

Metodología para la evaluación de sólidos en suspensión in situ. Aplicación en el dragado del embalse de Barasona (Huesca)

CÁNDIDO AVENDAÑO SALAS (*)
RAFAEL COBO RAYÁN (**)
JOSÉ LUIS GÓMEZ MONTAÑA (***)
ESTER SANZ MONTERO (****)

RESUMEN Se han desarrollado dos métodos para medir concentraciones de sólidos en suspensión *in situ* en pocos minutos. En concentraciones de hasta 1 g/l, se utiliza un turbidímetro debidamente calibrado; para concentraciones superiores, se utiliza un matraz con el cuello calibrado para diferentes volúmenes de muestra. Estos métodos se ajustaron y calibraron en el Laboratorio de la División de Erosión y Sedimentología del Centro de Estudios Hidrográficos del CEDEX (MOPTMA).

Su empleo en el control de la concentración de sólidos en suspensión durante el dragado del embalse de Barasona (Huesca) ha dado resultados satisfactorios en cuanto a operatividad y precisión.

METHODOLOGY FOR THE IN SITU MEASUREMENT OF SUSPENDED SEDIMENT. APPLICATION IN THE DREDGING OF THE BARASONA RESERVOIR (HUESCA)

ABSTRACT They have been developed two methods for the *in situ* measurement of suspended sediment in a few minutes. For concentrations less than 1 g/l, it is used a turbidimeter duly calibrated. For higher concentrations it is used a neck calibrated flask for different sample volumes. These methods were adjusted and calibrated in the Erosion and Sedimentology Laboratory of the Hydrographic Studies Center of CEDEX (MOPTMA).

Its employment in the control of suspended solids concentration during the dredging of the Barasona Reservoir (Huesca), has obtained satisfactory results concerning to operability and accuracy.

Palabras clave: Dragado de embalses; Sedimentos en suspensión; Medida in situ; Turbidímetro; Pesada de matraz.

INTRODUCCIÓN

El embalse de Barasona (Joaquín Costa) se encuentra situado en el río Esera, en las proximidades de su desembocadura en el río Cinca (cuenca del Ebro).

En la actualidad los dispositivos de desagüe de fondo de la presa no funcionan adecuadamente, por lo que la Confederación Hidrográfica del Ebro puso en marcha un proyecto de vaciado para la reparación o, en su caso, la sustitución de los mismos.

Debido a la posible afección que pudiera provocarse en el medio a partir de la acción del vaciado, se vio la necesidad de tener un control sobre los parámetros más significativos, susceptibles de incidir en los componentes naturales del río Esera, aguas abajo de la presa y, sobre todo, en la confluencia de éste con el río Cinca.

Una de las parámetros más significativos se estimó que era la concentración de sólidos en suspensión que se produciría durante el vaciado del embalse. Según la documentación aportada por la C.H. del Ebro, una concentración superior a 9 g/l de sólidos en suspensión podía tener consecuencias mortales, principalmente sobre la ictiofauna. Es necesario, por tanto, poder conocer esta concentración prácticamente en "tiempo real" para poder tomar las medidas correctoras oportu-

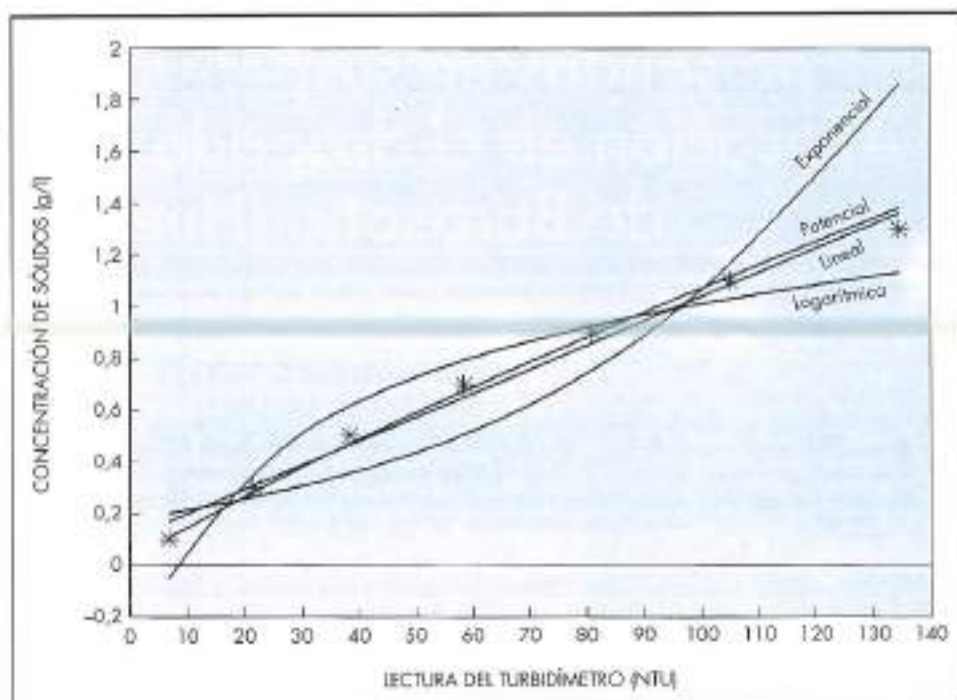
(*) Ingeniero de Carreteras, Canales y Puertos. Jefe de la División de Erosión y Sedimentología del Centro de Estudios Hidrográficos del CEDEX (M^o de Fomento).

