

## Proyecto Dren Norponiente de la ciudad de Pachuca

KAMPFNER, Oscar\*†, SILVA, Martín, PAZ, Silvestre y REYES, José

Recibido 5 de Abril, 2015; Aceptado 24 de Junio, 2015

### Resumen

Las colonias que se ubican en la porción norponiente de la ciudad de Pachuca se ven afectadas por inundaciones debido a que el sistema natural de drenaje ha sido modificado, o bien, no tiene una descarga franca de las aguas pluviales hacia el Río de las Avenidas. Para resolver el problema, es necesaria la construcción de un dren de interconexión para desalojar los escurrimientos pluviales. Se llevó a cabo el estudio hidrológico que permitió determinar los gastos de diseño para una precipitación con un periodo de retorno de 500 años, con los cuales se diseñaron las secciones hidráulicas para el dren de interconexión. También se llevó a cabo la simulación del paso de la avenida de diseño sobre este dren y se encontró un correcto funcionamiento del mismo. Esta obra de protección permitirá desalojar de manera segura las precipitaciones pluviales hacia el Río de las Avenidas, evitando pérdidas económicas por los daños que sufre actualmente la infraestructura.

**Dren, cuenca, Río de las Avenidas.**

### Abstract

Colonies are located in the north-west portion of the city of Pachuca are affected by floods, because the natural drainage system has been modified, or not have a free download of rainwater into the Río de las Avenidas. To solve the problem, the construction of a drain interconnection is necessary to evacuate stormwater runoff. The hydrological study which identified the flows of design for precipitation with a return period of 500 years, in which the hydraulic sections were designed to drain interconnection is carried out. Also it carried out the simulation of the passage of the design flood this drain, finding proper operation. This protection work safely evacuate allow rainfall to the Río de las Avenidas, avoiding economic losses for damages currently undergoing infrastructure.

**Drain, basin, Río de las Avenidas.**

**Citación:** KAMPFNER, Oscar, SILVA, Martín, PAZ, Silvestre y REYES, José. Proyecto Dren Norponiente de la ciudad de Pachuca. Revista de Aplicaciones de la Ingeniería 2015, 2-3: 139-146

\* Correspondencia al Autor (Correo Electrónico: oscar.kampfner@prodigy.net.mx)

† Investigador contribuyendo como primer autor.

## Introducción

Hidrológicamente, la ciudad de Pachuca, capital del estado de Hidalgo, se localiza en la parte alta de la cuenca del Río de las Avenidas. Pachuca, es vulnerable principalmente a los eventos meteorológicos que se desarrollan sobre el Océano Atlántico y tocan tierra por la parte central del estado de Veracruz; la temporada de huracanes para este océano inicia el 1 de junio de cada año. Para desalojar los escurrimientos pluviales, la ciudad cuenta con un sistema de drenes que conducen la mayor parte de los escurrimientos hasta el Río de las Avenidas, el cual desemboca sus aguas en la laguna de Zumpango o en los túneles de Tequixquiac.

Los principales drenes de la ciudad son barranca de Azoyatla, arroyo Sosa, Santa Julia, Venados, Cubitos, La Noria, La Paz, Barranca Blanca, entre otros. Estos drenes se formaron de manera natural y una parte de ellos han sufrido modificaciones en su curso según el crecimiento de la mancha urbana, otros han sido bloqueados y dejaron de funcionar, o bien, no tienen una descarga, razón por la cual se requiere interconectarlos a drenes existentes. Este último es el caso de zonas inundables en la porción norponiente de la ciudad, lo que ha originado que las colonias El Palmar, San Carlos, Santo Tomás, Hacienda La Luz, Zona Plateada, Zona Militar, y parte de las instalaciones del auditorio Gota de Plata y Plaza Galerías sufran frecuentes inundaciones.



