

CENTRALES DE EMBALSE (Ni)

TRABAJO PRACTICO N°5 – EJEMPLO RESUELTO

Enunciado:

1. Se quiere diseñar una planta hidroeléctrica en el río, utilizando los siguientes datos:
salto neto en el sitio de la planta 22m; eficiencia de la turbina 92%.
Los caudales mensuales promedio (m^3/s) del río en un año seco son los siguientes:

Datos:

Salto neto (H_u):	22 m
Eficiencia de la turbina (η):	0.92 %
Densidad del Agua (ρ)	1000 Kg/m ³
Gravedad:	9.81 m/s ²
Caudales mensuales promedio (m ³ /s) del río en un año seco:	
	MES
	CAUDAL (m ³ /s)
	Enero
	Febrero
	Marzo
	Abril
	Mayo
	Junio
	Julio
	Agosto
	Septiembre
	Octubre
	Noviembre
	Diciembre

Objetivos:

- Representar en forma gráfica la curva de duración de caudales y potencia.
- Calcular la potencia primaria y la secundaria disponible de esta fuente si el caudal máximo utilizable se limita a 150 m³/s.
- Si se quiere desarrollar la potencia con una tasa firme de 20 MW, ya sea mediante almacenamiento o con una planta Diesel auxiliar sin almacenamiento, determinar la capacidad mínima del embalse y de la unidad Diesel

Paso 1: Ordenar los Caudales y Calcular la Probabilidad de Excedencia:

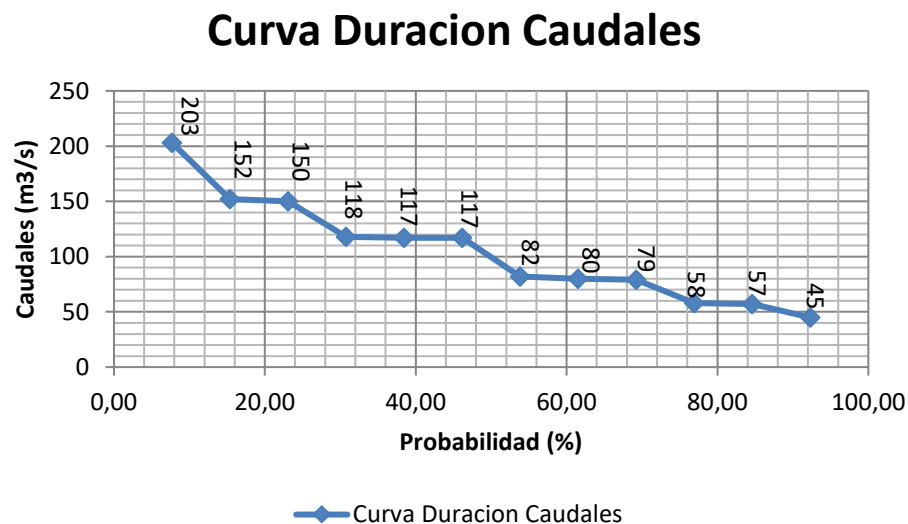
Tomamos los 12 caudales mensuales, los ordenamos de mayor a menor, y calculamos el porcentaje de tiempo que cada caudal es igualado o excedido usando la fórmula de Weibull: $P=m/(n+1)$, donde m es el rango y n=12.

MES	CAUDAL	Rango (1/1)	Tiempo Igualado o Excedido (%)
	(m3/s)		
Marzo	203	1	7.69
Diciembre	152	2	15.38
Febrero	150	3	23.08
Junio	118	4	30.77
Enero	117	5	38.46
Abril	117	6	46.15
Julio	82	7	53.85
Mayo	80	8	61.54
Agosto	79	9	69.23
Septiembre	58	10	76.92
Noviembre	57	11	84.62
Octubre	45	12	92.31

- Representar en forma gráfica la curva de duración de caudales y potencia

Paso 2: Construir la Curva de Duración de Caudales (CDC):

Para graficar la CDC, se colocan los "% Tiempo Igualado o Excedido" en el eje X y los "Caudales Q (m³/s)" en el eje Y. Se unen los puntos para formar la curva.



MES	CAUDAL	Rango (1/1)	Tiempo Igualado o Excedido (%)
	(m3/s)		
Marzo	203	1	7.69
Diciembre	152	2	15.38
Febrero	150	3	23.08
Junio	118	4	30.77
Enero	117	5	38.46
Abril	117	6	46.15
Julio	82	7	53.85
Mayo	80	8	61.54
Agosto	79	9	69.23
Septiembre	58	10	76.92
Noviembre	57	11	84.62
Octubre	45	12	92.31

- Representar en forma gráfica la curva de duración de caudales y potencia

Paso 3: Calcular la Potencia Hidráulica para cada Caudal:

Utilizamos la fórmula de potencia hidráulica (guía p. 30): $N(kW) = \eta \cdot \rho \cdot g \cdot Q \cdot H_u / 1000$ Con $\eta = 0.92$, $\rho = 1000 \text{ kg/m}^3$, $g = 9.81 \text{ m/s}^2$, $H_u = 22 \text{ m}$.
El factor constante es $K = 198.5544 \text{ kW}/(\text{m}^3/\text{s})$. $N(kW) = 198.5544 \cdot Q$.

Donde:

$\eta = 0.92$ (eficiencia de la turbina)

$\rho = 1000 \text{ kg/m}^3$ (densidad del agua, valor estándar)

$g = 9.81 \text{ m/s}^2$ (aceleración de la gravedad, valor estándar)

$H_u = 22 \text{ m}$ (salto neto)

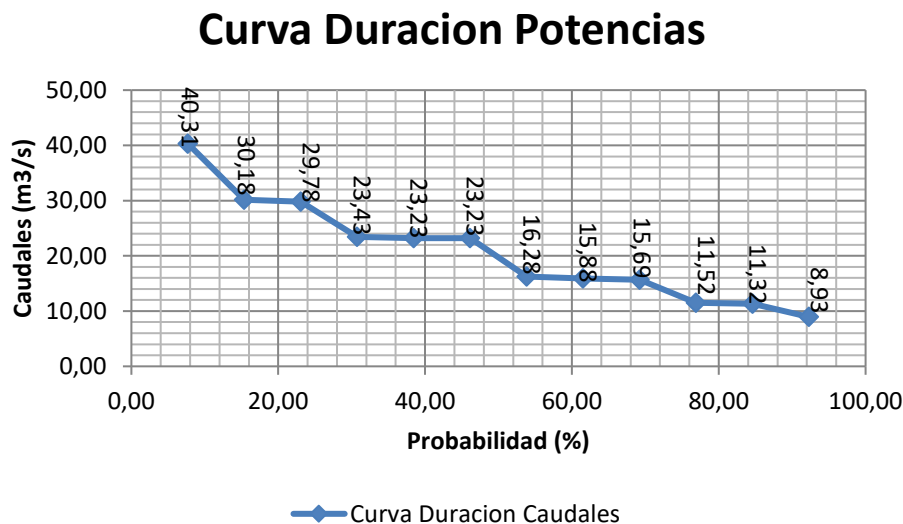
Q es el caudal en m^3/s de la tabla anterior.

MES	CAUDAL (m^3/s)	Rango (1/1)	Tiempo Igualado o Excedido (%)	Potencia (MW)
Marzo	203	1	7.69	40.31
Diciembre	152	2	15.38	30.18
Febrero	150	3	23.08	29.78
Junio	118	4	30.77	23.43
Enero	117	5	38.46	23.23
Abril	117	6	46.15	23.23
Julio	82	7	53.85	16.28
Mayo	80	8	61.54	15.88
Agosto	79	9	69.23	15.69
Septiembre	58	10	76.92	11.52
Noviembre	57	11	84.62	11.32
Octubre	45	12	92.31	8.93

- Representar en forma gráfica la curva de duración de caudales y potencia

Paso 4: Construir la Curva de Duración de Potencia (CDP):

Similar a la CDC, para graficar la CDP se colocan los "% Tiempo Igualado o Excedido" en el eje X y la "Potencia N (kW)" calculada en el eje Y. Se unen los puntos. La forma de esta curva será idéntica a la CDC, solo cambiará la escala del eje Y (ver p. 33 de la guía).

