CLASE AUXILIAR
CONTROL 2
CI41C

Prof. Aux: Solange Dussaubat P.
Ricardo González V.

CONTENIDOS CONTROL # 2.
HIDROLOGÍA

- **1. EL CICLO HIDROLÓGICO Y EC. GENERAL DE BALANCE HIDROLÓGICO**
- **2. ELEMENTOS DE METEOROLOGIA Y CLIMATOLOGIA**
- **3. PRECIPITACIONES**
- **4. EVAPORACION Y EVAPOTRANSPIRACION**
- **5. FLUJO EN MEDIOS POROSOS NO SATURADOS E INFILTRACION**
- **6. ESCORRENTIA SUPERFICIAL**

- Hidrogramas.
- Instrumentos y Métodos para medición de Caudales.
- Curvas de Descarga; Determinación y Uso. Procesamiento,
- Corrección y Presentación de Estadísticas Fluviométricas.
- Estimación de la Escorrentía Superficial; Correlaciones;
- Relaciones Precipitación-Escorrentía;
- Rendimientos Específicos de Cuencas.

7. HIDROLOGIA ESTADISTICA Y PROBABILÍSTICA

- Funciones de Densidad de Probabilidad y Estadística;
- Modelos Probabilísticos Discretos; Bernoulli; Binomial; Geométrico; Proceso de Poisson; Proceso de Markov.
- Probabilidades de Excedencia; Períodos de Retorno; Riesgo Hidrológico
- Modelos Probabilísticos Continuos: Normal; Logarítmico-Normal; Gama; Pearson; Log-Pearson; Gumbel.

  Análisis de Frecuencias,. Métodos Gráficos y Analíticos.

8. ESTUDIO Y CALCULO DE CRECIDAS (NO ENTRA)

- Componentes de los Hidrogramas. Análisis y Separación de Hidrogramas.
- Lluvias de Diseño y Crecidas de Diseño;
- **Métodos de Estimación:**
- Fórmulas Empíricas, Fórmula Racional;
- Análisis de Frecuencia;
- Hidrograma Unitario;
- Métodos Hidrometeorológicos para la Determinación de Crecidas Máximas Probables.
- **Propagación de Crecidas**:
- Ecuaciones Básicas de Escurrimientos Impermanentes
- Gradualmente Variados; Esbozo de Soluciones en caso de Cauces Naturales.
- Métodos Hidrológicos: Muskingum. Propagación en Cauces Naturales.
- Rastreo en Embalses.

PREGUNTA N° 1

- En una cuenca costera ubicada en la VIII Región, se registró en forma simultánea el hietograma y el hidrograma (ver Figura Nº 1) asociado a una tormenta, los cuales se presentan la Tabla N º 1 y Nº 2 respectivamente.
- Considerando, lo anterior se solicita Ud.:

1. Calcular el hietograma de precipitación efectiva asociado a la tormenta, el índice ϕ y el valor de la Curva Número.

2. A partir de los datos de precipitación y considerando la fórmula racional estime el caudal máximo asociado a la crecida.

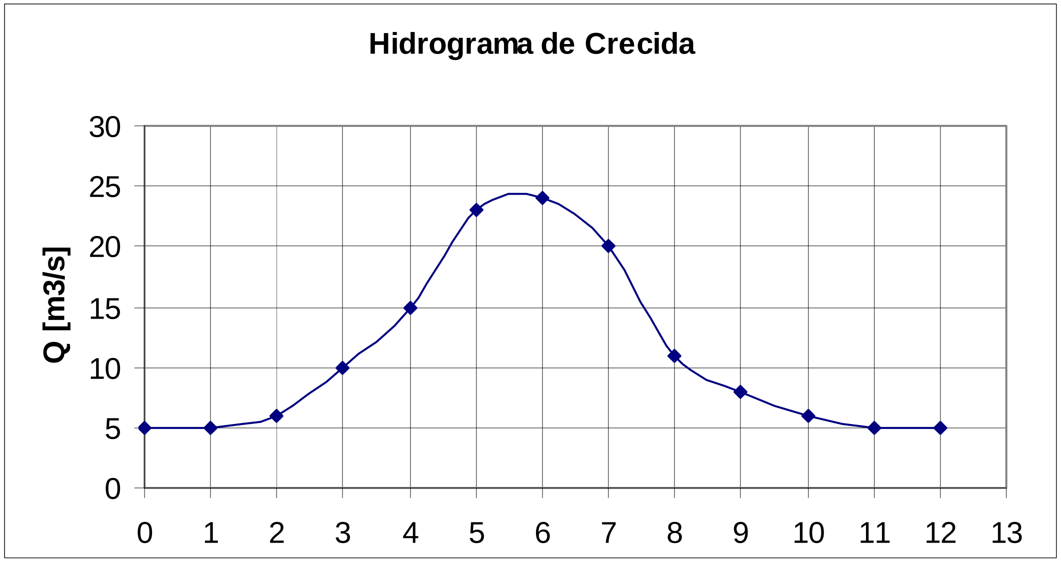
- Otros Antecedentes
  - Área Total de la Cuenca = 25,8 km2,
  - Largo de la Cuenca = 9.000 m
  - Δh = 550 m