(**) Licenciado en Ciencias Geológicas. Técnico Superior de Proyectos de la División de Erosión y Sedimentología del Centro de Estudios Hidrográficos del CEDEX (M^o de Fomento).

(***) Perito Industrial Químico. Jefe de Sección Técnica de la División de Erosión y Sedimentología del Centro de Estudios Hidrográficos del CEDEX (M^o de Fomento).

(****) Doctora en Ciencias Geológicas. Departamento Petrología y Geoquímica de la Facultad de Ciencias Geológicas de la Universidad Complutense de Madrid.

FIGURA 1. Diferentes ajustes para determinar la correlación entre las diferentes lecturas con turbidímetro y la concentración de sólidos correspondiente a las muestras de control.



tunas, puesto que se considera poco factible poder interrumpir la operación de vaciado una vez iniciada, debido al estado en que se encuentran los órganos de desagüe de fondo.

La metodología actual para la medida de sólidos en suspensión implica la realización de los correspondientes aforos y el tratamiento de la muestra obtenida en el laboratorio, tratamiento que dura un mínimo de 24 horas. Por este motivo se planteó desde un principio la necesidad de poner a punto una metodología alternativa que permitiera cumplir los requisitos de fiabilidad y rapidez exigidos.

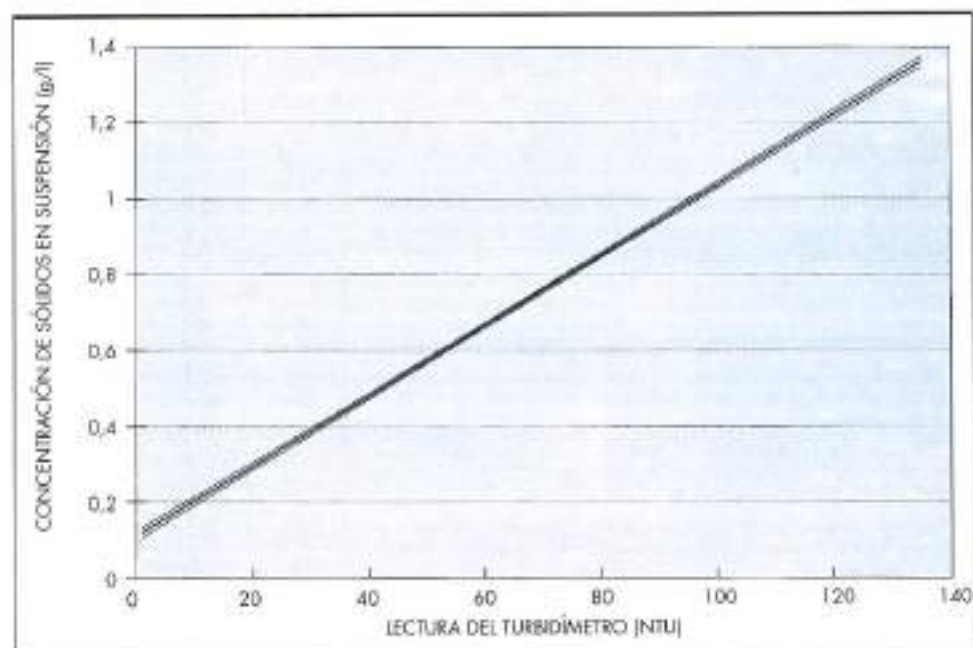
Debido al espesor de sedimentos (24 metros) existente por

encima de las embocaduras de los desagües de fondo, era imprescindible el efectuar un dragado en la zona cercana a la presa para liberar a los mismos del tapón existente, y así disminuir las dificultades de evacuación de agua en el momento de efectuarse el vaciado. Por otro lado, durante este dragado se tendría ocasión de poner a punto y verificar la metodología propuesta para controlar la concentración de sólidos en suspensión.

