

ESTADO LIBRE ASOCIADO DE PUERTO RICO
OFICINA DEL GOBERNADOR
JUNTA DE PLANIFICACIÓN
DEPARTAMENTO DE RECURSOS NATURALES Y AMBIENTALES
SAN JUAN, PUERTO RICO

GUÍAS PARA LA ELABORACIÓN DE ESTUDIOS HIDROLÓGICOS-HIDRÁULICOS



Luis García Pelatti
Presidente
Junta de Planificación



Carmen R. Guerrero Pérez
Secretaria
Departamento de Recursos Naturales y Ambientales

Vigencia
15 de junio de 2016

ESTADO LIBRE ASOCIADO DE PUERTO RICO
OFICINA DEL GOBERNADOR
JUNTA DE PLANIFICACIÓN
SAN JUAN, PUERTO RICO

RESOLUCIÓN

10 de junio de 2016

Resolución Núm.: JP-HH-2016

**PARA ADOPTAR LAS GUÍAS PARA LA ELABORACIÓN DE ESTUDIOS
HIDROLÓGICOS-HIDRÁULICOS EN EL PROGRAMA DE PLANIFICACIÓN
FÍSICA DE LA JUNTA DE PLANIFICACIÓN DE PUERTO RICO**

La Ley Núm. 3 de 27 de septiembre de 1961, según enmendada, *Ley para el control de edificaciones en zonas susceptibles a inundaciones*, establece que la Junta de Planificación (JP), con el asesoramiento del Departamento de Recursos Naturales y Ambientales (DRNA), declare "zona susceptible a inundaciones" (ahora áreas especiales de riesgo a inundación) el área o sector donde exista tal condición y tomará en consideración para ello, entre otros, los datos disponibles sobre los niveles máximos alcanzados por los distintos cuerpos de agua en eventos de inundaciones con el objetivo de establecer los criterios sobre donde se podrá autorizar la construcción de estructuras y donde no y en los casos donde se permitan, la forma en que se podrá llevar a cabo dicha construcción.

A partir del año 1978, Puerto Rico y las islas municipio se incorporan como una comunidad en la fase regular del Programa Nacional del Seguro de Inundación (NFIP, por sus siglas en inglés). De acuerdo a su rol como agencia estatal coordinadora de dicho programa y la facultad concedida por la Ley Núm. 3, la JP adoptó el 15 de diciembre de 1971 el Reglamento de Planificación Núm. 13, *Reglamento sobre control de edificaciones y desarrollo de terrenos en zonas susceptibles a inundaciones* y los Mapas de zonas de susceptibilidad a inundaciones de Puerto Rico. El 16 de diciembre de 2005, la JP adopta los mapas de inundación de la Agencia Federal para el Manejo de Emergencias, (FEMA por sus siglas en inglés), llamados Mapas de tasas del seguro de inundación (FIRM, por sus siglas en inglés) y la sexta versión del Reglamento Núm. 13, *Reglamento sobre áreas especiales de riesgo a inundación* con el objetivo de atemperar y evitar duplicidad de esfuerzos de ambas agencias y facilitar el servicio a los usuarios y público en general.

Los FIRM tienen el objetivo de proveer la información sobre las áreas especiales de riesgo a inundación (SFHA, por sus siglas en inglés) de modo que a su vez sirva de instrumento para la solicitud de los seguros de inundación y para la administración de los valles inundables. FEMA desarrolla estos mapas en base a los estudios de seguro de inundación (FIS, por sus siglas en inglés). El FIS es una combinación de estudios hidrológicos e hidráulicos (EHH) con el objetivo de definir y determinar cuáles son los peligros de inundación para áreas a lo largo de ríos, arroyos, costas y lagos. Por lo tanto, la regulación de los SFHA tiene fundamento en mapas definidos por EHH.

La JP adoptó el 14 de febrero de 1994 las Guías sobre la preparación de estudios hidrológicos – hidráulicos en conformidad con el Reglamento Núm. 13 con la intención de establecer unas guías mínimas uniformes sobre la preparación de dichos estudios. Estas guías buscaban orientar a los ingenieros licenciados

expertos en hidrología e hidráulica sobre los procedimientos mínimos necesarios para cumplir con la reglamentación de los SFHA en el Reglamento de Planificación Núm. 13 del 1992.

La revisión de las guías adoptadas en 1994 es necesaria debido a nuevos avances tecnológicos en el área de hidrología e hidráulica, la necesidad de evaluar las revisiones de los FIRM y otros requisitos que se incluyen en las versiones revisadas del Reglamento Núm. 13.

A tales efectos, el DRNA, en colaboración con la Junta de Planificación, elaboró la versión revisada, *Guías para la elaboración de estudios hidrológico-hidráulicos*. Su propósito es establecer unas guías uniformes para la presentación de estudios, con el fin de agilizar el proceso de evaluación.

Los criterios establecidos en las guías, sólo podrán ser sustituidos cuando se demuestre la necesidad y sea consistente con la información requerida. Las agencias reguladoras estatales y federales podrán requerir información adicional durante el proceso de evaluación.

Por lo antes expuesto, esta Junta de Planificación de Puerto Rico, en conformidad con el Reglamento de Planificación Núm. 13, del 7 de enero de 2010, y sus subsiguientes enmiendas, **ADOPTA** las *Guías para la elaboración de estudios hidrológicos-hidráulicos*, las cuales hacen formar parte de esta resolución, adoptada en San Juan, Puerto Rico, hoy 10 de junio de 2016 y deroga la resolución JP-94-254 del 14 de febrero de 1994 que presenta las *Guías sobre la preparación de estudios hidrológicos – hidráulicos*.


Luis García Pelatti,
Presidente


Pedro M. Cardona Reig,
Vicepresidente


Juan C. Santiago Colón
Miembro Asociado


Sylvia Rivera Díaz,
Miembro Asociado


Tomás J. Torres Piñata,
Miembro Alterno

CERTIFICO: Que la anterior es copia fiel y exacta del acuerdo adoptado por la Junta de Planificación de Puerto Rico en su reunión celebrada el 10 de junio de 2016 y para su conocimiento y uso general expido y notifico la presente copia bajo mi firma y sello oficial de esta Junta en San Juan, Puerto Rico hoy, **15 JUN 2016**


