

- WEBINAR SPAIN YPN -



Spain
Young
Professionals
Network

Caracterización de la acumulación, erosión y transporte de sedimentos en tuberías de saneamiento unitario

MANUEL REGUEIRO PICALLO

25 de Febrero de 2020

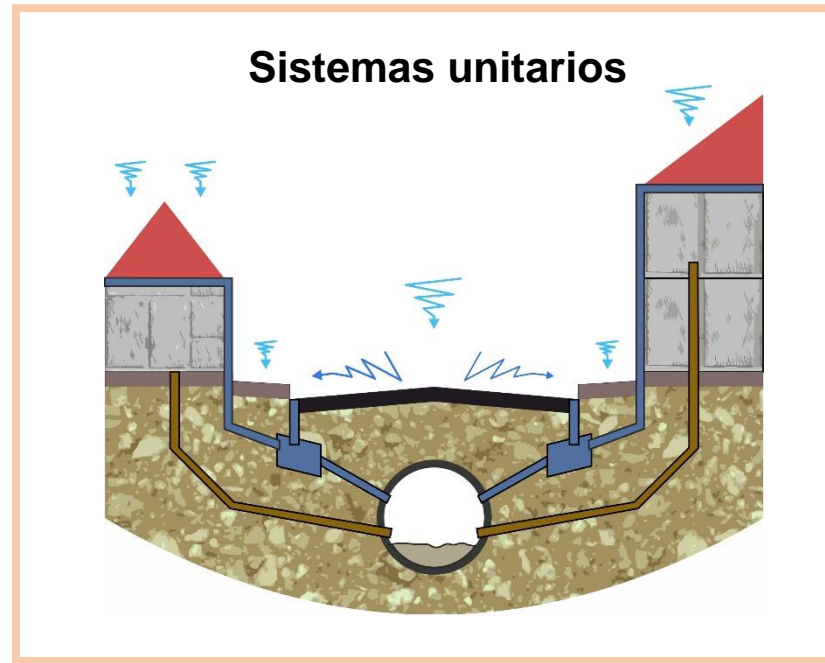


1. INTRODUCCIÓN

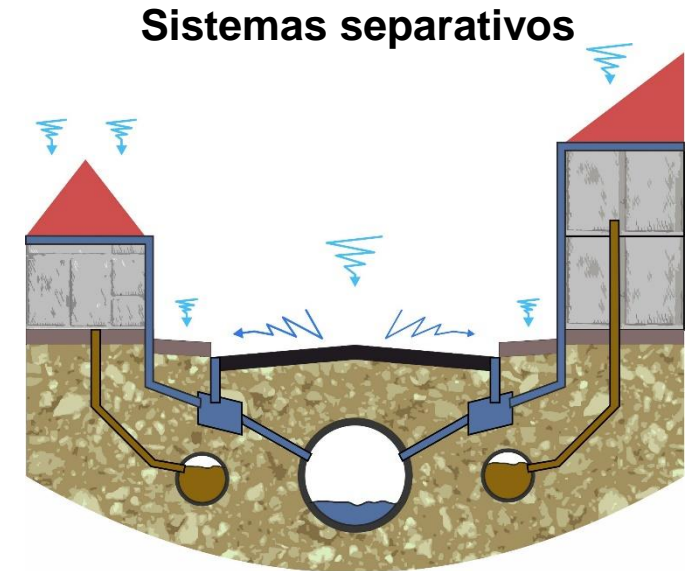
Estrategias de diseño en sistemas de saneamiento



Spain
Young Professionals
Network



Sistemas unitarios



Sistemas separativos

Las tuberías en redes de saneamiento unitarias funcionan la mayor parte del tiempo en condiciones de tiempo seco (parcialmente llenas)

1. INTRODUCCIÓN

Problemática

En sistemas de **saneamiento unitarios**, los procesos de acumulación, erosión y transporte de sedimentos son especialmente relevantes ya que suponen importantes fuentes de contaminación.

Depósito y acumulación de sedimentos en tuberías



Causas principales:

- Velocidades insuficientes en condiciones de **tiempo seco**
- Sedimentación de partículas después de fuertes episodios de lluvia

Efectos:

- Pérdida de la capacidad hidráulica de las tuberías: reducción de la sección
- Atascos: provocados principalmente por sólidos gruesos (*gross solids*)
- Producción de gases: metano, sulfuro de hidrógeno.



Spain
Young Professionals
Network

1. INTRODUCCIÓN

Problemática

En sistemas de **saneamiento unitarios**, los procesos de acumulación, erosión y transporte de sedimentos son especialmente relevantes ya que suponen importantes fuentes de contaminación.

Causas principales:

- Cambio en las condiciones hidráulicas debido a **episodios de lluvia**

Efectos:

- Resuspensión y arrastre de contaminantes.
- Sobrecargas en EDAR
- Vertidos. Desbordamiento de sistemas unitarios (DSU)

Erosión y transporte de contaminantes hacia medios acuáticos receptores



50-70% masa movilizada en DSU
procede de la resuspensión

(Gasperi et al. 2010)



Spain
Young Professionals
Network

1. INTRODUCCIÓN

Cambio climático



Spain
Young Professionals
Network

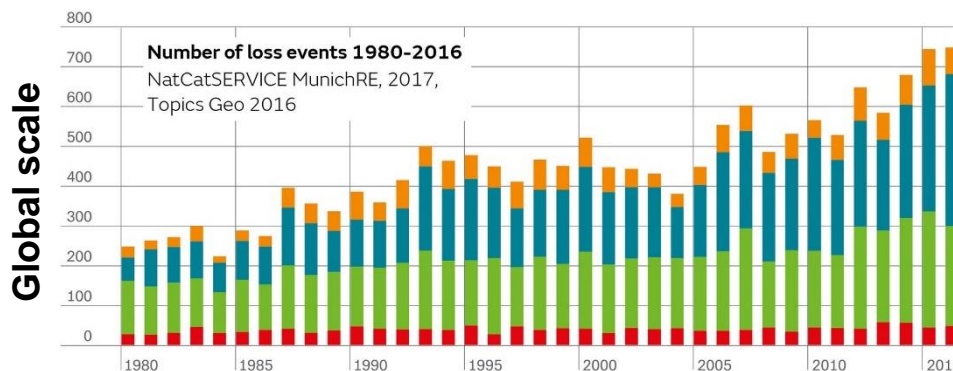
Escenario

- Períodos de tiempo seco más prolongados
- Aumento del número de episodios de lluvias extremas



Consecuencias

- Mayor volumen de sedimentos depositados
- Mayor movilización de contaminantes



- Geophysical events**
Earthquake, tsunami, volcanic activity
- Meteorological events**
Tropical storm, extratropical storm, convective storm, local storm
- Hydrological events**
Flood, mass movement
- Climatological events**
Extreme temperature, drought, wildfire

Fuente: <https://www.metoffice.gov.uk/weather/climate-change/effects-of-climate-change>

2. OBJETIVO

Estudio de los procesos de **acumulación y transporte** de sedimentos y de la **eficiencia** de tuberías de saneamiento a partir de campañas de ensayos en modelos experimentales bajo condiciones próximas a la realidad



Spain
Young Professionals
Network

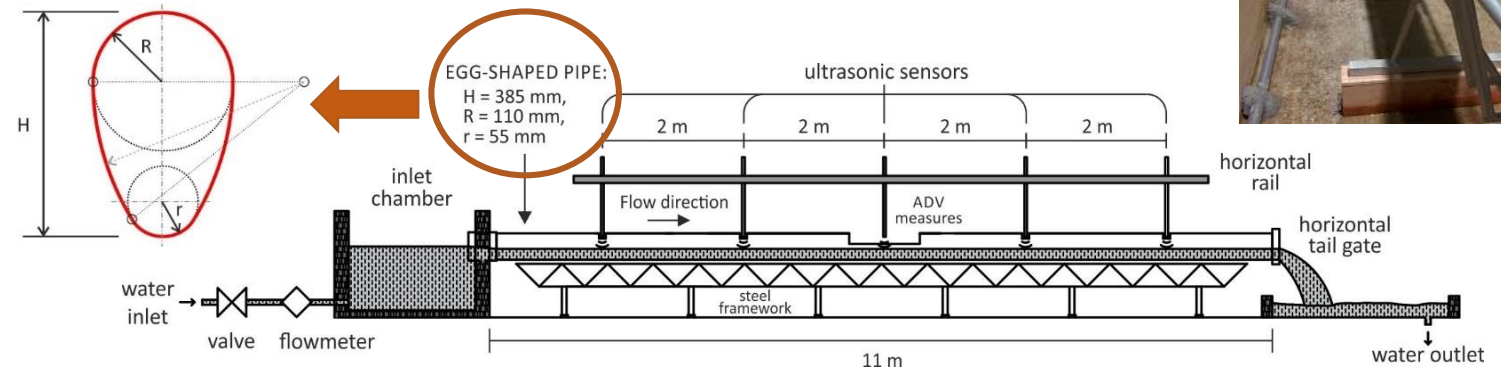
Desarrollo de la investigación:

3. Estudio del flujo en tuberías ovoides
4. Procesos de acumulación, erosión y transporte de sedimentos en tuberías
5. Caracterización de sólidos en suspensión y del transporte de sólidos gruesos

3. Estudio del flujo en tuberías ovoides

Metodología

Campaña experimental



Ensayos:



Sensores:



Spain
Young Professionals
Network

3. Estudio del flujo en tuberías ovoides

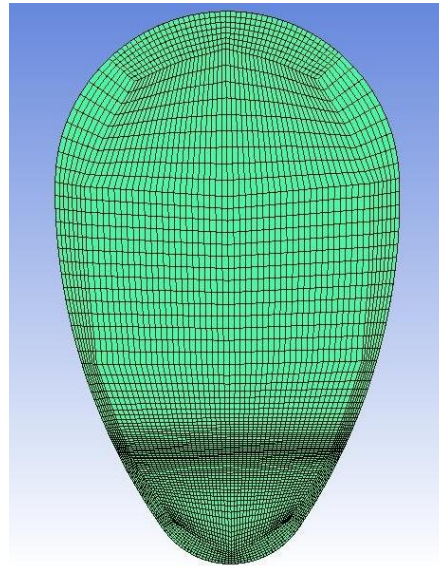
Metodología

Modelo CFD: tubería ovoide



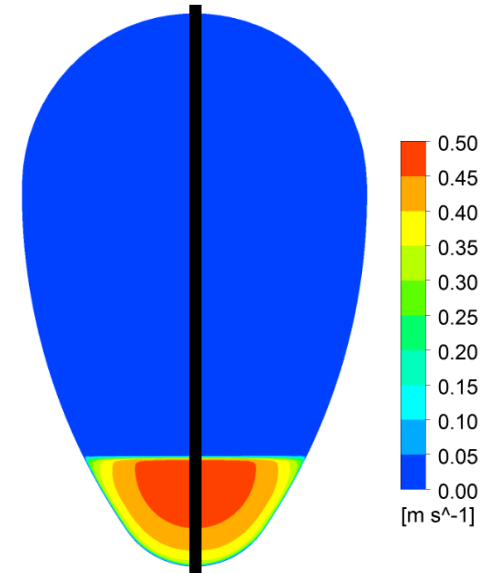
Spain
Young Professionals
Network

Modelo bifásico

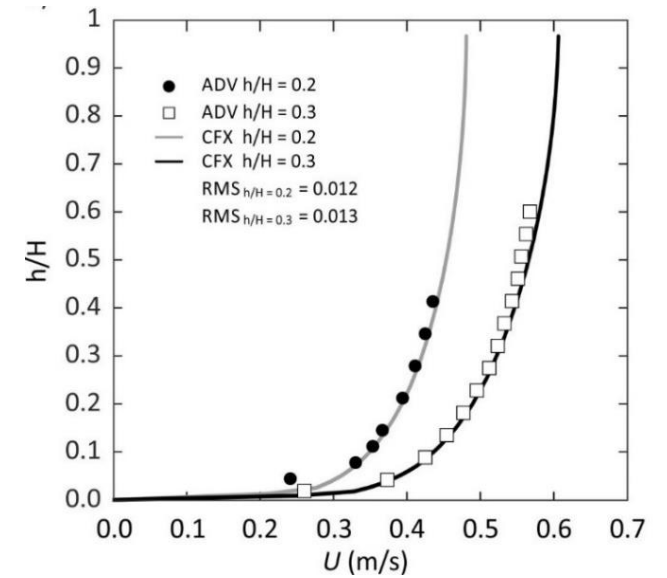


Malla correspondiente al grado de llenado del 20%

Calibración del modelo a partir del perfil central de velocidades



Resultados modelo CFD grado de llenado del 20%

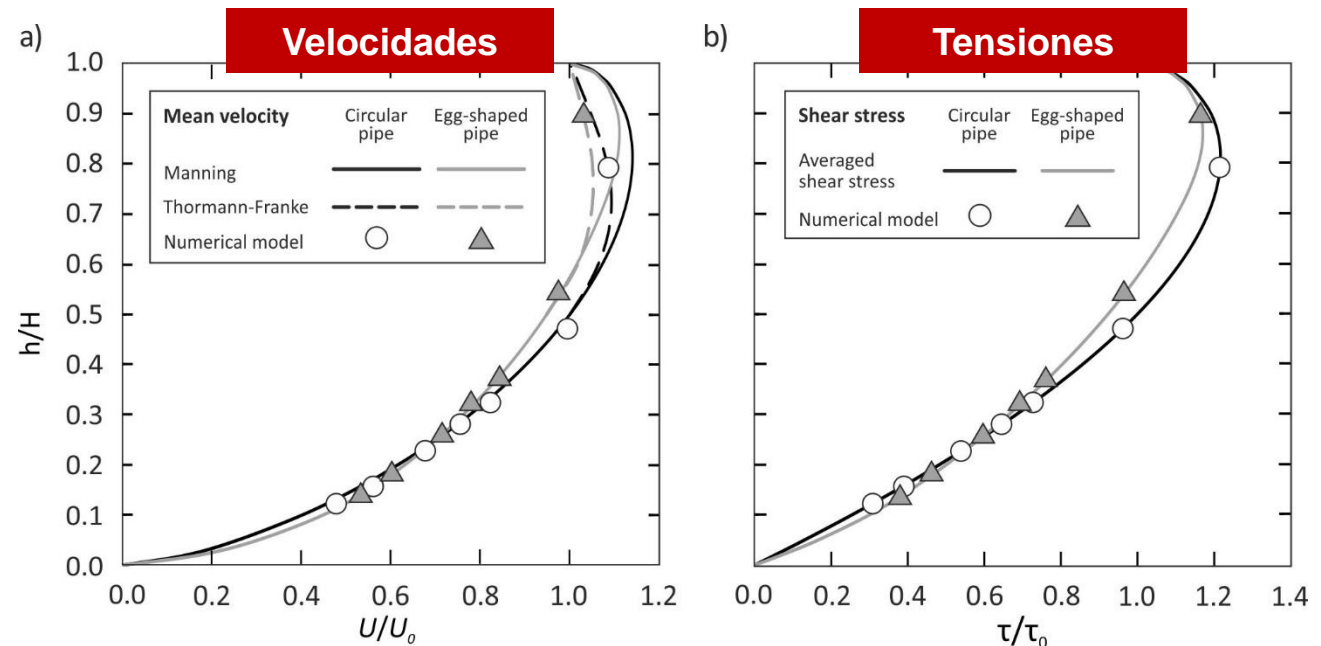


Perfiles centrales de velocidad EXP-NUM grados de llenado del 20% y 30%

3. Estudio del flujo en tuberías ovoides

Resultados

Modelo CFD: tubería ovoide vs tubería circular



- Buen ajuste entre el modelo CFD y la formulación de Manning
- Para grados de llenado $> 50\%$, ajuste Thormann-Franke
- Para un grado de llenado del 10% la mejora de la eficiencia es del 15% en la sección ovoide \rightarrow mejores condiciones de autolimpieza



Spain

Young Professionals
Network

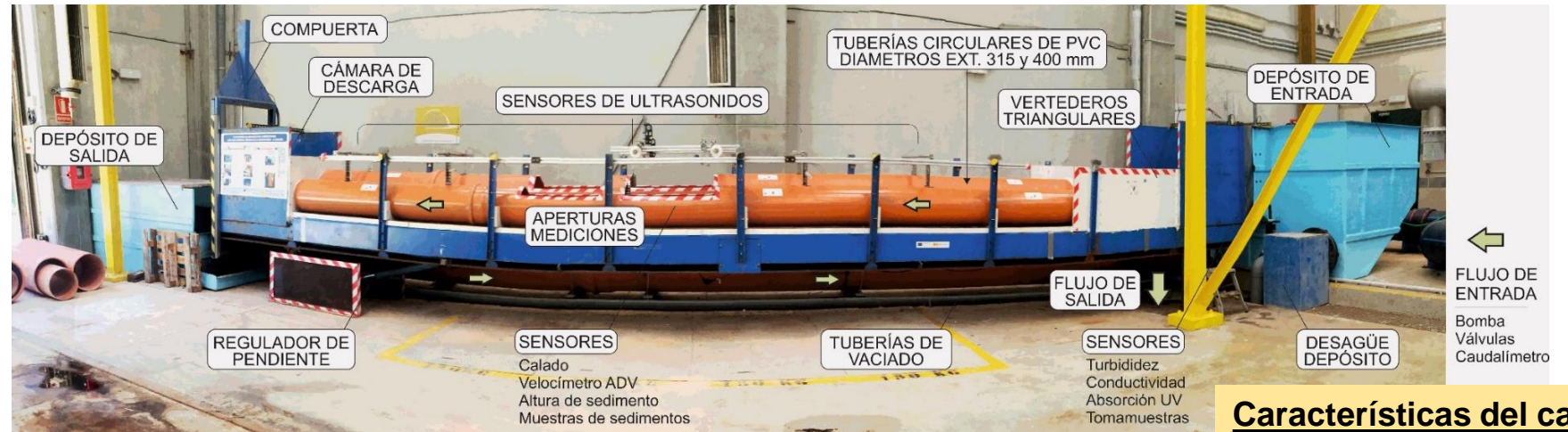
4. Procesos de acumulación, erosión y transporte de sedimentos en tuberías

Canal de ensayos

Plataforma científica de ensayos para conducciones con agua residual. EDAR A Coruña



Spain
Young Professionals
Network



Características del canal

Longitud: 10 m
Ancho: 0.8 m
Rango pendientes: 0-2%

Principales ventajas de la instalación:

- Experimentación con agua residual urbana
- Condiciones controladas similares a las de un laboratorio
- **Monitorización** de las principales variables de estudio

