

DESARROLLO DE HERRAMIENTAS DE CÓMPUTO EN LA INGENIERÍA PARA EL SERVICIO DEL AGRO MEXICANO

Ambrosio Ambrosio Juan Pablo^{1*}

¹Posgrado en Socioeconomía, Estadística e informática-Cómputo aplicado. Colegio de Postgraduados campus Montecillo. Km. 36.5, México 136 5, Montecillo, 56230 Montecillo, Méx.

ambrosio.juan@colpos.mx – 5558045900 (Ext. 1462)

Resumen

En la actualidad la integración de la computación en diferentes áreas del conocimiento es muy común, en específico para la solución de problemas mediante codificación en diferentes lenguajes de programación. En la ingeniería de riego, existen procedimientos que requieren el auxilio del cálculo por computadora para hallar soluciones óptimas. Debido a ello, en este trabajo se describe una herramienta computacional Web para resolver cuatro procedimientos de la ingeniería de riego: conversor universal, diseño de laterales de riego, diseño de porta lateral o secundaria y diseño de tubería principal. Las soluciones planteadas se organizan en pequeñas aplicaciones de cómputo o APIs, que en su conjunto integran un sistema Web desarrollado con el *framework* Django y React.

Palabras claves: Python, Javascript, Velocidad permisible, Pérdida de carga.

Introducción

En los proyectos de sistemas de riego a presión es necesario llevar a cabo un análisis hidráulico, de suelo, del cultivo, clima y la relación agua-suelo-planta con el objeto de abastecer la cantidad de agua mínima de los requerimientos de los cultivos en la etapa de máxima demanda. En la parte de hidráulica existen diferentes programas de cómputo especializados para realizar el diseño de las redes de distribución, por ejemplo, WCADI (RIVULIS, 2024), IRRICAD (IRRICAD, 2024) y EPANET (EPA, 2024). Éstos son en general programas de escritorio que implican una descarga, instalación, configuración, pago de licencias, y en algunos casos descargas de librerías y programas auxiliares. Si se habla de grandes proyectos de riego, es justificable la adquisición de estos paquetes. Sin embargo, existen muchas ocasiones en las que se necesitan herramientas auxiliares de cómputo que nos permiten calcular, diseñar y analizar pequeños sistemas de riego. Existen herramientas que se han desarrollado con la idea de apoyar al usuario en la solución de estos procedimientos hidráulicos, por ejemplo, hidráulica fácil (Jiménez, 2021) e INGENIUM by Marco (Ingenium by Marco, 2024) son blogs informativos que cuentan con el desarrollo de algunas herramientas de cómputo para el área de hidráulica. Bajo esa perspectiva nace esta iniciativa de crear aplicaciones dinámicas y potentes con base en la programación en JavaScript y Python. Estas aplicaciones se pueden ejecutarse desde cualquier navegador, esto permite una mayor compatibilidad y reduce temas complejos de descarga, instalación y configuración. El sitio Web que se desarrolló propone el desarrollo de pequeñas aplicaciones que servirán de ayuda para especialistas en irrigación y usuarios en general interesados en el diseño de los sistemas de riego.

Materiales y Métodos

Hardware

En el desarrollo del sistema Web se empleó una computadora de escritorio con las siguientes características: procesador AMD Ryzen 9 6900HX con Radeon Graphics 3.30 GHz, memoria RAM instalada de 32 GB, sistema operativo de 64 bit. Sistema operativo instalado Windos 11 Pro versión 23H2.

Software

Existen una infinidad de posibilidades de herramientas tecnológicas para el desarrollo Web y la elección dependerá del nivel de conocimiento del desarrollador, el costo de las licencias, y la velocidad de despliegue del sistema. En este trabajo se optó por emplear software y librerías de libre acceso y con un nivel de complejidad alto-intermedio con la finalidad de realizar las configuraciones necesarias para su ejecución. Estas configuraciones involucran administración de bases de datos, inicios de sesión, protocolos de seguridad para transferencia de datos (*request*, *response*), administración de usuarios etcétera.

Las principales librerías que se emplearon en el desarrollo de la herramienta propuesta fueron: Python 3.11.8, Django 5.0.7, Dango-cors-headers 4.4.0, djangorestframework 3.15.2, pip 24.0, setuptools 65.5.0, Node v20.11.0, npm v10.4, axios@0.21.1, bootstrap@4.6.2, react-bootstrap@2.10.5, react-dom@18.3.1, react-router-dom@6.26.2, react-router@6.26.2, react-scripts@5.0.1, react@18.3.1, y reactstrap@8.9.0.

Convertor universal de unidades métricas

La primera aplicación se refiere a un convertor de unidades métricas, para realizar conversiones en diferentes unidades de medida para cada una de las magnitudes más usadas en la agricultura. El diseño del script permite que la integración sea modular, es decir, si se desea agregar una nueva magnitud, únicamente es necesario alterar el archivo json asociado con las equivalencias para dicha unidad. Esto facilita el despliegue, debido a que el lado de *Frontend* no sufre ningún cambio de estilo, ya que todo se reconstruye a base de codificación JavaScript.

Las principales magnitudes que se contemplan son la longitud, área, masa, volumen, presión, potencia, flujo, y energía. Los coeficientes para el proceso de conversión están dados en el documento pdf publicado por el grupo Alpha (alphagroup, 2024).

Diseñador de un lateral de riego

La variación del caudal a lo largo de una línea de lateral de riego, se debe a diversos factores entre los cuales se destacan: la variación de la temperatura del agua, variación de caudal en cada emisor por la fabricación, y la variación de la presión causada por una pérdida carga frecuentemente por fricción o desnivel topográfico.

Las pérdidas de carga localizadas se producen cuando el flujo del agua presenta cambios bruscos, debido a la obstrucción de una estructura o pieza hidráulica instalada. Éstas se cuantifican a lo largo de toda la línea de riego y se suman a longitud real en metros de la línea lateral.

