

1. INTRODUCCIÓN Y ANTECEDENTES.

El presente informe contiene el resumen descriptivo de las actividades desarrolladas, así como la metodología y los resultados obtenidos en el marco del proyecto de investigación titulado **"Análisis del flujo másico y transporte de sedimentos en el Río Pirai. Determinación de las variables que intervienen en el transporte de sedimentos de fondo"**, que se desarrolló entre los meses de Febrero del 2008 a Diciembre del 2008.

La idea de este proyecto viene desde el año 2006, donde en una primera fase del mismo se tomaron todos los datos disponibles de crecidas observadas en el Río Pirai y, mediante procesos matemáticos se llegó a determinar y cuantificar la variación del lecho en crecidas. Los rangos de datos son considerables ya que pasan los 2500 m³/s, y esto hace que el estudio que se presenta tenga características pioneras. (Ver informe de proyecto Fase I – diciembre 2007).

En la presente fase del estudio se ha avanzado en el conocimiento del proceso y se ha llegado a plantear una teoría sobre el movimiento dinámico de los sedimentos y partículas en el lecho de cauces aluviales y, además a proponer una ecuación o mejor dicho una metodología para cuantificar el fenómeno de transporte de sedimentos por el mecanismo de arrastre de fondo.

2. RESUMEN GENERAL.

El presente trabajo de investigación supone una apreciación al fenómeno de transporte de sedimentos y la determinación de las variables hidráulicas y sedimentológicas que intervienen y son relevantes en el proceso. A partir de ese punto se desarrolla una teoría del movimiento dinámico de sedimentos y partículas esféricas en lechos aluviales; apoyada y sustentada con Análisis dimensional, donde intervienen las variables dependientes e independientes del fenómeno y sus relaciones funcionales.

Se presenta un análisis del proceso de inicio del movimiento de los sedimentos en el lecho – o umbral del movimiento -, donde se ha incluido el efecto de la sustentación de las partículas y esto ha dado lugar a una alternativa de la curva de Shields (1950), con variaciones sustanciales de la misma.

Por otro lado, se ha desarrollado una metodología para poder evaluar los parámetros sedimentológicos que hacen a dos situaciones; las condiciones críticas del inicio del movimiento por un lado y, el movimiento en sí de las partículas a partir de la evaluación de las velocidades de las partículas en el lecho.

Finalmente, se presenta una ecuación para la cuantificación del proceso de arrastre de carga del lecho, en la cual están incluidos los elementos mencionados que hacen a la dinámica del proceso.

3.- OBJETIVOS DEL PROYECTO.-

Se presenta una relación de los objetivos de origen y los alcanzados en la realización de este proyecto.

3.1.- Objetivos Generales.-

Los objetivos del proyecto de investigación estaban encaminados (siguiendo el perfil del proyecto presentado) a lo siguiente:

- Identificar, Analizar y explicar las variables que intervienen en el proceso de transporte de sedimentos de fondo, bajo condiciones de flujo rápido e incluyendo la variabilidad de composición de material del lecho, bajo condiciones estacionales, haciendo uso de la información generada durante la FASE I del proyecto.
- Determinar relaciones entre las variables que permitan cuantificar los fenómenos de transporte de sedimentos (determinación de la capacidad de transporte de sedimentos).
- Determinar la aplicabilidad de las relaciones propuestas de manera que permitan dimensionar el fenómeno para su uso real en sistemas fluviales en sistemas de protección de inundaciones, estabilidad de estructuras en cauces fluviales y en la determinación de condiciones extremas en las estructuras que se diseñan en dichos cauces.

3.2.- Objetivos específicos.-

Dentro del desarrollo del proyecto se han logrado los siguientes objetivos específicos:

- Se ha desarrollado una metodología que permita el uso de la información generada en la FASE I del proyecto para la estimación de parámetros de la velocidad y caudal de sedimentos en la vecindad del lecho, y aquéllos relacionados a las velocidades del flujo en la vecindad del lecho fluvial.

- Mediante el proceso de la información existente desarrollada en la FASEI del proyecto, se ha llegado a tener relaciones cuantitativas del proceso de variación del lecho. Proceso computarizado.
- Se han identificado las variables que explican el fenómeno interrelacionado del flujo y proceso de transporte de sedimentos, incluyendo las condiciones de flujo y variabilidad de granulometría.
- Se han determinado relaciones entre las variables que gobiernan el proceso de transporte de fondo y los parámetros relevantes que explican el proceso.
- Se ha desarrollado una teoría de transporte de sedimentos que ha dado origen a una ecuación que permite determinar las capacidades de transporte de sedimentos y condiciones extremas incluyendo las variables relevantes establecidas.