Intervalo [Hr]	I [mm/hr]
0.25	1
0.5	3
0.75	4
1	10
1.25	15
1.5	25
1.75	20
2	10
2.25	8
2.5	5
2.75	0.8
3	1

Tabla Nº 1: Hietograma de Precipitación

Tabla Nº 2 y Figura Nº 1: Hidrograma de Crecida

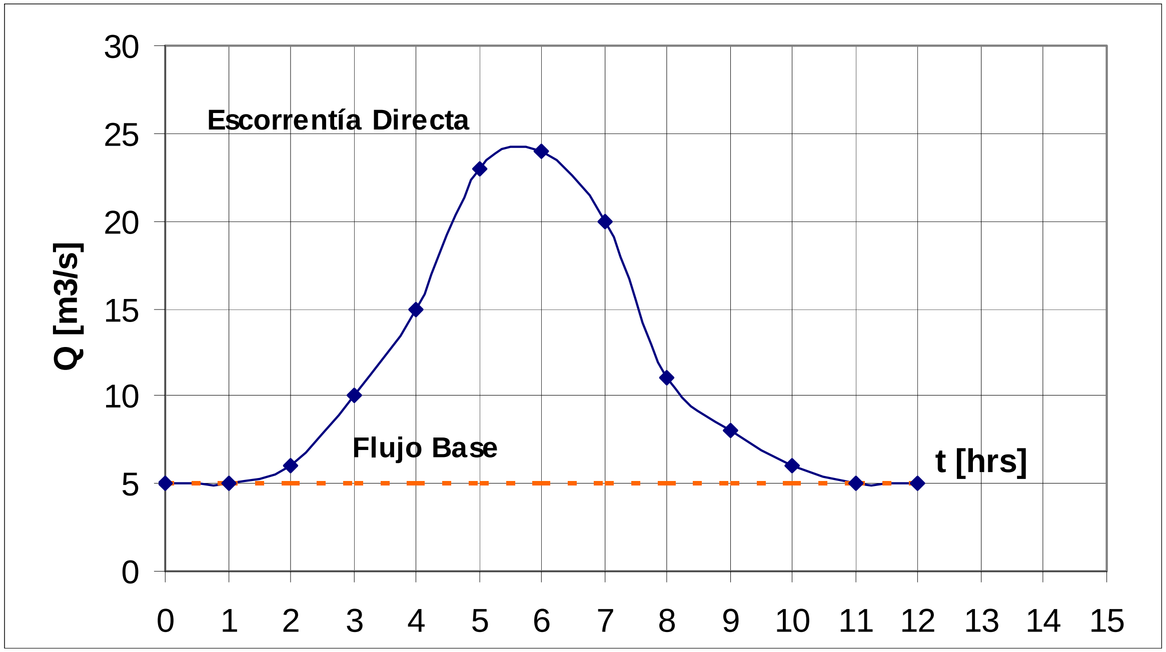
t [hrs]	Q [m3/s]
0	5
1	5
2	6
3	10
4	15
5	23
6	24
7	20
8	11
9	8
10	6
11	5
12	5



Solución

- Determinación Hietograma de Precipitación Efectiva.

