



Quinto
Congreso Nacional
de Riego y Drenaje
COMEII-AURPAES 2019

Septiembre 2019 | Mazatlán, Sinaloa



Artículo: COMEII-19004

Mazatlán, Sin., del 18 al 20

de septiembre de 2019

COMPLEMENTO DE EXCEL PARA EL CALCULO DE PARÁMETROS HIDRÁULICOS EN TUBERÍAS CIEGAS Y CON SALIDAS MÚLTIPLES

Sergio Iván Jiménez Jiménez^{1*}; Cándido Ramírez Ruíz²

¹Colegio Mexicano de Ingenieros en Irrigación A.C. Texcoco, C.P. 56190, Estado de México.

serchjimenez.1990@gmail.com - 777 305 3164 (*Autor de correspondencia)

²Posgrado en Ingeniería, Universidad Nacional Autónoma de México-Campus IMTA. Paseo Cuauhnáhuac 8532 Progreso, C.P. 62550 Jiutepec, Morelos.

Resumen

Desde la aparición de Microsoft Excel® a finales de los años 80, ha venido ganando gran posición dentro de la sociedad y actualmente es de las más usadas dentro y fuera de las organizaciones, en este sentido se presenta el desarrollo de un complemento, disponible para Microsoft Excel® 2013 y 2016, el cual permite realizar cálculos agronómicos de sistemas de riego localizado y cálculos hidráulicos para tuberías ciegas y con salidas múltiples. El diseño hidráulico de las tuberías con salidas múltiples se lleva a cabo mediante métodos numéricos, para las tuberías de servicio mixto (tramo de tubería en el que el diámetro y el tipo de material se mantienen invariables, que conduce y distribuye caudal) se utiliza el método de Newton Raphson y para las telescópicas (constituidas por dos o más tramos de tubería con diámetro de diferente magnitud o tipo de material) se usa el método de bisección.

La interfaz fue creada con la herramienta "Custom UI Editor For Microsoft Office" que permite instalar el complemento dentro de la cinta de opciones de Microsoft Excel® mediante una pestaña a la cual se denominó "HF Riego".

HF Riego posee cuatro secciones de cálculo (evapotranspiración, agronómico, hidráulico y general), uno de configuración y uno de ayuda. Dentro de estas existen botones que llaman a fórmulas como lámina horaria, gasto del sistemas, textura del suelo, factor de salidas múltiples, etc., que se usan directamente en celdas de Microsoft Excel®; y formularios como diseño agronómico, diseño hidráulico, volúmenes de excavación y relleno, entre otros. Se pueden seleccionar diferentes métodos de cálculo, o modificar valores de diámetro internos o coeficientes de fricción y accesorios.

Palabras claves: sistema de riego presurizado, diseño agronómico, tubería, diseño hidráulico.



Introducción

En la actualidad, la enseñanza y la solución de problemas asociados al campo de la hidráulica, está cada día más ligada al uso de las herramientas computacionales. Con el desarrollo de nuevos lenguajes y herramientas de programación, se puede crear software orientado al diseño, optimizando el costo y el tiempo de ejecución. En este sentido, es importante que estudiantes e investigadores desarrollen herramientas computacionales que aporten a la enseñanza académica y práctica profesional (Cataldi, Lage, Pessacq, & García Martínez, 1999).

Además, el diseño hidráulico de sistemas de riego implica el cálculo de fórmulas y parámetros predefinidos, cuando se realiza manualmente existe el riesgo de cometer errores y afectar el resultado final, es por ello que se vuelve necesario el uso de programas o softwares. Actualmente, existen softwares que permiten realizar el diseño agronómico e hidráulico de sistemas de riego en pocos segundos, la mayoría de estos funciona de manera autónoma, sin embargo, existen otros que se auxilian de plataformas de edición de planos; estos programas son creados, además de para facilitar los cálculos, para elaborar planos de diseño en tiempos relativamente cortos. Sin embargo, uno de los inconvenientes que se tiene es a la hora de elaborar los informes porque comúnmente la mayoría de los softwares comerciales permite exportar los resultados en formato PDF, el cual es un formato donde se dificulta la edición y manejo de datos.

