

**TRABAJO ESPECIAL DE GRADO**

**MODIFICACIÓN GEOMORFOLÓGICA DE CAUCES  
FLUVIALES AL VARIAR EL CAUDAL MEDIO ANUAL**

Trabajo Especial de Grado  
Presentado ante la Ilustre  
Universidad Central de Venezuela por el Ingeniero  
Marrero Gómez, Edgar Antonio para  
optar al título de Magíster Scientiarum en Ingeniería Hidráulica

Caracas, Noviembre de 2005

**TRABAJO ESPECIAL DE GRADO**

**MODIFICACIÓN GEOMORFOLÓGICA DE CAUCES  
FLUVIALES AL VARIAR EL CAUDAL MEDIO ANUAL**

**Tutor académico:** Prof. Marco Falcón.

Trabajo Especial de Grado  
Presentado ante la Ilustre  
Universidad Central de Venezuela por el Ingeniero  
Marrero Gómez, Edgar Antonio para  
optar al título de Magíster Scientiarum en Ingeniería Hidráulica

Caracas, Noviembre de 2005

## AGRADECIMIENTOS

Este trabajo de investigación ha sido financiado por la Universidad Central de Venezuela, que a través de la Comisión de Estudios de Postgrado prestó su valiosa colaboración e hizo posible la culminación del mismo.

Un reconocimiento especial al Prof. Marco Falcón Ascanio, por confiar en mí la elaboración de este trabajo, y por brindarme su ayuda, ya que sus conocimientos e investigaciones son la base fundamental de esta tesis de grado.

Marrero G, Edgar A.

## **MODIFICACIÓN GEOMORFOLÓGICA DE CAUCES FLUVIALES AL VARIAR EL CAUDAL MEDIO ANUAL**

**Tutor académico: Prof. Marco Falcón. Tesis de Grado, M.Sc. Caracas,  
U.C.V. Facultad de Ingeniería. Escuela de Ingeniería Civil. 2005,  
n° pag 96.**

**Palabras Claves:** Esfuerzo cortante crítico, geomorfología fluvial, trasvase, cauce, meandros.

### **RESUMEN**

Se desarrollan dos métodos de cálculo basados en la hipótesis de que el esfuerzo cortante sobre el talud de la margen correspondiente al caudal formativo (por ejemplo el caudal medio anual) y cuya pendiente se supone constante durante los procesos erosivos, es igual al valor crítico de resistencia a la erosión de la margen sumergida, la cual se supone constante hasta alcanzar la nueva condición geomorfológica de equilibrio.

En el primer método se evalúa el impacto geomorfológico en un tramo fluvial recto afectado por un trasvase constante de aguas que puede o no contener carga de sedimentos. El trasvase origina un incremento o disminución del caudal medio anual del río, cuya respuesta dinámica, para acomodar su nuevo caudal medio, va

a ser modificar su ancho y pendiente longitudinal hasta que se establezca una nueva condición de equilibrio morfológico entre las variables geométricas e hidráulico-sedimentarias, bajo la condición adicional de que el transporte sólido sea igual al valor impuesto y que el esfuerzo cortante sobre la margen sea igual a su valor crítico. Este método no permite evaluar la evolución temporal del cauce, solo el estado final a largo plazo a partir del inicial. El procedimiento de cálculo se verifica aplicándolo al brazo Rosetta del delta del Río Nilo en Egipto y al río Wei uno de los afluentes principales del río Amarillo en China.

El segundo método que será expuesto tiene la finalidad de determinar el radio de curvatura de meandros, supuestos como arcos circulares alternos y el ángulo de deflexión que corresponde a dos perpendiculares al eje del cauce entre dos vados sucesivos (ver figura 20). El análisis es aplicado a un cauce inicialmente recto que desarrolla meandros y está restringido a un arco de tramo curvo de un canal, donde el flujo es tratado como pseudo uniforme. El procedimiento de cálculo se comprueba aproximadamente para dos cauces fluviales de lecho arenoso; el Muddy Creek en Wyoming, Estados Unidos y en el río Portuguesa en los llanos centrales de Venezuela, respectivamente.

## INDICE

|  |    |
|--|----|
| INTRODUCCION .....   | 1  |
| CAPITULO I   |    |
| El PROBLEMA .....  | 4  |
| 1 El PROBLEMA .....  | 5  |
| 1.1 Planteamiento del Problema.....  | 5  |
| 1.2 Aporte Esperado.....   | 5  |
| 1.3 Objetivo General .....   | 5  |
| 1.4 Objetivos Específicos.....   | 6  |
| 1.5 Metodología .....  | 6  |
| 1.6 Actividades.....   | 7  |
| CAPITULO II  |    |
| MARCO TEORICO REFERENCIAL.....   | 9  |
| 2 MARCO TEORICO REFERENCIAL.....   | 10 |
| 2.1 Concepto del Modelo .....  | 10 |
| 2.2 Formulas de Fricción Utilizadas en el Método Cálculo Propuesto.....  | 14 |
| CAPITULO III   |    |
| METODO DE CÁLCULO PARA LA DETERMINACION DE LAS VARIACIONES DEL ANCHO Y PENDIENTE EN UN CAUCE FLUVIAL DEBIDAS A UN TRASVASE DE AGUAS.....   | 22 |
| 3 METODO DE CÁLCULO PARA LA DETERMINACION DE LAS VARIACIONES DEL ANCHO Y PENDIENTE EN UN CAUCE FLUVIAL DEBIDAS A UN TRASVASE DE AGUAS..... | 23 |
| CAPITULO IV  |    |
| APLICACIÓN DEL MODELO A LOS CASOS DEL BRAZO ROSETTA DEL DELTA DEL RIO NILO Y DEL RIO WEI EN CHINA .....                                    | 27 |
| 4 APLICACIÓN DEL MODELO A LOS CASOS DEL BRAZO ROSETTA DEL DELTA DEL RIO NILO Y DEL RIO WEI EN CHINA.....                                   | 28 |
| 4.1 Aplicación Del Modelo Al Caso Del Brazo Rosetta Del Delta Del Rio Nilo   | 28 |

|   |   |    |
|---|---|----|
| 4.1.1   | Características hidráulicas presentes en el brazo Rosetta del delta del río Nilo .....  | 29 |
| 4.1.2   | Características sedimentarias del brazo Rosetta. ....   | 31 |
| 4.2   | Resultados de la Aplicación del Modelo Propuesto en el brazo Rosetta.<br>32   |    |
| 4.3   | APLICACIÓN DEL MODELO AL CASO RIO WEI .....   | 35 |
| 4.3.1   | Características hidráulicas y Geométricas del Río Wei.....  | 38 |
| 4.3.2   | Características sedimentarias del río Wei. ....   | 40 |
| 4.3.3   | Resultados de la Aplicación del Modelo Propuesto en el río Wei.   | 50 |
| CAPITULO V  |   |    |
| RADIO DE CURVATURA DE MEANDROS A PARTIR DEL ESFUERZO CORTANTE CRITICO SOBRE LAS MARGENES .....  |   |    |
| 5   | RADIO DE CURVATURA DE MEANDROS A PARTIR DEL ESFUERZO CORTANTE CRITICO SOBRE LAS MARGENES .....  | 54 |
| 5.1   | Balance De Fuerzas Longitudinales.....  | 61 |
| CAPITULO VI   |   |    |
| APLICACIÓN DEL MODELO DE CALCULO DE RADIO DE CURVATURA DE MEANDROS A PARTIR DEL ESFUERZO CORTANTE CRITICO SOBRE LAS MARGENES EN LOS CASOS DE MUDDY CREEK Y RIO PORTUGUESA ..... |   |    |
| 6   | APLICACIÓN DEL MODELO DE CALCULO DE RADIO DE CURVATURA DE MEANDROS A PARTIR DEL ESFUERZO CORTANTE CRITICO SOBRE LAS MARGENES EN LOS CASOS DE MUDDY CREEK Y RIO PORTUGUESA ..... | 74 |
| 6.1   | Aplicación Del Modelo Al Caso Muddy Creek.....  | 75 |
| 6.2   | Aplicación Del Modelo Al Caso Río Portuguesa. ....  | 79 |
| CONCLUSIONES .....  |   |    |
| RECOMENDACIONES .....   |   |    |
| REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS.....   |   |    |
| ANEXO 1   |   |    |
| PLANO DEL RIO WEI CON UBICACION DE LAS SECCIONES TRANSVERSALES USADAS EN EL TRABAJO .....   |   |    |
|   |   | 92 |

|   |    |
|---|----|
| ANEXO 2   |    |
| DISTRIBUCION DE LA CARGA SUSPENDIDA EN EL RIO WEI POR<br>TAMAÑO, PESO Y PORCENTAGE DE FINO .....                  | 93 |
| ANEXO 3   |    |
| CLASIFICACION DE TAMAÑOS DE PARTICULAS DE SEDIMENTOS ....   | 94 |
| ANEXO 4   |    |
| REPORTES DIARIOS DE CAUDAL LIQUIDO MEDIDO EN RIO WEI<br>(1992 - 1995).....  | 95 |
| ANEXO 5   |    |
| REPORTES DIARIOS DE CARGA DE SEDIMENTOS TRANSPORTADO<br>POR EL RIO WEI (INCLUYENDO CARGA LAVADA) 1992 – 1995..... | 96 |

## LISTA DE TABLAS

|           |  |    |
|-----------|--|----|
| TABLA 1.  | Caudales, velocidades y profundidades medias mensuales representativas para el Brazo Rosetta, reportadas por El-Serafy (1993). .....   | 31 |
| TABLA 2.  | Composición de la carga suspendida y del material del lecho en el Brazo Rosetta del río Nilo.....  | 31 |
| TABLA 3.  | Valores de ancho y pendiente longitudinal del cauce medidos vs. los calculados en el brazo Rosetta del río Nilo .....  | 33 |
| TABLA 4.  | Demostración numérica de cómo se ajustan los cálculos hasta lograr su convergencia. ....   | 34 |
| TABLA 5.  | Caudales medios mensuales correspondientes a los años 1992 y 1995.   | 39 |
| TABLA 6.  | Caudales sólidos con sus correspondientes porcentajes de arena suspendida.   | 42 |
| TABLA 7.  | Valores de las variables hidráulicas calculadas con las ecuaciones 8 y 9, correspondientes a los meses del año con mayor influencia en cuanto a la formación del cauce ..... | 46 |
| TABLA 8.  | Resultados de la aplicación del método de van Rijn en el río Wei.  | 47 |
| TABLA 9.  | Caudales sólidos (suspendidos, de fondo y totales) medidos y calculados en el río Wei.....   | 48 |
| TABLA 10. | Ejemplo para 1992 de los datos necesarios para realizar la interpolación para hallar el $d_{50}$ de la partícula. ....   | 48 |
| TABLA 11. | Resultados de interpolaciones hechas para 1992, para obtener $d_{50}$ .  | 50 |
| TABLA 12. | Distribución de material por tamaño en el lecho. ....  | 50 |
| TABLA 13. | Geometría Media para el río Wei en 1992 .....  | 52 |
| TABLA 14. | Geometría Media para el río Wei en 1995 .....  | 53 |
| TABLA 15. | Resumen de resultado de iteraciones durante cálculos .....   | 78 |

## LISTA DE GRAFICOS

- Figura 1. Ubicación del  $\tau_{max}$  en la sección transversal de un canal trapezoidal  
23
- Figura 2. Diagrama de Flujo del método de cálculo propuesto para determinar los cambios de ancho y pendiente en cauces fluviales después de un trasvase de aguas. 26
- Figura 3. Esquema de los brazos o ramales que conforman el delta del río Nilo. El brazo más occidental que desemboca en el mar Mediterráneo es el Rosetta y el más oriental es el Damietta. .... 28
- Figura 4. Esquema del río Nilo y su delta ..... 29
- Figura 5. Caudal medio mensual (1956-1964) en el Brazo Rosetta, condición pre AHD 30
- Figura 6. Caudal medio mensual (1977-1990) en el Brazo Rosetta, condición post AHD. 30
- Figura 7. Representación gráfica de cómo se van ajustando los cálculos hasta lograr su convergencia. .... 34
- Figura 8. Vista del río Wei en su paso por la meseta de Loess, China. (Fotografiado por I-Ming Chou.) ..... 35
- Figura 9. Vista de planta de la zona del río Wei objeto de estudio y del Reservorio de Sanmenxia..... 36
- Figura 10. Plano esquemático de la cuenca del Río Amarillo segundo río más grande de China con una longitud de 5.464 km, y cuenta con un área de drenaje de 795.000 km<sup>2</sup>. .... 37
- Figura 11. Perfil de la sección transversal N° 10 del río Wei a 42 Km de Tongguan. 38
- Figura 12. Perfil de la sección transversal N° 15 del río Wei a 75 Km de Tongguan. 38
- Figura 13. Representación gráfica de la condición Pre y Post de la variación del flujo en el río Wei. Caudal medio mensual (1992 y 1995) ..... 43

|            |   |    |
|------------|---|----|
| Figura 14. | Representación gráfica de la condición Pre y Post de la variación del caudal sólido en el río Wei (1992 y 1995).  | 43 |
| Figura 15. | Diagrama de iniciación del movimiento de la partícula de Shields  | 47 |
| Figura 16. | Representación gráfica de los datos presentados en la tabla 4, y en la cual se muestra la ecuación polinómica de 2° grado correspondiente a la línea de tendencia de la gráfica que es usada para efectuar la interpolación.                          | 49 |
| Figura 17. | Gráfico $q_s$ vs. $q_l$ de 1992, correspondiente a los meses más activos del año 1992 en cuanto a transporte de sedimentos.   | 52 |
| Figura 18. | Esquema para el flujo en un canal curvo.  | 55 |
| Figura 19. | Vista frontal del cauce inicialmente recto hacia aguas abajo.   | 56 |
| Figura 20. | Vista en planta del flujo en un canal sinusoidal.   | 57 |
| Figura 21. | Sección Transversal en Cauce Curvo.   | 58 |
| Figura 22. | Esquema indicativo del balance de fuerzas longitudinales para un volumen de control adyacente a la margen exterior del cauce curvo.   | 61 |
| Figura 23. | Distribución vertical de la componente de velocidad transversal (radial) del flujo secundario dado por (46).  | 63 |
| Figura 24. | Variación de $\int_0^1 G(n, \eta) \eta^n d\eta$ en función de $n$ .   | 64 |
| Figura 25. | Vista en planta del flujo en un canal sinusoidal.   | 72 |
| Figura 26. | Gráfica de 158 muestras de laboratorio y 73 muestras de campo tomadas de cauces aluviales que también abarca la data correspondiente a 8 cauces supraglaciales con meandros.  | 73 |
| Figura 27. | Vista de planta de la curva IMR del Muddy Creek dividida en secciones transversales.  | 76 |
| Figura 28. | Vista en planta de la curva de Meandro IMR en el Muddy Creek, donde se pueden observar la profundidad de los contornos después de ser suavizadas las dunas en diferentes intervalos de tiempo. La profundidad de los contornos se muestra cada 20 cm. | 76 |
| Figura 29. | Vista del perfil transversal de la curva IMR del Muddy Creek.   | 77 |

|  |    |
|--|----|
| Figura 30. Sección transversal del Río Portuguesa correspondiente al Sector Barrancas en la Progresiva 129 + 329. Las unidades de medida presente en esta figura están en metro..... | 80 |
| Figura 31. Vista de planta de la curva del Río Portuguesa Sector Barrancas seleccionada para la aplicación del modelo. ....  | 81 |
| Figura 32. Perfil longitudinal del río Portuguesa en el tramo sujeto a aprovechamiento con fines de navegación.....  | 82 |
| Figura 33. Río Portuguesa, Sector Barrancas.....   | 83 |

## INTRODUCCION

La teoría expuesta en este trabajo parte del principio que el esfuerzo cortante promedio,  $\tau_{OM}$ , del flujo sobre el talud de la margen (cuya pendiente se supone constante durante los procesos erosivos) correspondiente a un caudal formativo que puede ser el caudal medio anual, es igual al valor crítico de resistencia a la erosión de la margen. Esto permite establecer que el esfuerzo cortante medio de una condición inicial de equilibrio dada, en un cauce fluvial, es aproximadamente igual al de una condición posterior a un cambio en sus variables geométricas e hidráulico-sedimentarias, tal que;  $\tau_{sobre\ las\ márgenes} \cong \tau_{OM}$ .

Debido a que aún no se conocen relaciones certeras para determinar instantáneamente la tasa de erosión de las márgenes fluviales, el tratamiento aquí se restringe al cálculo de una condición final de equilibrio, posterior a los cambios fijos a que es sometido un sistema fluvial, que anteriormente estaba en equilibrio, y a partir del cual se obtiene la resistencia crítica media de las márgenes.

Los datos correspondientes de una condición estable o de equilibrio inicial del cauce para aplicar la teoría antes mencionada serán: la geometría del cauce (ancho y pendiente), las condiciones de flujo medio anual (velocidad y profundidad media), transporte de material sólido medio anual y la granulometría.

La variabilidad es una característica inherente de los ríos y aquí se expondrá este tema desde la perspectiva de aprovechar los datos provenientes de una condición inicial conocida en un cauce, para estimar su condición final (que puede ser la de equilibrio) después de haber transcurrido un evento dado, que induzca una modificación en las variables geométricas, morfológicas y fluviales.

En primer lugar se trata de estimar la geometría de un cauce después de ser sometido a un trasvase de aguas y en el segundo caso se determina el radio de curvatura y el ángulo de deflexión entre las perpendiculares en planta a las secciones de inflexión (vados) de los meandros una vez llegue a su condición de equilibrio final.

Esta hipótesis de cálculo está fundamentada en que  $\tau_{\text{sobre las márgenes}} \cong \tau_{OM}$  y su validez es investigada mediante su aplicación en dos diferentes métodos de cálculo. En primer lugar esta hipótesis es usada para estimar los cambios que sufre un cauce fluvial que es sometido a un trasvase constante de aguas, que puede o no contener carga de sedimentos, lo cual origina un incremento o disminución del caudal medio anual del río, cuya respuesta dinámica, para acomodar su nuevo caudal medio, va a ser modificar su ancho y pendiente longitudinal hasta que se establezca una nueva condición de equilibrio morfológico entre las variables geométricas e hidráulicas-sedimentarias. Este problema ha sido considerado por Falcón y López (1996) sin disponer de datos para verificar el enfoque teórico y por un comité de la ASCE (1998).

A diferencia de teorías como la de régimen, el método aquí expuesto si toma en cuenta el transporte de sedimentos que procede de las secciones aguas arriba y entra en el tramo bajo estudio. Ello permite el predecir los cambios de sección y pendiente que sufrirá un cauce fluvial cuando la cuenca le aporta una menor cantidad de sedimentos (por ejemplo por la presencia de una presa).

En segundo lugar la hipótesis central aquí planteada es usada para calcular el radio de curvatura y el ángulo de deflexión en meandros (arcos circulares). El análisis es aplicado a un cauce inicialmente recto que desarrolla meandros de amplitud finita, y está restringido a un arco de tramo circular de un canal, donde el flujo es tratado como pseudo uniforme. Adicionalmente se supone que las relaciones profundidad/ancho ( $d_o/b$ ) y profundidad/radio de curvatura ( $d_o/R_o$ ) son  $\ll 1$ .

Para este último caso se contó para el desarrollo del modelo con el cálculo de la corriente secundaria en curvas fluviales investigado por Falcón y Kennedy (1983), Falcón (1984), con la longitud de onda de meandros cuasi rectos estudiada por Kitanidis y Kennedy (1984) y con la investigación de campo de Nelson and Smith (1989).

**CAPITULO I**

**EI PROBLEMA**

## 1 EL PROBLEMA

### 1.1 Planteamiento del Problema

El problema radica en determinar los efectos que produce aguas abajo la introducción de un caudal de trasvase dado, ya que se ha observado que regular el caudal de trasvase por medio de obras hidráulicas tiene un efecto decisivo en el curso de las aguas, produciendo cambios morfológicos que se manifiestan mayormente en cambios en el ancho y pendiente de los cauces.

Adicionalmente a lo antes mencionado los ríos también tienen tendencia a evolucionar en meandros y es de interés investigarlos debido a que pueden poner en peligro alguna obra importante, tal como una carretera, un puente e incluso una población. Si el río es navegable pueden presentar problemas a la navegación. En casos en que sean límites fronterizos, nacionales o internacionales, el conocimiento de su dinámica es importante.

### 1.2 Aporte Esperado

Generar un método que sirva para predecir cambios a largo plazo debidos a los trasvases de caudal en un cauce fluvial. El enfoque también será aplicado para determinar el radio de curvatura de meandros lo cual permitirá estimar hasta donde la evolución de dicho meandro afectará a las zonas circunvecinas

La aplicación del método propuesto para los casos arriba mencionados no permite evaluar la evolución temporal del cauce, solo el estado final a partir del inicial.

### 1.3 Objetivo General

Establecer un método racional de cálculo partiendo de la hipótesis fundamental planteada en este proyecto  $\tau_{sobre\ las\ márgenes} \cong \tau_{OM}$ , donde a partir de condiciones iniciales conocidas se pueda determinar la variación del ancho del cauce de un río, así

como su nueva pendiente aguas abajo de un trasvase constante de aguas. De igual forma se espera determinar el radio de curvatura y el ángulo de deflexión de meandros entre vados sucesivos, conocidas las condiciones iniciales del cauce originalmente recto.

#### 1.4 Objetivos Específicos

Experimentar numéricamente con un modelo básico de los métodos que se desean implementar, con el fin de estudiar la importancia de las condiciones y factores involucrados en las variaciones morfológicas del cauce y de la formación de meandros.

Investigar el efecto de diversas formulas de fricción y arrastre sólido para determinar las nuevas condiciones de equilibrio (pendiente y ancho).

Verificar los resultados teóricos obtenidos con informes sobre los cambios del ramal Rosetta del río Nilo después de haberse construido la presa de Aswan en Egipto, y, del río Wei afluente del río amarillo en China luego de experimentar sucesivas reducciones en el caudal líquido que dicho río solía transportar en un periodo de 3 años.

Investigar la posibilidad de aplicar el enfoque planteado en el cálculo del ancho y pendiente en cauces fluviales rectos al variar su caudal medio anual, para determinar el radio de curvatura en meandros.

#### 1.5 Metodología

El procedimiento general que será usado consiste en calcular las condiciones de flujo (velocidad y profundidad media) para el caudal medio anual,  $Q_{ma}$ , en el cauce previo aún no afectado por el trasvase de aguas, correspondientes al caudal medio anual, conocidos el  $d_{50}$ , el caudal sólido medio anual ( $Q_{s0}$ ) y la geometría del cauce: ancho del canal activo ( $b$ ) y pendiente media del lecho del canal ( $S$ ). La hipótesis fundamental de cálculo es que el esfuerzo cortante máximo, o medio sobre el talud de

la margen (cuya pendiente se supone constante durante los procesos erosivos) correspondiente al caudal medio anual, es igual al valor crítico de resistencia a la erosión de la margen, y ésta (al igual que el esfuerzo cortante sobre la margen) alcanza el mismo valor al final del proceso de cambios de pendiente y ancho del cauce.

Una vez conocido el esfuerzo cortante medio sobre las márgenes en la condición previa a la modificación del caudal medio anual se comienza por determinar la velocidad media y profundidad del flujo correspondientes al nuevo estado de equilibrio que adquiere el canal. Para ello se hará uso de métodos ya existentes para determinar simultáneamente la fricción y el transporte de sedimento. Los nuevos valores de caudales líquido y sólido se imponen para obtener las nuevas características del cauce: ancho y pendiente.

Para el caso donde se determinará el radio de curvatura ( $R_o$ ) correspondiente a un meandro se plantea generar una relación que incluya  $R_o$ , a partir de un balance de fuerzas longitudinales y del eflujo neto de momentum para un volumen de control adyacente a la margen exterior del cauce curvo. Esta relación estará basada en las condiciones iniciales conocidas de un cauce originalmente recto

## 1.6 Actividades

- Recopilación de información básica (incluyendo revisión bibliográfica).
- Revisión de información básica.
- Conceptuar los procesos de estimación de ancho y pendiente a partir de la imposición del esfuerzo cortante medio en las márgenes y de meandro en ríos.
- Programación de las ecuaciones que intervienen en los métodos propuestos con el fin de resolverlas.

- Investigar el efecto de diversas formulas de fricción y arrastre sólido para determinar las nuevas condiciones de equilibrio (pendiente y ancho).
- Validar los resultados teóricos obtenidos con resultados reportados en informes sobre los cambios del ramal Rosetta del río Nilo después de haberse construido la presa de Aswan en Egipto y otros que se puedan obtener.
- Investigar acerca de la posibilidad de aplicar el enfoque de  $\tau_{sobre\ las\ márgenes} \cong \tau_{OM}$  para determinar el radio de curvatura de meandros.
- Validar los resultados teóricos obtenidos con informes en la curva IMR del Muddy Creek y el río Portuguesa, ríos ubicados en U.S.A y Venezuela respectivamente.
- Preparación del informe total para corrección.
- Corrección del informe total.

**CAPITULO II**

**MARCO TEORICO REFERENCIAL**

## 2 MARCO TEORICO REFERENCIAL

### 2.1 Concepto del Modelo

En condiciones normales los tramos de todos los cauces de los ríos alcanzan un cierto grado de equilibrio, lo cual significa que si en forma artificial no se modifican uno o varios parámetros que intervienen en esta condición de estabilidad, el agua continuará fluyendo en la forma que lo viene haciendo. Si se modifican en forma natural o artificial algunos parámetros, el tramo del río con el tiempo cambiará su condición de equilibrio.

En general, se puede indicar que existe un equilibrio entre el gasto sólido que entra a un tramo en estudio y el que es capaz de transportar el río dentro del mismo tramo, en función de las características del material de fondo y orillas, la pendiente longitudinal del río y la geometría de la sección transversal del flujo. Una modificación a cualquiera de las variables anteriores repercutirá en las demás. Por lo tanto, cuando el cauce fluvial es afectado por un trasvase constante de aguas, que puede o no contener carga de sedimentos, origina un incremento o disminución del caudal medio anual del río, cuya respuesta dinámica, para acomodar su nuevo caudal medio, será modificar su ancho y pendiente longitudinal hasta que se establezca una nueva condición de equilibrio morfológico entre las variables geométricas e hidráulico-sedimentarias. El arrastre sólido, modificado o no, debe ser conocido.

Lane (1955) propone como primera aproximación al problema un análisis cualitativo entre las variables caudal sólido ( $Q_{s0}$ ), diámetro medio de la partícula del sedimento ( $d_{50}$ ), caudal medio ( $Q$ ) y la pendiente o gradiente hidráulico ( $S$ ), como:

$$Q_s d_{50} \approx QS \quad (1)$$

Esta es básicamente una relación de equilibrio geomorfológico entre las principales variables del flujo y del sedimento. Si alguna de éstas se modifica, las restantes o algunas de ellas deben cambiar para conservar la proporcionalidad.

Suponiendo que la producción de sedimentos de la cuenca, su granulometría representada en el diámetro medio de la partícula de los sedimentos del lecho permanecen constantes antes y después del trasvase, la pendiente del cauce debe disminuir para equilibrar el incremento en el caudal, lo cual puede expresarse como:

$$S \approx \frac{Q_s^{cte} d_{50}}{Q} \quad (2)$$

La disminución de la pendiente puede producirse por degradación del lecho o por incremento en la sinuosidad del cauce. Por otra parte, un cauce cuyas márgenes o laderas estén compuestas por material aluvial debe ajustar su ancho dependiendo de la cantidad de agua y sedimentos que transporte, y de la resistencia al flujo que opongan las partículas o la masa del suelo de las márgenes. Por lo tanto, es posible esperar un ensanchamiento del cauce como resultado del incremento del caudal, el cual inicialmente aumenta el tirante de agua y los esfuerzos cortantes actuantes sobre la partícula del suelo de las márgenes.

Un análisis alternativo puede hacerse con la teoría de régimen de Leopold y Maddock (1953), basada en datos de campo, la cual es aparentemente la única teoría de régimen aplicable a ríos, en el sentido de que el caudal a utilizar es el caudal medio anual, y por lo tanto incorpora, indirectamente, la variabilidad hidrológica del caudal en sus resultados ajustados óptimamente.

El ancho ( $T$ ) se estima en función del caudal medio anual,  $Q$ , a medida que aumenta en dirección aguas abajo, como:

$$T = aQ^{\frac{1}{2}} \quad (3)$$

Suponiendo que el coeficiente "a" permanece constante en una sección dada, aún cuando puede variar de un río a otro, se obtiene:

$$\frac{T_2}{T_1} = \left( \frac{Q_2}{Q_1} \right)^{\frac{1}{2}} \quad (4)$$

En donde los subíndices 1 y 2 se refieren a las condiciones antes y después de un trasvase, respectivamente. Como ni la pendiente, ni el arrastre sólido, intervienen en los resultados, no es posible tomarlos en cuenta en éste método.

Stevens (1989) desarrolló un método para determinar el ancho mínimo de un canal basándose en las propiedades del material que conforma las márgenes del canal. Stevens propone que, para que las márgenes sean estables, deben cumplirse dos requisitos:

- a. El esfuerzo cortante en las márgenes debe ser de tal magnitud que garantice que las partículas del sedimento no sean erosionadas ni depositadas en dichas márgenes.
- b. La margen no debe fallar por deslizamiento.

Estos dos criterios son denominados criterio de la fuerza tractiva y de falla por deslizamiento, respectivamente.

Para que la margen sea estable, el criterio de la fuerza tractiva establece que la profundidad del agua debe ser menor que un valor crítico dado por la siguiente relación:

$$d \leq \frac{C_t}{\varepsilon \times \gamma \times S} \quad (5)$$

en donde:

$C_t$  = Resistencia del suelo a la fuerza tractiva.

$\varepsilon$  = Coeficiente cercano a 0.75 para canales trapezoidales

Para canales con sección trapezoidal, el esfuerzo cortante máximo es igual a  $\varepsilon \times \gamma \times d \times S$ , localizado a 2/3 de la profundidad sobre el talud medida desde la superficie libre.

La resistencia tractiva ( $C_t$ ) del suelo, depende de la existencia o no de material cohesivo de las márgenes. Para suelos no cohesivos (arenas y gravas)  $C_t$  esta relacionado directamente con las propiedades individuales de las partículas del suelo, y puede calcularse por la siguiente relación:

$$C_t = k_c (SG - 1) \gamma d_{50} \cos \theta \left( 1 - \frac{\tan^2 \theta}{\tan^2 \phi} \right)^{\frac{1}{2}} \quad (6)$$

en donde  $k_c$  es el valor critico del parámetro de Shields igual a 0.047, SG es la gravedad especifica de las partículas del sedimento,  $\theta$  es el ángulo del talud de la margen y  $\phi$  es el ángulo de reposo de las partículas.

Cuando el suelo es cohesivo, la fuerza tractiva  $C_t$  no puede determinarse fácilmente ya que depende de ciertas propiedades globales de la masa del suelo, tales como el índice de plasticidad y la relación de vacíos. En general para suelos cohesivos la resistencia a la fuerza tractiva  $C_t$  puede variar entre 0.05 y  $2.4 \frac{Kg}{m^2}$  (ver Vanoni; 1975, pp. 104 -114).

El criterio de falla por deslizamiento requiere que:

$$d \leq \frac{1}{K} \left( \frac{NC_u}{\gamma_s} - f_b \right) \quad (7)$$

en donde,  $C_u$  es la resistencia al corte saturado-no drenado,  $f_b$  es el borde libre igual a cero para cauces naturales, K es igual a 1.25 para canales aproximadamente

uniformes,  $\gamma_s$  es el peso unitario del conjunto de partículas del suelo  $\cong 1600 \frac{Kg}{m^3}$ ,  $N$  es un parámetro o número de estabilidad (adimensional), que depende de la inclinación del talud ( $\theta$ ) y del ángulo de fricción ( $\phi$ ).

Generalmente el menor valor crítico de la profundidad ( $d$ ), dados por (5), (6) y (7) se calcula para el criterio de la fuerza tractiva. El valor de  $C_u$  depende del material que conforma el suelo de la margen.

Para una margen arenosa-limosa o arenosa-arcillosa, el valor de  $C_u$  esta en la cercanía de  $1480 \frac{Kg}{m^2}$  (Bureau of Reclamation, 1965).

## 2.2 Formulas de Fricción Utilizadas en el Método de Cálculo Propuesto

Karim y Kennedy (1983, 1990) desarrollaron un modelo para predecir en forma acoplada la fricción y transporte de sedimentos en un cauce aluvial. La formulación del método toma en cuenta el bien conocido hecho de que el factor de fricción, además de depender de la rugosidad del grano, depende también de las deformaciones de fondo, las cuales son altamente dependientes del caudal sólido o la concentración de sedimentos, y se evita de esta forma la necesidad de especificar una rugosidad hidráulica fija para el cauce, usualmente en la forma de un coeficiente de Manning. El modelo es el resultado de la aplicación de técnicas de regresión múltiple no lineal a una extensa cantidad de datos de laboratorio y de mediciones de ríos y canales. La fracción de la pendiente de energía (geométrica del lecho) consumida para transportar los sedimentos está implícitamente incluida en este método.

El predictor de arrastre de sedimentos viene dado por:

$$\log\left(\frac{q_{so}}{\sqrt{g(SG-1)d_{50}^3}\right) = -2.2786 + 2.9719 \log v_1 + 1.06 \log v_1 \log v_6 + 0.2989 \log v_2 \log v_6 \quad (8)$$

El predictor de fricción se define por la relación:

$$\log\left(\frac{V}{\sqrt{g(SG-1)d_{50}}}\right) = 0.9045 + 0.1665 \log v_7 + 0.0831 \log v_4 \log v_5 \log v_7 + 0.2166 \log v_4 \log v_5 - 0.0411 \log v_2 \log v_3 \log v_4 \quad (9)$$

en donde:

$$v_1 = \frac{V}{\sqrt{g(SG-1)d_{50}}}; \quad v_2 = \frac{d}{d_{50}}; \quad v_3 = S \times 10^3; \quad v_4 = \frac{u_*}{\omega_f}; \quad v_5 = \frac{\omega_f d_{50}}{v};$$

$$v_6 = \frac{u_* - u_{*cr}}{\sqrt{g(SG-1)d_{50}}}; \quad v_7 = \frac{q_{so}}{\sqrt{g(SG-1)d_{50}}^3}$$

$$u_* = \sqrt{g \times d \times S} \quad (10)$$

$\omega_f$  es la velocidad de caída del material,  $u_*$  es la velocidad de corte del lecho,  $u_{*cr}$  es igual a la velocidad de corte crítica obtenida del parámetro Shields,  $d_{50}$  es el diámetro medio de la partícula,  $q_{so}$  es el caudal sólido unitario,  $g$  es la aceleración de la gravedad,  $SG$  es la gravedad específica =  $\frac{\gamma_s}{\gamma}$ ,  $\gamma_s$  es el peso específico del sedimento,  $\gamma$  es el peso específico del agua.

Debido a que la relación del factor de arrastre depende del factor de fricción, se requiere de un proceso iterativo para resolver las ecuaciones 8 y 9. En este trabajo se incluyeron las siguientes expresiones:

$$f_o = \frac{8}{\left[5.75 \times \log \frac{12 \times d}{2.5 \times d_{50}}\right]^2} \quad (11)$$

$$\frac{f}{f_o} = 1.2 + 8.92 \frac{\Delta}{d} \quad (12)$$

$$\frac{\Delta}{d} = 0.08 + 0.294 \left( \frac{\tau_*}{3} \right) - 18.13 \left( \frac{\tau_*}{3} \right)^2 + 70.9 \left( \frac{\tau_*}{3} \right)^3 + 88.33 \left( \frac{\tau_*}{3} \right)^4 \quad (13)$$

Las formulas 11,12 y 13 son propuestas por Karim-Kennedy (1990), donde se incluyen  $f_o$ , el factor de fricción para flujo sobre sedimento inmóvil de un lecho plano,  $f$ , el factor de fricción total del lecho y  $\Delta$ , la altura representativa de las dunas. El esfuerzo cortante, adimensionalizado como Shields para una profundidad supuesta es;

$$\tau_* = \frac{dS}{(SG-1)d_{50}} \quad (14)$$

Para los efectos de este trabajo, en las expresiones anteriores se substituyó la profundidad ( $d$ ) por el radio hidráulico del lecho ( $R_H$ ), para poder incluir la influencia de la rugosidad de las márgenes en los cálculos de  $V$  y  $d$ . Debido a que la relación de fricción depende de la descarga de sedimentos, se requiere necesariamente de un esquema iterativo para resolver las ecuaciones (8) y (9).

El criterio de estabilidad de las márgenes en base a la fuerza tractiva es estático, en el sentido de que el cauce debe ensancharse hasta que las partículas sobre la margen, no puedan ser movidas por el flujo. Existe otro criterio dinámico investigado por Parker (1978), para márgenes con suelos no cohesivos en el cual se postula un equilibrio entre la pérdida de sedimento sobre la margen por el transporte de fondo transversal,

y, el aporte de sedimentos suspendido proveniente desde el centro del cauce mediante un mecanismo de difusión transversal. El método, al presente, no está claramente definido en cuanto al diámetro representativo del sedimento a utilizar, ni en cuanto al caudal representativo a seleccionar, y probablemente requerirá un mayor esfuerzo de calibración. El método aquí utilizado es heurístico y se considera realista por lo difícil de analizar a nivel de fuerzas mecánicas sobre partículas de material arcillo-limoso-arenoso, en que intervienen fuerzas a nivel coloidal (electro-químicas).

En cuanto a métodos de cálculo cuyo fin específico sea determinar la forma final de la geometría del cauce después que se modifican uno ó varios de los parámetros naturales de un río tenemos a El-Serafy (1993), Falcón y López (1996) y Wu (2003).

El-Serafy desarrolla un modelo hidráulico-sedimentario para ser aplicado en el río Nilo. En este método se resuelve la parte hidráulica y la parte sedimentaria en forma separada. La hidráulica está basada en la ecuación de Manning

$$V = \frac{1}{n} S^{\frac{1}{2}} R_H^{\frac{2}{3}}, \quad (15)$$

en donde  $n$  es el coeficiente de rugosidad de Manning. Para todos los cálculos El-Serafy sustituyó el radio hidráulico ( $R_H$ ) por la profundidad media ( $d$ ).

Para el cálculo de ancho ( $b$ ) del canal, este modelo se apoya en una fórmula empírica propuesta por la River Nile Protection and Development Project (RNPD), 1990, y ésta a su vez está basada en mediciones realizadas a lo largo del río Nilo entre los años 1950 y 1978. El RNPD concluye que el ancho del río Nilo en su condición anterior a la construcción de la represa de Aswan puede ser descrita aceptablemente por la fórmula de régimen de Lacey (1929), la cual fue establecida para un flujo ( $Q$ ) constante en el canal. Ello dio una fórmula de régimen para el ancho del Nilo.

$$b = \alpha \times Q^\beta \quad (16)$$

donde:  $b$  es el ancho promedio del canal,  $\beta$  es una constante igual a 0.5,  $Q$  es el valor medio máximo de las descargas mensuales.

$\alpha$  es una constante, el rango de esta constante varia entre 8.6 y 12.6, y tiene un valor promedio de 10.6 que según El-Serafy (1993) puede ser aplicado en todo el río Nilo.

La parte sedimentaria del modelo propuesto por El-Serafy está basado en los métodos de Engelund y Hansen (1967) y Ackers y White (1973).

- Método de Engelund y Hansen

El método de Engelund y Hansen es seleccionado porque es aplicable a corrientes con dunas en el lecho, las cuales son dominantes en el río Nilo. La formula se puede expresar de la siguiente forma:

$$\frac{q_s}{Vd_{50}} = 0.05 \times \frac{V}{d_{50}} \times \left[ \frac{d_{50}}{g(SG-1)} \right]^{\frac{1}{2}} \times \left[ \frac{\tau_o}{(\gamma_s - \gamma)gd_{50}} \right]^{\frac{3}{2}} \quad (17)$$

en donde:  $q_s$  es igual a la tasa de transporte volumétrico total de sedimentos,  $V$  es la velocidad media del flujo,  $d_{50}$  es el diámetro medio de la partícula,  $SG$ , el peso específico,  $\tau_o$ , el esfuerzo cortante,  $\gamma_s$ , el peso específico del sedimento,  $\gamma$  es el peso específico del agua.

- Método de Ackers y White (1973)

El método de Ackers y White fue desarrollado para determinar la carga total de sedimento en un flujo unidireccional sobre un lecho aluvial. Al igual que el método de Engelund y Hansen esta basado en el concepto de fuerza de corriente de Bagnold.

$$d_* = d_{50} \left[ \frac{(SG-1)g}{\nu^2} \right]^{\frac{1}{3}} \quad (18)$$

Donde:  $d_*$  es el diámetro adimensional de la partícula,  $\nu$  es la viscosidad cinemática.

La fórmula introduce una respuesta diferente según el tamaño de grano del esfuerzo cortante aplicado a través del llamado parámetro de movilidad " $F_{gr}$ ".

$$F_{gr} = \frac{u_*}{\sqrt{gd_{50}(SG-1)}} \times \left[ \frac{U}{32 \log \left( \frac{10d}{d_{50}} \right)} \right]^{1-n} \quad (19)$$

Donde:  $u_*$  es la velocidad de corte  $= \left( \frac{\tau}{\rho} \right)^{\frac{1}{2}}$ ,  $\tau$  es el esfuerzo cortante,  $U$  es la velocidad media del flujo,  $n$  es un coeficiente definido mas adelante y  $d$  es la profundidad media del flujo.

La tasa total de transporte de sedimentos " $q_s$ " viene dada por:

$$q_s = A \left[ \frac{F_{gr}}{F_{grc}} - 1 \right]^m \left[ \frac{U}{u_*} \right]^n D \times U \quad (20)$$

donde los coeficientes A,  $F_{grc}$ , m y n fueron determinados por datos experimentales y para  $60 > d_* > 1$ :

- $LOG A = 2.86 LOG d_* - (LOG d_*)^2 - 3.53$

$$2.95 \times 10^{-4} \leq A \leq 0.025$$

- $F_{grc} = \frac{0.23}{d_*^{\frac{1}{2}}} + 0.14$

$$0.17 \leq F_{grc} \leq 0.37$$

- $m = \frac{9.66}{d_*} + 1.34$

$$1.5 \leq m \leq 11$$

- $n = 1 - 0.56 LOG d_*$

$$0 \leq n \leq 1$$

Estas constantes de Ackers y White fueron calibradas con más de 1000 mediciones de carga de sedimentos tanto de campo como de laboratorio. Ackers y White también demostraron que el 68% de los datos caían dentro del rango de  $0.5 < \frac{X_{calc}}{X_{obs}} < 2.0$ , Raudkivi (1990).

La entrada de datos para el programa "SED" puede ser resumida de la siguiente forma:

- a. Propiedades hidráulicas: La descarga de flujo y su correspondiente profundidad y velocidad media asociada.
- b. Datos de sedimentos: Esta es descrita por el diámetro de la partícula  $d_{35}$  y/o  $d_{50}$  y la densidad del sedimento.

El programa SED entrega como salida: la tasa de transporte de sedimentos que es calculada por el método de Engelund y Hansen y el método Ackers y White.

Wu (2003) presenta un análisis detallado de la forma como se ajusta un canal en respuesta a los cambios en las descargas de flujo y de sedimentos para establecer en el río un nuevo estado de equilibrio en términos del transporte de sedimentos. Para esto se basa en una sólida base de datos obtenida a lo largo de 50 años de mediciones realizadas en la cuenca del río Amarillo, los cuales muestran que el flujo proveniente de escorrentías y la carga de sedimentos tienden a decrecer en la cuenca antes mencionada. Al mismo tiempo que esto sucede Wu reporta un encogimiento en el ancho del cauce a lo largo del cauce principal así como de tributarios importantes de éste como son los río Wei y Fenhe.

En este trabajo no se postula un método específico para determinar las variaciones morfológicas del cauce

Para el calculo de ancho (b) y la profundidad (d) es aplicada la misma formula usada por El-Serafy (1993), ecuación (16)

$$b = \alpha_1 \times Q^{\beta_1}$$
$$d = \alpha_2 \times Q^{\beta_2}$$

donde: b es el ancho promedio del canal, d es la profundidad del flujo. Wu recomienda el uso del caudal (Q) a cauce pleno;  $\alpha_1$ ,  $\alpha_2$ ,  $\beta_1$  y  $\beta_2$  son coeficientes.

Los valores sugeridos para el exponente  $\beta_1$  son iguales al usado para el Nilo: 0.5, Para la cuenca del río Amarillo no se hace mención de los demás coeficientes

Estas dos ecuaciones propuestas en el trabajo de Wu, revelan que la reducción del ancho del canal y la profundidad son inevitables cuando la profundidad del flujo así como la descarga de flujo a cauce pleno decrecen.

**CAPITULO III**

**METODO DE CÁLCULO PARA LA DETERMINACION DE LAS  
VARIACIONES DEL ANCHO Y PENDIENTE EN UN CAUCE FLUVIAL  
DEBIDAS A UN TRASVASE DE AGUAS**

### 3 METODO DE CÁLCULO PARA LA DETERMINACION DE LAS VARIACIONES DEL ANCHO Y PENDIENTE EN UN CAUCE FLUVIAL DEBIDAS A UN TRASVASE DE AGUAS

El procedimiento general consiste en calcular las condiciones de flujo (velocidad y profundidad media) en el cauce previo aún no afectado por el trasvase de aguas, correspondientes al caudal medio anual, conocidos el  $d_{50}$ , el caudal sólido medio anual ( $Q_{s0}$ ) y la geometría del cauce: ancho del canal ( $b$ ) y pendiente media del lecho del canal ( $S$ ).

La hipótesis fundamental de cálculo es que el esfuerzo cortante sobre el talud de la margen correspondiente al caudal medio anual (cuya pendiente se supone constante durante los procesos erosivos), es igual al valor crítico de resistencia a la erosión de la margen.

Se estima el máximo esfuerzo cortante crítico sobre la margen (rugosidad similar a la del lecho)

$$\tau_{cr} \approx 0.75 \times \gamma \times d \times S, \quad (21)$$

el cual ocurre sobre un punto aproximadamente a  $2/3$  de su longitud medida desde la superficie libre Lane (1955), figura 1, y donde  $\gamma$  es el peso específico del agua.

