

La hidrometeorología en la Comisión Federal de Electricidad¹

Raúl de la Peña Salazar
Héctor Hernández Castellanos
Germán J. Hernández Becerra
Viliulfo R. Islas Gutiérrez
Rafael Terrés Rocha

Gerencia de Ingeniería Civil, CFE

Ramón Domínguez Mora

Instituto de Ingeniería, UNAM

En este trabajo se hace una breve síntesis del desarrollo histórico de la red hidrometeorológica de la Comisión Federal de Electricidad. Se describe la conformación de las estaciones hidrométricas, así como las estaciones climatológicas y el procesamiento de la información correspondiente. Se proporcionan catálogos de las estaciones hidrométricas y climatológicas que opera actualmente la CFE y se describen las redes para la predicción de avenidas en tiempo real. Finalmente se destaca la importancia de la información en los estudios que realiza la CFE para la planeación, diseño, construcción y operación de sus plantas. Se proporciona una relación de estudios típicos que se realizan con base en dicha información y un ejemplo de uno de esos estudios.

Introducción

En México, la dependencia encargada de planear, construir, generar, transmitir y distribuir la energía eléctrica desde agosto de 1937 es la Comisión Federal de Electricidad (CFE).

De manera simultánea al desarrollo de la hidroelectricidad en el país, surgieron en la CFE los primeros estudios hidrológicos, que en principio se basaron en información proporcionada por otros organismos públicos y privados relacionados con la hidrometeorología.

La sección de hidrología, de la entonces Oficina de Estudios Civiles, decidió cuantificar el caudal del río Balsas con la finalidad de aprovechar sus recursos hidroeléctricos y fue en el puente Mezcala donde se colocó una escala y se practicaron, a partir de marzo de 1938, los primeros aforos, con lo que este lugar se convirtió en la primera estación hidrométrica de la CFE.

Posteriormente, con la finalidad de dar apoyo técnico a lo que sería el sistema hidroeléctrico Miguel

Alemán, a lo largo del río Tilostoc, en la parte alta de la cuenca del río Cutzamala, se requirió una serie de mediciones en todos los arroyos aledaños a los sitios del sistema, a fin de recabar la información necesaria para el diseño, construcción y operación de las obras; así se creó la primera división hidrométrica del país, a la que se denominó "Miguel Alemán" (Ixtapantongo).

Más tarde, en el norte del estado de Puebla se emprendieron los estudios para construir la planta hidroeléctrica Mazatepec, aprovechando los escurrimientos de los ríos Xiucayucan y Apulco, en la cuenca del río Tecolutla, para lo cual, en 1946, se construyó una serie de estaciones hidrométricas para cuantificar las corrientes principales y secundarias de la zona, y se extendieron los trabajos hacia las cuencas vecinas, dando origen a la segunda división hidrométrica, que llevó el nombre de Puebla-Veracruz, con sede en la ciudad de Teziutlán, Puebla.

El incremento en la demanda de energía eléctrica requirió de un crecimiento en las mediciones hi-

drométricas, para brindar información y apoyo al diseño, construcción y operación de los proyectos hidroeléctricos, termoeléctricos, nucleares, etcétera. Dentro de la CFE, así como en otras dependencias públicas y privadas que requieren la información, actualmente se cuenta con cinco divisiones hidrométricas distribuidas en toda la República (véase cuadro 1).

Estaciones hidrométricas

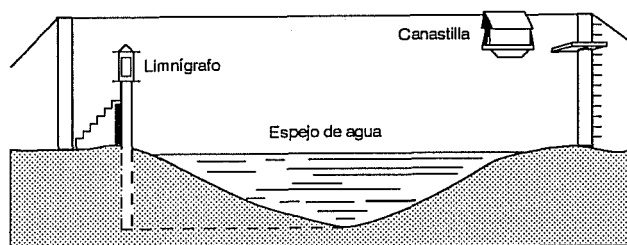
La Estación Hidrométrica (EH) típica permite aforar el caudal del río y conocer el nivel del agua en una sección apropiada (véase ilustración 1). Las principales estructuras que la conforman son generalmente: escala, limnógrafo y cable canastilla. Además, se cuenta con un molinete para la medición de las velocidades y del escandallo para determinar la forma de la sección.

Los aforos se realizan generalmente una vez al día. En cada uno se determinan, el gasto de la corriente calculando la velocidad media, el área de la sección y su perímetro mojado. Para ello, el ancho de la superficie libre del agua se divide en tramos y en cada uno de éstos se determina la velocidad y la profundidad del fondo del cauce (véase ilustración 2). Por otro lado, el limnógrafo permite registrar en forma continua el nivel del agua en una hoja diseñada para tal fin (véase ilustración 3). La mayoría de las EH se utiliza también para medir la cantidad de material en suspensión que pasa por la sección.

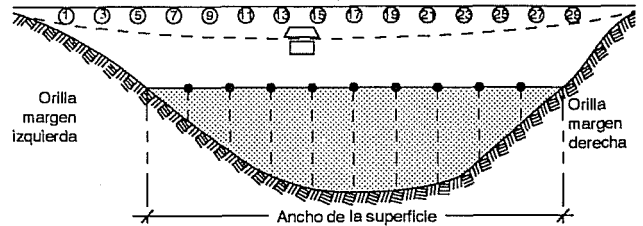
1. Divisiones hidrométricas de la CFE

División hidrométrica	Sede	Estaciones hidrométricas	Estaciones climatológicas	Laboratorios de azolve	Cuencas medidas
Pacífico Norte	Mazatlán, Sin.	10	50	9	Yaqui, Fuerte, Mayo, San Lorenzo, Sinaloa, Acaponetla, Flexilia y San Pedro.
Michoacán	Uruapan, Mich.	18	45	11	Bajo Balsas, Costas de Michoacán y Jalisco, y el Lerma Santiago.
Pacífico Sur	Chilpancingo, Gro.	15	52	15	Alto y medio Balsas, Papagayo y otras de la costa de Gro. y Oax.
Golfo	Teziutlán, Pue.	27	60	25	Papaloapan, Antigua, Nautla, Tecolutla y otras de la costa de Ver.
Sureste	Tuxtla Gtz, Chis.	32	53	34	Grijalva y Usumacinta, Tonala, Tacotalpa y otras de las costas de Chiapas.

1. Estación hidrométrica



2. Espaciamiento de los sondeos



En la actualidad, la CFE opera 102 estaciones hidrométricas distribuidas prácticamente en toda la República Mexicana. Sus principales características se presentan en el catálogo incluido en los Apéndices de este trabajo.

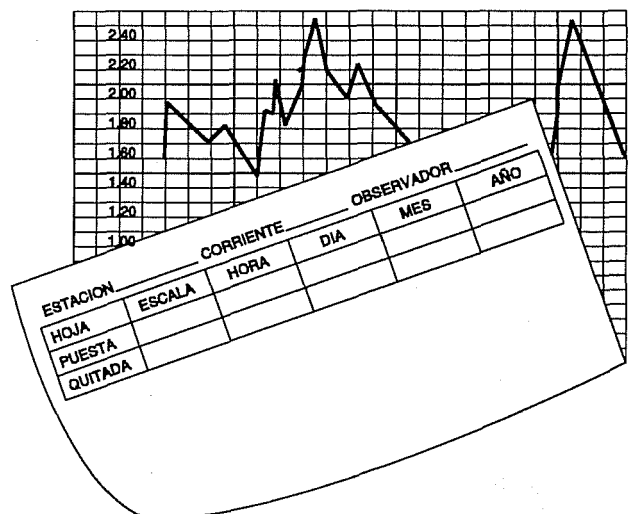
Cálculo hidrométrico

El cálculo hidrométrico permite determinar el gasto que escurre por el río, en cada una de las estaciones hidrométricas, en cualquier instante. Para ello, se cuenta con la historia continua de los niveles del agua en la sección, y con los datos de los aforos que se practican en forma esporádica (en general una o varias veces diarias en época de crecientes). El procedimiento consta fundamentalmente de dos partes: la revisión de los datos de campo y la elaboración de las curvas de escala-gasto.

