

modelos bidimensionales deberá ser solicitado al DRNA y la JP por escrito y debidamente justificado.

### **5.11 Calibración del modelo**

La calibración del modelo es posible si se dispone de elevaciones de agua y caudales durante inundaciones históricas o, de mapas de inundación de eventos significativos elaborados por las agencias del gobierno. El USGS y el USACE son fuentes de información que se pueden consultar. La calibración consiste en modificar los parámetros del modelo para que, dentro de los valores razonables, reproduzcan las elevaciones históricas para los caudales correspondientes. Un modelo se considera calibrado si reproduce los niveles históricos dentro de un intervalo de 6 pulgadas (0.15 metros).

Utilice secciones transversales con datos que se adecuen a las condiciones del evento histórico que se trata de calibrar. Si las condiciones han cambiado significativamente, desde el momento de la inundación usada para la calibración hasta el momento correspondiente al estudio que se realiza, deberá hacer los ajustes necesarios con su debida justificación.

CP Cuando se dispone de más de un mapa de inundación histórica, se usará el evento más reciente. En el caso en que el estudio tenga que ser revisado por la FEMA, en lugar de una calibración, el modelo reproducirá los niveles de agua correspondientes a los del Estudio para Seguro de Inundaciones (FIS). El Capítulo 6 presenta más detalles de los estudios para la FEMA que se someten a la JP.

## CAPÍTULO 6

### CONSIDERACIONES ESPECIALES PARA VALLES INUNDABLES

#### 6.1. Propósito

*El propósito de este capítulo es establecer los requerimientos que aplican a los estudios H-H en valles inundables que requieren aprobación por la FEMA y la JP; así como, ofrecer guías sobre el procedimiento para realizar un análisis del Cauce Mayor en aquellos casos que lo requiera el Reglamento Sobre Áreas Especiales de Riesgo a Inundación.*

El propósito de este capítulo es establecer los requerimientos que aplican a los estudios H-H en valles inundables que requieren aprobación por la FEMA y la JP; así como, ofrecer guías sobre el procedimiento para realizar un análisis del cauce mayor en aquellos casos que lo requiera el Reglamento Sobre Áreas Especiales de Riesgo a Inundación, Reglamento de Planificación Núm. 13 y la FEMA. Los temas que se tratan son: análisis de acarreo hidráulico local, metodología para delimitar un cauce

mayor y cambios en los mapas FIRM.

#### 6.2 Análisis de Acarreo Hidráulico

La Sección 6.01 del Reglamento Sobre Áreas Especiales de Riesgo a Inundación prohíbe la ubicación de estructuras, rellenos, desarrollos o cualquier obstáculo dentro de la zona del Cauce Mayor. Sin embargo, cuando se han evaluado todas las alternativas y la única disponible es construir dentro de esta zona, el Reglamento permite la construcción de estructuras, siempre y cuando se demuestre, mediante un estudio H-H, que no ocurrirá ningún aumento en los niveles del Cauce Mayor durante el evento de descarga de la inundación base. Esta sección del reglamento también establece que *"el estudio hidrológico- hidráulico a realizar, deberá tener como base el estudio vigente regulatorio. Se aceptará además, como parte del estudio, sólo aquellas metodologías aplicables aprobadas por las agencias reguladoras, estatales y por la FEMA para evaluar el impacto de un proyecto en el Cauce Mayor"*.

El DRNA y la JP requieren además, que para los casos en que se introduzcan obstáculos en la zona del Cauce Mayor se realice un análisis de acarreo hidráulico según descrito en el documento de la FEMA titulado "Certification Requirements for Simple Floodway Encroachments" (FEMA).

##### 6.2.1 Justificación del análisis de Acarreo Hidráulico

Los modelos hidráulicos pueden no detectar cambios pequeños en las elevaciones del agua producidos por obstáculos individuales dentro del Cauce Mayor. De esta manera, la proliferación de estructuras dentro del Cauce Mayor pasaría desapercibida; sin embargo, a largo plazo, el efecto acumulado de estos obstáculos



resultará significativo. El cálculo del acarreo hidráulico permite un análisis más detallado y enfocado en la zona cercana a la ubicación de los nuevos obstáculos, a la vez que se incluyen medidas para compensar por la pérdida de la capacidad para permitir el paso del agua en la zona del proyecto.

A continuación se detalla el análisis de acarreo hidráulico necesario para estos casos.

### 6.2.2. Cálculo del Acarreo Hidráulico Local

La ecuación de Manning se puede expresar de la siguiente manera:

$$Q = K \sqrt{S} \quad (6.1)$$

Donde Q es el caudal, S es la pendiente de la energía y K es el "acarreo hidráulico". Según esta forma de la ecuación, el coeficiente K es:

$$K = \frac{C}{n} AR^{2/3} \quad (6.2)$$

Donde C es un coeficiente que depende del sistema de unidades (1.49 para sistema inglés, 1.0 para sistema internacional), A es el área de la sección de flujo de agua, R es el radio hidráulico y n es el coeficiente de rugosidad de Manning.

La construcción o colocación de algún obstáculo dentro del Cauce Mayor reduce el área para el paso del agua y, por lo tanto, reduce el valor de K. Entonces, es necesario proponer alternativas para compensar esa pérdida en forma tal que, la capacidad del Cauce Mayor no se vea reducida.

### 6.2.3 Estimación de la Pérdida y Compensación del Acarreo Hidráulico

Los estudios H-H para valles inundables donde se conoce el nivel de inundación base (Zona AE) y se ha delimitado el Cauce Mayor poseen un Estudio de Seguro de Inundaciones (FIS) para el cual se desarrolló un modelo hidráulico. Cuando se desea realizar un proyecto dentro del Cauce Mayor se revisa el modelo original provisto por la FEMA y, de ser necesario, se modifica para reflejar las condiciones existentes al momento de realizar el nuevo estudio.

#### 6.2.3.1 Datos requeridos

El procedimiento requiere incluir en el modelo hidráulico, al menos dos secciones transversales nuevas, representativas del área del proyecto propuesto, y delimitar el Cauce Mayor para las mismas. Los resultados de este modelo deberán contener las elevaciones del Cauce Mayor para las condiciones existentes revisadas en el sitio del proyecto propuesto.

### 6.2.3.2 Procedimiento de cálculo

Los cálculos para estimar el acarreo hidráulico se realizan con la Ecuación 6.2 usando la sección transversal y los niveles de agua del Cauce Mayor obtenidos con este modelo y se siguen los siguientes pasos:

1. Se calcula la reducción del acarreo hidráulico ( $K$ ) ocasionada por la obstrucción propuesta, asumiendo que no ocurren cambios en el nivel del agua dentro del Cauce Mayor y, usando el coeficiente de rugosidad de Manning ( $n$ ), adecuado para la condición existente en el sitio donde se propone la obstrucción.
2. Se calcula el acarreo hidráulico considerando medidas de diseño que lo incrementen en forma tal que la reducción ocasionada por la obstrucción sea menor que los resultados obtenidos con las medidas de diseño.
3. Las medidas propuestas para compensar la pérdida de acarreo hidráulico dentro del Cauce Mayor deben favorecer el cauce del agua y no representar depresiones o condiciones donde no se provea continuidad verdadera al paso de las aguas.
4. Con el análisis se someterá evidencia fehaciente del compromiso perpetuo al mantenimiento que se le debe proveer a las medidas que se construyan.
5. Se proveerán los cálculos detallados del análisis de acarreo hidráulico como parte del estudio H-H.