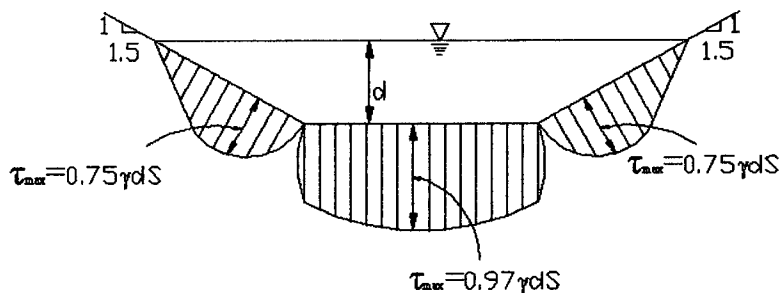


Figura 1. Ubicación del  $\tau_{max}$  en la sección transversal de un canal trapezoidal

Si se dispone de los datos de los caudales mensuales efectivos se efectuarían los cálculos para cada mes y se toma el  $\bar{\tau}_{cr}$  (valor promedio), sobre los meses incluidos del año. Una vez conocido el valor crítico anterior a la modificación se deberá cumplir que éste sea igual al esfuerzo promedio sobre la margen posterior al trasvase, por lo que:

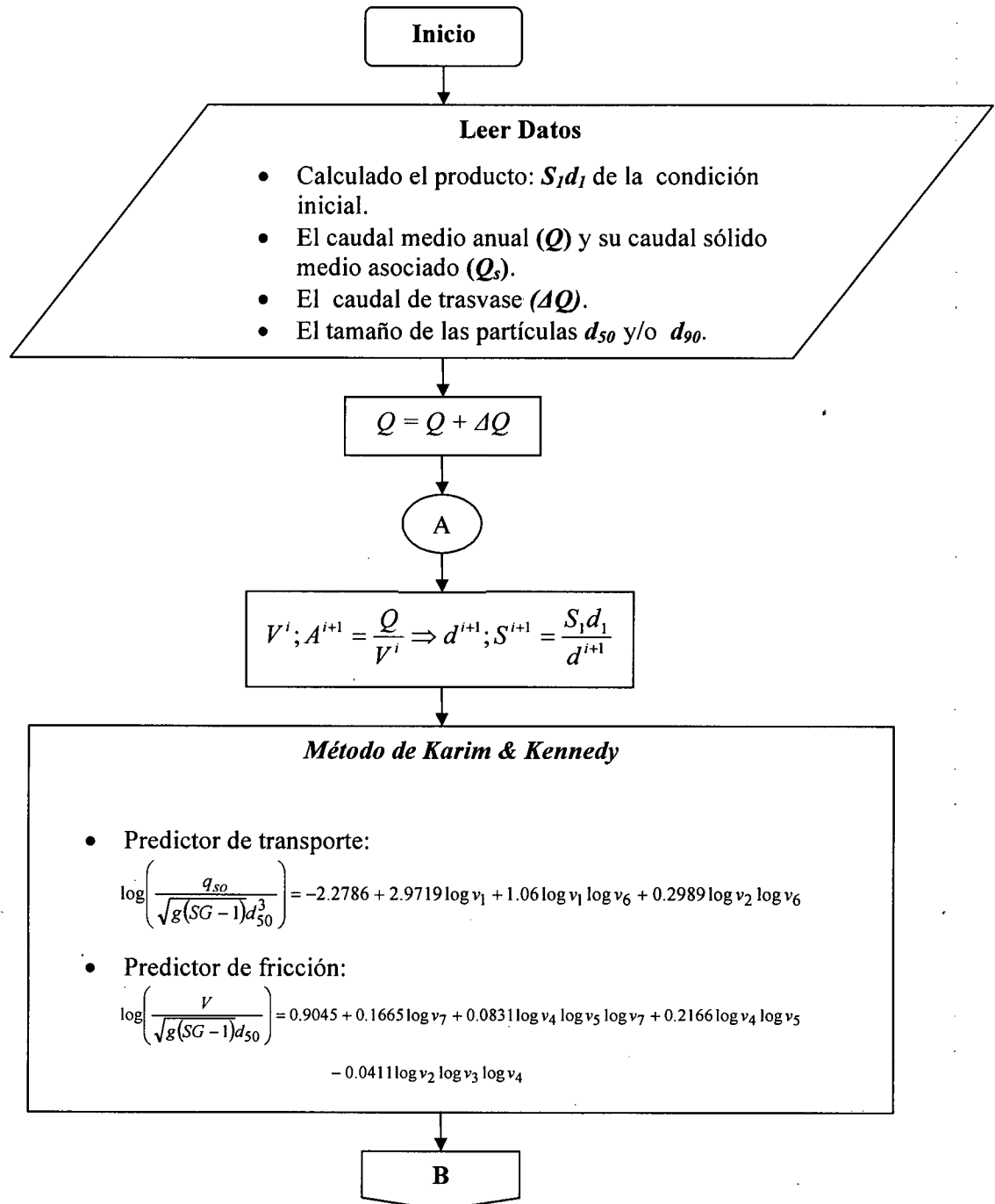
$$\begin{aligned} \tau_1 &= \tau_2 \\ d_1 S_1 &= d_2 S_2 \end{aligned} \quad (22)$$

donde los subíndices 1 y 2 se refieren a las condiciones antes y después del trasvase respectivamente.

Este método de cálculo solo es capaz de estimar la condición final de equilibrio del cauce a partir de una condición inicial, mientras se alcanzan las pendientes de equilibrio (lo cual puede llevar varios años), y el ancho (**b**) y la profundidad (**d**) se modifican. En función de las ecuaciones de continuidad del fluido y sedimento es posible encontrar los valores aproximados de **b** y **d** para una nueva pendiente. La velocidad del flujo (**V**) para esa nueva pendiente también se puede determinar por medio de formulas de fricción ya establecidas. En este trabajo se usaron las ecuaciones (8) y (9), debido a que en éstas se toma en cuenta la interdependencia del factor de fricción con las deformaciones de fondo y con el caudal sólido o de concentración de sedimento, y se evita de esta forma la necesidad de especificar una rugosidad relativa fija para el cauce.

El método que se propone en este trabajo se ejemplifica en el diagrama de flujo que es mostrado en la figura 2; se puede observar que una vez conocido el producto  $d_1 S_1$ , previo al trasvase, y para la condición posterior al trasvase: el caudal medio anual (**Q**), su caudal sólido medio anual asociado ( $Q_s$ ) y el tamaño de la partícula de sedimento  $d_{50}$  y/o  $d_{90}$ , se puede comenzar un proceso iterativo para estimar las variaciones del ancho y pendiente debidas al trasvase conservando la condición propuesta en la ecuación (22). Se inicia por determinar la velocidad media y profundidad del flujo correspondientes al caudal medio anual inicial. Para ello se

hace uso de formulas de fricción ya establecidas. En este caso se usó el método de Karim-Kennedy (1983, 1990).



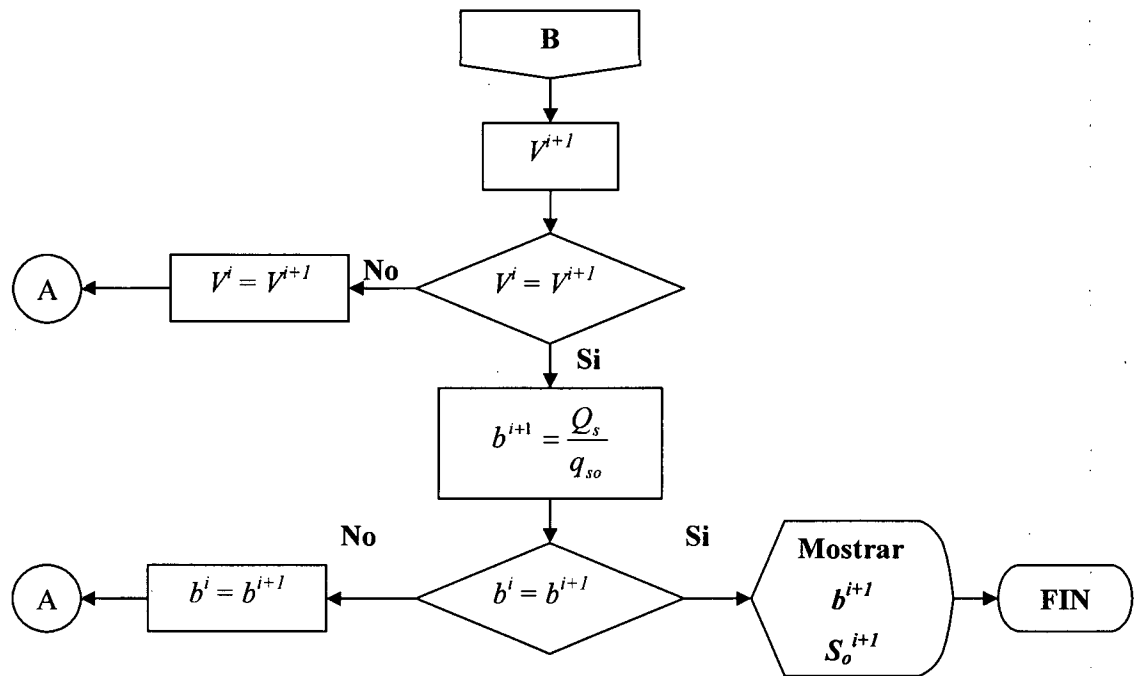


Figura 2. Diagrama de Flujo del método de cálculo propuesto para determinar los cambios de ancho y pendiente en cauces fluviales después de un trasvase de aguas.

Debido a que la relación del factor de arrastre del método de fricción aquí propuesto contiene al factor de fricción como variable independiente, se requiere de un proceso iterativo para resolver las ecuaciones (8) y (9).

Los cálculos se repiten hasta que los valores de la velocidad media ( $V$ ) y del arrastre unitario del sedimento ( $q_{so}$ ) converjan adecuadamente.

**CAPITULO IV**

**APLICACIÓN DEL MODELO A LOS CASOS DEL BRAZO ROSETTA DEL  
DELTA DEL RIO NILO Y DEL RIO WEI EN CHINA**

#### 4 APLICACIÓN DEL MODELO A LOS CASOS DEL BRAZO ROSETTA DEL DELTA DEL RIO NILO Y DEL RIO WEI EN CHINA

##### 4.1 Aplicación Del Modelo Al Caso Del Brazo Rosetta Del Delta Del Rio Nilo

En su recorrido hacia el mar Mediterráneo el río Nilo, después de cruzar la ciudad de El Cairo, sigue su curso hacia el noreste durante 20 Km, y se divide en dos brazos (figura 3), cada uno de los cuales meandrea separadamente a través de uno de los deltas conocidos mas antiguos del mundo hacia el mar. El brazo más occidental que descarga en el mar Mediterráneo es el Rosetta y el más oriental es el Damietta.

La problemática que se presenta en este río, consiste en que luego de la construcción de la represa de Aswan (la ubicación de dicha represa se puede observar en la figura 4) a principios de los años 60 del siglo pasado, las condiciones del flujo, y de la carga de material sólido que el río solía transportar fueron significativamente alteradas.

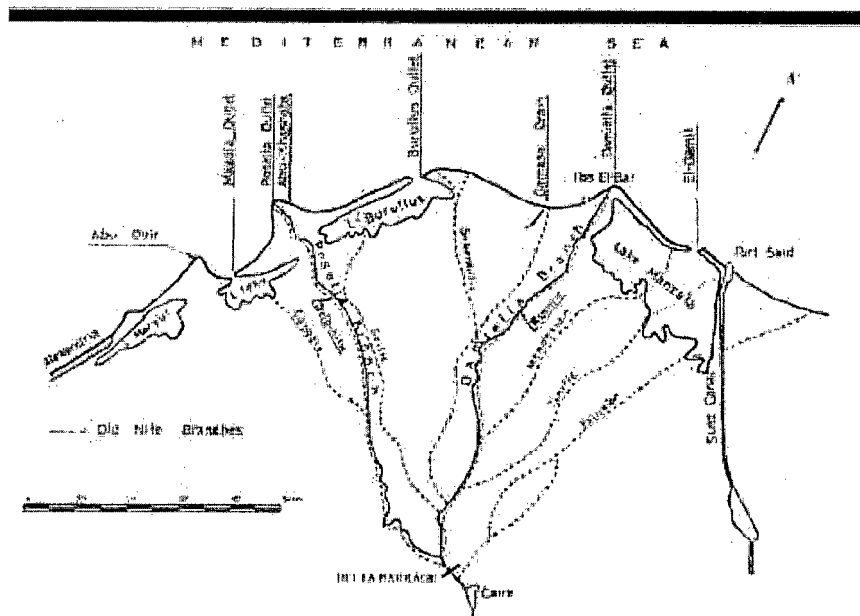


Figura 3. Esquema de los brazos o ramales que conforman el delta del río Nilo. El brazo más occidental que desemboca en el mar Mediterráneo es el Rosetta y el más oriental es el Damietta.

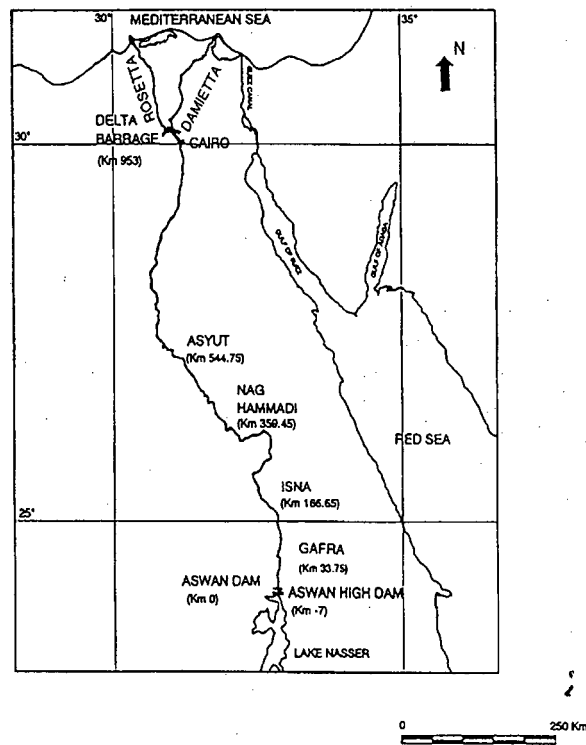


Figura 4. Esquema del río Nilo y su delta

#### 4.1.1 Características hidráulicas presentes en el brazo Rosetta del delta del río Nilo

Los caudales medios mensuales del brazo Rosetta para las condiciones pre y post AHD (Aswan High Dam) reportadas por El-Serafy (1993) son usadas en este trabajo y fueron medidas aguas abajo del AHD en un sector conocido como la barra del delta (que es muy cercano a la zona objeto de estudio). Los hidrogramas de estas mediciones se muestran en las figuras 5 y 6, y son el producto de mediciones no consecutivas durante 7 años para las condiciones pre y post AHD.

El gradiente del río correspondiente al brazo Rosetta es relativamente pequeño. La pendiente del lecho en una distancia de 943 Km, cae desde una elevación de 79 m en la represa de Aswan a 11 m en la cabecera del delta, lo cual da una pendiente promedio para todo el río de 7.2 cm/Km. Para los cálculos del periodo pre-AHD se

utilizo el valor de pendiente ( $S_0$ ) recomendado por El-Serafy (1993) igual a 8 cm/Km, ya que es la pendiente asociada al tramo del brazo Rosetta objeto de estudio.

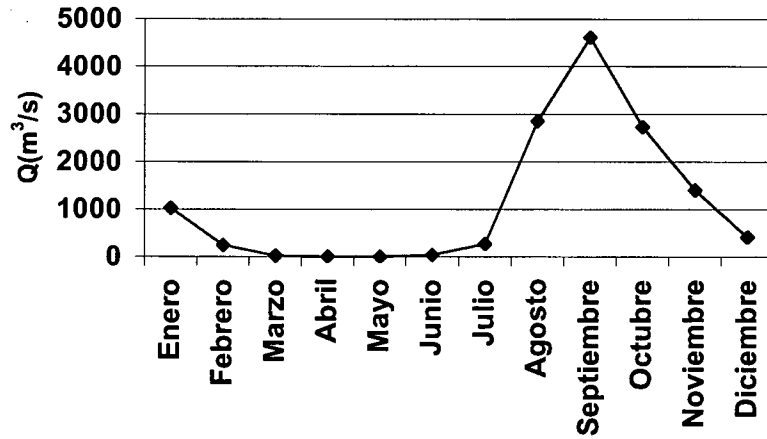


Figura 5. Caudal medio mensual (1956-1964) en el Brazo Rosetta, condición pre AHD

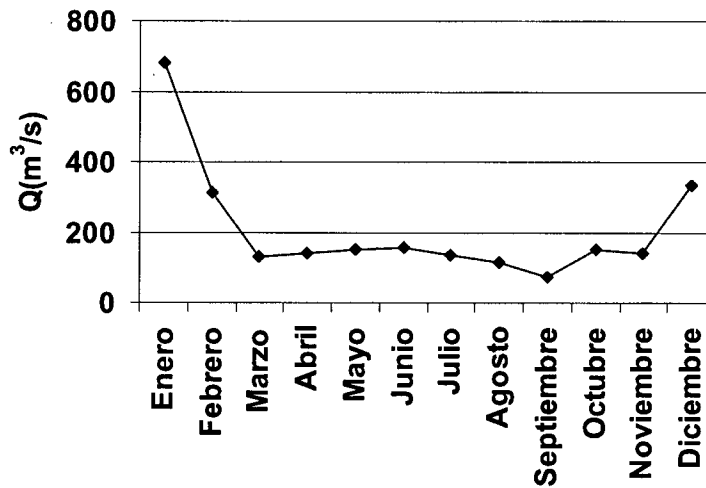


Figura 6. Caudal medio mensual (1977-1990) en el Brazo Rosetta, condición post AHD.

**TABLA 1. Caudales, velocidades y profundidades medias mensuales representativas para el Brazo Rosetta, reportadas por El-Serafy (1993).**

| Condición Pre-AHD |                      |      |        | Condición Post-AHD |                      |      |        |
|-------------------|----------------------|------|--------|--------------------|----------------------|------|--------|
| Mes               | Q(m <sup>3</sup> /s) | d(m) | v(m/s) | Mes                | Q(m <sup>3</sup> /s) | d(m) | v(m/s) |
| Enero             | 1022                 | 2,60 | 0,67   | Enero              | 681                  | 3,20 | 0,78   |
| Febrero           | 239                  | 1,10 | 0,38   | Febrero            | 314                  | 2,00 | 0,57   |
| Marzo             | 18                   | -    | -      | Marzo              | 130                  | 1,2  | 0,40   |
| Abril             | 3                    | -    | -      | Abril              | 141                  | 1,3  | 0,42   |
| Mayo              | 3                    | -    | -      | Mayo               | 149                  | 1,3  | 0,42   |
| Junio             | 34                   | -    | -      | Junio              | 154                  | 1,3  | 0,43   |
| Julio             | 272                  | 1,20 | 0,40   | Julio              | 135                  | 1,20 | 0,41   |
| Agosto            | 2853                 | 4,80 | 1,02   | Agosto             | 114                  | 1,10 | 0,38   |
| Septiembre        | 4610                 | 6,40 | 1,23   | Septiembre         | 72                   | 0,80 | 0,32   |
| Octubre           | 2730                 | 4,70 | 1,00   | Octubre            | 153                  | 1,30 | 0,43   |
| Noviembre         | 1402                 | 3,10 | 0,77   | Noviembre          | 140                  | 1,20 | 0,41   |
| Diciembre         | 411                  | 1,50 | 0,47   | Diciembre          | 335                  | 2,10 | 0,59   |

#### 4.1.2 Características sedimentarias del brazo Rosetta.

Después de la construcción de la represa de Aswan se impuso una tasa de transporte de sedimento que cambió drásticamente la original del río Nilo. Para el periodo post-AHD se estima que el transporte de sedimentos se redujo al 3 ó al 5 % del transporte previo que el río solía transportar durante el periodo pre-AHD. El-Serafy (1993) y Gaweesh-Gaser (1993) también reportan cambios en la composición del sedimento. Para el periodo Pre-AHD, el sedimento consistía en 30% de arena fina, 40% limo y 30% arcilla (Tabla 2). Para el periodo Post AHD solo se reporta transporte de limo y arena, Hammand (1972) y El-Serafy (1993).

**TABLA 2. Composición de la carga suspendida y del material del lecho en el Brazo Rosetta del río Nilo.**

| Sedimento               | Diámetro (mm) | Carga Suspendida | Material del Lecho |
|-------------------------|---------------|------------------|--------------------|
| Arcilla                 | < 0.002       | 30%              | -                  |
| Limo                    | 0.002 - 0.02  | 40%              | -                  |
| Arenas Finas            | 0.002 - 0.2   | 30%              | 20%                |
| Arenas Medias y Gruesas | 0.2 - 2.0     | -                | 75%                |
| Gravas Finas            | > 2.0         | -                | 5%                 |

No existe una descripción sedimentológica precisa para el brazo Rosetta. Los únicos datos disponibles para el brazo Rosetta son los siguientes: para el periodo pre-AHD la carga de sedimentos (solo arena) se estimó en  $5.85 \times 10^6$  t/año, y para el periodo post-AHD la carga de sedimentos fué estimada en  $0.16 \times 10^6$  t/año (con la carga lavada ya excluida), estos datos fueron reportados por El-Serafy (1993).

El tamaño medio de la partícula  $d_{50}$  se estima en un valor entre 0.2 a 0.25 mm. Este valor fue obtenido del Instituto del Río Nilo (NRI), para el periodo post-AHD en un lugar cerca del Rosetta. Como se carece de datos para el periodo Pre-AHD se utilizaron los mismos valores en la aplicación del modelo.

#### 4.2 Resultados de la Aplicación del Modelo Propuesto en el brazo Rosetta.

El modelo se aplico tal como se indica en la figura 2, con la variante que para el brazo Rosetta se dispuso de los caudales medios mensuales (Tabla 1), por lo tanto los cálculos se efectuaron de la siguiente forma: para cada uno de los caudales medios mensuales y con un primer ancho supuesto, se calculan las condiciones de flujo y el correspondiente transporte sólido mensual. Luego se calcula el promedio anual de los arrastres mensuales y un nuevo ancho del cauce se estima dividiendo el caudal sólido anual (condición impuesta desde aguas arriba) por el caudal sólido unitario promedio antes mencionado. El procedimiento se repite hasta la convergencia de la anchura del cauce. Debido a la magnitud grande de la razón ancho profundidad no se incluyó la resistencia de las márgenes en el balance longitudinal de fuerzas, pero si se calculó por (21) para determinar los cambios de pendiente

Al utilizar los datos arriba mencionados en el modelo propuesto se obtuvieron los siguientes resultados: un ancho reducido desde 525 m (El-Serafy reporta éste ancho como medido en campo por la River Nile Protection and Developement Proyect) a 289.77 m vs. un ancho de 271 m (éste último no fue medido sino es el producto de la aplicación del modelo de El-Serafy) después de 26 años de construida la presa, lo que

significa un error de 6.92 %. La magnitud del esfuerzo cortante crítico sobre las márgenes, dado por (21) para las condiciones Pre y Post fue:

$$\tau_{\max} = 3.59 \frac{N}{m^2} = 0.075 \frac{lb}{ft^2}.$$

Este valor cae dentro del rango dado por Vanoni (1975), donde se sugiere que el porcentaje de arcilla correspondiente, del material de margen, sería 22%, lo cual no difiere mucho del porcentaje de arcilla transportado por el río de 30 %.

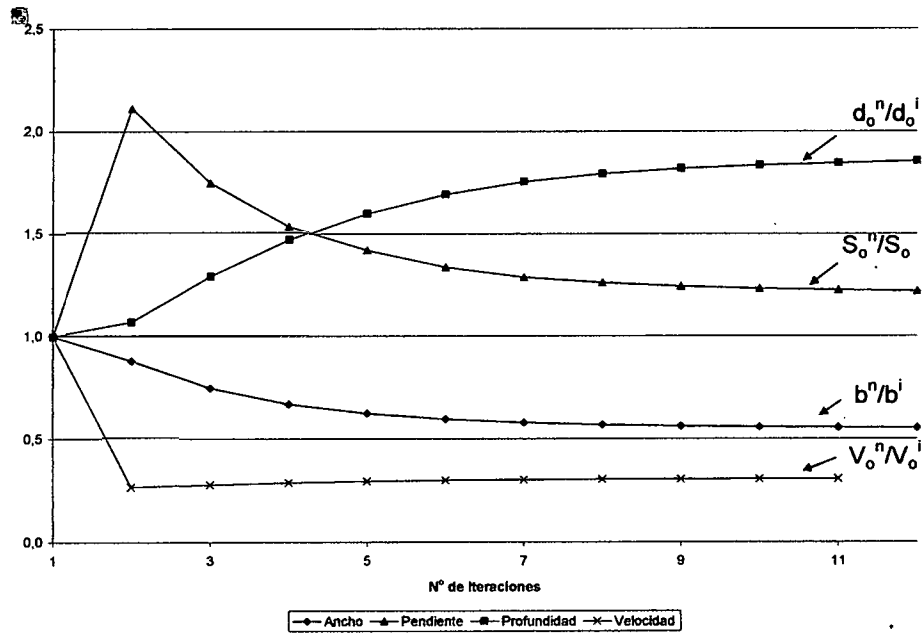
La pendiente longitudinal aumento de 8 a 9,7 cm/Km, éste incremento refleja un cambio esperado en la pendiente longitudinal de la condición Post-AHD debido a la variación del flujo en el río. No se dispuso de datos recientes medidos de la pendiente longitudinal del lecho en el tramo del brazo Rosetta objeto de estudio, que permitan hacer una comparación entre valor medido y calculado. La referencia más cercana a la pendiente longitudinal de la zona consiste en un rango medido de 4 a 9 cm/Km para un área muy cercana al delta, Gaweesh-Gaser (1993).

**TABLA 3. Valores de ancho y pendiente longitudinal del cauce medidos vs. los calculados en el brazo Rosetta del río Nilo**

| <b>Periodo Post-AHD</b>    | <b>Valor Medido<br/>El-Serafi (1993)</b> | <b>Valor<br/>Calculado</b> |
|----------------------------|--|----------------------------|
| <b>Ancho del canal</b>     | 271 m                                    | 289,76 m                   |
| <b>Pendiente del Lecho</b> | 8,0 cm/km                                | 9,7 cm/km                  |

**TABLA 4. Demostración numérica de cómo se ajustan los cálculos hasta lograr su convergencia.**

| N° de Iteraciones | $b^i$<br>(m) | $V^i$<br>(m/s) | $S_o^i$<br>m/m | $d^i$<br>(m) | $q_{so}^i$<br>(m <sup>2</sup> /s) | $b^{i+1}$<br>(m) |
|-------------------|--------------|----------------|----------------|--------------|-----------------------------------|------------------|
| 1                 | 525,000      | 1,0000         | 8,00E-05       | 2,0190       | 1,28E-04                          | 462,1496         |
| 2                 | 462,150      | 0,2657         | 1,69E-04       | 2,1554       | 8,06E-06                          | 392,2425         |
| 3                 | 392,243      | 0,2786         | 1,40E-04       | 2,6013       | 8,52E-06                          | 351,4248         |
| 4                 | 351,425      | 0,2880         | 1,23E-04       | 2,9623       | 8,86E-04                          | 327,2878         |
| 5                 | 327,288      | 0,2950         | 1,13E-04       | 3,2303       | 9,10E-06                          | 312,6868         |
| 6                 | 312,687      | 0,2995         | 1,07E-04       | 3,4170       | 9,27E-06                          | 303,8232         |
| 7                 | 303,823      | 0,3025         | 1,03E-04       | 3,5416       | 9,37E-06                          | 298,4046         |
| 8                 | 298,405      | 0,3043         | 1,01E-04       | 3,6225       | 9,44E-06                          | 295,0793         |
| 9                 | 295,079      | 0,3055         | 9,96E-05       | 3,6740       | 9,48E-06                          | 293,0338         |
| 10                | 293,034      | 0,3062         | 9,87E-05       | 3,7064       | 9,51E-06                          | 291,7734         |
| 11                | 291,773      | 0,3067         | 9,82E-05       | 3,7267       | 9,53E-06                          | 290,5166         |
| 12                | 290,517      | 0,3072         | 9,77E-05       | 3,7471       | 9,54E-06                          | 290,2206         |
| 13                | 290,221      | 0,3073         | 9,75E-05       | 3,7520       | 9,55E-06                          | 290,0378         |
| 14                | 290,038      | 0,3073         | 9,75E-05       | 3,7550       | 9,55E-06                          | 289,9249         |
| 15                | 289,925      | 0,3074         | 9,74E-05       | 3,7568       | 9,55E-06                          | 289,8552         |
| 16                | 289,855      | 0,3074         | 9,74E-05       | 3,7580       | 9,56E-05                          | 289,8122         |
| 17                | 289,812      | 0,3075         | 9,74E-05       | 3,7587       | 9,56E-05                          | 289,7856         |
| 18                | 289,786      | 0,3075         | 9,74E-05       | 3,7591       | 9,56E-05                          | 289,7692         |
| 19                | 289,769      | 0,3075         | 9,74E-05       | 3,7594       | 9,56E-05                          | 289,7692         |



**Figura 7. Representación gráfica de cómo se van ajustando los cálculos hasta lograr su convergencia.**

### 4.3 APLICACIÓN DEL MODELO AL CASO RIO WEI



**Figura 8. Vista del río Wei en su paso por la meseta de Loess, China. (Fotografiado por I-Ming Chou.)**

El río Wei tiene 720 km de longitud, nace en el sur oeste de la Provincia de Gansu y fluye hacia el este a través de las provincias de Gansu y Shaanxi hacia el Huang He. El río Wei forma parte de la cuenca del río Amarillo (ver figura 8). Este nace de la parte norte de las montañas Bayanhar, provincia de Qinghai, y corre en sentido este por 9 provincias y regiones autónomas de la Republica Popular de China. Tiene 5,464 km de largo, con una cuenca de alimentación de más de 750 mil km<sup>2</sup> y un volumen de flujo anual de 66,100 millones de metros cúbicos. El río Amarillo es el segundo más largo de China, con 40 tributarios importantes, incluidos el Fenhe y el Wei (ver figura 10). Debido a que su curso medio pasa por la meseta de Loess de tierra porosa con un área de 580.000 km<sup>2</sup>, de los cuales 439.000 km<sup>2</sup> sufre de una severa erosión del suelo; el Amarillo es el río que transporta más sedimentos en el mundo con un transporte anual de 1,6 billones de toneladas. El promedio de concentración de sedimentos es de 35 kg/m<sup>3</sup>, flujos hiperconcentrados de sedimentos sobre los 100 kg/m<sup>3</sup> ocurren con bastante frecuencia; una concentración de sedimentos de 911 kg/m<sup>3</sup> fue medida el 7 de septiembre de 1977 (Wu 2003). La

mayoría de la carga de sedimentos consiste en limo con un diámetro medio de alrededor de 0.03 mm.

Por la sedimentación el lecho del río Wei se eleva constantemente, de modo que se ha convertido en un "río sobre-elevado" 10 m más alto que las tierras circundantes en muchos tramos de su curso inferior. Esto pone en peligro la seguridad de las comunidades y las tierras de labranza en ambos lados a lo largo de su curso inferior, trayendo serios problemas para controlar las inundaciones y manejo del río en general.

La cuenca del río Amarillo es mayormente árida y semi-árida, con un largo promedio anual de escorrentías de una profundidad de 77 mm y un volumen medio anual de superficie de agua de 58 millones de m<sup>3</sup>.

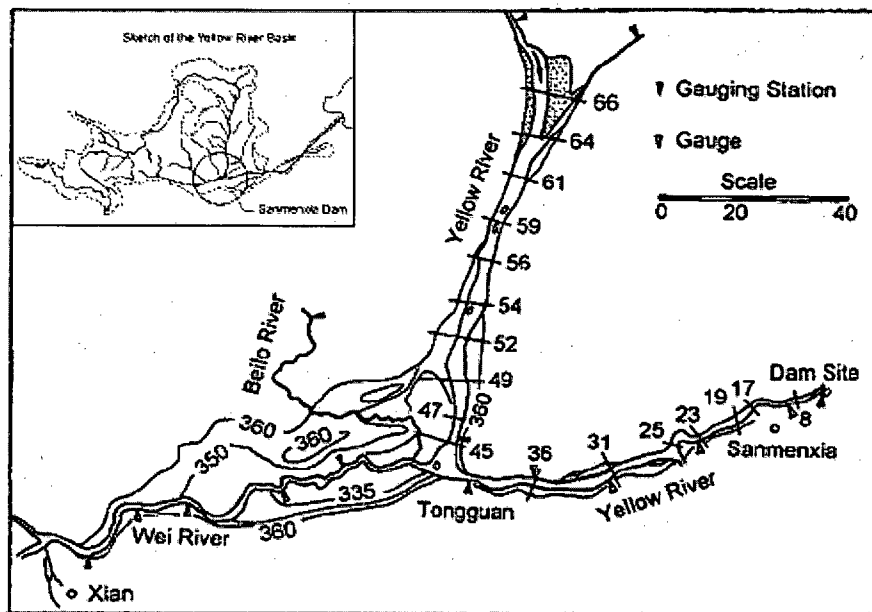


Figura 9. Vista de planta de la zona del río Wei objeto de estudio y del Reservorio de Sanmenxia

En el río Wei se presenta la misma problemática de toda la cuenca del río Amarillo y es que el agua escasea alarmantemente. No se dispone de datos específicos

correspondiente al río Wei pero los registros estadísticos de la década de los 90 del siglo 20 del río Amarillo indican que  $39,5 \times 10^9$  de  $m^3$  de agua fueron derivados del río, lo cual representa el 53% del total del volumen de agua que entra en el río, (Wu, 2003). La mayoría del agua extraída fue usada para la irrigación; esto representa un volumen de  $36,2 \times 10^9$  de  $m^3$  que son retiradas anualmente. Se estima que el flujo necesario para acarrear la carga de sedimentos que transporta el río varía entre  $20$  y  $24 \times 10^9$  de  $m^3$  lo cual representa el 40% del flujo anual. El agua del río es extraída sin importar que exista o no disponibilidad del recurso. Se estima que si el consumo de agua proveniente del río continua aumentando en un futuro cercano no habrá suficiente agua en el canal principal para transportar los sedimentos al mar.

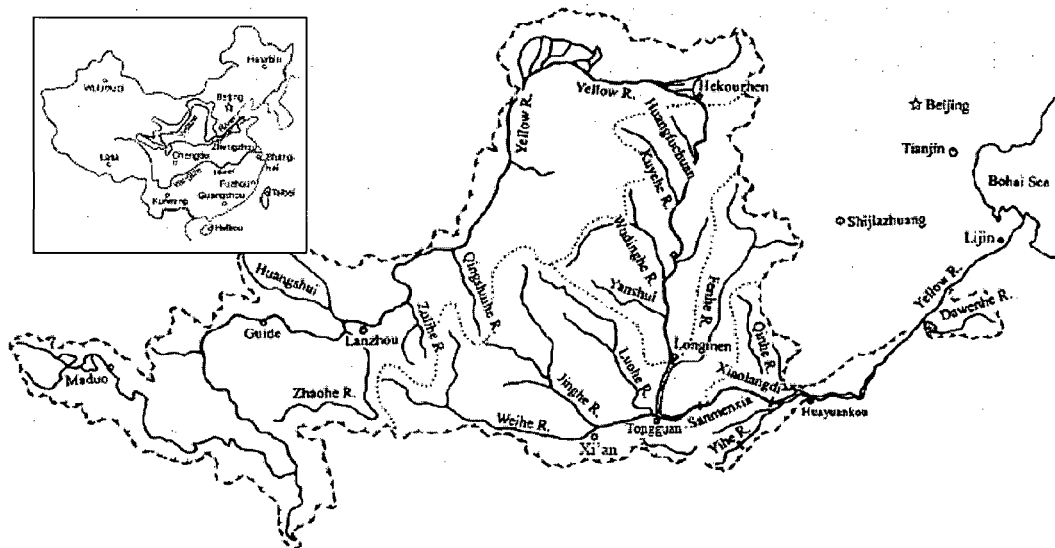


Figura 10. Plano esquemático de la cuenca del Río Amarillo segundo río más grande de China con una longitud de 5.464 km, y cuenta con un área de drenaje de 795.000 km<sup>2</sup>.

#### 4.3.1 Características hidráulicas y Geométricas del Río Wei

Los caudales medios mensuales de la sección del río Wei para las condiciones pre y post de la variación del flujo, fueron medidas en secciones ubicadas entre 42 y 72 km aguas arribas de Tongguan (figura 13), la ubicación de estas secciones en el río Wei se puede observar en el anexo 1. Los datos antes mencionados son el producto de mediciones diarias consecutivas durante los años 1992 y 1995 y representan las condiciones pre y post variación del flujo en el río Wei.

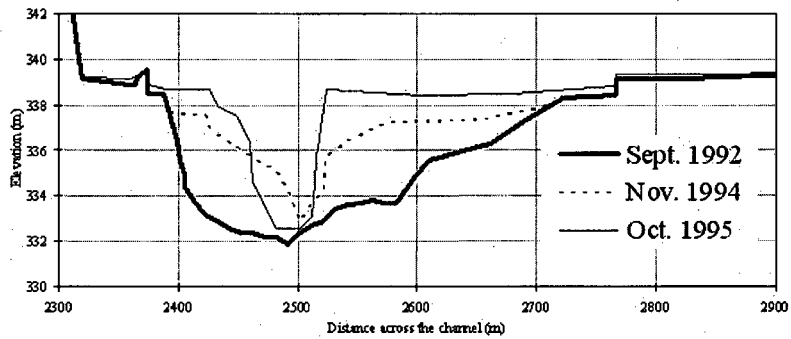


Figura 11. Perfil de la sección transversal N° 10 del río Wei a 42 Km de Tongguan.

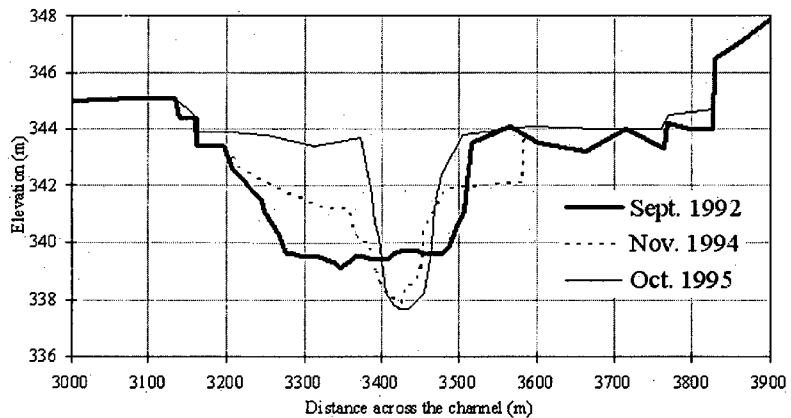


Figura 12. Perfil de la sección transversal N° 15 del río Wei a 75 Km de Tongguan.

Los valores de caudal medio mensual que se presentan en la tabla 5, son el resultado de mediciones diarias efectuadas para los años 1992 (condición inicial) y 1995 (condición final), respectivamente.

**TABLA 5. Caudales medios mensuales correspondientes a los años 1992 y 1995.**

| 1992    |                      |        |                      |            |                      |
|---------|----------------------|--------|----------------------|------------|----------------------|
| Mes     | Q(m <sup>3</sup> /s) | Mes    | Q(m <sup>3</sup> /s) | Mes        | Q(m <sup>3</sup> /s) |
| Enero   | 65,13                | Mayo   | 72,80                | Septiembre | 574,97               |
| Febrero | 28,78                | Junio  | 161,85               | Octubre    | 418,55               |
| Marzo   | 71,87                | Julio  | 163,38               | Noviembre  | 184,82               |
| Abril   | 78,98                | Agosto | 565,52               | Diciembre  | 38,21                |
| 1995    |                      |        |                      |            |                      |
| Mes     | Q(m <sup>3</sup> /s) | Mes    | Q(m <sup>3</sup> /s) | Mes        | Q(m <sup>3</sup> /s) |
| Enero   | 41,3                 | Mayo   | 29,818               | Septiembre | 94,43                |
| Febrero | 14,38                | Junio  | 14,615               | Octubre    | 69,197               |
| Marzo   | 29,761               | Julio  | 49,016               | Noviembre  | 36,206               |
| Abril   | 58,725               | Agosto | 202,9                | Diciembre  | 2,625                |

El gradiente del lecho del río correspondiente al tramo objeto de estudio del río Wei para el año 1992 es reportada como relativamente pequeña (Wu, 2003). Al carecer de datos medidos de la pendiente del lecho en la zona que se está estudiando, se estimó una aproximación de la misma usando las cotas del fondo del lecho que se observan en las figuras 11 y 12. La pendiente del lecho del río en una distancia de 33 Km, cae desde una elevación de 9 a 2 m, lo cual da una pendiente promedio de 0.000212m/m.

Análogamente al año 1992, la pendiente del lecho del río para 1995 en una distancia de 33 Km (ver figuras 11 y 12), cae desde una elevación de 7.8 a 2.5 m, lo cual da una pendiente promedio de 0.00016m/m. Es de hacer notar que al contrario a lo esperado la pendiente para la condición Post arrojo un valor menor a la calculada para la condición Pre. Al no disponer de otra data de pendiente del cauce para 1995 se considerará ésta como valor medido.

El ancho medio del lecho (b) medido en el río Wei fue de 200 m para 1992 y 47 m para 1995. Para determinarlo se tomó del perfil transversal del cauce que se muestra en la figura 12. Este fue considerado por parecer el corte transverso de una sección recta del río para todos los años que allí están representados, al contrario del perfil que corresponde al año 1992 (ver la figura 11) el cual parece ser el perfil de una curva.

#### 4.3.2 Características sedimentarias del río Wei.

La descripción sedimentológica correspondiente al río Wei, esta basada en mediciones diarias consecutivas de la carga de sedimentos que incluyen la carga lavada para los años 1992 y 1995 (ver anexo 5). En las mediciones antes mencionadas no se discriminan los porcentajes de arenas que la componen. Para el año 1992 es reportado en el río Wei una carga acumulada de sedimentos igual a 182,77 t/s, y para el año 1995 la carga de sedimentos acumulada fué de 89,08 t/s. De acuerdo a las mediciones de campo presentadas en el anexo 5, el río Wei presenta la particularidad que el 95,99 % (175,44 t/s) de toda la carga de sedimento acumulada durante el año 1992 ocurre durante los meses de junio, julio, agosto y septiembre. Para el año 1995 la carga acumulada durante estos mismos 4 meses representó el 99.01 % (87,33 t/s) del total anual.

Si se observan las graficas 13 y 14, se puede ver que existe correspondencia entre los caudales líquidos máximos reportados durante los años 1992 y 1995 y su caudal sólido asociado, por lo tanto se considera que los caudales (líquidos y sólidos) formativos del canal y los cuales finalmente imponen la morfología del canal ocurren en el río Wei durante 4 meses del año.

Por lo antes dicho en el modelo de variación de ancho y pendiente se usan los caudales sólidos y líquidos medios mensuales correspondientes a los meses de junio, julio, agosto y septiembre

Debido a que no se conoce la carga total de arena presente en las mediciones de sedimentos efectuadas en el río Wei, se determinó la carga de arena suspendida que es transportada por el río por el anexo 2, donde se presentan de forma detallada la distribución de la carga suspendida para los años 1992 y 1995 por tamaño y peso. Por medio del anexo 2 se encontró que para un flujo de sedimentos promedio de 44.45 t/s (incluyendo la carga lavada) correspondiente a los meses de junio, julio, agosto y septiembre, la proporción de arena en la carga suspendida fué de 8.73 %. De forma análoga este procedimiento se repite para 1995 en los mismos meses del año, encontrándose que para un flujo de sedimentos promedio de 22.05 t/s (incluyendo la carga lavada), la proporción de arena suspendida fue de 10.03 %. Por lo tanto la carga de arena suspendida promedio medida con los datos disponibles en los anexos 2 y 4 que es transportada por el río fué para 1992 de 3.88 t/s y 2.27 t/s para 1995.

**TABLA 6. Caudales sólidos con sus correspondientes porcentajes de arena suspendida.**

| 1992       | $Q_{st}$<br>(t/s) | $Q_{st}$<br>(kg/s) | Proporción de<br>arena suspendida | $Q_s$<br>(kg/s) | $Q_s$<br>(m <sup>3</sup> /s) |
|------------|-------------------|--------------------|-----------------------------------|-----------------|------------------------------|
| Enero      | 0,06916           | 69,16              | 16,96%                            | 11,728          | 0,00443                      |
| Febrero    | 0,01152           | 11,52              | 11,05%                            | 1,273           | 0,00048                      |
| Marzo      | 0,18990           | 189,90             | 11,81%                            | 22,435          | 0,00847                      |
| Abril      | 0,26800           | 268,00             | 11,30%                            | 30,284          | 0,01143                      |
| Mayo       | 1,35677           | 1356,77            | 5,66%                             | 76,852          | 0,02900                      |
| Junio      | 11,53710          | 11537,10           | 7,32%                             | 844,584         | 0,31871                      |
| Julio      | 16,90481          | 16904,81           | 8,46%                             | 1430,267        | 0,53972                      |
| Agosto     | 130,12161         | 130121,61          | 9,91%                             | 12901,175       | 4,86837                      |
| Septiembre | 19,24500          | 19245,00           | 9,23%                             | 1776,955        | 0,67055                      |
| Octubre    | 2,73774           | 2737,74            | 6,21%                             | 169,951         | 0,06413                      |
| Noviembre  | 0,39630           | 396,30             | 9,40%                             | 37,252          | 0,01406                      |
| Diciembre  | 0,00510           | 5,10               | 18,20%                            | 0,928           | 0,00035                      |

| 1995       | $Q_{st}$<br>(t/s) | $Q_{st}$<br>(kg/s) | Proporción de<br>arena suspendida | $Q_s$<br>(kg/s) | $Q_s$<br>(m <sup>3</sup> /s) |
|------------|-------------------|--------------------|-----------------------------------|-----------------|------------------------------|
| Enero      | 0,05042           | 50,42              | 13,91%                            | 7,015           | 0,0026474                    |
| Febrero    | 0,00543           | 5,43               | 11,55%                            | 0,627           | 0,0002366                    |
| Marzo      | 0,01932           | 19,32              | 20,00%                            | 3,865           | 0,0014583                    |
| Abril      | 0,23137           | 231,37             | 23,02%                            | 53,256          | 0,0200968                    |
| Mayo       | 0,04365           | 43,65              | 18,91%                            | 8,254           | 0,0031149                    |
| Junio      | 0,09610           | 96,10              | 9,80%                             | 9,418           | 0,0035539                    |
| Julio      | 17,58484          | 17584,84           | 13,30%                            | 2338,216        | 0,8823458                    |
| Agosto     | 62,92939          | 62929,39           | 10,21%                            | 6424,391        | 2,4242986                    |
| Septiembre | 7,59370           | 7593,70            | 7,91%                             | 600,377         | 0,2265573                    |
| Octubre    | 0,44765           | 447,65             | 20,34%                            | 91,056          | 0,0343609                    |
| Noviembre  | 0,07987           | 79,87              | 18,18%                            | 14,516          | 0,0054776                    |
| Diciembre  | 0,00026           | 0,26               | 0,00%                             | 0,000           | 0                            |

$Q_{st}$  es el flujo de sedimentos incluyendo la carga lavada y  $Q_s$  es el flujo de arena excluyendo la carga lavada.

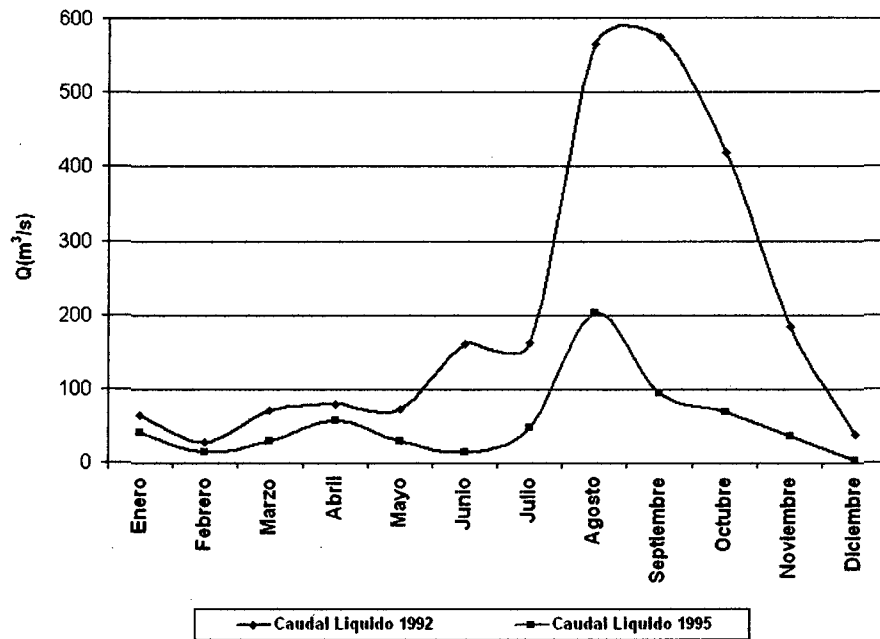


Figura 13. Representación gráfica de la condición Pre y Post de la variación del flujo en el río Wei. Caudal medio mensual (1992 y 1995)

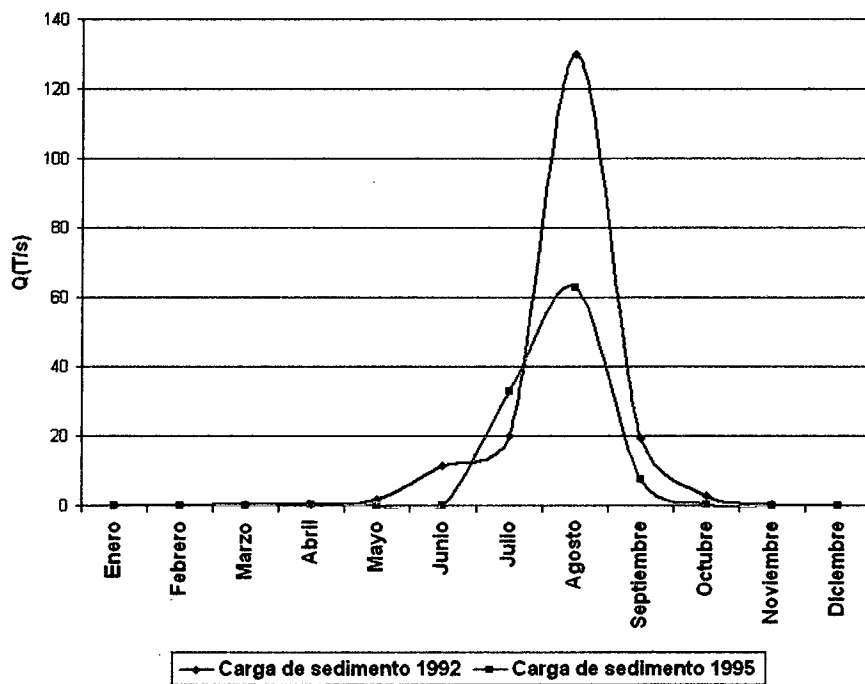


Figura 14. Representación gráfica de la condición Pre y Post de la variación del caudal sólido en el río Wei (1992 y 1995).