**Figura 1** Drenes de la ciudad de Pachuca

Una de las primeras obras de protección contra inundaciones para Pachuca es el Cinturón de Seguridad, el cual se planeó para interceptar las aguas pluviales que escurren del cerro de San Cristóbal y de la barranca El Zembo y conducir las hasta la presa El Durazno, en el municipio de San Agustín Tlaxiaca. Cabe señalar que hasta el momento no se ha concluido la construcción de este cinturón, por lo cual los escurrimientos que intercepta son enviados al dren Piracantos. Este dren atraviesa las colonias Parque de Poblamiento y Piracantos, cruza el bulevar Colosio y, después de pasar por un costado del fraccionamiento Arboledas de San Javier (tercera sección), desaparece; posiblemente, antes del crecimiento de la mancha urbana, existió en este sitio un almacenamiento de agua pluvial. Esto ha originado la necesidad de construir un dren de interconexión para llevar las aguas desde este punto hasta el dren Venados, para desalojarlas en el Río de las Avenidas; este proyecto se denomina Dren de Interconexión Norponiente.

Para diseñar la sección hidráulica del dren de interconexión y sus obras complementarias, se cuenta con el estudio hidrológico de las cuencas localizadas en esta porción de la ciudad, el cual proporciona sus características fisiográficas, de uso de suelo, geología superficial, el área que cubren, etcétera.

El estudio hidrológico proporciona los gastos esperados, asociados a diferentes periodos de retorno, que fueron estimados a través de los métodos Racional Americano, Ven Te Chow e Hidrograma Unitario Triangular (propuesto por el Soil Conservation Service, del Gobierno de los Estados Unidos).

El gasto seleccionado para el diseño del dren de interconexión en su parte inicial, resultó de 43 m<sup>3</sup>/s para un periodo de retorno de 500 años, con el cual se simuló el paso de la avenida con el apoyo del programa HEC-RAS, lo que permitió obtener las dimensiones requeridas para este dren. Para el diseño de la parte final del dren, se encontró que el gasto corresponde a 80 m<sup>3</sup>/s.

### Descripción de las cuencas de estudio

Para delimitar la cuenca en la zona de estudio y la red hidrográfica, se emplearon las cartografías digitales 1:50,000 publicada por el Instituto Nacional de Estadística y Geografía (Inegi), 1:20,000 publicada por la empresa SIGSA y 1:5,000 obtenida por el municipio de Pachuca.

Se identificaron tres pequeñas cuencas dentro de la zona de estudio, considerando los drenes que existen:

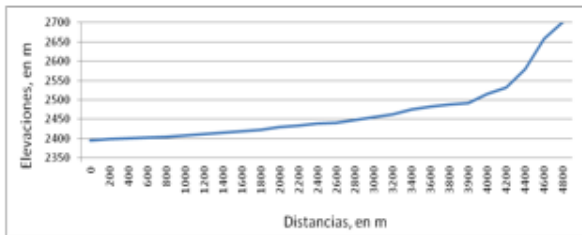
- La primera aporta escurrimiento del cerro de San Cristóbal al Cinturón de Seguridad.
- La segunda aporta escurrimientos de la barranca El Zembo.
- La tercera se encuentra aledaña a la cuenca de la barranca El Zembo y aporta escurrimientos hasta el aeropuerto de la ciudad, a la altura del estacionamiento de alumnos del Instituto Tecnológico de Pachuca.

De acuerdo con los datos obtenidos, se determinó que el área de la cuenca en la zona de estudio corresponde a 24.012 km<sup>2</sup> y la longitud del cauce principal, a 8.875 km, el cual inicia en la elevación de 2,680 msnm y termina en 2,356 msnm. Utilizando el criterio de Taylor y Schwartz, se determinó que la pendiente media del cauce principal corresponde a 0.0129.

Como se ha mencionado, el dren Piracantos desaparece después del cruce con el bulevar Colosio, aguas abajo del fraccionamiento Arboledas. Por esta circunstancia, la zona de estudio se dividió en dos subcuencas, lo cual permitió estimar el gasto con el que inicia el dren de interconexión, así como el gasto que éste aportará al dren Venados. La zona donde se pretende construir el dren de interconexión se encuentra poblada, lo que dificultó determinar su trazo, sin embargo, después de varios recorridos ha sido posible determinar el trazo sin dañar las casas existentes.

