

COMENTARIOS SOBRE ASPECTOS HIDRÁULICOS DEL MANUAL DE DISEÑO DE PUENTES

Arturo Rocha Felices

Consultor de Proyectos Hidráulicos

CONTENIDO

1. *Introducción*
 2. *Importancia de los Estudios Hidráulicos*
 3. *Hidrología: Las Avenidas*
 4. *Aspectos de Hidráulica Fluvial*
 5. *Diseño Hidráulico*
 - 5.1 *Avenida de Diseño*
 - 5.2 *Hidrograma de Diseño*
 - 5.3 *La Estabilidad Fluvial*
 - 5.4 *Socavación*
 6. *Conclusiones y Recomendaciones*
- Referencias*
Anexo 1: Resolución Ministerial N° 589-2003-MTC/02
Anexo 2: Punto 1.2 del Título I del Manual de Diseño de Puentes

RESUMEN

Estos comentarios se refieren al Manual de Diseño de Puentes elaborado por la Dirección General de Caminos y Ferrocarriles del Ministerio de Transportes y Comunicaciones, aprobado por Resolución Ministerial N° 589-2003-MTC/02 del 31 de julio del 2003, que se encuentra vigente y cuyo Punto 1.2 del Título I trata de los Estudios de Hidrología e Hidráulica.

Como la experiencia nacional y mundial indica que la acción del agua es la causa principal de las fallas que ocurren en los puentes que interactúan con ríos, resulta muy importante analizar los aspectos hidráulicos del referido Manual. El análisis se hace desde cuatro puntos de vista que en conjunto conforman la Hidráulica de Puentes. Ellos son: a) Hidrología, b) Hidráulica Fluvial, c) Transporte de Sedimentos y d) Diseño Hidráulico.

La lectura del Manual ha dado lugar al presente trabajo, cuyo objetivo es presentar algunas de las muchas reflexiones, dudas e incertidumbres, que me han surgido, y la forma de enfrentarlas. Un análisis exhaustivo de los aspectos hidrológicos e hidráulicos del Manual excedería los alcances del presente trabajo, el que se limita a señalar las razones que existen para recomendar una revisión integral del Punto 1.2 del Título I del Manual de Diseño de Puentes (Estudios de Hidrología e Hidráulica).

1. INTRODUCCIÓN

El Manual de Diseño de Puentes, en adelante el Manual, al que se refieren estos comentarios es el elaborado por la Dirección General de Caminos y Ferrocarriles del Ministerio de Transportes y Comunicaciones, aprobado en julio del 2003 y que se encuentra vigente. El Manual consta de las siguientes partes: Introducción (Título Preliminar), La Ingeniería Básica (Título I), El Proyecto de Ingeniería (Título II) y tres Anexos.

El Punto 1.2 de la Ingeniería Básica trata de los Estudios de Hidrología e Hidráulica. Su lectura ha dado lugar al presente trabajo, cuyo objetivo es presentar algunas de las muchas reflexiones, dudas e incertidumbres, y la forma de enfrentarlas, que han surgido de su análisis y cuyo examen exhaustivo excedería los alcances de esta exposición, la que se limita a señalar algunas de las muchas razones que existen para recomendar su revisión integral.

Pero, ¿qué es un manual? Es un libro en el que se compendia lo más sustancial de una materia. En cambio, las normas son las reglas que se debe seguir o a las que se deben ajustar las conductas, tareas y otras actividades. En ingeniería, las normas son las reglas que se debe seguir para realizar una determinada actividad y, generalmente, se agrupan en los llamados códigos o reglamentos, de obligatorio cumplimiento. Las normas establecen los criterios y requisitos mínimos para un diseño y crean derechos y responsabilidades, pues son de orden público e interés social. No es, pues, lo mismo un manual que un conjunto de normas. En el Manual que empezamos a comentar parece existir una confusión entre los conceptos de manual y código, como se verá a continuación.

En la Resolución aprobatoria del Manual se señala que su objetivo es: “definir las normas que rijan el diseño de las estructuras que conforman los puentes para beneficio de los usuarios de la infraestructura vial”. Se menciona también que el Manual debe ser aplicado a nivel nacional y que contiene: “las normas técnicas fundamentales, pautas y lineamientos básicos para el planeamiento, análisis y diseño de puentes”. Según esto, más parecería un código (o Reglamento) que un manual.

