

Foto No. 3-3

*Avenida del río Reventado del 19 de mayo de 1965, pasando por la presa No. 1 de Llano Grande. Obsérvense la consistencia del lodo y las numerosas piedras que transporta. ( Foto I.C.E., del 19 de mayo de 1965.)*

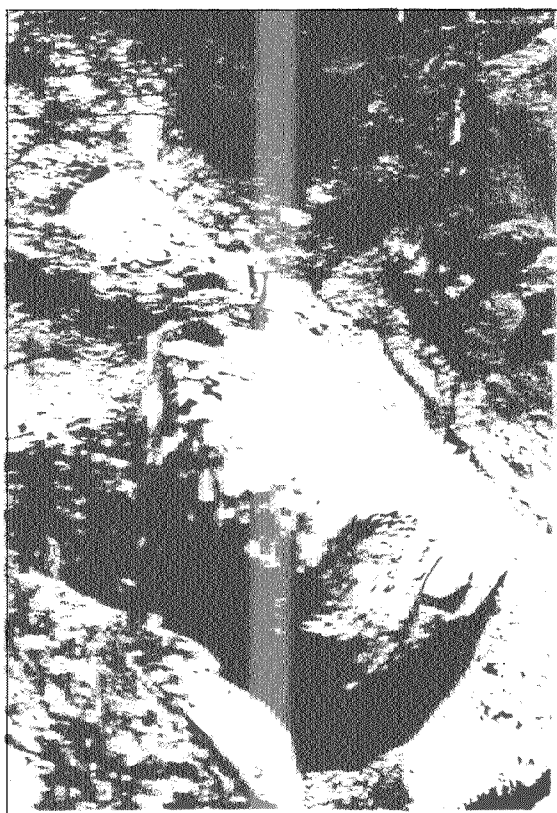


Foto No. 3-4

*Piedra transportada por la avenida del río Reventado del 26/8/64, que quedó depositada aguas arriba del puente de la carretera Nacional No. 6. ( Llano-Grande - Tierra Blanca ). ( Foto I.C.E. del 27 de agosto de 1964.)*

rarse a la hora de diseñar las obras de control del mismo. En efecto se sabe que la gran cantidad de material transportado implica un aumento no sólo en el caudal y volumen de la avenida, si no también en la densidad del fluido. De acuerdo con los análisis de las muestras de lodo provenientes del Puesto 2 (ver Tabla D-6 ), la concentración promedio de las avenidas muestreadas en el año 1964, fue de 1.35 partes de material seco por peso de agua, o sea de 574,000 partes por millón. Esta relación expresada por volumen sería igual a  $\frac{1.35}{2.64} = 0.51$ , o sea que cada volumen de agua es capaz de mover 0.51 volúmenes de se dimento, es decir, que el caudal producido por la escorrentía debe au mentarse por lo menos en un 50 por ciento, para considerar el aporte de sedimento.

De la misma tabla anteriormente mencionada, se observa que la densidad promedio de las muestras es de 1.54, con un valor máximo de 1.98 y un mínimo de 1.14.

Indicando esto que el fluido de diseño debe tener por lo menos una densidad de 1.5. Igualmente las obras deberán ser capaces de soportar los impactos y la erosión provocada por el paso de las enormes piedras (hasta de 5 m. de diámetro), que suelen transportar las grandes avenidas del Río Reventado (Ver foto 3-4).

### 3.5 Avenida de diseño para las obras de Control de la Cuenca Superior del Río Reventado.

A continuación, se resume el análisis efectuado para determinar la avenida de diseño para las obras de control de la Cuenca Superior del Río Reventado, el cual aparece con detalle en el Anexo D.

### 3.5.1 Tormenta de Diseño

Como se indicó en el párrafo 3.2, antes de la presente emergencia no existían dentro de la Cuenca Superior del Reventado ninguna estación medidora de lluvia ni de caudales del río. A partir del mes de abril de 1964, se comenzaron a instalar pluviómetros y pluviógrafos en los diferentes puestos de vigilancia de los ríos, de manera que a la fecha de escribir este informe, existen veintitrés estaciones medidoras de lluvia situadas, en o cerca de la cuenca del Río Reventado, cuya ubicación se muestra en lámina 4. Para efecto de estimar la tormenta de diseño, los datos suministrados por estas estaciones son muy cortos, sin embargo permiten hacer comparaciones entre los valores de precipitación estimados por otros métodos y los registrados en las mismas, durante las tormentas ocurridas sobre la Cuenca Superior del Río Reventado.