Revisión de los datos de campo

Además de la verificación de las operaciones aritméticas, la revisión de los datos de campo comprende un análisis de la congruencia de

3. Limnograma



la información reportada. Para ello, se hacen comparaciones con el registro histórico de aforos, consignado en gráficas que relacionan la elevación de la superficie libre del agua con su velocidad media, con el área de la sección y con su perímetro mojado. Cuando existen estaciones hidrométricas aguas abajo y aguas arriba, sobre el mismo río, también debe verificarse la consistencia de los datos reportados.

Adicionalmente, con objeto de facilitar la determinación de las curvas de gasto, se realiza el cálculo del perímetro mojado y del radio hidráulico de la sección.

Con el fin de comprobar el buen funcionamiento del limnógrafo, se dibujan sobre la gráfica las lecturas de escala hechas tres veces durante el día; cuando por alguna causa existen diferencias entre el registro continuo del limnógrafo y los valores leídos en la escala, el cálculo se realiza con base en estos últimos y se hace un reporte para corregir el limnógrafo.

Determinación de las curvas de escala-gasto

Las curvas de escala-gasto permiten estimar el gasto para cualquier instante. Dichas curvas se construyen utilizando los datos de los aforos que cambian con el tiempo debido básicamente a las siguientes causas:

- La pendiente longitudinal de la superficie libre del agua cambia continuamente durante el paso de las avenidas. Esto se acentúa cuando la estación hidrométrica está expuesta al remanso provocado por algún afluente cercano o por efecto de las mareas, en aquellas estaciones cercanas a la costa.
- Los cauces naturales sufren modificaciones en su sección debido a procesos de erosión o depósito que ocurren en todo momento, principalmente en época de avenidas.

Debido a estos problemas, que dificultan la estimación de los gastos correspondientes a las elevaciones máximas, en los últimos años la CFE ha trabajado en la búsqueda de procedimientos que permitan mejorar la confiabilidad de la extrapolación de las curvas elevaciones-gastos, aprovechando toda la información disponible y utilizando fórmulas básicas de la hidráulica. Actualmente, se incluyen en los resúmenes de aforos los valores calculados del perímetro mojado y el radio hidráulico, con el fin de utilizarlos en la extrapolación, apoyándose en la fórmula de Manning, con lo que se han logrado mejoras considerables en el cálculo.

Estaciones climatológicas

En la estación climatológica de tipo convencional se registran: temperatura, lluvia, evaporación, velocidad y dirección del viento (véase ilustración 4).

Existen algunas que cuentan con aparatos que registran otros parámetros como: intensidad de lluvia, humedad relativa, variaciones de temperatura, velocidad e intensidad de viento, duración e intensidad de la radiación solar, incluso en forma continua, etcétera.

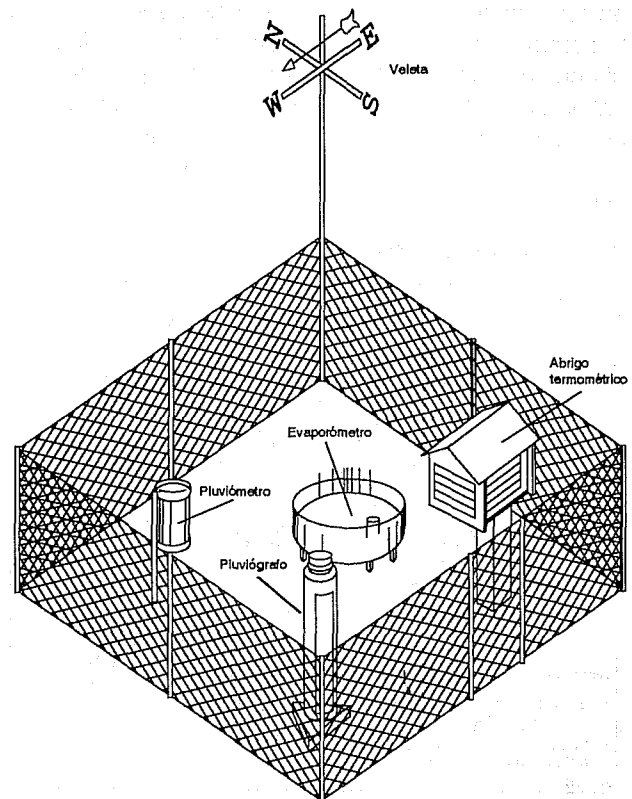
Procesamiento de la información climatológica

El proceso comprende la determinación de los siguientes parámetros, para cada una de las estaciones:

- Temperaturas diarias media, máxima y mínima y resumen de lluvias diarias, mensuales y anuales.
- Evaporaciones diarias, mensuales y anuales.
- Información cualitativa sobre la dirección y velocidad del viento.

En las estaciones que cuentan con registro continuo, para cada tormenta se obtienen la

4. Estación climatológica



curva masa y los hietogramas para diferentes intervalos. Además, se calculan las intensidades de precipitación máximas anuales para duraciones entre 5 y 120 min. En aquellas que cuentan con equipo más complejo, se elaboran rosas de vientos y se determinan valores de radiación y humedad.

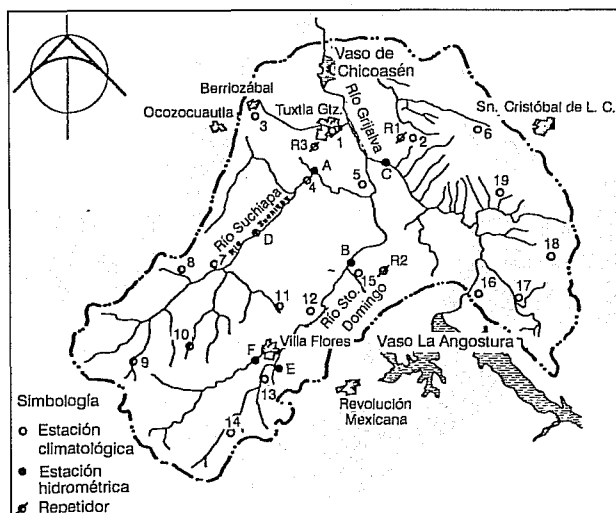
Actualmente, la CFE opera 260 estaciones climatológicas de diverso tipo, cuyas características pueden consultarse en el catálogo correspondiente que se incluye en el Apéndice 2 de este trabajo.

Redes de alarma para la predicción de avenidas

A fin de brindar apoyo durante la construcción y operación de las centrales hidroeléctricas, la CFE cuenta con las siguientes redes para la prevención de avenidas.

La red hidrotelemétrica de alarma de la cuenca propia del Proyecto Hidroeléctrico (PH) Chicoasén (véase ilustración 5), que cuenta con 19 estaciones pluviométricas, equipadas con un pluviómetro que por cada 25 mm de lluvia emite un pulso eléctrico a un contador ubicado en el Puesto Central de Registro (PCR) de Tuxtla Gutiérrez. La información alimenta un programa que determina la lluvia media en cada subcuenca, estima el índice de infiltración en función del índice de precipitación antecedente y transforma la precipitación efectiva en escurrimiento directo utilizando hidrogramas unitarios previamente calibrados. Además, se cuenta con la información en "tiempo real" de seis estaciones hidrométricas y modelos que permiten transitar las avenidas por los cauces.

5. Sistema de alarma Chicoasén



La red Chicoasén fue la primera red telemétrica para la predicción de avenidas instalada en México y proporciona predicciones confiables con una anticipación de 12 horas.

En forma similar se tienen instaladas las redes de alarma y de prevención de avenidas para las siguientes centrales hidroeléctricas: Angel Albino Corzo (Peñitas), sobre el río Grijalva; Ing. Carlos Ramírez Ulloa (El Caracol) e Infiernillo sobre el río Balsas; Plutarco Elías Calles (El Novillo) en el río Yaqui; Ambrosio Figueroa (La Venta) en el río Papagayo y la red de alarma para la Central Hidroeléctrica Mazatepec en el río Tecolutla.

Para la construcción del proyecto Aguamilpa sobre el río Santiago, se opera una red de predicción de avenidas integrada por ocho estaciones hidrométricas y 19 climatológicas que permitirán elaborar y calibrar un modelo lluvia-escurrimiento, para dar apoyo durante el proceso de construcción y posteriormente hacer más eficiente la operación de dicha central hidroeléctrica.

Estudios a partir de la información hidrometeorológica

Los datos obtenidos de la red de estaciones hidrometeorológicas operadas por la CFE sirven de base para elaborar muchos de los estudios que se requieren para la planeación, diseño, construcción y operación de las plantas de generación de energía eléctrica. En seguida se presenta la relación de algunos de estos estudios y en el Apéndice se incluye uno completo y un resumen de otro.

