



III Ciclo de 20 MasterClass

AGUASRESIDUALES.INFO

MASTERCLASS 06



“Medición de caudales en colectores y aliviaderos de la red de saneamiento urbano.”

Alberto Soriano

Responsable del Proyecto PAITIDA
(PERTE digitalización del Ciclo del Agua)



III Ciclo de 20
MasterClass
AGUASRESIDUALES.INFO

Jueves

24 ABRIL

16:30h. España

Inscríbete

Índice

1. **Medir caudales en colectores No visitables**
2. **El Consorci Besòs Tordera (CBT) y Drenatges Urbans del Besòs (DUB)**
3. **Testeo de equipos medición de Caudales**
4. **Construcción curva de gasto calado-caudal**
5. **Conclusiones**
6. **Siguientes pasos**
7. **Agradecimientos**

Medir caudales en colectores NO visitables

Problemática sondas sumergidas estimación caudales aguas residuales:

1) Complejidad instalación sensor:

- Sobrecostes económicos
- Riesgo personal (EE.CC.)
- Riesgo medio ambiente (vertidos)



2) Complejidad mantenimiento sensor:

- 2-3 limpiezas semanales



MEDIR CON SONDAS NO SUMERGIDAS

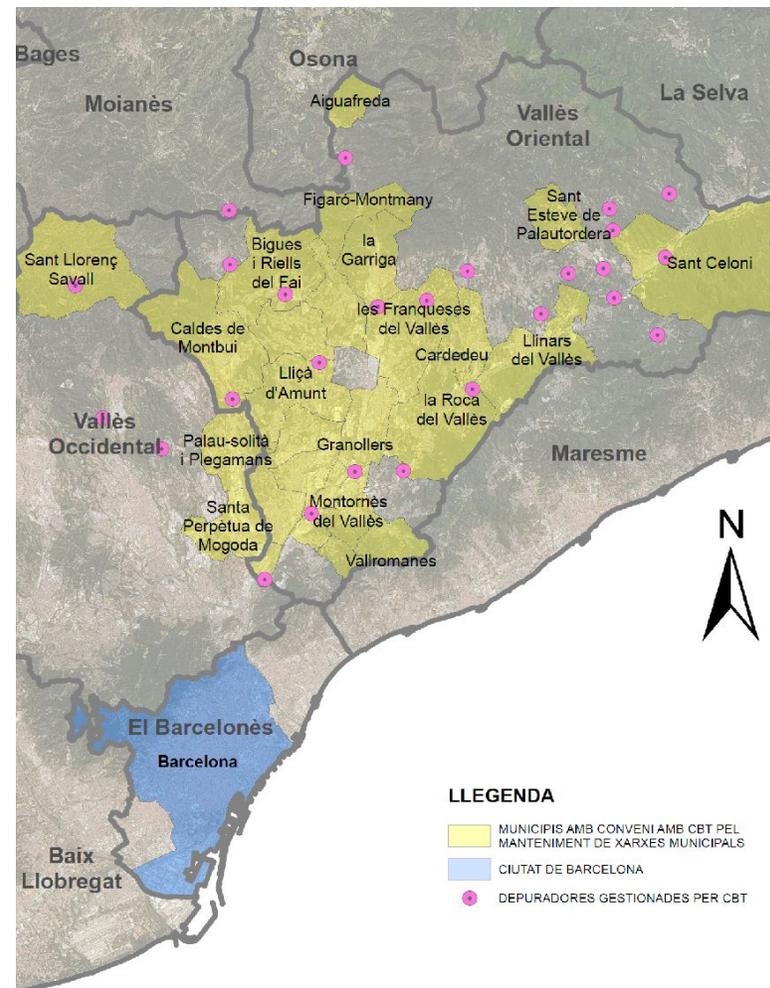
El CBT y DUB

Consorcio Besòs Tordera (CBT)

- Administración Local: Entidad Local Agua
- Saneamiento alta: 50 municipios
 - 27 EDAR
 - 316 km colectores alta
 - 512.016 habitantes
 - 4.263 industrias
- Alcantarillado municipal: 27 municipios
 - 1.675 km de colectores baja
 - 443.225 habitantes

Drenatges Urbans del Besòs (DUB)

- Mercantil economía mixta (50% CBT - 50% Agbar)
- Actividades:
 - Operación y mantenimiento alta y baja
 - Reposiciones
 - Oficina técnica



La realidad de la red de alcantarillado/saneamiento

- Pozos registro ≤ 1.200 mm (>92%)

Tabla 1: Tamaño pozos de registro ámbito CBT

Diam int. (cm)	Red Alta	Red Baja	Red Alta	Red Baja
$0 < \phi < 100$	723	28.896	12,05%	79,58%
$100 \leq \phi < 120$	1.490	6.449	24,83%	17,76%
$120 \leq \phi < 150$	3.363	807	56,04%	2,22%
$\phi \geq 150$	425	156	7,08%	0,43%
Total	6.001	36.309	100,00%	100,00%