Para el caso de la carga de fondo que es transportada por el río Wei, no se contó con ningún dato medido que sirviera de referencia para determinarla. Por lo antes mencionado el transporte de arena en la carga de fondo para junio, julio, agosto y septiembre es determinado por el método de van Rijn.

El método de van Rijn es seleccionado porque permite calcular la carga de fondo ( $Q_b$ ) y la carga suspendida de arena ( $Q_s$ ) por separado. De esta forma la tasa de transporte volumétrico de sedimento en el fondo del lecho por unidad de ancho ( $q_b$ ), se obtiene de la formula (24) propuestas por van Rijn (1984a).

$$\frac{q_b}{\sqrt{(SG-1)gd_{50}^3}} = 0.053 \frac{T^{2.1}}{d_*^{0.3}}, \quad (23)$$

donde  $SG$  es la gravedad específica del sedimento ( $SG_{arena} = 2.65$ );  $g$  es la aceleración de la gravedad;  $d_{50}$  es el diámetro medio de la partícula;  $T$  es la variable que define el transporte de sedimentos,  $d_*$  es dado por (18).

$$T = \left( \frac{u'_*}{u_{*cr}} \right)^2 - 1, \quad (24)$$

$u'_*$  es la velocidad de corte de la partícula,  $u_{*cr}$  es la velocidad de corte crítica.

$$u'_* = \frac{V}{5.75 \log \frac{12R_H}{3d_{90}}}, \quad (25)$$

donde:  $R_H$  es el radio hidráulico (área del canal / perímetro mojado);  $d_{90}$  es un diámetro tal que 90% en peso de la muestra esta constituida por partículas menores que el  $d_{90}$ .

$$u_{*cr} = \left[ \frac{\tau_{cr}}{\rho} \right]^{\frac{1}{2}}, \quad (26)$$

donde:  $\tau_{cr}$  es igual al esfuerzo cortante crítico,  $\rho$  es la densidad del agua.

$$\frac{\tau_{cr}}{(\gamma_s - \gamma)d_s} = f \left( \frac{u_{*cr}d_s}{\nu} \right), \quad (27)$$

donde:  $(\gamma_s - \gamma)$  es el peso específico del material sumergido,  $d_s$  es el diámetro de la partícula de sedimento;  $\nu$  es la viscosidad cinemática.

La profundidad ( $d$ ) y la velocidad del flujo ( $V$ ) fueron calculadas iterativamente por (8) y (9), para los caudales medios mensuales mostrados en la Tabla 5 correspondientes a los meses de junio, julio, agosto y septiembre de 1992 y 1995. Para 1992 la pendiente longitudinal del cauce ( $S_o$ ) fue de 0.000212 m/m y el ancho del lecho ( $b$ ) de 200 m. En 1995  $S_o$  fue de 0.00016 m/m y el ancho del lecho ( $b$ ) de 47 m, los resultados de los cálculos se muestran en la tabla 7.

Los parámetros asociados a (8) y (9) que fueron calculados en el proceso para determinar  $V$  y  $d$  también son mostrados en la tabla 7, estos son; la velocidad de corte del lecho ( $u_*$ ) calculado por (10), el parámetro de Shields ( $\tau_*$ ) determinada por (14), el factor de fricción para flujo sobre sedimento fijo sobre el lecho ( $f_o$ ) calculado por (11), y el factor de fricción total del lecho ( $f$ ) calculado por (12),  $q_{so}$  se calculó por el predictor de arrastre definido en (8) y la velocidad del flujo determinada por el predictor de fricción definido en (9),  $d_*$  fue calculada por (18) y la velocidad de caída del sedimento ( $w_f$ ) por;  $w_f = \frac{8\nu}{d_{50}} \left[ (1 + 0.0139d_*)^{0.5} - 1 \right]$

**TABLA 7. Valores de las variables hidráulicas calculadas con las ecuaciones 8 y 9, correspondientes a los meses del año con mayor influencia en cuanto a la formación del cauce**

| 1992   |                          |            |                           |          |             |          |        |                    |       |      |                         |
|--------|--------------------------|------------|---------------------------|----------|-------------|----------|--------|--------------------|-------|------|-------------------------|
| Meses  | Q<br>(m <sup>3</sup> /s) | V<br>(m/s) | Area<br>(m <sup>2</sup> ) | d<br>(m) | u.<br>(m/s) | $\tau_*$ | $f_0$  | $\frac{\Delta}{d}$ | f     | d.   | w <sub>r</sub><br>(m/s) |
| Junio  | 161,85                   | 0,351      | 461,31                    | 1,884    | 0,063       | 1,782    | 0,010  | 0                  | 0,012 | 3,99 | 0,0175143               |
| Julio  | 163,38                   | 0,352      | 464,17                    | 1,894    | 0,063       | 1,791    | 0,010  | 0                  | 0,012 | 3,99 | 0,0175143               |
| Agosto | 565,52                   | 0,539      | 1047,75                   | 3,652    | 0,087       | 3,453    | 0,009  | 0                  | 0,011 | 3,99 | 0,0175143               |
| Sept   | 574,97                   | 0,543      | 1059,20                   | 3,682    | 0,088       | 3,482    | 0,009  | 0                  | 0,011 | 3,99 | 0,0175142               |
| 1995   |                          |            |                           |          |             |          |        |                    |       |      |                         |
| Meses  | Q<br>(m <sup>3</sup> /s) | V<br>(m/s) | Area<br>(m <sup>2</sup> ) | d<br>(m) | u.<br>(m/s) | $\tau_*$ | $f_0$  | $\frac{\Delta}{d}$ | f     | d.   | w <sub>r</sub><br>(m/s) |
| Junio  | 14,62                    | 0,244      | 60,26                     | 1,083    | 0,041       | 0,773    | 0,0115 | 0,277              | 0,042 | 3,99 | 1,75E-02                |
| Julio  | 49,02                    | 0,372      | 131,89                    | 2,075    | 0,057       | 1,480    | 0,0102 | 0,052              | 0,017 | 3,99 | 1,75E-02                |
| Agosto | 202,90                   | 0,615      | 330,18                    | 4,128    | 0,080       | 2,946    | 0,0907 | 0                  | 0,011 | 3,99 | 1,75E-02                |
| Sept   | 94,43                    | 0,469      | 201,40                    | 2,877    | 0,067       | 2,053    | 0,0097 | 0                  | 0,012 | 3,99 | 1,75E-02                |

Cuando el valor de la relación  $\frac{\Delta}{d} \leq 0$  es posible suponer  $u' = u_*$ , esto facilita el procedimiento de cálculo de  $T$  cuando no se dispone del  $d_{90}$  como dato. Como se muestra en la tabla 7, este principio no es valido para los meses de junio y julio de 1995, en vista que para esos periodos se forman dunas. Por lo tanto para el caso en que se presenten dunas y no se disponga del  $d_{90}$  como dato, el parámetro  $T$  se calculará por (28), propuesta por van Rijn (1985), la cual presenta la velocidad de la partícula como función del parámetro de transporte.

$$\frac{u_b}{[(SG-1)gd_{50}]^{0.5}} = 1.5T^{0.6}, \quad (28)$$

donde:  $u_b$  es la velocidad de la partícula y es determinada por (29) y  $T$  es el parámetro adimensional de transporte.

$$\frac{u_b}{u_*} = 10 - 7 \left[ \frac{\theta_{cr}}{\tau_*} \right]^{0.5}, \quad (29)$$

donde:  $u_*$  es la velocidad de corte del lecho y es determinada por (10),  $\tau_*$  es el parámetro de movilidad de la partícula, conocido como parámetro de Shields (14) y

$\theta_{cr}$  es el parámetro de movilidad crítico de la partícula de acuerdo a Shields y representado gráficamente en la figura 15.

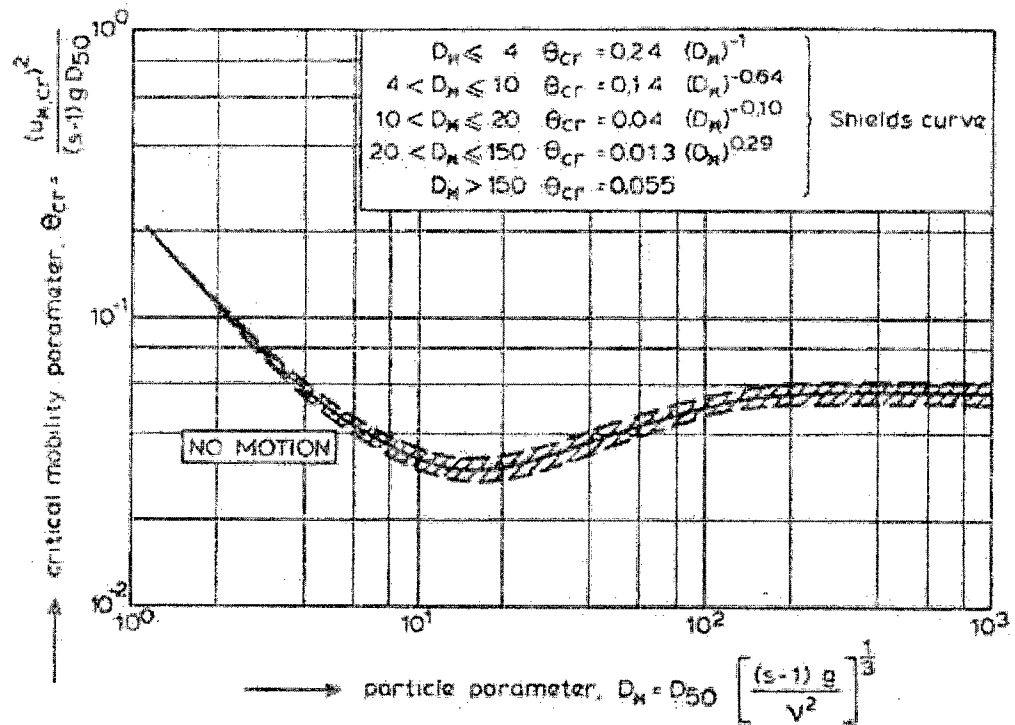


Figura 15. Diagrama de iniciación del movimiento de la partícula de Shields

Los resultados obtenidos de  $q_b$  (por unidad de ancho) a partir de la aplicación de la ecuación propuesta por van Rijn para obtener el caudal de fondo se muestran en la tabla 8.

TABLA 8. Resultados de la aplicación del método de van Rijn en el río Wei.

|   |                               |                             |                             |                             |
|---|-------------------------------|-----------------------------|-----------------------------|-----------------------------|
| Velocidad de la partícula ( $u_b$ )           | 0.588 m/s                     | 0.589 m/s                   | 0.833 m/s                   | 0.837 m/s                   |
| Parámetro de transporte del sedimento ( $T$ ) | 34.411                        | 34.570                      | 61.560                      | 62.009                      |
| Relación ( $\Delta/d$ )                       | 0.000                         | 0.000                       | 0.000                       | 0.000                       |
| Descarga de fondo ( $q_b$ )                   | 0.0003762 m <sup>2</sup> /s   | 0.0003799 m <sup>2</sup> /s | 0.0012761 m <sup>2</sup> /s | 0.0012957 m <sup>2</sup> /s |
| 1995  | Junio                         | Julio                       | Agosto                      | Septiembre                  |
| Velocidad de la partícula ( $u_b$ )           | 0.377 m/s                     | 0.536 m/s                   | 0.770 m/s                   | 0.637 m/s                   |
| Parámetro de transporte del sedimento ( $T$ ) | 16.414                        | 29.503                      | 53.960                      | 39.339                      |
| Relación ( $\Delta/d$ )                       | 0.064                         | 0.000                       | 0.000                       | 0.000                       |
| Descarga de fondo ( $q_b$ )                   | 0.000079484 m <sup>2</sup> /s | 0.0002723 m <sup>2</sup> /s | 0.0009676 m <sup>2</sup> /s | 0.0004983 m <sup>2</sup> /s |

**TABLA 9. Caudales sólidos (suspendidos, de fondo y totales) medidos y calculados en el río Wei.**

| 1992                           | Junio                      | Julio                      | Agosto                     | Septiembre                 |
|--------------------------------|----------------------------|----------------------------|----------------------------|----------------------------|
| $Q_s$ (VALOR MEDIDO)           | 0,31871 m <sup>3</sup> /s  | 0,53972 m <sup>3</sup> /s  | 4,86837 m <sup>3</sup> /s  | 0,67055 m <sup>3</sup> /s  |
| $Q_f$ (Valor calculado por vR) | 0,07524 m <sup>3</sup> /s  | 0,07597 m <sup>3</sup> /s  | 0,25521 m <sup>3</sup> /s  | 0,25914 m <sup>3</sup> /s  |
| $Q_t$                          | 0,393947 m <sup>3</sup> /s | 0,615695 m <sup>3</sup> /s | 5,123583 m <sup>3</sup> /s | 0,929685 m <sup>3</sup> /s |
| 1995                           | Junio                      | Julio                      | Agosto                     | Septiembre                 |
| $Q_s$ (VALOR MEDIDO)           | 0,003554 m <sup>3</sup> /s | 0,882346 m <sup>3</sup> /s | 2,535952 m <sup>3</sup> /s | 0,226557 m <sup>3</sup> /s |
| $Q_f$ (Valor calculado por vR) | 0,003736 m <sup>3</sup> /s | 0,012798 m <sup>3</sup> /s | 0,045478 m <sup>3</sup> /s | 0,023419 m <sup>3</sup> /s |
| $Q_t$                          | 0,007290 m <sup>3</sup> /s | 0,895144 m <sup>3</sup> /s | 2,581430 m <sup>3</sup> /s | 0,249976 m <sup>3</sup> /s |

El tamaño medio de la partícula  $d_{50}$  estimado en el río Wei para el año 1992 fue 0.1358 mm (ver tabla 11) y 0.0328 mm para el año 1995. Estos  $d_{50}$  fueron determinados realizando interpolaciones con los datos presentados en la tabla 12. Los datos presentados en esta tabla son el resultado de mediciones mensuales no consecutivas efectuadas en los años 1992 y 1995 respectivamente.

De acuerdo a la clasificación de tamaños de partículas de sedimentos (ver anexo 3) el  $d_{50}$  estimado para 1992 califica como arena muy fina y el  $d_{50}$  estimado para 1995 es considerado como limo, lo cual significa que en las muestras medidas ese año no se reportó presencia de arena. Como la mayoría de las formulas de fricción y en particular la que se usa en este trabajo están calibradas para trabajar con arenas, se considerará para los efectos de cálculos el mismo  $d_{50}$  (0.1358 mm) tanto para la condición pre (1992) como para la condición post (1995).

Ejemplo de interpolación

**TABLA 10. Ejemplo para 1992 de los datos necesarios para realizar la interpolación para hallar el  $d_{50}$  de la partícula.**

| Año  | No | Mes | Día | % de Sedimentos |      |      | Diámetro de la partículas (mm) |      |      |
|------|----|-----|-----|-----------------|------|------|--------------------------------|------|------|
|      |    |     |     | 16.0            | 63.4 | 86.4 | 0.05                           | 0.10 | 0.25 |
| 1992 | 1  | 3   | 6   | 16.0            | 63.4 | 86.4 | 0.05                           | 0.10 | 0.25 |

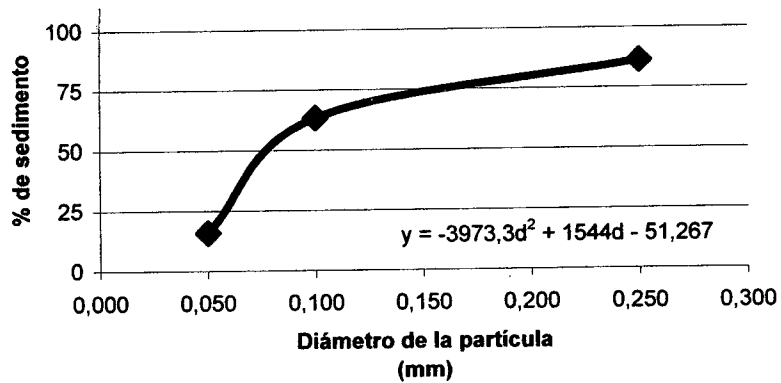


Figura 16. Representación gráfica de los datos presentados en la tabla 4, y en la cual se muestra la ecuación polinómica de 2° grado correspondiente a la línea de tendencia de la gráfica que es usada para efectuar la interpolación.

$$d^2 - 0.3886d + \frac{(51.267 - \% \text{ de sedimentos})}{3973.3} = 0$$

para un % de sedimentos = 50  $\Rightarrow d^2 - 0.3886d + 0.0255 = 0$

Ecuación de 2° Grado.

$$ad^2 + bd + c = 0; \quad x = \frac{-b \pm \sqrt{b^2 - 4 \times a \times c}}{2 \times a}$$

Por medio de la ecuación de 2° Grado se obtienen dos valores de "d" donde:  $d = 0.0832$  satisface la solución del problema. Este procedimiento se repitió tanto para las mediciones hechas para el año 1992 y 1995, y, los resultados de 1992 se presentan en la tabla 11.

**TABLA 11. Resultados de interpolaciones hechas para 1992, para obtener  $d_{50}$ .**

| Año  | N° | Mes | Día | Ecu. de la línea de tendencia usada para la interpolación (% de sedimentos = 50) | $d_{50}$ (mm)                |
|------|----|-----|-----|--|------------------------------|
| 1992 | 1  | 1   | 6   | $d^2 - 0.3866d + \frac{(51.267 + \% \text{ de sedimentos})}{3973.3} = 0$         | 0,0835                       |
| 1992 | 2  | 6   | 7   | $d^2 - 0.4831d + \frac{(3.383 + \% \text{ de sedimentos})}{1056.7} = 0$          | 0,15307                      |
| 1992 | 3  | 7   | -   | $d^2 - 0.4449d + \frac{(18 + \% \text{ de sedimentos})}{1580} = 0$               | 0,14213                      |
| 1992 | 4  | 8   | 8   | $d^2 - 0.4191d + \frac{(3.533 + \% \text{ de sedimentos})}{1166.7.7} = 0$        | 0,19629                      |
| 1992 | 5  | 9   | -   | $d^2 - 0.4035d + \frac{(19.183 + \% \text{ de sedimentos})}{2216.7} = 0$         | 0,10430                      |
|      |    |     |     |  | $\overline{d_{50}} = 0.1358$ |

**TABLA 12. Distribución de material por tamaño en el lecho.**

| Year | No | Month | Day | Bed material size distribution at Huaxian station,<br>Percentage finer by weight<br>D(mm) |      |       |      |      |      |      |      |      |      |
|------|----|-------|-----|---|------|-------|------|------|------|------|------|------|------|
|      |    |       |     | 0,005   | 0,01 | 0,025 | 0,05 | 0,1  | 0,25 | 0,5  | 1    | 2    | 5    |
|      |    |       |     | 1992  | 1    | 3     | 6    | 25   | 2,5  | 4,1  | 16   | 63,4 | 86,4 |
| 1992 | 2  | 6     | 7   | 18  | 4,2  | 8,4   | 19,5 | 37,1 | 58,2 | 88,1 | 98,1 | 99,9 | 100  |
| 1992 | 3  | 7     |     | 27  | 4,6  | 6,6   | 13,2 | 35,6 | 59   | 80   | 98,2 | 100  |      |
| 1992 | 4  | 8     | 8   | 11  | 6,3  | 9,4   | 18   | 33,7 | 45,8 | 62,5 | 91   | 99,4 | 100  |
| 1992 | 5  | 9     |     | 14  | 5,6  | 8,7   | 20   | 48,1 | 65,9 | 77   | 91,4 | 99,7 | 100  |
| 1992 | 6  | 10    | 9   | 1   | 2,6  | 3,8   | 8,2  | 20,8 | 29,1 | 49,1 | 82,4 | 99   | 100  |
| 1995 | 1  | 6     | 12  | 9,4   | 14,7 | 32,7  | 63,2 | 82   | 90,7 | 98,3 | 100  |      |      |
| 1995 | 2  | 7     | 16  | 14,6  | 20   | 40    | 71,8 | 96,7 | 98,1 | 99,6 | 100  |      |      |
| 1995 | 3  |       | 16  | 21,2  | 27,6 | 51,1  | 81,6 | 96,2 | 97,7 | 99,5 | 100  |      |      |
| 1995 | 5  |       | 21  | 11,4  | 16,3 | 37,5  | 76,4 | 99,6 | 100  |      |      |      |      |
| 1995 | 6  | 8     | 3   | 10,7  | 17,6 | 43,8  | 83,8 | 99,4 | 99,8 | 99,9 | 100  |      |      |
| 1995 | 7  |       | 13  | 11,7  | 20,3 | 54    | 89,3 | 99,5 | 99,9 | 100  |      |      |      |
| 1995 | 8  |       | 18  | 12,3  | 20,2 | 45,9  | 79,9 | 95,6 | 96,7 | 98,6 | 99,9 | 100  |      |
| 1995 | 10 | 9     | 13  | 9,2   | 13,8 | 30,5  | 3,4  | 68,1 | 74,3 | 89,7 | 99,7 | 100  |      |
| 1995 | 11 |       | 22  | 4,3   | 7,2  | 18,8  | 44,6 | 63,1 | 72   | 94   | 99,9 | 100  |      |
| 1995 | 12 | 10    | 8   | 5,3   | 9,1  | 23,4  | 46,9 | 61,8 | 71,7 | 93,3 | 99,8 | 100  |      |

#### 4.3.3 Resultados de la Aplicación del Modelo Propuesto en el río Wei.

Las formulas de fricción usadas para determinar los arrastres sólidos no funcionaron adecuadamente cuando fueron aplicadas en este caso, debido a la gran magnitud de los arrastres sólidos transportados por el Wei. Por tal razón para el cálculo de los

caudales unitarios líquidos y sólidos se utilizó la data proveniente de mediciones diarias consecutivas efectuadas en el río Wei en los años 1992 y 1995. Suponiendo que el gráfico  $q_s$  vs.  $q_l$  de 1992 (ver figura 17) es valido para 1995, se implementó el procedimiento de calculo indicado en la figura 2, ajustándolo de la siguiente forma:

1. Se preparó un grafico  $q_l = q_l(q_s)$  para los meses más activos de 1992 (figura 17).
2. En 1995 y para cada  $q_s$  correspondiente a los meses más activos del año, se obtiene del grafico  $q_l = q_l(q_s)$ , el correspondiente valor de  $q_l$  y se calcula un valor promedio  $\bar{q}_{l2}$ .
3. Se estima el próximo ancho como  $b^{i+1} = \frac{Q_{ma2}}{q_{l2}}$ , siendo  $Q_{ma2}$  el caudal medio mensual correspondiente a los meses más activos del año 1995 y que es un dato medido en campo.
4. Con el nuevo  $b$  se efectúan los cálculos hidráulicos ( $\bar{v}$  y  $d$ ) con la última pendiente  $S_2$  disponible, y de nuevo se estima  $S_2^{i+1} = \frac{d_1 S_1}{d_2}$ .
5. Para cada mes se calculan, los  $q_s = \frac{Q_{mas}}{b^{i+1}}$ , siendo  $Q_{mas}$  el caudal sólido medio correspondiente a los meses mas activos del año 1992 y que es un dato medido en campo.
6. Se regresa al paso 1, hasta lograr la convergencia de la anchura ( $b$ ) del cauce.

Al aplicar el procedimiento arriba mencionado con la data disponible del río Wei se obtuvieron los siguientes resultados: el ancho del fondo del cauce se redujo desde 200 m a 60 m vs un ancho observado de 47 m después de 3 años de reducciones de flujo.

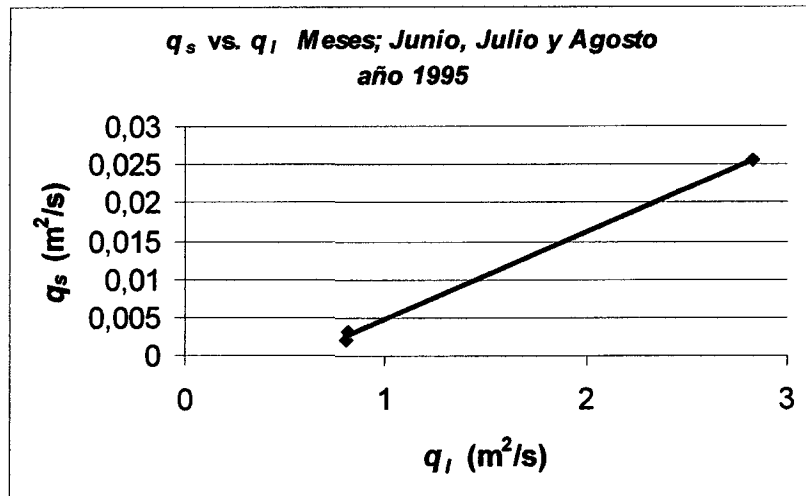


Figura 17. Gráfico  $q_s$  vs.  $q_l$  de 1992, correspondiente a los meses más activos del año 1992 en cuanto a transporte de sedimentos.

Al igual que en el caso del brazo Rosetta la pendiente longitudinal se incremento de 0.000212 m/m a 0.00033 m/m. Tal como era esperado la pendiente longitudinal en el fondo del cauce se incremento en relación con la pendiente del cauce en la condición Pre, pero no se disponen de mediciones de campo de la pendiente longitudinal del cauce para efectuar una comparación de lo calculado vs. lo medido.

Datos de la condición Pre.

$Q_{líquido}$  ( $m^3/s$ ) = 366.4, caudal medio para los meses junio, julio, agosto y septiembre del año 1992.

$Q_{sólido}$  ( $m^3/s$ ) = 2.264, caudal medio para los meses junio, julio, agosto y septiembre del año 1992.

$d_{50}$  (mm) = 0.13588

TABLA 13. Geometría Media para el río Wei en 1992

|                      | Valor Medido |
|----------------------|--------------|
| <b>b</b>             | 200 m        |
| <b>d</b>             | 5.85 m       |
| <b>S<sub>o</sub></b> | 0.000212 m/m |

Datos de la condición Post.

$Q_{\text{líquido}} \text{ (m}^3\text{/s)} = 90.23$ , caudal medio para los meses junio Julio y Agosto del año 1995.

$Q_{\text{sólido}} \text{ (m}^3\text{/s)} = 0.933$ , caudal medio para los meses junio, julio, agosto y septiembre del año 1995.

$d_{50} \text{ (m)} = 0.13588$

**TABLA 14. Geometría Media para el río Wei en 1995**

|                      | <b>Valor Medido</b> | <b>Valor Calculado</b> |
|----------------------|---------------------|------------------------|
| <b>b</b>             | 47 m                | 60 m                   |
| <b>S<sub>o</sub></b> | 0.00016 m/m         | 0.00033 m/m            |

**CAPITULO V**

**RADIO DE CURVATURA DE MEANDROS A PARTIR DEL ESFUERZO  
CORTANTE CRITICO SOBRE LAS MARGENES**

## 5 RADIO DE CURVATURA DE MEANDROS A PARTIR DEL ESFUERZO CORTANTE CRITICO SOBRE LAS MARGENES

El concepto de esfuerzo cortante crítico sobre las márgenes es aplicado a un cauce inicialmente recto que desarrolla meandros (arcos circulares). El análisis estará restringido a un elemento de arco de tramo curvo de un canal, tal como es delineado en la figura 18, y donde se supone que el flujo secundario está totalmente desarrollado. Este canal se supone de ancho base ( $B$ ) constante y lecho arenoso y la pendiente longitudinal ( $S_m$ ) a nivel del lecho se considera constante a todo lo largo del eje central curvo del cauce. El flujo será tratado como pseudo uniforme, es decir que sus características no variarán significativamente a lo largo del círculo con radio y pendiente constante a lo ancho del meandro, a excepción del flujo secundario. El eje vertical  $z$  pasa a través del centro de curvatura del cauce y es positivo en la dirección opuesta a la gravedad

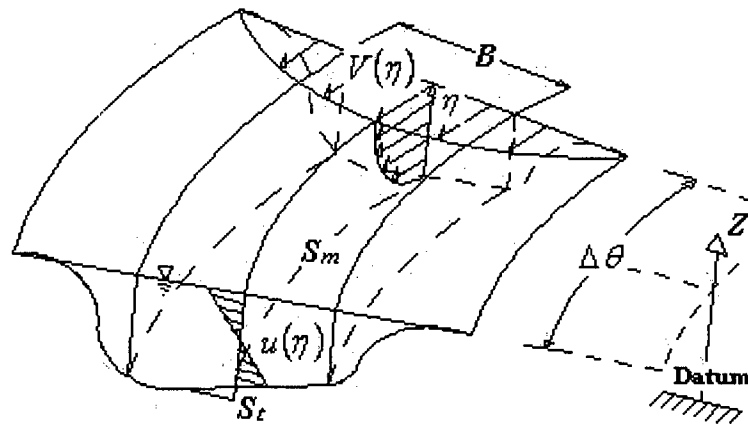


Figura 18. Esquema para el flujo en un canal curvo.

Para establecer algunas relaciones entre los flujos en cauce recto y meandroso, y de acuerdo a la ecuación de Manning se determina la velocidad media del flujo ( $V_o$ ), en el cauce inicialmente recto a partir de variables conocidas ( $R_H$ ,  $S_o$  y  $n_o$ ). Para los

efectos de los cálculos aquí presentados se hace  $R_H \approx d_o$ , donde  $R_H$  es el radio hidráulico del canal recto y  $d_o$  es la profundidad media sobre el lecho activo. Luego

$$V_o = \frac{d_o^{\frac{2}{3}} S_o^{\frac{1}{2}}}{n_o}, \quad (30)$$

donde  $S_o$  es la pendiente longitudinal del cauce inicialmente recto y  $n_o$  es el coeficiente de rugosidad de la fórmula de Manning del lecho activo.

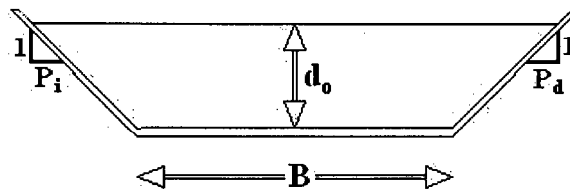


Figura 19. Vista frontal del cauce inicialmente recto hacia aguas abajo

El área de cauce inicialmente recto se determina suponiendo una geometría trapezoidal por medio de la siguiente expresión, ver figura 19:

$$A_o = B \times d_o + d_o^2 \left( \frac{P_i + P_d}{2} \right) = B \times d_o + \bar{P} d_o^2 \quad (31)$$

Por continuidad se tiene:

$$Q = V_o A_o \quad (32)$$

donde:  $B$  es el ancho base del canal inicialmente recto;  $P_i$  es la pendiente media del talud de la margen izquierda;  $P_d$  es la pendiente media del talud de la margen derecha y  $\bar{P} = \left( \frac{P_i + P_d}{2} \right)$ .

Como se observa en la figura 20, la longitud del cauce recto y la longitud de onda del meandro correspondiente se pueden relacionar por simple inspección trigonométrica, tal como se muestra en las ecuaciones (33) y (34). Ambas relaciones están en función del radio y del ángulo de deflexión ( $\alpha$ ) del meandro.

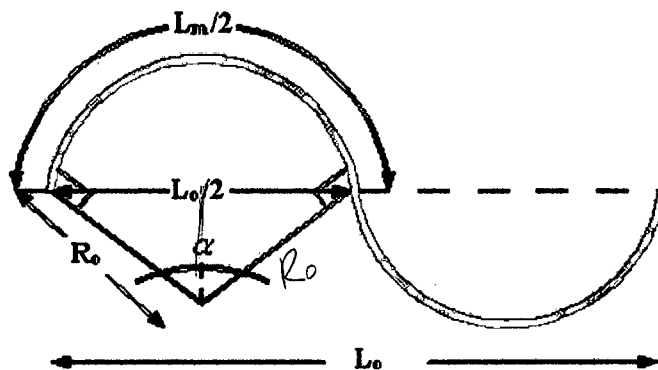


Figura 20. Vista en planta del flujo en un canal sinusal

$$\frac{L_m}{2} = R_o \alpha \quad (33)$$

$$\left(\frac{L_o}{2}\right) \frac{1}{2} = R_o \text{Sen}\left(\frac{\alpha}{2}\right) \quad (34)$$

Por igualdad periódica de descensos del lecho se tiene que:  $S_m\left(\frac{L_m}{2}\right) = S_o\left(\frac{L_o}{2}\right) \Rightarrow$

$$S_m = S_o \frac{2\text{Sen}\left(\frac{\alpha}{2}\right)}{\alpha} = S_o F_\alpha, \quad (35)$$

tal que  $F_\alpha = \frac{2\text{Sen}\left(\frac{\alpha}{2}\right)}{\alpha}$ , donde:  $L_m$  es la longitud de onda a lo largo del cauce curvo;  $L_o$  es la longitud correspondiente del cauce recto;  $R_o$  es el radio de curvatura central del meandro.

A partir de condiciones iniciales conocidas inherentes al cauce originalmente recto y que están resumidas en las ecuaciones (30) y (31) así como en la figura (19) se intenta determinar el radio y el ángulo de deflexión de un meandro circular. Se supone que  $n_m = n_o$ , donde:  $n_m$  es el coeficiente de rugosidad de Manning de lecho del meandro y que su ancho del lecho activo es  $B_m \cong B$ .

Bajo la hipótesis de que el flujo del río correspondiente al caudal medio anual se mantiene constante antes y después del proceso de meandro ( $Q_o \cong Q_m$ ). Entonces se pueden igualar los caudales en el cauce recto y meandroso que son dados por (36) y (37) respectivamente (despreciando el efecto de la pendiente transversal del lecho,  $S_t \ll 1$ ).

$$Q_o \approx A_o V_o = d_o \left[ B + d_o \left( \frac{P_i + P_d}{2} \right) \right] \times \frac{d_o^{\frac{2}{3}} S_o^{\frac{1}{2}}}{n_o} \quad (36)$$

$$Q_m = Q_o \approx A_m V_m = d_m \left[ B_m + d_m \left( \frac{P_i + P_d}{2} \right) \right] \times \frac{d_m^{\frac{2}{3}} S_m^{\frac{1}{2}}}{n_m} \quad (37)$$

$A_m$  = área del cauce curvo.

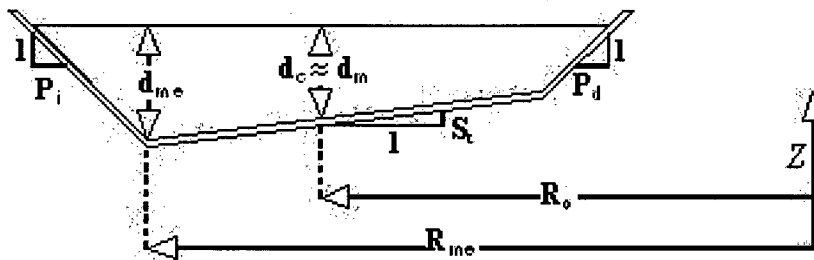


Figura 21. Sección Transversal en Cauce Curvo

Como se muestra en la figura (21) la geometría del cauce se modifica una vez formado el meandro, creándose nuevas variables como la pendiente transversal del

lecho del cauce curvo ( $S_c$ ), la profundidad del flujo en la margen externa del cauce curvo ( $d_{me}$ ) y la profundidad del flujo en el punto medio del cauce curvo ( $d_m$ ). Las pendientes de los taludes de las márgenes se suponen constantes antes y después del meandro.

Igualando (36) y (37) se tiene que:

$$(B + \bar{P}d_o) \frac{d_o^{\frac{5}{3}} S_o^{\frac{1}{2}}}{n_o} = (B + \bar{P}d_m) \frac{d_m^{\frac{5}{3}} S_m^{\frac{1}{2}}}{n_o}, \quad (38)$$

de la cual resulta, utilizando (35)

$$\frac{(B + \bar{P}d_m) d_m^{\frac{5}{3}}}{(B + \bar{P}d_o) d_o^{\frac{5}{3}}} = \left( \frac{S_o}{S_m} \right)^{\frac{1}{2}} = \left[ \frac{\alpha}{2 \sin\left(\frac{\alpha}{2}\right)} \right]^{\frac{1}{2}} = \left( \frac{1}{F_\alpha} \right)^{\frac{1}{2}} \quad (40)$$

Se tiene que  $d_m = d_o + \Delta d$ ; donde  $\Delta d \ll d_o$ , luego:

$$\frac{B + \bar{P}d_m}{B + \bar{P}d_o} = \frac{B + \bar{P}d_o + \bar{P}\Delta d}{B + \bar{P}d_o} = 1 + \frac{\bar{P}\Delta d}{B + \bar{P}d_o} = 1 + \frac{\frac{\Delta d}{d_o}}{\frac{B}{\bar{P}d_o} + 1} \approx 1$$

De acuerdo a la aproximación anterior (40) se puede escribir de la siguiente forma:

$$\frac{d_m}{d_o} = \left[ \frac{\alpha}{2 \sin\left(\frac{\alpha}{2}\right)} \right]^{\frac{3}{10}} = \frac{1}{F_\alpha^{\frac{3}{10}}} \quad (41)$$

Dividiendo la velocidad asociada al cauce recto  $\left( V_o = \frac{d_o^{\frac{2}{3}} S_o^{\frac{1}{2}}}{n_o} \right)$  con la propia del

cauce meandroso  $\left( V_m = \frac{d_m^{\frac{2}{3}} S_m^{\frac{1}{2}}}{n_o} \right)$  se tiene:

$$\frac{V_m}{V_o} = \left( \frac{d_m}{d_o} \right)^{\frac{2}{3}} \left( \frac{S_m}{S_o} \right)^{\frac{1}{2}} = F_\alpha^{-\frac{3}{10} \times \frac{2}{3}} F_\alpha^{\frac{1}{2}} = F_\alpha^{\frac{3}{10}} \quad (42)$$

De acuerdo a Lane (1955) y Knight (1992) el esfuerzo cortante promedio sobre las márgenes es expresable como:

$$k\gamma d_o S_o$$

Por otra parte, si se aplica el método de Einstein (1950) se tiene que dicho esfuerzo es,

$$\gamma r_m S_o = \gamma \left( \frac{V_o n_M}{\sqrt{S_o}} \right)^{\frac{3}{2}} S_o,$$

donde:  $n_M$  es el coeficiente de Manning,  $r_M$  es su radio hidráulico y  $\gamma$  es el peso específico del agua.

Luego se tiene que el coeficiente análogo al de Lane (1957) es;

$$k = \frac{\left( \frac{V_o n_M}{\sqrt{S_o}} \right)^{\frac{3}{2}}}{d_o} \quad (43)$$

### 5.1 Balance De Fuerzas Longitudinales

Una vez deducidas las ecuaciones que definen las condiciones hidráulicas para el cauce curvo, se aplica la ecuación de cantidad de movimiento en la dirección longitudinal para un volumen de control adyacente a la margen exterior del cauce curvo (ver figura 22) para obtener una relación que incluya el radio de curvatura.

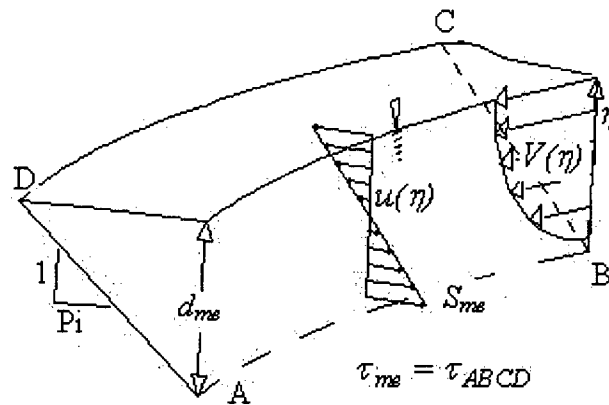


Figura 22. Esquema indicativo del balance de fuerzas longitudinales para un volumen de control adyacente a la margen exterior del cauce curvo

La pendiente del talud de la margen que se utiliza en el modelo aquí expuesto es la correspondiente a la de la margen externa del cauce curvo en este caso  $P_i$ , tal como se muestra en la figura 21. Si  $P_i = 0$  entonces  $\rho \int_0^{d_{me}} (uv)_{me} dz$  se calcula a una distancia  $d_{me}$  de la margen.

$$-\tau_{me} d_{me} R_{me} \sqrt{1 + P_i^2} \Delta\theta + \gamma d_{me}^2 \frac{P_i}{2} S_{me} R_{me} \Delta\theta = -R_{me} \rho \int_0^{d_{me}} (uv)_{me} dz \Delta\theta \quad (44)$$

donde:  $R_{me}$  es el radio de curvatura medido hasta el pie de la margen externa del cauce curvo.  $R_{me} = \left( R_o + \frac{B}{2} \right)$ ,  $d_{me}$  es la profundidad del flujo al pie de la margen externa del cauce curvo,  $\tau_{me}$  es el esfuerzo cortante longitudinal promedio sobre la

margen externa del cauce curvo y  $S_{me}$  es la pendiente longitudinal del cauce curvo a lo largo de  $R = R_{me}$ .

En la ecuación (44) el primer término del miembro izquierdo  $(\tau_{me} d_{me} R_{me} \sqrt{1 + P_i^2} \Delta\theta)$  representa la resistencia cortante, el segundo  $(\gamma d_{me}^2 \frac{P_i}{2} S_{me} R_{me} \Delta\theta)$  es la componente de peso paralela, localmente, al lecho; y el miembro derecho de (44) representa el eflujo neto de cantidad de movimiento. Este se expresa en función de  $\eta$  de la siguiente forma:

$$R_{me} d_{me} \rho \Delta\theta \int_0^1 (uv)_{me} d\eta. \quad (45)$$

La distribución vertical de la componente longitudinal de velocidad en el meandro según Nunner (Hinze, 1959), es dada por:

$$v(\eta) = V_{\max} \eta^{\frac{1}{n}} = V_m \left( \frac{n+1}{n} \right) \eta^{\frac{1}{n}} \quad (46)$$

donde:  $n = \frac{1}{\sqrt{f}}$  es el coeficiente de Nunner (valido para  $f < 0.1$ ).

La distribución vertical de la componente radial de velocidad,  $u(\eta)$ , para flujo completamente desarrollado es dada por Falcón y Kennedy (1983, ver ecuación 17) en la figura 23. En esta figura se puede observar cuatro valores de  $n$  que abarcan una banda muy ancha que va desde canales muy rugosos ( $n = 2,5; f = 0,16$ ) hasta canales relativamente lisos ( $n = 10; f = 0,01$ ). De dicha figura también se deduce que para

valores altos de  $n$ , el perfil de velocidad ( $u$ ) es prácticamente lineal excepto cerca del lecho, donde  $u = 0$ . Para mas detalles ver Falcón (1984).

$$\frac{u r}{Vd} = G(n, \eta) \quad (47)$$

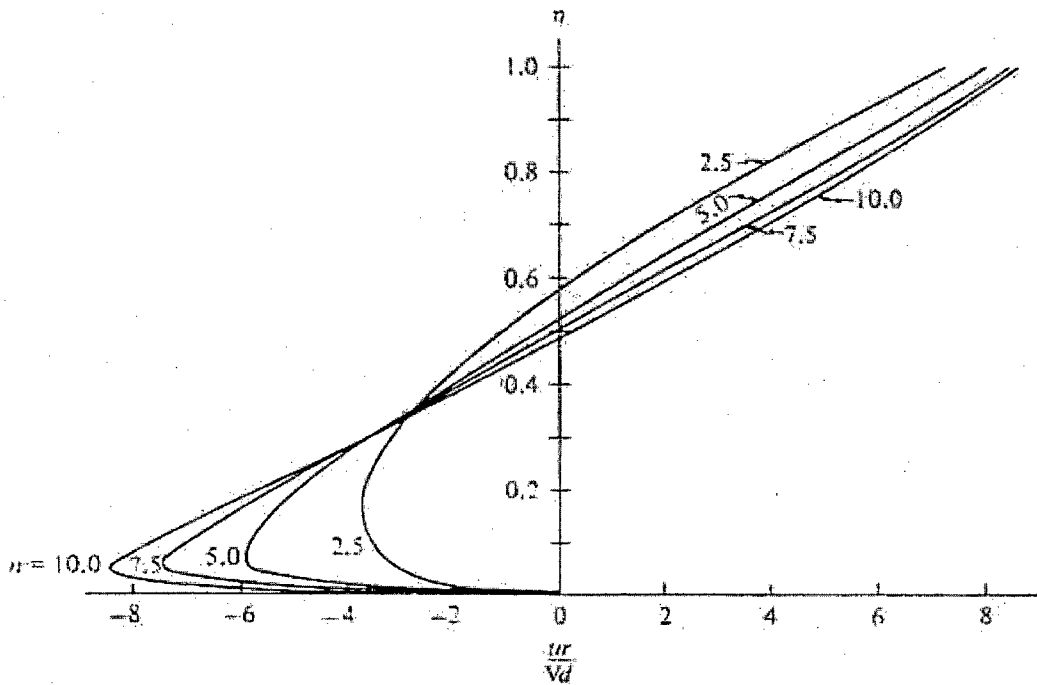


Figura 23. Distribución vertical de la componente de velocidad transversal (radial) del flujo secundario dado por (46)

Debido a que el análisis es aplicado cerca de la margen externa del cauce curvo  $u$  se re-escribe de la siguiente forma:

$$u_{me} = V_{me} \frac{d_{me}}{R_{me}} G(n, \eta) \quad (48)$$

entonces;

$$\int_0^1 (uv)_{me} = \int_0^1 V_{me} \frac{d_{me}}{R_{me}} G(n, \eta) V_{me} \left( \frac{n+1}{n} \right) \eta^{\frac{1}{n}} d\eta \quad (49)$$

Sustituyendo (49) en (45) y simplificando

$$R_{me} d_{me} \rho \Delta \theta \int_0^1 (uv)_{me} d\eta = d_{me}^2 V_{me}^2 \left( \frac{n+1}{n} \right) \rho \Delta \theta \int_0^1 G(n, \eta) \eta^{\frac{1}{n}} d\eta \quad (50)$$

donde;  $\int_0^1 G(n, \eta) \eta^{\frac{1}{n}} d\eta$  fue calculada por Falcón y Kennedy (1983) y se grafica en la figura 24.

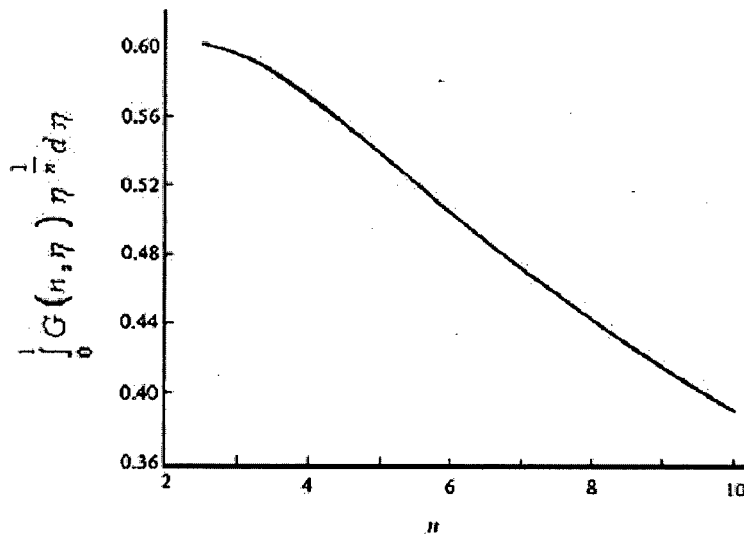


Figura 24. Variación de  $\int_0^1 G(n, \eta) \eta^{\frac{1}{n}} d\eta$  en función de  $n$ .

Se tiene que para el flujo completamente desarrollado en una curva se cumplen (51) y (52)

$$S_{me} R_{me} = S_m R_o \Rightarrow S_{me} = \frac{S_m R_o}{R_{me}} \quad (51)$$

$$d_{me} = d_m + \frac{B}{2} S_t \quad (52)$$

donde  $S_t$  es la Pendiente media transversal del cauce curvo para el flujo secundario completamente desarrollado, definida subsecuentemente.

Sustituyendo (51) en la expresión de la componente de peso adyacente a la margen externa y simplificando, resulta:

$$\gamma d_{me}^2 \frac{P_i}{2} S_{me} R_{me} \Delta\theta = \gamma \frac{P_i}{2} S_m R_o d_{me}^2 \Delta\theta \quad (53)$$

Sustituyendo (50) y (53) en (44) se despeja  $\tau_{me}$  y simplificando la ecuación.

$$\tau_{me} = \frac{\gamma \frac{P_i}{2} S_m R_o d_{me} + \rho d_{me} V_{me}^2 \left( \frac{n+1}{n} \right) \int_0^1 G(n, \eta) \eta^{\frac{1}{n}} d\eta}{R_{me} \sqrt{1 + P_i^2}} \quad (54)$$

Ahora se aplica la hipótesis central planteada en este trabajo que consiste en que el esfuerzo cortante longitudinal sobre las márgenes del cauce recto correspondiente al caudal formativo (por ejemplo; el caudal medio anual), es igual a la resistencia crítica del material de margen y será la que existe en la sección de máximo esfuerzo cortante cuando el meandro llegue a su condición de equilibrio final.

