

cionar las dimensiones de las obras para contingencias extraordinarias, creemos que las atarjeas de la Ciudad de México, no deben tener sino la capacidad suficiente para recibir una lluvia de *veinticinco milímetros en una hora*.

Este límite de capacidad lo consideramos suficientemente amplio, y estamos seguros de que si se construyen las atarjeas con secciones adecuadas para recibir esa cantidad de agua, sería preciso que cayera una lluvia fenomenal, mayor que cualquiera de las que se han registrado hasta hoy, para que hubiera una inundación que ocasionara algún perjuicio.

Después de que sobre este particular se han fijado las ideas, hay que estudiar otro punto muy importante, acerca del cuál la opinión es menos uniforme, y este punto es: *la determinación de la cantidad de agua que llega á la atarjea en la unidad de tiempo*, pues se comprende que no toda la que cae, pasa por los conductos de desagüe, y que la fracción del volumen total que entra á éstos en la unidad de tiempo, dependerá, tanto de las propiedades físicas de la superficie por donde se desliza el líquido, como de las condiciones topográficas, y de la figura que afecta el terreno donde la lluvia se precipita. Así pues, para modificar la cantidad de agua á que hay que dar paso por los colectores, interviene: 1° la naturaleza más ó menos porosa del terreno y el estado de humedad en que se encuentra, porque cualquiera de estas dos condiciones hace que se pierda mayor ó menor cantidad de agua por filtración; 2°, la evaporación, y ésta varía con la extensión de la superficie, con la temperatura del terreno y la del aire y con la duración de la tempestad; 3°, el carácter de la superficie, pues también influye que esta superficie sea lisa como la de los techos y pavimentos ó rugosa como la de los jardines, praderas, terrenos de labor, parques ó terreno boscoso en general; 4° la pendiente general del terreno que hace que el agua se acumule más ó menos rápidamente en las partes bajas de él; 5°, la extensión total y la figura que en el plano afecta el terreno, cuyas aguas tienen que concurrir á un punto dado, pues se comprende que á medida que la superficie sea más extensa y que la figura sea más alargada, tardará más tiempo en llegar al punto de desemboque el agua que provenga de las partes lejanas de éste.

La modificación de cualquiera de los elementos que acabamos de enumerar, ejerce una gran influencia sobre el resultado final, es decir, sobre el volumen de agua á que hay que dar paso por las atarjeas; y dependiendo ese resultado de elementos tales como la porosidad del terreno que no se puede medir, sino solo estimar por la experimentación directa en cada caso particular, y otros que son variables como el grado de humedad del terreno en el momento en que se verifica la precipitación de la lluvia, se deducen dos cosas: la primera es que solo por la observación directa en cada ciudad, se pueden tener datos aproximados acerca de la cantidad de agua que llega á las atarjeas; y la segunda, que aun así, la solución á que se llegara, no se podía considerar como absoluta, puesto que los elementos variables del problema pueden hacer variar los resultados que de un día á otro se obtuvieran.

Estas circunstancias bastan para que se les puedan tomar como la razón de por qué se han hecho consideraciones muy diversas, generalmente empíricas y en ciertos casos aún sin fundamento sólido, para proyectar una gran parte de las redes de atarjeas existentes en el mundo. Vamos á ver, sin embargo, de qué manera podremos aproximarnos á obtener la solución conveniente para el caso de la Ciudad de México.

Al estudiar una red de atarjeas por el sistema combinado, se presentan dos casos distintos: uno cuando los líquidos que han de conducir las atarjeas están constitui-

dos esencialmente por los desechos de las habitaciones, á los que se mezcla solo una pequeña cantidad de agua pluvial, y el otro caso es, cuando esta se ha de admitir en gran cantidad.

En el primer caso hay que hacer una estimación del volumen de los desechos, y esto se hace de dos maneras distintas: unas veces se estima la cantidad de agua que sale de las habitaciones, como igual á la que surte á la población, estableciendo que la mitad del gasto se verifica en un período de tiempo que varía entre 6 y 9 horas, de acuerdo con las costumbres de los habitantes del lugar.

