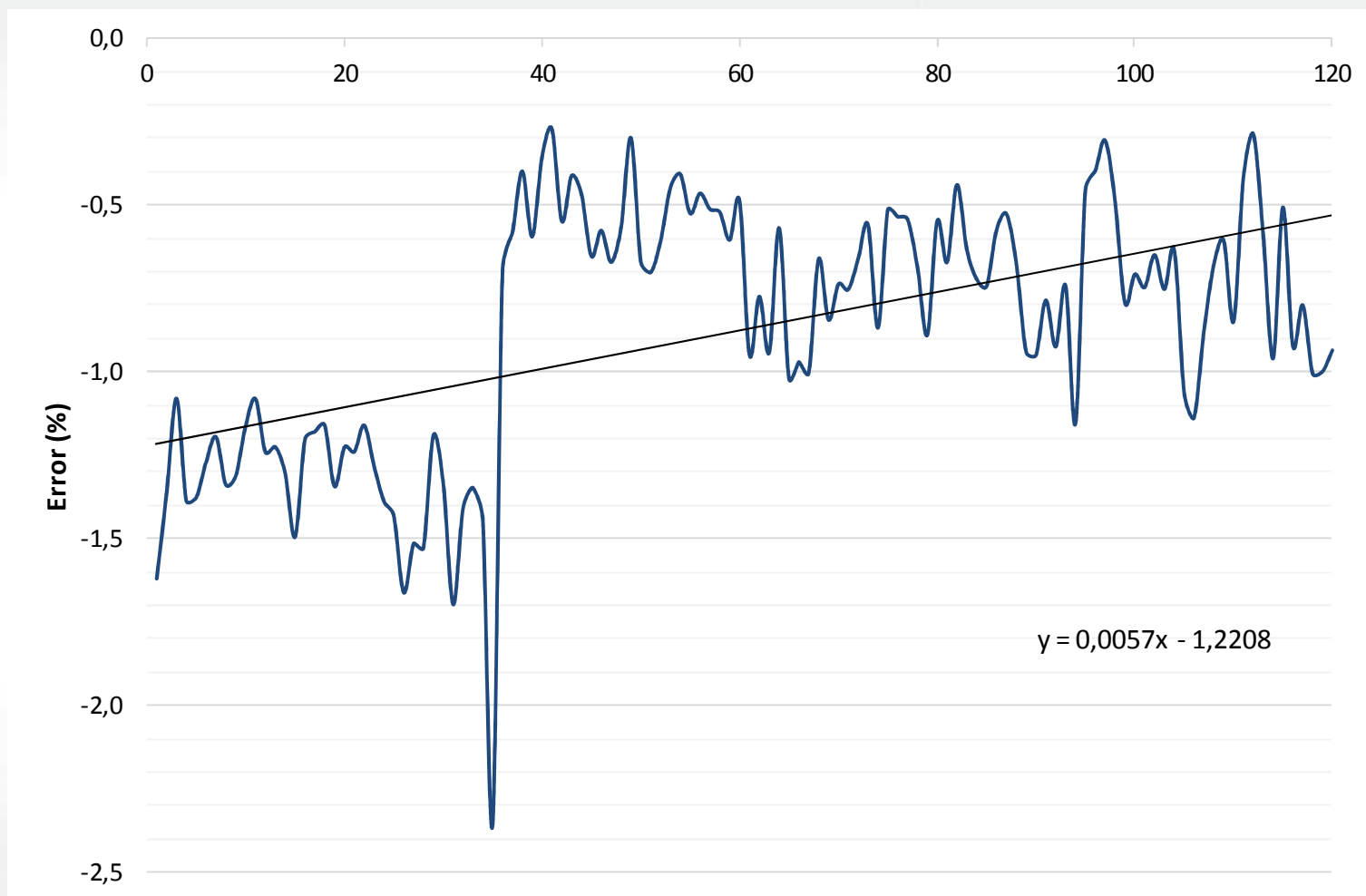
Evolución del EMP por modelo ensayado

Evolución del EMP negativa



Evolución del EMP por modelo ensayado

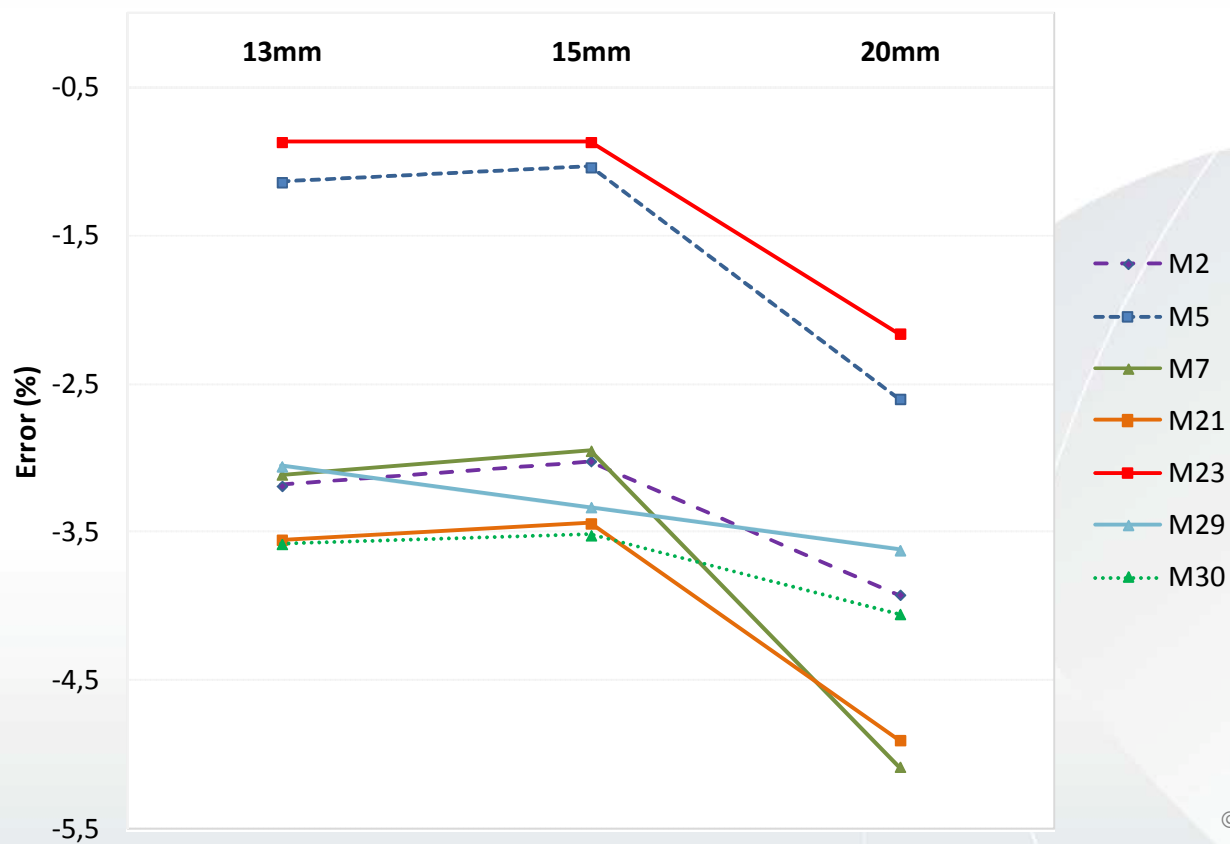
Evolución del EMP positiva (mejora componentes / proceso fabricación)



Errores medios ponderados obtenidos

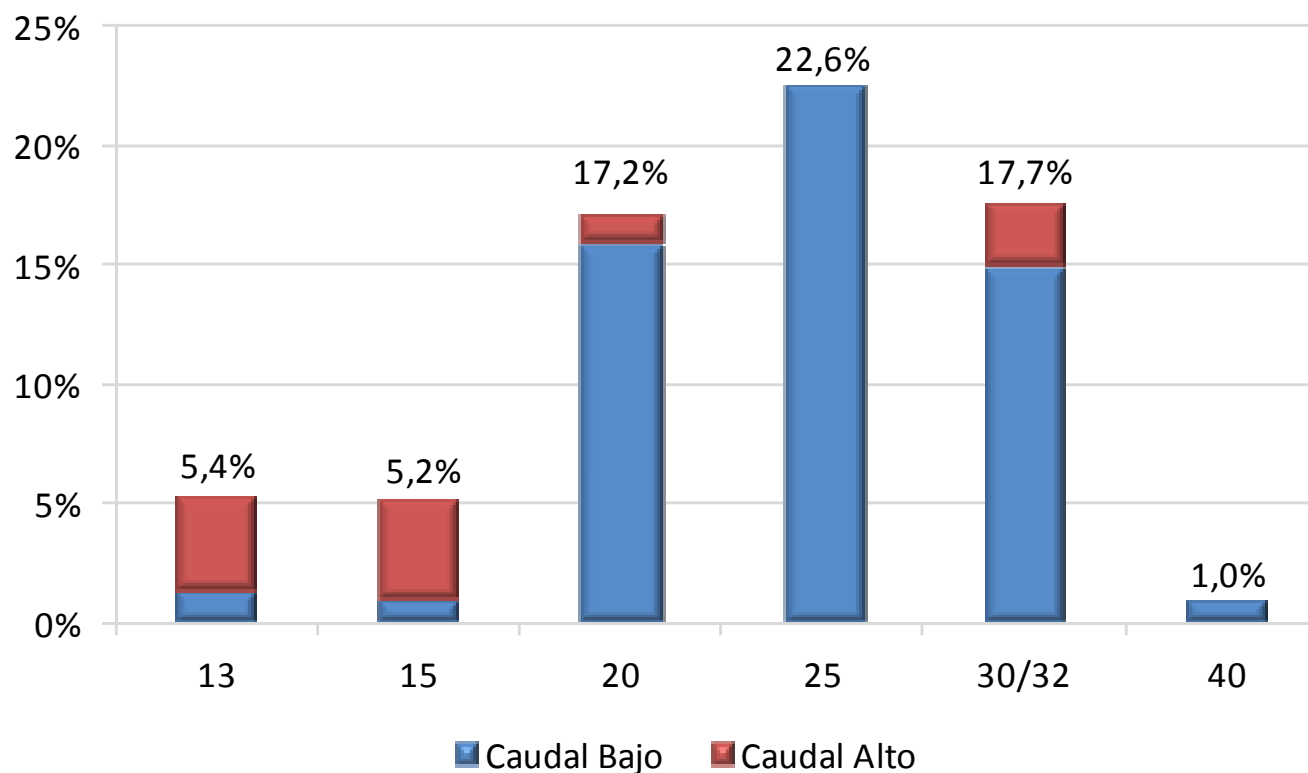
Patrón de consumo directo

	13mm	15mm	20mm
Chorro único clase B o \geq R40	-3,44	-3,30	-4,69
Chorro único clase C o \geq R125	-3,41	-3,36	-3,95
Volumétrico	-1,05	-1,08	-2,29



