



CÁLCULO HIDRÁULICO DE LA RED ENTUBADA EN EL MÓDULO TETAMECHE, DISTRITO DE RIEGO. 063 GUASAVE, SINALOA

Jorge A. Castillo González^{1*}; Juan Carlos Herrera Ponce²

^{1,2}Coordinación de Riego y Drenaje. Instituto Mexicano de Tecnología del Agua. Paseo Cuauhnáhuac
8532, Progreso, Jiutepec, Morelos, C.P. 62550. México.

jorgecas@tlaloc.imta.mx*, jherrera@tlaloc.imta.mx (*Autor de correspondencia)

Resumen

En los últimos años debido a la conservación diferida, se ha creado la necesidad de rehabilitar una gran parte de los canales de las redes de distribución de canales en varios módulos de riego, sobre todo en los distritos de riego más grandes, aunado al incremento de sistemas de riego presurizado, y la disminución 'relativa' del costo de los entubamientos se ha inducido la transformación de las redes de distribución de canales a cielo abierto a redes entubadas. En este trabajo se describe el cálculo de un entubamiento de canales en el módulo Tetameche del D.R. 063, Guasave, Sinaloa, la red de distribución colectiva, tiene un gasto disponible de 1,280 l/s en y una superficie de 1,150 ha. Considerando que se trata de una red colectiva de riego se tuvo que realizar una serie de simulaciones de funcionamiento mediante el software EPANET para dimensionar de la mejor forma la red de tuberías de tal manera que garantice una disponibilidad mínima del agua de riego y al mismo tiempo minimizar el costo del sistema. Considerando que se requirió de la realización de un gran número de simulaciones para realizar el análisis del funcionamiento se recurrió a la utilización del EPANET por medio de su herramienta EPANETTOOLS desarrollada para PYTHON, donde se generaron los escenarios de simulación, el uso de esta metodología puede ser reproducible en casos similares que existirán en un futuro próximo.

Palabras claves: Entubamiento, epanet, cálculo



Introducción

Como se mencionó, el deterioro de la infraestructura de canales en los distritos de riego está planteando la alternativa de entubar estos canales en lugar de rehabilitarlos regresándolos a su estado inicial, la sustitución de los canales por tuberías tiene la ventaja de disminuir los costos de mantenimiento, disminuir las pérdidas de conducción y parcialmente las de operación, además con los sistemas de conducción entubados es posible cambiar la forma de operación para mejorar la flexibilidad de los riegos, mejorando la oportunidad del riego, mejorando la calidad de los cultivos y los rendimientos.

El diseño de la red entubada se trata de dos acciones básicas, el trazo, es decir la localización de las líneas de tuberías y el dimensionamiento de estos tramos de tuberías, En el trazo generalmente cuando se trata de sustitución de canales estos se trazan siguiendo los canales que van a substituir, aunque algunas veces se cambia el trazo aprovechando que las tuberías no requieren de una pendiente específica, sino de una carga disponible, lo que las hace mucho más flexibles en su localización, en todo caso siempre es recomendable respetar los linderos para no tener problemas con los productores. La segunda parte es la parte que nos ocupa en este caso y es del dimensionamiento, este se realizará considerando los siguientes criterios: velocidad y pérdida de energía en los tramos, así como, presión y gasto en los hidrantes para satisfacer la demanda a nivel de parcela. La selección y ubicación de los dispositivos control se realizarán para garantizar la operación de la red, para la condición de máxima demanda, y de los elementos de seguridad para garantizar la integridad de la red entubada. El diseño de la red parcelaria con tubería de multicompuertas se realizará considerando el criterio de pérdida de energía en la tubería de salidas múltiples, esto significa que la presión requerida es prácticamente la mínima necesaria para que el agua fluya por la red. El procedimiento en discusión es para satisfacer una red colectiva (muchos usuarios) con múltiples posibilidades en los esquemas de operación.

