

3.- INFORMACION BASICA OBTENIDA

Tanto para comprender los fenómenos que están sucediendo en el Río Reventado, como para poder llevar a cabo el diseño de las diferentes obras que se requieren para controlarlo, fue necesario obtener información hidrológica, topográfica y geológica, así como conocimiento sobre las características de los materiales que son transportados por sus aguas.

A continuación se hace un resumen de la información básica obtenida hasta la fecha, la cual se clasifica en:

- 1) Información topográfica
- 2) Datos sobre precipitación pluvial
- 3) Niveles del río
- 4) Sedimentos
- 5) Estudios geológicos
- 6) Estudios de suelos
- 7) Hidrología

3.1 Información topográfica

Del Instituto Geográfico de Costa Rica se obtuvo la siguiente información:

- a) Mapa "Istarú" - Escala 1:50, 000; con curvas de nivel cada 20 metros (*)
- b) Mapa de toda la cuenca del Reventado - Escala 1:15,000, - con curvas de nivel cada 10 metros (*)

(*) Basado en fotografías aéreas tomadas en 1956 y 1957 por el Servicio Geodésico Interamericano, a 30,000 pies de elevación.

- c) Mapa de la Cuenca Superior del Reventado - Escala 1:10,000 con curvas de nivel cada 10 metros (*)
- d) Fotografías aéreas de la zona, tomadas en 1963 y 1964 a - 10,000 metros de elevación.

Además, la Oficina de Control de Ríos del I.C.E., con la cooperación de la Oficina de Estudios Básicos de esta Institución y de la Oficina de Defensa Civil, ha llevado a cabo los siguientes levantamientos topográficos en la Cuenca Superior del Río Reventado.

- a) Deslizamiento de Prusia
- b) Deslizamiento de Retes
- c) Deslizamientos de Pavas (I y II)
- d) Deslizamiento de Llano Grande

De estos deslizamientos se obtuvo planimetría y niveles, con secciones transversales cada cien metros aproximadamente, en sentido longitudinal y perpendicular a la dirección del río.

Se dejaron monumentos de referencia en los deslizamientos mencionados, que permiten medir la magnitud y dirección de sus movimientos.

Con la colaboración de la Sección de Geología de la Oficina de Defensa Civil, en 1964 se llevó a cabo ese control, diariamente durante la estación lluviosa y semanalmente durante la estación seca.

Este control se continuó semanalmente por medio de triangulaciones de tercer orden en 1965.

- e) Río Reventado y sus afluentes aguas arriba del deslizamien-

(*) Basado en fotografías aéreas tomadas en 1956 y 1957 por el Servicio Geodésico Interamericano, a 30,000 pies de elevación.

to de Prusia, hasta la elevación 2350 m.s.n.m., con secciones transversales y perfiles cada cincuenta metros, aproximadamente.

- f) Río Reventado entre los deslizamientos de Prusia y Llano Grande, con secciones transversales y perfiles cada 50 metros aproximadamente.
- g) Río Retes, y sus principales tributarios aguas arriba de la Junta con el Reventado, hasta la elevación 2350 metros aproximadamente, con secciones y perfiles cada 50 metros.
- h) Levantamiento de 92 sitios de las presas de control en las zonas inestables de los Ríos Reventado, Pavas, Retes y sus respectivos afluentes, habiéndose dejado monumentos de referencia para su futura relocalización. (*)

Todos estos levantamientos están ligados vertical y horizontalmente a los hitos del Instituto Geográfico de Costa Rica.

Adicionalmente, se han dejado monumentos de concreto de manera que cualquier estudio, ya sea topográfico, geológico o de suelos, pueda referirse a la topografía general.

La Tabla 3-1 resume el trabajo topográfico efectuado, el cual está disponible en los archivos del I.C.E., en forma de 36 láminas, escala 1:1000, que cubren 1 Km.² cada una, de acuerdo con el índice que se muestra en la lámina 3.

(*) Nota: estos sitios corresponden a las presas propuestas en el Informe Preliminar del I.C.E., sobre el problema del Río Reventado.