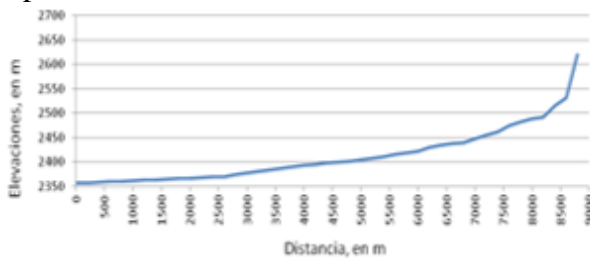
La primera subcuenca (conocida como subcuenca norte) corresponde a la parte alta de la zona de estudio y considera la cuenca del Cinturón de Seguridad y la cuenca de la barranca El Zembo, hasta el cruce con el bulevar Colosio; este punto está próximo al sitio donde iniciará el dren en proyecto, que permitirá encauzar los escurrimientos hacia el dren Venados. La segunda subcuenca (conocida como poniente) inicia desde el punto donde empezará el dren de interconexión, hasta donde se entroncará con el dren Venados.

La subcuenca norte tiene una superficie de 12.293 km<sup>2</sup> y la longitud del cauce principal es de 4,719 m, con un desnivel de 285 m. El perfil por el eje del cauce se observa en la siguiente figura:



**Figura 2** Perfil por el eje del cauce de la barranca El Zembo

En lo que corresponde a la subcuenca poniente, cubre una superficie de 11.749 km<sup>2</sup> y la longitud del cauce principal considerado es de 4,696 m, con un desnivel de 39 m. Es necesario señalar que el volumen de agua que escurrirá por este cauce principal, es el que se genere en las dos subcuencas, por lo cual en el estudio hidrológico se consideró la cuenca total, con lo que se calculó el gasto para la parte final del dren de interconexión. También, se consideró un solo cauce principal en este sitio con una longitud igual a la suma de los cauces para cada subcuenca. La longitud que resultó es de 8,875 m, y en la siguiente figura se muestra el perfil observado:



**Figura 3** Perfil por el eje del cauce principal de la zona de estudio.

Por otra parte, para la clasificación del tipo de suelo en la zona de estudio, se recurrió a la cartografía de Inegi, que señala para esta cuenca suelos calcificados, como litosoles, feozem haplicos y feozem calcáricos, con texturas medias y finas. Igualmente, la cartografía indica la presencia de fases físicas descritas como líticas y dúrica profunda, que indican que a los suelos les subyace roca (lítica) o una capa de tepetate (duripan).



**Figura 4** Tipos de suelo en el área de estudio.

Tipo de suelo	Textura	Clasificación
Feozem hepálico	Media	C o B
Litosol	Media	B
Feozem calcárico	Fina	C

**Tabla 1** Clasificación del tipo de suelo

De manera similar, con apoyo en la cartografía del Inegi, complementada con ortofotos recientes, se determinaron las distintas coberturas vegetales y usos del suelo en el área de estudio, lo que permitió asignarles un número N de curva la curva de escurrimiento (CN) o un coeficiente de escurrimiento.

De la superposición de los tipos y usos de suelo dentro del área de estudio, se obtuvo el número de la curva de escurrimiento CN = 78.5 y un coeficiente de escurrimiento de Ce = 0.22. Estos valores se utilizaron en el estudio hidrológico para determinar los gastos asociados a diferentes periodos de retorno.

