

## Estimación de curvas de caudal para el diseño de sistemas de tratamiento de aguas residuales

**Clara María Recinos Arenas**

M.Sc. Ingeniería Sanitaria, ERIS – USAC

Trabajo: Bioproyectos de Ingeniería, S.A.

Dirección para recibir correspondencia: clara.mara@gmail.com

Recibido 13.07.2015 Aceptado 24.08.2015

### Resumen

Este artículo presenta 8 curvas de generación de caudal de aguas residuales, dos de establecimientos comerciales, dos de oficinas, dos de condominios residenciales, una de industria alimenticia y una de universidad. Las curvas son presentadas en porcentajes del caudal total generado en un día. Fueron estimadas en base a mediciones de caudal instantáneo cada 5 minutos, durante 24 horas, con la finalidad de establecer las diferencias en el comportamiento del caudal que ingresa a los sistemas de tratamiento de aguas residuales de cada tipo de ente generador. Los valores obtenidos de las mediciones se procesaron para producir gráficas en rangos de tiempo de 30 minutos. En todos los casos, el caudal medio es equivalente al 2.1% del total del caudal descargado en un día. Las descargas comerciales tienen picos de caudal máximo entre 2.4 y 3.6 veces el caudal medio, mientras que la descarga de edificios de oficinas tienen picos de 2 y 2.1 veces el caudal medio, y para las descargas domésticas se encontraron picos de 1.9 a 2.2 veces el caudal medio.

**Palabras clave.** Análisis de datos, medición de caudal, descargas de aguas residuales, curva de caudal, planta de tratamiento de aguas residuales.

### Abstract

This article presents eight curves of waste water generation, 2 in commercial buildings, 2 in office buildings, 2 in residential establishments, 1 in food industry, and 1 in a university. Curves are presented in terms of percentage of the total flow in a day. They were estimated by measuring instantaneous flow every 5 minutes during 24 hours, in order to establish the difference in the wastewater flow that enters to wastewater treatment plants of each kind of wastewater generator. Values obtain were processed to produce graphics in 30 minutes range time. In every case, average flow is equivalent to 2.1% of the total flow in a day. Commercial discharges present peak flow of 2.4 to 3.6 times average flow; office buildings discharges present peak flow of 2 to 2.1 times average flow; and residential discharges presents peak flows of 1.9 to 2.2 times average flow.

**Key words:** Data analysis, flow measurement, wastewater discharge, flow curves, wastewater treatment plants.

### Introducción

Las curvas de caudal representan de forma gráfica el comportamiento de la descarga de aguas residuales a lo largo del tiempo. Su determinación es importante para el diseño de sistemas de tratamiento de aguas residuales.

Se realizaron mediciones de las curvas de caudal en las descargas de aguas residuales de dos edificios de oficinas, dos centros comerciales y dos industrias en Guatemala. Además, se presenta una curva de la descarga de una industria alimenticia, y una de una

Universidad. Las mediciones se realizaron en el ingreso del agua residual al sistema de tratamiento de aguas residuales, o bien, en la descarga final del agua residual en los casos en los que el establecimiento no contaba con planta de tratamiento. Todas las mediciones se realizaron cada 5 minutos durante 24 horas mediante un medidor automático de altura y un vertedero triangular. Los resultados evidencian las diferencias en cuanto a la generación de caudal de las distintas actividades tanto en magnitudes de caudales máximos y mínimos, como en el comportamiento en sí de la descarga.

## Metodología

Para realizar las mediciones, se establecieron los entes generadores a evaluar y el punto de medición de cada uno presentados en la tabla 1.

Ente generador	Punto de medición
Edificio de oficinas en Quetzaltenango	Ingreso a PTAR
Edificio de oficinas en Guatemala	Descarga final (no cuenta con PTAR)
Centro comercial en Quetzaltenango	Ingreso a PTAR
Centro comercial en Guatemala	Ingreso a PTAR
Condominio Residencial en Mixco	Ingreso a PTAR
Condominio Residencial en Guatemala	Ingreso a PTAR
Universidad	Ingreso a PTAR
Industria alimenticia	Descarga final (no cuenta con PTAR)

Tabla 1: puntos de medición de caudal. Fuente: Elaboración propia.

