



Artículo: COMEII-16021

II CONGRESO NACIONAL DE RIEGO Y DRENAJE COMEII 2016

Chapingo, Edo. de México, del 08 al 10 de septiembre

DETERMINACIÓN DE LA CAPACIDAD VOLUMÉTRICA EN DIQUES DEL CANAL PRINCIPAL HUMAYA USANDO PERFILADOR DE EFECTO DOPPLER

**Alberto González Sánchez^{1*}; Ernesto Olvera Aranzolo¹; Arturo González Casillas¹;
Víctor Manuel Ruíz Carmona¹**

¹Coordinación de Riego y Drenaje. Instituto Mexicano de Tecnología del Agua.
Paseo Cuauhnáhuac 8532, Progreso, Jiutepec, Morelos, C.P. 62550. México.
alberto_gonzalez@tlaloc.imta.mx. (*Autor para correspondencia).

Resumen

El Canal Principal Humaya (CPH), localizado en estado de Culiacán, Sinaloa, es uno de los más importantes del México. Cuenta en su infraestructura con once diques que ayudan a salvar depresiones y a aprovechar los escurrimientos de los arroyos que cruzan el canal. Las capacidades originales de los diques fueron determinadas en 1966. Sin embargo, los diques son receptores de aguas brucas de las partes altas, lo que ha dado lugar a que presentan diversos grados de acumulación de azolve. Esta situación ha provocado disminución de su capacidad inicial. Como parte de un grupo de acciones encaminadas a reducir dichos problemas y a incrementar la capacidad del canal, el IMTA realizó en el año 2013 la batimetría de los diques, utilizando como principal herramienta un perfilador acústico de efecto Doppler. Como resultados del trabajo realizado, se determinó la capacidad volumétrica, el área inundada y la profundidad máxima de cada dique, así como una verificación de la utilidad de los perfiladores acústicos para realizar este tipo de actividades.

Palabras clave adicionales: Batimetría, volumen, acústico, azolve, niveles, RTK.



Introducción

El Canal Principal Humaya (CPH) se ubica cerca de la ciudad de Culiacán estado de Sinaloa, México. El canal es abastecido principalmente por la presa Adolfo López Mateos, tiene una longitud de 156 km y cuenta con una gran cantidad de estructuras, entre las que destacan 26 represas, un túnel de 1,310 m de longitud y 12 diques en los sitios de cruce con los arroyos (Chan, 2015). Con el fin de salvar depresiones y en su oportunidad aprovechar los escurrimientos de algunos de los arroyos que cruzan el CPH, se colocaron diques en diferentes puntos a lo largo del canal (Cuadro 1), cuya capacidad está determinada por el volumen que pueden almacenar a diferentes cotas en función de los niveles de operación del canal. Las capacidades originales de los diques fueron determinadas por estudios batimétricos en su construcción, información que data de 1966. Durante el periodo de lluvias los arroyos arrastran material y la baja velocidad del agua en el dique propicia su depósito y acumulación en su lecho (azolve), lo cual demanda la realización de una conservación adecuada. La conservación permite mantener las capacidades de almacenamiento originales, o minimizar la acumulación de azolve en las zonas de circulación preferencial. Esto último es fundamental para la adecuada operación del canal y su velocidad de respuesta ante cambios en la demanda.

Cuadro 1. Diques a lo largo del CPH.

Nombre del dique	Ubicación (canal)		Longitud (m)
	km entrada	km salida	
1 (Uno)	13+240	13+536	296.30
2 (Dos)	14+388	15+213	824.12
Batamote	35+678	36+696	1,018.06
Arroyo Prieto	37+120	37+630	510.00
Agua Fría	42+255	42+710	455.17
Hilda	43+539	43+851	312.33
Mariquita	52+311	56+851	4,539.51
Palos Amarillos	96+390	96+775	385.00
Acatita	99+130	100+380	1,250.00
Cacachila	138+632	139+169	537.31
Aeropuerto	155+950	156+911	961.00