- Determinación del potencial hidroeléctrico.
- Simulación del funcionamiento de un vaso.
- Determinación de las avenidas de diseño de las obras de excedencias y de desvío en las presas hidroeléctricas.
- Estimación del gasto aprovechable para el abastecimiento de agua superficial de las plantas termoeléctricas.
- Estudio probabilístico para el llenado del embalse en el cierre de la obra de desvío.
- Diseño del sistema de alarma para la predicción de avenidas, durante la construcción y la operación de los proyectos hidroeléctricos.
- Análisis bajo condiciones especiales de la operación en vasos, tales como: operación en cascada, interconexión con otros vasos, azolvamiento, cambio de volúmenes de aportación o extracción, etcétera.

- Elaboración de modelos lluvia-escurrimiento y determinación de tiempos de traslado de avenidas.
- Estudio de los elementos del clima en los proyectos futuros para generación de energía.
- Análisis de imagen del satélite para el pronóstico del estado del tiempo cada 24 horas y seguimiento de las trayectorias ciclónicas.
- Ajustes de curvas elevaciones-gastos para secciones que presenten problemas específicos.
- Procedimientos de extrapolación para el cálculo hidrométrico.
- Resistencia al flujo. Análisis del comportamiento hidráulico en corrientes naturales, aplicando métodos estadísticos, hidráulica de canales e hidráulica fluvial.
- Aportación de sedimentos. Determinación del volumen de sólidos transportados por una corriente, con base en criterios estadísticos

(material de lavado) y de hidráulica fluvial (material de arrastre de fondo).

- Depósito de sedimentos en embalses. Estimación de la forma en que se distribuye el azolve dentro de un embalse y la manera en que se afecta su capacidad durante su vida útil.
- Comportamiento de sedimentos en conducciones y tanques. Cálculo de las condiciones de transporte y depósito de material sólido en las estructuras de un proyecto hidroeléctrico.
- Socavación aguas abajo en las presas. Predicción de los cambios morfológicos que sufre un río por la construcción de una presa.

¹ El presente trabajo constituye un breve resumen de las principales actividades que desarrolla CFE en el campo de la hidrología. Para cualquier aclaración, comentario o requerimiento de información más detallada les suplicamos dirigirse al Ing. F. Héctor Hernández Castellanos, Jefe del Departamento de Hidrometeorología de CFE, Oklahoma 85, 1er. Piso, CP 03810, México, D. F.

Apéndice 1: Catálogo de estaciones hidrométricas

Comisión Federal de Electricidad, Subdirección de Construcción, Gerencia de Ingeniería Civil, Subgerencia de Estudios Civiles, Departamento de Hidrometeorología, Oficina de Hidrometría

No. Estación	Cuenca	Río	Latitud	Longitud	D.H.	Estado	Período
1 Amatlán 2	La Antigua	Pescados	19° 20'	96° 54'	Golfo	Ver.	79-
2 Buenos Aires	Tecoluta	Apulco	19° 56'	97° 30'	Golfo	Pue.	62-
3 Canal Túnel 1	Tecoluta	C. Xucayucan	19° 58'	97° 27'	Golfo	Pue.	62-
4 Cazonas	Cazonas	Cazonas	20° 41'	97° 21'	Golfo	Ver.	81-
5 Coyula	Tecoluta	Necaxa	20° 16'	97° 40'	Golfo	Ver.	61-
6 Cozolepa	La Antigua	Cozolepa	19° 26'	96° 54'	Golfo	Ver.	83-
7 El Remolino	Tecoluta	Tecoluta	20° 21'	97° 14'	Golfo	Ver.	61-
8 Jacomulco	La Antigua	La Antigua	19° 20'	96° 44'	Golfo	Ver.	60-
9 Las Adjuntas	Pánuco	Moctezuma	20° 52'	99° 27'	Golfo	Hgo.	85-
10 Mazacitla	Pánuco	Moctezuma	21° 08'	99° 19'	Golfo	Oax.	56-
11 Naranjal	Papaloapan	Blanco	18° 49'	94° 58'	Golfo	Ver.	53-
12 Paso Tenempulco	Tecoluta	Apulco	20° 05'	97° 28'	Golfo	Pue.	61-
13 Puxila	Tecoluta	Puxila	19° 54'	97° 28'	Golfo	Pue.	55-
14 San Juan	Pánuco	San Juan	20° 39'	99° 31'	Golfo	Oax.	80-
15 Sonolalaco	Tecoluta	Sonolalaco	19° 58'	97° 28'	Golfo	Pue.	62-
16 Soyolapa	Papaloapan	Soyolapa	17° 37'	96° 18'	Golfo	Oax.	76-
17 Tecuantepec	Tecoluta	Zempolala	20° 09'	97° 31'	Golfo	Ver.	61-
18 Texelo	La Antigua	Texelo	19° 23'	96° 51'	Golfo	Ver.	60-
19 Tula	Pánuco	Xucayucan	20° 39'	99° 29'	Golfo	Hgo.	80-
20 Xucayucan	Tecoluta	Xucayucan	19° 54'	97° 29'	Golfo	Pue.	55-
21 Yelag	Papaloapan	Cajonos	17° 14'	96° 10'	Golfo	Oax.	80-
22 Chalahuico	Tecoluta	Zilalcuautla	19° 50'	97° 44'	Golfo	Pue.	77-
23 Chelamé	Nautla	Alceseca	19° 49'	97° 13'	Golfo	Ver.	56-
24 Guelatiao	Papaloapan	Grande	17° 19'	96° 30'	Golfo	Oax.	76-
25 Jelacingo	Nautla	Palenque	19° 51'	97° 19'	Golfo	Ver.	55-
26 Nixtamalapa	Nautla	Nixtamalapa	19° 50'	97° 17'	Golfo	Ver.	56-
27 Nixtamalapa	La Antigua	A. Pescados	19° 17'	97° 05'	Golfo	Pue.	60-
28 Agua Prieta	Santiago	Santiago	20° 51'	103° 16'	Michoacán	Jal.	84-
29 Crámanera	Balsas	Balsas	18° 28'	100° 52'	Michoacán	Mich.	58-
30 Carrizal II	Santiago	Santiago	21° 50'	104° 46'	Michoacán	Nay.	86-
31 Jesús María	Santiago	Jesús María	22° 16'	104° 31'	Michoacán	Mich.	86-
32 Las Juntas	Santiago	Santiago	20° 40'	103° 18'	Michoacán	Jal.	80-
33 Osorio Vértedor	Santiago	Osorio	20° 40'	103° 20'	Michoacán	Jal.	84-
34 Panchies	Balsas	Tepecatepec	18° 54'	102° 19'	Michoacán	Mich.	64-
35 Pastora	Balsas	El Marqués	18° 59'	102° 04'	Michoacán	Mich.	64-
36 Pirazanes	Balsas	Tacámbaro	18° 24'	101° 07'	Michoacán	Mich.	64-
37 Puente Arcediano	Santiago	Santiago	20° 44'	103° 18'	Michoacán	Jal.	68-
38 Santa Bárbara	Balsas	Cupatitzio	19° 23'	102° 02'	Michoacán	Mex.	69-
39 Zalatlán Vértedor	Santiago	Zalatlán	20° 40'	103° 20'	Michoacán	Jal.	81-
40 Chorro del Varal	Balsas	Tepecatepec	19° 31'	103° 35'	Michoacán	Mich.	54-
41 Los Limones	Balsas	Itzcuaru	19° 34'	102° 35'	Michoacán	Mich.	86-
42 Rijnito	Ameca	Ameca	21° 01'	104° 45'	Michoacán	Mich.	86-
43 Santa Rosa	Santiago	Santiago	20° 54'	103° 42'	Michoacán	Jal.	64-
44 El Cubil	Yaqui	Yaqui	23° 12'	109° 14'	Pacífico Norte	Son.	65-