Contadores defectuosos: 6,9%

Contadores defectuosos por calibre y motivo



Caudal alto

- Par magnético débil (menor resistencia caudales bajos)
- Riesgo desacoplamiento magnético

Caudal bajo

- Vencer rozamientos e inercias

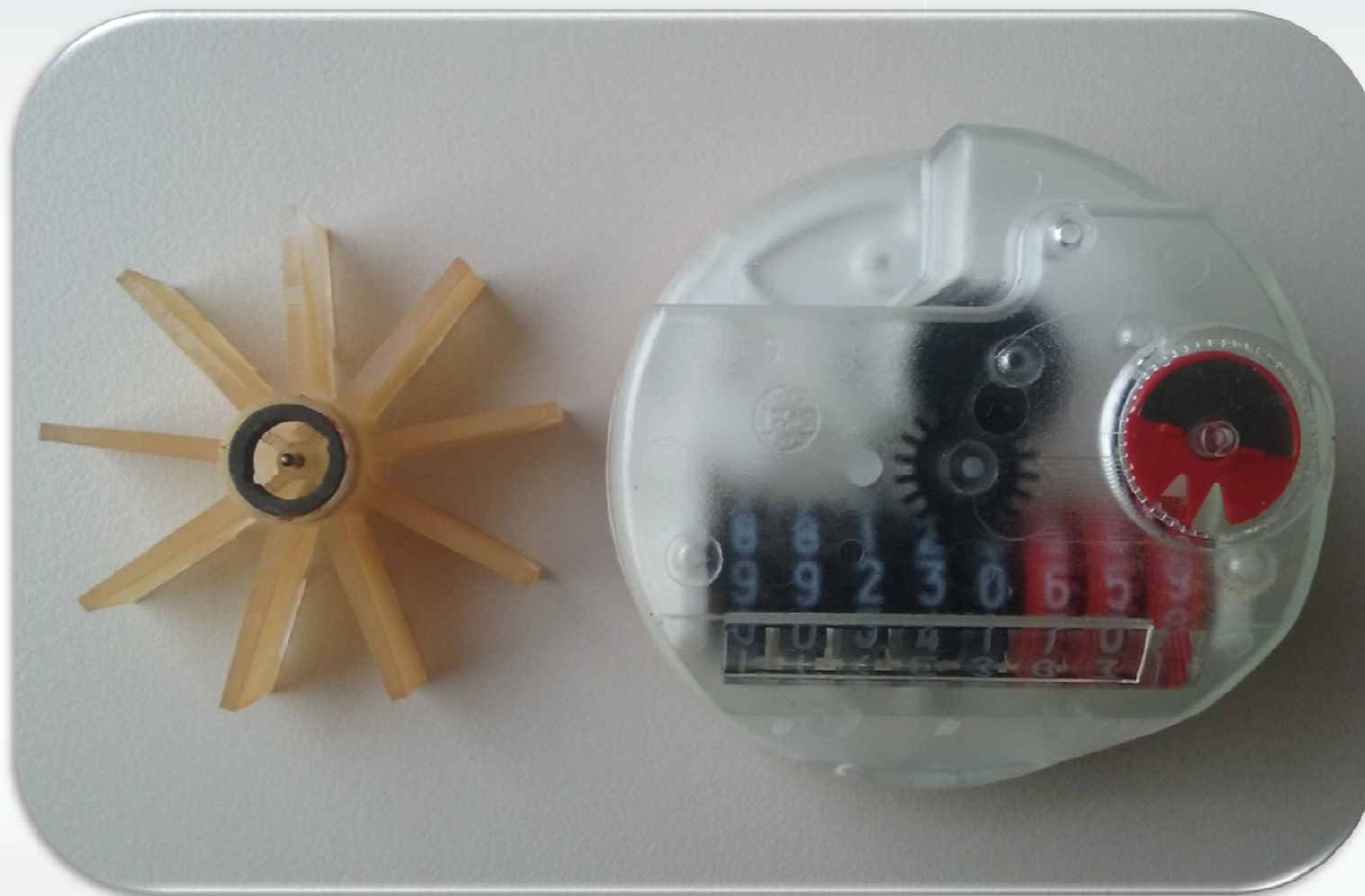
Contadores defectuosos: 6,9%

Transmisión magnética



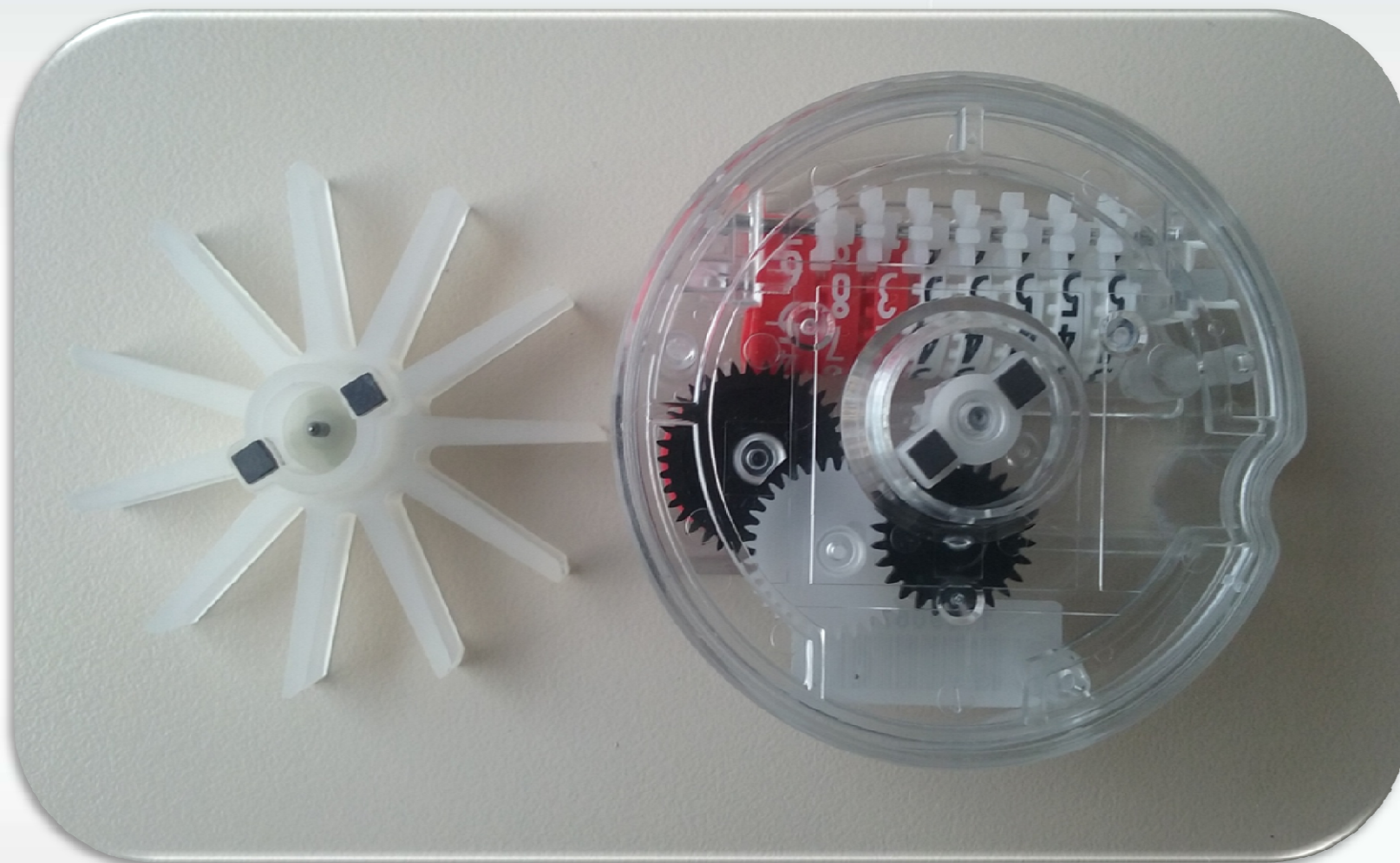
Contadores defectuosos: 6,9%

Transmisión magnética



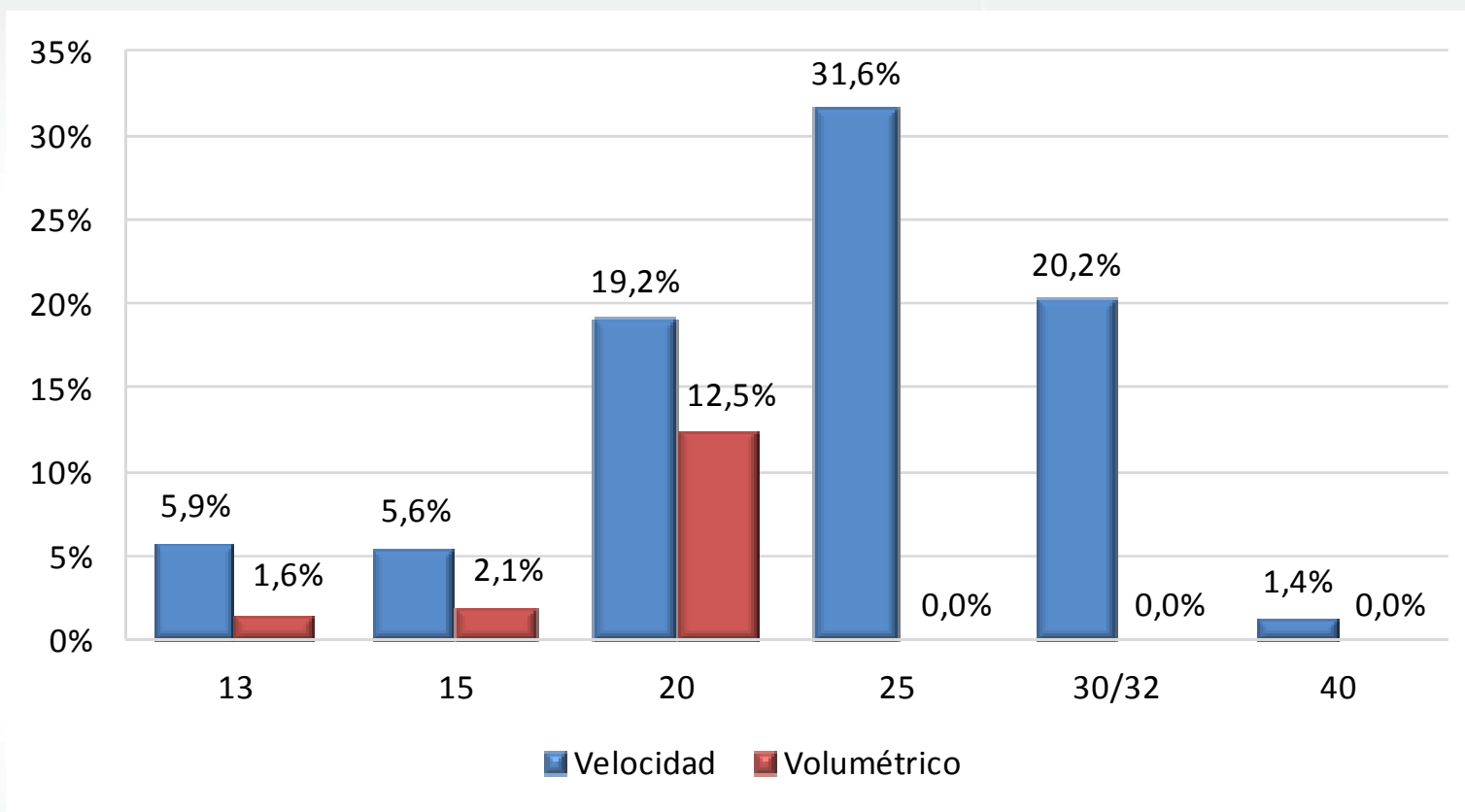
Contadores defectuosos: 6,9%

Transmisión magnética



Contadores defectuosos: 6,9%

Contadores defectuosos por calibre y tecnología



Errores iniciales en contadores de agua

Conclusiones

Contradicción

- Estudios e informes anteriores: EMP próximo a 0%

Error medio ponderado

- Velocidad: superiores al -3,3%
- Volumétricos: próximos al -1%

Variabilidad

- Variaciones en el EMP hasta del 3,5%

Defectuosos calibre

- 13/15mm: 5% (Caudal alto: Desacoplamiento magnético)
- ≥ 20 mm: 20% (Caudal bajo: Grandes inercias a superar)

Defectuosos tecnología

- Velocidad: 5,8%
- Volumétricos: 1,9%

Control a origen

- Totalmente justificado y necesario para todos los calibres
- Cualquier modelo: comportamientos inesperados puntuales

Patrón de consumo

- Crucial

Etapas de la investigación

Introducción

- Problemática de la gestión del agua
