

SAGARPA



SECRETARÍA DE AGRICULTURA,
GANADERÍA, DESARROLLO RURAL,
PESCA Y ALIMENTACIÓN

**“SECRETARÍA DE AGRICULTURA,
GANADERÍA,
DESARROLLO RURAL,
PESCA Y ALIMENTACIÓN”**

Subsecretaría de Desarrollo Rural
Dirección General de Apoyos para el Desarrollo Rural”

Líneas de Conducción por gravedad.



LÍNEAS DE CONDUCCIÓN POR GRAVEDAD



1. INTRODUCCIÓN

Dentro de un sistema de abastecimiento de agua, se le llama línea de conducción, al conjunto integrado por tuberías, y dispositivos de control, que permiten el transporte del agua -en condiciones adecuadas de calidad, cantidad y presión- desde la fuente de abastecimiento, hasta el sitio donde será distribuida.

La pérdida de presión es la principal consideración en el diseño de cualquier tubería. Aunque existen innumerables fuentes de pérdida de presión a lo largo de las tuberías, éstas se pueden dividir para su estudio en pérdidas

mayores o de fricción y en pérdidas menores o localizadas.

Las líneas de conducción de agua se calculan siguiendo varios procedimientos existentes. Su diseño en general consiste en definir el diámetro en función de las pérdidas de carga, a partir del gasto que se conducirá y el material de la tubería. Las pérdidas de carga, se obtienen aplicando las ecuaciones de Darcy-Weisbach, Scobey, Manning o Hazen-Williams. Se pueden presentar dos condiciones de operación de la tubería, por bombeo o gravedad. Pero para los propósitos del presente documento solo se analiza la presión dada por la gravedad, es decir, por la diferencia de elevación. En el caso de tuberías sujetas a la presión de la gravedad se pueden presentar dos situaciones:

- a) Donde la diferencia de alturas apenas es suficiente, para proporcionar una presión adecuada para el funcionamiento, el problema consiste en conservar la energía usando tubos de diámetros grandes para tener mínimas pérdidas de carga por fricción y evitar bombeo de auxilio.
- b) Cuando la diferencia de altura entre la fuente de abastecimiento y la ubicación del sitio a abastecer, es tal que la presión proporcionada es mayor a la requerida, el problema radica en reducir las ganancias de presión, lo cual se logra seleccionando tuberías de diámetros más pequeños.

2. OBJETIVO

Proporcionar las bases de diseño de las líneas de conducción y establecer los requisitos mínimos de seguridad que deben cubrir, así como la selección de los materiales apropiados y obras de control para su manejo y los lineamientos generales para la instalación en las líneas de conducción de agua.

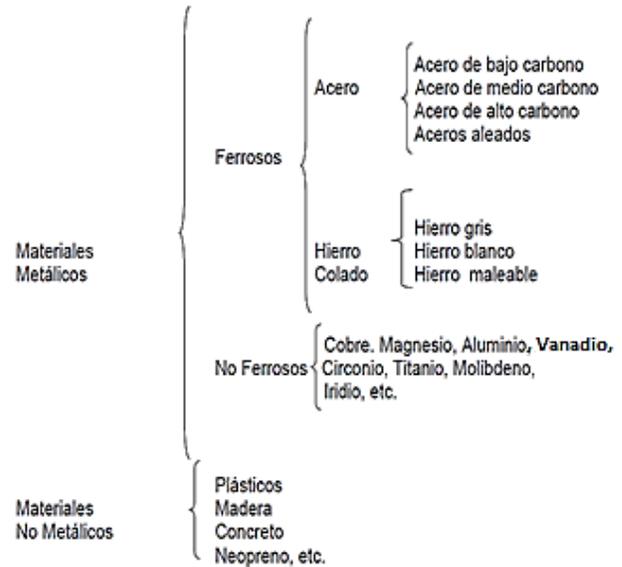
3. DATOS GENERALES DE DISEÑO

Los datos generales a recabar para el diseño de una línea de conducción, son, entre otros, la localización de las fuentes de abastecimiento y las descargas, el clima, los medios de comunicación al lugar y usos del agua.

Para el diseño de una línea de conducción se requiere de un plano topográfico, mostrando plantas y elevaciones. Para lo que es necesario definir, mediante una selección de alternativas, la ruta sobre la que se efectuará el trazo de la línea. Para definir cotas, distancias y posibles afectaciones, sobre el derecho de vía propuesto, el proyectista podrá ayudarse de las cartas topográficas del INEGI o de información geográfica de Google Earth.

4. SISTEMA DE CONDUCCIÓN

La amplia gama de materiales usados industrialmente, para el sistema de conducción, se resumen en la tabla de clasificación, que a continuación se presenta:



5. SELECCIÓN DE TUBERÍA

La selección de materiales de tubería para cualquier aplicación, debe estar basada en las recomendaciones de códigos aplicables, estándares dimensionales y especificaciones de material establecidas. Sin embargo, el ingeniero de diseño debe considerar también los requerimientos de servicio y parámetros tales como: resistencia mecánica, resistencia a la corrosión, facilidad de instalación, costo y vida útil. El criterio económico estará determinado por el tipo de tubería, su diámetro y el espesor.

6. COMPONENTES DE UNA LÍNEA DE CONDUCCIÓN

6.1 MATERIALES

En la fabricación de tuberías utilizadas en los sistemas de agua potable, los materiales de mayor uso son: Fierro Galvanizado (FoGo), fibrocemento, concreto pre esforzado, cloruro

de polivinilo (PVC), hierro dúctil, y polietileno de alta densidad.

6.2 PIEZAS ESPECIALES

- Juntas
- Carretes
- Extremidades
- Tees
- Cruces
- Codos
- Reducciones
- Coples
- Taponos y tapas

6.3 VÁLVULAS

- Válvula eliminadora de aire
- Válvula de admisión y expulsión de aire
- Válvula de no retorno
- Válvula de seccionamiento

6.4 MEDIOS PARA CONTROL DE TRANSITORIOS

- Torre de oscilación.
- Válvulas reguladoras de presión.
- Caja rompedora de presión.

7. GASTO DE DISEÑO

El gasto con el que se diseña la línea de conducción, se obtiene en función del gasto de diseño requerido, así como del gasto disponible que pueden proporcionar las fuentes de abastecimiento. Es importante conocer los gastos que pueden proporcionar las fuentes de

abastecimiento, sus niveles del agua y el tipo de fuente (galería filtrante, manantial, presa, etc).

Para evitar los trabajos de un constante cierre y apertura de válvulas, en una conducción por gravedad, su funcionamiento deberá cubrir las 24 horas del día. Es por ello que al existir una sola descarga, el gasto de ésta es igual al gasto máximo diario.

Si el gasto disponible de la fuente es menor al gasto máximo diario que requiere la población, es necesario buscar otra fuente de abastecimiento complementaria para proporcionar la diferencia faltante.

Tomando en cuenta que el tiempo de funcionamiento es de 24 horas, el gasto faltante se obtiene con

$$Q = \frac{24}{N} (Q_{md} - Q_{disponible}) \quad (1)$$

Donde:

Q_{md} = gasto máximo diario, lps.

$Q_{disponible}$ = Gasto disponible, lps.

N = tiempo de funcionamiento del gasto Q faltante, hr.

En una línea de conducción por gravedad, donde el gasto de la fuente de abastecimiento sea mayor o igual al gasto máximo horario, no es necesario construir un tanque de amortiguamiento o regulación.

En este caso la línea de conducción se diseña para el gasto máximo horario, considerando a ésta como si fuera una línea de alimentación,

que abastece del tanque de amortiguamiento a la red de distribución.

Cuando el gasto de la fuente de abastecimiento es menor al gasto máximo horario, es necesario construir un tanque de amortiguamiento o regulación.

8. HIDRÁULICA DE TUBERÍAS

8.1 ECUACIONES PARA FLUJO PERMANENTE

Las ecuaciones fundamentales de la hidráulica que aquí se aplican son dos, la de continuidad y la de energía, que se presentan para el caso de un flujo permanente.

8.2 FLUJO UNIFORME EN TUBERÍAS

En flujo uniforme, las características del flujo (presión y velocidad media) permanecen constantes en el espacio y en el tiempo. Por consiguiente, es el tipo de flujo más fácil de analizar y sus ecuaciones se utilizan para el diseño de sistemas de tuberías. Como la velocidad no está cambiando, el fluido no está siendo acelerado. De acuerdo con la segunda ley de Newton:

$$\sum F_x = \sum Q = 0 \quad (2)$$

Es decir, la ecuación de continuidad estable con la suma de gastos en un nodo es igual a cero, observando si entran o salen del nodo.

La ecuación de la energía, aplicada en los recorridos, expresa que el flujo de agua en

tuberías está siempre acompañado de pérdidas de presión debidas a la fricción del agua con las paredes de la tubería; por lo que requiere un análisis especial y detallado. En la Figura 1, se representa un flujo permanente y uniforme en una sección transversal constante, con lo que las velocidades medias en las secciones 1 y 2, (v_1 y v_2), son iguales. Por otro lado, se considera que a lo largo de este movimiento líquido no existen transiciones locales, de manera que las pérdidas menores serán nulas. Teniendo en cuenta estas dos consideraciones, el teorema de Bernoulli entre los puntos 1 y 2, se puede establecer como sigue:

$$Z_1 + \frac{P_1}{\gamma} + \frac{V_1^2}{2g} = Z_2 + \frac{P_2}{\gamma} + \frac{V_2^2}{2g} + \sum h_f \quad (3)$$

Donde

Z_i = Carga de posición (m), también considerada carga hidrostática.

P_i = Presión estática a la que está sometido el fluido, kg/m^2 .

γ = Peso específico del fluido, kg/m^3 .

V_i = Velocidad, m/s.

g = Aceleración gravitatoria $9,81 \text{ m}/\text{s}^2$.

$\sum h_f$ Son las pérdidas de energía que existen en el recorrido, más las pérdidas locales de energía provocadas por dispositivos como válvulas, codos, reducciones, etc., en m.



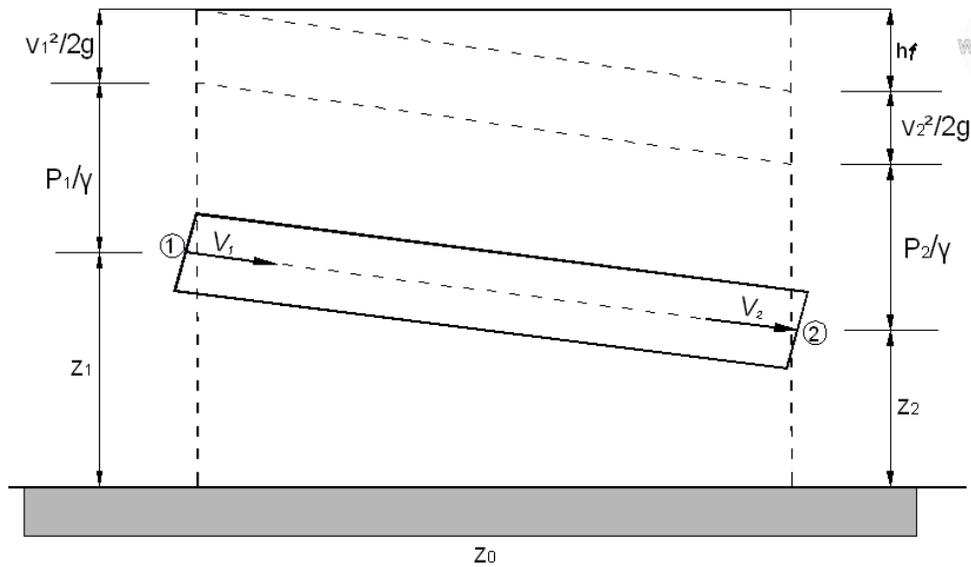


Figura 1. Flujo permanente y uniforme para la deducción del teorema de Bernoulli.

9. PÉRDIDAS DE ENERGÍA POR FRICCIÓN EN LA CONDUCCIÓN

Para calcular las pérdidas de energía por fricción en la conducción, entre otras ecuaciones, existen las de Darcy-Weisbach, Hazen - Williams, y Manning, de las cuales se recomienda utilizar la primera, por su carácter general y mejor modelación del fenómeno.