No. Estación	Cuenca	Río	Latitud	Longitud	D.H.	Estado	Período
45 El Novillo	Yaqui	Yaqui	26° 58'	109° 38'	Pacífico Norte	Son.	58-
46 La Murella	San Pedro Mezquital	Mezquital	22° 50'	105° 00'	Pacífico Norte	Nay.	66-
47 Paso Nacori	Yaqui	Papigochic	23° 26'	109° 05'	Pacífico Norte	Son.	57-
48 Batopilas	Fuerte	Batopilas	27° 05'	107° 45'	Pacífico Norte	Chih.	81-
49 Guapoca	Yaqui	Papigochic	23° 11'	108° 14m	Pacífico Norte	Chih.	57-
50 Guerechic	Fuerte	Verde	26° 39'	104° 20'	Pacífico Norte	Chih.	81-
51 Mezquital	San Pedro Mezquital	Mezquital	23° 25'	104° 24'	Pacífico Norte	Dgo.	83-
52 Faxtla	Flaxtla	Flaxtla	23° 57'	106° 20'	Pacífico Norte	Sin.	57-
53 Tecuapala	Sinaloa	Sinaloa	25° 53'	107° 25'	Pacífico Norte	Sin.	58-
54 Agua Salada	Papagayo	Papagayo	17° 11'	99° 38'	Pacífico Sur	Gro.	69-
55 Alenango del Río	Balsas	Amacuzac	18° 05'	99° 08'	Pacífico Sur	Gro.	53-
56 El Fraile	Balsas	Mixteco	18° 12'	98° 25'	Pacífico Sur	Pue.	53-
57 El Puente	Papagayo	Omitlán	17° 08'	99° 25'	Pacífico Sur	Gro.	53-
58 Ixcampipa	Balsas	Tlapaneque	18° 01'	98° 42'	Pacífico Sur	Pue.	52-
59 La Parota	Papagayo	Papagayo	16° 53'	99° 37'	Pacífico Sur	Gro.	62-
60 Milpillas	Ometepepec	Santa Catarina	16° 34'	98° 27'	Pacífico Sur	Gro.	80-
61 Papadulla	Balsas	Balsas	18° 01'	99° 54'	Pacífico Sur	Gro.	78-
62 San Juan	Telcelcingo	Balsas	17° 56'	99° 31'	Pacífico Sur	Gro.	51-
63 Tepoa	Balsas	Balsas	18° 06'	100° 15'	Pacífico Sur	Gro.	87-
64 El Carrizo	Verde	Verde	16° 26'	97° 37'	Pacífico Sur	Oax.	69-
65 Nuxtila	Verde	Yalotepec	16° 36'	97° 40'	Pacífico Sur	Oax.	59-
66 Paso Ancho	Verde	Atoyac	16° 22'	96° 53'	Pacífico Sur	Oax.	67-
67 Yutacua	Verde	Sordo	16° 36'	97° 37'	Pacífico Sur	Oax.	69-
68 Acala	Grijalva	Grijalva	16° 39'	92° 57'	Sureste	Chis.	83-
69 Almirante	Grijalva	Tecolapa	17° 11'	92° 40'	Sureste	Chis.	65-
70 Almirante	Usumacinta	Tzucaneja	16° 44'	92° 02'	Sureste	Chis.	65-
71 Boca del Cerro	Usumacinta	Usumacinta	17° 26'	91° 29'	Sureste	Tab.	81-
72 El Colorado	Usumacinta	Lacantun	16° 08'	91° 09'	Sureste	Chis.	81-
73 El Jabalí	Usumacinta	Santo Domingo	16° 09'	91° 22'	Sureste	Chis.	68-
74 El Rosario	Usumacinta	Jalatlé	16° 52'	91° 49'	Sureste	Chis.	65-
75 El Tablón	Grijalva	El Tablón	16° 30'	93° 17'	Sureste	Chis.	86-
76 El Zapotal	Usumacinta	Santo Domingo	16° 05'	91° 33'	Sureste	Chis.	70-
77 Euseba	Huixtla	Euseba	16° 16'	91° 22'	Sureste	Chis.	67-
78 Grijalva	Usumacinta	Grijalva	16° 57'	93° 07'	Sureste	Chis.	87-
79 La Caterata	Usumacinta	Santo Domingo	16° 14'	91° 19'	Sureste	Chis.	67-
80 La Esperanza	Despoblado	Despoblado	15° 08'	92° 27'	Sureste	Chis.	77-
81 Lacantun	Usumacinta	Lacantun	16° 08'	90° 55'	Sureste	Chis.	64-
82 Las Tazas	Usumacinta	Jalatlé	16° 46'	91° 37'	Sureste	Chis.	65-
83 Livingston	Usumacinta	Tzucaneja	16° 35'	91° 41'	Sureste	Chis.	65-
84 Oxclolón	Grijalva	Tecolapa	17° 22'	92° 42'	Sureste	Tab.	86-
85 Paso del Cayuco	Tulijá	Yashja	17° 13'	92° 08'	Sureste	Chis.	68-
86 Peñitas	Grijalva	Hondo	16° 49'	92° 55'	Sureste	Chis.	61-
87 Puente Concordia	Grijalva	San Gregorio	15° 50'	92° 03'	Sureste	Chis.	61-
88 San Miguel	Grijalva	San Miguel	15° 47'	92° 14'	Sureste	Chis.	76-
89 San Pedro	Grijalva	San Pedro	17° 10'	92° 41'	Sureste	Chis.	65-
90 San Quintín	Usumacinta	Jalatlé	16° 25'	91° 22'	Sureste	Chis.	64-
91 Santa Elena	Usumacinta	Santo Domingo	16° 09'	91° 30'	Sureste	Chis.	68-
92 Santa María	Grijalva	Encarnación	15° 56'	93° 48'	Sureste	Chis.	89-
93 Santo Domingo	Grijalva	Santo Domingo	16° 31'	92° 57'	Sureste	Chis.	76-
94 Tzimbac	Grijalva	Tzimbac	17° 15'	93° 27'	Sureste	Chis.	86-
95 Dolores	Usumacinta	Dolores	16° 11'	91° 25'	Sureste	Chis.	80-
96 El Carmen	Usumacinta	Jalatlé	16° 46'	92° 07'	Sureste	Chis.	85-
97 La Pimental	Usumacinta	Santo Domingo	16° 19'	91° 46'	Sureste	Chis.	67-
98 Perlas	Usumacinta	Perlas	16° 28'	91° 20'	Sureste	Chis.	64-
99 Yalchilic	Usumacinta	Yalchilic	16° 42'	92° 03'	Sureste	Chis.	63-
100 Santo Tomás	Balsas	Balsas	18° 05'	100° 14'	Pacífico Sur	Gro.	70-
101 Tichiqueo	Balsas	Zitlacuaro	18° 50'	100° 50'	Michoacán	Mich.	84-
102 San Luquitas	Balsas	Tuxantla	18° 56'	100° 42'	Michoacán	Mich.	84-