### 6.3 Análisis para Determinar Niveles de Inundación dentro del Valle

La FEMA define la Elevación de la Inundación Base (BFE) como la elevación del agua que se obtiene cuando se realizan los cálculos para el caudal cuya probabilidad de ser igualado o excedido en un año cualquiera es 1%. El inverso de esta probabilidad tiene unidades de años y se conoce como el periodo de retorno. Entonces, los niveles correspondientes serán los de la inundación con periodo de recurrencia de 100 años. El flujo base es el valor usado por el Programa Nacional de Seguros por Inundaciones (NFIP) y por todas las agencias federales, para propósitos de adquisición de los seguros de inundaciones y para reglamentar nuevos desarrollos. Los niveles de agua correspondientes al BFE se muestran en los FIRMs.

El Reglamento Sobre Áreas Especiales de Riesgo a Inundación de la JP establece que, *"para desarrollos en terrenos que radiquen en áreas especiales de riesgo a inundación en las cuales se desconozca el nivel de inundación base (identificados como Zona A en los Mapas de Tasas del Seguro de Inundación), el proponente someterá estudios hidrológicos e hidráulicos y propuestas específicas a la Junta"* (Sec. 7.02) las cuales deberán tener el endoso del DRNA. En esta sección se incluyen requisitos específicos para estos estudios.



La FEMA define la Elevación de la Inundación Base (BFE) como la elevación del agua que se obtiene cuando se realizan los cálculos para el caudal cuya probabilidad de ser igualado o excedido en un año cualquiera es 1%. Estos niveles corresponden a lo que se conoce como la inundación con periodo de recurrencia de 100 años.

Los estudios para seguros por inundaciones (FIS) típicamente producen elevaciones para caudales con periodos de retorno de 10, 50, 100 y 500 años. La metodología utilizada para delimitar el valle inundable correspondiente a estos caudales debe realizarse siguiendo la metodología descrita en esta Guía. Además, se debe cumplir con las siguientes condiciones:

1. Aunque la inundación base es la correspondiente al caudal con periodo de recurrencia de 100 años, para ser consistentes con los FIS se obtendrán niveles de inundación correspondientes a 10, 50, 100 y 500 años de periodo de retorno.
2. Los puentes existentes deben incluirse en los modelos hidráulicos durante los cálculos dentro del valle inundable.
3. Siempre que sea posible, seleccione límites del valle inundable que sean fáciles de localizar en el terreno.
4. Cuando se delimite la inundación entre dos secciones del modelo, el ancho no podrá ser menor que el de las secciones. Se debe seguir la forma general del valle.
5. Si existen diques (*levees*) debidamente aprobados y acreditados para protección contra la inundación reglamentaria (1% de probabilidad de excedencia), estos deben incluirse en el modelo y se trazan a lo largo del pie del dique en el lado seco de la estructura.
6. Otras decisiones con respecto a la delimitación de la inundación cuyos criterios no están mencionados aquí, deben ser discutidas con la JP y el DRNA.
7. No se permiten delimitaciones de valles inundables mediante trazos aproximados. En caso de duda se debe consultar con la JP y el DRNA.
8. Las secciones transversales para delimitar el valle inundable deben abarcar todo el valle inundable, por lo que los niveles de inundación base no pueden calcularse con un modelo que usa secciones truncadas o incompletas.

#### 6.4 Análisis para Delimitación del Cauce Mayor en Valles Inundables

En muchos cauces en Puerto Rico se conoce el nivel de la inundación base pero no se ha delimitado el Cauce Mayor. En otros casos no se conoce el nivel de la inundación base ni tampoco se ha delimitado el Cauce Mayor. Para efectos de la construcción de desarrollos en los casos mencionados anteriormente se requiere delimitar el Cauce Mayor. En estos casos la práctica más común es usar los métodos que posee HEC-RAS para delimitar el Cauce Mayor en valles inundables usando las condiciones de flujo permanente, gradualmente variado.

La práctica más común es usar los métodos que posee HEC-RAS para especificar el Cauce Mayor en valles inundables usando las condiciones de flujo permanente, gradualmente variado.

HEC-RAS contiene cinco métodos para realizar este análisis. El propósito de esta Sección es ofrecer una guía de cuáles deben ser los métodos a seguir en estos casos, de forma tal que se mantenga uniformidad en la metodología usada en Puerto Rico y aceptada por la FEMA.

El método a seguir es el número 4 conocido como "igual reducción de acarreo hidráulico", descrito en el documento *"Hydraulic Reference Manual"* suministrado junto con el programa HEC-RAS. En esta referencia se deben consultar los detalles de los datos requeridos. El Método Núm. 4 ajusta el Cauce Mayor de tal forma que la pérdida de acarreo hidráulico provocada por la delimitación del Cauce Mayor sea igual a ambos lados del cauce para un incremento fijo en el nivel del agua. La Figura 6.1 muestra un ejemplo de igual reducción de acarreo hidráulico, denotado con la letra K, a ambos lados del valle inundable. Una posible aplicación de este procedimiento será cuando, según lo requiere el Reglamento Núm. 13, sea necesario un nuevo estudio detallado en Zona A, la evaluación de un depósito de relleno en Zona A y desarrollos en terrenos en Zona AE donde se conoce el nivel de inundación base y no se ha delimitado el Cauce Mayor. El aumento máximo a permitirse será de 0.15 metros (Junta de Planificación, 2010).

Los resultados obtenidos mediante este método deben ser analizados para verificar si los cambios en la elevación del agua corresponden al valor de 0.15 metros y si los cambios en velocidad, ancho del cauce y otros parámetros son aceptables. Ajustes posteriores se hacen con el Método Núm. 1, en el cual, el ingeniero especifica la localización exacta de las estaciones que definen el Cauce Mayor. Para la delimitación del Cauce Mayor se requiere que se cumpla con que el incremento en el nivel del agua sea de 0.15 metros (0.5 pies).



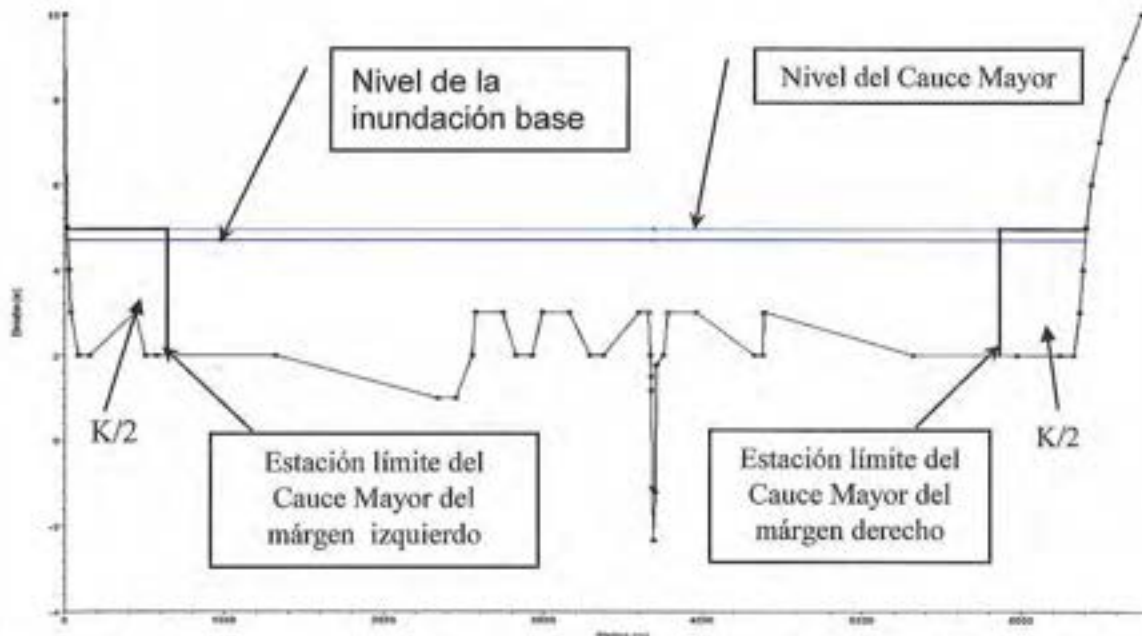


Figura 6.1 Delimitación del Cauce Mayor usando igual reducción de acarreo hidráulico a ambos lados

