



IV CONGRESO NACIONAL DE RIEGO Y DRENAJE COMEII 2018

Aguascalientes, Ags., del 15 al 18 de octubre de 2018

CANAL PRINCIPAL HUMAYA: SOBREELEVACIÓN

Víctor Manuel Ruiz Carmona^{1*}, Ernesto Olvera Aranzolo¹; Eduardo Moreno Bañuelos¹

²Coordinación de Riego y Drenaje. Instituto Mexicano de Tecnología del Agua. Paseo Cuauhnáhuac 8532, Progreso, Jiutepec, Morelos, C.P. 62550. México.

vmruiz@tlaloc.imta.mx – (52)777-3293600 ext. 609 (*Autor de correspondencia)

Resumen

Con el modelo de simulación “Simulation of Irrigation Canals” calibrado a las condiciones presentes en el Canal Principal Humaya, se revisaron dos escenarios posibles para aumentar la capacidad del canal. El primer escenario considera sobreelevar el canal en el estado que se encuentra y el segundo, rehabilitar el canal y sobreelevar. En el primer caso se toman los coeficientes de rugosidad de Manning obtenidos en la calibración del modelo; en el segundo, se asume que se tendrá un coeficiente de 0.017 después de la rehabilitación. Los resultados obtenidos en simulación muestran que la diferencia entre las opciones revisadas resulta aproximadamente de 1 m de altura a lo largo de todo el canal. Sin el mantenimiento adecuado no se tendrá el estado del canal supuesto para el diseño de la sobreelevación y en unos años será imposible transitar los nuevos gastos considerados en el diseño de la sobreelevación.

Palabras clave adicionales: simulación, canales, calibración, coeficiente de rugosidad, Manning.



Introducción

El Canal Principal Humaya (CPH) fue diseñado en los 60s asumiendo un gasto en su obra de toma de $100\text{m}^3/\text{s}$ y un coeficiente de rugosidad de Manning de 0.014. Desde su puesta en servicio se han tenido muchos problemas y con su diseño original, con dificultad se podían introducir más de $80\text{m}^3/\text{s}$ en la obra de cabeza sin que el canal se desbordara, en algún punto, a lo largo de éste. Existen varios reportes de los años 80s donde se documenta la falta de capacidad comentándose que el valor adecuado de coeficiente de rugosidad a considerar en el canal, debe ser 0.017. Con el fin de poder transitar un poco más de gasto en las semanas pico de requerimiento de riego, se hicieron algunos trabajos en el canal, tales como: bloquear desfuegos automáticos y dejarlos fuera de servicio durante la temporada de riego; abrir un vano adicional en estructuras; y por último sobreelevar algunos tramos del canal. Muchas de estas acciones se hicieron sin hacer una revisión hidráulica completa del funcionamiento del canal, por lo que quedaron inconclusas y el aumento en capacidad fue muy limitado.

Durante 2013 y 2014 el Instituto Mexicano de Tecnología del Agua (IMTA) trabajó en un proyecto para encontrar las alternativas para aumentar la capacidad del CPH. Como primer paso se buscó reproducir el comportamiento hidráulico del canal. Para ello, se consideró el modelo de simulación "Simulation of irrigation Canal". El modelo fue calibrado a las condiciones presentes en él, siendo necesario realizar un levantamiento topográfico del canal y una campaña de medición de gasto y niveles a lo largo del mismo. Con el modelo calibrado, se analizaron diferentes opciones para aumentar la capacidad del canal, entre las cuales está la sobreelevación del canal. En particular en esta se revisaron dos casos: el primero, sobreelevar el canal en el estado que se encuentra, el segundo, rehabilitar el canal y sobreelevarlo. En este artículo se presentan las dos propuestas y las diferencias entre ellas.

Materiales y métodos

Cálculo de gasto en régimen permanente gradualmente variado.