El diseño consiste básicamente en determinar el número de salidas (N) sobre la línea lateral de riego que genere una pérdida de carga menor a la pérdida de carga permisible (H_{fp}). H_{fp} frecuentemente se considera 10 % de la presión de operación del emisor +/- el desnivel topográfico. Por ejemplo, si es una manguera de polietileno de goteo, H_{fp} = 10 % * 10 mca = 1.0 m. Para ello es necesario calcular la pérdida de carga a lo largo de la línea lateral considerando las fórmulas que se emplean para salidas múltiples. El procedimiento a seguir es el siguiente:

1. Se calcula la longitud equivalente por cada pieza o accesorio instalado sobre la línea de riego, mediante la ecuación de Darcy-Weisbach.

$$Le = 2.2139KD^{4.75}Q^{-1.75}\eta^{-0.25} \quad (1)$$

donde:

Le: Longitud equivalente, m;

K: Coeficiente de carga cinética;

D: Diámetro de la tubería, m;

Q: Caudal, m³/s;

n: Viscosidad cinemática del agua, constante ~ 1,0x10⁻⁶ m²/s.

2. Se calcula la pérdida de carga con la longitud real de la tubería mas la longitud equivalente. Este calculo considera como si la tubería fuera sin salidas múltiples. Para este cálculo se emplea la fórmula de Hazen Williams.

$$HF' = 10.643 \frac{L}{D^{4.87}} \left(\frac{Q}{C} \right)^{1.852} \quad (2)$$

donde,

HF': Pérdida de carga, en metros de columna de agua, m;

L: Longitud de la tubería, en m;

D: Diámetro de la tubería, en m;

Q: Caudal, en m³/s;

C: Coeficiente de Hazen-Williams (Enginners Edge, 2024).

3. Se calcula F, que es el factor de salidas múltiples o factor de Christiassen, dado por la siguiente fórmula. Se inicia el procedimiento con una salida del emisor.

$$F = \frac{1}{m+1} + \frac{1}{2N} + \frac{\sqrt{m-1}}{6N^2} \quad (3)$$

donde,

F: Factor de salidas múltiples, adimensional;

N: Número de salidas;

m: Coeficiente que depende del exponente de velocidad en la ecuación de caída de presión (para Hazen Williams, m = 1.85).

4. Se ajusta la pérdida de carga calculada en el paso 2, mediante la multiplicación por el factor de salidas múltiples.

$$HF = HF' * F \quad (4)$$

donde,

HF: Pérdida de carga total sobre la línea de riego lateral con salidas múltiples, en metros.

5. Se comprueba que la pérdida de carga HF sea menor o igual a la pérdida de carga permisible (HFp). En caso de que sea menor, se repite el procedimiento aumentando una unidad en el número de salidas, N = N+1. El proceso finaliza cuando HF>HFp, y se regresa el número de salidas óptimo con su respectiva pérdida de carga. La aplicación muestra la tabla completa de los cálculos con la finalidad de visualizar como se incrementa la pérdida a lo largo de la línea lateral de riego.

Diseñador de secundaria o tubería porta lateral

El diseño de la tubería secundaria o porta lateral consiste básicamente en dimensionar las tuberías que llevarán el agua a cada salida de las lateras de riego. Esto es encontrar los diámetros óptimos de tubería y su respectiva longitud, de modo que al entregar el gasto a la última salida (lateral de riego) se obtenga una pérdida de carga por salidas múltiples menor al permisible. En función de la experiencia del diseñador, puede variar la perdida de carga permisible HFp, pero como referencia se puede tomar como el 10% de la presión de operación del emisor. En un diseño de riego por goteo, esto es HFp=10% * 10 mca = 1.0 metros +/- desnivel topográfico.

El procedimiento para el diseño de las tuberías secundarias se describe a continuación.

1. Se obtienen lo datos de entrada para el diseño.

Tipo: Se selecciona el tipo de tubería, las opciones estarán dadas de alta según la base de datos del sistema web. Usualmente estas son de PVC. Se puede dar de alta nuevos materiales, en función de la petición de los usuarios.

ND: Número de diámetros a utilizar, mínimo debe ser 1. Un valor de ND 3, significa que se contemplará 3 diámetros de tuberías en el diseño, es decir dos reducciones. En caso de que no se cumple con la pérdida de carga permisible, se retornan los resultados con el número de diámetros óptimo, menor a ND. En el caso de que ND es igual a uno y no existe en la base de datos una tubería que satisface los requerimientos de diseño se enviará una alerta para revisar los datos de entrada o solicitar el alta de nuevos materiales de riego al sistema web.

L: Longitud total de la línea de riego, en metros.

qs: Gasto o caudal en cada salida (lateral), en litros por hora (LPH). Internamente se hace la conversión ya que la formula lo solicita en m³/s.

S0: Es la distancia a la primera salida (lateral), en metros.

Se: Separación entre cada salida (lateral), debe ser un valor contante en metros. En caso de que se tengan salidas a distancias heterogéneas, es recomendable usar la aplicación de diseño de tubería principal.

2. Con los datos de entrada y la base de datos del sistema web, se calcula la perdida de carga de salidas múltiples para cada una de las tuberías disponible y se finaliza hasta que se obtenga el diámetro que satisface $HF < HF_p$ (permisible). En caso de que no se encuentre ninguna tubería, se retorna una alerta al usuario para que revise sus datos de entrada o solicite el alta de nuevos materiales. Este procedimiento se lleva a cabo de la siguiente forma:

- a. Se calcula el número de salidas.

$$N = \frac{L - S0}{Se} \quad (5)$$

- b. Se determina el gasto total y se convierte a m³/s.

$$Q = qs * N * \frac{1}{1000 * 3600} \quad (6)$$

- c. Se calcula la relación de salidas (rs), dada por:

$$rs = \frac{S0}{Se} \quad (7)$$

- d. Se calcula el factor de Christiansen para salidas multiples, mediante la ecuación 3. Se corrige dicho factor por la relación de separación de salidas rs.

$$F1 = \frac{N * F + rs - 1}{N + rs - 1} \quad (8)$$

- e. Se calcula la pérdida de carga considerando el tramo como tubería ciega mediante la ecuación 2. Se ajusta La pérdida de carga con el factor de salidas múltiples ajustado, de modo que $HF = F1 * HF'$.

- f. Se comprueba, si $HF < HF_p$ (permisible), se procede con la siguiente tubería de diámetro mayor. Caso contrario ($HF > HF_p$), se retorna el diámetro del ciclo anterior. Este diámetro satisface la condición y si $ND=1$, el proceso finaliza y como resultado se retorna el diámetro óptimo (D0) y la longitud de la tubería (L).

