

**Análisis hidrológico para la estimación de caudales máximos y riesgos de inundación de la Quebrada Los Ranchos - Gatosa, en Playa Venado, Provincia de Los Santos, en el marco del desarrollo turístico proyectado**

El riesgo de inundación trata de medir la frecuencia y la magnitud con que se produce este fenómeno. La definición más habitual de frecuencia de inundación es la probabilidad de que en un año cualquiera, el caudal que produce la inundación se vea superado al menos una vez. Sin embargo, la mayor parte de las veces se habla de período de retorno en años, que es el inverso de esta probabilidad de excedencia. Es decir, cuando se afirma que un cauce es capaz de contener la inundación de 100 años de período de retorno, significa que la probabilidad de que el cauce sea insuficiente, al menos una vez en un año cualquiera, es de 0.01.

Por otra parte, la magnitud de la inundación depende de la cantidad e intensidad de precipitación, de las características de la cuenca vertiente al punto considerado (fundamentalmente su tamaño, su pendiente y la capacidad de infiltración del terreno), y por último de las condiciones de drenaje de ese punto concreto. De tal forma que si la capacidad de drenaje es insuficiente para la magnitud de los caudales recogidos por la cuenca vertiente, se produce una inundación.

Por todo ello, cualquier punto de una cuenca puede estar sometido a una inundación con mayor o menor frecuencia. El riesgo de inundación puede ser modificado por el hombre, tanto positiva como negativamente. En el primer caso se tratará de infraestructuras de defensa contra las crecidas que disminuyen el riesgo en mayor o menor medida, pero que nunca van a ser capaces de eliminarlo completamente. Esta disminución se puede conseguir mediante la construcción de diques, encauzamientos, canales de derivación, presas, barreras biológicas, etc. Otras medidas no estructurales son las acciones sobre el ordenamiento territorial, educación e información de la población, entre otras.

Por el contrario, el riesgo de inundación puede verse incrementado respecto de la situación natural original en las siguientes situaciones:

1. Cambios en la cubierta vegetal de la cuenca vertiente que incrementen la escorrentía producida.
2. Disminución de la capacidad de desagüe de un cauce debido a su ocupación total o parcial por edificios, terrenos agrícolas, puentes insuficientes, etc.

Existen varias causas que al conjugarse pueden ser causantes de las inundaciones:

1. El uso irracional de la tierra, eliminando la cobertura boscosa e introduciendo actividades agropecuarias no aptas, sin tomar en consideración las técnicas de conservación de suelos, incrementa el flujo de sedimentos, especialmente en los suelos susceptibles a la erosión.
2. Lluvias de larga duración.
3. Fuertes pendientes de los cauces de los ríos y quebradas.
4. Poca capacidad de los canales para desalojar el flujo superficial por sedimentación.

Las medidas para reducir al mínimo los impactos ambientales directos del desarrollo del proyecto deben estar orientados a:

- Prevenir la erosión y los aludes de tierra
- Asegurar la estabilidad de las laderas.
- Planificación ordenada del uso de suelo en la cuenca.

## **Generales**

En este informe se presentan los resultados del estudio hidrológico e hidráulico realizados para determinar los niveles de aguas máximas extraordinarias (NAME)

según los criterios de retorno de las crecidas de diseño establecidos por el Ministerio de Obras Públicas (MOP).

En el Manual para la aprobación de Planos del MOP se recomienda, cuando no se dispone de información de una estación hidrométrica cercana al sitio de interés, usar en el análisis hidrológico el método racional y los parámetros indicados en el estudio “Análisis Regional de Crecidas”, elaborado por el IRHE en junio de 1986 e incorporado posteriormente por Lavalin International – Cires de Panamá, S. A., como Anexo B Análisis Regional de Crecidas Máxima, del Estudio de Proyectos Hidroeléctricos de Mediana Capacidad, octubre de 1986. En el Informe de Lavalin también se señala que el estudio fue realizado por el Departamento de Hidrometeorología del antiguo IRHE.

La Quebrada Los Ranchos - Gatosa divide el área del proyecto prácticamente por la mitad, ingresando al mismo bajo el puente existente sobre la carretera principal hacia Tonosí.

Este puente sobre la Quebrada Los Ranchos - Gatosa (coordenadas UTM 821580 N y 589210 E), se ubica a una elevación de 9.50 msnm.

El área de drenaje de la Quebrada Los Ranchos - Gatosa hasta el sitio del mencionado puente es de unos 6.78 km<sup>2</sup>, según se pudo determinar mediante planimetría en los planos topográficos 1: 50000 del Instituto Geográfico Nacional “Tommy Guardia”.

El punto más alto de la cuenca se encuentra hacia Los Colorados, localizado al noroeste de la misma, con una elevación máxima de 260 msnm.

### **Cálculo de las crecidas máximas**

En ese estudio fue utilizada la información hidrológica y topográfica disponible a esa fecha, la cual consistió en secciones transversales con elevaciones reales y coordenadas UTM, levantadas por COTRANS para este proyecto.