Requerimientos equipos caudales NO visitables

- Tamaño reducido: aperturas haz
- Resistencia inundación/condensación
- Autonomía energética: duración baterías
- Conectividad GSM
- Facilidad de instalación
- Facilidad configuración / calibración
- Desarrollo software
- Bondad medida
- Coste económico



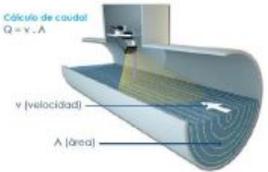
TESTEO EQUIPOS CAUDALES (2/4)

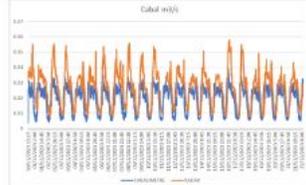
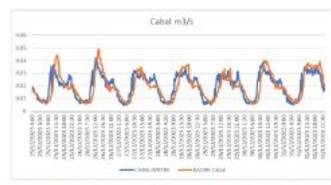
Especificaciones técnicas equipos testeados

Tabla 1: Características de los equipos testeados. Fuente:(info manuales equipos)

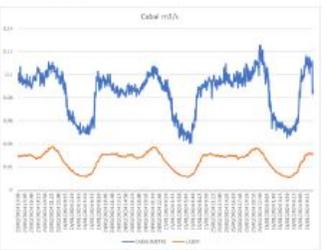
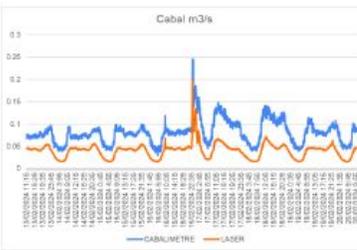
	Radar (Prov. 1.)	Radar (Prov. 2)	Láser	Ultrasonidos
Tecnología	Radar velocidad superficial Nivel: ultrasonidos	Radar velocidad superficial. Nivel: ultrasonidos	Láser velocidad subsuperficial efecto Doppler Nivel: láser	Sonda velocidad ultrasonido con efecto Doppler Nivel: transductor presión
Ángulo abertura haz	10 °(5°+5°)	20° (10°+10°)	10 °(5°+5°)	No abre el haz
Rango velocidades (m/s)	0,08- 15,00	0,2 – 6,0	0,150 – 4,60	-01,5 – 6,1 m/s
Rango niveles (m)	0,00 – 5,00	0,00 – 3,00	0,00-3,00	0,17-3,00
Precisión	±0,5 %	No facilitada	±0,5 % (para 0.03 m/s) ± 0.006 m (para 30,48 cm)	Veloci:± 0,03 m/s Nivel. ± 3 mm
Dimensiones (cm) alto x ancho x largo	18,3x14,0x42,2	7,8x7,8x14,0	38,01x26,21x56,7	Vel: 7,4x28,7x19,1 Nivel: 15,5x15,5x26,1
Peso (kg)	3,85	1,00	8,7	Nivel: 1 kg
Alimentación	4 a 26 VDC	10 a 28 VDC	7 – 16,6 VDC o 220 VAC	Nivel. 5-30 VDC
Protección	IP68	IP68	IP68	Veloc: IP68 Nivel: IP68
Salida	Modbus	HART, 4-20mA	Modbus	Modbus

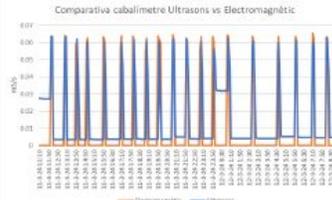
TESTEO EQUIPOS CAUDALES (3/4)

RADAR PROVEEDOR 1	
	<p>Características de la Instalación:</p> <p>Pozo instalación: galería Ca N'Oriol (Rubi) Diámetro pozo: instalación en galería Diámetro colector: RECT 4,00 x 2,50 m Periodo de medición: 15/06/2022 a 19/09/2022</p>
i. Dimensiones del sensor/ángulo abertura: El tamaño del equipo y su ángulo de abertura del haz implican una instalación muy cercana al nivel de aguas bajas.	Instalado en galería.
ii. Resistencia inundación/condensación: No comprobado, ningún evento de lluvia que inunde el colector	Sin evaluar.
iii. Autonomía energética: Tres semanas toma datos quince-minutales.	Válido campañas puntuales aforo. No válido en instalación permanente.
iv. Conectividad GSM	Válido
v. Facilidad de instalación Instalación ejecutada por servicio técnico.	Sin evaluar.
vi. Facilidad configuración / calibración del sensor: Configuración realizada por el servicio técnico	Sin evaluar.
vii. Desarrollo software: No depuración automática de caídas de medición / valores anómalos.	Mejorable.
viii. Posibilidad lectura con equipo inundado: No comprobado, ningún evento de lluvia. Tecnología impide mediciones con el equipo sumergido (medida velocidad superficie).	No válido con equipo sumergido.
ix. Bondad de la medida: No comprobado, imposibilidad de instalación caudalímetro de contraste.	Sin evaluar
x. Coste económico: Coste alto 10-12.000 €	Alto
	<p>Cálculo de caudal $Q = v \cdot A$</p> <p>v (velocidad) A (área)</p> 