3. Si ND es igual o mayor a dos ($ND \geq 2$). Se procede a optimizar D0 y L, con el cálculo de pérdidas de carga en tuberías telescopiadas. La idea es encontrar dos tuberías con diámetros D0 y D1 ($D0 > D1$) con las longitudes (L0, L1) que satisfacen la condición de

$HF=HF_0+HF_1 \leq HF_p$. Para ello existen dos métodos de cálculo. El sistema tiene programado los dos, aunque por default se calcula por el método iterativo.

- a. Iterativo. Este proceso consiste en iterar por cada salida, es decir el primer ciclo L_0 tiene las N salidas y L_1 tiene 0 salidas, en el siguiente ciclo L_0 tiene $N-1$ salidas (N_0) y L_1 tiene 1 salidas (N_1). El ciclo se repite hasta que HF_0 (pérdida de carga en la tubería mayor) más HF_1 (pérdida de carga en la tubería menor) sea mayor que HF_p (pérdida de carga permisible). Se retornan los datos del ciclo anterior (que si satisfacen la condición) D_0 , L_0 , N_0 , HF_0 (datos de tubería mayor) y D_1 , L_1 , N_1 , HF_1 (tubería de diámetro menor).
 - b. Método de bisección (Jiménez y Ramírez, 2018). Este método es similar al descrito en a. La diferencia es que el proceso para encontrar N_0 y N_1 es diferente. Empieza con la asignación de dos valores extremos $A=0$ y $B=N$ (El número máximo de salidas). En el primer ciclo, $N_0=(A+B)/2$ y $N_1=N-N_0$. Se calculan las pérdidas (HF_0 y HF_1) de carga para tuberías con salidas múltiples como se explicó en el paso 2 de esta sección. Luego se comprueba, si $(HF_0+HF_1-HF_p)>0$ luego $B=N_0$; caso contrario $A=N_0$, se finaliza hasta que la tolerancia sea mínima, es decir $abs(HF_0+HF_1-HF_p) < 0.000001$. Al finalizarse se redondea el valor de N_0 , para tener salidas completas en cada tramo. Se recalcula y se retornan los valores D_0 , L_0 , N_0 , HF_0 (datos de tubería mayor) y D_1 , L_1 , N_1 , HF_1 (tubería de diámetro menor).
4. Si ND es igual a 3 o mayor, se repite el paso 3, pero se guardan los valores obtenidos de la tubería mayor(D_0) y se optimiza los valores de la tubería menor (D_1). Es decir, los valores de arranque para la optimización son: $D_0=D_1$, $L=L_1$ y $HF_p=HF_1$. El procedimiento se repite hasta que se encuentren todos los diámetros óptimos deseados por el usuario (ND). Si ya no es posible optimizar o no se satisface la condición $HF_0+HF_1 < HF_p$, se termina el cálculo, pero la longitud L_1 será 0 y de igual manera su pérdida de carga HF_1 . Los datos de salida son, para cada diámetro de tubería (D_i) se retorna su longitud (L_i), pérdida de carga (HF_i) y el número de salidas que posee (N_i).

Diseñador de tubería principal

El diseño de la tubería principal consiste en dimensionar las tuberías que alimentan el gasto demandado en cada inicio de secundaria, considerando la demanda crítica aquella ruta en la que se requiera mayor energía (Esto es, mayor pérdida de carga) para abastecer la sección de riego. La aplicación propuesta realiza el diseño en función de la velocidad permisible, dicha velocidad debe estar en el rango de 0.5 a 2.5 m/s. Para realizar el proceso de diseño se sigue el siguiente flujo de trabajo.

1. Se obtienen los datos de entrada para el diseño. En función de los materiales registrados en la base de datos de la aplicación se selecciona el tipo de tubería (material de fabricación) y el diámetro nominal en milímetros. Para cada tramo de tubería a diseñar, se pide el gasto a conducir en litros por segundo (LPS), la longitud en metros (sumar la longitud equivalente en caso de que se tengan pérdidas localizadas en el tramo) y la pendiente en decimal. Una pendiente positiva indica que es ascendente y se suma a la pérdida de carga HF , y una pendiente negativa es descendente, beneficia al flujo y por ende se resta a la HF .
2. Se calcula la velocidad (m/s) y la pérdida de carga (metros de columna de agua) en el tramo. La pérdida de carga se calcula mediante la ecuación 2 y la velocidad mediante la ecuación 9.

$$V = \frac{Q}{A} = \frac{4Q}{\pi D^2} \quad (9)$$

donde,

V: Velocidad del flujo, en m/s;

Q: Gasto, en m³/s;

D: Diámetro interno, en m.

3. Se comprueba que la velocidad se encuentre en el rango permisible 0.3 a 2.5 m/s. Se imprime una etiqueta de estatus, para notificar si el tramo esta correctamente diseñado o se debe rediseñar con un diámetro superior.
4. Se repite el paso 1 al 3 para cada tramo de tubería que se tenga en la red de distribución.
5. Al finalizar el diseño de cada tramo de la ruta crítica de la red de distribución, se tiene la opción de calcular la pérdida de carga total (suma de cada HF de la red) y se recupera la velocidad y el gasto máximo.
6. Finalizar el diseño.

Resultados y Discusión

En esta sección se describen los resultados obtenidos al implementar cada herramienta computacional descrita en la sección anterior. Se discuten sobre los resultados, alcances y limitaciones de la solución planteada. La página de inicio del sitio Web (Figura 1), muestra la bienvenida y cuatro íconos principales que permiten el acceso a cada herramienta. Se tiene acceso a estas mismas herramientas mediante el menú estático de lado izquierdo. Adicionalmente existe un vínculo hacia la página de descripción del proyecto (*About*) y una mas que refiere a la información de contacto (*Contact us*).



Figura 1. Bienvenida a la página principal del sitio WEB.

