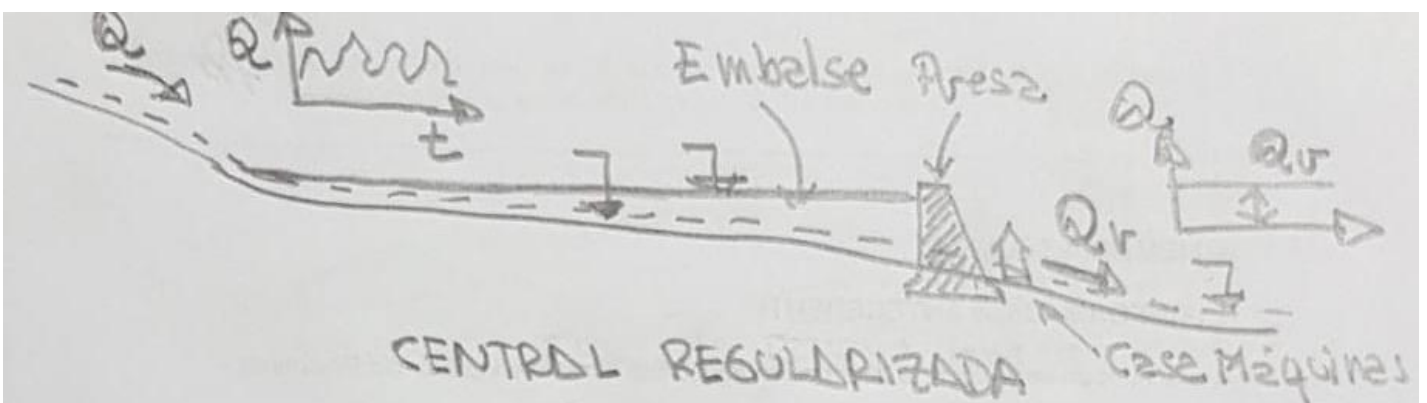
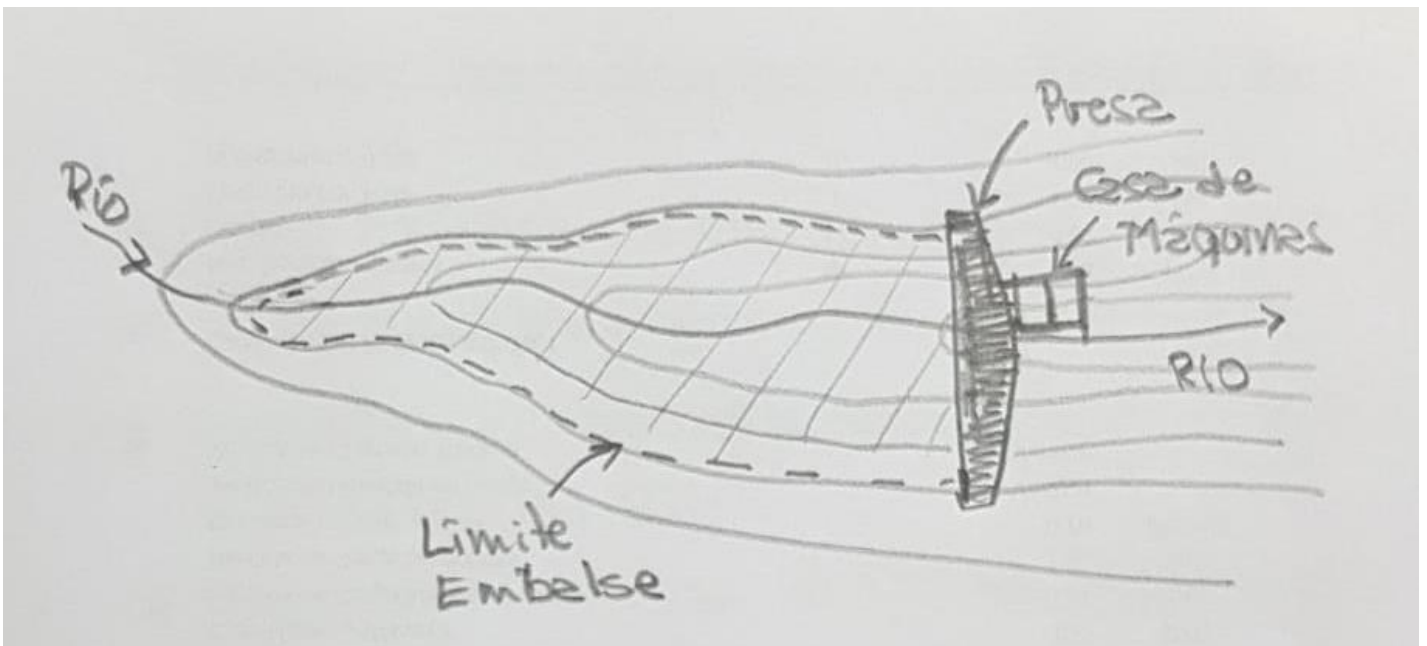


**CENTRALES HIDROELÉCTRICAS REGULARIZADAS (O DE EMBALSE)**

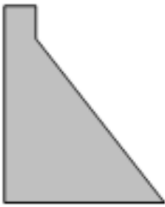


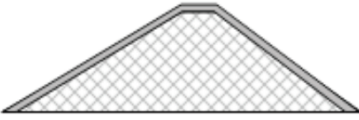
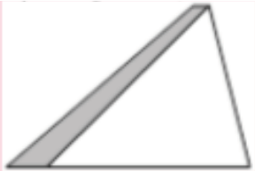
- \* Posee Embalse con Capacidad p/ Regularizar Q
- \* Posee Presa para generar Embebe
- \* Ingresan al Embalse los Caudales variables Naturales del Río
- \* Sale del Embalse el Caudal Regularizado ( $Q_r = Cte \leq M$ )
- \* Salto Hidráulico Variable ( $H \neq cte$ )



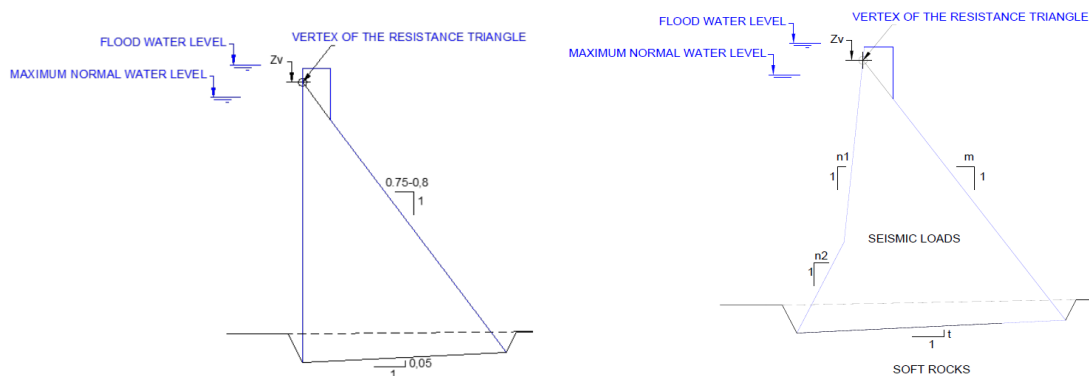
## PRESAS



## PRESAS DE HORMIGÓN

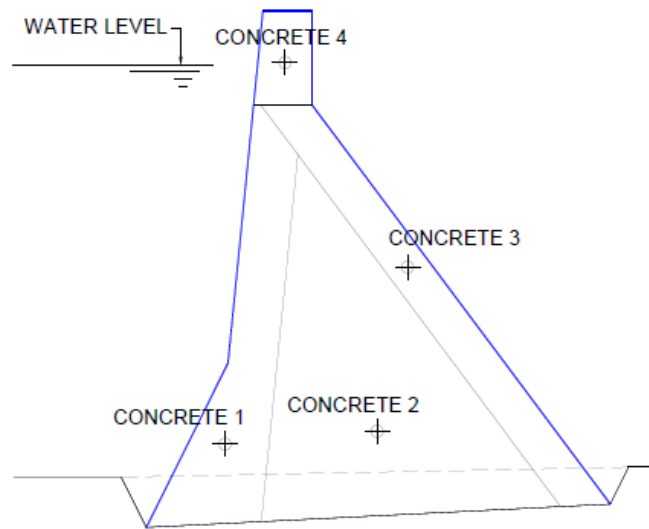
Dam type	Load transfer	Foundation requirements
 Gravity	Water loads are resisted by deadweight alone; stresses transferred to the foundation are moderate.	Any rock foundation, dams up to 30 m high can be on gravelly alluvium provided cut-offs and drainage are included in the foundation to control seepage and uplift forces.
 Arch-gravity	Water loads are resisted partly by gravity but with some loads transferred to the abutments by arch action; stresses applied to the abutments are moderate.	Foundation requirements in-between those for gravity and double-arch dams.
 Double arch	Water loads are transferred to the abutments by arch action; stresses applied to the abutments can be large.	Maximum mechanical foundation requirements. Requires sound rock.
 CMD (hardfill)	Water loads are resisted by deadweight alone but with low compressive and shear stress in the foundation.	Suited to weak foundations that cannot support a gravity dam.
 Buttress	Water loads are resisted by deadweight alone.	Any rock foundation, dams up to 30 m high can be on gravelly alluvium, requires extensive formwork. At present replaced by RCC gravity dams.

