

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

1. "Modelo Teórico de Socavación General y Socavación Local en Ríos de Lecho Granular Grueso Aguas Abajo de un Embalse" - S. Vega V. - 2° Coloquio Nacional de Hidráulica - 1973.
2. "Loose Boundary Hydraulics" - Raudkivi - Pergamon Press.
3. "The Bed Load Function for Sediment Transportation" - H. A. Einstein - S.C.S. 1950.
4. "Fluid Mechanics" - V.L. Streeter - Mc.Graw-Hill, 1958.
5. "Cálculo del Transporte de Sedimentos en el Río Maipo". - Solano Vega V. - 1er. Coloquio Nacional de Hidráulica - 1971.

CRITERIOS DE SEMEJANZA

EN SEDIMENTOS

Bernardo Domínguez C. (*)

En este trabajo se analizan diferentes criterios de semejanza a utilizar en fenómenos que se presentan en escurrimientos sólido-líquidos, utilizando la noción de la función de distribución de tiempo de retención. Una primera serie de resultados experimentales muestra que en la sedimentación en estanques, el criterio de igualdad del parámetro de localidad de sedimentación de las partículas sólidas, no es el criterio más adecuado a utilizar.

(*) Ingeniero Civil U.C. - Docteur Ingenieur
Jefe del Departamento de Obras Hidráulicas, de la Universidad Católica de Chile.

1.- INTRODUCCION

Se presenta en este trabajo los primeros resultados de investigaciones desarrolladas en el Departamento de Obras Hidráulicas de la Universidad Católica tendientes a determinar criterios de semejanza en fenómenos hidráulicos en los que están presentes sedimentos o partículas sólidas. Esta línea de investigación se inició en el Laboratorio de Hidráulica del Instituto de Mecánica de Fluidos de Toulouse, con el cual se seguirá manteniendo una estrecha colaboración.

Dada la complejidad que presentan los escurrimientos sólido-líquidos y la diversidad de situaciones que se puedan presentar es importante poder conocer las condiciones en que se pueden utilizar los diferentes criterios de similitud y cuales son también sus limitaciones, de modo de poder extrapolar los resultados experimentales a los modelos analíticos.

2.- SEMEJANZA EN ESCURRIMIENTOS SOLIDO-LIQUIDO

La semejanza en procesos de suspensión y sedimentación implica que se tenga en forma conjunta la semejanza hidrodinámica del escurrimiento y la similitud de movimiento de las partículas sólidas.

Se puede demostrar que es imposible obtener una semejanza total (1), por lo que los estudios e investiga-

ciones en esta área están dirigidas a encontrar las condiciones o criterio de semejanza que, aún siendo aproximados, representen mejor el fenómeno del escurrimiento bifásico sólido-líquido.

Respecto de la semejanza hidrodinámica, en la mayor parte de los casos las fuerzas preponderantes que intervienen son las de inercia, las de gravedad, las de viscosidad y las de presión. La relación de estas fuerzas ha permitido establecer parámetros adimensionales como el N^a de Froude, el N^a de Reynolds, que sirven como criterio de semejanzas hidrodinámicas en los diferentes tipos de escurrimientos.

La semejanza en el movimiento de las partículas sólidas es bastante más compleja. En efecto las partículas sólidas tienen características muy variables: dimensión, forma, masa específica, etc. Por ello, el problema de caracterizar el movimiento de los sedimentos es muy difícil, y conviene intentar encontrar cuales son las propiedades o conjunto de ellas, más determinantes.

En los fenómenos de suspensión, la gran mayoría de los investigadores utilizan la velocidad de sedimentación para caracterizar las partículas sólidas (2), (3).

En casos de arrastre de partículas sólidas usualmente se toma como parámetro característico la tensión tangencial que existe en el fondo cuando los sólidos se comienzan a mover: la tensión tangencial crítica (4).

Sin embargo en una gran cantidad de escurrimientos sólido-líquidos se tiene combinaciones de suspensión y arrastre, o existen corrientes secundarias que dificultan

la caracterización del movimiento de las partículas. En estos casos es necesario una verificación de los criterios de semejanza para poder determinar los parámetros característicos a utilizar en la extrapolación de resultados experimentales o de modelos matemáticos.

Un ejemplo de este tipo de escurrimiento es el que ocurre en estanques de sedimentación.

