

|   |  |  |                      |
|---|--|--|----------------------|
|  | <b>Manual de prácticas de hidrología</b> | Código                                       | MADO-27              |
|   |  | Versión                                      | 04                   |
|   |  | Página                                       | 1/8                  |
|   |  | Sección ISO                                  | 8.3                  |
|   |  | Fecha de emisión                             | 11 de agosto de 2023 |
| Facultad de Ingeniería  |  | Área/Departamento: Laboratorio de hidráulica |                      |
| La impresión de este documento es una copia no controlada                         |  |  |                      |

# HIDROGRAMA

## Práctica 2

| Elaborado por:   | Revisado por:              | Autorizado por:           | Vigente desde:       |
|--|----------------------------|---------------------------|----------------------|
| M.I. Alexis López Montes, Ing. Víctor M. Palma Valderrama, M.I. Luis E. Lin Quintana | M.I. Alejandro Maya Franco | Ing. Jesús Gallegos Silva | 11 de agosto de 2023 |

|   |  |  |                      |
|---|--|--|----------------------|
|  | <b>Manual de prácticas de hidrología</b> | Código                                       | MADO-27              |
|   |  | Versión                                      | 04                   |
|   |  | Página                                       | 2/8                  |
|   |  | Sección ISO                                  | 8.3                  |
|   |  | Fecha de emisión                             | 11 de agosto de 2023 |
| Facultad de Ingeniería  |  | Área/Departamento: Laboratorio de hidráulica |                      |
| La impresión de este documento es una copia no controlada                         |  |  |                      |

## 1. Seguridad en la ejecución

|   | <b>Peligro o Fuente de energía</b> | <b>Riesgo asociado</b> |
|---|------------------------------------|------------------------|
| 1 | Rejillas en sala de modelos        | Posible caída          |

## 2. Objetivos de aprendizaje

### I. Objetivo general

Analizar el hidrograma de salida en la cuenca de la mesa hidrológica

### II. Objetivo específico

Obtener los gastos de escurrimiento, base y directo, del hidrograma aforado en la salida de la cuenca.

## 3. Introducción y antecedentes

- Características de un hidrograma
- Métodos para separar el gasto base del directo
- Coeficiente de escurrimiento
- Expresión para determinar el error relativo
- Concepto de gasto base y gasto directo

## 4. Material y equipo

- Mesa hidrológica
- Cronómetros

|   |  |  |                      |
|---|--|--|----------------------|
|  | <b>Manual de prácticas de hidrología</b> | Código                                       | MADO-27              |
|   |  | Versión                                      | 04                   |
|   |  | Página                                       | 3/8                  |
|   |  | Sección ISO                                  | 8.3                  |
|   |  | Fecha de emisión                             | 11 de agosto de 2023 |
| Facultad de Ingeniería  |  | Área/Departamento: Laboratorio de hidráulica |                      |
| La impresión de este documento es una copia no controlada                         |  |  |                      |

## 5. Desarrollo

### Actividad 1

1. Generar una tormenta en la mesa hidrológica (Figura 1), con los gastos que se indican en la Tabla 1, considerar un intervalo de 10 segundos entre cada gasto.

**Tabla 1. Gastos para generar el hidrograma en la cuenca**

| Tiempo (s) | Gasto (l/min) | Tiempo (s) | Gasto (l/min) |
|------------|---------------|------------|---------------|
| 0          | 9             | 150        | 12            |
| 10         | 8             | 160        | 10            |
| 20         | 7             | 170        | 9             |
| 30         | 6             | 180        | 8             |
| 40         | 5             | 190        | 7             |
| 50         | 5             | 200        | 6             |
| 60         | 0             | 210        | 5             |
| 70         | 0             | 220        | 5             |
| 80         | 0             | 230        | 5             |
| 90         | 0             | 240        | 5             |
| 100        | 9             | 250        | 5             |
| 110        | 11            | 260        | 5             |
| 120        | 15            | 270        | 5             |
| 130        | 18            | 280        | 5             |
| 140        | 15            | 290        | 0             |

