

Artículo publicado en el Repositorio Institucional del IMTA

<i>Título</i>	Aplicación de un modelo de simulación del flujo establecido en canales abiertos.
<i>Autor / Adscripción</i>	Israel Velasco Velasco Santiago Jaimes García Instituto Mexicano de Tecnología del Agua
<i>Publicación</i>	Ingeniería Hidráulica en México, 8(2-3): 29-38
<i>Fecha de publicación</i>	1993
<i>Resumen</i>	Con el fin de apoyar el mejoramiento de la eficiencia de conducción y distribución en la operación de los sistemas de riego por gravedad, se presenta la aplicación parcial de un modelo de simulación del flujo establecido en canales, denominado STEADY desarrollado en la Universidad Estatal de Utah, en los Estados Unidos, aparte de la red hidráulica del distrito de riego 025: Bajo Río Bravo, Tamaulipas.
<i>Identificador</i>	http://hdl.handle.net/123456789/1190

Aplicación de un modelo de simulación del flujo establecido en canales abiertos

Israel Velasco Velasco
Santiago Jaimes García

Instituto Mexicano de Tecnología del Agua

Con el fin de apoyar el mejoramiento de la eficiencia de conducción y distribución en la operación de los sistemas de riego por gravedad sobre bases más firmes y auxiliándose en los actuales equipos de cómputo, se presenta la aplicación parcial de un modelo de simulación del flujo establecido en canales, denominado STEADY, desarrollado en la Universidad Estatal de Utah, en los Estados Unidos, aparte de la red hidráulica del distrito de riego 025: Bajo Río Bravo, Tamaulipas. La configuración considerada, en términos de la caracterización hidráulica y geométrica, abarca 11 tramos en 93.4 km de canal principal y 6 tramos en 37.6 km de canales laterales; 113 salidas por tomas parcelarias y desagües, y 81 estructuras de control en represas. Se considera que son las estructuras más usuales los orificios en sus diversos tipos: rectangulares, circulares y redondos, y vertedores y bombas centrífugas. Con esto se abarca en buena proporción lo que es la red mayor del distrito. Como parte importante de este esquema figura una estación de bombeo que auxilia a otro distrito de riego, el 026, Bajo Río San Juan, hasta con 30–32 m³/seg; se compone de 12 equipos que elevan el agua a una altura promedio de 15.5 m con un gasto de diseño por bomba de 2.5 m³/seg. Verificada la lógica y consistencia del esquema de configuración se plantearon tres opciones de demanda, con datos cuasi-reales del propio distrito y se corrieron las simulaciones respectivas, cuyos resultados tienen un buen grado de aproximación a los que se hubieran obtenido en situaciones reales. En este modelo, las demandas se plantean sólo en las tomas parcelarias, desagües y puntos terminales de cada canal, y el modelo da como resultado los gastos totales y parciales a la entrada y salida de cada tramo de canal, de cada derivación lateral, de cada toma parcelaria, tirantes en los puntos de interés sobre el tramo y en los puntos de salida (tomas y laterales), aberturas de compuertas, cargas sobre la cresta de vertedores, etc. Además, estima las pérdidas por infiltración, por tramo y total de la red, disminuyendo así la dependencia y parcialidad de los operadores en aumentar a las demandas de los usuarios las pérdidas por conducción. Por no disponer de la información respectiva de la calibración de estructuras, los parámetros hidráulicos de las mismas se tomaron como los valores teóricos más usuales, y se espera hacer los ajustes correspondientes en la medida en que se opere el sistema y el modelo se use en forma paralela a la forma actual de operar, lo que a la fecha no se ha podido realizar por las frecuentes lluvias en el área del distrito, lo que ha ocasionado que no se hayan regularizado los riegos. Los tres casos de demanda considerados abarcan prácticamente todo el rango de operación, desde alrededor de 35 m³/seg, que es la demanda mínima, hasta más de 200 m³/seg y ocasionalmente hasta 260 m³/seg, en condiciones de demanda máxima; en todos, el comportamiento simulado del sistema es adecuado, de donde se deduce que la aplicación y uso de un modelo de este tipo, con las premisas en que se ha desarrollado, puede ser de gran utilidad para lograr los fines planteados. Existen, desde luego, modelos más complejos para el mismo fin, que tratan con el flujo no establecido (transitorio), que es el que en realidad se presenta en la práctica, pero sus limitantes son la gran cantidad y variedad de información de campo, así como el equipo de cómputo que requieren, lo que los hace un tanto prohibitivos en el medio de los distritos de riego.

Palabras clave: mediciones hidráulicas, modelos hidráulicos, modelos matemáticos, simulación, programas de computadora, riego, canales abiertos, flujo permanente

Introducción

Obtener los máximos beneficios del agua, en términos agrícolas, es el producto de múltiples factores, entre los cuales destaca el de la conducción y distribución, que significa conducir el agua desde su fuente de abastecimiento hasta la entrada a la parcela o predio en que se va a aplicar, a través de un sistema de canales o conductos abiertos, controlados por una serie de estructuras diversas; frecuentemente, este recorrido puede ser hasta de cientos de kilómetros y en ese trayecto las pérdidas pueden llegar a una significativa proporción.

En los distritos de riego, DR, la operación de la red de conducción y distribución, por lo general se realiza de manera empírica, basada en la experiencia de los operadores y en reglas de dudoso fundamento, por lo que no siempre son del todo válidas. Eventualmente sucede que cuando por alguna causa hay un cambio del personal que maneja las obras, ocurre algún fenómeno natural intempestivo de cierta magnitud, como las lluvias o sequías, o algún accidente como rotura de canales o de compuertas, entonces la operación sufre un desajuste, lo que origina que las pérdidas se incrementen y, en proporción semejante, haya una disminución en la eficiencia del sistema.

Por otra parte, los DR en general carecen del personal suficiente y preparado, sobre todo en las áreas de hidrometría y operación, así como del equipo de apoyo que les permita planear y realizar acciones que incrementen la eficiencia en el uso y, sobre todo, en el manejo del agua. Más aún, dado que en los últimos años la disponibilidad de personal ha sido cada vez menor y también han aumentado las limitaciones económicas, ambos factores contribuyen a que el mejoramiento en el aspecto de la operación sea lento, y menor a las expectativas y necesidades.