- Necesidad control proceso de medición

Gestión de las pérdidas comerciales en abastecimientos de agua

- Importancia de las pérdidas comerciales
- Estado del arte

Patrón de consumo

- Consumidores domésticos
- Consumidores no domésticos: Grandes consumidores

Análisis de los errores iniciales en contadores de agua

- Ensayo y análisis de 5.904 contadores
- 52 modelos diferentes / 5 tecnologías de medición

Análisis de la degradación del error global en contadores de agua

- Ensayo y análisis de 1.456 contadores
- 7 modelos diferentes / 3 tecnologías de medición

Estudio económico

- Estimación de la vida útil de los contadores
- Valoración económica de las pérdidas comerciales

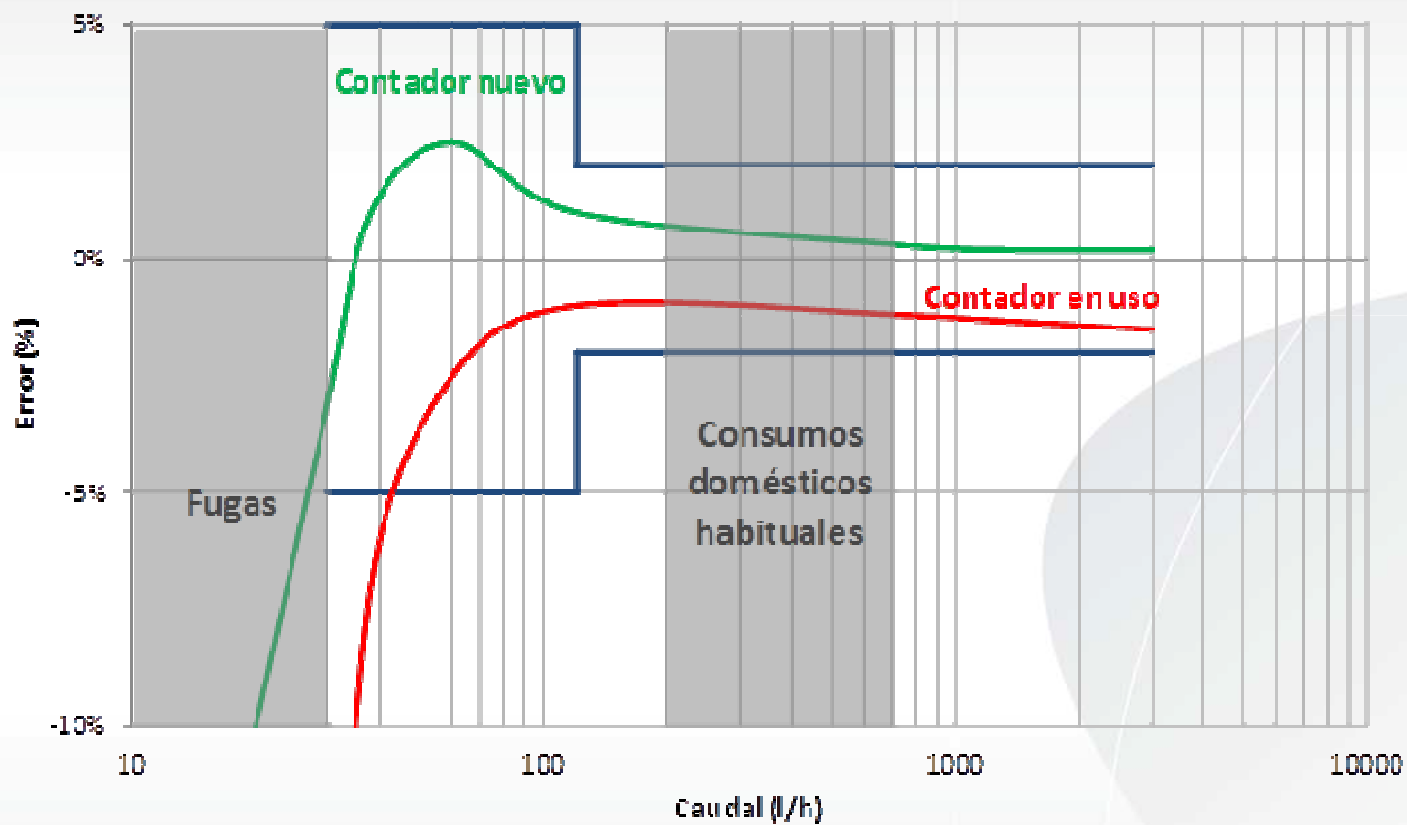
Conclusiones

- Errores iniciales y degradación en contadores domésticos
- Impacto económico de las pérdidas comerciales

Desarrollos futuros

- Aumento de las muestras (grandes consumidores)
- Profundización en factores que afecten a la degradación

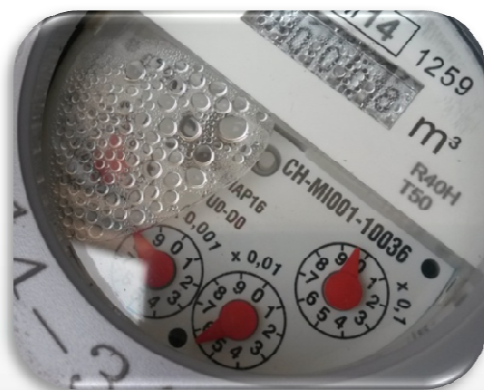
Degradación del error en contadores de agua



1.413 contadores domésticos

Muestras seleccionadas por edad y volumen acumulado

Tecnología	Modelo	Contadores	Totales
Velocidad Chorro único	M1	817	1.223
	M2	406	
Volumétricos	M3	92	190
	M4	98	
			1.413