2. OBJETIVOS

Dentro de los acuerdos tomados por el Comité de Expertos en su reunión del 10 de enero de 1994, se fijó como concen-

FIGURA 2. Ajuste definitivo de la recta de regresión para la medida de concentraciones de sólidos en suspensión con el turbidímetro. Rectas del intervalo de confianza del 90%.



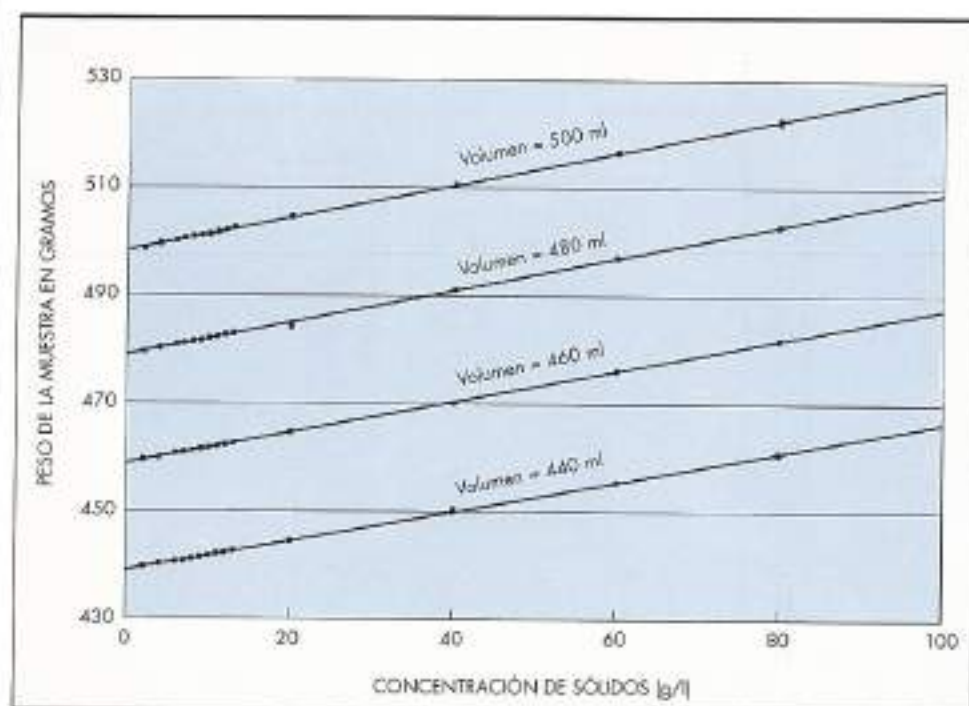


FIGURA 3. Correlaciones entre la concentración de sólidos y el peso de la muestra para diferentes volúmenes de la misma.

tración máxima admisible de sólidos en suspensión 9-10 g/l en el río Esera. En cualquier caso, la concentración de sólidos en suspensión en el río Cinca, que es donde están ubicados los cotos de pesca y las áreas de mayor interés ecológico, no debería superar a 1 g/l. En función de estos condicionantes el Centro de Estudios y Experimentación de Obras Públicas (CEDEX) se comprometió a desarrollar una metodología adecuada y lo suficientemente sencilla para que, una vez adiestrados en ella, pudiera ser aplicada por el propio personal de la C.H. del Ebro.

3. DETERMINACIÓN DE LA METODOLOGÍA

Debido a la amplitud del rango de valores de concentración limitativos impuestos (1-10 g/l) y teniendo en cuenta que

durante el dragado y, por supuesto, durante el vaciado, se podrán producir puntas de concentración muy por encima del valor máximo acordado, se consideró necesario establecer dos sistemas de medida: uno para concentraciones bajas (≤ 1 g/l) y otro para concentraciones superiores.

En el primer caso se utiliza un turbidímetro debidamente ajustado y calibrado. Para el segundo, se ha puesto a punto el sistema de "pesada de matraz". En ambos casos las muestras de control y calibrado se prepararon con sedimento recogido en la zona del vaso donde se iba a efectuar el dragado.