Myrna Martínez Hernández
Secretaria Interina

TABLA DE CONTENIDO

CAPÍTULO 1 INTRODUCCIÓN.....	1
1.1 Trasfondo Histórico y Propósito	1
1.2 Propósito de estas guías.....	2
CAPÍTULO 2 TERMINOLOGÍA Y ABREVIATURAS.....	3
2.1 Terminología.....	3
2.2 Abreviaturas.....	11
CAPÍTULO 3 RECONOCIMIENTO DE CAMPO.....	12
CAPÍTULO 4 HIDROLOGÍA.....	13
4.1 Propósito	13
4.2 Recolección y Manejo de Datos Hidrológicos	13
4.2.1 Delimitación de los límites de la cuenca hidrográfica	13
4.2.2 Fuentes de Datos.....	15
4.3 Determinación de Caudales de Diseño.....	16
4.4 Análisis de Frecuencia de Caudales	16
4.5 Análisis de lluvias para obtención de caudales	17
4.6 Datos de Lluvia.....	17
4.6.1 Distribución Temporal de la Lluvia	18
4.6.2 Intervalo de tiempo distribución temporal de lluvia	19
4.7 Modelos Hidrológicos Computadorizados	19
4.7.1 Método del TR-55 del NRCS en HEC-HMS	20
4.7.2 Intervalo de tiempo computacional.....	22
4.8 Otros modelos	22
4.9 Calibración y verificación del modelo.....	22
4.10 Análisis de sensibilidad.....	23
CAPÍTULO 5 HIDRÁULICA.....	25
5.1 Propósito	25
5.2 Modelos Hidráulicos de una Dimensión	25
5.2.1 Sistema HEC-RAS.....	25
5.2.2 Caudales para el modelo	27
5.2.3 Elevaciones en las secciones limítrofes del modelo	27
5.2.4 Coeficientes de la Ecuación de Manning.....	28

5.3	Secciones transversales	29
5.3.1	Longitud tramo cuerpo de agua para un proyecto	29
5.3.2	Localización y orientación secciones transversales	29
5.3.3	Características de las secciones transversales	30
5.4	Información requerida en los planos topográficos	39
5.5	Hidráulica de puentes y atarjeas	39
5.5.1	Métodos de cálculo	39
5.5.2	Secciones transversales en puentes y atarjeas	40
5.5.3	Datos necesarios para la descripción de puentes	40
5.5.4	Datos para la descripción de atarjeas	41
5.5.5	Múltiples puentes y atarjeas	41
5.6	Otras opciones	41
5.7	Otros modelos hidráulicos unidimensionales	42
5.8	Modelos de flujo no-permanente	42
5.9	Modelos hidrológico/hidráulicos combinados	43
5.10	Modelos Bidimensionales	43
5.11	Calibración del modelo	44
CAPÍTULO 6 CONSIDERACIONES VALLES INUNDABLES		45
6.1.	Propósito	45
6.2	Análisis de Acarreo Hidráulico	45
6.2.1	Justificación del análisis de Acarreo Hidráulico	45
6.2.2.	Cálculo del Acarreo Hidráulico Local	46
6.2.3	Estimación Pérdida y Compensación Acarreo Hidráulico	46
6.3	Análisis para Determinar Niveles de Inundación dentro del Valle ...	47
6.4	Análisis para Delimitación del Cauce Mayor en Valles Inundables ..	48
6.5	Estudios HH para revisión del FIRM	52
6.5.1	Hidrología	52
6.5.2	Hidráulica	52
6.5.3	Modelos requeridos para solicitar cambios en el FIRM	53
6.6	Verificación del modelo usando CHECK-RAS	54
CAPÍTULO 7 PRESENTACIÓN ESTUDIOS Y ARCHIVOS		55
7.1	Propósito	55
7.2	Estudios sometidos al DRNA y la JP	55
7.3	Tabla de Contenido para estudios H-H	55
7.4	Certificación	59

7.5	Información a someter en formato digital	59
CAPÍTULO 8 BIBLIOGRAFÍA.....		60
APÉNDICE I Distribuciones temporales lluvia para PR según el NWS.....		62
APENDICE II Requisitos estimar valores rugosidad para revestimientos..		71

UGP

CRÉDITOS

Esta Guía fue elaborada por el Instituto de Investigaciones sobre Recursos de Agua y el Ambiente de Puerto Rico y la Universidad de Puerto Rico Recinto de Mayagüez para el Departamento de Recursos Naturales y Ambientales bajo el contrato número 2014-000008.

El equipo de trabajo estuvo formado por ingenieros y estudiantes del Departamento de Ingeniería Civil y Agrimensura de la Universidad de Puerto Rico, la División de Hidromodificaciones del Negociado de Endosos adscrito a la Secretaría Auxiliar de Permisos, Endosos y Servicios Especializados del Departamento de Recursos Naturales y Ambientales y la Unidad de Valles Inundables de la Junta de Planificación.

Autores:

Walter F. Silva Araya, Ph. D., P.E.

Depto. Ing. Civil y Agrimensura, Universidad de Puerto Rico en Mayagüez

Jorge Rivera Santos, Ph.D., P.E.

Depto. Ing. Civil y Agrimensura, Universidad de Puerto Rico en Mayagüez

Colaboradores:

Ing. Ivonne Medina Cortés

Departamento de Recursos Naturales y Ambientales de Puerto Rico

Plan. Giovanna I. Fuentes Santiago

Departamento de Recursos Naturales y Ambientales de Puerto Rico

Ing. Juan A. González Moscoso

Junta de Planificación de Puerto Rico

INTRODUCCIÓN

1.1 Trasfondo Histórico y Propósito

El Departamento de Recursos Naturales y Ambientales (DRNA) tiene el deber de proteger los cuerpos de agua y el ecosistema que los rodea, velar porque las obras en o sobre cuerpos de agua y los proyectos dentro de las zonas inundables no alteren los niveles de inundación y servir de asesor a las agencias concernidas en materia de inundaciones.

En 1994 la Junta de Planificación (JP) publicó las "Guías sobre la preparación de estudios hidrológico-hidráulicos" las cuales han servido para la preparación de dichos estudios durante casi dos décadas. El Reglamento sobre Áreas Especiales de Riesgo a Inundación (Reglamento de Planificación Núm. 13) establece las condiciones para las cuales se debe realizar un estudio Hidrológico-Hidráulico (H-H). Este Reglamento es aplicable a las áreas estudiadas por la Agencia Federal para el Manejo de Emergencias (FEMA por

sus siglas en inglés) y que cuentan con un Mapa Sobre Tasas del Seguro de Inundación. Sin embargo, por razones de seguridad, para salvaguardar vida y propiedad y proteger los recursos naturales, se hace necesario que cualquier obra que impacte el cuerpo de agua o valle inundable no estudiado por FEMA, cuente con su respectivo estudio H-H.