## PRESAS DE GRAVEDAD

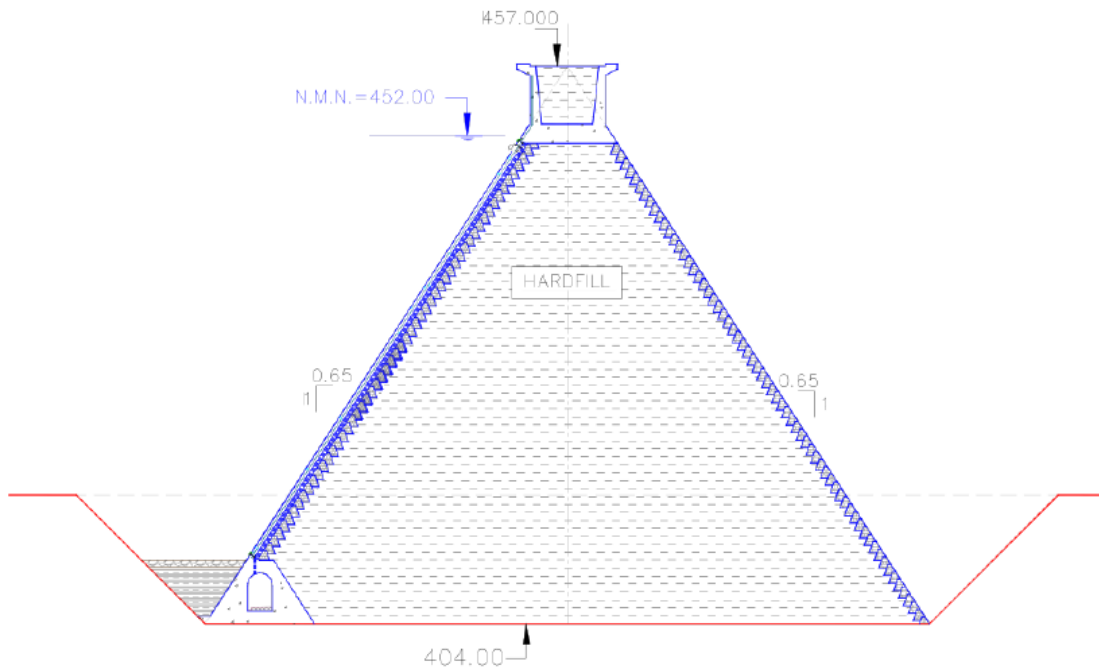




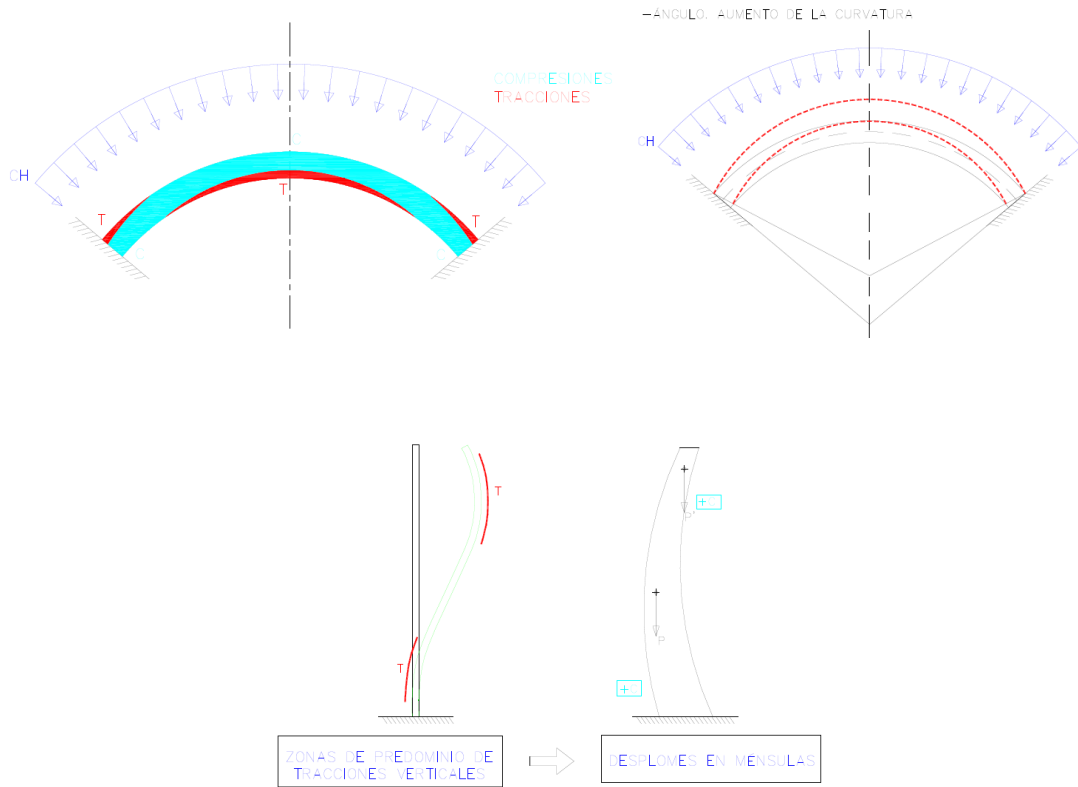
## PRESAS DE HCR

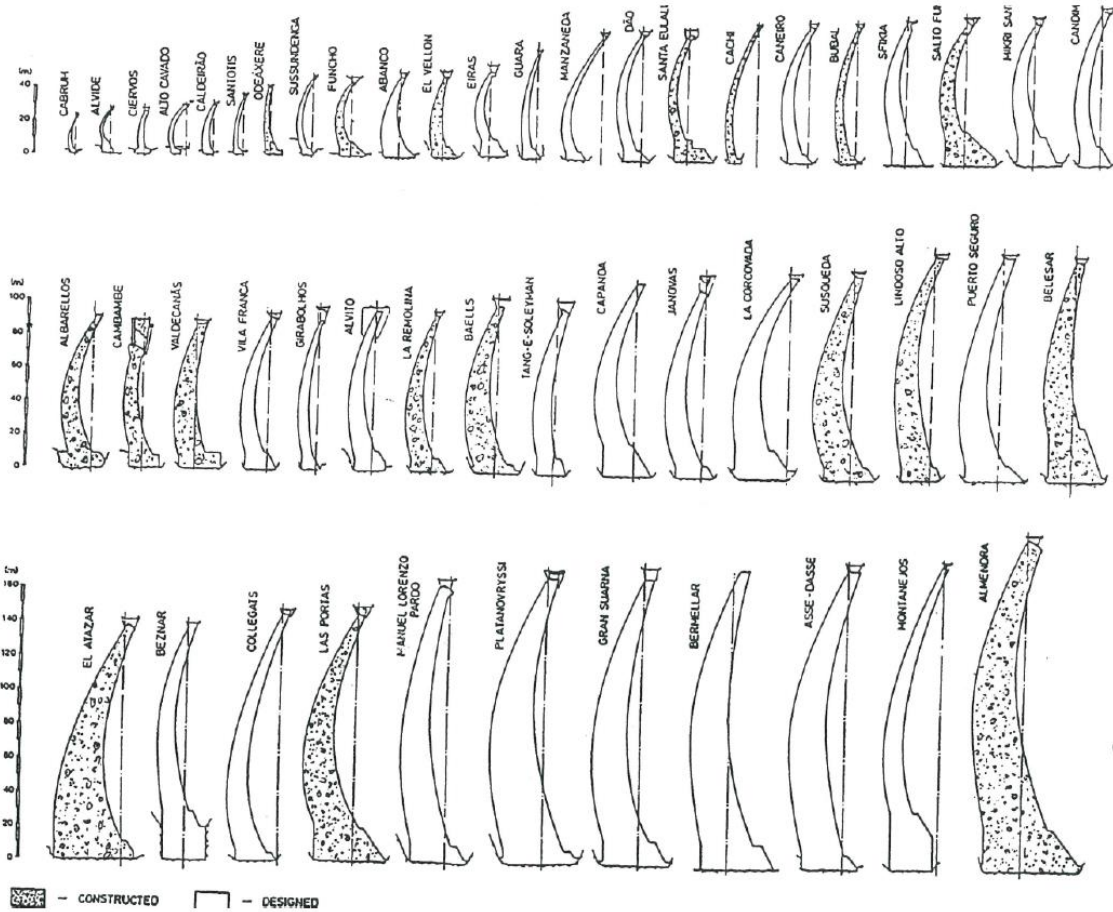


PRESAS DE HARDFILL



## PRESAS DE ARCO





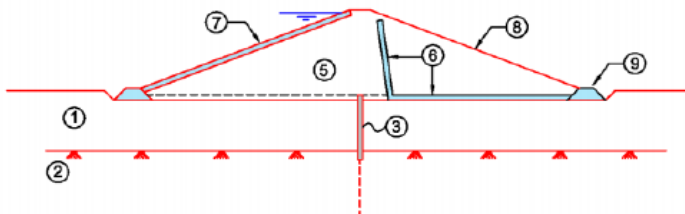


## PRESAS DE ARCO DE DOBLE CURVATURA (BÓVEDA)

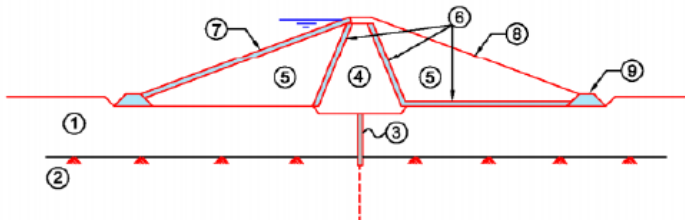


## PRESAS DE MATERIALES SUELTOS

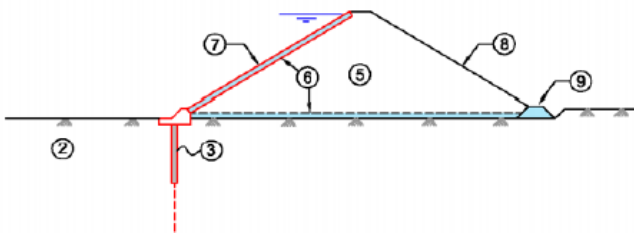
### HOMOGENEA



### NÚCLEO



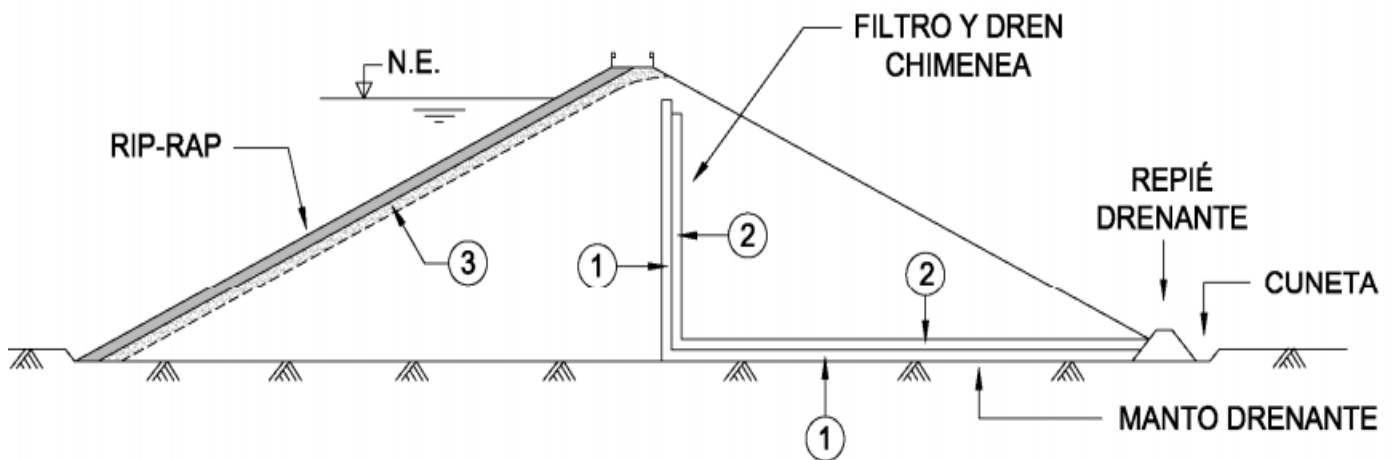
### PANTALLA



### LEYENDA

1. Suelos aluviales
2. Roca
3. Eventual pantalla de impermeabilización
4. Núcleo impermeable
5. Espaldones
6. Sistema de filtración y drenaje
7. Protección del paramento de aguas arriba o pantalla
8. Protección del paramento de aguas abajo
9. Rapié drenante