La ecuación de Darcy-Weisbach se expresa:

$$h_f = f \frac{L}{D} \frac{v^2}{2g} \quad (4)$$

Donde:

f = Coeficiente de pérdidas.

L y D = Longitud y diámetro interior del tubo, m.

V = Velocidad media del flujo, m/s.

h_f = Pérdida de energía por fricción, m.

El flujo en régimen turbulento normalmente se presenta en los conductos de sistemas de agua potable. En este régimen de flujo, f depende del número de Reynolds y de la rugosidad relativa ϵ/D ; sus valores se obtienen aplicando la siguiente ecuación de Colebrook-White.

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = -2 \log \left(\frac{2.51}{Re \sqrt{f}} + \frac{\epsilon}{3.71D} \right) \quad (5)$$

Donde:

$$Re = \frac{V \cdot D}{\nu} \quad (6)$$

ϵ = Rugosidad absoluta de la pared interior del tubo expresado en mm.

ν = Viscosidad cinemática del fluido, m^2/s .

Ecuación modificada de Colebrook-White

Se han efectuado varios estudios para obtener expresiones explícitas para el cálculo del coeficiente de pérdidas f , ajustado a los resultados de la ecuación de Colebrook - White y poder así aprovechar las ventajas que tiene ésta.

$$f = \frac{0.25}{\left[\log \left(\frac{\varepsilon/D}{3.71} + \frac{G}{Re^T} \right) \right]^2} \quad (7)$$

Tiene ventajas sobre otras presentaciones explícitas para calcular el valor de f .

Donde:

$G = 4.555$ y $T = 0.8764$ para $4000 \leq Re \leq 10^5$.

$G = 6.732$ y $T = 0.9104$ para $10^5 \leq Re \leq 3 \times 10^6$.

$G = 8.982$ y $T = 0.93$ para $3 \times 10^6 \leq Re \leq 10^8$.

Sustituyendo la ecuación 7 en la de Darcy-Weisbach, se tiene:

$$hf = \frac{0.203L}{gD^5 \left[\log \left(\frac{\varepsilon/D}{3.71} + \frac{G}{Re^T} \right) \right]^2} Q^2 \quad (8)$$

Con lo que se calculan las pérdidas de energía por fricción en una conducción con los mismos resultados de las ecuaciones de Darcy-Weisbach y de Colebrook-White.

10. PÉRDIDAS LOCALES

Las pérdidas locales de energía se generan en distancias relativamente cortas, por accesorios

de la conducción tales como codos, tes, cruces, válvulas, entre otras (Cuadro 1).

Cuadro 1. Valores de k para diferentes accesorios.

Accesorio	Coficiente k
1.-De depósito a tubería (pérdida a la entrada)	
Conexión a ras de la pared	0.50
Tubería entrante	1.0
Conexión abocinada	0.05
2.- De tubería a depósito (pérdida a la salida)	1
3.-Contracción brusca	kc
4.-Codos y tes	
Codo de 45°	0.35 a 0.45
Codo de 90°	0.50 a 0.75
Tes	1.50 a 2.00

Para calcular las pérdidas locales de energía se utiliza la expresión general:

$$hx = kx \frac{v^2}{2g} \quad (9)$$

Donde:

kx = Coeficiente de pérdida que depende del accesorio x que lo genera.

g = Gravedad terrestre, 9.81 m/s^2 .

V = Velocidad media del flujo, m.

En el caso de un ensanchamiento brusco (Cuadro 2) el valor de k es igual a 1.0 y el valor de V de la Ecuación 6 se sustituye por la diferencia de velocidades existente en los tubos aguas arriba y aguas abajo del ensanchamiento.



Cuadro 2. Valores de k para una contracción brusca.

D1/D2	K_c
1.20	0.08
1.40	0.17
1.60	0.26
1.80	0.34
2.00	0.37
2.50	0.41
3.00	0.43
4.00	0.45
5.00	0.46

11. DISEÑO DE LÍNEAS DE CONDUCCIÓN POR GRAVEDAD

Las conducciones por gravedad pueden ser líneas o redes de conducción.

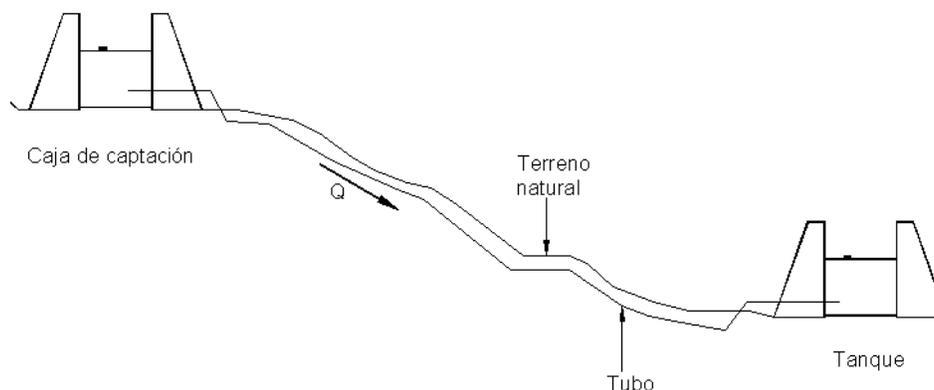


Figura 2. Esquema de una línea de conducción por gravedad.

En principio, de la fórmula de pérdidas de carga para una $h=H_{disp}$ y un Q dados, podría despejarse un valor teórico para el diámetro, que daría la pérdida de carga H_{disp} . Ese diámetro seguramente no corresponderá a un diámetro comercial. Para salvar el inconveniente, se propone construir una parte de la conducción

Para una línea de conducción por gravedad (Figura 2), se presenta un modelo para encontrar el tubo necesario que transporta al gasto de diseño sobre una topografía que proporciona un desnivel favorable hacia el punto de descarga. En este tipo de conducción se tiene un desnivel disponible (H_{dis}), dado entre las cargas hidráulicas existentes en el inicio (en la fuente) y el final (la descarga) de la conducción. El problema consiste entonces en determinar el diámetro del tubo, que conducirá el gasto deseado Q con una pérdida de carga en la conducción igual a H_{disp} .

con el diámetro inmediato inferior comercial y el resto con el diámetro inmediato superior; de forma tal que la pérdida de carga total en los dos tramos diera el valor de H_{disp} .

Para definir los diámetros inmediato inferior e inmediato superior al teórico, bastaría calcular

por la Ecuación 8, la pérdida de carga en la conducción para varios pares de diámetros comerciales vecinos, hasta encontrar que para el menor diámetro se obtenga una pérdida de carga mayor que H_{disp} y para el mayor diámetro se obtenga una pérdida de carga menor que H_{disp} .

12. PRESIONES MÁXIMAS

Se recomienda que la presión estática máxima no sea mayor al 80% de la presión nominal de trabajo de las tuberías a emplearse, debiendo ser compatibles con las presiones de servicio de los accesorios y válvulas a emplearse.

13. ESTACIONES REDUCTORAS DE PRESIÓN.

Si en el perfil aparecen depresiones muy profundas, puede ser económico colocar depósitos intermedios llamados cajas rompedoras de presión, que tienen por objeto fragmentar la línea piezométrica, reducir la altura de presión y establecer un nuevo nivel estático que dará lugar a tuberías de menor espesor y por consiguiente, de menor costo (Figura 3).

Su empleo se recomienda también cuando la calidad de las tuberías, válvulas y accesorios de la tubería no permiten soportar altas presiones, así como mantener las presiones máximas de servicio dentro de una red de distribución.

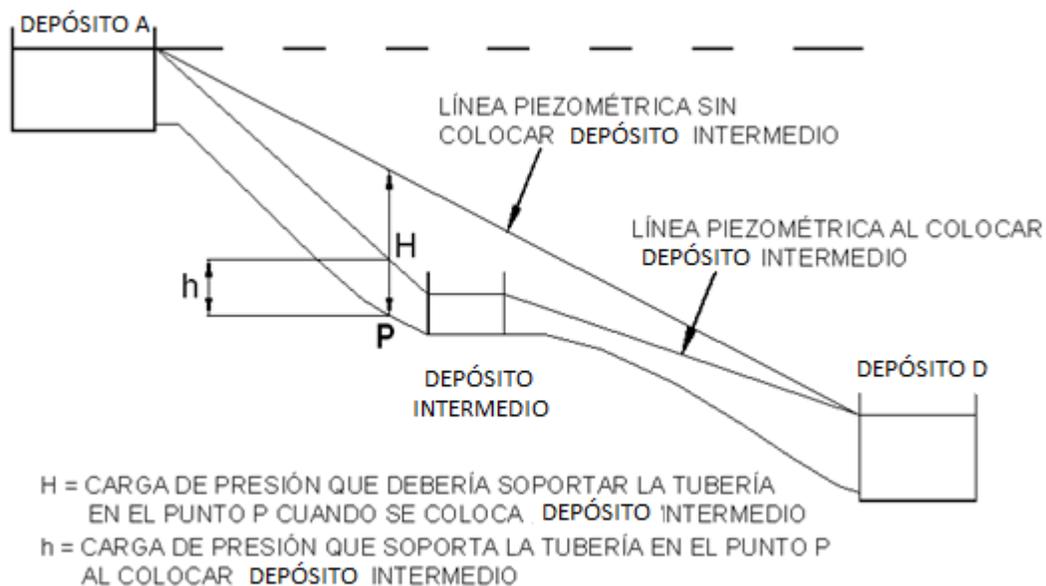


Figura 3. Depósito intermedio o caja rompedora de presión para fragmentar la línea piezométrica.

14. VÁLVULAS, USO Y UBICACIÓN

Cada vez que la conducción se pone en funcionamiento, es necesario expulsar el aire de la tubería para permitir que el tubo pueda llenarse de agua. En ocasiones, esto no es necesario ya que el perfil puede ser tal, que la tubería puede mantenerse llena.

Cuando la conducción se encuentra llena requiere desaguar, por ejemplo, para realizar alguna reparación de la tubería, es necesario abrir las válvulas de desagüe colocadas en los puntos bajos de la tubería, y en los puntos altos es preciso admitir aire a la tubería.

Para que se logre el llenado y el vaciado de la tubería, se colocan válvulas de admisión y

expulsión de aire, las cuales hacen la doble función de expulsar el aire cuando la tubería se está llenando, o admitir aire a la tubería cuando ésta se está vaciando.

Se recomienda colocar válvulas eliminadoras de aire y válvulas de admisión y expulsión de aire en todos los puntos altos de la conducción y en los tramos largos sensiblemente planos a distancias de 400 a 800 m. Las válvulas de desagüe se colocan en los puntos bajos.

El diámetro necesario de la válvula de admisión y expulsión de aire se obtiene con base en las curvas de funcionamiento de las válvulas (Figuras 4 y 5).

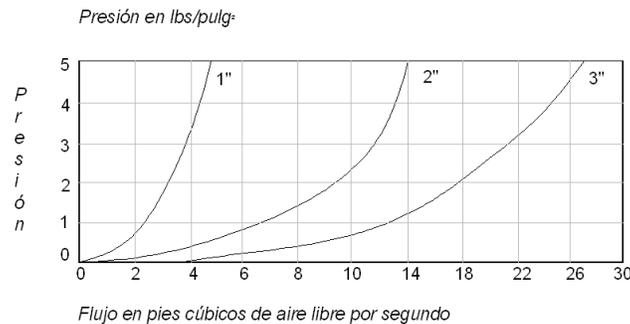


Figura 4. Curvas de funcionamiento de válvulas de admisión y expulsión de aire con orificio de 1'' a 3''.

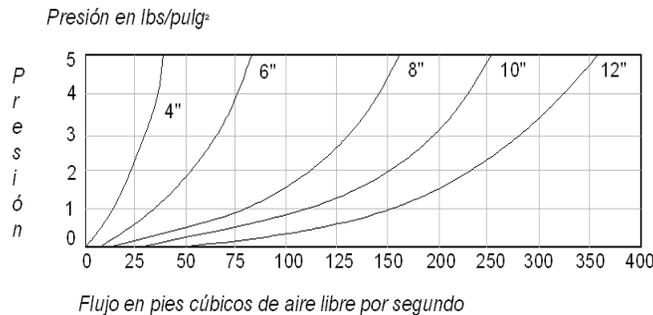


Figura 5. Curvas de funcionamiento de válvulas de admisión y expulsión de aire con orificio de 4'' a 12''.