Desde la aparición de Microsoft Excel® ha venido ganando gran posición dentro de la sociedad y actualmente es de las más usadas dentro y fuera de las organizaciones, es un programa que permite la fácil manipulación de cuadros y datos, por tal motivo, el objetivo de este trabajo es presentar una herramienta desarrollada para Microsoft Excel® completamente gratis, que permite realizar diseños agronómicos en sistemas de riego localizado, así como diseñar tuberías ciegas y con salidas múltiples, con la finalidad de reducir los tiempos y facilitar la elaboración de proyectos de sistemas de riego localizado.

Materiales y Métodos

Cinta de opciones

La interfaz fue creada con la herramienta gratuita llamada "Custom UI Editor For Microsoft Office" que permite que un complemento se instale dentro de la cinta de opciones de Excel en una pestaña nueva o dentro de las pestañas existentes. Primero se creó un libro de Excel con Extension xlam, y sobre dicho documento se generó el código XML (Extensible Markup Language), en *Custom UI Editor*, que contiene las indicaciones para crear una pestaña nueva en Excel, denominada "*HF Riego*", así como las secciones y botones mostrados en el Cuadro 1.

Cuadro 1. Secciones del complemento HF Riego

Secciones	Botones	Descripción
Evapotranspiración	ETo	Determina la evapotranspiración con el método del tanque evaporímetro en donde el coeficiente de tanque se puede determinar con tres distintas fórmulas.



Secciones	Botones	Descripción
	Coeficiente de cultivo	Es un buscador de coeficientes de diversos cultivos, los datos fueron tomados del boletín 56 de la FAO
	Precipitación Efectiva	Calcula la precipitación efectiva con cuatro ecuaciones diferentes, las formulas fueron tomadas del boletín 56 de la FAO
Agronómico	Lámina Horaria	Formula que determina la lámina horaria de un emisor en base a su arreglo
	Gasto del sistema	Formula que determina el caudal de una sección de riego en base a la lámina horaria y a la superficie de la sección
	Gasto mínimo por sección	Formula que determina el caudal mínimo necesario para regar una cierta superficie en base a las horas de riego disponible y a la Evapotranspiración del cultivo
	Diseño agronómico	Es un formulario que determina los parámetros de un diseño agronómico para sistemas de riego localizado
Hidráulico	FSM Christiansen	Formula que termina el Factor de Salidas Múltiples (FSM) de una tubería cuando la distancia a la primera salidas es igual a la separación entre salidas consecutivas ($S_o=S$).
	FSM Jensen y Fratini	Formula que termina el Factor de Salidas Múltiples (FSM) de una tubería cuando la distancia a la primera salida es igual a la mitad del espaciamiento entre salidas consecutivas ($S_o=S/2$).
	FSM Scalopi	Formula que termina el Factor de Salidas Múltiples (FSM) cuando la distancia a la primera salida es cualquier distancia
	Tubería con salidas múltiples	Tiene dos módulos de cálculo, uno para determinar la longitud máxima y el otro para determinar la pérdida de carga en tuberías con salidas múltiples
	Tubería con salidas múltiples telescópicas	Determina los diámetros, longitudes y pérdidas de carga de tuberías telescópicas, se limita a encontrar dos diámetros
	Tubería Ciega	Determina la pérdida de carga por fricción de tuberías ciegas o simples.
	Accesorios	Determina la perdida de carga en accesorios, se pueden sumar las pérdidas de carga
General	Textura	Formula que determina le textura de un suelo en base al porcentaje de arena, limo y arcilla
	Potencia	Formula que determina la potencia del motor de un equipo de bombeo
	Zanja	cuantifica la cantidad de volumen de excavación y relleno en base al diámetro de la tubería a instalar
Configuración	Configuración	Permite configurar distintos métodos de cálculo, agregar o modificar coeficientes de fricción, diámetros, etc.
Ayuda	Ayuda	Muestra la ayuda de cómo usar el complemento en términos generales.
	Acerca de	Breve descripción del complemento

Custom UI Editor permite crear botones con iconos de dos tamaños distintos: pequeños y grandes (Figura 1). Por tanto, para diferenciar las fórmulas de los formularios, se asignó

iconos pequeños a las fórmulas que se pueden usar directamente en Excel y los iconos más grandes se refieren a formularios que permiten realizar distintos cálculos. La mayoría de los iconos se tomaron de la galería de iconos de Excel y otros fueron creados por los autores.



