

**A N E X O C**

*ESTUDIO DE SUELOS EN LA CUENCA SUPERIOR DEL RIO REVENTADO*

C O N T E N I D O

	<u>Página</u>
<u>INTRODUCCION</u>	199
1.- <u>ESTUDIOS DE SUELOS PARA LA FUNDACION DE LAS PRESAS</u>	199
2.- <u>DATOS GENERALES Y RECOMENDACIONES PARA EL DISEÑO DE</u> <u>LAS PRESAS DE GAVIONES</u>	203
2.1 Antecedentes	203
2.2 Resultados	203
2.2.1 Capacidad Soportante de los Materiales de Fundación	203
2.2.2 Permeabilidad del Material de Fundación y Peligro de Socavación del mismo.	204
2.2.3 Coeficientes de Fricción entre la Base de la Presa y el Material de Fundación	205
2.2.4 Otras Recomendaciones	207
3.- <u>ANALISIS Y SOLUCION PROPUESTA PARA EL DESLIZAMIENTO</u> <u>DE LLANO GRANDE</u>	208
3.1 Antecedentes	208
3.2 Análisis	208
3.3 Recomendaciones	210
3.3.1 Recomendaciones de Ejecución Inmediata	211
3.3.2 Recomendaciones a un Año de Plazo	213
4.- <u>ANALISIS Y SOLUCION PROPUESTA PARA EL DESLIZAMIENTO</u> <u>DEL RIO RETES</u>	213
4.1 Antecedentes	213
4.2 Análisis	214
4.3 Recomendaciones	215

	<u>Página</u>
5.- <u>ANALISIS Y SOLUCION PROPUESTA PARA EL DESLIZAMIENTO</u>	
<u>DE PRUSIA</u>	217
5.1 Antecedentes	217
5.2 Descripción	217
5.3 Análisis	220
5.4 Conclusiones y Recomendaciones	221
6.- <u>ANALISIS Y SOLUCION PROPUESTA PARA EL DESLIZAMIENTO</u>	
<u>DE QUEBRADA PAVAS</u>	222
6.1 Antecedentes	222
6.2 Análisis	222
6.3 Recomendaciones	223
7.- <u>ANALISIS DE LA SITUACION DE LOS DESLIZAMIENTOS POSTERIOR-</u>	
<u>MENTE A LA DESTRUCCION DE LAS PRESAS DE LLANO GRANDE.</u>	224
7.1 Introducción	224
7.2 Antecedentes	225
7.3 Recomendaciones	227

LISTA DE LAMINAS

- C-1 Estudio de Redes de Flujo Para las Presas de Control Hechas de Gaviones.
- C-2 Movimiento de Tierra Propuesto Para el Deslizamiento de Retes.
- C-3 Detalle de las Perforaciones No. 1 y No. 2 en el Deslizamiento de Prusia.

A N E X O C

I N T R O D U C C I O N

El presente anexo resume los quince informes que sobre el estudio de suelos de la Cuenca Superior del Río Reventado presentara al I.C.E. el ingeniero consultor, Dr. Manrique Lara T. (2).

El estudio de suelos realizado bajo la dirección del ingeniero Lara Tomás, incluyó:

- a) Estudio de los suelos en que se cimentarán las presas de control, comprendiendo clasificación y características principales.
- b) Estudio de redes de flujo para analizar el peligro de "tubificación", cuando las presas se tuvieran que cimentar en material de arrastre.
- c) Características de los suelos para el diseño de las presas (coeficientes de fricción, pesos volumétricos de los materiales, ángulos de fricción interno, etc.)
- d) Estudio sobre las áreas inestables para determinar las medidas para su estabilización.

1.- ESTUDIO DE LOS SUELOS PARA LA FUNDACION DE LAS PRESAS

De acuerdo con los planos topográficos disponibles, la Cuenca Superior se dividió en cuadrángulos de 1 Km<sup>2</sup> de área, identificados según el

---

(2) Op. cit. (Ver lista de referencias en página 124).

índice mostrado en lámina 3 .

En cada sitio de presa (\*) localizado en el campo, se efectuaba un hueco a cielo abierto, en el lecho de la corriente mediante el cual se estudiaba y clasificaba el material de fundación, lo que se hacía directamente en el campo, y excepcionalmente en el laboratorio mediante muestras inalteradas, generalmente se efectuaban huecos más superficiales en las laderas del cauce para estudiar los suelos que las forman. Se hicieron más de un centenar del primer tipo de perforaciones, de aproximadamente un metro en cuadro y una profundidad media de 3 metros. Los principales problemas, aparte de la poca accesibilidad de la mayoría de los sitios, consistieron en que muchos de los huecos se llenaban de agua, lo que obligó al empleo de bombas pequeñas a motor, bombas de mano y baldes, para poder proseguir la excavación. En otros sitios, la presencia de agua en material muy deleznable, producía continuos derrumbes de las paredes de los huecos; en otros tramos, la presencia de material producto de derrumbe o arrastre, conteniendo piedras de gran diámetro, dificultaba, o inclusive, hacían imposible la excavación manual. En muchos de estos huecos en material no estable, fue necesario el uso de ademe de madera.

Estos trabajos se iniciaron en febrero de 1965, y se concluyeron en abril de ese mismo año.

Con el objeto de simplificar el análisis, los materiales de fundación fueron clasificados en dos grandes grupos, tomando en cuenta su resisten -

(\*) Los sitios estudiados corresponden a los de las presas de 5 metros de altura propuestas por el I.C.E. en su Informe Preliminar (9).

cia al esfuerzo cortante y a la erosión a saber:

Tipo A : Que incluye desde roca sana a roca medianamente meteorizada

Tipo B : Que incluye todo el material de arrastre del río proveniente de derrumbes y lahares. De acuerdo con esta clasificación, se elaboró la tabla C-1, que indica el tipo de material de fundación encontrado dentro del área cubierta por cada una de las láminas topográficas.

La Tabla C-1 muestra una predominancia de material de fácil erosión, lo que obliga a tomar medidas especiales, para evitar que las presas sean socavadas al pie.

T A B L A C-1

CLASIFICACION DE LOS MATERIALES DE CIMENTACION DE LAS PRESAS (a)  
DE LA CUENCA SUPERIOR DEL RIO REVENTADO

Lámina (b)	NUMERO DE PRESAS	
	en Material Tipo A	Presas en Material Tipo B
A-2	-	1
A-3	6	6
B-2	5	5
B-3	4	2
B-4	4	23
C-1	1	4
C-2	1	3
C-3	2	9
C-4	-	4
D-2	-	6
<b>TOTAL</b>	<b>23</b>	<b>65</b>

Notas :

- a) Los sitios estudiados corresponden al tipo de presa propuesto en el Informe Preliminar del I.C.E. (9). (Op. Cit)
- b) La lámina 3 contiene el índice de topografía de la Cuenca Superior del Río Reventado.



