

---

---

# Vulnerabilidad de estructuras de puentes en zonas de gran influencia de ciclones tropicales.

## Informe de estudios Hidrológico Puente Tupitina

**Elaborado por:**  
Instituto de Ingeniería  
UNAM

## Control documental

### Información del documento

|                                | Información                        |
|--------------------------------|------------------------------------|
| <i>Numero de documento</i>     | <i>Hidro-Tupitina</i>              |
| <i>Elaboro</i>                 | <i>Ing. David Flores Vidriales</i> |
| <i>Fecha de Expedición</i>     | <i>10/11/2017</i>                  |
| <i>Fecha de Última Edición</i> | <i>10/11/2017</i>                  |
| <i>Nombre del archivo</i>      | <i>Hidro-Tupitina</i>              |

### Historia del documento

| Versión    | Fecha             | Cambios                           |
|------------|-------------------|-----------------------------------|
| <i>1.0</i> | <i>10/11/2017</i> | <i>Propuesta para comentarios</i> |
|            |                   |                                   |
|            |                   |                                   |
|            |                   |                                   |
|            |                   |                                   |

## Contenido

|   |    |
|---|----|
| Informe general.....                            | 3  |
| Objetivo.....                                   | 3  |
| 1.- Generalidades.....                          | 3  |
| 2.- Estudio Hidrológico .....                   | 4  |
| Observaciones.....                              | 4  |
| 3.- Estudio Hidráulico .....                    | 5  |
| 4.- Conclusiones y recomendaciones.....         | 6  |
| Memoria de cálculo.....                         | 7  |
| 1.- Recopilación de información .....           | 7  |
| 2.- Desarrollo.....                             | 8  |
| 3.- Estudio hidrológico.....                    | 9  |
| Descripción del método de Ven Te Chow .....     | 10 |
| Método racional .....                           | 15 |
| Método del Hidrograma Unitario Triangular ..... | 21 |
| 4.- Perfiles.....                               | 25 |
| 5.- Simbología.....                             | 26 |

# 1

## Informe general

---

### Objetivo

El objetivo del estudio es obtener el gasto de diseño asociado a un periodo de retorno 100, 500 y 1,000 años, hasta el sitio donde se localiza el cruce, mediante la aplicación de métodos hidrológicos apropiados a las características de la cuenca.

### 1.- Generalidades

La corriente nace a 50.7 km del sitio de cruce y desemboca a 4.2 km, en el Océano Pacífico"; dicha descarga no provoca influencia hidráulica en el cruce. El área de la cuenca drenada hasta el cruce es de 167.6 km<sup>2</sup> y pertenece a la Región Hidrológica No. 17 Costa de Michoacán, según clasificación de la extinta SARH. Ver croquis de localización. En la zona del cruce, la vegetación se puede clasificar como bosque y pastizales y el terreno es sensiblemente de lomerío.

El cauce en la zona de cruce es sinuoso, estable y encajonado.

El período de lluvias en la región comprende los meses de junio a septiembre.

La precipitación media anual es de 1200 mm.

## 2.- Estudio Hidrológico

---

Método aplicado Se aplicaron los métodos Racional, Ven Te Chow e Hidrograma Triangular Unitario. Se adoptaron los resultados obtenidos con Ven Te Chow.

Información utilizada Se utilizaron la carta topográfica del INEGI, E13CB77 El Perotal y E13B87 Bahía Bufadero, Mich, escala 1: 50,000 para la delimitación de la cuenca de aportación y la obtención de la pendiente del cauce principal. Las características de la lluvia en la zona de estudio, se obtuvieron de los planos de Isoyetas de Intensidad de Lluvia – Duración – Periodo de retorno del estado de Michoacán, publicadas por la SCT. Cabe señalar que para la obtención de información para los periodos de retorno de 500 y 1000 años, se efectuó una extrapolación a partir de los datos contenidos en los planos de Isoyetas.

Se obtuvo un caudal máximo hasta el cruce, de  $672.2 \text{ m}^3/\text{s}$ , asociado al período de retorno de 100 años.

Adicionalmente se determinaron los gastos para períodos de retorno de 500 y 1000 años, mismos que resultaron de  $984.1$  y  $1119.1 \text{ m}^3/\text{s}$ , respectivamente.

### Observaciones

El gasto obtenido es confiable, ya que la información de lluvia utilizada se obtuvo de las Isoyetas SCT y de acuerdo con los planos referidos, en la zona se cuenta con pluviógrafos suficientes que representan el comportamiento de la lluvia en la región. Las estaciones Águila y Villita se localizan en la periferia de la cuenca en estudio.

### 3.- Estudio Hidráulico

---

Para realizar el estudio hidráulico se utilizó tres secciones hidráulicas que fueron levantadas en campo, en la siguiente tabla se presenta el resumen una vez que se han obtenido los resultados, es conveniente aclarar que el gasto calculado para un periodo de retorno de 1000 años se transitó el gasto por las secciones hidráulicas.

El gasto asociado a un periodo de 100 años se obtuvo al transitar el caudal obtenido del estudio hidrológico.

| Sección hidráulica Núm. | Ubicación                      | Velocidad m/s | Gasto obtenido en m <sup>3</sup> /s | NAME elevación en m. |
|-------------------------|--------------------------------|---------------|-------------------------------------|----------------------|
| <b>01</b>               | 97.62 m aguas arriba del cruce | 3.43          | 676.57                              | 92.302               |
| <b>02</b>               | En el cruce                    | 3.65          | 675.80                              | 91.438               |
| <b>03</b>               | 55.65 m aguas abajo del cruce  | 3.72          | 674.99                              | 90.942               |
| <b>PROMEDIO</b>         |                                | 3.6           | 675.83                              |                      |

Se obtuvo un caudal máximo hasta el cruce, de 672.20 m<sup>3</sup>/s, asociado al período de retorno de 100 años, reportado en el estudio hidrológico, al transitarlo por sección-pendiente, se obtuvo un caudal promedio de 675.83 m<sup>3</sup>/s asociado a una velocidad de 3.6 m/s.

El gasto asociado a un periodo de 1000 años se resume en la siguiente tabla.

| Sección<br>hidráulica Núm. | Ubicación                         | Velocidad m/s | Gasto obtenido<br>en m <sup>3</sup> /s | NAME<br>elevación en<br>m. |
|----------------------------|-----------------------------------|---------------|--|----------------------------|
| <b>01</b>                  | 97.62 m aguas<br>arriba del cruce | 3.87          | 1119.82                                | 94.75                      |
| <b>02</b>                  | En el cruce                       | 3.67          | 1119.53                                | 93.88                      |
| <b>03</b>                  | 55.65 m aguas<br>abajo del cruce  | 3.93          | 1118.48                                | 93.39                      |
| PROMEDIO                   |                                   | <b>3.82</b>   | <b>1119.28</b>                         |                            |

Se obtuvo un caudal máximo hasta el cruce, de 1119.28 m<sup>3</sup>/s, asociado al período de retorno de 1000 años, y una velocidad de 3.82 m/s.

#### 4.- Conclusiones y recomendaciones

De acuerdo con los resultados obtenidos con el estudio hidrológico y al transitarlo por las secciones del río, se concluye que el puente desde el punto de vista hidráulico tiene la capacidad y se considera suficiente.

Es importante mencionar que al parecer el puente esta cimentado en roca, al menos los apoyos extremos.



## Memoria de cálculo

---

### 1.- Recopilación de información

Para realizar el estudio hidrológico se consultó la siguiente información:

Localización y ubicación del cruce.