De acuerdo a la hipótesis arriba citada (54) se puede plantear de la siguiente forma:

$$\tau_{me} = k\gamma d_o S_o = \frac{\gamma \frac{P_i}{2} S_m R_o d_{me} + \rho d_{me} V_{me}^2 \left( \frac{n+1}{n} \right) \int_0^1 G(n, \eta) \eta^{\frac{1}{n}} d\eta}{R_{me} \sqrt{1 + P_i^2}} \quad (55)$$

El coeficiente  $k$  presente en (55) estará dado por (43). Luego simplificando (55) resulta:

$$kd_o S_o \sqrt{1 + P_i^2} R_{me} = d_{me} \left[ \frac{P_i}{2} S_m R_o + \frac{V_{me}^2}{g} \left( \frac{n+1}{n} \right) \int_0^1 G(n, \eta) \eta^{\frac{1}{n}} d\eta \right] \quad (56)$$

Para obtener  $V_{me}^2$  se utiliza Darcy-Weisbach localmente.

$$\left\{ \begin{array}{l} d_{me} S_{me} \gamma = \rho \frac{1}{8} f_b V_{me}^2 \\ d_m S_m \gamma = \rho \frac{1}{8} f_b V_m^2 \end{array} \right\} \Rightarrow \frac{V_{me}^2}{V_m^2} = \frac{d_{me} S_{me}}{d_m S_m} \quad (57)$$

Despejando  $V_{me}^2$  de (57) y sustituyendo en (56)

$$kd_o S_o \sqrt{1 + P_i^2} R_{me} = d_{me} \left[ \frac{P_i}{2} S_m R_o + \frac{V_m^2}{g} \frac{d_{me} S_{me}}{d_m S_m} \left( \frac{n+1}{n} \right) \int_0^1 G(n, \eta) \eta^{\frac{1}{n}} d\eta \right] \quad (58)$$

Por Darcy-Weisbach se sabe que;  $8d_m n^2 S_m = \frac{V_m^2}{g}$ . Por lo tanto;

$$kd_o S_o \sqrt{1 + P_i^2} R_{me} = d_{me} \left[ \frac{P_i}{2} S_m R_o + 8d_{me} S_{me} n(n+1) \int_0^1 G(n, \eta) \eta^{\frac{1}{n}} d\eta \right] \quad (59)$$

Sustituyendo (35) y (51) en (59) se pueden sacar  $S_o F_\alpha R_o$  como factor común de la expresión anterior, luego simplificando  $S_o$  en ambos miembros de la ecuación.

$$kd_o \sqrt{1 + P_i^2} R_{me} = d_{me} F_\alpha R_o \left[ \frac{P_i}{2} + 8 \frac{d_{me}}{R_{me}} n(n+1) \int_0^1 G(n, \eta) \eta^{\frac{1}{n}} d\eta \right] \quad (60)$$

Multiplicando por  $R_{me}$

$$kd_o \sqrt{1 + P_i^2} R_{me}^2 = d_{me} F_\alpha R_o \left[ \frac{P_i}{2} R_{me} + 8d_{me} n(n+1) \int_0^1 G(n, \eta) \eta^n d\eta \right] \quad (61)$$

Sustituyendo en la ecuación anterior la relación  $d_{me} = \left( \frac{d_o}{F_\alpha^{\frac{3}{10}}} + S_t \frac{B}{2} \right)$  entonces;

$$kd_o \sqrt{1 + P_i^2} R_{me}^2 = \left( \frac{d_o}{F_\alpha^{\frac{3}{10}}} + S_t \frac{B}{2} \right) F_\alpha R_o \left[ \frac{P_i}{2} R_{me} + 8 \left( \frac{d_o}{F_\alpha^{\frac{3}{10}}} + S_t \frac{B}{2} \right) n(n+1) \int_0^1 G(n, \eta) \eta^n d\eta \right] \quad (62)$$

De acuerdo a Falcón y Kennedy (1983), para flujo completamente desarrollado la pendiente transversal del lecho del cauce curvo del río se puede expresar como

$$S_t = \frac{d_o}{R_o} F_d 1.3 \frac{(1+n)}{(1+2n)} \quad (63)$$

donde:  $F_d$  es el número de Froude densimétrico.  $F_d = \frac{V_m}{[g(SG-1)d_{50}]^{\frac{1}{2}}}$ . Este número de

Froude se presenta en función de variables ya conocidas de la condición del río previo al meandreo, es decir;  $F_d = f(n, S_o, d_o \text{ y } SG)$ . Si se sustituye (42) y la expresión dada por Darcy-Weisbach en la relación de número de Froude propuesta por Falcón y Kennedy (1983) de la siguiente forma:

$$F_d = \frac{V_m}{[g(SG-1)d_{50}]^{\frac{1}{2}}} = \frac{V_o F_\alpha^{\frac{3}{10}}}{[g(SG-1)d_{50}]^{\frac{1}{2}}} = F_\alpha^{\frac{3}{10}} \sqrt{\frac{8gd_o S_o n^2}{g(SG-1)d_{50}}}, \text{ finalmente resulta;}$$

$$F_d = F_\alpha^{\frac{3}{10}} n \sqrt{\frac{8S_o}{(SG-1)} \left(\frac{d_o}{d_{50}}\right)} \quad (64)$$

y (62) se convierte en:

$$k d_o \sqrt{1 + P_i^2} \left(R_o + \frac{B}{2}\right)^2 = \left[\frac{d_o}{F_\alpha^{\frac{3}{10}}} + \frac{d_o}{R_o} F_d 1.3 \frac{(1+n) B}{(1+2n) 2}\right] F_\alpha R_o \left[\frac{P_i}{2} \left(R_o + \frac{B}{2}\right) + 8 \left(\frac{d_o}{F_\alpha^{\frac{3}{10}}} + \frac{d_o}{R_o} F_d 1.3 \frac{(1+n) B}{(1+2n) 2}\right) n(n+1) \int_0^1 G(n, \eta) \eta^{\frac{1}{2}} d\eta\right] \quad (65)$$

Sacando  $d_o$  como factor común de la expresión anterior, simplificando y multiplicando por  $R_o$

$$k \sqrt{1 + P_i^2} \left(R_o^3 + R_o^2 B + \frac{R_o B^2}{4}\right) = \left[R_o F_\alpha^{\frac{7}{10}} + F_\alpha F_d 1.3 \frac{(1+n) B}{(1+2n) 2}\right] \left[\frac{P_i}{2} \left(R_o + \frac{R_o B}{2}\right) + 8 \left(\frac{d_o R_o}{F_\alpha^{\frac{3}{10}}} + d_o F_d 1.3 \frac{(1+n) B}{(1+2n) 2}\right) n(n+1) \int_0^1 G(n, \eta) \eta^{\frac{1}{2}} d\eta\right] \quad (66)$$

$$k \sqrt{1 + P_i^2} \left(R_o^3 + R_o^2 B + \frac{R_o B^2}{4}\right) = \left[F_\alpha^{\frac{7}{10}} R_o + F_\alpha F_d 1.3 \frac{(1+n) B}{(1+2n) 2}\right] \left[\frac{P_i}{2} R_o^2 + \frac{P_i B}{4} R_o + 8 \frac{d_o}{F_\alpha^{\frac{3}{10}}} n(n+1) \int_0^1 G(n, \eta) \eta^{\frac{1}{2}} d\eta R_o + 5.2 d_o B F_d \frac{n(1+n)^2}{(1+2n)} \int_0^1 G(n, \eta) \eta^{\frac{1}{2}} d\eta\right] \quad (67)$$

Multiplicando la expresión anterior por  $\frac{1}{B^3}$

$$k \sqrt{1 + P_i^2} \left(\frac{R_o}{B}\right)^3 + K \sqrt{1 + P_i^2} \left(\frac{R_o}{B}\right)^2 + \frac{K}{4} \sqrt{1 + P_i^2} \left(\frac{R_o}{B}\right) = \left[\frac{F_\alpha^{\frac{7}{10}}}{B^2} \left(\frac{R_o}{B}\right) + \frac{F_\alpha F_d 1.3}{2 B^2} \frac{(1+n)}{(1+2n)}\right] \left[\frac{P_i}{2} R_o^2 + \frac{P_i B}{4} R_o + 8 \frac{d_o}{F_\alpha^{\frac{3}{10}}} n(n+1) \int_0^1 G(n, \eta) \eta^{\frac{1}{2}} d\eta R_o + 5.2 d_o B F_d \frac{n(1+n)^2}{(1+2n)} \int_0^1 G(n, \eta) \eta^{\frac{1}{2}} d\eta\right] \quad (68)$$

Simplificando sucesivamente se tiene

(69)

$$\begin{aligned}
 & k\sqrt{1+P_i^2}\left(\frac{R_o}{B}\right)^3 + K\sqrt{1+F_i^2}\left(\frac{R_o}{B}\right)^2 + \frac{K}{4}\sqrt{1+P_i^2}\left(\frac{R_o}{B}\right) = \\
 & \frac{F_\alpha^{\frac{7}{10}}P_i}{2}\left(\frac{R_o}{B}\right)^3 + \frac{F_\alpha^{\frac{7}{10}}P_i}{4}\left(\frac{R_o}{B}\right)^2 + 8\frac{d_\alpha F_\alpha^{\frac{7}{10}}}{F_\alpha^{\frac{3}{10}}B}n(n+1)\int_0^1 G(n,\eta)\eta^{\frac{1}{2}}d\eta\left(\frac{R_o}{B}\right)^2 + 5.2\frac{F_\alpha^{\frac{7}{10}}d_\alpha F_d}{B}\frac{(1+n)^2}{(1+2n)}\int_0^1 G(n,\eta)\eta^{\frac{1}{2}}d\eta\left(\frac{R_o}{B}\right) + \dots \\
 & \frac{1.3}{4}F_\alpha^{\frac{7}{10}}F_dP_i\frac{(1+n)}{(1+2n)}\left(\frac{R_o}{B}\right)^2 + \frac{1.3}{8}F_\alpha F_dP_i\frac{(1+n)}{(1+2n)}\left(\frac{R_o}{B}\right) + 5.2\frac{F_\alpha F_d}{B}\frac{(1+n)}{(1+2n)}\frac{d_\alpha}{F_\alpha^{\frac{3}{10}}}n(n+1)\int_0^1 G(n,\eta)\eta^{\frac{1}{2}}d\eta\left(\frac{R_o}{B}\right) + \dots \\
 & \frac{1.3}{2}\frac{F_\alpha F_d}{B^2}\frac{(1+n)}{(1+2n)}5.2d_\alpha BF_d\frac{n(1+n)^2}{(1+2n)}\int_0^1 G(n,\eta)\eta^{\frac{1}{2}}d\eta
 \end{aligned}$$

(70)

$$\begin{aligned}
 & k\sqrt{1+P_i^2}\left(\frac{R_o}{B}\right)^3 + K\sqrt{1+P_i^2}\left(\frac{R_o}{B}\right)^2 + \frac{K}{4}\sqrt{1+P_i^2}\left(\frac{R_o}{B}\right) = \\
 & \frac{F_\alpha^{\frac{7}{10}}P_i}{2}\left(\frac{R_o}{B}\right)^3 + \frac{F_\alpha^{\frac{7}{10}}P_i}{4}\left(\frac{R_o}{B}\right)^2 + 8\frac{d_\alpha F_\alpha^{\frac{4}{10}}}{B}n(n+1)\int_0^1 G(n,\eta)\eta^{\frac{1}{2}}d\eta\left(\frac{R_o}{B}\right)^2 + 5.2\frac{F_\alpha^{\frac{7}{10}}d_\alpha F_d}{B}\frac{(1+n)^2}{(1+2n)}\int_0^1 G(n,\eta)\eta^{\frac{1}{2}}d\eta\left(\frac{R_o}{B}\right) + \dots \\
 & \frac{1.3}{4}F_\alpha F_dP_i\frac{(1+n)}{(1+2n)}\left(\frac{R_o}{B}\right)^2 + \frac{1.3}{8}F_\alpha^{\frac{7}{10}}F_dP_i\frac{(1+n)}{(1+2n)}\left(\frac{R_o}{B}\right) + 5.2\frac{F_\alpha^{\frac{7}{10}}F_d d_\alpha}{B}\frac{n(1+n)^2}{(1+2n)}\int_0^1 G(n,\eta)\eta^{\frac{1}{2}}d\eta\left(\frac{R_o}{B}\right) + \dots \\
 & 3.38\frac{F_\alpha F_d^2 d_\alpha}{B}\frac{n(1+n)^3}{(1+2n)^2}\int_0^1 G(n,\eta)\eta^{\frac{1}{2}}d\eta
 \end{aligned}$$

(71)

$$\begin{aligned}
 & \left[ \frac{F_\alpha^{\frac{7}{10}}P_i}{2} - k\sqrt{1+P_i^2} \right] \left( \frac{R_o}{B} \right)^3 + \dots \\
 & \left[ \frac{F_\alpha^{\frac{7}{10}}P_i}{4} + 8\frac{d_\alpha F_\alpha^{\frac{4}{10}}}{B}n(n+1)\int_0^1 G(n,\eta)\eta^{\frac{1}{2}}d\eta + \frac{1.3}{4}F_\alpha F_dP_i\frac{(1+n)}{(1+2n)} - k\sqrt{1+P_i^2} \right] \left( \frac{R_o}{B} \right)^2 + \dots \\
 & \left[ 5.2d_\alpha F_\alpha^{\frac{7}{10}}F_d\frac{(1+n)^2}{(1+2n)}\int_0^1 G(n,\eta)\eta^{\frac{1}{2}}d\eta + \frac{1.3}{8}F_\alpha F_dP_i\frac{(1+n)}{(1+2n)} + 5.2\frac{F_\alpha^{\frac{7}{10}}F_d d_\alpha}{B}\frac{n(1+n)^2}{(1+2n)}\int_0^1 G(n,\eta)\eta^{\frac{1}{2}}d\eta - k\sqrt{1+P_i^2} \right] \left( \frac{R_o}{B} \right) \\
 & + 3.38\frac{F_\alpha F_d^2 d_\alpha}{B}\frac{n(1+n)^3}{(1+2n)^2}\int_0^1 G(n,\eta)\eta^{\frac{1}{2}}d\eta = 0
 \end{aligned}$$

(72)

$$\begin{aligned} & \left[ \frac{F_a^{10} P_i}{2} - k\sqrt{1+P_i^2} \right] \left( \frac{R_o}{B} \right)^3 + \dots \\ & \left[ \frac{F_a^{10} P_i}{4} + 8 \frac{d_o F_a^{10}}{B} n(n+1) \int_0^1 G(n, \eta) \eta^2 d\eta + \frac{1.3 F_a^{13} P_i}{4} \frac{n(1+n)}{(1+2n)} \sqrt{\frac{8S_o}{(SG-1)} \left( \frac{d_o}{d_{50}} \right)} - k\sqrt{1+P_i^2} \right] \left( \frac{R_o}{B} \right)^2 + \dots \\ & \left[ 5.2 d_o F_a \frac{n(1+n)^2}{(1+2n)} \sqrt{\frac{8S_o}{(SG-1)} \left( \frac{d_o}{d_{50}} \right)} \int_0^1 G(n, \eta) \eta^2 d\eta + \frac{1.3 F_a^{13} P_i}{8} \frac{n(1+n)}{(1+2n)} \sqrt{\frac{8S_o}{(SG-1)} \left( \frac{d_o}{d_{50}} \right)} + 5.2 \frac{F_a d_o n^2 (1+n)^2}{B (1+2n)} \sqrt{\frac{8S_o}{(SG-1)} \left( \frac{d_o}{d_{50}} \right)} \int_0^1 G(n, \eta) \eta^2 d\eta - k\sqrt{1+P_i^2} \right] \left( \frac{R_o}{B} \right) \\ & + 27.04 \frac{F_a^{10} d_o^2 S_o}{B(SG-1)d_{50}} \frac{n^3 (1+n)^3}{(1+2n)^3} \int_0^1 G(n, \eta) \eta^2 d\eta = 0 \end{aligned}$$

La ecuación anterior indica que  $\left( \frac{R_o}{B} \right) = f\left( \alpha, P_i, k, n = \frac{1}{\sqrt{f}}, S_o, \frac{d_o}{B}, \frac{d_o}{d_{50}}, SG \right)$ .

A continuación se demuestra que  $k = k\left( n, \frac{d_o}{d_{50}} \right)$  y por lo tanto no influye como variable independiente en los resultados.

$$k = \frac{1}{d_o} \left( \frac{V_o}{\sqrt{S_o}} n_M \right)^{\frac{3}{2}} = \frac{1}{d_o} \left( \frac{n\sqrt{8gd_o S_o}}{\sqrt{S_o}} n_M \right)^{\frac{3}{2}} = \left( \frac{n_M n \sqrt{8g}}{d_o^{\frac{1}{6}}} \right)^{\frac{3}{2}}$$

$$n_M = KD_S^{1/6} \Rightarrow k = \left( \frac{KD_S^{1/6} n \sqrt{8g}}{d_o^{1/6}} \right)^{\frac{3}{2}} = (Kn\sqrt{8g})^{\frac{3}{2}} \left( \frac{D_S}{d_o} \right)^{\frac{1}{4}}; \text{ donde } D_S \approx d_{50} \text{ y } (Kn\sqrt{8g})^{\frac{3}{2}}$$

es una constante.

Al dividir (42) entre  $\left[ \frac{F_a^{10} P_i}{2} - k\sqrt{1+P_i^2} \right]$  se obtiene una ecuación cúbica del tipo

$$\left( \frac{R_o}{B} \right)^3 + p \left( \frac{R_o}{B} \right)^2 + q \left( \frac{R_o}{B} \right) + r = 0; \text{ que puede ser reducida a la forma } x^3 + ax + b = 0$$

sustituyendo  $\left( \frac{R_o}{B} \right)$  por el valor de  $x - \frac{p}{3}$ .

Simplificando queda;  $a = \frac{1}{3}(3q - p^2)$  y  $b = \frac{1}{27}(2p^3 - 9pq + 27r)$ .

Los valores de  $x$  son dados por;

$$x = A + B, -\frac{A+B}{2} + \frac{A-B}{2}\sqrt{-3}, -\frac{A+B}{2} - \frac{A-B}{2}\sqrt{-3}$$

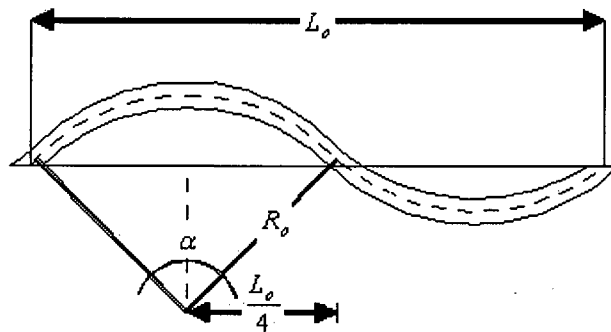
$$\text{Donde: } A = \sqrt[3]{-\frac{b}{2} + \sqrt{\frac{b^2}{4} + \frac{a^3}{27}}}, B = \sqrt[3]{-\frac{b}{2} - \sqrt{\frac{b^2}{4} + \frac{a^3}{27}}}.$$

- Sí  $\frac{b^2}{4} + \frac{a^3}{27} > 0 \Rightarrow$  habrá una raíz real y dos raíces conjugadas imaginarias.
- Sí  $\frac{b^2}{4} + \frac{a^3}{27} = 0 \Rightarrow$  habrá 3 raíces reales de las cuales al menos dos serán iguales.
- Sí  $\frac{b^2}{4} + \frac{a^3}{27} < 0 \Rightarrow$  habrá 3 raíces reales y diferentes.

Sysuke, Parker y Saway (1981) derivaron una expresión para determinar  $L_o$ . Posteriormente Kitanidis y Kennedy (1984), proponen la relación (73) para determinar  $L_o$ . Dicha ecuación representa la mejor aproximación a todos los puntos que se muestran en la figura 26. Esta es el producto de más de 158 muestras de laboratorio y 73 muestras de campo tomadas de cauces aluviales y también abarca la data correspondiente a 8 cauces supraglaciales con meandros:

$$L_o = 20 \left( \frac{R_H B}{f_b} \right)^{\frac{1}{2}} \quad (73)$$

donde  $R_H$  es igual al radio hidráulico sobre el cauce activo.



**Figura 25. Vista en planta del flujo en un canal sinusoidal.**

Una vez conocido  $L_o$  de (73) se obtiene una relación entre  $\alpha$  y  $R_o$  por (34), la cual debe ser resuelta conjuntamente con (72) iterativamente.

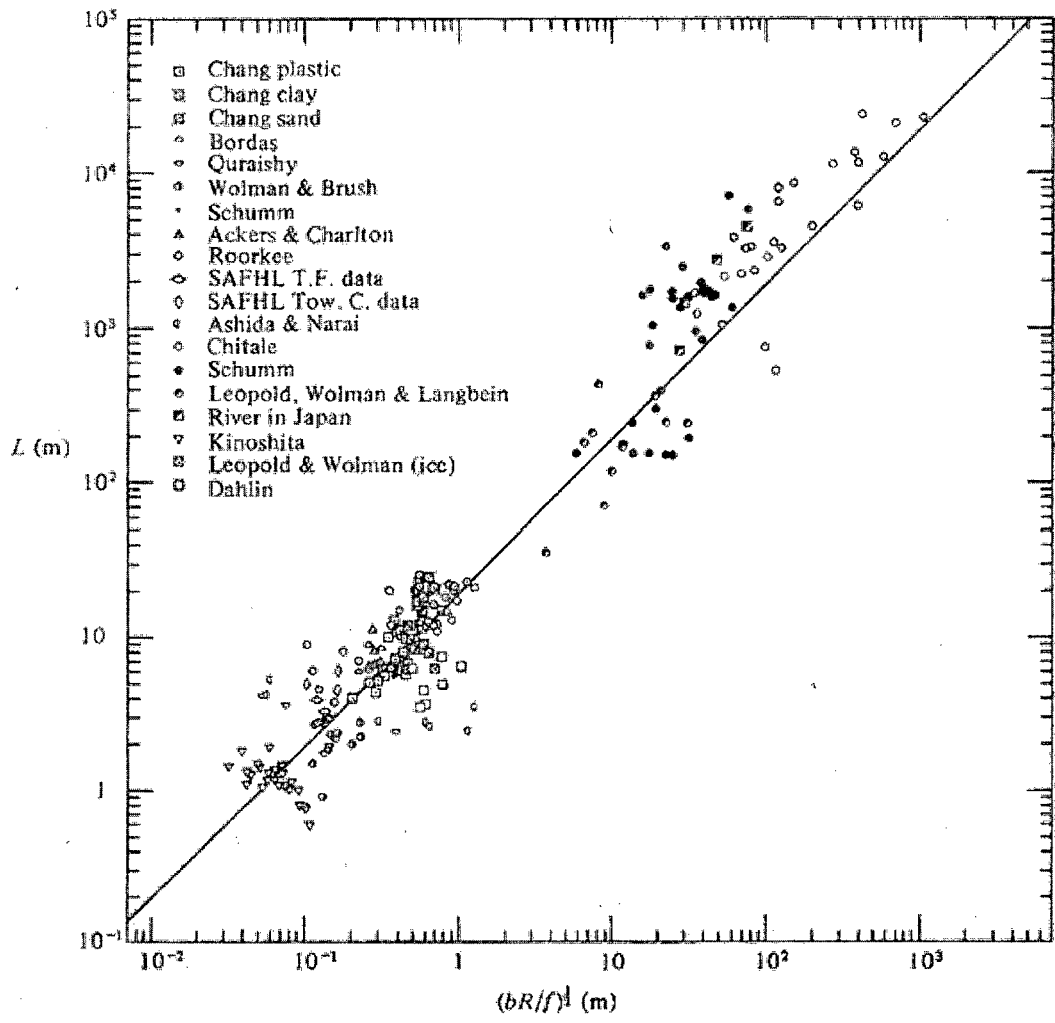


Figura 26. Gráfica de 158 muestras de laboratorio y 73 muestras de campo tomadas de cauces aluviales que también abarca la data correspondiente a 8 cauces supraglaciales con meandros.

**CAPITULO VI**

**APLICACIÓN DEL MODELO DE CALCULO DE RADIO DE CURVATURA  
DE MEANDROS A PARTIR DEL ESFUERZO CORTANTE CRITICO  
SOBRE LAS MARGENES EN LOS CASOS DE MUDDY CREEK Y RIO  
PORTUGUESA**

## 6 APLICACIÓN DEL MODELO DE CALCULO DE RADIO DE CURVATURA DE MEANDROS A PARTIR DEL ESFUERZO CORTANTE CRITICO SOBRE LAS MARGENES EN LOS CASOS DE MUDDY CREEK Y RIO PORTUGUESA

### 6.1 Aplicación Del Modelo Al Caso Muddy Creek.

El Muddy Creek es un cauce fluvial de lecho arenoso que presenta meandros típicos y se encuentra ubicado al oeste de Wyoming, Estados Unidos de Norte América. Entre 1976 y 1982, fue emprendida una exhaustiva recolección de datos de campo en una de las curvas de meandro de este río, denominada IMR. Algunos de los resultados de estos estudios fueron presentados por Dietrich (1982), y por Dietrich and Smith (1983, 1984). Como consecuencia de este trabajo ahora existe mucha data de este sitio, que consiste en cuidadosas mediciones de la geometría del cauce, detalladas mediciones de velocidad, elevación de la superficie y transporte de sedimento. Esto hace del Muddy Creek un sitio muy adecuado para comprobar la eficacia del modelo antes descrito

Los valores de profundidad, ancho de la superficie libre y longitud de la curva del meandro son: 0.4, 5 y 25 m respectivamente, un valor típico de flujo es reportado en  $1.0 \text{ m}^3/\text{s}$ , Nelson and Smith (1989). La pendiente media longitudinal del canal ( $S_0$ ) es 0.0014, el diámetro medio de la partícula  $d_{50}$  es 0.70 mm y la velocidad media del flujo es 0.55 m/seg.

Para la aplicación del modelo se seleccionó la sección 22 de la curva IMR del Muddy Creek (figura 27) debido a que en esta sección las curvas de nivel son aproximadamente concéntricas con las márgenes por lo que el flujo se considera, localmente completamente desarrollado (ver figura 28).

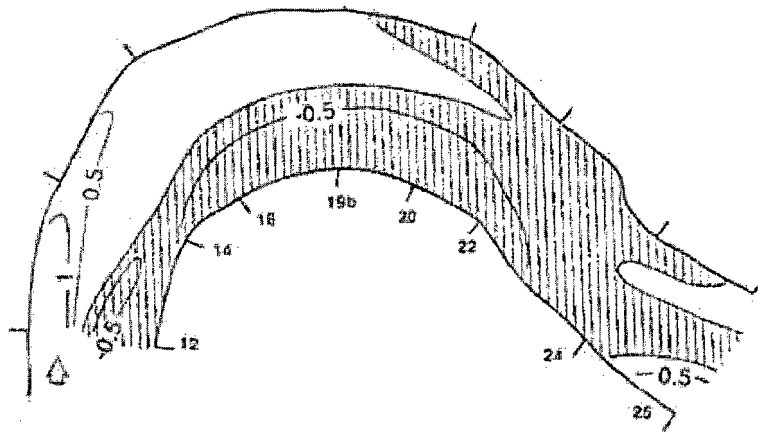


Figura 27. Vista de planta de la curva IMR del Muddy Creek dividida en secciones transversales.

El ancho ( $B$ ) del lecho activo del cauce del Muddy Creek se estimó en 4 m. La pendiente del talud de la margen externa del meandro se determinó por relación de triángulos a partir de la figura 29.

$$\frac{1}{P_i} = \frac{0.67}{10} \Rightarrow P_i = 14.92$$

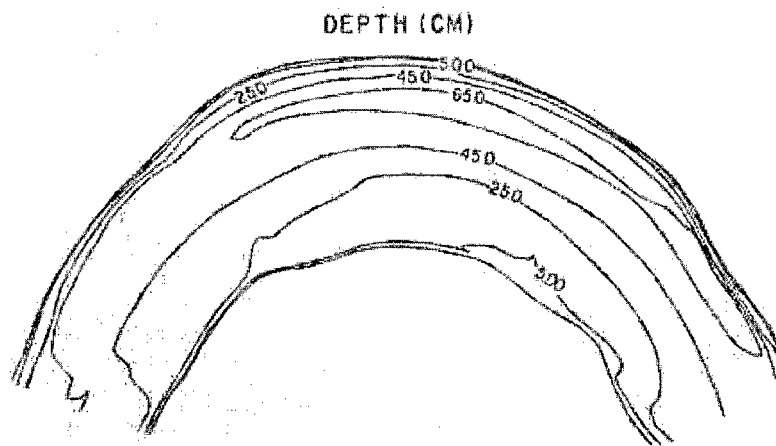
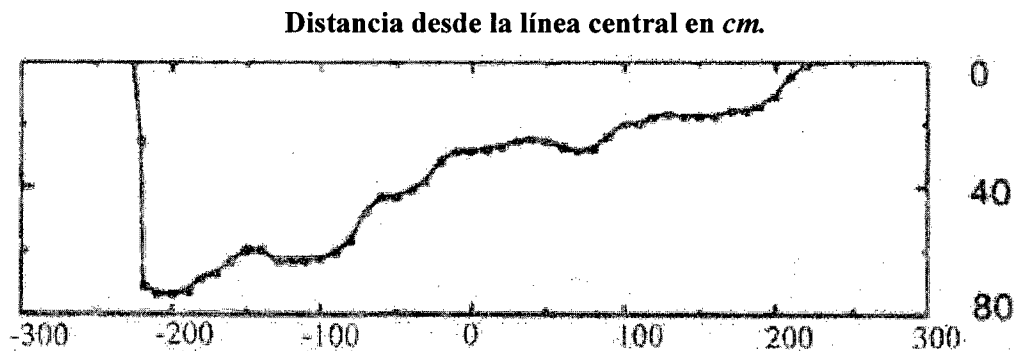


Figura 28. Vista en planta de la curva de Meandro IMR en el Muddy Creek, donde se pueden observar la profundidad de los contornos después de ser suavizadas las dunas en diferentes intervalos de tiempo. La profundidad de los contornos se muestra cada 20 cm.



**Figura 29. Vista del perfil transversal de la curva IMR del Muddy Creek.**

Para el Muddy Creek el factor de fricción fue determinado como  $f = \frac{8gd_o S_o}{V^2} = 0.145$  y el valor calculado de la constante de Nunner ( $n$ ) fue de 2.623.

Conocido el valor de  $n$  y utilizando la grafica de  $\int_0^1 G(n, \eta) \eta^{\frac{1}{n}} d\eta$  en función de  $n$  de la (figura 23) se obtuvo:

$$\int_0^1 G(n, \eta) \eta^{\frac{1}{n}} d\eta = 0.59$$

El valor del coeficiente  $k$  se obtuvo mediante (43),  $k = 0.8$ .

Se estimó una  $n_m = 0.032$  muy similar a la del lecho del cauce del Muddy Creek.

El procedimiento para determinar el radio de curvatura ( $R_o$ ) y el ángulo de deflexión ( $\alpha$ ) correspondiente a la curva IMR del río Muddy Creek consistió en calcular de forma simultánea las ecuaciones: (72) y (34), hasta conseguir la convergencia de  $R_o$  y  $\alpha$ . Los resultados de los cálculos iterativos se presentan en la tabla 15.

**TABLA 15. Resumen de resultado de iteraciones durante cálculos**

| $\alpha$<br>(grados) | $\alpha$<br>(rad) | $R_o$<br>(m) |
|----------------------|-------------------|--------------|
| 90                   | 1.570             | 12           |
| 138.18               | 2.411             | 9.3113       |
| 120.35               | 2.100             | 9.7600       |
| 122.84               | 2.144             | 9.8442       |
| 123.34               | 2.152             | 9.7920       |
| 123.03               | 2.147             | 9.8049       |
| 123.10               | 2.148             | 9.8040       |
| 123.10               | 2.148             | 9.8040       |

Al utilizar los datos arriba mencionados en el modelo propuesto se obtuvieron los siguientes resultados: un radio de curvatura ( $R_o$ ) de 9.8 m vs. un  $R_o$  observado de 12 m y un ángulo ( $\alpha$ ) de 123.1° vs. un  $\alpha$  de 100°.

## 6.2 Aplicación Del Modelo Al Caso Río Portuguesa.

El río Portuguesa tiene una longitud total de 710 km hasta su confluencia sobre el río Apure. La cuenca del río Portuguesa ocupa parte de los estados venezolanos de Cojedes, Guárico, Trujillo, Lara, Yaracuy, Carabobo, Barinas y Portuguesa y está delimitada dentro de las coordenadas 8° y 10° norte y 67° 30' a 70° oeste.

La cuenca presenta una forma circular con un eje de orientación sur-este en la dirección de los ríos Cojedes y Portuguesa; tiene un área de drenaje de 57.764 km<sup>2</sup> hasta su confluencia con el río Apure, en las inmediaciones de San Fernando de Apure.

Los materiales superficiales de la cuenca dentro de los llanos, están representados por aluviones recientes: suelos limo-arcillosos, arcillas y arenas, y en menor proporción, gravas estas últimas situadas hacia el piedemonte.

En el río Portuguesa se ha podido observar la forma como los flujos elevados realizan la acción erosiva sobre el canal. El efecto hidrodinámico del agua en las curvas de los meandros remueve materiales de la base y paredes del canal desprovisto de cubierta vegetal. Aún cuando los materiales superficiales muestran cohesividad (arcilla y limos arcillosos), la remoción del material debilitado en la base, produce el colapso gravitacional de toda la masa de suelos acompañada de la caída de árboles, que no disponen de soporte eficaz por su enrasamiento débil y poco desarrollado, especialmente en profundidad. En este proceso, los taludes resultantes presentan inclinaciones cercanas a 90°; en consecuencia, las formas geométricas más comunes responden a las secciones descritas.

En el río Portuguesa en el Sector Barrancas (ver figura 33), el río se reduce de ancho y los lazos de meandros mejoran en simetría. Por lo antes mencionado se seleccionó a dicho sector en la progresiva 129 + 329 para aplicar el modelo.

Los valores de ancho del lecho activo (ver figura 30) y longitud de la curva del meandro ( $L_m/2$ ) son: 31,68 y 1646 m respectivamente (ver figuras 29 y 30), El valor medio reportado para el flujo es  $498 \text{ m}^3/\text{s}$  y para el diámetro medio de la partícula  $d_{50}$  es 1 mm este último medido aguas debajo de la sección seleccionada. La pendiente media longitudinal del canal ( $S_o$ ) en el Sector Barrancas es de 0.000547 m/m. Se determinó por (35), conocidos  $L_o/2$  por la figura 31, y la pendiente del lecho del canal en la zona objeto de estudio por la figura 32.

La pendiente del talud de la margen externa del meandro se determinó por relación de triángulos a partir de la figura 30.

$$\frac{1}{P_i} = \frac{7}{9.63} \Rightarrow P_i = 1.37$$

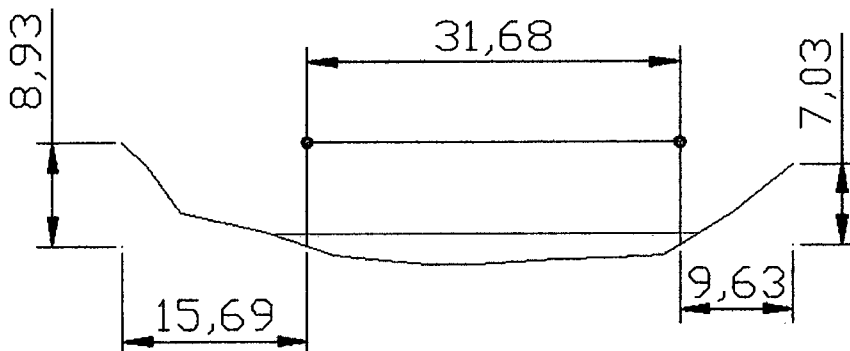


Figura 30. Sección transversal del Río Portuguesa correspondiente al Sector Barrancas en la Progresiva 129 + 329. Las unidades de medida presente en esta figura están en metro.

Para la sección del Portuguesa objeto de estudio se calcularon iterativamente por Karim y Kennedy (1990): la velocidad del flujo ( $V$ ), la profundidad ( $d$ ) y el factor de fricción, conocidos el caudal medio anual ( $498 \text{ m}^3/\text{s}$ ), el ancho ( $B$ ), la pendiente longitudinal ( $S_o$ ) y las pendientes medias del talud de las márgenes. Los resultados aplicando el método antes mencionado convergieron en  $V = 2.26 \text{ m/s}$ ,  $d = 4.24 \text{ m}$  y  $f = 0.06$  y el valor calculado del coeficiente de Nunner ( $n$ ) fue de 4.08.

Conocido el valor de  $n$  y utilizando la grafica de  $\int_0^1 G(n, \eta) \eta^{\frac{1}{n}} d\eta$  en función de  $n$  de la (figura 23) se obtuvo:

$$\int_0^1 G(n, \eta) \eta^{\frac{1}{n}} d\eta = 0.58$$

Se impuso una  $n_m = 0.027$ , y el valor del coeficiente  $k$  se obtuvo mediante (43),  $k = 1$ .

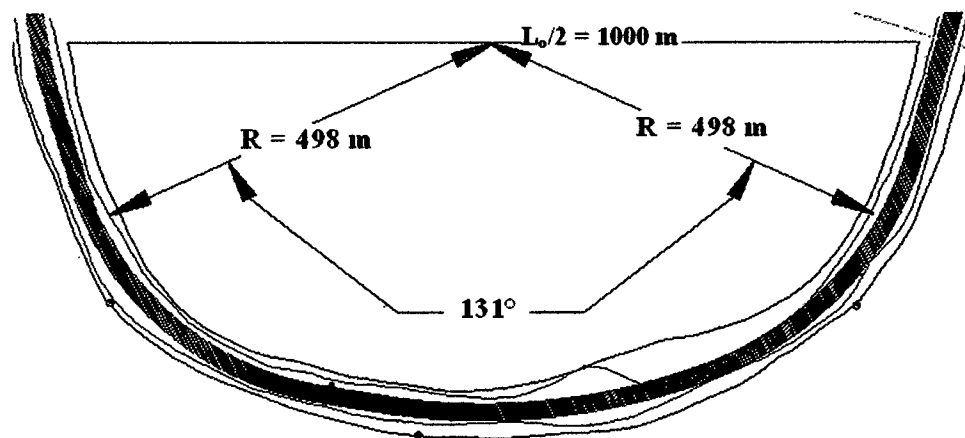


Figura 31. Vista de planta de la curva del Río Portuguesa Sector Barrancas seleccionada para la aplicación del modelo.

Al utilizar los datos arriba mencionados y empleando el mismo procedimiento de calculo usado en el Muddy Creek, se obtuvieron los siguientes resultados: un radio de curvatura ( $R_o$ ) de 666 m vs un  $R_o$  observado de 498 m y un ángulo ( $\alpha$ ) de  $30^\circ$  vs. un  $\alpha$  observado de  $131^\circ$ , y una Longitud  $L_o/2$  de 668 m (Kitanidis y Kennedy, 1984) vs. un  $L_o/2$  observado de 1000 m.

En vista de que la aplicación del modelo en el río Portuguesa arrojó resultados bastantes alejados de lo observado en campo, se volvió a repetir el procedimiento, esta vez imponiendo el valor de  $L_0$  de 2000 m (valor observado, ver figura 31), y se obtuvieron los siguientes resultados: un radio de curvatura ( $R_0$ ) de 550 m vs. un  $R_0$  observado de 498 m y un ángulo ( $\alpha$ ) de  $135^\circ$  vs. un  $\alpha$  observado de  $131^\circ$ . Lo cual supone que el modelo es muy sensible a la calidad de la data que se está utilizando. Para este caso no se contó con una granulometría específica del lugar, y la  $n$  de Manning de las márgenes fue impuesta arbitrariamente.

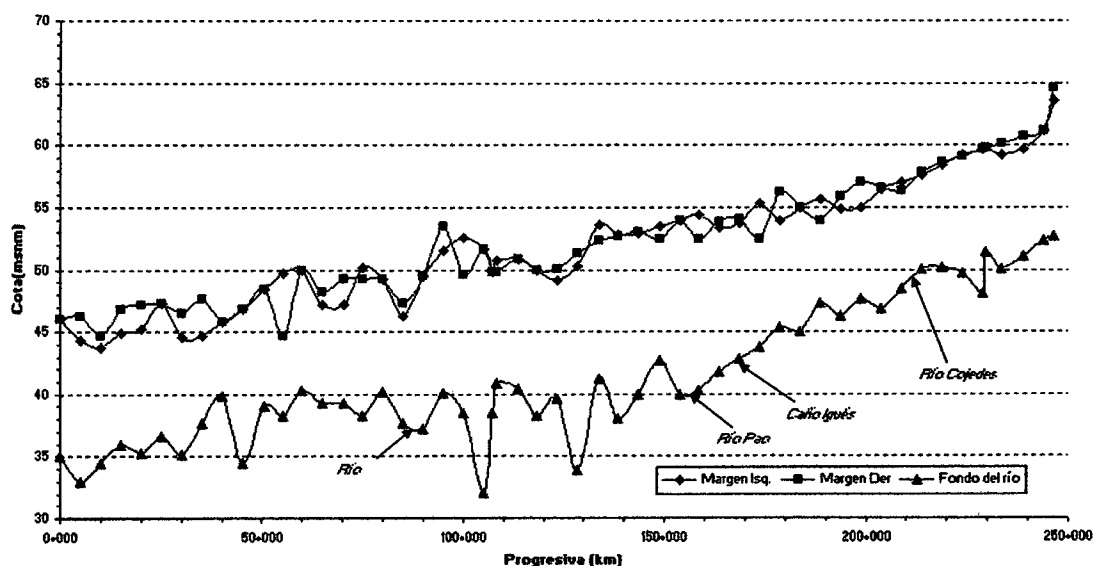


Figura 32. Perfil longitudinal del río Portuguesa en el tramo sujeto a aprovechamiento con fines de navegación



Figura 33. Río Portuguesa, Sector Barrancas.

## CONCLUSIONES

La hipótesis fundamental se basa en que el esfuerzo cortante medio sobre las márgenes  $\left( \tau_{\text{sobre las márgenes}} \cong \tau_{OM} \right)$  en condición inicial de equilibrio dado en un cauce fluvial recto, es aproximadamente igual al de una condición posterior a un cambio en sus variables geométricas e hidráulico-sedimentarias, condujo a resultados adecuados en dos situaciones hidráulico-fluviales distintas.

En el primer caso planteado se desarrolló un modelo para calcular, a partir de condiciones iniciales dadas, y para un trasvase de aguas conocido positivo o negativo, que puede transportar o no sedimentos, las condiciones finales de equilibrio que adquiere el tramo afectado. Con tal de contar con fórmulas de transporte sólido y para el coeficiente de resistencia de lechos de arena, la misma técnica aquí presentada se podría aplicar también a cauces torrenciales. Si se encuentra que la pendiente disminuye, la tendencia del cauce es a meandrear, aumentando su sinuosidad atacando las márgenes. En caso de que la pendiente deba aumentar, ocurrirá agradación del lecho, desbordes más frecuentes hacia las planicies de inundación y posibles cambios desastrosos del curso del cauce.

El modelo se aplicó en dos ríos (el río Nilo en Egipto y el río Wei en la Republica Popular de China) con características morfológicas muy distintas el uno del otro. En ambos casos se obtuvieron resultados muy cercanos a los esperados, por lo cual el modelo demostró ser bastante certero en sus cálculos de las condiciones posteriores a un cambio en un cauce debido a un trasvase de aguas, al compararlo con los datos medidos disponibles para tal fin. Es necesario mencionar que estos datos medidos fueron limitados y no suministraron la información suficiente para validar con

mayor precisión la efectividad del modelo que calcula el ancho y pendiente en cauces fluviales después que éste sufre un cambio en sus condiciones hidráulicas.

Los ríos Nilo y Wei presentan diferentes grados de equilibrio, siendo el brazo Rosetta del río Nilo donde ha trascurrido un mayor tiempo después de operado un cambio en su caudal (los datos disponibles son de 25 años luego de variar sus condiciones hidráulicas). En este caso se usó el caudal medio anual (Tabla 1) y se aplicó el modelo, obteniéndose valores muy cercanos a los reportados. Caso contrario al del río Wei donde los cambios en su hidráulica son drásticos y durante tiempos breves (3 años). En este caso el uso de los caudales más importantes del año fueron los que arrojaron los resultados esperados. Aunque se dispuso de muy pocos ejemplos para aplicar el modelo los resultados obtenidos se consideran aceptables en cuanto al ancho se refiere. Se puede concluir que este modelo es sensible al tipo de caudal utilizado para su aplicación en un caso dado, y que depende del grado de evolución temporal en el cual se encuentre el cauce objeto de estudio.

En segundo lugar, la aplicación de la hipótesis fundamental de cálculo en el modelo que calcula el radio de curvatura de meandros a partir del esfuerzo cortante crítico sobre las márgenes, también arrojó resultados bastante cercanos a lo esperado, pero está limitado a ser empleado solo en meandros cuya geometría en planta se aproxime a la de arcos circulares. Esto último restringe su aplicación ya que este tipo de meandros no es común aún en los ríos muy sinuosos.

La geometría en planta del meandro se asemeja más a la curva seno-generada y no a arcos circulares alternos. La solución del flujo en la curva seno-generada permitiría obtener la variación longitudinal del esfuerzo cortante sobre la margen en forma continua, y así imponer que su máximo valor sea el de la resistencia crítica.

El flujo secundario completamente desarrollado solo se alcanza en una fracción pequeña de la longitud total del supuesto arco circular en planta. Esta condición se

detecta donde las curvas de nivel batimétrico se hacen concéntricas con las márgenes del cauce. Por lo que necesariamente solo se puede esperar una aproximación a la geometría en planta del meandro.

Por las razones antedichas la determinación en planta (casos reales) del radio de curvatura y el ángulo de deflexión son aproximaciones gruesas.

Basar los cálculos sobre el caudal medio anual es también una aproximación, pero hasta el presente no se dispone de una relación que determine la tasa instantánea de retiro de las márgenes, por lo que no se pueden calcular los cambios continuamente en el tiempo. Es posible que en (55) cancelación de errores al utilizar el caudal medio anual.

Debido a esto se recomienda estudiar el problema en una curva seno-generada, en la cual se toman en cuenta las variaciones espaciales (desfasajes) de las variables que definen el flujo, y permiten estimar la ubicación de la sección de máximo esfuerzo cortante, con lo cual se determinaría la geometría en planta correspondiente.

## RECOMENDACIONES

1. Calcular arcos circulares sucesivos, cada uno con  $\tau_{om}$  (resistencia de margen) variado al azar. Los arcos se enlazarían con continuidad de sus tangentes direccionales.
2. Estudiar el caso con un curva senogenerada.

## REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

Ackers, P. and Whites, W.R. Sediments Transport: New Approach and Analysis, Proc. ASCE, Vol 99, HY 11, 1973, 2041 – 2060.

Akode M. Osman and Colin R. Thorne, Affiliate Member, ASCE. "Riverbank Stability Analysis I: Theory". Journal of Hydraulic Engineering, Vol. 114, No. 2, February. 1988. Paper No. 22170.

ASCE Task Committe on Hydraulics, Bank Mechanics, and Modeling of River Width Adjustment, "River Width Adjustment. I: Processes and Mechanisms, Journal Hydraul. Eng., ASCE, vol. 124, no. 9, September, 1998.

ASCE Task Committee on Hydraulics, Bank Mechanics, and Modeling of River Width Adjustment, "River Width Adjustment. II: MODELING, Journal of Hydraulic Engineering. Eng., ASCE, vol. 124, no. 9, September, 1998. Paper No. 14418.

Colby, B. R: "Practical Computations of Bed – Material Discharge" ". Journal Hydraulics Division, Proceeding of the American Society of Civil Engineers, Vol. 90, No. HY2, March, 1964.

Dietrich, W. E: "Flow, boundary shear stress and sediment transport in river meanders" Ph.D. dissertation, 261 pp; Univ, Wash; Seattle, 1982.

Dietrich, W. E and J. D. Smith: "Influence of the point bar on flow through curved channels" *Water Resour. Res*; 19 (5), 1173-1192, 1983.

Dietrich, W. E and J. D. Smith: "Bedload Transport in a River Meander" *Water Resour. Res*; 20 (10), 1335-1380, 1984.