Los últimos años se han caracterizado por avances significativos en la tecnología marcados por un uso extenso de la computadora digital, lo cual ha permitido el desarrollo de:

- Modelos hidrológicos e hidráulicos más detallados con los que se logra describir mejor los fenómenos físicos
- La toma de datos por medios remotos mediante sistemas de transmisión inalámbrica y, en muchas ocasiones, a tiempo real.
- Manejo y procesamiento de datos espaciales mediante sistemas de información geográfica.

Estos cambios se han reflejado en una variedad de productos digitales disponibles a través de la Internet que han cambiado radicalmente la forma de realizar estudios H-H en el mundo. Puerto Rico no ha sido una excepción en la disponibilidad de uso de estas tecnologías y, hoy día se cuenta con información digital en climatología,

Los estudios H-H son informes técnicos realizados por personal con conocimientos de hidrología e hidráulica cuyo objetivo principal es la estimación de los niveles de inundación provocados por lluvias torrenciales cuya magnitud se asocia con las probabilidades de ocurrencia y la duración de los eventos. Además de las magnitudes de lluvia, estos estudios requieren recopilar información relacionada con la hidrografía de la cuenca, las propiedades hidrológicas de los suelos, las características geométricas de los cauces y valles inundables y de las estructuras ubicadas dentro de esta zona.

caudales, mapas de uso de terreno y clasificación de suelos, modelos de elevación digital y lluvias de diseño mediante análisis de frecuencias.

Además, se han computadorizado muchos modelos para simulación de procesos hidrológicos e hidráulicos y, cada día se hace más accesible al ingeniero, modelos multidimensionales y de flujo no-permanente que permiten la simulación de situaciones donde las condiciones ameritan tales complejidades. Se han hecho disponibles también programas de computadora para el análisis y diseño de estructuras particulares tales como atarjeas y deflectores de flujo, entre otros.

1.2 Propósito de estas guías

El propósito de estas guías es proporcionar a los ingenieros un documento en el que se establece el lineamiento general y los procedimientos necesarios para realizar estudios H-H que cumplan con las prácticas de ingeniería actuales, presenten sus análisis, resultados e informes en forma uniforme para agilizar el proceso de evaluación y cumplir con disposiciones estatutarias y reglamentarias.

TERMINOLOGÍA Y ABREVIATURAS

2.1 Terminología

La siguiente terminología es la que se debe utilizar en estas guías para describir las condiciones de campo y los datos hidrológicos e hidráulicos.

Abstracciones iniciales - consiste de toda la lluvia que cae antes de que comience la escorrentía.

Acre - Medida de terreno equivalente a 1.0296 cuerdas o a 4,046.87 metros cuadrados.

Alteración Estructural - Todo cambio en los elementos estructurales de un edificio o estructura existente, tales como: paredes de carga, columnas, vigas y techos; o toda adición, extensión, aumento o variación en tamaño de los elementos estructurales existentes; o la construcción en el edificio de nuevos elementos estructurales adicionales tales como: techos, vigas, columnas o paredes de carga.

Ampliación - La extensión o aumento en el área bruta de piso o en la altura de una estructura.

Áreas Costaneras de Alto Peligro - Área en la costa sujeta a la inundación base y a altas velocidades de las aguas que incluyen marejadas ciclónicas. Esta área se designa con Zona V y VE, en los Mapas de Tasas de Seguro Contra Inundación (Flood Insurance Rate Maps – FIRM en inglés).

Área Especial de Riesgo a Inundación (Special Flood Hazard Area en inglés) - Área de riesgos a la inundación con un (1%) por ciento de probabilidad de ocurrir en cualquier año. Área equivalente al valle inundable o inundación con recurrencia de 100 años.

Carga Hidrodinámica - Presión por unidad de peso que actúa sobre objetos sumergidos en un fluido y se debe a su energía cinética. Se expresa en metros o pies de un líquido (normalmente agua). La carga hidrodinámica es proporcional al cuadrado de la velocidad de fluido según la relación $HD = \frac{V^2}{2g}$, donde V = velocidad del fluido, g = aceleración de la gravedad.

Carga Hidrostática - Presión por unidad de peso producida por un fluido en reposo sobre cualquier punto de contacto con una estructura. Se expresa en metros o pies de un líquido (normalmente agua). La presión estática aumenta cuando aumenta la profundidad, afectando elementos estructurales como pisos, paredes, pilotes

cimientos y techos. La relación es $HS = \frac{p}{\gamma}$, donde p es la presión estática y γ es el peso específico del fluido.

Casa Manufacturada - Estructura transportable en una o más secciones, la cual es construida en un armazón permanente y es diseñada para usarse con o sin cimientos permanentes cuando se conecta a los servicios (agua, electricidad, gas, etc.) requeridos.

Cauce - El lecho de un río, canal, quebrada, arroyo o cualquier cuerpo de agua por donde fluyen las aguas sin que ocurra desbordamiento.

Cauce Mayor (Floodway en inglés) - El lecho de un río, quebrada, arroyo, drenaje pluvial natural o cualquier otro cuerpo de agua y aquellas porciones de terrenos adyacentes que se deben reservar para descargar la inundación base sin aumentar acumulativamente la elevación superficial de las aguas del valle inundable por más de 0.30 metros (un (1) pie). En caso de un nuevo estudio detallado en Zona A y la evaluación de un depósito de relleno, el aumento máximo a permitirse será de 0.15 m (medio pie), según determinada por el estudio hidrológico-hidráulico.

Certificación - Declaración por parte de un ingeniero o agrimensor licenciado colegiado, de que los planos y demás documentos sometidos están en conformidad con las especificaciones de estas guías y de acuerdo a las mejores prácticas de la profesión.

Certificación de Inundabilidad - Declaración por parte de la Junta de Planificación o la Comunidad Participante en la cual indica la condición de inundabilidad que afecta un terreno, parcela, finca o área en particular y que se emite por la Oficina del Secretario de la Junta u oficina designada por la Comunidad Participante a solicitud de cualquier persona, entidad o grupo.

Ciclo Hidrológico - es el proceso continuo del movimiento del agua cerca de la superficie de la tierra, este proceso es principalmente producido por la energía del sol.

Condición Hidrológica - calidad o densidad de una cubierta, influye la capacidad de infiltración de un suelo. Su efecto es considerado en el número de curva del método del Servicio de Conservación de los Recursos Naturales (NRCS por sus siglas en inglés).

Cuenca - extensión territorial que contribuye escorrentía a un punto de interés.

Datos - Representación de información de una manera formalizada, útil para comunicación, análisis o procesamiento.

Dato geográfico - Cualquier información sobre la localización, forma de, y relaciones entre los rasgos geográficos.

Datum - Elevación que se utiliza como referencia para definir el resto de los puntos de un mapa.