## PRESAS HOMOGÉNEAS

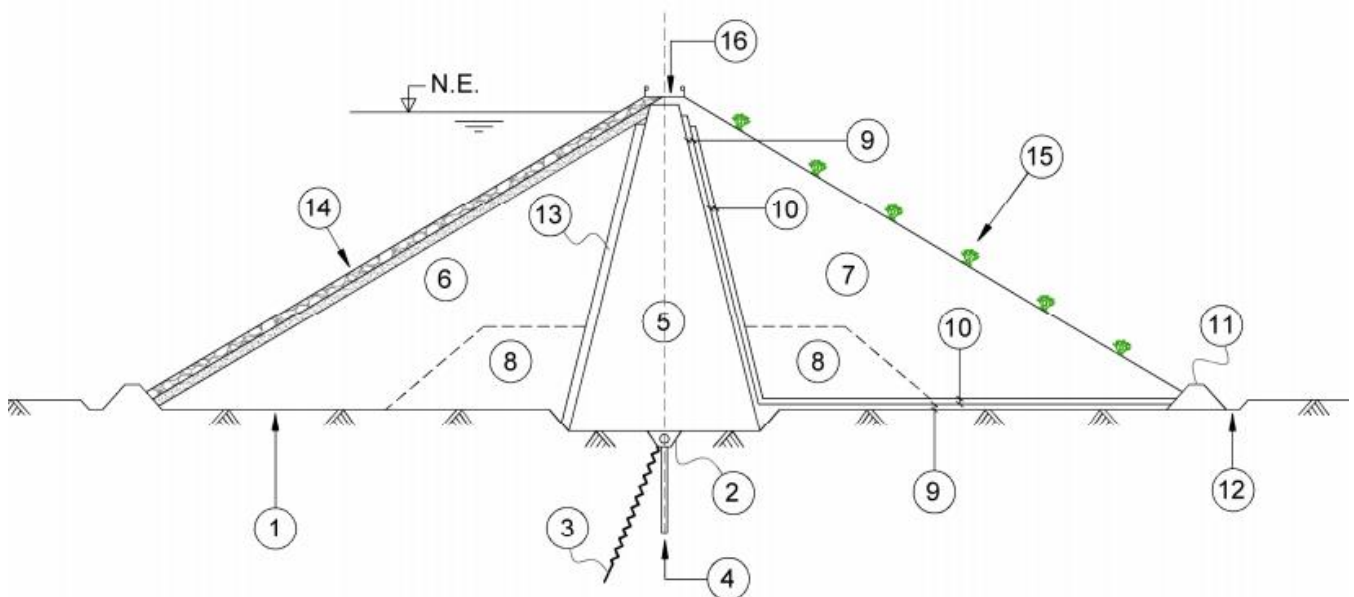


1.- FILTRO

2.- DREN

3.- TRANSICIÓN

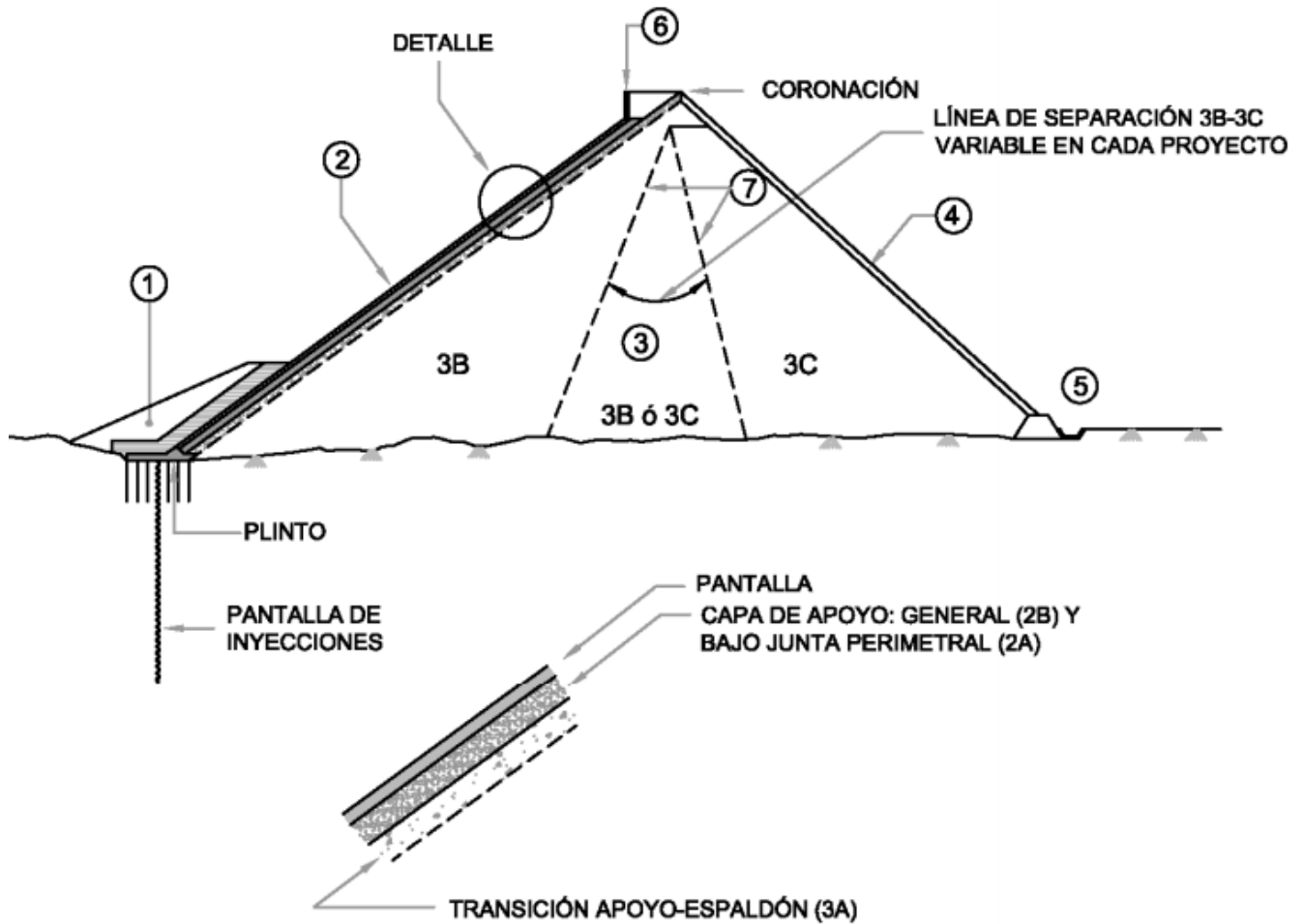
## PRESAS DE NUCLEO IMPERMEABLE



1. Excavación de implantación.
2. Eventual galería perimetral.
3. Pantalla de inyección.
4. Pantalla de drenaje.
5. Núcleo impermeable.
6. Espaldón de aguas arriba.
7. Espaldón de aguas abajo.
8. Zonas de sombra.

9. Filtro de arena.
10. Dren de gravilla.
11. Repié drenante.
12. Cuneta de recogida de filtraciones.
13. Transición núcleo-espaldón.
14. Rip-rap de protección aguas arriba.
15. Protección de aguas abajo.
16. Coronación.

**PRESAS DE PANTALLA IMPERMEABLE**

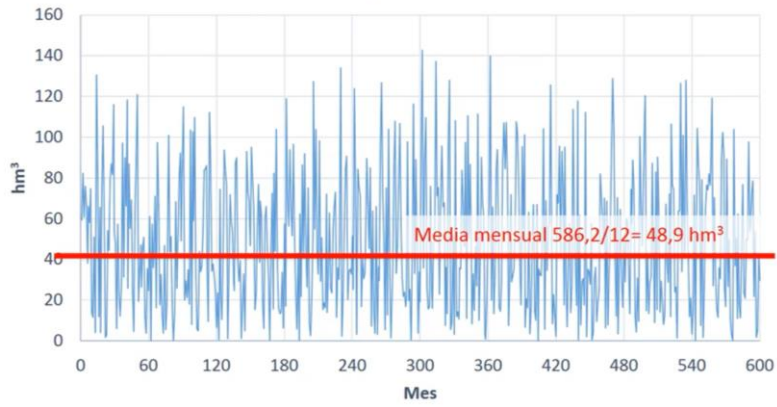


**DETALLE DE LA PANTALLA Y SU APOYO**

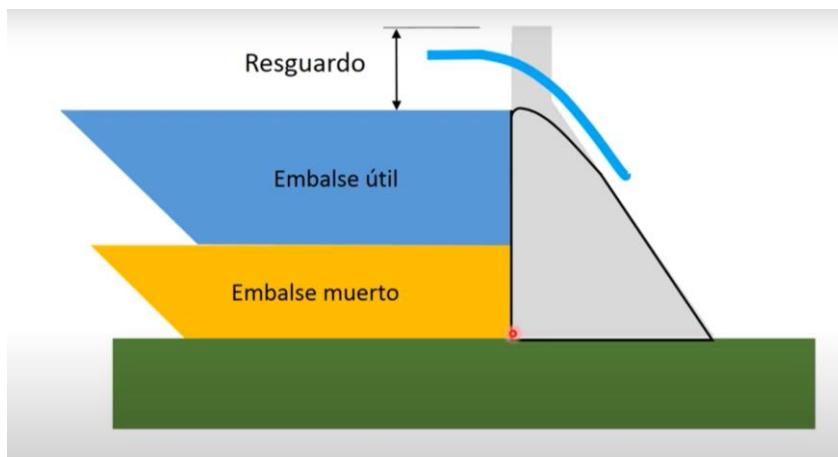
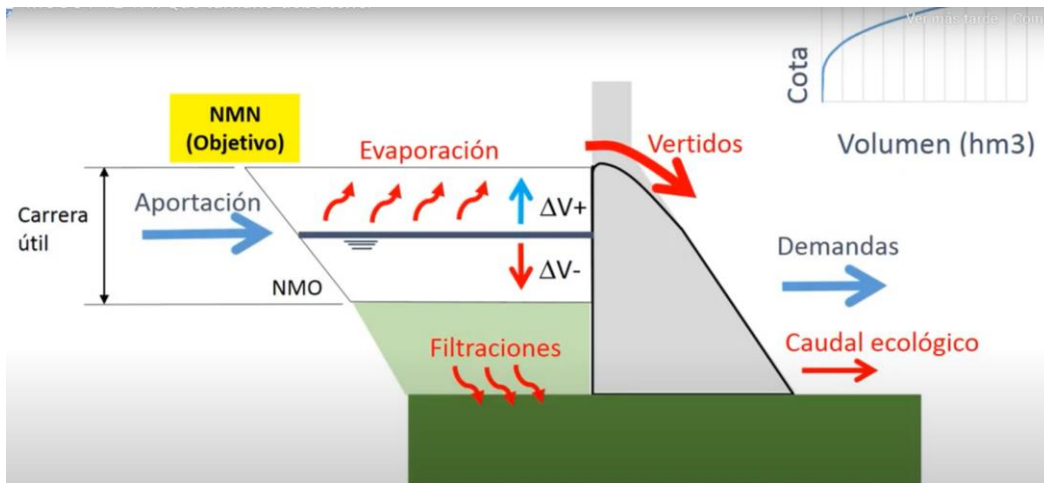
1. Protección del pie de aguas arriba
2. Pantalla y capa de apoyo
3. Cuerpo de presa
4. Protección de aguas abajo
5. Repié drenante y cuneta
6. Pretil de coronación
7. Línea de separación entre el espaldón de aguas arriba, 3B y el de aguas abajo 3C