Dietrich, W. E and Whiting, P: "Boundary Shear and Sediment Transport in River Meanders of Sand and Gravel" River Meandering. Water resources Monograph 12. American Geophysical Union. 1989, pp. 1 – 50.

EL-Serafi, Sonia Youseff. "Morphological Changes of the Nile Subdelta Rosetta" Ain Shams University, Cairo Egipt. LEICHTWEISS – INSTITUT FÜR WASSERBAU der Technischen Universität Braunschweig. MITTEILUNGEN. Heft 125/1993. pp. 146-185.

Engelund, F. Closure to "Hydraulic Resistance of Alluvial Streams." *J. Hyd. Div*; ASCE 93, no. HY7 (1967), pp. 287-96.

Engelund, F; and E. Hansen. "A Monograph on Sediment Transport to Alluvial Streams." Copenhagen: Teknic Vorlag, 1967.

Falcón Ascanio, M. 1979 Analysis of Flow in Alluvial Channel bends. Ph.D. Thesis, Dept. Mech. and Hydraul; University of Iowa.

Falcón, M. y Kennedy, J.F. 1983 "Flow in Alluvial – River Curves", *J. Fluid Mechs.* (1983), vol. 133, pp. 1-16.

Falcón, M. 1984 "SECONDARY FLOW IN CURVED OPEN CHANNELS", *Ann. Rev. Fluid Mech.* (1984), by Annual Reviews Inc, 16: pp. 1-16.

Falcón, M. y López, J.L. 1996 "Impacto Geomorfológico en cauces fluviales debido a un trasvase de aguas claras", XVII Congreso Latinoamericano de Hidráulica, Guayaquil, Ecuador, Octubre, pp. 21 – 25

Hinze, J. O. (1959) "Turbulence. An introduction to its mechanism theory", New York-Toronto-London, Mc Graw –Hill Book Company, Inc; pp. 520.

Nelson, Jonathan M and Dungan Smith, J: "Flow in Meandering Channels with Natural Topography" River Meandering. Water resources Monograph 12. American Geophysical Union. 1989, pp. 69 – 125.

Ikeda, S; Parker, G and Saway, K. "Bend theory of river meander. Part 1. Linear development". Journal of Fluid Mechanics, Volume 112, 1981. pp. 363-367.

Karim, F: "Bed – Form Geometry in Sand – Bed Flows" *J. Hydr. Engrg*; ASCE 125, no. 12 (1999), pp. 1253-61.

Karim, M.F; and J.F. Kennedy. Ialluvial: "Computer-Based Flow-and Sediment-Routing Model For Alluvial Streams And Its Application To The Missouri River". Iowa City: Iowa Institute of Hydraulic Research, University of Iowa, Report N° 250 (1982),pp.1-5.

Karim, M.F and J.F. Kennedy: "MENU OF COUPLED VELOCITY AND SEDIMENT DISCHARGE RELATIONS FOR RIVERS." *J. Hydr. Engrg*; ASCE 116, no. 8 (1990), pp. 978-96.

Knight, D. W; Alhamid, A.A. I; and Yuen, K.W.H. (1992). "Boundary shear in differentially roughened trapezoidal channels" Proc; Int. Conf. on Hydr. and Envir. Modeling of Coast; Estuarine and Rivers Waters. R. A. Falconer, eds; Ashgate Ltd; Aldershot, U. K; 419-4128.

Peter K. Kitanidis and and John F. Kennedy. "Secondary current and river-meander formation" Journal of Fluid Mechanics, Volume 144, July 1984. pp. 217-229.

M.T.K. Gaweesh and M.M.Gaser.Sediment "Transport Measurements in The Nile River At Bani Mazar".Hydraulic Engineering Proceedings of the 1991 National Conference; ASCE .pp. 37-42.

Lane, E.W. "Design of Stable Channels", Trans. ASCE, vol. 120, 1955, pp. 234-1279.

Raudkivi, A.J. Loose Boundary Hydraulics, 3<sup>rd</sup> Edition, Pergamon Press. 1990.

Vanoni, V. (Editor) 1975. "Sedimentation Engineering" Manual N° 54, ASCE , pp. 107-114.

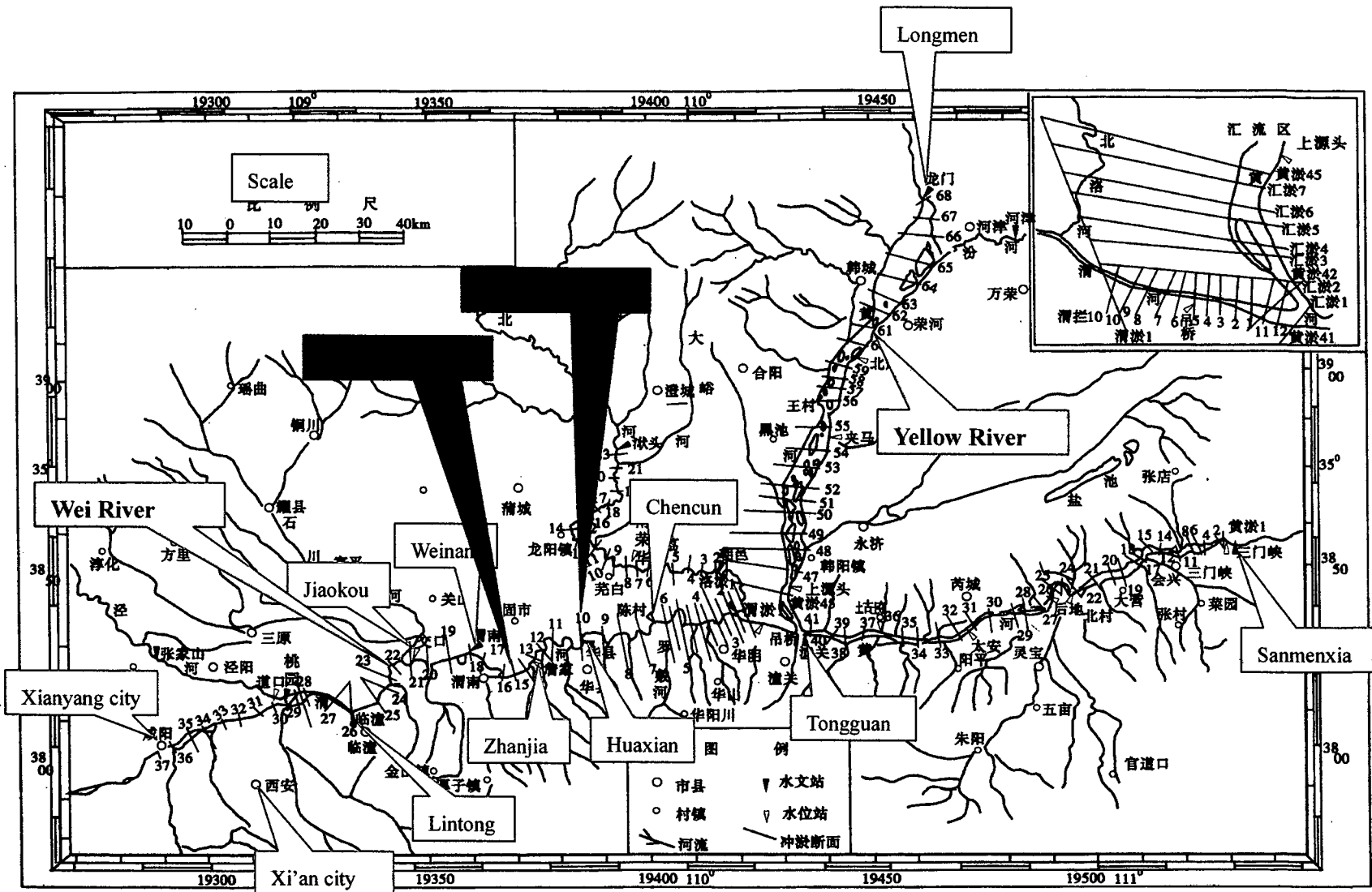
van Rijn, L. C. (1984a) "Sediment Transport, part I: Bed load transport." *J. Hydr. Engrg*; 110(10), 1431-1456.

van Rijn, L. C. (1984b) "Sediment Transport, part II: Suspended load transport." *J. Hydr. Engrg*; 110(11), 1613-1641.

Wu, B. S: "Channel Response to Changing Flow Conditions – A case Study of Yellow River," Proceedings of the first International Conferences on the Solutions of Water Shortage and Instream Flow Problem in Asia, Edited by G.W. Choi and K.H. Kim, 2003. pp. 70-86.

**ANEXO 1**

**PLANO DEL RIO WEI CON UBICACION DE LAS SECCIONES  
TRANSVERSALES USADAS EN EL TRABAJO**



**ANEXO 2**

**DISTRIBUCION DE LA CARGA SUSPENDIDA EN EL RIO WEI POR  
TAMAÑO, PESO Y PORCENTAGE DE FINO**

| No | sampling time |       |     |       | Suspended load size distribution, Percentage finer by weight |       |       |       |      |      |      |     |     |     | Conc.<br>(kg/m <sup>3</sup> ) | Water<br>temperature(°C) |      |      |
|----|---------------|-------|-----|-------|--|-------|-------|-------|------|------|------|-----|-----|-----|-------------------------------|--------------------------|------|------|
|    | Year          | Month | Day | Time  | D(mm)  |       |       |       |      |      |      |     |     |     |                               |                          |      |      |
|    |               |       |     |       | 0.005  | 0.010 | 0.025 | 0.050 | 0.10 | 0.25 | 0.50 | 1.0 | 2.0 | 5.0 |                               |                          |      |      |
| 1  | 1992          | 1     | 1   | 8:00  | 10.3   | 16.3  | 37.8  | 79.7  | 99.3 | 99.9 | 100  |     |     |     |                               |                          | 0.99 | 0.2  |
| 2  | 1992          |       | 5   | 12:00 | 10.8   | 17.8  | 41.6  | 79.0  | 98.0 | 99.7 | 100  |     |     |     |                               |                          | 0.98 | 0.2  |
| 3  | 1992          |       | 10  | 14:00 | 9.2  | 15.0  | 37.8  | 78.5  | 98.5 | 99.9 | 100  |     |     |     |                               |                          | 1.15 | 0.2  |
| 4  | 1992          |       | 15  | 14:00 | 13.1   | 21.8  | 52.1  | 83.0  | 99.4 | 99.9 | 100  |     |     |     |                               |                          | 2.05 | 0.4  |
| 5  | 1992          |       | 20  | 8:00  | 14.4   | 24.3  | 53.9  | 82.6  | 97.3 | 99.7 | 100  |     |     |     |                               |                          | 0.83 | 0.2  |
| 6  | 1992          |       | 25  | 8:00  | 22.7   | 36.2  | 66.6  | 89.4  | 99.2 | 99.8 | 100  |     |     |     |                               |                          | 0.68 | 3.0  |
| 7  | 1992          |       | 30  | 8:00  | 17.9   | 30.6  | 65.6  | 89.1  | 99.7 | 100  |      |     |     |     |                               |                          | 0.52 | 4.8  |
| 8  | 1992          | 2     | 5   | 8:00  | 17.4   | 29.6  | 63.3  | 88.1  | 99.6 | 99.9 | 100  |     |     |     |                               |                          | 0.55 | 5.2  |
| 9  | 1992          |       | 10  | 8:00  | 18.3   | 29.0  | 62.9  | 89.8  | 99.7 | 99.9 | 100  |     |     |     |                               |                          | 0.57 | 4.0  |
| 10 | 1992          | 3     | 4   | 8:00  | 17.0   | 27.5  | 56.3  | 86.0  | 99.6 | 100  |      |     |     |     |                               |                          | 0.64 | 2.6  |
| 11 | 1992          |       | 7   | 12:00 | 15.7   | 26.2  | 56.2  | 88.8  | 99.8 | 100  |      |     |     |     |                               |                          | 1.35 | 8.6  |
| 12 | 1992          |       | 10  | 12:00 | 19.7   | 31.3  | 71.7  | 90.1  | 99.8 | 100  |      |     |     |     |                               |                          | 2.25 | 10.2 |
| 13 | 1992          |       | 15  | 10:00 | 14.1   | 22.9  | 54.5  | 85.2  | 99.5 | 99.9 | 100  |     |     |     |                               |                          | 1.13 | 11.2 |
| 14 | 1992          |       | 20  | 17:00 | 10.5   | 18.0  | 47.8  | 90.4  | 99.8 | 100  |      |     |     |     |                               |                          | 3.39 | 9.8  |
| 15 | 1992          |       | 25  | 13:00 | 11.1   | 17.6  | 44.9  | 86.7  | 99.8 | 99.9 | 100  |     |     |     |                               |                          | 3.66 | 10.0 |
| 16 | 1992          |       | 31  | 18:00 | 13.9   | 21.9  | 53.4  | 90.1  | 99.9 | 100  |      |     |     |     |                               |                          | 3.07 | 15.2 |
| 17 | 1992          | 4     | 5   | 8:00  | 10.5   | 16.2  | 48.0  | 92.8  | 99.9 | 100  |      |     |     |     |                               |                          | 4.60 | 17.2 |
| 18 | 1992          |       | 10  | 13:00 | 10.3   | 16.0  | 40.6  | 81.9  | 99.9 | 100  |      |     |     |     |                               |                          | 2.53 | 15.8 |
| 19 | 1992          |       | 15  | 8:00  | 12.3   | 20.0  | 52.3  | 89.4  | 99.7 | 99.9 | 100  |     |     |     |                               |                          | 5.36 | 16.2 |
| 20 | 1992          |       | 20  | 8:00  | 16.3   | 25.5  | 54.2  | 88.1  | 99.7 | 100  |      |     |     |     |                               |                          | 1.41 | 17.8 |
| 21 | 1992          |       | 25  | 8:00  | 23.9   | 35.9  | 65.5  | 91.3  | 99.5 | 99.9 | 100  |     |     |     |                               |                          | 0.65 | 18.0 |
| 22 | 1992          | 5     | 5   | 8:00  | 23.0   | 33.5  | 70.9  | 93.7  | 99.6 | 100  |      |     |     |     |                               |                          | 0.74 | 22.2 |
| 23 | 1992          |       |     | 18:00 | 11.2   | 18.5  | 55.6  | 92.4  | 99.9 | 100  |      |     |     |     |                               |                          | 10.4 | 22.0 |
| 24 | 1992          |       | 6   | 8:00  | 43.8   | 57.5  | 76.9  | 95.0  | 99.9 | 100  |      |     |     |     |                               |                          | 10.7 | 21.4 |
| 25 | 1992          |       | 7   | 8:00  | 60.9   | 77.3  | 92.8  | 96.3  | 99.8 | 100  |      |     |     |     |                               |                          | 65.4 | 19.8 |
| 26 | 1992          |       |     | 18:00 | 64.7   | 77.7  | 93.0  | 96.5  | 99.9 | 100  |      |     |     |     |                               |                          | 49.0 | 23.2 |
| 27 | 1992          |       | 8   | 8:00  | 41.1   | 52.9  | 77.6  | 93.7  | 99.8 | 100  |      |     |     |     |                               |                          | 74.9 | 21.0 |
| 28 | 1992          |       |     | 9:00  | 45.2   | 59.8  | 82.7  | 94.3  | 99.8 | 100  |      |     |     |     |                               |                          | 79.9 | 21.0 |
| 29 | 1992          |       |     | 10:30 | 37.9   | 50.0  | 77.5  | 94.1  | 99.8 | 100  |      |     |     |     |                               |                          | 68.2 | 21.4 |
| 30 | 1992          |       | 9   | 8:00  | 38.2   | 54.6  | 79.8  | 94.1  | 99.5 | 99.9 | 100  |     |     |     |                               |                          | 36.6 | 21.0 |
| 31 | 1992          |       | 10  | 8:00  | 46.6   | 63.5  | 86.0  | 96.5  | 99.9 | 100  |      |     |     |     |                               |                          | 20.1 | 18.6 |
| 32 | 1992          |       | 14  | 8:00  | 31.1   | 43.7  | 69.1  | 88.2  | 99.6 | 100  |      |     |     |     |                               |                          | 12.3 | 17.8 |
| 33 | 1992          |       | 20  | 8:00  | 38.6   | 56.3  | 84.2  | 94.8  | 99.9 | 100  |      |     |     |     |                               |                          | 3.19 | 20.4 |
| 34 | 1992          |       | 25  | 8:00  | 55.1   | 73.7  | 94.7  | 96.5  | 99.9 | 100  |      |     |     |     |                               |                          | 0.30 | 24.6 |
| 35 | 1992          |       | 31  | 8:00  | 37.5   | 54.5  | 87.7  | 94.6  | 99.9 | 100  |      |     |     |     |                               |                          | 0.39 | 23.8 |
| 36 | 1992          | 6     | 4   | 8:00  | 18.4   | 31.3  | 66.3  | 90.0  | 99.9 | 100  |      |     |     |     |                               |                          | 2.52 | 23.0 |
| 37 | 1992          |       | 5   | 8:00  | 27.0   | 39.0  | 68.7  | 90.1  | 100  |      |      |     |     |     |                               |                          | 12.0 | 25.4 |
| 38 | 1992          |       | 6   | 8:00  | 43.9   | 60.2  | 87.2  | 97.2  | 99.9 | 100  |      |     |     |     |                               |                          | 38.0 | 23.8 |
| 39 | 1992          |       |     | 20:00 | 52.5   | 69.4  | 92.3  | 96.9  | 99.9 | 100  |      |     |     |     |                               |                          | 47.3 | 25.0 |
| 40 | 1992          |       | 8   | 8:00  | 63.0   | 83.9  | 94.6  | 96.4  | 100  |      |      |     |     |     |                               |                          | 34.7 | 22.4 |

| No | sampling time |       |     |       | Suspended load size distribution, Percentage finer by weight |       |       |       |      |      |      |     |     |     | Conc.<br>(kg/m <sup>3</sup> ) | Water<br>temperature(°C) |      |
|----|---------------|-------|-----|-------|--|-------|-------|-------|------|------|------|-----|-----|-----|-------------------------------|--------------------------|------|
|    |               |       |     |       | D(mm)  |       |       |       |      |      |      |     |     |     |                               |                          |      |
|    | Year          | Month | Day | Time  | 0.005  | 0.010 | 0.025 | 0.050 | 0.10 | 0.25 | 0.50 | 1.0 | 2.0 | 5.0 |                               |                          |      |
| 41 | 1992          | 6     | 11  | 8:00  | 78.3   | 90.3  | 93.4  | 95.6  | 100  |      |      |     |     |     |                               | 13.9                     | 21.2 |
| 42 | 1992          |       | 12  | 8:00  | 80.9   | 88.4  | 90.0  | 93.3  | 99.7 | 100  |      |     |     |     |                               | 0.28                     | 22.0 |
| 43 | 1992          |       | 14  | 12:00 | 37.8   | 49.5  | 74.0  | 94.6  | 99.9 | 100  |      |     |     |     |                               | 31.8                     | 22.8 |
| 44 | 1992          |       |     | 18:30 | 34.2   | 51.9  | 79.2  | 94.5  | 99.8 | 100  |      |     |     |     |                               | 62.3                     | 22.8 |
| 45 | 1992          |       |     | 19:30 | 32.5   | 47.2  | 72.5  | 93.3  | 99.9 | 100  |      |     |     |     |                               | 70.7                     | 22.6 |
| 46 | 1992          |       | 15  | 2:00  | 36.2   | 52.7  | 76.0  | 94.5  | 99.9 | 100  |      |     |     |     |                               | 108                      | 22.2 |
| 47 | 1992          |       |     | 14:00 | 31.8   | 44.6  | 73.1  | 95.2  | 99.1 | 99.9 | 100  |     |     |     |                               | 161                      | 22.6 |
| 48 | 1992          |       | 16  | 8:00  | 38.7   | 54.9  | 82.8  | 95.9  | 99.4 | 100  |      |     |     |     |                               | 110                      | 21.8 |
| 49 | 1992          |       | 17  | 8:00  | 36.1   | 49.9  | 77.1  | 95.5  | 99.9 | 100  |      |     |     |     |                               | 64.1                     | 22.4 |
| 50 | 1992          |       | 19  | 8:00  | 35.9   | 51.1  | 82.2  | 97.5  | 100  |      |      |     |     |     |                               | 29.9                     | 22.8 |
| 51 | 1992          |       | 21  | 8:00  | 24.5   | 36.3  | 65.5  | 92.1  | 99.9 | 100  |      |     |     |     |                               | 20.2                     | 18.8 |
| 52 | 1992          |       | 24  | 14:00 | 20.6   | 31.4  | 59.2  | 88.1  | 98.6 | 100  |      |     |     |     |                               | 23.1                     | 23.2 |
| 53 | 1992          |       | 25  | 18:00 | 14.5   | 23.5  | 52.6  | 89.4  | 99.2 | 99.9 | 100  |     |     |     |                               | 34.2                     | 24.6 |
| 54 | 1992          |       |     | 19:35 | 19.4   | 31.2  | 61.7  | 94.2  | 99.9 | 100  |      |     |     |     |                               | 61.5                     | 24.4 |
| 55 | 1992          |       | 26  | 0:00  | 21.5   | 34.7  | 64.7  | 90.4  | 99.8 | 100  |      |     |     |     |                               | 63.7                     | 23.8 |
| 56 | 1992          |       |     | 4:00  | 25.6   | 40.5  | 72.7  | 94.6  | 99.6 | 100  |      |     |     |     |                               | 123                      | 23.2 |
| 57 | 1992          |       |     | 6:24  | 14.1   | 22.4  | 48.6  | 84.4  | 98.4 | 99.9 | 100  |     |     |     |                               | 374                      | 22.8 |
| 58 | 1992          |       |     | 7:24  | 14.0   | 22.0  | 51.3  | 86.5  | 98.6 | 99.9 | 100  |     |     |     |                               | 363                      | 20.6 |
| 59 | 1992          |       |     | 12:00 | 15.6   | 24.0  | 54.0  | 88.4  | 99.4 | 100  |      |     |     |     |                               | 355                      | 20.6 |
| 60 | 1992          |       |     | 20:00 | 14.5   | 22.6  | 51.5  | 85.2  | 99.1 | 100  |      |     |     |     |                               | 371                      | 22.8 |
| 61 | 1992          | 6     | 26  | 20:00 | 20.0   | 32.4  | 62.6  | 92.6  | 99.6 | 99.9 |      |     |     |     |                               | 303                      | 23.0 |
| 62 | 1992          |       | 27  | 4:00  | 17.4   | 26.4  | 53.9  | 85.8  | 99.2 | 100  |      |     |     |     |                               | 192                      | 22.2 |
| 63 | 1992          |       |     | 8:00  | 19.2   | 31.4  | 62.9  | 93.1  | 99.6 | 100  |      |     |     |     |                               | 207                      | 22.4 |
| 64 | 1992          |       |     | 20:00 | 20.1   | 30.4  | 60.6  | 89.7  | 99.8 | 100  |      |     |     |     |                               | 156                      | 23.6 |
| 65 | 1992          |       | 28  | 2:00  | 20.3   | 31.8  | 60.6  | 95.7  | 99.7 | 99.9 | 100  |     |     |     |                               | 226                      | 21.6 |
| 66 | 1992          |       |     | 20:00 | 25.8   | 39.0  | 67.4  | 91.2  | 99.9 | 100  |      |     |     |     |                               | 133                      | 23.2 |
| 67 | 1992          |       | 29  | 14:00 | 33.1   | 50.3  | 78.1  | 97.3  | 99.9 | 100  |      |     |     |     |                               | 48.5                     | 25.0 |
| 68 | 1992          |       |     | 20:00 | 34.9   | 50.7  | 79.9  | 96.9  | 99.9 | 100  |      |     |     |     |                               | 51.9                     | 24.6 |
| 69 | 1992          |       | 30  | 20:00 | 37.4   | 53.1  | 79.8  | 95.0  | 99.9 | 100  |      |     |     |     |                               | 54.2                     | 25.4 |
| 70 | 1992          | 7     | 1   | 8:00  | 46.5   | 64.1  | 87.3  | 96.8  | 99.9 | 100  |      |     |     |     |                               | 39.3                     | 24.6 |
| 71 | 1992          |       | 4   | 8:00  | 61.6   | 77.3  | 91.0  | 96.4  | 99.9 | 100  |      |     |     |     |                               | 18.0                     | 26.6 |
| 72 | 1992          |       | 7   | 8:00  | 76.8   | 85.2  | 93.1  | 95.4  | 99.9 | 100  |      |     |     |     |                               | 3.45                     | 27.0 |
| 73 | 1992          |       | 8   | 8:00  | 81.0   | 83.2  | 88.7  | 92.5  | 99.8 | 100  |      |     |     |     |                               | 0.79                     | 26.6 |
| 74 | 1992          |       | 15  | 8:00  | 26.1   | 38.2  | 63.6  | 94.6  | 99.8 | 100  |      |     |     |     |                               | 2.50                     | 22.4 |
| 75 | 1992          |       | 16  | 4:00  | 10.3   | 18.1  | 49.8  | 91.2  | 99.8 | 100  |      |     |     |     |                               | 69.0                     | 22.6 |
| 76 | 1992          |       |     | 12:00 | 16.0   | 25.0  | 53.5  | 88.4  | 99.9 | 100  |      |     |     |     |                               | 47.5                     | 22.4 |
| 77 | 1992          |       |     | 20:00 | 19.2   | 26.9  | 56.7  | 90.4  | 99.9 | 100  |      |     |     |     |                               | 32.9                     | 22.8 |
| 78 | 1992          |       | 17  | 8:00  | 15.4   | 22.2  | 46.3  | 89.2  | 99.7 | 100  |      |     |     |     |                               | 38.4                     | 22.4 |
| 79 | 1992          |       | 18  | 8:00  | 11.7   | 16.2  | 41.3  | 88.0  | 99.6 | 100  |      |     |     |     |                               | 25.1                     | 24.2 |
| 80 | 1992          |       |     | 9:36  | 16.7   | 23.4  | 46.9  | 91.4  | 99.7 | 100  |      |     |     |     |                               | 30.3                     | 24.6 |

| No  | sampling time |       |     |       | Suspended load size distribution, Percentage finer by weight |       |       |       |      |      |      |     |     |     | Conc.<br>(kg/m <sup>3</sup> ) | Water<br>temperature(°C) |      |      |
|-----|---------------|-------|-----|-------|--|-------|-------|-------|------|------|------|-----|-----|-----|-------------------------------|--------------------------|------|------|
|     | Year          | Month | Day | Time  | D(mm)  |       |       |       |      |      |      |     |     |     |                               |                          |      |      |
|     |               |       |     |       | 0.005  | 0.010 | 0.025 | 0.050 | 0.10 | 0.25 | 0.50 | 1.0 | 2.0 | 5.0 |                               |                          |      |      |
| 81  | 1992          | 7     | 18  | 11:00 | 16,7   | 24,7  | 48,1  | 89,4  | 99,7 | 100  |      |     |     |     |                               |                          | 28,4 | 24,8 |
| 82  | 1992          |       | 20  | 8:00  | 32,2   | 45,7  | 69,6  | 94,6  | 99,4 | 100  |      |     |     |     |                               |                          | 17,3 | 26,6 |
| 83  | 1992          |       | 22  | 8:00  | 48,5   | 64,5  | 83,9  | 95,9  | 99,7 | 100  |      |     |     |     |                               |                          | 12,0 | 28,6 |
| 84  | 1992          |       | 23  | 8:00  | 56,8   | 70,4  | 87,9  | 96,0  | 100  | 100  |      |     |     |     |                               |                          | 7,86 | 27,4 |
| 85  | 1992          |       | 24  | 8:00  | 69,8   | 79,4  | 89,5  | 94,8  | 99,9 | 100  |      |     |     |     |                               |                          | 12,9 | 28,0 |
| 86  | 1992          |       | 26  | 8:00  | 83,4   | 85,2  | 91,2  | 94,1  | 99,9 | 100  |      |     |     |     |                               |                          | 4,34 | 26,2 |
| 87  | 1992          |       |     | 10:00 | 13,9   | 20,5  | 41,9  | 87,2  | 99,8 | 100  |      |     |     |     |                               |                          | 58,2 | 26,6 |
| 88  | 1992          |       |     | 16:00 | 18,8   | 29,2  | 55,7  | 92,0  | 99,8 | 100  |      |     |     |     |                               |                          | 114  | 28,0 |
| 89  | 1992          |       | 27  | 0:00  | 17,1   | 25,8  | 50,2  | 85,2  | 96,8 | 99,7 | 100  |     |     |     |                               |                          | 391  | 26,6 |
| 90  | 1992          |       |     | 6:42  | 17,3   | 25,1  | 48,9  | 80,9  | 96,2 | 99,3 | 100  |     |     |     |                               |                          | 450  | 26,2 |
| 91  | 1992          |       |     | 7:54  | 16,4   | 24,6  | 46,8  | 84,2  | 95,1 | 98,8 | 99,9 | 100 |     |     |                               |                          | 480  | 26,6 |
| 92  | 1992          |       |     | 12:00 | 15,9   | 23,8  | 45,7  | 81,6  | 95,9 | 98,8 | 99,9 | 100 |     |     |                               |                          | 491  | 28,4 |
| 93  | 1992          |       | 28  | 8:00  | 27,2   | 40,2  | 67,3  | 92,7  | 99,0 | 99,8 | 100  |     |     |     |                               |                          | 329  | 27,6 |
| 94  | 1992          |       | 29  | 8:00  | 41,6   | 58,9  | 84,9  | 96,6  | 99,8 | 100  |      |     |     |     |                               |                          | 165  | 27,2 |
| 95  | 1992          |       | 30  | 8:00  | 50,8   | 67,9  | 90,2  | 96,6  | 99,8 | 100  |      |     |     |     |                               |                          | 134  | 24,4 |
| 96  | 1992          |       |     | 20:00 | 24,8   | 36,2  | 64,3  | 92,3  | 99,0 | 99,9 | 100  |     |     |     |                               |                          | 251  | 28,0 |
| 97  | 1992          |       | 31  | 14:00 | 31,5   | 44,8  | 72,0  | 94,7  | 99,5 | 100  |      |     |     |     |                               |                          | 143  | 28,6 |
| 98  | 1992          | 8     | 1   | 2:00  | 28,8   | 40,9  | 68,1  | 92,3  | 99,6 | 100  |      |     |     |     |                               |                          | 188  | 27,0 |
| 99  | 1992          |       | 3   | 8:00  | 46,6   | 60,3  | 84,6  | 96,5  | 99,8 | 100  |      |     |     |     |                               |                          | 88,2 | 28,2 |
| 100 | 1992          |       | 5   | 20:00 | 79,2   | 84,7  | 93,8  | 95,8  | 99,9 | 100  |      |     |     |     |                               |                          | 26,0 | 30,2 |
| 101 | 1992          | 8     | 7   | 8:00  | 41,3   | 57,6  | 82,8  | 96,7  | 100  |      |      |     |     |     |                               |                          | 48,0 | 28,2 |
| 102 | 1992          |       |     | 20:00 | 47,5   | 60,4  | 85,8  | 96,1  | 100  |      |      |     |     |     |                               |                          | 37,0 | 29,4 |
| 103 | 1992          |       | 9   | 2:00  | 33,5   | 47,4  | 77,6  | 95,6  | 99,9 | 100  |      |     |     |     |                               |                          | 154  | 26,8 |
| 104 | 1992          |       |     | 8:00  | 34,2   | 47,0  | 76,0  | 95,0  | 99,9 | 100  |      |     |     |     |                               |                          | 119  | 27,0 |
| 105 | 1992          |       |     | 20:00 | 16,0   | 23,4  | 47,0  | 84,4  | 95,6 | 98,9 | 100  |     |     |     |                               |                          | 139  | 27,4 |
| 106 | 1992          |       | 10  | 14:00 | 33,4   | 47,8  | 75,3  | 89,8  | 99,9 | 100  |      |     |     |     |                               |                          | 83,1 | 28,0 |
| 107 | 1992          |       |     | 20:00 | 35,1   | 50,4  | 79,5  | 93,3  | 99,9 | 100  |      |     |     |     |                               |                          | 256  | 27,8 |
| 108 | 1992          |       | 11  | 0:00  | 17,4   | 25,8  | 53,3  | 88,7  | 99,5 | 100  |      |     |     |     |                               |                          | 569  | 26,8 |
| 109 | 1992          |       |     | 4:00  | 11,1   | 16,8  | 36,8  | 75,6  | 94,8 | 98,9 | 100  |     |     |     |                               |                          | 483  | 26,6 |
| 110 | 1992          |       |     | 8:00  | 16,8   | 24,9  | 46,8  | 77,7  | 95,3 | 96,9 | 99,7 | 100 |     |     |                               |                          | 542  | 25,6 |
| 111 | 1992          |       |     | 16:00 | 18,7   | 27,4  | 50,7  | 76,7  | 85,9 | 95,3 | 99,6 | 100 |     |     |                               |                          | 455  | 25,6 |
| 112 | 1992          |       |     | 17:24 | 20,5   | 28,7  | 52,9  | 81,2  | 96,0 | 98,2 | 99,9 | 100 |     |     |                               |                          | 435  | 25,6 |
| 113 | 1992          |       | 12  | 8:00  | 20,3   | 30,8  | 57,4  | 85,4  | 97,9 | 99,3 | 100  |     |     |     |                               |                          | 369  | 25,4 |
| 114 | 1992          |       |     | 16:00 | 19,6   | 29,5  | 55,1  | 85,1  | 95,6 | 97,8 | 99,8 | 100 |     |     |                               |                          | 513  | 25,0 |
| 115 | 1992          |       | 13  | 4:00  | 18,8   | 27,9  | 52,9  | 82,0  | 95,0 | 98,1 | 99,9 | 100 |     |     |                               |                          | 454  | 24,6 |
| 116 | 1992          |       |     | 8:00  | 14,4   | 22,8  | 45,0  | 75,4  | 92,0 | 96,1 | 96,6 | 100 |     |     |                               |                          | 528  | 24,2 |
| 117 | 1992          |       | 14  | 12:00 | 29,9   | 43,3  | 71,5  | 92,0  | 99,4 | 99,9 | 100  |     |     |     |                               |                          | 245  | 24,8 |
| 118 | 1992          |       |     | 14:00 | 28,4   | 40,6  | 66,7  | 87,9  | 98,9 | 99,7 | 100  |     |     |     |                               |                          | 257  | 26,4 |
| 119 | 1992          |       |     | 16:00 | 27,3   | 39,9  | 67,2  | 89,9  | 99,2 | 99,9 | 100  |     |     |     |                               |                          | 258  | 26,4 |
| 120 | 1992          |       | 15  | 0:00  | 24,4   | 36,4  | 61,8  | 89,6  | 98,6 | 99,7 | 100  |     |     |     |                               |                          | 286  | 24,0 |

| No  | sampling time |       |     |       | Suspended load size distribution, Percentage finer by weight |       |       |       |      |      |      |     |     |     | Conc.<br>(kg/m <sup>3</sup> ) | Water<br>temperature(°C) |      |
|-----|---------------|-------|-----|-------|--|-------|-------|-------|------|------|------|-----|-----|-----|-------------------------------|--------------------------|------|
|     |               |       |     |       | D(mm)  |       |       |       |      |      |      |     |     |     |                               |                          |      |
|     | Year          | Month | Day | Time  | 0.005  | 0.010 | 0.025 | 0.050 | 0.10 | 0.25 | 0.50 | 1.0 | 2.0 | 5.0 |                               |                          |      |
| 121 | 1992          | 8     | 16  | 8:00  | 29.0   | 42.8  | 70.4  | 86.6  | 98.3 | 99.8 | 100  |     |     |     |                               | 169                      | 24.4 |
| 122 | 1992          |       | 18  | 8:00  | 46.3   | 60.4  | 85.8  | 96.0  | 99.9 | 100  |      |     |     |     |                               | 78.4                     | 24.6 |
| 123 | 1992          |       | 19  | 20:00 | 43.7   | 57.8  | 81.4  | 96.9  | 99.9 | 100  |      |     |     |     |                               | 19.4                     | 24.8 |
| 124 | 1992          |       | 20  | 20:00 | 42.9   | 58.2  | 84.9  | 97.3  | 100  |      |      |     |     |     |                               | 30.2                     | 23.6 |
| 125 | 1992          |       | 21  | 2:00  | 41.5   | 56.4  | 81.0  | 96.5  | 99.8 | 100  |      |     |     |     |                               | 26.9                     | 22.4 |
| 126 | 1992          |       | 22  | 20:00 | 35.8   | 52.4  | 78.6  | 94.3  | 99.9 | 100  |      |     |     |     |                               | 74.3                     | 22.4 |
| 127 | 1992          |       | 25  | 8:00  | 48.5   | 64.3  | 81.8  | 92.8  | 99.7 | 100  |      |     |     |     |                               | 18.8                     | 24.2 |
| 128 | 1992          |       | 28  | 8:00  | 38.6   | 52.4  | 73.4  | 93.2  | 99.5 | 99.9 | 100  |     |     |     |                               | 6.26                     | 26.4 |
| 129 | 1992          |       | 30  | 8:00  | 40.2   | 56.2  | 80.0  | 96.9  | 99.6 | 99.8 | 100  |     |     |     |                               | 4.56                     | 25.4 |
| 130 | 1992          |       | 31  | 8:00  | 43.9   | 56.0  | 76.4  | 95.6  | 99.7 | 100  |      |     |     |     |                               | 37.1                     | 25.6 |
| 131 | 1992          |       |     | 20:00 | 29.3   | 43.2  | 74.5  | 94.1  | 99.8 | 99.9 | 100  |     |     |     |                               | 114                      | 23.8 |
| 132 | 1992          | 9     | 1   | 2:00  | 28.5   | 42.2  | 74.1  | 91.0  | 99.9 | 100  |      |     |     |     |                               | 116                      | 23.2 |
| 133 | 1992          |       |     | 17:48 | 19.1   | 27.1  | 55.0  | 92.3  | 99.4 | 99.9 | 100  |     |     |     |                               | 279                      | 24.0 |
| 134 | 1992          |       |     | 18:54 | 17.1   | 26.1  | 50.2  | 87.1  | 99.4 | 99.9 | 100  |     |     |     |                               | 282                      | 23.8 |
| 135 | 1992          |       | 2   | 12:00 | 21.2   | 31.8  | 56.4  | 83.7  | 99.7 | 100  |      |     |     |     |                               | 162                      | 24.6 |
| 136 | 1992          |       |     | 16:00 | 23.1   | 34.6  | 62.0  | 90.5  | 99.8 | 100  |      |     |     |     |                               | 176                      | 25.2 |
| 137 | 1992          |       | 3   | 12:00 | 34.5   | 51.2  | 81.2  | 93.3  | 99.9 | 100  |      |     |     |     |                               | 55.5                     | 25.8 |
| 138 | 1992          |       | 4   | 14:00 | 41.4   | 59.1  | 85.9  | 96.5  | 99.9 | 100  |      |     |     |     |                               | 87.8                     | 26.8 |
| 139 | 1992          |       | 8   | 8:00  | 59.5   | 73.8  | 93.3  | 95.5  | 99.9 | 100  |      |     |     |     |                               | 26.2                     | 22.0 |
| 140 | 1992          |       | 12  | 8:00  | 32.8   | 48.8  | 82.2  | 96.8  | 99.9 | 100  |      |     |     |     |                               | 8.84                     | 20.0 |
| 141 | 1992          | 9     | 13  | 8:00  | 11.8   | 22.9  | 63.9  | 88.2  | 99.7 | 100  |      |     |     |     |                               | 32.9                     | 20.6 |
| 142 | 1992          |       | 14  | 8:00  | 18.1   | 30.6  | 68.4  | 96.1  | 99.9 | 100  |      |     |     |     |                               | 26.4                     | 19.6 |
| 143 | 1992          |       | 16  | 8:00  | 12.3   | 19.5  | 53.1  | 93.9  | 99.5 | 100  |      |     |     |     |                               | 15.3                     | 18.4 |
| 144 | 1992          |       | 17  | 8:00  | 13.8   | 21.9  | 50.4  | 82.9  | 99.8 | 100  |      |     |     |     |                               | 12.9                     | 17.6 |
| 145 | 1992          |       | 18  | 8:00  | 12.8   | 20.1  | 49.4  | 89.8  | 99.2 | 100  |      |     |     |     |                               | 21.2                     | 17.2 |
| 146 | 1992          |       | 20  | 8:00  | 11.8   | 18.5  | 47.1  | 87.2  | 99.4 | 100  |      |     |     |     |                               | 10.0                     | 17.6 |
| 147 | 1992          |       | 22  | 14:00 | 8.1  | 12.9  | 35.8  | 79.5  | 98.6 | 99.9 | 100  |     |     |     |                               | 19.7                     | 16.8 |
| 148 | 1992          |       | 24  | 8:00  | 11.7   | 17.8  | 43.1  | 84.7  | 99.6 | 100  |      |     |     |     |                               | 8.45                     | 17.4 |
| 149 | 1992          |       | 26  | 8:30  | 22.3   | 34.3  | 66.5  | 95.3  | 99.8 | 100  |      |     |     |     |                               | 26.2                     | 18.2 |
| 150 | 1992          |       |     | 9:54  | 21.0   | 31.5  | 60.8  | 88.5  | 99.4 | 100  |      |     |     |     |                               | 24.9                     | 18.2 |
| 151 | 1992          |       | 28  | 8:00  | 35.3   | 49.4  | 75.0  | 96.4  | 99.2 | 99.9 | 100  |     |     |     |                               | 26.0                     | 17.2 |
| 152 | 1992          |       | 30  | 18:00 | 40.3   | 54.8  | 78.1  | 96.9  | 99.7 | 99.9 | 100  |     |     |     |                               | 9.04                     | 18.4 |
| 153 | 1992          | 10    | 1   | 8:00  | 35.0   | 48.9  | 73.3  | 97.1  | 99.7 | 100  |      |     |     |     |                               | 7.04                     | 19.0 |
| 154 | 1992          |       | 3   | 18:00 | 24.1   | 35.0  | 64.4  | 97.7  | 99.9 | 100  |      |     |     |     |                               | 3.81                     | 18.2 |
| 155 | 1992          |       | 5   | 2:00  | 13.6   | 21.9  | 48.5  | 90.5  | 99.9 | 100  |      |     |     |     |                               | 12.7                     | 14.6 |
| 156 | 1992          |       | 6   | 8:00  | 14.3   | 23.2  | 51.8  | 88.2  | 99.7 | 100  |      |     |     |     |                               | 9.85                     | 16.2 |
| 157 | 1992          |       | 8   | 8:00  | 17.3   | 26.9  | 54.0  | 91.6  | 99.5 | 100  |      |     |     |     |                               | 9.19                     | 14.2 |
| 158 | 1992          |       | 11  | 17:06 | 37.9   | 52.9  | 76.3  | 97.3  | 99.8 | 100  |      |     |     |     |                               | 6.72                     | 16.2 |
| 159 | 1992          |       |     | 18:24 | 38.5   | 54.0  | 76.1  | 96.9  | 99.6 | 100  |      |     |     |     |                               | 6.34                     | 16.2 |
| 160 | 1992          |       | 15  | 8:00  | 28.6   | 40.9  | 63.0  | 93.5  | 99.8 |      |      |     |     |     |                               | 3.31                     | 15.8 |

| No  | sampling time |       |       |       | Suspended load size distribution, Percentage finer by weight |       |       |       |      |      |      |     |     |     | Conc.<br>(kg/m <sup>3</sup> ) | Water<br>temperature(°C) |      |
|-----|---------------|-------|-------|-------|--|-------|-------|-------|------|------|------|-----|-----|-----|-------------------------------|--------------------------|------|
|     |               |       |       |       | D(mm)  |       |       |       |      |      |      |     |     |     |                               |                          |      |
|     | Year          | Month | Day   | Time  | 0.005  | 0.010 | 0.025 | 0.050 | 0.10 | 0.25 | 0.50 | 1.0 | 2.0 | 5.0 |                               |                          |      |
| 161 | 1992          | 10    | 20    | 8:00  | 49.6   | 67.3  | 87.5  | 96.3  | 99.8 | 100  |      |     |     |     |                               | 4.11                     | 14.4 |
| 162 | 1992          |       | 22    | 8:00  | 16.7   | 26.4  | 49.8  | 86.0  | 99.3 | 100  |      |     |     |     |                               | 3.71                     | 12.2 |
| 163 | 1992          |       | 24    | 8:00  | 17.7   | 28.7  | 60.6  | 91.3  | 99.8 | 100  |      |     |     |     |                               | 7.17                     | 11.4 |
| 164 | 1992          |       | 27    | 8:00  | 46.3   | 65.4  | 80.4  | 95.7  | 99.9 | 100  |      |     |     |     |                               | 10.2                     | 11.2 |
| 165 | 1992          |       | 31    | 8:00  | 32.6   | 46.1  | 72.7  | 97.2  | 99.7 | 100  |      |     |     |     |                               | 3.23                     | 12.4 |
| 166 | 1992          | 11    | 1     | 8:00  | 24.8   | 34.7  | 63.6  | 94.1  | 99.8 | 100  |      |     |     |     |                               | 5.41                     | 12.0 |
| 167 | 1992          |       | 5     | 8:00  | 27.9   | 38.0  | 60.0  | 88.5  | 99.0 | 100  |      |     |     |     |                               | 2.60                     | 11.8 |
| 168 | 1992          |       | 10    | 8:00  | 32.1   | 43.0  | 67.4  | 92.4  | 99.0 | 100  |      |     |     |     |                               | 1.93                     | 7.8  |
| 169 | 1992          |       | 15    | 8:00  | 26.4   | 36.9  | 63.6  | 88.8  | 99.2 | 100  |      |     |     |     |                               | 1.47                     | 8.8  |
| 170 | 1992          |       | 20    | 8:00  | 24.6   | 35.5  | 58.3  | 83.4  | 99.6 | 100  |      |     |     |     |                               | 1.17                     | 7.0  |
| 171 | 1992          |       | 25    | 12:00 | 37.3   | 49.8  | 76.0  | 94.6  | 99.4 | 100  |      |     |     |     |                               | 0.82                     | 7.8  |
| 172 | 1992          |       | 30    | 12:00 | 31.5   | 46.0  | 71.6  | 92.4  | 99.4 | 100  |      |     |     |     |                               | 0.46                     | 5.8  |
| 173 | 1992          | 12    | 5-10  |       | 24.6   | 40.0  | 63.8  | 81.8  | 98.2 | 100  |      |     |     |     |                               | 0.20                     |      |
| 1   | 1993          | 1     | 10    | 13:00 | 15.9   | 28.2  | 66.1  | 87.3  | 97.6 | 99.4 | 100  |     |     |     |                               | 0.59                     | 2.8  |
| 2   | 1993          |       | 15-20 |       | 18.0   | 30.8  | 63.1  | 88.2  | 99.5 | 100  |      |     |     |     |                               | 0.37                     |      |
| 3   | 1993          |       | 25-31 |       | 23.3   | 37.1  | 65.4  | 85.0  | 97.9 | 99.5 | 100  |     |     |     |                               | 0.31                     |      |
| 4   | 1993          |       | 5-10  |       | 21.9   | 34.3  | 62.2  | 84.6  | 98.7 | 99.6 | 100  |     |     |     |                               | 0.45                     |      |
| 5   | 1993          |       | 15-20 |       | 15.3   | 24.9  | 54.7  | 82.1  | 99.6 | 99.9 | 100  |     |     |     |                               | 0.85                     |      |
| 6   | 1993          |       | 25-28 |       | 25.0   | 36.7  | 63.3  | 88.2  | 99.4 | 99.7 | 100  |     |     |     |                               | 0.92                     |      |
| 7   | 1993          | 3     | 5-10  |       | 19.7   | 32.0  | 63.2  | 91.1  | 99.3 | 100  |      |     |     |     |                               | 0.51                     |      |
| 8   | 1993          |       | 15-20 |       | 18.8   | 29.6  | 58.4  | 85.9  | 99.0 | 100  |      |     |     |     |                               | 1.44                     |      |
| 9   | 1993          |       | 25    | 13:00 | 38.8   | 51.8  | 71.8  | 96.0  | 99.5 | 100  |      |     |     |     |                               | 1.50                     | 10.6 |
| 10  | 1993          |       | 31    | 11:00 | 19.5   | 30.2  | 60.0  | 91.9  | 99.9 | 100  |      |     |     |     |                               | 3.90                     | 11.2 |
| 11  | 1993          | 4     | 5     | 8:00  | 20.5   | 31.1  | 62.4  | 94.0  | 99.8 | 100  |      |     |     |     |                               | 5.08                     | 11.2 |
| 12  | 1993          |       | 10    | 8:00  | 21.5   | 32.6  | 58.0  | 91.3  | 99.7 | 100  |      |     |     |     |                               | 2.40                     | 11.4 |
| 13  | 1993          |       | 15    | 8:00  | 18.9   | 29.5  | 56.6  | 84.1  | 99.9 | 100  |      |     |     |     |                               | 1.37                     | 14.6 |
| 14  | 1993          |       | 20    | 8:00  | 14.3   | 24.6  | 55.3  | 85.4  | 99.6 | 100  |      |     |     |     |                               | 1.12                     | 10.0 |
| 15  | 1993          |       | 25    | 8:00  | 16.1   | 26.6  | 56.9  | 89.3  | 99.7 | 100  |      |     |     |     |                               | 1.02                     | 19.8 |
| 16  | 1993          |       | 30    | 8:00  | 18.6   | 31.9  | 64.9  | 90.3  | 99.8 | 100  |      |     |     |     |                               | 0.52                     | 22.0 |
| 17  | 1993          | 5     | 5     | 8:00  | 22.0   | 34.8  | 67.0  | 95.6  | 99.8 | 100  |      |     |     |     |                               | 1.61                     | 20.2 |
| 18  | 1993          |       | 6     | 8:00  | 57.9   | 67.9  | 79.8  | 96.0  | 100  |      |      |     |     |     |                               | 6.73                     | 20.4 |
| 19  | 1993          |       | 7     | 8:00  | 75.9   | 86.4  | 92.2  | 94.8  | 99.9 | 100  |      |     |     |     |                               | 9.98                     | 18.6 |
| 20  | 1993          |       | 8     | 8:00  | 63.8   | 76.5  | 87.8  | 95.1  | 100  |      |      |     |     |     |                               | 8.36                     | 16.2 |
| 21  | 1993          | 5     | 10    | 8:00  | 49.3   | 65.0  | 77.5  | 94.0  | 99.6 | 100  |      |     |     |     |                               | 2.68                     | 17.6 |
| 22  | 1993          |       | 14    | 14:00 | 12.4   | 21.3  | 52.0  | 86.8  | 99.6 | 100  |      |     |     |     |                               | 21.4                     | 14.4 |
| 23  | 1993          |       | 15    | 8:00  | 10.4   | 30.7  | 62.2  | 93.0  | 99.8 | 100  |      |     |     |     |                               | 12.3                     | 13.0 |
| 24  | 1993          |       |       | 9:10  | 16.9   | 27.0  | 55.6  | 86.3  | 99.5 | 100  |      |     |     |     |                               | 14.0                     | 13.0 |
| 25  | 1993          |       |       | 10:10 | 15.3   | 24.7  | 52.9  | 83.1  | 99.4 | 100  |      |     |     |     |                               | 13.8                     | 13.0 |