Descarga - medida de flujo o volumen de agua por unidad de tiempo. Típicamente se mide en pies cúbicos por segundo o metros cúbicos por segundo.


Dique - Estructura dentro del valle inundable que consiste en una barrera para prevenir que las aguas de inundación se extiendan fuera de esos límites. Pueden ser contruidos en tierra, cemento u otro material impermeable.

Diseño - Se entenderá como aquél realizado para las obras de protección contra inundaciones. Las obras de control de inundación para efectos del Reglamento Núm. 13 de la Junta de Planificación serán diseñadas para la protección contra la inundación base.

Drenaje Pluvial Natural - Depresión en el terreno por donde discurren las aguas de escorrentía por lluvias.

Dunas de Arena - Acumulaciones naturales de arena formando montículos o terraplenes tierra adentro de la playa.

Elipsoide o Esferoide - Modelo matemático que representa la superficie terrestre.

 **Erosión debido a corrientes de agua** - Deslizamiento del terreno en las orillas de un cuerpo de agua como resultado de los mecanismos de remoción de partículas de suelo causado por olas o corrientes de agua.

Estudio Hidrológico-Hidráulico - Estudio técnico científico mediante el cual se determinan las descargas y los niveles de agua. Usualmente se hace para inundaciones de diferentes magnitudes dentro de una cuenca hidrográfica.

Estudio del Seguro de Inundaciones - Informe oficial preparado por la Agencia Federal sobre Manejo de Emergencias en el cual se indican los perfiles de las inundaciones, así como los Cauces Mayores y Límites de Inundación y elevación de las aguas de la inundación base.

Flujo Base - es el flujo en un canal que proviene del flujo sub-superficial o del agua subterránea.

Flujo Crítico - es el flujo que ocurre en un canal cuando posee su energía específica mínima. Corresponde a un número de Froude igual a uno. En canales compuestos como los de zonas inundables, puede ocurrir más de una profundidad crítica ya que puede existir más de un mínimo en la energía específica.

Flujo No-Permanente - es un flujo en el cual las propiedades (principalmente velocidad y profundidad) en una sección del cuerpo de agua cambian con el tiempo.

Flujo Permanente - es un flujo en el cual las propiedades (principalmente velocidad y profundidad) en una sección del cuerpo de agua no cambian con el tiempo.

Flujo Subcrítico - Es aquel flujo cuyo número de Froude es menor de uno. Se caracteriza por ser un flujo tranquilo, de bajas velocidades y altas profundidades.

Flujo Supercrítico - Es aquel flujo cuyo número de Froude es mayor de uno. Se caracteriza por flujos agitados, de altas velocidades y bajas profundidades.

Formato de celdas - Ver "raster".

Fotogrametría - Ciencia y arte de deducir las dimensiones físicas de los objetos a partir de mediciones realizadas sobre fotografías. Una de sus principales aplicaciones es la obtención de datos utilizando fotografías aéreas.

Fotointerpretación - Técnica de identificar los objetos geográficos en una fotografía utilizando sus características de tamaño, ubicación, forma, luz, sombra, textura, color, entre otras.

Gráfico Digital de Línea (DLG) - "Digital line graph" por su nombre en inglés. Los DLG contienen información derivada de los mapas topográficos en formato vectorial (líneas, puntos, polígonos) que representan redes de transportación, hidrografía y límites. Estos archivos fueron generados por el USGS.

Geodato - Datos digitales que representan la localización geográfica y características de los rasgos naturales o artificiales, fenómenos y límites de la tierra. El geodato representa las abstracciones de entidades del mundo real, como caminos, edificios, vehículos, lagos, bosques y países. El geodato se refiere a los datos en cualquier formato "raster", vector, punto, texto, video y registros de una base de datos.

Hidráulica - Es el estudio de la mecánica del agua en procesos y sistemas físicos. Mediante la hidráulica es posible determinar la extensión y profundidad de las aguas. En el manejo de los valles inundables, la hidráulica se refiere a la determinación de la extensión lateral y vertical de una inundación en particular. La hidráulica también abarca las características del flujo alrededor y a través de las estructuras hidráulicas tales como puentes, atarjeas y vertedores.

Hidrografía - Es una rama de la geografía que se ocupa de la descripción y estudio sistemático de los diferentes cuerpos de agua.

Hidrograma - gráfico que muestra la relación entre la descarga y el tiempo para un punto y evento específico.

Hidrología - Rama de la ciencia y la ingeniería que trata la ocurrencia, la circulación y la distribución de las aguas de la tierra. En el manejo de los valles inundables, la hidrología se refiere a la porción de precipitación-escurrimiento del ciclo hidrológico

aplicada a los eventos extremos. En un estudio de valles inundables, la hidrología se utiliza para estimar los caudales de la inundación.

Hietograma - Es una gráfica que muestra la relación entre la intensidad o profundidad de lluvia y el tiempo.

Inundación - La acción o efecto en las extensiones de terreno, normalmente secos al quedar cubiertos por las aguas debido a lluvias, crecientes, marejadas y desbordamiento de cuerpos de agua, quebradas, arroyos y a otras fuerzas de la naturaleza.

Inundación Base - Inundación que tiene un uno (1%) por ciento de probabilidad de ser igualada o excedida en un año dado. El periodo de recurrencia es el inverso de la probabilidad de excedencia, por lo tanto, la Inundación Base es la inundación con un periodo de recurrencia de 100 años.

Mapa - Es una representación visual de datos geospaciales en dos dimensiones.

Mapa de zonas inundables - Representación gráfica del área especial de riesgo a inundación.

(10)

Mapa de Tasas del Seguro de Inundación (Flood Insurance Rate Maps, FIRM) - Mapa oficial preparado y aprobado por Agencia Federal sobre Manejo de Emergencias (Federal Emergency Management Agency, FEMA) que adopta la Junta de Planificación y que identifica las áreas especiales de riesgo a inundación.

Metadata - No tiene una definición única. La definición más conocida es que son "datos sobre los datos". Es información relevante acerca de los datos. Entre la información contenida en un metadata se puede incluir: la fecha en que se generaron los datos, la agencia o persona que los generó, el sistema de coordenadas que utilizaron, la precisión y resolución de los datos y cualquier otra información relevante.

Modelo Digital de Elevaciones (DEM) - Digital Elevation Model por su nombre en inglés. Es una representación de los valores de elevación de una superficie topográfica, usualmente utilizada para representar la superficie del terreno.

Nivel de Inundación Base - Elevación máxima que alcanzarían las aguas desbordadas de un cuerpo de agua durante una inundación base. Es la elevación que tendría un (1%) por ciento de probabilidad de ser igualada o excedida en cualquier año.

