

5.- MEDIDAS PROPUESTAS PARA RESOLVER EL PROBLEMA

El origen del problema del Río Reventado puede dividirse en dos aspectos a saber:

- a) El desbalance hidrológico en la Cuenca Superior, producido por la caída de la ceniza volcánica y,
- b) La inestabilidad de algunos tramos del cañón del río, producida - por el incremento de caudales, resultado del desbalance hidrológico.

Como consecuencia final, el río transporta y deposita un gran volumen de material en la zona de sedimentación cercana a Cartago, durante las frecuentes avenidas características de este desbalance.

Por lo tanto la solución del problema debe comprender tanto medidas correctivas como defensivas.

- 1) Medidas correctivas: Que ataquen el origen mismo del problema. Básicamente incluyen: a) El restablecimiento - del balance hidrológico de la Cuenca Superior del Río Reventado, por medio de las zanjias a contorno, cuya construcción está finalizando y la siembra de pastos y arbustos resistentes a la acción - de la ceniza y b) La estabilización de los cauces de los ríos y - las áreas en deslizamiento.
- 2) Medidas defensivas: Que incluyen: a) El mantenimiento adecuado - del sistema de diques, b) El sistema de alertas, el cual deberá seguir funcionando hasta que se tenga la certeza de que el problema ha disminuido a un nivel seguro.

En el presente capítulo se suministran las recomendaciones - básicas para atacar el problema en su origen, que se espera con - tribuyan a aminorar el peligro para la ciudad de Cartago en una - forma apreciable. Sin embargo, debe quedar claro que las obras - de control de un río no ejercen su influencia con carácter instántaneo, sino que el factor tiempo deberá considerarse dentro de la solución. En otras palabras, que los beneficios de las obras re-
comendadas es este informe no podrán demostrar su efectividad completa, sino hasta algún tiempo después de haber sido terminadas.

En consecuencia, se recomienda darle un mantenimiento cuida-
doso a las obras defensivas de Cartago, de manera que todo esté -
preparado para hacer frente a posibles avenidas anormales durante
los inviernos de 1965 y 1966.

Una vez que las obras de control de la Cuenca Superior comienten a producir efectos, las avenidas originadas en esta zona traerán

menos materiales sólidos. Estas avenidas, al llegar a las cuencas media e inferior, serán capaces de poner en movimiento los depósitos de lodo y otros materiales dejados por las crecientes de 1964 y 1965. Mientras este proceso de limpieza se lleva a cabo, es posible que las avenidas originalmente de agua, se conviertan en crecientes de lodo.

Otro aspecto muy importante a considerar es que a pesar de las obras recomendadas en este informe, se podrán producir avenidas grandes motivadas por fenómenos meteorológicos extraordinarios, tales como las ocurridas en los años 1724, 1861, 1891, 1928 y 1951, que produjeron apreciables daños en la ciudad de Cartago, aún cuando - la Cuenca del Reventado estaba en un estado normal.

5.1 Restablecimiento del Equilibrio Hidrológico en la Cuenca Superior

El restablecimiento de la cobertura vegetal, es una de las medidas más importantes para resolver definitivamente el problema del Río Reventado. Se sabe que la vegetación es la responsable de modificar los factores que intervienen en la relación: precipitación - pérdidas de agua - escorrentía.

La vegetación intercepta una parte del agua de lluvia, la cual se deposita en las hojas y tallos constituyendo lo que se denomina - las pérdidas por intercepción. Las raíces de las plantas al perforar la superficie de la tierra, facilitan la infiltración del agua de lluvia, aumentando así las pérdidas y disminuyendo consecuentemente la escorrentía. Finalmente, los tallos de las plantas dificultan el movimiento de la escorrentía superficial por subdivisión del flujo, lo que aumenta tanto el efecto de la viscosidad -