| No | sampling time |       |     |       | Suspended load size distribution, Percentage finer by weight |       |       |       |      |      |      |     |     |     | Conc.<br>(kg/m <sup>3</sup> ) | Water<br>temperature(°C) |      |
|----|---------------|-------|-----|-------|--|-------|-------|-------|------|------|------|-----|-----|-----|-------------------------------|--------------------------|------|
|    |               |       |     |       | D(mm)  |       |       |       |      |      |      |     |     |     |                               |                          |      |
|    | Year          | Month | Day | Time  | 0.005  | 0.010 | 0.025 | 0.050 | 0.10 | 0.25 | 0.50 | 1.0 | 2.0 | 5.0 |                               |                          |      |
| 26 | 1993          |       | 16  | 8:00  | 15.6   | 24.8  | 49.7  | 83.0  | 99.2 | 100  |      |     |     |     |                               | 10.6                     | 13.6 |
| 27 | 1993          |       | 17  | 8:00  | 16.4   | 25.2  | 51.2  | 85.7  | 99.0 | 100  |      |     |     |     |                               | 6.40                     | 16.0 |
| 28 | 1993          |       | 20  | 8:00  | 21.5   | 32.7  | 60.5  | 88.7  | 99.6 | 100  |      |     |     |     |                               | 3.10                     | 19.2 |
| 29 | 1993          |       | 25  | 8:00  | 22.7   | 35.1  | 62.2  | 91.0  | 99.8 | 100  |      |     |     |     |                               | 1.10                     | 22.2 |
| 30 | 1993          |       | 31  | 8:00  | 21.5   | 33.8  | 61.9  | 84.3  | 99.7 | 100  |      |     |     |     |                               | 0.83                     | 23.6 |
| 31 | 1993          | 6     | 3   | 8:00  | 41.3   | 52.6  | 74.0  | 96.3  | 99.7 | 100  |      |     |     |     |                               | 1.57                     | 23.8 |
| 32 | 1993          |       | 4   | 8:00  | 76.1   | 32.2  | 94.6  | 99.4  | 99.4 | 100  |      |     |     |     |                               | 5.15                     | 20.2 |
| 33 | 1993          |       | 5   | 8:00  | 64.0   | 76.2  | 89.4  | 99.9  | 99.9 | 100  |      |     |     |     |                               | 3.29                     | 21.6 |
| 34 | 1993          |       | 6   | 8:00  | 31.3   | 43.0  | 71.4  | 97.3  | 99.9 | 100  |      |     |     |     |                               | 7.44                     | 25.2 |
| 35 | 1993          |       | 8   | 8:00  | 60.0   | 73.3  | 96.5  | 99.9  | 99.9 | 100  |      |     |     |     |                               | 21.3                     | 25.0 |
| 36 | 1993          |       | 11  | 8:00  | 47.8   | 61.9  | 84.6  | 95.1  | 99.3 | 100  |      |     |     |     |                               | 4.02                     | 25.6 |
| 37 | 1993          |       | 15  | 8:00  | 32.0   | 52.7  | 80.8  | 96.0  | 99.8 | 100  |      |     |     |     |                               | 2.01                     | 24.2 |
| 38 | 1993          |       | 17  | 8:00  | 52.5   | 75.1  | 95.3  | 99.9  | 99.9 | 100  |      |     |     |     |                               | 5.65                     | 24.6 |
| 39 | 1993          |       | 18  | 20:00 | 68.5   | 85.0  | 96.7  | 99.9  | 99.9 | 100  |      |     |     |     |                               | 14.5                     | 25.2 |
| 40 | 1993          |       | 21  | 8:00  | 57.4   | 78.1  | 97.4  | 99.9  | 99.9 | 100  |      |     |     |     |                               | 7.35                     | 23.4 |
| 41 | 1993          | 6     | 23  | 8:00  | 64.6   | 80.5  | 97.2  | 99.9  | 99.9 | 100  |      |     |     |     |                               | 22.9                     | 23.8 |
| 42 | 1993          |       | 24  | 8:00  | 70.0   | 87.0  | 97.0  | 99.9  | 99.9 | 100  |      |     |     |     |                               | 25.7                     | 23.8 |
| 43 | 1993          |       | 25  | 12:00 | 74.4   | 94.2  | 97.0  | 99.8  | 99.8 | 100  |      |     |     |     |                               | 10.0                     | 24.2 |
| 44 | 1993          |       | 26  | 18:30 | 58.7   | 79.2  | 93.3  | 95.5  | 99.9 | 100  |      |     |     |     |                               | 10.0                     | 24.6 |
| 45 | 1993          |       | 27  | 19:30 | 58.7   | 70.5  | 97.5  | 99.9  | 99.9 | 100  |      |     |     |     |                               | 8.33                     | 23.0 |
| 46 | 1993          |       |     | 2:00  | 57.4   | 78.2  | 97.5  | 99.6  | 99.6 | 100  |      |     |     |     |                               | 8.28                     | 23.0 |
| 47 | 1993          |       | 29  | 14:00 | 22.9   | 38.4  | 65.9  | 94.5  | 99.8 | 100  |      |     |     |     |                               | 14.3                     | 21.0 |
| 48 | 1993          |       |     | 8:00  | 16.7   | 31.5  | 67.9  | 92.9  | 99.8 | 100  |      |     |     |     |                               | 25.3                     | 21.4 |
| 49 | 1993          |       | 30  | 8:00  | 24.4   | 39.4  | 70.1  | 89.4  | 99.8 | 100  |      |     |     |     |                               | 31.1                     | 21.0 |
| 50 | 1993          |       |     | 8:00  | 22.8   | 36.1  | 70.5  | 94.1  | 98.8 | 100  |      |     |     |     |                               | 18.7                     | 23.4 |
| 51 | 1993          | 7     | 1   | 8:00  | 19.9   | 33.2  | 64.1  | 88.5  | 99.5 | 100  |      |     |     |     |                               | 13.2                     | 22.4 |
| 52 | 1993          |       | 3   | 14:00 | 20.2   | 31.2  | 58.0  | 88.2  | 99.1 | 99.9 | 100  |     |     |     |                               | 6.20                     | 25.0 |
| 53 | 1993          |       | 7   | 18:00 | 23.3   | 34.5  | 61.4  | 85.7  | 99.6 | 100  |      |     |     |     |                               | 20.3                     | 25.2 |
| 54 | 1993          |       | 10  | 19:35 | 59.2   | 71.3  | 82.5  | 94.3  | 99.7 | 100  |      |     |     |     |                               | 14.1                     | 27.3 |
| 55 | 1993          |       | 12  | 0:00  | 62.9   | 75.0  | 87.6  | 93.6  | 99.7 | 100  |      |     |     |     |                               | 14.1                     | 20.0 |
| 56 | 1993          |       | 14  | 4:00  | 61.4   | 72.7  | 83.4  | 95.2  | 99.9 | 100  |      |     |     |     |                               | 9.78                     | 25.2 |
| 57 | 1993          |       | 15  | 6:24  | 38.0   | 55.7  | 76.2  | 96.9  | 99.8 | 100  |      |     |     |     |                               | 39.6                     | 22.0 |
| 58 | 1993          |       |     | 7:24  | 35.2   | 53.2  | 81.8  | 96.6  | 99.6 | 100  |      |     |     |     |                               | 77.1                     | 23.8 |
| 59 | 1993          |       |     | 12:00 | 23.2   | 36.8  | 69.2  | 97.5  | 99.6 | 100  |      |     |     |     |                               | 224                      | 24.4 |
| 60 | 1993          |       |     | 20:00 | 22.5   | 34.8  | 66.9  | 92.9  | 99.5 | 100  |      |     |     |     |                               | 221                      | 24.0 |
| 61 | 1993          | 7     | 16  | 4:00  | 30.4   | 47.0  | 72.8  | 94.8  | 99.8 | 100  |      |     |     |     |                               | 101                      | 23.0 |
| 62 | 1993          |       |     | 12:00 | 14.6   | 23.6  | 52.2  | 84.4  | 99.2 | 100  |      |     |     |     |                               | 201                      | 24.2 |
| 63 | 1993          |       |     | 20:00 | 26.0   | 41.2  | 73.9  | 95.0  | 99.8 | 100  |      |     |     |     |                               | 77.1                     | 24.0 |

| No  | sampling time |       |     |       | Suspended load size distribution, Percentage finer by weight |       |       |       |      |      |      |      |     |     | Conc.<br>(kg/m <sup>3</sup> ) | Water<br>temperature(°C) |
|-----|---------------|-------|-----|-------|--|-------|-------|-------|------|------|------|------|-----|-----|-------------------------------|--------------------------|
|     |               |       |     |       | D(mm)  |       |       |       |      |      |      |      |     |     |                               |                          |
|     | Year          | Month | Day | Time  | 0.005  | 0.010 | 0.025 | 0.050 | 0.10 | 0.25 | 0.50 | 1.0  | 2.0 | 5.0 |                               |                          |
| 64  | 1993          |       |     | 8:42  | 24.1   | 36.9  | 65.9  | 88.5  | 99.5 | 100  |      |      |     |     | 89.0                          | 24.2                     |
| 65  | 1993          |       |     | 10:12 | 21.6   | 34.0  | 59.2  | 83.1  | 99.1 | 100  |      |      |     |     | 88.5                          | 24.4                     |
| 66  | 1993          |       | 18  | 8:00  | 30.6   | 45.9  | 74.2  | 94.4  | 99.8 | 100  |      |      |     |     | 66.0                          | 25.0                     |
| 67  | 1993          |       | 19  | 20:00 | 40.1   | 57.3  | 81.4  | 96.4  | 99.8 | 100  |      |      |     |     | 42.8                          | 27.4                     |
| 68  | 1993          |       | 22  | 8:00  | 42.3   | 59.0  | 82.5  | 95.6  | 99.4 | 100  |      |      |     |     | 12.1                          | 24.2                     |
| 69  | 1993          |       |     | 20:00 | 13.0   | 22.5  | 59.6  | 84.6  | 99.4 | 100  |      |      |     |     | 48.4                          | 21.8                     |
| 70  | 1993          |       | 23  | 8:00  | 21.2   | 31.0  | 61.4  | 96.9  | 99.5 | 100  |      |      |     |     | 30.1                          | 19.0                     |
| 71  | 1993          |       |     | 20:00 | 23.0   | 33.8  | 60.4  | 88.1  | 99.6 | 100  |      |      |     |     | 25.4                          | 20.8                     |
| 72  | 1993          |       | 24  | 8:00  | 26.9   | 39.7  | 67.5  | 94.7  | 99.7 | 100  |      |      |     |     | 32.6                          | 21.4                     |
| 73  | 1993          |       | 25  | 1:00  | 29.3   | 42.9  | 70.8  | 96.7  | 99.7 | 100  |      |      |     |     | 43.1                          | 21.0                     |
| 74  | 1993          |       |     | 9:12  | 30.7   | 44.3  | 70.1  | 95.6  | 98.8 | 99.2 | 100  |      |     |     | 45.6                          | 21.4                     |
| 75  | 1993          |       |     | 10:18 | 29.3   | 42.0  | 67.8  | 92.5  | 98.6 | 99.5 | 100  |      |     |     | 46.7                          | 21.6                     |
| 76  | 1993          |       | 26  | 8:00  | 40.3   | 55.5  | 81.1  | 96.6  | 99.7 | 100  |      |      |     |     | 39.7                          | 22.8                     |
| 77  | 1993          |       | 28  | 8:00  | 37.4   | 52.9  | 79.5  | 96.4  | 99.8 | 100  |      |      |     |     | 19.2                          | 25.8                     |
| 78  | 1993          |       | 30  | 8:00  | 34.5   | 47.5  | 72.3  | 92.9  | 99.9 | 100  |      |      |     |     | 7.69                          | 25.8                     |
| 79  | 1993          | 8     | 1   | 8:00  | 47.2   | 63.4  | 85.5  | 95.9  | 99.9 | 100  |      |      |     |     | 18.5                          | 27.2                     |
| 80  | 1993          |       | 3   | 8:00  | 45.6   | 62.4  | 81.9  | 95.4  | 100  |      |      |      |     |     | 12.3                          | 20.4                     |
| 81  | 1993          | 8     | 5   | 16:00 | 43.3   | 59.7  | 81.1  | 96.5  | 99.9 | 100  |      |      |     |     | 26.3                          | 29.0                     |
| 82  | 1993          |       |     | 20:00 | 18.3   | 30.5  | 58.4  | 86.6  | 99.8 | 100  |      |      |     |     | 91.3                          | 28.2                     |
| 83  | 1993          |       | 6   | 0:00  | 11.6   | 18.4  | 42.6  | 83.5  | 97.3 | 99.4 | 99.4 | 100  |     |     | 478                           | 26.8                     |
| 84  | 1993          |       |     | 6:42  | 14.0   | 21.6  | 42.7  | 74.8  | 91.0 | 97.0 | 97.0 | 99.5 | 100 |     | 559                           | 26.6                     |
| 85  | 1993          |       |     | 7:54  | 12.7   | 19.6  | 40.5  | 72.0  | 92.6 | 97.4 | 97.4 | 99.8 | 100 |     | 530                           | 26.4                     |
| 86  | 1993          |       |     | 16:00 | 12.0   | 18.9  | 39.0  | 72.0  | 96.1 | 99.1 | 100  |      |     |     | 618                           | 27.2                     |
| 87  | 1993          |       | 7   | 0:00  | 14.0   | 21.9  | 42.2  | 77.5  | 97.6 | 99.3 | 100  |      |     |     | 475                           | 26.6                     |
| 88  | 1993          |       |     | 8:00  | 17.3   | 27.5  | 53.6  | 84.8  | 98.7 | 99.8 | 100  |      |     |     | 369                           | 26.4                     |
| 89  | 1993          |       |     | 9:12  | 18.9   | 28.2  | 53.9  | 83.4  | 98.9 | 99.8 | 100  |      |     |     | 349                           | 26.8                     |
| 90  | 1993          |       |     | 16:00 | 10.0   | 29.7  | 57.8  | 89.0  | 99.1 | 100  |      |      |     |     | 270                           | 28.6                     |
| 91  | 1993          |       | 8   | 0:00  | 22.1   | 34.2  | 62.7  | 91.6  | 99.7 | 100  |      |      |     |     | 183                           | 26.6                     |
| 92  | 1993          |       |     | 8:00  | 27.8   | 42.3  | 71.6  | 92.0  | 99.8 | 100  |      |      |     |     | 133                           | 26.8                     |
| 93  | 1993          |       | 9   | 14:00 | 40.3   | 56.3  | 85.1  | 96.9  | 99.7 | 100  |      |      |     |     | 55.6                          | 27.6                     |
| 94  | 1993          |       | 10  | 8:00  | 39.4   | 54.7  | 82.0  | 96.3  | 99.9 | 100  |      |      |     |     | 43.9                          | 26.6                     |
| 95  | 1993          |       | 11  | 8:00  | 45.9   | 62.9  | 83.7  | 95.9  | 99.9 | 100  |      |      |     |     | 51.0                          | 25.0                     |
| 96  | 1993          |       | 14  | 8:00  | 40.8   | 56.1  | 83.0  | 96.2  | 99.9 | 100  |      |      |     |     | 19.1                          | 25.0                     |
| 97  | 1993          |       | 16  | 20:00 | 26.6   | 41.1  | 74.8  | 97.3  | 99.9 | 100  |      |      |     |     | 26.2                          | 24.0                     |
| 98  | 1993          |       | 18  | 8:00  | 19.3   | 30.5  | 60.7  | 98.0  | 99.9 | 100  |      |      |     |     | 12.8                          | 24.0                     |
| 99  | 1993          |       | 22  | 8:00  | 26.8   | 39.9  | 66.0  | 97.1  | 99.6 | 100  |      |      |     |     | 4.22                          | 25.4                     |
| 100 | 1993          |       | 23  | 8:00  | 30.2   | 51.7  | 77.5  | 91.5  | 100  |      |      |      |     |     | 11.9                          | 24.4                     |
| 101 | 1993          | 8     | 24  | 8:30  | 44.0   | 68.1  | 86.1  | 96.0  | 99.9 | 100  |      |      |     |     | 38.5                          | 23.4                     |

| No  | sampling time |       |     |       | Suspended load size distribution, Percentage finer by weight |       |       |       |      |      |      |     |     |     | Conc.<br>(kg/m <sup>3</sup> ) | Water<br>temperature(°C) |      |
|-----|---------------|-------|-----|-------|--|-------|-------|-------|------|------|------|-----|-----|-----|-------------------------------|--------------------------|------|
|     | Year          | Month | Day | Time  | D(mm)  |       |       |       |      |      |      |     |     |     |                               |                          |      |
|     |               |       |     |       | 0.005  | 0.010 | 0.025 | 0.050 | 0.10 | 0.25 | 0.50 | 1.0 | 2.0 | 5.0 |                               |                          |      |
| 102 | 1993          |       |     | 9:18  | 23.9   | 37.5  | 70.1  | 93.8  | 99.9 | 100  |      |     |     |     |                               | 36.8                     | 23.4 |
| 103 | 1993          |       | 25  | 14:00 | 22.7   | 35.3  | 66.6  | 93.1  | 98.9 | 99.7 | 100  |     |     |     |                               | 74.2                     | 22.6 |
| 104 | 1993          |       | 26  | 20:00 | 20.3   | 31.6  | 59.3  | 95.6  | 99.9 | 100  |      |     |     |     |                               | 31.6                     | 23.8 |
| 105 | 1993          |       | 27  | 2:00  | 23.1   | 35.9  | 63.7  | 95.5  | 99.8 | 100  |      |     |     |     |                               | 35.0                     | 23.4 |
| 106 | 1993          |       | 29  | 8:00  | 26.5   | 36.3  | 55.1  | 90.2  | 99.7 | 100  |      |     |     |     |                               | 17.0                     | 22.4 |
| 107 | 1993          | 9     | 1   | 8:00  | 27.9   | 41.1  | 67.0  | 93.1  | 99.8 | 100  |      |     |     |     |                               | 18.7                     | 23.2 |
| 108 | 1993          |       | 3   | 20:00 | 37.4   | 50.9  | 82.6  | 95.4  | 99.8 | 100  |      |     |     |     |                               | 54.5                     | 25.0 |
| 109 | 1993          |       | 4   | 8:24  | 36.7   | 50.4  | 79.8  | 95.6  | 99.7 | 100  |      |     |     |     |                               | 51.6                     | 23.8 |
| 110 | 1993          |       |     | 9:30  | 37.8   | 50.3  | 79.7  | 93.1  | 99.9 | 100  |      |     |     |     |                               | 48.3                     | 24.0 |
| 111 | 1993          |       |     | 20:00 | 44.2   | 56.4  | 81.0  | 96.7  | 99.9 | 100  |      |     |     |     |                               | 24.7                     | 25.4 |
| 112 | 1993          |       | 6   | 8:00  | 50.0   | 63.4  | 84.5  | 95.5  | 100  | 100  |      |     |     |     |                               | 32.6                     | 24.4 |
| 113 | 1993          |       | 9   | 8:00  | 31.2   | 42.4  | 65.0  | 95.0  | 99.9 | 100  |      |     |     |     |                               | 11.4                     | 20.4 |
| 114 | 1993          |       | 12  | 8:48  | 19.3   | 31.6  | 65.3  | 98.0  | 99.9 | 100  |      |     |     |     |                               | 7.66                     | 21.2 |
| 115 | 1993          |       |     | 11:00 | 14.6   | 22.7  | 47.4  | 86.8  | 99.9 | 100  |      |     |     |     |                               | 9.54                     | 21.8 |
| 116 | 1993          |       | 15  | 8:00  | 34.0   | 49.2  | 77.8  | 96.1  | 99.8 | 100  |      |     |     |     |                               | 5.14                     | 22.0 |
| 117 | 1993          |       | 16  | 8:00  | 25.1   | 38.9  | 71.9  | 96.5  | 99.6 | 100  |      |     |     |     |                               | 5.09                     | 22.2 |
| 118 | 1993          |       | 18  | 8:00  | 17.7   | 30.5  | 69.6  | 97.4  | 99.8 | 100  |      |     |     |     |                               | 15.0                     | 23.2 |
| 119 | 1993          |       | 20  | 8:00  | 29.1   | 43.5  | 71.7  | 96.3  | 99.8 | 100  |      |     |     |     |                               | 10.7                     | 22.4 |
| 120 | 1993          |       | 22  | 8:00  | 37.6   | 51.8  | 76.5  | 95.6  | 99.9 | 100  |      |     |     |     |                               | 16.0                     | 23.0 |
| 121 | 1993          | 9     | 25  | 8:00  | 21.9   | 32.9  | 65.6  | 97.8  | 99.9 | 100  |      |     |     |     |                               | 5.73                     | 22.2 |
| 122 | 1993          |       | 30  | 8:00  | 49.9   | 61.3  | 31.1  | 95.8  | 99.9 | 100  |      |     |     |     |                               | 11.0                     | 18.6 |
| 123 | 1993          | 10    | 1   | 8:00  | 29.4   | 41.6  | 61.6  | 85.2  | 99.9 | 100  |      |     |     |     |                               | 6.66                     | 18.4 |
| 124 | 1993          |       | 3   | 8:00  | 16.8   | 26.2  | 50.2  | 84.6  | 99.8 | 100  |      |     |     |     |                               | 4.38                     | 18.6 |
| 125 | 1993          |       | 6   | 8:00  | 20.0   | 31.6  | 59.5  | 95.3  | 99.9 | 100  |      |     |     |     |                               | 3.48                     | 18.0 |
| 126 | 1993          |       | 10  | 8:30  | 12.8   | 22.0  | 47.3  | 81.0  | 99.8 | 100  |      |     |     |     |                               | 1.69                     | 17.8 |
| 127 | 1993          |       |     | 10:12 | 12.1   | 20.8  | 46.4  | 78.4  | 96.2 | 99.5 | 100  |     |     |     |                               | 1.93                     | 17.8 |
| 128 | 1993          |       | 14  | 8:00  | 15.9   | 23.6  | 48.4  | 87.6  | 99.8 | 100  |      |     |     |     |                               | 8.63                     | 15.2 |
| 129 | 1993          |       | 15  | 8:00  | 7.5  | 14.7  | 43.2  | 84.3  | 99.5 | 100  |      |     |     |     |                               | 38.1                     | 14.6 |
| 130 | 1993          |       | 17  | 9:42  | 16.5   | 27.3  | 54.8  | 86.1  | 99.8 | 100  |      |     |     |     |                               | 20.3                     | 14.6 |
| 131 | 1993          |       |     | 10:42 | 20.2   | 32.7  | 62.3  | 93.1  | 99.7 | 100  |      |     |     |     |                               | 20.1                     | 14.8 |
| 132 | 1993          |       | 18  | 8:00  | 25.5   | 37.2  | 63.3  | 89.8  | 99.0 | 100  |      |     |     |     |                               | 17.7                     | 14.8 |
| 133 | 1993          |       | 21  | 8:00  | 26.4   | 35.9  | 59.0  | 87.0  | 99.9 | 100  |      |     |     |     |                               | 7.35                     | 15.2 |
| 134 | 1993          |       | 25  | 8:00  | 14.7   | 22.6  | 48.3  | 81.8  | 99.7 | 100  |      |     |     |     |                               | 3.73                     | 15.8 |
| 135 | 1993          |       | 29  | 8:00  | 10.3   | 16.4  | 39.7  | 77.5  | 99.9 | 100  |      |     |     |     |                               | 3.27                     | 13.0 |
| 136 | 1993          |       | 31  | 8:00  | 10.4   | 16.9  | 39.3  | 77.3  | 99.9 | 100  |      |     |     |     |                               | 2.70                     | 11.0 |
| 137 | 1993          | 11    | 5   | 8:00  | 10.2   | 15.9  | 39.5  | 74.0  | 99.8 | 100  |      |     |     |     |                               | 2.66                     | 12.8 |
| 138 | 1993          |       | 10  | 8:00  | 8.5  | 15.0  | 39.0  | 73.8  | 99.3 | 100  |      |     |     |     |                               | 1.00                     | 9.4  |
| 139 | 1993          |       | 15  | 8:00  | 9.0  | 15.3  | 37.8  | 71.6  | 99.4 | 100  |      |     |     |     |                               | 2.66                     | 11.4 |

| No  | sampling time |       |     |       | Suspended load size distribution, Percentage finer by weight |       |       |       |      |      |      |     |     |     | Conc.<br>(kg/m <sup>3</sup> ) | Water<br>temperature(°C) |
|-----|---------------|-------|-----|-------|--|-------|-------|-------|------|------|------|-----|-----|-----|-------------------------------|--------------------------|
|     |               |       |     |       | D(mm)  |       |       |       |      |      |      |     |     |     |                               |                          |
|     | Year          | Month | Day | Time  | 0.005  | 0.010 | 0.025 | 0.050 | 0.10 | 0.25 | 0.50 | 1.0 | 2.0 | 5.0 |                               |                          |
| 140 | 1993          |       | 20  | 12:00 | 8.0  | 13.5  | 37.3  | 77.2  | 99.6 | 100  |      |     |     |     | 2.81                          | 3.0                      |
| 141 | 1993          | 11    | 25  | 12:00 | 9.1  | 15.5  | 40.1  | 72.0  | 97.7 | 100  |      |     |     |     | 1.60                          | 3.2                      |
| 142 | 1993          |       | 30  | 12:00 | 9.6  | 16.4  | 39.0  | 71.2  | 99.0 | 100  |      |     |     |     | 1.43                          | 4.2                      |
| 143 | 1993          | 12    | 5   | 12:00 | 12.3   | 20.8  | 46.2  | 73.0  | 99.5 | 100  |      |     |     |     | 0.79                          | 3.0                      |
| 144 | 1993          |       | 10  | 12:00 | 13.8   | 25.2  | 53.3  | 80.4  | 99.8 | 100  |      |     |     |     | 0.44                          | 4.0                      |
| 145 | 1993          |       | 15  | 12:00 | 17.0   | 30.0  | 57.0  | 83.4  | 99.2 | 100  |      |     |     |     | 0.26                          | 1.8                      |
| 146 | 1993          |       | 20  | 12:00 | 16.3   | 32.2  | 59.7  | 83.3  | 99.1 | 100  |      |     |     |     | 0.11                          | 2.0                      |
| 147 | 1993          |       | 25  | 12:00 | 18.2   | 33.6  | 66.0  | 85.3  | 99.3 | 100  |      |     |     |     | 0.15                          | 1.0                      |

| No | sampling time |       |     |       | Suspended load size distribution, Percentage finer by weight |       |       |       |      |      |      |     |     |     | Conc.<br>(kg/m <sup>3</sup> ) | Water<br>temperature(°C) |
|----|---------------|-------|-----|-------|--|-------|-------|-------|------|------|------|-----|-----|-----|-------------------------------|--------------------------|
|    |               |       |     |       | D(mm)  |       |       |       |      |      |      |     |     |     |                               |                          |
|    | Year          | Month | Day | Time  | 0.005  | 0.010 | 0.025 | 0.050 | 0.10 | 0.25 | 0.50 | 1.0 | 2.0 | 5.0 |                               |                          |
| 1  | 1994          | 1     | 20  | 12:00 | 12,7   | 21,6  | 55,3  | 82,3  | 99,8 | 100  |      |     |     |     | 0,325                         | 0,8                      |
| 2  | 1994          |       | 25  | 12:00 | 11,6   | 20,0  | 51,2  | 83,3  | 99,8 | 100  |      |     |     |     | 0,480                         | 2,0                      |
| 3  | 1994          |       | 31  | 12:00 | 11,9   | 19,8  | 48,9  | 81,1  | 99,8 | 100  |      |     |     |     | 0,183                         | 3,4                      |
| 4  | 1994          | 2     | 5   | 12:00 | 14,8   | 25,1  | 54,5  | 84,1  | 99,7 | 100  |      |     |     |     | 0,378                         | 5,0                      |
| 5  | 1994          |       | 10  | 12:00 | 11,9   | 20,6  | 49,0  | 79,2  | 98,9 | 100  |      |     |     |     | 0,385                         | 5,8                      |
| 6  | 1994          |       | 15  | 12:00 | 17,4   | 26,5  | 51,5  | 80,7  | 99,1 | 99,6 | 100  |     |     |     | 0,463                         | 4,6                      |
| 7  | 1994          |       | 20  | 12:00 | 11,4   | 19,3  | 43,0  | 77,0  | 99,3 | 99,8 | 100  |     |     |     | 0,477                         | 7,2                      |
| 8  | 1994          |       | 25  | 12:00 | 9,4  | 16,4  | 44,4  | 80,6  | 99,7 | 100  |      |     |     |     | 0,836                         | 3,2                      |
| 9  | 1994          |       | 28  | 12:00 | 9,1  | 16,7  | 48,0  | 82,3  | 99,4 | 100  |      |     |     |     | 0,638                         | 6,0                      |
| 10 | 1994          | 3     | 5   | 12:00 | 14,8   | 23,3  | 51,4  | 82,1  | 97,8 | 99,6 | 100  |     |     |     | 0,765                         | 9,6                      |
| 11 | 1994          |       | 10  | 12:00 | 12,6   | 20,2  | 44,5  | 78,2  | 99,7 | 99,9 | 100  |     |     |     | 1,01                          | 7,0                      |
| 12 | 1994          |       | 15  | 12:00 | 19,1   | 28,7  | 57,9  | 88,5  | 99,6 | 100  |      |     |     |     | 1,37                          | 6,8                      |
| 13 | 1994          |       | 20  | 12:00 | 13,0   | 20,4  | 46,1  | 82,6  | 99,7 | 99,9 | 100  |     |     |     | 1,35                          | 12,4                     |
| 14 | 1994          |       | 25  | 12:00 | 14,5   | 22,6  | 49,1  | 82,8  | 99,7 | 100  |      |     |     |     | 1,77                          | 12,8                     |
| 15 | 1994          |       | 31  | 12:00 | 15,3   | 23,3  | 49,0  | 82,5  | 99,8 | 100  |      |     |     |     | 0,688                         | 15,0                     |
| 16 | 1994          | 4     | 5   | 08:00 | 20,7   | 30,8  | 60,2  | 83,5  | 95,1 | 99,3 | 100  |     |     |     | 0,318                         | 18,6                     |
| 17 | 1994          |       | 10  | 12:00 | 9,7  | 16,3  | 47,5  | 85,2  | 99,7 | 99,9 | 100  |     |     |     | 1,65                          | 9,0                      |
| 18 | 1994          |       | 12  | 08:00 | 18,5   | 27,0  | 55,2  | 84,9  | 99,7 | 100  |      |     |     |     | 3,46                          | 10,4                     |
| 19 | 1994          |       | 13  | 08:00 | 15,0   | 22,8  | 49,8  | 83,1  | 97,1 | 99,7 | 100  |     |     |     | 10,2                          | 11,4                     |
| 20 | 1994          |       | 15  | 08:00 | 16,8   | 25,4  | 50,5  | 84,6  | 99,7 | 100  |      |     |     |     | 4,37                          | 15,0                     |
| 21 | 1994          | 4     | 18  | 08:00 | 31,8   | 42,4  | 65,9  | 91,7  | 99,5 | 100  |      |     |     |     | 3,35                          | 15,4                     |
| 22 | 1994          |       | 20  | 20:00 | 8,4  | 14,2  | 37,6  | 75,1  | 99,2 | 100  |      |     |     |     | 22,9                          | 15,2                     |
| 23 | 1994          |       | 21  | 08:00 | 7,3  | 12,6  | 35,6  | 74,0  | 92,6 | 99,5 | 100  |     |     |     | 26,0                          | 13,8                     |
| 24 | 1994          |       | 22  | 14:00 | 17,2   | 27,2  | 53,6  | 84,6  | 99,2 | 99,9 | 100  |     |     |     | 12,3                          | 15,8                     |
| 25 | 1994          |       |     | 20:00 | 26,0   | 38,3  | 61,6  | 86,6  | 100  |      |      |     |     |     | 14,4                          | 16,6                     |
| 26 | 1994          |       | 26  | 08:42 | 31,0   | 42,0  | 66,3  | 89,0  | 99,7 | 100  |      |     |     |     | 6,09                          | 16,6                     |
| 27 | 1994          |       |     | 09:48 | 27,8   | 38,8  | 61,0  | 81,5  | 96,9 | 98,7 | 100  |     |     |     | 6,31                          | 16,8                     |
| 28 | 1994          |       | 30  | 08:00 | 20,5   | 30,7  | 54,0  | 86,2  | 99,7 | 100  |      |     |     |     | 4,11                          | 21,8                     |
| 29 | 1994          | 5     | 5   | 08:00 | 42,5   | 55,3  | 78,2  | 96,2  | 99,5 | 99,9 | 100  |     |     |     | 1,99                          | 16,8                     |
| 30 | 1994          |       | 9   | 08:00 | 72,9   | 83,6  | 92,0  | 95,9  | 99,9 | 100  |      |     |     |     | 6,97                          | 21,4                     |
| 31 | 1994          |       | 10  | 08:00 | 68,0   | 78,3  | 89,2  | 96,3  | 99,9 | 100  |      |     |     |     | 3,11                          | 20,4                     |
| 32 | 1994          |       | 15  | 08:00 | 30,2   | 43,5  | 69,0  | 94,4  | 99,7 | 100  |      |     |     |     | 0,388                         | 23,0                     |
| 33 | 1994          | 6     | 9   | 08:00 | 17,7   | 27,3  | 53,2  | 82,0  | 98,9 | 99,6 | 100  |     |     |     | 0,464                         | 21,8                     |
| 34 | 1994          |       | 11  | 08:00 | 14,9   | 24,7  | 48,7  | 80,8  | 99,5 | 100  |      |     |     |     | 0,589                         | 24,4                     |
| 35 | 1994          |       | 15  | 08:00 | 15,3   | 26,1  | 56,6  | 80,8  | 99,7 | 100  |      |     |     |     | 0,829                         | 24,0                     |
| 36 | 1994          |       | 19  | 08:00 | 63,7   | 73,7  | 85,0  | 96,2  | 99,9 | 100  |      |     |     |     | 4,26                          | 25,4                     |
| 37 | 1994          |       |     | 16:00 | 62,5   | 74,5  | 88,1  | 95,9  | 99,8 | 100  |      |     |     |     | 21,5                          | 26,2                     |
| 38 | 1994          |       | 20  | 00:00 | 67,5   | 79,1  | 90,9  | 96,3  | 99,9 | 100  |      |     |     |     | 37,5                          | 25,6                     |

| No | sampling time |       |     |       | Suspended load size distribution, Percentage finer by weight |       |       |       |      |      |      |     |     |     | Conc.<br>(kg/m <sup>3</sup> ) | Water<br>temperature(°C) |
|----|---------------|-------|-----|-------|--|-------|-------|-------|------|------|------|-----|-----|-----|-------------------------------|--------------------------|
|    | Year          | Month | Day | Time  | D(mm)  |       |       |       |      |      |      |     |     |     |                               |                          |
|    |               |       |     |       | 0.005  | 0.010 | 0.025 | 0.050 | 0.10 | 0.25 | 0.50 | 1.0 | 2.0 | 5.0 |                               |                          |
| 39 | 1994          |       |     | 08:36 | 63,1   | 76,4  | 90,8  | 95,3  | 99,7 | 100  |      |     |     |     | 44,1                          | 23,8                     |
| 40 | 1994          |       |     | 09:42 | 63,3   | 73,7  | 83,7  | 96,3  | 99,9 | 100  |      |     |     |     | 43,6                          | 23,8                     |
| 41 | 1994          | 6     | 22  | 08:00 | 45,7   | 56,9  | 72,7  | 94,6  | 99,4 | 100  |      |     |     |     | 16,5                          | 24,8                     |
| 42 | 1994          |       | 24  | 08:00 | 59,6   | 68,2  | 79,9  | 94,9  | 99,9 | 100  |      |     |     |     | 7,04                          | 26,8                     |
| 43 | 1994          |       | 25  | 20:00 | 17,3   | 29,3  | 54,2  | 81,5  | 99,7 | 100  |      |     |     |     | 30,8                          | 25,0                     |
| 44 | 1994          |       | 26  | 02:00 | 26,0   | 39,5  | 72,5  | 88,9  | 99,8 | 100  |      |     |     |     | 70,8                          | 24,4                     |
| 45 | 1994          |       |     | 06:36 | 27,3   | 42,9  | 73,8  | 92,0  | 99,8 | 100  |      |     |     |     | 76,0                          | 24,4                     |
| 46 | 1994          |       |     | 07:18 | 24,7   | 37,5  | 69,9  | 86,2  | 99,8 | 100  |      |     |     |     | 70,4                          | 24,4                     |
| 47 | 1994          |       |     | 20:00 | 25,3   | 38,8  | 72,9  | 94,0  | 99,6 | 100  |      |     |     |     | 118                           | 26,0                     |
| 48 | 1994          |       | 27  | 08:00 | 22,4   | 33,5  | 58,7  | 85,7  | 98,8 | 100  |      |     |     |     | 144                           | 25,4                     |
| 49 | 1994          |       | 28  | 00:00 | 28,8   | 42,3  | 73,1  | 94,8  | 99,6 | 100  |      |     |     |     | 86,9                          | 26,2                     |
| 50 | 1994          |       |     | 06:30 | 30,4   | 44,8  | 72,2  | 92,1  | 99,7 | 100  |      |     |     |     | 102                           | 26,0                     |
| 51 | 1994          |       |     | 07:42 | 30,2   | 42,9  | 71,3  | 92,2  | 99,8 | 100  |      |     |     |     | 98,0                          | 26,0                     |
| 52 | 1994          |       |     | 16:00 | 29,7   | 42,9  | 75,6  | 92,2  | 99,8 | 100  |      |     |     |     | 108                           | 27,6                     |
| 53 | 1994          |       | 29  | 02:00 | 36,6   | 49,0  | 80,0  | 97,0  | 99,8 | 100  |      |     |     |     | 113                           | 27,2                     |
| 54 | 1994          |       |     | 20:00 | 35,2   | 47,8  | 75,8  | 92,9  | 99,8 | 100  |      |     |     |     | 92,4                          | 25,6                     |
| 55 | 1994          |       | 30  | 20:00 | 41,5   | 49,7  | 73,0  | 92,6  | 99,7 | 100  |      |     |     |     | 57,9                          | 24,8                     |
| 56 | 1994          | 7     | 1   | 08:00 | 56,2   | 74,1  | 90,8  | 96,2  | 99,8 | 100  |      |     |     |     | 47,3                          | 23,2                     |
| 57 | 1994          |       | 2   | 08:00 | 35,7   | 50,3  | 80,8  | 96,5  | 99,1 | 100  |      |     |     |     | 57,1                          | 24,0                     |
| 58 | 1994          |       | 3   | 20:00 | 32,9   | 48,2  | 82,0  | 94,7  | 97,2 | 98,8 | 100  |     |     |     | 25,8                          | 26,6                     |
| 59 | 1994          |       | 5   | 08:00 | 45,3   | 57,7  | 85,6  | 93,8  | 99,2 | 100  |      |     |     |     | 20,4                          | 27,6                     |
| 60 | 1994          |       | 6   | 08:00 | 47,5   | 62,4  | 85,8  | 93,6  | 99,8 | 100  |      |     |     |     | 35,5                          | 27,8                     |
| 61 | 1994          | 7     | 7   | 08:00 | 50,8   | 65,5  | 90,9  | 96,2  | 99,7 | 100  |      |     |     |     | 16,7                          | 28,2                     |
| 62 | 1994          |       | 8   | 16:00 | 45,1   | 60,7  | 87,4  | 97,1  | 99,9 | 100  |      |     |     |     | 38,5                          | 27,6                     |
| 63 | 1994          |       | 9   | 00:00 | 11,1   | 17,1  | 37,6  | 69,7  | 86,7 | 92,6 | 99,1 | 100 |     |     | 765                           | 24,8                     |
| 64 | 1994          |       |     | 06:48 | 14,5   | 21,8  | 46,7  | 78,5  | 90,9 | 95,5 | 99,4 | 100 |     |     | 632                           | 24,0                     |
| 65 | 1994          |       |     | 08:12 | 14,7   | 22,1  | 45,3  | 81,2  | 94,3 | 97,7 | 99,7 | 100 |     |     | 579                           | 24,2                     |
| 66 | 1994          |       | 9   | 20:00 | 15,7   | 24,3  | 48,9  | 82,7  | 96,8 | 98,8 | 99,9 | 100 |     |     | 436                           | 25,6                     |
| 67 | 1994          |       | 10  | 08:00 | 21,1   | 31,6  | 59,0  | 90,8  | 97,8 | 99,7 | 100  |     |     |     | 336                           | 25,5                     |
| 68 | 1994          |       | 11  | 08:00 | 22,4   | 32,5  | 63,3  | 92,0  | 99,2 | 99,9 | 100  |     |     |     | 234                           | 25,8                     |
| 69 | 1994          |       |     | 12:00 | 18,5   | 28,1  | 55,2  | 88,0  | 99,0 | 99,9 | 100  |     |     |     | 249                           | 26,4                     |
| 70 | 1994          |       | 12  | 00:00 | 24,8   | 36,1  | 65,3  | 86,5  | 99,0 | 99,8 | 100  |     |     |     | 196                           | 25,8                     |
| 71 | 1994          |       |     | 08:00 | 16,2   | 24,7  | 48,6  | 84,2  | 99,1 | 99,9 | 100  |     |     |     | 240                           | 25,4                     |
| 72 | 1994          |       |     | 20:00 | 34,1   | 46,6  | 73,0  | 94,2  | 98,5 | 99,9 | 100  |     |     |     | 138                           | 26,2                     |
| 73 | 1994          |       | 13  | 16:00 | 30,4   | 42,7  | 74,6  | 94,8  | 99,8 | 99,9 | 100  |     |     |     | 72,1                          | 27,6                     |
| 74 | 1994          |       | 14  | 12:00 | 30,6   | 45,7  | 77,0  | 97,3  | 99,7 | 100  |      |     |     |     | 88,3                          | 27,4                     |
| 75 | 1994          |       | 15  | 20:00 | 46,0   | 60,5  | 86,7  | 96,6  | 99,9 | 100  |      |     |     |     | 42,9                          | 28,8                     |
| 76 | 1994          |       | 18  | 08:00 | 60,5   | 70,7  | 91,4  | 95,6  | 99,8 | 100  |      |     |     |     | 24,1                          | 27,8                     |

| No  | sampling time |       |     |       | Suspended load size distribution, Percentage finer by weight |       |       |       |      |      |      |     |     |     | Conc.<br>(kg/m <sup>3</sup> ) | Water<br>temperature(°C) |
|-----|---------------|-------|-----|-------|--|-------|-------|-------|------|------|------|-----|-----|-----|-------------------------------|--------------------------|
|     | Year          | Month | Day | Time  | D(mm)  |       |       |       |      |      |      |     |     |     |                               |                          |
|     |               |       |     |       | 0.005  | 0.010 | 0.025 | 0.050 | 0.10 | 0.25 | 0.50 | 1.0 | 2.0 | 5.0 |                               |                          |
| 77  | 1994          |       | 21  | 08:00 | 80,6   | 85,1  | 92,3  | 94,8  | 99,9 | 100  |      |     |     |     | 7,21                          | 28,0                     |
| 78  | 1994          |       | 22  | 20:00 | 38,3   | 56,8  | 81,9  | 94,8  | 99,9 | 100  |      |     |     |     | 38,8                          | 28,8                     |
| 79  | 1994          |       | 23  | 08:00 | 34,5   | 56,5  | 89,6  | 97,6  | 99,9 | 100  |      |     |     |     | 102                           | 27,4                     |
| 80  | 1994          |       |     | 12:00 | 32,5   | 56,1  | 90,3  | 96,1  | 100  |      |      |     |     |     | 86,9                          | 28,2                     |
| 81  | 1994          | 7     | 24  | 00:00 | 21,6   | 36,6  | 74,6  | 93,3  | 99,9 | 100  |      |     |     |     | 237                           | 29,0                     |
| 82  | 1994          |       | 25  | 08:00 | 46,0   | 64,4  | 93,6  | 96,8  | 99,9 | 100  |      |     |     |     | 79,1                          | 29,4                     |
| 83  | 1994          |       | 26  | 02:00 | 27,0   | 42,0  | 75,9  | 97,5  | 99,8 | 100  |      |     |     |     | 213                           | 29,8                     |
| 84  | 1994          |       |     | 20:00 | 40,8   | 57,7  | 89,0  | 96,8  | 99,9 | 100  |      |     |     |     | 126                           | 30,2                     |
| 85  | 1994          |       | 27  | 14:00 | 54,0   | 68,9  | 90,4  | 96,7  | 99,9 | 100  |      |     |     |     | 60,8                          | 29,8                     |
| 86  | 1994          |       | 28  | 12:00 | 10,3   | 17,5  | 46,2  | 84,4  | 99,1 | 99,9 | 100  |     |     |     | 361                           | 27,6                     |
| 87  | 1994          |       |     | 20:00 | 9,0  | 14,8  | 38,9  | 81,5  | 95,9 | 98,6 | 99,9 | 100 |     |     | 633                           | 27,4                     |
| 88  | 1994          |       | 29  | 04:00 | 8,2  | 13,8  | 34,9  | 73,8  | 96,4 | 98,4 | 99,7 | 100 |     |     | 802                           | 25,6                     |
| 89  | 1994          |       |     | 08:00 | 11,1   | 18,1  | 41,4  | 78,4  | 98,1 | 99,5 | 100  |     |     |     | 669                           | 26,2                     |
| 90  | 1994          |       |     | 12:00 | 12,1   | 19,7  | 44,1  | 84,0  | 98,9 | 99,9 | 100  |     |     |     | 774                           | 28,8                     |
| 91  | 1994          |       | 30  | 00:00 | 13,8   | 22,7  | 46,3  | 83,5  | 99,4 | 100  |      |     |     |     | 566                           | 26,6                     |
| 92  | 1994          |       |     | 08:00 | 20,4   | 29,5  | 55,6  | 89,3  | 99,6 | 100  |      |     |     |     | 519                           | 25,6                     |
| 93  | 1994          |       |     | 20:00 | 16,1   | 25,5  | 54,5  | 90,3  | 99,6 | 99,9 | 100  |     |     |     | 420                           | 27,6                     |
| 94  | 1994          |       | 31  | 00:00 | 17,9   | 27,2  | 55,1  | 91,7  | 99,7 | 99,9 | 100  |     |     |     | 431                           | 24,6                     |
| 95  | 1994          |       |     | 20:00 | 34,7   | 50,0  | 82,8  | 95,0  | 99,8 | 100  |      |     |     |     | 151                           | 27,0                     |
| 96  | 1994          | 8     | 1   | 02:00 | 36,6   | 54,3  | 88,6  | 96,1  | 99,9 | 100  |      |     |     |     | 148                           | 26,6                     |
| 97  | 1994          |       | 2   | 08:00 | 56,8   | 77,3  | 92,4  | 94,9  | 99,9 | 100  |      |     |     |     | 73,0                          | 27,2                     |
| 98  | 1994          |       | 4   | 20:00 | 73,8   | 80,3  | 95,5  | 99,6  | 99,6 | 100  |      |     |     |     | 0,378                         | 33,6                     |
| 99  | 1994          |       | 6   | 08:00 | 30,8   | 49,0  | 82,5  | 96,8  | 100  |      |      |     |     |     | 58,9                          | 25,4                     |
| 100 | 1994          |       |     | 16:00 | 20,1   | 32,7  | 65,7  | 97,3  | 99,8 | 100  |      |     |     |     | 244                           | 30,6                     |
| 101 | 1994          | 8     | 7   | 00:00 | 40,2   | 57,6  | 87,2  | 96,3  | 99,9 | 100  |      |     |     |     | 85,0                          | 28,4                     |
| 102 | 1994          |       |     | 12:00 | 17,9   | 28,9  | 55,8  | 85,1  | 99,8 | 100  |      |     |     |     | 246                           | 29,2                     |
| 103 | 1994          |       |     | 20:00 | 8,8  | 15,5  | 38,8  | 77,4  | 99,8 | 100  |      |     |     |     | 441                           | 29,2                     |
| 104 | 1994          |       | 8   | 08:00 | 15,6   | 24,5  | 50,0  | 88,2  | 99,1 | 99,9 | 100  |     |     |     | 649                           | 26,6                     |
| 105 | 1994          |       |     | 20:00 | 15,1   | 23,7  | 50,2  | 88,0  | 99,7 | 100  |      |     |     |     | 466                           | 28,2                     |
| 106 | 1994          |       | 9   | 16:00 | 28,1   | 42,4  | 73,3  | 98,0  | 99,9 | 100  |      |     |     |     | 242                           | 29,4                     |
| 107 | 1994          |       | 10  | 00:00 | 17,2   | 26,6  | 55,8  | 91,9  | 99,9 | 100  |      |     |     |     | 323                           | 27,0                     |
| 108 | 1994          |       |     | 08:00 | 29,0   | 45,1  | 77,5  | 95,4  | 99,9 | 100  |      |     |     |     | 145                           | 26,4                     |
| 109 | 1994          |       |     | 20:00 | 29,1   | 43,9  | 77,2  | 97,5  | 99,9 | 100  |      |     |     |     | 173                           | 28,4                     |
| 110 | 1994          |       | 12  | 08:00 | 33,3   | 50,4  | 90,9  | 96,3  | 99,8 | 100  |      |     |     |     | 148                           | 28,6                     |
| 111 | 1994          |       |     | 18:00 | 14,2   | 21,3  | 46,4  | 86,4  | 98,6 | 99,7 | 100  |     |     |     | 404                           | 29,6                     |
| 112 | 1994          |       | 13  | 00:00 | 11,3   | 17,3  | 37,6  | 71,5  | 97,0 | 98,4 | 100  |     |     |     | 630                           | 27,0                     |
| 113 | 1994          |       |     | 08:00 | 9,7  | 15,9  | 36,0  | 73,0  | 97,7 | 98,9 | 100  |     |     |     | 728                           | 24,6                     |
| 114 | 1994          |       | 14  | 08:00 | 15,3   | 23,5  | 47,1  | 84,7  | 99,5 | 100  |      |     |     |     | 573                           | 25,5                     |