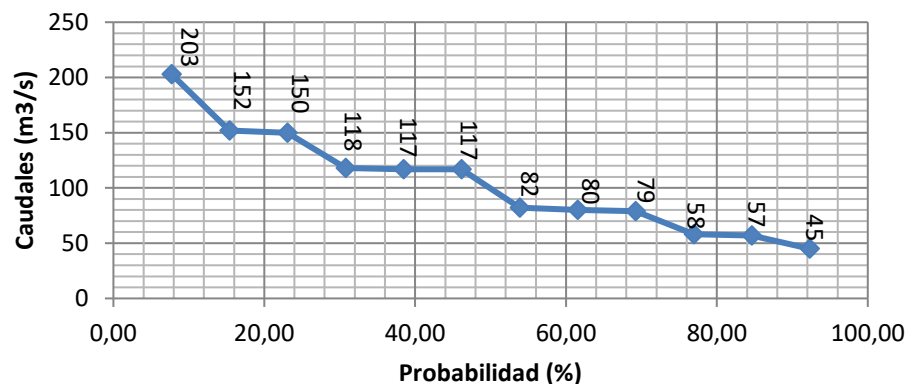


MES	CAUDAL	Rango (1/1)	Tiempo Igualado o Excedido (%)	Potencia (MW)
	(m3/s)			
Marzo	203	1	7.69	40.31
Diciembre	152	2	15.38	30.18
Febrero	150	3	23.08	29.78
Junio	118	4	30.77	23.43
Enero	117	5	38.46	23.23
Abril	117	6	46.15	23.23
Julio	82	7	53.85	16.28
Mayo	80	8	61.54	15.88
Agosto	79	9	69.23	15.69
Septiembre	58	10	76.92	11.52
Noviembre	57	11	84.62	11.32
Octubre	45	12	92.31	8.93

- Representar en forma gráfica la curva de duración de caudales y potencia

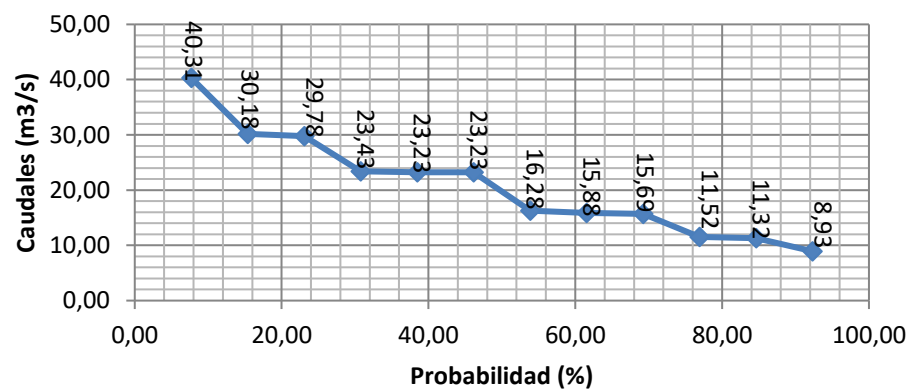
Curvas de Duración de caudales y potencias

Curva Duracion Caudales



—●— Curva Duracion Caudales

Curva Duracion Potencias



—●— Curva Duracion Caudales

- Representar en forma gráfica la curva de duración de caudales y potencia

Paso 1: Ajustar los Caudales Mensuales al Límite Utilizable:

Debemos tomar los caudales mensuales originales y, si alguno excede los 150 m³/s, se considerará que la central solo puede utilizar 150 m³/s

MES	CAUDAL (m ³ /s)	Q_útil (m ³ /s)	OBS
Enero	117	117	
Febrero	150	150	
Marzo	203	150	Limitado
Abril	117	117	
Mayo	80	80	
Junio	118	118	
Julio	82	82	
Agosto	79	79	
Septiembre	58	58	
Octubre	45	45	
Noviembre	57	57	
Diciembre	152	150	Limitado

- Calcular la potencia primaria y la secundaria disponible de esta fuente si el caudal máximo utilizable se limita a 150 m³/s

Paso 2: Determinar el Caudal Mínimo Utilizable (Q_{min_util}):

De la lista de Caudales Utilizables (Q_{util}), identificamos el **valor mínimo**. Este caudal será la base para calcular la potencia primaria. **$Q_{min_util}=45 \text{ m}^3/\text{s}$** (correspondiente al mes de Octubre).

MES	CAUDAL (m^3/s)	$Q_{\text{útil}}$ (m^3/s)	OBS
Enero	117	117	
Febrero	150	150	
Marzo	203	150	Limitado
Abril	117	117	
Mayo	80	80	
Junio	118	118	
Julio	82	82	
Agosto	79	79	
Septiembre	58	58	
Octubre	45	45	
Noviembre	57	57	
Diciembre	152	150	Limitado

- Calcular la potencia primaria y la secundaria disponible de esta fuente si el caudal máximo utilizable se limita a $150 \text{ m}^3/\text{s}$

Paso 3: Calcular la Potencia Primaria (N_{primaria}):

La **potencia primaria** (o firme) es la que se puede generar con el caudal **mínimo utilizable**, es decir, la potencia que está disponible prácticamente el 100% del tiempo considerado en este conjunto de datos (ver guía, p. 31 y p. 34). $N_{\text{primaria}} = K \cdot Q_{\text{min_util}}$ $N_{\text{primaria}} = 198.5544 \text{ kW}/(\text{m}^3/\text{s}) \cdot 45 \text{ m}^3/\text{s}$

$N_{\text{primaria}} = 8934.948 \text{ kW}$

Redondeando, podemos decir $N_{\text{primaria}} \approx 8934.95 \text{ kW} \approx 8.93 \text{ MW}$.

- Calcular la potencia primaria y la secundaria disponible de esta fuente si el caudal máximo utilizable se limita a 150 m³/s

Paso 4: Calcular la Potencia Secundaria (Nsecundaria):

La **potencia secundaria** es la potencia generada utilizando los caudales que exceden al Q_{min_util} , pero siempre dentro del límite del **Q_{max_util} (150 m³/s)**. Una forma de interpretarla es como la **potencia promedio generada por encima de la potencia primaria**.

Primero, calculamos la **potencia total utilizable** para cada mes (N_{total_util}) y luego la **potencia de exceso** (N_{exceso}) para cada mes:
 $N_{total_util,mes} = K \cdot Q_{util,mes}$ $N_{exceso,mes} = N_{total_util,mes} - N_{primaria}$ (Será 0 si $Q_{util,mes} = Q_{min_util}$)

La **potencia secundaria** ($N_{secundaria}$) se calcula como el promedio de estas potencias de exceso a lo largo del período (12 meses):
 $N_{secundaria} = (\text{Suma de } N_{exceso}) / 12$ $N_{secundaria} = 131641.54 \text{ kW} / 12$ $N_{secundaria} = 10970.1283 \text{ kW}$

Redondeando, podemos decir **$N_{secundaria} \approx 10970.13 \text{ kW} \approx 10.97 \text{ MW}$** .

MES	CAUDAL (m ³ /s)	Q _{útil} (m ³ /s)	N _{util} (MW)	N _{primaria} (MW)	N _{exceso} (MW)
Enero	117	117	23.23	8.93	14.30
Febrero	150	150	29.78	8.93	20.85
Marzo	203	150	29.78	8.93	20.85
Abril	117	117	23.23	8.93	14.30
Mayo	80	80	15.88	8.93	6.95
Junio	118	118	23.43	8.93	14.50
Julio	82	82	16.28	8.93	7.35
Agosto	79	79	15.69	8.93	6.76
Septiembre	58	58	11.52	8.93	2.59
Octubre	45	45	8.93	8.93	0.00
Noviembre	57	57	11.32	8.93	2.39
Diciembre	152	150	29.78	8.93	20.85
				Suma	131.70

- Calcular la potencia primaria y la secundaria disponible de esta fuente si el caudal máximo utilizable se limita a 150 m³/s

Paso 4: Calcular la Potencia Secundaria (Nsecundaria):

La **potencia secundaria** es la potencia generada utilizando los caudales que exceden al Q_{min_util} , pero siempre dentro del límite del **Q_{max_util} (150 m³/s)**. Una forma de interpretarla es como la **potencia promedio generada por encima de la potencia primaria**.

Primero, calculamos la **potencia total utilizable** para cada mes (N_{total_util}) y luego la **potencia de exceso** (N_{exceso}) para cada mes:
 $N_{total_util,mes} = K \cdot Q_{util,mes}$ $N_{exceso,mes} = N_{total_util,mes} - N_{primaria}$ (Será 0 si $Q_{util,mes} = Q_{min_util}$)

La **potencia secundaria** ($N_{secundaria}$) se calcula como el promedio de estas potencias de exceso a lo largo del período (12 meses):
 $N_{secundaria} = (\text{Suma de } N_{exceso}) / 12$ $N_{secundaria} = 131641.54 \text{ kW} / 12$ $N_{secundaria} = 10970.1283 \text{ kW}$

Redondeando, podemos decir **$N_{secundaria} \approx 10970.13 \text{ kW} \approx 10.97 \text{ MW}$** .