Además del análisis de encausamiento (*encroachment*) descrito en los párrafos anteriores, para los estudios en los valles inundables se debe cumplir con las siguientes condiciones:

1. El Cauce Mayor siempre se calcula usando el caudal máximo correspondiente a una probabilidad de excedencia anual del 1%.
2. Los puentes existentes deben mantenerse en los modelos hidráulicos durante los cálculos en el valle inundable.
3. Luego de graficar la delimitación del Cauce Mayor se debe asegurar que en todas las estaciones que lo limitan, los incrementos en el nivel del agua no excedan 0.15 m (0.5 pies) entre la Inundación Base y la inundación dentro del Cauce Mayor.
4. Siempre que sea posible, seleccione límites de Cauce Mayor que sean fáciles de localizar en el terreno.
5. Siempre que sea posible, obtenga límites en el Cauce Mayor en las secciones donde se conoce la elevación del Flujo Base.
6. Si el modelo hidráulico contiene secciones de flujo inefectivo cerca de un puente, establezca las estaciones para el encausamiento en el modelo coincidiendo con los límites de la sección de flujo inefectivo. Sin embargo, para efectos de delimitar el Cauce Mayor, se deben usar las estaciones que se encuentran más cercanas al puente, pero fuera de la zona de contracción y expansión de la estructura. Estas estaciones corresponden a la 1 y la 4 de la Figura 5.5.

7. Aplicar límites del Cauce Mayor en cualquier sección transversal con flujo inefectivo si la porción de flujo inefectivo ocurre naturalmente y no debido a un puente.
8. Cuando ocurra desborde sobre una carretera, ajuste las estaciones de límite de Cauce Mayor en forma tal que queden adecuadamente alineadas con el alineamiento del Cauce Mayor aguas arriba y aguas abajo de la carretera.
9. Nunca coloque límites del Cauce Mayor dentro del cauce principal del cuerpo de agua.
10. Cuando se delimite el Cauce Mayor entre dos secciones del modelo, el ancho no podrá ser menor que el de las secciones. Se debe seguir la forma general del valle y estar contenido dentro de la zona inundable.
11. Si existen diques (levees) debidamente aprobados y acreditados para protección contra la inundación reglamentaria (1% de probabilidad de excedencia), el Cauce Mayor se traza a lo largo del pie del dique en el lado seco de la estructura.
12. Otras decisiones con respecto a la delimitación del Cauce Mayor cuyos criterios no están mencionados aquí, deben ser anotadas en el modelo hidráulico para el Cauce Mayor luego de haberse discutido con la JP y el DRNA.
13. No se permiten delimitaciones de Cauce Mayor mediante trazos aproximados. En caso de duda se debe consultar con la JP y el DRNA.
14. Las secciones transversales para delimitar las inundaciones en valles inundables deben abarcar todo el valle inundable, por lo que el Cauce Mayor no puede calcularse con un modelo que usa secciones truncadas o incompletas.
15. Si el paso de la inundación reglamentaria sobre una atarjea incluye flujo fuera de la misma, se debe usar el ancho del Cauce Mayor incluyendo el área de flujo fuera de la misma.
16. Si existen áreas no perturbadas (no elevadas como resultado de una construcción o desarrollo urbano), las cuales se encuentran sobre el nivel de inundación base, pero que, geográficamente se encuentran dentro del Cauce Mayor, pueden identificarse como fuera del Cauce Mayor, siempre que la "isla" esté incluida adecuadamente en el modelo hidráulico.
17. Las estaciones finales que limitan el Cauce Mayor en cada sección transversal deben colocarse en el modelo hidráulico usando el Método 1. Esto permitirá que, en el futuro, otros usuarios conozcan explícitamente donde se colocaron las estaciones limitrofes del Cauce Mayor al momento de delimitarlo.



## 6.5 Estudios HH para revisión del FIRM

*Cuando se somete a la JP una solicitud para revisión de un mapa de zona inundable (FIRM), la FEMA establece procedimientos específicos para la preparación de estudios H-H; así como, el cumplimiento con otros requisitos y documentos detallados en la solicitud MT-2.*

Cuando se somete a la JP una solicitud para revisión de un mapa de zona inundable (FIRM), la FEMA establece procedimientos específicos para la preparación de estudios H-H; así como, el cumplimiento con otros requisitos y documentos detallados en la solicitud MT-2 (<https://www.fema.gov/mt-2-application-forms-and-instructions>).

A continuación se resume la parte relacionada con cálculos hidrológicos e hidráulicos para la elaboración del estudio H-H cuyo propósito es la revisión del FIRM. Para otros requisitos de la FEMA fuera del alcance de esta Guía, se deberá consultar con la JP.

### 6.5.1 Hidrología

El estudio hidrológico solamente se incluye en aquellos casos donde hay razones para proponer un cambio en los caudales reglamentarios que se usaron en el Estudio de Seguros de Inundaciones (FIS) vigente. Los nuevos resultados deben evidenciar diferencias estadísticamente significativas cuando se comparan con los caudales vigentes. El estudio hidrológico compara la magnitud de la inundación base vigente con la propuesta en tres sitios representativos del cauce donde se propone realizar los cambios en el FIRM.

Si el cambio en el flujo base se propone solamente para un tramo del cauce, es importante asegurar una transición adecuada con los tramos que no se van a revisar para asegurar continuidad en el estudio. Deberá explicarse como el tramo que se propone modificar hace la transición con los tramos que no se revisarán. Se debe explicar la metodología utilizada para el análisis e incluir la información detallada que apoya dicho cambio, según se especifica en el Capítulo 7 de estas Guías. Además, la FEMA requiere que se consideren los aspectos relacionados con el transporte de sedimentos, si esto afecta a la hidrología.

### 6.5.2 Hidráulica

Para sustentar el reemplazo de un FIRM, el estudio hidráulico debe incluir los requisitos descritos a continuación.

#### 6.5.2.1 Cauces en los cuales se tiene estudios detallados

Para cauces en los cuales se dispone de estudios detallados, en los cuales se ha delimitado el Cauce Mayor, los límites aguas arriba y aguas abajo del tramo incluido en el estudio hidráulico, deben mantener dos criterios:

1. Que las elevaciones del flujo base y el cauce mayor para las condiciones propuestas en los extremos aguas arriba y aguas abajo cumplen con los 0.15 m (0.5 pies) de separación mencionado en la Sección 6.4.
2. Que las estaciones que delimitan el Cauce Mayor en las secciones ubicadas en los límites aguas arriba y aguas abajo para las condiciones propuestas y las existentes coinciden.

### **6.5.2.2 Cauces donde no se tiene estudio detallado**

Cuando los estudios FIS no tienen detallado el Cauce Mayor, los límites aguas arriba y aguas abajo del tramo incluido en el estudio hidráulico para las condiciones propuestas deben cumplir con que las elevaciones del flujo base se encuentren dentro de 0.15 m (0.5 pies) de diferencia con respecto a las elevaciones de las condiciones existentes. La longitud del modelo desarrollado para la modificación propuesta deberá extenderse en ambas direcciones hasta que se cumplan las condiciones anteriores.

### **6.5.3 Modelos requeridos para solicitar cambios en el FIRM**

Cuando se solicitan cambios al FIRM, se debe incluir varios modelos hidráulicos que representan las diferentes condiciones, los cuales se explican a continuación.