del agua, como las áreas de fricción que se oponen al paso del agua. Este retardo del flujo superficial tiene una influencia importante en el aumento del tiempo de concentración. En resumen - la vegetación viene a aumentar las pérdidas de agua (intercepción e infiltración) y el tiempo de concentración, lo que se manifiesta como una esorrentía de menor volumen y de menor caudal pico. Por estas razones, en el informe preliminar (9), el I.C.E. recomendó la intensificación de los programas de siembra de especies resistentes a la ceniza, que está llevando a cabo el M.A.G.. En el presente informe se vuelve a insistir en la necesidad de dar prioridad en estos programas a la sub-cuenca de Retes la que ha demostrado en 1964, y en lo que va del año 1965, que es el área - en donde se producen las mayores avenidas del Río Reventado. Este informe acoge y recomienda el establecimiento de un plan general de manejo de la Cuenca Superior del Reventado, el cual incluye adquisición de algunos terrenos para reforestación, control de tipo y técnica de cultivo en otras áreas y alquiler de algunos terrenos, todo de acuerdo con estudios agrológicos que ha elaborado el M.A.G.. El programa de construcción de zanjias a contorno también fue apoyado en el informe anterior (9), pues las mismas han sido satisfactoriamente usadas en muchos países para controlar la esorrentía y la erosión superficiales. Su función es, básicamente, obli

(9) Op. cit.

gar al agua de lluvias a fluir encauzada por un canal de baja pendiente, en lugar de correr por las laderas hasta alcanzar los colectores naturales. En esta forma se aumenta, dentro de ciertos límites, el tiempo de concentración (*) y se disminuye la erosión superficial. Esto último, unido a la remoción de tierra y el camellón formado por la excavación, facilitan el arraigo de plantas. Se ha confrontado el problema, y se seguirá confrontando hasta que la cobertura vegetal no esté completamente restablecida, de que en la época seca la ceniza transportada por el viento se deposita en las zanjias; mientras que, durante la estación lluviosa, es el agua de lluvia la que la deposita. Esta situación obliga a un continuo trabajo de mantenimiento de las zanjias, a fin de que puedan cumplir su cometido.

A la fecha de escribir este informe, julio de 1965, el trabajo de zanjeo, está prácticamente concluido, limitándose este informe a recomendar el mantenimiento de las zanjias y a la revisión del sistema general, para ver si requiere un aumento del número y longitud de las mismas en ciertas áreas, especialmente de la sub-cuenca del Retes; y si es posible utilizar este tipo de zanjias para desviar aguas a otras cuencas vecinas no tan afectadas como la del Reventado, de acuerdo con el plan esquemático mostrado en la lámina 25.

(*) Nota: En general la efectividad de las zanjias a contorno es directamente proporcional a su longitud, e inversamente a la duración e intensidad de la lluvia.

5.2 Estabilización del Cauce

La inestabilidad de ciertos tramos del curso Superior del Río Reventado y sus tributarios Retes y Quebrada Pavas, es la responsable de que las avenidas violentas y frecuentes se conviertan en flujos de lodo, capaces de poner en movimiento grandes piedras y causar enormes daños por su poder erosivo, y su posterior sedimentación en la zona de Cartago.

En estos tramos, el río corre por suelos deleznable, formados principalmente por materiales laháricos (material heterogéneo compuesto de piedras y gravas en una matriz arcillo-limosa), o rocas lávicas muy alteradas. El incremento en la magnitud y frecuencia de las avenidas, efecto del desbalance hidrológico, produjo la socavación del cauce, con el consiguiente debilitamiento de los talúdes. Se cree que esta sea la causa principal de la formación de las grandes áreas inestables que han aparecido en la Cuenca Superior del Reventado, así como de los tramos más localizados, afectados por deslizamientos rotacionales en suelo o en roca. ("de rrumbes").

Para obtener una completa normalización, o control del Río Reventado, es necesario estabilizar todas estas áreas y tramos en deslizamiento, una vez que se haya logrado, en parte al menos, el restablecimiento de la cobertura vegetal.

Hasta la fecha, julio de 1965, no se ha encontrado un método mejor para producir la estabilización del cauce que por medio de presas de control, técnica que ha sido aplicada con buen éxito en diversos lugares del mundo. La presa de control cumple su función

en la siguiente forma:

- a) Creando un relleno al pie de los taludes que aumenta su estabilidad.
- b) Disminuyendo la pendiente del fondo del río.
- c) Aumentando el ancho del fondo del cauce.

Al colocar un relleno al pie de un talud inestable, la estabilidad del talud tenderá a aumentar, debido a que este sobrepeso se suma a las fuerzas que tratan de mantener la masa en equilibrio. Los factores b y c tienden a disminuir la velocidad del agua y la fuerza tractiva del río sobre el fondo y paredes del cauce, es decir, la capacidad erosiva de la corriente disminuye en forma apreciable. Además, al disminuir la velocidad del agua, el tiempo de concentración tiende a aumentar, reflejándose este hecho en la magnitud menor del pico de la creciente, producida por una tormenta dada.