4. Procesos de acumulación, erosión y transporte de sedimentos en tuberías

Metodología

Suministro de agua residual. Depósito de cabecera

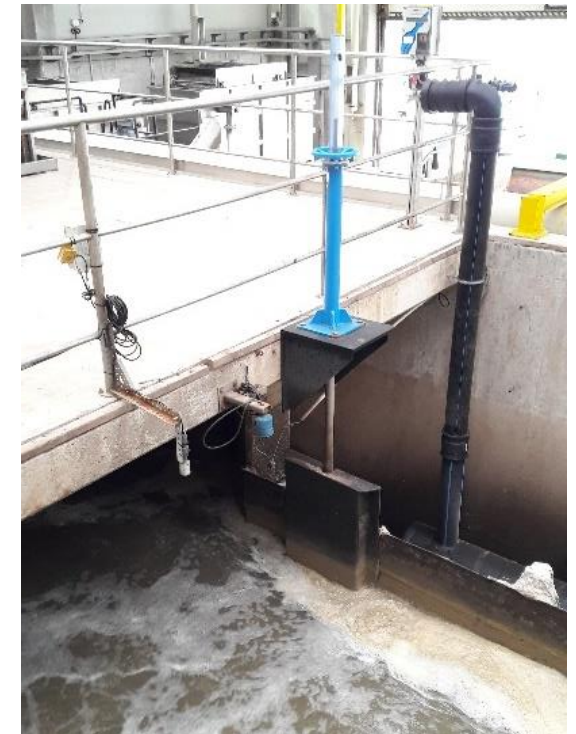
Bombeo desde tamices EDAR



Bomba de agitación/recirculación



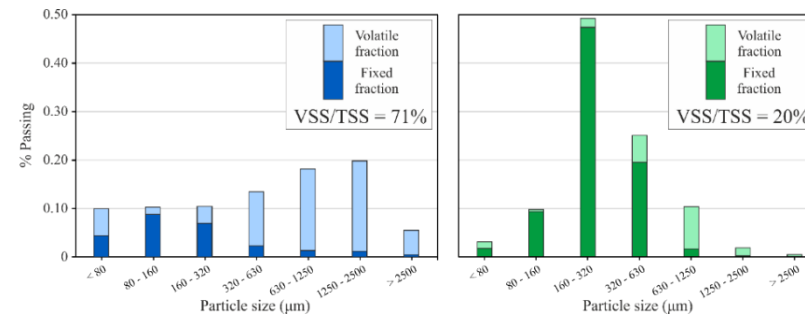
Sistema por gravedad
Agua residual bruta EDAR



Problemas de sedimentación y acumulación de grasas



Diferencias en las partículas de entrada



4. Procesos de acumulación, erosión y transporte de sedimentos en tuberías

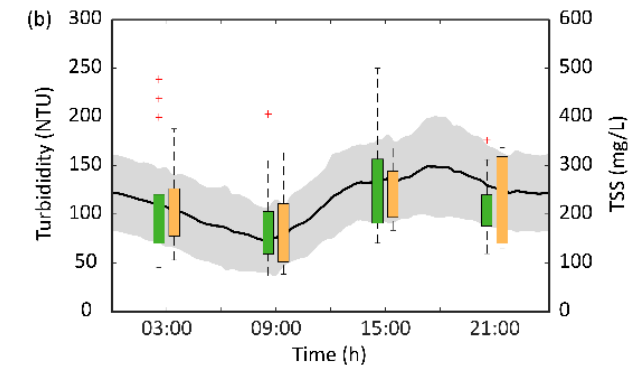
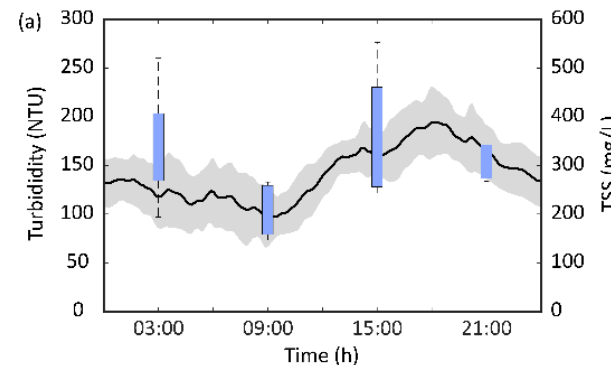
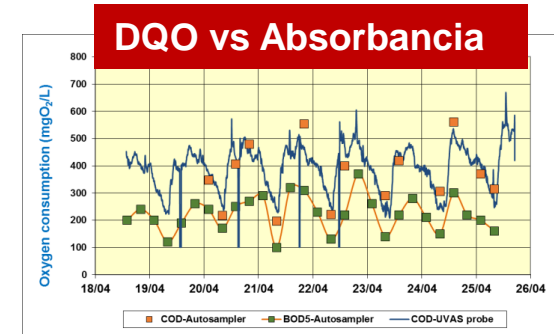
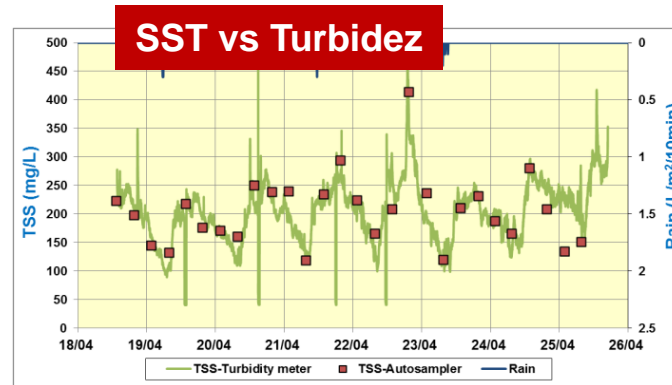
Metodología

Caracterización del agua residual de entrada

Sondas



Tomamuestras



- Agua residual bruta
- Bombeo de agua residual
- Bombeo de agua residual + agitación



Spain
Young Professionals
Network

4. Procesos de acumulación, erosión y transporte de sedimentos en tuberías

Metodología

Caracterización del flujo en las tuberías



Spain
Young Professionals
Network

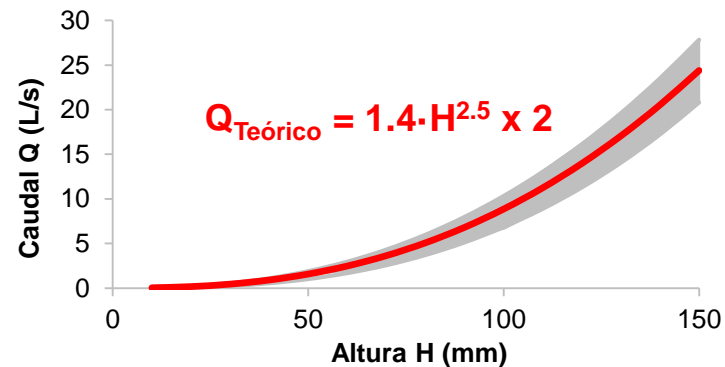
Registro de caudales



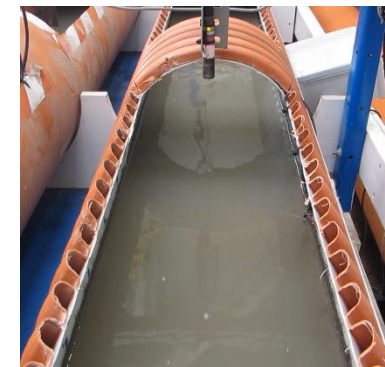
Registro de calados y perfiles de velocidad



Calibración vertederos



Sondas de ultrasonidos



ADV y UDV



4. Procesos de acumulación, erosión y transporte de sedimentos en tuberías

Metodología

Caracterización de sedimentos

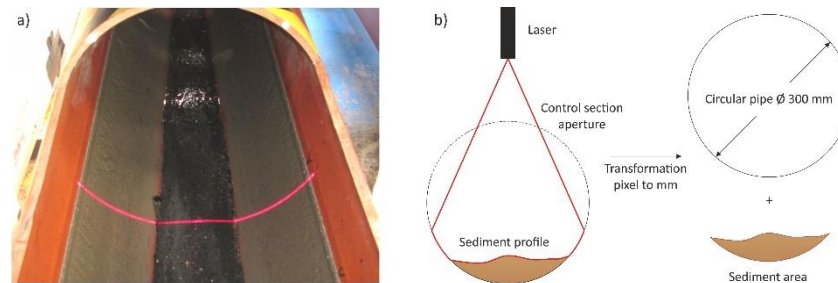
Altura y volumen de sedimentos.
Técnicas fotogramétricas

Muestras y análisis de propiedades físicas y químicas de los sedimentos

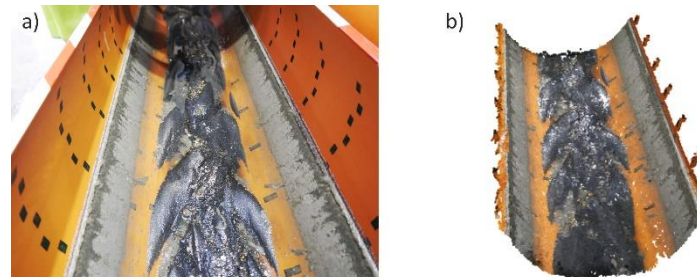


Spain
Young Professionals
Network

Perfil de sedimentos: 2D



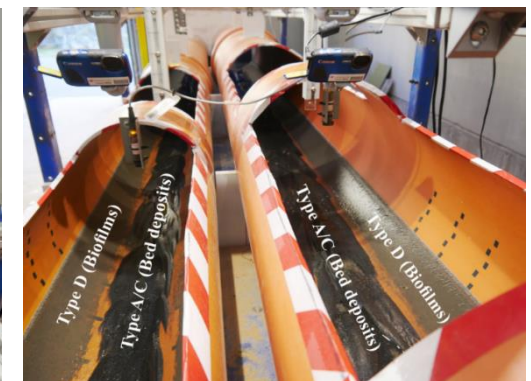
Volumen de sedimentos: 3D



Muestras manuales



Tipos de sedimentos



Clasificación Crabtree

- Lecho de sedimentos granulares/cohesivos (Tipo A/C)
- Biopelículas (Tipo D)