Nivel Promedio del Mar (Mean Sea Level, MSL) - significa para propósitos de la Administración de los Valles Inundables, el "National Geodetic Vertical Datum" (NGVD) del año 1929 u otro, al cual están referidos los niveles de inundación base.

Número de Curva (CN por sus siglas en inglés) - es un índice adimensional desarrollado por el Servicio de Conservación de Recursos Naturales (NRCS por sus

siglas en inglés) que representa la combinación del tipo de suelo y el uso de terreno para un área.

Número de Froude (Fr) - Es un parámetro adimensional que caracteriza el flujo en canales abiertos. Este número es una medida de la razón entre la fuerza de inercia que actúa en un elemento de fluido y el peso de dicho elemento. Este parámetro se utiliza para clasificar el flujo en supercrítico si Fr es mayor que uno, crítico si Fr es igual a uno y, subcrítico si Fr es menor que uno.

Número de Reynolds - El número de Reynolds es un parámetro adimensional que se utiliza para clasificar el flujo en turbulento, transitorio o laminar. Este número es una medida de la razón entre las fuerza de inercia actuando sobre un fluido y las fuerzas viscosas que actúan en él. En general, los cuerpos de agua tienen flujos turbulentos.

Obstáculo (obstrucción, invasión o restricción) - Incluye cualquier represa, desvío, desarrollo o nueva construcción, pared revestida de piedra, terraplén, malecón, dique, pila, estribo, proyección, excavación, rectificación de canal, puente, conducto, atarjea, relleno u otra estructura análoga o natural que se encuentra a lo largo, a través o proyectado dentro del valle inundable el cual puede impedir, retardar o alterar el patrón del flujo de las aguas ya sea por sí mismo o atrapando escombros transportados por el agua o, que esté localizado donde el flujo natural de las aguas podría transportar el obstáculo aguas abajo para daño o pérdida de la vida o propiedad.

Oficina de Gerencia de Permisos (OGPe) - Oficina del Gobierno de Puerto Rico creada por la Ley 161 del 1 de diciembre de 2009, según enmendada. Esta Oficina es la encargada de emitir determinaciones finales y permisos, licencias, inspecciones, certificaciones y cualquier otra autorización o trámite para atender las solicitudes de la ciudadanía.

Perímetro Mojado - Longitud de la línea de contacto entre el agua y las paredes y fondo del cauce de agua.

Píxel - Abreviatura para "Picture Element", por su nombre en inglés. Término utilizado para denominar los elementos que componen una imagen. La menor unidad en la que se descompone una fotografía o una imagen.

Planicie inundable - Porción del valle inundable que yace en el exterior del cauce mayor y colinda con éste. El valle inundable consiste del cauce mayor y de las planicies inundables.

Programa Nacional del Seguro de Inundación (National Flood Insurance Program, NFIP) - Programa creado por el Congreso de los Estados Unidos en el año 1968 y mediante el cual se hace disponible el seguro de inundación a las comunidades participantes.

Proyección cartográfica - Forma de representar el globo terráqueo sobre una superficie plana. Esta se define por el tipo de superficie que adopte.

Quebrada - Curso de agua que forma parte del sistema de tributarios de un río o que descarga a un lago, laguna, mar u océano.

Radio hidráulico - representa la relación entre el área de la sección transversal del cauce llena de agua y el perímetro mojado.

"Raster" - Modelo de representación espacial de datos que define los espacios en arreglos de celdas de tamaños iguales ordenadas en filas y columnas. Cada celda contiene un valor asociado y una localización geográfica. Contrario al formato de vector que almacena la posición geográfica de forma explícita, la localización en un "raster" está en el orden de las celdas en la matriz. Grupos de celdas con el mismo valor representan el mismo tipo de objeto geográfico.

Resolución espacial - Está relacionado con la claridad con que se pueden distinguir los objetos en una imagen. Se refiere al tamaño de un píxel y el área que cubre en la superficie.

Río - Curso de agua que sirve de desagüe principal a una cuenca y que descarga a otro río, lago, laguna, mar, océano u otro cuerpo de agua.

Salto hidráulico - Es una transición súbita de un flujo supercrítico a un flujo subcrítico. En un salto hidráulico de número de Froude cambia de $Fr > 1$ a $Fr < 1$.

"Shapefile" (.shp) - Tipo de archivo digital desarrollado por la compañía ESRI para almacenar localización, forma y atributos de un objeto geográfico como vectores.

Sistema de coordenadas - Sistema para la ubicación de un objeto sobre la tierra. Consiste de dos lecturas angulares que son Latitud y Longitud partiendo desde el centro del globo terráqueo hasta la superficie de la tierra.

Sistema de coordenadas planas estatal (State Plane Coordinate System) - Por sus siglas en inglés SPCS. Es un sistema de coordenadas desarrollado por el "U.S. Coastal and Geodetic Survey" para todos los estados y territorios de Estados Unidos. Utiliza el cono y el cilindro como superficies desarrollables dependiendo de la zona en que se encuentre. Para Puerto Rico utiliza la proyección cónica Lambert (NAD-83).

Sistema de información geográfica (GIS) - Este sistema comprende equipo de computadora, programas y recurso humano que utiliza datos geográficos espacialmente referenciados que permiten la interacción, análisis, visualización de éstos y que nos ayudan a identificar relaciones, patrones, tendencias y buscar solución a problemas (GIS, Geographic Information System, por sus siglas en inglés).

Sistema de posicionamiento global (GPS) - Sistema de navegación basado en satélites, desarrollado por el Departamento de Defensa de los Estados Unidos y utilizado para determinar posiciones sobre la superficie de la tierra.

Tiempo de concentración (T_c) - Tiene varias definiciones. La más común es el tiempo que tarda una gota de agua en viajar del punto hidráulicamente más distante en una cuenca al punto de interés. El tiempo de concentración se puede definir también como el tiempo entre el centro de masa de la lluvia efectiva y el punto de inflexión del hidrograma.

Valle Inundable - Terrenos llanos o semi-llanos normalmente secos y susceptibles a inundaciones por aguas provenientes de una fuente natural. Usualmente es un área baja adyacente a un cuerpo de agua, quebrada, arroyo, océano o lago afectados por la inundación de niveles más altos conocida en la historia de la región o por la inundación base, según ilustrados en estudios y mapas disponibles hasta el presente.

"Vector" - Modelo de representación espacial de los datos basado en la ubicación geográfica que representa los objetos como puntos, líneas y polígonos.

2.2 Abreviaturas

CRIM - Centro de Recaudación de Impuestos Municipales

DEM - Modelo digital de elevaciones de la superficie (Digital Elevation Model, por su nombre en inglés).