1. Cartas topográficas del INEGI, E13CB77 El Perotal y E13B87 Bahía Bufadero, escala 1:50,000, editadas por el Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática, INEGI.
2. Atlas de comunicaciones y transportes, del estado de Michoacán, editado por la Coordinación General de Planeación, de la SCT.
3. Planos de Isoyetas de Intensidad de lluvia Duración – Periodo de retorno, versión 2000, editadas por la SCT, del estado de Michoacán.

## 2.- Desarrollo

---

Con la información obtenida durante la visita de campo efectuada previamente a la realización del estudio, se localizó el cruce en la carta topográfica E14C57 Acapulco, Gro, escala 1:50,000 y en el plano de la región hidrológica correspondiente.

Debido a que se observó que la cuenca de aportación hasta el cruce es chica, se optó por la aplicación de métodos semi-empíricos para la obtención de gasto hidrológico. Es importante mencionar que tanto para la corriente en estudio, como para corrientes vecinas de características similares a la cuenca en estudio no existen estaciones hidrométricas.

Se delimitó la cuenca de aportación hasta el cruce en la carta topográfica y se obtuvo su área mediante auxilio de herramientas computacionales. La longitud del cauce se obtuvo directamente de la carta topográfica sobre el cauce más alejado y en base a las curvas de nivel que cruza se obtuvo información para calcular su pendiente aplicando el método de Taylor Schwarz.

De información de campo y cartográfica se determinó el coeficiente de escurrimiento de la cuenca y posteriormente, para determinar el gasto se aplicaron los métodos Racional, Ven Te Chow e Hidrograma Unitario Triangular, empleando para ello información de intensidad de lluvia de las Isoyetas y los datos fisiográficos previamente calculados.

El cálculo de la pendiente, con el método de Taylor- Schwarz, y gasto hidrológico se elaboró en hoja de cálculo y los resultados se presentan en el apartado 3 de este capítulo.

### 3.- Estudio hidrológico

---

Datos fisiográficos de la cuenca de aportación necesarios para la obtención del gasto hidrológico con el método de Ven Te Chow:

Se requiere como datos fisiográficos: el área de cuenca, coeficiente de escurrimiento, la pendiente y longitud del cauce principal.

Los cálculos de la pendiente del cauce y la determinación del gasto hidrológico se realizaron en hojas de cálculo, mismas que se incluyen, y los resultados del estudio hidrológico se resumen a continuación:

|                               |                                       |
|-------------------------------|---------------------------------------|
| Gasto obtenido:               | 672.2 m <sup>3</sup> /s (Ven Te Chow) |
| Periodo de retorno:           | 100 años                              |
| Área de la cuenca:            | 167.6 km <sup>2</sup>                 |
| Coeficiente de escurrimiento: | N = 63.1                              |
| Pendiente del cauce:          | 2.35 %                                |
| Longitud del cauce:           | 50.7 km                               |

**Los datos intervienen en la fórmula de acuerdo con lo que se expone a continuación:**

El método de Ven Te Chow fue deducido basándose en el concepto de hidrogramas unitarios e hidrogramas unitarios sintéticos. En la descripción del método se usará la siguiente notación.

## Descripción del método de Ven Te Chow

- De acuerdo al tipo y uso del suelo se calcula el número de escurrimiento  $N$  ayudados con las tablas presentadas a continuación:

|        |  |
|--------|--|
| TIPO A | (Esgurrimiento mínimo). Incluye grava y arena de tamaño medio, limpias y mezcla de ambas   |
| TIPO B | Incluye arenas finas, limos orgánicos e inorgánicos, mezclas de arena y limo.  |
| TIPO C | Comprende arenas muy finas, arcillas de baja plasticidad, mezclas de arena, limo y arcilla   |
| TIPO D | (Esgurrimiento máximo). Incluye principalmente arcillas de alta plasticidad, suelos poco profundos con subhorizontes casi impermeables cerca de la superficie. |

### MANUAL

M-PRY-CAR-1-06-004/00

**TABLA 3.- Selección del número de escurrimiento  $\eta$**

| Uso de la tierra o cobertura  | Condición de la superficie      | Tipo de suelo |     |     |     |
|---|---------------------------------|---------------|-----|-----|-----|
|   |                                 | A             | B   | C   | D   |
| Bosques sembrados y cultivados  | Ralo, baja transpiración        | 45            | 66  | 77  | 83  |
|   | Normal, transpiración media     | 36            | 60  | 73  | 79  |
|   | Espeso o alta transpiración     | 25            | 55  | 70  | 77  |
| Caminos   | De tierra                       | 72            | 82  | 87  | 89  |
|   | De superficie dura              | 72            | 84  | 90  | 92  |
| Bosques naturales   | Muy ralo o baja transpiración   | 56            | 75  | 86  | 91  |
|   | Ralo, baja transpiración        | 46            | 68  | 78  | 84  |
|   | Normal, transpiración media     | 36            | 60  | 70  | 76  |
|   | Espeso o alta transpiración     | 26            | 52  | 62  | 69  |
| Descanso (sin cultivo)  | Muy espeso o alta transpiración | 15            | 44  | 54  | 61  |
|   | Surcos rectos                   | 77            | 86  | 91  | 94  |
| Cultivos de surco   | Surcos rectos                   | 70            | 80  | 87  | 90  |
|   | Surcos en curvas de nivel       | 67            | 77  | 83  | 87  |
| Cereales  | Terrazas                        | 64            | 73  | 79  | 82  |
|   | Surcos rectos                   | 64            | 76  | 84  | 88  |
|   | Surcos en curvas de nivel       | 62            | 74  | 82  | 85  |
|   | Terrazas                        | 60            | 71  | 79  | 82  |
| Leguminosas (sembradas con maquinaria al voleo) o potrero de rotación | Surcos rectos                   | 62            | 75  | 83  | 87  |
|   | Surcos en curvas de nivel       | 60            | 72  | 81  | 84  |
|   | Terrazas                        | 57            | 70  | 78  | 82  |
| Pastizal  | Pobre                           | 68            | 79  | 86  | 89  |
|   | Normal                          | 49            | 69  | 79  | 84  |
|   | Bueno                           | 39            | 61  | 74  | 80  |
|   | Curvas de nivel, pobre          | 47            | 67  | 81  | 88  |
|   | Curvas de nivel, normal         | 25            | 59  | 75  | 83  |
| Potreo (permanente)   | Curvas de nivel, bueno          | 6             | 35  | 70  | 79  |
|   | Normal                          | 30            | 58  | 71  | 78  |
| Superficie impermeable  |                                 | 100           | 100 | 100 | 100 |

- Se escoge una cierta duración de lluvia  $d$  (en horas) arbitraria.
- De las Isoyetas de Intensidad de Lluvia – Duración – Frecuencia, con el valor de  $d$  y el período de retorno elegido, se obtiene la intensidad de lluvia para la tormenta. La precipitación  $P$  (en centímetros) asociada a esta intensidad se obtiene multiplicando dicha intensidad por la duración elegida.
- Con el valor de  $N$  y el valor de  $P$ , se determina la lluvia en exceso  $P_e$  (en cm/h) empleando la ecuación:

$$P_s = \frac{\left[ P - \frac{508}{N} + 5,08 \right]^2}{P + \frac{2,032}{N} - 20,32}$$