2.- DATOS GENERALES Y RECOMENDACIONES PARA EL DISEÑO DE  
LAS PRESAS DE GAVIONES

2.1 Antecedentes

Era necesario determinar las características físicas y mecánicas de los materiales que se van a usar como relleno de las presas de control y sobre las que estas se van a cimentar, para lo cual fue necesario recorrer varios puntos de la cuenca del Reventado, para observar los materiales de cerca, clasificarlos y estudiarlos visualmente; también se obtuvieron muestras que se analizaron en el Laboratorio de Materiales de la Universidad de Costa Rica. En general los datos requeridos se pueden resumir así:

- i) Capacidad soportante del suelo de fundación de las presas
- ii) Permeabilidad y peligro de socavación del material de fundación
- iii) Coeficiente de fricción al deslizamiento a usar entre la presa y el material de fundación.
- iv) Características del material de relleno aguas arriba de la presa.
- v) Alguna otra recomendación pertinente.

2.2 Resultados

2.2.1 Capacidad Soportante de los Materiales de Fundación

Como es natural, esta recomendación no se puede dar en forma general, sino que en cada lámina de localización de presas se

darán las recomendaciones específicas. Se considera en general que el Río Reventado y sus afluentes han erosionado los fondos de sus cauces en forma considerable, y que esto equivale a un alivio de la presión al nivel de cimentación de las presas; por lo tanto las capacidades soportantes no son un factor determinante para la estabilidad de las presas, ya que estas posiblemente equivalen en peso al material que existía con anterioridad.

### 2.2.2 Permeabilidad del Material de Fundación y Peligro de Socavación del Mismo.

En general se puede decir que los materiales típicos de fundación en los sitios estudiados hasta la fecha corresponden a roca sana, roca meteorizada y arcilla, y material heterogéneo de arrastre que consiste de una mezcla de grava y arena en una matriz limo-arcillosa. Es obvio que los dos primeros materiales no ofrecen peligro alguno de socavación, y que por lo tanto, el único material que ameritaba un estudio más detenido era el material descrito como material heterogéneo de arrastre del río. Para ese efecto se dibujaron varias secciones típicas de presas de gaviones, presumiendo diferentes condiciones de permeabilidad para la presa, el material de relleno, y la fundación. En el caso más crítico, se asignó una permeabilidad infinita al relleno y una muy alta al material de fundación (grava y arena limpia) y además se supuso que por algún motivo especial, la arcilla había penetrado en todo el contorno de la presa, convirtiéndola en una masa impermeable. Bajo estas condiciones se construyó una red de flujo, y

se analizó con respecto al problema de tubificación en la base. Los resultados obtenidos aparecen en la lámina C-1 incluida en este Anexo, e indican que para la sección de presa estudiada, no existe problema de tubificación. También se estudió el efecto que produciría un filtro al pie de la presa; la red de flujo correspondiente aparece en la misma lámina C-1. Sin embargo, no se recomienda la construcción de filtros en la base de las presas, por ser éstas estables sin los filtros, y porque la ventaja de seguridad adicional que se ganaría si se construyeran, se vería contrarrestada por la difícil construcción e inspección de los mismos en los sitios escogidos para colocar las presas. En cuanto al peligro de socavación producido por la caída de la lámina vertiente, ésta fue estudiada por la Oficina de Control de Ríos por medio de un modelo a escala, en el Laboratorio de Hidráulica de la Universidad de Costa Rica.

### 2.2.3 Coefficiente de Fricción Entre la Base de la Presa y el Material de Fundación

- a) Material de fundación: roca sana y roca medianamente meteorizada. Para este caso usar un coeficiente de fricción  $f = 0.55$ . Si la roca apareciera muy lisa a la hora de efectuar la excavación, se deberá picar para darle aspereza, o si está muy meteorizada, colocar 10 cm. de piedra y arena muy angulosa, muy bien compactada, antes de colocar el gavión de cimentación. El factor de seguridad contra

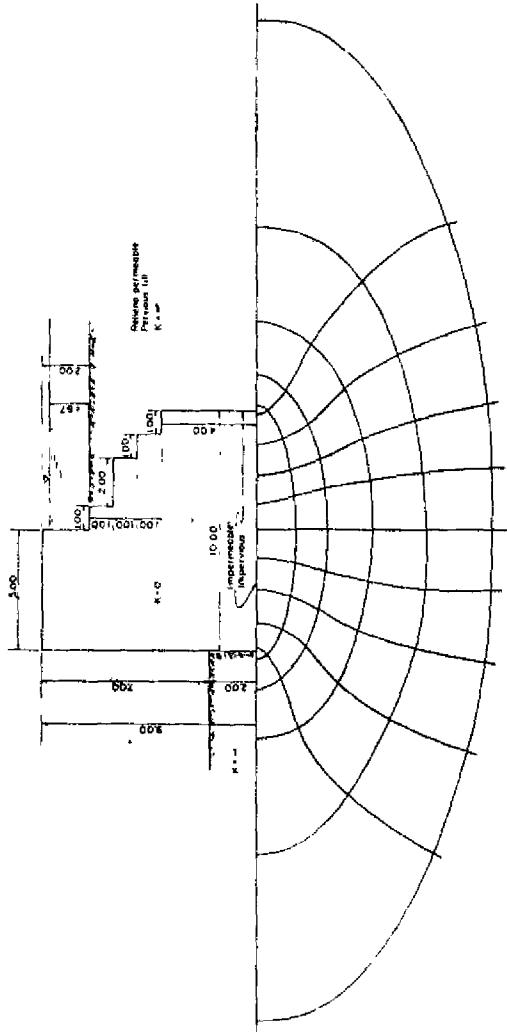
el deslizamiento de estas presas cimentadas en esta forma, es probablemente mayor de 1.5, por el hecho de poder contar en este caso con la presión pasiva del suelo de fundación inmediatamente aguas abajo de la presa, ya que es poco probable que estos materiales rocosos se erosionen bajo el impacto de las aguas.