Por ello la conveniencia de contar con una herramienta con cuyo uso se pretende el alcance de los siguientes objetivos:

- Coadyuvar al mejoramiento de la eficiencia de operación de la red de distribución hidráulica por canales abiertos en los DR, mediante la implantación, calibración y utilización de un modelo de simulación del flujo establecido.
- Tener actualizada la configuración completa y detallada de toda la red de distribución, o al menos de la parte que se quiera modelar, en cuanto a la caracterización hidráulica y geométrica de tramos de canal, represas y sus estructuras, tomas-granja y tomas directas, bombeos de y hacia canales, etcétera.

- Planear el mejoramiento de la operación, simulando las posibles respuestas de la red a las diversas condiciones normales de funcionamiento.
- Simular el comportamiento de la red de canales ante situaciones extremas o imprevistas, antes de llevarlas a la práctica, y por ende, minimizando los efectos negativos y además, aspecto muy importante, sin comprometer la seguridad de las obras y acciones.
- Servir como elemento de entrenamiento, planeación y análisis de la operación, contribuyendo a mejorar el recurso humano en el aspecto técnico de la misma.

Dentro de la gama de herramientas de este tipo que existen para el mismo fin, el paquete seleccionado, STEADY, se considera adecuado para aplicarse a las condiciones normales de operación, ya que reúne los requerimientos de información y equipo necesarios que sí son factibles de obtener en los DR, además de que el ambiente amigable de ejecución del programa lo hace altamente comprensible y lógico, tanto para quien opere el programa como para quien interprete y aplique los resultados.

La simulación del flujo en condiciones más reales, cuando es transitorio, es mucho más compleja conceptualmente, y requiere de mayor cantidad de información tanto de diseño como de campo, así como múltiples mediciones físicas del fenómeno, para lograr su calibración. Por estas razones, en las condiciones actuales, estos modelos están más allá del alcance práctico de los DR, por lo que hay que iniciar con modelos sencillos que propicien una comprensión gradual del fenómeno y su tratamiento.

Metodología

Se seleccionó el modelo de simulación hidráulica, STEADY, versión 2.20, para canales abiertos en flujo establecido (desarrollado en la Universidad del Estado de Utah en los Estados Unidos para procesarse en computadora personal) que se ha utilizado experimentalmente con buenos resultados en sistemas de riego de algunos países asiáticos; básicamente, el modelo resuelve la ecuación diferencial de remanso por tramo de canal (ecuación de flujo unidimensional, con la inclusión de un término para flujo lateral), y que con las características hidráulicas y geométricas del mismo, de las estructuras de control en represas, de las derivaciones a canales laterales, y de las tomas-granja, tomas directas y puntos terminales del canal, es posible obtener como respuesta, los tirantes en el extremo aguas arriba del tramo (el de aguas abajo es una condición impuesta), las pérdidas por infiltración

en el mismo a tirante máximo, las cargas o tirantes en las estructuras de salida, y las aberturas en compuertas o cargas en vertedores, además de los caudales en cada punto de interés.

El programa emula las condiciones en que comúnmente operan los sistemas de riego, específicamente los DR en México: flujo establecido gradualmente variado en canales de pendiente suave menor que la crítica, en los que se presenta el tirante normal mayor que el crítico en tramos largos; los perfiles de flujo en estas condiciones son del tipo M1 (suave ascendente en el sentido del flujo), con un tirante fijo o constante de operación aguas abajo, que es uno de los parámetros que determinan el comportamiento general del flujo. Está diseñado para utilizarse en redes de canales prismáticos y con estructuras de salida y derivación tan diversos como: orificios rectangulares (compuertas radiales y deslizantes), orificios circulares y *redondos* (tipo Miller), vertedores de cresta fija y móvil, bombas centrífugas que introducen o extraen agua al canal, etc. Es de notarse que para compuertas de *agujas* o *tablones*, tan comunes en México, por el hecho de no ser *diferencialmente ajustables* y tampoco fijas, que son los dos tipos manejados por el programa, su uso debe estar dirigido por el criterio y sentido común, para que la interpretación de sus resultados sea congruente con la realidad.

Las dimensiones máximas que el modelo puede soportar son las siguientes:

Tramos	250
Estructuras de control por tramo	9
Estructuras de control	300
Estructuras-granja o directas por tramo	25
Tomas-granja o directas	620
Canales laterales por tramo	9
Canales laterales	60
Estructuras de control por derivación lateral	9

Por su diseño interactivo, la versatilidad del programa es tal que su implantación y uso pueden ser progresivos, complementándose gradualmente, lo que permite su calibración y ajuste en la misma forma.

El programa está formado por seis módulos, cada uno de los cuales realiza una tarea específica.

- *Rugosidad hidráulica.* Hace uso de la fórmula de Manning para, de acuerdo con la geometría del canal y sus características hidráulicas y de operación, calcular el coeficiente de rugosidad, por tramo de canal.
- *Imprimir datos configurados.* Con este módulo es posible obtener impresiones de la configuración de todos o parte de los datos que se han integrado al

modelo: tramos, estructuras de control, derivaciones, tomas-granja y tomas directas, con todas sus características hidráulicas y geométricas.

- *Imprimir resultados de simulación.* Después de correr el modelo y archivar sus resultados este módulo permite imprimir dichos resultados en forma ordenada y secuencial.
- *Curva característica de una bomba centrífuga.* Con este módulo se calculan los coeficientes A, B, y C de la curva característica de una bomba centrífuga, a base de aplicar regresión a pares de datos carga-gasto para ajustarlos a un polinomio de segundo grado. Los coeficientes así obtenidos son los que se ingresan como datos de las bombas, a través del módulo editor.
- *Editor de la configuración de datos.* Este es el módulo que permite hacer la configuración de un sistema de canales: ingresar, modificar y borrar los datos correspondientes a toda la configuración de un sistema, desde un simple parámetro de una estructura hasta todo un tramo de canal. También a través de este módulo se hace una validación de la lógica y consistencia de los datos, de forma que puedan ser utilizados por el modelo de simulación.
- *Modelo de simulación hidráulica.* Este es el módulo que propiamente realiza la simulación, utilizando los datos configurados a través del editor, y de los requerimientos de demanda previamente planteados e ingresados, mediante la opción *demanda* de este mismo módulo.

