

61/3343

2 5 2
87 DE

LIBRARY
INTERNATIONAL REFERENCE CENTRE
FOR COMMUNITY WATER SUPPLY AND
SANITATION (IRC)

6

DESAREJADORES MODULARES
(TILTED PLATE SETTLERS)

Trabajo presentado en el XXII Congreso de Ingeniería
Sanitaria y Ambiental

ANTONIO CASTILLA RUIZ

LIBARDO SANCHEZ

Santiago de Cali, Agosto de 1987

252-87DE-3343

DESARENADORES MODULARES

RESUMEN

Las ecuaciones de K.M. Yao para los sedimentadores de alta velocidad se han aplicado con éxito en el diseño de plantas de potabilización para clarificar el agua sometida al proceso de coagulación floculación. Las ecuaciones fueron derivadas para partículas discretas y por esta razón algunos ingenieros de diseño han pensado que se pueden aplicar, también, en el diseño de tanques desarenadores. El presente artículo trata sobre esta posibilidad y presenta algunas conclusiones de datos experimentales. La experiencia se llevó a cabo en la Planta de Puerto Mallarino en la ciudad de Cali, Colombia, en los meses de Mayo y Junio de 1987, con agua del río Cauca, en una época relativamente lluviosa pero con frecuentes días de pluviosidad nula.

LIBRARY, INTERNATIONAL REFERENCE
CENTRE FOR COMMUNITY WATER SUPPLY
AND SANITATION (ICWS)
P.O. Box 9870, 2003 AD The Hague
Tel. (070) 814911 ext. 141/142

RN: ~~07440~~ ish 3343
LO: 252, 87DE

DESCRIPCION DEL ESTUDIO

Las ecuaciones que aparecen en el artículo de Yao (U. Res 1, p.220) son:

$$V_s (\text{Sen } \theta + L \text{cos } \theta) / V_o = S \quad (1)$$

$$L = 0.058 \frac{V_o d}{\nu} \quad (2)$$

En donde,

V_s = Velocidad de la partícula que se desea remover.
Velocidad de Sedimentación.

V_o = Velocidad promedio del agua en el conducto.

θ = Angulo de inclinación del conducto con respecto a la horizontal.

L = Relación entre la longitud real del conducto, L_R y la distancia d entre las paredes del mismo. Si el conducto es circular, d es el diámetro.

L = Relación entre la longitud de transición del flujo turbulento al laminar y la distancia d .

S = Una constante que depende del tipo de conducto. Por ejemplo, $S = 1$ para placas paralelas.

ν = Viscosidad cinemática del fluido.

Una partícula que penetra al sedimentador en el punto A se considera removida cuando alcanza el punto E.

Ver Figura 1.

Yao demuestra que el comportamiento del sedimentador desmejora rápidamente cuando θ es mayor de 40 grados.

(V. Ref 1 p. 223). También recomienda que $L = 20$ para obtener los mejores resultados. (V. idem).

Sin embargo, para facilitar las labores de limpieza se adopta un ángulo de $\theta = 60$ grados, en la práctica corriente, para permitir que las partículas sedimentadas descendan por gravedad, hacia el fondo de la estructura. (V. Ref. 2, p.682).

Para remover una partícula cuya velocidad de sedimentación es V_s se requiere una área superficial A_c en una remoción convencional, definida por la ecuación (3).

$$\frac{Q}{A_c} = V_s \quad (3)$$

en donde

Q = Caudal por tratarse.

A_c = Área superficial de un decantador convencional.

Si A es el área útil superficial del sedimentador de módulos el caudal tratado en estas estructuras está definido por la ecuación (4)

$$A V_0 \text{ Sen } \theta = 0 \quad (4)$$

Combinando las ecuaciones (1), (3) y (4) se obtiene la ecuación (5)

$$\frac{Ac}{A} = \frac{(\text{Sen } \theta + L \text{ Cos } \theta) \text{ Sen } \theta}{S} \quad (5)$$

Adoptando, según la práctica, un valor de $\theta = 60$ grados y $L = 10$, ya que es difícil obtener un valor de $L = 20$ por las restricciones impuestas por la ecuación (2), por la ecuación (5) se obtiene, si $S = 1.0$:

$$\frac{Ac}{A} = 5.08 \quad (6)$$

De acuerdo con lo anterior se puede obtener un desarenador o decantador de módulos con una área superficial cinco veces menor, teóricamente, que la correspondiente a la estructura convencional. La solución del problema, tal como se ha presentado es muy atractiva.