- b) Material de fundación: relleno heterogéneo producto del arrastre del río. Usar  $f = 0.50$ . Despreciar la presión pasiva del material aguas abajo de la presa.
- c) Material de fundación: arcilla de consistencia suave a media, sin roca. Usar un valor de  $f = 0.35$ . Sin embargo en estos casos habría que revisar si el material de fundación es estable al esfuerzo cortante, específicamente, si el valor de la cohesión es inferior al valor de la resistencia por fricción, entonces la presa fallaría por esfuerzo cortante del material de fundación, a cierta profundidad bajo la zona de contacto de la base.
- iv) Características del material de relleno aguas arriba de la presa: Es obvio que estas características son variables y dependen de la localización de cada presa. Sin embargo, - de los estudios y visitas realizadas hasta la fecha, se - pueden dar los siguientes valores:

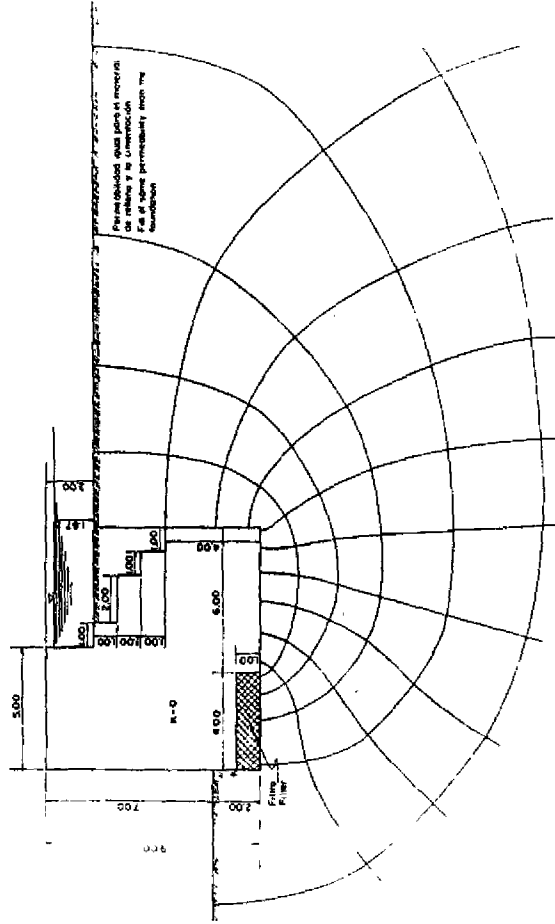
Peso sumergido del material =  $1000 \text{ Kg/m}^3$

Angulo de fricción interna =  $20^\circ$

Cohesión: nula para la condición inmediata a la construcción.



CASO 1  
PRESA CON RELLENO PERMEABLE Y SIN FILTRO  
CASE 1  
DAM WITH PERVIOUS FILL AND WITHOUT FILTER



CASO 2  
PRESA CON FILTRO  
CASE 2  
DAM WITH FILTER

NOTAS

1) En el Caso 1, se supone que el relieve tiene permeabilidad uniforme y es el mismo para la impermeabilización por la penetración de agua. En el Caso 2, se supone que el relieve tiene permeabilidad uniforme para la impermeabilización, y que además se construye un filtro en la parte inferior del relieve. La altura de estos presas correspondiente a la altura del presal es de 10.00 metros. En el caso de un relieve con permeabilidad uniforme se debe tener en cuenta el coeficiente de permeabilidad del relieve, que debe ser de 10<sup>-6</sup> cm<sup>2</sup>/seg. En el caso de un relieve con permeabilidad uniforme se debe tener en cuenta el coeficiente de permeabilidad del relieve, que debe ser de 10<sup>-6</sup> cm<sup>2</sup>/seg. En el caso de un relieve con permeabilidad uniforme se debe tener en cuenta el coeficiente de permeabilidad del relieve, que debe ser de 10<sup>-6</sup> cm<sup>2</sup>/seg.

NOTES

1) In the Case 1, it was supposed that the relief has uniform permeability and that the permeability is the same for the impermeabilization. In the Case 2, it was supposed that the relief has uniform permeability and that, in addition, a filter is constructed at the bottom of the dam. The height of these dams due to the relief of the dam is 10.00 meters. In the case of a relief with uniform permeability, it is necessary to take into account the permeability coefficient of the relief, which must be 10<sup>-6</sup> cm<sup>2</sup>/sec. In the case of a relief with uniform permeability, it is necessary to take into account the permeability coefficient of the relief, which must be 10<sup>-6</sup> cm<sup>2</sup>/sec. In the case of a relief with uniform permeability, it is necessary to take into account the permeability coefficient of the relief, which must be 10<sup>-6</sup> cm<sup>2</sup>/sec.

INSTITUTO COSTARRICENSE DE ELECTRICIDAD  
DIVISION DE OBRAS DE BARRAJES  
ESTUDIO DEL RIESGO DE FLUJO PARA  
LAS PRESAS DE CONTROL  
ESTUDIOS DE PERFORACIONES  
STUDY OF FLOW NET FOR  
THE CHECK DAMS MADE  
OF GABIONS

#### 2.2.4 Otras Recomendaciones

- a) Material pétreo de relleno para los gaviones. Usar una gravedad específica de 2,4 (saturada superficie seca) - para calcular el peso por unidad de volumen. Usar una razón de vacíos de  $e=0.67$  (Porosidad de 40%); en esas - condiciones, el peso unitario del material sería:

$$\text{Peso unitario saturado superficie seca} = 1440 \text{ Kg/m}^3$$

$$\text{Peso unitario total (saturado)} = 1840 \text{ Kg/m}^3$$

$$\text{Peso unitario sumergido} = 840 \text{ Kg/m}^3$$

- b) Vertedero para los gaviones. Usar un hormigón de las - siguientes características para vaciar los vertederos:

- 1) Contenido de cemento : 6 sacos/m<sup>3</sup>
- 2) Tamaño máximo de agregados: 2 pulgadas
- 3) Máximo contenido de agua : 30 Lts/saco
- 4) Revenimiento : 2-3 pulgadas
- 5) Peso de agregado fino : 115 Kg/saco
- 6) Peso de agregado grueso : 180 Kg/saco

Estas proporciones están dadas para agregados angulosos, en condición saturada a superficie seca, y con gravedad específica saturada superficie seca de 2.40. Para agregados de otras características, será necesario efectuar los ajustes correspondientes.

### 3.- ANALISIS Y SOLUCION PROPUESTA PARA EL DESLIZAMIENTO DE LLANO GRANDE

#### 3.1 Antecedentes

El deslizamiento de Llano Grande, que está localizado en la intersección de la ruta No. 6 con el Río Reventado, es bastante imponente por su tamaño. Ha sido descrito como un deslizamiento de superficie de ruptura cilíndrica por técnicos en suelo y geología que lo han visitado. Sin embargo, basado en observaciones en el sitio, el consultor tiene el presentimiento de que este deslizamiento es más bien un deslizamiento viejo que ha sido reactivado últimamente por la erosión del fondo del río y que posiblemente resbala sobre una zona de contacto suave, paralela a la roca existente. Este deslizamiento merece prioridad de estudio y medidas correctivas, por el hecho de ser el último deslizamiento, hasta la fecha, que está localizado entre el Río Reventado y Cartago.