3.- CARACTERIZACION DEL ESCURRIMIENTO EN ESTANQUES

DE SEDIMENTACION

La sola medición de parámetros globales como gastos líquidos y sólidos no da información suficiente para describir el escurrimiento ni para definir criterios de semejanza.

Por otra parte la medición de todas las características puntuales e instantáneas que representan el escurrimiento, requiere de técnicas de medición muy complicadas, costosas y de mucho tiempo de experimentación.

Por ello se pretende utilizar como método de investigación la medida del tiempo de permanencia o tiempo de remoción de las partículas en el estanque. Este método, ya utilizado en investigaciones anteriores (5) tiene varias ventajas:

- Se ha demostrado (6) que la identidad de curvas de distribución de tiempo de remoción (DTR) es condición necesaria y suficiente para la semejanza de los distintos sistemas.

- En escurrimientos bifásicos sólido-líquido la DTR puede definirse independientemente para cada fase.
- Se trata de una descripción relativamente detallada del escurrimiento, que puede ser obtenida por medios técnicos simples.

El comportamiento del escurrimiento líquido puede analizarse, estableciendo un modelo de comportamiento tipo pistón-difusión.

Si se considera el estanque como un sistema de difusión y se hace la hipótesis que las partículas líquidas al ingresar al sistema se dispersan obteniéndose, en cada instante una concentración uniforme en el espacio, es posible establecer la función distribución y la función distribución acumulada del tiempo de estadía o de retención de las partículas líquidas que han ingresado en un mismo instante en el estanque.

Para la distribución de tiempo de retención, DTR se obtiene:

$$DTR(t) = \left(\frac{Q}{V_0}\right) \cdot e^{-(Q/V_0)t} \quad (1)$$

donde Q = gasto líquido

V_0 = volumen del sistema o estanque

t = tiempo

La distribución acumulada o repartición de tiempo de retención (RTR), que representa el porcentaje de partículas que han salido en un instante, vale:

$$RTR(t) = 1 - e^{-(Q/V_0)t} \quad (2)$$

El tiempo promedio de retención \bar{t} se obtiene por integración y vale:

$$\bar{t} = \frac{V_0}{Q}$$

Una comparación experimental de tiempo de retención con el valor teórico permitirá determinar si existe un "volumen muerto" en el sistema.

El comportamiento de las partículas sólidas en el sistema será diferente del de las partículas líquidas. La concentración no es uniforme en espacio, y en cada instante, en el punto de salida del sistema puede ser definida como un porcentaje p de la concentración media en dicho instante.

$$C_s(t) = p \cdot \bar{C}(t)$$

p es entonces un parámetro función de la distribución de concentración en el sistema. $p = 1$ indica que estos sólidos se comportan igual que las partículas líquidas. $p = 0$ indica que todos los sólidos sedimentan.

Bajo las hipótesis que la concentración de sólidos es pequeña y que p no varía en el tiempo se puede establecer la función distribución de tiempo de retención de partículas sólidas DTRS y también sin distribución acumulada o función repartición de tiempos de retención de sólidos RTRS:

Se obtiene :

$$DTRS(t) = p \frac{Q}{V_0} \cdot e^{-p \frac{Q}{V_0} t} \quad (3)$$

$$RTRS(t) = 1 - e^{-p \frac{Q}{V_0} t} \quad (4)$$

El tiempo promedio de retención vale en este caso :

$$\bar{t}_s = \frac{V_0}{pQ}$$

Se puede ver finalmente que el parámetro p definido representa el cociente entre los tiempos de retención de las partículas líquidas y las partículas sólidas.

Ello permite definir un índice de eficiencia 3.77

D en los estanques de sedimentación :

$$D = 1 - p = 1 - \frac{\bar{t}}{\bar{t}_s} \quad (5)$$

En el caso de las partículas sólidas, es posible que exista un fenómeno de "corto circuito" en el sistema de decantación, o fenómeno "pistón". Este se presenta cuando hay partículas que no participan en el proceso de sedimentación y que salen directamente del sistema en un período muy breve de tiempo. Si se designa con C a la proporción de sólidos de corto-circuito el estanque de sedimentación y se supone que el tiempo de corto circuito es pequeño frente al período promedio de retención, las funciones distribución y repartición de tiempos de retención se transforman en :

$$DTRS(t) = (1 - C) \cdot p \frac{Q}{V_0} \cdot e^{-p \frac{Q}{V_0} t} \quad (6)$$

$$RTRS(t) = 1 - (1 - C) \cdot e^{-p \frac{Q}{V_0} t} \quad (7)$$

4.- EXPERIMENTACION REALIZADA

Para desarrollar las experiencias señaladas se construyó un modelo en acrílico transparente de un estanque de sedimentación tal como se ha esquematizado en la figura N° 1.