RADAR PROVEEDOR 2	
	<p>Características de la Instalación:</p> <p>Pozo instalación: colector LA06_001 Diámetro pozo: instalación en galería Diámetro colector: RECT 2,00 x 1,00 m Periodo de medición: 30/11/2023 a 22/01/2024</p>
i. Dimensiones del sensor/ángulo abertura: El tamaño del equipo y el ángulo de abertura del haz, implican una instalación muy cercana al nivel de aguas bajas.	Instalado en galería.
ii. Resistencia inundación/condensación: No comprobado, ningún evento de lluvia que inunde el colector	Sin evaluar.
iii. Autonomía energética: Dos meses contrastados de toma datos quince-minutales. Fabricante asegura 9-18 meses de autonomía.	Válido campañas puntuales aforo. Sin evaluar instalación permanente.
iv. Conectividad GSM	Válido.
v. Facilidad de instalación Instalación ejecutada por DUB. Dificultad anclaje del equipo a pesar de ser un equipo ligero.	Instalación difícil.
vi. Facilidad configuración / calibración del sensor: Configuración realizada por el servicio técnico con asistencia en remoto desde la central.	Configuración muy difícil.
vii. Desarrollo software: Depuración automática de caídas de medición / valores anómalos.	Buen desarrollo software
viii. Posibilidad lectura con equipo inundado: No comprobado, ningún evento de lluvia. Tecnología impide mediciones con el equipo sumergido (medida velocidad superficie)	No válido con equipo sumergido.
ix. Bondad de la medida: Primera instalación: errores máx 749,06% ; medio: 52,39% ; min: 0,04% Tras calibración equipo: errores máx 160,9% ; medio: 28% ; min: 0,04%	Aceptable después de realizar calibración.
x. Coste económico: 6.000 €= 4.000 € (sensor velocidad) + 2.000 € (sensor nivel)	Bajo.
	
Figura 2: Ultrasonidos vs Radar (antes de calibrar)	Figura 3: Caudalímetro vs Radar (tras calibrar)

TESTEO EQUIPOS CAUDALES (4/4)

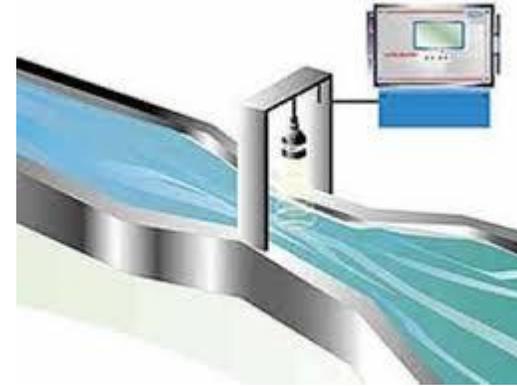
LASER	
	<p>Características de la Instalación:</p> <p>Pozo instalación: MN06_010 Diámetro pozo: 1200 mm Diámetro colector: CIRC 500 mm Periodo de medición: 13/02/2024 a 20/02/2024</p>
i. Dimensiones del sensor/ángulo abertura: El tamaño del equipo y el ángulo de abertura del haz implican una instalación muy cercana al nivel de aguas bajas.	Válido en pozos estándar con instalación muy cerca de la lámina de agua.
ii. Resistencia inundación/condensación: No comprobado, ningún evento de lluvia que inunde el colector	Sin evaluar
iii. Autonomía energética: Cuatro días toma datos quince-minutales. Proveedor indica 9-12 días lectura quince-minutales	Valido campañas puntuales aforo. Instalación permanente: acometida eléctrica.
iv. Conectividad GSM	Válido
v. Facilidad de instalación Instalación ejecutada por DUB. Dificultad anclaje del equipo (equipo pesado que ocupa mucho espacio del pozo).	Instalación difícil.
vi. Facilidad configuración / calibración del sensor: Configuración realizada por el servicio técnico con asistencia en remoto desde la central.	Configuración muy difícil.
vii. Desarrollo software: Depuración automática de caídas de medición / valores anómalos.	Buen desarrollo software.
viii. Posibilidad lectura con equipo inundado: No comprobado, ningún evento de lluvia. Tecnología permite mediciones con el equipo sumergido (medida velocidad con radar)	Válido con equipo sumergido.
ix. Bondad de la medida: Primera instalación: errores max: 79,27%, medio: 70,3%, min=61,5% Tras calibración equipo: max 78,84%, medio: 51,21%, min=1,04% (lluvia)	Dudosos tras la calibración.
x. Coste económico: 15-20.000 €	Muy alto.
	