DLG - Gráfico digital de líneas, usualmente cotas de elevación (Digital Line Graph, por su nombre en inglés).

DRNA - Departamento de Recursos Naturales y Ambientales.

ESRI - Instituto de Investigaciones sobre Sistemas Ambientales (Environmental Systems Research Institute, por su nombre en inglés).

FHWA - Administración Federal de Carreteras (FHWA por sus siglas en inglés)

FEMA - Agencia Federal para el Manejo de Emergencias del Departamento de Seguridad Nacional que administra el Programa Nacional de Seguro de Inundación.

FIS - Flood Insurance Study

FIRM - Flood Insurance Rate Map

JP - Junta de Planificación

Msl - Nivel medio del mar (msl por sus siglas en inglés)

NOAA - Administración Nacional de los Océanos y la Atmósfera (NOAA por sus siglas en inglés)

NRCS - Servicio de Conservación de Recursos Naturales del Departamento de Agricultura del gobierno de los Estados Unidos (NRCS por sus siglas en inglés).

NWS - Servicio Nacional de Meteorología (NWS por sus siglas en inglés)

TIN - Malla triangular irregular (Triangular Irregular Network, por su nombre en inglés).

USACE - Cuerpo de Ingenieros del Ejército de los Estados Unidos (United States Army Corp of Engineers, por su nombre en inglés)

USGS - Servicio Geológico de los Estados Unidos (United States Geological Survey, por su nombre en inglés).

GIS - Sistema de Información Geografía (Geographic Information System, por sus siglas en inglés).

GPS - Sistema de Posicionamiento Global (Global Positioning System por sus siglas en inglés)

RECONOCIMIENTO DE CAMPO

Los ingenieros a cargo de la modelación hidrológica e hidráulica deberán incluir una descripción de las visitas de campo que se realizaron para el proyecto.

Los ingenieros a cargo de la modelación hidrológica e hidráulica deberán incluir una descripción de las visitas de campo que se realizaron.

En esta sección se incluye la información hidráulica y geomorfológica del cauce y el valle inundable requerida

para un estudio H-H. Esta información provee criterio para la selección de alternativas para el diseño y permite incorporar aspectos particulares para la realización de un proyecto con diseños seguros y estructuras de dimensiones apropiadas.

Las visitas de campo deben ser documentadas mediante fotografías o videos cortos en formato digital. Durante la visita se deben anotar características hidráulicas y geomorfológicas que describan las condiciones del cauce y del valle inundable.

Deben documentarse como mínimo las siguientes condiciones:

1. Características del material del cauce y los bancos (tipo de suelos, elevación, pendiente y material de los bancos)
2. Vegetación, cultivos y otras características del valle inundable
3. Posible migración de meandros y alineación del cuerpo de agua
4. Condiciones de estabilidad del cuerpo de agua en el tramo del proyecto
5. Condición de las estructuras existentes tales como puentes, atarjeas, compuertas y obras de tomas de agua
6. Erosión de la ribera en su parte superior e inferior
7. Descripción de los materiales predominantes en el tramo del proyecto (arenas, gravas, arcillas)
8. Existencia de umbrales geomorfológicos y controles hidráulicos tales como vertedores, contracciones y expansiones súbitas
9. Evaluación cualitativa de la capacidad del cauce para el transporte de sedimentos
10. Tipos de protección recomendadas para el pie del banco y para la parte superior (si aplica)
11. Otras condiciones en la cuenca que puedan provocar inestabilidad dentro del tramo afectado por el proyecto

HIDROLOGÍA

4.1 Propósito

La respuesta hidrológica de la cuenca hidrográfica proporciona hidrogramas que indican el valor de la descarga máxima o caudal de diseño a ser utilizado para determinar los niveles de inundación producidos.

La hidrología es un tema multidisciplinario que trata la ocurrencia, la circulación y la distribución de las aguas del planeta Tierra. Las descargas de una corriente fluvial son una función de las características de la cuenca hidrográfica, así como las condiciones meteorológicas locales. La respuesta hidrológica de la cuenca hidrográfica proporciona

hidrogramas que indican el valor de la descarga máxima o caudal de diseño a ser utilizado para determinar los niveles de inundación producidos.

El propósito de este capítulo es detallar las metodologías aceptadas para estimar estas descargas fluviales. Estas metodologías incluyen el obtener las descargas fluviales a ser utilizadas en los estudios requeridos por el DRNA y la JP para estudios hidráulicos y de transporte de sedimentos, usando un modelo computadorizado de precipitación-escurrimiento.

4.2 Recolección y Manejo de Datos Hidrológicos

El tipo de datos necesarios para realizar un análisis hidrológico dependen de la naturaleza del estudio y de la metodología a utilizar. Las siguientes secciones presentan un compendio de los datos más comunes utilizados en estos estudios.

4.2.1 Delimitación de los límites de la cuenca hidrográfica

Uno de los pasos de mayor importancia en un estudio hidrológico es la determinación espacial del área de drenaje del punto de interés. A esta extensión territorial se le conoce como cuenca hidrográfica, área de drenaje o área de captación. Los límites del área de captación deben ser identificados y provistos mediante una representación gráfica como parte del informe del análisis hidrológico. La cuenca hidrográfica debe ser subdividida según la necesidad del estudio de tal manera que cada división represente áreas homogéneas hidrológicamente hablando. Cada subcuenca debe estar debidamente identificada en la figura.

4.2.1.1 Delimitación manual

La delimitación de los límites de la cuenca hidrográfica requiere el uso de planos o mapas topográficos. Para este propósito se utilizará la última versión de los cuadrángulos de 7.5 minutos (escala 1:20,000) del USGS. La cuenca se delimitará sobre el plano topográfico marcando claramente el punto de interés y los límites sobre las cotas de elevación. El área de cada subcuenca se debe medir mediante una técnica que provea suficiente precisión (planímetro por ejemplo).

4.2.1.2 Delimitación Automatizada

Se recomienda la utilización de un Sistema de Información Geográfica (GIS) para la delimitación automatizada de cuencas hidrográficas, así como, para la obtención de otros parámetros geofísicos e hidrológicos.

Se recomienda la utilización de un Sistema de Información Geográfica (GIS) para la delimitación automatizada de las cuencas hidrográficas, así como, para la obtención de otros parámetros geofísicos e hidrológicos. Los datos se superponen mediante el uso de coberturas que indican las diferentes características y parámetros de la cuenca hidrográfica.

Existen distintas aplicaciones de GIS que permiten el manejo y procesamiento de datos geográficos. Las aplicaciones deben aceptar y trabajar con coberturas en formato "shapefile" (.shp) y poseer opciones para la delimitación automatizada de cuencas hidrográficas utilizando un DEM.