En otros casos, como se hizo en Boston por ejemplo, se hace un cómputo de la densidad de la población, es decir, del número de habitantes que hay por acre ó por hectárea; se admite que cada habitante debe gastr 100, 200 ó 300 litros de agua en veinticuatro horas, (la última cifra fué la que se admitió en Boston), y que el gasto máximo es igual á una vez y media el gasto medio.

Este segundo método es el que nos parece mejor, porque permite prever con más amplitud á las necesidades del porvenir, si se toma como base para los cálculos la futura probable densidad, que en un tiempo dado llegará á adquirir la población.

Una vez que por cualquiera de los dos sistemas que anteceden, se ha llegado á conocer cuál es el volumen de los líquidos que las casas deben expulsar, se le agrega cierta cantidad para tener en cuenta el agua que provenga de la lluvia, y para determinar esa cantidad, se han hecho consideraciones muy diversas de un lugar á otro, y cuando se ha obtenido el volumen total, se calculará la velocidad que el agua adquirirá en las atarjeas, por cualquiera de las fórmulas de Eytelwein, Prony, Darcy, y Bazin, Lindley ó Kutter, pues todas ellas dan buen resultado práctico, porque sus diferencias consisten sólo en el valor de los coeficientes, y las diferencias que éstos á su vez produzcan en los resultados finales, son mucho menores que las que provienen del modo de hacer la estimación de la cantidad de líquidos que han de pasar por la atarjea, y de la amplitud con que se tienen que fijar las dimensiones de ésta, para prever ciertos casos excepcionales de descarga. La práctica que se ha seguido para calcular las dimensiones de las atarjeas en Europa y los Estados Unidos, se diferencia, pues, de una ciudad á otra, en el empleo de la fórmula que han elegido para determinar la velocidad que el agua adquirirá en los conductos de desagüe, además de las que antes señalamos acerca de la manera de computar el volumen de los líquidos.

En Boston, sin embargo, la "Comisión del Drenaje de Massachusetts" estableció un hecho importantísimo, y es que los coeficientes prácticos que contienen las fórmulas para calcular la velocidad que el agua adquirirá en los conductos en virtud de la pendiente no son aplicables cuando con las mismas fórmulas se trata de calcular la velocidad que adquirirá el agua de las atarjeas, y la misma "Comisión" por experiencias directas dedujo que para este segundo caso los coeficientes que se deben tomar son un noveno más pequeños que los que se deben usar para el primero, quedando las mismas todas las demás circunstancias que producen el escurrimiento.

Nosotros poseemos unas tablas que calculó la "Comisión" que antes citamos, en las que se han aplicado los nuevos coeficientes por ella determinados, y cuya posesión debemos á la bondad del Sr. Elliot C. Clarke, ingeniero distinguido y miembro prominente de esa Comisión, que nos hizo con dichas tablas un valiosísimo obsequio; en ellas consta el valor del coeficiente, que se toma empleando como argumento la raíz cuadrada del *radio medio*, usando el pie inglés como unidad de medida,

y en la que en esta memoria incluimos marcándola con el N° 1, están consignados los valores del mismo coeficiente pero apropiados al uso del Sistema Métrico.

En el segundo caso, de los dos á que antes aludimos, es decir, cuando en las atarjeas se ha de admitir una gran cantidad de agua pluvial, son mucho mayores las divergencias que se notan en las consideraciones que han servido de base para determinar las dimensiones de esos conductos de desagüe. En París se admitió que se debía calcular las secciones de las atarjeas en el supuesto de que cayera un aguacero de cuarenta y cinco milímetros en una hora y que tardaría en salir tres veces el tiempo que tarda en caer. En Berlín se tomó como base el supuesto de que podía caer una lluvia de veintidos milímetros en una hora, de esta cantidad una tercera parte se evaporaría, otra tercera la absorbería el terreno y la tercera restante sería la que llegara á las atarjeas, es decir, siete milímetros solamente. En Viena se hicieron los cálculos de las dimensiones de las atarjeas en el supuesto de que podía caer una lluvia de veinticinco milímetros en una hora, de los que sólo nueve milímetros llegarían á las atarjeas, llenándolas hasta los arranques de los arcos que forman las bóvedas. En Hamburgo se admitió la posibilidad de que cayera una lluvia de veinticinco milímetros en *veinticuatro horas*, y de ésta las dos terceras partes pasarían por las atarjeas. En Dantzic sólo se proveyó para una lluvia de seis milímetros en *veinticuatro horas*, y las atarjeas tienen numerosos ramales por donde pueden descargar á los canales que cruzan á la ciudad, en caso de que aquellas estuvieran muy cargadas. En Brighthon las atarjeas pueden recibir doce milímetros de lluvia por hora. En varias ciudades de los Estados Unidos se determinan las dimensiones de las atarjeas que han de desaguar superficies extensas, en razón directa de la extensión de estas superficies.