Antes de la instalación de las estaciones medidoras de lluvia de la red de la emergencia, sólo existían dos estaciones de registro gráfico de lluvias situadas cerca de la cuenca superior del Reventado: Sanatorio Durán con sólo seis meses de registro, y Pacayas con diez años de registro automático ininterrumpido.

Por lo tanto, no existen datos de tormentas cercanas, las cuales podrían ser transpuestas, con los ajustes necesarios, a la Cuenca Superior del Reventado, creando de esta manera la tormenta de diseño. En su defecto, se analizaron las relaciones entre frecuencia, duración e intensidad de lluvia en Pacayas, para crear una tormenta sintética, de una posible ocurrencia de una vez en 50 años, la cual se aplicará a la cuenca bajo estudio como tormenta de diseño.

La estación de Pacayas, situada a 9 kilómetros al este del borde

oriental de la Cuenca Superior del Reventado, a una elevación de 1735 m.s. n. m. tiene un régimen pluvial característico de la Vertiente Atlántica, con una precipitación media anual cercana a los 2010 mm. Esta precipitación es bastante superior a la estimada para la cuenca superior del Reventado de 1600 mm. por año.

Los diez años de registro de Pacayas fueron analizados mediante los métodos usuales, los cuales se explican en el Anexo D, a fin de encontrar fórmulas que ligan la intensidad de lluvia, con la duración de la misma y su posible frecuencia. Finalmente la ecuación que relaciona esas variables interdependientes es:

$$i = \frac{450 T^{.238}}{(t + 5)^{.623}} \quad (a)$$

en donde:

i = intensidad de lluvia en milímetros por hora

t = duración de la lluvia en minutos

T = Posible período de recurrencia, en años, de una lluvia de intensidad "i" en "t" minutos

Para T = 50 años, la ecuación (a), que convierte en:

$$i = \frac{1100}{(t + 5)^{.623}} \quad (b)$$

Por razones económicas, se consideró, que las obras de control deberán ser capaces de soportar una avenida de una posible ocurrencia de una vez en 50 años, siempre que las mismas, de acuerdo con lo indicado en este informe, se limiten a una serie de presas de 3 metros de altura como máximo. Obras mayores que las indicadas, requerirán períodos de recurrencia -

más altos, o como límite, en el caso de presas de gran volumen, costo y peligro potencial, la estimación de la tormenta máxima probable, determinada de acuerdo con estudios hidrometeorológicos más completos.

En el caso del Reventado se consideró que la tormenta de una posible ocurrencia de una vez en 50 años en Pacayas, podría cubrir toda su Cuenca Superior.

Se calcularon las intensidades de lluvias correspondientes a las duraciones de 5 hasta 60 minutos, sustituyendo en la ecuación (b) los respectivos valores "t". De estas intensidades es posible calcular las correspondientes precipitaciones totales, y los respectivos incrementos. Estos incrementos, se reordenaron según criterio contenido en el libro, "Design of Small Dams" (3), llegándose finalmente a la tormenta de diseño para la Cuenca Superior del Río Reventado, la cual se suministra en la Tabla 3-5.

### 3.5.2 Hidrógrafos Unitarios

Como no existían datos de lluvia y caudales en el Río Reventado adecuados para derivar un hidrógrafo unitario, el cual pudiera ser empleado para obtener la avenida de diseño, se recurrió al método de los hidrógrafos triangulares según el método desarrollado por el "U.S. Soil Conservation Service", que se explica en la referencia (3).

Este método toma en cuenta características topográficas e hidráulicas propias de la cuenca. En el caso del Reventado algunos de estos factores, principalmente tiempo de concentración y tiempo base, pudieron ser compara-

(3) U.S. Bureau of Reclamation: Design of Small Dams (Washington D.C.: U.S. Government Printing Office, First Edition, 1960).