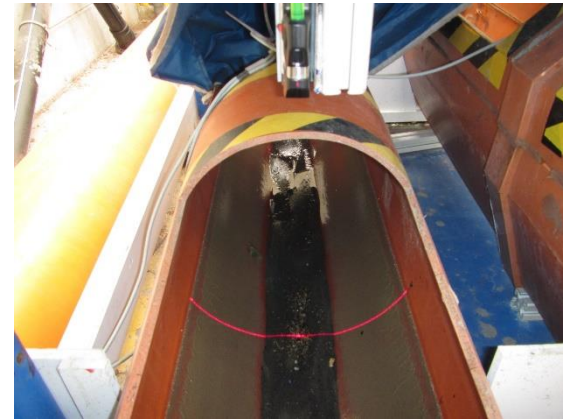
4. Procesos de acumulación, erosión y transporte de sedimentos en tuberías

Metodología

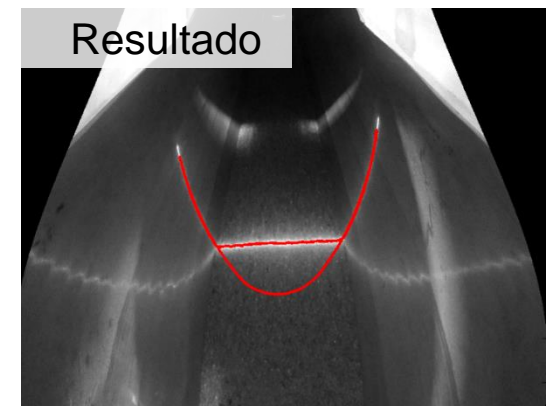
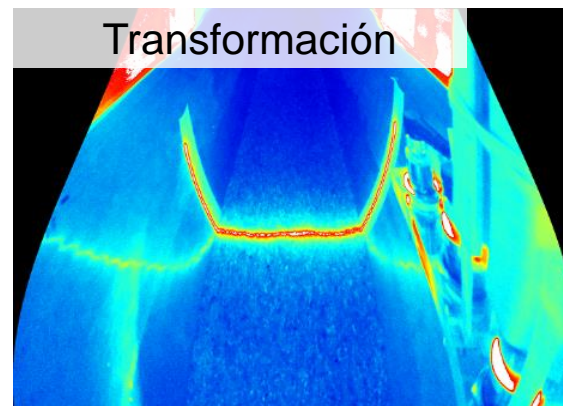
Caracterización acumulación de sedimentos → Perfil de sedimentos 2D



Spain
Young Professionals
Network



Método previamente ensayado en laboratorio (CITEEC)

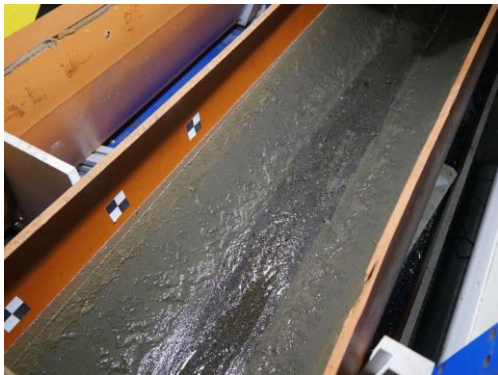


4. Procesos de acumulación, erosión y transporte de sedimentos en tuberías

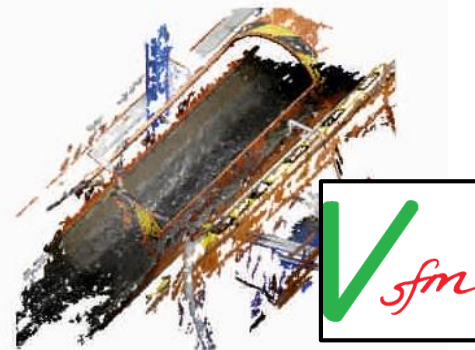
Metodología

Caracterización acumulación de sedimentos → Structure from Motion (SfM)

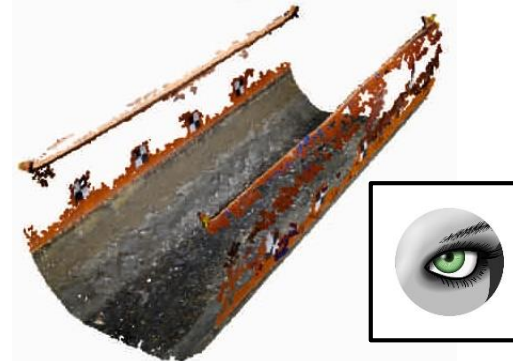
1. Captura de imágenes



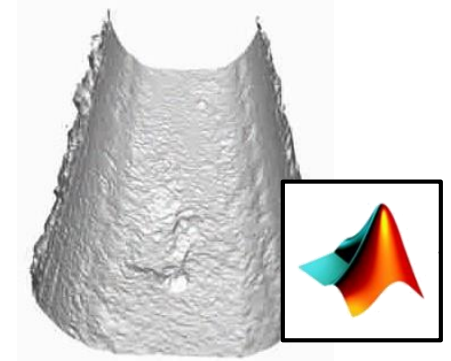
2. Reconstrucción del modelo



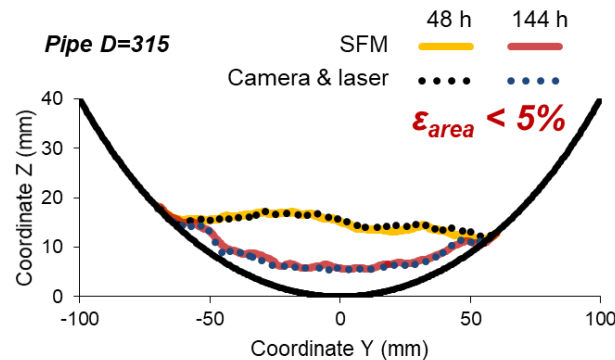
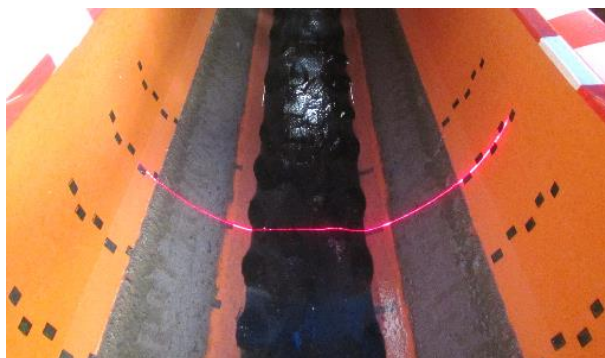
3. Alineación y escalado



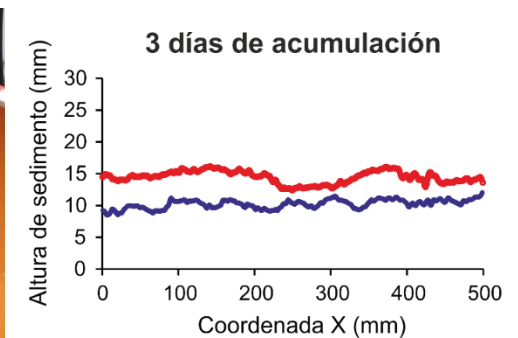
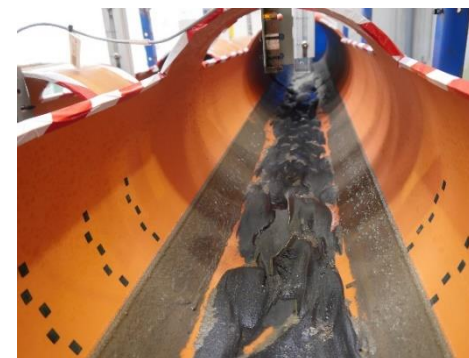
4. Integración de la superficie



Perfiles transversales. Comparación con perfil de sedimentos



Perfiles longitudinales. Medición de formas de fondo



4. Procesos de acumulación, erosión y transporte de sedimentos en tuberías

Metodología

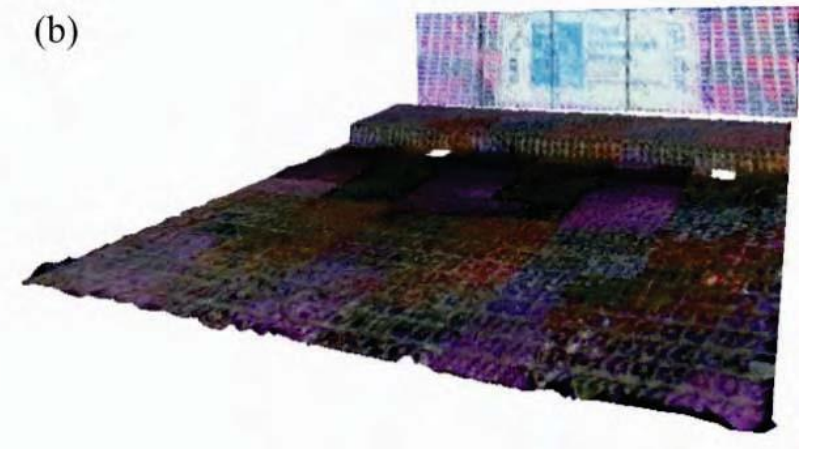
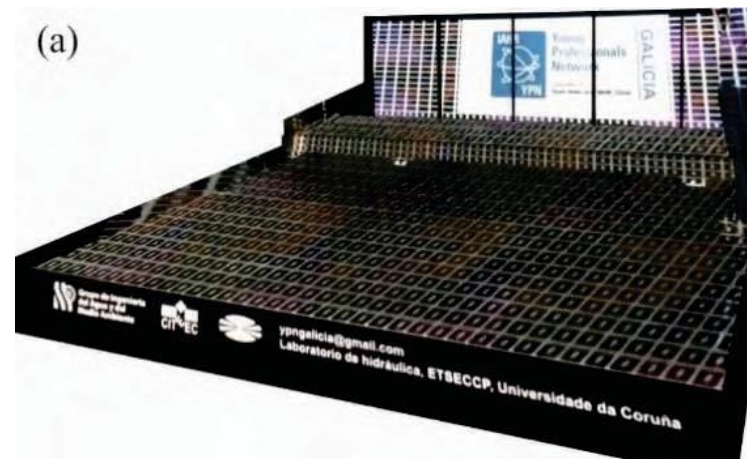
Otras aplicaciones del Structure from Motion (SfM)