Resumen de Resultados :

Potencia Primaria ($N_{primaria}$): 8934.95 kW = **8.93 MW**

Potencia Secundaria ($N_{secundaria}$): 10970.13 kW = **10.97 MW**

MES	CAUDAL (m ³ /s)	$Q_{\acute{u}til}$ (m ³ /s)	N_{util} (MW)	$N_{primaria}$ (MW)	N_{exceso} (MW)
Enero	117	117	23.23	8.93	14.30
Febrero	150	150	29.78	8.93	20.85
Marzo	203	150	29.78	8.93	20.85
Abril	117	117	23.23	8.93	14.30
Mayo	80	80	15.88	8.93	6.95
Junio	118	118	23.43	8.93	14.50
Julio	82	82	16.28	8.93	7.35
Agosto	79	79	15.69	8.93	6.76
Septiembre	58	58	11.52	8.93	2.59
Octubre	45	45	8.93	8.93	0.00
Noviembre	57	57	11.32	8.93	2.39
Diciembre	152	150	29.78	8.93	20.85
				Suma	131.70

- Calcular la potencia primaria y la secundaria disponible de esta fuente si el caudal máximo utilizable se limita a 150 m³/s

Paso 1: Caudal Necesario para Potencia Firme:

Alternativa A: Garantizar 20 MW mediante almacenamiento (Embalse)

Determinar el Caudal Necesario para la **Potencia Firme (Qfirme)**:

La potencia firme deseada (Nfirme) es 20,000 kW. Usamos la fórmula de potencia para despejar el caudal requerido:

$$N_{\text{firme}} = K \cdot Q_{\text{firme}}$$

$$Q_{\text{firme}} = N_{\text{firme}} / K = 20000 \text{ kW} / 198.5544 \text{ kW}/(\text{m}^3/\text{s}) \quad Q_{\text{firme}} \approx 100.728 \text{ m}^3/\text{s}$$

Este es el **caudal** que la central necesitaría liberar **constantemente** para generar 20 MW.

- Si se quiere desarrollar la potencia con una tasa firme de 20 MW, ya sea mediante almacenamiento o con una planta Diesel auxiliar sin almacenamiento, determinar la capacidad mínima del embalse y de la unidad Diesel

Paso 2: Análisis con la Curva de Duración de Caudales (o la serie de caudales mensuales):

Alternativa A: Garantizar 20 MW mediante almacenamiento (Embalse)

Necesitamos comparar este **Qfirme** con los caudales naturales disponibles mes a mes para determinar los **déficits y excesos**, y así estimar la **capacidad mínima del embalse**. Para esto, se utiliza el **Diagrama de Masas (o Curva de Rippl)**, como se menciona en la guía "**4 Centrales de Embalse - Ni.pdf**" (p. 38-43).

Caudales mensuales originales (Qnat en m³/s):

MES	CAUDAL
	(m ³ /s)
Enero	117
Febrero	150
Marzo	203
Abril	117
Mayo	80
Junio	118
Julio	82
Agosto	79
Septiembre	58
Octubre	45
Noviembre	57
Diciembre	152
Qfirme requerido = 100.728 m ³ /s	

- Si se quiere desarrollar la potencia con una tasa firme de 20 MW, ya sea mediante almacenamiento o con una planta Diesel auxiliar sin almacenamiento, determinar la capacidad mínima del embalse y de la unidad Diesel

Paso 2: Análisis con la Curva de Duración de Caudales (o la serie de caudales mensuales):

Alternativa A: Garantizar 20 MW mediante almacenamiento (Embalse)

Calculamos el volumen de **déficit o exceso** mensual respecto a **Qfirme**. Asumimos meses de duración promedio (aproximadamente 30.4375 días = 30.4375·24·3600 segundos ≈ 2,629,800 segundos). Volumen (hm³) = Caudal (m³/s) · Segundos en un mes / 106 Factor de conversión de m³/s mensual a hm³/mes ≈ Caudal · 2.6298.

MES	CAUDAL	Q_firme	Q_nat- Q_firme	(Q_nat-Q_firme)*2.6298	Acum	
	(m ³ /s)	(m ³ /s)	(m ³ /s)	(Hm ³ /mes)	(Hm ³)	
Enero	117	100.728	16.272	42.79	42.79	
Febrero	150	100.728	49.272	129.58	172.37	
Marzo	203	100.728	102.272	268.95	441.32	
Abril	117	100.728	16.272	42.79	484.11	
Mayo	80	100.728	-20.728	-54.51	429.60	
Junio	118	100.728	17.272	45.42	475.03	
Julio	82	100.728	-18.728	-49.25	425.78	
Agosto	79	100.728	-21.728	-57.14	368.63	
Septiembre	58	100.728	-42.728	-112.37	256.27	
Octubre	45	100.728	-55.728	-146.55	109.72	
Noviembre	57	100.728	-43.728	-115.00	-5.28	
Diciembre	152	100.728	51.272	134.84	129.55	
					484.11	Max
					-5.28	Min
					489.40	CR

- Si se quiere desarrollar la potencia con una tasa firme de 20 MW, ya sea mediante almacenamiento o con una planta Diesel auxiliar sin almacenamiento, determinar la capacidad mínima del embalse y de la unidad Diesel

Paso 1: Potencia Eléctrica Generable en cada mes:

Alternativa B: Garantizar **20 MW** con una planta Diesel auxiliar (sin almacenamiento en el embalse para regulación interanual/mensual)

En este caso, la planta hidroeléctrica **opera con el caudal natural disponible** (Q_{nat}) mes a mes (**o con el Q_{max_util} si el caudal natural lo excede**, aunque para determinar la necesidad de la Diesel, consideramos primero la potencia generable por la hidroeléctrica con Q_{nat}). **La planta Diesel cubre cualquier déficit** para alcanzar los 20,000 kW de potencia firme.

$N_{hidro,mes} = K \cdot Q_{nat,mes}$ (sin exceder la potencia máxima que podría generar la central si tuviera un Q_{max_util} por diseño de turbinas, pero para este problema, asumimos que puede tomar todo Q_{nat} hasta el punto en que se necesite la Diesel).

MES	CAUDAL (m ³ /s)	$N_{hidro,mes}$ (MW)	P_{firme_req} (MW)	Deficit_N (MW)
Enero	117	23.23	20.00	0.00
Febrero	150	29.78	20.00	0.00
Marzo	203	40.31	20.00	0.00
Abril	117	23.23	20.00	0.00
Mayo	80	15.88	20.00	4.12
Junio	118	23.43	20.00	0.00
Julio	82	16.28	20.00	3.72
Agosto	79	15.69	20.00	4.31
Septiembre	58	11.52	20.00	8.48
Octubre	45	8.93	20.00	11.07
Noviembre	57	11.32	20.00	8.68
Diciembre	152	30.18	20.00	0.00

- Si se quiere desarrollar la potencia con una tasa firme de 20 MW, ya sea mediante almacenamiento o con una planta Diesel auxiliar sin almacenamiento, determinar la capacidad mínima del embalse y de la unidad Diesel

Paso 2: Determinar la Capacidad de la Unidad Diesel (NDiesel):

Alternativa B: Garantizar **20 MW** con una planta Diesel auxiliar (sin almacenamiento en el embalse para regulación interanual/mensual)

La **planta Diesel** debe ser capaz de **cubrir el máximo déficit de potencia** que ocurra en cualquier mes. Observando la columna "**Déficit de Potencia**", el valor máximo es **11065.05 kW (en Octubre)**.