Como puede observarse en la Figura 1 el agua entra a la estructura modular por la zona inferior AC y se desplaza hacia arriba, en la dirección V_0 . La partícula removida en el punto B desciende hacia el punto C por gravedad y desde este punto trata de desplazarse hacia el fondo del sedimentador para quedar definitivamente removida. En este momento es lógico preguntarse: La partícula que pudo

hacer el recorrido HBC por que no es forzada por la corriente para hacer enseguida el recorrido CD?

No parece existir ninguna razón que lo impida. Sin embargo en el sedimentador de agua floculada hay dos razones importantes para que la remoción sea posible:

* 1) Las diferentes partículas que se depositan en la pared BC se van acumulando unas sobre otras compactándose y formando masas de tamaño notorio y debido a su relativo gran peso no pueden ser arrastradas hacia arriba y por lo tanto alcanzan el fondo de la estructura. * 2) Los flóculos que ascienden a través de la corriente de agua chocan con flóculos que descienden formandose en la zona inferior del módulo un manto de lodos. Se forman partículas de mayor tamaño las cuales, debido a su mayor peso pueden, también, alcanzar el fondo del sedimentador. Estos dos fenomenos no pueden darse cuando las partículas son discretas sino en una pequeña proporción y por lo tanto podría deducirse que una estructura de módulos no sería más eficiente que un desarenador convencional de flujo ascendente en donde las partículas que pueden ser removidas son aquellas cuya velocidad de sedimentación es mayor que V_s . En la decantación con flujo ascendente se forma, sin lugar a dudas, un manto de lodo que ayuda a la remoción: en gran medida, cuando se trata de partículas floculentas y en pequeña medida, cuando se trata de

partículas discretas.

Las experiencias que se llevaron a cabo en un desarenador piloto en la planta de Puerto Mallarino tuvieron por objeto lograr algún conocimiento acerca de la efectividad de los módulos para remover partículas discretas. A pesar de las limitaciones en que se desarrollaron los experimentos creemos que se logró un pequeño avance en relación con este tema y es por esto por lo que nos hemos decidido a producir la información correspondiente, según se describe a continuación.

En la Figura 2 se muestra el esquema de la planta piloto.

Las características del sistema son:

- x 1) Una cámara de carga con rebose para producir una carga hidráulica constante.
- x 2) Múltiple difusor en el fondo del tanque y múltiple recolector en la parte superior, calculados para producir un flujo uniformemente distribuido.
- x 3) Los conductos del módulo hacen un ángulo de $\theta = 60$ grados con la horizontal.
- x 4) Las dimensiones son: largo del tanque, 0.795 m; ancho, 0.44 m; conductos cuadrados del módulo de 0.05 x 0.05 m²; Área superficial = 0.35 m².

x 5) Un múltiple recolector de lodos para lavado del tanque.

OPERACION DEL SISTEMA

La operación del sistema tiene que ser cuidadosa. A medida que transcurre el tiempo el interior de los módulos se satura de material. Esto causa un aumento de la velocidad del agua entre las partículas de sólidos lo que produce un arrastre del material hacia la salida de la estructura. Esto se nota por la disminución de la eficiencia del proceso. En este momento debe purgarse el desarenador lo cual debe hacerse con cuidado para no destruir el manto de lodo. Hecha esta operación la eficiencia sube nuevamente. Los orificios del múltiple difusor tienden a obstruirse con la basura transportada por el río. De cuando en cuando debe hacerse una limpieza del múltiple difusor. En el Cuadro 1 se muestran los resultados obtenidos. Sólo se muestran los que se consideraron representativos. Por ejemplo: cuando la turbiedad del agua cruda es muy baja los sólidos depositados son escasos y las lecturas de su volumen son erráticas porque las divisiones de lectura no dan suficiente precisión. Las lecturas de los sólidos removidos se hicieron en conos Imhoff, dejando reposar el líquido durante 15 minutos. La eliminación de los datos a

turbiedades bajas no es perjudicial, por otra parte, porque para estos valores no se requiere la estructura desarenadora.