Estación	Estado	Latitud	Longitud	Altitud	Cuenca	D.H.	Periodo	Estación
San Juan Cacahuatepec	Oax.	16° 36' 49"	98° 09' 12"	360	Quetzala	PS	63-89	TPE
San Juan Michis	Dgo.	23° 26' 12"	104° 07' 43"	2250	Sancti Spiritus	Mich.	89-89	TPEP*
San Juan Teloloapán	Gro.	17° 55' 14"	99° 31' 00"	421	Balsas	PS	58-89	TPEP*
San Luquitas	Mich.	18° 55' 30"	100° 42' 30"	500	Balsas	Mich.	84-89	TPEP*
San Martín Duraznos	Oax.	17° 18' 02"	98° 06' 25"	1820	Balsas	PS	62-89	TPE
San Miguel	Chis.	15° 46' 00"	92° 14' 25"	560	Grijalva	SE	76-89	TPEP*
San Miguel Solá de Vega	Oax.	16° 31' 19"	96° 57' 43"	1399	Verde	PS	61-89	TPE
San Pedro de la Cueva	Son.	29° 17' 00"	109° 44' 00"	319	Yaqui	PN	59-89	TPE
San Pedro Juchitengo	Oax.	16° 19' 42"	97° 04' 43"	875	Verde	PS	61-89	TPE
San Quintín	Chis.	16° 24' 20"	91° 20' 53"	210	Usumacinta	SE	64-89	TPE
Santa Bárbara	Gro.	17° 18' 00"	99° 51' 58"	1040	Papagayo	PS	63-89	TPEP*
Santa Clara	Jal.	22° 14' 28"	104° 16' 47"	1900	Sancti Spiritus	Mich.	89-89	TPEP*
Santa Cruz Tezontepec	Oax.	16° 33' 28"	97° 29' 41"	820	Verde	PS	61-89	TPE
Santa Elena	Chis.	16° 07' 59"	91° 29' 13"	900	Usumacinta	SE	68-89	TPEP*
Sia. María	Chis.	16° 56' 20"	93° 48' 15"	225	Grijalva	SE	89-89	TPEP*
Sia. Ma. Juquila	Oax.	16° 14' 18"	97° 18' 18"	1266	Verde	PS	62-89	TPE
Sia. Ma. Ocolán	Dgo.	22° 54' 48"	104° 36' 09"	2000	Sancti Spiritus	Mich.	89-89	TPEP*
Sia. Ma. Teletia	Ver.	19° 16' 23"	96° 42' 48"	350	Antigua	G	64-89	TPE
Sia. Ma. Yucuhiti	Oax.	17° 01' 04"	97° 46' 37"	1740	Verde	PS	60-89	TPE
Sia. Ma. Zacatepec	Oax.	16° 45' 22"	97° 59' 31"	310	Verde	PS	61-89	TPE
Sia. Rosa	Jal.	20° 54' 31"	103° 42' 20"	755	Sancti Spiritus	Mich.	55-89	TPE
Sia. Teresa	Nay.	22° 29' 489"	104° 45' 43"	2050	Sancti Spiritus	Mich.	89-89	TPEP*
Sto. Domingo	Chis.	16° 27' 11"	93° 03' 15"	500	Grijalva	SE	76-89	TPEP*
Sto. Tomás	Gro.	18° 05' 29"	100° 14' 14"	355	Balsas	PS	53-89	TPEP*
Seyula	Chis.	17° 24' 08"	93° 19' 55"	229	Grijalva	SE	87-89	TPEP*
Siqueros	Sin.	23° 20' 35"	106° 14' 37"	55	Presidio	PN	59-89	TPE
Socollanango	Chis.	16° 14' 39"	92° 21' 05"	830	Grijalva	SE	69-89	TPE
Soyala	Chis.	16° 53' 25"	92° 55' 25"	1095	Grijalva	SE	61-89	TPE
Soyatla	Sin.	25° 52' 00"	107° 19' 00"	690	Sinaloa	PN	59-89	TPE
Soyatapa	Oax.	17° 37' 28"	96° 18' 02"	400	Papaloapan	G	76-89	TPE
Tamiahua	Ver.	21° 15' 55"	97° 26' 39"	5	Papaloapan	G	76-89	TPE
Tarín	Mich.	19° 20' 08"	101° 53' 05"	1170	Balsas	Mich.	57-89	TPE
Tecantepec	Ver.	20° 08' 40"	97° 29' 59"	250	Tecoluitla	G	61-89	TPE
Tecuatla	Sin.	25° 52' 43"	107° 24' 25"	640	Sinaloa	PN	58-89	TPE

Estación	Estado	Latitud	Longitud	Altitud	Cuenca	D.H.	Periodo	Estación
Telcapan	Gro.	18° 21' 58"	99° 52' 19"	1558	Balsas	PS	58-89	TPE
Tenampa	Ver.	19° 15' 06"	96° 52' 57"	1100	Antigua	G	64-89	TPE
Tepeapan	Pue.	19° 58' 15"	97° 38' 57"	542	Tecoluitla	G	79-89	TPE
Tepic	Nay.	21° 31' 08"	104° 53' 13"	915	Sancti Spiritus	Mich.	89-89	TPEP*
Tetiltán	Nay.	21° 07' 15"	104° 36' 30"	766	Ameca	PN	55-89	TPEP*
Tlacapa	Gro.	17° 15' 45"	98° 45' 00"	1320	Papagayo	PS	63-89	TPE
Tlacotepec	Gro.	17° 47' 20"	99° 58' 43"	1395	Balsas	PS	60-89	TPEP*
Tlapa	Gro.	17° 32' 40"	98° 34' 44"	1110	Balsas	PS	58-89	TPE
Tlaxiucui	Pue.	19° 51' 10"	97° 29' 50"	2025	Tecoluitla	G	53-89	TPE
Tortuguero	Chis.	17° 13' 02"	93° 34' 52"	98	Grijalva	SE	86-89	TPE
Tumbalá	Chis.	17° 16' 40"	92° 18' 55"	1350	Grijalva	SE	61-89	TPE
Tuxpan	Ver.	21° 02' 33"	97° 20' 37"	4	Tuxpan	G	89-89	TPE
Tuxtla Gutiérrez	Chis.	16° 45' 42"	93° 05' 10"	550	Grijalva	SE	70-89	TPE
Tzimbalá II	Chis.	17° 15' 25"	93° 27' 30"	170	Grijalva	SE	86-89	TPEP*
Tziscac	Chis.	16° 05' 00"	91° 40' 00"	1475	Usumacinta	SE	64-89	TPE
Unapan	Mich.	19° 23' 42"	102° 03' 07"	1611	Balsas	Mich.	62-89	TPEP*
Veracruz	Ver.	19° 09' 04"	97° 107m 40"	5	Jamapa	G	89-89	TPE
Villa Chalcatongo	Oax.	17° 01' 53"	97° 34' 24"	2327	Verde	PS	60-89	TPE
Villa Corzo	Chis.	16° 11' 40"	93° 15' 45"	600	Grijalva	SE	70-89	TPE
Villa de Alcalá	Chis.	16° 39' 34"	92° 57' 28"	440	Grijalva	SE	83-89	TPEP*
Villa E. Zapata	Ver.	19° 21' 39"	96° 39' 30"	425	Antigua	G	64-89	TPE
Villa Juárez	Dgo.	25° 32' 00"	103° 32' 00"	1144	Nazas	PN	86-89	TPE
Villa Madero	Mich.	19° 23' 24"	101° 16' 39"	2134	Balsas	Mich.	57-89	TPEP*
Xalitangus	Gro.	17° 06' 00"	99° 42' 48"	306	Papagayo	PS	54-89	TPE
Xajalón	Chis.	16° 10' 30"	92° 19' 50"	660	Grijalva	SE	61-89	TPE
Yalegón	Oax.	17° 11' 03"	96° 10' 48"	1032	Papaloapan	G	80-89	TPEP*
Yalcok	Chis.	16° 18' 58"	91° 58' 25"	1500	Usumacinta	SE	85-89	TPE
Yecorlató	Sin.	26° 25' 46"	108° 13' 05"	406	Sinaloa	PN	81-89	TPE
Yucua	Oax.	16° 37' 48"	97° 36' 04"	355	Verde	PS	71-89	TPEP*
Zapotitlán Tablas	Gro.	17° 25' 08"	98° 46' 51"	1750	Balsas	PS	80-89	TPE
Zautla	Pue.	19° 42' 52"	97° 40' 22"	1940	Tecoluitla	G	54-89	TPE

Tipo de estación

TPE	-	Termo-pluviométrica- evaporación
P*	-	Pluviógrafo
A*	-	Actinógrafo

Divisiones hidrométricas

DHSE	-	Sureste
DHG	-	Golfo
DHPN	-	Pacífico Norte
DHM	-	Michoacán
DHPS	-	Pacífico Sur

Apéndice 3: Boletines hidrométricos y climatológicos editados por el Departamento de Hidrometeorología

Comisión Federal de Electricidad, Subdirección de Construcción, Gerencia de Ingeniería Civil, Subgerencia de Estudios Civiles, Departamento de Hidrometeorología

No.	Boletines tipo	Cuenca	Periodo
1	Hidrológico y climatológico	Papaloapan Omilán	1937 - 1950
1	Climatológico	Territorio Nacional	1940 - 1960
1'	Hidrológico y climatológico	Grijalva	1960 - 1973
2	Hidrométrico y climatológico	Usumacinta	1965 - 1973
2-I	Climatológico	Territorio Nacional	1940 - 1967
2-II	Climatológico	Territorio Nacional	1940 - 1967
2	Hidrológico climatológico	Balsas	1951 - 1958
S/N	Climatológico	Vertiente del Golfo de México	1968 - 1977