En el informe preliminar del I.C.E. (9) se había recomendado la construcción de presas de control de 5 metros de altura sobre el cauce, sin embargo, de acuerdo con la experiencia obtenida con las presas que se construyeron en Llano Grande (*), las cuales se

(9) Op. cit.

(*) El 25 de mayo de 1965, una creciente de un alto caudal pico, afectó seriamente las seis presas que se estaban construyendo para estabilizar el deslizamiento de Llano Grande. En el Anexo F, se analiza todo lo relativo a este asunto.

rán analizadas en el Anexo F y las recomendaciones de la Casa -
Maccaferri de Bolonia, Italia (13), la altura máxima de las pre -
sas construidas sobre el fondo de cauces erosionables, no debe ex -
ceder los 4 metros. En vista de lo anterior, se recomienda el u -
so de 147 presas de 3 metros, en vez de las 105 de 5 metros, pro -
puestas en el informe preliminar del I.C.E. (9), para estabilizar
los tramos inestables de los Ríos Reventado, Retes y Pavas, según
la localización esquemática que se muestra en la lámina 26.

La construcción en el verano de 1967 (*) de esta serie de presas
de control en los cauces antes mencionados, está supeditada al -
buen éxito que se obtenga con un máximo de cuatro presas experi -
mentales que se recomienda construir en la época seca del año -
1966, sobre el ranal 27-35 del Río Retes, cerca del puesto 10 -
(ver lámina 26). El sitio propuesto reúne las siguientes condi -
ciones:

- 1) Area tributaria 2.46 Km². (la mayor que tendrán que soportar
las presas propuestas en este informe).
- 2) Relativamente buen acceso.

(13) Informe de la Casa Maccaferri de Bolonia, Italia, relativo
al problema del Río Reventado, contenido en nota del 12 de
junio de 1965, enviada a la Caribbean Export Import Co. de
San José, Costa Rica.

(9) Op. Cit.

(*) Si la operación de las 4 presas experimentales tiene éxito,
se recomienda construir 60 presas en el verano de 1967, 60
en el verano de 1968 y 23 en 1969, de acuerdo con las prio -
ridades que se indican en la lámina 26.

- 3) Estar sobre el Río Retes, el cual ha sido el más activo productor de avenidas.
- 4) Estar cerca de tramos muy inestables.

Ambos pares de presas deberán tener en común que la de aguas abajo estará cimentada en material de difícil erosión, para que mediante el relleno que se formará aguas arriba, sirva de sostén a la siguiente presa. Las características de diseño de las presas propuestas se suministran en los párrafos siguientes.

5.3 Estabilización de las áreas en deslizamiento

La estabilización de las grandes áreas en deslizamiento (Llano Grande, Prusia, Retes y Pavas I y II), es uno de los problemas de más difícil solución, en el complejo del Río Reventado.

Las medidas para el control del escurrimiento superficial (siembra y zanjas a contorno) y la estabilización de los cauces aguas arriba de los deslizamientos, serán de indudable beneficio para la estabilización de estas áreas, pues se logrará la disminución de los caudales y frecuencia de las destructoras avenidas que ocurren en la actualidad.

Aparte de las medidas anteriormente mencionadas de primordial importancia pero de beneficio indirecto, se debe continuar con el programa de sellado de grietas y control del agua superficial en todos los deslizamientos, tal como se está efectuando en Llano Grande y Prusia (ver foto 5-2) de acuerdo con las recomendaciones dadas por el I.C.E. a la Oficina de Defensa Civil. Se dan seguidamente algunas recomendaciones específicas para cada una de las áreas inestables.