#### 3.2 Análisis

Los resultados del análisis obtenidos hasta la fecha se basan exclusivamente en la observación en el sitio de la forma del deslizamiento, de la observación de los suelos que forman el deslizamiento, y del estudio de la topografía que ha sido levantada en dos oportunidades por personal del I.C.E.. Después de estudiar la nueva topografía, que fue levantada en los primeros días de febrero del año 1965, y que comprende secciones más completas de la margen derecha del se ha, llegado a la conclusión de que el mecanismo del deslizamiento es alguno de los dos siguientes:

- a) Hipótesis 1. Falla por deslizamientos sucesivos. En este tipo de falla, el talud más cercano al río que es-

taba en una condición de equilibrio crítico por tratarse de un deslizamiento viejo (factor de seguridad apenas superior a la unidad), se convirtió en inestable debido a la erosión del pie por el río. Esto dio por resultado la falla No. 1, de forma cilíndrica, o similar, que a su vez debilitó y dejó en forma de equilibrio crítico al talud No. 2. Con el progreso de la estación lluviosa, la erosión continua del río al pie del talud, y el efecto del agua superficial, el soporte que le prestaba el talud al talud 2 fue disminuyendo, hasta que ocurrió la falla No. 2, y así sucesivamente.

b) Hipótesis 2. Falla por movimiento de un bloque de suelo. -

En esta hipótesis, se supone que el río al profundizar su cauce, le restó soporte lateral a un bloque de suelo de gran tamaño, que resbaló como un todo hacia el río sobre una zona de contacto suave que bien pudiera ser el contacto entre la roca y el suelo.

Al no conocerse el perfil del subsuelo en este sitio, es algo difícil poder probar o rebatir estas dos hipótesis, o dar una preferencia de una sobre la otra. Sin embargo, el consultor está más inclinado a aceptar la segunda hipótesis como la verdadera en este caso, basado en la topografía del deslizamiento, y en el hecho de que la roca está expuesta tanto en el cauce del río como en el acantilado donde se encuentra la cicatriz del deslizamiento viejo. Un hecho sí está claro, y es el de que el mecanismo que impulsó el deslizamiento fue la socavación del cauce del río.



Para analizar algunas superficies de ruptura, sin conocer las propiedades de los suelos, se procedió de la siguiente manera:

- 1) Se escogió una superficie de ruptura crítica de acuerdo a ciertas reglas en los textos de Mecánica de Suelos.
- 2) Trabajando con el método sueco de análisis de la superficie de ruptura, y asumiendo un factor de seguridad igual a la unidad, se escogieron pares de valores de C y  $\phi$  que satisficieran la ecuación:

$$F.S. = \frac{C \times L + \sum N \tan \phi}{\sum T}$$

en donde

F.S. = Factor de seguridad igual a 1.0

C = Cohesión

L = Longitud del arco

$\sum N$  = Suma fuerzas normales

$\sum T$  = Suma de fuerzas tangenciales

Tan  $\phi$  = Angulo de fricción interna del material

- 3) Se usaron los siguientes valores de C,  $\phi$  y peso unitario del material.

Peso unitario	1,200 Kg/m <sup>3</sup>
Cohesión	3,300 Kg/m <sup>3</sup>
Fricción $\phi$	20°

### 3.3 Recomendaciones

Se dan dos tipos de recomendaciones: aquellas de ejecución inmediata, y otras a un año de plazo.

### 3.3.1 Recomendaciones de Ejecución Inmediata:

Medidas tendientes a aumentar la resitencia del bloque al deslizamiento. Para este efecto se recomienda colocar suficientes presas de control de gaviones a lo largo del cauce en el sitio del deslizamiento, con su respectivo relleno, como para levantar el nivel del cauce del río a su elevación original. (\*) La idea tras esta medida es la de que, antes de ocurrir las avenidas del Reventado, este talud era estable, y, no importa cual hipótesis del mecanismo del deslizamiento sea la cierta, éste fue activado por la erosión del cauce. Pareciera pues que con volver a levantar el cauce a su nivel original bastaría para controlar este deslizamiento.

Se recomienda asimismo, impedir a toda costa que los efectos destructivos del agua superficial sigan ocasionando erosión y suavizamiento de los suelos, por lo que se recomienda como de primordial importancia efectuar los siguientes trabajos en toda la zona deslizada:

- I) Construcción de zanjias de contorno para recoger el agua de escorrentía. Estas zanjias deberán ser imper

---

(\*) Nota del Ed.: Esta recomendación fue dada antes de la destrucción de las presas en Llano Grande. Véase párrafo 7, de este anexo en que se analiza la situación posterior a esa destrucción.

meabilizadas, con arcilla posiblemente.

- II) Drenar todas las áreas que actualmente existen, que por su elevación inferior al resto del terreno forman estancamientos de agua.
- III) Fomentar la siembra de arbustos, pastos y zacate como medio de evitar la erosión.

Medidas tendientes a reducir las fuerzas que impulsan el deslizamiento.

La forma clásica de reducir estas fuerzas es la de cortar los taludes para darles inclinaciones más suaves, y en general mover material de las partes superiores del deslizamiento. Para el caso de que el mecanismo de falla sea el No. 1, este sistema ofrece aumentar el factor de seguridad del talud cercano al río de 1 a 1.3 con un movimiento de tierras razonable (cerca de 500 metros cúbicos por metro lineal). Sin embargo, si el mecanismo de falla es el segundo, no sólo el movimiento de tierras sería de magnitud apreciable para que sea efectivo (cerca de 1,600 metros cúbicos por metro lineal), sino que tendría que estar localizado en otra zona distinta al del caso anterior. De manera que existiría el peligro, en el primer caso considerado, de estarse efectuando un movimiento de tierras más bien nocivo que beneficioso a la estabilidad del deslizamiento. Por lo tanto, en esta primera etapa no se recomienda efectuar ningún movimiento de tierras como medida de control, excepto el estrictamente necesario para rellenar el cauce tras las presas de control.

En resumen, para controlar el deslizamiento durante el año se pro

pone únicamente la construcción de presas de control en el cauce, y el control completo y eficiente del agua superficial. Además se deberán plantar arbustos para evitar la erosión. Se recomienda que se establezcan monumentos de piedra o de hormigón que sirvan de referencia para estudiar el movimiento del deslizamiento durante la época lluviosa, y poder evaluar así el resultado de las medidas correctivas.

#### C.3.2 Recomendaciones a un Año de Plazo:

Se recomienda en la época seca actual, o en la venidera, efectuar estudios del subsuelo completos, por medio de perforación y métodos eléctricos y sísmicos para determinar la forma, posición y características de la zona de falla, para así poder decidir con mejor criterio sobre medidas definitivas de corrección a este deslizamiento.