Se debe hacer notar que estas metodologías sólo son válidas si el calibrado y ajuste se realizan con muestras de sedimento del mismo tipo y naturaleza que las que se desean medir. Por tanto, los coeficientes de las ecuaciones emplea-

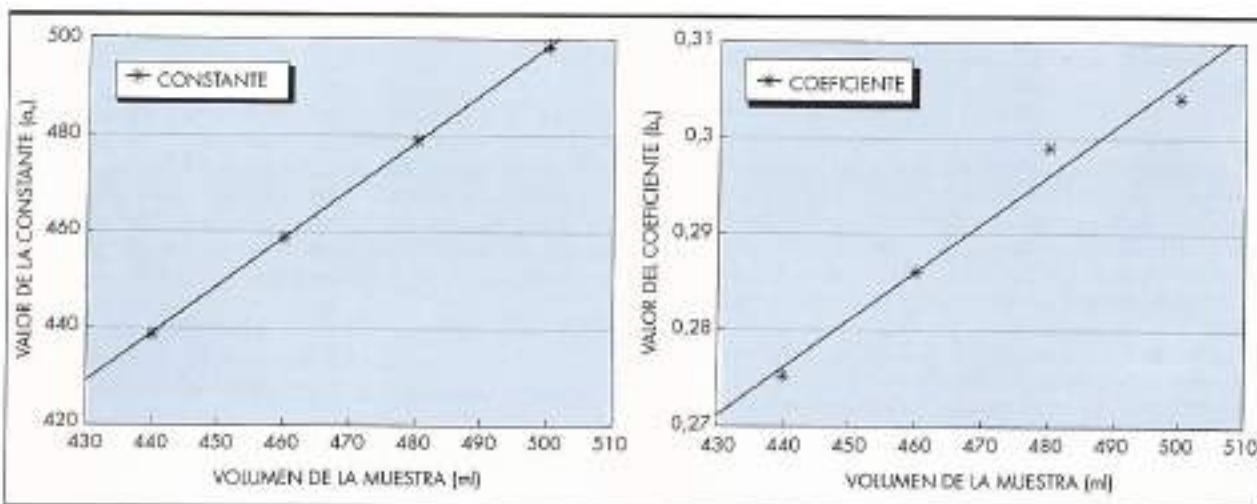


FIGURA 4. Rectas de regresión para determinar la constante y el coeficiente de la ecuación correspondiente a una muestra de cualquier volumen.