En el Cuadro 2 se muestran los resultados utilizando un modulo de tubos verticales de 2" pulgadas de diametro. De acuerdo con la teoria de Yao, como ya se menciono, la eficiencia se deteriora rapidamente cuando los angulos de inclinación θ se hacen mayores de 40 grados. De acuerdo con dicha teoria una inclinación de $\theta = 90$ grados deberia dar una pesima eficiencia, si no eficiencia nula. Por el contrario las eficiencias obtenidas para los dos tipos de desarenador estudiados son comparables, casi iguales. La pequena disminucion de eficiencia en el modulo de tubos verticales puede ser debida al posible aumento de velocidad, debido a que dichos tubos tienen espesores no despreciables. El modulo de ejes inclinados tiene espesores que si se pueden despreciar. Esta diferencia de espesores y por lo tanto, de velocidades puede explicar la ligera disminucion de caudal para el segundo caso, precisamente por el aumento de velocidad que aumentaria ligeramente las pérdidas por fricción.

Se puede, por lo tanto, concluir que los dos modulos se comportaron de una manera muy similar. Como el modulo 2 (de tubos verticales), trabaja como un desarenador convencional de flujo ascendente su diseño está definido por la ecuación (3).

CUADRO 1. Modulo de Ejes Inclinados a 60 grados de Seccion Cuadrada.

Fecha	Hora	Caudal L S	Turbiedad		Solidos Sediment.		Eficiencia %
			Afluent.	Eflue.	Afluent.	Efluent.	
Junio 4	13:40	0.67	48	46	0.08	0.01	87.5
	13:45	0.69	48	44	0.09	0.01	88.9
	15:16	0.70	44	41	0.03	0.01	66.7
	16:25	0.66	57	49	0.06	0.01	83.0
Junio 5	13:00	0.59	94	87	0.10	0.05	50.0
	14:50	0.55	370	320	0.10	0.04	60.0
	15:50	0.54	360	340	0.20	0.07	65.0
	16:30	0.52	530	480	0.25	0.08	68.0
Junio 8	9:15	0.71	130	120	0.03	0.01	66.7
	10:30	0.70	118	109	0.11	0.06	45.5
	12:05	0.67	120	110	0.04	0.02	50.0
	13:55	0.71	130	120	0.03	0.01	66.7
	14:35	0.69	45	42	0.06	0.02	66.7
	15:40	0.68	55	53	0.08	0.03	62.5
	16:25	0.67	57	52	0.06	0.02	66.7
	17:05	0.69	59	57	0.05	0.02	60.0
Junio 9	09:00	0.68	290	260	0.07	0.04	42.9
	10:05	0.67	340	330	0.11	0.07	36.4
	11:15	0.62	315	305	0.08	0.04	50.0
	12:10	0.66	300	285	0.09	0.04	55.6
	14:05	0.66	300	290	0.10	0.02	80.0
	14:40	0.67	300	285	0.20	0.03	85.0
	16:25	0.72	290	287	0.09	0.02	77.0
	17:00	0.72	305	295	0.08	0.02	75.0
Junio 10	8:40	0.67	50	54	0.04	0.01	75.0
	9:50	0.67	61	57	0.03	0.01	66.7
	10:55	0.66	60	56	0.03	0.01	66.7
	12:05	0.65	48	45	0.03	0.01	66.7
	13:55	0.67	44	39	0.03	0.01	66.7
	14:25	0.68	47	42	0.03	0.01	66.7
	15:00	0.68	44	39	0.03	0.01	66.7
	15:45	0.71	42	38	0.03	0.01	66.7
	16:20	0.68	42	37	0.03	0.01	66.7
	Junio 11	8:40	0.63	49	45	0.04	0.01
9:50		0.61	43	40	0.04	0.01	75.0
Junio 12	8:40	0.61	46	43	0.04	0.01	75.0
	10:30	0.56	39	36	0.03	0.01	66.7
Junio 15	8:40	0.59	54	52	0.06	0.04	33.3
	9:20	0.58	52	50	0.05	0.03	40.0
		25.49					2529.4

$$\text{Caudal Promedio} = \frac{25.49}{39} = 0.65$$

$$\text{Eficiencia Promedio} = \frac{2529.4}{39} = 64.9\%$$

Los promedios no son ponderados.