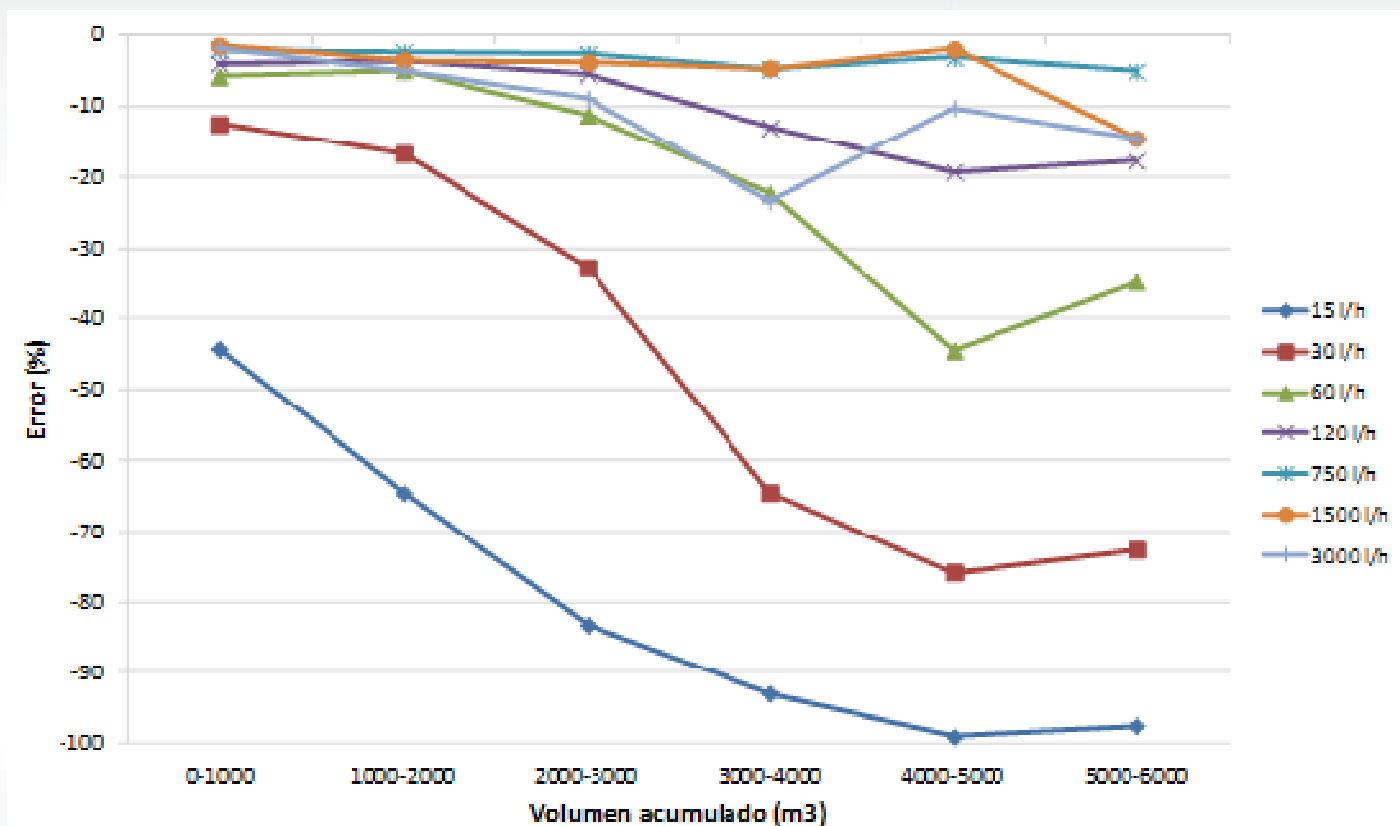
1.413 contadores domésticos

Ensayados a 7 caudales: Caudal de arranque y EMP

Edad (años)		Qarr (l/h)	15	30	60	120	750	1500	3000	EMP
1	MEDIA	6,36	-15,72	-2,99	-0,10	-1,48	-2,85	-2,29	-0,01	-2,76
	DESV EST	-	-	-	-	-	-	-	-	-
3	MEDIA	18,99	-70,84	-21,63	-4,95	-2,67	-0,40	-0,33	-0,06	-6,84
	DESV EST	14,20	35,95	31,37	14,21	8,07	2,65	2,06	1,59	5,22
4	MEDIA	22,37	-80,75	-34,32	-9,32	-4,23	-1,70	-1,37	-1,12	-9,50
	DESV EST	12,23	28,94	37,41	12,62	6,70	2,71	2,45	2,23	3,22
5	MEDIA	26,12	-50,95	-20,93	-7,73	-3,64	-0,60	-0,33	-0,22	-7,35
	DESV EST	36,09	40,36	35,39	21,26	11,44	2,47	2,14	5,44	4,66
6	MEDIA	17,37	-66,67	-21,09	-4,90	-4,46	-1,99	-1,63	-1,12	-8,70
	DESV EST	10,93	39,57	32,01	4,61	2,18	1,92	2,02	1,52	2,71
7	MEDIA	17,71	-64,75	-22,66	-7,92	-4,24	-2,81	-2,05	-4,06	-9,21
	DESV EST	12,76	35,00	31,68	13,30	3,94	2,44	2,32	16,89	3,28
8	MEDIA	15,70	-54,73	-18,11	-7,61	-3,97	-2,27	-2,57	-6,75	-8,57
	DESV EST	13,35	35,80	32,78	18,24	7,76	4,31	8,49	21,96	5,28
9	MEDIA	15,49	-55,40	-11,48	-3,64	-2,39	-0,06	-2,18	-6,33	-6,69
	DESV EST	22,59	36,23	21,49	15,55	9,25	3,37	14,91	24,91	4,65

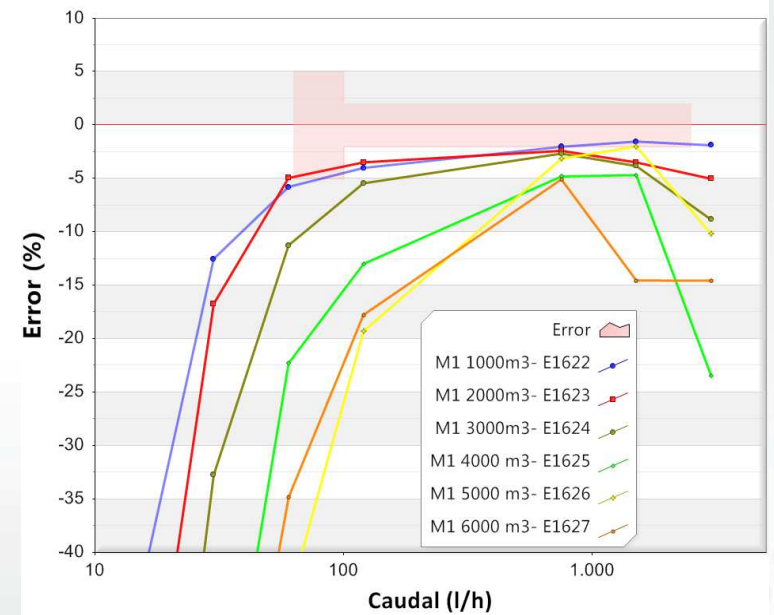
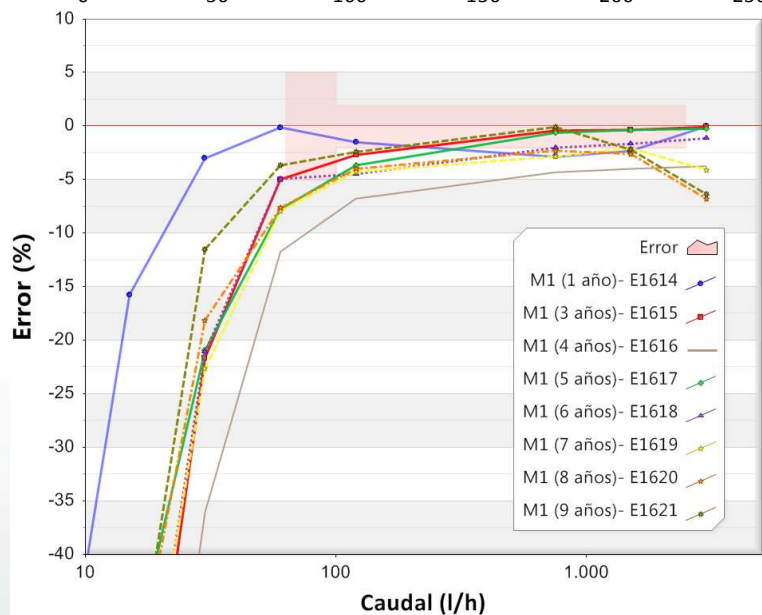
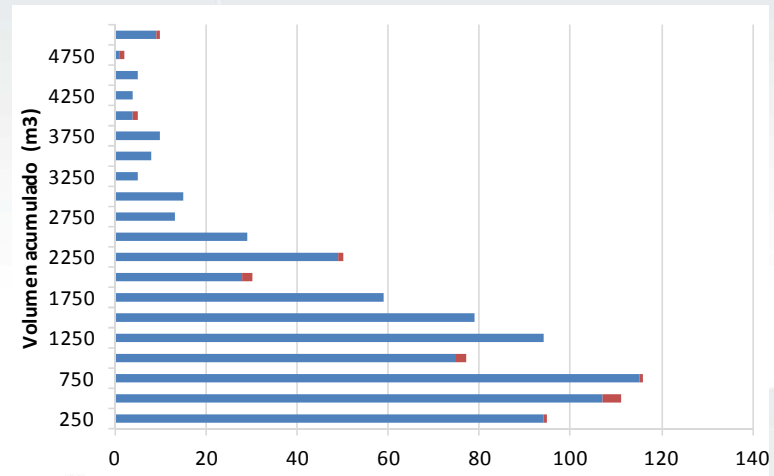
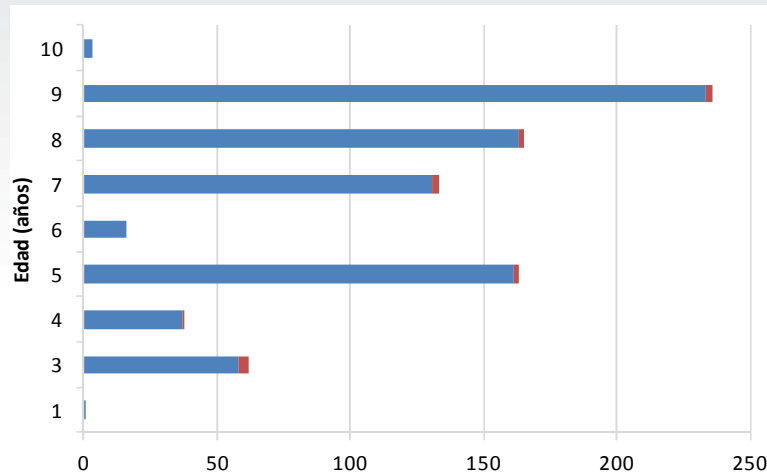
Mayor deterioro a caudales bajos