Si los Estudios de Hidrología e Hidráulica, a los que se refieren los presentes comentarios, fuesen parte de un manual deberían informar acerca de lo sustancial de la materia, lo que no sucede. Si fuesen un conjunto de normas (es decir, un código o un reglamento), deberían dar criterios y requisitos mínimos de cumplimiento obligatorio, lo que tampoco ocurre.

En la práctica profesional de la Hidrología e Hidráulica (presas, bocatomas, canales, etc.), a diferencia de lo que sucede, por ejemplo, con la ingeniería sismorresistente, no hay en el Perú normas ni códigos y el ingeniero desarrolla libremente sus diseños. Hay, sí, como en todo el mundo, numerosos manuales para el diseño hidráulico, lo que es algo distinto. La preparación de códigos de diseño no es una tarea fácil, pues en gran medida restringe y limita la creatividad y posibilidades del ingeniero diseñador.

Al respecto, Héctor Gallegos afirma lo siguiente: “Los códigos forman parte de marco legal en el que se ejerce la ingeniería. En esencia, ellos deben exigir solo las condiciones mínimas indispensables para lograr la debida seguridad de los objetos en el contexto de un riesgo predefinido. En el proceso de diseño y fabricación, los ingenieros deben necesariamente respetar esas condiciones mínimas –no hacerlo es ilegal, y merece una pena- y, si su juicio profesional lo considera necesario, superarlas.”

Un código no podría, por su propia naturaleza, contemplar todos los problemas que plantea la interacción entre un río y un puente. Hay puentes grandes y pequeños, complejos y simples y cuando interactúan con un río, a los que se refieren los presentes comentarios, se debe agregar la existencia de diferentes tipos de ríos. Sin embargo, el Manual que comentamos debe ser aplicado a nivel nacional sin distinción alguna. Queda, pues, abierta la pregunta: ¿En lo que respecta a los Estudios de Hidrología e Hidráulica señalados en el denominado Manual, estamos frente a un manual o frente a un código? Parece ser que a ninguno de los dos.

2. IMPORTANCIA DE LOS ESTUDIOS HIDRÁULICOS

En estos comentarios se entiende como Estudios Hidráulicos los relativos al conocimiento y manejo del río y su interacción con el puente. Corresponden a la Hidrología, Hidráulica Fluvial, Transporte de Sedimentos y Diseño en los aspectos pertinentes. Precisamente, se llama Hidráulica de Puentes a los aspectos de la Hidráulica General aplicados al Diseño de Puentes. En el Manual se nota claramente una confusión peligrosa entre Hidrología, Hidráulica y Diseño.

A fin de garantizar la estabilidad de los puentes el ingeniero tiene que participar en una labor multidisciplinaria. Un puente que interactúa con un río es una estructura hidráulica y debe ser concebido y diseñado como tal, de modo que produzca la menor perturbación posible en el escurrimiento fluvial y, a un costo razonable, cumpla adecuadamente con los fines buscados. Cuando el río y el puente se cruzan cada uno trata de influir sobre el otro. El puente, como toda estructura, necesita estabilidad y permanencia en el tiempo, frente a la

agresividad fluvial. El río, en cambio, por su propia naturaleza es esencialmente dinámico y cambiante y, además, sufre la acción de la agresividad humana.

¿Por qué es tan importante el aspecto hidráulico en el diseño de puentes? La respuesta la encontramos en las numerosas fallas ocurridas. Así, D. W. Smith informó que casi el 50% de las fallas ocurridas en 143 puentes de todo el mundo tuvo su origen en las grandes descargas presentadas. Estudios de la AASHTO (American Association of State Highway and Transportation Officials) señalan que: “La mayor parte de los puentes que han fallado, en USA y en todo el mundo, ha sido debido a la socavación.” Shirole y Holt estudiaron los 1000 de los 600 000 puentes existentes en Estados Unidos que habían fallado a lo largo de un periodo de 30 años y encontraron que el 60% de las fallas se originó en problemas de socavación. Wardhana y Hadipriono estudiaron 500 fallas ocurridas entre 1989 y el 2000 en 500 puentes de los Estados Unidos y encontraron que el 53% se debió a las avenidas y a la socavación.

En lo que respecta al Perú la situación es aún más grave. Los dos últimos Meganiños causaron daños considerables a la infraestructura vial, especialmente a los puentes. En 1983, 55 puentes resultaron afectados o destruidos y en 1998 hubo 58 puentes destruidos y 28 afectados. Prácticamente, la totalidad de las fallas ocurridas en ambos Meganiños tuvo su origen en problemas hidráulicos.