El CPH fue diseñado para conducir en su parte inicial un gasto de 100 m³/s; sin embargo, en la practica el máximo que se ha logrado transportar es de 85 m³/s, situación que se da invadiendo el nivel de bordo libre, deshabilitando las obras de excedencias y retirando compuertas. Por otro lado, los diques son receptores de aguas broncas de las partes altas, lo que ha dado lugar a que presentan diversos grados de acumulación de azolve. Esta situación ha provocado disminución en diversos grados de su capacidad inicial además de que el azolve al acumularse en la parte baja obstaculiza el tránsito del agua proveniente del canal, situación que



da lugar a pérdidas de carga de diversas magnitudes. Con el fin de reducir estos problemas -e incluso incrementar la capacidad del canal a lo originalmente planeado-, a lo largo del tiempo se han realizado diferentes propuestas y trabajos. El último de los trabajos de este tipo comenzó en el año 2013, con el proyecto de rehabilitación y sobreelevación del CPH emprendido por el IMTA, el cual contempló varios estudios y actividades técnicas a realizar a lo largo de todo el canal: desde recorridos para inspeccionar su estado actual (para la rehabilitación de los tramos más dañados), hasta trabajos de mayor complejidad geotecnia, como estudios hidráulicos, campaña de aforos (obtención de gasto lo largo del CPH), levantamientos topográficos de todo el canal y estructuras que lo componen. Entre los trabajos realizados, destaca la elaboración de la batimetría en los diques del CPH, realizada con el fin de determinar la disminución en capacidad volumétrica de almacenamiento que han sufrido los diques. Este trabajo se describe a continuación.

Materiales y métodos

Localización de coordenadas y medición profundidades

Para la determinación de las capacidades actuales de los diques se realizó la medición de las coordenadas x , y , z del fondo de los mismos, dando como resultado final tablas de elevaciones-áreas-capacidades de los diques más relevantes del canal.

Para obtener la profundidad (z) del estudio batimétrico, se utilizó un perfilador acústico de efecto Doppler (PAED), que es un instrumento que calcula las componentes de la velocidad del agua en diferentes capas de la misma, en las 3 direcciones. Este tipo de equipo es común para la tarea de batimetría (Wagenaar & Jones, 2015). Como su nombre lo indica, el instrumento se basa en el efecto Doppler, transmitiendo sonidos a una frecuencia fija y escuchando los ecos retornados por los reflectores en el agua. Estos reflectores son pequeñas partículas microscópicas de sedimentos o plancton presentes de forma natural en el agua, los cuales se mueven a la misma velocidad que el agua (Hiebl & Musso, 2007). Cuando el sonido enviado por el PAED llega a los reflectores, se encuentra desplazado a una mayor frecuencia debido al efecto Doppler; este desplazamiento frecuencial es proporcional a la velocidad relativa entre el PAED y los reflectores. Parte de este sonido es reflejado nuevamente hacia el PAED donde se recibe una segunda vez. Este segundo desplazamiento es utilizado para calcular las velocidades. Con el uso del PAED se pueden obtener, entre otras estimaciones, la forma de la sección, las velocidades en las tres dimensiones y el caudal de los canales (Hiebl & Musso, 2007). Para el presente trabajo se utilizó el PAED M9 de la marca Sontek, que cuenta con una exactitud del 1% del valor medido y una resolución de 0.001 m usando un emisor de ultrasonido de 0.5 MHz.

Además de la profundidad (valor en z), se requiere la posición de cada punto muestreado en el dique (coordenadas x,y). Este dato se obtuvo con un navegador cinético satelital en tiempo real o RTK (Real Time Kinematics) marca TOPCON y

una unidad GPS eTrex 10 Garmín (Figura 1b). La unidad TOPCON RTK presenta una resolución horizontal de 10 mm + 1.0 ppm haciendo uso de señales GPS, GLONASS, QZSS, SBAS y Galileo. El equipo GPS eTrex de Garmín es una unidad que utiliza las señales GPS y GLONASS con una precisión de +/- 3 m.