| No  | sampling time |       |     |       | Suspended load size distribution, Percentage finer by weight |       |       |       |      |      |      |     |     |     | Conc.<br>(kg/m <sup>3</sup> ) | Water<br>temperature(°C) |
|-----|---------------|-------|-----|-------|--|-------|-------|-------|------|------|------|-----|-----|-----|-------------------------------|--------------------------|
|     |               |       |     |       | D(mm)  |       |       |       |      |      |      |     |     |     |                               |                          |
|     | Year          | Month | Day | Time  | 0.005  | 0.010 | 0.025 | 0.050 | 0.10 | 0.25 | 0.50 | 1.0 | 2.0 | 5.0 |                               |                          |
| 115 | 1994          |       | 15  | 00:00 | 17,4   | 27,3  | 51,8  | 85,7  | 99,6 | 99,9 | 100  |     |     |     | 340                           | 25,6                     |
| 116 | 1994          |       |     | 04:00 | 14,9   | 22,4  | 45,1  | 80,2  | 99,6 | 100  |      |     |     |     | 439                           | 25,0                     |
| 117 | 1994          |       | 16  | 08:00 | 43,3   | 61,6  | 88,9  | 97,5  | 99,9 | 100  |      |     |     |     | 161                           | 27,2                     |
| 118 | 1994          |       | 17  | 02:00 | 43,3   | 60,4  | 88,4  | 96,9  | 99,8 | 100  |      |     |     |     | 130                           | 27,2                     |
| 119 | 1994          |       | 18  | 08:00 | 65,4   | 81,4  | 97,9  | 99,8  | 99,8 | 100  |      |     |     |     | 60,7                          | 26,4                     |
| 120 | 1994          |       | 19  | 08:00 | 55,7   | 74,0  | 91,6  | 95,7  | 99,9 | 100  |      |     |     |     | 76,6                          | 25,6                     |
| 121 | 1994          | 8     | 21  | 08:00 | 74,4   | 87,4  | 97,5  | 99,9  | 99,9 | 100  |      |     |     |     | 34,9                          | 26,0                     |
| 122 | 1994          |       | 22  | 08:00 | 67,2   | 74,0  | 89,7  | 94,6  | 99,4 | 100  |      |     |     |     | 1,38                          | 26,6                     |
| 123 | 1994          |       | 27  | 08:00 | 61,7   | 75,4  | 91,3  | 95,6  | 99,9 | 100  |      |     |     |     | 8,82                          | 24,8                     |
| 124 | 1994          |       | 28  | 08:00 | 72,3   | 83,2  | 93,4  | 95,6  | 100  |      |      |     |     |     | 11,9                          | 24,6                     |
| 125 | 1994          |       | 29  | 08:00 | 67,8   | 77,2  | 90,1  | 96,0  | 99,9 | 100  |      |     |     |     | 3,42                          | 24,4                     |
| 126 | 1994          |       | 30  | 20:00 | 50,3   | 69,5  | 91,3  | 95,5  | 99,8 | 100  |      |     |     |     | 19,2                          | 26,4                     |
| 127 | 1994          |       | 31  | 08:54 | 52,0   | 67,5  | 86,4  | 96,0  | 99,9 | 100  |      |     |     |     | 8,48                          | 25,4                     |
| 128 | 1994          |       |     | 09:48 | 52,0   | 66,7  | 87,7  | 95,8  | 99,9 | 100  |      |     |     |     | 8,51                          | 25,4                     |
| 129 | 1994          |       |     | 20:00 | 42,2   | 59,5  | 85,5  | 95,8  | 99,9 | 100  |      |     |     |     | 22,8                          | 27,4                     |
| 130 | 1994          | 9     | 1   | 08:00 | 39,3   | 61,2  | 84,8  | 97,2  | 99,9 | 100  |      |     |     |     | 35,0                          | 26,4                     |
| 131 | 1994          |       | 2   | 08:00 | 54,1   | 74,6  | 93,2  | 95,5  | 99,9 | 100  |      |     |     |     | 63,5                          | 26,6                     |
| 132 | 1994          |       |     | 16:00 | 12,1   | 20,9  | 45,3  | 81,5  | 99,6 | 100  |      |     |     |     | 403                           | 28,4                     |
| 133 | 1994          |       | 3   | 00:00 | 9,1  | 14,9  | 36,9  | 81,6  | 99,2 | 99,9 | 100  |     |     |     | 883                           | 25,4                     |
| 134 | 1994          |       |     | 08:00 | 13,6   | 20,3  | 42,1  | 81,6  | 99,3 | 99,9 | 100  |     |     |     | 703                           | 23,6                     |
| 135 | 1994          |       |     | 20:00 | 14,6   | 22,2  | 46,2  | 86,3  | 99,4 | 100  |      |     |     |     | 400                           | 27,6                     |
| 136 | 1994          |       | 4   | 08:00 | 14,2   | 22,2  | 46,5  | 77,3  | 99,4 | 100  |      |     |     |     | 515                           | 24,4                     |
| 137 | 1994          |       | 5   | 02:00 | 23,7   | 38,6  | 71,6  | 89,0  | 98,9 | 100  |      |     |     |     | 187                           | 23,0                     |
| 138 | 1994          |       |     | 14:00 | 41,4   | 67,5  | 94,0  | 97,0  | 100  |      |      |     |     |     | 110                           | 24,8                     |
| 139 | 1994          |       | 6   | 08:00 | 33,2   | 49,6  | 82,7  | 92,2  | 99,9 | 100  |      |     |     |     | 159                           | 22,6                     |
| 140 | 1994          |       |     | 20:00 | 49,3   | 71,2  | 97,8  | 99,9  | 99,9 | 100  |      |     |     |     | 75,3                          | 24,6                     |
| 141 | 1994          | 9     | 7   | 08:00 | 51,0   | 67,4  | 94,5  | 100   |      |      |      |     |     |     | 106                           | 22,6                     |
| 142 | 1994          |       | 10  | 08:00 | 50,3   | 69,9  | 89,4  | 96,4  | 99,9 | 100  |      |     |     |     | 41,6                          | 19,8                     |
| 143 | 1994          |       | 11  | 08:00 | 52,1   | 70,5  | 94,5  | 96,3  | 100  |      |      |     |     |     | 48,3                          | 18,8                     |
| 144 | 1994          |       | 14  | 08:00 | 34,8   | 50,0  | 78,4  | 97,4  | 99,9 | 100  |      |     |     |     | 22,2                          | 18,0                     |
| 145 | 1994          |       | 17  | 08:00 | 19,2   | 30,3  | 57,8  | 90,3  | 99,8 | 100  |      |     |     |     | 12,7                          | 17,0                     |
| 146 | 1994          |       | 22  | 08:00 | 12,0   | 20,7  | 41,4  | 79,0  | 99,5 | 99,9 | 100  |     |     |     | 5,89                          | 19,0                     |
| 147 | 1994          |       | 26  | 09:00 | 18,2   | 30,6  | 61,5  | 87,4  | 99,8 | 100  |      |     |     |     | 3,46                          | 18,4                     |
| 148 | 1994          |       |     | 10:00 | 14,2   | 24,1  | 47,8  | 77,2  | 99,7 | 99,9 | 100  |     |     |     | 4,32                          | 18,4                     |
| 149 | 1994          |       | 29  | 08:00 | 14,3   | 23,9  | 49,4  | 82,1  | 99,6 | 100  |      |     |     |     | 6,22                          | 19,4                     |
| 150 | 1994          |       | 30  | 08:00 | 18,2   | 32,3  | 57,8  | 84,6  | 99,9 | 100  |      |     |     |     | 3,22                          | 19,4                     |
| 151 | 1994          | 10    | 3   | 08:00 | 19,0   | 31,8  | 57,7  | 79,6  | 99,9 | 100  |      |     |     |     | 2,03                          | 19,6                     |
| 152 | 1994          |       | 6   | 08:00 | 13,0   | 24,2  | 48,8  | 78,6  | 99,9 | 100  |      |     |     |     | 1,54                          | 16,2                     |

| No  | sampling time |       |     |       | Suspended load size distribution, Percentage finer by weight |       |       |       |      |      |      |     |     |     | Conc.<br>(kg/m <sup>3</sup> ) | Water<br>temperature(°C) |
|-----|---------------|-------|-----|-------|--|-------|-------|-------|------|------|------|-----|-----|-----|-------------------------------|--------------------------|
|     |               |       |     |       | D(mm)  |       |       |       |      |      |      |     |     |     |                               |                          |
|     | Year          | Month | Day | Time  | 0.005  | 0.010 | 0.025 | 0.050 | 0.10 | 0.25 | 0.50 | 1.0 | 2.0 | 5.0 |                               |                          |
| 153 | 1994          |       | 8   | 08:00 | 20,8   | 35,2  | 69,8  | 91,7  | 100  |      |      |     |     |     | 1,76                          | 16,4                     |
| 154 | 1994          |       | 10  | 08:00 | 21,6   | 33,7  | 64,7  | 85,8  | 99,9 | 100  |      |     |     |     | 0,580                         | 17,2                     |
| 155 | 1994          |       | 15  | 08:00 | 9,8  | 17,6  | 54,3  | 88,4  | 99,9 | 100  |      |     |     |     | 4,56                          | 16,2                     |
| 156 | 1994          |       | 17  | 08:00 | 9,3  | 17,5  | 48,5  | 89,1  | 99,9 | 100  |      |     |     |     | 13,0                          | 12,4                     |
| 157 | 1994          |       | 19  | 02:00 | 18,9   | 32,8  | 68,7  | 95,7  | 99,9 | 100  |      |     |     |     | 26,9                          | 11,4                     |
| 158 | 1994          |       |     | 20:00 | 20,0   | 34,4  | 65,8  | 92,9  | 99,9 | 100  |      |     |     |     | 21,0                          | 12,4                     |
| 159 | 1994          |       | 20  | 08:00 | 31,8   | 47,6  | 80,1  | 97,7  | 99,9 | 100  |      |     |     |     | 23,6                          | 12,2                     |
| 160 | 1994          |       | 23  | 08:00 | 38,2   | 54,7  | 79,4  | 97,7  | 100  |      |      |     |     |     | 8,22                          | 12,4                     |
| 161 | 1994          | 10    | 26  | 09:48 | 27,6   | 41,5  | 65,2  | 91,0  | 99,9 | 100  |      |     |     |     | 3,57                          | 12,0                     |
| 162 | 1994          |       |     | 10:48 | 25,5   | 37,2  | 61,6  | 91,8  | 99,9 | 100  |      |     |     |     | 4,28                          | 13,4                     |
| 163 | 1994          |       | 31  | 08:00 | 8,2  | 14,3  | 33,4  | 69,6  | 99,7 | 100  |      |     |     |     | 4,46                          | 11,8                     |
| 164 | 1994          | 11    | 5   | 08:00 | 13,0   | 20,8  | 42,1  | 69,6  | 99,6 | 99,9 | 100  |     |     |     | 2,57                          | 13,0                     |
| 165 | 1994          |       | 10  | 08:00 | 8,7  | 14,3  | 35,5  | 65,8  | 99,2 | 99,9 | 100  |     |     |     | 3,99                          | 14,0                     |
| 166 | 1994          |       | 15  | 08:00 | 7,1  | 13,3  | 39,1  | 82,3  | 99,8 | 99,9 | 100  |     |     |     | 15,0                          | 6,0                      |
| 167 | 1994          |       | 18  | 08:00 | 13,0   | 21,3  | 52,8  | 81,7  | 99,8 | 100  |      |     |     |     | 4,72                          | 7,4                      |
| 168 | 1994          |       | 21  | 08:00 | 5,2  | 9,3   | 27,6  | 65,4  | 99,7 | 99,9 | 100  |     |     |     | 7,63                          | 7,8                      |
| 169 | 1994          |       | 25  | 08:00 | 13,9   | 22,2  | 51,3  | 75,8  | 99,5 | 99,9 | 100  |     |     |     | 3,09                          | 10,0                     |
| 170 | 1994          |       | 30  | 08:00 | 11,5   | 20,7  | 46,6  | 79,0  | 99,4 | 99,9 | 100  |     |     |     | 2,70                          | 9,8                      |
| 171 | 1994          | 12    | 5   | 08:00 | 12,9   | 21,5  | 53,3  | 82,3  | 99,5 | 99,8 | 100  |     |     |     | 2,78                          | 7,6                      |
| 172 | 1994          |       | 10  | 08:00 | 10,2   | 18,5  | 43,6  | 78,6  | 99,6 | 100  |      |     |     |     | 2,87                          | 7,2                      |
| 173 | 1994          |       | 15  | 08:00 | 12,5   | 20,3  | 50,6  | 79,8  | 99,3 | 99,9 | 100  |     |     |     | 2,56                          | 5,6                      |
| 174 | 1994          |       | 20  | 08:00 | 10,5   | 19,0  | 46,0  | 77,5  | 99,4 | 99,8 | 100  |     |     |     | 2,16                          | 4,2                      |
| 175 | 1994          |       | 25  | 12:00 | 7,7  | 13,4  | 40,7  | 76,5  | 99,1 | 99,8 | 100  |     |     |     | 2,47                          | 4,6                      |
| 176 | 1994          |       | 31  | 08:00 | 9,9  | 18,0  | 43,9  | 79,5  | 99,6 | 99,9 | 100  |     |     |     | 1,67                          | 3,6                      |

| No | sampling time |       |     |       | Suspended load size distribution, Percentage finer by weight |       |       |       |      |      |      |     |     |     | Conc.<br>(kg/m <sup>3</sup> ) | Water<br>temperature(°C) |       |      |
|----|---------------|-------|-----|-------|--|-------|-------|-------|------|------|------|-----|-----|-----|-------------------------------|--------------------------|-------|------|
|    | Year          | Month | Day | Time  | D(mm)  |       |       |       |      |      |      |     |     |     |                               |                          |       |      |
|    |               |       |     |       | 0.005  | 0.010 | 0.025 | 0.050 | 0.10 | 0.25 | 0.50 | 1.0 | 2.0 | 5.0 |                               |                          |       |      |
| 1  | 1995          | 1     | 1   | 08:00 | 16,3   | 25,9  | 51,5  | 80,2  | 99,5 | 100  |      |     |     |     |                               |                          | 1,93  | 3,8  |
| 2  | 1995          |       | 5   | 08:00 | 15,8   | 25,8  | 53,0  | 80,0  | 99,6 | 100  |      |     |     |     |                               |                          | 1,58  | 3,6  |
| 3  | 1995          |       | 10  | 08:00 | 19,3   | 30,0  | 57,0  | 85,7  | 99,6 | 100  |      |     |     |     |                               |                          | 1,37  | 3,8  |
| 4  | 1995          |       | 15  | 08:00 | 28,3   | 46,4  | 75,0  | 93,0  | 98,9 | 99,6 | 100  |     |     |     |                               |                          | 1,01  | 2,8  |
| 5  | 1995          |       | 20  | 08:00 | 20,6   | 33,5  | 63,6  | 87,3  | 99,7 | 100  |      |     |     |     |                               |                          | 0,495 | 3,6  |
| 6  | 1995          |       | 25  | 08:00 | 27,3   | 39,9  | 68,6  | 93,7  | 99,5 | 100  |      |     |     |     |                               |                          | 0,276 | 3,8  |
| 7  | 1995          |       | 31  | 08:00 | 12,7   | 22,2  | 50,7  | 82,7  | 99,5 | 100  |      |     |     |     |                               |                          | 0,653 | 3,6  |
| 8  | 1995          | 2     | 5   | 08:00 | 20,6   | 32,8  | 62,3  | 91,8  | 99,3 | 100  |      |     |     |     |                               |                          | 0,564 | 3,8  |
| 9  | 1995          |       | 10  | 08:00 | 20,2   | 40,1  | 71,5  | 89,0  | 99,3 | 100  |      |     |     |     |                               |                          | 0,292 | 6,0  |
| 10 | 1995          |       | 15  | 08:00 | 17,4   | 24,8  | 47,4  | 77,7  | 96,3 | 98,7 | 100  |     |     |     |                               |                          | 0,233 | 6,9  |
| 11 | 1995          |       | 22  | 08:00 | 26,5   | 38,4  | 71,2  | 90,3  | 99,5 | 100  |      |     |     |     |                               |                          | 0,245 | 8,0  |
| 12 | 1995          |       | 25  | 08:00 | 26,2   | 36,0  | 63,5  | 87,5  | 98,7 | 99,6 | 100  |     |     |     |                               |                          | 0,256 | 7,8  |
| 13 | 1995          |       | 28  | 12:00 | 33,5   | 45,6  | 74,4  | 94,4  | 99,3 | 100  |      |     |     |     |                               |                          | 0,173 | 8,6  |
| 14 | 1995          | 3     | 7   | 08:00 | 8,8  | 15,6  | 41,6  | 78,9  | 99,3 | 100  |      |     |     |     |                               |                          | 0,453 | 9,4  |
| 15 | 1995          |       | 10  | 08:00 | 13,8   | 20,0  | 44,6  | 84,8  | 99,3 | 100  |      |     |     |     |                               |                          | 0,728 | 8,0  |
| 16 | 1995          |       | 15  | 08:00 | 18,7   | 25,9  | 50,2  | 83,2  | 99,6 | 100  |      |     |     |     |                               |                          | 0,280 | 12,8 |
| 17 | 1995          |       | 20  | 08:00 | 16,1   | 22,5  | 47,6  | 82,5  | 99,9 | 100  |      |     |     |     |                               |                          | 0,700 | 13,6 |
| 18 | 1995          |       | 25  | 08:00 | 8,0  | 12,7  | 32,3  | 68,4  | 99,6 | 100  |      |     |     |     |                               |                          | 0,717 | 12,2 |
| 19 | 1995          |       | 31  | 08:00 | 18,5   | 25,5  | 56,7  | 82,2  | 100  |      |      |     |     |     |                               |                          | 0,869 | 14,0 |
| 20 | 1995          | 4     | 5   | 08:00 | 20,6   | 29,0  | 53,6  | 84,5  | 99,5 | 100  |      |     |     |     |                               |                          | 1,44  | 14,0 |
| 21 | 1995          | 4     | 10  | 08:00 | 41,8   | 55,2  | 80,9  | 94,0  | 99,3 | 100  |      |     |     |     |                               |                          | 0,332 | 15,6 |
| 22 | 1995          |       | 15  | 08:00 | 14,5   | 25,3  | 56,4  | 81,6  | 99,5 | 100  |      |     |     |     |                               |                          | 0,449 | 16,8 |
| 23 | 1995          |       | 20  | 08:00 | 10,0   | 15,1  | 36,7  | 70,5  | 97,1 | 100  |      |     |     |     |                               |                          | 0,167 | 18,0 |
| 24 | 1995          |       | 23  | 20:00 | 10,0   | 14,9  | 35,8  | 74,7  | 99,9 | 100  |      |     |     |     |                               |                          | 7,84  | 15,6 |
| 25 | 1995          |       | 24  | 08:00 | 14,7   | 20,9  | 42,0  | 75,7  | 99,5 | 100  |      |     |     |     |                               |                          | 10,6  | 14,0 |
| 26 | 1995          |       | 25  | 08:00 | 14,1   | 18,5  | 41,3  | 77,6  | 99,7 | 100  |      |     |     |     |                               |                          | 7,10  | 14,4 |
| 27 | 1995          |       | 26  | 08:00 | 16,1   | 22,5  | 45,0  | 77,6  | 99,6 | 100  |      |     |     |     |                               |                          | 3,25  | 16,0 |
| 28 | 1995          |       | 27  | 08:00 | 11,5   | 14,8  | 36,1  | 76,7  | 99,7 | 100  |      |     |     |     |                               |                          | 6,18  | 16,0 |
| 29 | 1995          |       | 29  | 08:00 | 10,7   | 15,5  | 33,5  | 65,8  | 99,3 | 99,9 | 100  |     |     |     |                               |                          | 3,49  | 16,8 |
| 30 | 1995          |       | 30  | 08:00 | 9,6  | 14,5  | 31,8  | 68,1  | 99,7 | 100  |      |     |     |     |                               |                          | 4,75  | 19,0 |
| 31 | 1995          | 5     | 1   | 08:00 | 9,0  | 17,2  | 41,4  | 78,8  | 99,7 | 100  |      |     |     |     |                               |                          | 2,05  | 21,2 |
| 32 | 1995          |       | 5   | 08:00 | 10,6   | 16,9  | 38,7  | 70,1  | 98,3 | 99,3 | 100  |     |     |     |                               |                          | 1,90  | 18,8 |
| 33 | 1995          |       | 10  | 08:00 | 17,8   | 31,4  | 62,3  | 90,0  | 99,6 | 100  |      |     |     |     |                               |                          | 0,676 | 20,0 |
| 34 | 1995          |       | 15  | 08:00 | 12,7   | 21,1  | 44,4  | 74,7  | 99,2 | 100  |      |     |     |     |                               |                          | 0,684 | 22,0 |
| 35 | 1995          |       | 20  | 08:00 | 20,7   | 45,9  | 73,0  | 95,8  | 98,7 | 99,2 | 99,9 | 100 |     |     |                               |                          | 1,47  | 18,8 |
| 36 | 1995          |       | 23  | 08:00 | 11,4   | 19,8  | 46,7  | 82,6  | 99,2 | 100  |      |     |     |     |                               |                          | 1,76  | 21,4 |
| 37 | 1995          |       | 25  | 08:00 | 12,8   | 22,6  | 47,3  | 77,7  | 97,9 | 98,8 | 99,6 | 100 |     |     |                               |                          | 0,671 | 25,0 |
| 38 | 1995          |       | 31  | 08:00 | 10,8   | 22,6  | 43,5  | 79,0  | 99,3 | 100  |      |     |     |     |                               |                          | 0,560 | 24,0 |

| No | sampling time |       |     |       | Suspended load size distribution, Percentage finer by weight |       |       |       |      |      |      |     |     |     | Conc.<br>(kg/m <sup>3</sup> ) | Water<br>temperature(°C) |
|----|---------------|-------|-----|-------|--|-------|-------|-------|------|------|------|-----|-----|-----|-------------------------------|--------------------------|
|    | Year          | Month | Day | Time  | D(mm)  |       |       |       |      |      |      |     |     |     |                               |                          |
|    |               |       |     |       | 0.005  | 0.010 | 0.025 | 0.050 | 0.10 | 0.25 | 0.50 | 1.0 | 2.0 | 5.0 |                               |                          |
| 39 | 1995          | 6     | 5   | 08:00 | 8,4  | 16,9  | 44,1  | 77,7  | 90,4 | 99,3 | 100  |     |     |     | 0,708                         | 26,2                     |
| 40 | 1995          |       | 10  | 08:00 | 9,7  | 19,7  | 47,9  | 83,0  | 99,9 | 100  |      |     |     |     | 3,30                          | 26,6                     |
| 41 | 1995          | 6     | 12  | 08:00 | 43,5   | 61,2  | 78,2  | 92,5  | 99,7 | 100  |      |     |     |     | 39,2                          | 22,0                     |
| 42 | 1995          |       |     | 08:42 | 48,5   | 68,1  | 89,3  | 95,4  | 99,7 | 100  |      |     |     |     | 38,1                          | 22,0                     |
| 43 | 1995          |       |     | 09:30 | 56,3   | 72,3  | 87,3  | 95,9  | 99,9 | 100  |      |     |     |     | 37,5                          | 22,0                     |
| 44 | 1995          |       | 13  | 08:00 | 53,5   | 72,3  | 89,1  | 91,1  | 99,9 | 100  |      |     |     |     | 26,2                          | 22,6                     |
| 45 | 1995          |       |     | 20:00 | 61,2   | 74,7  | 89,0  | 96,1  | 100  |      |      |     |     |     | 9,69                          | 24,6                     |
| 46 | 1995          |       | 15  | 08:00 | 49,2   | 66,3  | 81,7  | 89,9  | 96,9 | 100  |      |     |     |     | 0,254                         | 22,4                     |
| 47 | 1995          | 7     | 16  | 03:24 | 9,6  | 15,9  | 39,2  | 71,5  | 99,3 | 100  |      |     |     |     | 36,9                          | 25,6                     |
| 48 | 1995          |       |     | 05:30 | 30,0   | 46,0  | 72,3  | 93,4  | 99,5 | 100  |      |     |     |     | 140                           | 25,8                     |
| 49 | 1995          |       |     | 08:00 | 20,3   | 30,7  | 54,9  | 81,4  | 96,9 | 99,1 | 100  |     |     |     | 445                           | 26,2                     |
| 50 | 1995          |       |     | 12:00 | 17,0   | 25,6  | 50,0  | 79,0  | 95,2 | 96,9 | 99,3 | 100 |     |     | 525                           | 26,4                     |
| 51 | 1995          |       |     | 12:30 | 17,8   | 27,1  | 55,6  | 84,2  | 94,9 | 96,5 | 99,3 | 100 |     |     | 532                           | 27,0                     |
| 52 | 1995          |       |     | 13:10 | 16,4   | 25,4  | 49,3  | 80,4  | 95,6 | 97,1 | 99,5 | 100 |     |     | 528                           | 27,4                     |
| 53 | 1995          |       |     | 16:00 | 18,4   | 27,3  | 53,6  | 82,0  | 97,3 | 98,3 | 99,5 | 100 |     |     | 526                           | 26,8                     |
| 54 | 1995          |       |     | 18:30 | 16,7   | 24,5  | 45,9  | 76,6  | 98,8 | 99,6 | 99,9 | 100 |     |     | 574                           | 27,2                     |
| 55 | 1995          |       |     | 19:30 | 20,5   | 29,4  | 57,2  | 90,8  | 98,3 | 99,7 | 100  |     |     |     | 640                           | 27,2                     |
| 56 | 1995          |       | 17  | 00:00 | 14,2   | 20,4  | 40,6  | 71,7  | 98,4 | 99,9 | 100  |     |     |     | 771                           | 26,2                     |
| 57 | 1995          |       |     | 00:30 | 16,3   | 22,1  | 47,0  | 75,3  | 98,7 | 99,9 | 100  |     |     |     | 605                           | 26,2                     |
| 58 | 1995          |       |     | 01:12 | 21,1   | 28,7  | 51,4  | 87,1  | 98,8 | 99,9 | 100  |     |     |     | 640                           | 26,0                     |
| 59 | 1995          |       |     | 08:00 | 13,7   | 20,1  | 42,5  | 77,3  | 98,9 | 100  |      |     |     |     | 616                           | 27,0                     |
| 60 | 1995          |       |     | 16:00 | 17,8   | 25,0  | 45,9  | 77,6  | 99,1 | 100  |      |     |     |     | 731                           | 30,2                     |
| 61 | 1995          | 7     | 18  | 00:00 | 18,0   | 24,3  | 49,9  | 80,1  | 99,2 | 100  |      |     |     |     | 654                           | 24,8                     |
| 62 | 1995          |       |     | 08:00 | 21,9   | 31,3  | 57,3  | 88,2  | 99,6 | 100  |      |     |     |     | 417                           | 25,8                     |
| 63 | 1995          |       |     | 16:00 | 32,0   | 46,7  | 77,8  | 96,9  | 99,9 | 100  |      |     |     |     | 589                           | 28,6                     |
| 64 | 1995          |       | 19  | 14:00 | 30,5   | 45,4  | 76,7  | 94,5  | 99,7 | 100  |      |     |     |     | 238                           | 27,2                     |
| 65 | 1995          |       | 20  | 20:00 | 16,5   | 28,7  | 61,8  | 88,9  | 99,9 | 100  |      |     |     |     | 343                           | 26,6                     |
| 66 | 1995          |       | 21  | 19:00 | 45,7   | 62,9  | 90,6  | 96,5  | 99,9 | 100  |      |     |     |     | 163                           | 27,6                     |
| 67 | 1995          |       |     | 19:42 | 32,7   | 49,1  | 81,1  | 94,1  | 99,9 | 100  |      |     |     |     | 152                           | 27,4                     |
| 68 | 1995          |       | 22  | 19:12 | 26,0   | 40,2  | 68,6  | 91,8  | 99,9 | 100  |      |     |     |     | 248                           | 27,6                     |
| 69 | 1995          |       |     | 20:12 | 11,7   | 19,5  | 47,4  | 79,0  | 99,6 | 100  |      |     |     |     | 230                           | 27,4                     |
| 70 | 1995          |       | 23  | 20:00 | 20,3   | 33,0  | 60,3  | 89,1  | 99,9 | 100  |      |     |     |     | 339                           | 27,2                     |
| 71 | 1995          |       | 24  | 08:00 | 10,9   | 31,4  | 64,3  | 90,2  | 99,9 | 100  |      |     |     |     | 351                           | 26,8                     |
| 72 | 1995          |       | 25  | 08:00 | 32,5   | 48,4  | 79,0  | 97,0  | 99,9 | 100  |      |     |     |     | 216                           | 26,2                     |
| 73 | 1995          |       | 26  | 20:00 | 27,8   | 43,7  | 74,3  | 95,0  | 99,9 | 100  |      |     |     |     | 156                           | 26,6                     |
| 74 | 1995          |       | 28  | 08:00 | 26,3   | 41,0  | 69,7  | 93,6  | 99,7 | 100  |      |     |     |     | 175                           | 27,2                     |
| 75 | 1995          |       |     | 20:00 | 40,7   | 54,2  | 77,2  | 94,0  | 99,9 | 100  |      |     |     |     | 131                           | 29,0                     |
| 76 | 1995          |       | 30  | 08:00 | 27,0   | 37,9  | 64,9  | 94,5  | 99,9 | 100  |      |     |     |     | 251                           | 28,6                     |

| No  | sampling time |       |     |       | Suspended load size distribution, Percentage finer by weight |       |       |       |      |      |      |     |     |     | Conc.<br>(kg/m <sup>3</sup> ) | Water<br>temperature(°C) |      |
|-----|---------------|-------|-----|-------|--|-------|-------|-------|------|------|------|-----|-----|-----|-------------------------------|--------------------------|------|
|     | Year          | Month | Day | Time  | D(mm)  |       |       |       |      |      |      |     |     |     |                               |                          |      |
|     |               |       |     |       | 0.005  | 0.010 | 0.025 | 0.050 | 0.10 | 0.25 | 0.50 | 1.0 | 2.0 | 5.0 |                               |                          |      |
| 77  | 1995          |       | 31  | 20:00 | 51,4   | 65,4  | 89,6  | 96,1  | 99,7 | 100  |      |     |     |     |                               | 96,1                     | 30,0 |
| 78  | 1995          | 8     | 1   | 08:00 | 24,0   | 36,7  | 67,6  | 95,2  | 99,1 | 100  |      |     |     |     |                               | 55,2                     | 29,6 |
| 79  | 1995          |       | 2   | 08:00 | 19,6   | 29,8  | 58,5  | 84,2  | 99,6 | 99,9 | 100  |     |     |     |                               | 28,5                     | 28,4 |
| 80  | 1995          |       | 3   | 08:00 | 17,6   | 26,9  | 50,8  | 80,4  | 99,5 | 100  |      |     |     |     |                               | 121                      | 28,0 |
| 81  | 1995          | 8     | 3   | 08:00 | 26,4   | 39,0  | 70,5  | 92,9  | 99,7 | 100  |      |     |     |     |                               | 373                      | 27,2 |
| 82  | 1995          |       |     | 11:24 | 75,3   | 80,1  | 97,3  | 99,9  | 99,9 | 100  |      |     |     |     |                               | 263                      | 28,0 |
| 83  | 1995          |       |     | 12:24 | 54,1   | 67,1  | 87,4  | 95,8  | 99,6 | 100  |      |     |     |     |                               | 251                      | 28,2 |
| 84  | 1995          |       | 4   | 08:00 | 34,4   | 48,6  | 76,2  | 91,8  | 99,9 | 100  |      |     |     |     |                               | 183                      | 27,0 |
| 85  | 1995          |       |     | 14:00 | 22,9   | 33,2  | 60,1  | 84,8  | 99,7 | 99,9 | 100  |     |     |     |                               | 212                      | 28,6 |
| 86  | 1995          |       | 5   | 08:00 | 26,0   | 37,0  | 66,1  | 96,3  | 99,7 | 99,9 | 100  |     |     |     |                               | 189                      | 27,6 |
| 87  | 1995          |       | 7   | 06:00 | 28,4   | 39,7  | 66,2  | 92,2  | 99,7 | 100  |      |     |     |     |                               | 145                      | 26,6 |
| 88  | 1995          |       |     | 08:00 | 29,3   | 40,5  | 62,3  | 88,0  | 99,7 | 100  |      |     |     |     |                               | 192                      | 26,8 |
| 89  | 1995          |       |     | 12:00 | 9,7  | 14,3  | 34,4  | 69,0  | 96,4 | 98,8 | 100  |     |     |     |                               | 716                      | 27,2 |
| 90  | 1995          |       |     | 20:00 | 15,3   | 24,2  | 48,6  | 82,6  | 99,3 | 99,9 | 100  |     |     |     |                               | 590                      | 27,0 |
| 91  | 1995          |       | 8   | 12:08 | 20,2   | 31,9  | 62,3  | 90,6  | 99,9 | 100  |      |     |     |     |                               | 341                      | 26,8 |
| 92  | 1995          |       |     | 16:00 | 23,7   | 36,5  | 64,1  | 88,2  | 99,7 | 100  |      |     |     |     |                               | 405                      | 29,0 |
| 93  | 1995          |       |     | 20:00 | 17,7   | 27,0  | 52,6  | 80,5  | 99,6 | 100  |      |     |     |     |                               | 349                      | 27,4 |
| 94  | 1995          |       | 9   | 08:00 | 17,1   | 27,6  | 54,7  | 84,2  | 99,9 | 100  |      |     |     |     |                               | 421                      | 24,8 |
| 95  | 1995          |       |     | 16:00 | 19,0   | 28,8  | 59,6  | 90,7  | 99,7 | 100  |      |     |     |     |                               | 443                      | 28,8 |
| 96  | 1995          |       |     | 20:00 | 24,4   | 35,5  | 65,4  | 91,1  | 99,9 | 100  |      |     |     |     |                               | 293                      | 27,6 |
| 97  | 1995          |       | 10  | 12:00 | 25,1   | 36,8  | 65,0  | 93,3  | 99,9 | 100  |      |     |     |     |                               | 338                      | 29,2 |
| 98  | 1995          |       | 11  | 08:00 | 36,1   | 50,9  | 81,2  | 96,8  | 99,9 | 100  |      |     |     |     |                               | 266                      | 24,6 |
| 99  | 1995          |       | 13  | 19:00 | 44,0   | 56,9  | 85,9  | 91,6  | 100  |      |      |     |     |     |                               | 146                      | 24,0 |
| 100 | 1995          |       |     | 20:00 | 50,1   | 65,4  | 90,1  | 96,4  | 99,9 | 100  |      |     |     |     |                               | 131                      | 24,0 |
| 101 | 1995          | 8     | 15  | 08:00 | 42,2   | 57,2  | 82,3  | 96,2  | 99,7 | 100  |      |     |     |     |                               | 103                      | 24,8 |
| 102 | 1995          |       |     | 20:00 | 34,6   | 48,4  | 77,5  | 93,7  | 99,9 | 100  |      |     |     |     |                               | 67,0                     | 26,4 |
| 103 | 1995          |       | 18  | 00:00 | 50,1   | 66,0  | 89,8  | 99,9  | 99,9 | 100  |      |     |     |     |                               | 84,9                     | 25,8 |
| 104 | 1995          |       |     | 04:00 | 26,2   | 39,2  | 68,2  | 95,4  | 99,7 | 100  |      |     |     |     |                               | 289                      | 26,2 |
| 105 | 1995          |       |     | 08:00 | 13,9   | 23,0  | 52,9  | 84,6  | 99,9 | 100  |      |     |     |     |                               | 149                      | 25,4 |
| 106 | 1995          |       |     | 16:00 | 17,8   | 28,4  | 53,9  | 89,6  | 99,3 | 100  |      |     |     |     |                               | 431                      | 26,0 |
| 107 | 1995          |       |     | 16:48 | 14,8   | 23,0  | 49,1  | 82,4  | 99,1 | 99,9 | 100  |     |     |     |                               | 449                      | 26,4 |
| 108 | 1995          |       |     | 20:00 | 17,2   | 26,1  | 52,3  | 86,3  | 99,3 | 99,9 | 100  |     |     |     |                               | 473                      | 25,4 |
| 109 | 1995          |       | 19  | 08:00 | 15,4   | 24,4  | 52,0  | 88,0  | 99,7 | 100  |      |     |     |     |                               | 392                      | 22,4 |
| 110 | 1995          |       | 20  | 00:00 | 19,8   | 29,5  | 54,8  | 86,4  | 99,7 | 100  |      |     |     |     |                               | 431                      | 23,2 |
| 111 | 1995          |       |     | 16:00 | 27,1   | 38,1  | 66,4  | 86,7  | 99,9 | 100  |      |     |     |     |                               | 234                      | 24,6 |
| 112 | 1995          |       |     | 20:00 | 25,4   | 37,1  | 65,3  | 97,1  | 99,9 | 100  |      |     |     |     |                               | 318                      | 24,0 |
| 113 | 1995          |       | 21  | 20:00 | 27,4   | 39,2  | 70,6  | 96,8  | 99,9 | 100  |      |     |     |     |                               | 187                      | 23,2 |
| 114 | 1995          |       | 23  | 00:00 | 35,1   | 48,9  | 77,9  | 96,1  | 99,6 | 99,9 | 100  |     |     |     |                               | 192                      | 24,4 |

| No  | sampling time |       |     |       | Suspended load size distribution, Percentage finer by weight |       |       |       |      |      |      |     |     |     | Conc.<br>(kg/m <sup>3</sup> ) | Water<br>temperature(°C) |      |
|-----|---------------|-------|-----|-------|--|-------|-------|-------|------|------|------|-----|-----|-----|-------------------------------|--------------------------|------|
|     | Year          | Month | Day | Time  | D(mm)  |       |       |       |      |      |      |     |     |     |                               |                          |      |
|     |               |       |     |       | 0.005  | 0.010 | 0.025 | 0.050 | 0.10 | 0.25 | 0.50 | 1.0 | 2.0 | 5.0 |                               |                          |      |
| 115 | 1995          |       | 25  | 08:00 | 27,1   | 39,6  | 68,8  | 86,4  | 99,6 | 100  |      |     |     |     |                               | 165                      | 24,4 |
| 116 | 1995          |       | 27  | 08:00 | 34,1   | 50,1  | 79,1  | 92,7  | 99,6 | 99,9 | 100  |     |     |     |                               | 181                      | 26,4 |
| 117 | 1995          |       | 29  | 20:00 | 32,6   | 48,7  | 82,3  | 94,2  | 99,6 | 100  |      |     |     |     |                               | 84,7                     | 26,6 |
| 118 | 1995          |       | 30  | 12:00 | 21,6   | 32,7  | 63,8  | 91,5  | 99,3 | 99,9 | 100  |     |     |     |                               | 214                      | 25,6 |
| 119 | 1995          |       |     | 20:00 | 14,1   | 22,6  | 47,5  | 78,4  | 97,9 | 99,6 | 100  |     |     |     |                               | 436                      | 24,4 |
| 120 | 1995          |       | 31  | 08:00 | 23,1   | 34,4  | 64,3  | 92,0  | 99,1 | 99,6 | 100  |     |     |     |                               | 359                      | 23,8 |
| 121 | 1995          | 8     | 31  | 18:00 | 17,4   | 26,9  | 54,8  | 83,6  | 99,5 | 99,9 | 100  |     |     |     |                               | 363                      | 25,0 |
| 122 | 1995          |       |     | 19:06 | 19,9   | 29,5  | 55,6  | 86,1  | 99,6 | 100  |      |     |     |     |                               | 374                      | 24,6 |
| 123 | 1995          | 9     | 1   | 00:00 | 20,6   | 30,2  | 56,6  | 86,8  | 99,6 | 99,9 | 100  |     |     |     |                               | 380                      | 23,6 |
| 124 | 1995          |       |     | 08:00 | 21,1   | 31,2  | 61,1  | 86,9  | 99,7 | 100  |      |     |     |     |                               | 333                      | 23,8 |
| 125 | 1995          |       |     | 16:00 | 18,5   | 29,0  | 56,6  | 85,3  | 99,3 | 99,7 | 100  |     |     |     |                               | 361                      | 27,2 |
| 126 | 1995          |       | 2   | 08:00 | 22,5   | 34,1  | 65,5  | 96,9  | 99,7 | 100  |      |     |     |     |                               | 194                      | 26,2 |
| 127 | 1995          |       | 3   | 08:00 | 34,3   | 48,2  | 78,3  | 93,7  | 99,6 | 100  |      |     |     |     |                               | 198                      | 26,8 |
| 128 | 1995          |       | 5   | 08:00 | 47,3   | 60,7  | 85,6  | 96,4  | 99,9 | 100  |      |     |     |     |                               | 87,9                     | 25,4 |
| 129 | 1995          |       | 7   | 08:00 | 69,5   | 81,6  | 92,9  | 95,1  | 99,9 | 100  |      |     |     |     |                               | 36,5                     | 27,0 |
| 130 | 1995          |       | 11  | 08:00 | 26,9   | 38,6  | 67,9  | 95,7  | 100  |      |      |     |     |     |                               | 7,66                     | 20,4 |
| 131 | 1995          |       |     | 20:00 | 30,1   | 44,9  | 77,6  | 90,3  | 100  |      |      |     |     |     |                               | 36,7                     | 20,4 |
| 132 | 1995          |       | 13  | 08:00 | 44,4   | 56,4  | 81,4  | 96,9  | 99,9 | 100  |      |     |     |     |                               | 23,0                     | 19,8 |
| 133 | 1995          |       |     | 09:00 | 28,5   | 40,0  | 69,8  | 94,6  | 100  |      |      |     |     |     |                               | 22,1                     | 19,8 |
| 134 | 1995          |       | 15  | 08:00 | 27,5   | 37,7  | 66,4  | 93,7  | 99,7 | 100  |      |     |     |     |                               | 8,21                     | 22,2 |
| 135 | 1995          |       | 19  | 08:00 | 10,3   | 17,7  | 47,7  | 85,6  | 99,9 | 100  |      |     |     |     |                               | 3,61                     | 22,0 |
| 136 | 1995          |       | 22  | 08:42 | 15,0   | 23,4  | 50,3  | 84,2  | 99,6 | 99,9 | 100  |     |     |     |                               | 2,60                     | 23,0 |
| 137 | 1995          |       | 25  | 08:00 | 49,8   | 56,9  | 76,2  | 95,9  | 99,9 | 100  |      |     |     |     |                               | 3,14                     | 18,6 |
| 138 | 1995          |       | 30  | 08:00 | 45,1   | 54,3  | 73,1  | 95,5  | 99,9 | 100  |      |     |     |     |                               | 2,54                     | 20,2 |
| 139 | 1995          | 10    | 1   | 08:00 | 17,8   | 27,2  | 52,5  | 80,5  | 99,7 | 100  |      |     |     |     |                               | 1,25                     | 20,4 |
| 140 | 1995          |       | 2   | 08:00 | 15,4   | 25,1  | 56,4  | 83,8  | 99,9 | 100  |      |     |     |     |                               | 4,00                     | 19,2 |
| 141 | 1995          | 10    | 3   | 08:00 | 12,0   | 20,1  | 50,0  | 79,3  | 99,9 | 100  |      |     |     |     |                               | 1,90                     | 17,8 |
| 142 | 1995          |       | 8   | 08:00 | 9,5  | 16,3  | 43,4  | 82,3  | 99,7 | 100  |      |     |     |     |                               | 3,36                     | 16,4 |
| 143 | 1995          |       |     | 09:00 | 7,3  | 12,6  | 33,8  | 74,1  | 99,9 | 100  |      |     |     |     |                               | 3,63                     | 16,6 |
| 144 | 1995          |       | 12  | 08:00 | 13,6   | 20,9  | 44,6  | 86,5  | 99,9 | 100  |      |     |     |     |                               | 3,39                     | 19,4 |
| 145 | 1995          |       | 14  | 08:00 | 8,2  | 14,7  | 39,4  | 82,2  | 99,9 | 100  |      |     |     |     |                               | 3,54                     | 17,8 |
| 146 | 1995          |       | 18  | 08:00 | 10,6   | 17,0  | 42,6  | 81,0  | 99,9 | 100  |      |     |     |     |                               | 4,83                     | 18,8 |
| 147 | 1995          |       | 20  | 08:00 | 10,1   | 19,1  | 42,1  | 74,9  | 99,7 | 100  |      |     |     |     |                               | 3,96                     | 14,8 |
| 148 | 1995          |       | 24  | 08:00 | 9,6  | 16,0  | 43,2  | 82,0  | 99,9 | 100  |      |     |     |     |                               | 6,57                     | 14,2 |
| 149 | 1995          |       | 25  | 08:00 | 7,9  | 14,9  | 39,2  | 76,2  | 99,7 | 100  |      |     |     |     |                               | 11,6                     | 14,4 |
| 150 | 1995          |       | 26  | 08:00 | 9,0  | 15,5  | 43,1  | 80,9  | 99,7 | 100  |      |     |     |     |                               | 10,9                     | 14,6 |
| 151 | 1995          |       | 27  | 08:00 | 12,3   | 21,6  | 46,6  | 79,0  | 99,6 | 100  |      |     |     |     |                               | 10,4                     | 14,0 |
| 152 | 1995          |       | 28  | 08:00 | 9,1  | 16,3  | 43,4  | 80,2  | 99,5 | 100  |      |     |     |     |                               | 10,6                     | 14,0 |

| No  | sampling time |       |     |       | Suspended load size distribution, Percentage finer by weight |       |       |       |      |      |      |     |     |     | Conc.<br>(kg/m <sup>3</sup> ) | Water<br>temperature(°C) |
|-----|---------------|-------|-----|-------|--|-------|-------|-------|------|------|------|-----|-----|-----|-------------------------------|--------------------------|
|     |               |       |     |       | D(mm)  |       |       |       |      |      |      |     |     |     |                               |                          |
|     | Year          | Month | Day | Time  | 0.005  | 0.010 | 0.025 | 0.050 | 0.10 | 0.25 | 0.50 | 1.0 | 2.0 | 5.0 |                               |                          |
| 153 | 1995          |       | 29  | 08:00 | 12,3   | 20,8  | 47,8  | 78,0  | 99,6 | 100  |      |     |     |     | 10,7                          | 14,2                     |
| 154 | 1995          |       | 30  | 08:00 | 11,7   | 19,2  | 43,2  | 75,9  | 99,7 | 100  |      |     |     |     | 8,16                          | 14,8                     |
| 155 | 1995          |       | 31  | 08:00 | 15,0   | 23,5  | 46,9  | 77,4  | 99,9 | 100  |      |     |     |     | 5,80                          | 13,8                     |
| 156 | 1995          | 11    | 1   | 08:00 | 14,5   | 22,8  | 45,8  | 79,6  | 99,2 | 100  |      |     |     |     | 4,73                          | 12,8                     |
| 157 | 1995          |       | 5   | 08:00 | 9,7  | 16,2  | 36,7  | 71,2  | 99,3 | 100  |      |     |     |     | 3,05                          | 13,2                     |
| 158 | 1995          |       | 10  | 08:00 | 11,0   | 19,3  | 45,2  | 82,9  | 99,6 | 100  |      |     |     |     | 1,80                          | 10,2                     |
| 159 | 1995          |       | 15  | 08:00 | 16,8   | 28,2  | 57,2  | 85,4  | 99,6 | 100  |      |     |     |     | 1,00                          | 11,2                     |
| 160 | 1995          |       | 20  | 08:00 | 12,6   | 23,4  | 53,8  | 79,7  | 99,5 | 100  |      |     |     |     | 0,768                         | 8,6                      |
| 161 | 1995          | 11    | 25  | 08:00 | 19,0   | 33,1  | 62,0  | 89,4  | 99,5 | 100  |      |     |     |     | 0,330                         | 7,0                      |
| 162 | 1995          |       | 30  | 08:00 | 21,9   | 36,0  | 60,5  | 86,4  | 99,7 | 100  |      |     |     |     | 0,256                         | 8,4                      |
| 163 | 1995          |       | 16  | 12:00 | 19,4   | 32,1  | 60,1  | 80,0  | 99,6 | 100  |      |     |     |     | 0,385                         | 4,0                      |

**ANEXO 3**

**CLASIFICACION DE TAMAÑOS DE PARTICULAS DE SEDIMENTOS**

## SEDIMENT GRADE SCALE

| Class name          | Size Range      |                  |             | Approximate sieve mesh openings per inch |                       |
|---------------------|-----------------|------------------|-------------|--|-----------------------|
|                     | Millimeters     | Microns          | Inches      | Tyler                                    | United States Standar |
| Very Large Boulders | 4096 - 2048     |                  | 160 - 80    |  |                       |
| Large Boulders      | 2048 - 1024     |                  | 80 - 40     |  |                       |
| Medium Boulders     | 1024 - 512      |                  | 40 - 20     |  |                       |
| Small Boulders      | 512 - 256       |                  | 20 - 10     |  |                       |
| Large cobbles       | 256 - 128       |                  | 10 - 5      |  |                       |
| Small Cobbles       | 28 - 64         |                  | 5 - 2.5     |  |                       |
| Very Coarse Gravel  | 64 - 32         |                  | 2.5 - 1.3   |  |                       |
| Coarse Gravel       | 32 - 16         |                  | 1.3 - 0.6   |  |                       |
| Medium Gravel       | 16 - 8          |                  | 0.6 - 0.3   | 2 - 1/2                                  |                       |
| Fine Gravel         | 8 - 4           |                  | 0.3 - 0.16  | 5  | 5                     |
| Very Fine Gravel    | 4 - 2           |                  | 0.16 - 0.08 | 9  | 10                    |
| Very Coarse Sand    | 2 - 1           | 2.000 - 1.000    | 2000 - 1000 | 16                                       | 18                    |
| Coarse Sand         | 1 - 1/2         | 1.000 - 0.500    | 1000 - 500  | 32                                       | 35                    |
| Medium Sand         | 1/2 - 1/4       | 0.500 - 0.250    | 500 - 250   | 60                                       | 60                    |
| Fine Sand           | 1/4 - 1/8       | 0.250 - 0.125    | 250 - 125   | 115                                      | 120                   |
| Very Fine sand      | 1/8 - 1/16      | 0.125 - 0.062    | 125 - 62    | 250                                      | 230                   |
| Coarse Silt         | 1/16 - 1/32     | 0.062 - 0.031    | 62 - 31     |  |                       |
| Medium Silt         | 1/32 - 1/64     | 0.031 - 0.016    | 31 - 16     |  |                       |
| Fine Silt           | 1/64 - 1/128    | 0.016 - 0.008    | 16 - 8      |  |                       |
| Very Fine Silt      | 1/128 - 1/256   | 0.008 - 0.004    | 8 - 4       |  |                       |
| Coarse Clay         | 1/128 - 1/512   | 0.004 - 0.020    | 4 - 2       |  |                       |
| Medium Clay         | 1/512 - 1/1024  | 0.0020 - 0.0010  | 2 - 1       |  |                       |
| Fine Clay           | 1/1024 - 1/2048 | 0.0010 - 0.0005  | 1 - 0.5     |  |                       |
| Very Fine Clay      | 1/2048 - 1/4096 | 0.0005 - 0.00024 | 0.5 - 0.24  |  |                       |

Boulders = Peñones; Cobbles = Cantos; Gravel = Grava; Sand = Arena; Silt = Limo; Clay Arcilla.