4.- IMPORTANCIA DEL PROYECTO.-

A nivel mundial, las investigaciones existentes para conocer y poder describir los fenómenos asociados al transporte de sedimentos en cauces aluviales han estado bien limitadas, ya que hay muy pocos expertos en el rubro. Los problemas que ocasionan los sistemas fluviales requieren del conocimiento cabal de los fenómenos de transporte del fluido en conjunto con los sedimentos y, en general de la naturaleza de las interrelaciones entre ambos. Por la razón indicada, esto supone una interrelación entre las disciplinas de Hidráulica y sedimentología.

El conocimiento y apreciación de los parámetros y variables del proceso es de gran interés en la ciencia e ingeniería ya que ellos permiten el poder proponer cuantificarlos y finalmente sustentar las medidas estructurales de acuerdo a los procesos del sistema fluvial y a dimensionarlos de manera adecuada.

No existía en Bolivia un estudio serio sobre el tema del transporte de sedimentos en cauces fluviales aluviales y en la mayoría de los casos se tiene que recurrir a relaciones matemáticas que se han originado en "otros sistemas" y que pueden no ser aplicables –y generalmente no lo son- a nuestros sistemas fluviales. De ahí, que al momento no existe la base para poder dimensionar apreciar el fenómeno y mucho menos dimensionar obras de ingeniería en cauces fluviales, sobretodo en lo que se refiere a los sistemas aluviales fluviales del Oriente Boliviano.

Otro de los elementos que han dado sustento a la investigación que se ha llevado a cabo es que en todos los casos las investigaciones y relaciones existente son aplicables a regimenes fluviales "suaves", que no pueden absorber la dinámica de los sistemas fluviales Bolivianos en

las fajas sub-andinas y las estribaciones de la cordillera de los Andes hacia las llanuras Orientales Bolivianas, puesto que los regímenes que se dan en esta están caracterizados por ser "rápidos y torrenciales, hecho que da características inéditas a este proyecto a nivel mundial.

Aparte de los elementos mencionados, el aporte más importante es el de una ecuación que permite calcular el transporte de sedimentos de carga de lecho, y dentro de ella están incluidos efectos que hacen a la dinámica del flujo de sedimentos que no se habían tomado en cuenta anteriormente, por otros autores.

5).- ACTIVIDADES PLANIFICADAS Y SU DESARROLLO.-

Las actividades específicas para cumplir con lo indicado, tal como se desarrollaron y de acuerdo al perfil del proyecto son las siguientes:

ACTIVIDAD
Proceso de datos de la FASE I, Variables hidráulicas y sedimentológicas.
Distribuciones granulométricas de los sedimentos del lecho del río Piráí. Estadísticos.
Análisis de datos I: Variables en el proceso de transporte de material del lecho.
Análisis de datos I: Teoría General.
Determinación de relaciones.
*Congreso 4 CONEIC.
*Preparación material de exposición y videos.
Análisis de aplicabilidad.
Proceso de transporte de sedimentos
Desarrollo de Teoría.
*Desarrollo de dos artículos para la revista de la FCET.
Aplicabilidad y ajustes del modelo

Nota.- Las actividades marcadas con * no fueron planificadas.

Todas las actividades han sido cumplidas y cubiertas en la presente investigación. Quedando pendientes los análisis de aplicabilidad tanto de las variables sedimentológicas (30%) como de la ecuación que se ha desarrollado (50%).

6).- METODOLOGIA PARA LA OBTENCION DE VARIABLES HIDRAULICAS Y SEDIMENTOLOGICAS.-

Para la obtención y uso de la información generada en la FASE I del proyecto y obtener las variables hidráulicas y sedimentológicas que se requieren para la explicación del proceso de transporte de sedimentos, se efectuaron tres tipos de procesos:

- Proceso de Datos de granulometrías del lecho de todas las estaciones en consideración.
- Proceso de las variables hidráulicas.
- Proceso de las variables sedimentológicas.

Como paso previo se efectuó mediante análisis dimensional la identificación de las variables dependientes e independientes, y en base a ello se procedió a evaluar los tres procesos, cuyo detalle se explicará en lo que sigue.

6.1.- Datos de granulometrías del lecho.

Se obtuvieron datos específicos de las 5 estaciones de material del lecho y su composición y en base al mismo se realizaron dos trabajos:

- Determinación de los diámetros de interés.
- Análisis de los promedios tanto aritméticos, geométricos y armónicos y en función del diametro mediano, se estableció cual es la mejor medida de media de acuerdo a la estación. Los resultados de este proceso se encuentran en el anexo 1.

6.2.- Variables hidráulicas.

Las variables en hidráulica fluvial son diferentes de aquéllas que se obtienen para la hidráulica de contornos fijos. Estas están basadas en que los elementos de rugosidad tienen dos componentes:

- Aquellos debidos a las partículas, que forman el contorno por el cual el fluido se desplaza. A estos se los relaciona con el radio Hidráulico de partículas (R').
- Aquéllos que se deben a las formas del lecho, donde es de interés las diferencias de presión tanto en el lado de barlovento como sotavento de la respectiva forma. A estos se los relaciona con el radio Hidráulico de partículas (R'').
- La suma de ambos, es decir de R' y R'' es el radio hidraulico total del lecho (R).