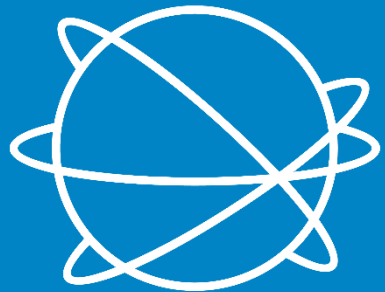
REVISTA HIDROLATINOAMERICANA, Vol. 2 (2018), pp. 1-3
Topografía de un modelo físico de drenaje urbano a partir de la técnica
fotogramétrica Structure from Motion
*Topography of a drainage physical model with the photogrammetric
technique Structure from Motion*

(Recepción 30/01/2018; Aceptación 05/03/2018)

Regueiro-Picallo, M.¹; Naves, J.¹; Sañudo, E.¹; Anta, J.¹; Puertas, J.¹; Suárez, J.¹
¹Universidade da Coruña, Grupo de Ingeniería del Agua y del Medio Ambiente (GEAMA), A Coruña, España
Teléfono: +34 881 015 411
Email: manuel.regueiro1@udc.es



IAHR



YPN

Spain
Young Professionals
Network

4. Procesos de acumulación, erosión y transporte de sedimentos en tuberías

Metodología

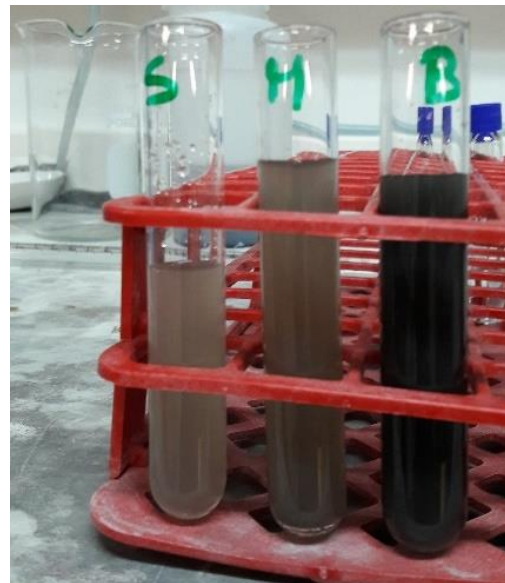
Características químicas sedimentos → Consumidores de oxígeno (DQO y OUR)

Demanda Química de Oxígeno (DQO)

Preparación de muestras:

- **Batido** → > 5,000 rev.
- Agitación → 900 rev.
- Mezcla → 55 rev.

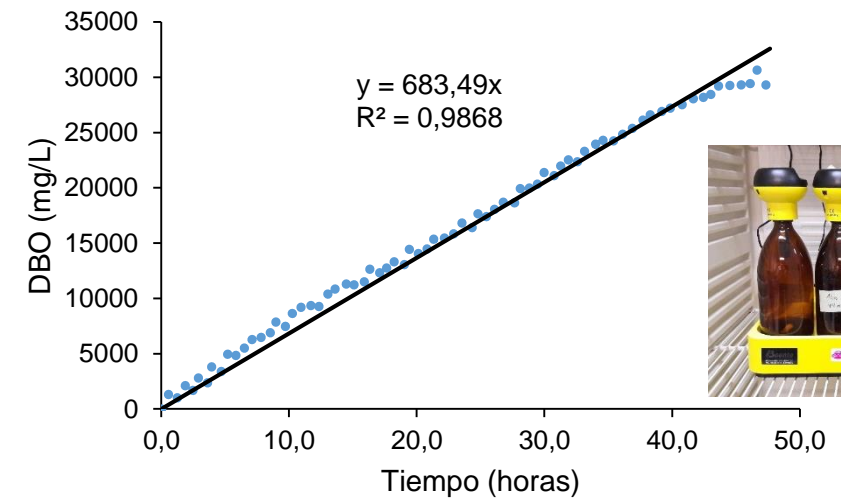
McGregor et al. (1993)



Oxygen Uptake Rate (OUR)

Respirometría: Oxitop® respirometer
DBO durante 48 horas

Sadaka et al. (2004); Ahn et al. (2005)

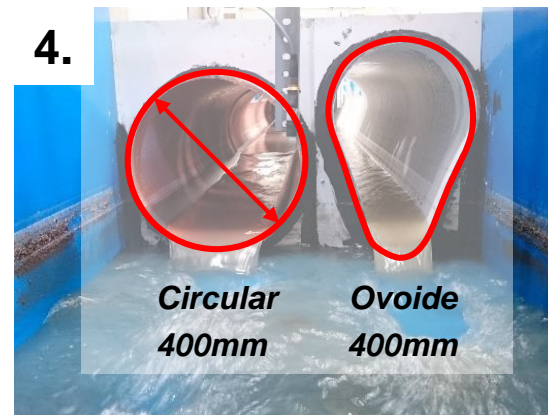
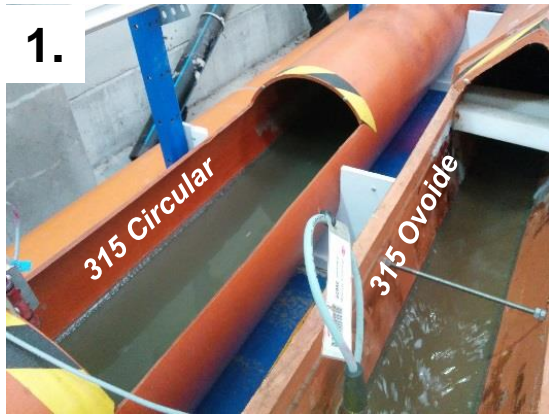