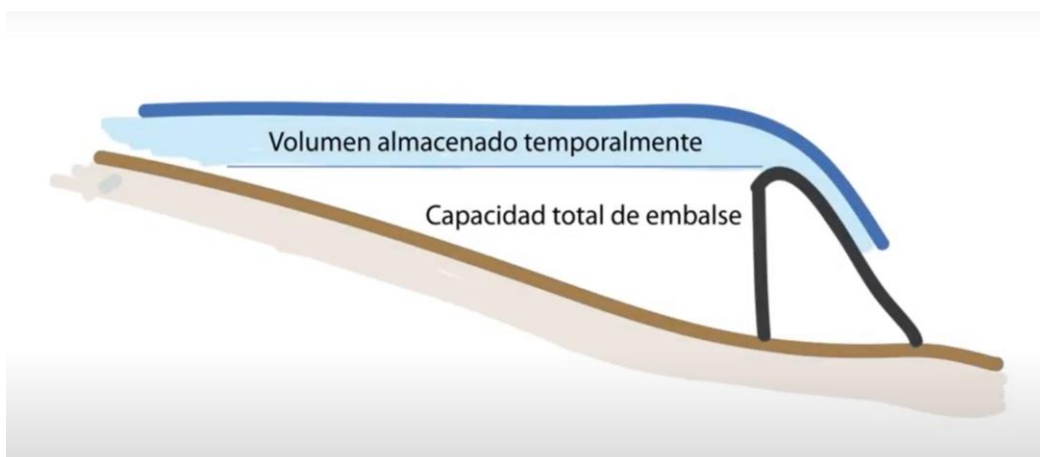
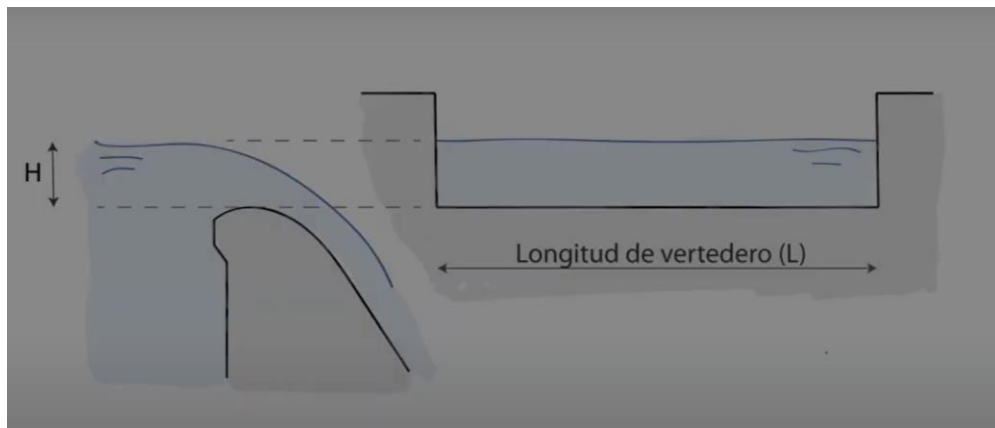
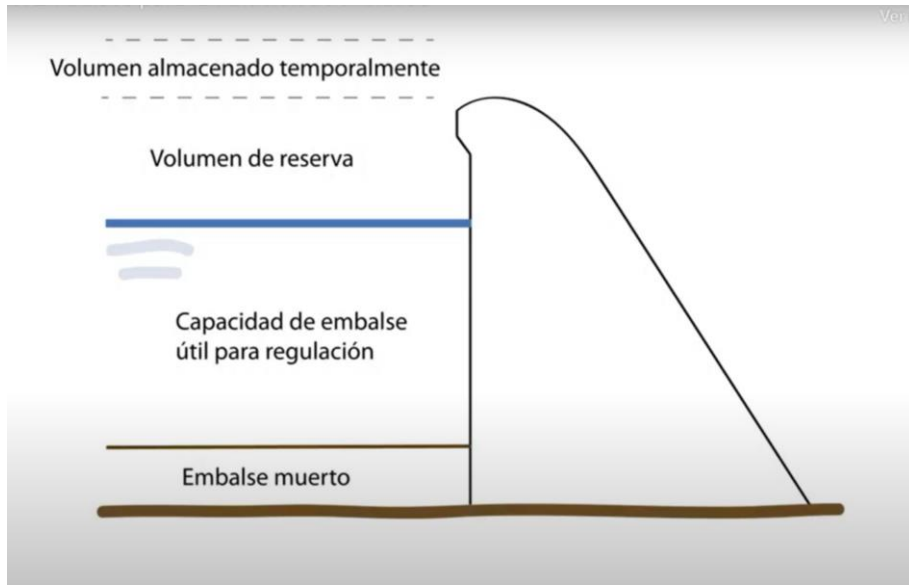
EFFECTO DE LAMINACIÓN DE LAS CRECIDAS

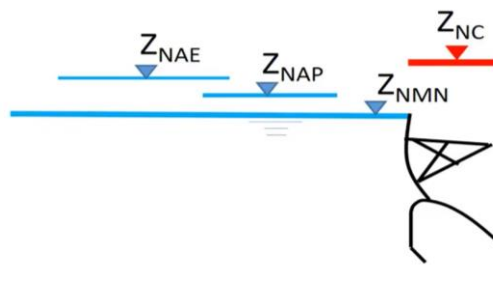
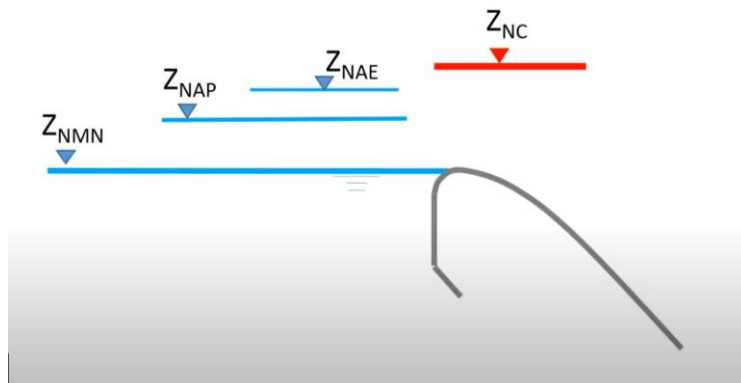
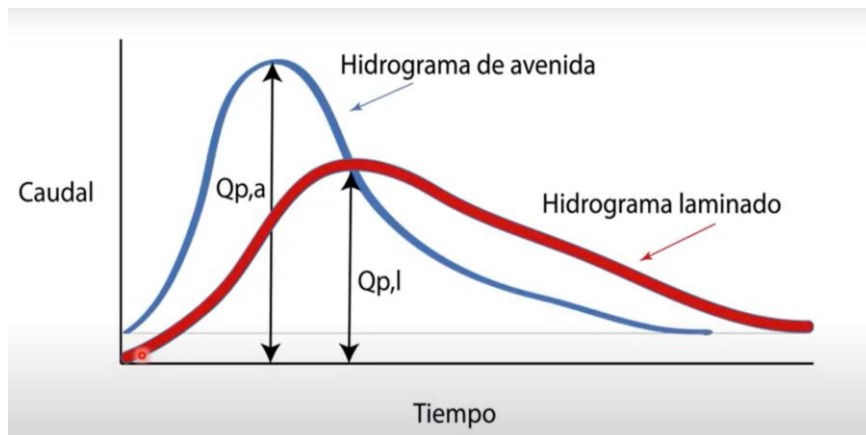
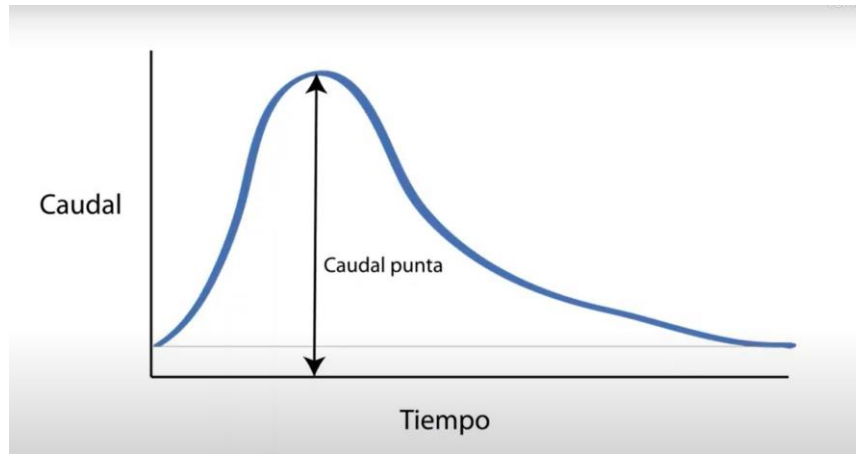
Serie de aportaciones



Aportación = Volumen de Aporte Mensual







ENERGÍA ANUAL EN CENTRALES REGULARIZADAS

$N_e = \beta Q_r H(t)$   
 $H = f^o(t)$

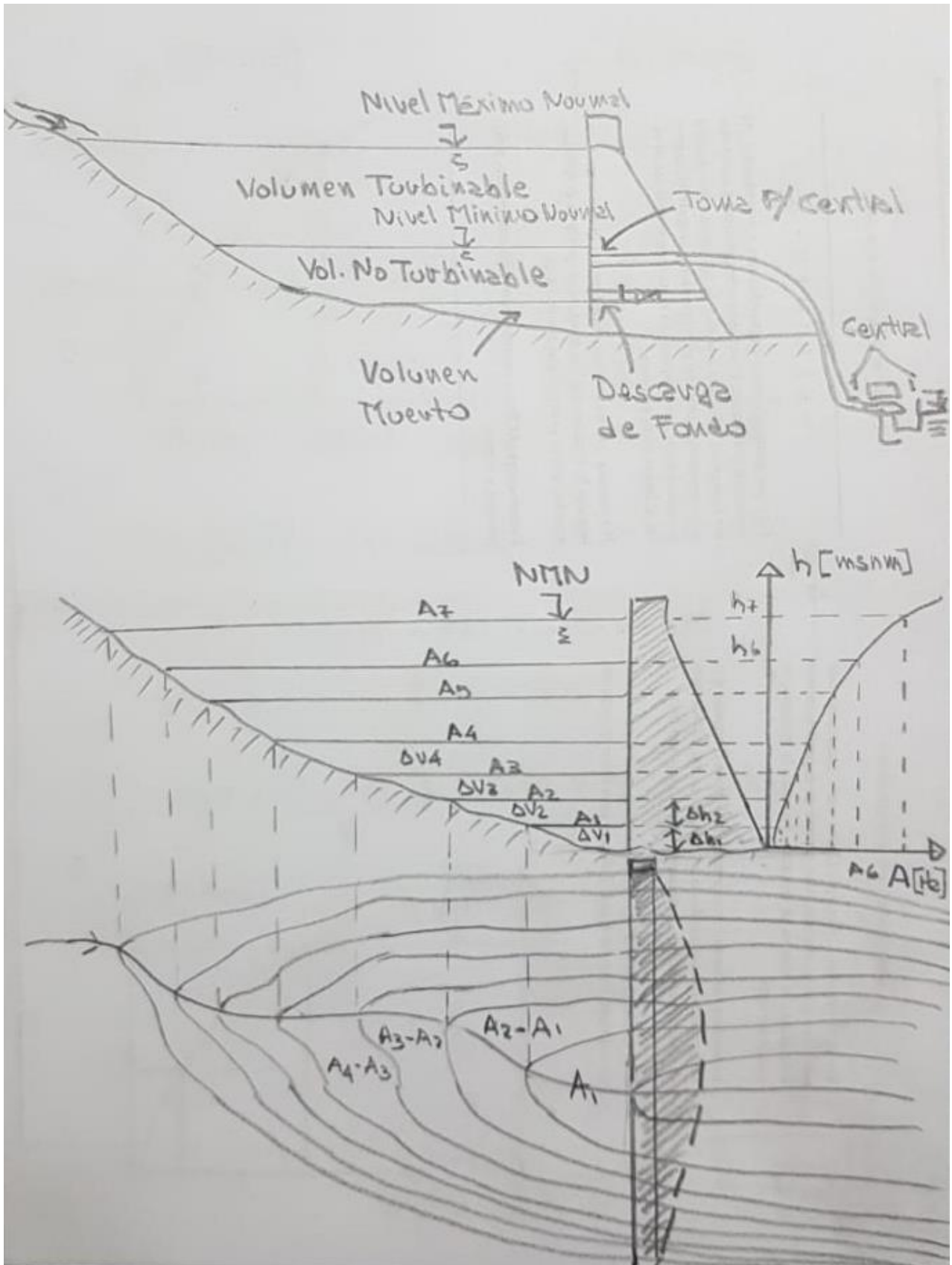
$$E_z = \int_T N_e dt = \int_T \beta Q_r H(t) dt = \beta Q_r \int_T H(t) dt$$

\* Dado un emplazamiento de Pusee por C.H. se realiza el Estudio de Regulación obteniéndose la curva de Caudal Regularizado como  $f^o(C_r)$ .