El diámetro de expulsión se obtiene con el *gasto de llenado* de la tubería y una presión máxima de aire en la válvula de 0.14 Pa¹.

El diámetro de admisión se obtiene con base al gasto máximo de vaciado, considerando una depresión máxima admisible de 0.35 Pa y un adecuado tiempo de vaciado. Además, debe tomarse en cuenta la presión mínima permitida por el material del tubo donde se coloca la válvula.

15. LLENADO PROGRAMADO EN LA LÍNEA DE CONDUCCIÓN

El llenado programado considera la evacuación del aire existente en las tuberías, a través de válvulas de expulsión ubicadas a lo largo de la conducción en los sitios donde el aire puede quedar atrapado. La expulsión genera sobrepresiones, debidas a la alteración súbita que sufre el gasto con que se llena la conducción al cerrarse las válvulas. Estas válvulas cierran cuando el agua llega hasta ellas y empuja el flotador contra el orificio.

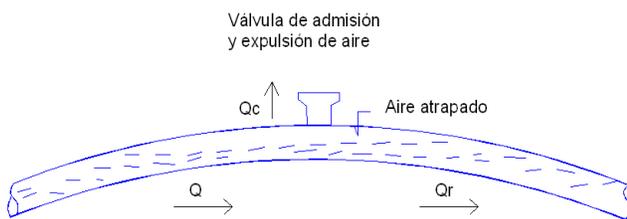


Figura 6. Llenado de la conducción.

¹ 1Pa = 0.000145 lbs/pulg²

16. VACIADO PROGRAMADO EN LA LÍNEA DE CONDUCCIÓN

El vaciado programado considera la entrada de aire por medio de válvulas de admisión que eviten depresiones en la conducción; la ubicación de éstas deberá ser en los puntos altos del trazo. El vaciado se efectúa mediante válvulas de compuerta ubicadas en las partes bajas y en todo sitio donde sea posible el estancamiento de agua a lo largo de la conducción (Figura 7).

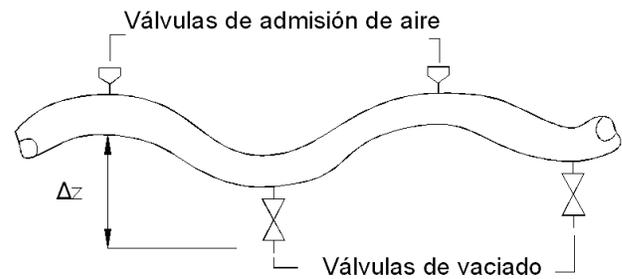


Figura 7. Localización de las válvulas de vaciado en una conducción.

17. ANCLAJE

En el diseño de líneas de aducción colocadas sobre soportes, se presentan con frecuencia cambios de dirección tanto horizontal como vertical, los que provocan un desequilibrio entre las distintas fuerzas actuantes que intentarán desplazar la tubería. A fin de evitar estos posibles desplazamientos, se diseñan anclajes especiales, capaces de absorber el desequilibrio de las fuerzas que puedan ocurrir, en cualquier cambio, en el trazado de la tubería. En la Figura 8 se ven dos tipos de anclajes en T y en terminación.

En tuberías de aducción² deben preverse los anclajes de seguridad necesarios, ya sea de hormigón (ciclópeo, simple o armado) o metálicos, en los siguientes casos:

- a) En tuberías expuestas a la intemperie que requieran estar apoyadas en soportes, o adosadas a formaciones naturales de rocas (mediante anclajes metálicos).
- b) En los cambios de dirección tanto horizontales como verticales de tramos enterrados o expuestos, siempre que el cálculo estructural lo justifique



Figura 8. Anclaje en "T" y en codo.

Los anclajes mínimos en sistemas de distribución de agua, se presentan en la Figura 9.

18. TOPOGRAFÍA

Para llevar a cabo el proyecto de una conducción resulta útil apoyarse sobre cartas topográficas del INEGI para estudiar los posibles trazos.

Sobre el trazo de la conducción, será necesario obtener un levantamiento topográfico en planimetría y altimetría, marcando las

elevaciones del terreno natural a cada 20 metros, en los puntos donde existen cambios importantes de la pendiente del terreno y, en los puntos donde cambia el trazo horizontal de la conducción.

Es importante localizar, sobre el trazo, los cruces importantes de la conducción; tales como ríos, arroyos, canales, carreteras, y vías del ferrocarril.

En el proyecto ejecutivo, los planos topográficos deberán contener como mínimo la siguiente información:

- 1) Planta y perfil de la línea, con distancias horizontales y verticales. En el perfil se dibuja la línea de energías a flujo establecido y además las envolventes de energías máximas y mínimas para el flujo transitorio.
- 2) Localizaciones de cambios de dirección, tanto horizontales como verticales.
- 3) Radio de las curvas y longitud de tangentes.
- 4) Localización de estructuras existentes y cercanas que pudieran interferir con la línea de proyecto.
- 5) Interferencia con límites de propiedad, calles y caminos (al centro de línea de dichos caminos), guarniciones y todos los datos pertinentes que ayuden a definir claramente el derecho de vía de la línea, así como posibles afectaciones.

² Tubería de alimentación de un sistema de distribución.

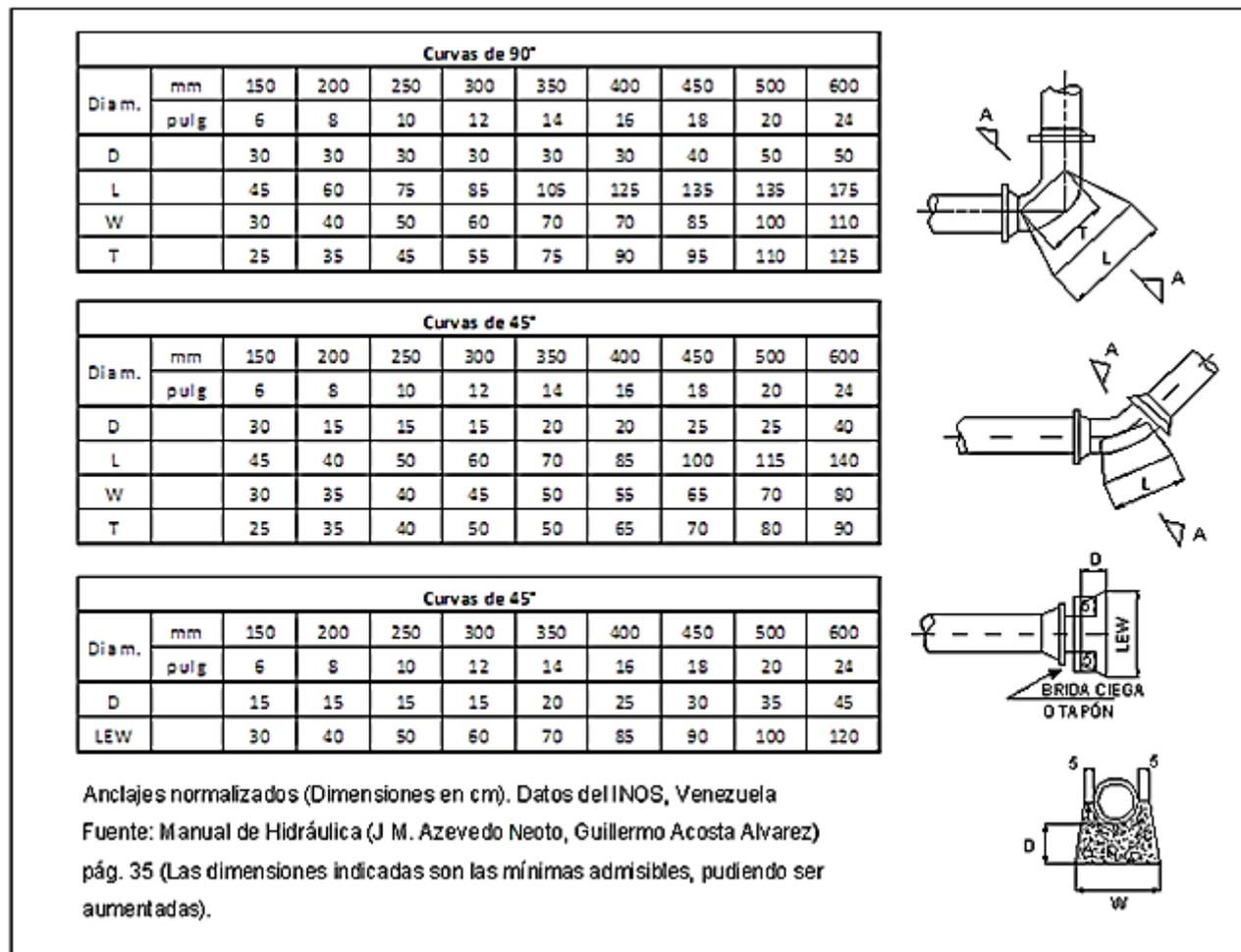


Figura 9. Anclajes mínimos en sistemas de distribución de agua.

19. OBTENCIÓN DE PLANOS A TRAVÉS DE CIVIL CAD.

Para facilitar el dibujo de los planos de una línea de conducción, se puede trabajar con los softwares de AutoCad y CivilCad junto con el Módulo de Redes de Agua Potable.

Cabe mencionar que algunos pasos no se describen en forma detallada en este documento, ya que se explican en el **“Instructivo de Topografía para Obras COUSSA”**.

El módulo de Redes de Agua Potable tiene las capacidades y características siguientes:

- Reconoce automáticamente circuitos dibujados con líneas, introduciendo datos iniciales de diámetro y material de tuberías.
- Balanza automáticamente cargas en nodos distribuyendo gastos en forma proporcional a la longitud de los tramos o de acuerdo a la población alimentada.
- Calcula pérdidas de carga totales por el método de Hazen-Williams, Manning y Darcy-Weisbach, utilizando el método de Cross para

convergencia de iteraciones en circuitos cerrados.

- Genera reportes de tabla de cálculo hidráulico, iteraciones y resultados finales en nodos. Estos reportes se despliegan en la hoja de cálculo DataCalc, que incluye el CivilCad y se puede exportar a formato Excel y texto delimitado por comas.
- Dibuja despiece de cruceros, con la opción de considerar diámetro uniforme en accesorios y tomar en cuenta la dirección del flujo hidráulico.
- Genera cuantificación de piezas especiales en cruceros, produciendo reporte de lista de materiales con descripción y cantidades.

La metodología para facilitar la obtención de planos, utilizando datos que se obtienen de un levantamiento topográfico, realizado con estación total, se explica a continuación:

Importar puntos

Con el CivilCad se establece estilo y tamaño de letra para proceder a importar las coordenadas del levantamiento de la línea de conducción.

En seguida se unen los puntos con “activando el comando *LINE* (línea)” de AutoCad para dibujar la línea de conducción (Figura 10).

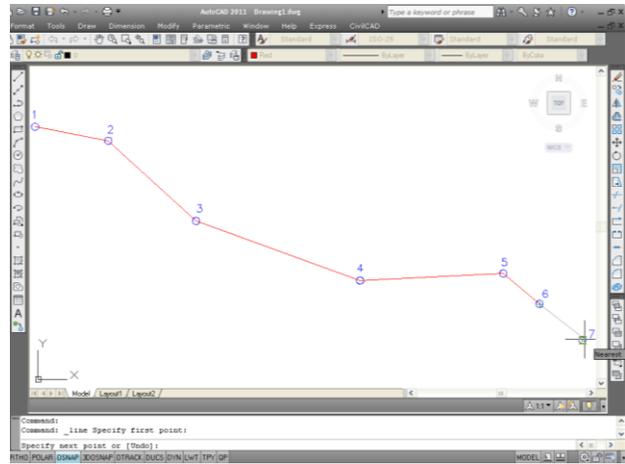


Figura 10. Unión de puntos del levantamiento de la línea de conducción.

Preparar Hoja

Seleccionar tamaño de hoja, formato y escala para determinar los límites del área de trabajo.

CivilCad, Preparar Hoja (Figura 11).