Figura 4: Ultrasonidos vs Láser (antes de calibrar)	Figura 5: Ultrasonidos vs Láser (tras calibrar)

ULTRASONIDOS	
	<p>Características de la Instalación:</p> <p>Pozo instalación: MN06_009; MN06_056; MN11_002 Diámetro pozo: 1200 mm Diámetro colector: CIRC ø500/ ø400 Periodo de medición: MN 06_009: 09/10/2023 a 22/01/2024 MN06_056: 11/10/2023 a 22/01/2024 MN11_002: 21/09/2023 a 22/01/2024</p>
i. Dimensiones del sensor/ángulo abertura: El tamaño del equipo y el ángulo de abertura del haz (no abre) permiten la medición en pozos estándar inundados.	Válido en pozos estándar
ii. Resistencia inundación/condensación: Comprobado, resistente inundaciones.	Válido en pozos inundados
iii. Autonomía energética: 2-3 semanas. batería recargable.	Valido campañas puntuales aforo Instalación permanente: acometida eléctrica
iv. Conectividad GSM	Válido
v. Facilidad de instalación Instalación ejecutada por DUB. Instalación fácil equipo, siempre y cuando haya poco calado y poca velocidad. Posible necesidad de costosos by-passes limpieza periódica.	Instalación fácil con poco caudal y velocidad. Posible necesidad bypass colector. Limpieza
vi. Facilidad configuración / calibración del sensor: Configuración realizada por DUB.	Configuración fácil
vii. Desarrollo software: Depuración automática de caídas de medición / valores anómalos	Buen desarrollo software
viii. Posibilidad lectura con equipo inundado: Sensor siempre sumergido	Válido con equipo sumergido
ix. Bondad de la medida: Errores max: - , medio: 8,06% , min=- (bombeo con un único valor de caudal)	. Validado en comparación con contador electromagnético bombeo Can Valls Principal
x. Coste económico: 8-10.000 €	Coste medio
	
	Figura 6: Ultrasonidos vs Electromagnético

CURVA GASTO CALADO-CAUDAL (1/7)

¿Por qué establecer curva de gasto?

- 1) Empleo de sensores de nivel
 - No invasivo OPEX
 - Baja inversión CAPEX
 - Baterías: pozos aislados
- 2) No construcción secciones de control (vertedero, canal Parshal...)



Problemática curva-gasto

Realidad hidráulica en un pozo alcantarillado:

- Paso de lámina libre a presión
- Frenos hidráulicos
- Curvas de remanso
- Sedimentación □ sobreelevación agua

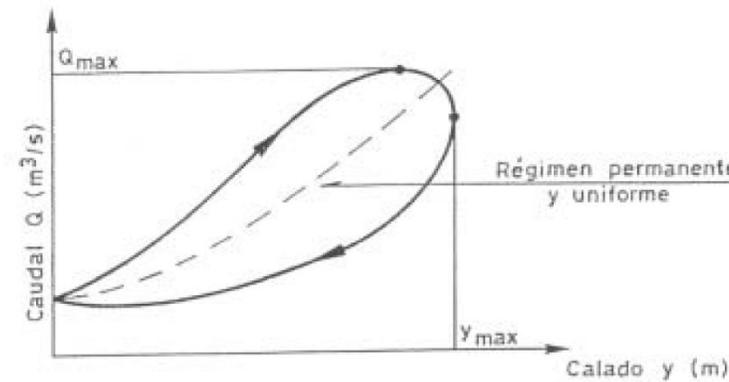
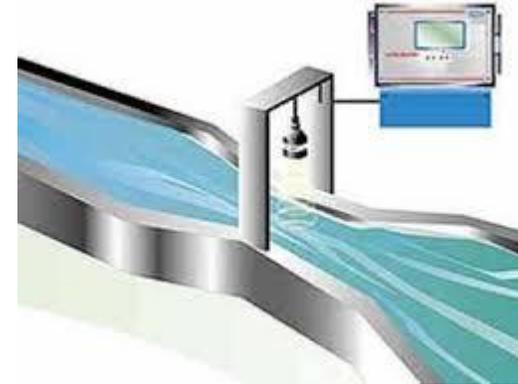


Figura 4: Bucle de evolución calado/caudal

BUCLE EVOLUCIÓN CALADO-CAUDAL

¿Por qué establecer curva de gasto?

- 1) Empleo de sensores de nivel
 - No invasivo OPEX
 - Baja inversión CAPEX
 - Baterías: pozos aislados
- 2) No construcción secciones de control (vertedero, canal Parshal...)