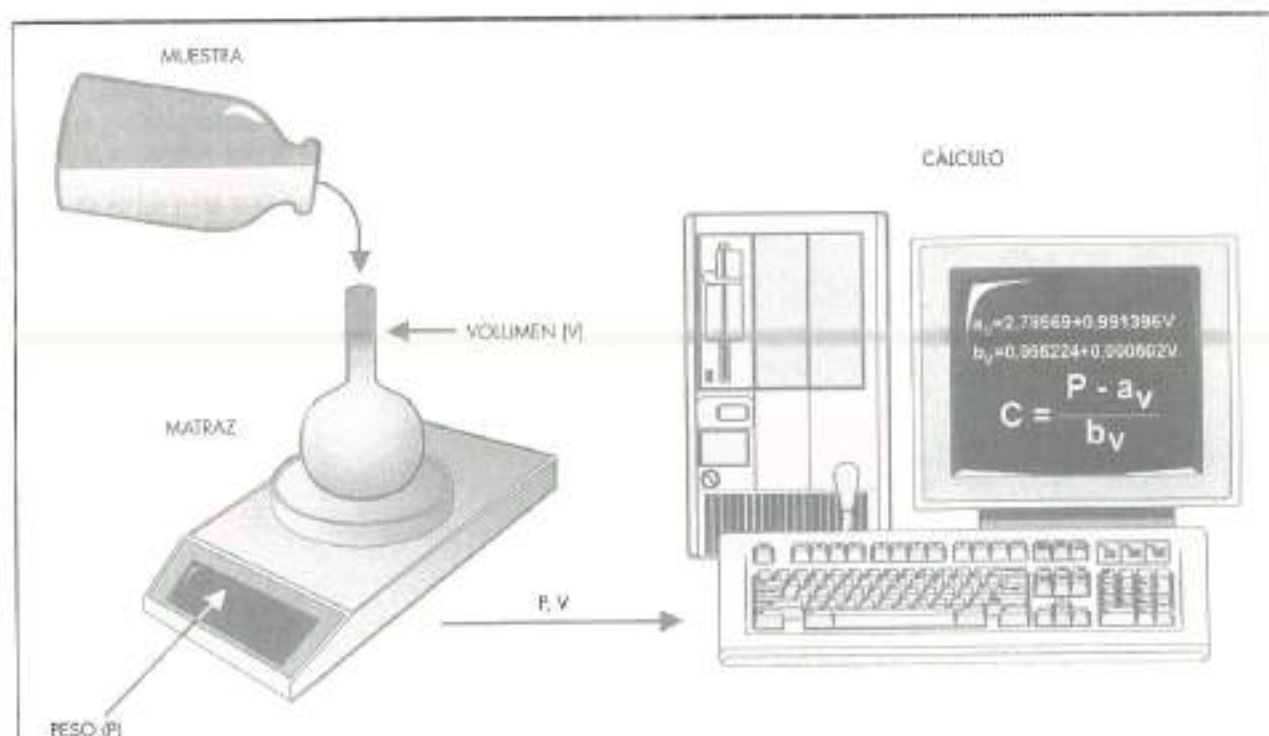


FIGURA 5. Esquema de trabajo para determinar la concentración de sólidos en una muestra mediante "pesado de matraces".

das para el cálculo de las medidas de concentración que en este artículo se especifican son únicamente válidos para el embalse de Barasona.

4. METODOLOGÍA PARA EL CONTROL DE SÓLIDOS EN SUSPENSIÓN CON MEDIDAS NEFELOMÉTRICAS

La turbidez del agua es producida por materias en suspensión, tales como arcillas, compuestos orgánicos solubles, plancton y microorganismos. La turbidez es una expresión de la propiedad óptica que provoca que la luz se disperse y absorba en vez de transmitirse en línea recta a través de la muestra.

La correlación entre la turbidez y la concentración en peso de sólidos en suspensión es difícil de establecer, ya que en la dispersión luminosa también intervienen el tamaño, la forma y el índice de refracción de las partículas.

El método nefelométrico se basa en la comparación de la intensidad de la luz dispersada por la muestra en condiciones definidas y la dispersada por una solución patrón de referencia en idénticas condiciones. Cuanto mayor es la intensidad de la luz dispersada, más intensa es la turbidez.

Un turbidímetro consiste en un nefelómetro con una fuente de luz para iluminar la muestra, y uno o más detectores fotoeléctricos con un dispositivo de lectura exterior para indicar la intensidad de la luz dispersada a 90° de la vía de luz incidente. En el desarrollo de este trabajo se ha empleado un turbidímetro portátil HACH, modelo 2.100 P, con un rango de medida de 0,01 a 100 Unidades Nefelométricas (NTU).

Para realizar el calibrado del turbidímetro se utilizó sedimento del propio embalse que se dejó secar al aire, en principio, y después se sometió a un secado suave en estufa.

A continuación se pesaron diferentes fracciones en un rango de 0,1 a 1,3 g y se dejaron 48 horas en agua para ga-

g/l	NTU (Media)	Des. tp.
0,1	6,6775	0,3674
0,3	21,5208	1,1941
0,5	38,3375	1,4866
0,7	58,4083	3,5132
0,9	80,9667	2,9091
1,1	105,0542	3,4485
1,3	134,5833	6,3830

TABLA 1. Valores medios de las lecturas efectuadas con turbidímetro sobre un total de 168 muestras de control.

rantizar su saturación. De cada una de las fracciones se obtuvieron 24 submuestras que se midieron en el turbidímetro. Los resultados aparecen reflejados en la Tabla 1.

Con estos valores se realizó la Figura 1 para poder observar la tendencia de los valores y poder decidir el mejor tipo de ajuste a elegir. Como puede verse los mejores ajustes se producen con las correlaciones lineal y potencial:

Correlación lineal: $Y = 0,106 + 0,00932 X$

Coef. corr. = 99,3%

Correlación potencial: $Y = 0,02086 X^{0,0002}$

Coef. corr. = 99,85%

Para facilitar los cálculos y posterior tratamiento de los datos, se decidió utilizar la correlación lineal entre los valores del turbidímetro y los valores de la concentración.