Todas estas apreciaciones están basadas en observaciones incompletas y estamos seguros de que las ciudades que acabamos de citar, las modificarán con el tiempo, haciendo intervenir en cada caso todos los elementos que entran en el problema y que antes enumeramos, y esa modificación se hará cuando por la observación de los resultados de los trabajos existentes en ellas, tengan ya bastantes datos locales con que poder determinar con más seguridad la relación que hay entre la cantidad de agua que se precipita en la ciudad y la que llega á las atarjeas, ó cuando las observaciones de muchos puntos reunidos puedan servir para establecer una fórmula general aplicable á condiciones variadas.

Londres dió ya el ejemplo en este sentido y los eminentes ingenieros Sres. Bidder, Hawksley y Bazalgatte, al rendir su informe sobre el drenaje de aquella Metrópoli, fundaron sus conclusiones en observaciones directas practicadas en varias atarjeas de dicha ciudad, que sirvieron al Sr. Hawksley, Presidente de la Asociación de Ingenieros Civiles de Inglaterra, para establecer la fórmula siguiente:

$$\log. D = \frac{3 \log. A + \log. N - 6.8}{10}$$

en la que  $A$  es el área que se debe desaguar expresada en acres;

$N$  la longitud en que la atarjea desciende la unidad;

$D$  el diámetro de la atarjea en pulgadas.

Posteriormente el Sr. Burkli-Ziegler, ingeniero suizo, reunió las experiencias

hechas en Londres, París y en varias partes de Alemania y Suiza, y discutiéndolas dedujo la siguiente expresión:

$$Q = c. r. \sqrt{\frac{S}{A}}$$

en la que  $Q$  representa la cantidad de agua que llega á las atarjeas en litros por hectárea y por segundo;  $c$  un coeficiente que depende de la naturaleza de la superficie y que varía entre 0.25 y 0.60, siendo el más alto para los techos y las calles con buenos pavimentos, y el más bajo para los suburbios y partes rurales de la población, generalmente se toma 0.5 como valor medio;  $r$  intensidad de la lluvia en litros por hectárea y por segundo;  $S$  pendiente general del terreno por mil;  $A$  área que deben desaguar las atarjeas en hectáreas.

En esta fórmula se ve que la cantidad que llega á las atarjeas aumenta á medida que la lluvia es más abundante, que crece la pendiente del terreno, y que la superficie es menos penetrable por el agua, y disminuye cuando el área crece.

El Sr. Hering refiriéndose á ella en una de sus memorias, dice:

“Para demostrar el efecto de esta fórmula, la aplicaré á nuestra atarjea de Mill Creek (en Filadelfia) en la parte más baja de la área que desagua, la cual tiene en números redondos 3,100 acres con una pendiente media de 5 por mil. Supongo una lluvia de tres pulgadas por hora, que es lo más que puede permitirse por razón de economía, y admitirémos que el coeficiente que depende de la naturaleza del terreno sea de 0.5 que ámpliamente representa los caracteres de los distritos sub-urbanos.”

“Con estos datos obtenemos la cantidad de agua que llega á la parte baja de la área.

$$Q = 0.3$$

que corresponde próximamente á un tercio de pulgada por hora, lo que significa que se necesita un diámetro de doce pies en vez de veinte. Las observaciones que yo he hecho de las lluvias durante la construcción de varias partes de esta atarjea, confirman ese resultado.”