Materiales y Métodos

Cálculo hidráulico

Para el cálculo de la red (dimensionamiento) se auxilió del software EPANET 2.0 para la solución de la red hidráulica de cada una de las combinaciones de gastos considerada durante el análisis de funcionamiento, para el trazo inicial se consideraron las condiciones más críticas a criterio del diseñador para tener una red inicial, después se generaron las alternativas combinando las posibles alternativas de nodos o hidrantes abiertos, se resolvieron cada una de estas alternativas auxiliándose del EPANET y se analizaron sus resultados considerando velocidades máximas, presiones máximas y mínimas, y pérdidas de carga unitarias. Considerando que se trata de una red de baja presión y que la carga disponible es muy baja, la velocidad máxima admisible fue de 1.6 m/s, en cuanto a la presión se consideró que nunca fuera negativa y que fuera suficiente cuando el hidrante está abierto, también se procuró que las presiones no subieran mucho para

evitar problemas en la operación, las pérdidas de carga unitarias también deben ser más o menos uniformes en toda la red, en general se mantiene menor a 1m/km, en pocos tramos es mayor a 2 m/km y en casos muy especiales supera los 6 m/km, sin afectar el sistema.

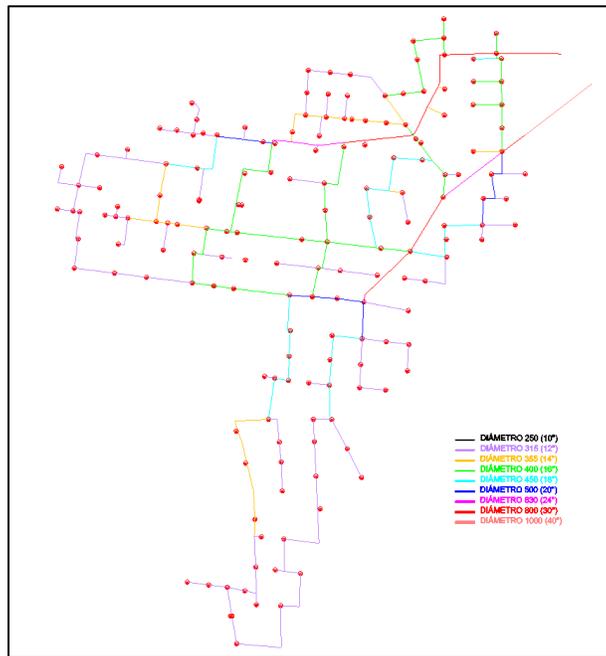


Figura 1. Trazo de la red analizada.

En la figura 1 se ve el trazo de la red en las 1,150 ha mostrando los diámetros en diferentes colores, en la figura 2 se muestran las diferentes secciones en que se dividió la zona del proyecto para la operación del sistema y que se consideran en el análisis hidráulico.

Simulación del funcionamiento hidráulico

Para dimensionar la red se requirió de una serie de simulaciones para analizar cómo funciona la red encada propuesta, es decir, se proponen dimensiones (diámetros de la tubería) y se realizan las simulaciones de funcionamiento de la red, con los resultados de las simulaciones se revisa si la propuesta de dimensiones pasa los requisitos impuestos que básicamente son las presiones en los nodos, sobre todo cuando estos nodos están abiertos (en operación), de las combinaciones de propuestas que pasan se escogerá la de menos costo.

En el análisis mencionado se consideran también las velocidades en las tuberías ya que estas son las que se relacionan directamente con las pérdidas de carga y por lo tanto con los diferenciales en las presiones dentro de la red. Los requisitos que se consideran son básicamente dos, que la red entregue los gastos requeridos en los nodos abiertos y, que esta red sea la más económica posible o por lo menos este cerca de serlo. Para que en los hidrantes abiertos se entregue el gasto para el cual se diseñaron se requiere que la presión en el hidrante sea por lo menos la requerida para entregar este gasto, esto depende de la curva de funcionamiento del hidrante. La presión en exceso puede

regularse con la apertura del hidrante hasta un cierto nivel de presión, por lo que también hay que limitar la presión máxima en los hidrantes. En el caso de los nodos en general, hidrantes o no hidrantes, también debe considerarse que no existan presiones negativas ya que, aunque en ese punto no exista salida de agua esto puede llevar a la introducción de aire y/o problemas de cavitación.