T A B L A 3-5

TORRENTA DE DISEÑO PARA LA CUENCA SUPERIOR DEL RIO REVENTADO (a)

(Posible Período de Recurrencia: una vez en 50 años)

Duración t (minutos)	Intensidad I (mm./hora)	Precipitación P (mm.)	Incrementos de precipitación (mm.)	TORRENTA DE DISEÑO	
				Incrementos reacomodados (mm.)	Curva masa (mm.)
0	0	0	0	0	0
5	271.9	22.6	22.6	2.8	2.8
10	211.0	35.2	12.6	3.9	6.7
15	176.0	44.0	8.8	22.6	29.3
20	153.6	51.3	7.3	12.6	41.9
25	137.0	57.0	5.7	8.8	50.7
30	124.0	62.0	5.0	7.3	58.0
35	114.2	66.6	4.6	5.7	63.7
40	106.5	71.0	4.4	5.0	68.7
45	100.0	75.0	4.0	4.6	73.3
50	94.6	78.9	3.9	4.4	77.7
55	89.1	81.7	2.8	4.0	81.7
60	84.5	84.5	2.8	2.8	84.5

a) Calculada de la ecuación de Intensidad-duración para Pacayas con un posible período de recurrencia de una vez en 50 años.

b) Ver Lámina 22, que muestra la curva masa y los incrementos de precipitación.

dos satisfactoriamente con los obtenidos de los registros de niveles de las avenidas que se llevan a cabo en el puesto 2. Estos registros comprueban - que también la forma del pico es básicamente triangular (Ver lámina 13), por lo que el método se puede emplear satisfactoriamente. Como la Cuenca Superior del Reventado está formada por las tres sub-cuencas de Reventado, Retes, y Pavas, de características topográficas e hidrológicas particulares, se obtuvo un hidrógrafo unitario triangular para cada una de ellas.

En la tabla siguiente se suministran los hidrógrafos unitarios utilizados, los cuales se muestran en la lámina 20.

TABLA 3-6

HIDROGRAFOS UNITARIOS TRIANGULARES PARA LAS SUB-CUENCAS DE REVENTADO, RETES Y PAVAS

Sub-Cuenca	Area Km. <sup>2</sup>	Tiempo de concentración (minutos)	Caudal Pico m <sup>3</sup> /seg/mm.	Tiempo Base (minutos)	Tiempo al pico (minutos)
Reventado	5.7	22	5.51	35	16
Retes	4.8	15	6.32	25	12
Pavas	3.6	16	4.52	27	12

3.5.3 Obtención de la Avenida de Diseño

La avenida de diseño se obtuvo de aplicar los incrementos de lluvia mostrados en la Tabla 3-5, a cada uno de los hidrógrafos triangulares que se suministran en la Tabla 3-6, y sumando los tres hidrogramas resultantes, para obtener el caudal total para la Cuenca Superior.

Al aplicar los valores de lluvia de Tabla 3-5 directamente, se están considerando las siguientes condiciones antecedentes:

1) La cuenca superior completamente saturada por lluvias previas a la tormenta de diseño, tal que las pérdidas por intercepción y detención han sido satisfechas ya. Dada la condición actual de la cuenca (cobertura de ceniza), no se requiere mucha lluvia para alcanzar este nivel de saturación.

2) Que la capa de ceniza que cubre la casi totalidad de la cuenca superior mantiene su impermeabilidad característica y que por lo tanto, la infiltración durante la tormenta de diseño es casi nula. -

Para obtener los hidrógrafos de avenida de diseño correspondiente a cada sub-cuenca, y a toda la cuenca superior, se usó el método de integración gráfica, cuyo resultado se muestra en la lámina 20.

Adicionalmente, se desarrolló un método para procesar la información por medio de la computadora electrónica IBM 1401, el cual fue utilizado para analizar las tormentas registradas durante 1964 y obtener los respectivos hidrógrafos de escorrentía. Para probar la aplicabilidad de los hidrógrafos unitarios obtenidos, los mismos se aplicaron a la tormenta del 2 de setiembre de 1964, con el buen resultado que se muestran en la lámina 22.