En función de estos es que se determinan las variables hidráulicas.

Por otra parte, la pendiente del lecho no es el elemento importante, sino la pendiente hidráulica, ya que es esta la que da sentido y forma a todas las

ecuaciones que describen la velocidad en función de la rugosidad y otros parámetros.

El proceso es de tanteo y error y es bastante tedioso. Este ha requerido de programas específicos que se describen al final de cada Para cada uno de los datos que se disponen se procedió de la manera que se explica en el siguiente punto.

6.2.1.- Determinacion de las rugosidades y propiedades hidraulicas

Se tienen las siguientes datos de acuerdo a **MEDICIONES DIRECTAS.-**

- Caudal medio. (1)
- Area media de flujo. (2)
- Ancho medio de flujo. (3)
- Prof. Local Maxima de flujo en la seccion.(4)
- Nivel de flujo en escala limnimétrica.(5)
- Pendiente media (local) del lecho.(6)

A partir de estos se **CALCULAN:**

- Velocidad media de flujo. (A).
- Profundidad media de flujo (se asume igual a R' radio hidráulico debido a las partículas de lecho, para el inicio del proceso de iteración). (B).

PARA DETERMINAR LOS PARAMETROS HIDRAULICOS DE RUGOSIDAD SE PROCEDE DE LA SIGUIENTE MANERA:

1ra Prueba.-

- 1.- Se calcula el valor de "n de Manning" con la pendiente del lecho (6), y los valores de (B) y (A).
- 2.- Se evalúa el n de Manning, $1/n$ y el valor del Radio hidraulico total.

2da prueba y evaluación final.-

1.- Evaluacion de R' con procedimiento de Einstein - 1956.

En este paso se trata de evaluar el componente del hidraulico del lecho correspondiente a la partícula (R').

- Se asume $R' = \text{Prof. Media de flujo (B)}$.
- Con dicho valor inicial se van tomando valores diferentes de R' hasta que el proceso converge. Es decir hasta que con dicho valor se llega al caudal medio que se tiene de (1) arriba.
- Se tiene **régimen de flujo** a traves de K_s/δ .

Cuando los datos están fuera del rango de aplicación de la metodología de Einstein.

Se asume que $R' = \text{prof. Media de flujo (B)}$ y se procede de la manera ya indicada.

*e.g. Datos de niveles bajos en Angostura. (Gravas y cobbles).

II.- Evaluacion de Velocidad media de flujo y gradiente hidráulica.-

- **a.-** Se recalcula "n" a partir de la ec. De Manning y la de Prandtl, con el valor corregido de R' de (I) y la corrección "X" del proceso de Einstein para régimen de flujo.
- **b.-** Se calcula el **gradiente hidráulico "S"**, de ec. De Manning, con valor de V (A), R' (I) y "n" de arriba (a).
- **c.-** Se calculan las velocidades medias de flujo siguiendo las siguientes metodologías.
 - Vel. media Manning con "n" (a), S (b) y R' (I).
 - Vel. media con la relación de Einstein.
 - Vel. media con la relación de Engelund.
- **d.-** SI EN EL REAJUSTE DE R' CON EL VALOR DE "S", LA MAYORIA DE DATOS CAEN FUERA DEL RANGO DE APLICABILIDAD DE EINSTEIN, SE TOMAN LOS DATOS DE $R' = \text{PROF. MEDIA (B) (EISENHOWER Y ANGOSTURA)}$. Si los datos no caen fuera del rango se toma el valor de R' que se obtiene del procedimiento descrito.
- **A partir del valor de R' ,** Se calculan las siguientes variables:
 - $U'x$ = Velocidad de corte,
 - DELTA = Espesor de la subcapa laminar.
 - K_s = altura/tamaño de rugosidad
 - K_s/DELTA , medida relativa de rugosidad.
 - Valor de ajuste X Y **Velocidad media (Einstein)**. Y se contrastan los valores de la velocidad calculada (V_{calc})/la velocidad medida (V_{medida}).
 - De manera similar y para ver analizar resultados se calculan las velocidades con los métodos propuestos por Engelund y la conocida Ecuación de Manning –en la cual se incerta el valor de la Pendiente de Energía (obtenida de II.- b), y no la del lecho:
 - V media Engelund. $V_{\text{calc}}/V_{\text{medida}}$
 - V media Manning con $R' = \text{prof. Media}$. (como comparación con c.)

Validación.- Este proceso permite validar las variables determinadas, ya que las velocidades obtenidas por los diferentes procesos presentan pequeña variación entre sí y son homogéneas en las estaciones evaluadas.

Se presenta el detalle de los resultados y las variables determinadas en resumen en los Anexos 2, para todas las estaciones y todos los datos

seleccionados. Se aclara que los procesos matemáticos para su obtención han requerido de programas en computadora y solo se presenta el resumen de las variables de interés.