2. Al mismo tiempo que se empezó a generar la tormenta, aforar los gastos en el vertedor de la mesa hidrológica, a cada 10 segundos, hasta completar un tiempo de 270 segundos. Registrar las lecturas en la Tabla 2.
3. Durante la generación de la tormenta colocar, en la mesa hidrológica, los pluviómetros de vidrio en el tiempo 80 segundos.
4. Al finalizar la tormenta, medir la altura de precipitación  $hp$ , en cada tubito de vidrio, y registrar las lecturas en la Tabla 3.

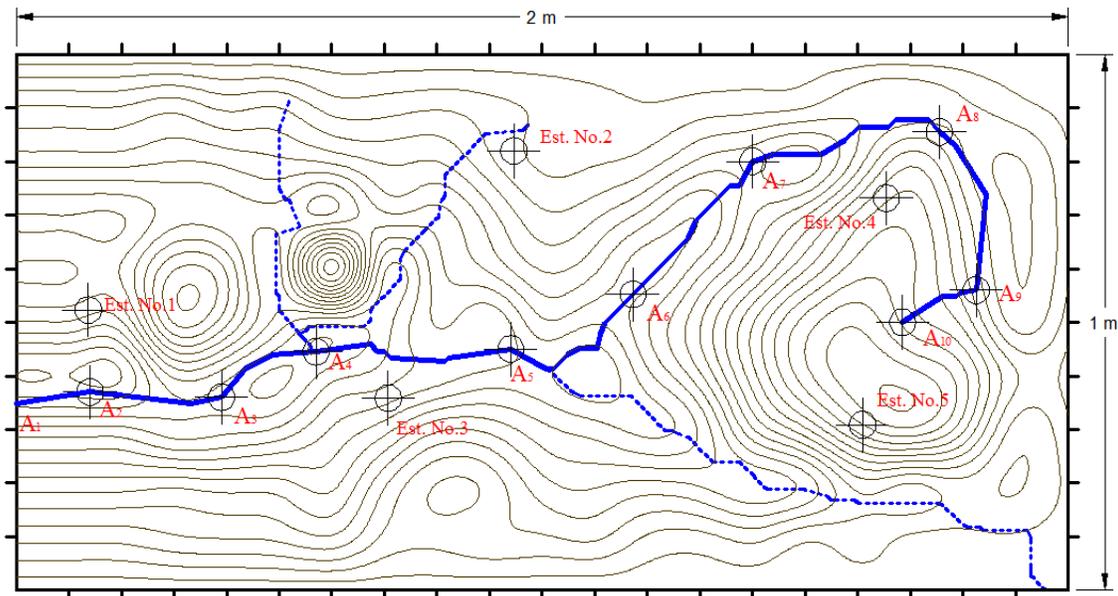
|   |  |  |                      |
|---|--|--|----------------------|
|  | <b>Manual de prácticas de hidrología</b> | Código                                       | MADO-27              |
|   |  | Versión                                      | 04                   |
|   |  | Página                                       | 4/8                  |
|   |  | Sección ISO                                  | 8.3                  |
|   |  | Fecha de emisión                             | 11 de agosto de 2023 |
| Facultad de Ingeniería  |  | Área/Departamento: Laboratorio de hidráulica |                      |
| La impresión de este documento es una copia no controlada                         |  |  |                      |

**Tabla 2. Gastos medidos en la salida de la cuenca**

| Tiempo (s) | Gasto $Q_s$ (l/s) | Tiempo (s) | Gasto $Q_s$ (l/s) |
|------------|-------------------|------------|-------------------|
| 0          | 0                 | 140        |                   |
| 10         |                   | 150        |                   |
| 20         |                   | 160        |                   |
| 30         |                   | 170        |                   |
| 40         |                   | 180        |                   |
| 50         |                   | 190        |                   |
| 60         |                   | 200        |                   |
| 70         |                   | 210        |                   |
| 80         |                   | 220        |                   |
| 90         |                   | 230        |                   |
| 100        |                   | 240        |                   |
| 110        |                   | 250        |                   |
| 120        |                   | 260        |                   |
| 130        |                   | 270        |                   |