Para que el modelo funcione adecuadamente y represente las condiciones reales, requiere que los parámetros de las diversas obras y estructuras (orificios, vertedores, bombas, tramos de canal, etc.), provengan de una calibración previa de las mismas, con datos de campo, o en su defecto, datos de diseño y construcción, aunque en este caso, dichos parámetros pueden diferir sensiblemente de los reales.

En general, como todo proceso que requiere de aproximaciones y ajustes sucesivos para conseguir dejarlo en condiciones tales que su uso dé resultados cercanos a los reales, la configuración inicial puede hacerse con datos supuestos o aproximados, ya que en la medida en que estos sean incongruentes o inconsistentes, el propio modelo lo indicará, tanto en la verificación de la configuración como en el proceso propiamente de simulación. Cabe adelantar que, si la lógica y consistencia de los datos configurados no supera el proceso interno de verificación, no podrán usarse como tales para la simulación; esto es, el modelo no acepta datos configurados que no estén confirmados y aprobados previamente.

Para el caso de los datos hidráulicos de tramos, el término de pérdidas por infiltración *seepage rate*, debe expresarse como lámina de infiltración, en milímetros por día, al ingresarse como dato al paquete, y el proceso interno de simulación lo convierte y expresa como resultado en gasto (m³/seg), calculado a tirante máximo.

En las ilustraciones 1, 2 y 3 se muestran el diagrama general de la configuración realizada, así como las características hidráulicas y geométricas de las diversas obras y estructuras.

Aplicación y resultados

Para la prueba y uso del modelo STEADY se seleccionó al DR 025, Bajo Río Bravo, Tamaulipas, donde se ubica el canal Anzaldúas, el más grande en su tipo en el país en cuanto a su capacidad: hasta 260 m³/seg en su primer tramo; su longitud total es poco más de 93 km y es el canal principal del DR, del que deriva toda la extensa red de distribución; no está revestido, pero por el tiempo que tiene en operación, las características del material de arrastre y en suspensión que conduce el agua, y los suelos en que circula, se estima que su comportamiento es muy semejante a un canal revestido, ya que el sedimento fino hace que el fondo y las paredes adquieran cierta impermeabilidad y menor rugosidad.

La configuración del esquema se hizo en forma progresiva, en varias etapas, ya que hubo que conjuntar la información en forma gradual, tanto la de diseño y construcción como la de campo.

Según las necesidades de modelación planteadas por la jefatura de operación del DR, la magnitud de la configuración que se hizo es la siguiente:

Longitud total de canales 131.09 km

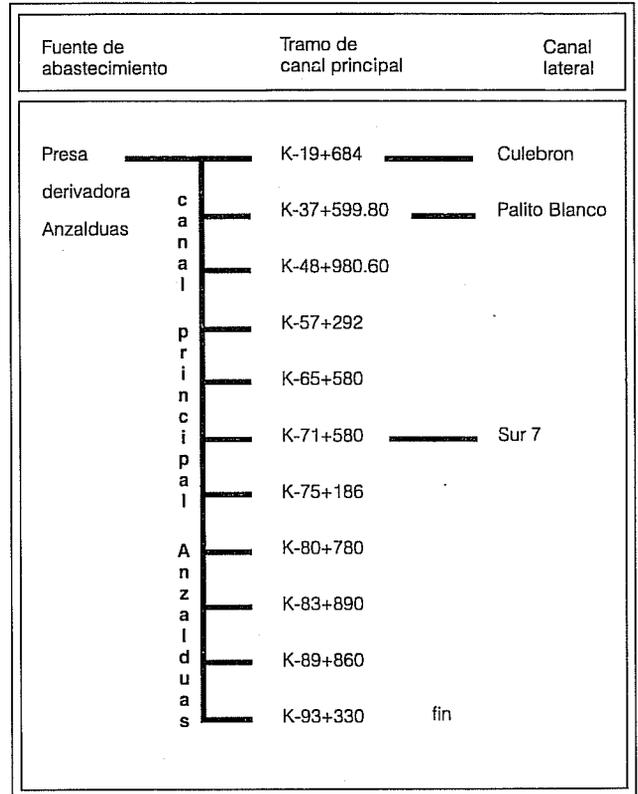
En la que se incluyen:

Canal principal Anzaldúas 93.45 km
 Canal lateral Culebrón 17.02 km
 Canal lateral Palito Blanco 20.32 km
 Canal lateral Sur 7 0.30 km

Total de tramos de canal 17
 Total de salidas por toma-granja y directas 113
 Total de canales laterales 3
 Total de estructuras de control 81

Como un aspecto muy importante, es conveniente mencionar que cuando los parámetros de las estructuras se calibran, lo que se obtiene son valores

1. Diagrama general de la configuración del sistema de distribución del DR 025



2 Características hidráulicas y geométricas de tramos de canal y estructuras de control

Tramo de canal	Compuerta radial como estructura de control
Planilla o ancho de la base m	Rango, categoría o prioridad operativa -
Talud o inclinación de las paredes laterales m/m	Ancho de la compuerta m
Profundidad total desde el bordo m	Altura de la compuerta m
Longitud entre represas m	Cambio de elevación m
Infiltración diaria en lámina mm/día	Coefficiente de descarga libre -
Cambio de elevación (escalón) m	Exponente de descarga libre -
Tirante máximo de operación m	Coefficiente de descarga ahogada -
Pendiente longitudinal m/m	Exponente de descarga ahogada -
Rugosidad hidráulica de Manning -	