Del análisis efectuado se obtuvo que la escorrentía producida por la tormenta de diseño tiene las siguientes características:

- 1) Caudal pico (sólo agua):  $571 \text{ m}^3/\text{seg.}$ , que corresponde a una "C" de Creager de 100.
- 2) Tiempo base: 90 minutos
- 3) Tiempo al pico: 25 minutos
- 4) Volumen total escurrido (sólo agua):  $1,152,300 \text{ m}^3$

Como se explicó en el párrafo 3.4, el transporte de material sólido, jue



ga un papel muy importante en las características de la avenida, pues no sólo incrementa el caudal, sino que aumenta su densidad y poder erosivo. De acuerdo con este criterio, la avenida de diseño se obtendrá de incrementar en un 50 por ciento los caudales del hidrógrafo de escurrimiento, producidos por la tormenta de diseño. En Tabla 3-7, se dan las características finales de la avenida de diseño, cuya representación gráfica aparece en la lámina 20.

TABLA 3-7

CARACTERÍSTICAS DE LA AVENIDA DE DISEÑO PARA LA CUENCA SUPERIOR  
DEL RIO REVENTADO (14.1 Km.<sup>2</sup>)

- 1) Posible período de recurrencia:  
Una vez en 50 años
- 2) Estado de la cuenca:  
Se considera cubierta de ceniza prácticamente impermeable
- 3) Condiciones antecedentes:  
Saturación completa: satisfechas las pérdidas por detención e intercepción (\*) por lluvias previas a la tormenta de diseño.
- 4) Porcentaje de aumento caudal debido al transporte de sólidos: 50 por ciento.
- 5) Densidad de la mezcla agua-sedimento: 1.5

(Continua)

---

(\*) En las condiciones actuales de la cuenca, esta condición no es difícil de alcanzar, pues la cobertura vegetal está muy dañada y las depresiones del terreno fueron rellenadas por la ceniza volcánica.

(Continuación de Tabla 3-7)

6) Caudal pico de la mezcla :

360 m<sup>3</sup>/seg. que corresponde a una "C" de la fórmula Creager de 162

7) Duración de la avenida: 90 minutos

8) Tiempo al pico : 25 minutos

9) Volumen total de la avenida (Agua y Sólidos): 1,728,450 m<sup>3</sup>

Para efecto del diseño de las obras en los tributarios, se recomienda - usar un caudal específico constante de  $\frac{360}{14.1} = 61 \text{ m}^3/\text{seg./Km.}^2$ , aunque de acuerdo con la teoría de Creager, lo cual se aprecia en la lámina 21 al reducirse el área tributaria, para un mismo valor de "C" el caudal - específico aumentaría; sin embargo, se considera que el aumento en cau - dal específico proveniente de la lluvia, se compensa con la disminución en el aporte de material sólido.

#### 3.5.4 Avenida de diseño del Río Reventado Comparada con Avenidas Extra ordinarias en Costa Rica

En la lámina 21 se ha representado gráficamente la avenida de di - seño para el Río Reventado, expresada como caudal específico - (m<sup>3</sup>/seg./Km.<sup>2</sup>) contra la respectiva área de drenaje (14.1 Km.<sup>2</sup>). Este gráfi - co permite comparar la magnitud relativa del pico de esta avenida, con valo - res similares estimados en el mismo Reventado, para las avenidas del 11 de octubre de 1951 de 226 m<sup>3</sup>/seg. (cuenca en estado normal) y 9 de diciembre - de 1963 con 407 m<sup>3</sup>/ de caudal pico (cuenca cubierta de ceniza volcánica). - También se incluyen algunas avenidas extraordinarias que se han presentado en otros ríos de Costa Rica con cuencas normales, lo que permite una compa -

ración más general. La lista de estas avenidas se suministra en la Tabla 3-3.

Del estudio de la Tabla 3-E y de la lámina 21 se concluye que la avenida de diseño para la Cuenca Superior del Reventado es relativamente alta, lo cual se explica por la producción de caudales anormales, consecuencia del desbalance hidrológico, y del agregado de sólidos, producto de la inestabilidad del cauce.