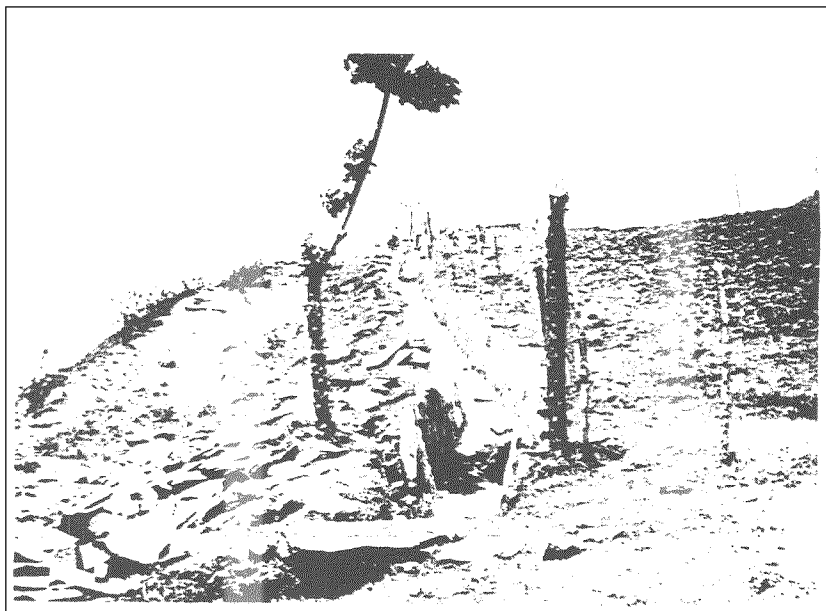


Foto No. 5-1

Construcción de una zanja para interceptar la escorrentía superficial, arriba del escarpe principal del deslizamiento de Llano Grande. (Foto I. C.E. del 14 de julio de 1965.)

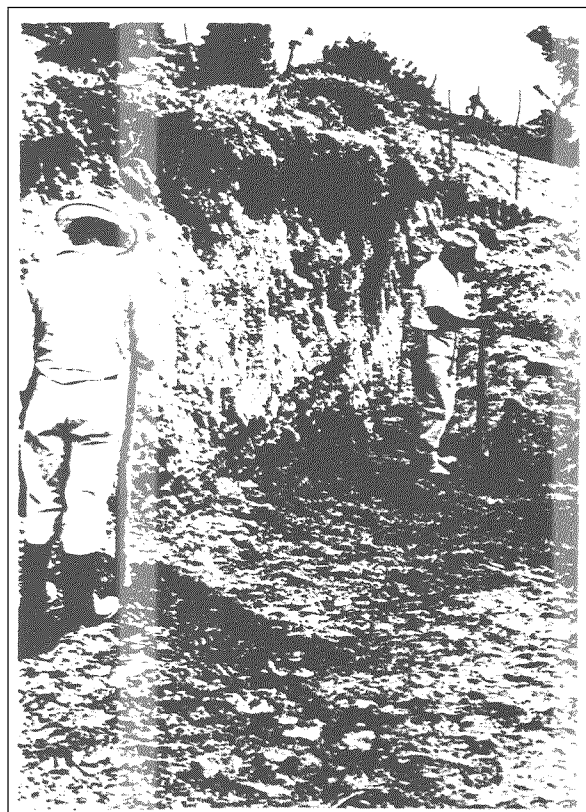


Foto No. 5-2

Sellado de grietas en el deslizamiento de Llano Grande, para impedir que el agua de lluvia se infiltre dentro de la masa inestable. (Foto I.C.E., del 14 de julio de 1965.)

5.3.1 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 kikuyo sobre los taludes así estabilizados, para disminuir la 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.

5.3.2 Deslizamiento de Retes

Se recomienda efectuar ciertos movimientos de tierra para aliviar el talud en su parte más alta, de acuerdo con el detalle suministrado en lámina C-2 (Anexo C), 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 provocada por el 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 de estabilidad. Posiblemente por la altura del talud y su inclinación actual, el movimiento de tierra debe hacerse en terrazas.

5.3.3 Deslizamientos de la Quebrada Pavas

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

5.3.4 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 profundizar 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 resi- siembra de las áreas afectadas por el deslizamiento, para evitar la erosión provocada por el agua de lluvia, trabajo que ya está en proceso y que se ejecuta de acuerdo con las recomendaciones del I.C.E.

5.4 Tipo Recomendado de Presa de Control

Al analizar los diferentes tipos de presa de control que podrían construirse en el Reventado, hubo que considerar los siguientes - factores:

- 1) Costo
- 2) Accesibilidad de los sitios
- 3) Disponibilidad de materiales cerca de la obra
- 4) Durabilidad de la obra
- 5) Tiempo de construcción
- 6) Tipo de personal requerido
- 7) Comportamiento de la estructura sobre la fundación
- 8) Acción del río sobre la estructura

Se analizaron, con base en los puntos anteriormente enumerados, presas de mampostería de piedra bruta, de hormigón pretensado, de hormigón chorreado en sitio, de troncos de árboles y de gaviones.