Es, pues, indudable que la experiencia nacional y mundial indica que la acción del agua es la causa principal de las fallas que ocurren en los puentes que interactúan con ríos. Esto es evidente puesto que las grandes avenidas intensifican los conflictos entre las funciones naturales de un río y las acciones humanas. En consecuencia, los Estudios Hidráulicos resultan sumamente importantes para la prevención de fallas de puentes en el Perú. Sin embargo, el Manual sólo les dedica el 1,5% de su extensión, a lo que debe añadirse su deficiente contenido.

3. HIDROLOGÍA: LAS AVENIDAS

Las avenidas son fenómenos originados por el carácter aleatorio de las descargas de los ríos. La ocurrencia de crecidas de los ríos se describe en términos probabilísticos. Es decir, que cada avenida va asociada a una probabilidad de ocurrencia. Las avenidas de los ríos son muy variables en el tiempo, especialmente en la costa norperuana, en la que se presentan notables contrastes entre los máximos y mínimos caudales medidos (o simplemente estimados o apreciados, como ocurre en la mayor parte de los ríos del Perú).

El registro y estudio de las máximas avenidas anuales permite determinar, bajo ciertos supuestos, la probabilidad de ocurrencia de avenidas de una cierta

magnitud. Este es un estudio típicamente hidrológico, basado en mediciones de campo confiables y en la aceptación de determinadas leyes probabilísticas. El estudio de las avenidas que pueden ocurrir en un río es independiente del proyecto de que se trate. Es descriptivo del comportamiento de la cuenca y del río y forma parte de los estudios básicos.

Las avenidas deben calcularse, tanto para la época de abundancia (que se vinculan a la seguridad de la estructura y a la estabilidad fluvial) como para la época de estiaje (que se requieren para fines constructivos). Evidentemente que estos cálculos deben incluir la incidencia del Fenómeno de El Niño, que el Manual no menciona a pesar de los efectos desastrosos que ha causado en los puentes del Perú. Las avenidas no deben caracterizarse para fines de un proyecto de ingeniería, con términos aislados, subjetivos e imprecisos, como los que aparecen en el Manual: “Avenidas máximas y extraordinarias”, “Caudal máximo” y otros.

4. ASPECTOS DE HIDRÁULICA FLUVIAL

La Hidráulica Fluvial estudia el comportamiento de los ríos, cualquiera que sea la finalidad del proyecto (represamiento, defensas ribereñas, navegación, puentes, etc.). La Ingeniería Fluvial nos enseña como intervenir en el río, como trabajar “con el río”, para lograr los fines de un determinado proyecto. En nuestro caso, para garantizar la estabilidad de un puente sin afectar la del río.

Los ríos aluviales están cambiando constantemente de posición y forma y adquieren por un mecanismo que ha sido llamado de “autoajuste” el ancho, el tirante y la pendiente correspondientes al gasto líquido, al gasto sólido y a la composición granulométrica de los sólidos que arrastran. No pocas veces esto implica cambio de recorrido. Dentro de las numerosas causas de la movilidad fluvial se encuentran la irregularidad de las descargas, especialmente la alternancia de avenidas y sequías extremas, muy frecuente en el Perú, a lo que debe añadirse el impacto de las acciones humanas (construcción, deforestación, etc.).

La movilidad fluvial atenta contra la estabilidad de las obras construidas sobre el lecho fluvial y en sus inmediaciones. En el diseño de puentes es, pues, importantísimo realizar un estudio de Hidráulica Fluvial, lo suficientemente profundo como para conocer la morfología y el comportamiento del río durante las grandes crecidas y, especialmente, durante la Avenida de Diseño, como consecuencia de la construcción del puente. El transporte sólido está íntimamente asociado al comportamiento del río y debe ser cuidadosamente estudiado. En el ejercicio de la ingeniería de ríos no hay normas para el manejo

del comportamiento fluvial, que, por lo demás, es muy variable según las características de cada río y de cada tramo fluvial.

Con respecto al estudio del río el Manual menciona algunas acciones aisladas para que se realicen dentro de lo que llama "Ingeniería Básica", tales como: "visita de campo", "determinación de la estabilidad estática o dinámica, o inestabilidad del cauce...", "selección de secciones transversales representativas del cauce", etc. El Manual no menciona el estudio de sedimentos (sólidos) y se limita a señalar, por ejemplo, que se determinará "el aporte de escombros desde la cuenca" y "el diámetro medio del material del lecho".