Para la obtención de los puntos en cada dique, los equipos M9, RTK TOPCON y eTrex 10 fueron instalados en una lancha, la cual realizó recorridos a lo largo y ancho de cada dique. Las figuras 1a, 1b, 1c y 1d muestran el equipo utilizado para el estudio batimétrico. De forma general, se transitó haciendo un recorrido por la orilla y barriendo a cada 20 metros en ambas direcciones. Esto permitió la colecta puntos que asocian los niveles de profundidad con la posición dentro de los diques. Como ejemplo, considérese la Figura 2, la cual muestra el recorrido y los puntos muestreados obtenidos en el Dique 1.



a) Medidor de profundidad instalado en Lancha



b) Equipo RTK instalado en la lancha



c) Estación base del equipo RTK



d) Equipo M9 de Sontek usado para medir profundidad

Figura 1. Fotografías del equipo de medición usado en el estudio batimétrico.

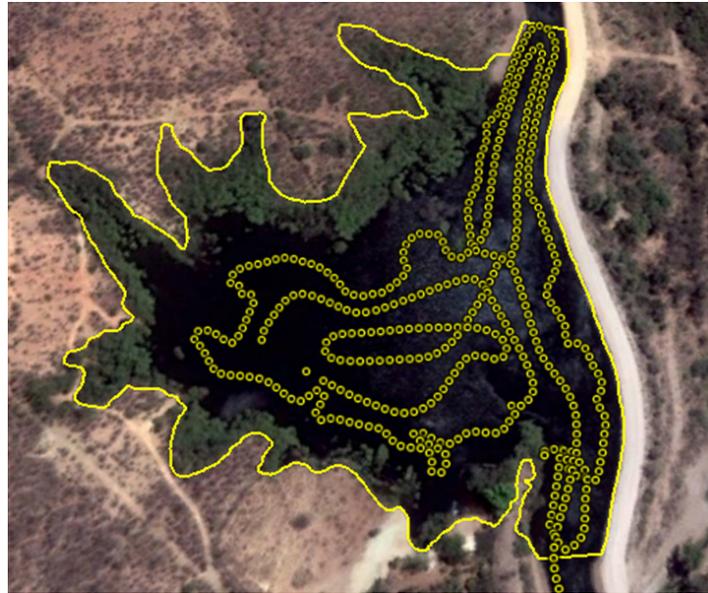


Figura 2. Dique 1, recorrido del equipo para el levantamiento batimétrico.

Es necesario mencionar que algunos diques presentaron un problema de maleza flotante y/o emergente de manera parcial o incluso total (Figura 3). La maleza limitó los barridos que se realizaron, ya que en parte de la superficie no fue posible entrar con la lancha. Así, en los diques Arroyo Prieto, Hilda, Mariquita, Palos Amarillos, Acatita, Cacachila y Aeropuerto se tuvieron dificultades para cubrir toda la superficie.



Figura 3. Lirio en Dique Arroyo Prieto

Construcción de los modelos batimétricos

Los datos de profundidad y posición, fueron revisados y analizados usando los programas AutoCAD, Google Earth y ArcVIEW. Esto permitió validar la ubicación de los datos recabados en el dique. Este análisis se realizó punto por punto, tomando la información proporcionada por el equipo M9, RTK y eTrex 10. Revisada la información, se obtuvo una tabla con las coordenadas x,y y la profundidad z. Las “x” e “y” presentan la posición en el dique y la profundidad, “z”.

Los datos se procesaron en el programa Surfer, el cual permite construir mapas de curvas de nivel y modelos de elevación digital a partir de la interpolación de los puntos x,y,z . Este proceso es denominado enrejillado (*gridding*), y Surfer ofrece diversos algoritmos para su ejecución. En el presente trabajo se empleó el algoritmo denominado *Kriging* (Goovaerts, 1997), el cual es considerado el método geoestadístico de interpolación de mayor utilidad (Burgess y Webster, 1980). Una vez que este método fue aplicado, se obtuvieron los planos de batimetría, es decir la elevación del fondo de los diques expresado en msnm, así como los datos de área y volumen en función de la altura del agua en el dique. Esta información se extrae en la forma de un mapa de curvas de nivel (Figura 4a) y de un modelo de elevación digital (Figura 4b).