Potencia Unidad Diesel ≈ 11065.05 kW (o 11.07 MW)

Resumen de Resultados para el Ejercicio:

Alt. A Capacidad Mínima Embalse (para garantizar 20 MW de potencia firme): **≈ 489.44 hm³**

Alt. B Potencia Unidad Diesel (para garantizar 20 MW de potencia firme, sin almacenamiento): **≈ 11065.05 kW ≈ 11.07 MW**

MES	CAUDAL (m ³ /s)	Nhidro,mes (MW)	P_firme_req (MW)	Deficit_N (MW)
Enero	117	23.23	20.00	0.00
Febrero	150	29.78	20.00	0.00
Marzo	203	40.31	20.00	0.00
Abril	117	23.23	20.00	0.00
Mayo	80	15.88	20.00	4.12
Junio	118	23.43	20.00	0.00
Julio	82	16.28	20.00	3.72
Agosto	79	15.69	20.00	4.31
Septiembre	58	11.52	20.00	8.48
Octubre	45	8.93	20.00	11.07
Noviembre	57	11.32	20.00	8.68
Diciembre	152	30.18	20.00	0.00

- Si se quiere desarrollar la potencia con una tasa firme de 20 MW, ya sea mediante almacenamiento o con una planta Diesel auxiliar sin almacenamiento, determinar la capacidad mínima del embalse y de la unidad Diesel

Enunciado:

2. Los volúmenes mensuales ($\times 10^6 \text{ m}^3$) de un río en el período del año más seco registrado se muestran a continuación:

Datos:

Mes	Vap,mes (Hm3)
0	0
1	4,00
2	2,25
3	5,00
4	1,25
5	0,50
6	0,75
7	0,50
8	0,75
9	1,25
10	1,25
11	5,00
12	6,25

Objetivos:

- Estimar la máxima captación uniforme posible de este río (módulo) y determinar la capacidad del embalse para obtener esa captación uniforme. Cuál es el almacenamiento inicial mínimo para mantener la demanda.
- Si el embalse tiene solo una capacidad total de 8×10^6 m³ con un almacenamiento inicial de 4×10^6 m³, determinar la máxima captación uniforme posible y si se produce vertimiento.

Parte 1: Máxima Captación Uniforme (Módulo) y Capacidad de Embalse Correspondiente

Primero, listamos los volúmenes mensuales de aporte ($V_{ap,mes}$) en hm^3 (que es lo mismo que $10^6 m^3$) y calculamos el volumen total anual y los aportes acumulados.

Mes	$V_{ap,mes}$ (Hm^3)	$V_{ac,mes}$ (Hm^3)
0	0	0
1	4,00	4,00
2	2,25	6,25
3	5,00	11,25
4	1,25	12,50
5	0,50	13,00
6	0,75	13,75
7	0,50	14,25
8	0,75	15,00
9	1,25	16,25
10	1,25	17,50
11	5,00	22,50
12	6,25	28,75

- Estimar la máxima captación uniforme posible de este río (módulo) y determinar la capacidad del embalse para obtener esa captación uniforme. Cuál es el almacenamiento inicial mínimo para mantener la demanda.

Parte 1: Máxima Captación Uniforme (Módulo) y Capacidad de Embalse Correspondiente

- a) **Estimar la Máxima Captación Uniforme Posible (Módulo del río, $V_{reg,mes}$):** La máxima captación uniforme posible si se pudiera regular todo el caudal del año es el caudal medio del período.“

$$V_{reg,mes}(\text{demanda mensual uniforme}) = \text{Volumen Total Anual Aportado} / 12 \text{ meses}$$

$$V_{reg,mes} = 28.75 \text{ hm}^3 / 12 = 2.39583 \text{ hm}^3 / \text{mes}$$

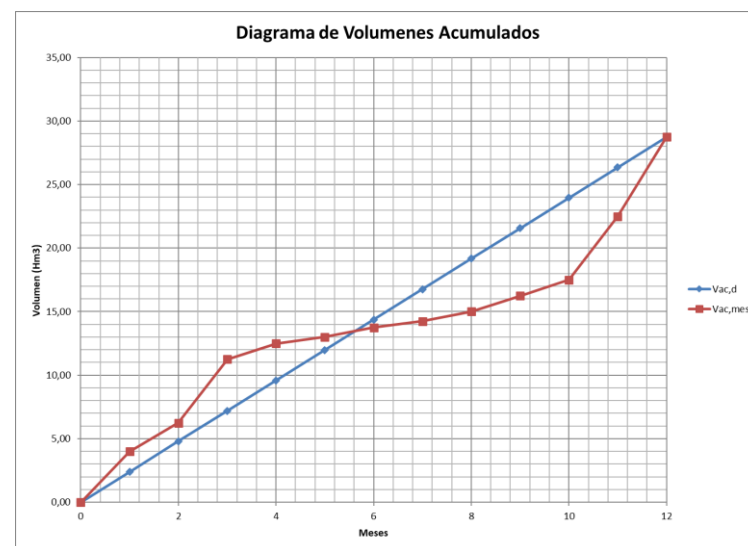
Esta es la demanda uniforme (V_d) que intentaremos satisfacer.

- Estimar la máxima captación uniforme posible de este río (módulo) y determinar la capacidad del embalse para obtener esa captación uniforme. Cuál es el almacenamiento inicial mínimo para mantener la demanda.

Parte 1: Máxima Captación Uniforme (Módulo) y Capacidad de Embalse Correspondiente

b) Determinar la Capacidad del Embalse para esa Captación Uniforme (Método de Rippl): Construimos la tabla de balance de volúmenes. La columna clave es $S_i = V_{ac,ap} - V_{ac,d}$ (Almacenamiento Relativo Acumulado), donde $V_{ac,d}$ es el volumen de demanda acumulado ($i \cdot V_d$).

$V_d =$	2,40	Hm3/mes		
Mes (i)	$V_{ac,ap}$	$V_{ac,d}$ ($=i \cdot V_d$)	S_i ($=V_{ac,ap} - V_{ac,d}$)	
	(hm3)	(hm3)	(hm3)	
0	0,00	0,00	0,00	
1	4,00	2,40	1,60	
2	6,25	4,79	1,46	
3	11,25	7,19	4,06	
4	12,50	9,58	2,92	
5	13,00	11,98	1,02	
6	13,75	14,37	-0,62	
7	14,25	16,77	-2,52	
8	15,00	19,17	-4,17	
9	16,25	21,56	-5,31	
10	17,50	23,96	-6,46	
11	22,50	26,35	-3,85	
12	28,75	28,75	0,00	
			4,06	Max
			-6,46	Min
			10,52	Rango



La capacidad mínima del embalse (C_{min}) es el rango de la columna S_i , es decir, $S_{i,max} - S_{i,min}$.

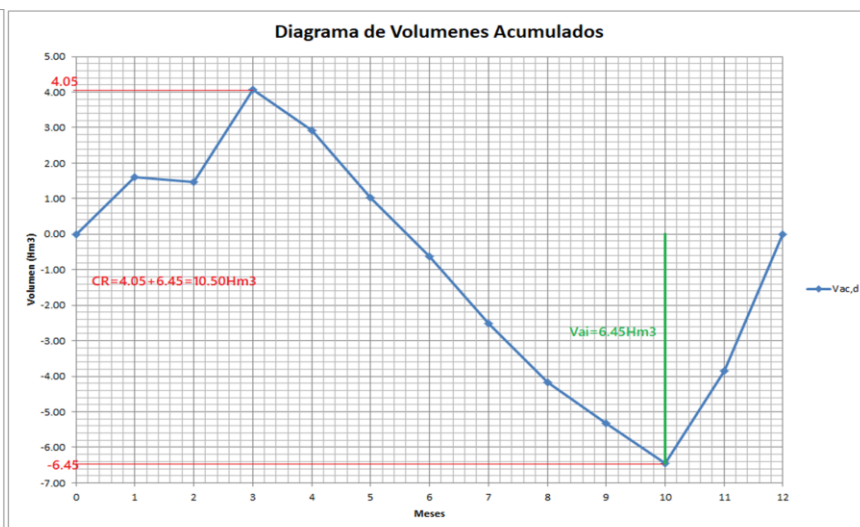
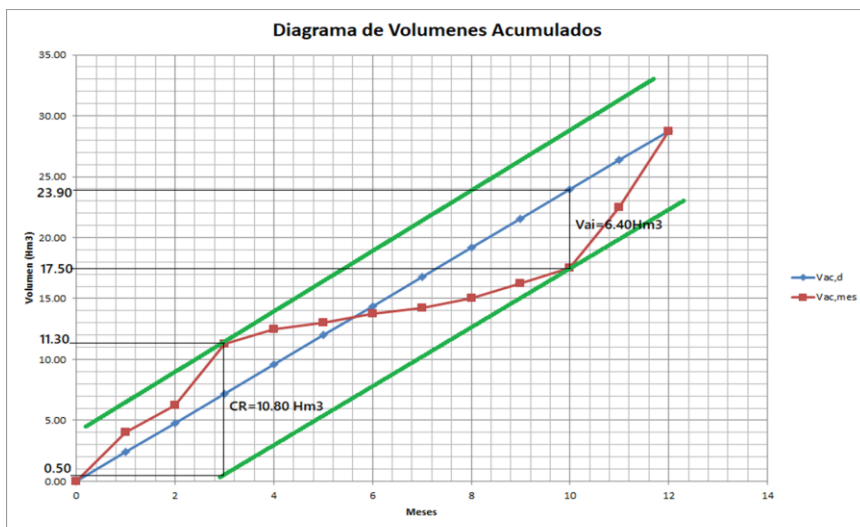
$$C_{min} \approx 10,52 \cdot 10^6 \text{ m}^3 \approx 10,52 \text{ Hm}^3$$

- Estimar la máxima captación uniforme posible de este río (módulo) y determinar la capacidad del embalse para obtener esa captación uniforme. Cuál es el almacenamiento inicial mínimo para mantener la demanda.