Para estimar las crecidas máximas se utilizó el Método Racional. Este método es uno de los más utilizados en el diseño de drenajes urbanos y carreteras, y su uso es recomendado para áreas de drenaje relativamente pequeñas (hasta de unas 300 hectáreas). Este método nos ofrece una aceptable aproximación de los caudales esperados para lluvias de diferentes períodos de retorno. El mismo, además del área de la cuenca y el coeficiente de escorrentía, considera la intensidad máxima de precipitación.

El caudal máximo generado por una lluvia correspondiente a un determinado período de retorno, está dado por la siguiente relación:

$$Q = CIA/3.6$$

Donde:

$Q$  = Caudal máximo posible a producirse, en  $m^3/s$ .

$C$  = Coeficiente de escurrimiento (adimensional).

$I$  = Intensidad de la lluvia de diseño en  $mm/h$ .

$A$  = Área de la cuenca en  $km^2$ .

Las intensidades de la lluvia con un período de retorno de 100 años y una duración igual al tiempo de concentración, se obtuvieron de las fórmulas que para tal efecto tiene establecidas el MOP,  $i = 370 / (31+t_c)$ , en pulgadas por hora.

Con este método los efectos de la lluvia y el tamaño de la cuenca son considerados en la expresión explícitamente. Otras características como la pendiente del río, el tipo de vegetación y suelo son considerados implícitamente en el tiempo de concentración y el coeficiente de escorrentía.

El coeficiente de escorrentía es la relación entre la precipitación que escurre por la superficie del terreno y la precipitación total, y varía de acuerdo al uso y tipo de suelo. En este estudio, dadas las condiciones de los suelos del área, se asume que el 50% de la lluvia total escurre por la superficie.

El tiempo de concentración se define como el tiempo que tarda en llegar a la sección de salida, la gota de lluvia caída en el extremo hidráulicamente más alejado de la cuenca. El tiempo de concentración  $t_c$ , relacionado con la intensidad media de la precipitación, se podrá deducir utilizando las siguientes fórmulas:

$$t_c(1) = \{0.8886 \times L^3 / H\}^{0.385} \times 60 \text{ (Práctica de caminos de California)}$$

$$t_c(2) = 1.64523K^{0.77}; K = 0.00328(L^{1.5}/H^{0.5}) \text{ (Manual de Estudios Hidrológicos del PHCA -Proyecto Hidrológico Centroamericano, 1972).}$$

En donde

$t_c$  = Tiempo de concentración en minutos

$L$  = Longitud recorrida (en km para la fórmula 1 y en metros para fórmula 2)

$H$  = caída metros

### Datos y Resultados obtenidos:

- Área tributaria de la Quebrada Los Ranchos - Gatos calculada hasta el puente de la carretera principal hacia Tonosí, 6.78 km<sup>2</sup>.
- Longitud del recorrido ( $L$ ) desde el punto más alejado de la cuenca, aproximadamente 4460 metros.
- Caída,  $H$ , 256 metros, aproximadamente.
- Tiempo de concentración,  $t_c(1)$ , 38.08 minutos, según la fórmula de la Práctica de Caminos de California.

- Tiempo de concentración,  $t_c(2)$ , 39.01 minutos, según el Manual de Estudios Hidrológicos del PHCA.
- Coeficiente de escorrentía, C, 0.50
- Intensidad de lluvia para periodo de retorno de 1 en 100 años, 136 mm/hr.
- Caudal máximo para lluvia de periodo de retorno de 1 en 100 años, 128 m<sup>3</sup>/s.

Como se puede apreciar, los tiempos de concentración calculados con las fórmulas (1) y (2) dan resultados muy similares.

Para el cálculo de los caudales máximos se consideraron los tiempos de concentración estimados con la fórmula (1).

El caudal máximo estimado en la Quebrada Los Ranchos – Gatosa hasta el Puente sobre la carretera principal es de 128 m<sup>3</sup>/s, resultando un caudal unitario máximo de 18.87 m<sup>3</sup>/s/km<sup>2</sup>.

La capacidad de descarga del cauce natural de la quebrada Los Ranchos – Gatosa, en el tramo donde se localiza el puente fue determinada mediante el método de pendientes en el cual fue usada la fórmula de Manning. La pendiente promedio del fondo del cauce fue obtenida de la información Topográfica levantada por COTRANS para este proyecto y que, en el área de estudio hasta el puente existente, es de aproximadamente 0.039 m/m.

El coeficiente de rugosidad fue establecido en  $n = 0.035$ , que corresponde a cauces naturales, sinuosos, con algunos pozos y bancos de arena, con barrancos de taludes no uniformes, con algo de hierbas y piedras.

De acuerdo a las secciones del cauce suministradas por COTRANS en el área aguas abajo el puente existente (Sección 1, a 21.75m del eje del puente), el cauce debe ser conformado y canalizado para desalojar los caudales esperados y así poder satisfacer las proyecciones del desarrollo (el cauce actual tiene suficiente

capacidad, pero el espejo de agua, de unos 20m, se extendería hacia las áreas que se están proyectando para el desarrollo).