TABLA 3-1

RESUMEN DE LOS LEVANTAMIENTOS TOPOGRAFICOS REALIZADOS EN
LA CUENCA SUPERIOR DEL RIO REVENTADO

Río	Longitud levantada (m.)	Sitios de presa de Control levantados (*)
Reventado	10,925	31
Retes	10,745	29
Pavas	960	-
TOTAL	22,630	60

Deslizamiento	Area en M. ²	Sitios de presa de control levantados (*)
Prusia	224,690	8
Retes	119,630	12
Llano Grande	412,850	6
Pavas (I)	30,010	5
Pavas (II)	14,180	1
TOTAL	801,360	32

3.2 Datos sobre precipitación Pluvial

Además de las estaciones que el Servicio Meteorológico Nacional - (S.M.N.) tenía en operación cerca de la cuenca del Río Reventado, se establecieron otras para formar una red capaz de suministrar:

(*) Nota: Corresponden a los sitios de las presas de 5 metros, propuestas en el Informe Preliminar del I.C.E.

- a) Datos para el sistema de alertas
- b) Datos básicos para el estudio de posibles soluciones al problema.

En la lámina 4 se muestra la localización de estas estaciones (Ver foto 3-1).

En la Tabla 3-2 aparece la lista de las veintitrés estaciones medidoras de lluvia que forman esta red.

Obsérvese en dicha tabla que antes del inicio de la emergencia actual no habían estaciones dentro de la Cuenca Superior del Río Reventado. La estación más cercana era la del Sanatorio Durán, situada en el extremo sureste de la misma.

De las veintitrés estaciones que integran actualmente la red en la cuenca del Río Reventado, ocho son de registro automático, y quince pluviométricas. Nueve están ubicadas dentro de la cuenca y catorce en puntos cercanos. La más alejada es la de Pacayas, que se encuentra a una distancia de nueve kilómetros al este del borde oriental de la cuenca, que es su vez la que tiene el mayor número de años (10 años) con registro pluviográfico.

La estación del Sanatorio Durán, a una elevación de 2337 m.s.n.m., es la que tiene el mayor número de años de observación pluviométrica, ya que cuenta con 21 años y 8 meses de lecturas diarias ininterrumpidas. En la operación de estas estaciones colaboran: la Guardia Civil, destacada en los puestos de vigilancia, observadores voluntarios, observadores del Servicio Meteorológico Nacional y observadores del I.C.E.. El mantenimiento de las estaciones instaladas en los puestos de vigilancia, Pacayas y Avance está a cargo del Servicio Meteorológico Nacional. Las trece estaciones restantes son mantenidas en operación por el I.C.E.