Vertedor rectangular como estructura de control	Compuerta deslizable como estructura de control
Rango, prioridad y categoría operativa -	Rango, categoría o prioridad operativa -
Ancho de la cresta vertedora m	Ancho de la compuerta m
Altura máxima m	Altura de la compuerta m
Cambio de elevación m	Cambio de elevación m
Coefficiente de descarga -	Coefficiente de descarga libre -
Exponente de descarga -	Exponente de descarga libre -
	Coefficiente de descarga ahogada -
	Exponente de descarga ahogada -

puntuales de esos parámetros para una condición dada de cargas, gastos, alturas, aberturas, etc; pero el valor de los parámetros también varía al variar esas condiciones, por tanto, no existen valores únicos de los parámetros de calibración, sino que estos pueden abarcar un amplio rango, con frecuencia incluso sin una clara tendencia que permita caracterizarlos

3 Características hidráulicas y geométricas de tomas-granja

Bomba centrífuga		Orificio rectangular	
Localización en el tramo	m	Localización en el tramo	m
Cambio de elevación (altura de bombeo)	m	Ancho de la compuerta	m
Coefficiente de pérdida. (C _{lps})	-	Altura de la compuerta	m
Coefficiente "A" de la curva característica	-	Coefficiente de descarga libre (C _{dfl})	-
Coefficiente "B" de la curva característica	-	Coefficiente de descarga ahogada (C _{ds})	-
Coefficiente "C" de la curva característica	-	Base aguas abajo	m
		Gradiente aguas abajo	m
Orificio circular		Orificio redondo (compuerta tipo Miller)	
Localización en el tramo	m	Localización en el tramo	m
Diámetro de la tubería	m	Diámetro de la tubería	m
Coefficiente de descarga libre (C _{dfl})	-	Diámetro de la compuerta	m
Coefficiente de descarga ahogada (C _{ds})	-	Coefficiente de descarga libre (C _{dfl})	-
Cambio de elevación	m	Coefficiente de descarga ahogada (C _{ds})	-
Base aguas abajo	m	Cambio de elevación	m
Gradiente aguas abajo	-	Base aguas abajo	m
		Gradiente aguas abajo	-

4. Resumen de resultados para la simulación a demanda máxima

Steady-State Canal Hydraulic Model
Hydraulic Simulation Model

12:11:51

File

Simulation in Progress

Source: K-19+684

Summary of Results

- Total inflow = 205.298 m³/sec
- Turnout inflow = 0.000 m³/sec
- Turnout out lows = 89.695 (43.7%)
- Downstream spills = 111.000 (54.1%)
- Total seepage loss = 4.603 (2.2%)

Type any key to return to main menu

File status: Name: BRBRAVO, Date: 1 jun 92, Units: metric, Demands: OK, Results: none

File, Demand, Simulate, Output, Help, Exit

USU Copy right 1991 Utah state University Foundation Utah state University, Logan, Utah 84322-4105

del bombeo Anzaldúas-Rode, esta situación es un tanto difícil de alcanzar y sostener indefinidamente por periodos largos, ya que aún cuando en el extremo aguas abajo del tramo (km 19+684) se tenga un tirante más o menos constante (5.00 m), el hecho de que el bombeo se ubique casi en el inicio del tramo (km 4+083), hace que esté sujeto a los continuos cambios de nivel impuestos por la variación del gasto demandado aguas abajo. Es decir, aunque en la represa aguas abajo (km 19+684) se sostenga un tirante constante, dependiendo de la demanda y el gasto derivados y conducidos, el canal estará poco o muy lleno, y al resolver el perfil del flujo gradualmente variado en ese tramo e interpolarlo para obtener el tirante en el punto de bombeo, según la magnitud de éste, en forma inversa aumentará o disminuirá la

5. Resumen de resultados de simulación por tramo de canal para demanda máxima

Steady-State Canal Hydraulic Model
Hydraulic Simulation Model

12:12:11

File

Canal Reach Results

Reach name: K-19+684, Reach: 1 of 17, System level: primary, Terminal reach: No

Summary of Results

- Inflow = 205.298, Turnout inflow = 0.000
- Outflow = 121.043, Turnout outflow = 32.445
- Upstream depth = 4.268, Lateral outflow = 50.661
- Downstream depth = 5.000, Seepage outflow = 1.149

Type PgUp, PgDn, Ctrl-PgDn, or Home

File status: Name: BRBR, Date: 1 jun, Units: metric, Demands: OK, Results: changed

File, Demand, Simulate, Output, Help, Exit

USU Copy right 1991 Utah state University Foundation Utah state University, Logan, Utah 84322-4105

mediante una ecuación o función de dependencia definida.

Tal es el caso de las compuertas y vertedores que aquí se contemplan, en las que los parámetros son tan variables (aunque suene contradictorio), como tantas las combinaciones de tirantes, cargas, abertura, etc. Para fines prácticos, y dada la dificultad de abarcar todo el rango de variación de los parámetros, máxime que no se tienen los datos de calibración, se han tomado los valores más usuales o representativos, sin que esto signifique necesariamente que sean los idóneos.

Tratándose de los bombeos es probable que la situación sea un tanto más delicada: en general, los equipos de bombeo se calibran cuando se han alcanzado las condiciones estáticas, es decir, cuando después de muchas horas de bombeo continuo (mínimo 24) los niveles del cárcamo o acuífero se mantienen constantes, así como la altura de bombeo. En el caso

6. Resumen de resultados de simulación por tramo para estructuras de control a demanda máxima

Steady-State Canal Hydraulic Model
Hydraulic Simulation Model

12:12:38

File

Control structure results

Reach name: K-71+588, Reach order: 6 of 17, System level: primary, Number of control: 8

Num.	Name	Type	Setting	Flow	Regime
2	punte 71B	rect weir	0.000	0.000	none free
3	punte71C	rect weir	1.649	2.997	free
4	punte71D	rect weir	1.649	2.997	free

Type PgUp, Ctrl-PgUp, trl-PgDn, or Home

File status: Name: BRBR, Date: 1 jun, Units: metric, Demands: OK, Results: changed

File, Demand, Simulate, Output, Help, Exit

USU Copy right 1991 Utah state University Foundation Utah state University, Logan, Utah 84322-4105

altura real de bombeo, y con ello el gasto realmente bombeado.