$Q_r$  [m<sup>3</sup>/s]  
 $Q_{vc}$   
 $Q_{min}$   
 $V_m$   $C_{ri}$   
 $C_r$  [Hm<sup>3</sup>]  
 $M$

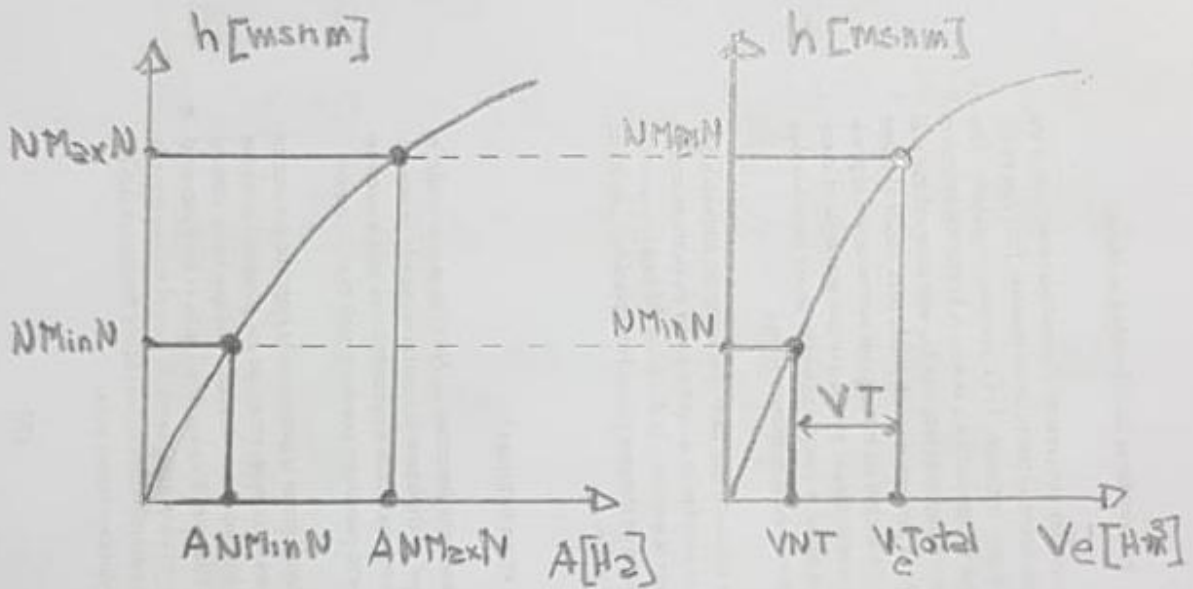
$C_r$  = Capacidad Regularizada  
 $Q_r$  = Caudal Regularizado  
 $M$  = Módulo

ALTURA DE DISEÑO DE UNA PRESA DE REGULACIÓN  
CURVA DE SUPERFICIE DEL EMBALSE





CURVA DE VOLUMENES EMBALSADOS

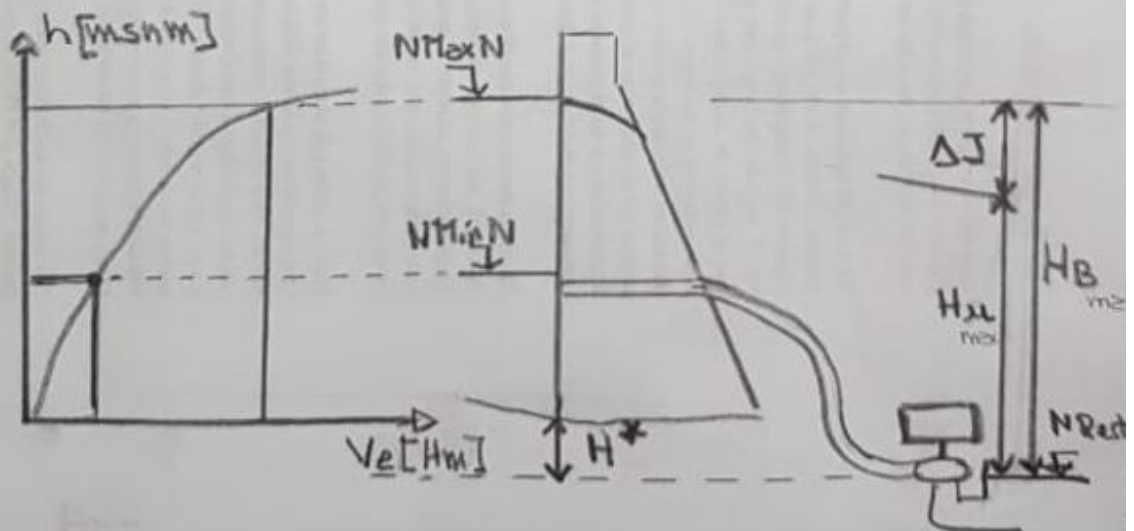


$A = \int^0 [h]$  (Planimetro, Autocad, etc.)

$V_{NT}$  = Volumen No Turbinable

$V_T$  = " Turbinable

$$\Delta V_1 = \frac{A_1 + 0}{2} \times \Delta h_1 \quad \Delta V_2 = \frac{A_2 + A_1}{2} \times \Delta h_2$$



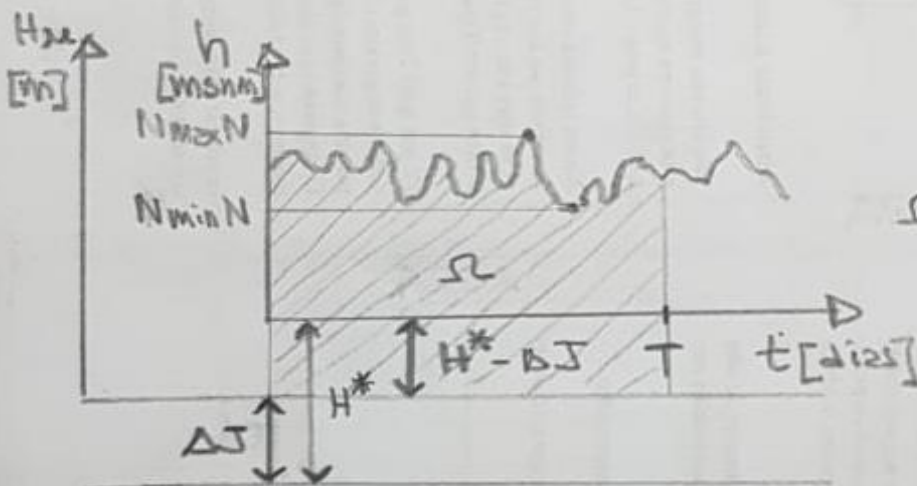
ALTURA ÚTIL MEDIA

$$H_u = H_B - \Delta J \quad H_B = h + H^{**}$$

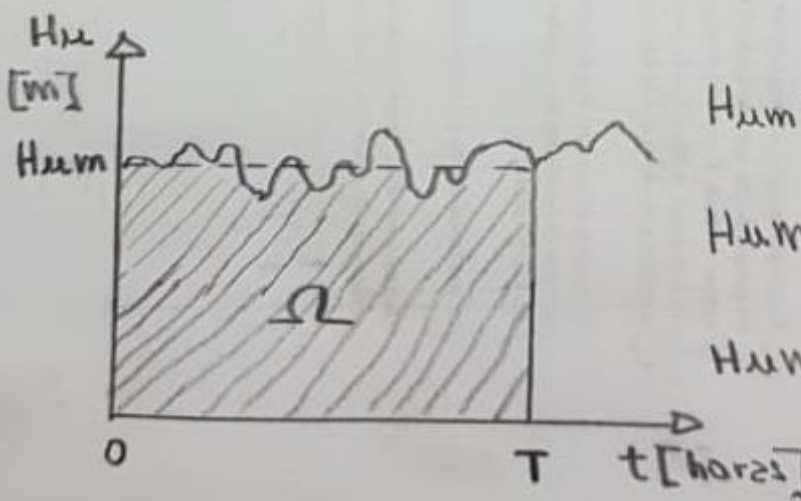
$$h = f(t) \quad \therefore H_u = h + H^{**} - \Delta J = H_u(t)$$

$$Q_r = \text{cte} \Rightarrow \Delta J = \text{cte} \quad \text{también } H^{**} = \text{cte}$$