Spain
Young Professionals
Network

4. Procesos de acumulación, erosión y transporte de sedimentos en tuberías

Metodología

Campañas experimentales



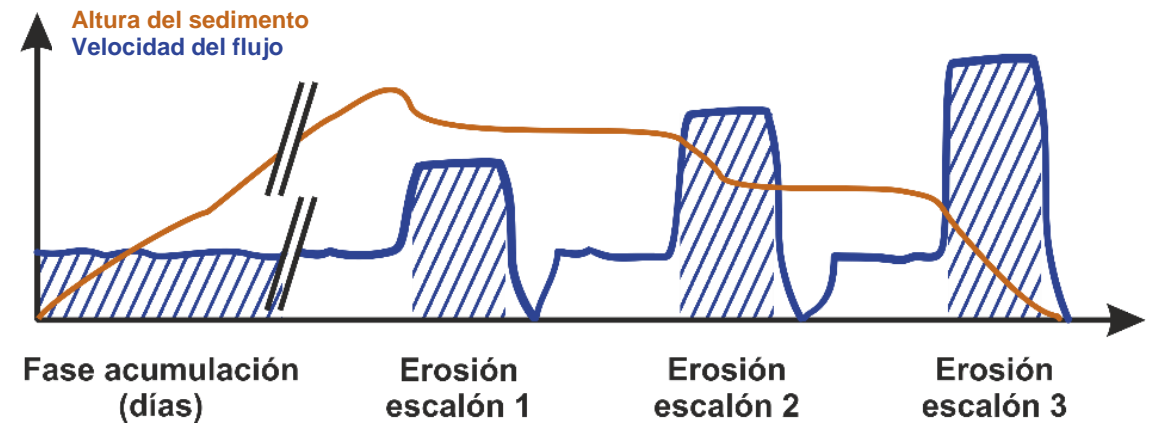
Tipos de ensayos

Ensayos de acumulación

- Simular condiciones de tiempo seco
- Tiempos de acumulación: 3-21 días

Ensayos de erosión

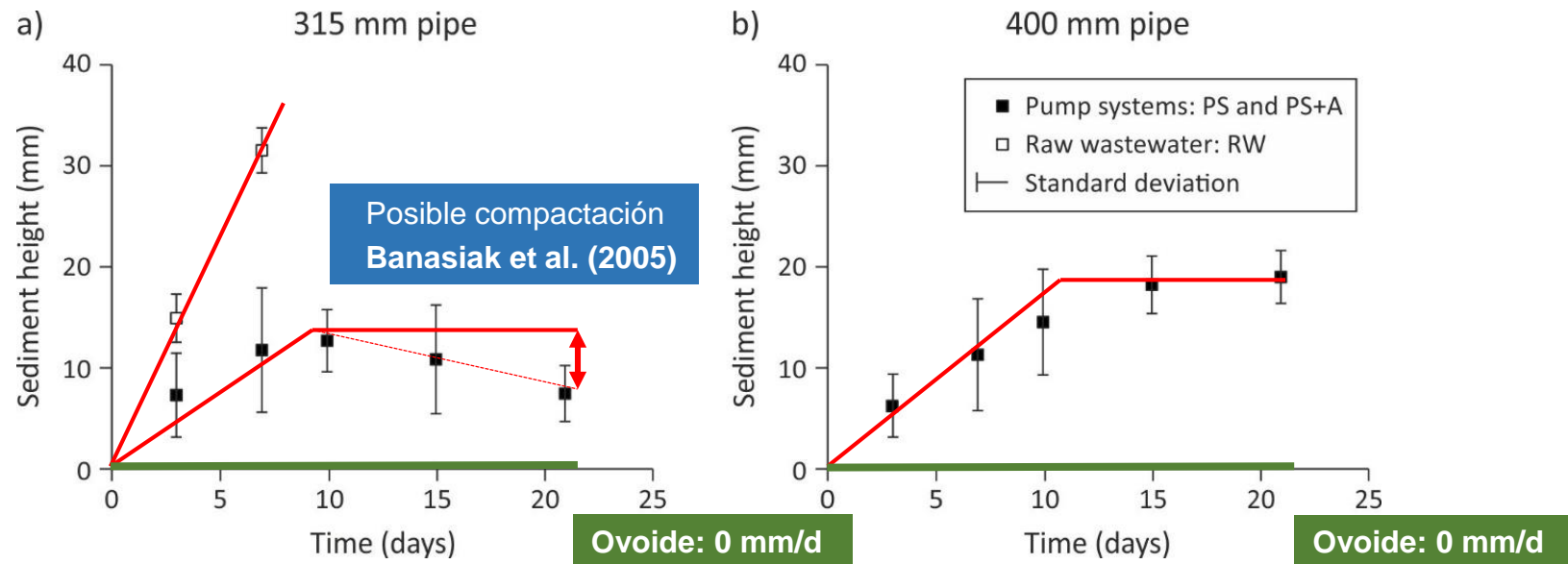
- Aumento de las condiciones hidráulicas
- Duración ensayo de erosión: 30 min
(Rushforth et al., 2003b)



4. Procesos de acumulación, erosión y transporte de sedimentos en tuberías

Resultados. Ensayos de acumulación

Evolución de los sedimentos depositados



Tubería ovoide: no acumula sedimentos

Tubería circular:

- Acumulación constante durante los primeros 7-10 días
- Tasas de acumulación a 7 días: [0.8 – 6.2] mm/día

Referencia 2.85 mm/d
Lange & Wichern (2013)

sistema de agua residual bruta



Spain

Young Professionals
Network

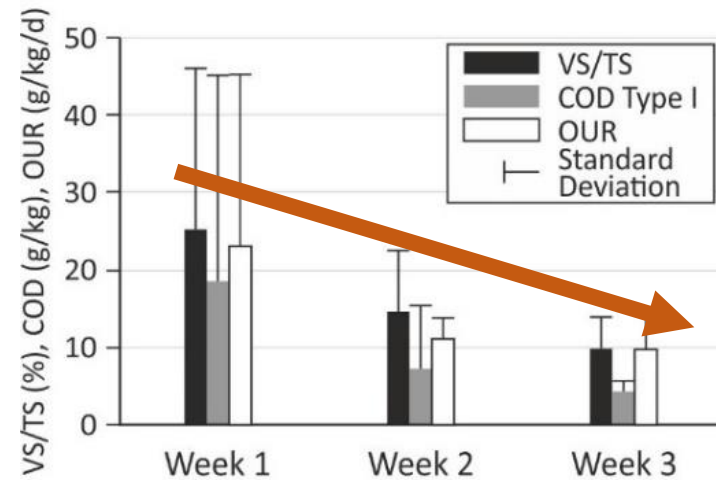
4. Procesos de acumulación, erosión y transporte de sedimentos en tuberías

Resultados. Ensayos de acumulación

Caracterización de las propiedades F-Q

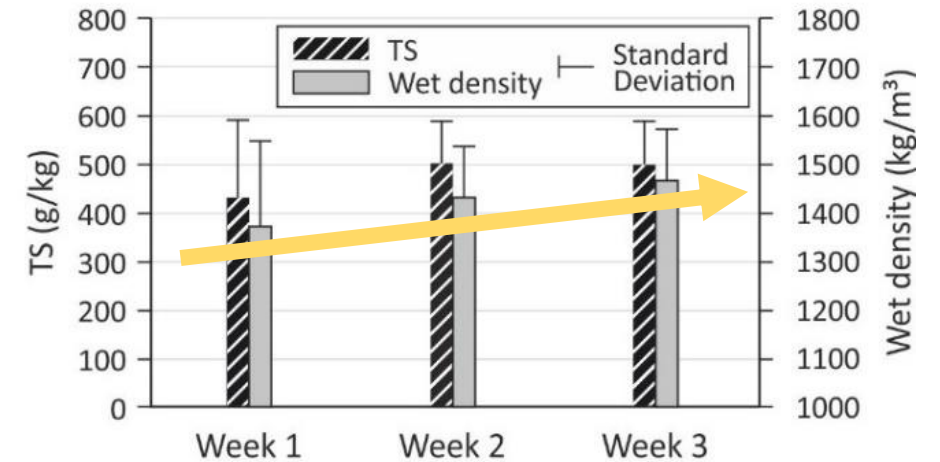


Spain
Young Professionals
Network



Descenso valores materia orgánica (sólidos volátiles, DQO y OUR):

- **Degradación del sedimento**
- Alta variabilidad primeros días



Ligero **aumento** de los parámetros físicos:

- Sólidos totales
- Densidad húmeda

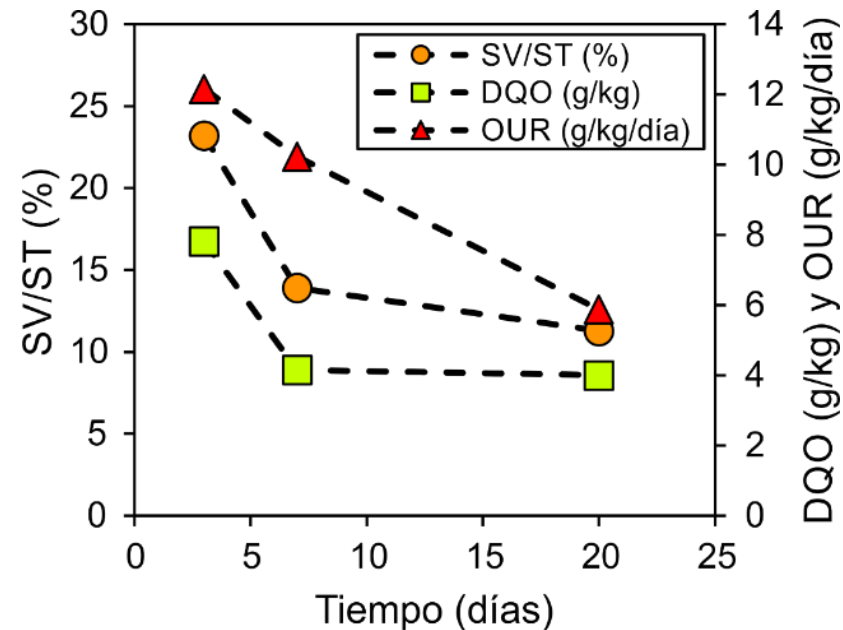
4. Procesos de acumulación, erosión y transporte de sedimentos en tuberías

Resultados. Ensayos de acumulación y erosión/transporte



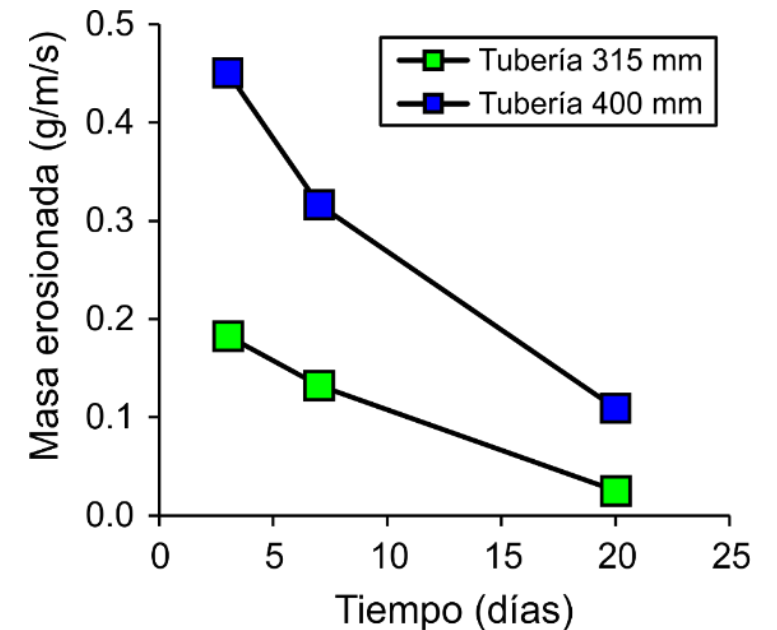
Spain
Young Professionals
Network

Ensayo de larga duración. Evolución propiedades F-Q



- Reducción parámetros relacionados con la materia orgánica

Ensayos de erosión/transporte



- Distintos tiempos de acumulación previos
- Mismas condiciones hidráulicas y altura de sedimento inicial