No.	Boletines tipo	Cuenca	Periodo
3	Climatológico	Balsas	1967 - 1974
3'	Hidrométrico	Balsas	1967 - 1974
3	Hidrométrico	Vertiente del Pacífico	1950 - 1960
4	Hidrométrico	Balsas	1950 - 1961
5-I	Hidrométrico	Vertiente del Golfo de México	1944 - 1962
5-II	Hidrométrico	Vertiente del Golfo de México	1944 - 1962
6	Climatológico	Vertiente del Golfo de México	1968 - 1974
7	Hidrométrico	Tecoluitla	1963 - 1977
8	Hidrométrico y climatológico	Grijalva Usumacinta	1974 - 1977
9	Hidrométrico	Vertiente del Golfo de México	1963 - 1978
10	Hidrométrico y climatológico	Pacífico Norte	1961 - 1978
11	Hidrométrico	Pacífico Sur	1967 - 1978
12	Climatológico	Balsas Medio	1967 - 1978
13-I	Hidrométrico	Balsas Medio	1962 - 1977
13-II	Hidrométrico	Balsas Medio	1962 - 1977
14	Hidrométrico	Territorio Nacional	1978 - 1980
15	Climatológico	Territorio Nacional	1941 - 1980
16	Hidrométrico	Territorio Nacional	1981
17	Climatológico	Territorio Nacional	1981 - 1985
18	Hidrométrico	Territorio Nacional	1982
19	Hidrométrico	Territorio Nacional	1983
20	Hidrométrico	Territorio Nacional	1984
21	Hidrométrico	Territorio Nacional	1985

Apéndice 4: Deducción probabilista de avenidas de diseño en grandes presas con información de volúmenes máximos anuales para diferentes duraciones¹

Las técnicas habituales para definir avenidas de diseño asociadas con ciertos valores de probabilidad o periodos de retorno recurren tradicionalmente a una avenida histórica importante que se "mayora"; esto significa que se multiplica cada ordenada

del hidrograma registrado por una constante, de tal forma que el pico del hidrograma resultante sea igual al gasto máximo asociado con el periodo de retorno deseado. Este procedimiento supone que existe una proporción directa entre el gasto pico y el volumen, suposición que se contradice con los hechos registrados.

Aquí se propone un procedimiento para deducir las avenidas de diseño a partir de los volúmenes registrados. Su ventaja principal consiste en permitir que se cumplan simultáneamente las relaciones

estadísticas entre gastos máximos y volúmenes máximos, lo cual evita errores inherentes al método tradicional, como se mostrará en los ejemplos de aplicación. El método consiste en realizar un análisis estadístico de la sucesión de volúmenes máximos registrados para duraciones de uno, dos, tres... hasta n días, y asociar éstos a valores de probabilidad de ocurrencia. AL igual que los otros métodos estadísticos, la variable en el tiempo es de un año.

Los resultados obtenidos con este procedimiento se aplican cuando la característica que interesa de la avenida es el volumen y no el gasto pico, lo que por lo general ocurre en las presas de gran capacidad de regulación.

Información necesaria

Debido a que el análisis es puramente estadístico, se requiere del máximo de información para obtener un resultado confiable. El tipo de información necesaria se refiere al volumen diario escurrido, que generalmente proporcionan las dependencias que tienen a su cargo la medición en las estaciones hidrométricas, como el gasto medio diario que se analiza año por año.

Metodología

En su primera fase, igual que las demás técnicas en hidrología, el procedimiento consiste en depurar la información existente. En este caso, se trata de verificar que los gastos máximos instantáneos no difieran notablemente del gasto medio diario en que ocurrieron.

A partir del registro de cada año, se obtiene el máximo volumen en un día, después de dos días sucesivos, de tres consecutivos hasta llegar a n días. El valor de n depende de las condiciones de cada cuenca porque este valor determina la duración de la avenida. Es recomendable realizar el análisis para una duración mayor que la correspondiente a las avenidas típicas del lugar para garantizar que incluya todas las condiciones que podrían resultar críticas para la obra analizada.

Como el análisis es puramente estadístico, no es necesario que el volumen sucesivo para distintas duraciones corresponda a la misma avenida, así, por ejemplo, si el volumen máximo para duraciones de uno y dos días corresponde a una avenida, el máximo asociado a una duración de cinco días puede corresponder a otra.

En los métodos tradicionales, los gastos máximos anuales se ajustan a una distribución de probabilidad, mientras que en este caso los volúmenes máximos

para cada duración se relacionan con su periodo de retorno mediante el ajuste a funciones de probabilidad. En general, se recomienda el mismo tipo de función probabilista para todas las duraciones.

Es importante notar que cuanto mayor sea el número de años del registro de análisis, mejor será la extrapolación para obtener el volumen asociado al periodo de retorno seleccionado.

Los resultados que se obtienen de los ajustes son volúmenes acumulados probables, de los que se parte para obtener una avenida cuyas características estadísticas se cumplan para cualquier duración. Se debe esperar que la avenida resultante sea única y que corresponda a la forma típica de las avenidas históricas medidas en la región analizada.

El problema principal de este método consiste en pasar de los volúmenes acumulados correspondientes al periodo de retorno seleccionado a las ordenadas del hidrograma de la avenida. Para solucionarlo, se aconseja extender el análisis para duraciones más allá de la duración esperada de la avenida, y recurrir a una forma típica de las avenidas históricas colocando el volumen máximo para un día en la posición del gasto máximo registrado; para la segunda ordenada se resta del valor obtenido del ajuste para dos días el de un día, y este volumen se acomoda antes o después del anterior dependiendo de la forma típica adoptada. El proceso se repite para tres días, cuatro, etcétera.

En cada caso, se comprueba que la sucesión de volúmenes cumpla con los requisitos estadísticos dados por la curva de volúmenes acumulados. El proceso descrito se muestra gráficamente en la ilustración 1.

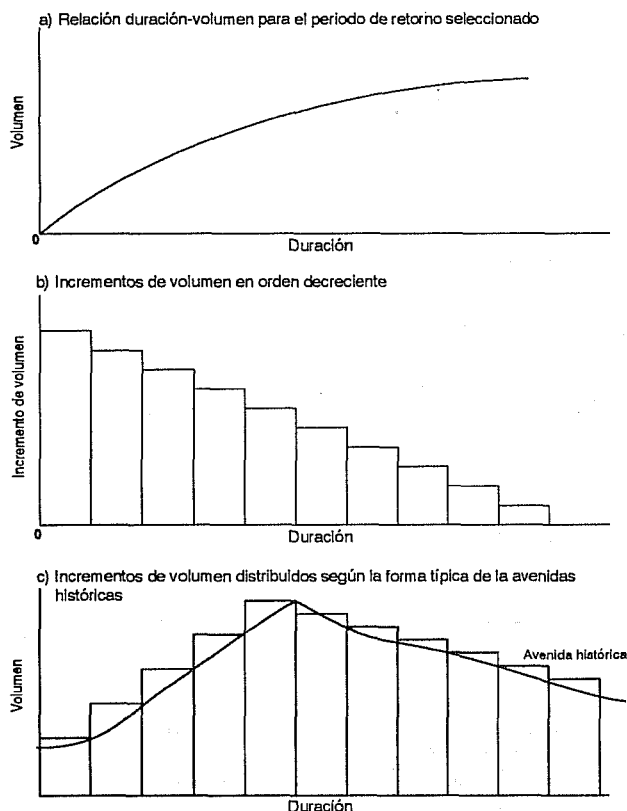
Con objeto de hacer más clara la aplicación de la metodología propuesta, se exponen dos ejemplos y se comparan sus resultados con los de la técnica tradicional.

Ejemplos

- *Avenida de diseño por cuenca propia de la presa Malpaso (México) para un periodo de retorno de 100 años.*

Debido a las condiciones de los embalses al inicio de la temporada de lluvias de 1985 en el río Grijalva, y en la etapa de construcción de la presa Peñitas, fue necesario determinar un nivel en el vaso de Malpaso que garantizara la seguridad de la obra en construcción, así como sus instalaciones. Para ello se realizó un análisis de las crecientes históricas

1. Secuencia gráfica del metodo propuesto



para la cuenca propia de la presa Malpaso, de las que se pudo obtener una avenida asociada a un cierto riesgo o bien a un periodo de retorno que, al ser transitada por el vaso, permitiera determinar el nivel al cual la extracción máxima no sobrepasara la capacidad de la obra de desvío de Peñitas. No es el objetivo del presente trabajo entrar en los detalles numéricos de los tránsitos en el vaso, sino ejemplificar la metodología empleada para deducir la avenida requerida.