Las mediciones de caudal se realizaron utilizando un equipo automatizado que mide las variaciones de la altura del nivel del agua en un canal o tubería, cuyo flujo es restringido por un vertedero triangular. A pesar de que cada ente generador evaluado tuvo distintas condiciones en la descarga, en todos los casos se pudo instalar adecuadamente el equipo. En la imagen 1 se presenta un ejemplo. Las mediciones se realizaron cada 5 minutos durante 24 horas, luego de las cuales se estimó el caudal instantáneo de cada altura medida al introducir los datos en la ecuación del vertedero triangular.

Los valores obtenidos en las mediciones se convirtieron a rangos de 30 minutos obteniendo

valores en  $lt/0.5horas$ . Éstos se convirtieron en porcentaje del caudal total día para que la información recopilada sea más general del tipo de actividad que se realiza, y menos específica de la descarga medida. Para cada curva, se obtuvo el caudal promedio, máximo, y mínimo en términos del 100% del caudal que se descarga en un día.



Imagen 1: Ejemplo de instalación del equipo de medición en ingreso del caudal a la PTAR de una Universidad.

Los datos en porcentaje se graficaron para mostrar la curva de la descarga de aguas residuales a lo largo de 24 horas, con el fin de facilitar la comparación de los datos y mejorar la comprensión del comportamiento de las distintas descargas.

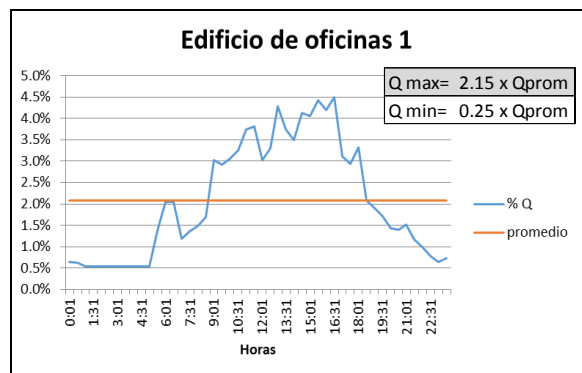
## Resultados obtenidos

A continuación se presentan los resultados obtenidos en cada medición en forma de gráfica. Los valores se presentan en términos del porcentaje del caudal total diario.

### Edificios de oficinas

Se midió la descarga de un edificio de oficinas ubicado en la ciudad de Quetzaltenango cuyo caudal es de  $30 m^3/día$  aproximadamente. En la gráfica 1 se observa dicha información.

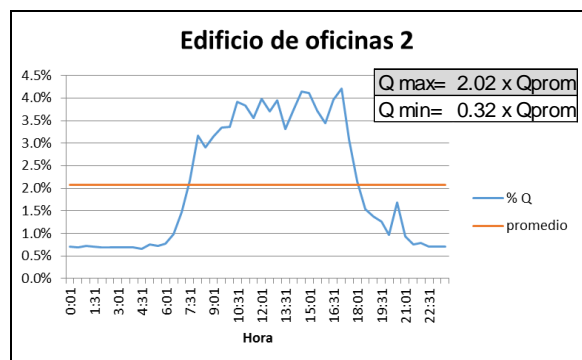
Qprom	2.1%	Qmax	4.5%	Q min	0.5%
-------	------	------	------	-------	------



Gráfica 1: curva de caudal de la descarga de aguas residuales de un edificio de oficinas ubicado en la ciudad de Quetzaltenango.

También se midió la descarga de un edificio de oficinas ubicado en la ciudad de Guatemala cuyo caudal es de 100 m<sup>3</sup>/día aproximadamente. Los resultados se presentan en la gráfica 2.

Qprom	2.1%	Qmax	4.2%	Q min	0.7%
-------	------	------	------	-------	------

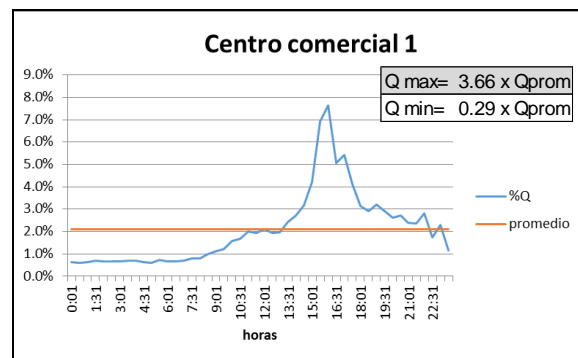


Gráfica 2: curva de caudal de la descarga de aguas residuales de un edificio de oficinas ubicado en la ciudad de Guatemala.

