Además de las viviendas, los caminos pueden ser afectados en medios fluviales de las siguientes maneras.

a) El terraplén puede ser rebasado por un curso de agua debido a un diseño deficiente de la obra de drenaje transversal. El diseño de una obra de drenaje debe contemplar tanto el caudal líquido como el arrastre de elementos flotantes que puede bloquear estas obras de arte.

b) El camino puede ser interrumpido por la caída del puente que cruza un curso de agua debido a que la erosión en los elementos de apoyo causa la inestabilidad de la estructura.

c) El camino puede ser también interrumpido por erosión en el terraplén de acceso a un puente si éste es rebasado por el paso del agua, o si el terraplén no cuenta con la protección adecuada, la cual puede ser enrocado, gaviones, suelo cemento, geoceldas u otra solución que pueda ser aplicada en el tramo de interés. En el libro Highways in the River Environment (Richardson et al., 1990) se presentan varias soluciones para este tipo de problemas.

d) La erosión puede también presentarse de manera longitudinal, en forma paralela a la carretera, si el curso de agua está en contacto con los terraplenes en los que se sostiene y éstos no cuentan con una protección adecuada como se ve en la Figura 6. Las soluciones expuestas en c) pueden ser aplicadas para la protección longitudinal de carreteras que se desarrollan en forma paralela a los cursos de agua.

Figura 6. Erosión en pista urbana - Arequipa. Nótese la existencia de un muro de contención. La erosión socavó el muro de manera tal que ocasionó el colapso, al quedar desprotegido, la erosión hidráulica ocasionó el posterior deterioro del talud.

Finalmente, las obras en medios fluviales que sufren el efecto de la erosión son las captaciones permanentes (bocatomas), las cuales derivan el agua para fines agrícolas, generación de energía eléctrica, uso municipal, uso industrial o minero.

Estos daños pueden ocurrir mayormente por abrasión (paso continuo de material grueso sobre una superficie expuesta) o por cavitación (formación de cavidades de vapor de agua, que explotan cuando la cavidad pasa de una región de baja presión - inferior a la presión de vapor - a una región de presión superior a la presión de vapor). La socavación de la cimentación también es un factor a tomar

en cuenta, sobre todo en las zonas de disipación de energía, aguas debajo de los vertederos o barrajes móviles. La erosión regresiva puede desestabilizar la estructura en su totalidad si la socavación se aproxima a la cimentación de la obra hidráulica. La Figura 7 muestra un marcado descenso del nivel del río aguas abajo de un barraje fijo. La construcción de un barraje produce una diferencia de alturas y genera una zona de disipación de energía en la cual se produce erosión. Con el tiempo, si no se realiza el mantenimiento de las obras de protección se podría producir la pérdida de esta estructura.

Figura 7. Erosión que ocurre aguas abajo del colchón protector de un barraje. La erosión regresiva podría causar la desestabilización de la estructura.

3. EVALUACIÓN DE ZONAS PROTEGIDAS CONTRA LA EROSIÓN

Definitivamente la ingeniería permite solucionar el problema de erosión en medios fluviales, mitigando el efecto destructivo del paso del agua. El autor ha tenido la oportunidad de diseñar soluciones contra la erosión, las cuales han funcionado de manera adecuada hasta la fecha. La Figura 8 muestra la margen derecha del Río Rímac a la altura del km 23 de la Carretera Central. Esta zona estuvo siendo erosionada de manera progresiva por la acción del río Rímac. Una comparación entre planos antiguos y levantamientos topográficos recientes demostró que en lapso de 15 años se habían perdido aproximadamente 10 m de ancho por la acción erosiva del río. Una inspección del lugar permitió además establecer (Rodríguez, 2000) que además de erosión hídrica había que tomar en cuenta la acción eólica que ocasionaba la lenta degradación de los taludes.

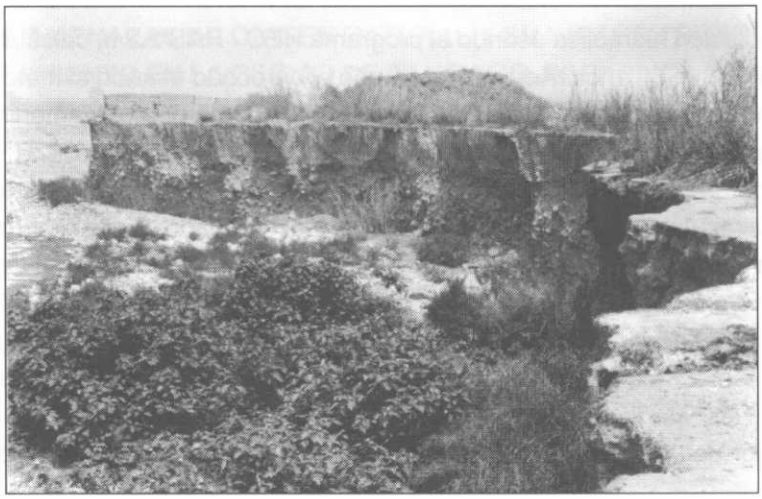

Figura 8. Margen derecha del río Rímac a la altura del km 22 de la Carretera Central.