Problemática curva-gasto

Realidad hidráulica en un pozo alcantarillado:

- Paso de lámina libre a presión
- Frenos hidráulicos
- Curvas de remanso
- Sedimentación □ sobreelevación agua

BUCLE EVOLUCIÓN CALADO-CAUDAL

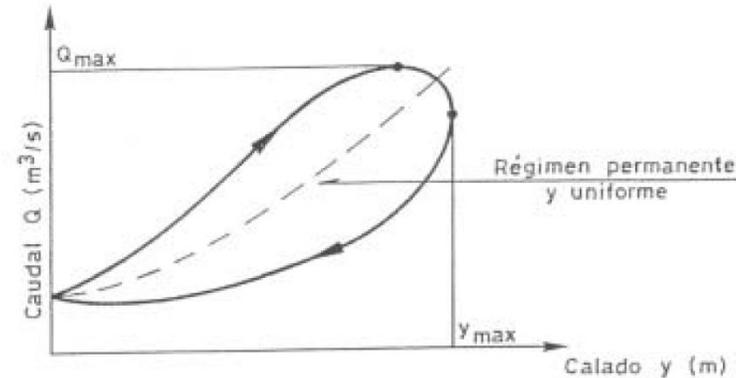


Figura 4: Bucle de evolución calado/caudal

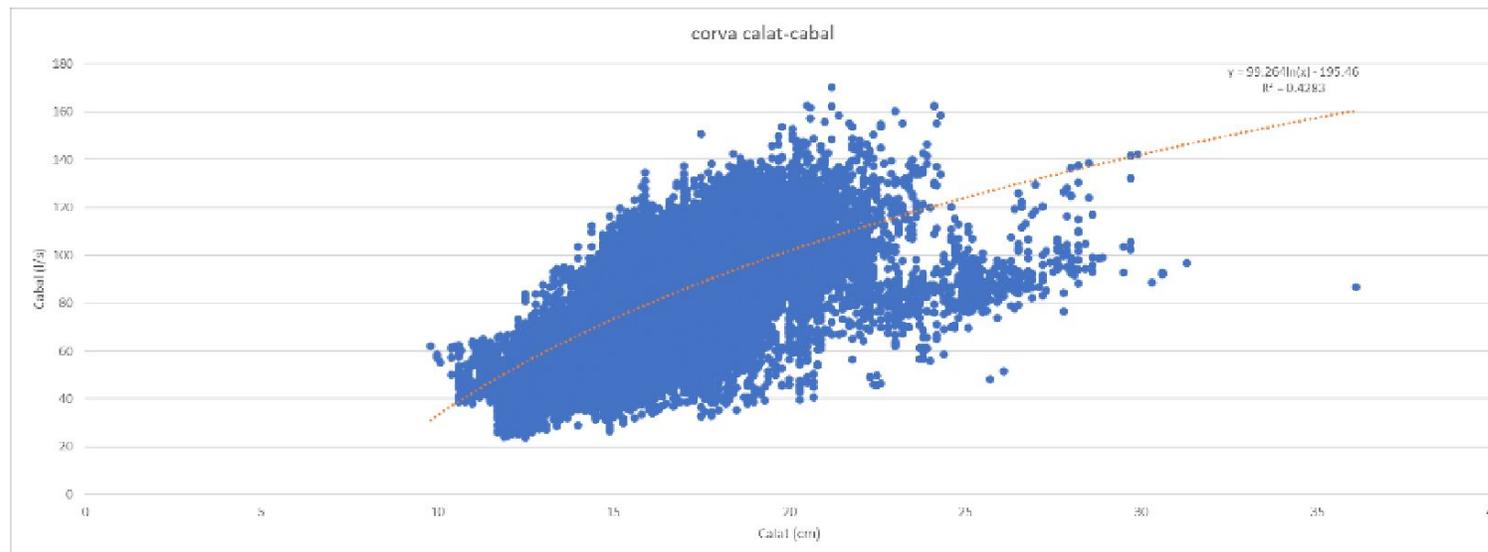
CURVA GASTO CALADO-CAUDAL (2/7)

POZO MN06_009 (1/2)

- Intervalo medición: 09/10/2023 – 31/01/2024
- Pozo \varnothing 1200 mm
- Mantenimiento y limpieza: 3 vistas semanales