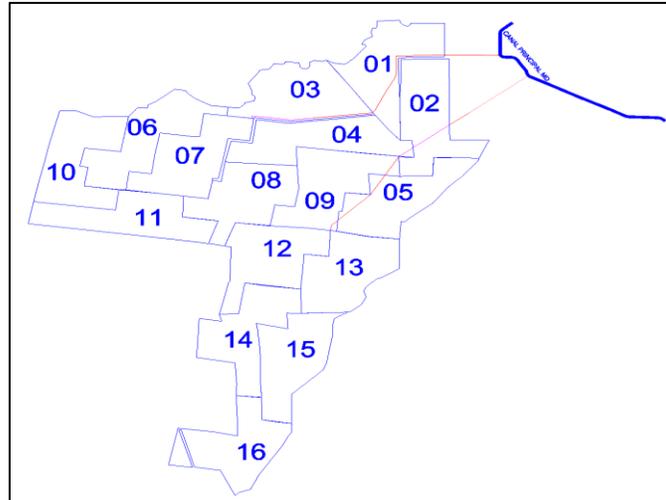


Figura 2. Sectorización de la red.

Las simulaciones se realizaron considerando un hidrante en funcionamiento en cada una de las 16 secciones de riego, aunque las posibles combinaciones son mucho mayores por ejemplo abriendo dos hidrantes en algunas secciones y ninguno en otras de tal manera que la suma de hidrantes en operación sea la misma, pero, considerar esta condición sería aumentar desproporcionadamente las posibles combinaciones y conduciría a diámetros mayores para satisfacer las necesidades donde se tengan más de un hidrante abierto.

El número posible de combinaciones de hidrantes abiertos (uno por sección) es muy grande (15 mil billones de combinaciones aproximadamente), por lo que es imposible analizar todas las posibles combinaciones, para tratar de analizar un número suficiente de combinaciones que abarque lo que se pueda presentar en la práctica, se consideraron 100 combinaciones que se solucionaron utilizando el EPANET desde Python con una herramienta de Python llamadas EPANETTOOLS basada en EPANET 2.

Se generaron 100 combinaciones de las muchas posibles de las cuales se muestran en el cuadro 1, los cuales se ven parcialmente las combinaciones de hidrantes abiertos generadas con 80 l/s para analizar las diferentes alternativas posibles de red hidráulica, aquí se ven una parte de estas combinaciones, la tabla completa se envía a anexo por el tamaño.

Cuadro 1. Combinaciones de hidrantes abiertos para cada red considerada.

SEC	T1	T2	T3	...	T98	T99	T100
1	n3	n2	n64	...	n64	n61	n294
2	n113	n165	n165	...	n82	n114	n112



3	n26	n40	n24	...	n22	n15	n23
4	n261	n118	n262	...	n260	n245	n245
5	n79	n295	n100	...	n101	n309	n116
6	n76	n270	n291	...	n122	n122	n270
7	n268	n268	n152	...	n256	n152	n268
8	n134	n305	n306	...	n236	n225	n305
9	n126	n126	n133	...	n126	n231	n133
10	n74	n303	n298	...	n73	n300	n303
11	n228	n282	n284	...	n265	n284	n228
12	n186	n221	n221	...	n329	n221	n221
13	n144	n173	n173	...	n145	n98	n141
14	n142	n327	n142	...	n327	n327	n327
15	n311	n175	n175	...	n177	n209	n175
16	n312	n313	n204	...	n149	n149	n149

Los resultados de resolver las redes alternativas se concentraron en una página de Excel, los resultados se analizan considerando los valores máximos y mínimos (envolventes) según correspondan.