Figura 1. Ejemplificación de tamaño de iconos disponible en Excel

Código VBA

Se programaron las funciones y se generaron los distintos formularios mediante el desarrollo de códigos en Visual Basic For Applications (VBA). Las formulas, ecuaciones y metodologías para realizar los cálculos que se describen en el Cuadro 1 se buscaron en diversas fuentes.

El caso de la sección “Evapotranspiración”, las fórmulas para determinar los coeficientes de tanque y la evapotranspiración se obtuvieron del libro Calendarización del Riego (Ojeda & Ruiz, 2016); la relación de coeficientes de cultivo (K_c) se tomó de la base de datos que se presentan en el boletín 56 de la FAO (FAO, 2006); las fórmulas para determinar la precipitación efectiva se adquirieron del manual de CropWat (FAO, 2018). En el caso de la sección “Agronómico” las formulas fueron tomados de Martínez (1991) y del manual para la elaboración y revisión de proyectos ejecutivos de sistemas de riego parcelario publicado por la CONAGUA (CONAGUA, 2002). Para la sección “Hidráulico”, las expresiones para calcular el factor de salidas múltiples por FSM Christiansen FSM Jensen y Fratini y Scalopi fueron obtenidos del documento de Ángeles (2016). Las fórmulas seleccionadas para calcular la pérdida de carga por fricción fueron las de Hazen-Williams, Manning y Scobey.

Para las tuberías ciegas se propusieron dos criterios de diseño, estos son: método de pérdida de carga unitaria y método de velocidad permisible. El primero consiste en seleccionar los diámetros de las tuberías, de manera que no se exceda una cierta pérdida en una longitud determinada. En el segundo caso consiste en seleccionar los diámetros de tuberías en base a una velocidad permisible (CONAGUA, 2002).

Para el diseño de tuberías con salidas múltiples de servicio mixto (tramo de tubería en el que el diámetro y el tipo de material se mantienen invariables, que conduce y distribuye caudal) se usó el método de Newton-Raphson siguiendo la metodología descrita en Jiménez-Jiménez & Ramírez (2018). En el diseño de tuberías Telescópicas se tienen cuatro incógnitas, dos longitudes y dos diámetros (Figura 2) para resolver este problema se generó un algoritmo (Algoritmo 1) que se basa en el uso del método de bisección.



Figura 2. Ilustración de una tubería telescópica

Algoritmo 1. Determinación de los diámetros y longitudes de una tubería con salidas múltiples telescópicas.

Datos de entrada: Superficie de la sección (ha), Lamina Horaria (mm/hr), Separación entre salidas (m), longitud total de la tubería (m), pérdida de carga permisible (m).

Comentario: Sea $d_i, d_{i+1}, d_{i+2}, \dots, d_n$ los diámetros a evaluar, donde i se refiere al diámetro más grande y n el diámetro más pequeño.

Comentarios: F se refiere al factor de salidas múltiples, hf a la pérdida de carga por fricción en una tubería ciega, hfs a la pérdida de carga por fricción en una tubería con salidas múltiples, Hfp pérdida de carga permisible, L a la longitud total de la tubería telescópica.

Inicio de los cálculos:

Calcular el valor de F tomando en cuenta las salidas en toda la L .

Por cada diámetro desde i hasta n

Calcular la hf en toda la L con la fórmula de Hazen-Williams, Manning o Scobey con el diámetro i

Calcular hfs : $hfs = hf * F$

Comparar ($hfs > Hfp$)

Si es falso continuar el ciclo.