Centros comerciales

Se midió la descarga de un centro comercial ubicado en la ciudad de Guatemala cuyo caudal es de 60 m<sup>3</sup>/día aproximadamente. La curva de caudal es presentada en la gráfica 3 junto a los porcentajes de caudales medio, máximo y mínimo.

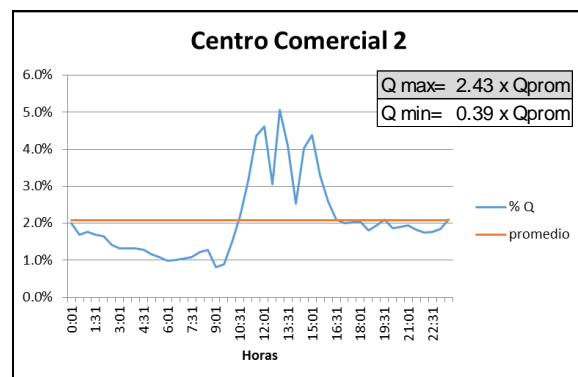
Qprom	2.1%	Qmax	7.6%	Q min	0.6%
-------	------	------	------	-------	------



Gráfica 3: curva de caudal de la descarga de aguas residuales de un centro comercial ubicado en la ciudad de Guatemala.

Así mismo se presenta en la gráfica 4 los resultados de las mediciones de la descarga de un centro comercial ubicado en la ciudad de Quetzaltenango cuyo caudal es de 145 m<sup>3</sup>/día aproximadamente.

Qprom	2.1%	Qmax	5.1%	Q min	0.8%
-------	------	------	------	-------	------

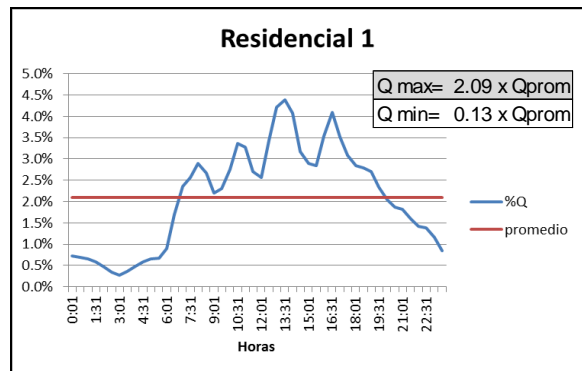


Gráfica 4: curva de caudal de la descarga de aguas residuales de un centro comercial ubicado en la ciudad de Quetzaltenango.

Condominio residencial

Se midió la descarga de un condominio residencial de clase alta ubicado en la ciudad de Guatemala cuyo caudal es de 170 m<sup>3</sup>/día aproximadamente. La curva de caudal es presentada en la gráfica 5.

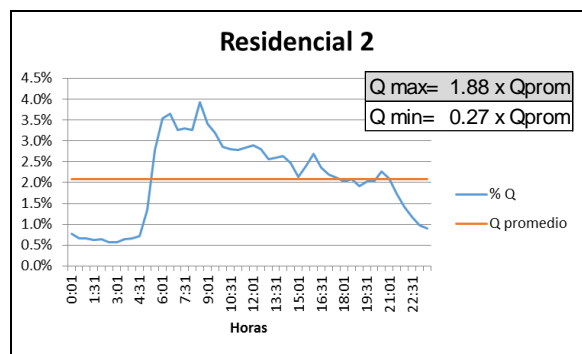
Qprom	2.1%	Qmax	4.4%	Q min	0.3%
-------	------	------	------	-------	------



Gráfica 5: curva de caudal de la descarga de aguas residuales de un condominio residencial ubicado en la ciudad de Guatemala.

De igual forma se midió la descarga de otro condominio residencial de clase media ubicado en Mixco, Guatemala cuyo caudal es de aproximadamente 160 m<sup>3</sup>/día. La gráfica 6 muestra la curva de caudal de dicha medición.