Las presas de mampostería de piedra bruta se desecharon por problemas de fundación, ya que podrían producirse asentamiento o socavación parcial, que harían fallar una estructura rígida como la mampostería. Las de hormigón pretensado se desecharon por el alto costo, y el gran peso que habría que movilizar a sitios prácticamente inaccesibles. Las de hormigón chorreado en sitio tenían en su contra el problema de fundaciones difíciles, transporte de materiales y costo. Las presas de troncos de árboles tienen como principal inconveniente la duración, ya que la madera estaría muy expuesta a la destrucción por los elementos atmosféricos. Finalmente se estudió la posibilidad de usar presas de gaviones, que consisten en canastas de malla metálica prismáticas rectangulares, llenas de piedra, y unidas entre sí para formar la estructura. Las ventajas de este tipo de material son las siguientes:

- 1) Facilidad de transporte: las canastas se transportan desarmadas, y se arman en el sitio o cerca del mismo; además, siendo su peso relativamente bajo, pueden llevarse prácticamente a cualquier sitio a donde el hombre pueda llegar.
- 2) Disponibilidad de materiales cerca de la obra: como los gaviones se llenan de piedra y ésta se encuentra abundantemente en el cauce del río, no habrá problema en el suministro de material de relleno.

En algunos sitios habrá que considerar acarreo de la piedra de unos 300 a 500 metros como promedio.

- 3) Tipo de personal requerido: como el trabajo consiste simplemente en armar, unir y llenar las canastas de alambre, puede ser ejecutado con mano de obra no especializada, por lo tanto fácil de conseguir, y a bajo costo. Sin embargo, se requiere una vigilancia estrecha por parte de capataces responsables e ingenieros inspectores que garantice la calidad y seguridad de la obra.
- 4) Comportamiento de la estructura sobre la fundación: como el material presente en el hecho del Reventado es inestable, en algunos tramos pueden llegar a presentarse asentamientos o alguna socavación limitada en la presa. Dadas las características de flexibilidad de los gaviones, éstos pueden asentarse dentro de ciertos límites sin poner en peligro la estabilidad de la estructura.
- 5) Tiempo de construcción: se considera que dada la simplicidad del sistema, puede llevarse a cabo el programa de construcción recomendado en el presente informe. Sin embargo, en vista de que la mayor parte del trabajo es manual, la autoridad encargada de efectuar estas obras deberá buscar un sistema que garantice el mejor rendimiento del personal.
- 6) Costo: tres aspectos se combinan para que sea ésta una estructura de costo razonable:
 - a) Facilidad de transporte
 - b) Que requiere únicamente mallas de alambre, alambre para hacer pegas, y la piedra.
 - c) El empleo de mano de obra no especializada (peones) para -

llevar a cabo la mayor parte de la construcción.

La duración de una presa de gaviones, aparte de la estabilidad desde el punto de vista del equilibrio de fuerzas, está determinada por la duración de la malla metálica que forma los gaviones. El alambre de esta malla, puede ser afectado por una corosión química producida por la acción del agua, del aire o por ambos, y por abrasión o sea por el efecto erosivo del material que el río arrastra. A efecto de poder evaluar la corrosividad del agua del Reventado, se han obtenido muestras cuyos análisis químicos se indican en la Tabla 5-1.

De los resultados obtenidos se deduce que las aguas de los ramales Retes y Pavas tienen una tendencia corrosiva moderada, y que el ramal Reventado tiene agua bastante corrosiva. Estas características del agua obligarán a usar alambre galvanizado de primera calidad en la construcción de los gaviones. La capa protectora de zinc debe pasar con buen éxito la prueba de rociadura con sal ("Salt Spray Test") de la ASTM, designación B 117-61 y soportar más de 200 horas de prueba, antes de fallar por corrosión.

En cuanto a la abrasión provocada por las piedras y partículas que el agua arrastre, se recomienda proteger los vertederos de las presas con una losa de concreto reforzado, de 25 cm. de espesor, la cual deberá llevar un blindaje de acero en el extremo vertedor según detalle que se suministra en la lámina 28. Así mismo será necesario inspeccionar y dar mantenimiento a las obras, con el fin de garantizar que las mismas tengan una duración adecuada.