Evolución del error a cada caudal



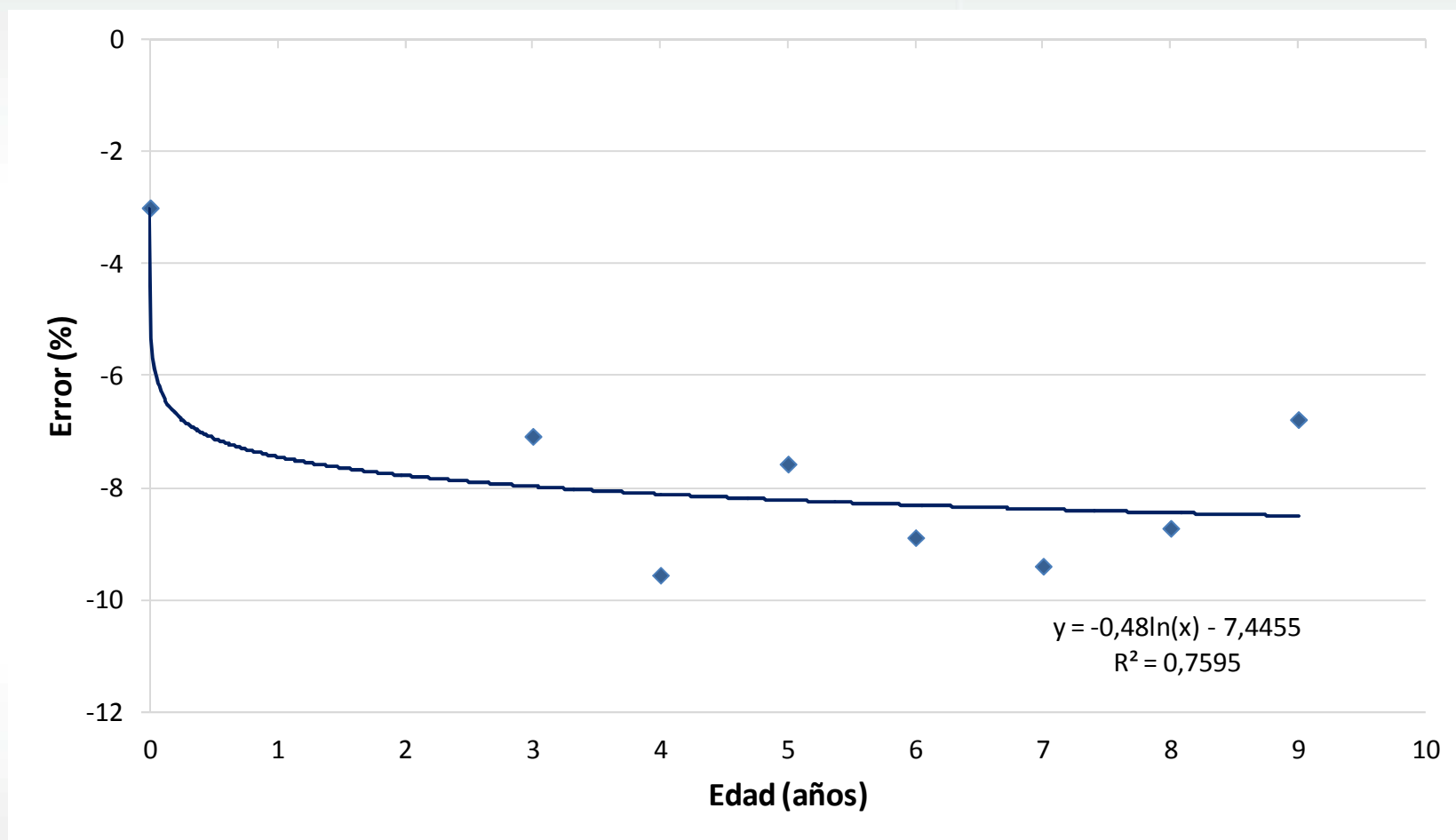
Análisis edad y volumen acumulado

Muestras seleccionadas por edad y volumen acumulado



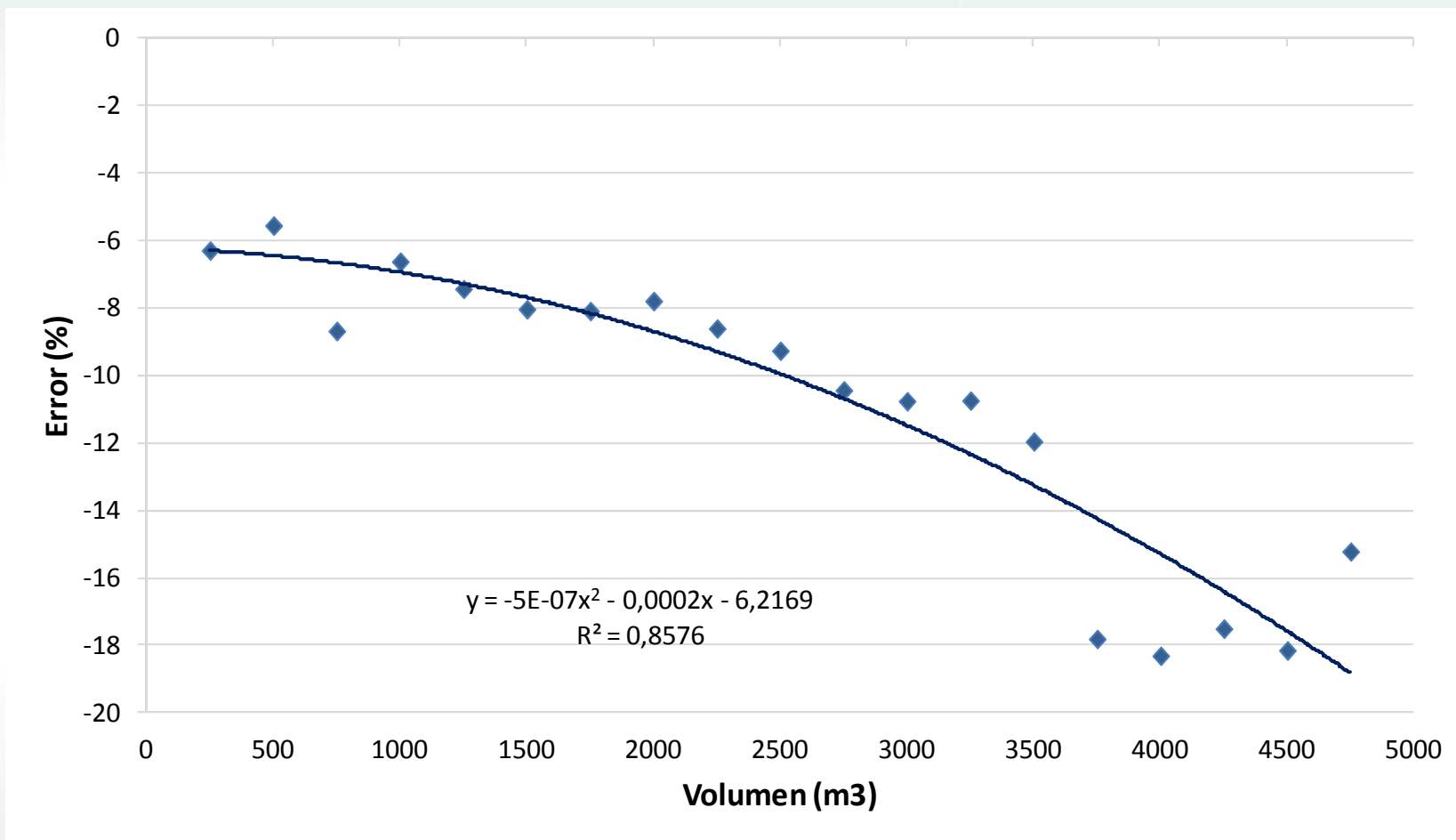
Evolución del EMP con la edad

El error no degrada linealmente



Evolución del EMP con el volumen acumulado

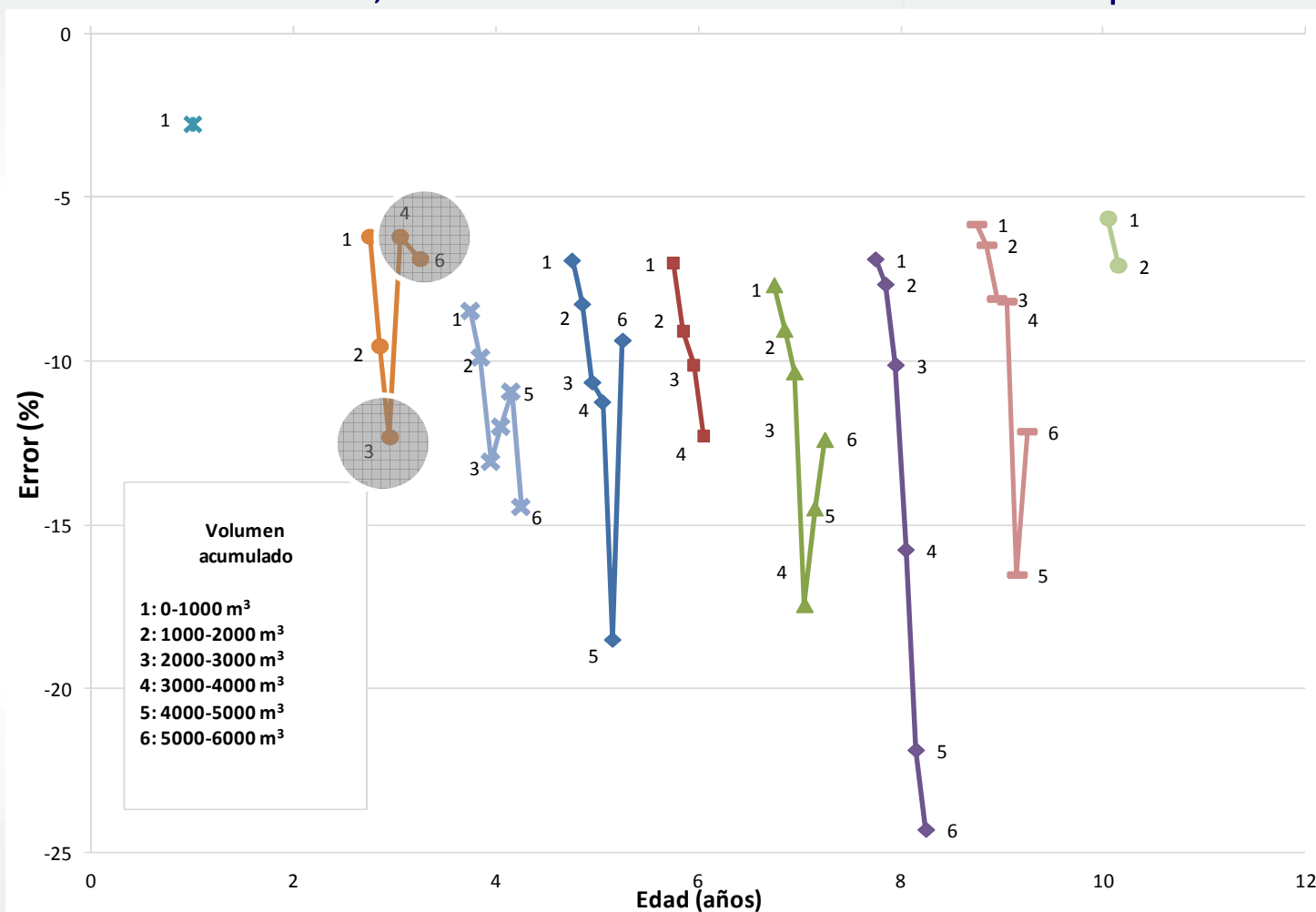