#### **6.5.3.1 Duplicado del modelo existente o modelo efectivo**

El modelo efectivo es el modelo que se desarrolló para el FIS vigente. En áreas donde existe previamente un estudio de inundación detallado se debe duplicar ese modelo antes de proceder a introducir cualquier cambio. Las elevaciones y los perfiles de agua del modelo deben coincidir con los del informe preparado para el FIS, con una diferencia máxima de 0.1 pies. En caso de no existir un modelo anterior, el nuevo modelo deberá ser calibrado para reproducir los perfiles del FIS con una desviación máxima de 0.15 m (0.5 pies). Si se opta por hacer un modelo nuevo alternativo al existente que se usó para el FIS, debe demostrarse que el modelo existente para el FIS es inadecuado y que el nuevo modelo deberá calibrarse para reproducir los perfiles de agua del FIS con una desviación máxima de 0.15 m (0.5 pies).

#### **6.5.3.2 Modelo Efectivo Corregido**

Este es el modelo en el cual se corrige cualquier error que se detecte en el duplicado mencionado en el párrafo anterior. En el modelo corregido también se pueden incluir secciones transversales nuevas o introducir información topográfica más detallada que la que contiene el modelo original.



### 6.5.3.3 Modelo de la Condición Existente antes del proyecto

Este modelo consiste en tomar el modelo efectivo (duplicado o corregido según sea el caso) y se modifica para que sea representativo de las condiciones existentes al presente. La diferencia es que, en este modelo se añaden los cambios que han ocurrido dentro del valle inundable a partir de la fecha en que se hizo el modelo efectivo existente.

Si no ocurrieron cambios o modificaciones desde la fecha en que se hizo el FIS, entonces este modelo será igual al modelo corregido o al duplicado, según sea el caso. El Modelo de la Condición Existente servirá de apoyo para determinar los impactos que tendrá el proyecto propuesto.

### 6.5.3.4 Modelo de la Condición Propuesta o Revisado

El Modelo de la Condición Existente se modifica para incluir los cambios propuestos por el proyecto. Este modelo debe incluir los cambios físicos que impactarán el valle inundable y los efectos del proyecto. Este modelo debe ser representativo de la condición propuesta. Los cambios realizados en los modelos hidráulicos deben limitarse a tramos para el cual se pide la revisión del FIRM. Las secciones transversales aguas arriba y aguas abajo del tramo bajo revisión deben permanecer idénticas a aquellas que tiene el modelo efectivo original. Si se hace de esta manera, las elevaciones del agua y los anchos de cauce obtenidos con los modelos revisados deben coincidir con aquellos que se tienen en estos tramos con el modelo existente original.

## 6.6 Verificación del modelo usando CHECK-RAS

Cuando se utiliza el modelo HEC-RAS la FEMA recomienda que los modelos hidráulicos sean analizados con el programa CHECK-RAS para verificar posibles errores en los modelos. CHECK-RAS es una herramienta para la validación de modelos hechos con HEC-RAS, desarrollada por el USACE y que se puede conseguir en la Internet (<http://www.fema.gov/check-ras-hec-ras-validation-tool>). Los modelos hidráulicos que se sometan para el proceso de cambios en un FIRM deberán ser cuidadosamente revisados antes de ser sometidos a la JP.

### PRESENTACIÓN DE LOS ESTUDIOS Y ARCHIVOS

#### 7.1 Propósito

El propósito de esta sección es especificar el contenido de los estudios H-H.

#### 7.2 Estudios sometidos al DRNA y la JP

*En aquellos casos en que el DRNA y la JP tengan que emitir una opinión, los estudios H-H deben contener los datos y procedimientos especificados en la presente Guía y estar escritos según descrito en este Capítulo.*

A continuación se incluye la tabla de contenido requerida para aquellos estudios H-H en los cuales el DRNA y la JP tengan que emitir una opinión.

#### 7.3 Tabla de Contenido para estudios H-H

669  
**I. Resumen Ejecutivo**

**II. Introducción**

- A. Propósitos del Estudio
- B. Partes envueltas (dueño, desarrollador, consultor)
- C. Autorización

**III. Descripción del Estudio**

- A. Plano de localización (escala 1:20,000 o menor)
- B. Topografía existente
- C. Cuerpos de Agua
- D. Descripción del Problema de Inundaciones
  - 1. Identificar planes de control o de mitigación de inundaciones en el área
- E. Condiciones de Diseño (obras actuales vs. futuras)
- F. Alcance del Estudio
- G. Impacto del Proyecto

**IV. Recolección de Datos**

- A. Inspección visual de campo.



- B. Fotografías que describan la condición existente y cualquier otro detalle que sea relevante para el estudio.
- C. Revisión de estudios previos
- D. Colección de datos históricos

## V. Formulación de alternativas

- A. Preventivas
- B. Correctivas

## VI. Estudio Hidrológico

- A. Datos
  - 1. Delimitación de los límites de la cuenca
    - a. Delimitación Manual
    - b. Delimitación Automatizada
  - 2. Identificación de cuerpos de agua
    - a. Identificar usos de agua en la cuenca para fines agrícolas, recreativos y otros
    - b. Presencia de acuíferos, relación con cuerpos de agua bajo estudio, si aplica.
  - 3. Información Fisiográfica
    - a. Topografía, mapas
    - b. Usos de terrenos
    - c. Cubierta vegetal
    - d. Cálculo del Número de Curva – CN
    - e. Cálculo del Tiempo de Concentración
  - 4. Lluvia
    - a. Lluvias históricas importantes
    - b. Análisis de frecuencias
    - c. Datos de NOAA Atlas 14
    - d. Distribución temporal
  - 5. Hidrogramas
    - a. Hidrogramas medidos
    - b. Cálculo de Hidrogramas sintéticos
- B. Metodologías
  - 1. Método del NRCS. Aplicación de HEC-HMS, TR-55, SWMM u otros. Presentar detalles sobre lo adecuado del modelo para el propósito del estudio.
  - 2. Diagrama de configuración de las subcuencas en que se dividió la simulación
  - 3. Parámetros de modelo
  - 4. Ensamblaje del modelo
  - 5. Calibración y validación del modelo hidrológico
  - 6. Análisis de sensibilidad
  - 7. Resumen de alternativas evaluadas y corroboración de resultados

- C. Análisis de Resultados
  - 1. Resumen
  - 2. Interpretación
  - 3. Selección de caudales para diseño
  - 4. Adopción de resultados y limitaciones del estudio

## VII. Estudio Hidráulico

- A. Inundaciones conocidas – históricas o simuladas (FEMA, USGS, otros estudios)
- B. Descripción y evaluación del sistema hidráulico
  - 1. Conceptualización del sistema hidráulico (tipo de flujo: uniforme, gradual, transitorio)
- C. Metodologías
  - 1. Se seleccionará y justificarán metodologías apropiadas de acuerdo al tipo de flujo que mejor describa el problema bajo estudio.
    - a. Flujo uniforme
    - b. Flujo gradualmente variable y permanente
    - c. Flujo rápidamente variable y permanente
    - d. Flujo espacialmente variable y no-permanente
    - e. Flujo uni-dimensional
    - f. Flujo bi-dimensional
  - 2. El modelo en una dimensión que se debe usar es HEC-RAS para flujo gradualmente variable, permanente o no-permanente. Otros modelos serán aceptados, previa consulta con el DRNA y la JP y según se especifica en el Capítulo 4 de este documento. Los puntos c, d, e y f aplican a todo tipo de modelo.
  - 3. Resumen y análisis de los parámetros hidráulicos para el modelo; incluyendo: coeficientes de resistencia, pérdidas de energía locales, pendientes laterales y transversales, secciones transversales, segmentos del tramo del cuerpo de agua que se modela, niveles de control, condiciones en los bordes del tramo modelado, caudales de diseño y otros.
  - 4. Configuración hidráulica y ensamblaje del modelo
  - 5. Calibración y validación del modelo
  - 6. Resumen de alternativas evaluadas
- D. Datos hidráulicos
  - 1. Secciones transversales (actuales y propuestas)
  - 2. Perfiles longitudinales (actuales y propuestos)
  - 3. Planta (actual y propuesta)
  - 4. Capas de GIS para las elevaciones, coeficientes de resistencia y otros parámetros usados en modelos de dos dimensiones (si es el caso).
- E. Análisis de resultados
  - 1. Resumen de resultados
  - 2. Interpretación de resultados