$$N_e = \int_0^T 8 Q_r H_u dt = 8 Q_r \int_0^T (h + H^{**} - \Delta J) dt$$



$$\Omega = \int_0^T (h + H^{**} - \Delta J) dt$$



$H_{um}$  = Altura Útil Media

$$H_{um} = \frac{\int_0^T H_u(t) dt}{T}$$

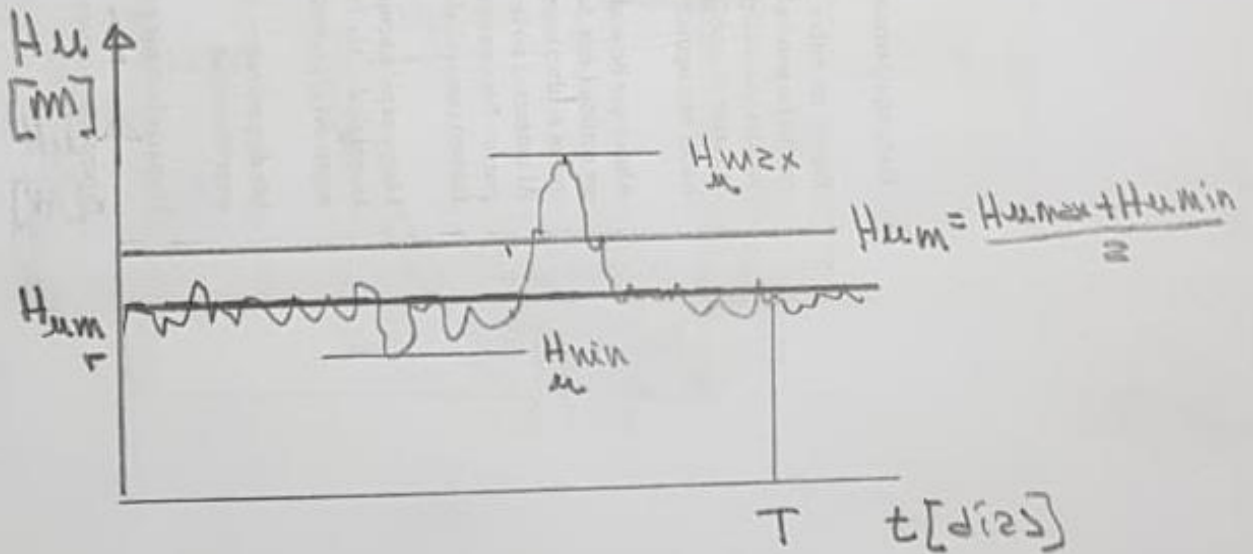
$$H_{um} = \frac{\Omega}{T}$$

SEMIALTURA ÚTIL

$$E_e = \int_T N_e dt = \int_T \rho Q_r H_{um} dt = \rho Q_r H_{um} \int_T dt$$

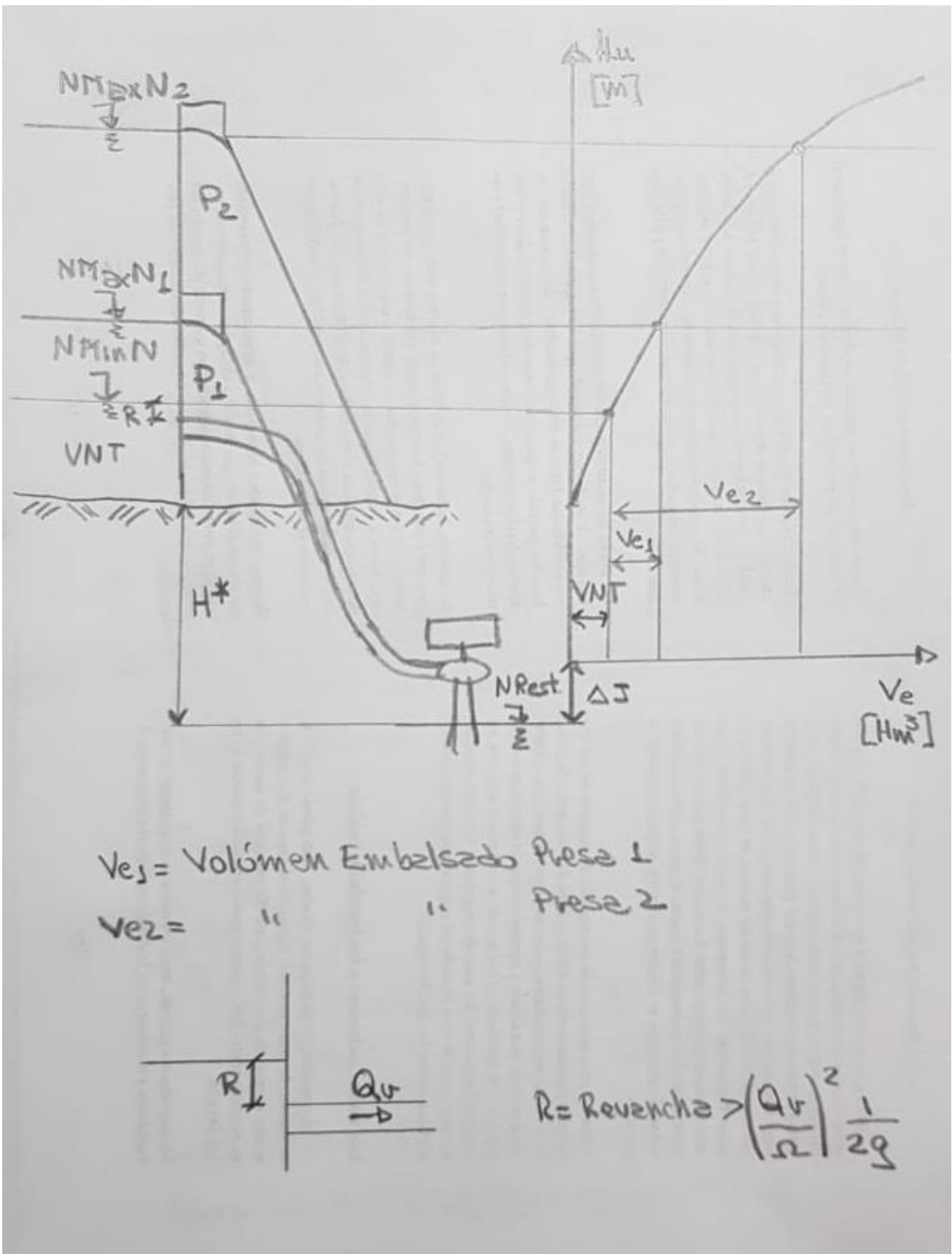
$$E_e = \rho Q_r H_{um} T$$

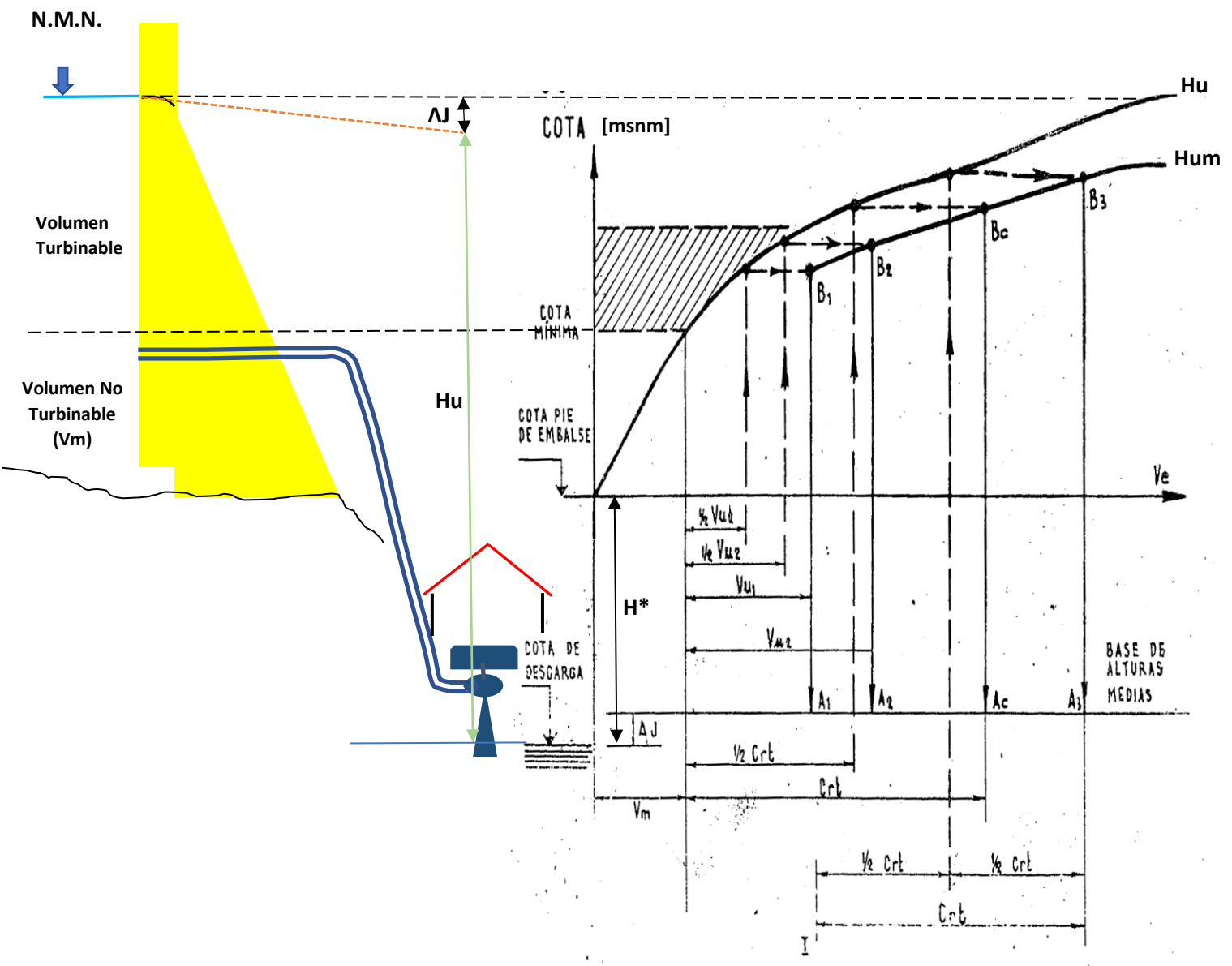
Primera Simplificación:  $H_{um} = \frac{H_{umax} + H_{umin}}{2}$

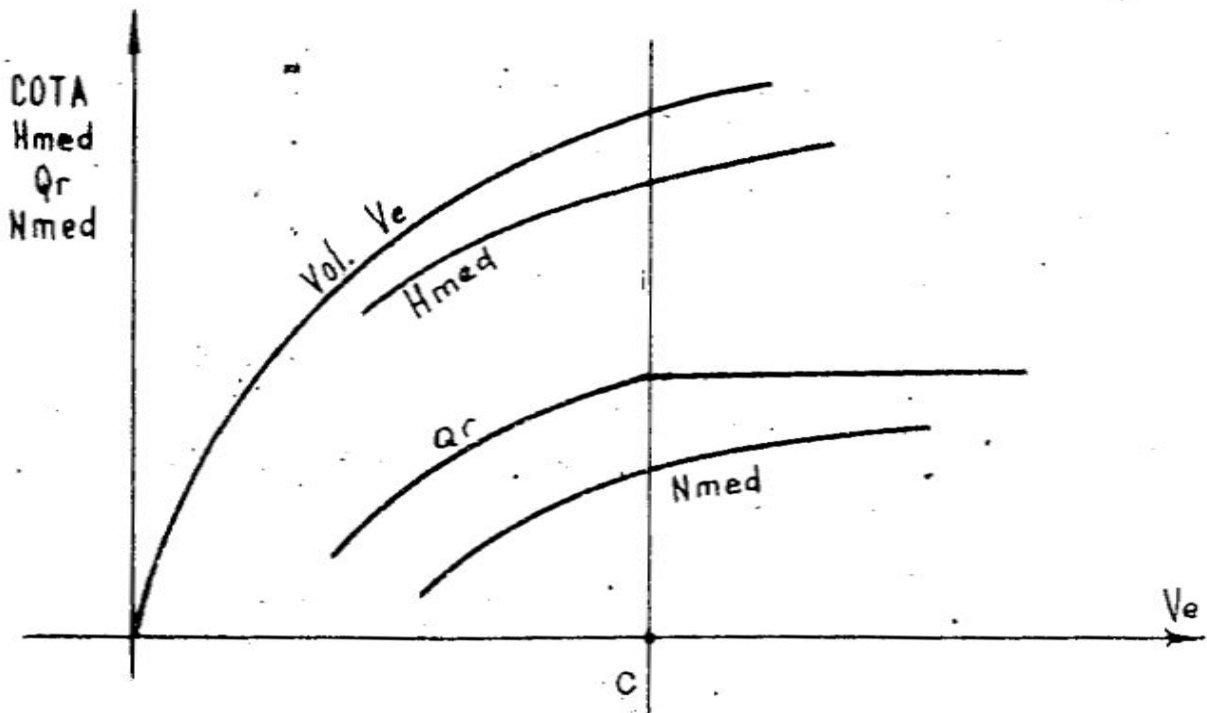
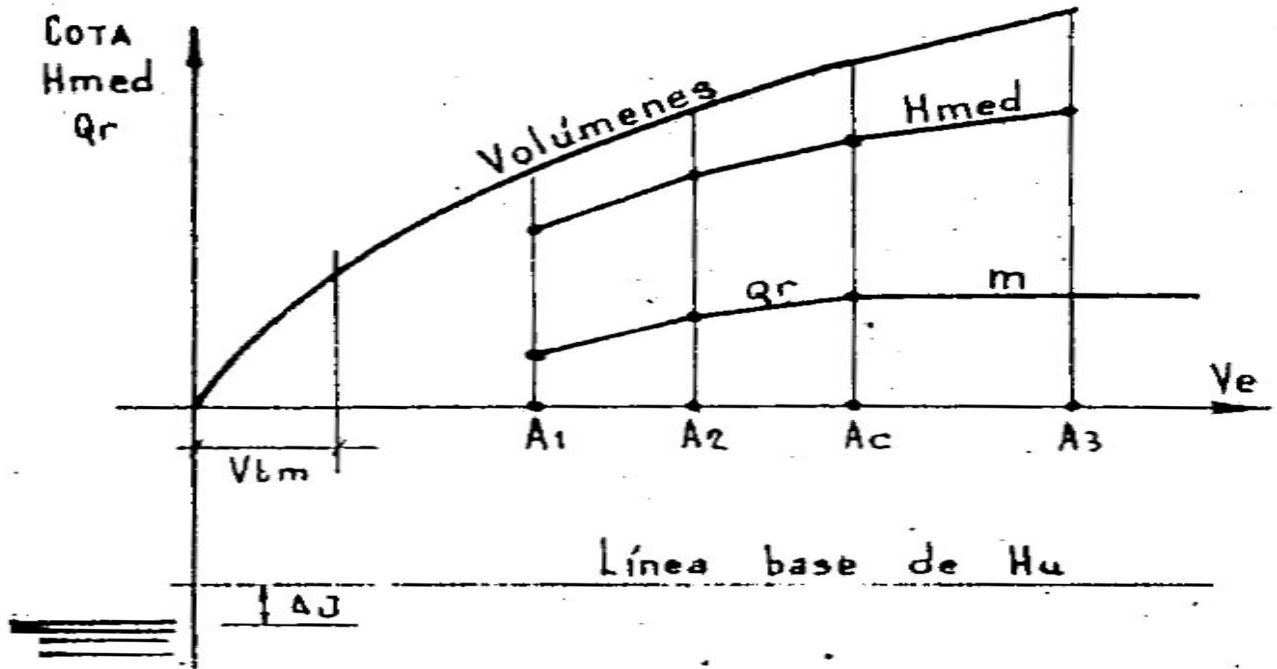