Es requisito proveer información de las fuentes de donde provienen los DEMs y detalles de la metodología utilizada en la obtención de los parámetros geográficos e hidrográficos de la cuenca.

Algunas de estas herramientas permiten procesar un DEM y a la vez generar variables hidrológicas. Se recomienda la mejor resolución y calidad posible en todos los datos. En el caso particular de los DEM, si provienen del USGS pudieran tener una resolución espacial de 30 metros por 30 metros por cada celda; si provienen del CRIM pueden

tener una resolución espacial de 10 metros por 10 metros por cada celda o menos. Estos últimos son preferibles. Algunos datos pueden ser generados mediante la digitalización de los mismos sobre una fotografía aérea, utilizando un GPS. Es requisito proveer detalles de la metodología utilizada en la obtención de los parámetros geográficos e hidrográficos de la cuenca.

A pesar de ser una herramienta de trabajo poderosa, los GIS tienen la limitación de que dependen de la precisión y resolución de los datos geográficos que se utilizan. Si los datos utilizados no son correctos los

resultados tampoco lo serán. En ocasiones los datos son correctos pero la resolución no es la adecuada y en esos casos se requiere de trabajo de campo para obtener la información necesaria. Por ejemplo, en áreas llanas, el DEM pierde precisión al delimitar una cuenca y definir la red de drenajes, por lo que el ingeniero deberá hacer uso de otros medios para definir los límites de la cuenca en esas áreas. Otro caso parecido son las áreas urbanizadas en los bordes de la cuenca. Dichas áreas deberán ser corregidas con trabajo de campo debido al cambio de los patrones de drenajes naturales causados por los sistemas de alcantarillados pluviales y cunetas.

Para mejorar la precisión del DEM se recomienda incorporar datos topográficos tomados por un agrimensor. Una topografía de campo puede ser convertida a DEM y ser utilizada para corregir las elevaciones en esa área, mejorando la precisión y la resolución del DEM original. Estos cambios deben ser mencionados en el estudio H-H.

4.2.2 Fuentes de Datos

Existen varias agencias estatales y federales, así como grupos especializados, que distribuyen sus datos al público descargándolos a través de la red cibernética u ordenándolos en formato digital. También están disponibles las coberturas de terreno, límites geográficos, hidrografía, carreteras, topografía, y elevaciones. Las fuentes de información digitales cambian continuamente y los ingenieros deben mantenerse al día para poder utilizar los datos más recientes.

A continuación se mencionan algunas fuentes de datos, por categoría, útiles para los estudios H-H.

1. Elevaciones:

Trabajo de campo (agrimensor)

DEM (USGS, CRIM)

2. Lluvia:

Atlas 14 de la NOAA

Lluvia de radar de NWS

3. Tipos Suelos:

Websoil de NRCS

4. Uso de terrenos:

Junta de Planificación

Departamento de Recursos Naturales y Ambientales

4.3 Determinación de Caudales de Diseño

En Puerto Rico, el USGS recolecta y mantiene registros de caudales obtenidos en estaciones de aforo en varios cuerpos de agua de la isla. Los registros varían en duración desde sobre 50 años de datos hasta menos de 20 años. Esta información está disponible a través de la red cibernética y pueden ser obtenidos con relativa facilidad.

En la determinación de caudales de diseño es necesario utilizar técnicas probadas y aceptadas en la práctica de la Ingeniería de Recursos de Agua. Las secciones que siguen presentan algunas de estas técnicas en el orden de preferencia de aplicación.

4.4 Análisis de Frecuencia de Caudales

Como se mencionó anteriormente, el resultado del estudio hidrológico es la determinación de la magnitud de los caudales a ser utilizados en el diseño de obras hidráulicas o algún otro tipo de análisis hidrológico o hidráulico. Siendo así, los datos históricos de caudales son de suma importancia para la determinación de las magnitudes de los caudales de diseño que correspondan a una recurrencia, o probabilidad específica. Los registros de caudales históricos proveen una fuente de información que puede ser utilizada para estimar la magnitud y frecuencia de ciertos eventos de caudales. La técnica más aceptada en el campo del análisis de caudales es el análisis de frecuencia.

En Puerto Rico, el USGS recolecta y mantiene registros de caudales obtenidos en estaciones de aforo en varios cuerpos de agua de la isla. Los registros varían en duración desde sobre 50 años de datos o más, hasta menos de 20 años. Esta información está disponible a través de la red cibernética y pueden ser obtenidos con relativa facilidad.

Los datos históricos de caudales, si están disponibles, deben ser analizados y estudiados para determinar ciertas características de la cuenca hidrográfica. Por ejemplo, cuando se utiliza la curva de recesión del hidrograma para calcular el flujo base en un canal es necesario obtener la constante de recesión de los datos observados. Otra información importante puede ser obtenida al analizar los datos históricos de caudales.

En muchas ocasiones la ubicación de la estación de aforo con los datos históricos de caudales no coincide con la ubicación del punto de interés en la cuenca hidrográfica. En estos casos los caudales históricos pueden ser ajustados, siempre y cuando las condiciones hidrológicas sean similares y la diferencia en área de captación de los puntos (punto de interés y ubicación de la estación de aforo) no exceda 10% del área mayor, utilizando la siguiente relación lineal:

$$Q_a = \frac{A_i}{A_h} Q_h$$

donde Q_a es el caudal ajustado para el área de interés A_i , Q_h es el caudal histórico medido en la estación de aforo y A_h es el área de captación de la estación de aforo. Los valores de caudales ajustados pueden ser utilizados para realizar los análisis necesarios para determinar el caudal de diseño según requerido.

En el caso de cuencas desaforadas, la utilización de ecuaciones de regresión podría ser una alternativa. El problema con esta técnica es que los errores obtenidos al presente en los diversos estudios realizados en Puerto Rico en el desarrollo de estas ecuaciones han demostrado que no son suficientemente pequeños como para ser utilizados con el propósito de diseño de obras hidráulicas. Por lo tanto, estas ecuaciones no se utilizarán con el propósito de diseño.

El análisis de frecuencia de caudales es un procedimiento para estimar la frecuencia, o probabilidad, de ocurrencia de un evento del pasado o del futuro. Siempre y cuando estos datos estén disponibles, y sean adecuados para su uso, el análisis de frecuencia de caudales debe ser la técnica primaria para la estimación de caudales de diseño. La utilización de esta técnica debe realizarse siguiendo estrictamente la guía del Boletín 17B (USIACWD, 1982). El USGS y el USACE han desarrollado aplicaciones para computadora que automatizan este procedimiento y producen las magnitudes de caudales para varias recurrencias o probabilidades de excedencia definidas.