Si es falso y se llega hasta el diámetro n entonces ningún diámetro satisface la pérdida de carga permisible, enviar mensaje de error y no avanzar a los siguientes pasos.

Si es verdadero, parar el ciclo y almacenar el diámetro evaluado en la variable diámetro menor (d_m) y el inmediato anterior evaluado como el diámetro mayor (d_o), así como sus respectivas pérdidas de carga, donde pérdida de carga por salidas múltiples del diámetro menor en L es hfs_{m1} y del diámetro mayor es hf_{ot} .

Comentario: Para encontrar las dos longitudes (L_1 [Longitud del diámetro menor] + L_2 [longitud del diámetro mayor] = L) se aplica el método de bisección.

Comentario: C corresponde al número de salidas, SE separación entre salidas, Q Caudal total, Q_s Caudal en cada salida [constante], d_m al diámetro menor y d_o al diámetro mayor

Repetir hasta que Tolerancia ≥ 0.0000001

$A=0$ y $B=L$, por lo que $C=(A+B)/2$

Calcular $L_1 = C * SE$

Calcular el caudal en cada salida: $Q_s = Q/C$

Calcular el valor de F con el número de salidas en L_1

Calcular la hf_{m1} en la longitud L_1 con el d_m .

- Calcular la hfs_{m1} : $hfs_{m1}=hf_{m1}*F$
- Calcular el valor de F con el número de salidas en L_1
- Calcular la hf_{o1} en la longitud L_1 con el d_o .
- Calcular la hfs_{o1} : $hfs_{o1}=hf_{o1}*F$
- Calcular la pérdida de carga por salidas múltiples para el diámetro mayor en la L_2 : $hfs_{oo}=hf_{ot} - hfs_{o1}$
- Calcular la pérdida de carga por fricción en la tubería con salidas múltiples en L: $hfs_i= hfs_{m1}+ hfs_{oo}$
- Calcular la tolerancia: $tolerancia= hfs_i- Hfp$
- Si $tolerando > 0$ entonces $b = C$ de lo contrario $a = C$

Siguiente

Calcular longitud L_2 : $L_2= L-L_1$

Devolver el valor de d_m , d_o , L_1 y L_2

Fin de los cálculos.

Con las formulas y formularios programados y funcionando, se procedió a asociar cada formulario y formula con su respectivo botón contenido en la pestaña “HF Riego” esto se realizó directamente en la hoja en formato *xlam* en Microsoft Excel® usando códigos de *Visual Basic For Applications (VBA)*.

Resultados

Complemento “HF Riego

En la Figura 3 se muestra la pestaña “HF Riego” dentro de Microsoft Excel®, así como los cuatro módulos de cálculos que en conjunto contienen 17 botones, donde cada botón permite realizar una acción.