El estudio de Hidráulica Fluvial, asociado al de Hidrología, servirá para el diseño: desde la selección de la ubicación óptima del cruce hasta la posibilidad de un encauzamiento. ¿Cuán profundo y detallado debe ser el estudio de Hidráulica Fluvial? Evidentemente que la respuesta la debemos buscar en las características del río (caudales, morfología, sedimentos, etc.) y en las del puente, incluyendo su importancia, daños que causaría su puesta fuera de servicio y otras, ninguna de las cuales es mencionada en el Manual.

5. EL DISEÑO HIDRÁULICO

El Manual no distingue en los Estudios Hidráulicos la parte correspondiente a los estudios básicos y al diseño hidráulico, pues ambos conceptos están agrupados, erróneamente, como Ingeniería Básica. El diseño de un puente que interactúa con un río no puede independizarse de la Hidráulica de Puentes, como se examina a continuación, a través de algunos sus aspectos.

5.1 LA AVENIDA DE DISEÑO

La Avenida de Diseño es el caudal que se escoge, mediante diversas consideraciones, para dimensionar un proyecto (o una parte de él). Para su determinación se usa la información básica proporcionada por el estudio hidrológico (Probabilidad de Ocurrencia de Avenidas) y se incorporan los conceptos correspondientes a riesgo, vulnerabilidad, importancia y costo de obra y muchos otros más, como por ejemplo el tipo de río y de puente. En países como en el Perú, en los que además de escasez de datos, hay baja calidad de las mediciones, juegan un papel muy importante la experiencia y el buen tino del ingeniero proyectista para escoger la Avenida de Diseño. Dentro de los criterios para la selección de los valores posibles están los relativos al máximo nivel alcanzado por el agua, la capacidad del encauzamiento, si fuese el caso, las máximas socavaciones y muchas otras más. El Manual que

comentamos no ilustra acerca de la relación entre las características del puente y del río, que son indispensables para determinar la Avenida de Diseño.

Todo lo anterior nos indica claramente que la selección de la Avenida de Diseño no puede corresponder, como lo señala el Manual, a la Ingeniería Básica, pues es parte inherente del diseño, corresponde a su esencia, y debe ser determinada por el Jefe del Estudio con la participación de los ingenieros especialistas. No es un cálculo hidrológico. La abundancia e imprecisión de términos que hay en el Manual, para referirse a los caudales, terminan por omitir el de Avenida de Diseño, que es el que se usa comúnmente. A lo anterior debe añadirse que luego de los últimos Meganiños ha surgido la necesidad de introducir en determinados diseños el concepto de Hidrograma de Diseño, que se desarrolla más adelante.

En el Manual se indica que los estudios de Ingeniería Básica deben establecer “las características hidrológicas de los regímenes de avenidas máximas y extraordinarias.” Pero, ¿Qué es una “avenida máxima”?, ¿Qué es una avenida extraordinaria? En el Manual se usa la expresión “caudal máximo de diseño” y se señala que debería establecerse en los estudios hidrológicos e hidráulicos, lo que evidentemente tendría que revisarse a la luz de lo comentado en los párrafos anteriores.

La Avenida de Diseño debe escogerse de modo de garantizar la estabilidad del río y del puente y teniendo en cuenta la evaluación de los daños potenciales involucrados en una potencial falla. Son, pues, muchas las consideraciones para seleccionar la Avenida de Diseño. Poco o nada dice el Manual respecto de tan importante y difícil tema.

5.2 HIDROGRAMA DE DISEÑO

En el Perú, en los últimos cinco siglos el FEN con características de Meganiño se ha presentado unas diez veces. Los dos últimos (1983 y 1998) fueron muy destructivos, especialmente en materia de puentes. Una de las características del FEN, desde el punto de vista hidrológico y en relación con la estabilidad de estructuras, es la aparición de avenidas de larga duración. Sin embargo, en el Manual no se menciona la existencia del Fenómeno de El Niño.

El cálculo tradicional de máximas avenidas es para valores instantáneos. En cambio, durante el FEN una avenida puede durar varias semanas, lo que implica un desafío a la estabilidad fluvial y la aparición de socavaciones y degradaciones generalizadas, como ya ha ocurrido y causado la falla de numerosos puentes.