III).- CALCULO DE LA VELOCIDAD DE FLUJO (U_b) EN EL LECHO EN D Y D/2.

Uno de los objetivos de calcular e identificar las variable hidráulicas es para poder calcular la velocidad de flujo en la vecindad del lecho a distancias equivalente a uno y a medio diametro de partículas. Este es el elemento que aporta la energía (ya que a su vez es función de la pendiente hidráulica) para que los procesos de transporte de partículas se den.

Para poder hacer análisis de sensibilidad, se calcularon las velocidades en el lecho tomando valores de rugosidad correspondientes a "Dmedia" (Diametro promedio aritmetico), Dgeom (diámetro promedio geométrico), D35, D50 y D65. Los calculos se efectuaron siguiendo dos modelos:

- Con la formula de Einstein para valores de R' , U' de acuerdo a valores determinados en II b.- y II d.- arriba, se evaluaron las velocidades cercanas al lecho.
- Se realizo el mismo cálculo con el modelo planteado por ROTTA (1950), cuyo detalle se encuentra en la referencia [2] (Ver Anexo 4 para detalles).

Para el desarrollo de estos cálculos se utilizaron programas específicos desarrollados por la Univ. de Newcastle (Inglaterra) y de los cuales el autor tiene permiso para utilizar y no así para divulgarlos.

Todas las velocidades del flujo cercanas al lecho evaluadas, y para todas las condiciones mencionadas se encuentran en el anexo 2.1 al 2.5.-

6.3.- Variables sedimentológicas.

La descripcion e identificación a detalle de las variables que intervienen se encuentran en el Anexo 4, donde se incluye la teoría desarrollada en el marco del presente trabajo.

En lo que sigue se presenta el procedimiento seguido para determinar las variables sedimentológicas.

6.3.1.- Determinacion de las variables sedimentologicas.

PROCEDIMIENTO PARA CALCULO DE VARIABLES SEDIMENTOLOGICAS

A PARTIR DE CALCULOS HIDRAULICOS PREVIOS (VER 7.2.1 PROC HIDRAULICOS) SE TIENE:

R' = Radio hidráulico corresp. a partículas (Einstein)
 N = rugosidad de Manning con datos de la Velocidad medida y R' .
 Sh = Pendiente de energía en base a Manning y Prandtl.
 U^* = Velocidad de corte.
 U_b = Velocidad de flujo en el lecho a D (un diámetro de partícula).
 X = corrección de ecuación de Einstein para rugosidad.

SE DETERMINA:

- 1.- $U_b/U^* = C, C^2$ y $1/C^2$
- 2.- $U^* d_{50}/\nu = Re^*$ - NUMERO DE REYNOLDS DE CORTE.
- 3.- $U_b * d_{50}/\nu =$ NUMERO DE REYNOLDS DE FLUJO (CERCANO AL LECHO)
- 4.- Se calcula CD (coeficiente de arrastre) con formula de White.
- 5.- Se calcula " r ", (relación entre arrastre y sustentación) de ecuaciones de James.
- 6.- Se calcula, To (Esfuerzo de corte en el lecho), To^* (Esfuerzo de corte en el lecho adimensional), T_{crit}^* (Esfuerzo de corte critico adimensional).
- 7.- Se calcular V_p (Velocidad de partícula en el lecho), mediante la relación propuesta por el autor del presente trabajo [2], y cuya ecuación y proceso se encuentran en el Anexo 4.

Todo el resumen del proceso y las variables que se han determinado estan incluidos en los anexos 3.1 3.5.- No se incluyen los programas específicos que se desarrollaron para la determinación de las mismas.

6.4.- Análisis dimensional.

Como se indicó al inicio de este capítulo, se realizó mediante análisis dimensional, la identificación de las variables que intervienen en el proceso. Para ello, se ha basado el estudio tomando todos los parámetros de los cuales depende el fenómeno; los cuales són:

- Propiedades del fluido:
- Características y variables del flujo.
- Características del medio granular no cohesivo.

Posteriormente y tomando como base las variables independientes, se formaron los grupos adimensionales que describen el fenómeno.

Se tomaron tres bases formadas cada una por tres variables independientes, las cuales se han denominado e , e' y e'' ; y para cada base se determinaron los 4 grupos adimensionales que describen el fenómeno, a través de la homogeneidad de las variables y sus dimensiones.

Todo el proceso desde las variables que intervienen y sus dimensiones y los grupos adimensionales que se determinan, se encuentran en el anexo 5. A

través de los grupos adimensionales se llega a presentar las relaciones funcionales correspondientes a caba base.

7).- RESULTADOS DEL PROYECTO

Como se indicó en el art. 3.2 y 6 del presente informe; se ha cumplido con los objetivos del proyecto. Esto ha supuesto una dedicación que sobrepasa las asignaciones de investigación.