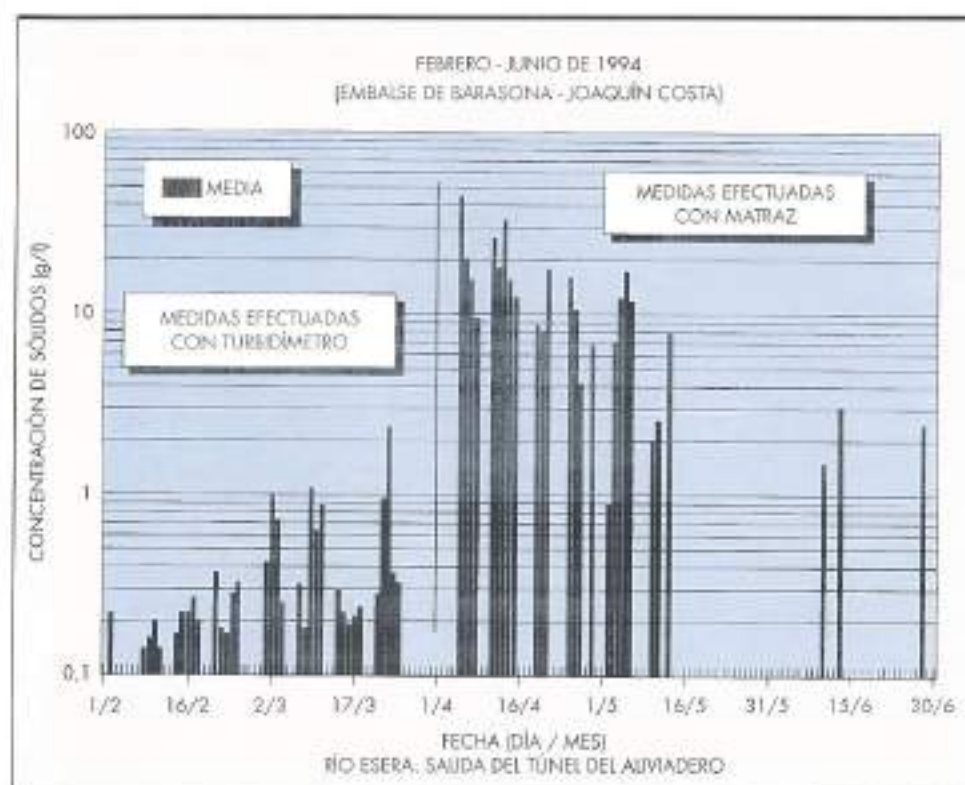


FIGURA 6. Ejemplo de medidas efectuadas con la metodología propuesta durante el dragado del embalse de Barasona. Los valores corresponden a muestras aforadas a la salida del túnel de los aliviaderos.

V (cm ³)	n _v	b _v
440	438,8806	0,273249
460	458,8498	0,286070
480	478,9701	0,299741
500	498,2670	0,304179

TABLA 2. Valores de la constante y el coeficiente de las rectas de regresión obtenidas sobre un total de 168 muestras de control.

Este ajuste se recalculó de nuevo con la totalidad de las muestras medidas (168), obteniéndose el siguiente resultado:

$$Y = 0,110356 + 0,009263 X$$

donde:

$$Y = \text{concentración (g/l)}$$

$$X = \text{lectura del turbidímetro (NTU)}$$

Se estimó a continuación el intervalo de confianza de la ecuación encontrada. Para ello se partió de los siguientes parámetros:

$$\text{Intervalo de confianza } 90\% [100(1-\alpha) = 90]$$

$$\alpha = 0,1$$

$$t_{\alpha/2, n-2} = 1,665 \quad n = 168$$

$$\bar{X} = 63,649 \quad S_x^2 = 1841,004$$

Con estos parámetros el intervalo de confianza viene expresado por la siguiente ecuación:

$$Y = a + bX \pm t_{\alpha/2, n-2} S_{cy} \sqrt{(1/n) + (X - \bar{X})^2 / (n-1) S_x^2}$$

Sustituyendo tenemos:

$$Y = 0,110356 + 0,009263 X \pm$$

$$\pm 1,665 \times 0,054597 \sqrt{1/168 + (X - 63,649)^2 / 167 \times 1841,004}$$

Con lo que podemos obtener para cada lectura "X" del turbidímetro, un valor superior, un valor medio y un valor inferior de la correspondiente concentración de sedimento. En la Figura 2 se muestran las tres rectas.