Parte 1: Máxima Captación Uniforme (Módulo) y Capacidad de Embalse Correspondiente

c) ¿Cuál es el Almacenamiento Inicial Mínimo para Mantener la Demanda? El almacenamiento inicial mínimo (V_{aim}) para este ciclo (partiendo el análisis en el mes 1) y para esta demanda uniforme es la cantidad necesaria para que el almacenamiento nunca sea negativo en términos absolutos. Esto corresponde al valor absoluto del mayor déficit acumulado si se comenzara con un almacenamiento relativo de cero al inicio del período que lleva a ese déficit. Si el embalse inicia en un estado tal que su "almacenamiento relativo" es 0 (como al inicio de nuestra tabla Si), y alcanza un $S_{i,min}$ de -6.458 hm^3 , significa que se necesitaría haber tenido 6.458 hm^3 almacenados al inicio del período de vaciado que llevó a este punto para no fallar. En el contexto de la curva de Rippl, el almacenamiento inicial se refiere a la cantidad de agua que debe estar en el embalse al inicio del período crítico de estiaje (ver guía p. 43, concepto de $AC=ST$).

Vaim 6,46 Hm3



- Estimar la máxima captación uniforme posible de este río (módulo) y determinar la capacidad del embalse para obtener esa captación uniforme.Cuál es el almacenamiento inicial mínimo para mantener la demanda.

Parte 2: Embalse con Capacidad Total $C_{real}=8 \cdot 10^6 \text{ m}^3$ y Almacenamiento Inicial $V_{ini}=4 \cdot 10^6 \text{ m}^3$

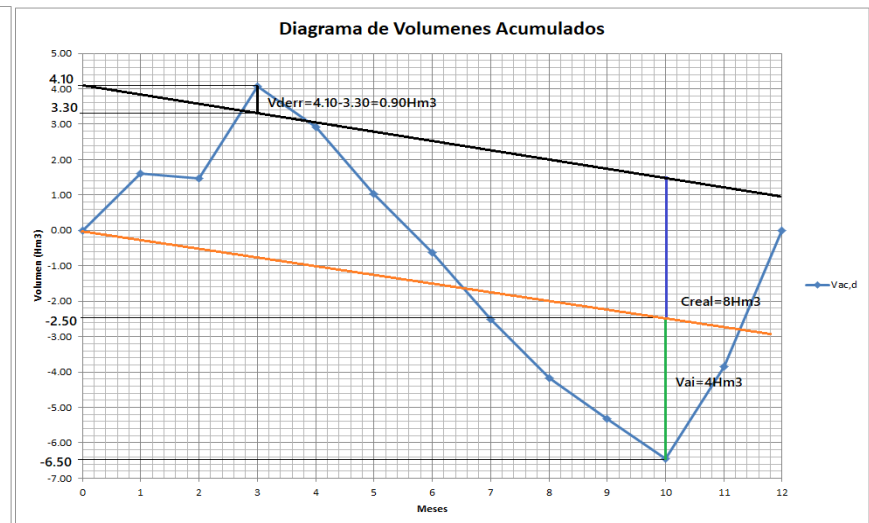
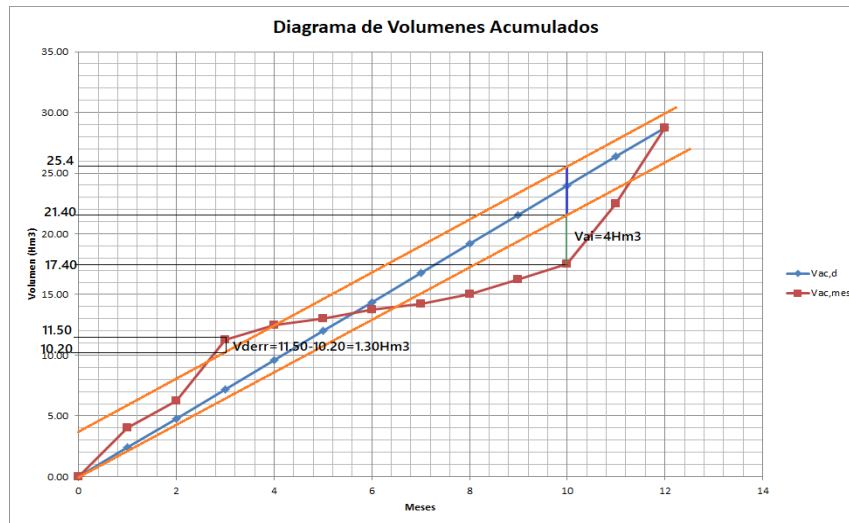
a) Determinar la Máxima Captación Uniforme Posible (V_d, mes') Debemos encontrar el V_d, mes' más alto tal que, comenzando con $V_{ini}=4 \text{ hm}^3$, el volumen almacenado V_{alm} se mantenga siempre entre 0 hm^3 (sin déficit) y 8 hm^3 (el exceso se vierte). Este es un problema que se resuelve iterativamente o gráficamente con el Diagrama de Rippl (guía p. 49-50). El método analítico simplificado es encontrar el V_d' tal que:
 $V_d' = \min_{k=1 \text{ a } 12} [(V_{ini} + V_{ac,ap,k} - V_{emb,final_deseado_en_k})/k]$, considerando que V_{emb} no puede superar C_{real} . El punto crítico será donde V_{alm} llegue a cero. $V_{alm,k} = V_{ini} + V_{ac,ap,k} - k \cdot V_d' \geq 0 \Rightarrow V_d' \leq (V_{ini} + V_{ac,ap,k})/k$. Calculamos esta expresión para cada mes, considerando que si en un mes previo $j < k$, $V_{ini} + V_{ac,ap,j} - j \cdot V_d'$ hubiera superado $C_{real}=8 \text{ hm}^3$, el V_{ini} efectivo para el cálculo de $(V_{ini} + V_{ac,ap,k})/k$ se vería afectado por ese vertimiento (el "exceso de V_{ini} " se pierde).

$V_d =$	2,04	Hm^3/mes		
$C_{real}=$	8,00	Hm^3		
$V_{ini}=$	4,00	Hm^3		
Mes (i)	$V_{ac,ap}$ (hm^3)	$V_{ac,d}$ ($=i \cdot V_d$) (hm^3)	Si ($=V_{ac,ap}-V_{ac,d}$) (hm^3)	Vertimiento ($=Si-C_{real}$)
0	4,00	0,00	4,00	-4,00
1	8,00	2,04	5,97	-2,04
2	10,25	4,07	6,18	-1,82
3	15,25	6,11	9,15	1,15
4	16,50	8,14	8,36	0,36
5	17,00	10,18	6,83	-1,18
6	17,75	12,21	5,54	-2,46
7	18,25	14,25	4,01	-4,00
8	19,00	16,28	2,72	-5,28
9	20,25	18,32	1,94	-6,07
10	21,50	20,35	1,15	-6,85
11	26,50	22,39	4,12	-3,89
12	32,75	24,42	8,33	0,33
			9,15	Max
			1,15	Min
			8,00	Rango

- Si el embalse tiene solo una capacidad total de $8 \times 10^6 \text{ m}^3$ con un almacenamiento inicial de $4 \times 10^6 \text{ m}^3$, determinar la máxima captación uniforme posible y si se produce vertimiento.