### 3.6 Geología

El personal de la Dirección de Geología Minas y Petróleo del Ministerio de Industrias, llevó a cabo varios estudios geológicos de tipo preliminar en la cuenca del Río Reventado. Los resultados de estos estudios están contenidos en los siguientes informes:

- 1) Informe sobre la Geología de Retes y Quebrada Pavas en la Zona Norte Llano Grande, por el Ing. Enrique Malavassi V., del 7 de mayo de 1964 (4)
- 2) Reporte Preliminar sobre la Geología de la Cuenca del Río Reventado, Cartago, por los Ing. Enrique Malavassi V., Mario Fernández C. y Felipe Sandoval M., del 18 de abril de 1964 (5)  
Este informe incluye mapas geológicos preliminares, conteniendo secciones transversales esquemáticas y localización de zonas de deslizamientos.
- 3) Informe sobre Inspección Realizada a Algunas Secciones del Cauce Superior del Río Reventado y al Area del Curso Bajo de Dicho Río, Afectada por Inundación de Lodo la Noche del 9 de diciembre de 1963, en la Zona de Taras, por el Ing. Mario Fernández C., del 13 de enero de 1964 (6)

T A B L A 3-8

LISTA DE AVENIDAS EXTRAORDINARIAS OCURRIDAS EN COSTA RICA (\*)

(Incluyendo avenida de diseño para el Río Reventado)

No. (a)	Nombre del Río y Localización	Área de Cuenca Km <sup>2</sup>	Caudal Pico m <sup>3</sup> /Seg.	m <sup>3</sup> /seg/Km <sup>2</sup>	Fecha	"C" de Creager
1	Reventazón, La Junta	1767	6480	3.67	Dic. 1908	69
					Nov. 1928	69
					Dic. 1935	69
2	Reventazón, El Congo	885	2500	2.82	Nov. 1928	38
					Dic. 1935	38
3	Reventazón, Orosi	692	2150	3.11	Dic. 1935	36
4	Reventazón, Angostura	1367	3250	2.38	Dic. 1935	39
5	Reventazón, La Junta	1767	8775	4.97	Dic. 1949	95
6	Reventazón, Orosi	692	1060	1.53	Oct. 1955	18
					Ago. 1963	18
7	Pejibaye, Oriente	226	1400	6.20	Dic. 1935	43
8	Pejibaye, Oriente	226	940	4.15	Ago. 1963	29
9	Turrialba, Turrialba	62	1824	29.42	Dic. 1949	121
10	Sarapiquí, Puerto Viejo	890	7279	8.18	Nov. 1962	108
					Dic. 1963	108
11	Térraba, Palmar Sur	4863	13100	2.69	Oct. 1965	92
12	Reventado, Llano Grande	14.1	226	16.14	Oct. 1951	43
13	Reventado, Llano Grande (b)	14.1	407	29.0	Dic. 1963	77
14	Reventado, Llano Grande (c)	14.1	571	40.6	-----	108
15	Reventado, Llano Grande (d)	14.1	860	61.0	-----	162

Nota: a) Número de identificación que permite localizar el dato en Lámina 21.

b) Se estima que el caudal de 407 m<sup>3</sup>/seg. se compone de 65% de agua y un 35% de sedimentos, por volumen

c) Avenida de Diseño para la Cuenca Superior del Río Reventado (sólo agua).

d) Avenida de diseño para la Cuenca Superior del Río Reventado (67% de agua y 33% de sedimento por volumen).

(\*) Rodríguez Matamoros, Ing. Agustín. - Estudio de las Avenidas de Diseño, y Máxima Probable para el

Proyecto Hidroeléctrico, sobre el Río Reventazón Angostura.

(San José, Costa Rica: Tesis de Grado mimeografiada para optar por el título de Ingeniero Civil - U.N.C.R., octubre de 1964) p. 100

Este último informe trata en parte sobre varios aspectos geológicos del origen de los terrenos de la cuenca superior del Río Reventado.

Con fecha posterior al último informe presentado por la Dirección de Geología Minas y Petróleo, llegó al país el Ing. Geólogo Mr. Howard H. Waldron, del Servicio Geológico de los E.E.U.U. (United States Geological Survey), quien fue asignado a trabajar en los problemas geológicos del Río Reventado, en el programa especial de ayuda del Gobierno de los E.E.U.U., con motivo de la emergencia del Irazú, a través de la Agencia para el Desarrollo Internacional (USAID):

Como resultado de un estudio preliminar del problema, Mr. H. Waldron presentó el informe titulado:

Preliminary Report on Some Engineering Geologic Problems Associated with the Irazu Volcano Eruption (7).

A partir de setiembre de 1964, Mr. Waldron continuó sus estudios geológicos de la Cuenca Superior del Río Reventado en compañía del Ing. Gregorio Escalante, Geólogo al servicio de la Oficina de Defensa Civil del Gobierno de Costa Rica.