- Suponiendo que se trata de una cuenca de régimen pluvial, a partir del hidrograma de la crecida puedo determinar el volumen de escorrentía directa que se generó durante la tormenta.
- Para llevar a cabo lo anterior, es necesario restar al hidrograma de escorrentía total el flujo base, en este caso se utilizó por simplicidad el método de la línea recta (Q = 5 m³/s).



- Luego, el hidrograma de escorrentía directa es la resta directa del hidrograma observado y el flujo base. El área bajo el hidrograma se estima con la siguiente fórmula:

$$V_{ED} = \sum_{i=1}^{n} \frac{(Q_{ED\,i} + Q_{ED\,i+1})}{2} \cdot \Delta t_i \cdot 3600$$

t [hrs]	Q_{ED} [m³/s]	ΔV_{ED} [m³]
0	0	
1	0	0
2	1	1800
3	5	10800
4	10	27000
5	15	45000
6	19	61200
7	15	61200
8	6	37800
9	3	16200
10	1	7200
11	0	1800
12	0	0

$\Sigma\Delta V_{ED}$ [m³]	270,000
A [km²]	25.8
A [m²]	25,800,000
Pef [m]	0.0105
Pef [mm]	10.5

Donde:

- V_{ED} = Volumen de Escorrentía directa [m³]
- Q_{EDi} = Caudal de Escorrentía Directa [m³/s]
- Δt_i = Intervalo de Tiempo entre i e i+1 [hr].

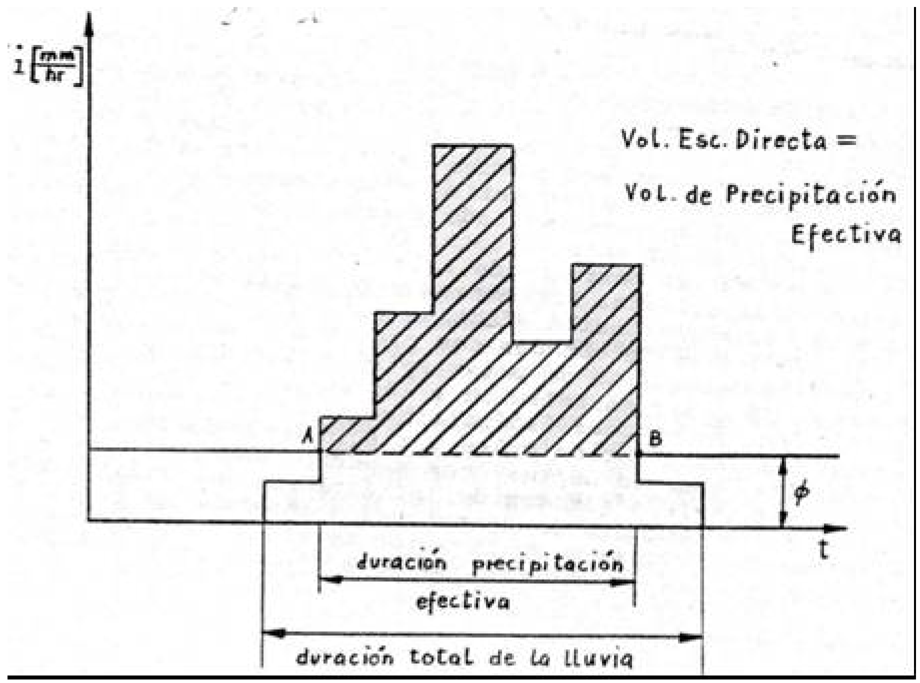
Determinación del Hietograma de Precipitación Efectiva

- Para determinar el hietograma de precipitación efectiva, en este caso se utilizará el método del índice ϕ (Ver Figura Nº 3). Dicho índice se define como la intensidad de lluvia promedio por sobre la cual el volumen de lluvia es igual al volumen de escorrentía directa.
- El cálculo del índice ϕ se realiza en forma iterativa, y se compara el valor de precipitación efectiva estimada con el índice ϕ con el observado (hidrograma).
- Por ejemplo, para ϕ = 3 mm/hr, 5 mm/hr y 7,69 mm/hr, se obtienen los resultados que se presentan a continuación:

ϕi [mm/hr] 3.00

Intervalo [Hr]	**I [mm/hr]**	**P [mm]**	I_{ef} [mm/hr]	**Pef [mm]**
0.25	1	0.25		
0.5	3	0.75	0	0
0.75	4	1	1	0.25
1	10	2.5	7	1.75
1.25	15	3.75	12	3
1.5	25	6.25	22	5.5
1.75	20	5	17	4.25
2	10	2.5	7	1.75
2.25	8	2	5	1.25
2.5	5	1.25	2	0.5
2.75	0.8	0.2	0	0
3	1	0.25	0	0

ΣP [mm]	25.7	**ΣP_{EF} [mm]**	18.3



Iterando el valor del índice ϕ, finalmente se obtiene ϕ = 7.69 mm/hr.

Propuesto: Determinar el Hietograma de precipitación efectiva con el método de la Curva Número y analizar sus ventajas y desventajas.

ϕi [mm/hr] 5.00

Intervalo [Hr]	I [mm/hr]	P [mm]	I_{ef} [mm/hr]	Pef [mm]
0.25	1	0.25		
0.5	3	0.75	0	0
0.75	4	1	0	0
1	10	2.5	5	1.25
1.25	15	3.75	10	2.5
1.5	25	6.25	20	5
1.75	20	5	15	3.75
2	10	2.5	5	1.25
2.25	8	2	3	0.75
2.5	5	1.25	0	0
2.75	0.8	0.2	0	0
3	1	0.25	0	0

ΣP [mm]	25.7	ΣP_{EF} [mm]	14.5

ϕi [mm/hr] 7.69

Intervalo [Hr]	I [mm/hr]	P [mm]	I_{ef} [mm/hr]	Pef [mm]
0.25	1	0.25		
0.5	3	0.75	0.0	0.0
0.75	4	1	0.0	0.0
1	10	2.5	2.3	0.6
1.25	15	3.75	7.3	1.8
1.5	25	6.25	17.3	4.3
1.75	20	5	12.3	3.1
2	10	2.5	2.3	0.6
2.25	8	2	0.3	0.1
2.5	5	1.25	0.0	0.0
2.75	0.8	0.2	0.0	0.0
3	1	0.25	0.0	0.0

ΣP [mm]	25.7	ΣP_{EF} [mm]	10.5

Cálculo del Valor de la Curva Número.

- Tomando como base el método SCS, cuya expresión de cálculo que relaciona la precipitación efectiva (Pef) en función de la precipitación total (P) y retención potencial máxima de la cuenca (S), tal como se muestra a continuación

$$Pe = \frac{(P - 0.2 \cdot S)^2}{P + 0.8 \cdot S} \text{ y } S = 25400/CN - 254$$

Pef [mm]	10.47
P [mm]	25.7
CN	92

- Parte b) El Método Racional estima el caudal máximo a través de la siguiente fórmula:
- $Q_T = C \cdot i_{tcT} \cdot A / 3.6$
- Donde:
  - Q_T : Caudal máximo asociado al período de retorno T (m^3/s)
  - C : Coeficiente de escorrentía de la cuenca
  - I_{tcT} : Intensidad máxima de lluvia en el tiempo de concentración de la cuenca, para un período de retorno T (mm/hr)
  - A : Área de la cuenca aportante (Km^2)
- El tiempo de concentración se estima con al fórmula de California

Solución $$t_c = 0{,}95 \cdot \left(\frac{L^3}{H_{máx}} \right)^{0{,}385} = 1 \text{ hr}$$

- Luego, hay que identificar del hietograma de precipitación en qué intervalo de duración 1.0 hr ocurre la mayor cantidad de precipitación.
- Por inspección se obtiene que la máxima cantidad de precipitación se tiene entre las horas 1 y 2 horas y es igual a P = 17.5 mm.
- Finalmente, I_{tcT} = 17.5 mm / 1.0 hr = 17.5 mm/hr.
- El coeficiente de escorrentía se puede estimar como C = Pef / P = 10.5 / 25.7 = 0.4.
- $Q_{Máx}$ = 0.4 ·17.5 mm/hr ·25.8 km^2 / 3.6
- $Q_{Máx}$ = 51.1 m^3/s