$$H_{um_r} = \frac{\int_T H_{um}(t) dt}{T} \neq H_{um} = \frac{H_{umax} + H_{umin}}{2}$$

DETERMINACIÓN DE LA ATURA ÚTIL MEDIA PARA DISTINTAS CR







$$A = \frac{\text{Costo Explotación}}{\text{Energía Anual}} \quad [\$/\text{kwh}]$$

$$B = \frac{\text{Serv. Cap. (Obra-Presas)}}{\text{Energía Anual}} \quad [\$/\text{kwh}]$$

$$C = \frac{\text{Serv. Cap. (Presas)}}{\text{Energía Anual}} \quad [\$/\text{kwh}]$$

$$\text{COSTO UNITARIO ENERGÍA (CUE)} = A + B + C$$

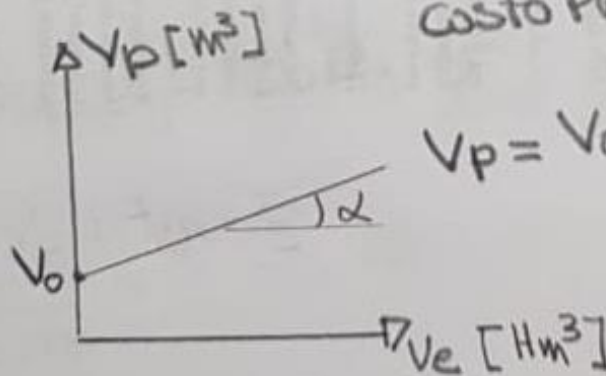
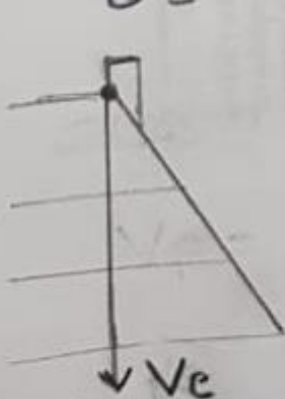
$$\text{Serv. Cap. (Presas)} = r \times \text{Costo Presa}$$

$$r = z + i = \frac{i}{(1+i)^{n-1}} + i \quad [\%]$$

$r$  = razón [%]

$z$  = amortización [%]

$i$  = tasa anual [%]



$$\text{Costo Presa} = C_{up} \times V_p$$

$$V_p = V_0 + t \cdot \alpha \cdot V_e$$

$$CUE = (A+B) + \frac{v \cdot CUP}{N_m T} (V_o + t_{gd} V_e)$$

$$N_m CUE = (A+B) N_m + \frac{v CUP}{T} (V_o + t_{gd} V_e)$$

$$N_m dCUE + CUE dN_m = (A+B) dN_m + \frac{v CUP}{T} t_{gd} dV_e$$

$$N_m \frac{dCUE}{dN_m} + CUE = (A+B) + \frac{v CUP t_{gd}}{T} \frac{dV_e}{dN_m}$$

$$N_m \frac{dCUE}{dN_m} = (A+B) + \frac{v CUP t_{gd}}{T} \frac{dV_e}{dN_m} - CUE$$

$$\frac{dCUE}{dN_m} = \frac{1}{N_m} \left[ (A+B) + \frac{v CUP t_{gd}}{T} \frac{dV_e}{dN_m} - (A+B) - \frac{v CUP}{N_m T} (V_o + t_{gd} V_e) \right]$$

$$\frac{dCUE}{dN_m} = \frac{1}{N_m} \left[ \frac{v CUP t_{gd}}{T} \frac{dV_e}{dN_m} - \frac{v CUP}{N_m T} (V_o + t_{gd} V_e) \right]$$

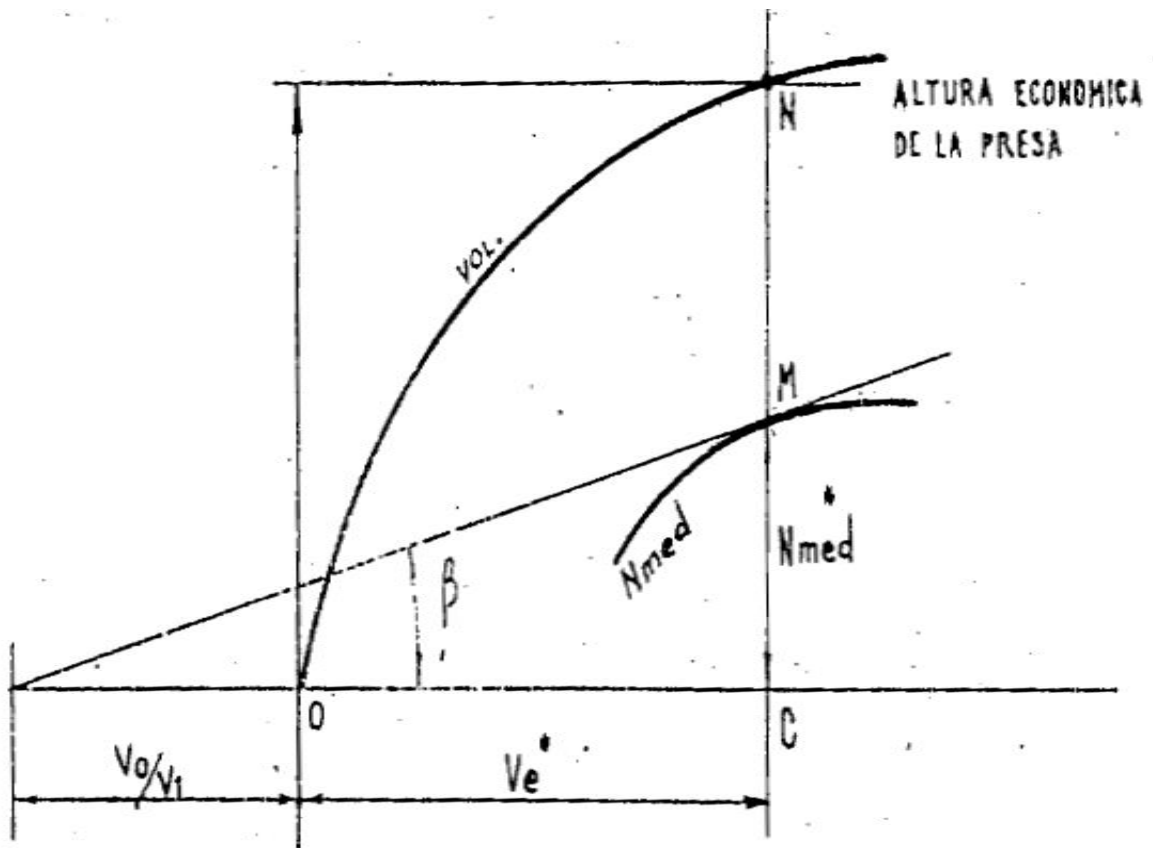
$$\text{Si } \frac{dCUE}{dN_m} = 0 \Rightarrow CUE \text{ mínima}$$



$$\therefore \frac{v_{cup} t_{yd}}{T} \frac{dV_e}{dNm} - \frac{v_{cup}}{Nm^* T} (V_0 + t_{yd} V_e^*) = 0$$

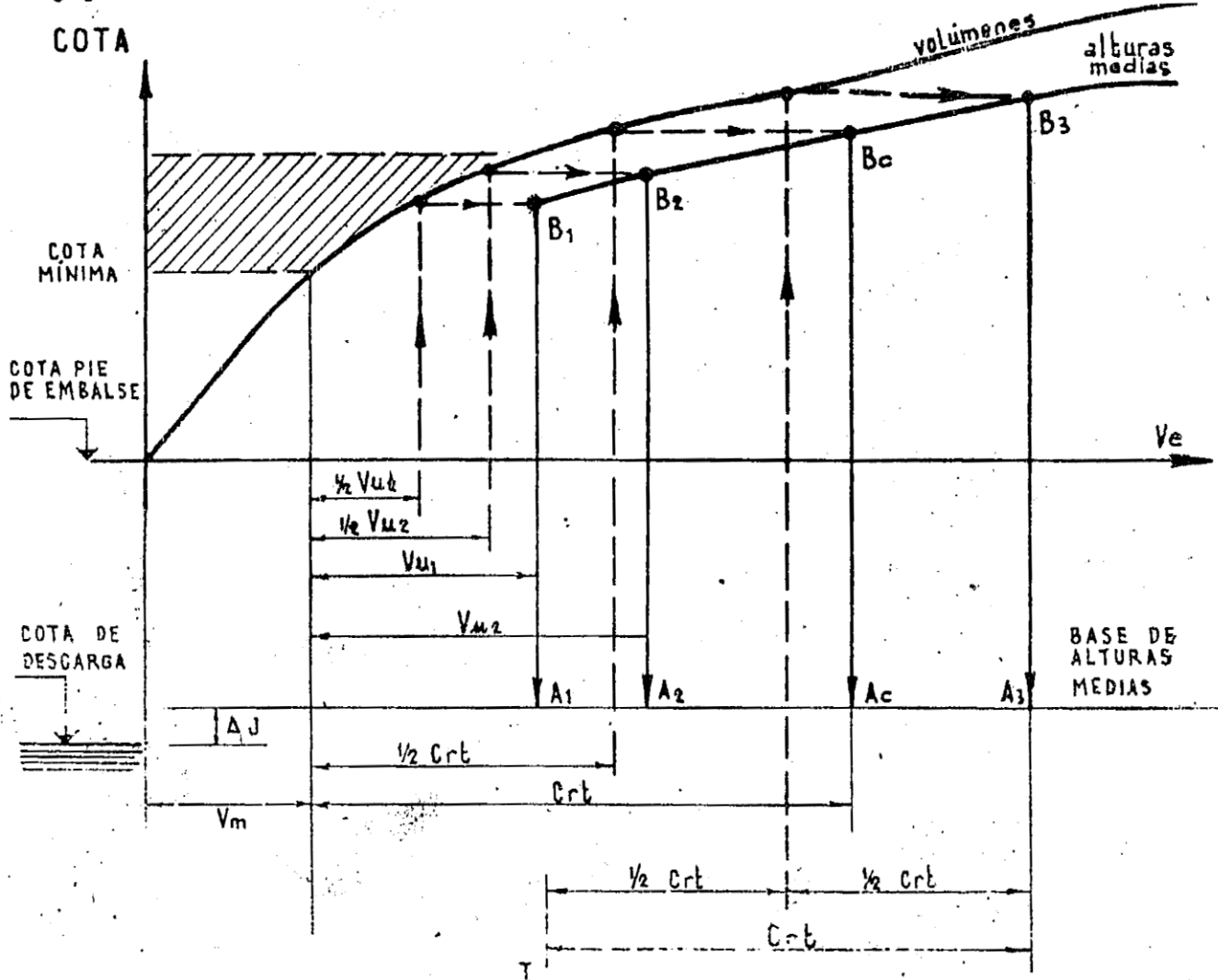
$$\frac{v_{cup} t_{yd}}{T} \frac{dV_e}{dNm} = \frac{v_{cup}}{Nm^* T} (V_0 + t_{yd} V_e^*)$$