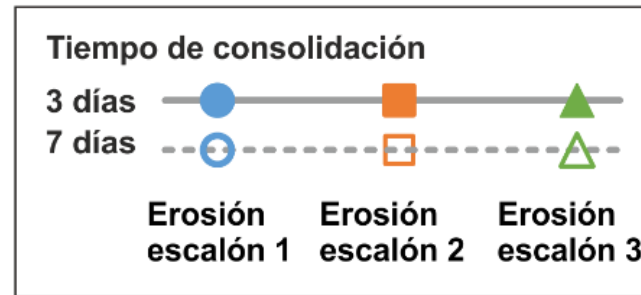
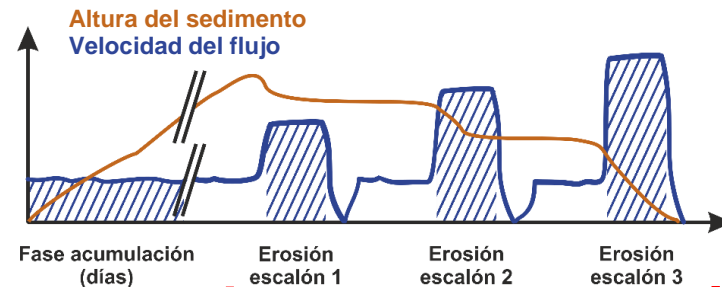
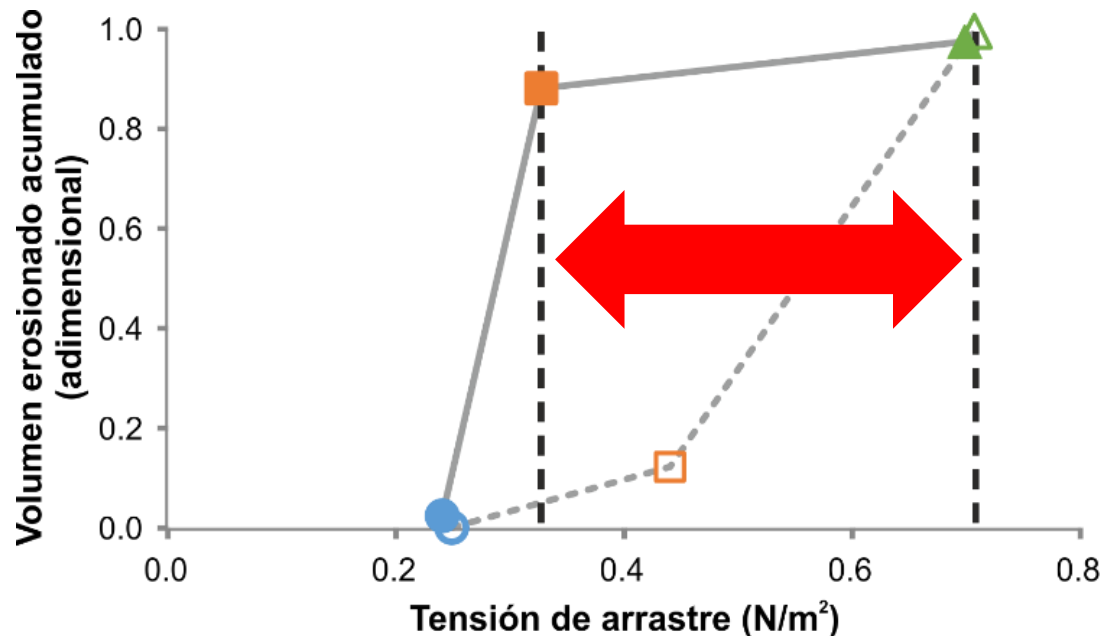
4. Procesos de acumulación, erosión y transporte de sedimentos en tuberías

Resultados. Ensayos de erosión y transporte



Spain
Young Professionals
Network

Tensión de arrastre – masa erosionada



4. Procesos de acumulación, erosión y transporte de sedimentos en tuberías

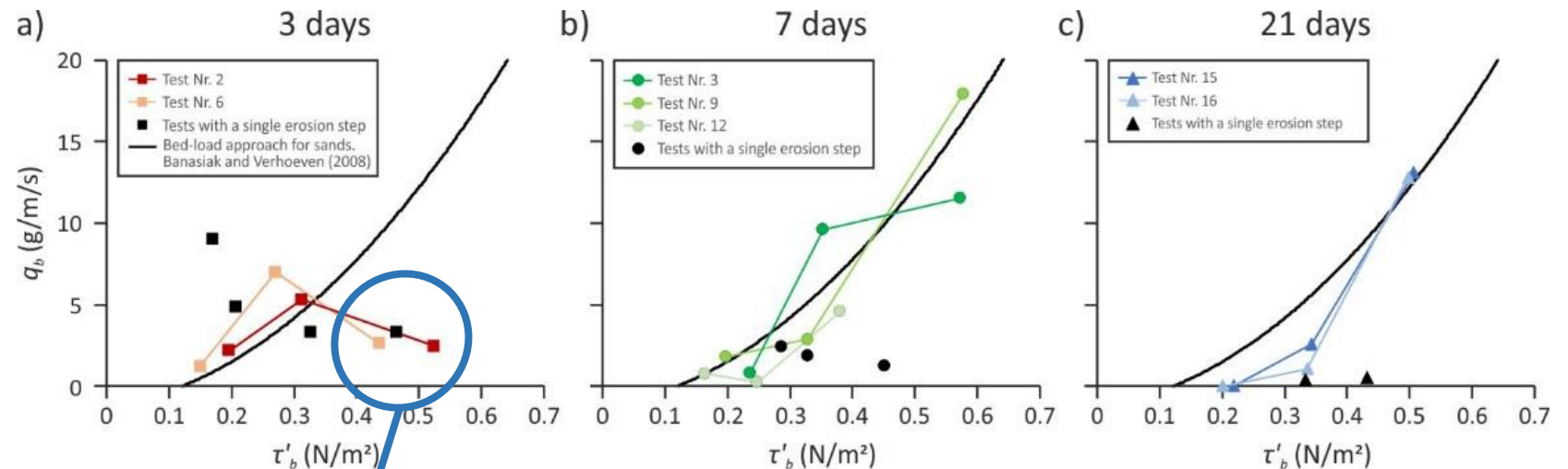
Resultados. Ensayos de erosión y transporte

Ensayos de erosión y transporte

Transporte de fondo de sedimentos



Spain
Young Professionals
Network



Poca disponibilidad de sedimentos

Dependencia con **tiempo de acumulación previo**:

- 3 – 7 días: sedimento poco consolidado. Fácilmente erosionable
- 21 días: sedimento cohesionado con mayor resistencia