PREGUNTA N° 2

- Estime el caudal máximo instantáneo que se podría observar a la salida de una cuenca de 450 km^2 sobre la cual se registra un hietograma de 6 horas de duración:

t (hr)	I (mm/hr)
0 - 1	3.0
1 -2	15.0
2 -3	10.0
3 - 4	7.0
4 -5	4.0
5- 6	2.0

- El tiempo de concentración de la cuenca es de 2 horas y según la metodología del USCS para el cálculo de abstracciones el uso de suelo en su superficie permite adoptar una Curva Número igual a 75
- Nota: Indicar claramente supuesto utilizados para completar el cálculo

Solución

- Q_{max}=CIA. Para conocer I es necesario discretizar el hietograma cada 2 horas:

CN =	75			
S =	25400/CN - 254	=	85	mm
Ia =	0,2 · S	=	16.9	mm

t (hr)	I (mm/hr)
0 - 2	9.0
2 -4	8.5
4 -6	3.0

Fa=	S*(P-Ia)/(P-Ia+S)
Pe =	P-Ia-Fa

t (hr)	$P_{acumulada}$ (mm)	Ia (mm)	Fa (mm)	Pef (mm)	I (mm/hr)
0.0	0	16.9	0.0	0.00	
2.0	18	16.9	1.1	0.01	0.01
4.0	35	16.9	14.9	3.18	1.58
6.0	41	16.9	18.7	5.33	1.07

C·I=1,58 mm/hr

Q_{max}=C*i*A=1,58 (mm/hr)*450/3.6 = 198 (m3/s)

Problema 3

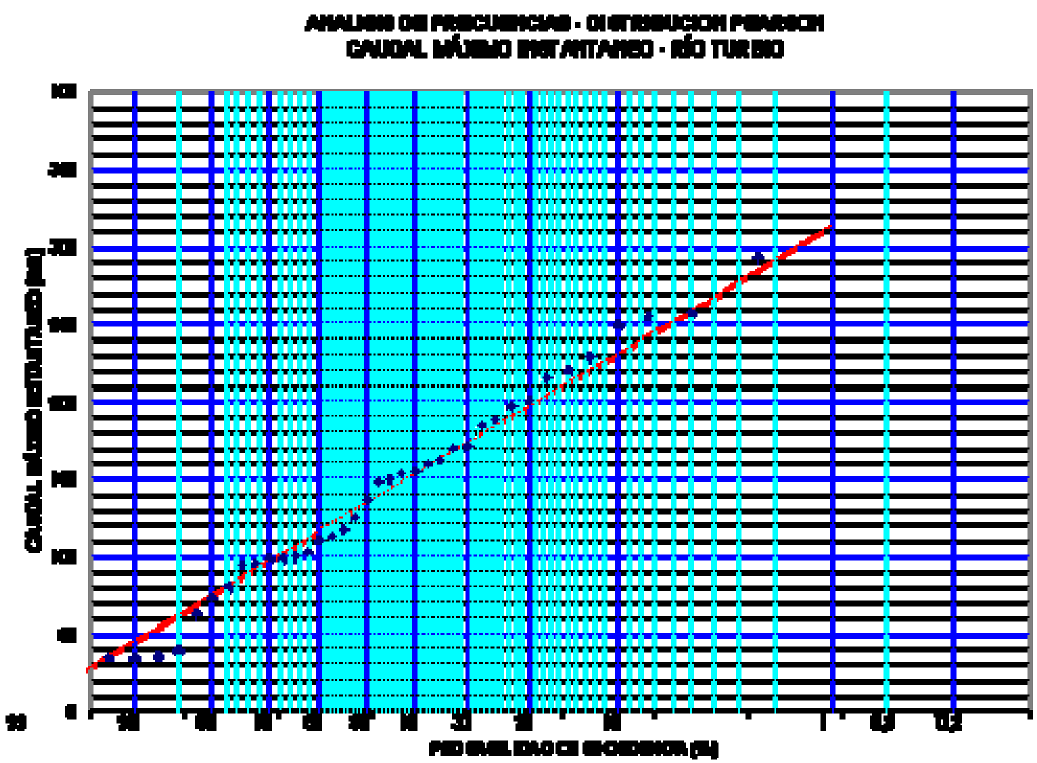
- Un embalse multipropósito (ubicado sobre el río Turbio) cuya obra de seguridad (vertedero) ha sido diseñada para una vida útil de 50 años y un periodo de retorno de T = 1.000 años, ha fallado a los 5 años de operación.