Descripción hidrográfica

En este estudio se considera como cuenca propia del vaso de Malpaso o Nezahualcōyotl al área que se encuentra entre el desfogue de la presa La Angostura y la cortina de la presa Malpaso, con una superficie de 16 861 km².

En este tramo, los afluentes más importantes del río Grijalva son, por la margen izquierda, Santo Domingo, Suchiapa y La Venta y, por la derecha, Hondo, Chicoasén, y Yamonho. Esta descripción y el sistema Grijalva Usumacinta se muestran en el plano I.

Información utilizada

De los registros de gastos medios diarios de 1918 a 1981 se seleccionaron los 30 días sucesivos de máximo volumen año con año. Con esta información, se analizó el máximo volumen para un día, el máximo de dos días sucesivos, tres hasta 30 días. Los resultados se presentan en el cuadro 1. Por simplicidad, ahí se muestran únicamente los valores asociados a duraciones de múltiplos de cinco días.

Para cada una de las duraciones se ajustaron los valores anteriores a una distribución de probabilidad, que en este caso fue la de Gumbel. Estos ajustes aparecen en forma gráfica en la ilustración 2, que debe interpretarse como la relación entre el volumen acumulado para cada duración y el periodo de retorno correspondiente.

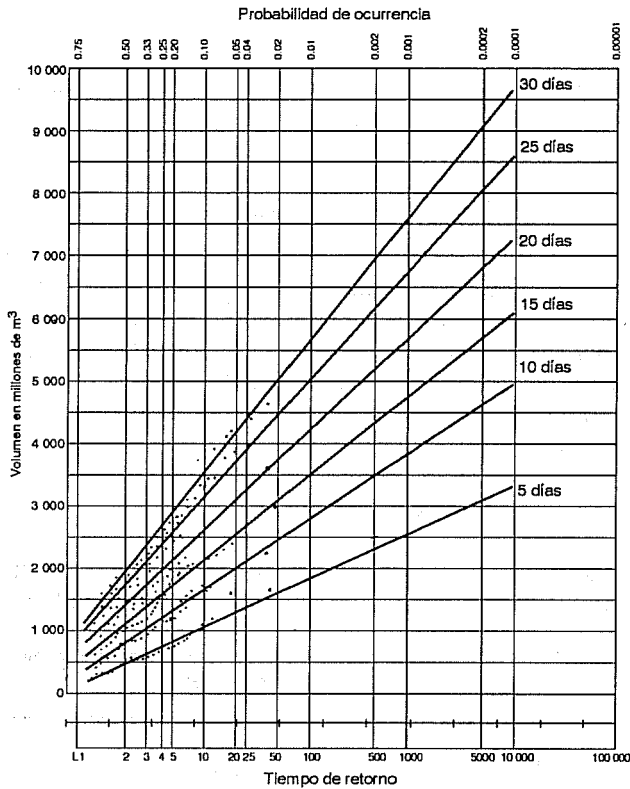
Deducción de la avenida

Al seleccionar el periodo de retorno de 100 años, de los ajustes se obtuvieron los volúmenes acumulados

1. Volúmenes máximos registrados en la cuenca propia de la Presa Malpaso para distintas duraciones

Año	5 días	10 días	15 días	20 días	25 días	30 días
1948	401	703	989	1161	1299	1407
1949	492	799	1036	1344	1549	1818
1950	522	956	1320	1586	1786	1938
1951	475	863	1263	1614	1901	2263
1952	990	1812	2394	2881	3442	3798
1953	897	1414	1746	2002	2291	2547
1954	796	1312	1893	2428	2974	3399
1955	876	1578	2252	2810	3640	4060
1956	880	1629	2090	2636	2955	3532
1957	440	793	1156	1421	1782	2092
1958	493	883	1178	1550	1939	2180
1959	735	1062	1352	1540	1627	1701
1960	295	550	763	1029	1221	1431
1961	511	811	976	1058	1435	1651
1962	608	1007	1529	1910	2278	2565
1963	1554	2300	2620	3012	3268	3403
1964	423	628	855	992	1197	1380
1965	642	933	1048	1367	1791	1926
1966	205	291	444	526	629	716
1967	398	677	858	1036	1261	1432
1968	292	481	705	886	989	1119
1969	482	756	939	1229	1503	1767
1970	1192	1769	2213	2913	3691	4302
1971	436	766	1066	1396	1573	1725
1972	142	262	368	476	568	658
1973	1222	1967	2370	3003	3355	3639
1974	429	480	877	1004	1170	1309
1975	343	585	824	985	1135	1233
1976	271	430	518	599	695	727
1977	279	371	464	518	580	628
1978	316	505	675	835	1033	295
1979	736	1174	1568	1928	2370	2759
1980	1699	2065	2438	2653	2748	2838
1981	506	738	1024	1295	1532	1782
1982	479	716	973	1259	1409	1515
1983	507	875	1226	1657	1960	2228
1984	557	1073	1365	1763	2043	2363

2. Análisis de volúmenes máximos anuales por el método de Gumbel para diferentes duraciones. Cuenca propia de la Presa Malpaso



para todo el rango de duraciones estudiadas. A partir de estos valores se calcularon las diferencias entre duraciones sucesivas, hasta obtener una curva como la de la ilustración 1(b). En seguida, estos valores se ordenaron en la posición que corresponde a la avenida histórica de 1963, teniendo cuidado de que al hacerlo se cumpliera con los valores estadísticos.

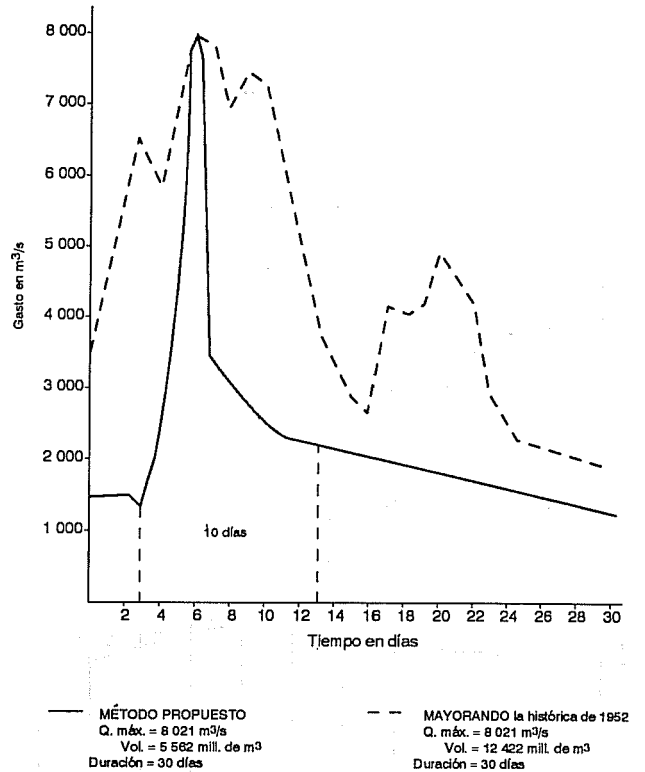
El resultado se presenta en la ilustración 3, donde se compara la avenida propuesta, que cumple con las condiciones estadísticas de sucesión de volumen para cualquier duración, con la obtenida al "mayorar" una avenida histórica. Para 30 días, la proporción del volumen es de más del doble, la cual, en periodo de retorno, equivaldría a más de 10 000 años.

Si el análisis se hubiera realizado para duraciones hasta de 10 días, el resultado sería el que se ve entre las líneas punteadas de la ilustración 3. Sin embargo, como la avenida de diseño no es un evento aislado, para obtener un resultado realista, fue necesario prolongar el análisis hasta duraciones de 30 días.