### 4.- ANALISIS Y SOLUCION PROPUESTA PARA EL DESLIZAMIENTO DEL RIO RETES

#### 4.1 Antecedentes

Se conoce como el deslizamiento del Río Retes, o deslizamiento del Retes, al que existe inmediatamente aguas arriba de la confluencia de este río con el Reventado. Este deslizamiento, de gran magnitud, empezó a activarse, al menos según el conocimiento personal del consultor, en junio o julio de 1964. Hasta la fecha se estima que la mayor parte de las avenidas de la cuenca del Reventado han provenido de la cuenca del Retes. De ahí la importancia que tiene el análisis y corrección de este deslizamiento.

#### 4.2 Análisis

El análisis de este deslizamiento consistió en el estudio de la topografía del área, según plano levantado por el I.C.E., y de varias visitas al deslizamiento en sí, con el fin de estudiar la naturaleza de los suelos y la forma del deslizamiento. No se llegaron a efectuar sondeos ni pruebas de suelos específicas, por considerarse que la forma del deslizamiento es lo suficientemente clara como para discernir su naturaleza, cual es la de deslizamiento por rotación sobre una superficie curva, a veces bastante empinada.

Para conseguir valores específicos de la resistencia del suelo con que efectuar el análisis del deslizamiento, se escogió un círculo de falla crítica, asumiendo un factor de seguridad unitario, se procedió por tanteo a escoger valores lógicos de cohesión y fricción que satisficieran la ecuación:

$$F.S. = \frac{C \times L + \sum N \tan \phi}{\sum T}$$

en donde:

F.S. = Factor de seguridad igual a 1.0

C = Cohesión

L = Longitud del arco

$\sum N$  = Suma de fuerzas normales

$\sum T$  = Suma de fuerzas tangenciales

$\phi$  = Angulo de fricción

Para este caso se usaron los siguientes valores:

$$C = 5000 \text{ Kg/m}^2$$

$$\phi = 30^\circ$$

$$\gamma = 1200 \text{ Kg/m}^3, \text{ peso seco del material}$$

Para estudiar el efecto beneficioso de las medidas correctivas, se supuso primero que se contruirían presas de control de gaviones en el cauce de unos 6 metros de altura. Además de impedir la erosión del pie del talud, estas presas tienen un efecto beneficioso sobre el factor de seguridad del talud, al poner cierta resistencia a la falla en el pie del mismo.

También se investigó el efecto beneficioso de disminuir las fuerzas actuantes o impulsoras del deslizamiento, mediante la remoción de una cierta cantidad de material de la parte superior - del talud. (Ver sección 4, lámina C-2). En este caso particular, la remoción del área indicada de cerca de 200 metros cúbicos - por metro, tuvo un efecto beneficioso apreciable sobre el talud al aumentar el factor de seguridad de 1.18 a 1.37.

#### 4.3 Recomendaciones

Dadas las características del deslizamiento, y de los suelos encontrados, y basado en los resultados del análisis efectuado, - se recomienda aplicar las siguientes medidas para controlar el deslizamiento:

- 1) Construir presas de control (\*) en el cauce como un medio -

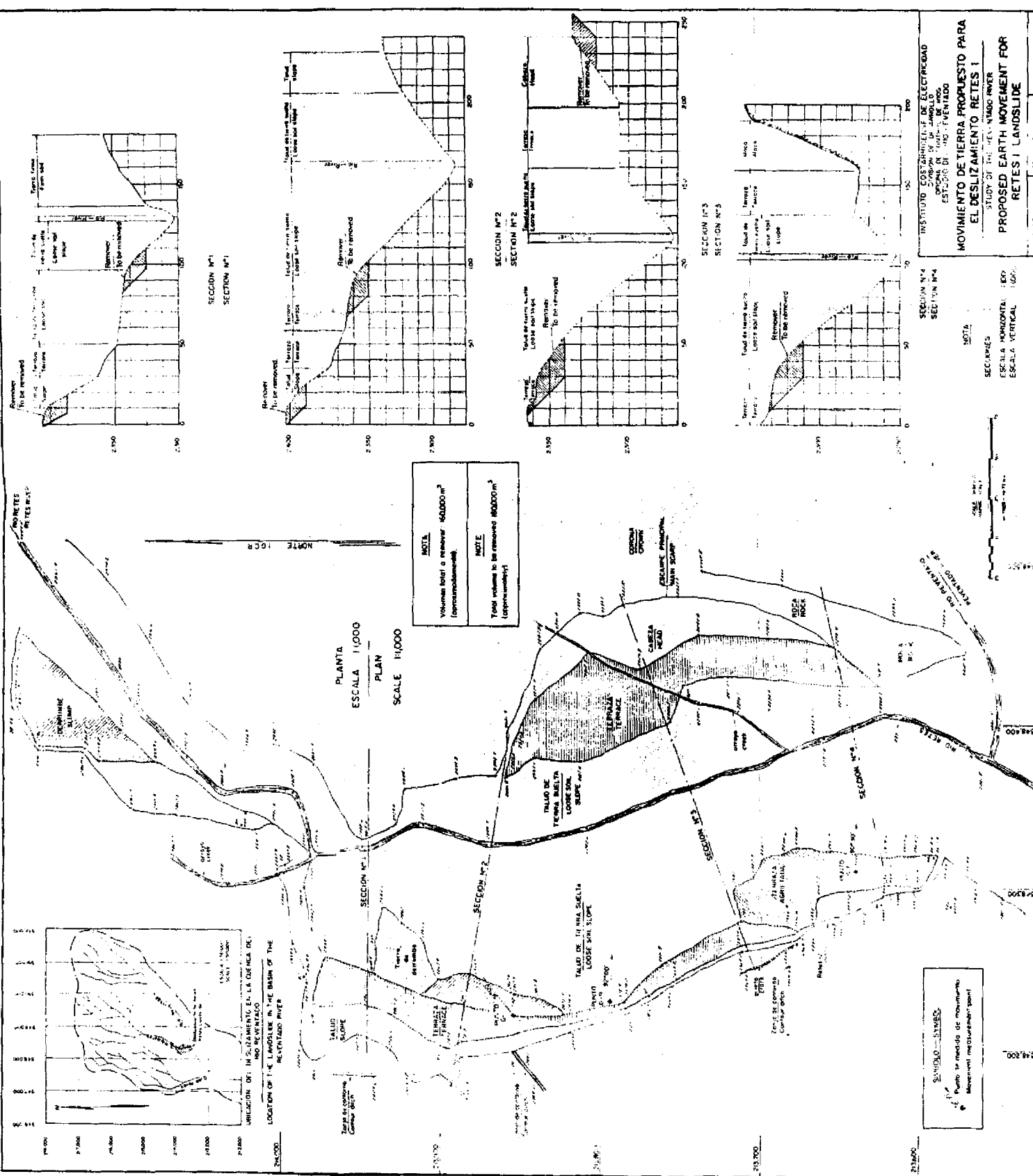
---

(\*) Nota del Ed.: Esta recomendación fue dada antes de la destrucción de las presas Llano Grande-Véase párrafo 7 de este anexo en que se analiza la situación posterior a esa destrucción.

de evitar el proceso de erosión del pie del talud por el río, y a la vez para aumentar el factor de seguridad del talud. - usar presa de gaviones de aproximadamente 6 metros de altura. Aguas arriba de estas presas, el cauce del río se deberá rellenar con material proveniente del mismo deslizamiento.