Conversor universal

El funcionamiento del conversor es sencillo, el usuario en primera instancia selecciona el tipo de medida en la que desea realizar la conversión. Actualmente se tienen los tipos básicos que son de Longitud, Masa, Flujo, Área y Presión. Seguido debe seleccionar la unidad de medida de cual tiene el valor (*unit from*) y a la cual desea convertir (*unit to*). Finalmente utiliza en botón de ejecutar conversión (*execute conversion*). Adicionalmente puede visualizar otras unidades de conversión similares o limpiar la visualización de ser el caso. La finalidad de esta aplicación es proporcionar las conversiones necesarias para poder introducir los datos adecuadamente en las otras aplicaciones. Además, se plantea en etapas posteriores incluir todas las unidades de medida más frecuentemente usadas en el ámbito de la agricultura.

En la figura 2, podemos observar la conversión en la magnitud de flujo, la unidad de medida de origen es litro por hora (LPH) y se desea convertir a litros por segundo (LPS). Al ejecutar la conversión, se obtiene que 100 LPH es igual a 0.0277 LPS. De igual forma se pueden visualizar u ocultar otras equivalencias a 100 LPH.

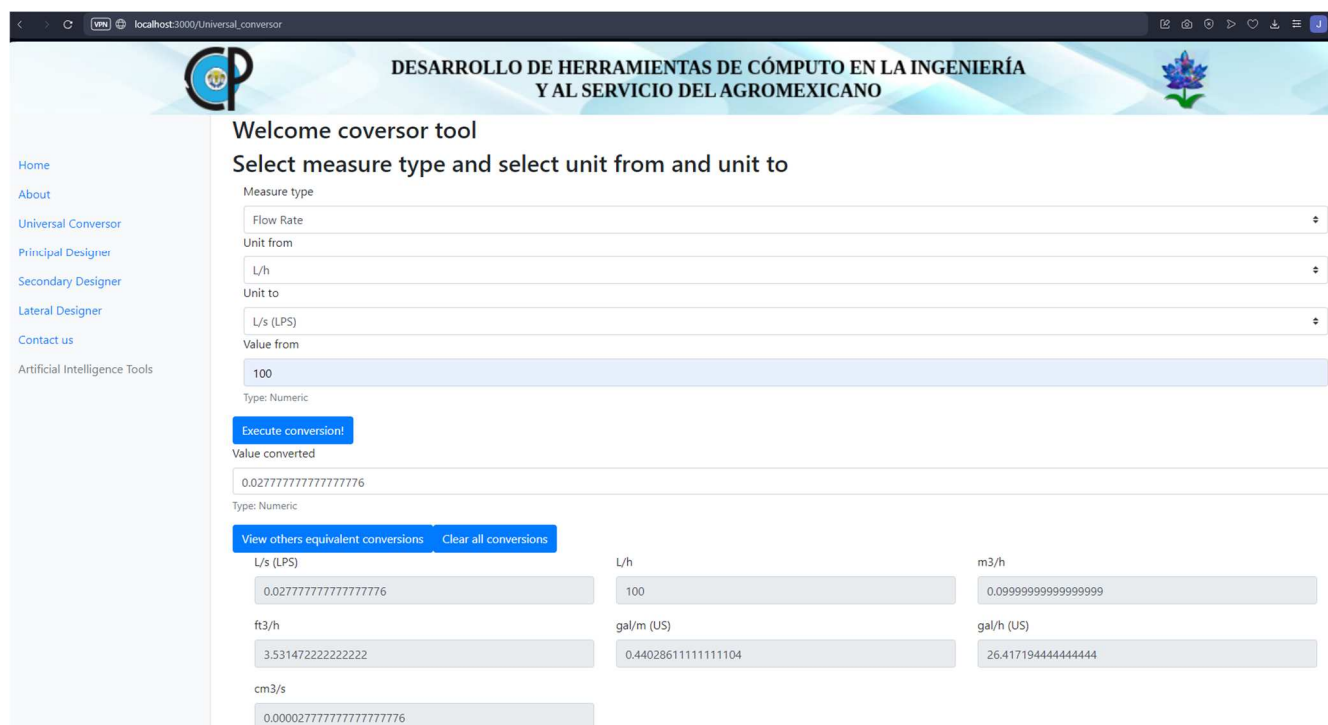


Figura 2. Ejemplo de uso del conversor, conversión de 100 LPH a LPS.

Diseñador de lateral

Frecuentemente es necesario determinar cuál es la longitud máxima permisible de la línea regante. Esto dependerá de muchos factores, pero principalmente del número de salidas, gasto de cada salida y del material de fabricación de lateral. En riego a presión como microaspersión y localizado como el goteo es frecuentemente usado el poliducto negro liso, comúnmente conocido como manguera. Las dimensiones; diámetros y longitud de rollos va depender de la empresa de fabricación y venta. El diseñador de lateral le permite al usuario introducir todos los parámetros para el cálculo de pérdida de carga y retorna una tabla con los cálculos y el número de salidas equivalente a la pérdida de carga permisible.

En la figura 3, se puede observar los datos de entrada que son necesarios para el cálculo de máxima regante. Entrada 1: presión de operación del emisor, 10 m de columna de agua de ejemplo. Entrada 2: La longitud equivalente, en metros por cada emisor o salida. Este se suma a longitud real del lateral, y representa la pérdida de carga localizada. 0.35 m. Entrada 3: gasto del emisor, gasto del micro aspersor o gotero en lph, 1.1 lph. Entrada 4: Espaciamiento constante entre cada emisor, 0.2 m. Entrada 5: Coeficiente de Hazen Williams, depende del material de fabricación de la línea lateral. 140 para poliducto negro. Entrada 6: Pérdida de carga permisible, porcentaje en decimal. 20% se introduce como 0.2 y significa que la pérdida de carga es el 20 % de la presión de operación del emisor, es decir $0.2 \times 10 = 2$ m. Entrada 7: Diámetro interno de la línea lateral en metros, 0.0139 m. Entrada 8: coeficiente m, depende de la fórmula empleada para el cálculo de la pérdida de carga, en este caso para Hazen Williams es 1.852. Adimensional y en la aplicación es informativa, no se puede editar. Entrada 9: Pendiente en decimal, si es positiva es ascendente y se suma a la pérdida de carga HF y si es negativa es descendente y favorece al flujo, es decir se resta a HF. Los valores mencionados en cada entrada, sirven de referencia y son establecidas por default cuando el usuario ingresa a la aplicación. Definidas las entradas, el usuario puede calcular la longitud de la línea lateral mediante el botón en azul.