1. **Estimar la probabilidad asociada a dicha falla.**

   Como parte de los estudios hidrológicos previos a la construcción del embalse, se efectuó el análisis de frecuencia de los caudales máximos instantáneos. Se presenta la distribución de mejor ajuste y parámetros estadísticos de interés.

2. **Determine el caudal de diseño del vertedero.**

Serie	Promedio [m³/s]	Desviación Estándar [m³/s]	Coef. Asimetría
Q	136.43	72.32	0.169



Solución

1. T=1.000 años;

$$\mathrm{Prob}_{\mathrm{FALLA\ 5°\ Año}} = \left(1 - \frac{1}{1000}\right)^4 \left(\frac{1}{1000}\right) = 0{,}001 = 0{,}1\%$$

2. T=1.000 años; Q_T=??

<u>Distribución Pearson III</u>

Z_{normal} = 3,09

$K_{T\ Pearson}$ = 3,334

X_T = 136,43 + 3,334*72,32 = 377,5 m^3/s

Problema 4

- Para los datos de caudales máximos instantáneos registrados en una estación limnigráfica se realizó un análisis de frecuencia, determinándose que la distribución de mejor ajuste es la Gumbel. Los estadísticos de interés se presentan en la Tabla a continuación:

Serie	n	Promedio [m^3/s]	Desviación Estándar [m^3/s]	Coef. Asimetría
Q	25	298,5	113,128	0,827

- Determine el caudal asociado a T = 50 años y el intervalo de confianza de la estimación asociada a un nivel de confianza del 90%.

Solución

$$Y_T = -Ln(Ln(\frac{T}{T-1})) = -Ln(Ln(\frac{50}{49})) = 3{,}902$$

- Para n = 25 años y las tablas correspondientes a un distribución Gumbel se obtiene:

$$Y_n = 0{,}531$$

$$\sigma_n = 1{,}091$$

- Calculando el caudal de diseño, se tiene:

$$X_T = \mu + \underbrace{\frac{(Y_T - Y_n)}{\sigma_n}}_{K_T = 3{,}09} \cdot \sigma = 298{,}5 + \frac{(3{,}902 - 0{,}531)}{1{,}091} \cdot 113{,}128 = 648{,}1 \ \text{m}^3/\text{s}$$

Limites de Confianza.

Para la distribución Gumbel puede utilizarse la siguiente fórmula recomendada para la distribución Extrema Tipo I

Error estándar $\longrightarrow S_e = \left[\frac{1}{n}\cdot(1+1{,}139\cdot K_T + 1{,}1000\cdot K_T^2)\right]^{1/2}\cdot\sigma$

y los limites de confianza quedan referidos al nivel de significancia α, tal como se indica a continuación:

$$X_T \pm S_e \cdot Z_\alpha$$

Remplazando en la ecuación, se obtiene:

$S_e = \left[\frac{1}{25}\cdot(1+1{,}139\cdot 3{,}09 + 1{,}1000\cdot 3{,}09^2)\right]^{1/2}\cdot\sigma$ =0,775·σ=87,7 m³/s

Nivel de Confianza

El nivel de significancia se estima con $\alpha = \frac{1-\beta}{2} = \frac{1-0{,}9}{2} = 0{,}05 = 5\%$.

Luego, utilizando las tablas correspondientes a la distribución normal se obtiene Z_α=1,645.

Finalmente los limites de confianza son:

Superior: $X_T + S_e \cdot Z_\alpha$ =2792,3 m³/s

Inferior: $X_T - S_e \cdot Z_\alpha$ =503,8 m³/s