- 2) Efectuar el movimiento de tierras indicado en la lámina C-2, secciones 1, 2, 3 y 4 para en esta forma aliviar a los taludes de las fuerzas impulsantes del deslizamiento. El material removido, deberá ser empujado al cauce del río, para que actúe como relleno atrás de las presas de control.
- 3) Construir un sistema de zanjas de contorno impermeabilizadas con arcilla o cemento, para recoger el agua superficial y evitar que escurra sobre el área inestable.
- 4) Construir un sistema de cunetas colectoras del agua de las zanjas, para descargarlas al río. Estas cunetas deberán ser revestidas, con material impermeable o de medias cañas prefabricadas.
- 5) Sellar todas las grietas que aparezcan para impedir la entrada del agua a la masa en movimiento.
- 6) Fomentar la siembra de zacate y arbustos en la ladera para evitar la erosión y a la vez permitir que las raíces contribuyan a sostener el terreno por tensión y evitar así la formación de grietas.

Se llama la atención sobre el hecho de que las medidas propuestas se deben aplicar todas, ya que el conjunto de efectos beneficiosos derivados de ellas es el que en definitiva



INSTITUTO COSTARRICENSE DE ELECTRICIDAD  
DIVISION DE TRÁFICO DE ENERGÍA  
ESTACION DE 140 KV-REVENTAZO  
STUDY OF THE EL NIÑO RIVER  
PROPOSED EARTH MOVEMENT FOR  
RETES I LANDSLIDE

ESCALA HORIZONTAL 1:500  
ESCALA VERTICAL 1:500



va, a controlar este deslizamiento.

## 5.- ANALISIS Y SOLUCION PROPUESTA PARA EL DESLIZAMIENTO DE PRUSIA

### 5.1 Antecedentes

El deslizamiento de Prusia fue el primero en aparecer en la cuenca del Rfo Reventado. Es tal vez el deslizamiento más complejo que existe en la zona, y el que menos se presta a un análisis numérico en cuanto a su estabilidad.

### 5.2 Descripción

El deslizamiento fue levantado por el I.C.E. en octubre de 1964, y medidas periódicas revelaron que permanecía activo durante la época lluviosa y parte de la estación seca. Del estudio de los planos topográficos y visitas hechas al sitio, se pudo comprobar que a pesar de su complejidad, el deslizamiento muestra un escarpe principal, junto con sus flancos bien definidos, con un movimiento principal en dirección sur o suroeste, y en realidad, los movimientos más complejos se encuentran al pie del talud, donde las rotaciones del terreno y la dirección del movimiento en varios sentidos, hacen de esta zona una verdadera región de caos y confusión. Parece ser que el deslizamiento tuvo su origen en el resbalamiento de los suelos en un plano más débil a cierta profundidad, plano que varía mucho en cuanto a su localización, dando por resultado un deslizamiento complejo. Para tratar de localizar este plano de falla, y así entender mejor el mecanismo del deslizamiento, se efectuaron dos perforaciones. Estas perforaciones, que se localizaron en

la parte baja del deslizamiento, se efectuaron por el sistema de percusión estándar, método de lavado con trépano y con broca de diamante y tungsteno.

Los resultados obtenidos aparecen en la lámina C-3. En general el perfil del suelo encontrado se puede resumir así:

De 0 a unos 9 ó 10 metros, aparece un material que proviene de antiguos arrastres del río, material labárico que consiste en una mezcla de piedras y arena, en una matriz limo-arcillosa de consistencia suave a media, o densidad relativa suelta a media. Este material tiene una cementación natural (arcilla) que lo hace estable en taludes verticales; pero al afectarse por algún movimiento, pierde la cementación, y se convierte en un material de característica granular, de ángulo de reposo bajo (unos 30°).

El siguiente estrato consiste de una capa de roca meteorizada, con algunas piedras grandes. Esta capa se puede asimilar prácticamente a una arcilla por el grado tan alto de meteorización; en presencia del agua se vuelve sumamente resbaladiza. Esta capa tiene de 3 a 4 metros de espesor, y bien podría ser la capa sobre la cual está deslizando el talud. Después continúan estratos de roca muy porosa y fracturada, estrato donde posiblemente corre el agua subterránea. En la segunda perforación, el agua del subsuelo, que era más bien una tabla de aguas falsa, se fugó totalmente al llegar a esa capa. El bajo porcentaje de recuperación de la roca y los reportes verbales del capataz de perforación, indican que la

roca tiene cavernas y depósitos de material suave.

Como se supone que el agua juega un papel muy importante en el mecanismo de falla de este deslizamiento, se puso especial cuidado en su determinación. En ninguna de las dos perforaciones efectuadas apareció el nivel de aguas freáticas. En la perforación No. 2, apareció una tabla de aguas falsa, que se fugó completamente al atravesar la capa de lava porosa. Como las perforaciones se hicieron al finalizar la estación seca, pudie ra ser que por esta razón no se encontrara más agua, ya que es evidente que en la zona existen varios nacimientos, que se observó fueron disminuyendo su caudal conforme avanzaba la época seca.

Este factor merece ser estudiado con mayor detalle, ya que las perforaciones efectuadas no arrojaron ninguna luz al respecto, y la presencia de aguas en la zona indica que ésta puede estar jugando un papel de importancia en el activamiento del deslizamiento.

De acuerdo con la localización y elevación aproximada de las perforaciones, éstas se dibujaron en el plano de secciones transversales del deslizamiento, levantado por el Instituto Cogtarricense de Electricidad. Los resultados obtenidos aparecen en la lámina C-3. La sección A en donde está localizada aproximadamente la perforación No. 1, no revela claramente la influencia de la capa de arcilla meteorizada en el movimiento. Por otra parte, la sección B, donde se localizó la perforación No. 2, da un cuadro bastante claro del movimiento. En primer

lugar, en esta sección se pudo comprobar visualmente que el escarpe principal está constituido por la roca meteorizada color gris azul; inclusive esta roca quedó rayada o marcada en la dirección del movimiento. Al unir esta línea de roca con la capa correspondiente en la perforación, se obtiene una inclinación aproximada del buzamiento de esta roca, que en este caso (Sección B) resultó franca y pronunciada hacia el río en dirección de unos 50° este.