5.3 LA ESTABILIDAD FLUVIAL

Es imposible que un puente sea estable si no lo es el tramo fluvial comprometido. El Manual no menciona este importante punto. El río es por naturaleza esencialmente móvil y cambiante. En consecuencia, el estudio de un puente que interactúa con un río no puede independizarse del correspondiente estudio de Hidráulica Fluvial. No deja de llamar la atención que en el Manual no aparezca la expresión “Hidráulica Fluvial” que es muy útil, pues involucra diversos aspectos del comportamiento de los ríos. Aparecen sí, conceptos aislados como que “los estudios hidrológicos e hidráulicos comprenderán la caracterización morfológica del cauce” y “la determinación de las características físicas del cauce”. El puente y el río interactúan: el puente es para el río un elemento extraño y, en ocasiones, reacciona violentamente. La estabilidad fluvial, lograda durante cientos o miles de años, puede verse seriamente alterada por la construcción de un puente. Nada de esto es mencionado en el Manual.

Pero, la profundidad del estudio hidráulico tiene que depender de ciertas características del puente en particular, como podrían ser: su importancia dentro de la red vial, consecuencias de su falla, costo, tipo de estructura, riesgos aceptables, etc. etc. A las que debe añadirse las correspondientes al río. Los alcances del estudio no pueden ser los mismos para un pequeño puente de pocos metros de luz, sobre un pequeño río, en una carretera muy poco transitada, que un puente de gran luz, estructura compleja, que cruza un río de grandes caudales y que forma parte de una importante vía. El Manual no hace las distinciones correspondientes y se limita a señalar que los alcances del estudio hidráulico serán determinados “en base a la envergadura del proyecto, en términos de su longitud y el nivel de riesgo considerado.” No queda claro que significa acá la “longitud” del proyecto. En el Manual no hay, por cierto, ninguna referencia al concepto de Faja Marginal, que está desarrollado en el Reglamento de la Ley de Recursos Hídricos. Resulta, pues, inevitable asegurar la estabilidad fluvial; sin embargo, el Manual es absolutamente deficiente al respecto.

5.4 SOCAVACIÓN

La socavación es causa principal de la falla de numerosos puentes. El Manual apenas si la menciona. Debería realizarse un estudio muy detallado de la erosión generalizada (degradación), de la erosión eventual como consecuencia de un estrechamiento fluvial (que debería normarse debidamente) y, finalmente, de la erosión local causada por pilares y estribos. Las fórmulas conocidas sobre erosión local en pilares y estribos de puentes se han determinado con los valores instantáneos de los caudales. Para considerar el

efecto del Fenómeno del Niño y el de las avenidas de larga duración se hace indispensable el Hidrograma de Diseño y, eventualmente, el estudio en un modelo físico. El Manual solo menciona que debe hacerse una determinación y evaluación de las estimaciones de socavación, lo que evidentemente es insuficiente.

6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Las conclusiones y recomendaciones señaladas a continuación se refieren exclusivamente al Punto 1.2 (Estudios de Hidrología e Hidráulica) del Título I del Manual de Diseño de Puentes.

- a) El texto resulta de poquísima utilidad para los Estudios Hidráulicos y el diseño correspondiente. Se podría cumplir lo que dice el Manual y llegar a un resultado absurdo.
- b) Frente a la falla de un puente sería prácticamente imposible señalar cuál fue el incumplimiento que se cometió desde el punto de vista del Manual.
- c) En síntesis, lo señalado actualmente en el Punto 1.2 del Título I del Manual de Diseño de Puentes resulta perfectamente prescindible.

La Recomendación es que se proceda a emprender la difícil tarea de una revisión integral de la razón de ser y alcances del Punto 1.2 del Título I del Manual de Diseño de Puentes, que debe empezar por esclarecer si se trata de un manual o de un código y señalar qué parte de los Estudios de Hidrología e Hidráulica corresponden a la Ingeniería Básica y cuales al Diseño.

REFERENCIAS

1. GALLEGOS Héctor **La Ingeniería**. GCAQ Fondo Editorial, Lima, febrero 2006.
2. MINISTERIO DE TRANSPORTES Y COMUNICACIONES **Resolución Ministerial 589-2003-MTC/02**. Lima, 31 de julio 2003.
3. MINISTERIO DE TRANSPORTES Y COMUNICACIONES **Manual de Diseño de Puentes**. Fondo Editorial ICG, Segunda Edición, noviembre 2005.
4. ROCHA FELICES Arturo **La morfología fluvial y su incidencia en la estabilidad de las obras viales**. VIII Congreso Internacional Obras de Infraestructura Vial. Lima, diciembre 2009.
5. ROCHA FELICES Arturo **Erosión en pilares y estribos de puentes**. IV Congreso Internacional de la Construcción, Lima, diciembre 2008.
6. ROCHA FELICES Arturo **El dinamismo fluvial y la seguridad de las obras viales frente a eventos hidrometeorológicos extremos: Meganiños y sequías**. V Congreso "Obras de Infraestructura Vial". Julio, 2006.