En el cuadro 2 se tiene parte de la tabla resumen de velocidades en las tuberías, aquí se ven las velocidades en cada tramo de tubo en cada alternativa, la última columna muestra la velocidad máxima de todas las alternativas analizadas, esta velocidad máxima representa la alternativa más crítica para este tramo y el que hay que limitar a una velocidad máxima para limitar las pérdidas de carga. Hay que considerar que se trata de una red que funciona por gravedad y no tiene plantas de bombeo.

Las diferentes combinaciones de hidrantes abiertos, uno por sección, dan soluciones diferentes para cada una de estas combinaciones con flujos diferentes en cada tramo de tubería. Lo que se analizan son las condiciones más críticas que para cada tramo puede darse en una combinación de gastos diferente.

Las velocidades se limitaron a un máximo de 1.6 m/s salvo unos cuantos tramos donde por las características del tramo no afecta el funcionamiento de la red, esto puede ser que se trató de un extremo con suficiente carga o alguna otra situación similar.

Cuando la velocidad máxima es menor a 0.4 m/s se reduce el diámetro o se quita el tramo, salvo el tramo “p103” el cual se encuentra en una posición muy crítica debido a que hay muy poca carga en la zona donde se encuentra por ser un tramo muy cercano al inicio y cualquier carga ganada es útil.

Cuadro 2. Velocidades en cada tramo y cada alternativa analizados (m/s).

TRAMO	TIEMPO1	TIEMPO2	TIEMPO3	...	TIEMPO98	TIEMPO99	TIEMPO100	MAX
p1	1.022	0.975	1.045	...	1.036	1.041	0.981	1.20
p2	1.151	1.270	1.326	...	1.334	1.268	1.104	1.43
p3	0.516	0.492	1.122	...	1.193	0.910	0.492	1.19
p5	0.484	0.456	0.461	...	0.244	0.349	0.369	0.88
p6	0.484	0.456	0.461	...	0.244	0.349	0.369	0.71
p7	0.484	0.456	0.461	...	0.244	0.349	0.369	0.80



...
p275	0.000	0.000	0.000	...	0.000	0.000	0.000	1.11
p276	0.000	1.112	0.000	...	1.112	1.112	1.112	1.11
p277	0.380	0.850	0.525	...	0.092	0.400	0.466	0.93
p278	0.000	0.000	0.000	...	1.112	0.000	0.000	1.11
p279	0.000	0.000	0.000	...	0.000	0.000	0.000	1.11
p280	0.000	0.000	0.000	...	1.112	0.000	0.000	1.11

Cuadro 3. Presiones en los nodos para las 100 alternativas (m/s). Resumen.

NODO	TIEMPO1	TIEMPO2	TIEMPO3	...	TIEMPO98	TIEMPO99	TIEMPO100	MIN	MAX
n1	1.73	1.59	1.49	...	1.55	1.65	1.72	1.49	1.80
n2	1.43	1.29	1.19	...	1.25	1.35	1.42	1.07	1.49
n3	0.86	0.83	0.79	...	0.85	0.89	0.80	0.70	0.94
n5	1.64	1.50	1.09	...	1.09	1.38	1.63	0.93	1.66
n6	6.16	6.14	5.85	...	6.06	6.24	6.43	4.96	6.53
n7	5.63	5.63	5.33	...	5.64	5.78	5.96	4.69	6.06
...
n324	5.90	5.82	5.84	...	4.01	5.49	5.86	3.91	6.24
n325	7.55	7.31	7.18	...	6.30	7.28	7.42	4.45	7.73
n326	6.32	7.06	8.49	...	6.58	6.68	7.26	4.18	9.80
n327	6.16	5.95	8.48	...	5.39	5.44	6.12	3.90	9.68
n328	6.18	6.03	5.94	...	5.25	5.95	6.14	4.79	6.44
n329	6.63	6.45	6.35	...	5.38	6.39	6.56	4.60	6.87
								0.59	13.42