La ecuación diferencial que describe el flujo gradualmente variado en un canal considerando que la pendiente del canal, el gasto y el coeficiente de energía " α " son constantes e independientes de " x ", se expresa como (Chow, 2004):

$$\frac{\partial y}{\partial x} = \frac{S_0 - S_f}{1 - \frac{\alpha Q^2 T}{g A^3}} \quad (1)$$

donde

x : posición a lo largo del canal

y : tirante

S_0 : pendiente del canal

Q : gasto



A : área hidráulica

g : gravedad

$$T = \frac{\partial A}{\partial y}$$

S_f : pendiente de energía expresada por $S_f = \frac{n^2 V^2}{2.22 R^{4/3}}$

n : coeficiente de rugosidad de Manning

V : velocidad del agua

R : radio hidráulico de la sección

Modelo de simulación "Simulation of Irrigation Canals"

Los modelos de simulación numérica de flujo unidimensional a superficie libre permiten estudiar el comportamiento hidráulico de un canal en régimen permanente y transitorio. En este trabajo se utilizó el programa "Simulation of Irrigation Canals" "SIC" versión 5.3 desarrollado por el "Institute Nationale du Recherche en Science et Technologies pour l'Environnement et l'Agriculture" (INRSTEA).

La resolución numérica de SIC en régimen permanente, asume que el escurrimiento es unidimensional y por gravedad, además de que el escurrimiento es transversalmente uniforme, por lo que se acepta la hipótesis de que la superficie libre del agua a lo ancho de una sección transversal mantiene su elevación constante. También se considera que las pérdidas de energía pueden ser estimadas mediante la ecuación de Manning-Strickler, las velocidades transversales son despreciables y que la distribución de presiones es hidrostática.

SIC presenta tres módulos principales:

- Captura de información topográfica o geométrica
- Simulación hidráulica en régimen transitorio y permanente
- Presentación de resultados

Datos requeridos en SIC para reproducir el comportamiento hidráulico de un canal

Para usar SIC se requieren dos tipos de datos, la topografía o geometría y tirante y gastos de operación del canal.

En 2013 como parte de los trabajos para la sobreelevación del Canal Principal Humaya el IMTA realizó un levantamiento topográfico con secciones a cada 100 metros. También se colocaron bancos de nivel cada 500 metros. Estos bancos están referidos al banco de nivel instalado por la Comisión Federal de Electricidad en la explanada de la presa derivadora Andrew Weiss. Presa que deriva el agua del río Humaya al CPH. Los datos topográficos y geométricos del canal son capturados en SIC usando el módulo de geometría.

Durante 2014 se realizó una campaña de aforo que recabó información de niveles y gasto a todo lo largo del canal. Los gastos se midieron mediante un perfilador de efecto Doppler móvil M9 de Sontek y el nivel del agua con un equipo GPS-RTK usando los bancos de nivel colocados durante el levantamiento topográfico realizado (Figura 1). Los niveles se midieron aguas arriba y abajo de las estructuras de control, diques y sifones. El gasto se aforo aguas arriba o aguas abajo de las estructuras según lo permitían las condiciones presentes en campo.



Figura 1. Mediciones de nivel y gasto en el CPH

Calibración de SIC

La calibración es un proceso iterativo y como el flujo que prevalece en el CPH es subcrítico, se realiza de aguas abajo a aguas arriba, por tramo de canal. El usuario propone los coeficientes de Manning y selecciona las ecuaciones de las estructuras de control, realiza la simulación de una sección de canal y verifica que los valores obtenidos de la cota de nivel aguas arriba del tramo coincidan con los medidos en campo. Si no es el caso, los coeficientes y ecuaciones se modifican y se repite el proceso (Figura 2). En la Tabla 1 se presentan los coeficientes de rugosidad de Manning obtenidos al calibrar SIC, los cuales son similares a los de un canal no revestido (Chow, 2004)..