La importancia de estas variaciones es que tienen un significativo efecto en el bombeo, es decir, los parámetros son altamente sensibles a los cambios de tirante y así, para unos valores fijos de A, B y C, pequeñas variaciones en el tirante producen fuertes variaciones en el gasto bombeado; en términos generales, según las corridas del modelo, a demanda mínima, los gastos bombeados oscilan alrededor de 2.45 m³/seg, mientras que a demanda máxima, cuando el canal está lleno a toda su capacidad, debido al mayor tirante, el gasto bombeado es superior a los 2.7 m³/seg; el de diseño es de 2.5 metros cúbicos por segundo.

7. Resumen de resultados de simulación por tramo para tomas directas y tomas-granja a demanda máxima

Num	Name	Setting	Supply	Demand	Status
10	KO-LAT45	0.312	1.500	1.500	OK
11	4B+060	0.140	0.500	0.500	OK
12	DESFL. A.1	0.102	3.000	3.000	OK

8. Resumen de resultados para la simulación a demanda media

Total inflow	= 157.118 m ³ /sec
Turnout inflow	= 0.000 m ³ /sec
Turnout out lows	= 92.007 (58.6%)
Downstream spills	= 60.500 (38.5%)
Total seepage loss	= 4.603 (2.9%)

9. Resumen de resultados de simulación por tramo de canal para demanda media

Inflow	= 157.110	Turnout inflow	= 0.000
Outflow	= 97.893	Turnout outflow	= 31.309
Upstream depth	= 3.910	Lateral outflow	= 26.758
Downstream depth	= 5.000	Seepage outflow	= 1.149

10. Resumen de resultados de simulación por tramo para estructuras de control a demanda media

Num.	Name	Type	Setting	Flow	Regime
1	puente 1A	rect sluic	1.046	24.473	subm
2	puente 1B	rect sluic	1.046	24.473	subm
3	puente 1C	rectsluic	1.046	24.473	subm

No obstante, con fines simplificativos y por no disponer de mayores elementos, los valores considerados de A, B y C se toman como *buenos*, con las mismas consideraciones que en el caso de las demás estructuras; los valores finales considerados son:

$$A = -.400, B = 0.000, C = 19.434.$$

Para efectos del modelo, como también ya se dijo, el planteamiento de las demandas se hace sólo en las tomas directas, tomas-granja y en los puntos terminales de cada canal. Con esta información y la del esquema configurado, el modelo simula el flujo iniciándolo, como es natural, de aguas abajo hacia aguas arriba, hasta llegar a la fuente de abastecimiento. Conviene aclarar aquí que la diferencia entre una

11. Resumen de resultados de simulación por tramo para tomas directas y tomas-granja a demanda media

Steady-State Canal Hydraulic Model
Hydraulic Simulation Model 11:11:51

File status: Canal reach results

Name: BRBR

Date: 1 Jun 92

Units: metric

Demands: OK

Results: changed

Control structure results

Farm turnout results

Reach name: K-19+684
System: primary
Reach order: 1 of 17
Number of turnouts: 12

Num	Name	Setting ⁺	Supply	Demand	Status
8	B-AR#8	0.000	2.600	2.500	Pump
9	B-AR#9	0.000	2.600	0.000	Pump
10	B-AR#10	0.000	2.611	0.000	Pump

type PgUp, PgDn, Ctrl-PgUp, or Home

Copy right 1991 Utah state University Foundation
Utah state University, Logan, Utah 84322-4105

12. Resumen de resultados para la simulación a demanda mínima

Steady-state canal hydraulic model
hydraulic simulation model 12:14:13

File status: Simulation in progress

Name: BRBRAVO

Date: 1 Jun 92

Units: metric

Demands: OK

Results: none

Source: K-19+684

Summary of results

Total inflow	= 73.011 m ³ /sec
Turnout inflow	= 0.000 m ³ /sec
Turnout out lows	= 39.451 (54.0%)
Downstream spills	= 29.000 (39.7%)
Total seepage loss	= 4.568 (6.2%)

Type any key to

Type any key to return to main menu

Copy right 1991 Utah state University Foundation
Utah state University, Logan, Utah 84322-4105

toma directa y una toma-granja es únicamente que aquélla sale de un canal principal y ésta de un canal de cualquier orden inferior.

En el DR 025, el ciclo básico de cultivos y riegos es primavera-verano, en el cual, sorgo, maíz y algodón figuran como los más importantes, por la superficie sembrada. En este ciclo, durante la temporada fuerte de riegos, es cuando llegan a presentarse las demandas máximas, incluso hasta alcanzar la capacidad del canal principal.

Durante el ciclo otoño-invierno, la superficie sembrada y regada tradicionalmente ha sido mínima, aunque últimamente tiende a incrementarse con trigo y algunos otros cultivos; por su parte, los cultivos perennes prácticamente tienen una importancia local muy reducida.

No obstante, durante todo el año se tienen comprometidas entregas para uso urbano en las ciudades de Reynosa, Matamoros y Río Bravo, Tamaulipas, además de algunos pequeños poblados; para uso industrial, como es la planta termoeléctrica de la Comisión Federal de Electricidad (CFE) y otras industrias; y también en forma muy importante, la entrega que se hace para riego al DR 026, Bajo Río San Juan, mediante la planta de bombeo Anzaldúas-Rode y que aunque este último tiene características de cultivo semejantes al DR 025, la tendencia actual a la diversificación puede llegar a que sus demandas no coincidan mucho en el tiempo.