7. ROCHA FELICES Arturo **Interacción del comportamiento fluvial y las obras viales durante el Fenómeno de El Niño.** II Congreso Nacional de Obras de Infraestructura Vial. Lima, 2003.
8. ROCHA FELICES Arturo **El Impacto del Fenómeno de El Niño en las Estructuras Hidráulicas,** conferencia dictada en el I Foro Regional de Ingeniería Civil del Norte Peruano, publicada en El Ingeniero Civil N° 116, mayo-junio del 2000.
9. SMITH, D.W. **Bridge Failures.** Proceedings Institution of Civil Engineers. 1, 1976.
10. WARDHANA Kumalasari y HADIPRIONO Fabian C. **Analysis of Recent Bridge Failures in the United States.** Journal of Performance of Constructed Facilities, ASCE, Agosto 2003.■

ANEXO 1**Resolución Ministerial N° 589-2003-MTC/02****RESOLUCION MINISTERIAL N° 589-2003-MTC-02**

Lima, 31 de julio de 2003

CONSIDERANDO:

Que, la Ley N° 27779, Ley de Organización y Funciones de los Ministerios, señala que el Ministerio de Transportes y Comunicaciones integra interna y externamente al país, para lograr un racional ordenamiento territorial vinculando las áreas de recursos, producción, mercados y centros poblados, a través de la regulación, promoción, ejecución y supervisión de la infraestructura de transportes y comunicaciones;

Que, asimismo, mediante Ley N° 27791, se aprobó la Organización y Funciones del Ministerio de Transportes y Comunicaciones y mediante Decreto Supremo N° 041-2002-MTC se aprobó su estructura orgánica;

Que, de conformidad con el Artículo 60 del Reglamento de Organización y Funciones del Ministerio de Transportes y Comunicaciones, modificado por el Decreto Supremo N° 017-2003-MTC, la Dirección General de Caminos y Ferrocarriles, es un órgano de línea del Viceministerio de Transportes que está a cargo de dictar normas sobre el uso y desarrollo de la infraestructura de carreteras, puentes y ferrocarriles, así como de fiscalizar su cumplimiento en las redes viales del país, y administrar el equipo mecánico a su cargo y garantizar su estado de operatividad;

Que, en el marco de sus atribuciones y competencias, la Dirección General de Caminos y Ferrocarriles ha elaborado el Manual de Diseño de Puentes, documento que fue publicado en la página web del Ministerio de Transportes y Comunicaciones con fecha 11 de enero de 2003, con el objeto de recabar opiniones y comentarios del público en general;

Que, como resultado de la citada publicación, se han recibido valiosos aportes y comentarios, los cuales han sido evaluados e incorporados por el Ministerio de Transportes y Comunicaciones al Manual de Diseño de Puentes;

Que, el objetivo del Manual de Diseño de Puentes es definir las normas que rijan el diseño de las estructuras que conforman los puentes para beneficio de los usuarios de la infraestructura vial, debiendo ser aplicado a nivel nacional, y contiene las normas técnicas fundamentales, pautas y lineamientos básicos necesarios para el planeamiento, análisis y diseño de puentes;

Que, de acuerdo a los términos del Memorándum N° 1513-2003-MTC/14, la Dirección de Normatividad Vial ha emitido su conformidad al Manual de Diseño de Puentes;

De conformidad con la Ley N° 27791, Ley de Organización y Funciones del Ministerio de Transportes y Comunicaciones, su Reglamento aprobado por Decreto Supremo N° 041-2002-MTC y su modificatoria;

SE RESUELVE:

Artículo Único.- Aprobar el Manual de Diseño de Puentes elaborado por la Dirección General de Caminos y Ferrocarriles del Ministerio de Transportes y Comunicaciones, el cual en anexo forma parte integrante de la presente Resolución.

Regístrese, comuníquese y publíquese.