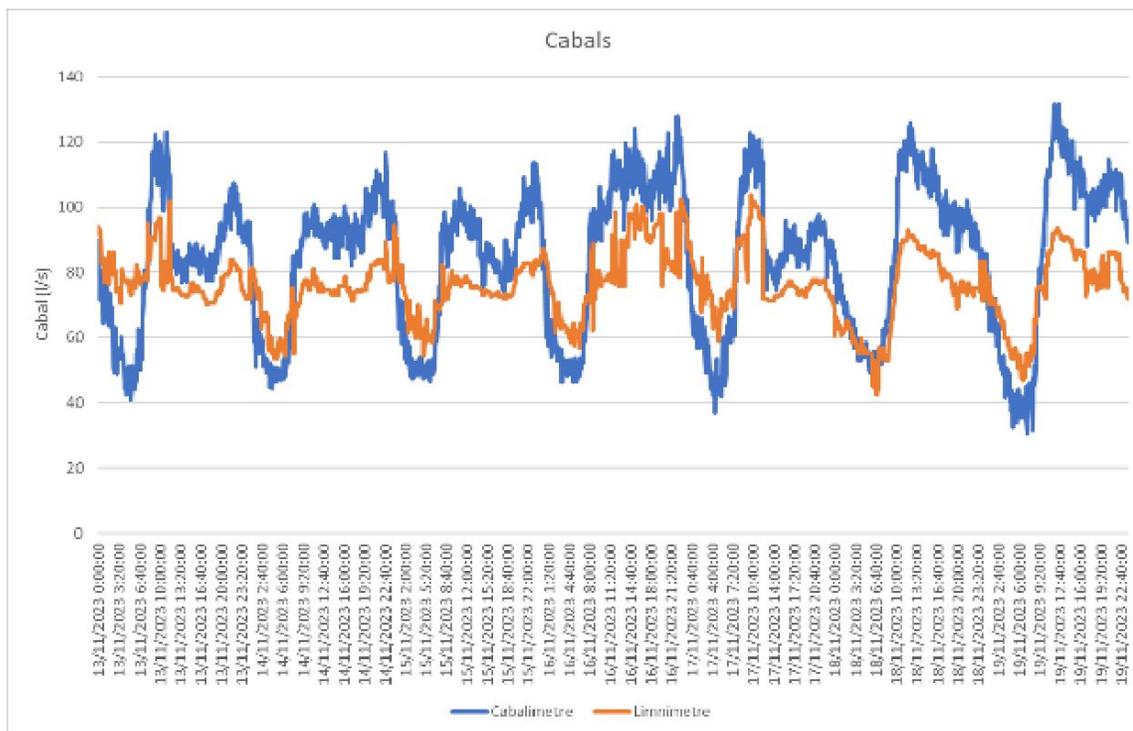


Mejor ajuste Excel: logarítmico (R2=0.4283)



CURVA GASTO CALADO-CAUDAL (3/7)

POZO MN06_009 (2/2)



- Error mínimo del periodo: 0,005%
- Error medio del periodo: 19,23%
- Error máximo del periodo: 83,67%

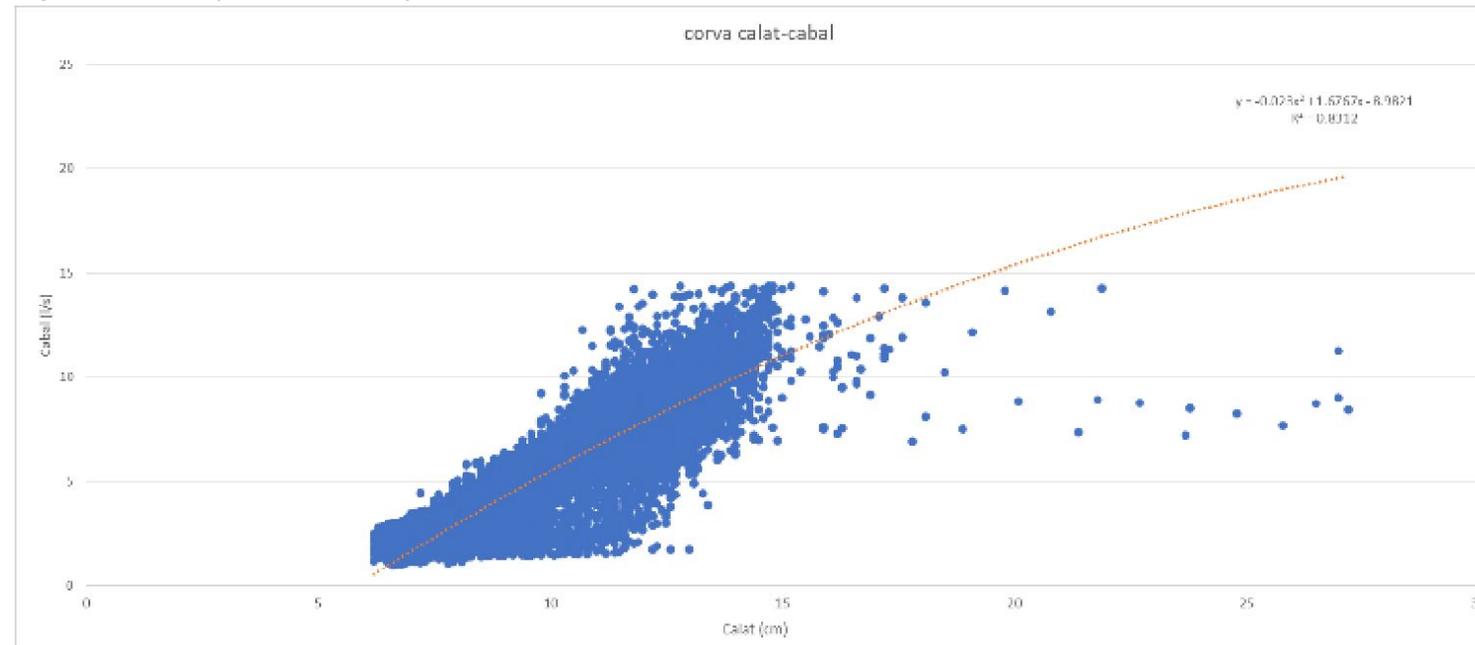
CURVA GASTO CALADO-CAUDAL (4/7)