Siendo una regresión cuadrática, el volumen únicamente influye a partir de 2.500 m³



Evolución del EMP: edad y volumen

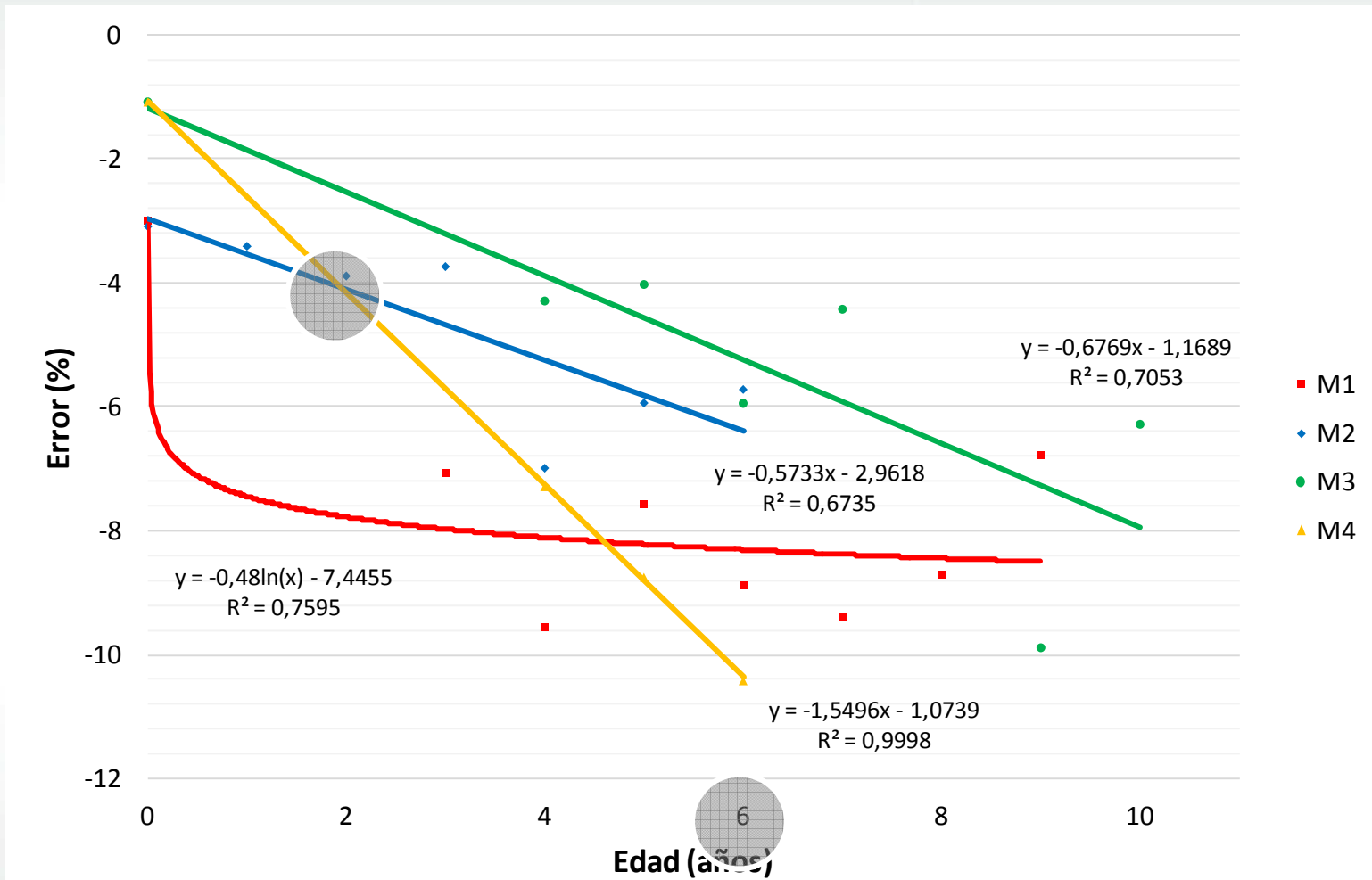
La dispersión de los errores aumenta con la edad

Para una misma edad, el error aumenta con el volumen vs patrón consumo



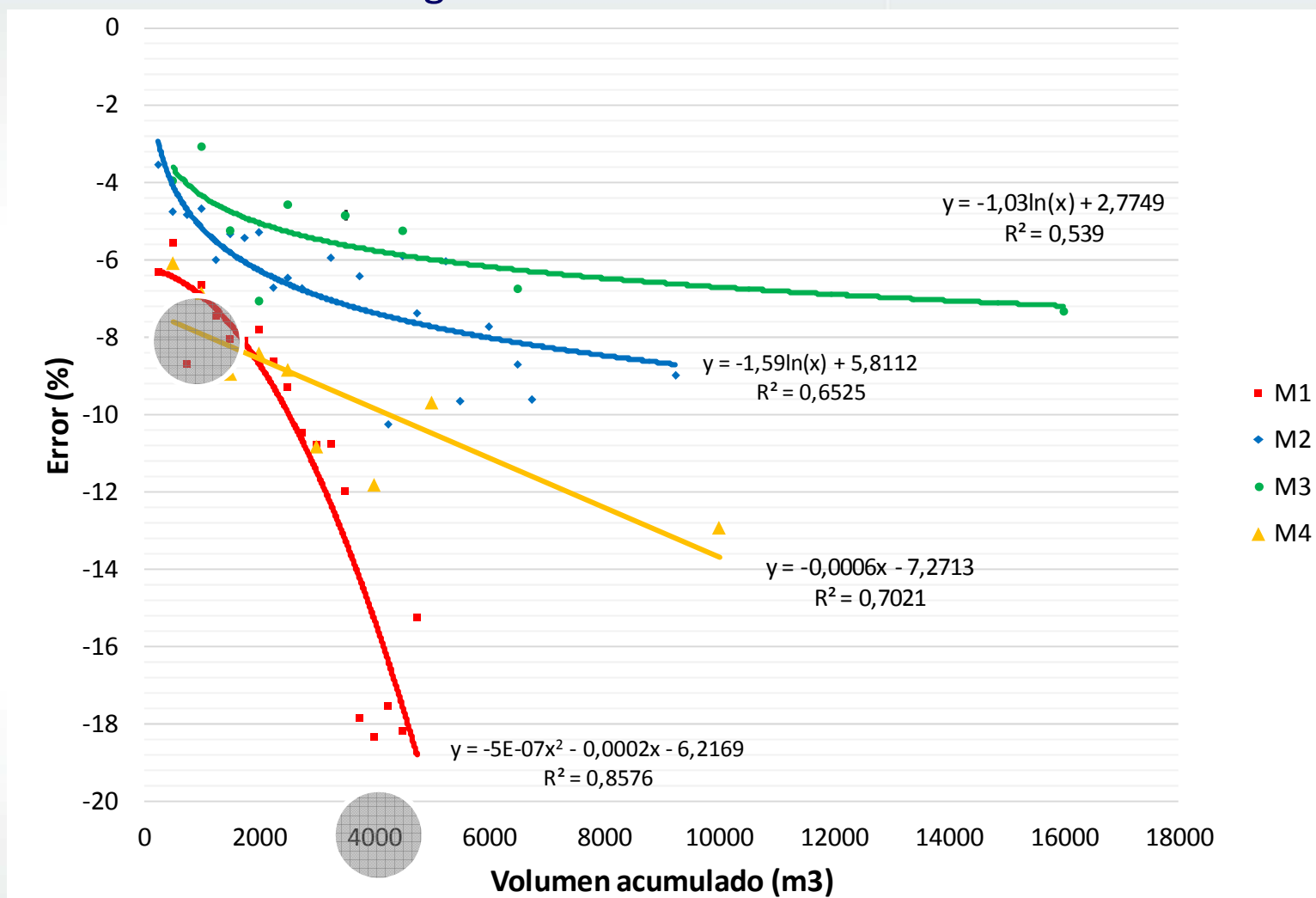
Comparativa evolución del EMP con la edad