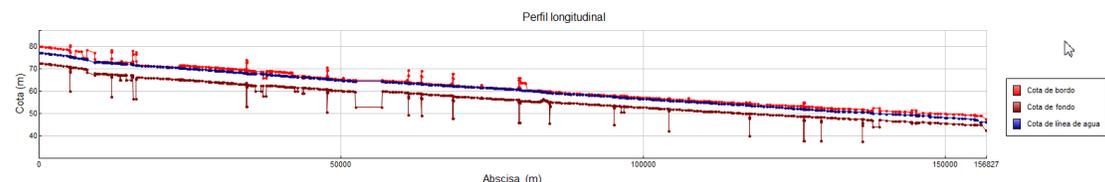


Figura 2. Perfil resultante del proceso de calibración del modelo SIC

Tabla 1. Coeficiente de rugosidad de tramos del CPH obtenidos al calibrar SIC

Cota inicial	Cota Final	Manning	Cota inicial	Cota Final	Manning
0+000	5+040	0.023	50+332	52+294	0.022
5+070	7+900	0.025	56+900	61+073	0.021
9+200	11+970	0.019	61+163	63+266	0.022
12+028	13+239	0.022	63+357	68+265	0.023
13+559	14+388	0.025	0+069	72+962	0.024
16+100	23+445	0.023	73+300	79+362	0.023
23+485	29+193	0.024	79+608	82+762	0.017
29+233	34+200	0.025	82+802	84+257	0.021
34+419	35+662	0.023	84+530	87+688	0.02
37+630	38+270	0.022	87+708	92+506	0.022
38+810	41+819	0.023	92+550	94+950	0.023
41+859	42+239	0.024	95+232	96+106	0.023
43+864	47+634	0.021	96+747	97+211	0.017
47+727	50+292	0.024			

El coeficiente de rugosidad de Manning reportado refleja un cambio respecto a las condiciones de diseño de canal, ya sean azolves, losas rotas, revestimiento dañado, etc. Cualquier condición (fuera de las de diseño) que limite el libre flujo del agua se refleja en el coeficiente de rugosidad.

Análisis y discusión de resultados

Revisión de escenarios de sobreelevación del CPH

Para aumentar la capacidad de conducción del CPH se optó por sobreelevar el canal. Por razones constructivas se tomaron secciones compuestas trapezoidales. Entre las secciones se dejó una berma de 1 metros de ancho (Figura 3).

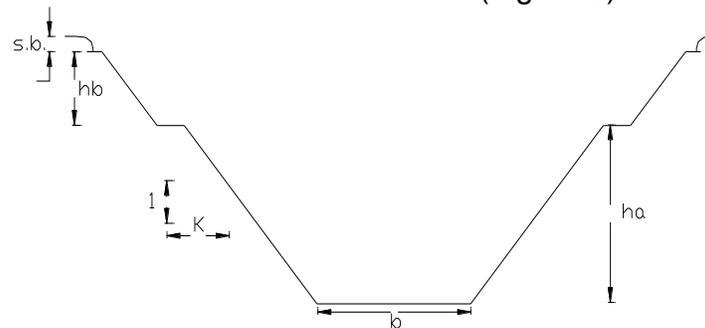


Figura 3. Sección tipo para la sobreelevación del Canal Principal Humaya

Para la determinación del bordo libre y sobre bordo se usaron las recomendaciones de la SRH, 1971.

Se consideraron dos escenarios de sobreelevación. El primero considera que el canal sólo se sobreeleva y se mantiene en las condiciones encontradas durante la calibración del modelo (sin conservación). Los coeficientes de rugosidad usados para estimar las necesidades de sobreelevación son los encontrados en el proceso de calibración. En el segundo escenario, se considera que se dará conservación y rehabilitación (con conservación) al canal. La conservación y rehabilitación considera la remoción de azolves y reparación y/o sustitución de revestimiento. En este caso se asume que el



canal se encontrará en condiciones similares a las reportadas por los estudios realizados en los años 80s, donde se encuentra que el coeficiente de rugosidad presente en el canal es de 0.017. Definidos los escenarios, se hicieron las corridas en el modelo de simulación, considerando un gasto en la obra de toma del canal del 120 m³/s. Los niveles de operación encontrados en ambos escenarios, se presentan en forma gráfica, por tramo de canal, en la Figura 4. En el Cuadro 2 se muestran las necesidades de sobreelevación para los dos escenarios.