POZO MN06_056 (1/2)

- Intervalo medición: 11/10/2023 – 31/01/2024
- Pozo ø1200 mm
- Mantenimiento y limpieza: 3 vistas semanales

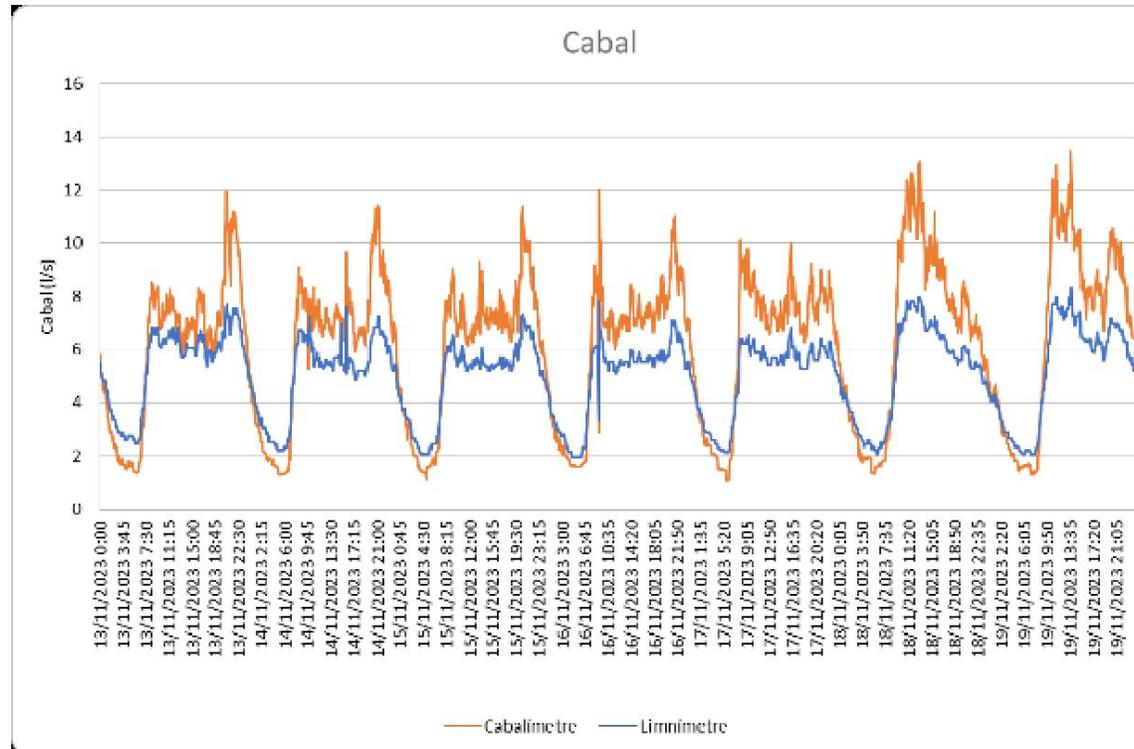


Mejor ajuste Excel: exponencial (R2=0.8312)



CURVA GASTO CALADO-CAUDAL (6/7)

POZO MN06_009 (2/2)