CUADRO 2. Modulo de Tubos Verticales de = 2°

Fecha	Hora	Caudal L S	Turbiedad		Solidos Sediment.		Eficiencia %
			Afluent.	Eflue.	Afluent.	Efluent.	
Mayo 25	13:30	0.65	310	290	0.15	0.09	40.0
	14:10	0.63	308	290	0.15	0.05	66.7
	15:00	0.63	330	320	0.12	0.05	58.3
	15:50	0.63	311	300	0.20	0.08	60.0
Mayo 26	14:15	0.62	184	180	0.05	0.02	60.0
	14:50	0.59	190	172	0.06	0.03	50.0
	15:25	0.59	172	160	0.08	0.04	50.0
	16:00	0.58	193	180	0.06	0.02	66.7
Mayo 27	16:35	0.57	180	172	0.10	0.04	60.0
	13:25	0.55	134	130	0.08	0.02	75.0
	13:55	0.52	136	122	0.05	0.02	60.0
	14:30	0.51	140	132	0.07	0.03	57.1
Mayo 28	15:20	0.56	131	128	0.03	0.02	33.3
	16:00	0.55	133	130	0.08	0.03	62.5
	16:35	0.54	129	123	0.09	0.02	77.8
	9:45	0.63	240	220	0.10	0.03	70.0
	11:00	0.66	220	200	0.06	0.02	66.7
	12:00	0.66	225	200	0.03	0.01	66.7
	13:15	0.65	230	220	0.08	0.02	75.0
Mayo 29	14:10	0.62	233	228	0.08	0.03	62.5
	14:45	0.63	230	211	0.10	0.03	70.0
	15:40	0.63	231	222	0.08	0.03	62.5
	16:15	0.64	232	220	0.07	0.02	71.4
	10:00	0.63	50	45	0.05	0.01	80.0
	11:00	0.64	50	47	0.04	0.02	50.0
	12:00	0.63	50	46	0.07	0.01	85.7
Junio 2	13:20	0.62	132	120	0.05	0.01	80.0
	13:55	0.62	130	121	0.08	0.01	87.5
	14:30	0.62	134	130	0.06	0.02	66.7
	15:20	0.60	131	124	0.04	0.02	50.0
	16:10	0.61	121	112	0.06	0.03	50.0
	13:10	0.63	28	27	0.03	0.02	33.3
Junio 2	13:50	0.63	28	27	0.02	0.01	50.0
	14:30	0.63	28	26	0.04	0.02	50.0
	15:30	0.56	29	28	0.02	0.01	50.0
	16:10	0.61	32	28	0.02	0.01	50.0
		21.87					2205.4

Caudal Promedio = $\frac{21.87}{\dots} = 0.61 \text{ LS}$ Eficiencia Promedio = $\frac{2205.4}{\dots} = 61.3\%$

El módulo 1 (de ejes inclinados) el cual se comporta en forma similar al módulo 2 debería también estar definido por la misma ecuación (3) puesto que la sedimentación debe verificarse en la zona inferior del módulo, antes de la entrada al mismo. La inclinación de los ejes del módulo 1 no tiene la más mínima importancia siempre y cuando los ángulos de inclinación sean superiores a 60 grados, caso en el cual los sedimentos fluyen por gravedad al fondo del tanque y son recirculados para formar el manto de lodos. En el caso que nos ocupa, el módulo 2 removerá las partículas cuya velocidad de sedimentación V_s sea mayor

que Q/Ac . En el límite $V_s = \frac{Q}{Ac}$. Si se aplicara

la teoría de Yao para remover las partículas con esa misma velocidad V_s el área de la sección transversal del tanque sería notoriamente menor, lo cual contradice los experimentos efectuados en este estudio. Se comprende fácilmente que una disminución del área superficial, para el mismo caudal tratado, aumentaría la velocidad V_o , produciéndose arrastre de partículas fuera del módulo, disminuyéndose, por lo tanto, la eficiencia.