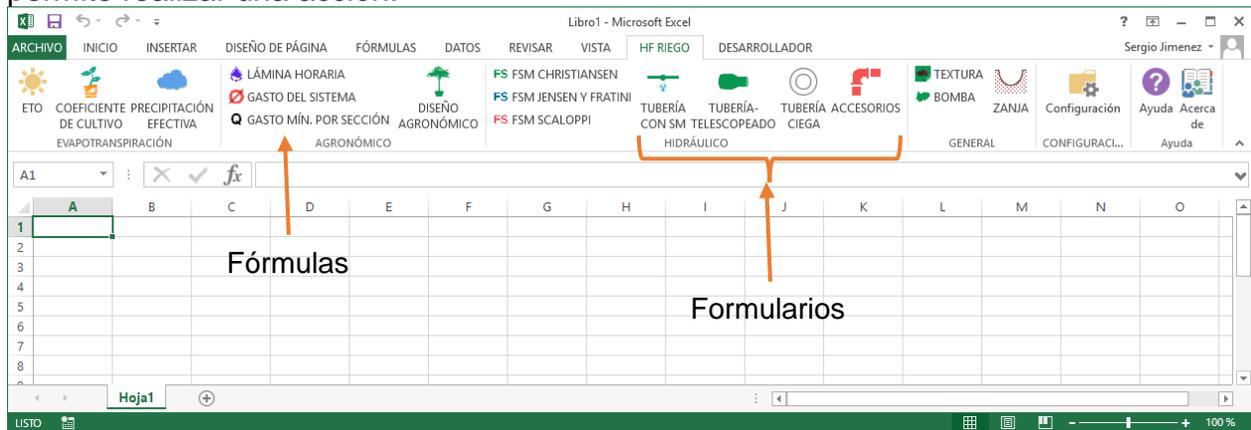


Figura 3. Vista de la Pestaña “HF Riego” en Microsoft Excle

Unos de los módulos más importantes del complemento es el de configuración ya que permite definir métodos de cálculo, agregar coeficientes o modificar diámetros internos de tuberías, etc. Una vista de configuración se muestra en la Figura 4, donde se observa que esta consta de cinco pestañas, las cuales son:

1. **Hidráulico:** Se selecciona la fórmula para calcular la pérdida de carga por fricción, el material de la tubería y se definen los coeficientes de fricción así como los diámetros internos. La pérdida de carga por fricción se puede calcular con la

fórmula de Hazen-Williams, Manning o Scobey. Los materiales de tubería disponible son: PVC, Polietileno, Aluminio, Asbesto-Cemento, Acero Galvanizado. Se limita a 16 diámetros de tuberías diferentes, estos se pueden renombrar así como definir sus diámetros internos.

2. **Método de diseño:** Se selecciona uno de los dos métodos para diseñar la tubería ciega así como las eficiencias para los sistemas de riego localizado.
3. **Accesorios:** Se definen los coeficientes de accesorios. Se limita a 16 accesorios, que se pueden renombrar.
4. **Evapotranspiración:** Se selecciona los métodos para determinar la precipitación efectiva y el coeficiente de tanque. Los métodos disponibles para la precipitación efectiva son: Porcentaje fijo Precipitación confiable (ecuación FAO/AGLW), USDA Soil Conservation Service, Formulas empíricas. En el caso del coeficiente de tanque se tienen disponible tres fórmulas: uno de Cuenca y Jensen (Cuenca, 1989) y dos de Allen *et, al.* (1998) (rodeado de cobertura vegetal y rodeado de suelo desnudo).
5. **Características Zanja:** Se ingresan las características de la zanja dependiendo del diámetro de la tubería como son: ancho de la zanja (cm), profundidad de la zanja (cm), espesor sobre el tubo (cm) y plantilla (cm).

Ajustes HF Riego

Hidráulico | Método de Diseño | Accesorios | Evapotranspiración | Zanja

Selección del Método
 Formula de cálculo: Manning

Selección del Material
 Material: PVC

Coefficientes de Fricción

Material	Manning	Hazen-W	Scobey
PVC	0.009	145	0.32
Polietileno	0.008	150	0.32
Aluminio	0.015	130	0.43
Asbesto-Cemento	0.011	135	0.32
Acero Galvanizado	0.0105	125	0.45

Diámetros de tuberías en mm

#	Nominal	Interno	#	Nominal	Interno
1-	12	10.3	9-	50	55.7
2-	16	13.2	10-	75	81
3-	17	16.1	11-	100	105.5
4-	19	20.4	12-	160	154.4
5-	20	16.73	13-	200	193
6-	25	31.38	14-	250	241.2
7-	32	39	15-	315	303.8
8-	38	45.31	16-	355	342.6

Renombrar Diámetros Nominales

Acepto Cancelar

Figura 4. Ventana inicial de configuración

En la Figura 5 se muestra una vista de los argumentos de la función que permite determinar la textura de un suelo (*TexturaSuelo*), se observa además una breve descripción de la función así como las unidades en que se deben ingresar los datos.