Figura 3. Datos de entrada para determinar la máxima regante.

Después de ejecutar el cálculo de máxima longitud de lateral, se retorna una tabla con los siguientes datos para cada salida: Número de emisor (consecutivo), Longitud real (m), Longitud equivalente (m), gasto conducido (m^3/s), HF' (pérdida de carga en tubería lisa, m), F (factor de salidas múltiples, adimensional), HF_meter (pérdida de carga en tubería con salidas múltiples, m), pendiente (en decimal), HF+slope_meter (Pérdida de carga corregida por la pendiente, en metros). Esta última columna es la que se compara con la pérdida de carga admisible.

En el ejemplo mostrado, se obtiene como resultado óptimo, 280 salidas (emisores de riego), que equivale a 56 m de longitud máxima de lateral y con una pérdida de carga de 1.98 m, inferior al permisible de 2 metros de columna de agua (ver figura 4). Estos resultados se pueden verificar con un ejemplo de simulación realizada por AuE Riego (AuE Riego, 2024) en su sitio web: cálculo de la longitud máxima del gotero.

258	51.6	141.9	0.000079	4.45289	0.352571	1.569962	0	1.569962
259	51.8	142.45	0.000079	4.50229	0.352564	1.587345	0	1.587345
260	52	143	0.000079	4.552045	0.352556	1.604853	0	1.604853
261	52.2	143.55	0.00008	4.602156	0.352549	1.622486	0	1.622486
262	52.4	144.1	0.00008	4.652623	0.352542	1.640244	0	1.640244
263	52.6	144.65	0.00008	4.703448	0.352535	1.658128	0	1.658128
264	52.8	145.2	0.000081	4.754633	0.352527	1.676138	0	1.676138
265	53	145.75	0.000081	4.806178	0.35252	1.694274	0	1.694274
266	53.2	146.3	0.000081	4.858084	0.352513	1.712538	0	1.712538
267	53.4	146.85	0.000082	4.910353	0.352506	1.730929	0	1.730929
268	53.6	147.4	0.000082	4.962986	0.352499	1.749447	0	1.749447
269	53.8	147.95	0.000082	5.015983	0.352492	1.768094	0	1.768094
270	54	148.5	0.000083	5.069347	0.352485	1.786869	0	1.786869
271	54.2	149.05	0.000083	5.123078	0.352478	1.805774	0	1.805774
272	54.4	149.6	0.000083	5.177178	0.352471	1.824807	0	1.824807
273	54.6	150.15	0.000083	5.231647	0.352465	1.843971	0	1.843971
274	54.8	150.7	0.000084	5.286487	0.352458	1.863265	0	1.863265
275	55	151.25	0.000084	5.341699	0.352451	1.882689	0	1.882689
276	55.2	151.8	0.000084	5.397284	0.352445	1.902244	0	1.902244
277	55.4	152.35	0.000085	5.453243	0.352438	1.921931	0	1.921931
278	55.6	152.9	0.000085	5.509578	0.352432	1.94175	0	1.94175
279	55.8	153.45	0.000085	5.566289	0.352425	1.961701	0	1.961701
280	56	154	0.000086	5.623378	0.352419	1.981784	0	1.981784
281	56.2	154.55	0.000086	5.680846	0.352412	2.002001	0	2.002001

Figura 4. Cálculo de la máxima longitud de lateral o regante en riego localizado.

Diseñador de una línea secundaria o tubería porta lateral

El diseñador de tubería secundaria permite dimensionar la tubería que va abastecer todas las líneas laterales de una sección de riego. Le permite al usuario realizar el diseño óptimo de sus tuberías con el tipo de tubería y los diámetros registrado en la base de datos de la aplicación. Actualmente se tienen en base de datos diámetros para tuberías de PVC cédula 40 y RD26 (EMSA, 2024; CRESCO, 2024), y diámetros para tuberías de aluminio con 5 mm de espesor (UPV, 2024).

El manejo de la aplicación es sencillo, la idea es que el usuario diseñe las tuberías por secciones o unidad de riego. En la parte superior puede encontrar tres opciones que le permite administrar el diseño en su totalidad: Conteo de tuberías (debe haber al menos una sección diseñada), "Reset" (le permite limpiar toda la aplicación, es decir borrar y reiniciar el proceso), y "add unit", que permite agregar una nueva unidad o sección de riego a diseñar.

En cada sección o unidad de riego los datos solicitados antes de diseñar se describen a continuación. Entrada 1: Tipo de tubería, una lista desplegable que actualmente muestra PVC_CED40, PVC_RD26 y Aluminum. Entrada 2: ND, número de diámetros a emplear en el diseño. Este debe ser al menos 1. Si $ND > 1$, pero solo existe un diámetro que satisface las necesidades hidráulicas, se enviará un mensaje de alerta y se retorna los valores para el único diámetro que resulta del diseño. Si no existe ninguna tubería (dado de alta en el catálogo seleccionado), se retorna un mensaje para revisar los datos de entrada de la sección o elegir otro catálogo de tuberías como entrada 1. Entrada 3: Longitud de la tubería secundaria a

diseñar en metros, debe sumarse la longitud equivalente en caso de existir perdidas de carga localizada sobre el tramo. Entrada 4: Caudal en cada salida (qs), en litros por hora (LPH). Esto es equivalente al gasto que demanda cada línea lateral de riego. Entrada 5: Distancia a la primera salida (S0), en metros. Entrada 6: Distancia constante entre cada salida (Se), en metros. Entrada 7: Pérdida de carga permisible (HFp) en metros, frecuentemente calculado como el porcentaje de presión de operación del emisor (10-20%). Entrada 8: En el sentido estricto es una salida, debido a que es una etiqueta que permitirá la comunicación con el usuario. En esta etiqueta se visualizará el estatus del diseño y los errores ocurridos durante el proceso.