En el cuadro 3 se muestran las presiones de nodos, en las cuales se revisan las presiones mínimas requeridas para el funcionamiento de un sistema de riego rodado por tubería de compuertas. En general son recomendables unos 2 metros de carga o por lo menos 1 metro, sin embargo, hay hidrantes con cargas incluso cercanas a los 0.60 metros, en estos casos es debido a que estas tomas son cercanas a la fuente y se tienen pendientes muy bajas, estos hidrantes no funcionarían con la misma fluidez de los que tienen presiones más altas, pero en este caso por las condiciones en las que se encuentran no pueden tenerse mayores presiones.

Resultados y Discusión

La red el diseño final

El diseño de la red es el resultado de dos etapas principales, primero el trazo y luego el dimensionamiento, el trazo tiene varias formas de realizarse, no es el tema principal de este trabajo, a grandes rasgos puede minimizarse la longitud con aplicando algunas reglas, pero, en general esto no es práctico y rara vez se aplica, en general el trazo es por los caminos y linderos para no afectar a nadie o afectar lo mínimo en sus parcelas, durante el dimensionamiento pueden eliminarse algunos tramos que no sean necesarios



por su bajo flujo o agregarse algunos tramos que se requieran para mejorar el flujo en algunas zonas.

El dimensionamiento es el principal tema tratado aquí, el cual se realizó mediante la simulación del flujo bajo las más variadas condiciones posibles y el análisis de los resultados hidráulicos, principalmente las presiones dentro de cada uno de los puntos de la red (nodos y principalmente hidrantes), aunado a la presión se analizan el flujo en las tuberías considerando principalmente la velocidad ya que las pérdidas de carga son proporcionales al cuadrado de la velocidad y el controlar la velocidad a valores menores a 1.6 m/s y si es posible menores a 1 m/s baja mucho las pérdidas de carga y por lo tanto las presiones disponibles para el funcionamiento de los hidrantes, esto es de vital importancia ya que se trata de una red de baja presión sin ningún esquema de bombeo.

Conclusiones

Para la realización de las simulaciones se tuvo que auxiliar de algunas herramientas informáticas como son Epanet, y Python. Con el Epanettools de Epanet se realizaron los cálculos hidráulicos, y con Python se realizó un pequeño programa para generar las alternativas que se correrían directamente de este software llamando a las funciones del Epanettools, al realizar los cálculos los tramos con pérdidas de carga no admisibles estos se redimensionan de forma manual, en el caso que se encuentren tramos con flujo nulo o muy cerca de esto, el tramo en cuestión se elimina, este proceso se repite hasta que no existan nada fuera de orden, es decir, las presiones requeridas se cumplen en la red y el costo de la red es lo menor posible.

Las presiones resultantes pueden verse con los perfiles de presión como por ejemplo el perfil de la figura 3, donde se ve la ruta del perfil y la figura 4, donde se ven los perfiles. En este perfil, 65+050, que va desde la toma al nodo más lejano de la red se ve como desciende poco menos de 20 m en una distancia cercana a los 8 km. Los perfiles de presión máxima y mínima se refieren a cuando la red está en operación.