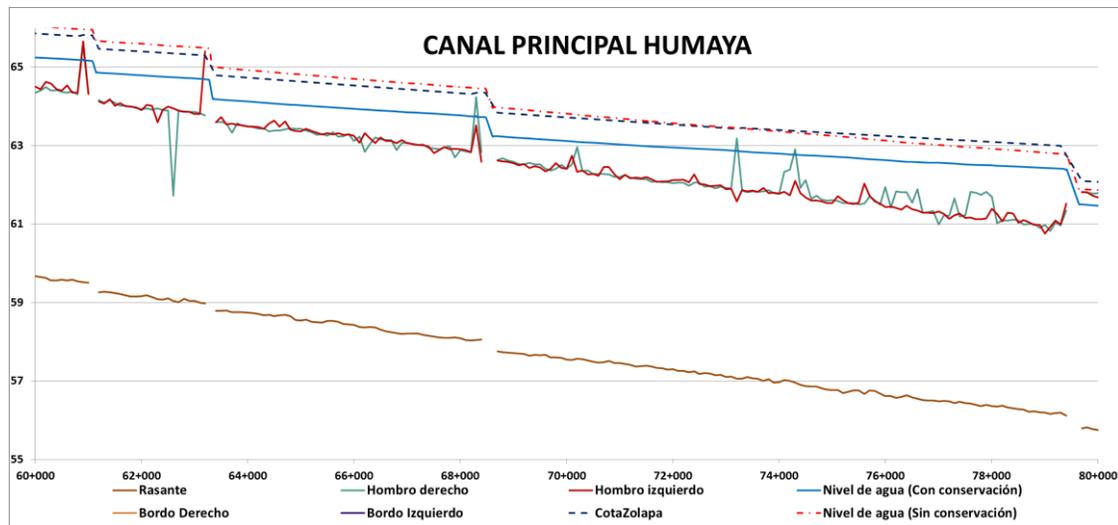
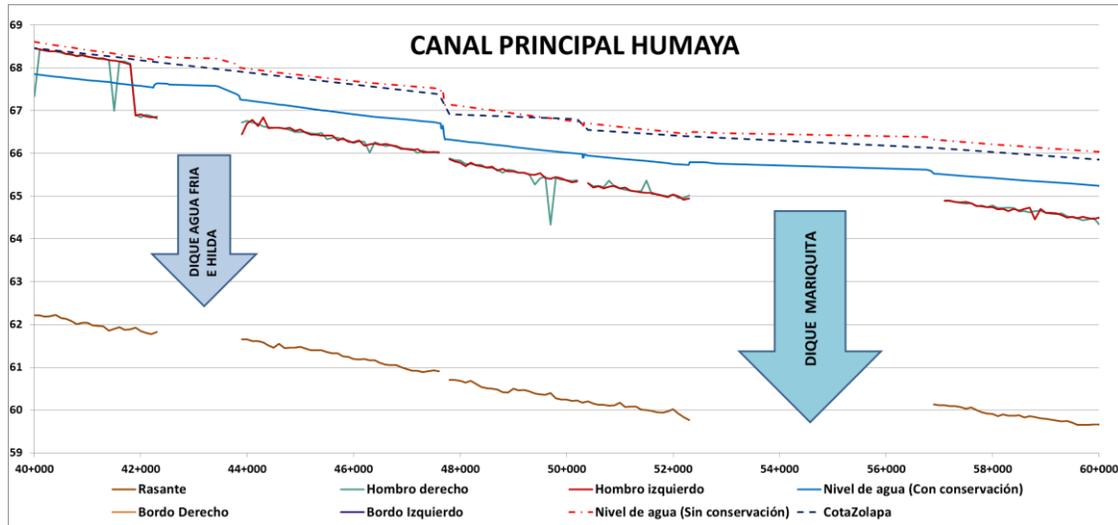


Figura 4. Tramos del canal con niveles de operación en los escenarios revisados, con conservación y sin conservación.