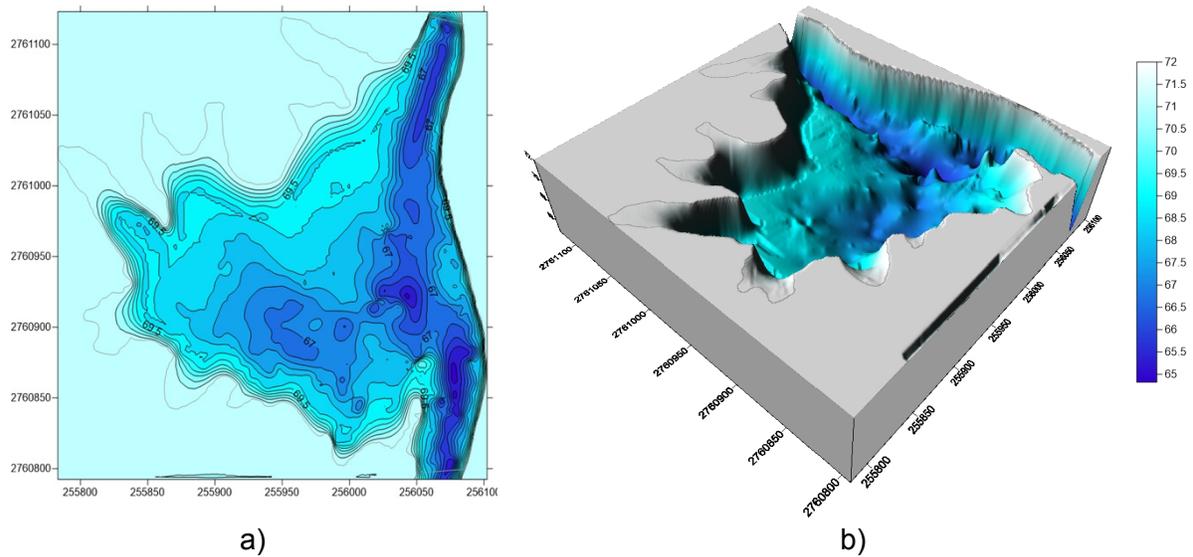


Figura 4. Curvas de nivel (a) y modelo de elevación digital (b) resultantes de la batimetría del Dique 1.

Resultados

A partir de los resultados de las curvas de nivel y de los modelos de elevación digital, se extraen los datos de área y volumen para cada cota, lo cual permitió generar las gráficas elevaciones-áreas-capacidades de cada dique. Como ejemplo, en la Figura 5 se muestra la gráfica de referencia del Dique 1.