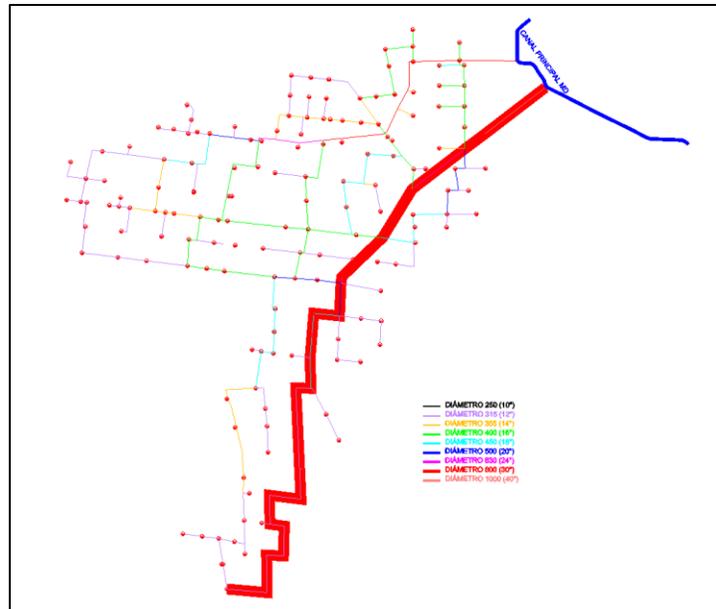


Figura 3. Localización del perfil 65+050.

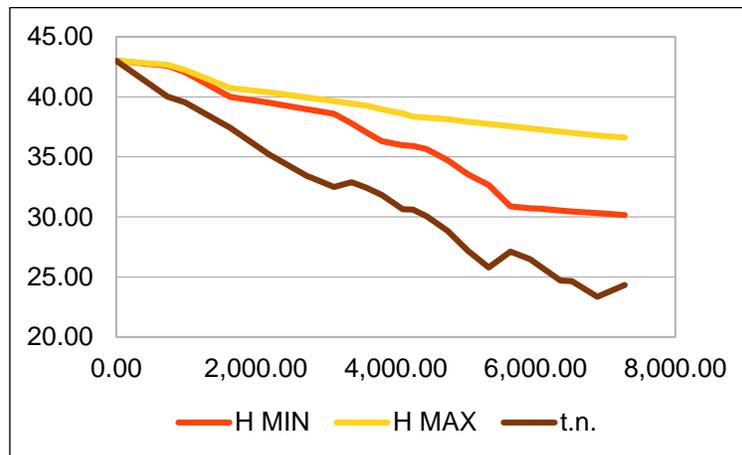


Figura 4. Perfil desde la toma km 65+050 del canal principal.

La presión máxima, que no se muestra en esta figura, se da no durante la operación sino cuando no hay flujo debido a la transmisión de las presiones hidrostáticas de tal manera que la energía total es igual al inicio que al final, este caso también debe de tomarse en cuenta ya que las tuberías estarán sometidas también a estas presiones y los hidrantes eventualmente tendrán que trabajar con estas presiones cuando se tenga muy poco flujo en la red.

Este procedimiento puede aplicarse en sistemas de riego colectivos de características similares, es decir, en muchos de los sistemas de riego colectivos que surjan para ser diseñados en Módulos de Riego.



Referencias Bibliográficas

- Castillo González, Jorge, et al. (2017), Propuesta de Metodología para Diseño de Redes Colectivas de Riego entubadas. III Congreso Nacional de Riego y Drenaje COMEII 2017, Puebla.
- Jorge Castillo González, María Dolores Olvera Salgado, Juan Carlos Herrera Ponce. (2015), Análisis del entubamiento de la red de distribución en los Módulos de Riego. I Congreso Nacional COMEII 2015, Jiutepec, Morelos.
- Castillo González, Jorge A., Villamil P. Julio T., Moreno B., J. Eduardo (2014), Modernización de la red de distribución en módulos de riego. XXV Congreso Latinoamericano de Hidráulica, Santiago, Chile.
- De León Mojarro, Benjamín, Ángeles Hernández, Juan Manuel, et. Al. (2007), Manual para diseño de zonas de riego pequeñas, Instituto Mexicano de Tecnología del Agua (IMTA), Jiutepec, Morelos, México.
- Planells Alandi, Patricio, Tarjuelo Martín-Benito, José M., et. al. (2001), Design of water distribution networks for on-demand irrigation, Irrigation Science 20:189-201.
- Villamil Pérez, Julio Tomas (1999), Análisis de las características de diseño de redes de conducción de agua de riego, Tesis profesional, Departamento de Irrigación, Universidad Autónoma Chapingo.