El resultado de los estudios geológicos que el Sr. Escalante realizó en compañía de Mr. Waldron y posteriormente sólo, una vez que el señor Waldron partió del país, están contenidos en el Anexo B de este informe, que lleva el título: "Geología de la Cuenca Superior del Río Reventado", habiendo sido escrito por el Ing. Escalante. A este Informe se le hicieron pequeñas modificaciones en la redacción para a daptarlo a la edición del presente trabajo.

### 3.7 Suelos

Los estudios de suelos llevados a cabo en la Cuenca Superior del Río Reventado tuvieron dos finalidades, a saber:

- 1) Tratar de obtener una explicación sobre el origen de los deslizamientos que ocurren en el Río Reventado, y sus posibles soluciones, y
- 2) Tener un conocimiento de los suelos sobre los cuales se van a cimentar las obras de control para estabilizar el cauce.

De los tres deslizamientos mayores, Prusia, Retes y Llano Grande, el primero de ellos parece ser el de movimiento más complejo. Por este motivo, se realizaron dos perforaciones a percusión y rotación, a fin de localizar el plano de falla y comprender mejor el mecanismo de deslizamiento. En el hueco No. 1, de 24.5 metros de profundidad total, se encontró a los 12 metros de perforación un contacto entre una roca muy meteorizada, prácticamente arcilla, y una roca muy porosa. Este contacto podría ser el plano de falla de este deslizamiento.

El hueco No. 2, se perforó hasta un total de 34.5 metros, habiéndose encontrado, a los 19 metros de profundidad, en contacto entre un material heterogéneo de arrastre del río compuesto de arena, grava y roca meteorizada en matriz limo-arcillosa, y un estrato más compacto integrado por piedras de gran tamaño en una matriz de roca suave, sobre la cual puede estar deslizándose la primera capa (Ver más detalles en el Anexo C).

En la actualidad, se está realizando una nueva perforación al norte del deslizamiento de Llano Grande, con el fin básico de estu -

diar la posible importancia del agua freática en la lubricación de este deslizamiento. Son convenientes más perforaciones, y se planea llevar a cabo tres más en el propio deslizamiento de Llano Grande.

Adicionalmente, con base en los planos topográficos de las áreas inestables, se efectuaron análisis de estabilidad por el método sueco, con el objeto de determinar las medidas que podrían incrementar el factor de seguridad contra deslizamiento.

De todos los estudios realizados, se puede generalizar el siguiente mecanismo de formación de las áreas inestables:

- 1) Erosión del cauce del río formado por material deleznable, debido al incremento de frecuencia y caudal de las avenidas del Río Reventado.
- 2) Debilitamiento del talud debido a la disminución del soporte lateral y al aumento de flujo de las aguas subterráneas, que aumentaron su carga, al bajarse el nivel del río.
- 3) Flujo o movimiento del talud debido a que se excedió la capacidad de resistencia al esfuerzo cortante del material de fundación.
- 4) Aumento del área afectada mediante fallas sucesivas por "separación lateral", o por la formación de un círculo de falla más amplio, o la combinación de ambos movimientos.

Los deslizamientos de Prusia y Llano Grande, por lo complejo de sus movimientos, y la heterogeneidad de los materiales afectados, caen de acuerdo con la clasificación del "High-way Research Board" (3), dentro del tipo de "deslizamientos complejos" (Ver lá

(3) Landslides And Engineering Practice (Washington D.C.: National Academy of Sciences, Publication 544, 1959).

mina 17).

Con base en la misma clasificación, los deslizamientos de Retes y Pavas I y Pavas II, se pueden clasificar como rotacionales o "derrumbe".

El estudio de suelos para las obras de control propuestas para la Cuenca Superior, del Reventado se llevaron a cabo por medio de cerca de un centenar de huecos a cielo abierto, de unos 3 metros de profundidad promedio. Por medio de estos huecos se inspeccionaban y clasificaban en el campo los posibles materiales de fundación. De donde el caso lo ameritaba, se obtenían muestras inalteradas de esos materiales, los cuales se analizaban en el laboratorio para determinar su resistencia al esfuerzo cortante y su clasificación.