Parte 2: Embalse con Capacidad Total $C_{real}=8 \cdot 10^6 \text{ m}^3$ y Almacenamiento Inicial $V_{ini}=4 \cdot 10^6 \text{ m}^3$

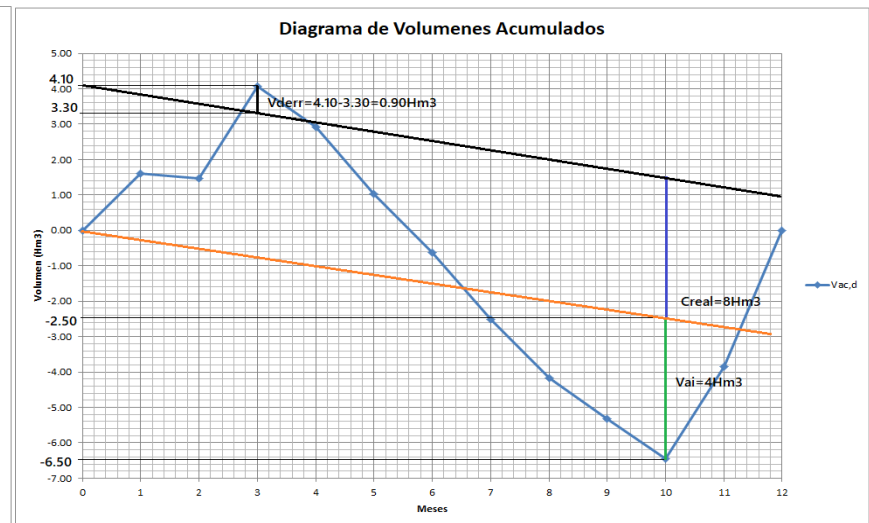
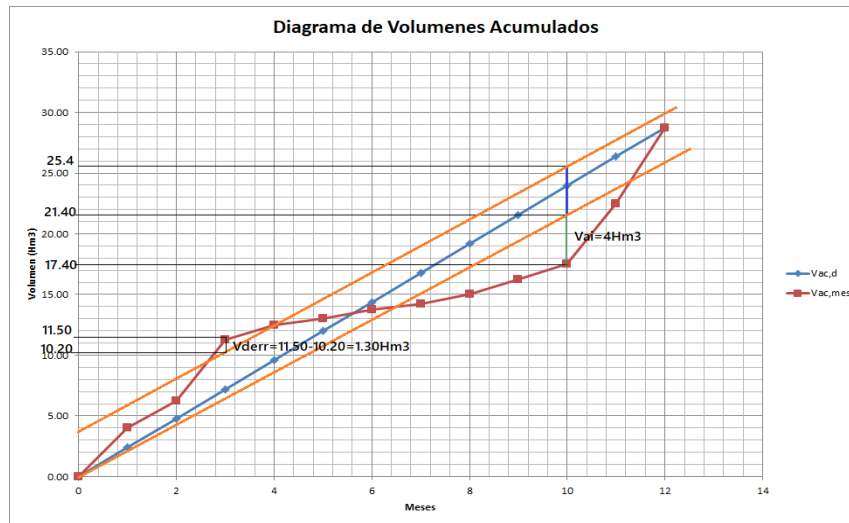
a) Determinar la Máxima Captación Uniforme Posible (V_d, mes') Debemos encontrar el V_d, mes' más alto tal que, comenzando con $V_{ini}=4 \text{ hm}^3$, el volumen almacenado V_{alm} se mantenga siempre entre 0 hm^3 (sin déficit) y 8 hm^3 (el exceso se vierte). Este es un problema que se resuelve iterativamente o gráficamente con el Diagrama de Rippl (guía p. 49-50). El método analítico simplificado es encontrar el V_d' tal que: $V_d' = \min_{k=1 \text{ a } 12} [(V_{ini} + V_{ac,ap,k} - V_{emb,final_deseado_en_k})/k]$, considerando que V_{emb} no puede superar C_{real} . El punto crítico será donde V_{alm} llegue a cero. $V_{alm,k} = V_{ini} + V_{ac,ap,k} - k \cdot V_d' \geq 0 \Rightarrow V_d' \leq (V_{ini} + V_{ac,ap,k})/k$. Calculamos esta expresión para cada mes, considerando que si en un mes previo $j < k$, $V_{ini} + V_{ac,ap,j} - j \cdot V_d'$ hubiera superado $C_{real}=8 \text{ hm}^3$, el V_{ini} efectivo para el cálculo de $(V_{ini} + V_{ac,ap,k})/k$ se vería afectado por ese vertimiento (el "exceso de V_{ini} " se pierde).



- Si el embalse tiene solo una capacidad total de $8 \times 10^6 \text{ m}^3$ con un almacenamiento inicial de $4 \times 10^6 \text{ m}^3$, determinar la máxima captación uniforme posible y si se produce vertimiento.

Parte 2: Embalse con Capacidad Total $C_{real}=8 \cdot 10^6 \text{ m}^3$ y Almacenamiento Inicial $V_{ini}=4 \cdot 10^6 \text{ m}^3$

a) Determinar la Máxima Captación Uniforme Posible (V_d, mes') Debemos encontrar el V_d, mes' más alto tal que, comenzando con $V_{ini}=4 \text{ hm}^3$, el volumen almacenado V_{alm} se mantenga siempre entre 0 hm^3 (sin déficit) y 8 hm^3 (el exceso se vierte). Este es un problema que se resuelve iterativamente o gráficamente con el Diagrama de Rippl (guía p. 49-50). El método analítico simplificado es encontrar el V_d' tal que: $V_d' = \min_{k=1 \text{ a } 12} [(V_{ini} + V_{ac,ap,k} - V_{emb,final_deseado_en_k})/k]$, considerando que V_{emb} no puede superar C_{real} . El punto crítico será donde V_{alm} llegue a cero. $V_{alm,k} = V_{ini} + V_{ac,ap,k} - k \cdot V_d' \geq 0 \Rightarrow V_d' \leq (V_{ini} + V_{ac,ap,k})/k$. Calculamos esta expresión para cada mes, considerando que si en un mes previo $j < k$, $V_{ini} + V_{ac,ap,j} - j \cdot V_d'$ hubiera superado $C_{real}=8 \text{ hm}^3$, el V_{ini} efectivo para el cálculo de $(V_{ini} + V_{ac,ap,k})/k$ se vería afectado por ese vertimiento (el "exceso de V_{ini} " se pierde).



- Si el embalse tiene solo una capacidad total de $8 \times 10^6 \text{ m}^3$ con un almacenamiento inicial de $4 \times 10^6 \text{ m}^3$, determinar la máxima captación uniforme posible y si se produce vertimiento.

Enunciado:

3. El Caudal mensual (m^3/s) de un río que abastece de agua a una planta de energía en 14 períodos sucesivos de 4 semanas del año más seco es el siguiente:

Datos:

Período	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
Q (m ³ /s)	1,14	0,58	0,68	0,78	0,94	1,16	0,56	0,56	0,5	0,67	1,36	1,65	1,49	0,83

Objetivos:

- Calcular el volumen de almacenamiento del embalse para mantener para mantener la producción uniforme más alta a través del año y calcular la potencia continua si el salto disponible es de 40m y la eficiencia de la turbina tipo Francis es del 92%.
- Si se puede instalar un embalse de solo la mitad de la capacidad requerida. ¿Qué potencia debe suministrar una planta auxiliar para producir la misma potencia continua?.

Parte 1: Calcular el volumen de almacenamiento del embalse

a. **Calcular el volumen de almacenamiento del embalse** para mantener la producción uniforme más alta a través del año y calcular la potencia continua si el salto disponible es de 40m y la eficiencia de la turbina tipo Francis es del 92%.