Volumétricos vs Velocidad



Comparativa evolución del EMP con el volumen

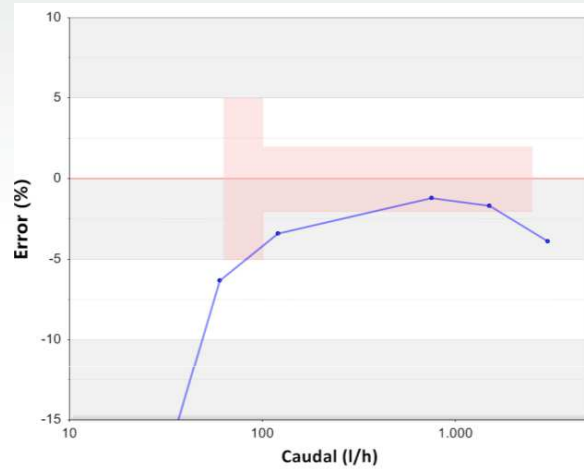
Degradaciones suaves vs intensas



Comparativa curvas de error

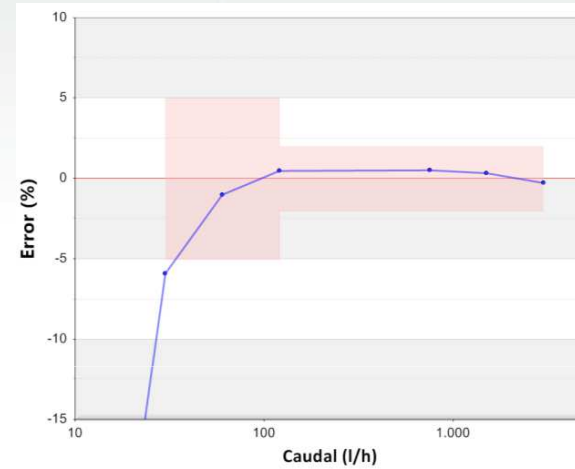
M1

6,9 años / 1.228 m³



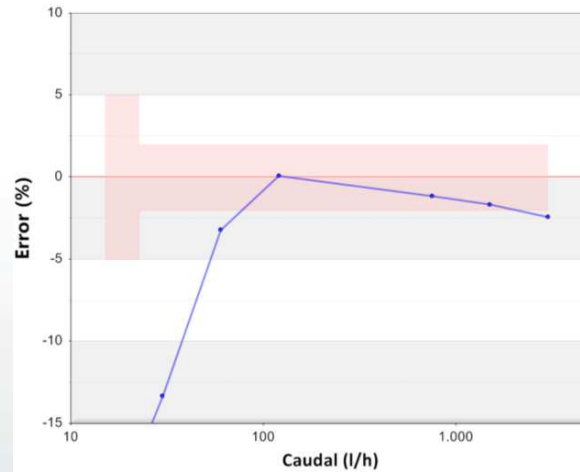
M2

3,7 años / 841 m³



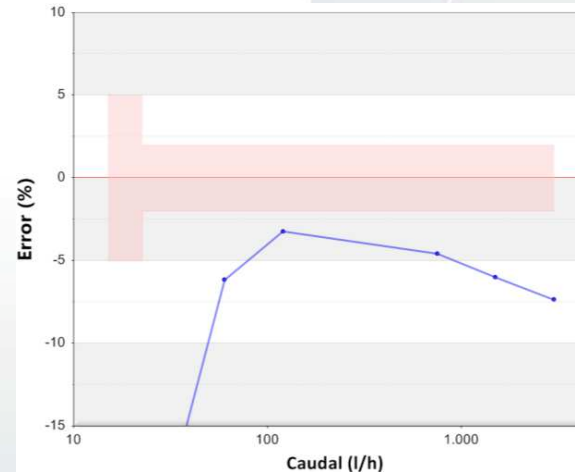
M3

6 años / 2.774 m³



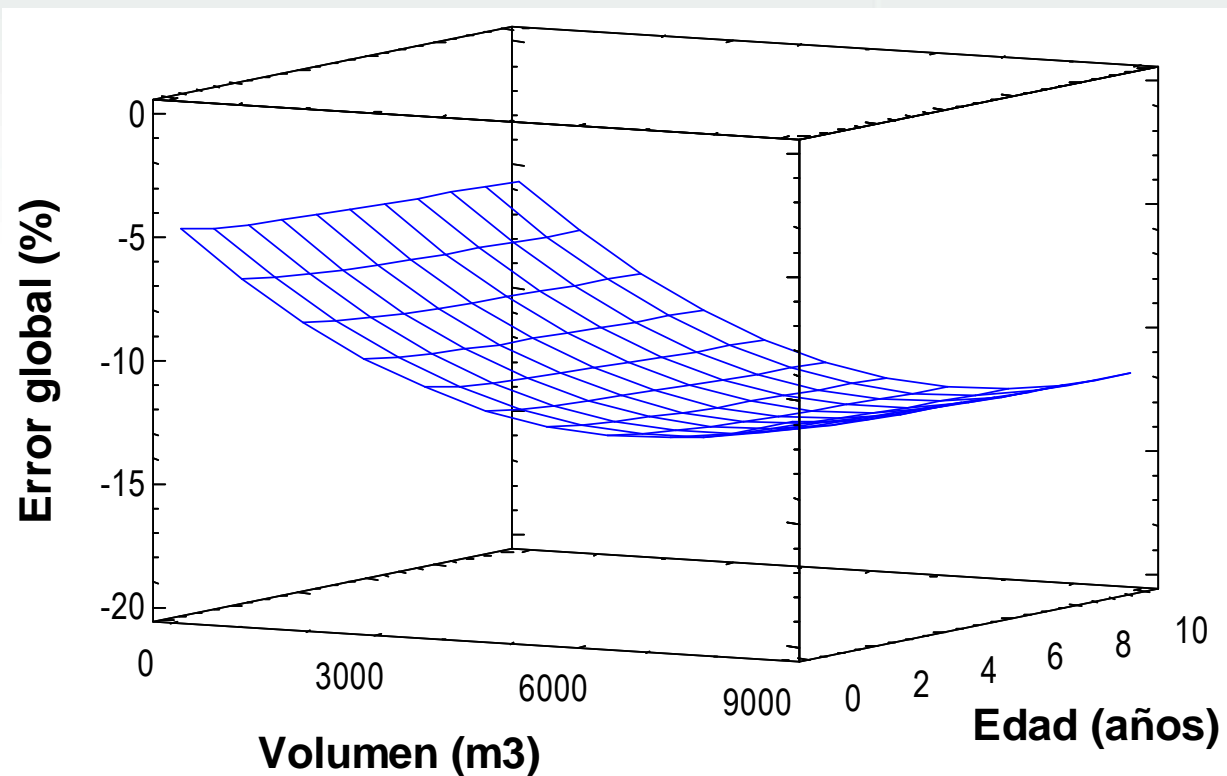
M4

5,5 años / 3.010 m³



Modelo combinado de degradación

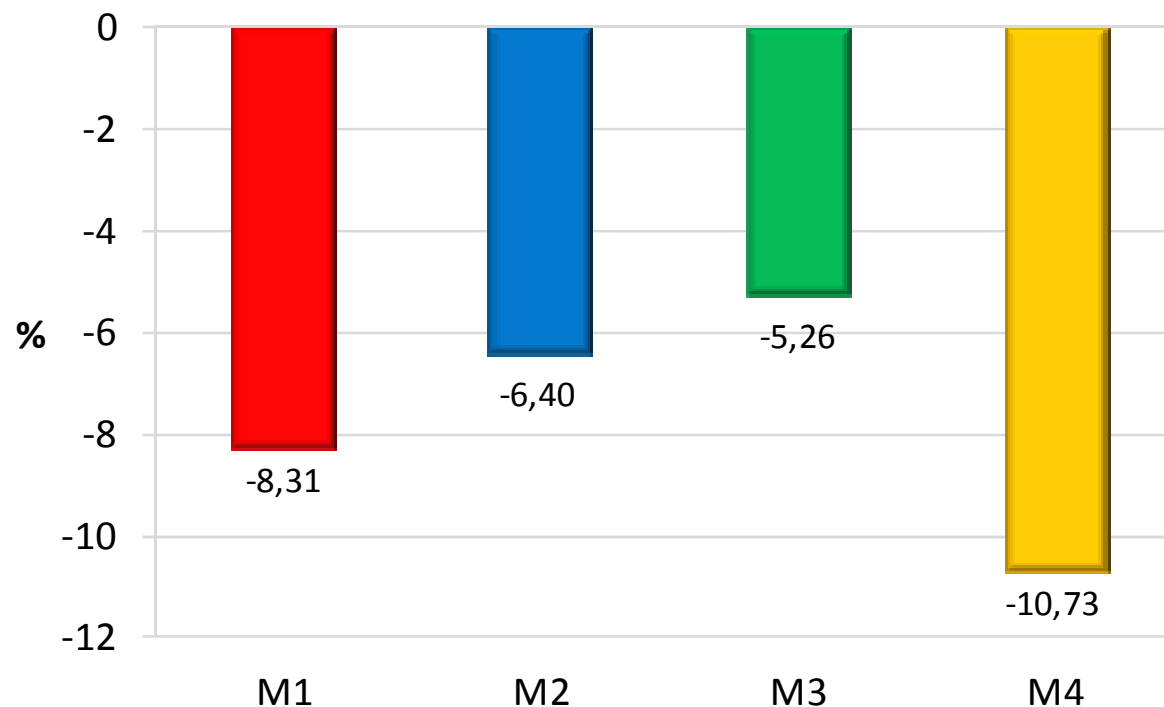
Ajuste mediante iteraciones de regresiones múltiples



$$\epsilon_{\text{global}} = (-0,34 \cdot \log(\text{edad}+1)) + (-0,002 \cdot \text{Vol} + 1,69 \cdot 10^{-7} \cdot \text{Vol}^2 - 4,72)$$