T A B L A 5-1

ANÁLISIS QUÍMICO DE MUESTRAS DE AGUA PROCEDENTES DE LOS TRES

RAMALES PRINCIPALES DE LA CUENCA SUPERIOR DEL RÍO REVENTADO *

DETERMINACIONES EFECTUADAS	SITIO DE RECOLECCION		
	Río Reventado, paso del camino Sabanilla - Saborio	Río Retes, paso del camino a Sabanilla	Quebrada Pavas, 50 metros aguas arriba del Puesto 2
Alcalinidad al anaranjado de metilo (mg/l)	2.0	20.0	26.0
Calcio (mg/l)	81.2	40.0	27.0
Cloruros (mg/l)	132.0	62.9	67.8
Dureza total (como Ca CO ₃) (mg/l)	323.0	160.0	112.5
Dureza de carbonatos (mg/l)	2.0	20.0	26.0
Dureza de no carbonatos (mg/l)	321.0	140.0	86.5
Dureza de calcio (mg/l)	203.0	100.0	67.5
Dureza de magnesio (mg/l)	120.0	60.0	45.0
Magnesio (mg/l)	16.8	14.4	10.8
Sólidos disueltos (mg/l)	668.0	383.0	225.0
PH	5.2	7.45	7.10
PH _g (contacto con mármol)	6.2	7.65	7.70
Índice de corrosión	- 1.00	- 0.20	- 0.60
Índice de Langelier	- 4.28	- 1.20	- 1.50

Notas: Estos análisis químicos fueron efectuados por el Laboratorio Central del Servicio Nacional de Acueductos y Alcantarillados (S.N.A.A.)

(*) Muestras recogidas el 24 de noviembre de 1964

El alambre utilizado en las canastas, deberá tener alta resistencia a la tracción y no deberá ser de diámetro inferior al No. 10 A.W.G. (2.6 mm.), y el tejido de las celdas o agujeros no mayores de 10 cm. de diagonal, hecho en forma tal, que la misma no se abra por falla de una o varias celdas.

5.4.1 Criterio para el Diseño de las Presas de Gaviones

Como se indicó anteriormente, una de las principales características de la presa de gaviones es su flexibilidad, que le permite, dentro de ciertos límites, deformarse sin destruirse, asentándose diferencialmente, si los esfuerzos o socavación así la obligan. Sin embargo, el análisis de estabilidad se realiza considerando la estructura como una presa de gravedad rígida, sujeta a las fuerzas externas usuales en tales diseños.

Las presas a usarse en el Río Reventado, merecen cuidadosas consideraciones, dadas las características del flujo de lodo, que incluye no sólo altos caudales de un fluido con una densidad promedio de 1.5, si no también el transporte de piedras de diámetro considerable (4 a 5 metros - en el paso del deslizamiento de Llano Grande), y material sólido de todas los diámetros, que imparten a la avenida un poder erosivo muy alto.

El transporte de piedras obliga a diseñar las presas con el paramento aguas abajo vertical, para evitar que, si el mismo tuviera la forma lógica, las piedras destruyan la malla.

Por el mismo motivo, se requiere que a las presas se les construya aguas arriba un relleno debidamente compactado, el -
cual tiene por objeto evitar el impacto directo de las gran-
des piedras sobre el paramento de aguas arriba. De acuerdo
con lo observado en el deslizamiento de Llano Grande (Ver -
Anexo F), en la primera avenida de regular magnitud, el río
es capaz de formar estos rellenos, los cuales aunque de apa-
riencia estable, debido a su origen, granulometría y conteni
do de agua, se reincorporan al flujo de las avenidas subsi -
guientes, dejando el paramento de aguas arriba expuesto al -
impacto y abrasión de los materiales transportados, y ejer -
ciendo sobre la presa una presión estática de un líquido de
una alta densidad. Lo anteriormente expuesto, viene a refor-
zar la necesidad de construir el relleno aguas arriba de las
presas debidamente compactado, y a definir el criterio de di
seño, en cuanto a la fuerza externa que actúa sobre la presa.
De acuerdo con lo anterior, se supondrá que la única fuerza
externa que se opone a la estabilidad, es la producida por -
la avenida de diseño actuando sobre toda la presa, con una -
densidad media de 1.5. Aunque en la realidad este es un crite-
rio bastante severo, podría suceder que durante la construc
ción de las presas se presentara alguna avenida, sin haberse
concluido el relleno, situación ésta que la expondría a la -
presión de diseño. Una vez consolidado el relleno de aguas
arriba, la condición es mucho más favorable que la prevista
en los cálculos.