Datos							
Caudales (Q) en m ³ /s para 14 períodos de 4 semanas (28 días) cada uno.							
Hu=	40	m	Salto disponible (asumimos que es el Salto Neto, Hu): 40 m				
η =	92	%	Eficiencia de la turbina (η): 92%=0.92				
ρ =	1000	Kg/m ³	Densidad del agua (ρ): 1000 kg/m ³ (estándar)				
g=	9,81	m/s ²	Aceleración de la gravedad (g): 9.81 m/s ² (estándar)				

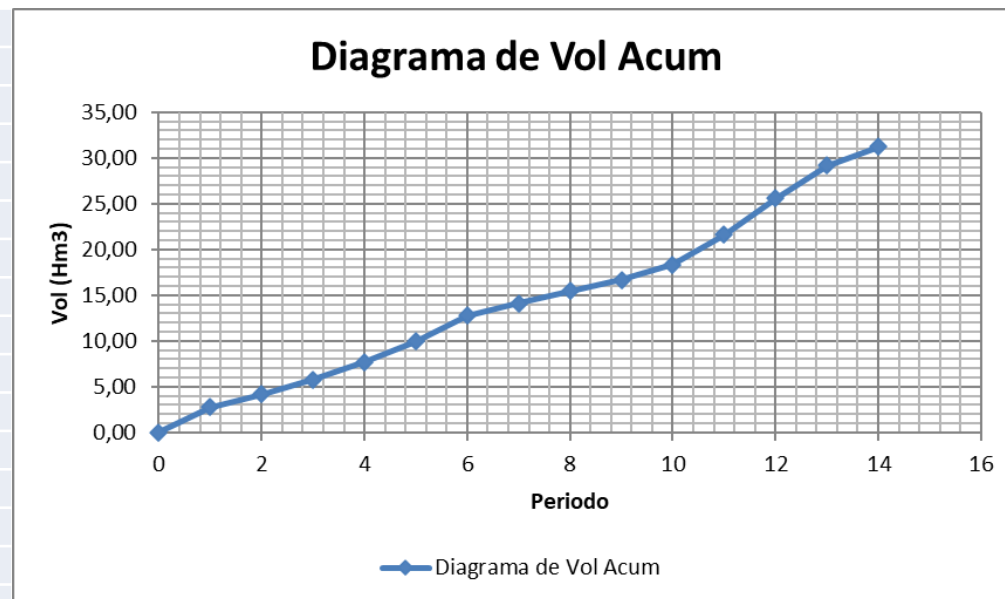
- Calcular el volumen de almacenamiento del embalse

Parte 1: Calcular el volumen de almacenamiento del embalse

Paso 1: Calcular el Volumen de Aporte por Período y el Volumen Total Anual

Período=	28	días	Cada período es de 4 semanas = $4 \cdot 7 = 28$ días.
Seg/Per=	2419200	seg	Segundos en un período = $28 \text{ días} \cdot 24 \text{ hs/día} \cdot 3600 \text{ s/h} = 2,419,200 \text{ s}$
FC=	2,4192	seg/Hm3	Factor de conversión de m3/s por período a hm3/período: Caudal $\cdot 2.4192$

Período	Q (m3/s)	Vap, per (Hm3)	Vac,ap (Hm3)
0	0,00	0,00	0,00
1	1,14	2,76	2,76
2	0,58	1,40	4,16
3	0,68	1,65	5,81
4	0,78	1,89	7,69
5	0,94	2,27	9,97
6	1,16	2,81	12,77
7	0,56	1,35	14,13
8	0,56	1,35	15,48
9	0,50	1,21	16,69
10	0,67	1,62	18,31
11	1,36	3,29	21,60
12	1,65	3,99	25,60
13	1,49	3,60	29,20
14	0,83	2,01	31,21
			31,21
			Total



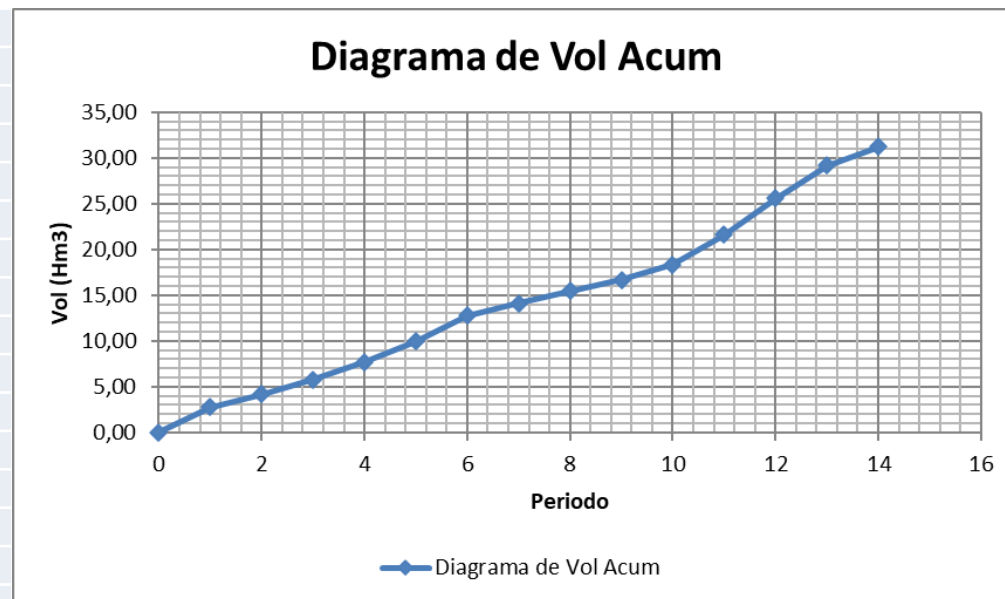
- Calcular el volumen de almacenamiento del embalse

Parte 1: Calcular el volumen de almacenamiento del embalse

Paso 1: Calcular el Volumen de Aporte por Período y el Volumen Total Anual

Período=	28	días	Cada período es de 4 semanas = $4 \cdot 7 = 28$ días.
Seg/Per=	2419200	seg	Segundos en un período = $28 \text{ días} \cdot 24 \text{ hs/día} \cdot 3600 \text{ s/h} = 2,419,200 \text{ s}$
FC=	2,4192	seg/Hm3	Factor de conversión de m3/s por período a hm3/período: Caudal $\cdot 2.4192$

Período	Q (m3/s)	Vap, per (Hm3)	Vac,ap (Hm3)
0	0,00	0,00	0,00
1	1,14	2,76	2,76
2	0,58	1,40	4,16
3	0,68	1,65	5,81
4	0,78	1,89	7,69
5	0,94	2,27	9,97
6	1,16	2,81	12,77
7	0,56	1,35	14,13
8	0,56	1,35	15,48
9	0,50	1,21	16,69
10	0,67	1,62	18,31
11	1,36	3,29	21,60
12	1,65	3,99	25,60
13	1,49	3,60	29,20
14	0,83	2,01	31,21
			31,21



Vol Total Ap	31,21	Hm3
Per	14	1/1

- Calcular el volumen de almacenamiento del embalse

Parte 1: Calcular el volumen de almacenamiento del embalse

Paso 2: Máxima Captación Uniforme Posible (Producción Uniforme más alta, $V_{reg, periodo}$)

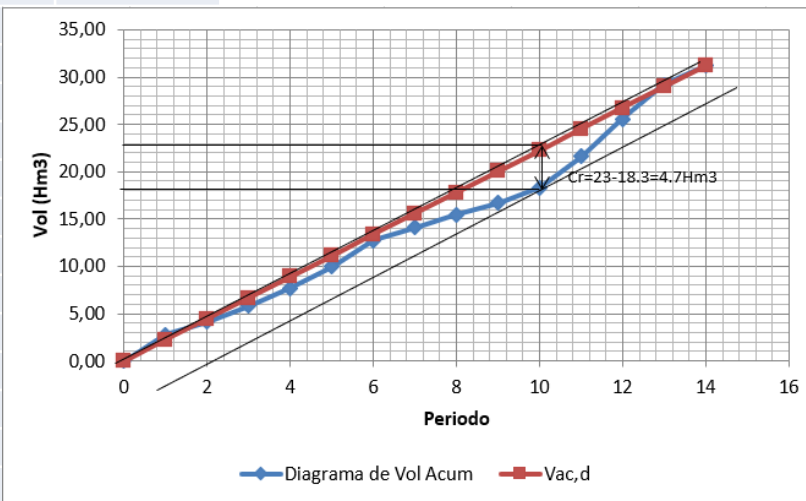
$V_{reg, periodo}$ (demanda uniforme por período) = Volumen Total Anual Aportado / Número de Períodos

$V_{reg, periodo} = 31.209 \text{ hm}^3 / 14 \text{ períodos} \approx 2.2292 \text{ hm}^3 / \text{período}$ Esta es la demanda uniforme (V_d) por período. **$V_d = 2,23 \text{ Hm}^3$**

Paso 3: Determinar la Capacidad del Embalse para esa Captación Uniforme (Método de Rippl) Construimos la tabla de balance de volúmenes.