T A B L A 3-2

ESTACIONES MEDIDORAS DE LUBVIA DE LA CUENCA DEL REVENTADO Y ALREDEDORES

ESTACION	Tipo	Elevación en Metros sobre nivel del mar	LOCALIZACIÓN		Fecha de Instalación	Registro Disponi- ble (al 30 de Ju- nio de 1965)
			Coordenadas N	Geográficas W		
1)	Puesto 1	Pluviógrafo	2200	9° 58' 04"	83° 55' 31"	Abril 1964 1 año 3 meses
2)	Puesto 2	Pluviómetro	2190	9° 56' 09"	83° 53' 50"	Abril 1964 1 año 3 meses
3)	Puesto 3	Pluviógrafo	2720	9° 56' 52"	83° 59' 16"	Abril 1964 1 año 3 meses
4)	Puesto 4	Pluviómetro	3320	9° 50' 42"	83° 50' 56"	Abril 1964 1 año 3 meses
5)	Puesto 5	Pluviómetro	2220	9° 58' 05"	83° 55' 31"	Junio 1964 1 año
6)	Retes No. 1	Pluviómetro	2950	9° 53' 09"	83° 53' 29"	Agosto 1964 11 meses
7)	Puesto 6	Pluviómetro	1970	9° 59' 14"	83° 57' 32"	Octubre 1964 8 meses
8)	Puesto 8	Pluviómetro	1590	9° 55' 04"	83° 57' 14"	Noviembre 1964 8 meses
9)	Puesto 10	Pluviógrafo	2550	9° 57' 18"	83° 53' 08"	Mayo 1965 1 mes
10)	Retes No. 2	Pluviógrafo	2950	9° 53' 09"	83° 53' 29"	Octubre 1964 10 meses
11)	Laguna	Pluviómetro	2847	9° 57' 46"	83° 52' 17"	Agosto 1964 11 meses
12)	Cañada	Pluviómetro	2560	9° 57' 20"	83° 54' 16"	Agosto 1964 11 meses
13)	Chilca	Pluviómetro	3150	9° 57' 43"	83° 51' 35"	Agosto 1964 11 meses
14)	Llano Grande	Pluviómetro	2280	9° 56' 23"	83° 54' 22"	Agosto 1964 11 meses
15)	Avance	Pluviómetro	2020	9° 56' 27"	83° 56' 31"	Enero 1951 14 años 4 meses
16)	Sanatorio	Pluviómetro	2357	9° 56' 03"	83° 52' 08"	Noviembre 1943 21 años 8 meses
17)	Tierra Blanca	Pluviógrafo	2337	9° 56' 08"	83° 52' 03"	Setiembre 1963 1 año 10 meses
18)	Banderrilla	Pluviógrafo	2070	9° 54' 57"	83° 53' 24"	Agosto 1964 11 meses
19)	Río Seco	Pluviómetro	1910	9° 54' 20"	83° 54' 43"	Agosto 1964 11 meses
20)	Cot	Pluviómetro	1770	9° 53' 50"	83° 54' 37"	Setiembre 1964 10 meses
21)	Quircol	Pluviómetro	2760	9° 53' 52"	83° 52' 36"	Agosto 1964 11 meses
22)	Cartago	Pluviómetro	1480	9° 53' 25"	83° 55' 44"	Setiembre 1964 10 meses
23)	Pacayas	Pluviógrafo	1435	9° 51' 48"	83° 55' 19"	Mayo 1959 6 años 2 meses
			1735	9° 55' 03"	83° 53' 22"	Enero 1955 10 años 6 meses

- Notas: a) Estación instalada por el I.C.E. para recoger datos para el estudio del Río Reventado
b) El pluviógrafo fue instalado por el I.C.E. para estudios de proyectos hidroeléctricos
c) Estación instalada por el S.M.N. para la presente emergencia
d) Estación instalada por el S.M.N. para estudios climatológicos
e) Se trasladó al puesto 9 (Banderrilla) a partir del 12 de enero de 1965
f) Véase la ubicación de estas estaciones en Lámina 4.

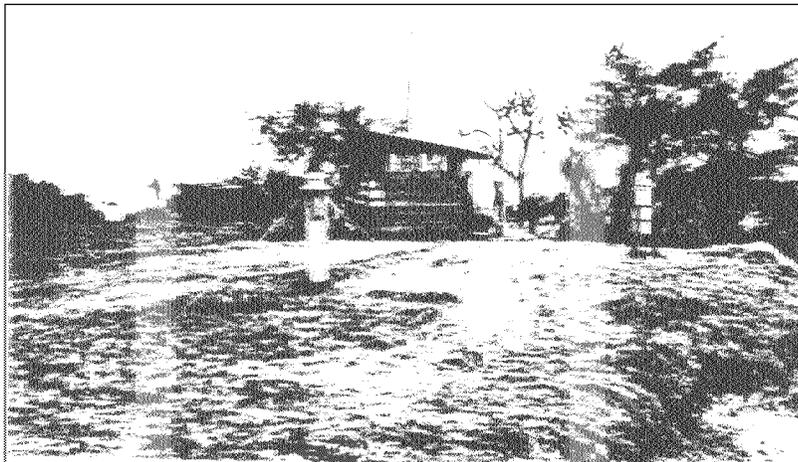


Foto No. 3 - 1

Puesto 3, en la margen izquierda del río Reventado, frente al deslizamiento de Prusia. Obsérvense el pluviógrafo y el pluviómetro. (Foto del I.C.E. del 11 de mayo de 1965.)