La otra fuerza que interviene es el peso propio de la estructura; la mayoría de la piedra disponible en el cauce del Reventado y sus tributarios proviene de lavas andesíticas, las cuales presentan porosidad variable lo que obliga a usar valores para peso unitario seco relativamente bajos. Con base en los datos disponibles, este valor debe ser igual a $1,400 \text{ Kg/m}^3$. Como parte de la presa va a estar sumergida, y la otra seca, o en parte saturada, se considera para simplificar el diseño, que usando un peso de $1,200 \text{ Kg/m}^3$, se involucran todas las condiciones anteriormente indicadas.

Como se explica en el Anexo E, se llevó a cabo un experimento para determinar el coeficiente de fricción entre gavión y base de arcilla saturada; el valor obtenido de este experimento es de 0,75, por lo que se considera adecuado usar 0,50 como coeficiente de fricción de trabajo, en el caso de fundación en roca y otros materiales, que representan una condición más favorable.

Las presas se diseñaron por secciones de arriba a abajo, cada una de las cuales debe ser estable contra volcamiento y deslizamiento. Adicionalmente, se considera necesario que ninguna parte de la presa esté sujeta a tracción por lo que la resultante de todas las fuerzas, debe quedar dentro del tercio medio de la base de cada una de las secciones. Al llegar a la base misma de la presa, es necesario revisar la presión de ésta sobre el suelo, de manera que no se sobrepase su esfuerzo permisible.

5.4.2 Disposición de las Presas en el Terreno

De acuerdo con la experiencia obtenida en Llano Grande y las recomendaciones de la Casa Macafferri (13), las presas a cimentar sobre terreno fácilmente erosionable, deben tener de 3 a 4 metros como máximo fuera del terreno, y a la vez, estar en terrazas 2.00 metros como mínimo. Por lo tanto, en el caso del Reventado, se recomienda el uso de presas de 3.00 metros de altura fuera del terreno, y 2.00 metros de empotramiento en la base.

El espaciamiento de las presas debe ser tal que la pendiente que el relleno forme, sea inferior al 6 por ciento. Esta pendiente es la llamada "pendiente de compensación", y es función inversa del área tributaria y directa del diámetro del material transportado.

Con el fin de proteger el pie de la presa de la socavación, es necesario construir una contrapresa, situada a unos 3 metros aguas abajo de la misma, y de altura suficiente para -- que su vertedor quede sobre la horizontal que pasa por el pie de la presa (Ver lámina 23).

En la lámina 26, se muestra la disposición esquemática, en planta y perfil, de las 147 presas propuestas. En los archivos del I.C.E., están disponibles ocho láminas, escala 1:1000, que muestran la ubicación de las presas, en planta y

(13) Op cit.

perfil, referidas a la topografía general de la Cuenca Superior del Río Reventado.

5.5 Alternativas Estudiadas

Antes de optar por la solución propuesta en este informe, el I.C.E. estudió diversas alternativas, incluyendo las presentadas por organismos y personas interesadas en el problema y las ideadas por funcionarios de la Oficina del I.C.E., encargada de los estudios del Río Reventado.

Todas estas alternativas tenían un aspecto fundamental en común: Todas proponían el desvío del río. Diferían únicamente en la ubicación del punto de desvío y en la ruta y destino de los caudales desviados.

Dos alternativas que fueron estudiadas en detalle, merecen especial mención: la presentada por la firma consultora norteamericana Reynolds, Smith and Hills de Florida, que realizó el estudio de la situación de Cartago, para la USAID. En su informe (14), aparte de las obras defensivas de Cartago, las cuales ya fueron ejecutadas en su mayor parte con base en los planes incluidos en el mismo, se propone el desvío del ramal Reventado inmediatamente después del deslizamiento de Prusia (Ver ubicación de este deslizamiento en la lámina 1), hacia la quebrada Sanatorio, tributaria del Chinchilla, el cual une sus aguas al Río Agua Caliente, con el nombre

(14) Preliminary Engineering Report for Cartago Flood Control Project, Cartago, Costa Rica. (Jacksonville, Florida, U.S.A.: Reynolds, Smith and Hills, reporte preparado para la USAID, Costa Rica, agosto 1964).

de Río Barquero, unos 3 kilómetros al S.E. de la ciudad de Cartago. Este desvío, se analiza en detalle en el informe preliminar del I.C.E. (9).