Esto significa que, en términos reales, la red de canales del DR 025, o al menos parte de ella, prácticamente todo el tiempo tenga agua, y que por tanto,

13. Resumen de resultados de simulación por tramo de canal para demanda mínima

Steady-state canal hydraulic model
hydraulic simulation model 12:14:31

File status: Canal reach results

Name: BRBR

Date: 1 Jun 92

Units: metric

Demands: OK

Results: changed

Reach name: K-19+684
System level: primary
Reach: 1 of 17
Terminal reach: No

Inflow	= 73.011	Turnout inflow	= 0.000
Outflow	= 39.759	Turnout outflow	= 29.513
Upstream depth	= 3.272	Lateral outflow	= 2.591
Downstream depth	= 5.000	Seepage outflow	= 1.149

Type PgUp, PgDn, Ctrl-PgDn, or Home

Copy right 1991 Utah state University Foundation
Utah state University, Logan, Utah 84322-4105

14. Resumen de resultados de simulación por tramo para estructuras de control a demanda mínima

Steady-state canal hydraulic model
hydraulic simulation model 12:14:45

File status: Canal reach results

Name: BRBR

Date: 1 Jun 92

Units: metric

Demands: OK

Results: changed

Control structure results

Reach name: K-19+684
System level: primary
Reach order: 1 of 17
Number of contros: 2

Num.	Name	Type	Setting	Flow ⁺	Regime
1	represa 1A	rect sluic	0.354	9.948	subm
2	represa 1B	rect sluic	0.354	9.948	subm
3	represa 1C	rectsluic	0.354	9.948	subm

Type PgUp, Ctrl-PgUp, trl-PgDn, or Home

Copy right 1991 Utah state University Foundation
Utah state University, Logan, Utah 84322-4105

15. Resumen de resultados de simulación por tramo para tomas directas y tomas-granja a demanda mínima

Steady-state canal hydraulic model		hydraulic simulation model		.12:13:04	
File	Canal reach results				File
Control structure results	Farm turnout results +				Demand
Reach name: K-19+684	Reach + order: 1 of 17		Number of turnouts: 12		
System: primary					
Num	Name	Setting	Supply	Demand	Status
3	B-ER#3	0.000	2.458	2.500	Pump
4	B-AR#4	0.000	2.458	0.000	Pump
5	B-AR#5	0.000	2.458	0.000	Pump
Results: changed					
type: PgUp, PgDn, Ctrl-PgUp, or Home					
Exit					

USU Copy right 1991 Utah state University Foundation
Utah state University, Logan, Utah 84322-4105

siempre haya una demanda, al menos la mínima; desde luego que en este caso, por unos pocos días puede suplirse con el agua en tránsito y la almacenada en los canales, pero esto es sólo de manera temporal, y de hecho siempre se está derivando algo en la obra de cabeza.

En un DR como Bajo Río Bravo, que en materia de aguas está sujeto a un tratado internacional; que el manejo y control del agua en el río y el suministro a las entidades consumidoras está controlado por un organismo ajeno (en este caso la Comisión Internacional de Límites y Aguas, CILA); que la entrega está sujeta a un programa previamente elaborado y conciliado, y que tiene poca flexibilidad, es tanto más importante tener un buen control y manejo del agua que se recibe y usarla con la mayor eficiencia posible, para evitar desequilibrios entre los diversos usuarios, y así el DR funcione armoniosamente.

A grandes rasgos, el DR considera las siguientes magnitudes de demanda:

Máxima: de 190 a 260 m³/seg.

Media: de 70 a 180 m³/seg.

Mínima: de 25 a 60 m³/seg.

Aun cuando estos rangos pudieran parecer demasiado amplios, son perfectamente posibles, dado que para riego, la necesidad puede ir desde cero (nula), cuando no hay cultivos establecidos o cuando la superficie es mínima y no se riega, hasta cuando se encuentra bajo riego casi en forma simultánea toda la superficie sembrada, de manera que los gastos derivados y conducidos pueden tener gran variación durante el año.

En las ilustraciones 4 a 7 se muestran parcialmente los resultados que se obtienen en pantalla sobre una corrida a demanda máxima; para la demanda media se muestra lo propio en las ilustraciones 8 a 11, y de la 12 a la 15 para la demanda mínima. El detalle completo de los resultados puede obtenerse impreso con el uso del módulo *Imprimir resultados de simulación*.

Para fines comparativos, en los cuadros 1, 2 y 3 se muestran los resúmenes de las tres opciones de demanda planteadas y calculadas por el modelo; en estos se aprecian las diferencias entre ambos conceptos y en lo que se refiere a gasto demandado en tomas, para las demandas media y mínima, cuando es mayor que el gasto calculado, significa que en algunas obras se rebasa la capacidad de salida y que el modelo sólo calcula hasta la capacidad de esas obras. Esto desde luego, aunque es poco probable (que se demande más de la capacidad), sirve para mostrar lo que realiza el modelo en esos casos.

Para las demandas media y mínima (cuadros 2 y 3), las diferencias entre gastos demandado y calculado en tomas del tramo K-19+684 obedecen a un pequeño error del programa, (en proceso de corrección) ya que aun cuando no se demanden todos los bombeos, sí se calculan y se suman al total; precisamente, los bombeos se localizan como tomas en el tramo K-19+684, y son las únicas tomas configuradas en ese tramo.

Otro aspecto importante de destacar y que se aprecia en la comparación de las tres demandas simuladas, es la diferencia de gastos bombeados en cada opción: mientras que, como ya se indicó, a demanda máxima se calcula un gasto por bomba de 2.704 m³/seg, a demanda media y mínima este equivale a 2.608 y 2.458 m³/seg, respectivamente, lo cual se debe, de acuerdo a lo comentado, a la diferencia en alturas de bombeo, según que el nivel del cárcamo