5. Con el valor de  $P_e$  y el valor de  $d$ , se calcula  $X$  aplicando la ecuación:

6. Con la longitud del cauce (en metros) y pendiente del mismo (en %), se calcula el valor de  $t_p$  (en horas)

$$t_p = 0,00505 \left[ \frac{L}{\sqrt{S}} \right]^{0,64}$$

$\alpha$

7. Se calcula la relación  $d/t_p$  a fin de determinar el valor de  $Z$ :

Para  $d/t_p$  entre 0.05 y 0.4  $Z = 0.73 \left( \frac{d}{t_p} \right)^{0.97}$

Para  $0.4 \leq d/t_p \leq 2$   $Z = 1.89 \left( \frac{d}{t_p} \right)^{0.23} - 1.23$

Para  $d/t_p > 2$   $Z = 1$

8. Luego se calcula el valor  $Q_m$  mediante la siguiente expresión:

$$Q_m = \frac{2.78(A \cdot Z \cdot P_c)}{d} \quad (\text{m}^3/\text{s})$$

|                 |         |    |
|-----------------|---------|----|
| Area cuenca     | 167.600 | km |
| Long. cauce     | 50730.0 | m  |
| Pendiente       | 2.350   | %  |
| No. Esguimiento | 63.1    |    |

## MÉTODO : VEN TE CHOW

### DETERMINACIÓN DEL GASTO MÁXIMO

|                 |           |         |                             |
|-----------------|-----------|---------|-----------------------------|
| Area cuenca     | 167.600   | CRUCE : | TUPITINA                    |
| Long. cauce     | 50730.000 | CAMINO: | LAZARO CARDENAS -MANZANILLO |
| Pendiente       | 2.350     | TRAMO:  | LAZARO CARDENAS - TECOMAN   |
| No. Esguimiento | 63.1      | KM :    |                             |

| d (hrs) | i (cm/hr) | P (cm) | Pe (cm) | X      | Tp     | d/Tp   | Z      | Q (m <sup>3</sup> /s) |
|---------|-----------|--------|---------|--------|--------|--------|--------|-----------------------|
| 0.08    | 33.90     | 2.81   | 0.0017  | 0.0202 | 3.9438 | 0.0210 | 0.0184 | 0.17                  |
| 0.17    | 24.50     | 4.17   | 0.0889  | 0.5228 | 3.9438 | 0.0431 | 0.0352 | 8.57                  |
| 0.33    | 19.10     | 6.30   | 0.6106  | 1.8503 | 3.9438 | 0.0837 | 0.0660 | 56.88                 |
| 0.50    | 16.30     | 8.15   | 1.3391  | 2.6781 | 3.9438 | 0.1268 | 0.0987 | 123.16                |
| 0.60    | 15.52     | 9.31   | 1.8972  | 3.1621 | 3.9438 | 0.1521 | 0.1180 | 173.78                |
| 0.80    | 13.96     | 11.17  | 2.9151  | 3.6439 | 3.9438 | 0.2028 | 0.1565 | 265.63                |
| 1.00    | 12.40     | 12.40  | 3.6615  | 3.6615 | 3.9438 | 0.2536 | 0.1950 | 332.60                |
| 1.20    | 11.52     | 13.82  | 4.5822  | 3.8185 | 3.9438 | 0.3043 | 0.2335 | 415.36                |
| 1.40    | 10.64     | 14.90  | 5.3106  | 3.7933 | 3.9438 | 0.3550 | 0.2720 | 480.67                |
| 1.60    | 9.76      | 15.62  | 5.8149  | 3.6343 | 3.9438 | 0.4057 | 0.3105 | 525.72                |
| 1.80    | 8.88      | 15.98  | 6.0770  | 3.3761 | 3.9438 | 0.4564 | 0.3490 | 548.93                |
| 2.00    | 8.00      | 16.00  | 6.0884  | 3.0442 | 3.9438 | 0.5071 | 0.3863 | 547.85                |
| 2.25    | 7.56      | 17.02  | 6.8259  | 3.0338 | 3.9438 | 0.5705 | 0.4236 | 598.77                |
| 2.50    | 7.13      | 17.81  | 7.4179  | 2.9672 | 3.9438 | 0.6339 | 0.4610 | 637.27                |
| 2.75    | 6.69      | 18.39  | 7.8542  | 2.8561 | 3.9438 | 0.6973 | 0.4983 | 663.12                |
| 3.00    | 6.25      | 18.75  | 8.1281  | 2.7094 | 3.9438 | 0.7607 | 0.5357 | 676.21                |
| 3.50    | 5.38      | 18.81  | 8.1759  | 2.3360 | 3.9438 | 0.8875 | 0.6104 | 664.34                |
| 4.00    | 4.50      | 18.00  | 7.5588  | 1.8897 | 3.9438 | 1.0142 | 0.6813 | 599.87                |

Para Tr = 100 años  $Q(\text{máx}) = \underline{\underline{676.2}} \text{ m}^3/\text{s}$

#### CALCULO DE N

| TIPO                               | A (%) | N     |
|------------------------------------|-------|-------|
| Bosque natural Normal, suelo B, N= | 60.00 | 39.00 |
| Pastizal Normal, suelo B, N=       | 69.00 | 24.15 |
|                                    | 1.00  | 63.15 |

Area cuenca 167.600 km  
Long. cauce 50730.0 m  
Pendiente 2.350 %  
No. Esguerrimiento 63.1

### MÉTODO : VEN TE CHOW

#### DETERMINACIÓN DEL GASTO MÁXIMO

Area cuenca 167.600 **CRUCE :** TUPITINA  
Long. cauce 50730.000 **CAMINO:** LAZARO CARDENAS -MANZANILLO  
Pendiente 2.350 **TRAMO:** LAZARO CARDENAS - TECOMAN  
No. Esguerrimiento 63.1 **KM :**

| d (hrs) | i (cm/hr) | P (cm) | Pe (cm) | X      | TP     | d/TP   | Z      | Q (m <sup>3</sup> /s) |
|---------|-----------|--------|---------|--------|--------|--------|--------|-----------------------|
| 0.08    | 42.90     | 3.56   | 0.0225  | 0.2716 | 3.9438 | 0.0210 | 0.0184 | 2.33                  |
| 0.17    | 30.50     | 5.19   | 0.2873  | 1.6898 | 3.9438 | 0.0431 | 0.0352 | 27.70                 |
| 0.33    | 23.80     | 7.85   | 1.2082  | 3.6613 | 3.9438 | 0.0837 | 0.0660 | 112.55                |
| 0.50    | 20.20     | 10.10  | 2.3121  | 4.6242 | 3.9438 | 0.1268 | 0.0987 | 212.66                |
| 0.60    | 19.28     | 11.57  | 3.1518  | 5.2531 | 3.9438 | 0.1521 | 0.1180 | 288.70                |
| 0.80    | 17.44     | 13.95  | 4.6677  | 5.8346 | 3.9438 | 0.2028 | 0.1565 | 425.33                |
| 1.00    | 15.60     | 15.60  | 5.8036  | 5.8036 | 3.9438 | 0.2536 | 0.1950 | 527.18                |
| 1.20    | 14.48     | 17.38  | 7.0923  | 5.9102 | 3.9438 | 0.3043 | 0.2335 | 642.89                |
| 1.40    | 13.36     | 18.70  | 8.0929  | 5.7806 | 3.9438 | 0.3550 | 0.2720 | 732.49                |
| 1.60    | 12.24     | 19.58  | 8.7712  | 5.4820 | 3.9438 | 0.4057 | 0.3105 | 792.99                |
| 1.80    | 11.12     | 20.02  | 9.1082  | 5.0601 | 3.9438 | 0.4564 | 0.3490 | 822.74                |
| 2.00    | 10.00     | 20.00  | 9.0957  | 4.5478 | 3.9438 | 0.5071 | 0.3863 | 818.45                |
| 2.25    | 9.45      | 21.26  | 10.0946 | 4.4865 | 3.9438 | 0.5705 | 0.4236 | 885.50                |
| 2.50    | 8.90      | 22.25  | 10.8895 | 4.3558 | 3.9438 | 0.6339 | 0.4610 | 935.52                |
| 2.75    | 8.35      | 22.96  | 11.4699 | 4.1709 | 3.9438 | 0.6973 | 0.4983 | 968.39                |
| 3.00    | 7.80      | 23.40  | 11.8289 | 3.9430 | 3.9438 | 0.7607 | 0.5357 | 984.10                |
| 3.50    | 6.70      | 23.45  | 11.8700 | 3.3914 | 3.9438 | 0.8875 | 0.6104 | 964.50                |
| 4.00    | 5.60      | 22.40  | 11.0113 | 2.7528 | 3.9438 | 1.0142 | 0.6813 | 873.85                |