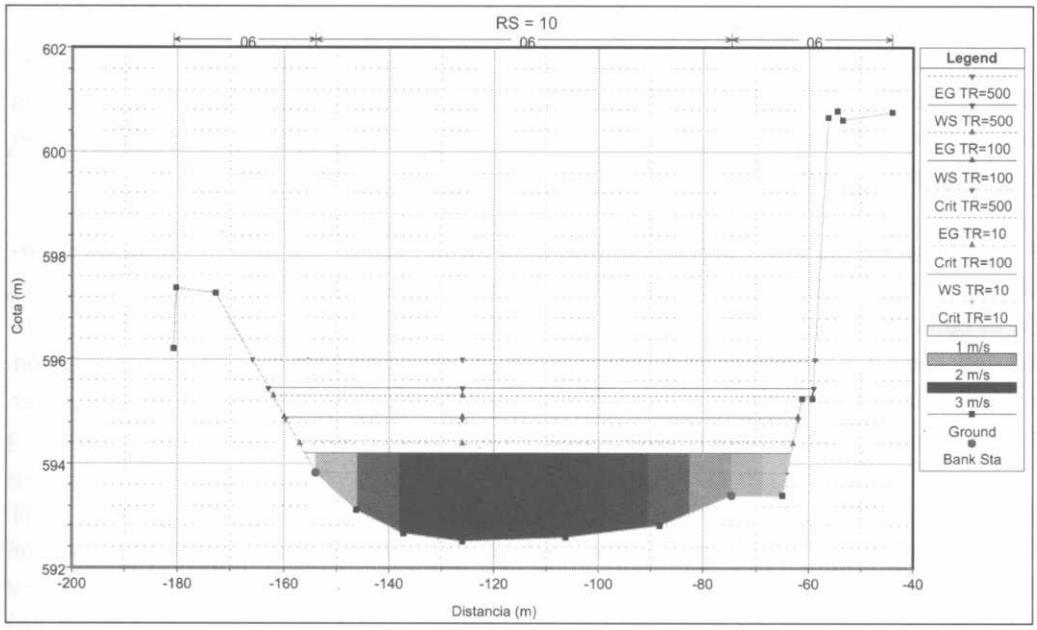

Figura 9. Salida gráfica del programa HEC - RAS 2.2b.

Figura 10. Defensa ribereña en la margen derecha del río Rímac después de la temporada húmeda 2001-2002.

Se efectuó una simulación hidráulica usando el programa HEC - RAS 2.2 b, calculándose los niveles de inundación para 100 y 500 años. Además se diseñó el enrocado usando el método de estabilidad de momentos usando la avenida de 100 años, tomando en cuenta que el mantenimiento de la obra de protección no será muy frecuente. La inclinación de los taludes es de 26.5° (2H: 1 V). Se propuso un geotextil no tejido de más de 300 gr/m^2, abertura aparente de 0 15 mm, resistencia al punzonamiento de 600 N que actúe como filtro entre el terraplén y el enrocado. Entre el enrocado y el filtro se colocó además una cama de arena de 0.10 m para impedir el punzonamiento del geotextil. Esta obra ha resistido de manera satisfactoria las avenidas de la temporada húmeda 2001 - 2002 y se espera que funcione de manera adecuada en las siguientes temporadas húmedas. La Figura 9 muestra la defensa pasada la temporada húmeda. Una defensa ribereña adecuadamente diseñada reduce el riesgo de erosión en las márgenes de un curso de agua. Cuando se evalúe el potencial de peligro en zonas protegidas por defensas se debe evaluar el estado de dichas obras para determinar si son seguras.

4. COMENTARIOS FINALES

a) Las obras de infraestructura que se construyen cerca o dentro del cauce de un río están expuestas a la acción erosiva del mismo. Cuando se consideran los riesgos existentes no sólo se debe tener en cuenta la inundación, si no la estabilidad de las márgenes y la inestabilidad generada en por erosión en las partes bajas.

b) Las obras viales pueden ser interrumpidas por la caída de un puente, por la erosión de los accesos de puentes, por falla del terraplén que sostiene la carretera si éste está expuesto a la acción hídrica. En el caso de puentes, es necesario que la profundidad de la cimentación supere la socavación esperada. Un puente se considera un riesgo potencial si los niveles de cimentación no han sido correctamente determinados en el estudio hidráulico. Además es necesario tomar en cuenta los factores geotécnicos y estructurales.

c) Las obras de captación inducen cambios morfológicos en los ríos, particularmente en el perfil longitudinal. La erosión que ocurre aguas debajo de los colchones disipadores potencialmente puede ocasionar erosión regresiva que puede comprometer la cimentación de las obras.

d) En las obras de captación se pueden presentar además problemas de abrasión y/o cavitación localizados sobre todo en las zonas de mayor velocidad.

e) Cuando se realice la evaluación del riesgo existente en una ribera se debe tener en cuenta la protección construida para protegerla. El riesgo de falla depende del nivel de riesgo para el que ha sido diseñada, si es que los procedimientos de diseño han sido adecuados.

REFERENCIAS

1. Chang, Howard.(1988) Fluvial Processes in River Engineering. John Wiley and Sons, New York, EE.UU.
2. Gonzáles del Tanago del Río, Marta; García de Jalón Lastra, Diego. (1995) Restauración de Ríos y Riberas. Editorial Fundación Conde del Valle de Salazar. Madrid, España
3. Richardson, E.V, Simons, D.B, Julien, P.Y. (1990) Highways in the River Environment. US Department of Transportation. Federal Highway Administration. Estados Unidos.
4. Rodríguez T., Martín (2000) Comunicación Personal.