Esta instalación permite visualizar los fenómenos de suspensión y sedimentación, variar diferentes parámetros del escurrimiento líquido, realizar inyecciones continuas e instantáneas de partículas sólidas y medir las diferentes

funciones de distribución de tiempo de retención.

En la primera serie de experiencias se ha analizado el criterio de utilización de sedimentos de igual velocidad de sedimentación en el fenómeno de sedimentación de las partículas sólidas.

Para ello se ensayaron partículas sólidas de diferentes dimensiones y masas específicas, pero de igual velocidad de sedimentación en agua en reposo.

En los ensayos se midió las curvas de distribución de tiempos de retención a partir de inyecciones instantáneas de partículas sólidas. A partir de esos resultados se puede calcular el tiempo promedio de retención y el índice de eficiencia del sedimentador.

En la figura N° 2 se presentan los resultados obtenidos para partículas de velocidad de sedimentación $W = 9,4 \text{ cm/s}$, utilizando arena ($d = 0,8 \text{ mm}$; $\rho_s = 2650 \text{ kg/m}^3$) y partículas de acetato de celulosa ($d_n = 3,16 \text{ mm}$; $\rho_s = 1260 \text{ kg/m}^3$).

Los resultados obtenidos muestran claramente que el criterio de velocidad de sedimentación no permite extrapolar resultados ya que partículas de igual velocidad de sedimentación muestran un comportamiento bastante diferente en el fenómeno de sedimentación, comportamiento que para las experiencias que se señalan en la figura N° 2 se pueden resumir en la siguiente tabla. :

Comparación entre partículas igual de
velocidad de sedimentación $W = 9,4 \text{ cm/s}$

Gasto	Q = 2,5 l/s		Q = 4,6 l/s	
	Tiempo retención (seg.)	Índice de eficiencia	Tiempo retención (seg.)	Índice de eficiencia
Arena	$\bar{t}_s = 261547$	D=0,9997	$\bar{t}_s = 3018$	D=0,987
Acetato de Celulosa	$\bar{t}_s = 5830$	D=0,9876	$\bar{t}_s = 143,8$	D=0,727

Estos resultados confirman los obtenidos en las investigaciones realizadas en Toulouse (7) y que se pueden observar en la figura N°3. En ellos también se observa que la velocidad de sedimentación no es un buen parámetro para caracterizar el comportamiento de los sólidos. Por el contrario, la velocidad crítica de arrastre caracteriza mejor dicho comportamiento, ya que partículas muy diversas, pero de igual velocidad crítica de arrastre tiene un comportamiento muy similar en el fenómeno de decantación.

También en esta primera serie de experiencias se ha podido comprobar la existencia del fenómeno de "corto circuito" de partículas sólidas.

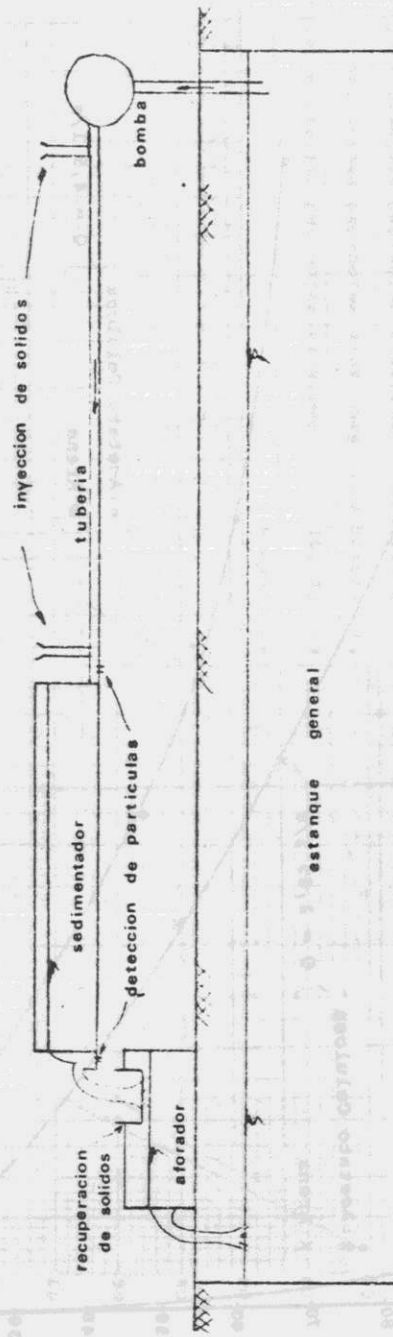
En la figura N°4 se puede constatar como el modelo analítico que incluye el efecto "pistón" (ecuaciones {6} y {7}), representa mejor el comportamiento de los sólidos que el modelo que no incluye este efecto (ecuaciones {3} y {4}).-