5. METODOLOGÍA PARA EL CONTROL DE SÓLIDOS EN SUSPENSIÓN POR PESADAS DE MATRAZ

Para concentraciones superiores a 2 g/l, el turbidímetro no ofrece las suficientes garantías de fiabilidad de la lectura por lo que se hizo necesario desarrollar otro sistema de medida.

Se procedió, en primer lugar, a encargar la fabricación de una serie de matraces especiales. Estos matraces debían tener un cuello lo suficientemente largo para que el contenido de una botella de muestreo quedara entre su parte inferior y superior. El cuello del matraz estaba graduado con precisión suficiente para poder leer directamente el volumen de la muestra una vez vertida en el mismo.

Se prepararon muestras con valores de concentración comprendidos entre 2 g/l y 80 g/l para volúmenes de 440, 460, 480 y 500 mililitros, que era el rango de medida de las muestras. En total se prepararon 168 muestras, obtenidas a partir de sedimento del embalse.

De cada grupo de muestras correspondientes a un volumen determinado se calculó la recta de regresión, según puede verse en la Figura 3.

Debido a que en el momento del dragado y durante el vaciado se deberían obtener resultados lo antes posible, se de-

sestimo la obtención de volúmenes de muestra fijos. Para calcular la concentración de sedimentos con cualquier volumen de muestra dentro del rango establecido, es necesario poder calcular la recta de regresión correspondiente. Esto supone encontrar una ecuación del tipo:

$$P = a_v + b_v C$$

donde:

a_v = Constante para un volumen "V"

b_v = Coeficiente para un volumen "V"

P = Peso de la muestra (agua + sedimento)

C = Concentración en g/l

De las rectas de regresión anteriores ($V = 440, 460, 480, 500$) se obtienen los valores de la Tabla 2.

A continuación se calculan las rectas de regresión entre los parámetros a_v , b_v y el volumen V de muestra, Figura 4. Las ecuaciones correspondientes son:

$$a_v = 2,78569 + 0,991396 V$$

$$b_v = 0,055224 + 0,000502 V$$

Así pues para un volumen de muestra "V" se tiene:

$$C = (P - a_v) / b_v$$

siendo:

C = concentración (g/l)

P = peso muestra (agua+sedimento)

a_v , b_v = calculados en las ecuaciones anteriores

En la Figura 5 se esquematiza el proceso descrito y en la Figura 6 se presenta un ejemplo de las medidas efectuadas.

6. CONCLUSIONES

Durante los meses de febrero a junio de 1994 se realizó el dragado previsto en el embalse y durante dicho período de tiempo se realizaron medidas de sólidos en suspensión utilizando la metodología propuesta. Se tomaron muestras en las salidas del bombeo del dragado, en las salidas del túnel de los aliviaderos, en el puente de la carretera de Castro, situado a 2 km aguas abajo de la presa y en el puente de la carretera de Olvena, muy cerca de la confluencia con el río Cinca. Los resultados fueron en todos los casos satisfactorios tanto en facilidad operacional y rapidez como en la obtención de resultados, por lo que durante el vaciado previsto del embalse, y siguiendo los mismos procedimientos, quedará garantizado el control sobre la concentración de sólidos en suspensión que dicha operación produzca.

Se recuerda, por último, que los coeficientes de las ecuaciones empleadas para el cálculo de las medidas de concentración que en este artículo se especifican son únicamente válidos para el embalse de Barasona.



Dramix®

FIBRAS DE ACERO PARA HORMIGÓN

LA DIFERENCIA

Drámix. Fibras de acero para una solidez a toda prueba del hormigón. Producidas en todo el mundo por Bekaert, el especialista por excelencia en alambre de acero.

Una garantía de calidad y servicio. Las fibras de acero Drámix se mezclan fácilmente y de manera homogénea. Refuerzan multidireccionalmente



ofreciendo un anclaje perfecto y el mejor rendimiento.

El hormigón con fibras de acero Drámix es el material por excelencia para soleras, túneles y explotaciones mineras, estructuras de seguridad, carreteras y tableros de puentes, aeropuertos, puertos y productos prefabricados.

BEKAERT

Bekaert Ibérica S.A.
Traversera de Gracia 30,3.C.
E-08021 Barcelona
Tel. (3) 414 08 52
Fax (3) 201 78 78

SI, deseo me remitan gratuitamente información sobre las aplicaciones:

☐ Soleras industriales ☐ Elementos prefabricados ☐ Túneles

NOMBRE

EMPRESA

DIRECCIÓN

TEL

FAX

NOVEDADES EDITORIALES DEL CEDEX

En el Pabellón Villanueva del Real Jardín Botánico de Madrid, se muestra al público la exposición "Betancourt. Los inicios de la ingeniería moderna en Europa".