También se ha observado que 1/16 mm es el tamaño límite de la partícula.

**ANEXO 4**

**REPORTES DIARIOS DE CAUDAL LIQUIDO MEDIDO EN RIO WEI  
(1992 - 1995)**

1992 Daily Flow (unit:m<sup>3</sup>/s)

| Day \ Month | 1    | 2    | 3    | 4    | 5    | 6    | 7    | 8    | 9    | 10  | 11   | 12   |
|-------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|-----|------|------|
| 1           | 58,3 | 54,3 | 3,02 | 94,7 | 6,91 | 29,6 | 135  | 176  | 640  | 446 | 291  | 71,1 |
| 2           | 62,5 | 55,4 | 3,04 | 93,7 | 6,99 | 34,4 | 116  | 131  | 531  | 405 | 255  | 65,1 |
| 3           | 66,3 | 56,8 | 8,12 | 93,4 | 9,41 | 47,4 | 91,9 | 87,3 | 515  | 375 | 257  | 60,4 |
| 4           | 62,9 | 56,5 | 41,9 | 97,5 | 19,3 | 70,7 | 72,4 | 58,4 | 318  | 517 | 259  | 57,6 |
| 5           | 63,8 | 54,7 | 61,5 | 98,2 | 70,8 | 131  | 49,4 | 32,4 | 231  | 903 | 254  | 53,5 |
| 6           | 67,2 | 53,0 | 71,2 | 91,8 | 91,4 | 142  | 36,2 | 113  | 197  | 719 | 256  | 51,7 |
| 7           | 68,8 | 52,3 | 68,8 | 86,0 | 106  | 119  | 22,5 | 141  | 175  | 641 | 254  | 49,9 |
| 8           | 72,9 | 52,4 | 66,8 | 89,5 | 195  | 90,4 | 11,3 | 215  | 174  | 682 | 255  | 48,1 |
| 9           | 72,5 | 53,1 | 59,7 | 96,0 | 151  | 70,9 | 4,26 | 157  | 200  | 624 | 246  | 50,1 |
| 10          | 72,6 | 50,7 | 58,7 | 99,0 | 145  | 41,6 | 1,90 | 246  | 222  | 511 | 240  | 46,3 |
| 11          | 72,1 | 42,3 | 57,6 | 114  | 140  | 17,4 | 1,33 | 1160 | 236  | 449 | 239  | 40,9 |
| 12          | 71,0 | 40,4 | 53,0 | 125  | 142  | 7,33 | 0,99 | 1480 | 261  | 417 | 226  | 36,7 |
| 13          | 73,1 | 33,7 | 50,6 | 142  | 134  | 3,84 | 0,89 | 2840 | 608  | 394 | 209  | 32,8 |
| 14          | 75,4 | 29,8 | 49,5 | 131  | 124  | 151  | 3,24 | 2960 | 634  | 366 | 198  | 31,4 |
| 15          | 75,3 | 30,7 | 51,3 | 116  | 129  | 255  | 47,7 | 970  | 516  | 341 | 194  | 30,3 |
| 16          | 70,8 | 23,8 | 63,2 | 108  | 114  | 192  | 584  | 447  | 543  | 338 | 188  | 27,1 |
| 17          | 65,9 | 18,9 | 87,9 | 97,0 | 104  | 210  | 625  | 396  | 618  | 330 | 182  | 26,7 |
| 18          | 66,1 | 13,8 | 104  | 82,0 | 100  | 199  | 494  | 358  | 853  | 304 | 183  | 28,2 |
| 19          | 64,8 | 11,3 | 104  | 77,1 | 87,8 | 173  | 302  | 297  | 602  | 288 | 175  | 30,2 |
| 20          | 65,3 | 9,60 | 101  | 71,9 | 75,6 | 173  | 264  | 485  | 605  | 277 | 170  | 29,8 |
| 21          | 64,6 | 7,39 | 99,7 | 66,8 | 67,1 | 214  | 200  | 592  | 887  | 278 | 163  | 29,8 |
| 22          | 64,7 | 5,29 | 94,5 | 61,1 | 53,8 | 315  | 133  | 829  | 1050 | 295 | 164  | 28,1 |
| 23          | 65,3 | 5,00 | 94,0 | 52,8 | 39,7 | 380  | 85,2 | 592  | 808  | 352 | 159  | 27,3 |
| 24          | 64,0 | 3,92 | 97,7 | 46,0 | 28,6 | 333  | 58,9 | 430  | 742  | 437 | 130  | 27,3 |
| 25          | 60,5 | 4,70 | 95,8 | 41,9 | 20,0 | 466  | 36,7 | 357  | 1130 | 405 | 120  | 30,8 |
| 26          | 58,1 | 5,25 | 95,2 | 31,9 | 14,8 | 339  | 465  | 319  | 1230 | 355 | 104  | 28,9 |
| 27          | 55,0 | 3,78 | 95,5 | 26,8 | 11,0 | 207  | 442  | 265  | 888  | 325 | 91,7 | 29,0 |
| 28          | 54,6 | 3,12 | 97,0 | 17,7 | 7,50 | 168  | 146  | 281  | 703  | 311 | 91,2 | 29,6 |
| 29          | 56,2 | 2,75 | 102  | 11,9 | 9,13 | 128  | 106  | 232  | 617  | 300 | 94,3 | 30,2 |
| 30          | 54,4 |      | 96,3 | 8,72 | 22,9 | 147  | 193  | 313  | 515  | 299 | 81,2 | 27,7 |
| 31          | 54,0 |      | 95,3 |      | 30,2 |      | 335  | 571  |      | 291 |      | 27,9 |

1993 Daily Flow (unit:m<sup>3</sup>/s)

| Day \ Month | 1    | 2    | 3    | 4    | 5    | 6   | 7    | 8   | 9   | 10   | 11  | 12   |
|-------------|------|------|------|------|------|-----|------|-----|-----|------|-----|------|
| 1           | 29,2 | 77,9 | 114  | 267  | 94,4 | 157 | 510  | 356 | 428 | 167  | 163 | 112  |
| 2           | 31,9 | 80,6 | 105  | 242  | 100  | 174 | 866  | 311 | 384 | 160  | 158 | 100  |
| 3           | 32,8 | 81,4 | 92,2 | 242  | 119  | 181 | 287  | 275 | 272 | 155  | 156 | 95,5 |
| 4           | 36,6 | 83,9 | 90,4 | 267  | 161  | 174 | 225  | 214 | 196 | 148  | 149 | 84,1 |
| 5           | 35,6 | 92,2 | 92,1 | 323  | 161  | 218 | 182  | 572 | 204 | 145  | 144 | 72,9 |
| 6           | 36,5 | 93,4 | 90,9 | 326  | 131  | 287 | 162  | 878 | 187 | 135  | 139 | 72,3 |
| 7           | 36,3 | 94,9 | 83,3 | 298  | 117  | 215 | 156  | 276 | 170 | 119  | 141 | 73,6 |
| 8           | 41,1 | 92,3 | 81,3 | 281  | 113  | 188 | 184  | 163 | 177 | 110  | 139 | 72,8 |
| 9           | 46,3 | 89,3 | 81,2 | 270  | 110  | 169 | 154  | 175 | 170 | 110  | 139 | 65,3 |
| 10          | 63,5 | 86,1 | 81,7 | 248  | 122  | 151 | 126  | 162 | 182 | 91,7 | 144 | 60,2 |
| 11          | 69,3 | 77,8 | 76,4 | 232  | 209  | 135 | 110  | 161 | 197 | 95,9 | 144 | 51,3 |
| 12          | 73,2 | 68,8 | 71,1 | 220  | 193  | 130 | 94,1 | 189 | 194 | 104  | 147 | 48,2 |
| 13          | 72,1 | 64,6 | 72,5 | 215  | 218  | 151 | 93,1 | 231 | 182 | 125  | 150 | 46,7 |
| 14          | 70,8 | 64,7 | 75,0 | 209  | 864  | 153 | 123  | 176 | 159 | 256  | 155 | 43,8 |
| 15          | 73,8 | 69,7 | 74,5 | 202  | 723  | 171 | 304  | 169 | 152 | 530  | 158 | 41,7 |
| 16          | 72,1 | 84,6 | 89,2 | 199  | 526  | 182 | 828  | 274 | 159 | 430  | 151 | 39,6 |
| 17          | 72,0 | 104  | 98,7 | 199  | 419  | 162 | 682  | 376 | 233 | 349  | 144 | 38,6 |
| 18          | 71,7 | 108  | 113  | 195  | 346  | 128 | 514  | 328 | 266 | 297  | 152 | 37,4 |
| 19          | 72,0 | 123  | 162  | 196  | 293  | 107 | 387  | 225 | 248 | 255  | 153 | 34,6 |
| 20          | 72,8 | 128  | 179  | 192  | 267  | 101 | 298  | 173 | 223 | 229  | 156 | 32,3 |
| 21          | 66,4 | 131  | 181  | 182  | 263  | 148 | 255  | 133 | 200 | 218  | 152 | 27,4 |
| 22          | 65,4 | 135  | 161  | 181  | 260  | 169 | 731  | 173 | 196 | 207  | 144 | 25,6 |
| 23          | 74,6 | 141  | 152  | 157  | 240  | 184 | 2720 | 160 | 204 | 104  | 143 | 28,9 |
| 24          | 69,4 | 142  | 153  | 128  | 221  | 153 | 2100 | 145 | 202 | 181  | 143 | 39,5 |
| 25          | 70,0 | 140  | 152  | 118  | 201  | 168 | 969  | 350 | 200 | 175  | 139 | 27,7 |
| 26          | 71,0 | 134  | 154  | 111  | 188  | 194 | 732  | 438 | 182 | 170  | 134 | 27,6 |
| 27          | 71,8 | 130  | 166  | 112  | 175  | 169 | 600  | 503 | 169 | 164  | 128 | 37,4 |
| 28          | 76,7 | 119  | 188  | 101  | 166  | 202 | 523  | 403 | 160 | 164  | 122 | 34,9 |
| 29          | 75,0 |      | 200  | 89,8 | 159  | 610 | 421  | 296 | 160 | 175  | 113 | 25,3 |
| 30          | 64,4 |      | 216  | 82,6 | 146  | 725 | 431  | 298 | 164 | 168  | 120 | 15,3 |
| 31          | 68,7 |      | 252  |      | 144  |     | 422  | 397 |     | 165  |     | 14,4 |

1994 Daily Flow (unit:m<sup>3</sup>/s)

| Day \ Month | 1    | 2    | 3    | 4    | 5    | 6    | 7    | 8    | 9    | 10   | 11   | 12   |
|-------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| 1           | 15,6 | 37,6 | 73,8 | 58,3 | 206  | 15,8 | 247  | 53,4 | 62,2 | 58,2 | 110  | 103  |
| 2           | 15,5 | 37,9 | 72,1 | 53,1 | 188  | 19,9 | 347  | 36,4 | 281  | 52,5 | 107  | 103  |
| 3           | 15,8 | 38,8 | 73,6 | 45,0 | 173  | 20,6 | 308  | 8,43 | 294  | 50,0 | 102  | 102  |
| 4           | 15,6 | 43,8 | 76,5 | 43,7 | 155  | 19,9 | 227  | 3,89 | 82,2 | 44,1 | 101  | 98,5 |
| 5           | 15,0 | 45,8 | 76,6 | 44,4 | 155  | 18,1 | 211  | 4,11 | 40,0 | 37,8 | 99,9 | 99,5 |
| 6           | 16,1 | 46,8 | 74,3 | 43,1 | 171  | 20,5 | 179  | 113  | 83,0 | 32,4 | 96,1 | 96,7 |
| 7           | 16,0 | 47,7 | 73,4 | 36,2 | 144  | 44,0 | 165  | 213  | 90,6 | 24,4 | 96,9 | 94,4 |
| 8           | 15,9 | 48,7 | 74,2 | 36,5 | 126  | 59,1 | 645  | 441  | 76,8 | 21,4 | 95,7 | 92,3 |
| 9           | 17,6 | 49,5 | 82,1 | 52,3 | 112  | 71,1 | 1300 | 250  | 78,4 | 19,1 | 94,8 | 92,4 |
| 10          | 16,6 | 48,4 | 89,4 | 86,2 | 99,1 | 87,9 | 628  | 211  | 76,8 | 15,1 | 98,4 | 93,1 |
| 11          | 15,1 | 48,4 | 97,9 | 121  | 85,8 | 86,2 | 519  | 148  | 71,9 | 14,0 | 99,0 | 91,7 |
| 12          | 15,2 | 50,0 | 99,3 | 227  | 74,5 | 91,4 | 686  | 538  | 69,6 | 16,5 | 103  | 91,5 |
| 13          | 14,8 | 51,5 | 99,7 | 285  | 64,9 | 77,9 | 624  | 781  | 83,5 | 15,1 | 111  | 95,7 |
| 14          | 15,3 | 51,1 | 104  | 239  | 59,2 | 64,1 | 533  | 141  | 98,0 | 15,3 | 129  | 94,3 |
| 15          | 16,5 | 52,2 | 119  | 205  | 53,2 | 66,3 | 295  | 144  | 89,6 | 28,8 | 237  | 92,4 |
| 16          | 17,3 | 55,9 | 114  | 179  | 45,4 | 79,5 | 258  | 79,2 | 86,7 | 62,4 | 284  | 91,6 |
| 17          | 18,7 | 61,9 | 104  | 165  | 38,0 | 73,2 | 191  | 46,0 | 85,0 | 186  | 242  | 89,8 |
| 18          | 21,9 | 58,7 | 95,4 | 155  | 33,3 | 99,6 | 156  | 30,7 | 86,5 | 380  | 206  | 89,6 |
| 19          | 30,8 | 58,0 | 91,2 | 187  | 30,1 | 107  | 115  | 19,1 | 83,6 | 380  | 175  | 86,4 |
| 20          | 44,9 | 59,8 | 91,0 | 381  | 24,1 | 119  | 73,8 | 8,84 | 77,3 | 337  | 171  | 83,8 |
| 21          | 52,9 | 59,7 | 96,4 | 632  | 20,4 | 111  | 74,9 | 5,29 | 73,4 | 282  | 164  | 84,4 |
| 22          | 55,8 | 58,0 | 117  | 480  | 17,4 | 89,2 | 308  | 3,65 | 73,6 | 217  | 152  | 86,5 |
| 23          | 55,3 | 60,0 | 138  | 438  | 14,3 | 61,0 | 236  | 3,36 | 70,6 | 173  | 145  | 85,2 |
| 24          | 59,1 | 65,2 | 138  | 337  | 12,5 | 46,6 | 126  | 2,74 | 69,4 | 148  | 136  | 86,0 |
| 25          | 62,5 | 73,5 | 125  | 289  | 11,8 | 229  | 161  | 2,36 | 68,9 | 131  | 130  | 81,9 |
| 26          | 59,7 | 80,3 | 105  | 264  | 10,4 | 466  | 117  | 7,89 | 67,7 | 124  | 115  | 79,7 |
| 27          | 45,6 | 76,5 | 90,1 | 254  | 9,15 | 559  | 85,2 | 24,5 | 66,8 | 115  | 114  | 79,6 |
| 28          | 41,6 | 74,3 | 77,1 | 243  | 8,84 | 312  | 488  | 22,2 | 67,8 | 112  | 115  | 80,6 |
| 29          | 39,6 |      | 74,1 | 232  | 9,00 | 221  | 361  | 32,0 | 68,0 | 112  | 105  | 77,1 |
| 30          | 38,4 |      | 70,9 | 222  | 11,3 | 203  | 138  | 43,3 | 62,1 | 112  | 103  | 74,4 |
| 31          | 38,1 |      | 63,4 |      | 13,4 |      | 81,6 | 40,9 |      | 111  |      | 74,4 |

1995 Daily Flow (unit:m<sup>3</sup>/s)

| Day \ Month | 1    | 2    | 3    | 4    | 5    | 6     | 7     | 8    | 9    | 10   | 11   | 12   |
|-------------|------|------|------|------|------|-------|-------|------|------|------|------|------|
| 1           | 74,1 | 25,7 | 12,7 | 75,2 | 82,4 | 32,3  | 0,729 | 13,4 | 296  | 38,1 | 69,5 | 4,13 |
| 2           | 75,6 | 26,7 | 16,8 | 71,4 | 75,6 | 29,9  | 0,818 | 43,5 | 200  | 43,9 | 64,7 | 3,28 |
| 3           | 76,1 | 25,3 | 17,0 | 66,4 | 65,8 | 33,6  | 0,723 | 260  | 160  | 41,7 | 71,7 | 3,49 |
| 4           | 75,0 | 24,7 | 12,6 | 60,2 | 66,2 | 36,7  | 0,746 | 222  | 110  | 46,3 | 63,5 | 2,40 |
| 5           | 73,2 | 26,0 | 11,9 | 56,0 | 62,3 | 31,2  | 0,750 | 106  | 83,4 | 45,5 | 61,3 | 2,11 |
| 6           | 70,1 | 26,1 | 13,9 | 52,7 | 50,2 | 26,5  | 0,750 | 94,7 | 66,5 | 52,4 | 59,8 | 1,97 |
| 7           | 63,6 | 24,1 | 19,9 | 46,2 | 42,1 | 26,9  | 0,767 | 504  | 57,0 | 60,2 | 59,5 | 1,89 |
| 8           | 58,2 | 20,3 | 14,2 | 40,7 | 37,5 | 23,2  | 0,763 | 962  | 54,6 | 58,4 | 58,9 | 1,72 |
| 9           | 53,7 | 16,9 | 14,7 | 31,6 | 28,0 | 25,3  | 0,734 | 359  | 70,5 | 52,1 | 56,8 | 1,71 |
| 10          | 51,5 | 15,4 | 23,8 | 28,2 | 23,7 | 60,3  | 0,684 | 221  | 80,4 | 53,2 | 54,1 | 1,70 |
| 11          | 49,5 | 12,1 | 21,5 | 27,7 | 22,5 | 49,6  | 0,680 | 127  | 161  | 50,2 | 52,6 | 1,60 |
| 12          | 47,2 | 10,7 | 22,1 | 20,6 | 19,1 | 17,8  | 0,696 | 83,5 | 214  | 50,4 | 43,1 | 1,70 |
| 13          | 47,3 | 11,3 | 23,2 | 14,4 | 11,2 | 21,3  | 0,746 | 64,9 | 177  | 52,0 | 34,9 | 1,49 |
| 14          | 43,2 | 9,64 | 22,0 | 14,2 | 11,3 | 7,73  | 0,766 | 50,3 | 129  | 55,0 | 36,6 | 1,47 |
| 15          | 35,3 | 7,23 | 21,8 | 11,9 | 9,95 | 2,62  | 0,839 | 76,8 | 107  | 64,9 | 34,1 | 1,88 |
| 16          | 34,7 | 5,20 | 24,6 | 10,3 | 6,07 | 1,40  | 297   | 63,4 | 90,6 | 78,9 | 33,8 | 10,6 |
| 17          | 33,1 | 4,20 | 27,5 | 9,35 | 3,18 | 1,30  | 144   | 43,0 | 79,7 | 70,2 | 35,4 | 13,5 |
| 18          | 29,4 | 3,36 | 33,3 | 9,59 | 2,43 | 1,10  | 49,4  | 378  | 73,4 | 65,7 | 24,7 | 6,12 |
| 19          | 28,0 | 3,31 | 33,3 | 9,69 | 4,04 | 0,899 | 54,8  | 208  | 67,3 | 55,5 | 24,6 | 2,86 |
| 20          | 26,3 | 4,90 | 31,8 | 8,69 | 16,4 | 0,890 | 63,9  | 127  | 62,4 | 51,5 | 27,1 | 1,51 |
| 21          | 26,6 | 6,80 | 28,4 | 7,23 | 28,9 | 0,955 | 79,8  | 176  | 58,9 | 55,1 | 27,7 | 1,47 |
| 22          | 31,5 | 9,98 | 26,5 | 18,2 | 36,6 | 0,960 | 170   | 139  | 58,0 | 64,8 | 22,1 | 1,47 |
| 23          | 25,4 | 13,6 | 22,9 | 80,5 | 43,7 | 0,960 | 153   | 223  | 59,4 | 72,4 | 18,1 | 1,47 |
| 24          | 20,4 | 16,5 | 22,5 | 191  | 39,2 | 0,960 | 114   | 300  | 69,4 | 109  | 15,4 | 1,46 |
| 25          | 18,5 | 16,7 | 29,0 | 182  | 26,4 | 0,960 | 92,0  | 222  | 64,8 | 142  | 14,1 | 1,42 |
| 26          | 18,9 | 17,1 | 46,5 | 153  | 24,5 | 0,953 | 89,9  | 138  | 54,0 | 144  | 12,2 | 1,52 |
| 27          | 20,2 | 15,0 | 56,7 | 139  | 23,1 | 0,766 | 114   | 87,1 | 50,6 | 122  | 10,4 | 1,39 |
| 28          | 28,6 | 13,9 | 59,8 | 128  | 22,8 | 0,750 | 111   | 48,2 | 49,1 | 126  | 8,57 | 1,65 |
| 29          | 25,9 |      | 83,4 | 114  | 23,3 | 0,779 | 56,9  | 48,3 | 47,2 | 111  | 7,11 | 1,38 |
| 30          | 24,0 |      | 79,8 | 102  | 24,0 | 0,818 | 55,3  | 411  | 39,8 | 95,2 | 5,90 | 1,21 |
| 31          | 26,2 |      | 75,0 |      | 28,5 |       | 33,3  | 628  |      | 82,3 |      | 1,26 |

**ANEXO 5**

**REPORTES DIARIOS DE CARGA DE SEDIMENTOS TRANSPORTADO  
POR EL RIO WEI (INCLUYENDO CARGA LAVADA) 1992 – 1995.**

1992 Daily Flow (unit:m<sup>3</sup>/s)

| Day \ Month | 1    | 2    | 3    | 4    | 5    | 6    | 7    | 8    | 9    | 10  | 11   | 12   |
|-------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|-----|------|------|
| 1           | 58,3 | 54,3 | 3,02 | 94,7 | 6,91 | 29,6 | 135  | 176  | 640  | 446 | 291  | 71,1 |
| 2           | 62,5 | 55,4 | 3,04 | 93,7 | 6,99 | 34,4 | 116  | 131  | 531  | 405 | 255  | 65,1 |
| 3           | 66,3 | 56,8 | 8,12 | 93,4 | 9,41 | 47,4 | 91,9 | 87,3 | 515  | 375 | 257  | 60,4 |
| 4           | 62,9 | 56,5 | 41,9 | 97,5 | 19,3 | 70,7 | 72,4 | 58,4 | 318  | 517 | 259  | 57,6 |
| 5           | 63,8 | 54,7 | 61,5 | 98,2 | 70,8 | 131  | 49,4 | 32,4 | 231  | 903 | 254  | 53,5 |
| 6           | 67,2 | 53,0 | 71,2 | 91,8 | 91,4 | 142  | 36,2 | 113  | 197  | 719 | 256  | 51,7 |
| 7           | 68,8 | 52,3 | 68,8 | 86,0 | 106  | 119  | 22,5 | 141  | 175  | 641 | 254  | 49,9 |
| 8           | 72,9 | 52,4 | 66,8 | 89,5 | 195  | 90,4 | 11,3 | 215  | 174  | 682 | 255  | 48,1 |
| 9           | 72,5 | 53,1 | 59,7 | 96,0 | 151  | 70,9 | 4,26 | 157  | 200  | 624 | 246  | 50,1 |
| 10          | 72,6 | 50,7 | 58,7 | 99,0 | 145  | 41,6 | 1,90 | 246  | 222  | 511 | 240  | 46,3 |
| 11          | 72,1 | 42,3 | 57,6 | 114  | 140  | 17,4 | 1,33 | 1160 | 236  | 449 | 239  | 40,9 |
| 12          | 71,0 | 40,4 | 53,0 | 125  | 142  | 7,33 | 0,99 | 1480 | 261  | 417 | 226  | 36,7 |
| 13          | 73,1 | 33,7 | 50,6 | 142  | 134  | 3,84 | 0,89 | 2840 | 608  | 394 | 209  | 32,8 |
| 14          | 75,4 | 29,8 | 49,5 | 131  | 124  | 151  | 3,24 | 2960 | 634  | 366 | 198  | 31,4 |
| 15          | 75,3 | 30,7 | 51,3 | 116  | 129  | 255  | 47,7 | 970  | 516  | 341 | 194  | 30,3 |
| 16          | 70,8 | 23,8 | 63,2 | 108  | 114  | 192  | 584  | 447  | 543  | 338 | 188  | 27,1 |
| 17          | 65,9 | 18,9 | 87,9 | 97,0 | 104  | 210  | 625  | 396  | 618  | 330 | 182  | 26,7 |
| 18          | 66,1 | 13,8 | 104  | 82,0 | 100  | 199  | 494  | 358  | 853  | 304 | 183  | 28,2 |
| 19          | 64,8 | 11,3 | 104  | 77,1 | 87,8 | 173  | 302  | 297  | 602  | 288 | 175  | 30,2 |
| 20          | 65,3 | 9,60 | 101  | 71,9 | 75,6 | 173  | 264  | 485  | 605  | 277 | 170  | 29,8 |
| 21          | 64,6 | 7,39 | 99,7 | 66,8 | 67,1 | 214  | 200  | 592  | 887  | 278 | 163  | 29,8 |
| 22          | 64,7 | 5,29 | 94,5 | 61,1 | 53,8 | 315  | 133  | 829  | 1050 | 295 | 164  | 28,1 |
| 23          | 65,3 | 5,00 | 94,0 | 52,8 | 39,7 | 380  | 85,2 | 592  | 808  | 352 | 159  | 27,3 |
| 24          | 64,0 | 3,92 | 97,7 | 46,0 | 28,6 | 333  | 58,9 | 430  | 742  | 437 | 130  | 27,3 |
| 25          | 60,5 | 4,70 | 95,8 | 41,9 | 20,0 | 466  | 36,7 | 357  | 1130 | 405 | 120  | 30,8 |
| 26          | 58,1 | 5,25 | 95,2 | 31,9 | 14,8 | 339  | 465  | 319  | 1230 | 355 | 104  | 28,9 |
| 27          | 55,0 | 3,78 | 95,5 | 26,8 | 11,0 | 207  | 442  | 265  | 888  | 325 | 91,7 | 29,0 |
| 28          | 54,6 | 3,12 | 97,0 | 17,7 | 7,50 | 168  | 146  | 281  | 703  | 311 | 91,2 | 29,6 |
| 29          | 56,2 | 2,75 | 102  | 11,9 | 9,13 | 128  | 106  | 232  | 617  | 300 | 94,3 | 30,2 |
| 30          | 54,4 |      | 96,3 | 8,72 | 22,9 | 147  | 193  | 313  | 515  | 299 | 81,2 | 27,7 |
| 31          | 54,0 |      | 95,3 |      | 30,2 |      | 335  | 571  |      | 291 |      | 27,9 |

1993 Daily Flow (unit:m<sup>3</sup>/s)

| Day \ Month | 1    | 2    | 3    | 4    | 5    | 6   | 7    | 8   | 9   | 10   | 11  | 12   |
|-------------|------|------|------|------|------|-----|------|-----|-----|------|-----|------|
| 1           | 29,2 | 77,9 | 114  | 267  | 94,4 | 157 | 510  | 356 | 428 | 167  | 163 | 112  |
| 2           | 31,9 | 80,6 | 105  | 242  | 100  | 174 | 866  | 311 | 384 | 160  | 158 | 100  |
| 3           | 32,8 | 81,4 | 92,2 | 242  | 119  | 181 | 287  | 275 | 272 | 155  | 156 | 95,5 |
| 4           | 36,6 | 83,9 | 90,4 | 267  | 161  | 174 | 225  | 214 | 196 | 148  | 149 | 84,1 |
| 5           | 35,6 | 92,2 | 92,1 | 323  | 161  | 218 | 182  | 572 | 204 | 145  | 144 | 72,9 |
| 6           | 36,5 | 93,4 | 90,9 | 326  | 131  | 287 | 162  | 878 | 187 | 135  | 139 | 72,3 |
| 7           | 36,3 | 94,9 | 83,3 | 298  | 117  | 215 | 156  | 276 | 170 | 119  | 141 | 73,6 |
| 8           | 41,1 | 92,3 | 81,3 | 281  | 113  | 188 | 184  | 163 | 177 | 110  | 139 | 72,8 |
| 9           | 46,3 | 89,3 | 81,2 | 270  | 110  | 169 | 154  | 175 | 170 | 110  | 139 | 65,3 |
| 10          | 63,5 | 86,1 | 81,7 | 248  | 122  | 151 | 126  | 162 | 182 | 91,7 | 144 | 60,2 |
| 11          | 69,3 | 77,8 | 76,4 | 232  | 209  | 135 | 110  | 161 | 197 | 95,9 | 144 | 51,3 |
| 12          | 73,2 | 68,8 | 71,1 | 220  | 193  | 130 | 94,1 | 189 | 194 | 104  | 147 | 48,2 |
| 13          | 72,1 | 64,6 | 72,5 | 215  | 218  | 151 | 93,1 | 231 | 182 | 125  | 150 | 46,7 |
| 14          | 70,8 | 64,7 | 75,0 | 209  | 864  | 153 | 123  | 176 | 159 | 256  | 155 | 43,8 |
| 15          | 73,8 | 69,7 | 74,5 | 202  | 723  | 171 | 304  | 169 | 152 | 530  | 158 | 41,7 |
| 16          | 72,1 | 84,6 | 89,2 | 199  | 526  | 182 | 828  | 274 | 159 | 430  | 151 | 39,6 |
| 17          | 72,0 | 104  | 98,7 | 199  | 419  | 162 | 682  | 376 | 233 | 349  | 144 | 38,6 |
| 18          | 71,7 | 108  | 113  | 195  | 346  | 128 | 514  | 328 | 266 | 297  | 152 | 37,4 |
| 19          | 72,0 | 123  | 162  | 196  | 293  | 107 | 387  | 225 | 248 | 255  | 153 | 34,6 |
| 20          | 72,8 | 128  | 179  | 192  | 267  | 101 | 298  | 173 | 223 | 229  | 156 | 32,3 |
| 21          | 66,4 | 131  | 181  | 182  | 263  | 148 | 255  | 133 | 200 | 218  | 152 | 27,4 |
| 22          | 65,4 | 135  | 161  | 181  | 260  | 169 | 731  | 173 | 196 | 207  | 144 | 25,6 |
| 23          | 74,6 | 141  | 152  | 157  | 240  | 184 | 2720 | 160 | 204 | 104  | 143 | 28,9 |
| 24          | 69,4 | 142  | 153  | 128  | 221  | 153 | 2100 | 145 | 202 | 181  | 143 | 39,5 |
| 25          | 70,0 | 140  | 152  | 118  | 201  | 168 | 969  | 350 | 200 | 175  | 139 | 27,7 |
| 26          | 71,0 | 134  | 154  | 111  | 188  | 194 | 732  | 438 | 182 | 170  | 134 | 27,6 |
| 27          | 71,8 | 130  | 166  | 112  | 175  | 169 | 600  | 503 | 169 | 164  | 128 | 37,4 |
| 28          | 76,7 | 119  | 188  | 101  | 166  | 202 | 523  | 403 | 160 | 164  | 122 | 34,9 |
| 29          | 75,0 |      | 200  | 89,8 | 159  | 610 | 421  | 296 | 160 | 175  | 113 | 25,3 |
| 30          | 64,4 |      | 216  | 82,6 | 146  | 725 | 431  | 298 | 164 | 168  | 120 | 15,3 |
| 31          | 68,7 |      | 252  |      | 144  |     | 422  | 397 |     | 165  |     | 14,4 |

1994 Daily Flow (unit:m<sup>3</sup>/s)

| Day \ Month | 1    | 2    | 3    | 4    | 5    | 6    | 7    | 8    | 9    | 10   | 11   | 12   |
|-------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| 1           | 15,6 | 37,6 | 73,8 | 58,3 | 206  | 15,8 | 247  | 53,4 | 62,2 | 58,2 | 110  | 103  |
| 2           | 15,5 | 37,9 | 72,1 | 53,1 | 188  | 19,9 | 347  | 36,4 | 281  | 52,5 | 107  | 103  |
| 3           | 15,8 | 38,8 | 73,6 | 45,0 | 173  | 20,6 | 308  | 8,43 | 294  | 50,0 | 102  | 102  |
| 4           | 15,6 | 43,8 | 76,5 | 43,7 | 155  | 19,9 | 227  | 3,89 | 82,2 | 44,1 | 101  | 98,5 |
| 5           | 15,0 | 45,8 | 76,6 | 44,4 | 155  | 18,1 | 211  | 4,11 | 40,0 | 37,8 | 99,9 | 99,5 |
| 6           | 16,1 | 46,8 | 74,3 | 43,1 | 171  | 20,5 | 179  | 113  | 83,0 | 32,4 | 96,1 | 96,7 |
| 7           | 16,0 | 47,7 | 73,4 | 36,2 | 144  | 44,0 | 165  | 213  | 90,6 | 24,4 | 96,9 | 94,4 |
| 8           | 15,9 | 48,7 | 74,2 | 36,5 | 126  | 59,1 | 645  | 441  | 76,8 | 21,4 | 95,7 | 92,3 |
| 9           | 17,6 | 49,5 | 82,1 | 52,3 | 112  | 71,1 | 1300 | 250  | 78,4 | 19,1 | 94,8 | 92,4 |
| 10          | 16,6 | 48,4 | 89,4 | 86,2 | 99,1 | 87,9 | 628  | 211  | 76,8 | 15,1 | 98,4 | 93,1 |
| 11          | 15,1 | 48,4 | 97,9 | 121  | 85,8 | 86,2 | 519  | 148  | 71,9 | 14,0 | 99,0 | 91,7 |
| 12          | 15,2 | 50,0 | 99,3 | 227  | 74,5 | 91,4 | 686  | 538  | 69,6 | 16,5 | 103  | 91,5 |
| 13          | 14,8 | 51,5 | 99,7 | 285  | 64,9 | 77,9 | 624  | 781  | 83,5 | 15,1 | 111  | 95,7 |
| 14          | 15,3 | 51,1 | 104  | 239  | 59,2 | 64,1 | 533  | 141  | 98,0 | 15,3 | 129  | 94,3 |
| 15          | 16,5 | 52,2 | 119  | 205  | 53,2 | 66,3 | 295  | 144  | 89,6 | 28,8 | 237  | 92,4 |
| 16          | 17,3 | 55,9 | 114  | 179  | 45,4 | 79,5 | 258  | 79,2 | 86,7 | 62,4 | 284  | 91,6 |
| 17          | 18,7 | 61,9 | 104  | 165  | 38,0 | 73,2 | 191  | 46,0 | 85,0 | 186  | 242  | 89,8 |
| 18          | 21,9 | 58,7 | 95,4 | 155  | 33,3 | 99,6 | 156  | 30,7 | 86,5 | 380  | 206  | 89,6 |
| 19          | 30,8 | 58,0 | 91,2 | 187  | 30,1 | 107  | 115  | 19,1 | 83,6 | 380  | 175  | 86,4 |
| 20          | 44,9 | 59,8 | 91,0 | 381  | 24,1 | 119  | 73,8 | 8,84 | 77,3 | 337  | 171  | 83,8 |
| 21          | 52,9 | 59,7 | 96,4 | 632  | 20,4 | 111  | 74,9 | 5,29 | 73,4 | 282  | 164  | 84,4 |
| 22          | 55,8 | 58,0 | 117  | 480  | 17,4 | 89,2 | 308  | 3,65 | 73,6 | 217  | 152  | 86,5 |
| 23          | 55,3 | 60,0 | 138  | 438  | 14,3 | 61,0 | 236  | 3,36 | 70,6 | 173  | 145  | 85,2 |
| 24          | 59,1 | 65,2 | 138  | 337  | 12,5 | 46,6 | 126  | 2,74 | 69,4 | 148  | 136  | 86,0 |
| 25          | 62,5 | 73,5 | 125  | 289  | 11,8 | 229  | 161  | 2,36 | 68,9 | 131  | 130  | 81,9 |
| 26          | 59,7 | 80,3 | 105  | 264  | 10,4 | 466  | 117  | 7,89 | 67,7 | 124  | 115  | 79,7 |
| 27          | 45,6 | 76,5 | 90,1 | 254  | 9,15 | 559  | 85,2 | 24,5 | 66,8 | 115  | 114  | 79,6 |
| 28          | 41,6 | 74,3 | 77,1 | 243  | 8,84 | 312  | 488  | 22,2 | 67,8 | 112  | 115  | 80,6 |
| 29          | 39,6 |      | 74,1 | 232  | 9,00 | 221  | 361  | 32,0 | 68,0 | 112  | 105  | 77,1 |
| 30          | 38,4 |      | 70,9 | 222  | 11,3 | 203  | 138  | 43,3 | 62,1 | 112  | 103  | 74,4 |
| 31          | 38,1 |      | 63,4 |      | 13,4 |      | 81,6 | 40,9 |      | 111  |      | 74,4 |

1995 Daily Flow (unit:m<sup>3</sup>/s)

| Day \ Month | 1    | 2    | 3    | 4    | 5    | 6     | 7     | 8    | 9    | 10   | 11   | 12   |
|-------------|------|------|------|------|------|-------|-------|------|------|------|------|------|
| 1           | 74,1 | 25,7 | 12,7 | 75,2 | 82,4 | 32,3  | 0,729 | 13,4 | 296  | 38,1 | 69,5 | 4,13 |
| 2           | 75,6 | 26,7 | 16,8 | 71,4 | 75,6 | 29,9  | 0,818 | 43,5 | 200  | 43,9 | 64,7 | 3,28 |
| 3           | 76,1 | 25,3 | 17,0 | 66,4 | 65,8 | 33,6  | 0,723 | 260  | 160  | 41,7 | 71,7 | 3,49 |
| 4           | 75,0 | 24,7 | 12,6 | 60,2 | 66,2 | 36,7  | 0,746 | 222  | 110  | 46,3 | 63,5 | 2,40 |
| 5           | 73,2 | 26,0 | 11,9 | 56,0 | 62,3 | 31,2  | 0,750 | 106  | 83,4 | 45,5 | 61,3 | 2,11 |
| 6           | 70,1 | 26,1 | 13,9 | 52,7 | 50,2 | 26,5  | 0,750 | 94,7 | 66,5 | 52,4 | 59,8 | 1,97 |
| 7           | 63,6 | 24,1 | 19,9 | 46,2 | 42,1 | 26,9  | 0,767 | 504  | 57,0 | 60,2 | 59,5 | 1,89 |
| 8           | 58,2 | 20,3 | 14,2 | 40,7 | 37,5 | 23,2  | 0,763 | 962  | 54,6 | 58,4 | 58,9 | 1,72 |
| 9           | 53,7 | 16,9 | 14,7 | 31,6 | 28,0 | 25,3  | 0,734 | 359  | 70,5 | 52,1 | 56,8 | 1,71 |
| 10          | 51,5 | 15,4 | 23,8 | 28,2 | 23,7 | 60,3  | 0,684 | 221  | 80,4 | 53,2 | 54,1 | 1,70 |
| 11          | 49,5 | 12,1 | 21,5 | 27,7 | 22,5 | 49,6  | 0,680 | 127  | 161  | 50,2 | 52,6 | 1,60 |
| 12          | 47,2 | 10,7 | 22,1 | 20,6 | 19,1 | 17,8  | 0,696 | 83,5 | 214  | 50,4 | 43,1 | 1,70 |
| 13          | 47,3 | 11,3 | 23,2 | 14,4 | 11,2 | 21,3  | 0,746 | 64,9 | 177  | 52,0 | 34,9 | 1,49 |
| 14          | 43,2 | 9,64 | 22,0 | 14,2 | 11,3 | 7,73  | 0,766 | 50,3 | 129  | 55,0 | 36,6 | 1,47 |
| 15          | 35,3 | 7,23 | 21,8 | 11,9 | 9,95 | 2,62  | 0,839 | 76,8 | 107  | 64,9 | 34,1 | 1,88 |
| 16          | 34,7 | 5,20 | 24,6 | 10,3 | 6,07 | 1,40  | 297   | 63,4 | 90,6 | 78,9 | 33,8 | 10,6 |
| 17          | 33,1 | 4,20 | 27,5 | 9,35 | 3,18 | 1,30  | 144   | 43,0 | 79,7 | 70,2 | 35,4 | 13,5 |
| 18          | 29,4 | 3,36 | 33,3 | 9,59 | 2,43 | 1,10  | 49,4  | 378  | 73,4 | 65,7 | 24,7 | 6,12 |
| 19          | 28,0 | 3,31 | 33,3 | 9,69 | 4,04 | 0,899 | 54,8  | 208  | 67,3 | 55,5 | 24,6 | 2,86 |
| 20          | 26,3 | 4,90 | 31,8 | 8,69 | 16,4 | 0,890 | 63,9  | 127  | 62,4 | 51,5 | 27,1 | 1,51 |
| 21          | 26,6 | 6,80 | 28,4 | 7,23 | 28,9 | 0,955 | 79,8  | 176  | 58,9 | 55,1 | 27,7 | 1,47 |
| 22          | 31,5 | 9,98 | 26,5 | 18,2 | 36,6 | 0,960 | 170   | 139  | 58,0 | 64,8 | 22,1 | 1,47 |
| 23          | 25,4 | 13,6 | 22,9 | 80,5 | 43,7 | 0,960 | 153   | 223  | 59,4 | 72,4 | 18,1 | 1,47 |
| 24          | 20,4 | 16,5 | 22,5 | 191  | 39,2 | 0,960 | 114   | 300  | 69,4 | 109  | 15,4 | 1,46 |
| 25          | 18,5 | 16,7 | 29,0 | 182  | 26,4 | 0,960 | 92,0  | 222  | 64,8 | 142  | 14,1 | 1,42 |
| 26          | 18,9 | 17,1 | 46,5 | 153  | 24,5 | 0,953 | 89,9  | 138  | 54,0 | 144  | 12,2 | 1,52 |
| 27          | 20,2 | 15,0 | 56,7 | 139  | 23,1 | 0,766 | 114   | 87,1 | 50,6 | 122  | 10,4 | 1,39 |
| 28          | 28,6 | 13,9 | 59,8 | 128  | 22,8 | 0,750 | 111   | 48,2 | 49,1 | 126  | 8,57 | 1,65 |
| 29          | 25,9 |      | 83,4 | 114  | 23,3 | 0,779 | 56,9  | 48,3 | 47,2 | 111  | 7,11 | 1,38 |
| 30          | 24,0 |      | 79,8 | 102  | 24,0 | 0,818 | 55,3  | 411  | 39,8 | 95,2 | 5,90 | 1,21 |
| 31          | 26,2 |      | 75,0 |      | 28,5 |       | 33,3  | 628  |      | 82,3 |      | 1,26 |