Respecto de la fórmula del Sr. Hawksley, encontramos en la obra de J. W. Adams, titulada “Sewers and Drains of Populous Districts” el hecho práctico que indicamos á continuación:

“Una atarjea que desagüe á una superficie de 869 acres, de los cuales 122 no tienen construcciones; en todo el resto hay construcciones, y en varias partes está muy densamente poblado. Todo, con excepción de unos 20 ó 30 está terraplenado y pavimentado, la pendiente del colector en la desembocadura, y por una milla próximamente, es á razón de 1 en 1135. Con una lluvia de una pulgada por hora, según la fórmula de Hawksley, las dimensiones de este colector deben ser iguales á las de un círculo de seis pies de diámetro, y está construido así. Ha estado lleno varias veces, y debido á los defectos de su alineamiento á una milla y media de la desembocadura se ha llegado á derramar. Las atarjeas secundarias que descargan en este colector se extienden hasta la desembocadura que está muy densamente poblada. Si se calculara una lluvia de una pulgada en una hora sobre la superficie

total y de tal manera que por la atarjea debiera pasar en dos horas, produciría 457 pies cúbicos por segundo. Esto dividido por el área de la atarjea, 28.27 pies cuadrados, daría una velocidad de 15.38 pies lineales por segundo.”

Aquí el Sr. Adams dice que no hay indicación ninguna de que tal velocidad exista; no puede existir porque las condiciones hidráulicas de la atarjea no lo permiten.

El Sr. Adams continúa:

“Por consiguiente una ó dos cosas deben suceder; ó las atarjeas no están destinadas á descargar tanta agua como se ha supuesto por lo general,<sup>1</sup> ó la descarga de los ramales bajos se adelanta mucho á la de los más altos; nosotros creemos que los dos hechos se verifican á la vez. Por esto es que para calcular las dimensiones de las atarjeas, no podemos suponer á priori que hay una velocidad media uniforme en toda la longitud de la atarjea, determinada por las condiciones de sección y pendiente, ni tampoco fijarnos sólo en las observaciones hechas en la desembocadura. La cantidad de agua que entra á los diferentes ramales es tan variable en cantidad y velocidad, por los diversos caracteres físicos y topográficos de la superficie que desaguan, que pretender expresar esa cantidad y esa velocidad ó sus relaciones por una fórmula, para una superficie extensa sería opuesto al principio de sencillez que todos deseamos, y sería demasiado complicada para un objeto práctico. Las anteriores consideraciones no eximen, pues, de intentar el cómputo de las dimensiones de las atarjeas que han de servir para desaguar áreas extensas, determinando una velocidad uniforme de descarga; y buscando un medio para resolver esta cuestión de un modo conveniente, somos conducidos á adoptar una fórmula extremadamente sencilla que ha sido usada con buenos resultados.”

El Sr. Adams aquí hace alusión á la fórmula de Hawksley, y por varias consideraciones que hace antes y después de los párrafos que acabamos de copiar, deduce la fórmula siguiente:

$$\log. D = \frac{2 \log. A + \log. N + 3.79}{6}$$

en la que los signos algebraicos tienen la misma significación que en la fórmula de Hawksley; pero  $D$  el diámetro resulta expresado en pies.

La fórmula que acabamos de insertar es enteramente empírica, y á nuestro juicio, tiene el inconveniente de que no ha sido deducida por la discusión razonada de hechos prácticos que pudieran servirle de fundamento. Su autor llega á ella por consideraciones bastante extensas sobre el movimiento del agua en los tubos; pero así deduce una fórmula que en su segundo término tiene un exponente fraccionario de  $\frac{1}{3}$  que arbitrariamente cambia en  $\frac{1}{4}$ , sin dar para ello la razón, y el único argumento que aduce en favor de esta fórmula, es que en las grandes áreas produce resultados mayores, es decir, se obtienen con ella mayores diámetros que con la fórmula de Hawksley, “lo cual, dice el Sr. Adams, la experiencia ha indicado que es conveniente en esta localidad.” (Suponemos que se refiere á Brooklyn).