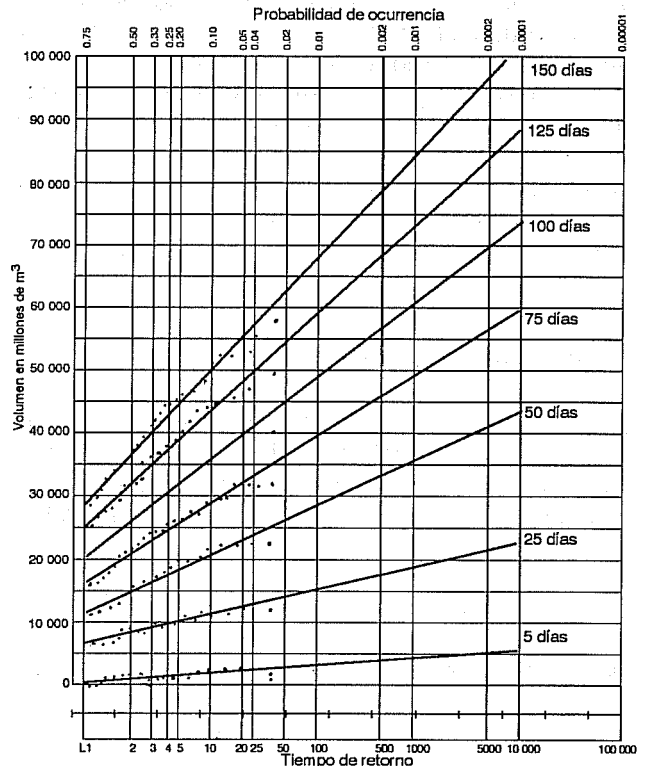
• *Avenidas de diseño en Boca del Cerro Usumacinta*

El segundo ejemplo de aplicación de la metodología se realizó para un sitio del proyecto en el

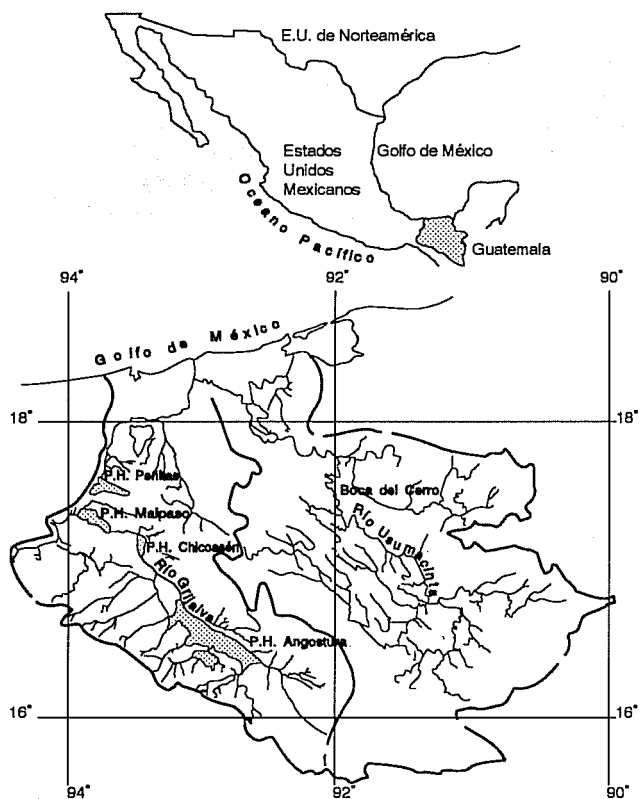
3. Avenidas en la cuenca propia de la Presa Malpaso, con periodo de retorno de 100 años



4. Análisis de volúmenes máximos anuales por el método de Gumbel para diferentes duraciones. Boca del Cerro, Usumacinta



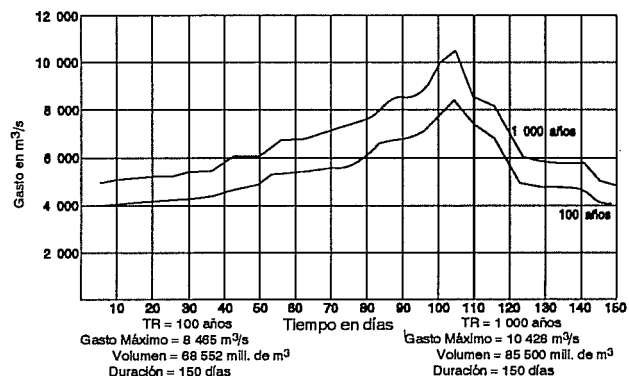
5. Descripción hidrográfica de las cuencas de los ríos Grijalva-Usumacinta



El río Usumacinta, que coincide con una estación hidrométrica llamada Boca del Cerro y que opera desde 1919. La ilustración 5 muestra su localización.

A diferencia del proyecto anterior, las avenidas máximas anuales tienen duraciones de 50 días o más, por lo que el análisis es más extenso. Como la metodología es exactamente igual a la arriba mencionada, sólo se presentan las figuras que ilustran los resultados principales. Los ajustes gráficos de probabilidad se muestran en la ilustración 1 y, finalmente, las avenidas resultantes para distintos periodos de retorno, en la ilustración 6.

6. Avenidas con distintos periodos de retorno en Boca del Cerro, Usumacinta



Conclusiones y recomendaciones

Según se desprende de la exposición, el análisis dependerá de la cantidad de información con que se cuente, por lo que se recomienda no utilizar este método si no se tiene un registro extenso. La segunda recomendación es extender el análisis a una mayor número de días de lo que típicamente duran las avenidas. Por último, es necesario comprobar que la avenida propuesta cumpla con las condiciones estadísticas determinadas con el método.

¹ Ponencia presentada por Raúl de la Peña Salazar (Subjefe de la Unidad de Estudios Civiles, CFE), Ramón Domínguez Mora (Subdirector del Instituto de Ingeniería, UNAM), Jaime Kajomovitz Rubinstein (Jefe de la Oficina de Informática y Divulgación, CFE), Heraclio Salvador Acha (Jefe de Oficina de Hidrometría, CFE) en el XII Congreso Latinoamericano de Hidráulica.

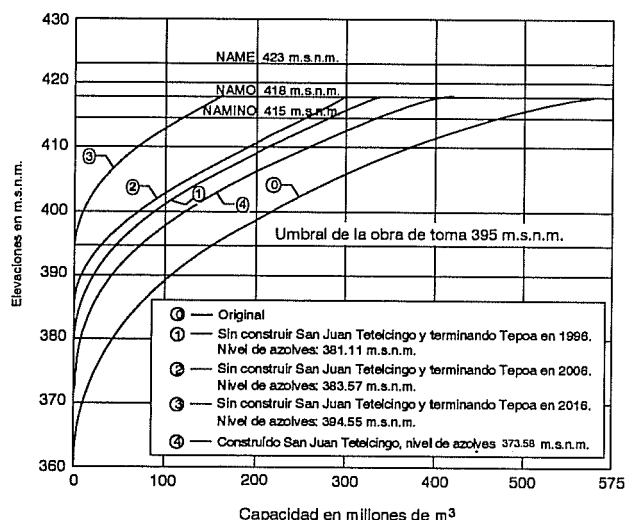
Apéndice 5: Resumen del estudio de sedimentos del PH, Tepoa, Guerrero

El objetivo de este estudio fue determinar la aportación de sedimentos al PH Tepoa, así como su distribución en el embalse y su consecuente pérdida de capacidad útil.

Del estudio correspondiente al material en suspensión de toda la cuenca del río Balsas se obtuvieron, mediante varios criterios, resultados similares entre sí, por lo que se determinó para el proyecto un volumen aportado de $2.4 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{año}$.

El volumen de arrastre de fondo se estimó preliminarmente como un 20% de volumen de sedimentos

1. P.H. Tepoa: Curvas elevaciones-capacidades a 50 años de funcionamiento (método área-incremento)



en suspensión, ya que no se contó con la información necesaria para calcularlo en los afluentes que aportan al sitio del proyecto.

En una segunda etapa del estudio se pretende estudiar algunos arroyos de cuencas vecinas, con información suficiente para comprobar el volumen estimado de arrastre de fondo.

Para determinar la vida útil del proyecto, se tomó en cuenta la eficiencia de retención (estimada por el método de Churchill) y la forma de

distribución en el embalse (estimada por el método área-incremento). Primeramente, se consideraron construídos los proyectos San Juan Tetelcingo y El Caracol, y se obtuvo por resultado una vida útil de 220 años. En segundo término, se consideró que no se construyera el PH San Juan Tetelcingo y que la construcción del PH Tepoa terminara en 1996, 2006 o 2016; en estas condiciones, la vida útil del PH Tepoa se estima en 150, 130 y 86 años, respectivamente, lo cual se muestra en la ilustración anexa.