Qprom	2.1%	Qmax	3.9%	Q min	0.6%
-------	------	------	------	-------	------

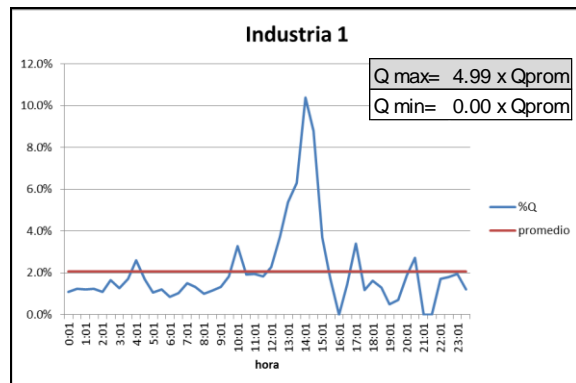


Gráfica 6: curva de caudal de la descarga de aguas residuales de un condominio residencial ubicado en Mixco, Guatemala.

Otros

Se midió la descarga de una industria alimenticia ubicada en la ciudad de Guatemala cuya curva de caudal se presenta en la gráfica 7. El caudal de la industria alimenticia medida es de 100 m<sup>3</sup>/día aproximadamente.

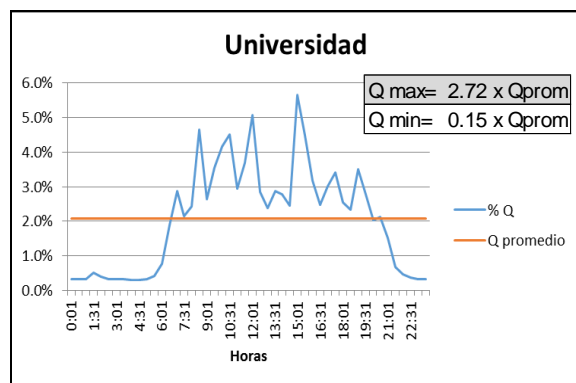
Qprom	2.1%	Qmax	10.4%	Qmin	0.0%
-------	------	------	-------	------	------



Gráfica 7: curva de caudal de la descarga de aguas residuales de una industria alimenticia ubicada en la ciudad de Guatemala.

Por último se midió la descarga de una Universidad ubicada en la ciudad de Guatemala cuyo caudal es de 175 m<sup>3</sup>/día aproximadamente. En la gráfica 8 se presenta la curva de caudal respectiva.

Qprom	2.1%	Qmax	5.7%	Q min	0.3%
-------	------	------	------	-------	------



Gráfica 8: curva de caudal de la descarga de aguas residuales de una Universidad ubicada en la ciudad de Guatemala.

Al utilizar cualquiera de las 8 gráficas presentadas para proyectar el comportamiento del caudal a descargar por otro ente, es necesario conocer un aproximado del caudal que el ente en estudio descargará al día para introducirlo en las siguientes ecuaciones:

- Para obtener el caudal en l/s:
 
$$Q(l/s) = \frac{\% * Q_{total}(l/día)}{1800}$$

- Para obtener el caudal en l/min  

$$Q(l/min) = \frac{\% \times Q_{total}(l/día)}{30}$$

- Para obtener el caudal en l/hora  

$$Q\left(\frac{l}{hora}\right) = \% * Q_{total}\left(\frac{l}{día}\right) * 2$$

En donde

%=valor de la gráfica en porcentaje

Qtotal=caudal total en l/día

### Discusión de resultados

Las curvas de caudal muestran el comportamiento de la descarga de cada ente generador de aguas residuales. A pesar de que nunca se tendrán dos curvas iguales, las presentadas en este artículo ejemplifican la variabilidad de las descargas relacionadas con el tipo de actividad que se realiza en cada establecimiento. Además, puede observarse que en curvas generadas por dos entes distintos cuyas actividades son similares, una en mayor magnitud que en otra, los picos máximos y mínimos son más marcados en los entes que generan menor caudal. Por ejemplo, en el caso de los edificios de oficinas, tanto el pico máximo como el mínimo son más extremos en el ente que descarga menor caudal diario.