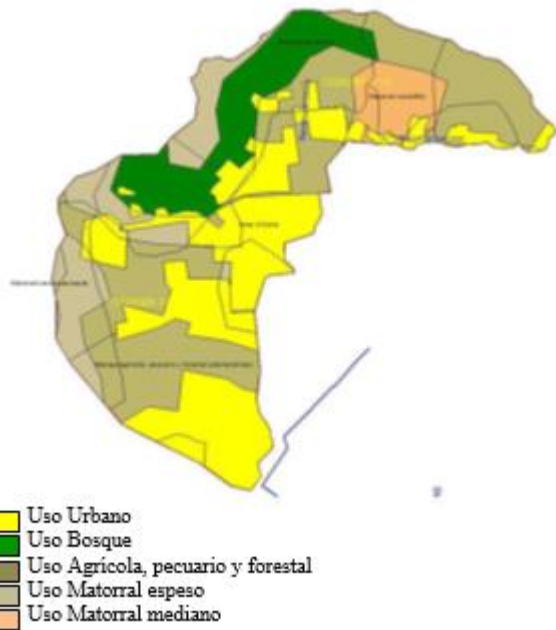


Figura 5 Usos de suelo en el área de estudio.

**Estudio hidrológico**

Con el objeto de estimar el gasto para diseñar el canal de interconexión, se procedió a revisar la información climática disponible en la zona de estudio. La Dirección Local de la Comisión Nacional del Agua (Conagua), no cuenta con estaciones hidrométricas o climatológicas en esta zona de la ciudad. La estación pluviográfica más cercana al punto de interés, se localiza en el observatorio de Pachuca y cuenta con registro de lluvias a partir de 1962 y hasta 1998. La información de esta estación se tomó de base para la estimación de gastos.

Con el procesamiento del registro de lluvias disponible, fue posible calcular la intensidad de lluvia para tormentas de 5 a 120 minutos y, mediante un análisis estadístico de estos valores, se ajustó el modelo matemático para calcular las intensidades de lluvia y se construyeron las curvas intensidad-duración-frecuencia (i-d-Tr). El modelo matemático ajustado resultó:

$$i = 215.774 \frac{Tr^{0.343}}{d^{0.349}} \tag{1}$$

Donde *i* es la intensidad de lluvia, en mm/h;  
*Tr* es la frecuencia, en años;  
*d* es la duración de la tormenta, en minutos.

Para la altura de precipitación:

$$hp = 3.596 Tr^{0.343} d^{0.349} \tag{2}$$

Donde *hp* es la precipitación acumulada, en mm;  
*Tr* es la frecuencia, en años;  
*d* es la duración de la tormenta, en minutos.

Para determinar la duración de la tormenta de diseño, se calculó el tiempo de concentración del cauce principal, tanto en la subcuenca norte como en la cuenca en la zona de estudio, con los criterios de Rowe, Kirpich y del Soil Conservation Service (SCS). Los resultados obtenidos son:

Criterio	Tiempo de concentración, en minutos	
	Subcuenca norte	Cuenca total
Rowe	38.73	75.57
Kirpich	53.42	110.32
SCS	37.04	72.05

Tabla 2 Tiempo de concentración.

La duración de la tormenta seleccionada para cada caso fue la que se obtuvo con el criterio de Kirpich, en virtud de que utiliza el valor de la pendiente media del cauce principal, en tanto que los otros criterios solo emplean el desnivel de dicho cauce, perdiendo aproximación.

Los gastos asociados a diferentes periodos de retorno fueron calculados con los métodos Racional Americano.

Ven Te Chow e Hidrograma Unitario del Soil Conservation Service (HU SCS), considerando las intensidades de lluvia (calculadas con el modelo matemático determinado), el número CN de la curva de escurrimiento y el coeficiente de escurrimiento.

Los resultados se muestran a continuación.