El tamaño de hoja seleccionada que nos proporciona el programa son: A (carta), B (doble carta), C (tabloide), D (24"x36" ó 61x91cm), E (36"x48" ó 91x121cm), también se puede especificar un tamaño concreto de hoja seleccionando la opción "Otros". Se recomienda seleccionar la opción "D", ya que nos configura el tamaño estándar para un plano (Figura 12).

Indicar en el formato horizontal e indicar la escala.

Reconocer circuitos

Generar el dibujo de red identificando la relación entre tuberías y nodos a partir del dibujo esquemático con líneas de AutoCad.

Activar la rutina para reconocer circuitos, como se muestra en la Figura 13 (*CivilCad, Módulos, Redes de agua potable, Circuitos, Reconocer*).

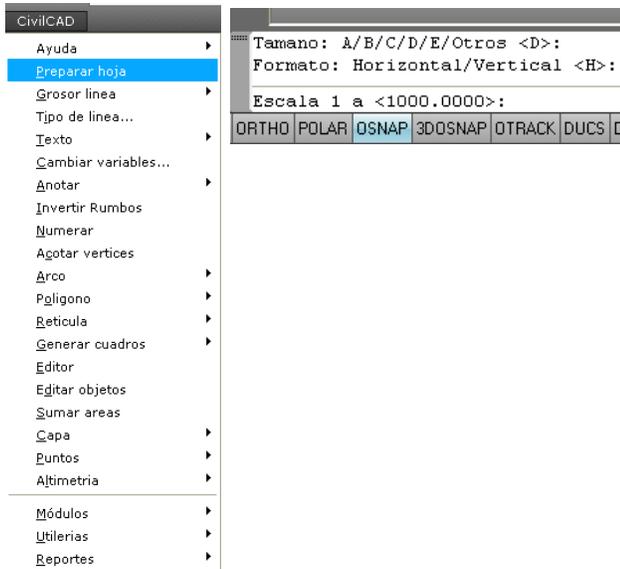


Figura 11. Secuencia para preparar hoja.

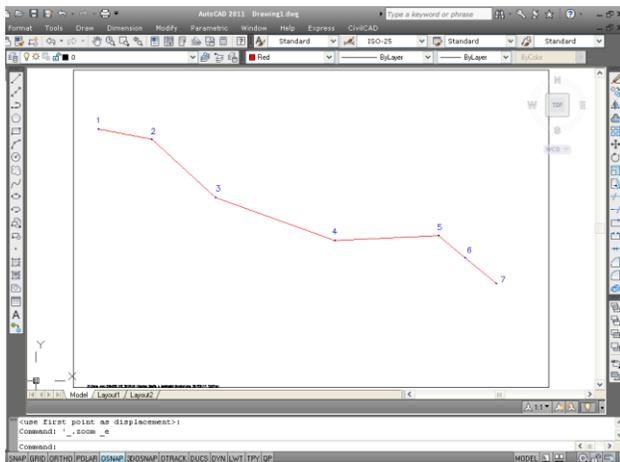


Figura 12. Tamaño de la hoja para el área de trabajo

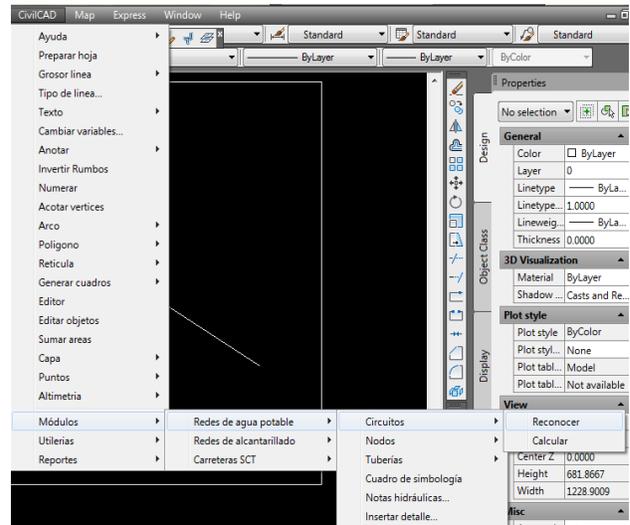


Figura 13. Secuencia para reconocer circuitos.

Seleccionar las líneas que comprende la línea de conducción (Figura 14).

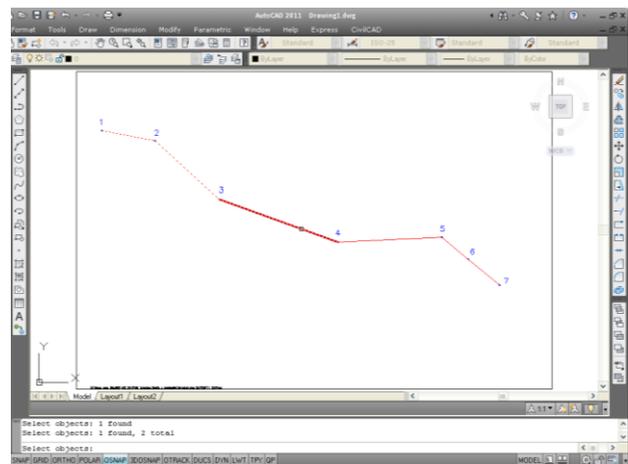


Figura 14. Selección de líneas.

Indicar el diámetro de tubería y material en la caja de diálogo de circuitos (Figura 15).

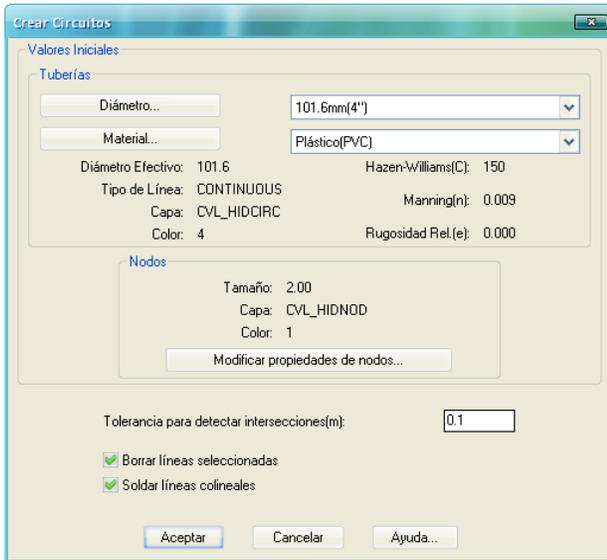


Figura 15. Caja de diálogo para reconocer la red a partir de líneas seleccionadas en AutoCad.

El coeficiente de rugosidad de Manning se indicará de acuerdo al material de la tubería que se utilizará (Cuadro 3).

ε = Coeficiente de rugosidad absoluta (mm).

n_m = Coeficiente de Manning (adimensional).

C_{HW} = Coeficiente de Hazen Williams

Si se utilizan diferentes materiales de tubería deberán indicar los coeficientes de rugosidad con la rutina correspondiente (*Tubería, Indicar datos, Coeficiente de rugosidad*).

Numerar nodos

Asignar número o clave a nodos para que puedan ser referenciados e identificados.

Utilizar la rutina para numerar nodos (*CivilCad, Módulos, Redes de agua potable, Nodos, Numerar*), como se muestra en la Figura 16.

Cuadro 3. Coeficientes de Rugosidad.

Material de Tubería	C_{HW}	n_m	ε (mm)
Policloruro de Polivinilo (PVC)	145	0.008-0.010	0.020
Polietileno (PE)	150	0.007-0.009	0.002
Plástico Corrugado		0.016-0.018	
Asbesto-Cemento	135	0.10-0.012	0.07-0.08
Acero Galvanizado	125	0.009-0.012	0.06-0.08
Aluminio con Conexión Rápida	130	0.015	0.127
Fierro Epóxico	145	0.010	0.028
Fierro Fundido (Nuevo)	130	0.012-0.017	0.25-0.60
Fierro Fundido (15 años)	100		
Concreto (liso)	130	0.011-0.014	0.30-0.50
Concreto (Común)	120	0.015-0.017	0.90-9.00
Fibrocemento	140	0.011-0.012	0.025

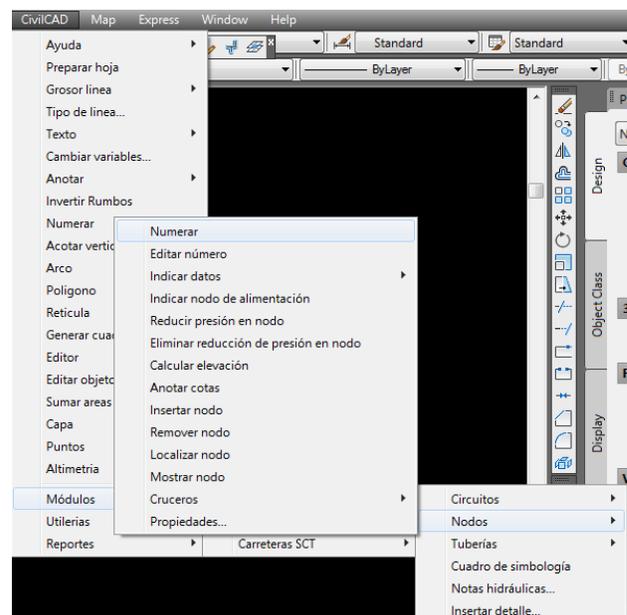


Figura 16. Secuencia para numerar nodos.

Seleccionar la línea e indicar el nodo inicial (Figura 17).

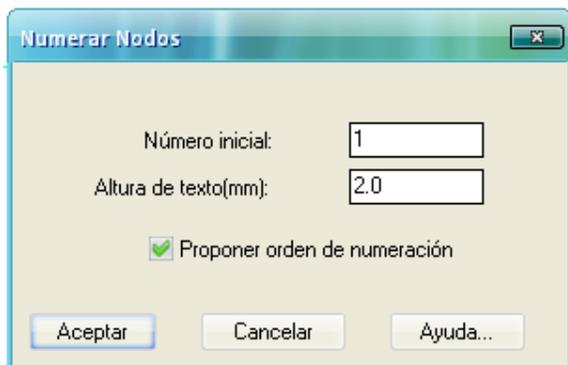


Figura 17. Caja de diálogo para indicar nodo inicial.

En seguida el CivilCad numera los nodos (Figura 18).

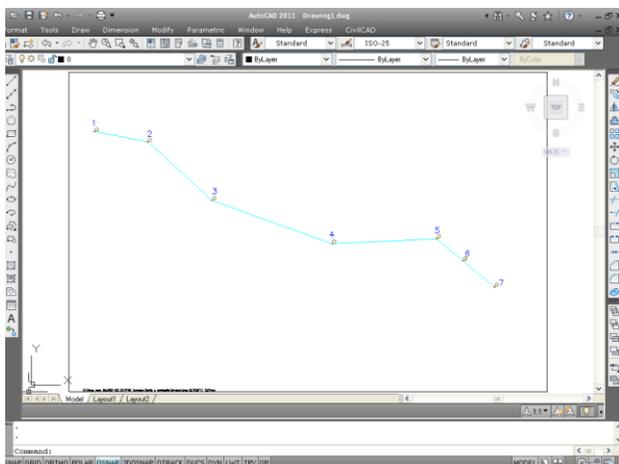


Figura 18. Numeración de nodos.

Triangulación

Unir los puntos XYZ de terreno mediante triangulaciones óptimas para calcular datos de interpolación (Figura 19).

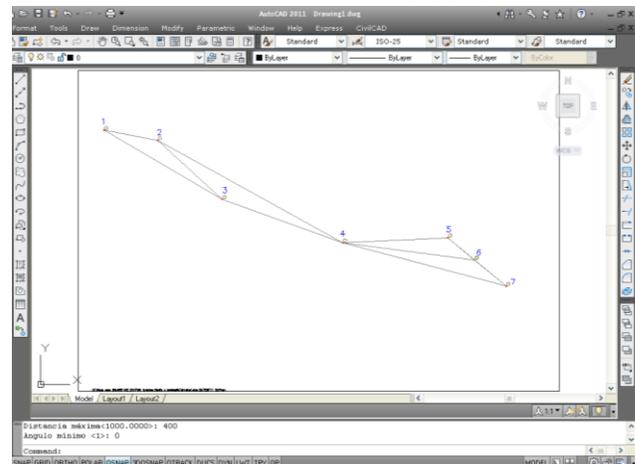


Figura 19. Triangulación.