Los resultados específicos del mismo pueden resumirse en los siguientes:

- Se han identificado las variables que intervienen en el proceso interrelacionado de transporte de sedimentos en el lecho de cauces aluviales.

Como resumen de las variables físicas de las partículas, se presenta la gráfica que ha sido confeccionada en base a los resultados (incluida en el Anexo 6):

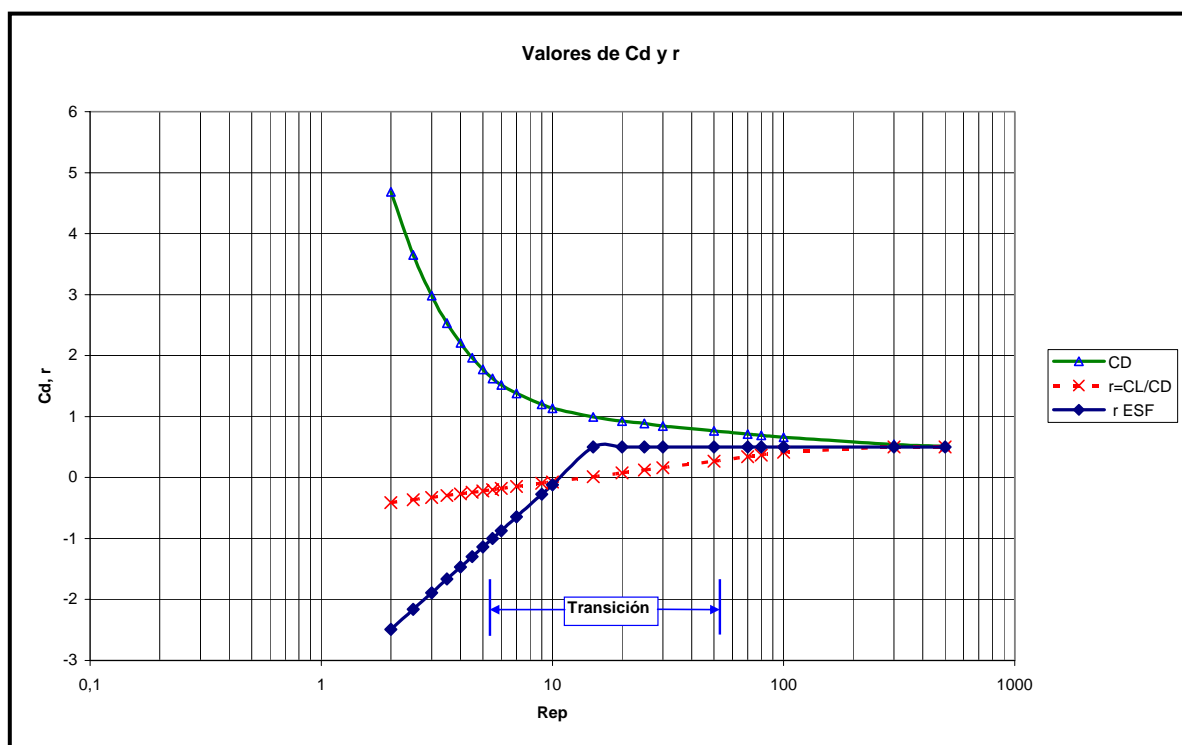


Figura 1.- Graficas de C_d (Coeficiente de arrastre y r (rel entre arrastre y sustentación) para sedimentos naturales y esferas.

Proyecto de Investigación
Informe Final

- Se ha desarrollado una teoría basada en el establecimiento de la ecuación dinámica de movimiento de sedimentos y partículas en lecho aluviales [2]. Ver Anexo 4.
- Se han determinado las variables hidráulicas y sedimentológicas del proceso de transporte de sedimentos y estas han sido validadas a través de las mediciones efectuadas en diversas estaciones del Río Piray.
- Las Velocidades de flujo (adimensionalizadas por la velocidad de corte) en la vecindad del lecho así determinadas tienen la relación que se presenta en la Fig. 2.