En el Tabla 2 se presenta un resumen de las necesidades de sobreelevación para los diferentes tramos del canal de acuerdo a los escenarios considerados

Tabla 2. Sobreelevación por tramos del CPH

CADENAMIENTOS		Longitud del tramo (km)	Ancho de plantilla, b (m)	Altura revestimiento actual, ha (m)	Sobreelevación, hb (m)	Sobreelevación, hb (m)	Diferencia (m)
Inicia (km)	Termina (km)				Opcion 1	Opcion 2	
5+300	5+800	0.5	6	4.7	3.95	2.99	0.96
7+200	7+950	0.75	6	4.7	3.95	2.99	0.96
9+200	11+900	2.7	6.5	5.4	2.35	1.5	0.85
12+100	13+200	1.1	6.5	5.45	2.14	1.34	0.8
13+600	14+300	0.7	6.5	5.4	2.12	1.31	0.81
15+300	15+500	0.2	6.5	5.4	2.21	1.3	0.91
16+100	23+100	7	6.5	5.45	1.72	0.8	0.92
41+900	42+300	0.4	5.5	5.04	2.15	1.35	0.8
43+900	47+600	3.7	5.5	5.09	1.95	1.21	0.74
47+800	52+300	4.5	5	5.1	2.02	1.24	0.78
56+900	61+000	4.1	6.5	4.82	2.05	1.29	0.76
61+200	63+200	2	6.5	4.82	2.39	1.47	0.92
63+400	68+400	5	6.5	4.82	2.13	1.3	0.83
68+700	73+200	4.5	6.5	4.83	2.11	1.37	0.74
73+300	79+400	6.1	6	4.82	2.51	1.73	0.78
82+700	84+400	1.7	5.5	4.44	1.89	1.39	0.5
84+600	92+500	7.9	6	4.58	1.66	1.02	0.64
92+600	95+100	2.5	5	4.52	1.83	1.24	0.59
95+300	96+400	1.1	5	4.58	1.51	1.02	0.49
96+800	104+200	7.4	5	4.56	1.45	0.96	0.49
104+400	129+400	25	4.5	4.54	1.54	0.86	0.68
129+600	131+200	1.6	5	4.29	1.51	0.85	0.66
131+300	136+300	5	5	4.3	1.66	1.05	0.61
136+500	138+000	1.5	5	4.27	1.86	1.33	0.53
139+200	144+400	5.2	5	4.28	1.08	0.33	0.75
145+200	145+800	0.6	5	4.06	0.99	0.32	0.67
TOTAL		102.8		Promedio	2.03	1.29	0.74



El rehabilitar y dar mantenimiento al canal trae consigo una reducción del orden de 74 cm a todo lo largo de él en las necesidades de sobreelevación. Ésto, afecta de manera importante, los costos de sobreelevación. Principalmente en las estructuras especiales, diques y sobre todo en la presa derivadora. En ésta última la CONAGUA fue muy renuente en sobreelevar la presa derivadora tipo indio.

En 2015, el costo promedio de sobreelevación del CPH, fue de 6 millones de pesos por km de canal con una altura de sobreelevación revestida promedio de 1.3 m. El aumentar 74 cm más, traería consigo de un aumento del 57%, con lo cual se tendría un costo del orden de 9.4 millones por km de canal.

Conclusiones y comentarios

El proyecto de sobreelevación implementado en el CPH es el que considera la rehabilitación del canal. Con esta selección los niveles de operación son menores y se reducen las necesidades de sobreelevación, afectando lo menos posible las estructuras existentes. Todo ello con el fin de poder alcanzar un costo razonable en la obra para los nuevos gastos de diseño.

Si la conservación al CPH no es la correcta y se deja deteriorar como se encontró en 2013, el diseño propuesto no permitirá conducir los gastos de diseño. Las secciones transversales del canal se verán reducidas, se requerirá de niveles de operación mayores a los considerados en la propuesta implementada. Los niveles que se presentarán en el canal serán del orden de los reportados en el escenario sin conservación.

Referencias Bibliográficas

Chow, V. T. (2004). Capítulo 8. Hidráulica de Canales Abiertos. McGraw-Hill Interamericana S. A. Santafé de Bogotá. Colombia.

Secretaria de Recursos Hidráulicos, (1971). Proyectos de Zonas de Riego. Talleres Gráficos de la Nación. México D. F. México.