El otro proyecto de desvío que mereció también cuidadoso estudio, fue el presentado por los distinguidos profesionales Ings. Alejandro Vargas S. y el Dr. Arnoldo Garro Jiménez, a nombre del Club Rotario de Cartago (9). En esencia la idea es similar a la del anterior desvío, es decir, interceptar el Río Reventado aguas abajo del deslizamiento de Prusia, pero aguas arriba de la junta con el Retes, y conducirlo hacia el Río Agua Caliente pasando al este de la ciudad de Cartago. Este proyecto requería la construcción de un canal de cerca de 2 kilómetros para unir el Río Reventado con el Río Yerbabuena (llamado luego Quebrada Cañada y Río Taticú más abajo); del Taticú habría un desvío hacia la Quebrada Martínez y un último hacia el Río Blanquillo, el cual desemboca en el Río Agua Caliente, a unos 3.5 kilómetros al S.E. de la ciudad de Cartago. Ambas alternativas fueron propuestas antes de que se tuvieran datos sobre el origen de las avenidas del Río Reventado, pues la primera de ellas fue estudiada a mediados del año 1964, y la segunda en marzo de ese mismo año. De acuerdo con este registro, en el año 1964 el 74 por ciento de las avenidas de más de 3.0 metros de altura en el puesto 2, se originaron exclusivamente en el Río Retes, -

(9) Op. cit: Páginas 29-41

por lo que ninguno de los desvíos propuestos hubiera evitado la llegada de estas crecientes a Cartago. Las restantes avenidas se originaron en parte en el Río Reventado y en los otros Ríos Retes y Pavas, por lo que en tales oportunidades, los desvíos propuestos hubieran sido parcialmente efectivos.

Después de llevar a cabo el análisis exhaustivo de estos dos proyectos, incluido en el informe preliminar del I.C.E. (9), se llegó a concluir que las estas propuestas no eran convenientes, por las siguientes razones:

- 1) Ha quedado demostrado que con los desvíos propuestos, no se elimina la posibilidad de que continuen llegando a Cartago avenidas de lodo similares a las que se han estado presentando en 1963, 1964 y 1965.
- 2) Existe el peligro de que al llevar a cabo obras de desvío como las propuestas, se presenten en la zona situada al este de Cartago, problemas similares a los que en actualidad confronta Taras.
Si esto llegara a suceder se perjudicaría enormemente la economía de la nueva zona afectada, y el Estado se vería obligado a cubrir indemnizaciones cuyo monto será difícil de estimar.
- 3) Adicionalmente, el problema del Río Reventado en Taras, estaría prácticamente igual, existiendo por lo tanto dos zonas de peli-

(9) Op. cit: Páginas 29-41

gro en vez de una.

Dentro de las alternativas estudiadas para estabilizar los deslizamientos los ingenieros del I.C.E., analizaron las posibilidades de desvíos internos dentro de la Cuenca Superior del Reventado, a fin de evitar el paso de altos caudales por las áreas más inestables. La topografía abrupta y la naturaleza deleznable de los suelos, hacen de alto costo y riesgo la construcción de canales dentro de la Cuenca misma, por lo que estas alternativas fueron desechadas. Con este mismo objetivo, se estudiaron presas altas de control al final de los deslizamientos de Prusia, Retes y Llano Grande, pero las mismas tendrían que ser de más de 30 metros de alto para surtir algún efecto, lo que las convierte en estructuras de alto costo y largo tiempo de construcción, expuestas siempre al gran poder erosivo de las grandes avenidas.

Como alternativa a la construcción de las presas de control en el ramal Reventado, el I.C.E. consideró la propuesta por el Ing. Robert Harris (15), de la Junta de Asistencia Técnica de las Naciones Unidas, que consistía en regular la escorrentía superficial, en la parte superior de la sub-cuenca del Reventado, mediante la construcción de un dique de unos 440 metros de largo, en una depresión natural conocida como la Laguna del De

(15) Harris, Robert V.: Current Status of the Irazu Emergency Remedial - Programme and Recommended Treatment of Soil Problems, (San José, Costa Rica: I.C.E., noviembre 1964).

rrumbe, lo que crearía un embalse regulador de 400,000 m³ de volumen útil. A parte de que la regulación sería sólo sobre un área tributaria de 1.80 Km², estudios de reconocimiento de suelos de fundación, indican que los mismos son inadecuados por su alta permeabilidad y poca resistencia.