

Línea hidráulica base de humedales artificiales de alta tasa utilizando medios de soporte plástico (MSP).

Angélica Corzo Hernández

PhD. Candidata, Ingeniera Civil.

acorzoh@unal.edu.co

Otoniel Sanabria Artunduaga

PhD. Ing., Docente Departamento de Ingeniería Civil y Agrícola.

oasanabriaa@unal.edu.co

Bogotá, Julio 3 de 2015

Doctorado en Ingeniería

Ingeniería Civil

PROBLEMÁTICA

Humedales artificiales de flujo subsuperficial.



Colmatación



Doctorado en Ingeniería

Ingeniería Civil

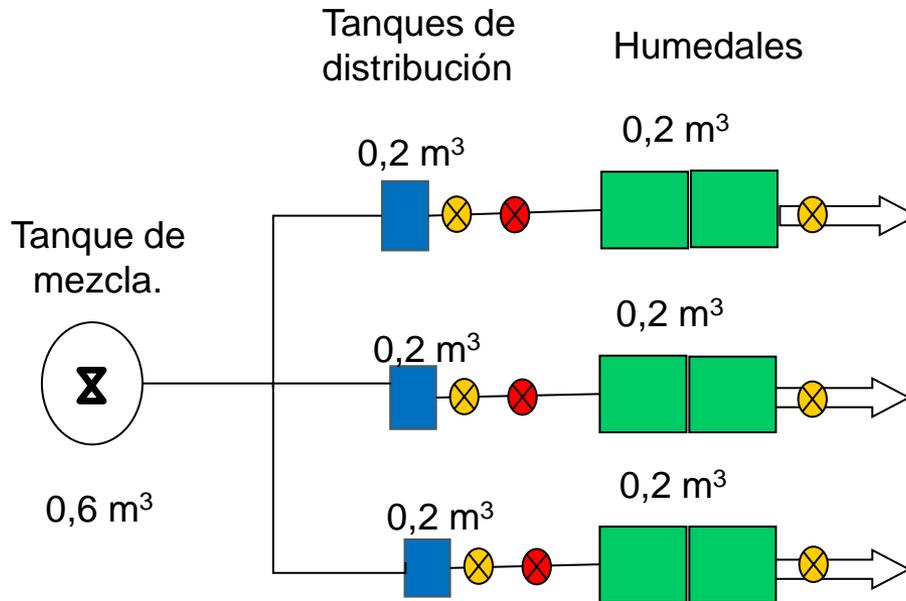
PROPUESTA DE SOLUCIÓN

- Desarrollo de un medio de soporte plástico (MSP) para ser utilizado como material de relleno de humedales artificiales de alta tasa (HAAT), convirtiéndolos en una alternativa económicamente viable.

**MSP 2014
EN INVESTIGACIÓN.**

LÍNEA HIDRÁULICA BASE

Modelo Experimental



→ Salida a alcantarilla

⊗ Llaves de paso

⊗ Electroválvula

Línea 1
(*Cyperus alternifolius*,
nombre común "Papiro")



Línea 2
(*Heliconia burleana*,
nombre común
"Platanillo")



Línea 3
(*Zantedeschia aethiopica*,
nombre común
"Cartucho")



LÍNEA HIDRÁULICA BASE

Humedal tradicional.



Humedal con baffles.



LÍNEA HIDRÁULICA BASE

Metodología.

1) Conductividad hidráulica: test de Lefranc.



$$k = \frac{d^2 \ln(2L_s/d)}{8Lt} \ln\left(\frac{h_1}{h_2}\right) \quad \text{Ecuación de Lefranc.}$$

Ajuste por mínimos cuadrados para minimizar el error entre h_1 observados y h_2 calculados por la función de ajuste $f(x_i)$.

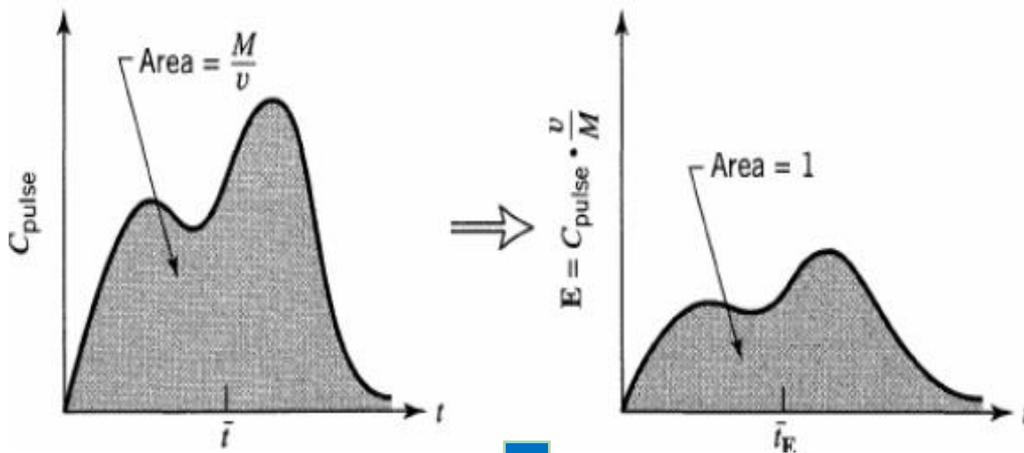
$$\sum_{i=1}^n E_i^2 = \sum_{i=1}^N (y_i - f(x_i))^2 \quad f(x_i) \rightarrow k = \frac{d^2 \ln(2L_s/d)}{8L_s t} \ln\left(\frac{h_1}{h_2}\right)$$

LÍNEA HIDRÁULICA BASE

Metodología.