1. Resumen de la demanda máxima planteada y calculada (m³/seg)

Tramo Núm.	Nombre	Gasto demandado		Total	Gasto calculado			
		Tomas	Ptermin.		Tomas	Ptermin.	Pérdidas	Total
1	K-19+684	30.000	0.000	30.000	32.445	0.000	1.149	33.594
2	K-37+599.80	1.150	0.000	1.150	1.150	0.000	1.004	2.154
3	K-48+980.60	12.700	0.000	12.700	12.700	0.000	0.306	13.006
4	K-57+292	5.700	0.000	5.700	5.700	0.000	0.300	6.000
5	K-65+580	1.950	0.000	1.950	1.950	0.000	0.301	2.251
6	K-71+580	4.450	0.000	4.450	4.450	0.000	0.191	4.641
7	K-75+186	1.200	0.000	1.200	1.200	0.000	0.073	1.273
8	K-80+780	2.700	0.000	2.700	2.700	0.000	0.089	2.789
9	K-83+890	0.900	0.000	0.900	0.900	0.000	0.045	0.945
10	K-89+860	1.250	0.000	1.250	1.250	0.000	0.089	1.339
11	K-93+330 FIN	0.600	5.000	5.600	0.600	5.000	0.042	5.642
12	CUL K-7+660	6.670	0.000	6.670	6.670	0.000	0.266	6.936
13	CUL K-16+980	2.400	41.000	43.400	2.400	41.000	0.325	43.725
14	PB K-6+500	13.980	0.000	13.980	13.980	0.000	0.143	14.123
15	PB K-12+820	0.600	0.000	0.600	0.600	0.000	0.124	0.724
16	PB K-20+320	1.000	45.000	46.000	1.000	45.000	0.147	46.147
17	O DEL S7	0.000	20.000	20.000	0.000	20.000	0.008	20.008
Total		87.250	111.000	198.250	89.695	111.000	4.602	205.297

2. Resumen de la demanda media planteada y calculada (m³/seg)

Núm.	Tramo Nombre	Gasto demandado		Gasto calculado				
		Tomas	Ptermin.	Total	Tomas	Ptermin.	Pérdidas	Total
1	K-19+684	20.000	0.000	20.000	31.305	0.000	1.149	32.454
2	K-37+599.80	2.500	0.000	2.500	2.500	0.000	1.004	3.504
3	K-48+980.60	16.500	0.000	16.500	16.500	0.000	0.306	16.806
4	K-57+292	8.400	0.000	8.400	8.400	0.000	0.300	8.700
5	K-65+580	1.100	0.000	1.100	1.100	0.000	0.301	1.401
6	K-71+580	3.000	0.000	3.000	3.000	0.000	0.191	3.191
7	K-75+186	0.200	0.000	0.200	0.200	0.000	0.073	0.273
8	K-80+780	6.300	0.000	6.300	5.730	0.000	0.089	5.819
9	K-83+890	1.500	0.000	1.500	1.500	0.000	0.045	1.545
10	K-89+860	6.000	0.000	6.000	6.000	0.000	0.089	6.089
11	K-93+330 FIN	0.100	1.500	1.600	0.100	1.500	0.042	1.642
12	CUL K-7+660	3.100	0.000	3.100	3.068	0.000	0.266	3.334
13	CUL K-16+980	1.100	22.000	23.100	1.100	22.000	0.325	23.425
14	PB K-6+500	10.000	0.000	10.000	10.000	0.000	0.143	10.143
15	PB K-12+820	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.124	0.124
16	PB K-20+320	1.500	25.000	26.500	1.500	25.000	0.147	26.647
17	0 DEL S7	0.000	12.000	12.000	0.000	12.000	0.008	12.008
Total		81.300	60.500	141.800	92.003	60.500	4.602	157.105

esté alto o bajo. A esto conduce también el hecho de usar coeficientes A, B y C constantes en la ecuación de la curva característica de las bombas, puesto que como también ya se dijo, los valores puntuales son para una condición única.

Finalmente, es interesante notar que para las diversas *corridas*, las pérdidas por infiltración en gasto, m³/seg, son prácticamente constantes, en total y por tramo, aunque en porcentaje respecto al total sí varíen; esto se debe a que el modelo las calcula a tirante máximo TMO. Aunque en la realidad esto no es estrictamente cierto, sirve para dar una idea de la magnitud del concepto.

Conclusiones y recomendaciones

El esquema de configuración contemplado en este trabajo es sólo una parte del total del DR. Si se formara el esquema completo del DR, posiblemente llegaría a saturar la capacidad de algunos componentes

3. Resumen de la demanda mínima planteada y calculada (m³/seg)

Núm.	Tramo Nombre	Gasto demandado		Gasto calculado				
		Tomas	Ptermin.	Total	Tomas	Ptermin.	Pérdidas	Total
1	K-19+684	7.500	0.000	7.500	29.514	0.000	1.149	30.663
2	K-37+599.80	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	1.004	1.004
3	K-48+980.60	1.300	0.000	1.300	1.300	0.000	0.306	1.606
4	K-57+292	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.300	0.300
5	K-65+580	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.301	0.301
6	K-71+580	1.000	0.000	1.000	1.000	0.000	0.191	1.191
7	K-75+186	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.073	0.073
8	K-80+780	3.300	0.000	3.300	1.238	0.000	0.089	1.327
9	K-83+890	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.045	0.045
10	K-89+860	3.000	0.000	3.000	3.000	0.000	0.089	3.089
11	K-93+330 FIN	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
12	CUL K-7+660	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.266	0.266
13	CUL K-16+980	0.000	2.000	2.000	0.000	2.000	0.325	2.325
14	PB K-6+500	3.400	0.000	3.400	3.400	0.000	0.143	3.543
15	PB K-12+820	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.124	0.124
16	PB K-20+320	0.000	22.000	22.000	0.000	22.000	0.147	22.147
17	0 DEL S7	0.000	5.000	5.000	0.000	5.000	0.008	5.008
Total		19.500	29.000	48.500	39.452	29.000	4.560	73.012

del modelo; no obstante, cuando esto sucediera, la configuración resultante sería suficiente para simular prácticamente toda la red de canales y así se tendría una visión global y con buen grado de detalle, sobre el comportamiento hidráulico de la misma, además, en cuanto más amplia fuera la configuración, esta podría ser el símil de un inventario de las obras y sus características, aspecto de gran importancia en la planeación del funcionamiento del DR, tanto para el área de operación como para conservación e ingeniería de riego y drenaje.