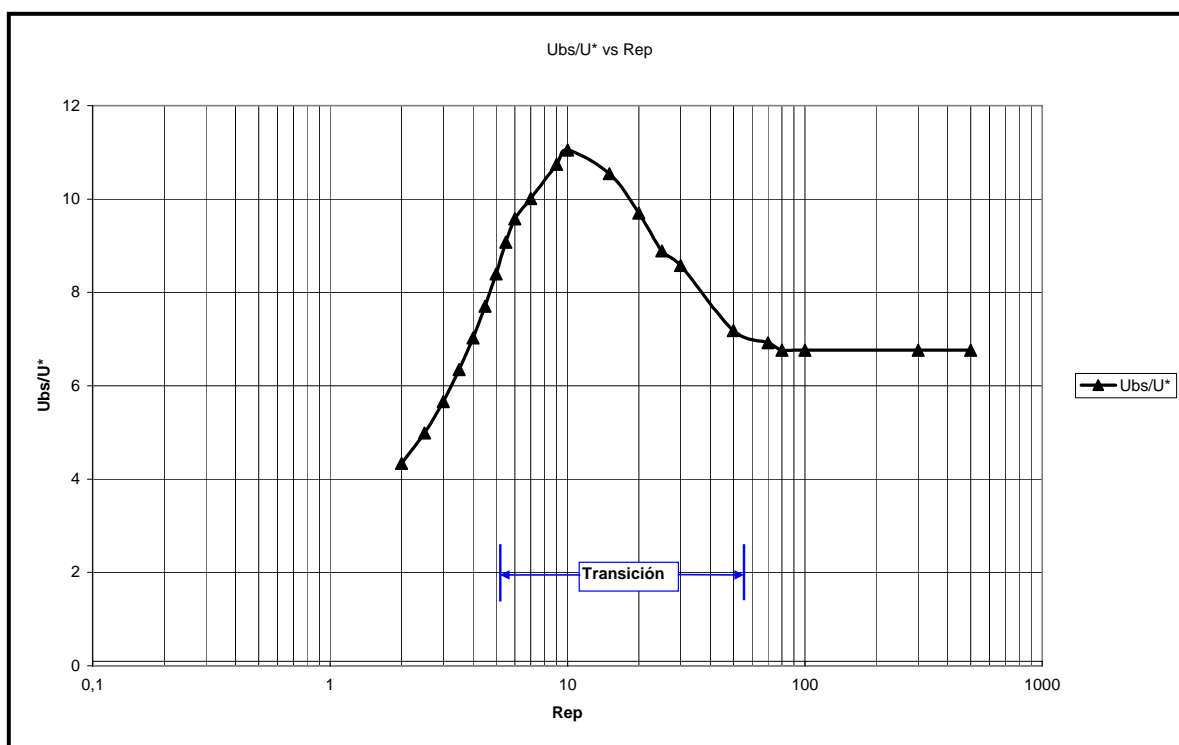


Figura 2.- Velocidad de flujo –adimensional- en el lecho “Ub” en función de Rep.

- Se han determinado las condiciones de inicio del movimiento de sedimentos en el lecho, las relaciones establecidas proponen una variación a la tradicionalmente aceptada como “Curva de Shields”, en este caso se suponen las situaciones para partículas esféricas (Fig 3) y sedimentos naturales (Fig 4).