**Tabla 3. Registro de precipitación**

| $h_p$ [mm], en la estación |   |   |   |   |
|----------------------------|---|---|---|---|
| 1                          | 2 | 3 | 4 | 5 |
|                            |   |   |   |   |

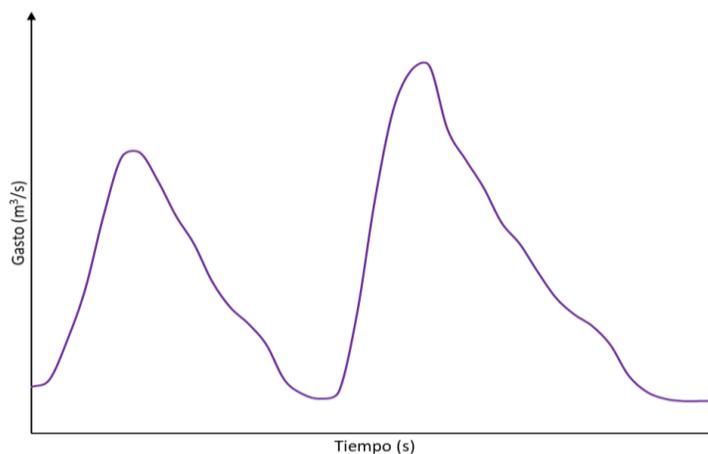


**Figura 1. Cuenca de la mesa hidrológica**

|   |  |  |                      |
|---|--|--|----------------------|
|  | <b>Manual de prácticas de hidrología</b> | Código                                       | MADO-27              |
|   |  | Versión                                      | 04                   |
|   |  | Página                                       | 5/8                  |
|   |  | Sección ISO                                  | 8.3                  |
|   |  | Fecha de emisión                             | 11 de agosto de 2023 |
| Facultad de Ingeniería  |  | Área/Departamento: Laboratorio de hidráulica |                      |
| La impresión de este documento es una copia no controlada                         |  |  |                      |

## 6. Separación del gasto base del directo, en el hidrograma de salida medido en la cuenca de la mesa hidrológica.

1. Graficar el hidrograma a la salida de la cuenca, con los valores de la Tabla 2.



**Figura 2. Hidrograma**

2. Para el hidrograma graficado en el punto anterior, separar el escurrimiento base del directo. Únicamente para el hidrograma que presente el mayor gasto pico.
  - a) Identificar los tiempos  $t_A$ ,  $t_E$ ,  $t_F$  (ver figura 3).

$t_A$  tiempo para el cual se presenta el gasto mínimo, que divide a los dos hidrogramas.

$t_E$  tiempo correspondiente al gasto pico del hidrograma.

$t_F$  tiempo que corresponde con el primer punto de inflexión, posterior al gasto pico.

- b) Calcular el tiempo  $t_D$  y el parámetro  $K_v$  mediante la siguiente expresión:

$$K_v = \frac{\sum k_{v i}}{n} \quad \text{ec.1}$$

donde:

$\sum k_{v i}$  suma de los valores estables de  $k_v i$ , cuidando que estos valores no sean menores a 0.8. Estos valores se comenzarán a calcular a partir de 270 s y hasta que  $k_v$  se vuelva inestable, o sea, que exista una diferencia entre las  $k_v$  de centésimas.