El resbalamiento de la masa de material heterogéneo de arras - tre sobre esta capa inclinada de roca, parece ser que explica bien el movimiento de esta sección. En todo caso, para llegar a una descripción más exacta del movimiento, es necesario efectuar mayor número de perforaciones.

### 5.3 Análisis

Pareciera que el mecanismo del deslizamiento fue el siguiente:

- a) Erosión del cauce del río formado por material deleznable y meteorizado proveniente de antiguas crecientes.
- b) Debilitamiento del talud debido a la disminución de soporte lateral, y al aumento de flujo de las aguas subterráneas, que aumentaron su carga, al bajarse el nivel del río.
- c) Flujo o movimiento del talud debido a que se excedió la capacidad de resistencia al esfuerzo cortante del material - de fundación.
- d) Fallas sucesivas por separación lateral ocasionadas por la falla original.

Aunque algunas de estas hipótesis son de difícil comproba



ción, pareciera, por el resultado de las perforaciones y la observación del deslizamiento, que el descrito anteriormente es un mecanismo lógico de falla. Esto dejaría el peso de las medidas correctivas en el restablecimiento del cauce a su nivel original, y en el control de las aguas superficiales y subterráneas.

#### 5.4 Conclusiones y Recomendaciones

Se recomienda como medida de acción inmediata lo siguiente :

- 1) Construcción de presas de control de gaviones sobre el fondo del río, de una altura, y espaciadas en forma tal, que formen un relleno aguas arriba que devuelva el cauce a su nivel original (\*).
- 2) Control del agua superficial por medio de zanjas de contorno, colectores, resiembra, etc.
- 3) Prevención de la infiltración del agua superficial, mediante sellado de todas las grietas y escarpes, y drenaje de las zonas de agua estancada.
- 4) Investigación del agua subterránea, para estudiar la posibilidad de interceptarla antes de que llegue al deslizamiento.

---

(\*) Nota del Ed.: Estudios posteriores han revelado que el deslizamiento afecta parte del cauce del río, causando un cizallamiento en el sentido longitudinal de la corriente, no siendo por lo tanto conveniente la construcción de presas de control en ese tramo. Además, esta recomendación había sido dada antes de que se produjera la destrucción de las presas de Llano Grande. Véase párrafo 7 de este Anexo, con un análisis de la situación posterior a esa destrucción.

Se recomienda especialmente, que se continúe la observación del deslizamiento durante la época lluviosa, a fin de observar su movimiento.

Estas medidas son de urgente aplicación, y como en la época lluviosa es difícil o casi imposible trabajar en el cauce del río, se recomienda que se realicen inmediatamente las medidas de control de agua superficial, sellado de grietas y escarpes y el estudio de aguas subterráneas.

## 6.- ANÁLISIS Y SOLUCIÓN PROPUESTA PARA EL DESLIZAMIENTO DE

### LA QUEBRADA PAVAS

#### 6.1 Antecedentes

El deslizamiento de la Quebrada Pavas está localizado a poca distancia río arriba de la confluencia de la Quebrada Pavas con los ríos Retes y Reventado.

Se puede decir que es un deslizamiento pequeño, de menor importancia que los deslizamientos de Llano Grande, Retes o Prusia. En general, la sub-cuenca de la Quebrada Pavas no ha sido tan afectada por la ceniza como las otras sub-cuenclas que forman parte de la Cuenca del Reventado.

#### 6.2 Análisis

De la inspección realizada al sitio del deslizamiento, se pudo comprobar que este deslizamiento es del tipo rotacional, bastante bien definido. Aparentemente no se encontró activo en la época en que se visitó (abril 1965) pero con la llegada de la estación lluviosa posiblemente vuelva a activarse. El -

deslizamiento se inició aparentemente por erosión del fondo - del río.

### 6.3 Recomendaciones

Se recomiendan las siguientes medidas para controlar este deslizamiento:

- 1) Restauración del nivel de fondo del cauce del río a su elevación original antes de la caída de ceniza, mediante la construcción de presas de control de gaviones.
- 2) Construcción de un sistema de zanjas de contorno para recoger el agua superficial y evitar que erosione el material suelto producto del deslizamiento. Estas zanjas deberán impermeabilizarse, con arcilla o cemento portland, cemento asfáltico, u otro material adecuado.
- 3) Construcción de un sistema de colectores que recojan las aguas de las zanjas y las viertan al río, por medio de cunetas revestidas.
- 4) Drenajes de todas las áreas que por su elevación tienden a atrapar el agua. Se comprobó que en este deslizamiento existe una pequeña laguna en la cabeza del deslizamiento, que se formó por el movimiento rotacional de la masa del suelo.



- 5) Siembra de arbustos, pastos, zacate, etc. como medio de evitar la erosión del agua.
- 6) No se recomienda efectuar ningún movimiento de tierras como medida correctiva en este caso, excepto el mínimo necesario para rellenar el cauce detrás de las presas de control.

En resumen, para controlar el deslizamiento se propone únicamente la construcción de presas de control en el cauce y el control del agua superficial.

También se recomienda que se establezcan monumentos de piedra o de hormigón que sirvan de referencia para estudiar el movimiento del deslizamiento durante la época lluviosa, y poder evaluar el resultado de las medidas de control recomendadas.

## 7.- ANALISIS DE LA SITUACION DE LOS DESLIZAMIENTOS POSTERIORMENTE A LA DESTRUCCION DE LAS PRESAS DE LLANO GRANDE (\*)

### 7.1 Introducción

La destrucción de las presas de control de gaviones que se estaban construyendo en el Río Reventado, a la altura del derrumbe de Llano Grande, vino a plantear un nuevo problema

(\*) Nota del Ed.: Este párrafo fue tomado del informe No.15 del 19 de agosto de 1965, presentado al I.C.E. por el Ing. Consultor Dr. Manrique Lara T.

para el control de estos deslizamientos.

En efecto, este hecho vino a demostrar en una forma dramática, que el Río Reventado no está dispuesto a dejarse dominar por obras efectuadas en su propio cauce, si no se controla de antemano la producción de crecientes repentinas y flujos de barro en toda su cuenca.

Este reporte trata sobre medidas adicionales que será necesario efectuar para sustituir a las recomendadas con anterioridad.

## 7.2 Antecedentes

Desde los inicios de las actividades tendientes a buscarle una solución a los deslizamientos producidos en la Cuenca del Río Reventado, varios técnicos nacionales y extranjeros convinieron en la idea de que era necesario tratar de estabilizar la Cuenca Superior del Reventado y sus tributarios, por medio de presas de control. También se pensó, por parte del consultor, que los deslizamientos más grandes se podían controlar favoreciendo el depósito de material de arrastre al pie de los taludes, por medio de la construcción de presas de control en el cauce del río.