5.- PROYECCION A FUTURO

La continuación de esta línea de investigación experimental contempla el desarrollo de otras experiencias destinados a verificar las conclusiones obtenidas en los ensayos preliminares.

También se pretende ampliar la experimentación a otros fenómenos tales como socavación localizada de chorros y pilotes, de modo de poder generalizar o limitar el uso de los distintos criterios de semejanza en sedimentos.

FIGURA 1 ESQUEMA ESTANQUE SEDIMENTADOR



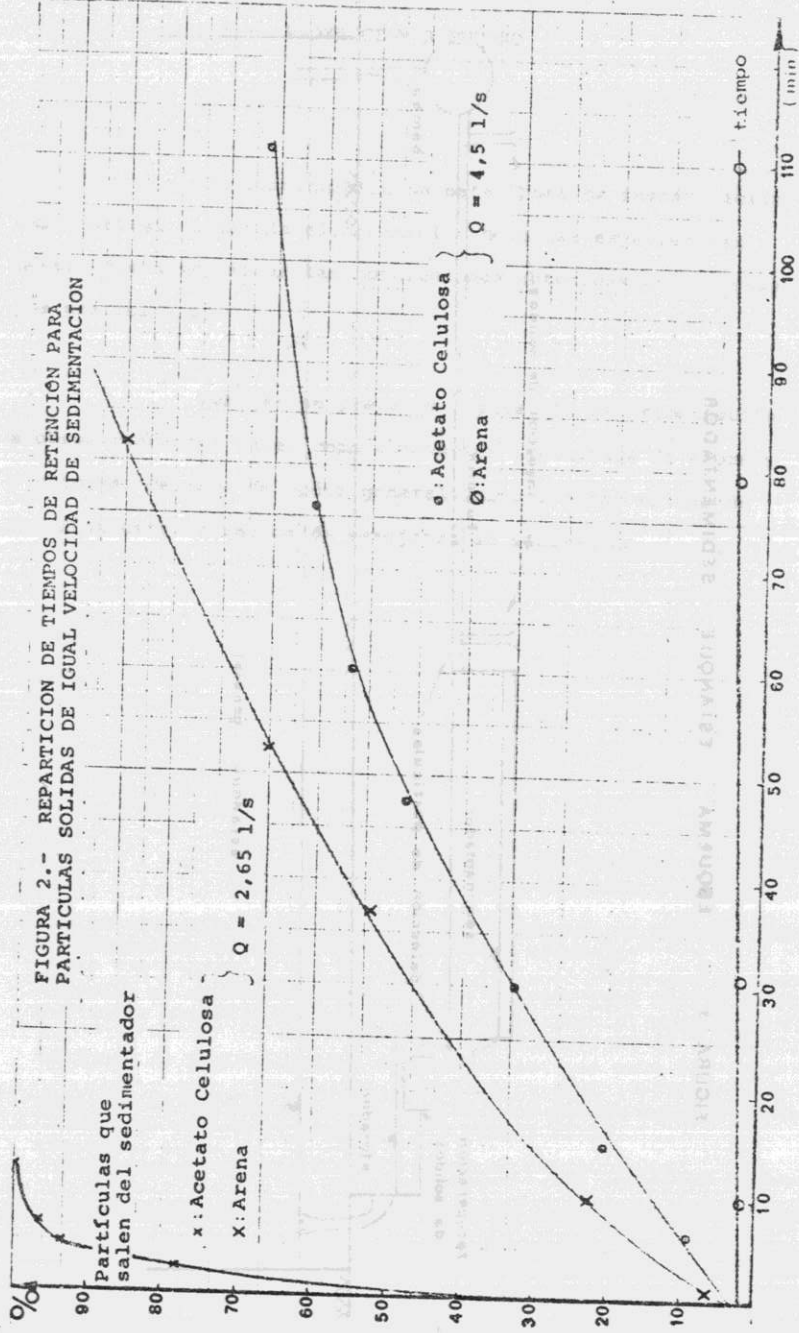
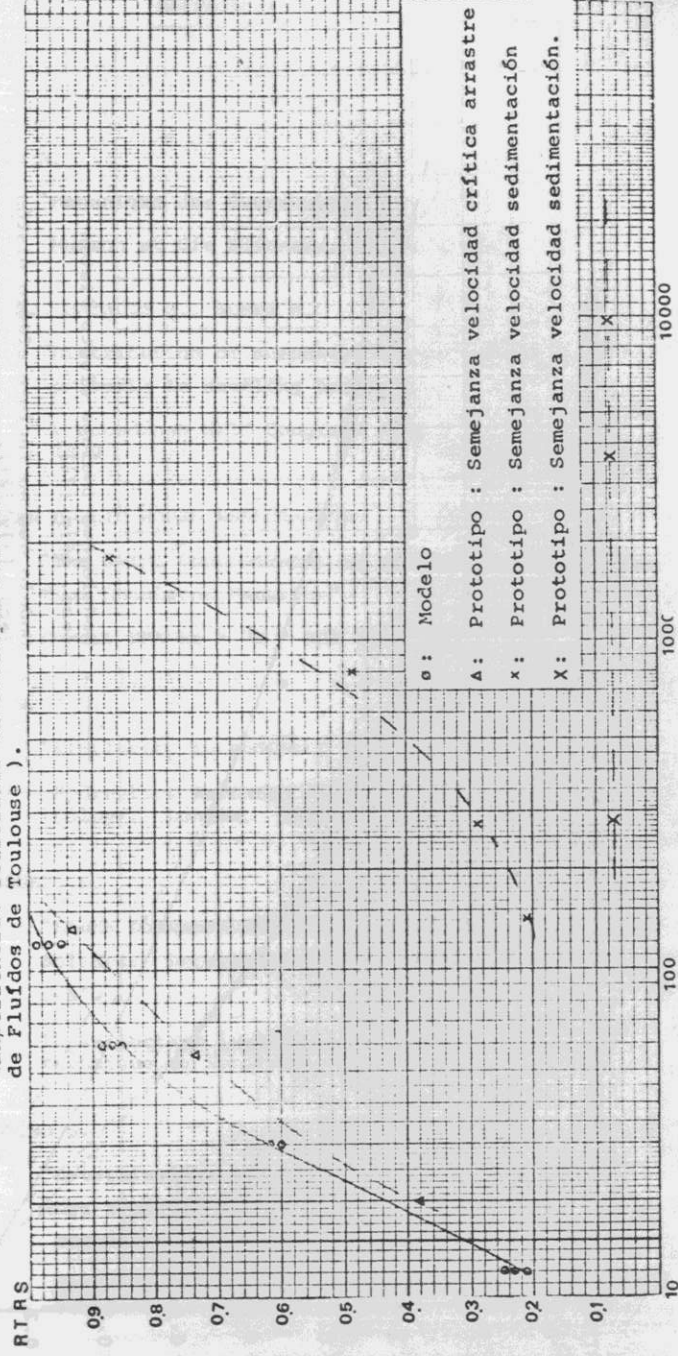
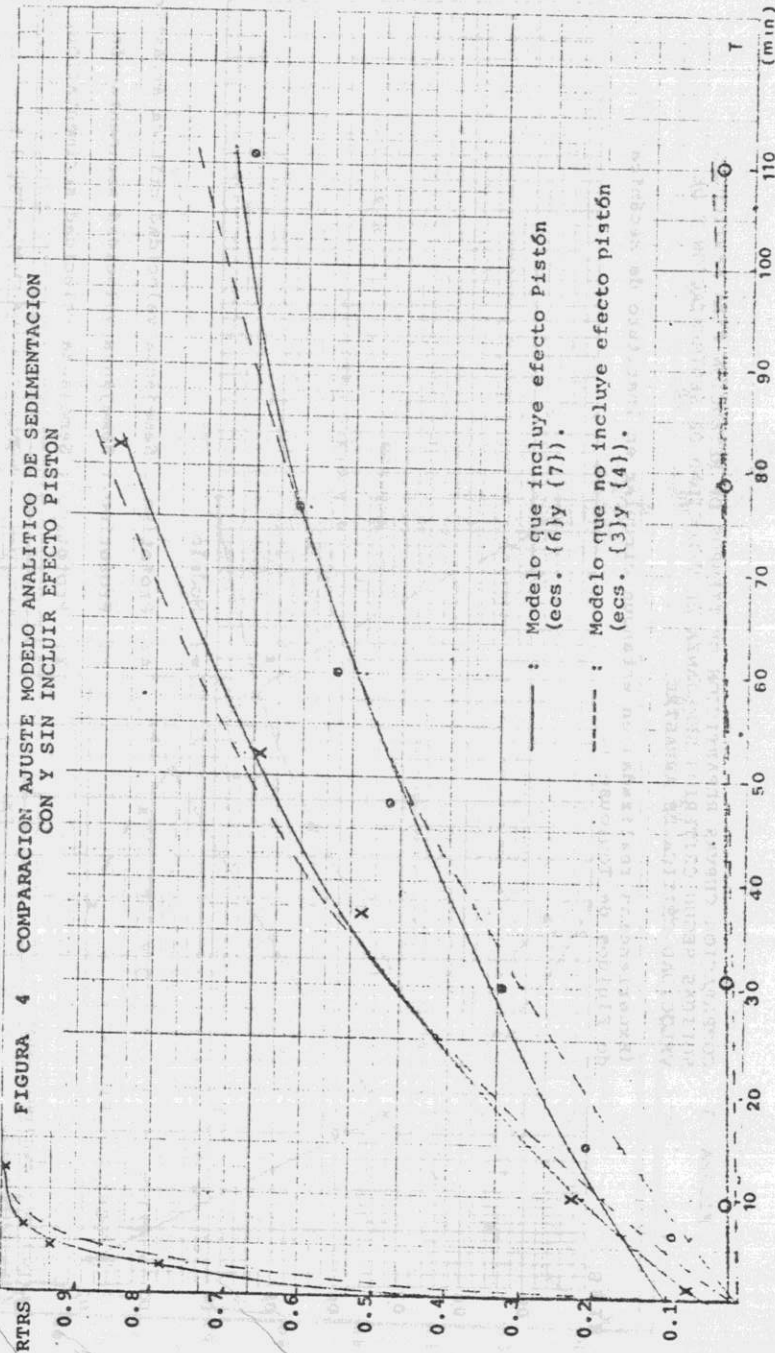