Para Tr = 500 años  $Q(\text{máx}) = \underline{\underline{984.1 \text{ m}^3/\text{s}}}$

#### CALCULO DE N

| TIPO                                     | A (%) | N     |
|--|-------|-------|
| Bosque natural Normal, suelo B, N= 60.00 | 0.65  | 39.00 |
| Pastizal Normal, suelo B, N= 69.00       | 0.35  | 24.15 |
|  | 1.00  | 63.15 |

Area cuenca 167.600 km  
Long. cauce 50730.0 m  
Pendiente 2.350 %  
No. Escurrimiento 63.1

## MÉTODO : VEN TE CHOW

### DETERMINACIÓN DEL GASTO MÁXIMO

Area cuenca 167.600 *CRUCE :* TUPITINA  
Long. cauce 50730.000 *CAMINO:* LAZARO CARDENAS -MANZANILLO  
Pendiente 2.350 *TRAMO:* LAZARO CARDENAS - TECOMAN  
No. Escurrimiento 63.1 *KM :*

| d (hrs) | i (cm/hr) | P (cm) | Pe (cm) | X      | TP     | d/TP   | Z      | Q (m <sup>3</sup> /s) |
|---------|-----------|--------|---------|--------|--------|--------|--------|-----------------------|
| 0.08    | 46.70     | 3.88   | 0.0520  | 0.6267 | 3.9438 | 0.0210 | 0.0184 | 5.38                  |
| 0.17    | 33.10     | 5.63   | 0.4030  | 2.3704 | 3.9438 | 0.0431 | 0.0352 | 38.85                 |
| 0.33    | 25.70     | 8.48   | 1.4910  | 4.5183 | 3.9438 | 0.0837 | 0.0660 | 138.90                |
| 0.50    | 21.90     | 10.95  | 2.7885  | 5.5770 | 3.9438 | 0.1268 | 0.0987 | 256.48                |
| 0.60    | 20.90     | 12.54  | 3.7494  | 6.2490 | 3.9438 | 0.1521 | 0.1180 | 343.44                |
| 0.80    | 18.90     | 15.12  | 5.4663  | 6.8329 | 3.9438 | 0.2028 | 0.1565 | 498.10                |
| 1.00    | 16.90     | 16.90  | 6.7410  | 6.7410 | 3.9438 | 0.2536 | 0.1950 | 612.33                |
| 1.20    | 15.68     | 18.82  | 8.1786  | 6.8155 | 3.9438 | 0.3043 | 0.2335 | 741.36                |
| 1.40    | 14.46     | 20.24  | 9.2871  | 6.6337 | 3.9438 | 0.3550 | 0.2720 | 840.58                |
| 1.60    | 13.24     | 21.18  | 10.0319 | 6.2699 | 3.9438 | 0.4057 | 0.3105 | 906.97                |
| 1.80    | 12.02     | 21.64  | 10.3939 | 5.7744 | 3.9438 | 0.4564 | 0.3490 | 938.87                |
| 2.00    | 10.80     | 21.60  | 10.3650 | 5.1825 | 3.9438 | 0.5071 | 0.3863 | 932.67                |
| 2.25    | 10.21     | 22.98  | 11.4827 | 5.1034 | 3.9438 | 0.5705 | 0.4236 | 1,007.26              |
| 2.50    | 9.63      | 24.06  | 12.3761 | 4.9504 | 3.9438 | 0.6339 | 0.4610 | 1,063.23              |
| 2.75    | 9.04      | 24.85  | 13.0346 | 4.7399 | 3.9438 | 0.6973 | 0.4983 | 1,100.50              |
| 3.00    | 8.45      | 25.35  | 13.4514 | 4.4838 | 3.9438 | 0.7607 | 0.5357 | 1,119.08              |
| 3.50    | 7.28      | 25.46  | 13.5460 | 3.8703 | 3.9438 | 0.8875 | 0.6104 | 1,100.69              |
| 4.00    | 6.10      | 24.40  | 12.6565 | 3.1641 | 3.9438 | 1.0142 | 0.6813 | 1,004.42              |

Para Tr = 1000 años  $Q(\text{máx}) = \underline{\underline{1,119.1 \text{ m}^3/\text{s}}}$

#### CALCULO DEN

| TIPO                               | A (%) | N     |
|------------------------------------|-------|-------|
| Bosque natural Normal, suelo B, N= | 60.00 | 39.00 |
| Pastizal Normal, suelo B, N=       | 69.00 | 24.15 |
|                                    | 1.00  | 63.15 |

## Método racional

Este método, que la literatura inglesa atribuye a Lloyd-George en 1906, si bien los principios del mismo fueron establecidos por Mulvaney en 1850, permite determinar el caudal máximo que escurrirá por una determinada sección, bajo el supuesto que éste acontecerá para una lluvia de intensidad máxima constante y uniforme en la cuenca correspondiente a una duración  $D$  igual al tiempo de concentración de la sección.

1. El gasto de una corriente utilizando el método antes mencionado se calcula con la siguiente expresión.

Donde:

$$Q_p = 0.278CIA$$

|       |  |
|-------|--|
| $Q_p$ | Gasto máximo, en $m^3/s$ .   |
| $C$   | Coefficiente de escurrimiento, adimensional.   |
| $I$   | Intensidad de lluvia para una duración igual al tiempo de concentración, en $mm/h$ . |
| $A$   | Área de la cuenca drenada, en $km^2$ .   |
| 0.278 | Factor de homogeneidad de unidades.  |

El coeficiente  $C$  representa la relación entre el volumen escurrido y el llovido, y depende del tipo de terreno o superficie de la cuenca en estudio. En la tabla siguiente se muestran los valores que se usualmente se adoptan para dicho coeficiente.