En el caso de las descargas de edificios de oficinas, alrededor del 44% del tiempo las descargas se encuentran arriba de la media, en horarios de 7:00 a 18:30 horas. El caudal pico se registra entre las 16:30 y las 17:00 horas en ambos casos, y es de 4.2% y 4.5% del caudal total que se genera al día, es decir de 2 a 2.1 veces el caudal medio diario. En el caso del caudal mínimo registrado puede decirse que oscila entre el 0.5% y 0.7% del caudal total diario, es decir de 0.23 a 0.33 veces el caudal medio. En general, el comportamiento de ambos establecimientos de oficinas es similar, a pesar de estar ubicados en distintas ciudades. Si bien existen algunas diferencias, es factible utilizar estas gráficas como base para proyectar el comportamiento de la descarga de aguas negras de otro edificio de oficinas.

Los centros comerciales, por su parte, tienen un comportamiento de descarga distinto al de las oficinas, pues el tiempo de generación es más reducido y los picos más marcados. Sin embargo, las curvas tienen comportamiento diferente. El centro comercial ubicado en la ciudad de Guatemala descarga el 38% del tiempo caudales mayores al medio (entre 13:00 y 22:00 horas), siendo el pico de 7.6% a las 16:00 horas equivalente a 3.6 veces el caudal medio diario; mientras que en el centro comercial ubicado en Quetzaltenango únicamente el 27% del tiempo se descargan caudales mayores al medio y el pico de 5.1% se da a las 13:00 horas (2.4 veces el caudal medio diario). Además, en el caso del centro comercial ubicado en Guatemala, el caudal pico sucede una sola vez y es muy distinto al resto de caudales del día, mientras que en el de Quetzaltenango existen tres picos muy similares. En cuanto al caudal mínimo, es muy similar en ambos casos 0.8% y 0.6% y se presenta sobre todo en las horas de la madrugada. En general, las diferencias en las curvas pueden explicarse por las diferentes costumbres de las poblaciones. En la ciudad de Quetzaltenango probablemente las personas visiten más el centro comercial en horas cercanas al almuerzo, mientras que en el centro comercial de Guatemala, el flujo de personas es mayor por la tarde-noche.

La diferencia de costumbres también es evidente en la curvas de las descargas residenciales. Mixco es considerada una ciudad dormitorio, y esto se hace evidente pues según las mediciones, las descargas importantes de caudal se dan a partir de las 5:00 horas y terminan a las 21:00 horas (67% del tiempo se descargan caudales mayores al promedio), mientras que las del condominio ubicado en la ciudad capital se dan entre 6:30 horas y 19:30 horas (el 54% del tiempo se descargan caudales mayores al medio). Los caudales picos también se dan en horarios distintos, a las 8:30 horas para el caso de Mixco con 3.9% del caudal total diario (1.85 veces el caudal medio), y a las 13:30 horas en el caso de Guatemala con 4.4% del caudal total diario (2.1 veces el caudal medio). Los caudales mínimos son de 0.3% y 0.6% y en ambos casos se presentan en horas de la madrugada.

Para el caso de las industrias, es muy difícil establecer una curva de descarga de aguas residuales general, pues éstas dependen de los procesos de producción que cada producto requiera. Incluso dentro de la misma industria, las descargas pueden ser muy distintas entre días. La curva



presentada en este artículo muestra, por ejemplo, que el comportamiento de la descarga puede llegar a ser muy distinta del de las descargas ordinarias. En este caso únicamente el 13% del tiempo se tuvo descargas mayores al caudal medio diario, sin embargo el pico llegó a ser de 10.4%, es decir 5 veces mayor al caudal medio. Además, el caudal mínimo durante las 24 horas muestreadas fue de 0 l/s. De tal cuenta, es evidente que el comportamiento de la descarga de una industria puede llegar a ser tan extrema y distinta a la de entes generadores ordinarios, como las descargadas por un edificio de oficinas o un condominio en donde las actividades diarias son muy similares, y no se presentan picos tan extremos.

Por último, la curva de la universidad tiene un comportamiento similar al de un edificio de oficinas, pues el 58% del tiempo tiene descargas mayores a la media y el pico es de 5.7% del caudal diario (2.7 veces el caudal medio). Esto puede explicarse al equiparar las actividades generadoras de aguas residuales que se realizan en cada establecimiento, pues en ambos casos las mayores descargas de aguas residuales se generan en servicios sanitarios. La diferencia es el horario de descarga, pues la universidad lo hace en horarios más amplios que los hábiles.