4.5 Análisis de lluvias para obtención de caudales

Cuando el record de datos históricos no sea adecuado para realizar un análisis de frecuencia, o no existen datos históricos algunos, se utilizarán datos de lluvia para generar caudales mediante la utilización de modelos hidrológicos computadorizados de precipitación-escurrentía. Los datos de lluvia que alimentan los modelos hidrológicos de precipitación-escurrentía se usan para estimar los caudales necesarios para el diseño de estructuras hidráulicas y otros tipos de análisis hidrológicos e hidráulicos. La naturaleza del estudio hidrológico determina el tipo de datos requeridos. Datos históricos de lluvia son usualmente utilizados para reconstruir eventos del pasado y determinar la respuesta hidrológica de un área de captación específica. Por otro lado, el análisis hidrológico con propósito de diseño requiere la determinación de caudales que correspondan a ciertas recurrencias y duraciones de lluvia.

4.6 Datos de Lluvia

El NWS realizó un análisis de frecuencia para la lluvia de Puerto Rico y publicó los resultados en el Atlas de Precipitación-Frecuencias para Puerto Rico y las Islas Vírgenes - Atlas 14 (NWS, 2006). Los resultados del análisis del NWS presentan distribuciones temporales de lluvia para duraciones de 1, 6, 12, 24 y 96 horas

desarrolladas con datos históricos de lluvia de Puerto Rico. Esta información está disponible a través de la red cibernética en las páginas de la NOAA.

Los datos de lluvia para el análisis hidrológico deberán obtenerse de este documento para las recurrencias y duraciones requeridas según el propósito del estudio y la reglamentación vigente.

4.6.1 Distribución Temporal de la Lluvia

La distribución temporal de la lluvia se refiere a la forma en que la cantidad total de lluvia se distribuye dentro del tiempo de duración del evento. Usualmente la distribución temporal de la lluvia depende de factores meteorológicos inherentes en la formación de las nubes de lluvia y la cantidad de agua en éstas, así como de otros factores meteorológicos, como la velocidad y dirección del viento. Aunque se han realizado varias investigaciones específicas para las condiciones climáticas de Puerto Rico, los estudios no son concluyentes como para recomendar procedimientos para desarrollar distribuciones temporales de lluvia que representen la realidad de la Isla con el propósito de diseñar.

CA

Para satisfacer esta necesidad, la práctica de la ingeniería en el desarrollo de análisis hidrológicos ha utilizado distribuciones temporales de lluvia empíricas desarrolladas en otros lugares. Un ejemplo es la distribución tipo II desarrollada por el NRCS, la cual se ha usado en Puerto Rico en aquellos casos en que el evento analizado tiene una duración de 24 horas. Para el análisis de eventos con duraciones diferentes a 24 horas, se ha aceptado el método de Bloques Alternos descrito en varias referencias clásicas de hidrología.

Los resultados del análisis del NWS incluyen distribuciones temporales de lluvia para duraciones de 1, 6, 12, 24 y 96 horas desarrolladas con datos históricos de lluvia de Puerto Rico.

En el estudio del NWS (2006), las distribuciones temporales para Puerto Rico se presentan en términos probabilísticos como porcentajes acumulados de precipitación y duración para varios percentiles. Además, las distribuciones se subdividen en cuartiles basado en dónde, dentro de la

distribución del tiempo, se concentra el mayor volumen de la lluvia. Los resultados de este análisis demostraron que la distribución tradicional con la lluvia concentrada en las horas centrales de la duración del evento no puede ser sostenida por la data histórica.

Luego de un análisis exhaustivo de las 180 distribuciones temporales para las duraciones de 1, 6, 12 y 24 horas se concluye que las distribuciones temporales de lluvia que producen los caudales picos mayores corresponden al primero y cuarto cuartiles y los percentiles 10% y 90%, respectivamente. Estas distribuciones serán utilizadas en los estudios H-H requeridos por el DRNA y la JP para las duraciones de 1, 6, 12 y 24 horas en conjunto con la lluvia acumulada obtenida del NOAA Atlas

14, Volumen 3 para los periodos de recurrencia reglamentados. El Apéndice I presenta estas distribuciones en forma tabular y gráfica.

4.6.2 Intervalo de tiempo para la distribución temporal de la lluvia

La magnitud del caudal pico, determinado mediante el uso de modelos hidrológicos computadorizados, es sensible al tamaño del intervalo de tiempo utilizado en la distribución temporal de la lluvia. Aunque no se han provisto métodos específicos para determinar el tamaño del intervalo de tiempo, sí se ha demostrado que a mayor la magnitud del intervalo de tiempo menor será la magnitud del flujo pico, y viceversa. La Tabla 4.1 presenta el tamaño del intervalo de tiempo que se utilizarán para los datos de lluvia de eventos de varias duraciones.

Tabla 4.1. Criterio para la selección del tamaño de intervalo de tiempo para describir la distribución temporal de la lluvia

Duración de la lluvia, horas	Número de Intervalos de Tiempo	Tamaño de Intervalos, minutos
24	48	30
12	48	15
6	36	10
1	30	2

4.7 Modelos Hidrológicos Computadorizados

Existen en el mercado una variada cantidad de modelos computadorizados que pueden ser utilizados para determinar el caudal de diseño en un análisis hidrológico. Al transcurrir del tiempo, algunos de estos modelos han sido mejorados y sustituidos por otros más actualizados que incorporan métodos hidrológicos aceptados y que permiten el uso de herramientas modernas como los GIS. Entre los métodos hidrológicos aceptados, el TR-55 (NRCS, 1986) es preferido para los estudios hidrológicos. Este método ha sido incluido en la aplicación HEC-HMS. El DRNA y la JP recomiendan el uso de la aplicación HEC-HMS para estudios hidrológicos en Puerto Rico. Otras aplicaciones pueden ser utilizadas previa consulta con el DRNA y la JP.

El Sistema de Simulación Hidrológica (HMS, por sus siglas en inglés) fue creado por el USACE para simular los procesos de precipitación-escorrentía de sistemas de cuencas. La aplicación puede ser utilizada en cualquier área geográfica y para la solución de una amplia variedad de problemas. Los hidrogramas calculados por esta aplicación pueden ser utilizados directamente o en conjunto con otras aplicaciones computadorizadas para estudiar la disponibilidad de agua, drenajes urbanos, predicciones de caudales, impactos de futuros desarrollos urbanos, diseño de vertedores, estudios de reducción de daños por inundaciones, análisis de valles inundables, y operación de sistemas. HEC-HMS contiene varios métodos hidrológicos