Esta conveniencia puede muy bien no ser aplicable de un modo general, pues tanto la fórmula de Hawksley como la de Adams no tienen en cuenta un elemento

<sup>1</sup> Aquí se refiere esencialmente á la costumbre que se ha seguido en muchas partes, de calcular las atarjeas suponiendo que todo el producto de una lluvia debe pasar por los conductos en un tiempo doble del que tarda en caer.

tan variable y tan influyente como es la pendiente del terreno, y basta que ésta sea diferente á la de las localidades para donde dichas fórmulas fueron deducidas, para que sus resultados no sean comparables ni aplicables á otro lugar; creemos que ésta puede ser entre otras, una de las causas por las cuales el Sr. Adams encuentra los resultados de su fórmula más aplicables á la localidad á que él se refiere, y el hecho de que la fórmula de Burkli-Ziegler haya sido deducida teniendo á la vista los resultados de experiencias practicadas en Inglaterra, Francia, Alemania y Suiza, nos induce á dar más valor á los resultados que por ella se obtengan y generalizar su aplicación con más seguridad. Ninguna de estas fórmulas es de una exactitud matemática, pero el Sr. Hering les ha dado su verdadero valor en las siguientes frases:

“Si las atarjeas son proporcionadas en sus dimensiones por medio de esta fórmula<sup>1</sup> ó alguna otra deducida de experiencias prácticas y variadas en vez de proporcionarlas por una simple regla de tres<sup>2</sup>, método que no ha sido confirmado prácticamente sino para muy pequeñas áreas, resultarán dimensiones más racionales que las que ahora se calculan, y se obtendrá con esto una grande economía.”

Es pues más racional servirse de estas fórmulas para tener una idea aproximada de los efectos de las lluvias sobre las atarjeas, y prever con más aproximación la cantidad de agua que pasará por ellas en los momentos de los fuertes aguaceros.

Nosotros expresamos ya nuestra opinión acerca de que la fórmula de Burkli-Ziegler es la que nos merece más confianza, y dimos las razones que nos sirven de fundamento; pero quisimos conocer los resultados que darían las otras y por esto hemos calculado con ellas las dimensiones de una atarjea empleando los mismos datos para todas, datos, que se aproximan á los de la zona central de nuestro sistema de desagüe.

Como unas fórmulas están establecidas según el sistema métrico y otras según las medidas inglesas, vamos á asentar los datos en los dos sistemas de una vez, advirtiendo que las fórmulas de Hawksley y Adams tienen los coeficientes adecuados al caso de una lluvia de 0.025 en una hora.

Suponemos que el área que se tiene que desaguar mide una extensión superficial de 391 hectáreas (967 acres); una lluvia de 0.025 descarga 250,000 litros por hectárea (3,376 pies cúbicos por acre); la pendiente general del terreno es de uno en mil y la pendiente de la atarjea será de uno en mil doscientos cincuenta ó bien 0.0008, (cuatro pies veintidos centésimos por milla).

Aplicarémolos desde luego la fórmula de Burkli-Ziegler y se obtendrá sucesivamente:

$$Q = c. r. \sqrt[4]{\frac{S}{A}}, \quad Q = 0.6 \times 69.5 \sqrt[4]{\frac{391}{3376}}$$

$$\begin{array}{r} \log. 0.6 = 9.7781 \\ \log. 69.5 = 1.8420 \\ \hline 1.6201 \\ -0.6481 \\ \hline 0.9720 = \log Q, \end{array} \quad \begin{array}{r} \log. \frac{1}{3376} = -2.5226 \\ -0.6481 = \log. \sqrt[4]{\frac{1}{3376}} \\ \hline \text{lit.} \\ Q = 9.37 \end{array}$$

<sup>1</sup> Se refiere á la fórmula de Burkli-Ziegler.

<sup>2</sup> Hace alusión á la práctica viciosa de calcular las dimensiones de las atarjeas proporcionalmente al área que tienen de desaguar, prescindiendo de todos los demás elementos que intervienen en la cuestión y que modifican el resultado en la práctica.