|   |  |  |                      |
|---|--|--|----------------------|
|  | <b>Manual de prácticas de hidrología</b> | Código                                       | MADO-27              |
|   |  | Versión                                      | 04                   |
|   |  | Página                                       | 6/8                  |
|   |  | Sección ISO                                  | 8.3                  |
|   |  | Fecha de emisión                             | 11 de agosto de 2023 |
| Facultad de Ingeniería  |  | Área/Departamento: Laboratorio de hidráulica |                      |
| La impresión de este documento es una copia no controlada                         |  |  |                      |

$$k_{vi} = \frac{Q_{t+\Delta t}}{Q_t}$$

- $Q_{t+\Delta t}$  gasto medido 10 s en el instante de tiempo posterior, del tiempo para el que se quiera calcular  $k_{vi}$ , en  $m^3/s$
- $Q_t$  gasto medido en el instante de tiempo  $t$ , para el que se quiera calcular  $k_{vi}$ , en  $m^3/s$
- $n$  número de valores  $k_{vi}$  a utilizar

El tiempo  $t_D$  corresponde con el último tiempo para el cual se calculó  $K_v$ .

- c) Calcular la curva A-E construida con los gastos base, desde el  $t_A$  hasta el tiempo  $t_E$ .

Los gastos base se obtienen con la expresión siguiente:

$$Q_{b\ t+\Delta t} = (Q_{b\ t})(K_v) \quad \text{ec.2}$$

donde:

- $Q_{b\ t}$  gasto base para un tiempo  $t$ , en  $m^3/s$
- $Q_{b\ t+\Delta t}$  gasto del instante posterior, en  $m^3/s$
- $K_v$  parámetro calculado en el inciso b

- d) Calcular la curva D-F construida con gastos base, partiendo desde el tiempo  $t_D$  hasta el tiempo  $t_F$ .

Los gastos base se calcularán mediante la siguiente expresión:

$$Q_{b\ t} = \frac{Q_{b\ t+\Delta t}}{K_v} \quad \text{ec.3}$$

donde:

- $Q_{b\ t+\Delta t}$  gasto del instante posterior, en  $m^3/s$

- e) Calculo de la curva E-F, construida con los gastos base que se encuentran entre los tiempos  $t_E$  y  $t_F$ .

Los gastos base se calculan con la siguiente ecuación:

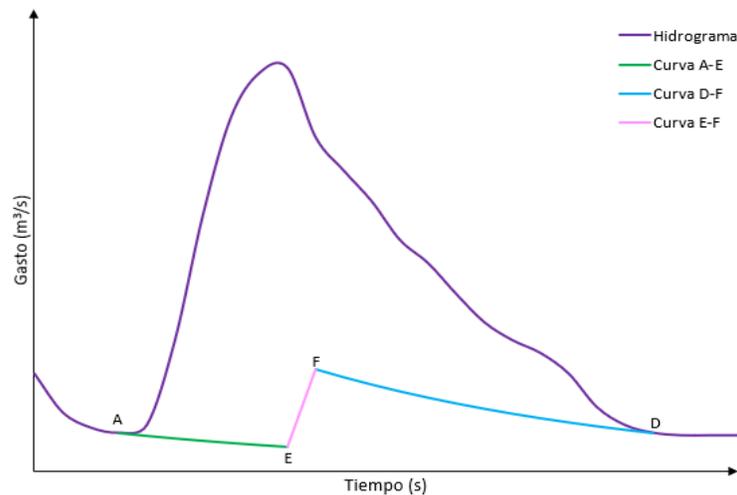
$$Q_{b\ t} = Q_{b\ E} + \frac{Q_{b\ F} - Q_{b\ E}}{t_F - t_E} (t - t_E) \quad \text{ec.4}$$

donde:

- $t$  tiempo para el cuál se está calculando el gasto base.
- $Q_{b\ E}$  gasto base del punto  $E$ , calculado en el inciso c, en  $m^3/s$
- $Q_{b\ F}$  gasto base del punto  $F$ , calculado en el inciso d, en  $m^3/s$

|   |  |  |                      |
|---|--|--|----------------------|
|  | <b>Manual de prácticas de hidrología</b> | Código                                       | MADO-27              |
|   |  | Versión                                      | 04                   |
|   |  | Página                                       | 7/8                  |
|   |  | Sección ISO                                  | 8.3                  |
|   |  | Fecha de emisión                             | 11 de agosto de 2023 |
| Facultad de Ingeniería  |  | Área/Departamento: Laboratorio de hidráulica |                      |
| La impresión de este documento es una copia no controlada                         |  |  |                      |