2) Pruebas de trazadores

- Inyección instantánea, función E (t):



$$E = \frac{C_{impulso}}{\sum_{i=1}^n C_i \Delta t_i}$$

- Tiempo real de retención: $\bar{t} = \frac{\sum_{i=1}^n t_i * C_i * \Delta t_i}{\sum_{i=1}^n C_i \Delta t_i}$

Doctorado en Ingeniería

Ingeniería Civil

LÍNEA HIDRÁULICA BASE

Metodología.

2) Pruebas de trazadores

- Módulo de dispersión longitudinal:

$D/vL \rightarrow 0$ dispersión insignificante, flujo pistón.

$D/vL \rightarrow \infty$ gran dispersión, mezcla completa.

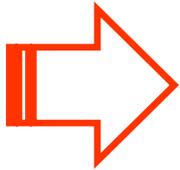
$D/vL = 0.002$ dispersión pequeña.

$D/vL = 0.025$ dispersión intermedia.

$D/vL = 0.2$ dispersión grande.

- Eficiencia Hidráulica:

$$\lambda_t = \frac{\bar{\tau}}{\tau}$$



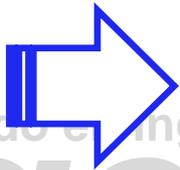
$\lambda_t = 1 \rightarrow$ El volumen total es igual al volumen útil.

$\lambda_t < 1 \leftrightarrow \lambda_t > 1 \rightarrow$ La distribución del flujo no es uniforme.

$\lambda_t < 1 \rightarrow$ Espacios muertos o reducciones del volumen útil.

$\lambda_t > 1 \rightarrow$ Retenciones indeseadas de trazador.

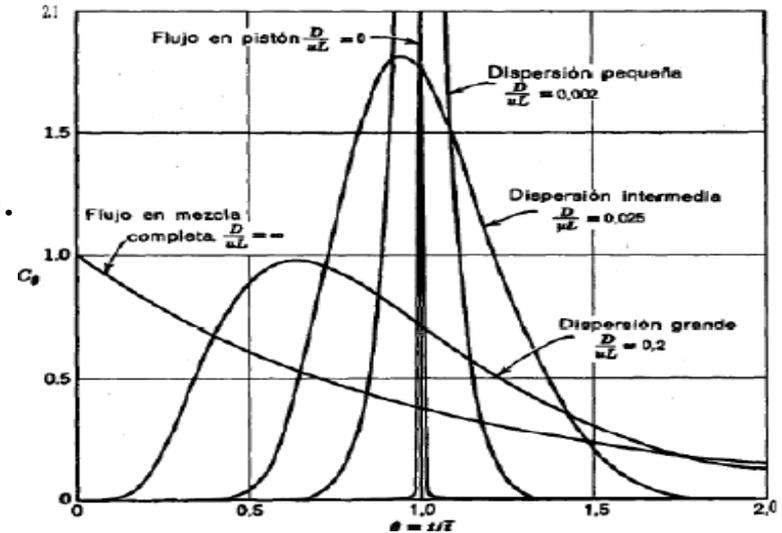
$$\lambda_p = \frac{T_p}{\tau}$$



$\lambda_p = 0 \rightarrow$ Predomina el flujo en mezcla completa.

$\lambda_p > 1 \rightarrow$ La distribución del flujo no es uniforme.

$\lambda_p \rightarrow 1 \rightarrow$ Predomina el flujo pistón.



T_p = Tiempo de máxima de concentración de trazador a la salida del humedal [s].

LÍNEA HIDRÁULICA BASE

Resultados.

1) Medio de Soporte.

Conductividad hidráulica del medio: 6480 m/d.

Porosidad: 94%

Superficie específica: 320 m²/m³

Propiedades de Material de relleno común Humedales artificiales.

Tipo de sustrato	Tamaño efectivo D_{10} (mm)	Porosidad %	Conductividad K (m ³ /m ² d)
Arenas Gradadas	2	28-32	100-1000
Arenas Gravasas	8	30-35	500-5000
Gravas Finas	16	35-38	1000-10000
Gravas Medias	32	36-40	10000-50000
Rocas Pequeñas	128	38-45	50000-250000

Doctorado en Ingeniería

Ingeniería Civil

LÍNEA HIDRÁULICA BASE

Resultados.

2) Test de trazadores.

Línea	Tiempo real de retención [d]	Módulo de dispersión [D/vL]	λt	λp	Flujo
L1-3 sin bafles	2,58	0,59	2,58	2	No uniforme
L1 con bafles	1,63	0,75	1,63	0,5	Pistón con dispersión
L2 con bafles	1,48	0,72	1,48	0,8	
L3 con bafles	1,44	0,79	1,44	0,5	

Los tiempos de residencia reales fueron mayores a los tiempo de residencia teóricos debido a retenciones de trazador en el fondo de los primeros reactores en cada línea.

LÍNEA HIDRÁULICA BASE

Conclusión.

La línea hidráulica base de un humedal artificial de alta tasa se corresponde a un reactor con baffles que permita un patrón de flujo en pistón con dispersión.

Los tiempos de retención real en el sistema son superiores al tiempo de diseño debido a la estructura geométrica de los MSP planteados.



UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA
SEDE BOGOTÁ
FACULTAD DE INGENIERÍA
ÁREA CURRICULAR DE INGENIERÍA CIVIL Y AGRÍCOLA

Línea hidráulica base de humedales artificiales de alta tasa utilizando medios de soporte plástico (MSP).

Doctorado en Ingeniería

Ingeniería Civil