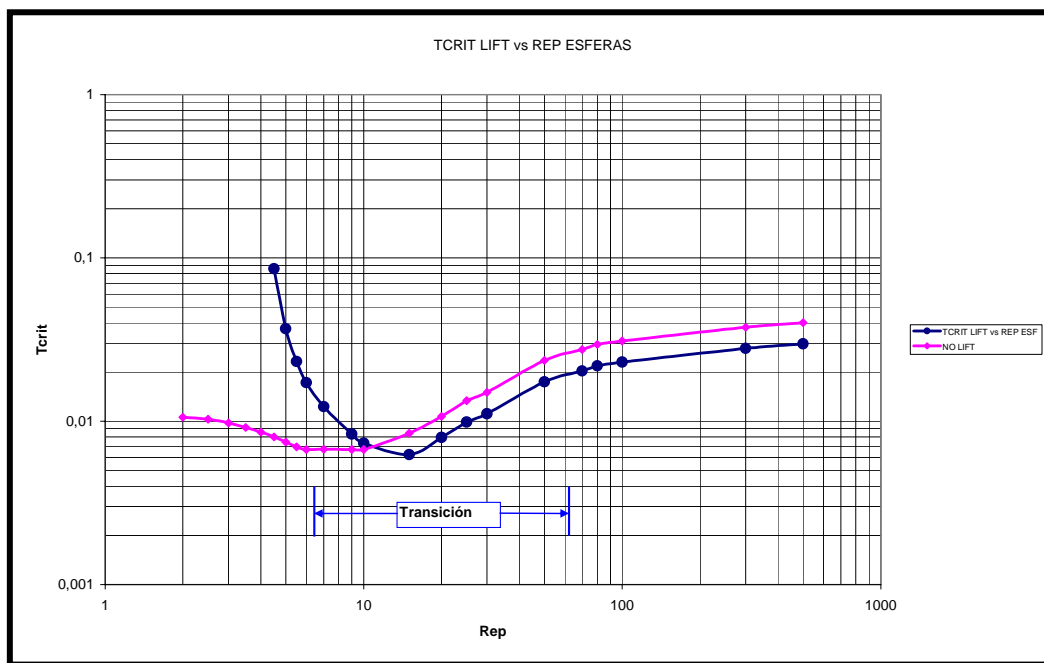


Figura 3.- Esfuerzo de corte crítico para partículas esféricas

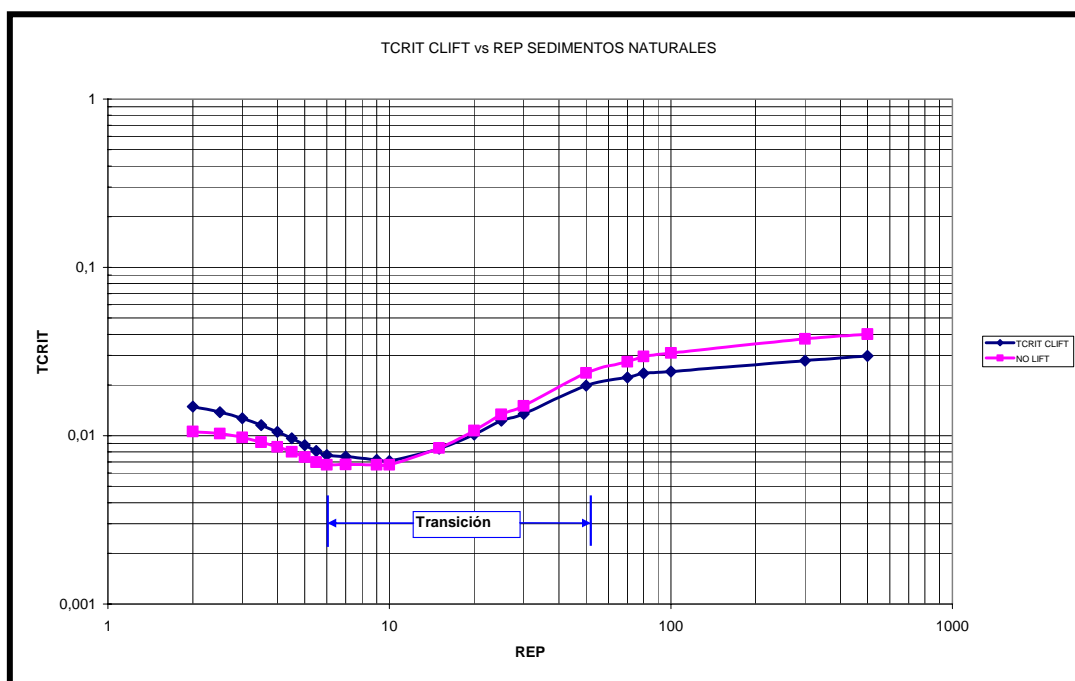


Figura 4.- Esfuerzo de corte crítico para sedimentos naturales

- Se ha desarrollado una metodología para la cuantificación del transporte de sedimentos mediante el mecanismo de transporte de fondo (Ver Anexo 4).
- Se ha participado en el IV Coneic en la ciudad de La Paz, con una ponencia magistral denominada "Un modelo dinámico del movimiento de partículas y sedimentos en lechos de cauces aluviales", el cual se incluye como Anexo 6, donde se reflejan todas las variables que describen el proceso en detalle y las relaciones de base para la elaboración de las figuras 1, 2, 3 y 4 presentadas.
- Se han presentado dos artículos a la revista de la Unidad de Investigación que edita la IIT de la FCET.
- Se está preparando un artículo basado en la teoría desarrollada para su presentación a la IAHR (International Association for Hydraulic Research) con sede en La Haya – Holanda y, de la cual el autor del presente ha sido el único miembro Boliviano a partir de 1984.

7.1.- Presentación de resultados.-

Todos los resultados se encuentran en los Anexos incluidos en el presente informe.

- ANEXO 1.- DETALLE DE GRANULOMETRÍAS DEL LECHO DE LAS ESTACIONES DE AFOROS – RIO PIRAI.
- ANEXO 2.- VARIABLES HIDRAULICAS.
- ANEXO 3.- VARIABLES SEDIMENTOLOGICAS
- ANEXO 4.- UN MODELO DE TRANSPORTE DE SEDIMENTOS EN CAUCES ALUVIALES.
- ANEXO 5.- RESUMEN DE ANALISIS DIMENSIONAL.
- ANEXO 6.- UN MODELO DINÁMICO PARA EL MOVIMIENTO DE PARTÍCULAS Y SEDIMENTOS EN LECHOS DE CAUCES NATURALES ALUVIALES (Por su extensión se incluye en CD)

Dada la extensión del artículo presentado en el IV-Coneic (mas de 40 páginas), este no se incluye. De todas maneras será publicado en la revista de Ciencia e Investigación de la FCET en el primer semestre del 2009.