Errores globales por modelo (6 años)

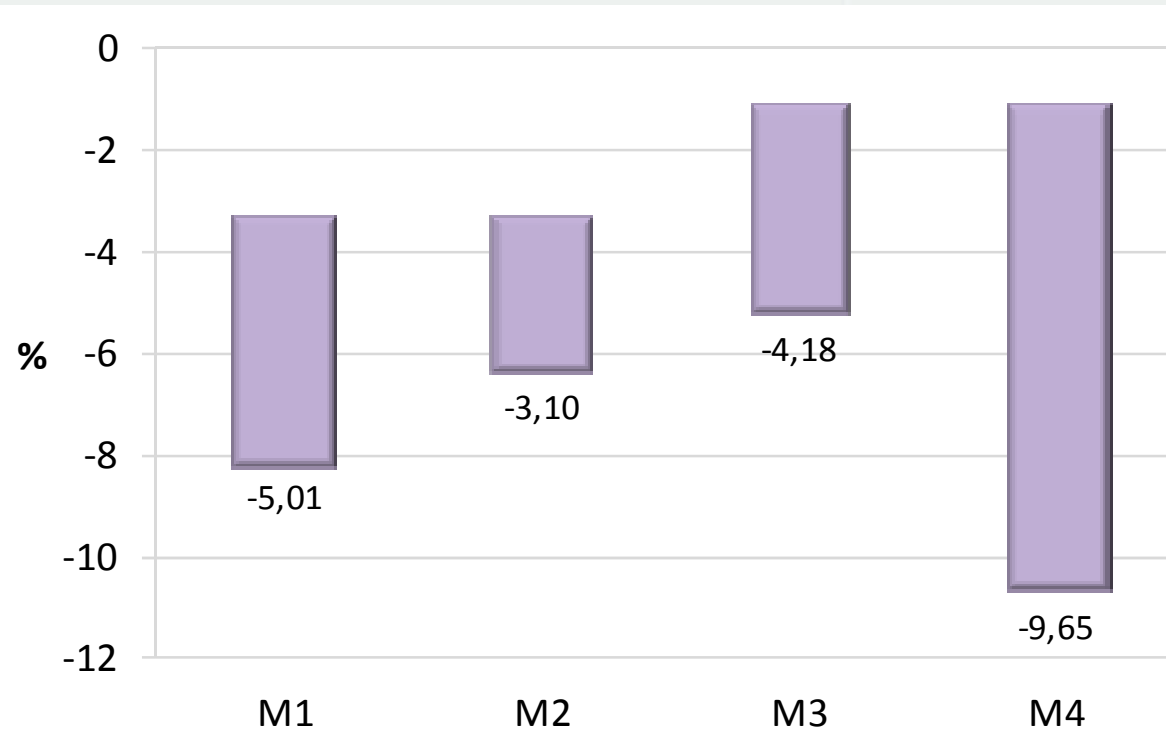
Resultados



Error global parque contadores joven: -7,8%

Degradación por modelo (6 años)

Velocidad vs Volumétricos



Precisión: tolerancias muy estrechas sujetas a grandes y prematuros desgastes

Degradación del error en contadores de agua

Conclusiones

Error medio ponderado

- Depende fuertemente del modelo
- Grandes variaciones

Degradación media anual

- Velocidad: -0,72%
- Volumétricos: -1,56%

Defectuosos

- Velocidad: 1,3%
- Volumétricos: 4,7%

Error global parque contadores

- Edad estimada: 10 años
- Error global: -11,4%

Sobrecontaje

- Mayor problemática en contadores de velocidad

Tendencia degradación

- Edad: excepto para un modelo, ha sido lineal
- Volumen: depende directamente del modelo

Contador ideal

- Gran dificultad en conseguir contadores precisos a caudales bajos y a la vez robustos.

Legislación

- ¿Error máximo contadores en uso?

Etapas de la investigación

Introducción

- Problemática de la gestión del agua
- Necesidad control proceso de medición

Gestión de las pérdidas comerciales en abastecimientos de agua

- Importancia de las pérdidas comerciales
- Estado del arte

Patrón de consumo

- Consumidores domésticos
- Consumidores no domésticos: Grandes consumidores

Análisis de los errores iniciales en contadores de agua

- Ensayo y análisis de 5.904 contadores
- 52 modelos diferentes / 5 tecnologías de medición

Análisis de la degradación del error global en contadores de agua

- Ensayo y análisis de 1.456 contadores
- 7 modelos diferentes / 3 tecnologías de medición

Estudio económico

- Estimación de la vida útil de los contadores
- Valoración económica de las pérdidas comerciales

Conclusiones

- Errores iniciales y degradación en contadores domésticos
- Impacto económico de las pérdidas comerciales

Desarrollos futuros

- Aumento de las muestras (grandes consumidores)
- Profundización en factores que afecten a la degradación

Estudio económico

Vida útil de los contadores analizados con las degradaciones obtenidas

Cálculo

- VANC como cadena de aproximación del VAN de la cadena de renovaciones
- Obtención del contador más económico o que más ingresos genere

Degradación lineal con la edad

- Entre los 9 y los 14 años
- M1: 10años / M2: 13 años / M3: 14 años / M4: 9 años

Degradación no lineal (edad y volumen)

- Entre los 10 y los 23 años
- M1: 23 años / M2: 15 años / M3: 10 años / M4: 10 años

Vida útil

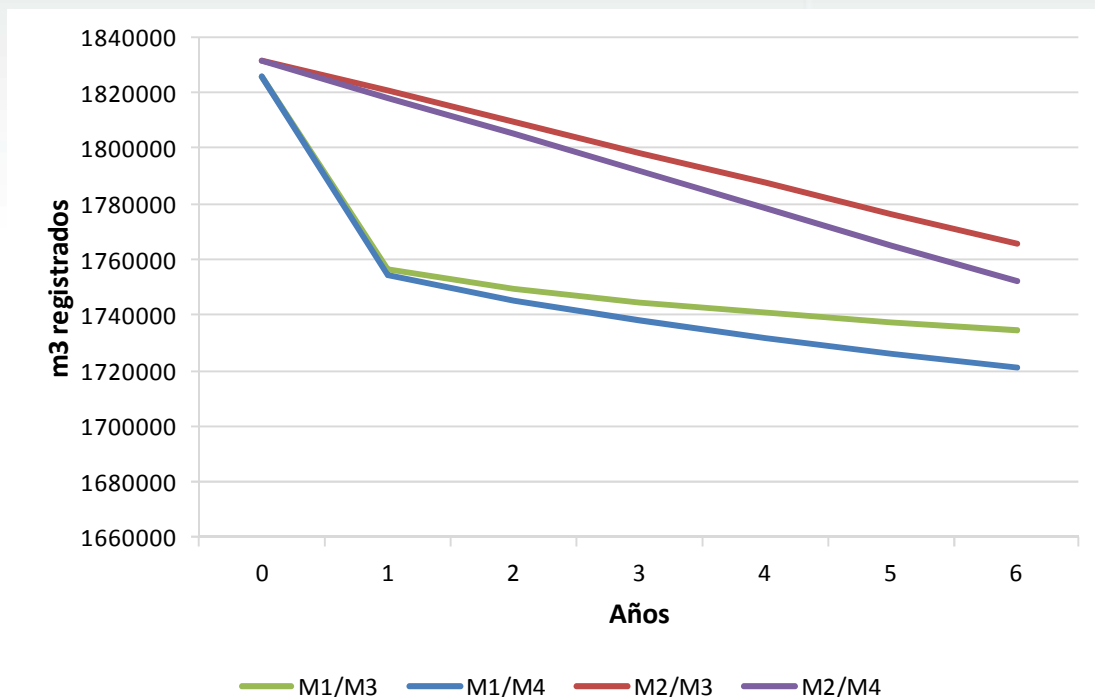
- Es superior asumiendo una degradación combinada
- Depende fuertemente del precio de venta del agua

Estudio económico



Estudio económico

Análisis económico en función de la elección del tipo de contador



Pérdidas comerciales recuperables por contador y año: 3,2 m³

Pérdidas comerciales totales por contador y año: 9,1 m³

Principales aportaciones

Obtención patrones consumo

Relevancia presencia depósitos: válvula llenado progresiva.
Importancia revisión previa instalaciones interiores.
Estudio individualizado grandes consumidores.
Magnitud problema mal dimensionamiento
68% mal dimensionados
17% problemas funcionamiento por caudales elevados
32% fugas interiores.

Amplio análisis errores iniciales (5.904 contadores)

Contadores velocidad domésticos: -3,3%
Contadores volumétricos: -1,05%
Variación en el error hasta del 3,5% (incluso para un mismo modelo)
Contadores defectuosos: 6,85%

Principales aportaciones

Degradación media anual del error

Contadores velocidad domésticos: -0,72%
Contadores volumétricos: -1,56%

Orden magnitud variación errores

Condiciones iniciales: 3%
Contadores en uso: 10%

Vida útil superior asumiendo degradación combinada

Pérdida media unitaria por contador y año: 9,14 m³

Conclusiones generales

Patrón de consumo determinante = Actualización continua

Condiciones excelentes a origen \neq Degradación excelente

Gestión parque contadores: Estudio y análisis constante

Análisis resto componentes pérdidas comerciales

**Plan estratégico reducción agua no facturada:
Pérdidas reales + Pérdidas comerciales**

Coste unitario pérdidas comerciales mucho mayor

Optimización pérdidas comerciales: más efectiva

Conclusiones generales

Smart Metering Systems

Ni el mejor de los sistemas inteligentes puede detectar consumos por debajo del mínimo caudal del contador

Contador

Elemento que da valor al ciclo integral del agua

Estudio del comportamiento metrológico de los contadores en abastecimientos de agua

Francesc J. Gavara

Cátedra FACSA de innovación en el ciclo integral del agua de la Universitat Jaume I
Castellón, 3 de Noviembre de 2016