- f) Presentar los resultados de los gastos base obtenidos, en una tabla donde se muestre el tiempo, los gastos totales y los gastos base en m<sup>3</sup>/s.
- g) Obtener los gastos de escurrimiento directo.
3. Con ayuda de los valores de la tabla del inciso e del punto 2, trazar la línea que separa el gasto base del directo, en la gráfica del punto 1 (ver Figura 3).



**Figura 3. Gasto base y directo en un hidrograma.**

4. Obtener el volumen de escurrimiento directo  $V_{ed1}$ , con los gastos obtenidos en el inciso f del punto 2, mediante la expresión siguiente:

$$V_{ed1} = \Delta t \sum_{i=1}^n Q_{di} \quad \text{ec.5}$$

donde:

- $V_{ed1}$  volumen de escurrimiento directo, en m<sup>3</sup>
- $\Delta t$  intervalo constante de tiempo, entre los gastos de escurrimiento directo del hidrograma, igual a 10 s.
- $Q_{di}$  gasto de escurrimiento directo en el instante  $i$ , en m<sup>3</sup>/s

5. Calcular el volumen de escurrimiento directo  $V_{ed2}$ , a partir de la precipitación media en la cuenca (emplear el método aritmético), considerando un coeficiente de escurrimiento  $C_e$  igual a 0.2 (este coeficiente corresponden al comportamiento de la cuenca y de la lluvia en la mesa hidrológica). Para éste cálculo emplear la ecuación 6.

|   |  |  |                      |
|---|--|--|----------------------|
|  | <b>Manual de prácticas de hidrología</b> | Código                                       | MADO-27              |
|   |  | Versión                                      | 04                   |
|   |  | Página                                       | 8/8                  |
|   |  | Sección ISO                                  | 8.3                  |
|   |  | Fecha de emisión                             | 11 de agosto de 2023 |
| Facultad de Ingeniería  |  | Área/Departamento: Laboratorio de hidráulica |                      |
| La impresión de este documento es una copia no controlada                         |  |  |                      |

$$C_e = \frac{V_{ed2}}{V_{ll}} \quad \text{ec.6}$$

donde:

$C_e$  coeficiente de escurrimiento directo, adimensional  
 $V_{ed2}$  volumen de escurrimiento directo, en  $m^3$   
 $V_{ll}$  volumen llovido, en  $m^3$ . El área total de la cuenca analizada es de 2  $m^2$

$$\bar{h}_p = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n h_{pi} \quad \text{ec.7}$$

donde:

$\bar{h}_p$  altura de precipitación media en la cuenca, mediante el método aritmético, en mm  
 $n$  número total de estaciones climatológicas en la cuenca  
 $h_{pi}$  altura de precipitación en la estación  $i$ , en mm

- Obtener el porcentaje de error  $e$ , entre los volúmenes de escurrimiento directo, calculados en el punto 4 y 5.

$$e = \left| \frac{V_{ed2} - V_{ed1}}{V_{ed2}} \right| (100) \quad \text{ec.8}$$

## 7. Conclusiones

## 8. Bibliografía

- APARICIO M. F. J. *Hidrología de superficie*. Editorial Limusa, México. (1997)
- VEN TE CHOW, DAVID R. MAIDMENT, LARRY W. MAYS *Hidrología aplicada*, Editorial Mc Graw Hill. (1994).
- SPRINGAL G. R. *Hidrología*. Facultad de Ingeniería, UNAM, México. (1990).
- SERGIO I. MARTÍNEZ MARTÍNEZ *Introducción a la Hidrología Superficial*. Universidad Autónoma de Aguascalientes. (2000).