3. Planta y perfiles de agua
4. Adopción de resultados y sus limitaciones
- F. Consideración de sistemas de almacenamiento
  1. Rastreo de hidrogramas
  2. Diseño hidráulico de estructuras de salida
- G. Otras consideraciones de diseño
  1. Posible erosión en la riberas (estabilidad de taludes) y en estructuras
  2. Análisis de sensibilidad de los resultados hidráulicos
  3. Mantenimiento de los canales
  4. Diseño de transiciones
  5. Diseño de estructuras hidráulicas de control
  6. Consideraciones ambientales (consideraciones de bio-ingeniería)
  7. Consideración de flujos mínimos en el cuerpo de agua
  8. Otros

### **VIII. Impacto del Proyecto**

- CGP
- A. Enmienda y Revisión a Mapas sobre Tasas del Seguro de Inundación
  - B. Variaciones
  - C. Impacto Ambiental (explicar brevemente y referir al documento)
  - D. Áreas anegadas
  - E. Escorrentía pluvial (de ser el caso)
  - F. Presencia de acuíferos y su relación con las aguas superficiales
  - G. Otros.

### **IX. Determinación de Riesgos (de ser necesario)**

- A. Factores de Riesgos por Inundaciones
- B. Zonas de Primas de Seguros

### **X. Preparación de Mapas (de ser necesario)**

- A. Límites de las zona inundables vigentes (mapas de la FEMA)
- B. Nuevos límites de las zonas inundables (mapas de la FEMA)

### **XI. Otros estudios especializados sobre inundaciones**

- A. Marejadas en estuarios
- B. Métodos utilizados. Deben ser previamente consultados con el DRNA y la JP

### **XII. Certificación**

- A. Toda información sometida, documentos, metodologías, corridas de computadora, planos, elevaciones del terreno y de piso, obras estructurales y de control de inundaciones y otros se certificarán al

final del informe por un Ingeniero licenciado en Puerto Rico según se especifica en la Sección 7.4 de estas guías.

## **7.4 Certificación**

El estudio H-H debe incluir una certificación sellada y firmada por un ingeniero licenciado autorizado a ejercer en Puerto Rico. De ser una firma de servicios de ingeniería, el nombre de la entidad debe establecer que se trata de una corporación profesional mediante el uso de las palabras "corporación profesional" o las abreviaciones "C.S.P.", "P.S.C.", "C.P." o "P.C."

## **7.5 Información a someter en formato digital**

El estudio H-H deberá venir acompañado por un disco compacto (CD) o un DVD debidamente identificado con el nombre del proyecto y la fecha de elaboración del informe. Los archivos digitales deben incluir:

1. Fotos y videos obtenidos durante el reconocimiento de campo junto con una breve explicación de los mismos.
2. Un directorio con los archivos digitales utilizados en el modelo hidrológico, junto con otro directorio con todos los archivos digitales utilizados en el modelo hidráulico. Este requisito aplica para cualquier tipo de modelo utilizado ya sea de flujo permanente, no-permanente, bi-dimensional o transporte de sedimentos.
3. Incluir entre los archivos digitales únicamente aquellas corridas que contengan la condición existente y las alternativas evaluadas en el estudio H-H. El ingeniero debe presentar entre sus conclusiones la alternativa seleccionada.
4. Cualquier información adicional que el ingeniero considere importante para documentar o justificar las alternativas seleccionadas.



### BIBLIOGRAFÍA

1. American Society of Civil Engineers, **Hydraulic Design of Flood Control Channels**, EM 1110-2-1601, 1995.
2. American Society of Civil Engineers, **River Hydraulics**, EM 1110-2-1416, 1996.
3. American Society of Civil Engineers, **Channel Stability Assessment for Flood Control Projects**, EM 1110-2-1418, 1997.
4. Chow, V. T., D. R. Maidment, y L. W. Mays, 1988. **Applied Hydrology**. McGraw-Hill Book Comp., New York.
5. Federal Highway Administration, United States Department of Transportation, **Stream Stability at Highway Structures**, 3<sup>rd</sup> Edition, HEC No. 20, March 2001.
6. Federal Highway Administration, United States Department of Transportation, **Bridge Scour and Stream Instability Countermeasures**, 2<sup>nd</sup> Edition, HEC-23, March 2000.
7. FEMA, "*Procedures for "No-Rise" Certification for Proposed Developments in Regulatory Floodways*," Federal Emergency Management Agency, Georgia, 1992.
8. FEMA, "*Certification Requirements for Simple Floodway Encroachments*", Federal Emergency Management Agency, Washington, D.C. (Not dated)
9. Haan, C. T., 2002. **Statistical Methods in Hydrology**. 2da Edición, Iowa State Press, Iowa.
10. Junta de Planificación. (2010). *Reglamento Sobre Areas Especiales de Riesgo a Inundación: Reglamento de Planificación Núm. 13*. Junta de Planificación de Puerto Rico, Santurce.
11. Legislatura de Puerto Rico, 2002. **Ley para Adoptar el Sistema de Coordenadas Planas Estatales de Puerto Rico**. Ley Núm. 264 aprobada el 16 de noviembre de 2002.
12. Maynard, S. "**Gabion-Mattress Channel Protection Design**", *Journal of Hydraulic Engineering*, Vol. 121, No 7, 1995.
13. National Weather Service, 2006. **Precipitation-Frequency Atlas of the United States**, Atlas 14, Volume 3, Version 4.0: Puerto Rico and the U.S. Virgin Islands, National Oceanic and Atmospheric Administration, U.S. Department of Commerce, Silver Spring, Maryland.
14. NRCS, 1986. **Urban Hydrology for Small Watersheds**. Technical Release 55, Natural Resources Conservation Service, USDA.NRCS, 1997.
15. **National Engineering Handbook**. Part 630 – Hydrology, Natural Resources Conservation Service, USDA.NRCS, 2007.

16. **National Engineering Handbook**. Part 654 – Stream Restoration Design, Natural Resources Conservation Service, USDA
  14. Normann J. & Associates, **Hydraulic Design of Highway Culverts**, Federal Highway Administration, United States Department of Transportation, Report FHW-IP-85-15, September 1985. USIACWD, 1982.
  15. **Guidelines for Determining Flood Flow Frequency**, Bulletin 17-B of the Hydrology Subcommittee, U.S. Interagency Advisory Committee on Water Data, Reston, Virginia.
- 

68



## APÉNDICE I

### Distribuciones temporales de lluvia para Puerto Rico según el NWS<sup>1</sup>

162

---

<sup>1</sup> National Weather Service, 2006. **Precipitation-Frequency Atlas of the United States**, Atlas 14, Volume 3, Version 4.0: Puerto Rico and the U.S. Virgin Islands, National Oceanic and Atmospheric Administration, U.S. Department of Commerce, Silver Spring, Maryland.