EDUARDO IRIARTE JIMÉNEZ
Ministro de Transportes y Comunicaciones

ANEXO 2

Punto 1.2 del Título I del Manual de Diseño de Puentes

MANUAL DE DISEÑO DE PUENTES

1.2 ESTUDIOS DE HIDROLOGIA E HIDRAULICA

1.2.1 Objetivos

Los objetivos de los estudios son establecer las características hidrológicas de los regímenes de avenidas máximas y extraordinarias y los factores hidráulicos que conllevan a una real apreciación del comportamiento hidráulico del río que permiten definir los requisitos mínimos del puente y su ubicación óptima en función de los niveles de seguridad o riesgos permitidos o aceptables para las características particulares de la estructura.

Los estudios de hidrología e hidráulica para el diseño de puentes deben permitir establecer lo siguiente:

- Ubicación óptima del cruce.
- Caudal máximo de diseño hasta la ubicación del cruce.
- Comportamiento hidráulico del río en el tramo que comprende el cruce.
- Área de flujo a ser confinada por el puente.
- Nivel máximo de agua (NMA) en la ubicación del puente.
- Nivel mínimo recomendable para el tablero del puente.
- Profundidades de socavación general, por contracción y local.
- Profundidad mínima recomendable para la ubicación de la cimentación, según el tipo de cimentación.
- Obras de protección necesarias.
- Previsiones para la construcción del puente.

1.2.2 Alcances

El programa de estudios debe considerar la recolección de información, los trabajos de campo y los trabajos de gabinete, cuya cantidad y alcance será determinado en base a la envergadura del proyecto, en términos de su longitud y el nivel de riesgo considerado.

Los estudios hidrológicos e hidráulicos comprenderán lo siguiente:

- Evaluación de estudios similares realizados en la zona de ubicación del puente; en el caso de reemplazo de un puente colapsado es conveniente obtener los parámetros de diseño anteriores.
- Visita de campo; reconocimiento del lugar tanto en la zona de cruce como de la cuenca global.
- Recolección y análisis de información hidrométrica y meteorológica existente; esta información puede ser proporcionada por entidades locales o nacionales, por ejemplo: Ministerio de Agricultura, SENAMHI, o

entidades encargadas de la administración de los recursos hídricos del lugar.

Caracterización hidrológica de la cuenca, considerada hasta el cruce del curso de agua; en base a la determinación de las características de respuesta lluvia - escorrentía, y considerando aportes adicionales en la cuenca, se analizará la aplicabilidad de los distintos métodos de estimación del caudal máximo.

Selección de los métodos de estimación del caudal máximo de diseño; para el cálculo del caudal máximo a partir de datos de lluvia se tienen: el método racional, métodos en base a hidrogramas unitarios sintéticos, métodos empíricos, etc., cuya aplicabilidad depende de las características de la cuenca; en caso de contarse con registros hidrométricos de calidad comprobada, puede efectuarse un análisis de frecuencia que permitirá obtener directamente valores de caudal máximo para distintas probabilidades de ocurrencia (periodos de retorno).

Estimación de los caudales máximos para diferentes periodos de retorno y según distintos métodos; en todos los casos se recomienda llevar a cabo una prueba de ajuste de los distintos métodos de análisis de frecuencia (Gumbel, Log - Pearson Tipo III, Log - Normal, etc.) para seleccionar el mejor.

Adicionalmente, pueden corroborarse los resultados bien sea mediante factores obtenidos a partir de un análisis regional o, de ser posible, evaluando las huellas de nivel de la superficie de agua dejadas por avenidas extraordinarias recientes.

Evaluación de las estimaciones de caudal máximo; elección del resultado que, a criterio ingenieril, se estima confiable y lógico.

Determinación del periodo de retorno y la descarga máxima de diseño; el periodo de retorno dependerá de la importancia de la estructura y consecuencias de su falla, debiéndose garantizar un estándar hidráulico mayor para el diseño de la cimentación del puente que el usualmente requerido para el dimensionamiento del área de flujo a ser confinada por el puente.

Caracterización morfológica del cauce; es especialmente importante la determinación de la estabilidad, estática o dinámica, o inestabilidad del cauce, y asimismo, el aporte de escombros desde la cuenca, los cuales permitirán pre-establecer las condiciones a las que estará expuesta la estructura.

Determinación de las características físicas del cauce, incluyendo las llanuras de inundación; estas incluyen la pendiente del cauce en el tramo de estudio, diámetro medio del material del lecho tomado a partir de varias muestras del cauce, coeficientes de rugosidad considerando la presencia o no de vegetación, materiales cohesivos, etc.