Para la subcuenca norte:

TR	Gasto, en m <sup>3</sup> /s		
	Racional Americano	Ven Te Chow	HU SCS
5	21.2	1.3	0.7
10	6.9	3.1	1.7
25	36.8	7.4	4.2
50	46.7	12.9	7.3
100	59.2	21	12
500	102.8	55	31.3
1000	130.4	78.9	44.9

**Tabla 3** Gastos obtenidos para diferentes periodos de retorno

Para la cuenca en zona de estudio:

TR	Gasto, en m <sup>3</sup> /s		
	Racional Americano	Ven Te Chow	HU SCS
5	25.8	6	2.5
10	32.7	10.9	4.5
25	44.8	21.2	8.8
50	6.8	33	13.8
100	72	49.5	20.6
500	125.1	113.1	47.1
1000	158.7	155.8	64.9

**Tabla 4** Gastos obtenidos para diferentes periodos de retorno

Al revisar los gastos obtenidos, se aprecia que los valores calculados con el Método Racional Americano resultan de mayor magnitud respecto a los obtenidos con los otros métodos empleados. Por esta razón, para determinar los gastos asociados a diferentes periodos de retorno, se descartaron los calculados por este método y se promediaron los valores obtenidos por Ven Te Chow y HU SCS. En cuanto a la selección del periodo de retorno, la Conagua, en su carácter de organismo rector, determinó que se debía utilizar un  $Tr = 500$  años.

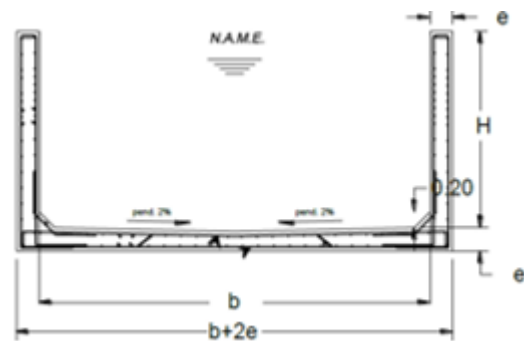
Bajo estas consideraciones, para la subcuenca norte el gasto adoptado fue  $Q = 43$  m<sup>3</sup>/s, con el cual se diseñaron las secciones hidráulicas de la parte inicial del Dren de Interconexión Norponiente. Para la cuenca total se adoptó un gasto de  $Q = 80$  m<sup>3</sup>/s, que se tomó para el diseño de la parte final del dren y de su descarga al dren Venados.

**Resultados**

Como ya se mencionó, antes de elaborar el estudio hidrológico fue necesario realizar diversos recorridos en la zona de estudio para determinar la mejor alternativa para el trazo del dren, pues debido al crecimiento de la mancha urbana en esta zona, se encontraron diferentes limitaciones para definir el trazo. La información topográfica del trazo definitivo sirvió para definir la forma de las secciones hidráulicas; es decir, por cuestiones de espacio en algunos tramos del dren se propusieron rectangulares; en otros, trapeciales, y en algunos puntos fue necesario considerar secciones cubiertas.

Con estas consideraciones y con los gastos de diseño para el dren de interconexión, se realizó el diseño hidráulico de las secciones y se determinaron las siguientes dimensiones.

Sección propuesta del km 0+000 al km 0+180 y del km 2+200 al km 2+920:



**Figura 6** Sección transversal rectangular

Sección propuesta del km 0+180 al km 1+480, del km 2+180 al km 2+200 y del km 2+920 al km 3+389.80:

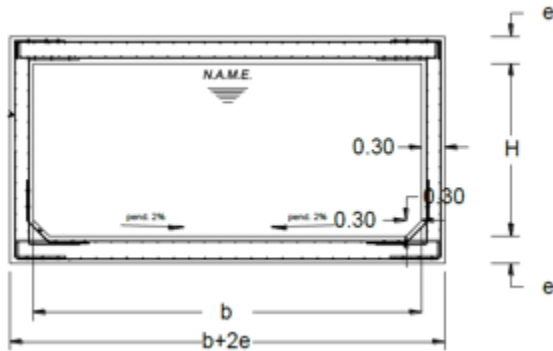


Figura 7 Sección cubierta.