$S_i = V_{ac, ap} - V_{ac, d}$

Período	Q (m ³ /s)	Vap, per (Hm ³)	Vac, ap (Hm ³)	Vac, d (Hm ³)	Si (Hm ³)
0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
1	1,14	2,76	2,76	2,23	0,53
2	0,58	1,40	4,16	4,46	-0,30
3	0,68	1,65	5,81	6,69	-0,88
4	0,78	1,89	7,69	8,92	-1,22
5	0,94	2,27	9,97	11,15	-1,18
6	1,16	2,81	12,77	13,37	-0,60
7	0,56	1,35	14,13	15,60	-1,48
8	0,56	1,35	15,48	17,83	-2,35
9	0,50	1,21	16,69	20,06	-3,37
10	0,67	1,62	18,31	22,29	-3,98
11	1,36	3,29	21,60	24,52	-2,92
12	1,65	3,99	25,60	26,75	-1,15
13	1,49	3,60	29,20	28,98	0,22
14	0,83	2,01	31,21	31,21	0,00
					-3,98
					0,53
					4,51



Respuesta Parte 1 (Volumen de Almacenamiento): **La capacidad del embalse requerida es 4.51 Hm³.**

El almacenamiento inicial mínimo para mantener esta demanda sería el valor absoluto de $S_{i, min}$ (si comenzamos el ciclo donde $S_i = 0$ y este es el primer ciclo de estiaje significativo), es decir, **3.98 hm³.**

- Calcular el volumen de almacenamiento del embalse

Parte 2: Calcular la Potencia Continua (Ncontinua)

Paso 1: El caudal uniforme que se puede mantener es $Q_{reg} = V_{reg, periodo} / (\text{segundos por período})$

$Q_{reg} =$	0,92	m ³ /s	
$K =$	361,01	Kw/(m ³ /s)	Factor de potencia $K = (\eta \cdot \rho \cdot g \cdot H_u) / 1000$
$N_{cont} =$	332,64	Kw	$K \cdot Q_{reg}$

Respuesta Parte 1 (Potencia Continua): **≈332 kW**

- Calcular la Potencia Continua

Parte 3: Embalse con la Mitad de la Capacidad Requerida y Planta Auxiliar

Paso 1:

Capacidad requerida calculada en Parte 1 (C_{min}): 4.51 hm³

Nueva capacidad del embalse (C_{real}'): $C_{min}/2 = 4.51/2 = 2.25$ hm³

$C_{real} = 2.25$ Hm³

El objetivo es mantener la misma potencia continua calculada en la Parte 1 ($N_{continua} \approx 332.64$ kW), que corresponde a un caudal uniforme (Q_{reg}) de 0.92 m³/s o un volumen de demanda por período (V_d) de 2.23 hm³/período.

La planta hidroeléctrica ahora tiene un embalse más pequeño. Necesitamos ver cuánta energía (o potencia) puede suministrar la hidroeléctrica de forma continua con este embalse reducido, y la diferencia deberá ser cubierta por la planta auxiliar.

Como no se especifica un almacenamiento inicial para este nuevo embalse, asumimos que se gestiona para maximizar el aporte de la hidroeléctrica. La potencia que debe suministrar la planta auxiliar será para cubrir los déficits cuando la hidroeléctrica no pueda entregar los 332.76 kW (o el caudal de 0.92146 m³/s).

Este es un problema de simulación de embalse. Para determinar la potencia de la planta auxiliar, necesitamos saber el máximo déficit de potencia instantáneo (o en el período más crítico).

Realizamos un balance de masas con la demanda $V_d = 2.23$ hm³/período, un $V_{alm,ini}$ (podemos asumir 0 para ver el comportamiento o un valor óptimo como el $S_{i,min}$ del embalse reducido) y $C_{real}' = 2.25$ hm³.

Consideramos que el embalse no puede quedar negativo. Si $V_{alm,antes_ajuste}$ es negativo, hay un déficit de volumen de agua que la hidroeléctrica no puede suministrar. Este déficit de volumen de agua, convertido a déficit de potencia, es lo que la planta auxiliar debe cubrir en ese período.

Volumen de déficit en un período j : $V_{def,j}$

Potencia de déficit en período j : $N_{def,j} = (V_{def,j} / (\text{segundos por período})) \cdot K$

La potencia de la planta auxiliar debe ser igual al máximo $N_{def,j}$ encontrado.

- Embalse con la Mitad de la Capacidad Requerida y Planta Auxiliar

Parte 3: Embalse con la Mitad de la Capacidad Requerida y Planta Auxiliar

Paso 1:

Simulación con $V_d=2.23 \text{ hm}^3/\text{período}$, $V_{alm,ini}=0$, $C_{real}=2.25 \text{ hm}^3$

Período	V_d	V_{ap}	$V_{ap}-V_d$	$V_{alm,ini}$	$V_{alm,antes_ajuste}$ ($=V_{ini}+V_{ap}-V_d$)	Vertim.	V_{def}	$V_{alm,fin}$
	(Hm^3)	(Hm^3)	(Hm^3)	(Hm^3)	(Hm^3)	(Hm^3)	(Hm^3)	(Hm^3)

V_{ap} (o $V_{ap,mes} / V_{ap,periodo}$): Volumen de Aporte del Período, Es la "entrada" de agua al sistema del embalse.

$V_{alm,ini}$: Volumen Almacenado al Inicio del Período, Es el "punto de partida" del agua disponible en el embalse para ese período. $V_{alm,ini}$ (Período i) $= V_{alm,fin}$ (Período $i-1$)

Si $V_{alm,antes_ajuste} > C_{real}$ (capacidad máxima del embalse), entonces hay vertimiento. El volumen real almacenado al final ($V_{alm,fin}$) será C_{real} , y el vertimiento es $V_{alm,antes_ajuste} - C_{real}$.

Si $V_{alm,antes_ajuste} < 0$, entonces hay un déficit. El embalse se vació e incluso faltó agua para cubrir la demanda. El volumen real almacenado al final ($V_{alm,fin}$) será 0, y el déficit es el valor absoluto de $V_{alm,antes_ajuste}$.

Si $0 \leq V_{alm,antes_ajuste} \leq C_{real}$, entonces no hay ni vertimiento ni déficit por falta de capacidad o agua en ese instante, y $V_{alm,fin} = V_{alm,antes_ajuste}$.

- Embalse con la Mitad de la Capacidad Requerida y Planta Auxiliar

Parte 3: Embalse con la Mitad de la Capacidad Requerida y Planta Auxiliar

Paso 1:

Simulación con $V_d=2.23 \text{ hm}^3/\text{período}$, $V_{\text{alm,ini}}=0$, $C_{\text{real}}=2.25 \text{ hm}^3$

Período	V_d	V_{ap}	$V_{\text{ap}}-V_d$	$V_{\text{al,ini}}$	$V_{\text{alm,antes_ajuste}}$ ($=V_{\text{ini}}+V_{\text{ap}}-V_d$)	Vertim.	V_{def}	$V_{\text{alm,fin}}$
	(Hm3)	(Hm3)	(Hm3)	(Hm3)	(Hm3)	(Hm3)	(Hm3)	(Hm3)
1	2,23	2,76	0,53	0,00	0,53	0,00	0,00	0,53
2	2,23	1,40	-0,83	0,53	-0,30	0,00	0,30	0,00
3	2,23	1,65	-0,58	0,00	-0,58	0,00	0,58	0,00
4	2,23	1,89	-0,34	0,00	-0,34	0,00	0,34	0,00
5	2,23	2,27	0,04	0,00	0,04	0,00	0,00	0,04
6	2,23	2,81	0,58	0,04	0,62	0,00	0,00	0,62
7	2,23	1,35	-0,87	0,58	-0,30	0,00	0,30	0,00
8	2,23	1,35	-0,87	0,00	-0,87	0,00	0,87	0,00
9	2,23	1,21	-1,02	0,00	-1,02	0,00	1,02	0,00
10	2,23	1,62	-0,61	0,00	-0,61	0,00	0,61	0,00
11	2,23	3,29	1,06	0,00	1,06	0,00	0,00	1,06
12	2,23	3,99	1,76	1,06	2,82	0,57	0,00	2,25
13	2,23	3,60	1,38	1,76	3,14	0,88	0,00	2,25
14	2,23	2,01	-0,22	1,38	1,15	0,00	0,00	1,15
							1,02	

$Q_{\text{def,max}} = 0,42 \text{ m}^3/\text{s}$ Caudal equivalente al déficit: $Q_{\text{def,max}} = V_{\text{def,max_período}}/(\text{segundos por período})$

$N_{\text{auxiliar}} = 152,14 \text{ Kw}$ Potencia que debe suministrar la planta auxiliar ($N_{\text{auxiliar}} = K \cdot Q_{\text{def,max}}$)

Respuesta Parte 3 (Potencia Unidad Auxiliar): **≈152.14 kW**

- Embalse con la Mitad de la Capacidad Requerida y Planta Auxiliar