Es interesante el estudio hecho por Ahmad y Wais (Ver Ref. 3, Figura 6). En la Figura 6 de dicho estudio se muestra que para una módulo de 52 mm de diámetro, para una

$$\text{velocidad } V_0 = \frac{U}{A \text{ Sen } \theta} = \frac{0.65}{0.35 \times 0.866} = 2.14 \text{ mm/s}$$

$$= 12.86 \text{ cm/min.}$$

tal como se utilizó en este trabajo, se obtuvo una eficiencia del 74% cuando la inclinación del módulo era de $\theta = 40$ grados

CONCLUSIONES

De este estudio se pueden obtener las siguientes conclusiones, para partículas discretas:

- x 1) Aguas como las del río Cauca pueden obstruir los orificios de los múltiples de entrada, causando algunos problemas de operación.
- x 2) La operación de la estructura debe ser cuidadosa. Para evitar el arrastre de los sedimentos hacia la salida debe purgarse el desarenador cuando su eficiencia empiece a disminuir.
- x 3) La purga de la estructura debe hacerse con cuidado para no destruir el manto de lodos.
- x 4) El método de cálculo sugerido por Yao no debe aplicarse en las estructuras modulares que permiten

el descenso del material removido a lo largo de las paredes del módulo, por gravedad, hacia el fondo del tanque. Es decir, para ángulos de inclinación, según Culp (V. Ref. 2 p. 682) mayores de 45 grados. Como se vio claramente en esta experiencia el ángulo de inclinación del módulo no influye entre 60 grados y 90 grados lo cual invalida la teoría de Yao en este rango.

- × 5) Los módulos, por la distribución laminar del flujo, con velocidades bajas cerca de las paredes de los conductos contribuyen a:
 - × 1) la formación del manto de lodos.
 - × 2) uniformar el flujo y eliminación de cortos circuitos.

- × 6) Durante los ensayos se hicieron mediciones de turbiedad, encontrándose que la unidad tenía una baja eficiencia en este aspecto, con remociones máximas del 10% .

- × 7) Con velocidades bajas las eficiencias de remoción de sólidos fueron relativamente altas. Esto hace que la estructura pueda ser comparada económicamente con un desarenador convencional porque en esta última estructura, la necesidad de controlar la velocidad horizontal para evitar el arrastre del material sedimentado, obliga a profundizarla.

En el desarenador de módulos la profundidad es baja para cualquier área superficial, pero necesita un sistema de distribución del agua por medio de múltiples difusores. Por otra parte, su mantenimiento debe ser cuidadoso por la fragilidad del material con el cual están contruidos.