4. Procesos de acumulación, erosión y transporte de sedimentos en tuberías

Resultados. Ensayos de erosión y transporte

Tensiones de arrastre y formas de fondo

$$\tau_b = \tau'_b + \tau''_b$$

τ_b : Tensión de arrastre de fondo

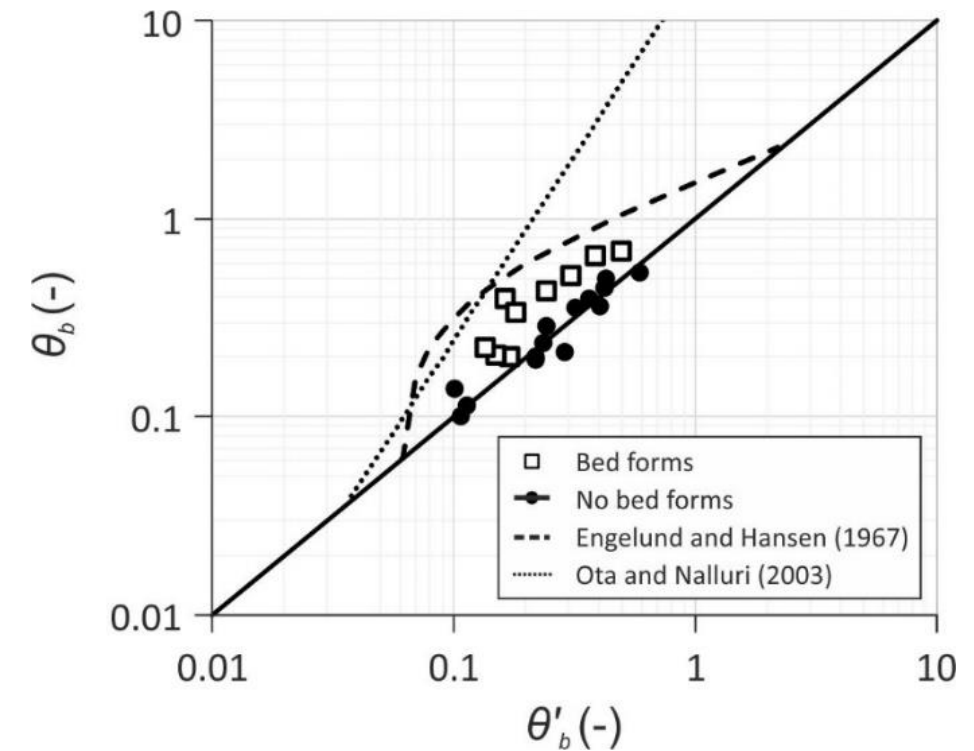
τ'_b : Tensión de arrastre de grano

τ''_b : Tensión de arrastre por formas de fondo

- Formas de fondo pequeñas:
material orgánico y cohesivo



- Menor afección a la tensión de arrastre de fondo



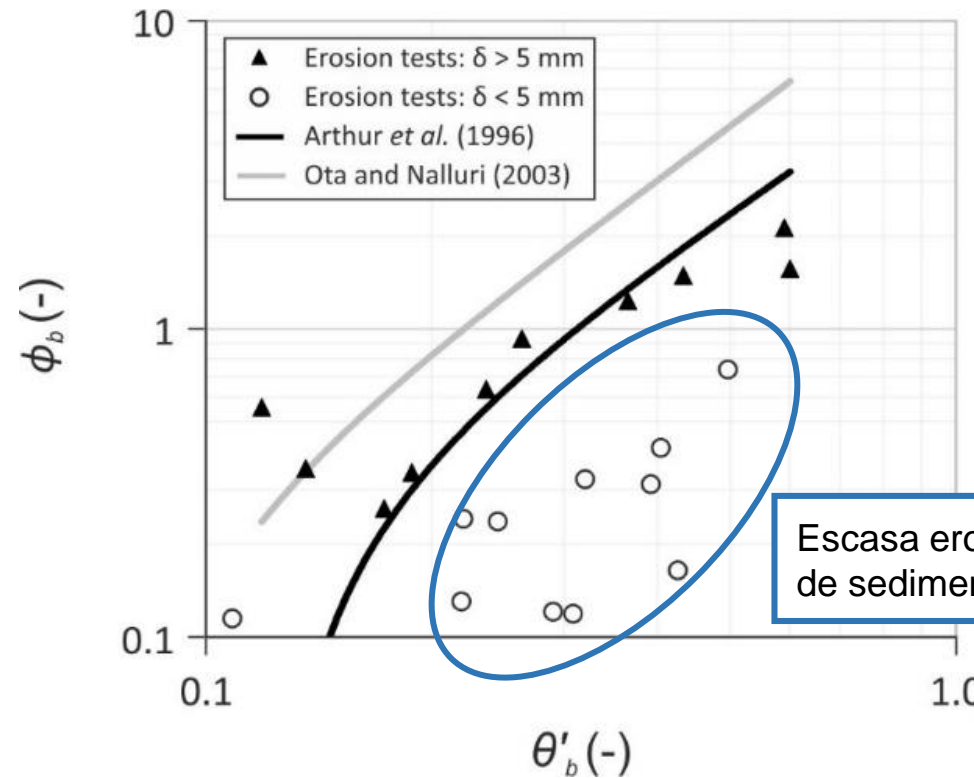
Spain
Young Professionals
Network

4. Procesos de acumulación, erosión y transporte de sedimentos en tuberías

Resultados. Ensayos de erosión y transporte

Transporte de fondo de sedimentos

Comparación con fórmulas de capacidad de transporte de fondo $\phi_b = f(\theta'_b)$



Ota & Nalluri (2003) → Ensayos Laboratorio. Sedimento inorgánico

$$\phi_b = 16.5(\theta'_b - 0.036)^{1.67}$$

Arthur et al. (1996) → Ensayos Campo. Sedimento orgánico

$$\phi_b = 2.2775 \times 10^{-3} \theta_b'^{2.2} D_*^{0.38} Z^{-1.11} (B/h_w)^{0.78}$$

→ Modelos de erosión

$$E = M \left(\frac{\tau_b - \tau_c}{\tau_c} \right)$$



Spain
Young Professionals
Network

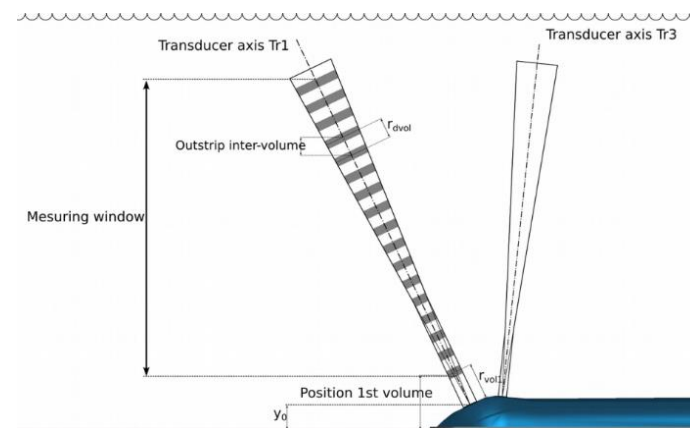
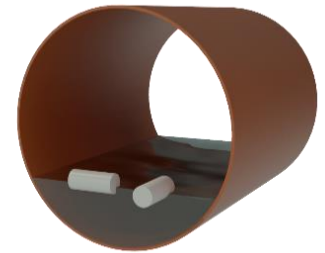
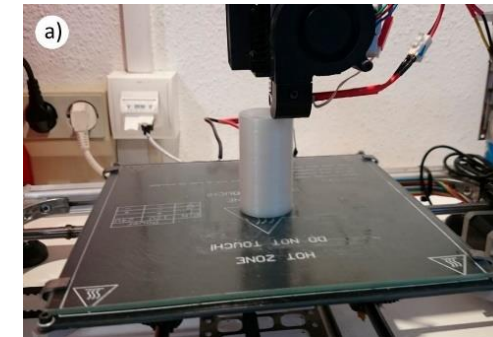
5. Caracterización de sólidos en suspensión y del transporte de sólidos gruesos

Estudios complementarios a los anteriores

Sólidos en suspensión



Sólidos gruesos



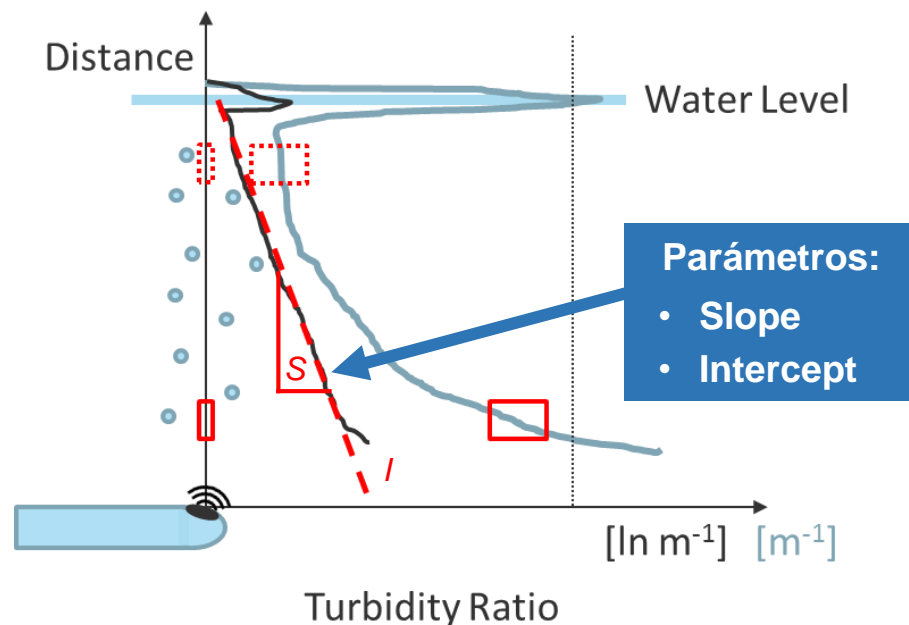
Spain
Young Professionals
Network

5. Caracterización de sólidos en suspensión y del transporte de sólidos gruesos

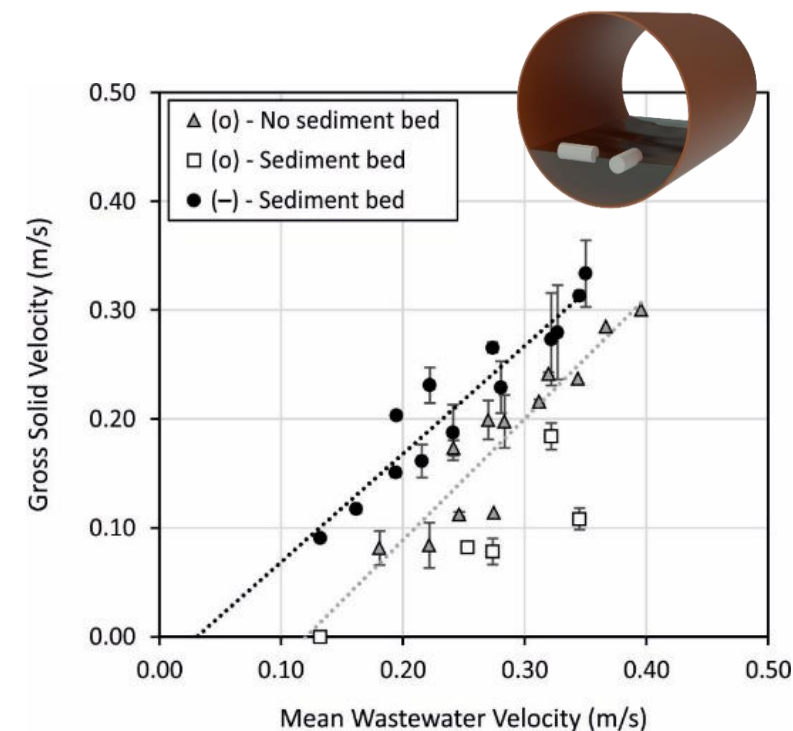
Estudios complementarios a los anteriores

Sólidos en suspensión

Perfiles de turbidez acústica



Sólidos gruesos



Spain
Young Professionals
Network

6. CONCLUSIONES

Las tuberías ovoides mostraron unas mejores condiciones de autolimpieza que las circulares bajo condiciones de tiempo seco ($h/D < 25\%$)

Procesos de acumulación, erosión y transporte:

- Se han desarrollado técnicas innovadoras para obtener la morfología del lecho y para determinar las propiedades fisicoquímicas en muestras de sedimentos.
- El período de acumulación durante condiciones de tiempo seco es un parámetro significativo debido a su relación con la degradación de la materia orgánica. Esta biodegradación de los sedimentos genera un aumento de la resistencia a la erosión y la cohesión del lecho, y reduce la capacidad de erosión.
- En alguno de los ensayos de erosión, las formas de fondo influyeron en la tensión de arrastre del lecho.
- La aplicación de formulas de capacidad de transporte de lechos en tuberías de saneamiento mostró una gran incertidumbre debido a: (i) relación entre la biodegradabilidad y la tensión de arrastre del lecho y, (ii) la limitada disponibilidad de sedimentos, en la que influye la existencia de lechos fijos no erosionables.



Spain
Young Professionals
Network

- fin -



Muchas gracias por vuestra atención

Contacto:

manuel.regueiro1@udc.es

@manuregueiro

@SpainYPN