Argumentos de función ? X

TexturaSuelo

Arena 30 = 30

limo 30 = 30

arcilla 40 = 40

= "Arcillosa"

Determina la textura del suelo en base al porcentaje de arena, limo y arcilla, de acuerdo al triángulo de textura del USDA.

arcilla Porcentaje de Arcill

Resultado de la fórmula = Arcillosa

[Ayuda sobre esta función](#)

Figura 5. Argumento de la función de textura del suelo (*TexturaSuelo*)

Pérdida de Carga por Fricción en tuberías ciegas o simples X

Datos de entrada

Gasto o Caudal 12 lps

Diámetro 75 mm

Longitud 100 m

Resultados

Pérdida (m) 7.963 m

Velocidad (m/s) 2.329 m/s

Diseño: Ok

Gasto (lps)	Diámetro (mm)	Longitud (m)	Pérdida (m)	
12.00	75	100.00	7.963	Ok
12.00	75	100.00	7.963	Ok

Longitud Total (m): 200

Pérdida Total (m): 15.926

También pueden realizar los calculos usando la función =Perdida() **Velocidad Permisible**

Figura 6. Vista del formulario para diseñar una tubería ciega o simple

En el caso de los formularios (Figura 6), se pueden almacenar dentro de una lista todos los cálculos realizados para después pasarlos a una hoja de Excel (Figura 7) que es una de las ventajas del complemento, el cual inicialmente fue pensado para facilitar los reportes de los diseños de sistemas de riego localizado.

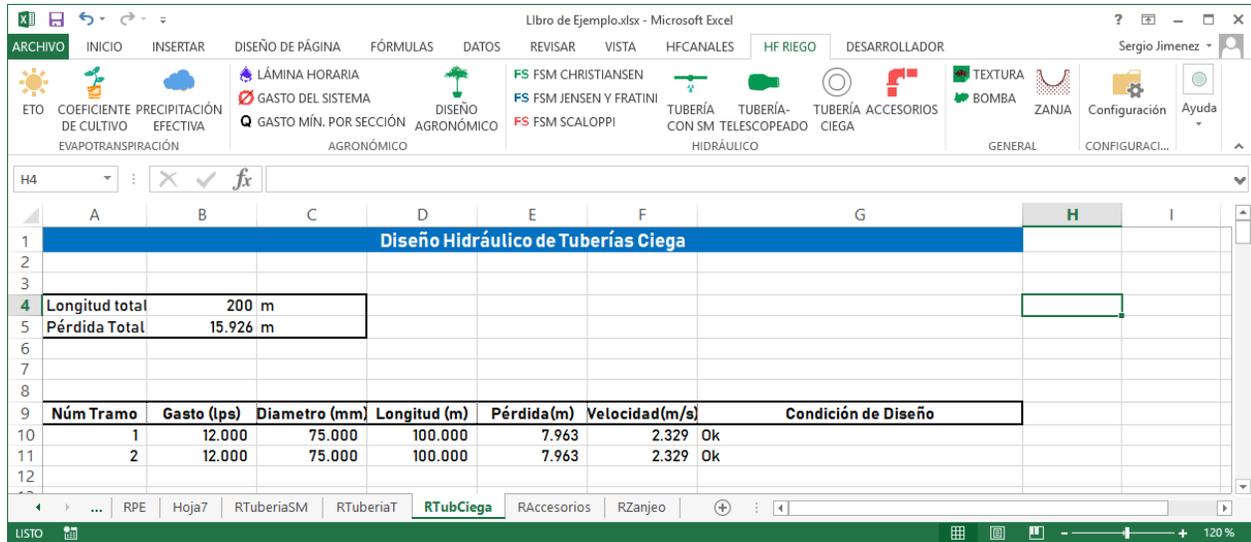


Figura 7. Cálculos exportados a una hoja de Excel

Pruebas

Se ha puesto a prueba la mayoría de las funciones del complemento como la precipitación efectiva (Cuadro 2), pérdida de carga en tuberías ciegas y con salidas múltiples, entre otras. Sin embargo, se considera necesario seguir probando todas las funciones con más ejemplos y observar su comportamiento, por lo que aun esta en versión Beta, lo que significa que puede contener errores que se corregirán a medida que se encuentren.