| Tipo del área por drenar                    | Pendiente (%) | Coefficiente de escurrimiento c |
|---|---------------|---------------------------------|
| <b>Con césped</b>                           |               |                                 |
| <b>Suelo arenoso</b>                        | 2             | 0.05 – 0.10                     |
| <b>Suelo arenoso</b>                        | 2 a 7         | 0.10 – 0.15                     |
| <b>Suelo arenoso</b>                        | 7             | 0.15 – 0.20                     |
| <b>Suelo grueso</b>                         | 2             | 0.13 – 0.17                     |
| <b>Suelo grueso</b>                         | 2 a 7         | 0.18 – 0.22                     |
| <b>Suelo grueso</b>                         | 7             | 0.25 – 0.35                     |
| <b>Zonas comerciales</b>                    |               |                                 |
| <b>Áreas céntricas</b>                      |               | 0.70 – 0.95                     |
| <b>Áreas vecinas</b>                        |               | 0.50 – 0.70                     |
| <b>Zonas residenciales</b>                  |               |                                 |
| <b>Áreas familiares</b>                     |               | 0.30 – 0.50                     |
| <b>Áreas multifamiliares separadas</b>      |               | 0.40 – 0.60                     |
| <b>Áreas multifamiliares juntas</b>         |               | 0.60 – 0.75                     |
| <b>Áreas suburbanas</b>                     |               | 0.25 – 0.40                     |
| <b>Áreas de apartamentos habitacionales</b> |               | 0.50 – 0.70                     |
| <b>Zonas industriales</b>                   |               |                                 |
| <b>Claros</b>                               |               | 0.50 – 0.80                     |
| <b>Zonas densamente construidas</b>         |               | 0.60 – 0.90                     |
| <b>Parques y cementerios</b>                |               | 0.10 – 0.25                     |
| <b>Áreas de recreo</b>                      |               | 0.20 – 0.35                     |
| <b>Patios de FF CC</b>                      |               | 0.20 – 0.40                     |
| <b>Áreas provisionales</b>                  |               | 0.10 – 0.30                     |
| <b>Calles</b>                               |               |                                 |
| <b>Asfaltadas</b>                           |               | 0.70-0.95                       |
| <b>De concreto</b>                          |               | 0.80-0.95                       |
| <b>Enladrillado</b>                         |               | 0.70-0.85                       |
| <b>Calzadas y banquetas</b>                 |               | 0.75-0.85                       |
| <b>Azoteas y techados</b>                   |               | 0.75-0.95                       |
| <b>Zonas rurales</b>                        |               |                                 |
| <b>Campos cultivados</b>                    |               | 0.20-0.40                       |
| <b>Zonas forestadas</b>                     |               | 0.10-0.30                       |

2. En caso de que la cuenca por drenar esté compuesta por diferentes tipos de suelo, el coeficiente de escurrimiento global  $C$  se debe obtener mediante la siguiente ecuación:

$$C = \frac{\sum_{i=1}^n C_i A_i}{A}$$

Donde:

|       |   |
|-------|---|
|       | Coeficiente de escurrimiento global.        |
| $C_i$ | Coeficiente de cada área parcial.           |
| $A_i$ | Área parcial, en $\text{km}^2$ .            |
| $n$   | Número de áreas parciales.                  |
| $A$   | Área total de la cuenca, en $\text{km}^2$ . |

3. Para evaluar el tiempo de concentración puede emplearse la siguiente ecuación determinada por Kirpich.

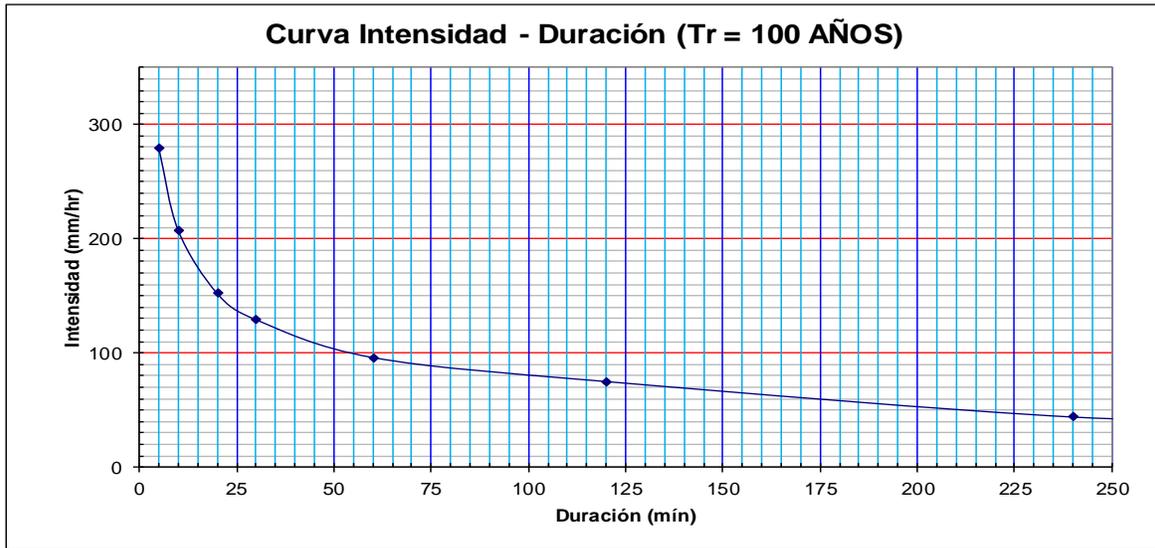
$$T_c = 0.0662 \frac{L^{0.77}}{S^{0.385}}$$

Donde:

|     |  |
|-----|--|
|     | Tiempo de concentración, en h.   |
| $L$ | Longitud del cauce principal, más la distancia desde el inicio del escurrimiento, al parteaguas, medida perpendicularmente a las curvas de nivel, en km. |
| $S$ | Pendiente del cauce, adimensional y en decimales.  |

4. Una vez determinado el tiempo de concentración se debe determinar la intensidad de lluvia a partir de las Isoyetas de Intensidad de Lluvia – Duración – Frecuencia para la República Mexicana, elaboradas y publicadas por la Secretaría de Comunicaciones y Transportes; se debe considerar la duración de la tormenta igual al tiempo de concentración calculado y el período de retorno se fija de acuerdo al criterio mencionado anteriormente.

CRUCE: TUPITINA  
 CAMINO: LAZARO CARDENAS - MANZANILLO  
 TRAMO: LAZARO CARDENAS - TECOMAN  
 KM:  
 ORIGEN: LAZARO CARDENAS, MICH.



**DETERMINACION DEL TIEMPO DE CONCENTRACION**

$$T_c = 0.0662 \frac{L^{0.77}}{S^{0.385}}$$

L = Longitud del cauce

S = Pendiente media del cauce principal

Tc = 5.8 hr  
 Tc = 346.1 min

**INTENSIDADES DE LLUVIA; (OBTENIDAS DEL PLANO DE ISOYETAS)**

| D (min)      | I (mm/hr) |
|--------------|-----------|
| 5            | 279       |
| 10           | 207       |
| 20           | 152       |
| 30           | 129       |
| 60           | 96        |
| 120          | 75        |
| 240          | 44        |
| 300          | 43        |
| <b>346.1</b> | <b>41</b> |
| 360.0        | 41        |