Para efectos del modelo, tal y como se concibió el trabajo, lamentablemente el año 1992 ha sido inusualmente húmedo, ya que no ha habido periodos largos sin llover, de tal manera que, en general, no ha habido riegos para los cultivos en pie (se estima que al 31 de mayo de 1992, sólo se tenía realizado el 2% de las hectáreas-riego programadas), y por ello, hasta la fecha el modelo no se pudo probar y calibrar en condiciones reales. La idea era utilizarlo en forma paralela a la operación habitual, de tal suerte que así se pudiera ir ajustando y que llegara un término en que sustituyera a la manera tradicional de operar, convirtiéndose en una herramienta más que ayudara a superar las deficiencias del manejo del agua en los canales.

Conclusiones

- El modelo es conceptualmente correcto y funcional para aplicarse en DR que reúnan las condiciones que han sido planteadas y desarrolladas.
- Por su amplia versatilidad y ambiente amigable, es apto para utilizarse con cualquier tamaño de configuración, además de que permite modificaciones en todos sus conceptos y por ello es capaz de adaptarse a esquemas diferentes.
- Con el planteamiento de su configuración, aun en forma teórica respecto a los diversos parámetros y con las demandas sugeridas, los resultados de las diversas simulaciones son lógicos, razonables y cercanos a los que, según los operadores, se hubieran obtenido en la realidad, lo que sugiere la idea de que sólo se requerirán pequeños ajustes.
- Como consecuencia de lo anterior, a pesar de no haberse podido probar en condiciones reales, las pruebas con datos supuestos son aceptablemente válidas.

Recomendaciones

- Que se continúe, por parte del DR, ampliando el esquema de configuración y en la medida en que sea posible, probando su funcionamiento en con-

diciones reales. Además, cuando la situación sea propicia, que se utilice en forma paralela a la operación actual, para hacerle los ajustes necesarios y posteriormente utilizarlo como herramienta normal de trabajo y promoverlo para su uso en los módulos de transferencia.

- Por las premisas fundamentales en que se desarrolló el modelo, se sugiere su uso y aplicación en otros DR, los que inclusive podrían ser más aptos para ello que el DR 025, ya que en este la mayoría de los canales son de tierra, por lo cual su sección hidráulica no es precisamente trapecial, además de que la información sobre calibración de estructuras es mínima; por ello, es probable que los ajustes que se hagan no lleguen a reflejar adecuadamente las condiciones reales y por lo mismo, los resultados simulados puedan tener diferencias significativas con la realidad.
- En cambio, en el DR donde se tengan preponderantemente canales revestidos y el mínimo de estructuras en represas a base de agujas o tablonés, además de que los periodos de operación sean largos y continuos, es de esperarse que con la aplicación de este modelo se obtengan mejores resultados. Específicamente se sugiere extender el uso de este modelo a los DR del Noroeste y Norte del país.
- A futuro, y con base en los resultados que se obtuvieran con el uso de este modelo, se podría

iniciar el cambio para la utilización de otro que tratara al flujo en su condición de no permanente, de manera que la simulación se hiciera con más y mejor aproximación.

Revisado: abril, 1993

Referencias

- Chow, V. T. 1959. Open channel hydraulics. McGraw-Hill. New York, USA.
- Giles V., Ranald. 1975. Mecánica de los fluidos e hidráulica. Segunda Edición. Serie de compendios Schaum. McGraw-Hill de México, S.A. de C.V.
- Henderson, F. 1966. Open channel flow. McMillan.
- Merkley, Gary P. 1991. Steady-State Canal Hydraulic Model. Users Manual. Version 2.20. International Irrigation Center and Department of Agricultural and Irrigation Division. Utah State University. Logan Utah. USA.
- Palacios Velez, Enrique. 1981. Introducción a la teoría de la operación de distritos y sistemas de riego. Universidad Autónoma de Chapingo. Departamento de Irrigación. Chapingo, Mex.
- Velasco Velasco, Israel. 1982. Hidráulica de canales aplicada a la operación de distritos de riego. Tesis profesional. Universidad Autónoma de Chapingo. Departamento de Irrigación. Chapingo, Mex.
- Zierold Reyes, Luis. 1963. Utilización de las compuertas de las bocatomas y represas como estructuras aforadoras. Ingeniería Hidráulica en México. México, D. F.

Abstract

Velasco. I. and J. G. Santiago, "Application of a Steady-State Flow Simulation Model in Open Channels", *Hydraulic Engineering in Mexico (in Spanish)*, Vol. VIII, Num. 2-3, pages 29-38, May-December, 1993.

This article exemplifies a partial application of an established flow model for open canals, STEADY, developed at Utah State University, using data from Irrigation District 025 in Bajo Río Bravo, Tamaulipas, Mexico. The network has 93.4 km of main canal divided in 11 reaches and 37.6 km of lateral canals in 6 reaches; 113 outlets and drains; 81 control structures. Structure geometries are rectangular, circular and of the Miller-gate type and centrifugal pumps. A pumping station shared with nearby Irrigation District 026 provides up to 30-32 m³/sec. The station has 12 pumps with an output of 2.5 m³/sec each, which combined raise the level an average of 15.5 m. The demand scenarios were created using quasi-real data provided by the Irrigation District. This information was used in the simulator with acceptable results. The model considers demands at farm outlets, waste weirs and canal end-structures and provides information concerning total and partial flow, and entry and exit flow for each canal reach, lateral offtake and farm outlet; levels and depths at key points along the reach and turnouts (farms outlets and lateral offtakes), gate openings, levels over weirs, etc. The model also provides estimates of seepage by reach and in the network and waste water at the end of canals. As no calibration data was available for the structures, the usual theoretical hydraulic parameters were used. Real values can be substituted as they become available. The 3 demand scenarios used cover operative range: from 35m³/sec (minimum) to more than 200 m³/sec and occasionally to 260 m³/sec (maximum). The model response was acceptable in all cases, supporting the proposals that this type of simulation models are applicable successfully. Of course, there are more complex models which contemplate non-steady flow; however, the data and system requirements make these models prohibitive for many irrigation districts in Mexico, in the short-time period.

Key words: steady flow, open canals, simulation, hydraulic models.