8).- RECURSOS DEL PROGRAMA Y COSTOS.-

El resumen de los recursos planificados y ejecutados es el siguiente:

8.1 Recursos Humanos.-

ITEM	DESCRIPCION	UNIDAD	PLANIFICADAS	EJECUTADAS
1	Investigador principal	Hombres / Mes	12	12
2	Asistente en proceso de datos.	Hombres/ Mes	8	9
3	Asistente de investigación	Hombres/ Mes	20	20
	TOTAL RECURSOS HUMANOS	Hombres / Mes	40	41

Cuadro No.1 Relación de recursos humanos.-

9.2 Recursos de computadora.-

ITEM	DESCRIPCION	UNIDAD	PLANIFICADAS	EJECUTADAS
1	Computadora programacion y proceso	Unidad/MES	10	10
2	Computadora reporte	Unidad/MES	1,0	1
	TOTAL RECURSOS COMPUTACION	Unidad/ MES	11,00	11,00

Cuadro No.2. Relación de recursos e computación.-

8.3 Presupuesto planificado y ejecutado.-

PRESUPUESTO ORIGINAL, ASIGNACION Y EJECUCION GLOBAL DEL PROYECTO.
--

Proyecto de Investigación
Informe Final

Nombre	Aportes U.A.G.R.M (Bs) o (\$us)			SEARPI (Bs) Nominal		Otros (aporte del Invest. Principal)	
	Planifica do según perfil	Asigna do	Ejecuta do	Plan.	Ejec	Plan	Eject
Personal Investigador Principal	1152 Horas	576 horas	1320 Horas				792 horas*
Asistente investigación	960 Horas	960 horas	900 horas			0	
Asistente Computación	384 Horas	384 horas	320 horas				
Equipo Computación						11 meses	
Datos				20000	20000		
Viajes	4479 Bs.	0	0				
Refrigerios y transporte						0	470 Bs
TOTALES	4479				20000		792 horas + 470 Bs

* Aportes no planificados que fueron necesarios para el proyecto.

Cuadro No.3 Relación presupuesto y ejecución del proyecto.

9).- CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.-

1.- Se tiene una teoría adecuada al fenómeno de movimiento de partículas en lechos aluviales basada en la ecuación dinámica del movimiento der partículas en el lecho desarrollada por el autor del presente trabajo. A esta se le ha sumado el elemento de sustentación de las partículas y, su efecto se ha incluido en las relaciones de inicio del trasnporte de sedimentos y en la cuantificación de las condiciones críticas del movimiento.

2.- Se ha planteado una ecuación que permite la cuantificación del proceso de transporte de sedimentos bajo el mecanismo de transporte de fondo. Esta es aplicable a sedimentos granulares (no-cohesivos) en el rango de arenas finas en adelante. Es recomendable ver la aplicabilidad de la misma para diversas condiciones de flujo y granulometrías del lecho.

4.- Se recomienda la continuación de los estudios con carácter cuantitativo de los procesos de transporte de sedimentos, sobretodo en lo que hace a la aplicación de la teoría y la ecuación establecida a diversos sistemas fluviales en Bolivia. Hecho que es viable, toda vez que el autor del presente trabajo desarrollará estudios específicos en otras cuencas como ser la del Rio Grande.

5.- Sin duda, este es un aporte sustancial al conocimiento de los procesos y las varibales que intervienen. ya que ahora se tienen datos relacionados a otras estaciones.

10.- REFERENCIAS

1. GARCIA GUTIERREZ, Francisco Pablo & FERNANDEZ BONO, Juan Francisco.
"AN ALTERNATIVE METHOD TO ESTIMATE THE STABLE TRANSVERSE BED SLOPE IN CURVED ALLUVIAL CHANNELS" – THE GARCIA-GUTIERREZ EQUATION"
Proc. XXIV Congress "International Association for Hydraulic Research", IAHR.
Palacio de los Congresos - Madrid - España. 1991.
2. GARCIA GUTIERREZ, Francisco Pablo.
"ESTUDIO DEL FLUJO LIQUIDO Y MASICO Y SUS INTERACCIONES, PARA ALTOS NUMEROS DE FROUDE, EN CAUCES ABIERTOS NATURALES – ALUVIALES CON MEANDROS. ANALISIS Y MODELACION DE LA EVOLUCION DEL LECHO Y MIGRACION DEL CAUCE."
TESIS DOCTORAL (CUM LAUDE) como requisito parcial para el título de "Doctor Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos."
Depto. de Ing. Hidráulica y Medio Ambiente. Universidad Politécnica de Valencia, España. 1994.
3. GARCIA GUTIERREZ, Francisco Pablo.
"UN MODELO DINÁMICO PARA EL MOVIMIENTO DE PARTÍCULAS Y SEDIMENTOS EN LECHOS DE CAUCES NATURALES ALUVIALES". - PONENCIA MAGISTRAL –CUARTO CONGRESO NACIONAL DE ESTUDIANTES DE INGENIERIA CIVIL UNIVERSIDAD MAYOR DE SAN ANDRES. Pp. 41. JULIO DEL 2008. LA PAZ - BOLIVIA
4. RAUDKIVI, A.J.
"LOOSE BOUNDARY HYDRAULICS".
Pergamon Press, Oxford, U.K., 2nd. Ed., 1976.

AGRADECIMIENTOS:

El autor agradece a la Dirección de la Carrera de Ingeniería Civil y al Instituto de Investigaciones Tecnológicas de la FCET, por el impulso que dá a temas nuevos e innovadores.