Cada sección o unidad a diseñar cuenta con tres acciones (botones para ejecutar un script). El primero permite diseñar propiamente la sección con los datos de entrada previamente validados por la aplicación. El segundo es para limpiar los datos de entrada en la sección y el tercero permite eliminar dicha sección. El usuario puede agregar hasta 20 secciones en un diseño, si se requiere más es conveniente que reinicie el proceso y empiece con las secciones 20+1.

En un ejemplo hipotético se tiene riego por microaspersión, en un marco de plantación de 6x6 m, una lateral de riego porta 6 aspersores de 75 lph. En la Figura 5 se puede visualizar el diseño de una tubería secundaria de 63 metros de longitud, 450 lph cada salida, 3 m a la primera salida, 6 m entre cada salida, pérdida de carga permisible de 1.5 m. En una tubería RD26 y dos diámetros en el telescopiado; el diseño resulta que el único diámetro óptimo es de 32 mm y se envía un mensaje de alerta porque es el más pequeño registrado del catálogo y por tal motivo no se puede ejecutar el telescopiado. La pérdida de carga obtenida sobre la tubería de salidas múltiples es de 0.93 m y es menor al permisible, es por ello que se envió en la etiqueta el estatus de correcto/OK.

Figura 5. Diseño de una tubería secundaria de 63 m de longitud y 450 lph de demanda en cada salida de lateral de riego.

En la Figura 6, podemos analizar y visualizar el diseño de 3 secciones de riego hipotéticas. Están con diferentes requerimientos hidráulicos e incluso diferente material de tubería. La idea es mostrar que la aplicación diseña y administra a nivel de secciones de riego y los cálculos, y validaciones se llevan a cabo de manera independiente.

DESIGN OF SECONDARY PIPE, SECTION 1

PVC_RD26 | 1 | 63 | 450 | 3 | 6 | 1.5

Enter the number of diameters to be used, minimum 1 | Enter length in meter | Enter flow rate of one outlet, unit LPH | Enter distance to first outlet, unit: meter | Enter the constant distance between the outlets, unit: meter | Enter permissible pressure loss, unit: meter

Calculate | Clear data | Delete section

RESULTS OF THE DESIGN PIPE, SECTION 1

PVC_RD26 | 32 | 63 | 11 | 0.9327759164900719

Type pipe | Nominal diameter pipe, mm | Length pipe, meter | Number outlets, integer | Pressure loss, meter

DESIGN OF SECONDARY PIPE, SECTION 2

PVC_RD26 | 3 | 150 | 900 | 3 | 6 | 1.0

Enter the number of diameters to be used, minimum 1 | Enter length in meter | Enter flow rate of one outlet, unit LPH | Enter distance to first outlet, unit: meter | Enter the constant distance between the outlets, unit: meter | Enter permissible pressure loss, unit: meter

Calculate | Clear data | Delete section

RESULTS OF THE DESIGN PIPE, SECTION 2

PVC_RD26 | 75 | 45 | 8 | 0.035986378780330494

Type pipe | Nominal diameter pipe, mm | Length pipe, meter | Number outlets, integer | Pressure loss, meter

PVC_RD26 | 64 | 36 | 6 | 0.051001441303733006

Type pipe | Nominal diameter pipe, mm | Length pipe, meter | Number outlets, integer | Pressure loss, meter

PVC_RD26 | 50 | 69 | 11 | 0.692523995503898

Type pipe | Nominal diameter pipe, mm | Length pipe, meter | Number outlets, integer | Pressure loss, meter

DESIGN OF SECONDARY PIPE, SECTION 3

Aluminum | 2 | 80 | 1000 | 2.5 | 5 | 1.5

Enter the number of diameters to be used, minimum 1 | Enter length in meter | Enter flow rate of one outlet, unit LPH | Enter distance to first outlet, unit: meter | Enter the constant distance between the outlets, unit: meter | Enter permissible pressure loss, unit: meter

Calculate | Clear data | Delete section

RESULTS OF THE DESIGN PIPE, SECTION 3

Aluminum | 70 | 7.5 | 2 | 0.0032363752868418433

Type pipe | Nominal diameter pipe, mm | Length pipe, meter | Number outlets, integer | Pressure loss, meter

Aluminum | 65 | 72.5 | 14 | 1.3103655058008257

Type pipe | Nominal diameter pipe, mm | Length pipe, meter | Number outlets, integer | Pressure loss, meter

Figura 6. Diseño de tuberías secundarias en diferentes secciones, para diferentes materiales y demandas de riego.

Finalmente, en la Figura 7 se puede apreciar la cuantificación de las tuberías que resultaron del diseño de las unidades de la Figura 6. Se puede observar que separa las tuberías en función del tipo de material y luego en función del diámetro nominal o comercial. Es importante mencionar que se contempla un margen debido al pegado o acoplado de las tuberías, es por ello que se menciona una longitud ajustada (10-25 %) y finalmente ajusta al número de tramos de 6 m a adquirir para llevar a cabo la instalación del proyecto de riego.

RESULTS OF THE DESIGN PIPE, SECTION 3

Aluminum | 70 | 7.5 | 2 | 0.0032363752868418433

Type pipe | Nominal diameter pipe, mm | Length pipe, meter | Number outlets, integer | Pressure loss, meter

Aluminum | 65 | 72.5 | 14 | 1.3103655058008257

Type pipe | Nominal diameter pipe, mm | Length pipe, meter | Number outlets, integer | Pressure loss, meter

Here you can see summarize all types pipes, diameters, real and adjust lengths.

PVC_RD26 PIPE NOMINAL DIAMETER: 32	TOTAL LENGTH: 63 METERS	ADJUST LENGTH: 13 6-meter sections
PVC_RD26 PIPE NOMINAL DIAMETER: 50	TOTAL LENGTH: 69 METERS	ADJUST LENGTH: 14 6-meter sections
PVC_RD26 PIPE NOMINAL DIAMETER: 64	TOTAL LENGTH: 36 METERS	ADJUST LENGTH: 8 6-meter sections
PVC_RD26 PIPE NOMINAL DIAMETER: 75	TOTAL LENGTH: 45 METERS	ADJUST LENGTH: 9 6-meter sections
Aluminum PIPE NOMINAL DIAMETER: 65	TOTAL LENGTH: 72.5 METERS	ADJUST LENGTH: 15 6-meter sections
Aluminum PIPE NOMINAL DIAMETER: 70	TOTAL LENGTH: 7.5 METERS	ADJUST LENGTH: 2 6-meter sections

Figura 7. Cuantificación de las tuberías secundarias que resultan del diseño de las n secciones de riego.