## Conclusiones

Las curvas de caudal de aguas residuales presentan información importante para establecer el comportamiento que tendrá en el sistema de tratamiento de aguas residuales al que descargará, pues en ellas se establecen los picos máximos y mínimos de caudal, los horarios en los que éstos se presentan, y la magnitud de los mismos en relación al caudal medio diario. Con estas curvas de caudal, por ejemplo, se puede establecer con claridad la necesidad o no de instalar un tanque ecualizador, previo a la planta de tratamiento, para mejorar el comportamiento del caudal que ingresa al sistema al minimizar los picos y con ello hacerlo más constante.

En general puede concluirse que para todos los casos, el caudal medio en rangos de media hora es equivalente a 2.1% del caudal total diario generado. Para el caso de los edificios de oficinas, puede concluirse que el caudal de descarga es mayor al caudal medio el 44% del tiempo, presentando picos de caudal con magnitudes alrededor de 2.1 veces el caudal medio.

En el caso de las descargas de centros comerciales, únicamente del 27% al 38% del tiempo presenta caudales de descarga mayores al medio, sin embargo los picos de caudales que se generan son importantes pues se encuentran entre 2.4 y 3.6 veces el caudal medio.

Las descargas de condominios residenciales presentan caudales de descarga mayores al medio durante más de 12 horas, es decir de 54% a 67% del tiempo. No obstante, los picos de caudal son bastante menores a los encontrados en centros comerciales. Para el caso de condominios residenciales, los picos varían entre 1.8 y 2.1 veces el caudal medio.

Las curvas de los caudales descargados por edificios de oficinas, centros comerciales y condominios residenciales presentadas en este artículo, podrán utilizarse como base para la predicción del comportamiento de la descarga de aguas residuales de un nuevo proyecto a desarrollar en Guatemala. Para establecer los valores de diseño se deberán utilizar las ecuaciones presentadas. De cualquier forma, es importante intentar adaptar estas curvas al caso específico en estudio, considerando las variaciones en las actividades que se realizarán y los horarios en los que se tendrán las descargas.

En el caso de las industrias, la predicción de la curva del caudal a descargar será muy difícil de realizar sin obtener un margen de error considerable, por lo que en este caso, deberá realizarse la medición específica de cada caso para tomar en cuenta esta información en el diseño del sistema de tratamiento de aguas residuales. Si se trata de un proyecto nuevo, deberán realizarse mediciones en proyectos con características similares para extrapolar la información. La curva medida en este estudio en una industria alimenticia muestra que únicamente el 13% del tiempo las descargas son mayores a la media, y que el caudal pico es 5 veces mayor al medio.

La medición de la curva del caudal que es descargado por un ente generador, puede acompañarse de la determinación de otros parámetros de calidad como temperatura y pH que pueden hacerse de forma continua, o bien la demanda química de oxígeno y la demanda bioquímica de oxígeno. De esta forma se podrá predecir el impacto que tendrá cada pico de caudal tanto por su volumen, como por su calidad o carga.

## Referencias

- Fresenius, W. Manual de disposición de aguas residuales: origen, descarga, tratamiento y análisis de las aguas residuales. Tomo 1. CEPIS, Perú, 1991.
- Berthouex, P.M; Richard Fan. Evaluation of treatment plant performance: Causes, Frequency, and duration of upsets. Journal water pollution control federation, Vol.58, No.5. Water Environment Federation, 1986.
- Qasim, Syed R. Wastewater Treatment Plants: planning, design and operation. CRC Press, 2 ed, 1999
- Gernaey, K.V.; C. Rosen, L Benedetti, U. Jeppsson. Phenomenological modeling of wastewater treatment plant influent disturbance scenarios. 10th International Conference of Urban Drainage, Dinamarca, 2005.

## Información del autor

Ingeniero civil, graduado en la Facultad de Ingeniería de la Universidad Rafael Landívar de Guatemala en el año 2010. Con experiencia en el área de tratamiento de aguas residuales por 5 años.

MSc en Ingeniería Sanitaria, de la Escuela Regional de Ingeniería Sanitaria y Recursos Hidráulicos, ERIS de la Universidad de San Carlos de Guatemala.