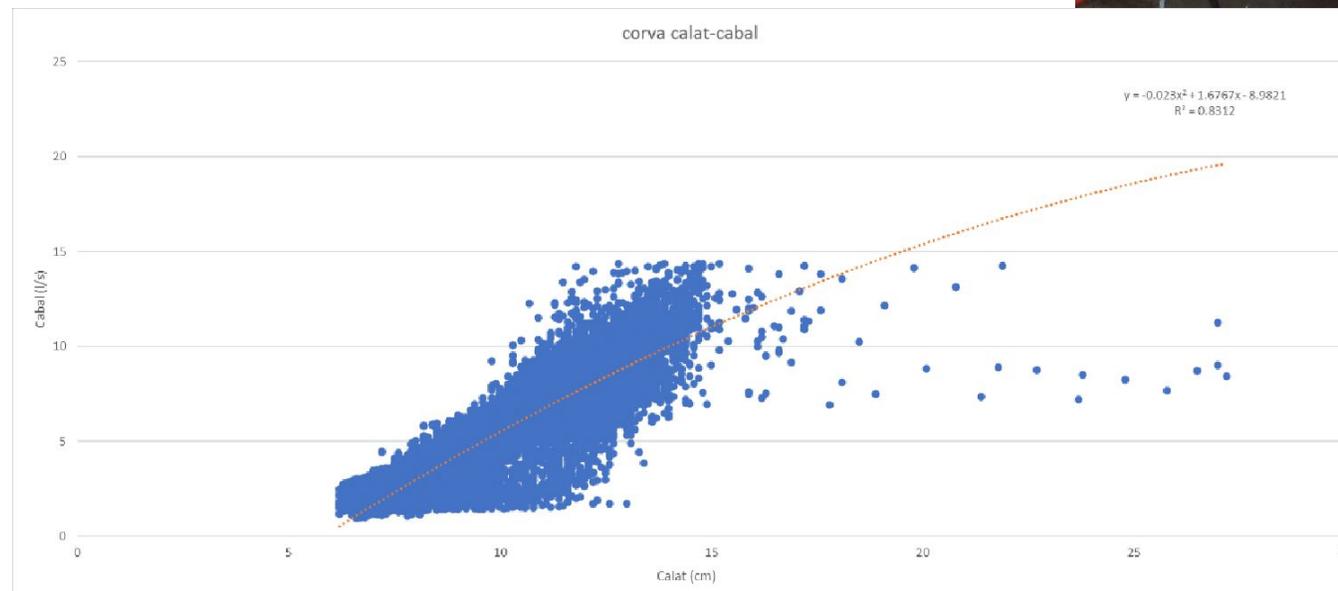
- Error mínimo del periodo: 0,001%
- Error medio del periodo: 23,553%
- Error máximo del periodo: 329,28%

CURVA GASTO CALADO-CAUDAL (7/7)

POZO MN11_002 (1/2)

- Intervalo medición: 21/09/2023 – 31/01/2024
- Pozo ø1200 mm
- Mantenimiento y limpieza: 3 vistas semanales

Mejor ajuste Excel: exponencial ($R^2=0.7723$)



CONCLUSIONES (1/2)

Respecto a los sistemas de medición de caudales NO invasivos

- I. Los equipos requieren una calibración/validación previa con un caudalímetro de contraste invasivo.
- II. La tecnología radar, por la apertura del haz de medición del sensor, tienen que colocarse muy próxima a la lámina de agua, y por tanto no, son válidos en caso de inundación del pozo, estando más orientados a la medición en galerías de cierto tamaño.
- III. Para la medición de caudales, en pozos con láminas de agua bajas (piezométricas siempre por debajo de la generatriz superior colector), puede ser interesante el radar 2 al ser un equipo de reducido tamaño y coste económico y con una buena autonomía para su instalación sin acometida eléctrica.
- IV. Respecto al equipo láser el resultado no ha sido satisfactorio, a pesar de lo interesante de la tecnología.
- V. En ambos casos, radar y laser, hay que contar con especialista en sensores ya que las programaciones son difíciles y es necesario un alto grado de conocimiento de los equipos.
- VI. Respecto a la precisión de la medida, ésta pudiera no ser aceptable para estudios “finos” ya que los errores medios se ubican en el :
 - 28% en el caso del radar
 - 51% en el caso del láser

EQUIPOS CON COSTE (CAPEX) RESEÑABLE Y ERRORES DEL 30-50% EN LA MEDIDA

CONCLUSIONES (2/2)

Respecto a la construcción de la curva de gasto calado-caudal

- I. Los ajustes realizados son los que están al alcance de una Oficina Técnica especializada de una empresa explotadora del alcantarillado. Deberá verificarse la bondad del ajuste estadístico y la representatividad de la curva calculada con algún organismo de investigación o universidad.
- II. Los resultados obtenidos apuntan a errores promedio de la curva de gasto estimada, del entorno del 20%, errores inferiores a los obtenidos con los sensores NO invasivos. **Esta conclusión preliminar refuerza la necesidad de continuar los esfuerzos de consultoría con el fin de obtener una buena curva calado-caudal y reducir, así, los costes de adquisición y mantenimiento de equipos (solo se necesita un sensor de nivel).**

SIGUIENTES PASOS

Respecto a los caudalímetros no invasivos

- a. Seguir con el mapeo y testeo de las nuevas tecnologías que surjan
- b. Implementar canal de pruebas para testar los equipos (EBAR).

Respecto a la curva de gasto calado-caudal

- c. Mejorar el análisis de datos ya comenzado de ajuste a una función mediante el empleo de simulaciones de Montecarlo (precursor IA).
- d. Acoplar los tratamientos estadísticos y las simulaciones de Montecarlo con los modelos hidráulicos a construir en el perímetro del PERTE de digitalización otorgado al Consorci Besòs Tordera

AGRADECIMIENTOS



instrumentación analítica, s.a



TECSAN
Tecnologías para Saneamiento

Agbar





Contacto: alberto.soriano@drenatgesurbans.cat

**Gracias por
vuestra atención.**