Diseñador de tubería principal

El diseño gráfico de la herramienta computacional propuesta permite que su uso sea sencillo y muy intuitivo para el usuario. En la Figura 8, se puede observar el menú principal y las

principales salidas generales que se obtienen de la app de diseño de la línea principal. Existen tres opciones principales: 1. Calcular la *pérdida de carga total* (HFt) en toda la línea principal, es decir suma las pérdidas de carga HF de todas las secciones del espacio de trabajo actual. 2. *Reset*, esta opción permite limpiar el espacio de trabajo, borra todas las secciones añadidas. 3. *Add section*, le permite al usuario agregar una nueva sección para diseñar. Se entiende por sección un tramo de la tubería principal que se desea diseñar, los tramos pueden ir variando por el flujo que van repartiendo o por los cambios en la línea de conducción como lo son curvas y otros elementos propios de la condición del predio. Entrada 1: Presión inicial en metros. Se refiere a la presión al inicio de la tubería principal, es una referencia que nos permitirá saber cuánto disminuye la presión después de recorrer toda la línea principal diseñada. Salida 1: HFt, es la pérdida de carga total en metros. Resulta de sumar todas las pérdidas de carga de todas las secciones añadidas al espacio de trabajo. Salida 2: Presión al final de línea principal, en metros. Resulta de restar la presión de inicio menos la pérdida de carga total, nos permitirá saber cuanto equivale la presión de entrega al inicio de la tubería secundaria. Salida 3: Recupera el flujo máximo en la red diseñada en m^3/s . Salida 4: Recupera la velocidad máxima en la red diseñada, en m/s.



Figura 8. Opciones principales de la herramienta computacional para el diseño de la tubería principal.

Después de agregar una sección a diseñar, se despliega las siguientes entradas y salidas del diseño. Entrada 1: Se muestra un menú desplegable para seleccionar el tipo de tubería, es decir el material de fabricación. Actualmente se tienen registrados: PVC RD26, PVC CÉDULA 40, ALUMINIO, PVC CLASE 5, PVC CLASE 7 Y PVC CLASE 10. Entrada 2: Se muestra un menú con los diámetros nominales o comerciales registrados en la base de datos de la aplicación (cada diámetro nominal está asociado a un diámetro interno, según los datos de los manuales anexos en la bibliografía). El rango va desde 50 mm hasta 650 mm. Entrada 3: El flujo que va conducir la tubería principal en el tramo que se está diseñando, en litros por segundo (LPS). Entrada 4: Longitud del tramo a diseñar, en metros. Entrada 5: Pendiente en decimal, si es positiva es ascendente y si es negativa es descendente en consecuencia es a favor del flujo y se resta a la HF obtenida en la sección. Salida 1: Velocidad del flujo en el tramo diseñado, en m/s. Salida 2: HF, pérdida de carga en metros de columna de agua. Resulta de aplicar la formula 2, con los parámetros definidos en la sección a diseñar. Salida 3: Es una etiqueta que permite visualizar los mensajes de error o en su caso la confirmación de que la tubería seleccionada satisface las necesidades hidráulicas del tramo. En caso de que la velocidad no se encuentre en el rango óptimo [0.5 – 2.5 m/s] se manda una ventana de alerta al usuario para que seleccione un nuevo diámetro de tubería. En caso de que se selecciona una tubería que no tiene registros dentro del catálogo, se enviará un mensaje de alerta para seleccionar un diámetro válido. Es necesario mencionar que cada entrada tiene una validación específica, es decir no se pueden introducir caracteres o valores mayores a 1 en caso de la pendiente.

Para cada sección agregada en el espacio de trabajo se tienen tres opciones, similares al diseñador de tubería secundaria. Opción 1: Calcular, realiza la validación de los campos de entrada y ejecuta los cálculos para la sección. Opción 2: Limpiar, permite borrar los datos de los campos de entrada para la actual sección, esto le permite al usuario empezar de nuevo el diseño con nuevos valores de entrada. Opción 3: Eliminar la sección, si una selección por alguna razón no forma parte de la red principal a diseñar se elimina. Esto debido a que, si éste se encuentra visible y con estatus OK, se toma en cuenta para la suma de las HF's. En la obtención de la pérdida total de carga (HfT), solo se toman en cuenta aquellas secciones que se encuentran con el estatus de OK, en caso contrario se ignora dicho tramo.

En la Figura 9, se puede analizar el diseño de una línea principal. En la primera sección se diseña un tramo de 100 m que conducirá 32 lps. En la sección 2, la demanda a conducir disminuye a 13 lps en una longitud de 56 metros. Finalmente, en la sección 3, la línea principal conducirá 8 lps en una longitud de 34 m. Luego de realizar la selección de los diámetros óptimos para cada sección, se obtuvieron los siguientes diámetros: 150 mm PVC Clase 7 (Sección 1), 100 mm PVC Clase 7 (Sección 2) y 75 mm PVC RD26 (Sección 3). La pérdida de carga total en la línea principal es de 4.47 m. Si se tiene al inicio de la red una presión de 35 metros, con el recorrido en la red de distribución, se entregará en la salida (inicio de secundarias) una presión de 30.53 m. Se puede observar que la velocidad máxima en la red es de 1.83 m/s, esta dentro del rango permisible. Se puede concluir que el diseño se desarrolló adecuadamente.