Estos estudios proporcionaron la base para clasificar los suelos de fundación, desde el punto de vista de resistencia al esfuerzo cortante y a la erosión, en dos grupos principales a saber:

Tipo A: que incluye desde roca sana a roca medianamente meteorizada.

Tipo B: que incluye todo el material de arrastre del río y el proveniente de derrumbes y lahares.

Para los análisis de resistencia al deslizamiento de estas obras sobre materiales del Tipo A, se recomienda un coeficiente de fricción de trabajo de 0.55. Para las cimentadas en materiales del Tipo B, el coeficiente recomendable es de 0.50.

Las características del material que se utilizará en el relleno a guas arriba de las presas son variables, y dependen de la localización de cada presa. Sin embargo, de los estudios y visitas realizadas has-



ta la fecha, se pueden dar los siguientes valores promedio: peso su -  
mergido de material =  $1,000 \text{ Kg/m}^3$ ; ángulo de fricción interna =  $20^\circ$ ;  
cohesión = nula para la condición inmediata al tiempo de construcción.

En el Anexo C, se da un detalle sobre los estudios de suelos, re -  
alizados bajo la supervisión del Ing. Consultor Dr. Manrique Lara T.

### 3.8 Experimentos

Los experimentos llevados a cabo con el fin de obtener ciertos datos  
básicos para el diseño de las obras de control del Río Reventado y -  
sus afluentes Río Retes y Quebrada Pavas, son de tres tipos, a saber:

- a) Experimentos en modelos hidráulicos
- b) Experimentos para determinar coeficientes de fricción
- c) Experimentos para estudiar el comportamiento de fluidos con alta  
concentración de sedimentos.

#### 3.8.1 Experimentos con modelos hidráulicos

En el laboratorio de hidráulica de la Universidad de Costa Ri -  
ca, se llevaron a cabo experimentos con modelos hidráulicos, a  
escala reducida, para determinar el comportamiento de las presas de -  
control. Especial énfasis se dio al estudio del problema de socava -  
ción al pie de las presas, lo que constituye uno de los factores crí -  
ticos del diseño de las obras de control.

Estos modelos permitieron comprobar las fórmulas de descarga -  
del vertedero usadas en los cálculos, y definir la forma en que deben  
construirse las presas cimentadas en materias erosionables, para que  
sean más resistentes a la socavación. (Ver más detalles en Anexo E.)

### 3.8.2 Experimentos Para Determinar Coeficientes de Fricción

Con el objeto de determinar los valores del coeficiente de fricción, que podrían ser empleados con seguridad en el diseño de las presas de gaviones, se llevaron a cabo determinaciones de la fricción entre gavión y gavión, y entre gavión y fundación de arcilla.

Los valores obtenidos fueron:

$F = 1.00$  para gavión sobre gavión

$F = 0.71$  para gavión sobre fundación de arcilla

En ambos experimentos se emplearon gaviones fabricados de malla galvanizada simple (tipo ciclón), de alambre No. 10 AWG, con aberturas cuadradas de 6.5 cm. de lado aproximadamente. Ver en el Anexo E, mayor información sobre estos experimentos.

### 3.8.3 Experimentos Para Estudiar el Comportamiento de Fluidos con Alta Concentración de Sedimentos

Se hicieron experimentos en un canal modelo, con el fin de estudiar el comportamiento de fluidos con alta concentración de sólidos, similares a los que fluyen por el Río Reventado en las avenidas que se han producido durante el actual período de inestabilidad.

Estos experimentos permitieron establecer relaciones entre concentración de sólidos, velocidad superficial y pendiente del canal.

Como una de las principales conclusiones se llegó a determinar que una unidad de peso de agua, es capaz de poner en movimiento más de dos unidades de peso de material sólido, de las mismas características del transportado por el Río Reventado, cuando la pendiente del canal es mayor del 5%. Esta gran capacidad de transporte, fue compro

bada en la práctica en las muestras de lodo del Río Reventado tomadas en el Puesto 2, como se aprecia en las Tablas D-6, D-7 y D-8.

Se comprobó también en estos experimentos la importancia que tiene la concentración de partículas en el comportamiento de la masa semifluida, especialmente en la relación de su velocidad con la velocidad del agua limpia. En la lámina 23, se muestran las relaciones de velocidad encontradas en este experimento.