Foto No. 3 - 2

Equipo de torno y contrapeso para la determinación de niveles del río Reventado, instalado por el I.C.E. en el puesto 2 - Llano Grande. (Foto I.C.E. del 27 de mayo de 1965.)

Para tener idea general sobre la precipitación media anual en la cuca superior del Río Reventado, se utilizó la información recogida por la estación del Sanatorio Durán a través de sus 21 años de existencia, y la registrada en las estaciones de Puesto 2, Puesto 4, Chicoá, Laguna y Retes en los años 1964 y 1965. Con la información mencionada y siguiendo el método de correlación descrito en el anexo sobre Hidrología, se obtuvo el plano de isoyetas de la precipitación media anual sobre la Cuenca Superior que se muestra en la lámina 18, la cual indica un promedio de 1,600 m.m. por año.

La información sobre la lluvia ocurrida durante las tormentas más importantes del año 1964, observada en las mismas estaciones medidoras de lluvia, ha permitido estimar los volúmenes de escorrentía directa de las avenidas del Río Reventado. Esta información, mediante el método que se describe en el Anexo D, ha sido empleada para calcular una curva de descarga del Río Reventado en el Puesto 2. Con base en los diez años de registro gráfico de Pacayas, se han obtenido las relaciones intensidad de lluvia, frecuencia y duración. Como no había una información de lluvia más adecuada, se consideró que una tormenta de una posible ocurrencia de una vez en 50 años en Pacayas, podría cubrir toda la Cuenca Superior del Reventado, dando origen en esta forma, a la avenida de diseño para las obras de control de este río, la cual fue calculada mediante hidrógrafos triangulares del "U.S. Soil Conservation Service". Esta determinación se analiza con detalle en el Anexo D.

3.3 Niveles del río y caudales

3.3.1 Estaciones medidoras de niveles

Para llevar a cabo una estimación de los caudales que pasan por el Río Reventado, y otros ríos cercanos afectados por la cení -

za volcánica, se han instalado, por parte de la Oficina de Defensa Civil - del Gobierno Central, y del I.C.E. once puestos de observación. De estos once puestos, dos están equipados con dispositivos automáticos de medición que permiten obtener cartas fluviográficas, y nueve son estaciones de lecturas de escala por medio de observadores (estaciones fluviométricas). Las estaciones fluviográficas se encuentran en los ríos Agua Caliente y Purires. No se han instalado estaciones fluviográficas en el propio Río Reventado debido a que el lodo que fluye por su cauce no les permitiría funcionar correctamente. Las nueve estaciones fluviométricas están distribuidas así: cuatro en el Río Reventado, una en el Río Taras, una en el Río Tiribí, una en el - Río Durazno, una en el Río Chiquito y otra en el Río Virilla.

En la lámina 4 aparece la localización de los once puestos de observación, cuya lista se da en la Tabla 3-3.

En las estaciones fluviográficas de Purires y Agua Caliente, y en la - fluviométrica del Río Taras, se han venido haciendo mediciones periódicas - con el fin de trazar las respectivas curvas de descarga. Desde la instalación de esas estaciones, a principios de octubre de 1964, hasta el 30 de junio del año 1965, se han efectuado un total de 219 aforos, distribuidos así:

Río Agua Caliente	87	aforos
Río Purires	90	aforos
Río Taras	42	aforos
Total	219	aforos

La instalación de estas tres estaciones se hizo con el objeto de medir por diferencia el caudal del Río Reventado, la única forma que parecía viable; sin embargo, como se observa en la lámina 4, la medición obtenida co -