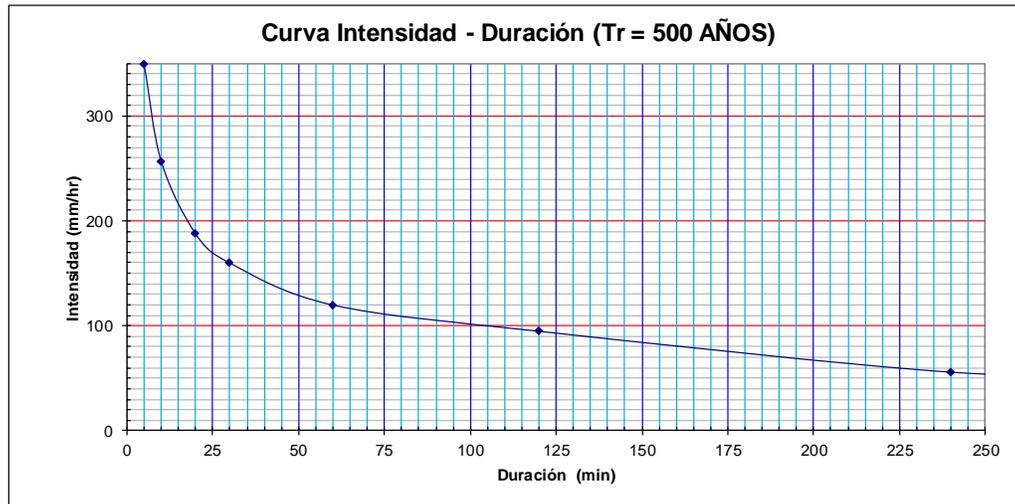
**PARA TR = 100 AÑOS**

**CALCULO DEL GASTO:**

Q = 668.6 m³/s

TR = 100 AÑOS

CRUCE: TUPITINA  
 CAMINO: LAZARO CARDENAS - MANZANILLO  
 TRAMO: LAZARO CARDENAS - TECOMAN  
 KM:  
 ORIGEN: LAZARO CARDENAS, MICH.



**DETERMINACION DEL TIEMPO DE CONCENTRACION**

$$T_c = 0.0662 \frac{L^{0.77}}{S^{0.385}}$$

L = Longitud del cauce

S = Pendiente media del cauce principal

T<sub>c</sub> = 5.8 hr  
 T<sub>c</sub> = 346.1 min

**INTENSIDADES DE LLUVIA; (OBTENIDAS DEL PLANO DE ISOYETAS)**

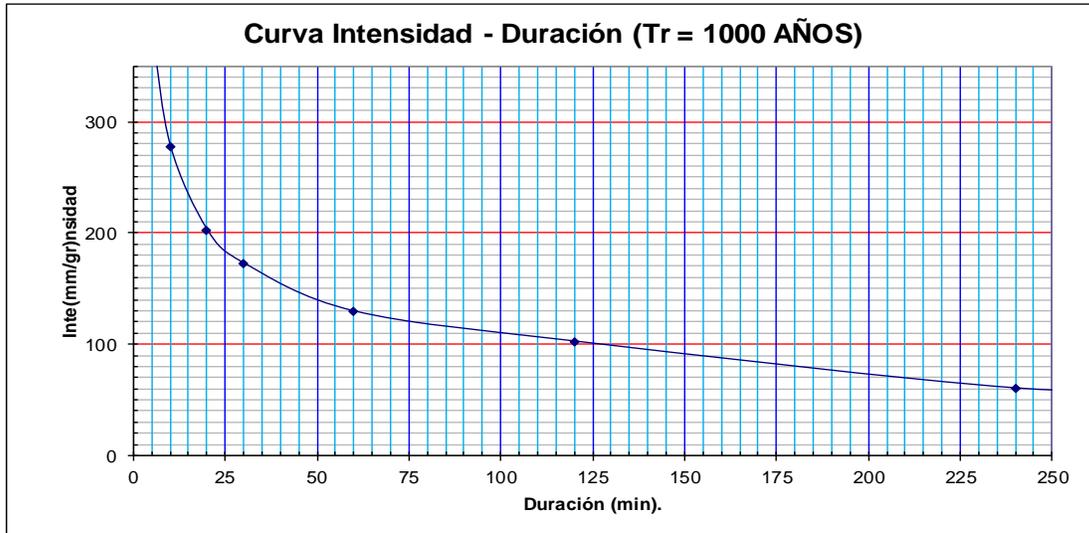
| D (min) | I (mm/hr) |
|---------|-----------|
| 5       | 350       |
| 10      | 257       |
| 20      | 188       |
| 30      | 160       |
| 60      | 120       |
| 120     | 95        |
| 240     | 56        |
| 300     | 55        |
| 346.1   | 52        |
| 360.0   | 52        |

PARA TR = 500 AÑOS

**CALCULO DEL GASTO:**

Q = 848.0 m<sup>3</sup>/s TR = 500 AÑOS

CRUCE: TUPITINA  
 CAMINO: LAZARO CARDENAS - MANZANILLO  
 TRAMO: LAZARO CARDENAS - TECOMAN  
 KM:  
 ORIGEN: LAZARO CARDENAS, MICH.



**DETERMINACION DEL TIEMPO DE CONCENTRACION**

$$T_c = 0.0662 \frac{L^{0.77}}{S^{0.385}}$$

L = Longitud del cauce

S = Pendiente media del cauce principal

T<sub>c</sub> = 5.8 hr  
 T<sub>c</sub> = 346.1 min

**INTENSIDADES DE LLUVIA; (OBTENIDAS DEL PLANO DE ISOYETAS)**

| D (min)      | I (mm/hr) |
|--------------|-----------|
| 5            | 380       |
| 10           | 278       |
| 20           | 203       |
| 30           | 173       |
| 60           | 130       |
| 120          | 103       |
| 240          | 61        |
| 300          | 60        |
| <b>346.1</b> | <b>57</b> |
| 360.0        | 57        |

**PARA TR = 1000 AÑOS**

**CALCULO DEL GASTO:**

Q = 929.5 m<sup>3</sup>/s

TR = 1000 AÑOS

## Método del Hidrograma Unitario Triangular

Los métodos que se basan en hidrogramas unitarios sintéticos permiten obtener hidrogramas unitarios a partir de las características generales de la cuenca. Uno de estos métodos es el hidrograma unitario triangular, desarrollado por Mockus (1957, en Aparicio, 2007). La figura presentada esquematiza este tipo de hidrograma. En un hidrograma triangular, el gasto pico se calcula:

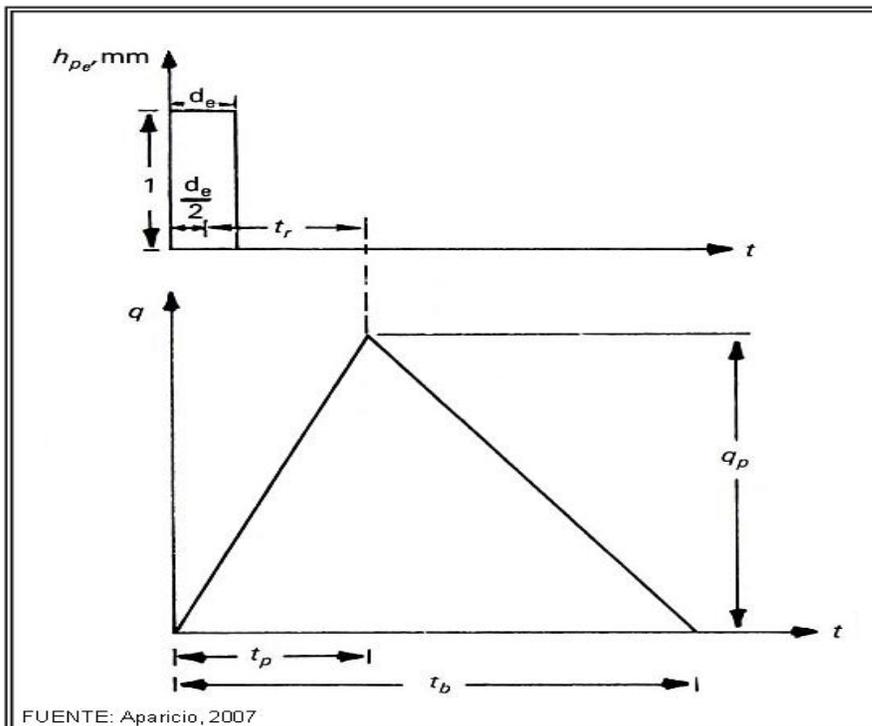
$$q_p = \frac{0.555 A}{t_b}$$

Donde:

$q_p$ , gasto pico unitario, en  $\text{m}^3/\text{s} / \text{mm}$

A, área de la cuenca, en  $\text{km}^2$

$t_b$ , tiempo base, en h



Del análisis de varios hidrogramas, Mockus determinó que el tiempo base puede calcularse en función del tiempo pico:

$$t_b = 2.67 t_p$$

El tiempo pico es:

$$t_p = \frac{d_e}{2} + t_r$$

Donde:

$d_e$ , duración en exceso, en h

$t_r$ , tiempo de retraso, en h

El tiempo pico se calcula con la ec. 3.7 y la duración en exceso con la que se tiene mayor gasto del pico, a falta de mejores datos, se puede calcular como:

$$d_e = 2\sqrt{tc}$$

Donde:

$d_e$ , duración en exceso, en h

$t_c$ , tiempo de concentración, en h

**METODO HIDROGRAMA UNITARIO TRIANGULAR**

$$Q = qp * Pe$$

$$qp = \frac{0.208A}{tp}$$

$$tp = \sqrt{tc} + 0.6tc$$

Q -Gasto de la cuenca, en m<sup>3</sup>/s  
qp - Gasto de pico, en m<sup>3</sup>/s/mm  
Pe - Precipitación en exceso en cm.  
A - Area de la cuenca, en km<sup>2</sup>  
tp - tiempo pico, en hrs  
tc - tiempo de concentración, en hrs

CRUCE: TUPITINA  
CAMINO: LAZARO CARDENAS - MANZANILLO  
TRAMO: LAZARO CARDENAS - TECOMAN  
KM:  
ORIGEN: LAZARO CARDENAS, MICH.

**DATOS DE CALCULO**

Área de cuenca 167.60 km2      Tr      I      P  
100      45.00      216.41

Longitud del cauce principal hasta el parteaguas 50.73 km

Pendiente media del cauce principal 2.350 %

No. De Escurrimiento N 65.4 SUELO B

| CUENCA    | PENDIENTE DE LA CUENCA | LONGITUD DEL CAUCE   | AREA DE CUENCA | NUMERO DE ESCURRIMIENTO | PRECIPITACION       | TIEMPO DE CONCENTRACION | DURACION EN EXCESO | TIEMPO DE RETRASO | TIEMPO PICO    | TIEMPO BASE    | GASTO PICO     | PRECIPITACION EXCEDENTE | GASTO MAXIMO |
|-----------|------------------------|----------------------|----------------|-------------------------|---------------------|-------------------------|--------------------|-------------------|----------------|----------------|----------------|-------------------------|--------------|
| S (adim.) | L (m)                  | A (km <sup>2</sup> ) | N (adim)       | P (cm)                  | t <sub>c</sub> (hr) | D <sub>e</sub> (hr)     | t <sub>r</sub>     | t <sub>p</sub>    | T <sub>b</sub> | q <sub>p</sub> | P <sub>e</sub> | Q máx.                  |              |
| 1         | 0.0235                 | 50730                | 167.6          | 65.4                    | 21.641163           | 5.78197458              | 4.8091474          | 3.469185          | 5.87376        | 15.68294       | 5.93500745     | 11.0905072              | 658.2        |

I = P / d      donde:      I = Intensidad de lluvia (mm/hr)  
P = Altura de precipitación (mm)  
d = Duración de la precipitación ( hr )

Despejando: P = I \* d

Como d = de, d = 4.8      Entonces I = 45.00 mm/hr, y P = 216.41163 mm

| D (min) | I (mm/hr) |
|---------|-----------|
| 288.55  | 45.00     |

**METODO HIDROGRAMA UNITARIO TRIANGULAR**

$$Q = qp * Pe$$

$$qp = \frac{0.208A}{tp}$$

$$tp = \sqrt{tc} + 0.6tc$$

Q -Gasto de la cuenca, en m<sup>3</sup>/s  
qp - Gasto de pico, en m<sup>3</sup>/s/mm  
Pe - Precipitación en exceso en cm.  
A - Area de la cuenca, en km<sup>2</sup>  
tp - tiempo pico, en hrs  
tc - tiempo de concentración, en hrs

CRUCE: TUPITINA  
CAMINO: LAZARO CARDENAS - MANZANILLO  
TRAMO: LAZARO CARDENAS - TECOMAN  
KM:  
ORIGEN: LAZARO CARDENAS, MICH.

**DATOS DE CALCULO**

Área de cuenca 167.70 km2      Tr      I      P  
500      56.00      269.31

Longitud del cauce principal hasta el parteaguas 50.73 km

Pendiente media del cauce principal 2.350 %

No. De Escurrimiento N 65.4 SUELO B

| CUENCA    | PENDIENTE DE LA CUENCA | LONGITUD DEL CAUCE   | AREA DE CUENCA | NUMERO DE ESCURRIMIENTO | PRECIPITACION       | TIEMPO DE CONCENTRACION | DURACION EN EXCESO | TIEMPO DE RETRASO | TIEMPO PICO    | TIEMPO BASE    | GASTO PICO     | PRECIPITACION EXCEDENTE | GASTO MAXIMO |
|-----------|------------------------|----------------------|----------------|-------------------------|---------------------|-------------------------|--------------------|-------------------|----------------|----------------|----------------|-------------------------|--------------|
| S (adim.) | L (m)                  | A (km <sup>2</sup> ) | N (adim)       | P (cm)                  | t <sub>c</sub> (hr) | D <sub>e</sub> (hr)     | t <sub>r</sub>     | t <sub>p</sub>    | T <sub>b</sub> | q <sub>p</sub> | P <sub>e</sub> | Q máx.                  |              |
| 1         | 0.0235                 | 50730                | 167.7          | 65.4                    | 26.931225           | 5.78197458              | 4.8091474          | 3.469185          | 5.87376        | 15.68294       | 5.93854862     | 15.597924               | 926.3        |

I = P / d      donde:      I = Intensidad de lluvia (mm/hr)  
P = Altura de precipitación (mm)  
d = Duración de la precipitación ( hr )

Despejando: P = I \* d

Como d = de, d = 4.8      Entonces I = 56.00 mm/hr, y P = 269.31225 mm

| D (min) | I (mm/hr) |
|---------|-----------|
| 288.55  | 56.00     |

**METODO HIDROGRAMA UNITARIO TRIANGULAR**

$$Q = qp * Pe$$

$$qp = \frac{0.208A}{tp}$$

$$tp = \sqrt{tc} + 0.6tc$$

Q -Gasto de la cuenca, en m<sup>3</sup>/s  
qp - Gasto de pico, en m<sup>3</sup>/s/mm  
Pe - Precipitación en exceso en cm.  
A - Area de la cuenca, en km<sup>2</sup>  
tp - tiempo pico, en hrs  
tc - tiempo de concentración, en hrs

CRUCE: TUPITINA  
CAMINO: LAZARO CARDENAS - MANZANILLO  
TRAMO: LAZARO CARDENAS - TECOMAN  
KM:  
ORIGEN: LAZARO CARDENAS, MICH.