FIGURA 3 COMPARACION CURVAS REPARTICION DE TIEMPOS DE RETENCION PARA PARTICULAS SOLIDAS SEGUN CRITERIOS SEMEJANZA DE VELOCIDAD DE SEDIMENTACION Y DE VELOCIDAD CRITICA DE ARRASTRE.

(Experiencias realizadas en estanque circular en Instituto de Mecánica de Fluidos de Toulouse).





REFERENCIAS

- (1) FORTIER A.
 "Mecanique des Suspensions"
 Masson et Cie Editeurs, Paris, 1967.
- (2) CECEN K., BAYACIT M., SUMER M.
 "Distribution of suspended watter and similarity criteria in settling basins".
 Proceedings XIII Congress AIRH V.4 Kyoto Japon 1970.
- (3) AMERICAN PUBLIC WORKS ASSOCIATION
 "The Swirl Concentrator as a Combined Sewer Over flow Regulator Facility".
 Report EPA Re - 72 - 008 Washington 1972.
- (4) YALIN S.
 "Similarity in sediment transport by currents"
 Hydraulics Research Paper N°6, Ministry of Technology, London, 1965.
- (5) DOMINGUEZ, B.
 "Etude fondamentale d'un decanteur de particules Solides: Determination des criteres de Similitude des"
 These Docteur Ingenieur. Institut National Poly technique de Toulouse. 1977.
- (6) BEAUDOING G.
 "Determinacion experimental par la technique des traceurs des conditions de similitude de certain types de melangeurs".
 These de Docteur de Specialité, Université Paul Sabatier, Toulouse, 1974.

(7) ALQUIER, DOMINGUEZ, GRUAT, MARCHAND

"Un Separateur statique tourbillonnaire pour
traiter des eaux pluviales ".

Technique et Sciences Municipales 73eme année
N°12 Paris, Decembre 1978.