Se requiere entonces de una canalización del cauce de la quebrada desde el puente hasta la desembocadura (es decir, a todo lo largo del desarrollo proyectado), con revestimiento de concreto o matacán repellado, para obtener la capacidad requerida de desalojo del caudal y enmarcarse dentro de la propuesta de desarrollo. Esta canalización deberá contar con 12.30m de base, con taludes en ambas márgenes de inclinación 1:1 revestidos hasta una altura mínima de 1.35m sobre el nivel de fondo. Para la Sección 1, con un nivel de fondo del canal de 3.65m, el nivel de crecida máxima produciría un tirante de 0.805m, por lo que el nivel máximo sería de 4.455m.

Desde la Sección 1 hasta la desembocadura, la pendiente del canal baja apreciablemente, mayormente por la incidencia de las mareas.

Tomando como base la Sección 2 de la topografía suministrada por COTRANS, ubicada a unos 330m aguas debajo de la Sección 1 (es decir, a unos 352m aguas abajo del eje del puente), la misma presenta una elevación de fondo de 2.50m, por lo que la pendiente de la quebrada se calcula en unos 0.00351 m/m, la cual se debe proyectar hasta la desembocadura de la quebrada. Hasta la Sección 2, el área tributaria se determinó en 6.87 km<sup>2</sup>, y el tiempo de concentración calculado fue de 41.28 minutos, lo que resulta en un caudal máximo estimado de la Quebrada Los Ranchos – Gatosa en este punto de 124.02 m<sup>3</sup>/s utilizando el coeficiente de escorrentía de 0.50 y el periodo de retorno de 1 en 100 años. Utilizando la recomendación del MOP para canalizaciones (periodo de retorno de 1 en 50 años,  $i = 370 / (33+t_c)$ ), con el mismo tiempo de concentración se obtiene un caudal a desalojar de 120.68 m<sup>3</sup>/s.

Para este último caudal, el nivel del espejo de agua en la crecida de diseño sería de 4.10 msnm. Sin embargo, por la incidencia de las mareas, la pendiente hidráulica puede bajar drásticamente hasta un 0.001 m/m, lo que causaría que el nivel del espejo de agua se proyectara a 4.805 msnm, por lo que se considera que

el nivel de terracería seguro es de 5 msnm. En este punto, y hasta la desembocadura, el revestimiento de los taludes debe contar con una altura mínima de 2.30m sobre el nivel del fondo.

## **Comentarios**

La finalidad de este análisis fue evaluar la capacidad de descarga del cauce de la Quebrada Los Ranchos - Gatosa, en el área del desarrollo proyectado, y poder definir los niveles de terracería seguros ante una eventual lluvia extraordinaria (período de retorno de 1 en 50 años).

La información disponible para este estudio es adecuada y consistió en:

- Planos topográficos 1:50000 del Instituto Geográfico Nacional “Tommy Guardia”.
- Información topográfica del cauce del río en el área en cuestión.

## **Conclusiones**

- El método de análisis regional es la posiblemente la herramienta más adecuada para determinar la frecuencia de las crecidas máximas que puedan ocurrir en sitio determinado de un río. Sin embargo, el método racional nos ofrece buenas aproximaciones de los caudales instantáneos esperados para lluvias de diferentes períodos de retorno. Este último método fue el utilizado en los cálculos ya que, además de su efectividad, tiende a ser un poco más conservador.
- De acuerdo a los cálculos realizados y dadas las condiciones existentes, el cauce de la Quebrada Los Ranchos - Gatosa, en el área del proyecto, debe ser conformado y canalizado con un revestimiento de hormigón o matacán repellado, a fin de que se obtenga la suficiente capacidad para el desalojo de

las aguas proveniente de la crecida por la lluvia de periodo de retorno de 1 en 50 años, sin afectar las dimensiones proyectadas de los lotes propuestos en el desarrollo ni las construcciones que se desarrolle en los mismos. Los cálculos realizados sugieren que los niveles seguros de terracería andan por el orden de 5.00 msnm.

## **Recomendaciones**

- Controlar el uso irracional de la tierra aguas arriba del proyecto, que elimina la cobertura boscosa sin tomar en consideración las técnicas de conservación de suelos, lo que incrementa el flujo de sedimentos, especialmente en los suelos susceptibles a la erosión.
- Promover medidas de prevención de la erosión y aludes de tierra.
- Asegurar la estabilidad de las laderas.
- Impedir las construcciones próximas a la ribera de la Quebrada Los Ranchos - Gatosa que se ubiquen por debajo de los niveles seguros anteriormente señalados.
- Considerar niveles finales de terracería entre 5.50 y 6.00 msnm mínimo, de modo que la descarga de las tuberías del sistema de drenaje pluvial del proyecto sea mayormente libre y no ahogada, aun en períodos de mareas altas.
- La incidencia de las mareas en la desembocadura puede arrastrar arena hacia la salida de la canalización, por lo que es necesario programar un sistema de mantenimiento rutinario que mantenga la salida de la misma lo más despejada posible.