T A B L A 3-3

ESTACIONES DE MEDICION DE NIVELES DEL RIO REVENTADO Y RIOS CERCANOS

ESTACION	Río	Tipo	Elevación M.S.N.M.	LOCALIZACION		Fecha de Instalación
				Coordenadas N	Geográficas W	
Puesto 3 b)	Reventado	Fluviométrica	2690	9° 56' 49"	83° 52' 17"	Abril 1964
Puesto 2 b)	Reventado	Fluviométrica	2160	9° 56' 05"	83° 53' 49"	Abril 1964
Banderrilla b)	Reventado	Fluviométrica	1800	9° 54' 30"	83° 54' 38"	Octubre 1964
Puesto 10 b)	Retes	Fluviométrica	2590	9° 57' 18"	83° 53' 08"	Mayo 1965
Agua Caliente a)	Agua Caliente	Fluviográfica	1340	9° 50' 22"	83° 55' 27"	Octubre 1964
Taras a)	Taras	Fluviométrica	1457	9° 53' 02"	83° 56' 09"	Octubre 1964
Purires a)	Purires	Fluviográfica	1380	9° 50' 26"	83° 56' 26"	Setiembre 1964
Puesto 1 b)	Tiribí	Fluviométrica	2160	9° 58' 04"	83° 55' 31"	Abril 1964
Puesto 5 b)	Durazno	Fluviométrica	2200	9° 58' 09"	83° 55' 30"	Abril 1964
Puesto 6 b)	Virilla	Fluviométrica	1970	9° 59' 14"	83° 57' 32"	Octubre 1964
Puesto 8 b)	Chiquito	Fluviométrica	1590	9° 55' 04"	83° 57' 14"	Octubre 1964

- a) Estación instalada por el I.C.E. para el estudio del problema del Río Reventado
- b) Puesto de Vigilancia instalado por la Oficina de Defensa Civil como parte del sistema de alertas.
- c) La ubicación de estas estaciones aparecen en Lámina 4.

responde al flujo del Reventado que sale del área de sedimentación.

Como las avenidas se originan en la Cuenca Superior, interesa mucho el caudal de la creciente al final de la misma, o sea en el Puesto 2; el caudal después del área de sedimentación no sólo manifiesta un atraso grande en el tiempo, si no también una disminución apreciable, debido principalmente a la pérdida de material por sedimentación y al amortiguamiento de la onda producido, tanto por el cauce del río como por el área de sedimentación.

3.3.2. Caudales del Río Reventado en el Puesto 2.

Se consideró de mucha importancia la determinación de la magnitud de los caudales de las avenidas del Río Reventado, tanto para el diseño de las obras de control del río y de defensa de la ciudad de Cartago, como para evaluar la efectividad de los trabajos de zanjeo y resiembra efectuados en la Cuenca Superior.

Se escogió el Puesto 2 como punto de medición de caudales, por estar situado al final de la Cuenca Superior, o sea después de la unión de los ríos Retes, Reventado y Pavas, quedando siempre a una distancia prudencial de la ciudad de Cartago.

Debido al alto contenido de detritos, troncos y piedras, fue imposible pensar en instalar una estación de registro automático de niveles. Por lo tanto hubo que recurrir a las lecturas de niveles realizadas por personal de la Guardia Civil destacado en el Puesto 2. Estas lecturas se hacían sobre marcas pintadas cerca del bastión derecho del Puente de la carretera Llano Grande-Tierra Blanca, hoy destruido. Actualmente estas mediciones se realizan mediante un torno de contrapeso, el cual indica en un contador, el nivel de la superficie del agua en el momento de la determinación.

El mismo problema de transporte de sólidos impidió determinar caudales mediante mediciones con molinete, que permitieran establecer la curva de descarga para el sitio. Por lo tanto fue necesario recurrir a dos métodos indirectos que tomaban en cuenta la precipitación pluvial y el contenido de sólidos. Uno de ellos se basa en el hidrógrafo unitario triangular del "U.S. Soil Conservation Service". Y el otro en considerar que el volumen de precipitación escurrido en una tormenta dada, más el sedimento transportado, es igual al volumen involucrado en el gráfico de niveles de la avenida producida por esa tormenta.

En el anexo sobre Hidrología, se analizan en detalle los dos métodos mencionados anteriormente. Estos dos métodos sirvieron de base para obtener la curva de descarga mostrada en la lámina 15. Por medio de esta curva se calcularon los caudales de las principales avenidas del Río Reventado, ocurridas en el año 1964, cuyos caudales pico se suministran en la Tabla 3-4.