**DATOS DE CALCULO**

Área de cuenca 167.70 km<sup>2</sup> Tr 1000 I 61.00 P 293.36  
Longitud del cauce principal hasta el partearguas 50.73 km  
Pendiente media del cauce principal 2.350 %  
No. De Escurrimiento N 65.4 SUELO B

| CUENCA    | PENDIENTE DE LA CUENCA | LONGITUD DEL CAUCE   | AREA DE CUENCA | NUMERO DE ESCURRIMIENTO | PRECIPITACION       | TIEMPO DE CONCENTRACION | DURACION EN EXCESO | TIEMPO DE RETRASO | TIEMPO PICO    | TIEMPO BASE    | GASTO PICO     | PRECIPITACION EXCEDENTE | GASTO MAXIMO |
|-----------|------------------------|----------------------|----------------|-------------------------|---------------------|-------------------------|--------------------|-------------------|----------------|----------------|----------------|-------------------------|--------------|
| S (adim.) | L (m)                  | A (km <sup>2</sup> ) | N (adim)       | P (cm)                  | t <sub>c</sub> (hr) | D <sub>e</sub> (hr)     | t <sub>r</sub>     | t <sub>p</sub>    | T <sub>b</sub> | q <sub>p</sub> | P <sub>e</sub> | Q máx.                  |              |
| 1         | 0.0235                 | 50730                | 167.7          | 65.4                    | 29.335799           | 5.78197458              | 4.8091474          | 3.469185          | 5.87376        | 15.68294       | 5.93854862     | 17.7150365              | 1052.0       |

I = P / d donde: I = Intensidad de lluvia (mm/hr)  
P = Altura de precipitación (mm)  
d = Duración de la precipitación ( hr )

Despejando: P = I \* d

Como d = de, d = 4.8 Entonces I = 61.00 mm/hr, y P = 293.35799 mm

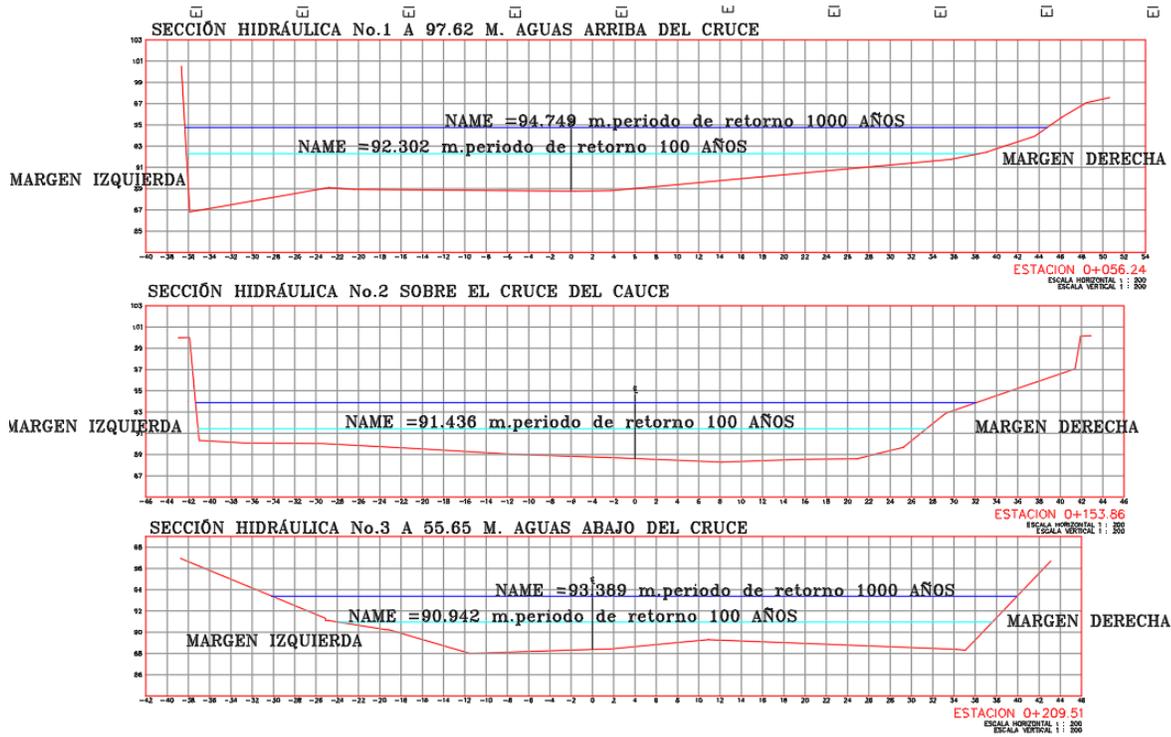
| D (min) | I (mm/hr) |
|---------|-----------|
| 288.55  | 61.00     |

**RESUMEN DE RESULTADOS.**

| METODO                         | GASTO (m <sup>3</sup> /s)<br>TR 100 AÑOS | GASTO (m <sup>3</sup> /s)<br>TR 200 AÑOS | GASTO (m <sup>3</sup> /s)<br>TR 500 AÑOS |
|--------------------------------|--|--|--|
| Racional                       | 668.6                                    | 848.0                                    | 929.0                                    |
| <b>Ven Te Chow</b>             | <b>672.2</b>                             | <b>984.1</b>                             | <b>1119.1</b>                            |
| Hidrograma Unitario Triangular | 658.2                                    | 926.3                                    | 1052.0                                   |

Cabe señalar que, de acuerdo con sus hipótesis y rangos de aplicación, los tres métodos semiempíricos son adecuados, y al resultar ligeramente mayor el gasto obtenido con el método Ven Te Chow, se adopta como gasto del estudio hidrológico.

## 4.- Perfiles



## 5.- Simbología

| Simbología      |   |
|-----------------|---|
| d               | Duración total de la tormenta, en h.  |
| de              | Duración en exceso, en h.   |
| L               | Longitud del cauce principal, en m.   |
| N               | Número de escurrimiento, adimensional.  |
| P               | Altura de precipitación en la zona en estudio para una duración d, en cm.   |
| P <sub>b</sub>  | Altura de precipitación en la estación base para la duración d en cm.   |
| P <sub>a</sub>  | Altura de precipitación media anual en la zona en estudio, en mm.   |
| P <sub>ab</sub> | Altura de precipitación media anual en la estación base, en mm.   |
| P <sub>e</sub>  | Altura de precipitación en exceso en la zona en estudio, para una duración d, en cm.                                    |
| Q <sub>b</sub>  | Gasto base, en m <sup>3</sup> /s.   |
| Q <sub>d</sub>  | Gasto hidrológico, en m <sup>3</sup> /s.  |
| Q <sub>m</sub>  | Gasto de pico del hidrograma del escurrimiento directo, en m <sup>3</sup> /s.   |
| q <sub>m</sub>  | Gasto de pico del hidrograma unitario, en m <sup>3</sup> /s por cm de lluvia en exceso para una duración de d en horas. |
| S               | Pendiente media del cauce, en porcentaje.   |
| tr              | Tiempo de retraso, en h.  |
| tc              | Tiempo de concentración, en h.  |
| t <sub>p</sub>  | Tiempo de retraso, en h.  |
| X               | Factor de escurrimiento, en cm/h.   |
| Y               | Factor climático, adimensional.   |
| Z               | Factor de reducción del pico, adimensional.   |