Calcular elevación de nodos

Obtener la elevación de nodos proyectándolos sobre la triangulación de proyecto o terreno; usamos: *CivilCad, Módulos, Redes de agua potable, Nodos, Calcular elevación* (Figura 20).

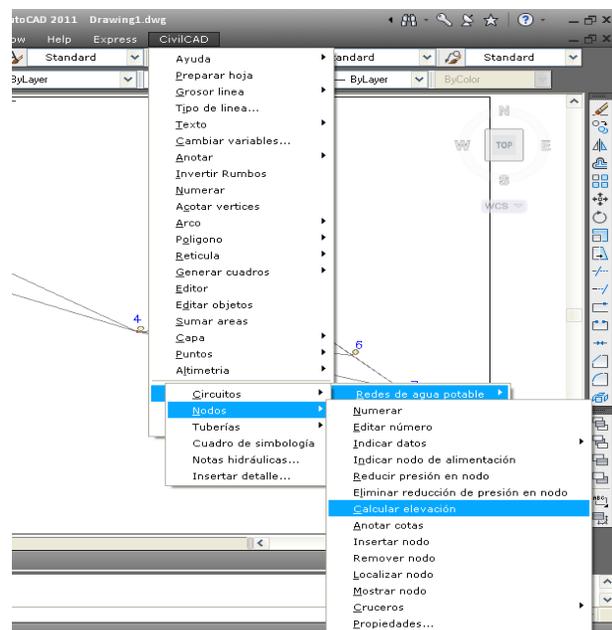


Figura 20. Secuencia para el cálculo de elevaciones en los nodos.

Seleccionar todos los nodos e indicar profundidad con valor igual a 0 (Figura 21).

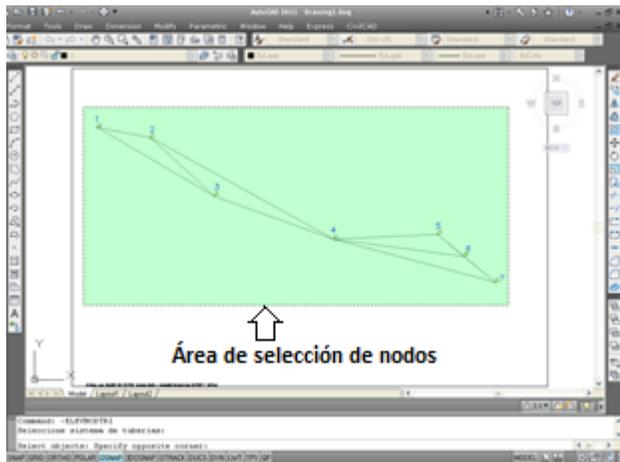


Figura 21. Selección de nodos para calcular la elevación.

La profundidad indicada deberá ser igual a la profundidad de excavación hasta lomo de tubería.

Indicar nodo de alimentación

Establecer el nodo de alimentación principal de la red, indicando datos de caudal de alimentación y presión inicial.

CivilCad, Módulos, Redes de agua potable, Nodos, Indicar nodo de alimentación (Figura 22).

El caudal de alimentación debe calcularse previamente de acuerdo a las demandas de consumo.

La presión inicial en metros columna de agua (m.c.a.) deberá ser dato proporcionado o medido en el lugar.

Indicar el nodo de alimentación (lts/seg) y presión (m), como se muestra en la Figura 23.

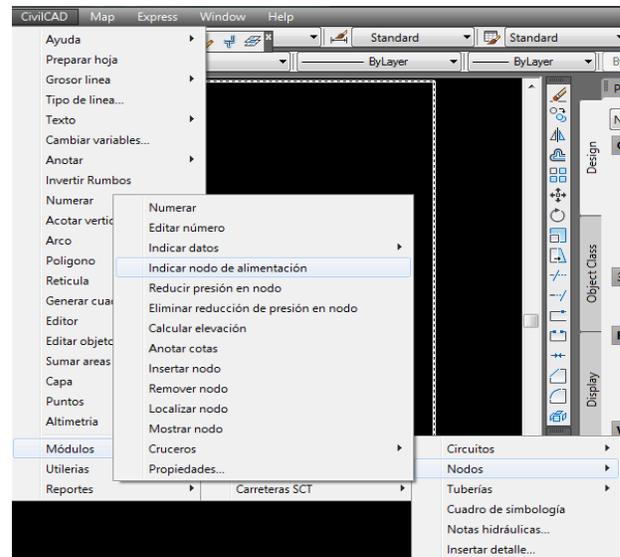


Figura 22. Secuencia para indicar nodo de alimentación.

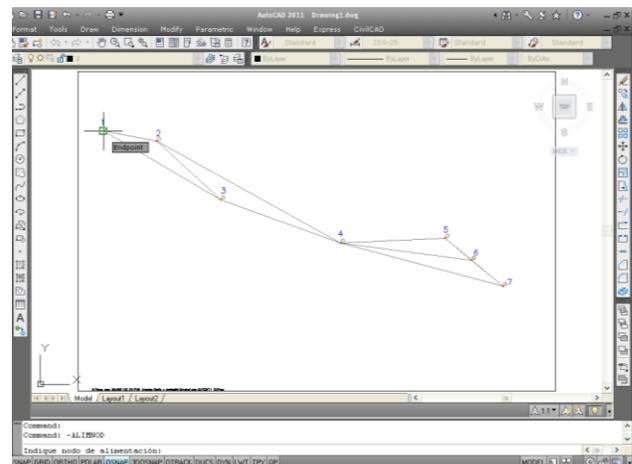


Figura 23. Nodo de alimentación.

Gasto

Modificar el gasto o caudal de nodos de acuerdo a datos de proyecto, usando: *CivilCad, Módulos, Redes de agua potable, Nodos, Indicar datos, Gasto* (Figura 24).

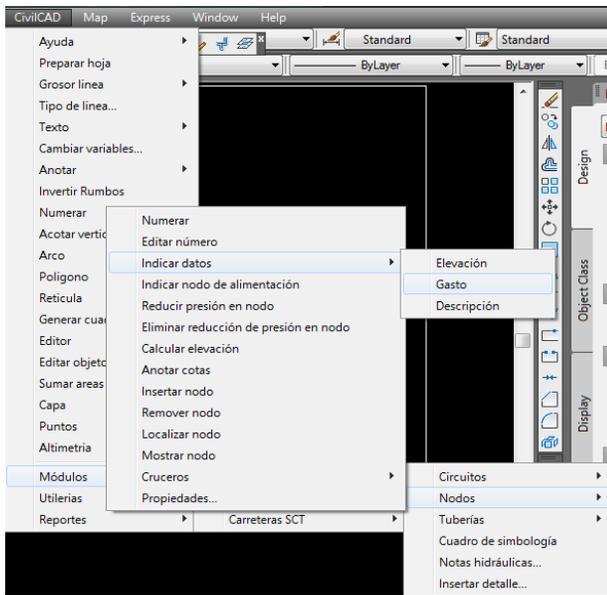


Figura 24. Secuencia para indicar gasto.

El nodo que se selecciona es el último y se indica el gasto que va a llegar al depósito (Figura 25).

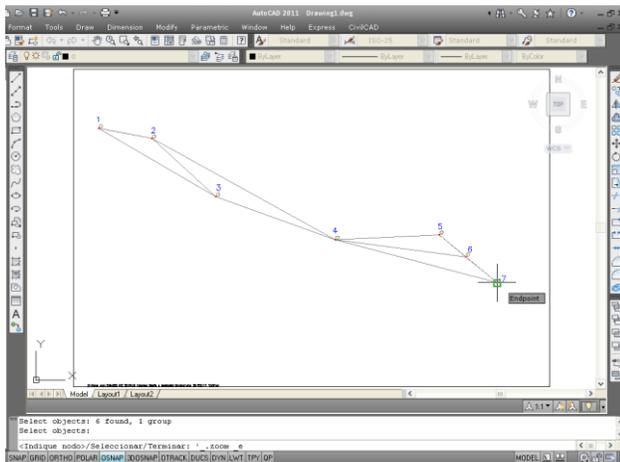


Figura 25. Selección de nodo para indicar gasto.

Diámetro de tubería

En la parte de “reconocer circuitos”, se colocó el diámetro de la tubería, sin embargo pueden existir tramos en la línea de conducción con

diferentes diámetros, de acuerdo al gasto que se vaya a conducir.

El propósito de este paso es introducir el dato del diámetro en tuberías seleccionándolo de la lista. Para ello usamos, *CivilCad, Módulos, Redes de agua potable, Tuberías, Indicar datos, Diámetro* (Figura 26).

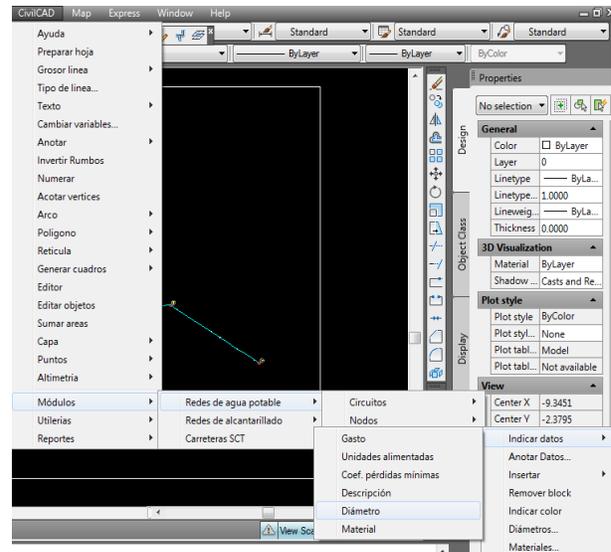


Figura 26. Secuencia para indicar el diámetro en tramos de tubería seleccionada.

Se selecciona la red completa, posteriormente el programa pide indicar los tramos en los que se cambiará el diámetro de la tubería (Figuras 27 y 28).

Una vez seleccionados los tramos donde se cambia el diámetro de la tubería, simplemente se le da *Enter* y nos aparece el siguiente cuadro de diálogo (Figura 29):

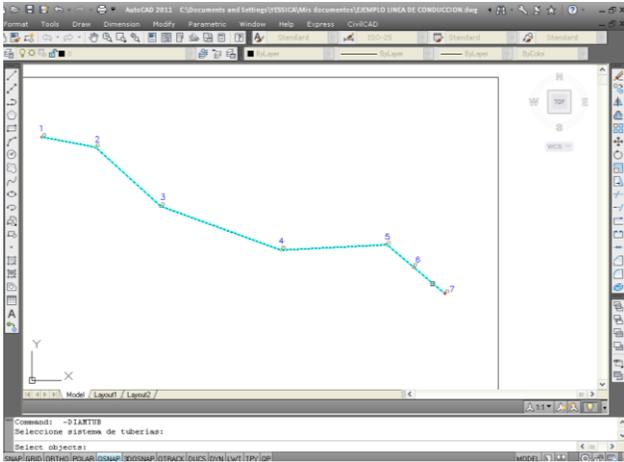


Figura 27. Selección de red completa para introducir nuevo dato de diámetro.

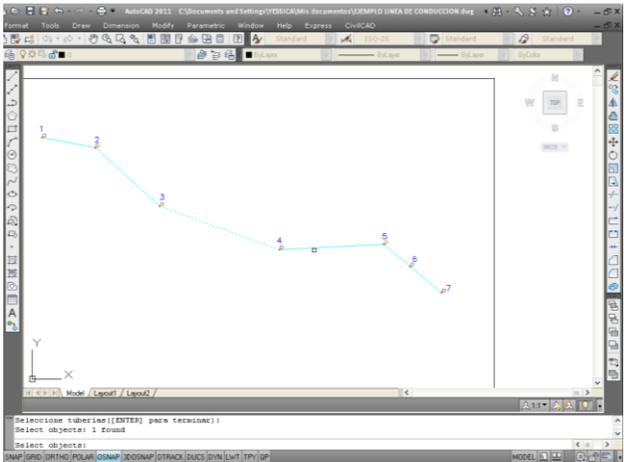


Figura 28. Selección de tramos de tubería para cambio de diámetro.