Tabla 1. Distribución Temporal de Lluvia (1 hora – 1<sup>er</sup> Cuartil – Percentil 10%)

Por Ciento de Duración	Por Ciento de Precipitación Total	Incrementos
0.0	0.0	
8.3	19.3	19.3
16.7	38.2	18.9
25.0	53.7	15.5
33.3	63.8	10.1
41.7	70.2	6.4
50.0	76.2	6.0
58.3	82.3	6.2
66.7	88.3	5.9
75.0	93.0	4.8
83.3	96.4	3.3
91.7	98.3	1.9
100.0	100.0	1.7

68

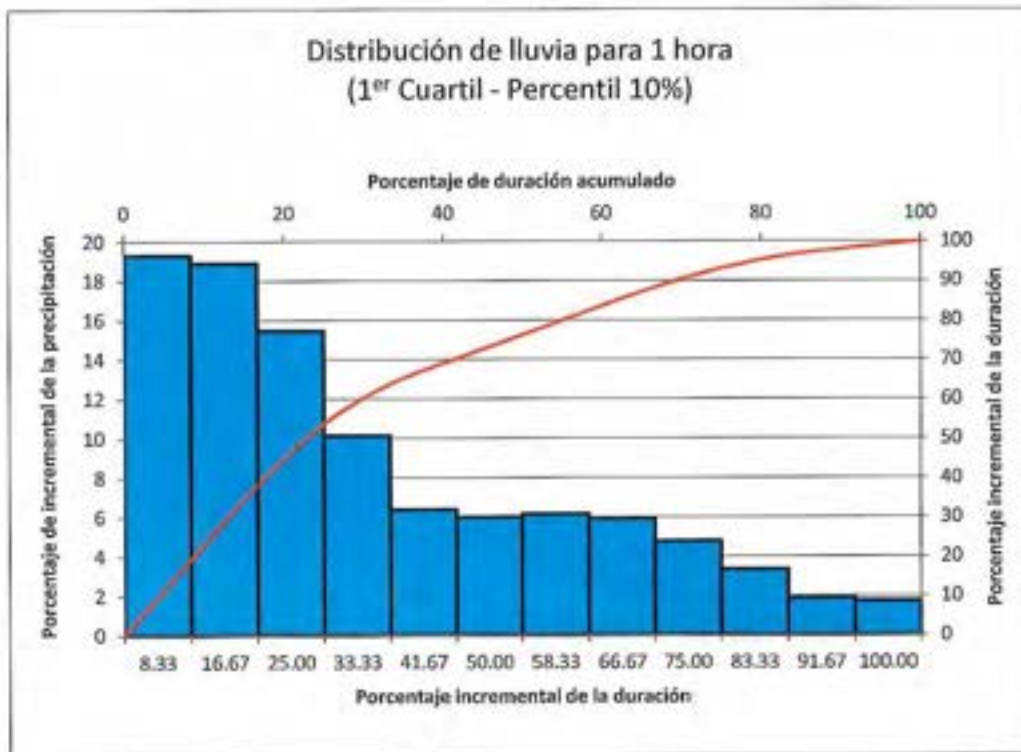




Tabla 2. Distribución Temporal de Lluvia (6 horas – 1<sup>er</sup> Cuartil – Percentil 10%)

Por Ciento de Duración	Por Ciento de Precipitación Total	Incrementos
0.0	0.0	
8.3	35.3	35.3
16.7	66.0	30.7
25.0	87.0	21.0
33.3	97.2	10.2
41.7	99.3	2.1
50.0	100.0	0.7
58.3	100.0	0.0
66.7	100.0	0.0
75.0	100.0	0.0
83.3	100.0	0.0
91.7	100.0	0.0
100.0	100.0	0.0

Cap



Tabla 3. Distribución Temporal de Lluvia (12 horas – 1<sup>er</sup> Cuartil – Percentil 10%)

Por Ciento de Duración	Por Ciento de Precipitación	
	Total	Incrementos
0.0	0.0	
8.3	45.3	45.3
16.7	79.8	34.5
25.0	95.8	16.0
33.3	99.5	3.7
41.7	100.0	0.5
50.0	100.0	0.0
58.3	100.0	0.0
66.7	100.0	0.0
75.0	100.0	0.0
83.3	100.0	0.0
91.7	100.0	0.0
100.0	100.0	0.0

CG

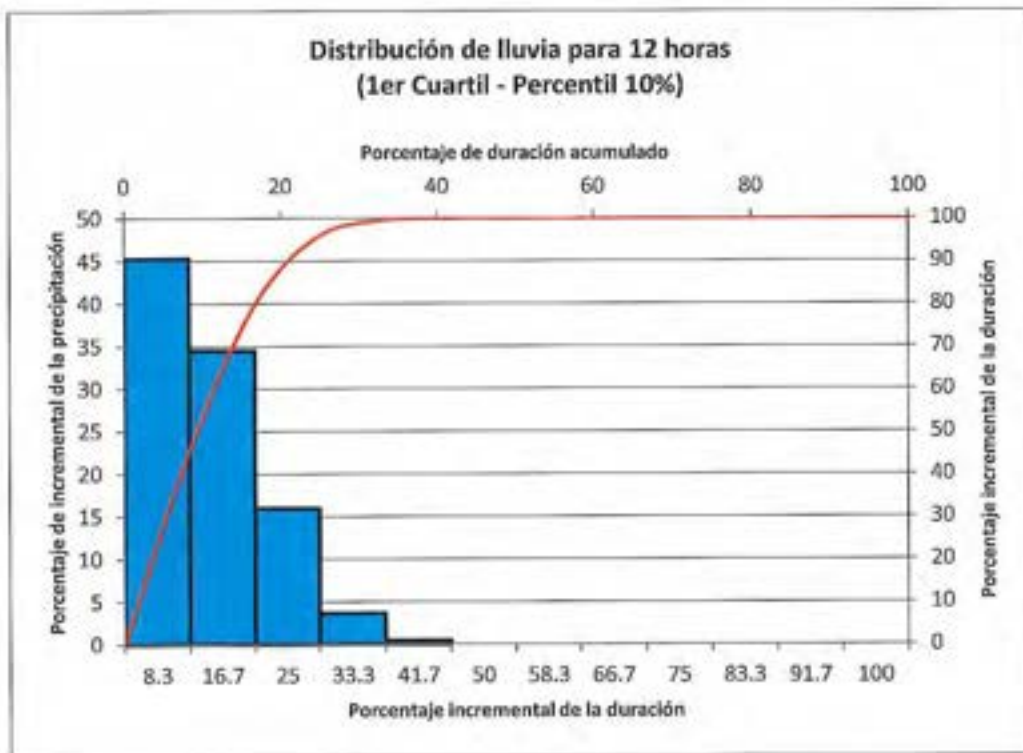


Tabla 4. Distribución Temporal de Lluvia (24 hora – 1<sup>er</sup> Cuartil – Percentil 10%)

Por Ciento de Duración	Por Ciento de Precipitación	
	Total	Incrementos
0.0	0.0	
8.3	55.8	55.8
16.7	89.1	33.3
25.0	97.2	8.1
33.3	99.6	2.4
41.7	100.0	0.4
50	100.0	0.0
58.3	100.0	0.0
66.7	100.0	0.0
75.0	100.0	0.0
83.3	100.0	0.0
91.7	100.0	0.0
100.0	100.0	0.0

110





Tabla 5. Distribución Temporal de Lluvia (1 hora – 4<sup>to</sup> Cuartil – Percentil 90%)

Por Ciento de Duración	Por Ciento de Precipitación	Incrementos
0.0	0.0	
8.3	0.7	0.7
16.7	1.3	0.6
25.0	2.5	1.2
33.3	4.1	1.7
41.7	6.5	2.4
50.0	11.2	4.8
58.3	17.5	6.2
66.7	25.1	7.6
75.0	35.9	10.8
83.3	52.9	17.0
91.7	76.4	23.5
100.0	100.0	23.6