Sección propuesta del km 1+480 al km 2+180:

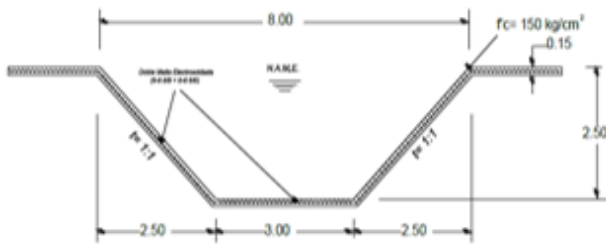


Figura 8 Sección trapecial.

Sección	Tramo	b (m)	y (m)	B.L. (m)	H (m)
Rectangular de concreto armado, a cielo abierto	km 0+000 al km 0+180	4	2.194	0.306	2.50
Rectangular de concreto armado, con losa	km 0+180 al km 0+860	4	2.194	0.306	2.50
Rectangular de concreto armado, con losa	km 0+860 al km 1+480	5	2.394	0.106	2.50
Trapecial con concreto reforzado	km 1+480 al km 2+180	8	2.242	0.258	2.50
Rectangular de concreto armado, con losa	km 2+180 al km 2+220	5	2.191	0.309	2.50
Rectangular de concreto armado, a cielo abierto	km 2+220 al km 2+920	5	2.191	0.309	2.50
Rectangular de concreto armado, con losa	km 2+920 al km 3+389.8	5	2.191	0.309	2.50

Tabla 5 Datos hidráulicos de las secciones de proyecto

Para verificar el correcto funcionamiento de las secciones propuestas para el dren de interconexión.

Se llevó a cabo una simulación del funcionamiento hidráulico utilizando el modelo River Analysis System desarrollado por Hydrologic Engineering Center, del Cuerpo de Ingenieros de la Armada de Estado Unidos. Se observó que el nivel del agua que se establece en las secciones para el gasto asociado al periodo de retorno de 500 años, queda por debajo del nivel de aguas máximas extraordinarias (NAME). Estos resultados muestran que el dren de interconexión va a operar de manera segura y brindará protección a las colonias El Palmar, San Carlos, Santo Tomás, Hacienda La Luz, Zona Plateada, Zona Militar, y parte de las instalaciones del auditorio Gota de Plata y Plaza Galerías.

### Conclusiones

El proyecto del Dren de Interconexión Norponiente permitirá desalojar de manera segura el escurrimiento de aguas pluviales que se acumulan aguas abajo del fraccionamiento Arboledas de San Javier (tercera sección) y que actualmente provocan inundaciones en desarrollos urbanos de esta parte de la ciudad.

El proyecto contempla que el dren de interconexión se entronque con el dren Venados para llevar sus escurrimientos hasta el Río de las Avenidas, evitando trasladar el problema de inundaciones a otra zona de la ciudad. En este aspecto, queda pendiente la revisión hidráulica del puente localizado a 150 m aguas abajo del punto de entronque sobre el dren Venados (puente de la carretera México – Pachuca), para verificar que tenga la capacidad suficiente para la circulación del nuevo gasto.

Con la construcción del dren de interconexión, se evitarán pérdidas económicas en viviendas, infraestructura tanto urbana como productiva (industria, comercio, etcétera), que son causadas por las frecuentes inundaciones que se registran en épocas de lluvia.

En algunos puntos del dren de interconexión se ha propuesto que las secciones hidráulicas sean cubiertas, debido a que parte del trazo pasa por áreas densamente pobladas y se pretende evitar accidentes de los habitantes de estas zonas.

### **Referencias**

Sotelo, G. (2002). Hidráulica de canales. México, D.F.: Facultad de Ingeniería, UNAM.

French, R. H. (1988). Hidráulica de canales abiertos. México, D.F.: Mc Graw-Hill.

United States Department of the Interior Bureau of Reclamation. (1967). Diseño de presas pequeñas. México, D.F.: Compañía Editorial Continental, S. A.

Chow, V. (1994). Hidráulica de canales abiertos. México, D.F.: Mc Graw-Hill.