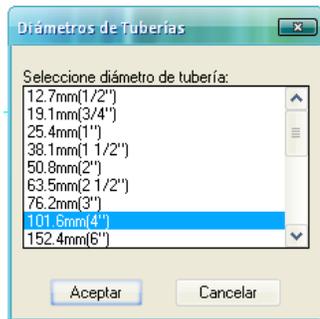


Figura 29. Caja de diálogo para seleccionar diámetro de tuberías.

Material de tubería

Al igual se puede modificar el material del tubo propuesto inicialmente en los diferentes tramos, a través de: *CivilCad, Módulos, Redes de agua potable, Tuberías, Indicar datos, Material* (Figura 30).

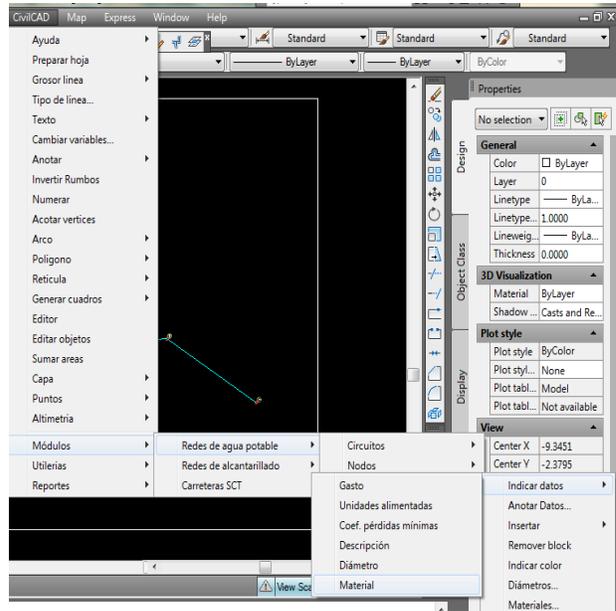


Figura 30. Secuencia para indicar material de la tubería.

Seleccionar toda la red y posteriormente los tramos donde se cambiará el tipo de material de la tubería.

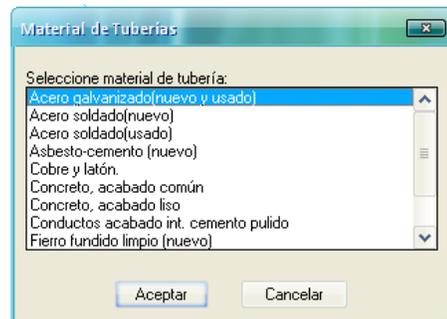


Figura 31. Caja de diálogo para seleccionar material de tubería.

Calcular circuitos

Procesar la información en circuitos para realizar las iteraciones necesarias y calcular resultados en gasto final y velocidad de fluido en tuberías, cotas piezométricas y carga disponible en nodos, tomando en cuenta parámetros de presión y velocidad máxima y mínima, número de iteraciones, aproximación y métodos de cálculo de pérdida de presión, generando opcionalmente reportes de tabla de cálculo, iteraciones y resultados en nodos. Para ello utilizamos: *CivilCad, Módulos, Redes de agua potable, Circuitos, Calcular* (Figura 32).

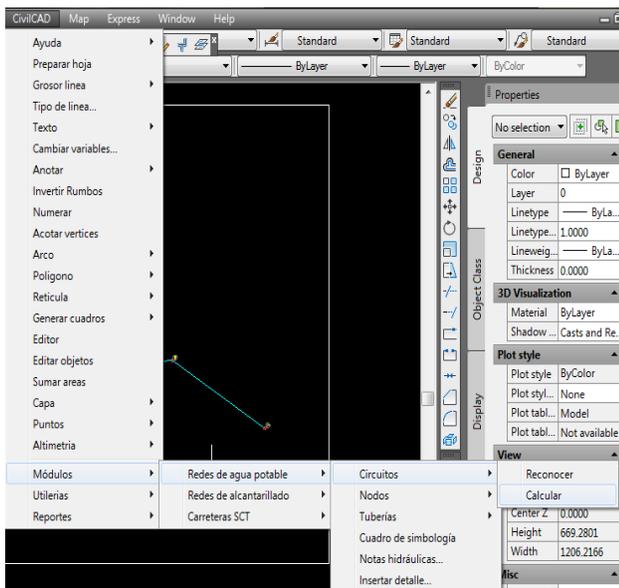


Figura 32. Secuencia para calcular circuitos.

La rutina nos presenta una caja de diálogo, en la que se deberán de anotar los valores de presión y velocidad mínima y máxima permitidos, determinado opcionalmente el nombre del proyecto y autor, los cuales aparecerán en la hoja de cálculo (Figura 33).

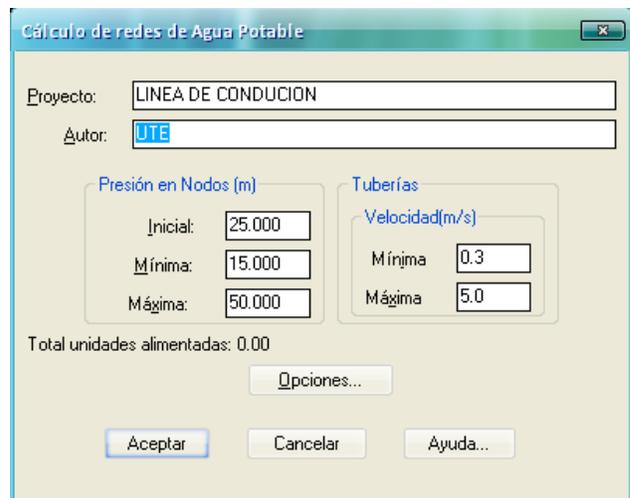


Figura 33. Caja de diálogo para calcular circuitos.

Seleccionar la pestaña de *Opciones* de la caja de diálogo (Figura 34).

La presión inicial, en metros de columna de agua, que se indicó en el nodo de alimentación.

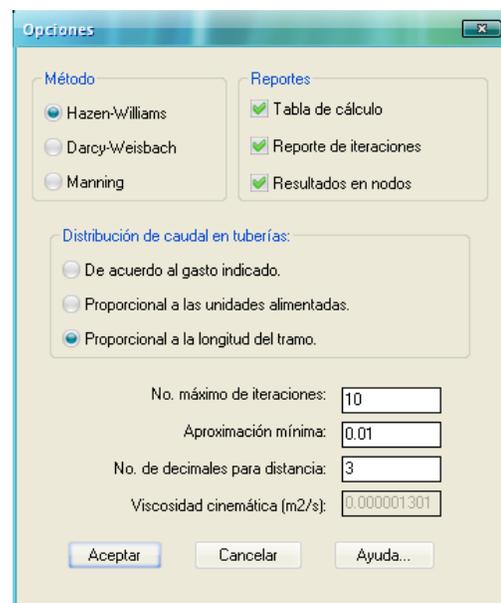


Figura 34. Caja de diálogo de circuitos, para modificar método, reporte y distribución de caudal en tuberías.

En esta caja de diálogo puede indicarse el método que se utilizará para el cálculo de pérdidas de carga por fricción, los tipos de reportes que se generarán, la aproximación mínima y el número máximo de iteraciones que se realizarán para obtener el cálculo de pérdidas de presión en circuitos cerrados.

Además, en dicho cuadro, puede indicarse el número de decimales para datos de distancia que aparecerán en la tabla y la viscosidad cinemática del fluido en caso de haber seleccionado el método de Darcy-Weisbach.

Los criterios para distribución de caudal en tuberías, son los siguientes:

De acuerdo al gasto indicado. En este caso se respetará el gasto indicado en las tuberías, distribuyendo la carga faltante en nodos para que la suma de caudales sea igual a cero. La dirección de flujo de caudal se tomará del nodo con número menor hacia el nodo con número mayor. Si se elige este método no es necesario indicar gasto en nodos, ya que el programa lo calcula automáticamente (Figura 35).

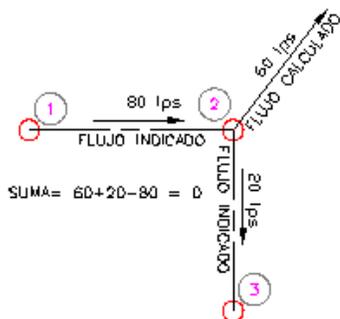


Figura 35. Criterio para distribución de caudal en tuberías de acuerdo al gasto indicado.

Proporcional a las unidades alimentadas. El programa calculará la diferencia entre el caudal de alimentación y la suma de gasto en nodos para realizar una distribución del gasto en tuberías en forma proporcional a la población o unidades que alimenta cada tramo. Esta distribución preliminar se utiliza para calcular el caudal que recibe cada nodo. La distribución final de caudales en tuberías la calculará el programa, de tal manera que la suma de caudales en todos los nodos sea igual a cero (Figura 36).

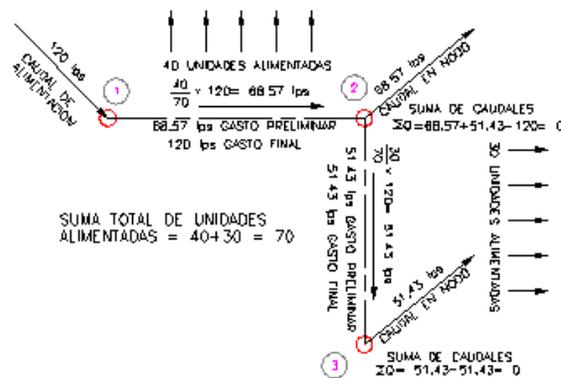


Figura 36. Criterio para distribución de caudal en tuberías proporcional a las unidades alimentadas.

Proporcional a la longitud del tramo. Este criterio de distribución es similar al anterior, solo que en vez de calcular los caudales en forma proporcional a las unidades alimentadas, se calcula en forma proporcional a la longitud de las tuberías. Este método se utiliza cuando no se conoce la población exacta que alimentará cada tramo, suponiendo que a mayor longitud de tramo le corresponde mayor caudal y población que alimentar (Figura 37).

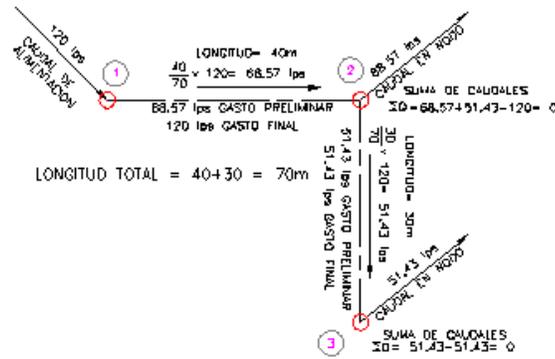


Figura 37. Criterio para distribución de caudal en tuberías proporcional a la longitud del tramo.