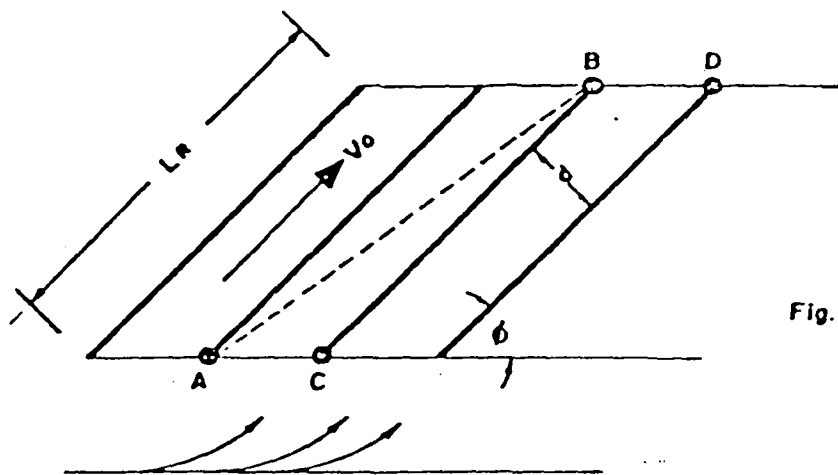


Fig. 1

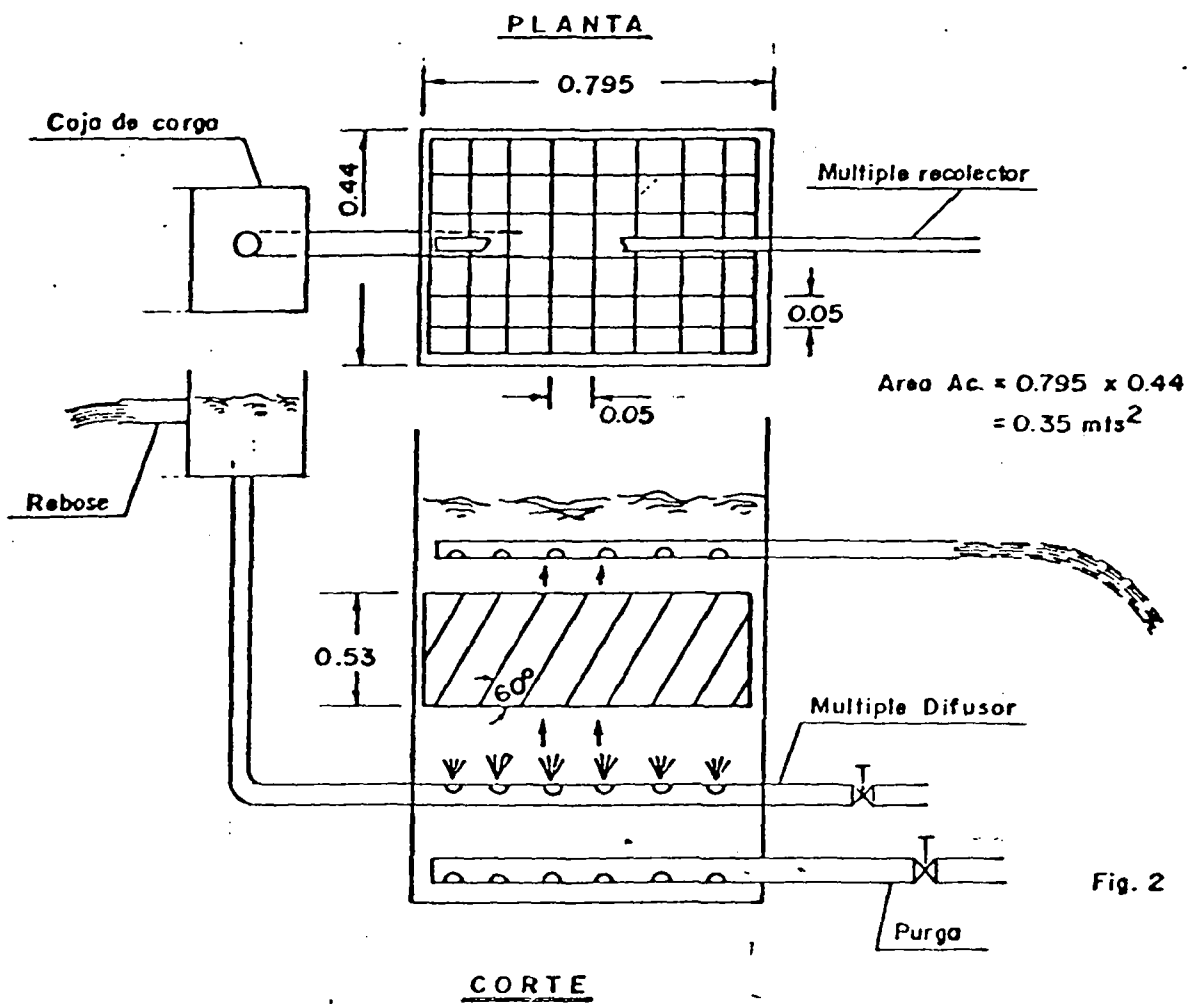


Fig. 2

REFERENCIAS

- * 1) K.M. Yao. "Theoretical Study of High Rate Sedimentation". J. Water Pollution Control Federation. Feb. 1970.
- * 2) Gordon Culp et Al. "High Rate Sedimentation in Water Treatment Works". J. American Water Works Association. Junio 1968.
- * 3) Shamin Ahmad y M.T. Wais. "Possibilites des Tubes Decanteurs de Modifier la Turbidite D eaux Brutes Avant Coagulation". Biblioteca de EMCALI. Este articulo puede ser suministrado por CEPIS.