Siguiendo en general estas ideas se empezaron a estudiar los sitios de presa en la Cuenca Superior del Río Retes; continuando el trabajo río abajo, se estudiaron los posibles sitios para cimentación de las presas, se analizaron las presas de gaviones propuestas, en fin, se efectuó el trabajo tal como fue descrito en los reportes No. 1 hasta No. 13

presentados con anterioridad.

Inclusive se llegó a empezar la construcción de las presas en las partes superiores del Río Retes; entonces se cambió el orden de prioridades de construcción, y se concentraron todos los esfuerzos en la construcción de presas de control al pie del talud del deslizamiento de Llano Grande.

Para ese entonces, el estudio de cimentaciones de los sitios de presa no había avanzado, desde arriba hacia abajo, según el orden original de prioridades, lo suficiente como para haber tenido listo el estudio de los sitios de Llano Grande; según la información que tengo, no se efectuó ningún estudio de cimentaciones detallado para las presas de Llano Grande, excepto que se tuvo siempre el cuidado de llevar los gaviones de cimentación a la roca, o a una capa que aparentemente parecía roca. En todo caso este punto de la cimentación de las presas de Llano Grande no fue decisivo para su destrucción, ya que la presa No. 6, que fue observada en varias oportunidades por el que suscribe durante su construcción y cuando fue terminada, quedó totalmente cimentada en roca, y sin embargo fue también destruida por la avenida de los últimos días de mayo. Sencillamente las presas no fueron capaces de detener el impetu de la creciente, especialmente no resistieron el poder erosivo de la masa heterogénea de material de arrastre de la creciente, que incluía piedras de hasta 5 metros de diámetro. Debido a la negativa del río de aceptar obras de control en su cauce, se presentan nuevas alternativas para el control de

los deslizamientos y la prevención de la formación de crecientes y avenidas de lodo.

### 7.3 Recomendaciones

#### 7.3.1 Prevención contra la formación de avenidas de lodo.

A este efecto, se insiste en la necesidad de continuar e intensificar los planes de zanjeo y resiembra, tal como había sido recomendado con anterioridad. Efecto que se logra: disminuir escorrentía; aumentar tiempo de concentración; disminuir erosión y arrastre de material superficial.

#### 7.3.2 Estabilización de los cauces en la Cuenca Superior.

Es de primordial importancia estabilizar esta zona de los Ríos Reventado, Retes y Pavas, ya que se tiene la evidencia de que el mayor volumen de material de arrastre proviene de estas zonas. A ese efecto se insiste en la construcción de presas de control de gaviones, tal como fue planteado en reportes anteriores, revisando su diseño para hacerlas de menor altura y tomando alguna precaución adicional para evitar la erosión al pie de la presa. Efecto que se logra: estabilizar los suelos de la Cuenca Superior; disminución del volumen de arrastre.

7.3.3 Deslizamiento de Prusia. Se estima que si se logra controlar la producción de avenidas en la Cuenca Superior, este deslizamiento se irá estabilizando poco a poco. Algunos de sus taludes han llegado ya a una

cierta inclinación estable (ángulo de reposo). Cada vez que esto suceda se deberá tratar de colocar limo orgánico con semillas o con pequeñas matas de zacate sobre los taludes así estabilizados, para disminuir la infiltración y erosión del agua de lluvia y proteger el talud.

Si se quiere efectuar trabajo de ingeniería adicional, éste consistiría en el estudio, localización e intercepción de aguas subterráneas, para así tratar de estabilizar la zona de falla del deslizamiento. Este estudio requiere trabajo adicional de perforación y topografía.

En general no se recomiendan soluciones a base de desvíos del río con construcción de presas masivas, por la incertidumbre que existe en cuanto a la producción de nuevos deslizamientos en el desvío, y en cuanto a la estabilidad de la presa misma.

#### 7.3.4 Deslizamiento del Retes.

Se insiste de nuevo sobre la solución propuesta con anterioridad, de efectuar ciertos movimientos de tierra para aliviar el talud en su parte más alta, y así también trasladar hacia el cauce del río en una forma ordenada y gradual, gran cantidad de material suelto e inestable que eventualmente iría a caer al río. Se llama la atención sobre el hecho de que todas las laderas expuestas se deberán cubrir con limo orgánico

y zacate, para evitar la erosión e infiltración del agua de lluvia.

Se deberá escoger una inclinación de talud que sea estable, para lo cual se deberán medir taludes adyacentes que estén en condiciones estables. Posiblemente por la altura del talud y su inclinación actual, el trabajo habrá que efectuarlo en terrazas.

#### 7.3.5 Deslizamientos del Pavas

Se recomienda efectuar únicamente labores de sellado de grietas, zanjas de contorno, y resiembra en estos deslizamientos.

#### 7.3.6 Deslizamiento de Llano Grande

Este deslizamiento es el de mayor magnitud y complejidad actualmente. Cualquier solución adicional necesita de mayor estudio. Específicamente se necesita topografía más detallada, cosa que se está realizando actualmente, y mayor información en cuanto a la presencia de aguas subterráneas en el área. Se recomienda que se localicen en el mapa todos los nacimientos de agua que existen; que se proceda por medio de tintes o sustancias adecuadas, a alimentar la perforación efectuada y que se observe en los nacimientos si aparece o no el agua así marcada. Una vez definido esto, y con la cooperación y asesoría de los geólogos que trabajan con la Oficina de Defensa Civil, se deberá proceder a localizar más sitios de perforación, que se deberán

ejecutar hasta encontrar el nivel de aguas.

También será necesario efectuar perforaciones en el propio deslizamiento para localizar el agua y la roca. Una vez con esta información, se podrá decidir si es factible interceptar y drenar el agua que alimenta al deslizamiento, o si más bien cabe la solución de dinamitar la zona de contacto o de resbalamiento, a fin de crear una superficie irregular de mayor resistencia a la fricción, y bajar la tabla de aguas. Mientras se ejecuta este trabajo adicional de estudio, las únicas medidas de control aplicables son la de sellado de grietas, construcción de drenajes y resiembra de las áreas afectadas por el deslizamiento, para evitar la erosión e infiltración del agua de lluvia.

#### 7.3.7 Medidas aplicables a todos los deslizamientos grandes.

Una vez que se tenga la certeza de que las medidas de control de la Cuenca Superior han surtido su efecto, en cuanto a la disminución de los volúmenes de material de arrastre y la frecuencia de las avenidas, se deberá tratar de fomentar el depósito de materiales al pie de los taludes por medio de la construcción de presas de control. Es de esperar que para ese entonces, se tenga un diseño mejorado de las presas de gaviones, y que el río acepte su construcción,

debido al efecto beneficioso de las obras de control en la Cuenca Superior.

Cuando esto suceda, creo que entonces sí se podrá hablar de la solución integral al problema de las avenidas del Río Reventado.