El reporte que se genera de acuerdo al método seleccionado, es el siguiente (Figura 38):

TABLA DE CALCULO DE REDES DE DISTRIBUCION DE AGUA POTABLE METODO HARDY/CROSS/HAZEN-WILLIAMS																	
PROYECTO: LINEA DE CONDUCCION		PROYECTISTA: UTE				No. de tramos: 6		No. de nodos: 7									
DESCRIPCION	TRAMO	LONGITUD (m)	DIAMETRO INTERIOR(mm)	DIAMETRO EFECTIVO(mm)	COEF. H-WILLIAMS	GASTO INICIAL(lps)	GASTO FINAL(lps)	VELOCIDAD (m/s)	PERDIDA DE CARGA(m) TUBERIA	PERDIDA DE CARGA(m) ADICIONAL	COTA DE T.N.(m) INICIAL	COTA DE T.N.(m) FINAL	COTA PIEZOMETRICA(m) INICIAL	COTA PIEZOMETRICA(m) FINAL	CARGA DISPONIBLE(m) INICIAL	CARGA DISPONIBLE(m) FINAL	OBSERVACIONES
	1 2	102.275	101.6	101.6	150	9.000	9.000	1.110	1.139	0.000	2888.000	2883.000	2913.000	2911.861	25.000	28.861	
	2 3	163.364	101.6	101.6	150	9.000	9.000	1.110	1.819	0.000	2883.000	22778.000	2911.861	2910.042	28.861	-19867.958	
	3 4	239.685	12.7	12.7	150	9.000	9.000	71.047	66785.456	0.000	22778.000	2773.000	2910.042	-63875.414	-19867.958	-66648.414	
	4 5	197.145	76.2	76.2	150	9.000	9.000	1.974	8.911	0.000	2773.000	2775.000	-63875.414	-63884.325	-66648.414	-66659.325	
	5 6	64.891	76.2	76.2	125	9.000	9.000	1.974	4.111	0.000	2775.000	2768.000	-63884.325	-63888.437	-66659.325	-66656.437	
	6 7	76.770	76.2	76.2	125	9.000	9.000	1.974	4.864	0.000	2768.000	2763.000	-63888.437	-63893.300	-66656.437	-66656.300	

RESULTADOS EN NODOS										
NODO	DESCRIPCION	COTA PIEZ.(m)	COTA T.N.(m)	PRESION(m)	Q (lps)	Q adic.(lps)	Q total (lps)	TRAMOS		
								De	a	Q (lps)
1		2913.000	2888.000	25.000	0.000	-9.000	-9.000	1	2	9.000
										Σ= 9.000
2		2911.861	2883.000	28.861	0.000	0.000	0.000	2	1	-9.000
								2	3	9.000
										Σ= 0.000
3		2910.042	22778.000	-19867.958	0.000	0.000	0.000	3	2	-9.000
								3	4	9.000
										Σ= 0.000
4		-63875.414	2773.000	-66648.414	0.000	0.000	0.000	4	3	-9.000
								4	5	9.000
										Σ= 0.000
5		-63884.325	2775.000	-66659.325	0.000	0.000	0.000	5	4	-9.000
								5	6	9.000
										Σ= 0.000
6		-63888.437	2768.000	-66656.437	0.000	0.000	0.000	6	5	-9.000
								6	7	9.000
										Σ= 0.000
7		-63893.300	2763.000	-66656.300	0.000	9.000	9.000	7	6	-9.000
										Σ= -9.000

Figura 38. Reporte de acuerdo al método de cálculo de pérdidas de carga por fricción.

Insertar piezas especiales

El Módulo de Agua Potable, permite insertar Válvula de corte, Nodo en tubería, Hidrante, Símbolos y Paso a desnivel. Para ello usamos: *CivilCad, Módulos, Redes de agua potable, Tuberías, Insertar, Hidrante* (Figura 39).

Se indica el punto de inserción del hidrante, rotación y escala (Figura 40).

Cuando se inserta alguna pieza especial, es necesario volver a numerar los nodos para que se genere el despiece.



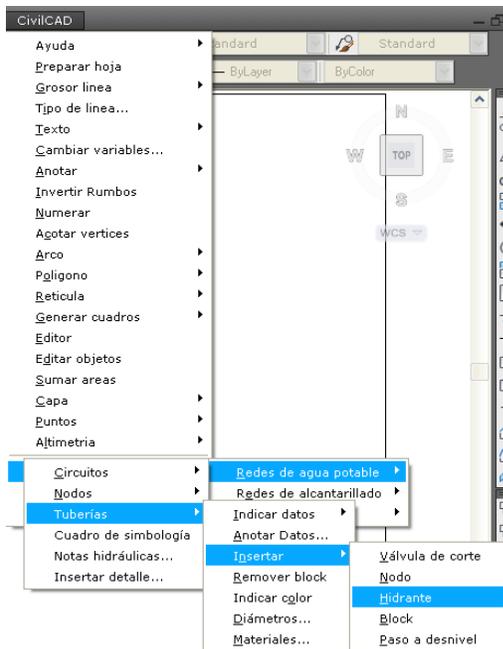


Figura 39. Secuencia para insertar piezas especiales.

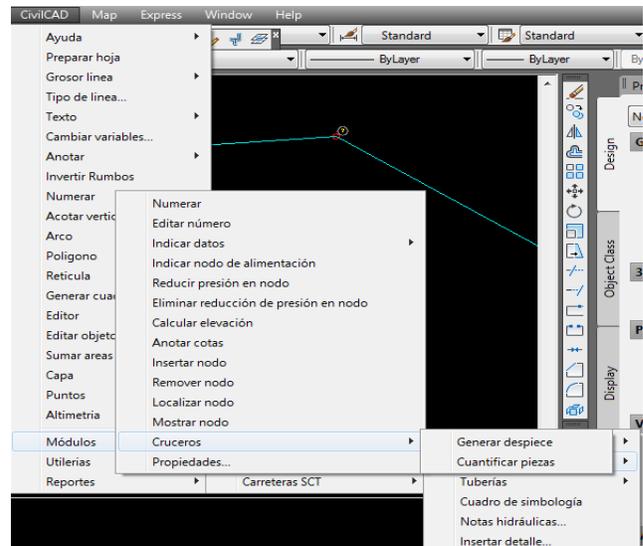


Figura 41. Secuencia para generar despiece.

A continuación se presenta la caja de diálogo para generar despiece en cruceros (Figura 42).

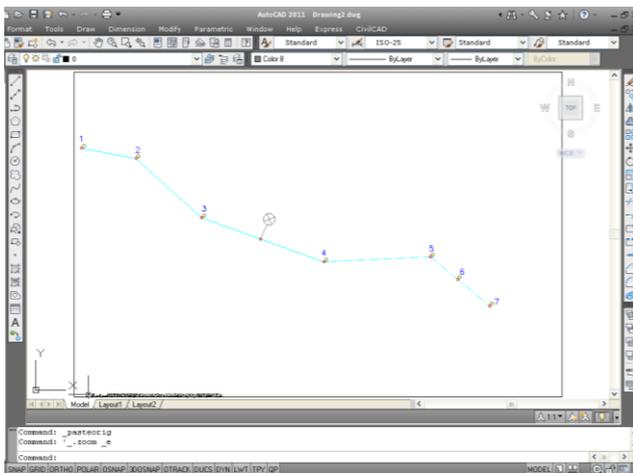


Figura 40. Inserción de piezas especiales.

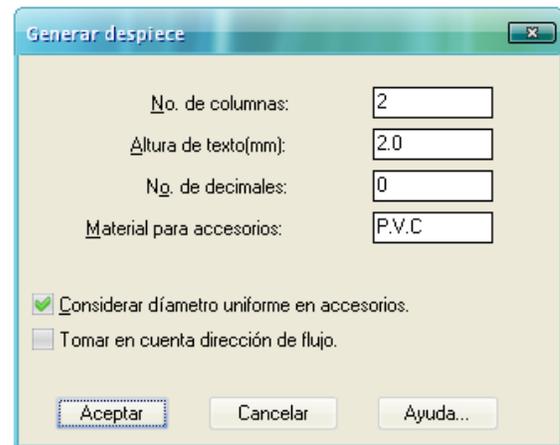


Figura 42. Cuadro de diálogo para generar despiece.

Generar despiece

Para dibujar el detalle de piezas especiales en cruceros, anotando diámetros y número de nodo a los que se aplica el despiece, utilizamos: *CivilCad*, *Módulos*, *Redes de agua potable*, *Nodos*, *Cruceros*, *Generar despiece* (Figura 41).

Al terminar esta rutina se generará una retícula con el dibujo de piezas especiales de cruceros en cada cuadro, con la anotación de diámetros de los accesorios y numeración de nodos a los que se refiere el despiece (Figura 43):

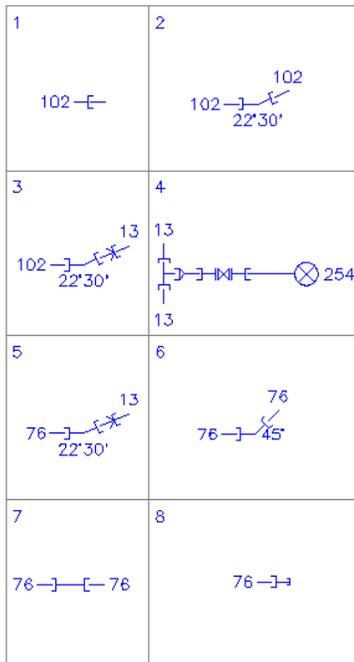


Figura 43. Despiece en cruceros.

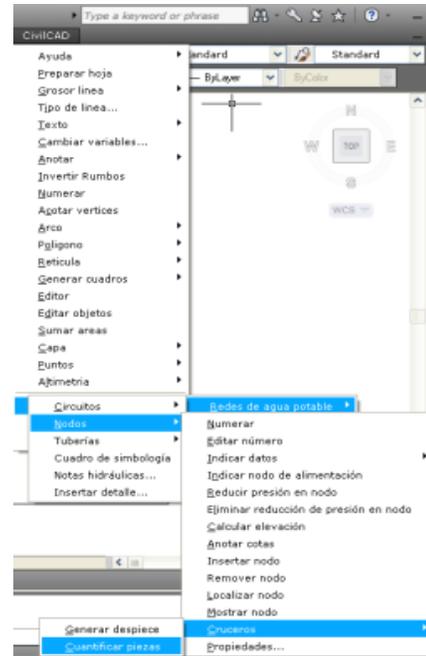


Figura 44. Secuencia para generar la cuantificación de piezas.

Cuantificar piezas

Después de generar el despiece, se podrán cuantificar las piezas especiales, utilizando la rutina correspondiente: *CivilCad, Módulos, Redes de agua potable, Nodos, Cruceros, Cuantificar piezas* (Figura 44).

Seleccionar la red, en seguida el programa despliega en el DataCal la lista de piezas especiales (Figura 45).

LISTA DE PIEZAS ESPECIALES	
DESCRIPCION	CANT.
CODO DE 22'30" DE P.V.C DIAMETRO 102 MM. (4").	2,00
REDUCCION ESPIGA DE P.V.C DIAMETRO 13 X 102 MM. (1/2" X 4").	1,00
TEE DE P.V.C DIAMETRO 13 X 13 MM. (1/2" X 1/2").	1,00
REDUCCION CAMPANA DE P.V.C DIAMETRO 254 X 13 MM. (10" X 1/2").	1,00
EXTREMIDAD CAMPANA DE P.V.C DIAMETRO 13 MM. (1/2").	2,00
VALVULA DE SECCIONAMIENTO DE FO.FO. DIAM. 13 MM. (1/2").	1,00
HIDRANTE CONTRA INCENDIOS DIAMETRO 101 MM. (4").	1,00
CODO DE 22'30" DE P.V.C DIAMETRO 76 MM. (3").	1,00
REDUCCION ESPIGA DE P.V.C DIAMETRO 13 X 76 MM. (1/2" X 3").	1,00
CODO DE 45" DE P.V.C DIAMETRO 76 MM. (3").	1,00
ADAPTADOR DE P.V.C DIAMETRO 76 MM. (3").	1,00
TAPON CAMPANA DE P.V.C DIAMETRO 76 MM. (3").	1,00

Figura 45. Cuantificación de piezas.

Simbología

Para generar un cuadro conteniendo la presentación y descripción de los símbolos utilizados en el dibujo, además de los tipos de línea empleados para representar las tuberías de diferentes diámetros, usamos: *CivilCad, Módulos,*

Redes de agua potable, Cuadro de simbología (Figura 46).

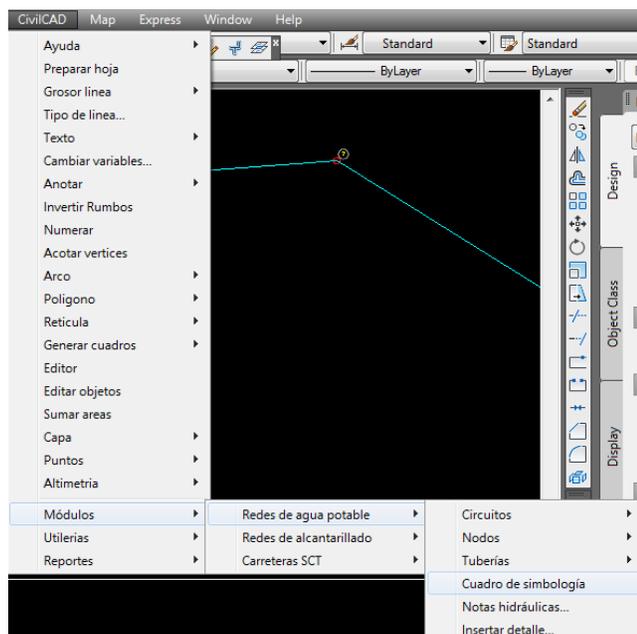


Figura 46. Secuencia para generar cuadro de simbología.