16W

Distribución de lluvia para 1 hora  
(4<sup>th</sup> Quartile - Percentil 90%)

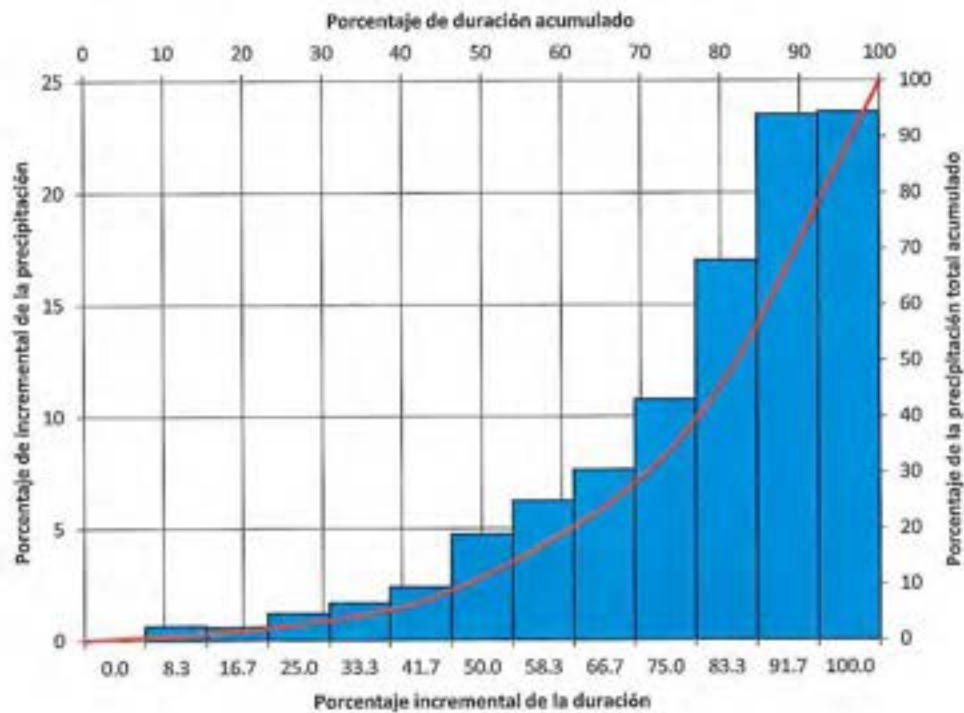


Tabla 6. Distribución Temporal de Lluvia (6 horas – 4<sup>to</sup> Cuartil – Percentil 90%)

Por Ciento de Duración	Por Ciento de Precipitación Total	Incrementos
0.0	0.0	0.0
8.3	2.1	2.1
16.7	4.5	2.4
25.0	6.2	1.7
33.3	9.4	3.2
41.7	13.7	4.3
50.0	18.3	4.6
58.3	24.3	6.0
66.7	33.2	8.9
75.0	45.3	12.1
83.3	60.8	15.5
91.7	79.5	18.7
100.0	100.0	20.5

Distribución de lluvia para 6 horas  
(4<sup>th</sup> Quartile - Percentil 90%)

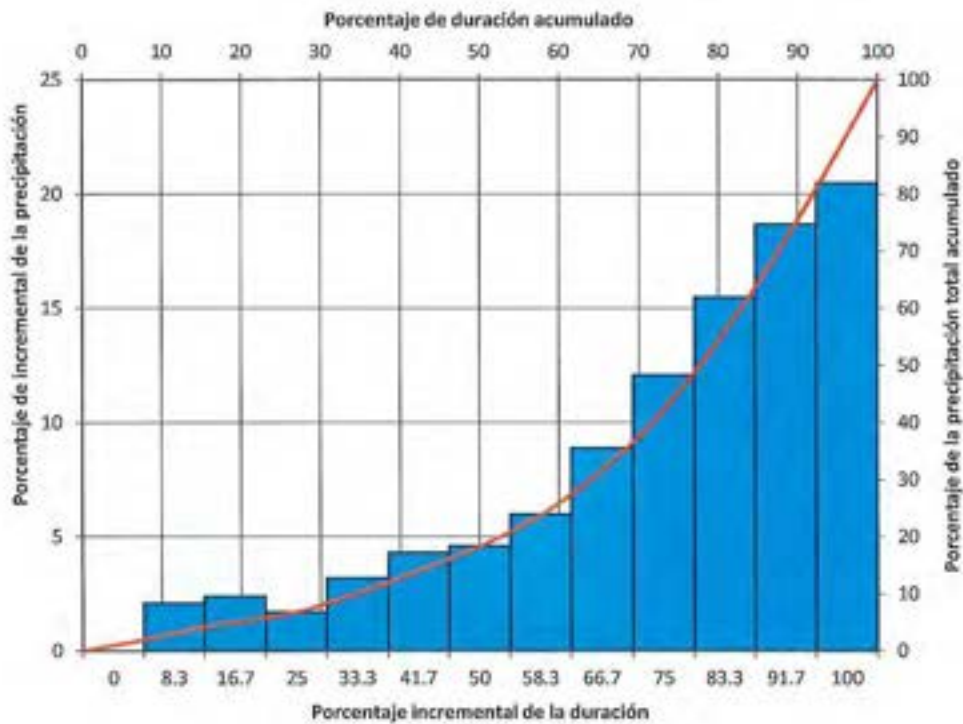


Tabla 7. Distribución Temporal de lluvia (12 horas – 4<sup>to</sup> Cuartil – Percentil 90%)

Por Ciento de Duración	Por Ciento de Precipitación	
	Total	Incrementos
0.0	0.0	0.0
8.3	1.6	1.6
16.7	2.7	1.1
25.0	3.9	1.2
33.3	6.2	2.3
41.7	10.5	4.3
50.0	15.2	4.7
58.3	20.0	4.8
66.7	26.5	6.5
75.0	36.0	9.5
83.3	49.7	13.7
91.7	71.1	21.4
100.0	100.0	28.9

Distribución de lluvia para 12 horas  
(4<sup>th</sup> Quartile - Percentil 90%)