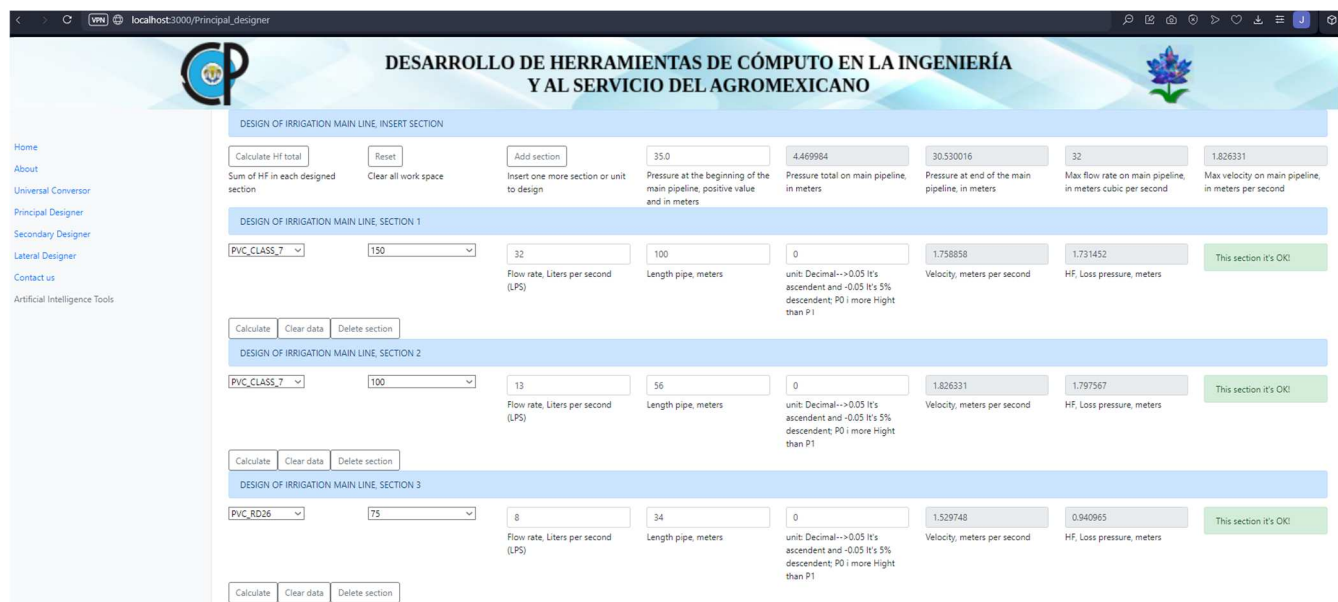


Figura 9. Ejemplo de diseño de una línea de conducción empleando la herramienta computacional "Diseñador de principal".

Conclusiones

En función de los resultados obtenidos en el desarrollo de cuatro aplicaciones se puede concluir que se logró automatizar cuatro procedimientos de interés en la ingeniería hidráulica. Se destaca el uso de la computación, en específico la programación para obtener soluciones a problemas que requieren cálculos complejos para hallar una solución óptima. Las nuevas tecnologías de desarrollo de *software* como Python y JavaScript están muy desarrolladas y su

integración nos permite brindar diseños de páginas Web dinámicas y capaces de ejecutar cálculos matemáticos de interés en la ingeniería. Este trabajo plantea una base y un primer acercamiento a la posibilidad de crear un sistema Web complejo con amplia gama de aplicaciones, incluidas las nuevas tecnologías de inteligencia artificial para resolver problemas específicos en el ámbito de la agricultura en México. Este proyecto se encuentra en su fase 1, es decir en servidor local, en la fase 2 se alojará en un servidor comercial para que el acceso a ella se pueda realizar desde diferentes partes del mundo.

Referencias Bibliográficas

- Alphagroup. 2024. Conversion Table. The following conversion table will provide a conversion between SI, metric, USA & Imperial systems. Disponible en: <https://www.alphagroup.co.th/wp-content/uploads/2019/08/Conversion-Tables.pdf>
- CRESCO. 2024. Catálogo De Tuberías Cresco. Disponible en: <http://www.trevisa.com.mx/100+pdf/PDF%20web%20PVC/tuberiahidraulica.pdf>
- EMSA, Sistema de tubería. 2024. Tubería De Pvc Cédula 40. Disponible en: https://dia.unison.mx/wp-content/uploads/2018/05/SALIDA_HID_WC.pdf
- Engineers Edge, LLC. 2024. Hazen-Williams Coefficients Table. Disponible en: https://www.engineersedge.com/fluid_flow/hazenwilliams_coefficients_table_13220.htm
- Ingenium by Marco. 2024. Aqua V2024 - Calculo De La Tubería Lateral De Un Sistema De Riego. Disponible en: https://world-ingenium.blogspot.com/2024/04/maximizandola-eficiencia-en-el-riego.html?fbclid=IwY2xjawFmQ7NleHRuA2FibQIxMAABHZIt7NrZHqN5kccUJ1u7q4nji nehvz3R-krG1T5sFpvxZRbl9aZyCCW0uMw_aem_WgUmps3r0vEM9xhuF8PJSQ
- IRRICAD, IRRIGATION DESIGN SOFTWARE. 2024. IRRICAD, designs you can trust. Disponible en: <https://www.irricad.com>
- Jiménez, Sergio. 2021. Pérdida De Carga Por Fricción En "Tuberías Con Salidas Múltiples". Disponible en: <https://www.hidraulicafacil.com.mx/2021/03/perdida-de-carga-por-friccion-en.html>.
- Jiménez, Sergio y Ramírez, Candido. 2018. Diseño Hidráulico De Tuberías Con Salidas Múltiples Mediante Métodos Numéricos. IV CONGRESO NACIONAL DE RIEGO Y DRENAJE COMEII 2018. Disponible en: <https://www.riego.mx/congresos/comeii2018/assets/ponencias/extenso/18057.pdf>
- RIVULIS. 2024. WCADI BY RIVULIS, DISEÑO DE RIEGO MÁS RÁPIDO Y FÁCIL. Disponible en: <https://es.rivulis.com/wcadi/>

United States, Environmental Protection Agency. 2024. EPANET, Application for Modeling Drinking Water Distribution Systems. Disponible en: <https://www.epa.gov/water-research/epanet>

UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE VALENCIA (UPV). 2024. Tuberías De Aluminio. DIÁMETROS, ESPEORES Y PRESIONES. Disponible en: <http://www.euita.upv.es/dira/Imagenes/files/Hidra/Aluminio.pdf>

Válvulas y termoplásticos industriales, S.A de C.V. 2024. Tubería Hidráulica De Pvc - Serie Inglesa Cementar – Rd26. Disponible en: <https://www.tuberiadepvc.com.mx/Tuberia-Hidraulica-de-PVC-Serie-Inglesa-Cementar.html>