Se indica el tamaño de la letra, de acuerdo a la escala del plano (Figura 47).

SIMBOLOGIA	
	TUBERIA DE 101.6mm(4")
	TUBERIA DE 12.7mm(1/2")
	TUBERIA DE 76.2mm(3")
	ADAPTADOR
	CODO DE 22.50°
	CODO DE 45°
	EXTREMIDAD CAMPANA
	HIDRANTE
	NUMERO DE CRUCERO
	REDUCCION CAMPANA
	REDUCCION ESPIGA
	TAPON CAMPANA
	TEE
	VALVULA DE SECCIONAMIENTO

Figura 47. Cuadro de simbología.

Anotar datos en tubería

Para generar anotaciones en tramos de tubería indicando longitud, diámetro y gasto, tomando en cuenta el prefijo, sufijo y número de decimales para datos indicado, procedemos con *CivilCad, Módulos, Redes de agua potable, Tuberías, Anotar datos* (Figura 48).

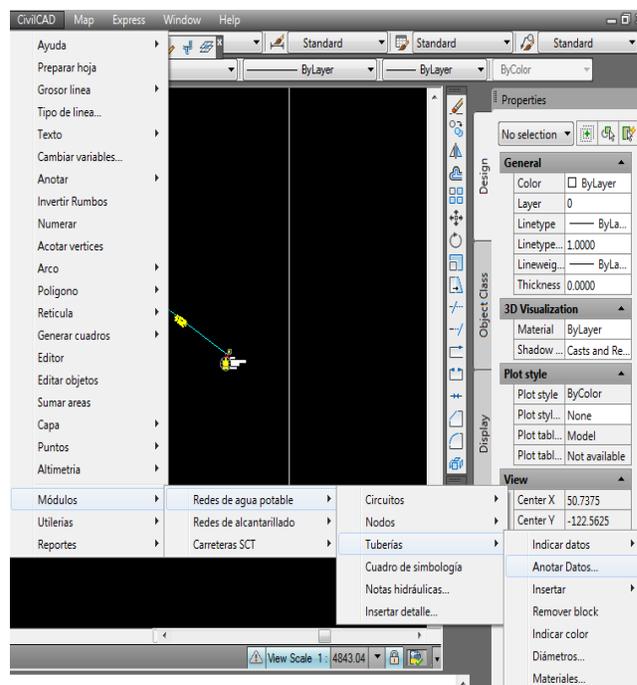


Figura 48. Secuencia para anotar datos en tubería.

Al seleccionar el sistema de tuberías, aparecerá la siguiente caja de diálogo (Figura 49):



Figura 49. Cuadro de diálogo para anotar datos en tuberías.

Indicar altura de texto de acuerdo a la escala del plano y aceptar (Figura 50).

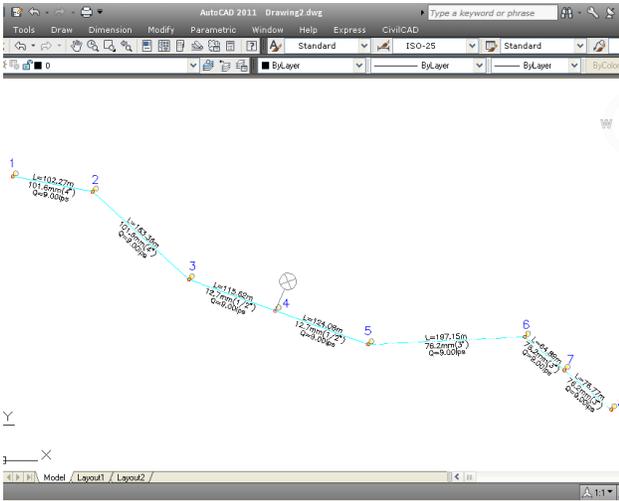


Figura 50. Datos asentados en los tramos de tubería.

Anotar elevaciones

Para indicar cotas piezométricas, de rasante y carga disponible en metros de columna de agua

en nodos: *CivilCad, Módulos, Redes de agua potable, Nodos, Anotar cotas* (Figura 51).

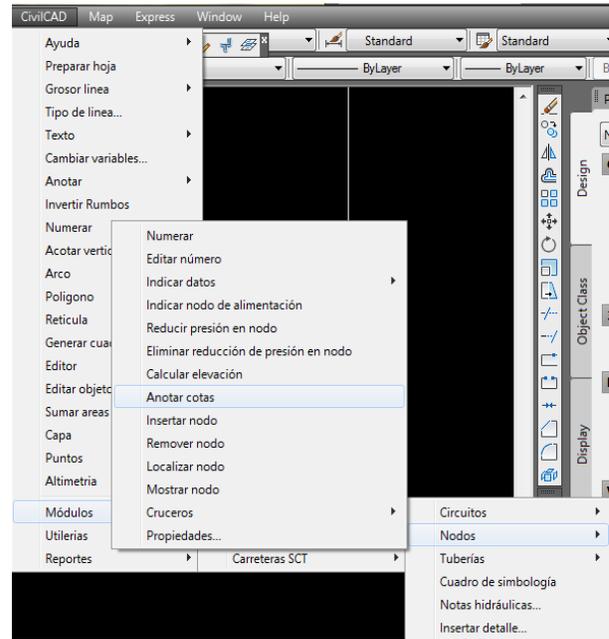


Figura 51. Secuencia para anotar elevaciones.

Después de terminar la rutina, aparecerá el siguiente símbolo al lado derecho inferior de cada nodo seleccionado (Figura 52).

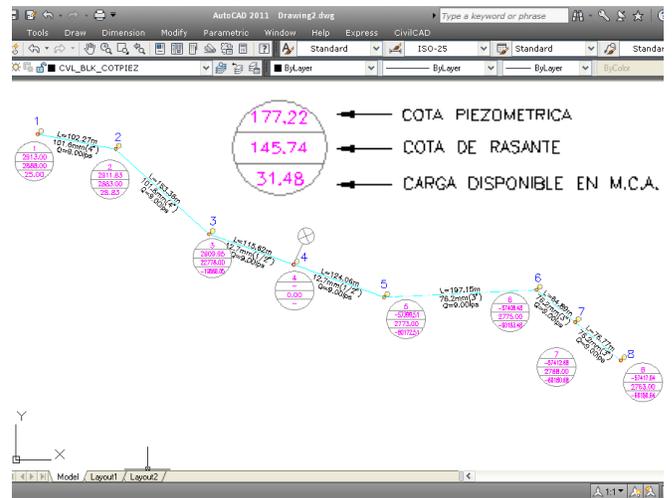


Figura 52. Cotas en nodos.

Finalmente en la Figura 53, se tiene el plano de la línea de conducción, en planta, con todos los datos técnicos generados en AutoCad y CivilCad.

En donde cada nodo nos indica los valores piezométricos correspondientes.

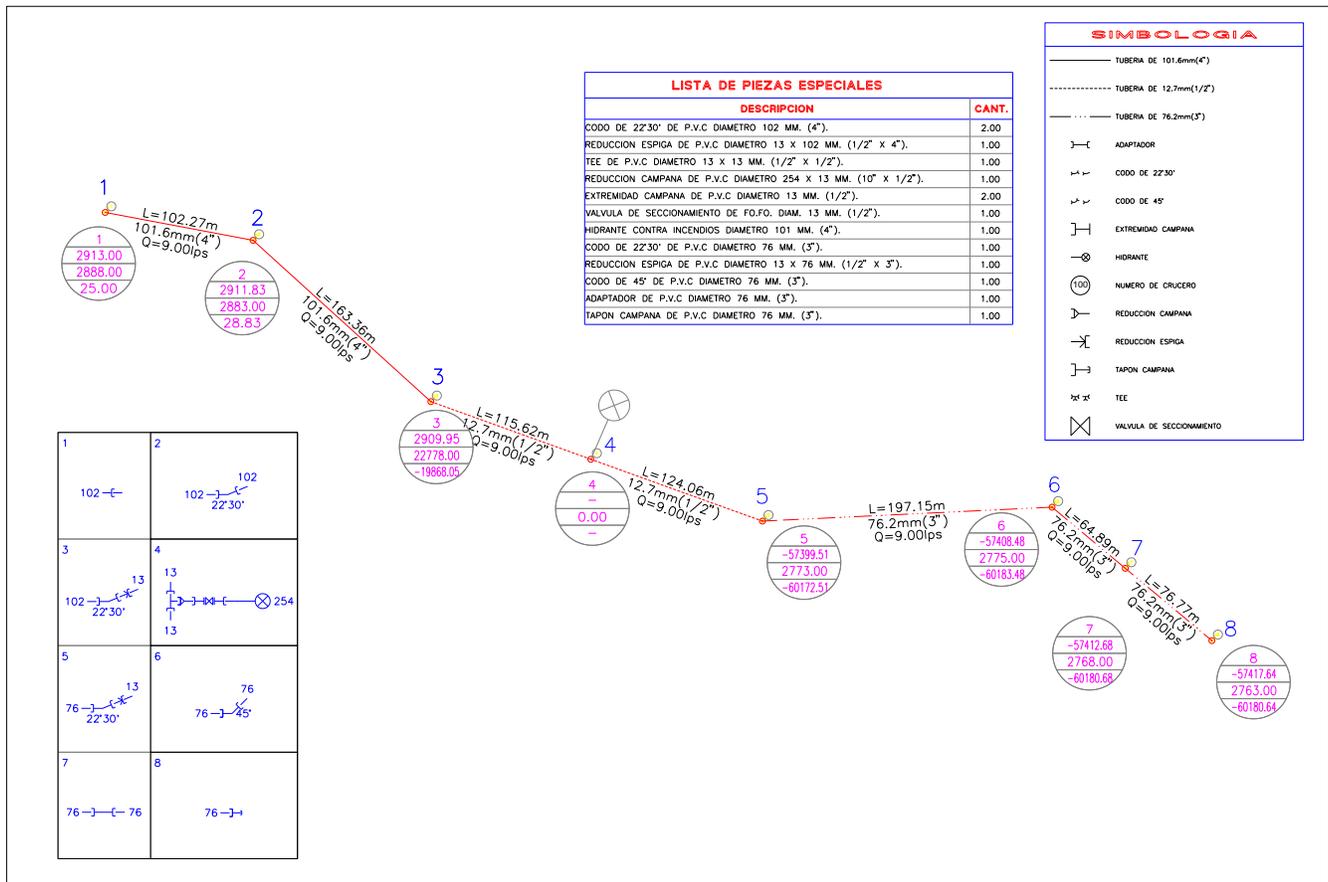


Figura 53. Plano de línea de conducción generado con AutoCad y CivilCad.

20. BIBLIOGRAFÍA

CNA 2007. "Manual de agua potable alcantarillado y saneamiento: Conducción". México, D.F.

CNA 2007. "Manual de agua potable alcantarillado y saneamiento: Diseño, selección e instalación de tuberías de acero para líneas de conducción de agua potable". México, D.F.

UACH 2004. "X Curso Internacional de Sistemas de Riego". Vol. I. Departamento de Irrigación. Carr. Mexico- Texcoco Km 3.5

Manual de usuario de CivilCad para AutoCad 2011.

J. M. Azevedo Netto, Acosta Alva Guillermo, "Manual de Hidráulica, Editorial Harla, México 1976.



http://www.scribd.com/doc/13938949/Capitulo-V-Hidraulica-de-tuberias#open_download

<http://www.avaluoszg.com.mx/civilcad/moduloHidraulico.html>

ELABORARON:

Dr. Mario R. Martínez Menes

Dr. Demetrio S. Fernández Reynoso

Ing. Ricardo Castillo Vega

Ing. Daisy Yessica Uribe Chávez

Para comentarios u observaciones al presente documento contactar a la

Unidad Técnica Especializada (UTE) COUSSA

www.COUSSA.mx

Dr. Mario R. Martínez Menes

mmario@colpos.mx

Dr. Demetrio S. Fernández Reynoso

demetrio@colpos.mx

Teléfono: (01) 595 95 5 49 92

Colegio de Postgraduados, Campus Montecillo, México.