Selección de secciones transversales representativas del cauce y obtención del perfil longitudinal; la longitud del tramo a ser analizado dependerá de las condiciones de flujo previstas, por ejemplo, alteraciones aguas arriba o aguas abajo que debieran considerarse.

Determinación del perfil de flujo ante el paso del caudal de diseño a lo largo del cauce; se sugiere la utilización de los programas de cómputo HEC-2, HEC-RAS o similares.

Determinación de las características hidráulicas del flujo; estas comprenden la velocidad media, ancho superficial, área de flujo, pendiente de la línea de energía, nivel de la superficie de agua, etc., cuyos valores son necesarios para la determinación de la profundidad de socavación.

Determinación de las profundidades de socavación general, por contracción, local y total.

Evaluación de las estimaciones de socavación total.

Recomendaciones de protección y/o consideraciones de diseño adicionales.

1.2.3 Consideraciones para el Diseño

Los puentes ubicados en el cruce con un curso de agua deben ser diseñados de modo que las alteraciones u obstáculos que estos representen ante este curso de agua sean previstos y puedan ser admitidos en el desempeño de la estructura a lo largo de su vida útil o se tomen medidas preventivas. Para esto deben establecerse las características hidrogeodinámicas del sistema fluvial con el objeto de determinar la estabilidad de la obra respecto al comportamiento del cauce. Es importante considerar la posible movilidad del cauce, el aporte de escombros desde la cuenca y los fenómenos de socavación, así como la posibilidad de ocurrencia de derrumbes, deslizamientos e inundaciones.

Dado que, generalmente, el daño ocasional producido a la vía y accesos aledaños al puente ante una avenida extraordinaria puede ser rápidamente reparado para restaurar el servicio de tráfico y, de otro lado, un puente que colapsa o sufre daños estructurales mayores ante la erosión puede amenazar la seguridad de los transeúntes así como crear impactos sociales y pérdidas económicas significativas por un largo periodo de tiempo, debe considerarse mayor riesgo en la determinación del área de flujo a ser confinada por el puente que en la estimación de las profundidades de socavación.

El estudio debe indicar los periodos de sequía, de avenidas, y de transición, para recomendar las previsiones a tomarse en cuenta antes, durante y después de la construcción de las estructuras ubicadas en el cauce.

1.2.4 Interrelación con los Estudios Geológicos y Geotécnicos

En el caso de puentes sobre cursos de agua, la información sobre la geomorfología y las condiciones del subsuelo del cauce y alrededores son complementarias con aquella obtenida de los estudios hidrológicos. El diseño de los elementos de la subestructura se realizará tomando en cuenta los aspectos de ingeniería estructural, geotécnica e hidráulica en forma conjunta. El nivel de ubicación de la cimentación depende del tipo de cimentación, esto es, si es superficial o profunda, va apoyada sobre roca o suelo, etc. y deberá estar por debajo de las profundidades de socavación estimadas.

1.2.5 Información de Apoyo

Para el óptimo logro de los objetivos, el estudio de hidrología e hidráulica debe apoyarse en la siguiente información adicional:

Perfil estratigráfico del suelo.

Tamaño, gradación del material del lecho.
Secciones transversales del cauce.
Vista en planta del curso de agua.
Características de la cuenca.
Datos de erosión en otros puentes.
Historial de avenidas.
Ubicación del puente respecto a otras estructuras.
Carácter del curso de agua (perenne, intermitente, etc.).
Geomorfología del lugar (con llanuras de inundación; cruza deltas o abanicos aluviales, meándrico, recto, trenzado, etc.).
Historial erosivo del curso de agua.
Historial de desarrollo del curso de agua y de la cuenca. Adquirir mapas, fotografías aéreas; entrevistar residentes locales; revisar proyectos de recursos hídricos planificados a futuro.
Evaluación cualitativa del lugar con un estimado del potencial de movimiento del curso de agua y su efecto sobre el puente.

1.2.6 Documentación Requerida

Los estudios deberán ser documentados mediante un informe que contendrá, como mínimo, lo siguiente:

Características del río en la zona del proyecto
Régimen de caudales
Características hidráulicas
Caudal de diseño y periodo de retorno
Definición de la luz del puente y de los niveles del fondo de la superestructura
Profundidad mínima recomendable para la ubicación de la cimentación, según el tipo de cimentación.
Características de las obras de defensa y de encauzamiento
Conclusiones y Recomendaciones