El objetivo de esta muestra es dar a conocer la figura y la obra del Ingeniero canario Agustín de Betancourt y Molina (1758-1824), fundador de las escuelas de ingeniería de Madrid y San Petersburgo, que desarrolló una extraordinaria actividad como científico y técnico en la Europa ilustrada. Para la exposición se ha reunido una ingente cantidad de material del ingeniero y su época, que ilustra la variedad de campos de actividad y conocimiento en que trabajó Agustín de Betancourt. La organización de la exposición corre a cargo del Centro de Estudios Históricos de Obras Públicas y Urbanismo, organismo dependiente del Centro de Estudios y Experimentación de Obras Públicas del MOPTMA. Además, colaboran en ella, el Colegio de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos y la Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos de Madrid, así como la Universidad de Vías de Comunicación de San Petersburgo y el Museo Central del Transporte Ferroviario de Rusia.

La muestra incluye grandes maquetas de los proyectos e inventos realizados por este Ingeniero.



Betancourt. Los inicios de la Ingeniería moderna en Europa.
ISBN: 84-7790-239-9 • Pág.: 373 • Precio: 4.500 ptas.

En el presente trabajo se realiza una revisión de los diferentes estudios llevados a cabo por diversos autores sobre el comportamiento de este tipo de obras, de uso cada vez más extendido en la resolución de problemas de costas en los que no se requiere una total protección frente al oleaje incidente. De entre todos estos estudios cabe destacar los llevados a cabo por J.P. Ahrens y por J.W. van der Meer, los cuales proponen una metodología que permite predecir la respuesta de un dique arrecife, tanto en lo referente a la estabilidad como al funcionamiento hidrodinámico, cuando es alcanzado por un oleaje de características determinadas.

En el Centro de Estudios de Puertos y Costas del CEDEX se han realizado numerosos ensayos en modelo físico sobre diques de arrecife, en los que se ha analizado la estabilidad de los elementos de escollera que los constituyen y se han tomado datos de transmisión y reflexión de oleaje, para diferentes oleajes de tipo irregular. Los resultados de estos ensayos se han vuelto a analizar y se han comparado con los obtenidos mediante la aplicación de los modelos de predicción antes mencionados. A partir de este nuevo análisis se han obtenido algunas conclusiones acerca del grado de fidelidad existente entre los métodos de predicción y los resultados obtenidos directamente del modelo físico.



Diques arrecife: análisis de los métodos de diseño.
ISBN: 84-7790-236-4 • Pág.: 182 • Precio: 2.000 ptas.



ESPECIALISTAS EN INGENIERIA HIDRAULICA

Nuestra **Seguridad total** en
la calidad es un objetivo
irrenunciable en nuestra filosofía
de empresa y una constante
exigencia de la profesionalidad
y la tecnología **SANDO**.

CONSTRUCCIONES
SANDO

Oficina Central: Avda. Ortega y Gasset, 194-196
Edificio Sando. Tfno.: (95) 232 20 00
Fax: 95 232 53 54 - 232 53 58 - 29006 Málaga

DELEGACION: Avda. S. Fco. Javier, s/n
Ed. Catalana Occidente, pl. 2ª, mod. 226
Tfnos.: (95) 464 63 89 - 492 13 15/16
Fax: (95) 464 71 55 - 41005 SEVILLA

DELEGACION: C/ Orense, 69.
Tfno.: (91) 571 05 92 - Fax: (91) 571 04 63
28020 MADRID



Miles de kilómetros de carretera tienen algo en común.

Son muchos kilómetros en todo el mundo de experiencia en la aplicación de nuevas tecnologías, que han dado como resultado una amplia gama de productos ahora completada con los nuevos Betunes Modificados BP.

OLEXOBIT es la gama de Betunes Modificados que BP ha diseñado para las aplicaciones que requieren una mejora significativa de las propiedades del ligante en casos de una demanda de alta exigencia.

Son muchos kilómetros enfrentándonos a los problemas y encontrando las soluciones que nuestros clientes necesitan, por eso la colaboración profesional que siempre tendrá trabajando con BP es una garantía.

BP Bitumen, una colaboración profesional.

BP En Movimiento