Cuadro 2. Comparación de la precipitación efectiva en la estación meteorológica 00028015 Capitán Emilio Carranza

Mes	Precipitación, mm	P. Efectiva (CropWat)*, mm	P. Efectiva (HF Riego), mm
Enero	15.9	15.5	15.50
Febrero	12.7	12.4	12.44
Marzo	16.9	16.4	16.44
Abril	30.6	29.1	29.10
Mayo	72.7	64.2	64.24
Junio	112.8	92.4	92.44
Julio	136.6	106.7	106.74
Agosto	100.6	84.4	84.41
Septiembre	115.6	94.2	94.22
Octubre	49	45.2	45.16
Noviembre	15.6	15.2	15.21
Diciembre	17.2	16.7	16.73
Suma	696.2	592.4	592.63

*Fuente: (Conagua, 2019)



Descarga Ejecución Del Complemento

El complemento se distribuye gratuitamente y se podrá descargar en la dirección <https://www.hidraulicafacil.com/p/extension-hf-riego.html>. El usuario que desee instalar el complemento "HR Riego" deberá agregarlo desde la opción *administrar complemento* de Microsoft Excel® y buscar el archivo que ha descargado de la web, de esta manera no tendrá que dar doble clic sobre el archivo *xlam* cada vez que lo requiera, sino que quedara disponible siempre que se habrá Microsoft Excel® y quedaran los valores de configuración tal como el usuario los definió.

Conclusiones

En este trabajo se presentó una herramienta disponible para Microsoft Excel 2013 y 2016 que entre sus funciones permite calcular la evapotranspiración de referencia, precipitación afectiva, realizar el diseño agronómico de un sistema de riego localizado, diseñar hidráulicamente tuberías ciegas y con salidas múltiples, cuantificar cantidades de excavación y relleno, entre otras. Es una herramienta que facilita y reduce los tiempos en el diseño de sistemas de riego localizado, así como en su reporte de diseño.

Cabe destacar que la mayoría de las funciones han sido probadas con diferentes ejemplos dando resultados satisfactorios, sin embargo, se considera necesario someterlos a más pruebas por lo que aún es una versión *Beta*.

Referencias Bibliográficas

- Allen R. G., L. S. Pereira, D. Raes, y M. Smith. 1998. Crop evapotranspiration. Irrigation and Drainage paper 56. FAO. Roma, Italia. 300 pp.
- Ángeles, V. (2016). Factores de ajuste para la pérdida de carga por fricción en tuberías con salidas múltiples telescópicas o con servicio mixto. *II Congreso Nacional de Riego y Drenaje COMEII* (pp. 1-13). Texcoco: Colegio Mexicano de Especialistas en irrigación.
- Carrazón Alocén, J. (2007). *Manual práctico para el diseño de sistemas de minirriego*. Honduras: FAO.
- Cataldi, Z., Lage, F., Pessacq, R., & García Martínez, R. (August de 1999). Ingeniería de software educativo. *Proceedings del V Congreso Internacional de Ingeniería Informática*, 185-199.
- CONAGUA. (2019 de 08 de 03). *Información Climatológica por Estado*. Obtenido de Tamaulipas: <https://smn.conagua.gob.mx/tools/RESOURCES/Normales5110/NORMAL28015.TXT>
- CONAGUA. (2002). *Manual para la elaboración y revisión de proyectos ejecutivos de sistemas de riego parcelario*. Comisión Nacional del Agua, Subdirección General de Operación Gerencia de Distritos y Unidades de Riego. México: Comisión Nacional del Agua.
- FAO. (2006). *Evapotranspiración del cultivo Guías para la determinación de los requerimientos de agua de los cultivos*. Roma: FAO.
- FAO. (16 de Mayo de 2018). *CropWat*. Obtenido de CropWat: Topicos de Ayuda-CropWat
- Martinez, R. (1991). *Riego localizado: Diseño y Evaluación*. Texcoco, Estado de México: Universidad Autonoma Chapingo.
- Ojeda Bustamante, W., & Ruiz García, A. (2016). Evapotranspiración. En W. Ojeda Bustamante, & J. Flores Velázquez, *Calendarización del riego* (pág. 125). Jiutepec: IMTA.