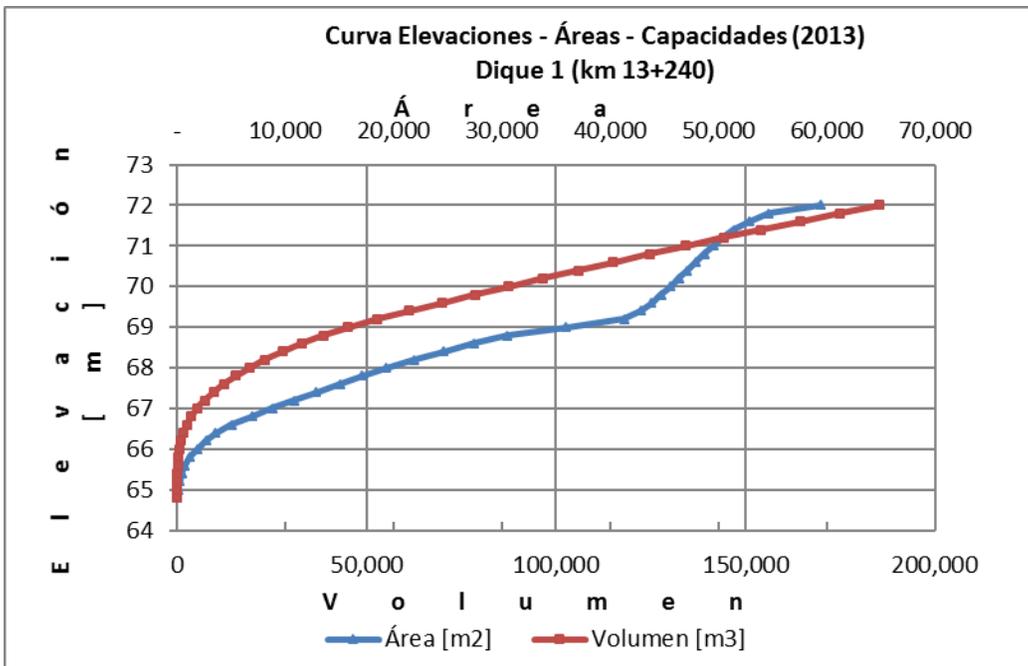


Figura 5. Curva Elevaciones - Áreas - Capacidades (2013) del Dique 1

El cuadro 2 muestra el producto principal del trabajo realizado, que son los datos de la capacidad volumétrica, el área inundada y la profundidad de todos los diques a lo largo del CPH.

Cuadro 2. Capacidad volumétrica (m^3), área inundada (ha) y profundidad a nivel de azolve (m) de los diques a lo largo del CPH.

Dique	Capacidad (m^3)	Área inundada (ha)	Profundidad (m)
Dique 1	185,460	5.41	7.20
Dique 2	706,905	227.84	7.50
Batamote	4,414,376	130.00	9.50
Arroyo prieto	1,020,000	33.00	7.80
Agua fría	268,951	15.60	5.60
Hilda	135,522	13.55	5.75
Mariquita	15,255,513	445.47	11.5
Palos amarillos	495,667	22.83	4.25
Acatita	750,000	42.00	4.20
Cacachila	1,223,892	69.00	4.60
Aeropuerto	977,406	76.72	3.35

Conclusiones

Los diques son operados en función del nivel del canal y funcionan como un almacenamiento temporal del agua en el flujo normal. El volumen almacenado de



esta forma permite que la variación del nivel del agua en el canal se amortigüe haciendo que el tiempo de respuesta del sistema elimine los picos de variación. Ante posibles aportaciones extraordinarias, tránsito de avenidas y movimientos de compuertas, los diques funcionan como amortiguadores en la propagación de las ondas, así como sistemas de almacenamiento de volúmenes extraordinarios; de tal suerte que se constituyen como elementos de protección y amortiguamiento del CPH.

Un perfilador acústico de efecto Doppler es una herramienta sumamente útil para la obtención de las profundidades de los diques. A partir de su uso fue posible la determinación de la capacidad volumétrica de los diques del CPH. No obstante, su uso se ve limitado por la presencia de maleza acuática y la acumulación de azolve. Estos factores ocasionan una disminución del nivel del agua permitiendo el desplazamiento de la maleza acuática por maleza terrestre y el posterior establecimiento de malezas de alto porte (árboles), dificultando la llegada del PAED a todas las áreas inundadas. La maleza también ocasiona obstrucción en el tránsito del agua a través del dique, originando pérdidas de carga. Esta condición influye significativamente en la capacidad de conducción y de respuesta del canal, por lo que se debe establecer una política de conservación y limpieza continua de diques,

Referencias bibliográficas

- Burgess, T. Webster, R. 1980. Spatial variability of total porosity, air entry potential and saturation water content in a cultivated inceptisol. II. Estimation through kriging. Department of Soil Science, Assam Agricultural University, Jorhat 785 013, Assam, India.
- Chan G. E. 2015. Revisión de la Capacidad y Funcionamiento Hidráulico de un Canal Mediante Modelación Numérica. Tesis de Maestría. Programa de Maestría y Doctorado en Ingeniería Civil con especialidad en Hidráulica. Universidad Nacional Autónoma de México.
- Goovaerts P. 1997. Geostatistics for natural resources evaluation. Oxford University Press, New York.
- Hiebl E., Musso M. 2007. Christian Doppler: Life and Work, Principle and Applications. Proceedings of the Commemorative Symposia in 2003—Salzburg, Prague, Vienna, Venice. Living Edition, September 2007.
- Wagenaar D., Jones I. 2015. Impact of Acoustic Doppler Technology on Catchment Hydrology. E-proceedings of the 36th IAHR World Congress. 28 June-3 July, 2015. The Hague, The Netherlands.