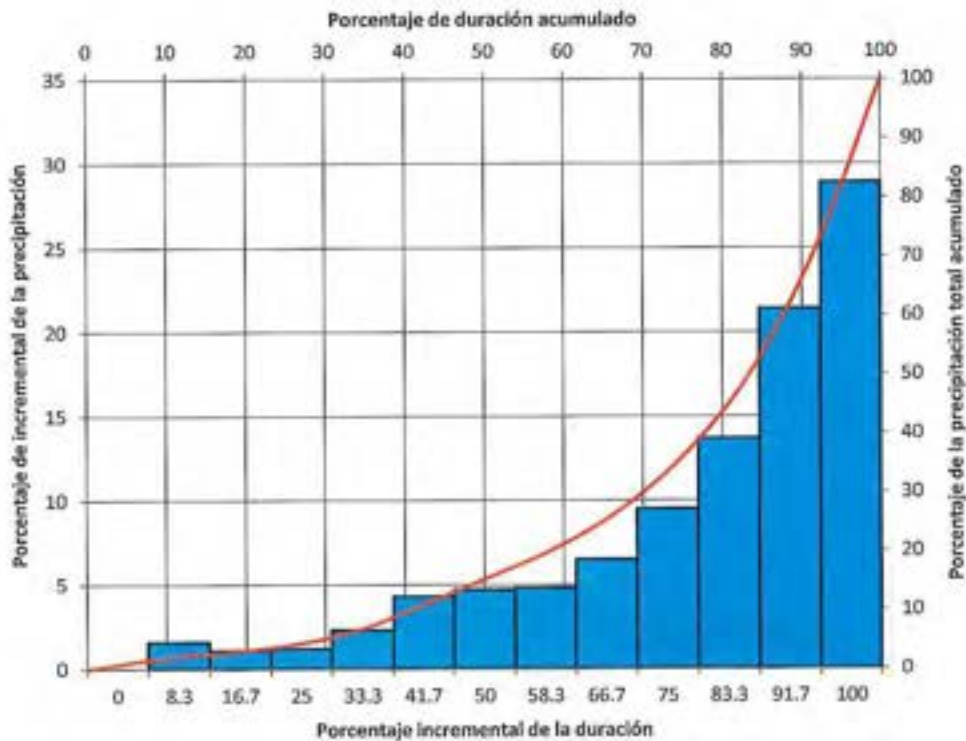
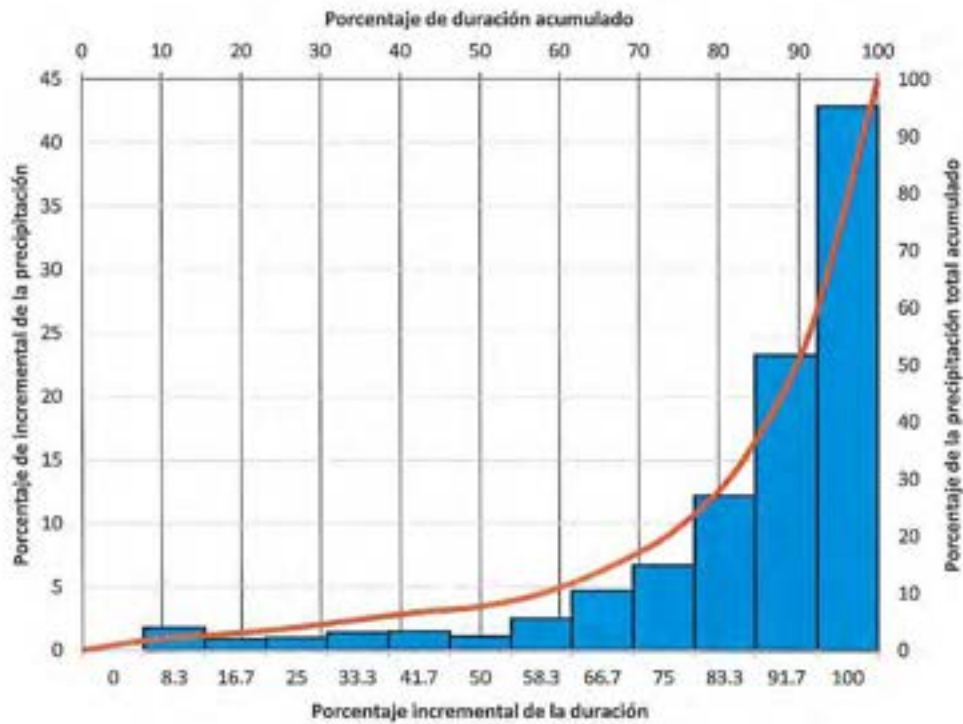




Tabla 8. Distribución Temporal de lluvia (24 horas – 4<sup>to</sup> Cuartil – Percentil 90%)

Por Ciento de Duración	Por Ciento de Precipitación Total	Incrementos
0.0	0.0	0.0
8.3	1.8	2.8
16.7	2.7	2.0
25.0	3.7	1.7
33.3	5.1	1.7
41.7	6.6	1.6
50.0	7.7	2.2
58.3	10.2	3.6
66.7	14.9	5.2
75.0	21.6	10.2
83.3	33.8	13.8
91.7	57.1	23.0
100.0	100.0	32.2

Distribución de lluvia para 24 horas  
(4<sup>to</sup> Cuartil - Percentil 90%)



## APENDICE II

### Requisitos para estimar valores de rugosidad para revestimientos

En este Apéndice se dan recomendaciones generales para aquellos revestimientos de uso frecuente en Puerto Rico. Sin embargo, el DRNA y la JP considerarán alternativas propuestas por los ingenieros que cumplan con los propósitos del proyecto y contribuyan en la preservación del ambiente.

#### Métodos de bioingeniería

Los métodos de bioingeniería para control de erosión son una alternativa atractiva ya que ayudan en la preservación de la vida acuática, la calidad del agua, y el paisaje. Debe recordarse que la protección de riberas no depende exclusivamente del método de protección sino de otros aspectos también, como por ejemplo la estabilidad del cauce y la pendiente de los bancos. Siempre que sea posible se recomienda utilizar métodos de bioingeniería combinados con otras alternativas en forma tal que el proyecto contenga un arreglo sistemático de vegetación y otras alternativas de protección. En todos los casos debe documentarse el coeficiente de rugosidad de Manning usado para el tipo de revestimiento seleccionado. A continuación se introducen revestimientos de rocas y gaviones los cuales, sin ser estrictamente elementos naturales, permiten ser usados en combinación con vegetación.

#### Revestimiento con rocas (rip-rap)

Los métodos de protección de riberas incluyen el uso de revestimiento de rocas (conocido también como "rip-rap"). El diseño de este tipo de revestimiento, incluyendo la selección de los tamaños y el diámetro máximo, está documentado en la literatura profesional técnica. El ingeniero debe incluir estos detalles si se usan en un estudio H-H. Los estudios que incluyan rip-rap como método de revestimiento deberán estar basados en algún método de diseño para la selección del tamaño y, de ser requerido, la gradación de las rocas. Se debe documentar la relación entre el tamaño de las piedras y el valor del coeficiente de rugosidad de Manning utilizado. Dependiendo de la importancia del proyecto el DRNA y la JP podrán requerir incluir la gradación de los tamaños de las rocas (rip-rap) según la velocidad local del agua, el peso específico, el tamaño máximo disponible de la roca y, la estimación del factor de seguridad. El método de diseño será alguno cuyo criterio de estabilidad sea el de esfuerzos cortantes permisibles y no el de velocidad máxima permisible. Debe explicarse cómo se va a anclar la estructura al terreno.

## Gaviones

Los gaviones poseen rugosidades menores que el rip-rap, su apariencia es más natural que la de otros materiales, permiten el crecimiento de algunos tipos de vegetación y pueden ser una solución para sitios donde otras alternativas no son viables. Guías de diseño para gaviones han sido desarrolladas por los diferentes fabricantes y será necesario presentar los detalles de cada diseño para su evaluación. Las canastas hechas de acero están sujetas a corrosión y abrasión por lo que se requiere que posean un recubrimiento de PVC. Al igual que con el rip-rap, un buen anclaje de la estructura al terreno es requerida. Cualquier diseño que se proponga deberá incluir documentación sobre el procedimiento y los parámetros utilizados en la selección de los materiales y el coeficiente de rugosidad de Manning. El uso de gaviones debe realizarse con cautela en aquellos tramos del cauce que posean una carga de material del fondo alta compuesta de rocas y gravas gruesas que puedan producir abrasión y romper las canastas. Debe explicarse cómo se va a anclar la estructura al terreno.

## Revestimientos rígidos

Los revestimientos rígidos son resistentes a la erosión, sin embargo no poseen mucha flexibilidad para adaptarse a los cambios en el terreno ni permiten el crecimiento de vegetación. Entre los más usados están los muros de hormigón y rocas con lechada de cemento. Estos métodos resisten altas velocidades, poseen poca rugosidad y son duraderos. Sin embargo, evitan la infiltración, son difíciles de construir bajo el agua y no permiten el crecimiento de la vegetación. Estos revestimientos son permitidos cuando otras alternativas no sean viables y se cumpla con todas las regulaciones que apliquen. El diseño debe proveer un anclaje adecuado de la estructura al terreno.