TABLA 3-4

CAUDALES PICO DE LAS PRINCIPALES AVENIDAS (a) DEL RIO REVENTADO OCURRIDAS DURANTE EL AÑO 1964

Estación: Puesto 2 (Llano Grande)

<u>Avenida del:</u>	<u>Altura Pico m.</u>	<u>Caudal Máximo (b) m³/Seg.</u>
11 de junio	8.5	268
15 de junio	3.0	57
23 de junio	3.2	252
30 de junio	4.6	101
7 de julio	6.1	154
8 de julio	4.3	92
13 de julio	4.0	83
21 de julio	7.0	193
24 de julio	6.1	154
25 de julio	3.0	57

(Continua)

(Continuación Tabla 3-4)

Avenida del:	Altura Pico	Caudal Máximo (b) m ³ /Seg.
15 de agosto	5.2	120
26 de agosto	10.4	385
31 de agosto	4.6	101
2 de setiembre	7.6	222
3 de setiembre	6.1	154
25 de setiembre	4.6	101

Notas: a) No se indican los caudales correspondientes a las avenidas del 23 de octubre (5.8 m. de nivel pico) y 2 de noviembre de 1964 (10.1 m. de nivel pico), por que las mismas ocurrieron posteriormente a la destrucción del puente de Llano Grande (sitio de medición), lo cual trajo consigo un cambio en la sección transversal del cauce.

b) Estos caudales aproximados incluyen la carga de sedimentos, con una concentración promedio de 574,000 p.p.m. que equivale a un aumento de aproximadamente el 50% sobre el volumen original de agua.

La lámina 14 muestra los hidrógrafos de las avenidas de la Tabla 3-4. Los caudales que aparecen en esta lámina fueron calculados con base en la curva de descarga descrita en este párrafo. Debe quedar claro que estos valores de caudal son aproximados, pues como se ha observado tanto en el laboratorio como en la práctica, el flujo de sedimentos a altas concentraciones no obedece a las leyes y fórmulas de la Hidráulica Clásica, jugando la concentración de partículas un papel muy importante en el comportamiento del fluido.

3.4 Sedimentos

Durante los últimos meses de 1964 se tomaron muestras del lodo que fluye durante las avenidas del Río Reventado. Se recogieron 96 muestras, de las cuales se obtuvieron 73 en el Puesto 2, 17 en el Puesto

3, y 2 en la estación fluviográfica de Agua Caliente. A todas estas muestras se les determinó la relación sólidos-agua y la densidad. A las muestras de lodo obtenidas en la avenida más grande de cada semana se le hizo además, análisis granulométrico completo y se determinó la gravedad específica de los sólidos.

En las tablas D-6 D-7 y D-8 del anexo D se resumen los resultados obtenidos. También se muestra en la lámina 16 el rango de la granulometría del material transportado, basado en los análisis de 15 muestras.

En estos estudios granulométricos se comprobó que el material que forma el lodo del Reventado varía desde tamaños de arcilla hasta grava gruesa. Se supone que el material de tamaños mayores que el diámetro del muestreador (15 cm.), tenga que ser transportado como arrastre de fondo principalmente, incluyendo grandes piedras, algunas excepcionalmente voluminosas (hasta de 5 m. de diámetro) que son empujadas y rodadas río abajo por la masa lodosa de alta densidad. La facilidad con que la masa lodosa transporta rocas de gran tamaño (ver foto 3-3 y 3-4) se atribuye en gran parte a su alta densidad, que en algunos casos alcanzó 1.9, y a la alta velocidad con que se desplaza la onda (se han medido en el Puesto 2, velocidades superficiales de hasta 10 m/seg.). Todo el material de mayor diámetro, se deposita en el cauce dentro del área de sedimentación, a partir del quebrador del Ministerio de Transportes, mientras que el material más fino (arenas, limo y arcilla) prosigue por el río Reventado, con una sedimentación relativamente baja en la zona de Cartago.

Estas características de las avenidas del Río Reventado deben conside