$$\frac{dNm}{dV_e} = \frac{Nm^*}{\frac{V_0}{t_{yd}} + V_e^*}$$



Centrales con embalse. Estudio económico para determinar la altura de la presa

Se fijará primero la línea de referencia de las alturas del aprovechamiento, sumando a la cota de descarga que por lo general variará según el gasto regularizado y la época del año, pero que para este estudio se supondrá constante e igual a la más frecuente, la pérdida de energía supuesta  $\Delta J$ ; a continuación del volumen muerto, se dispondrán distintos valores del volumen útil, en cuyo valor medio se levantará la vertical hasta cortar la curva de volúmenes que determina así la altura media que se traslada horizontalmente hasta la vertical de la capacidad útil  $V_{u1}$ ,  $V_{u2}$  etc. obteniéndose  $A_1 B_1$ ,  $A_2 B_2$  etc. Lo mismo se procede con la capacidad útil igual a la reguladora total obteniéndose  $A_0 B_0$ ; mientras que cuando la capacidad útil resulta mayor que la capacidad re



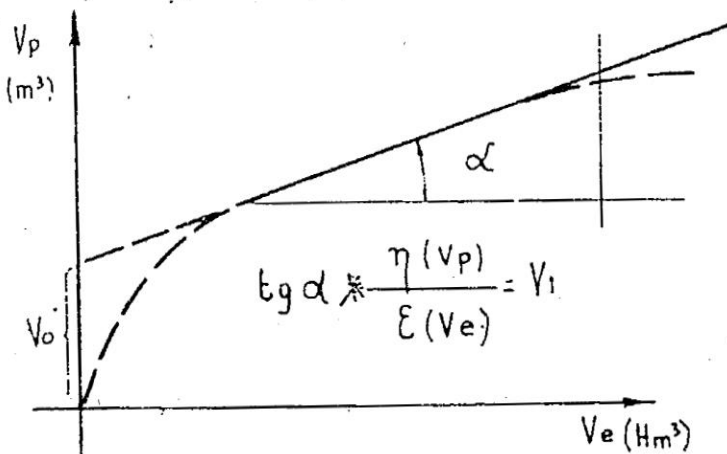
kWh; b) Los gastos del servicio del capital invertido en las obras excepto la presa que asimismo y dentro del orden de variación de potencia para el valor más económico no varía sustancialmente \$/kWh y c) el servicio de amortización e intereses del capital invertido en la presa, que varía evidentemente con su mayor o menor altura, y que se podrá expresar en función precisamente de esa altura. En principio podrá expresarse este valor por la siguiente expresión:

$$\frac{r C_u V_p}{E_a}$$

si  $r$  es la tasa de amortización e interés del capital invertido  $C_u V_p$ ; evidentemente el costo de la presa, eminentemente variable, puede expresarse por su volumen  $V_p$  sea de hormigón o tierra, multiplicado por el costo unitario respectivo. Dividiendo ese servicio anual por la energía generable, se obtiene el correspondiente valor por kWh producido. Si debido al uso del agua para otros fines, se debe apropiarse a la energía una cierta fracción  $\alpha$  de este costo se tiene en total:

$$S'_u = A + B + \frac{r C_u V_p}{E_a} \cdot \alpha \quad (1)$$

Ahora bien, el volumen de la presa, en general y dentro de la zona a estudiar obedece a una variación lineal con respecto al volumen embalsado.-



Si  $V_o$  es el volumen de la presa en el origen con dimensión de  $m^3$  de material de presa y  $V_1$  el coeficiente angular interpretado en  $\frac{m^3 \text{ de material}}{Hm^3 \text{ de agua}}$  la ecuación de esa recta se puede escribir:

$$V_p = V_o (m^3) + V_e (Hm^3) V_1 \left( \frac{m^3}{Hm^3} \right)$$

- 77 -

Reemplazando en (1) y si  $E_a = 8.760 \text{ N med.}$

$$S_u = (A + B) + \frac{\alpha_r C_u}{8.760 \text{ N med}} (V_o + V_e V_1)$$

$$\text{N med. } S_u = (A + B) \text{ N med.} + \frac{\alpha_r C_u}{8.760} (V_o + V_e V_1)$$

diferenciando

$$\text{N med. } d S_u + S_u \cdot d \text{N med.} = (A + B) d \text{N med.} + \frac{\alpha_r C_u}{8.760} V_1 d V_e$$

pues A, B y  $V_o$  permanecen constantes, así como también  $V_1$ .

Dividiendo por  $d \text{N med.}$  :

$$\text{N med.} \frac{d S_u}{d \text{N med.}} + S_u = (A + B) + \frac{\alpha_r C_u V_1}{8.760} \cdot \frac{d V_e}{d \text{N med.}}$$

$$\text{o bien: } \text{N med.} \frac{d S_u}{d \text{N med.}} = (A + B) + \frac{\alpha_r C_u V_1}{8.760} \cdot \frac{d V_e}{d \text{N med.}} - S_u$$

$$\frac{d S_u}{d \text{N med.}} = \frac{1}{\text{N med.}} \left\{ (A+B) + \frac{\alpha_r C_u V_1}{8.760} \frac{d V_e}{d \text{N med.}} \right\} - \left\{ (A+B) + \frac{\alpha_r C_u}{8.760 \text{ N med.}} (V_o + V_e V_1) \right\}$$

$$\frac{d S_u}{d \text{N med.}} = \frac{1}{\text{N med.}} \left\{ \frac{\alpha_r C_u V_1}{8.760} \frac{d V_e}{d \text{N med.}} - \frac{\alpha_r C_u}{8.760 \text{ N med.}} (V_o + V_e V_1) \right\}$$

Para que  $S_u$  pase por un mínimo  $\frac{d S_u}{d \text{N med.}}$  debe anularse, para lo cual

el término entre llaves debe valer 0 (cero)

$$\frac{\alpha_r C_u V_1}{8.760} \frac{d V_e}{d \text{N med.}} - \frac{\alpha_r C_u}{8.760 \text{ N med.}} (V_o + V_e V_1) = 0$$

de donde:

$$\frac{dN_{med}}{dV_e} = \frac{N_{med}^* V_1}{V_0 + V_e^* V_1}$$

o bien

$$\boxed{\frac{dN_{med}}{dV_e} = \frac{N_{med}^*}{\frac{V_0}{V_1} + V_e^*}} \quad (2)$$

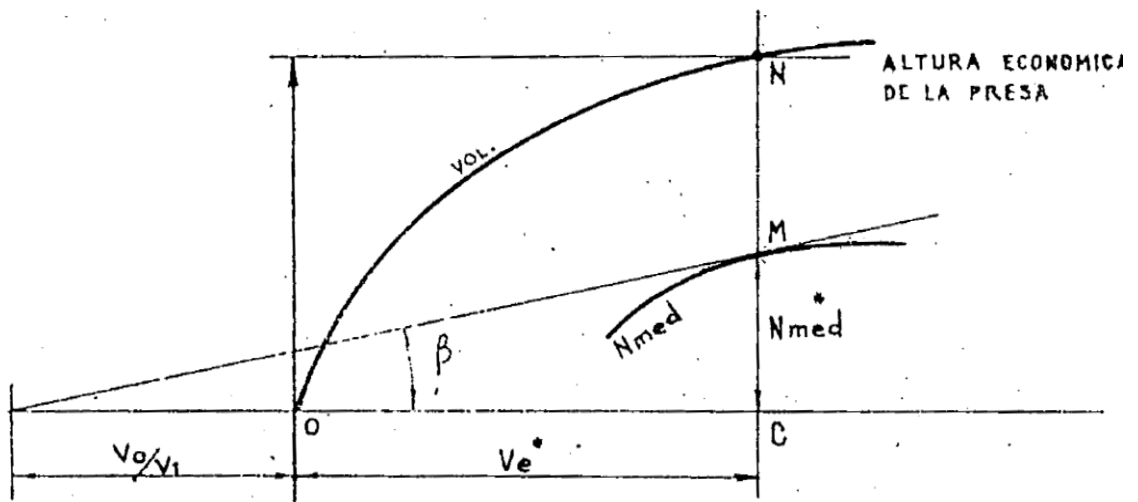
$V_0$  tiene dimensión de  $m^3$  de material

$V_1$  de  $m^3$  de material sobre  $Hm^3$  de agua embalsada luego:

$$\left(\frac{V_0}{V_1}\right) = \left(\frac{m^3}{m^3/Hm^3}\right) = (Hm^3), \text{ vale decir que resulta homo}$$

con  $V_e$ , siempre que al calcular  $\tan \alpha = V_1$  se hayan respetado las esca

La expresión (2) se cumple para los valores  $V_e$  y  $N_{med}$ , que hacen el valor del costo de la energía y se puede hallar gráficamente, sobre de la potencia media.



Llevando a partir de O y en sentido contrario a los volúmenes embalsados el valor  $\frac{V_0}{V_1}$  en  $Hm^3$ , se traza la tangente a la curva de la  $N_{med}$ . El

ángulo de tangencia  $\beta$  satisface la condición (2), pues efectivamente la tangente  $\tan \beta$ , que es justamente la  $\frac{dN_{med}}{dV_e}$ , vale

$$\frac{N_{med}^*}{\frac{v_0}{v_1} + v_e^*}, \text{ donde } N_{med}^* \text{ y } v_e^* \text{ son precisamente}$$

los valores de la solución económica.

### Consideraciones sobre el costo de la energía obtenida

Convendrá establecer para esta altura económica el precio de la energía obtenida:  $S_u$  y compararlo con el de la energía térmica, obtenida en una central térmica equivalente instalada en el centro de consumo.

De esta comparación podrá surgir la conveniencia de hacer más elevada la presa con el consiguiente aumento de energía a producir, sobre todo si se toma en cuenta que el costo correspondiente a la amortización de las obras desaparece mucho antes de que la central deje de trabajar, reduciéndose, para e se entonces el valor  $S_u$  a sólo los gastos de explotación, mantenimiento y reserva A.-

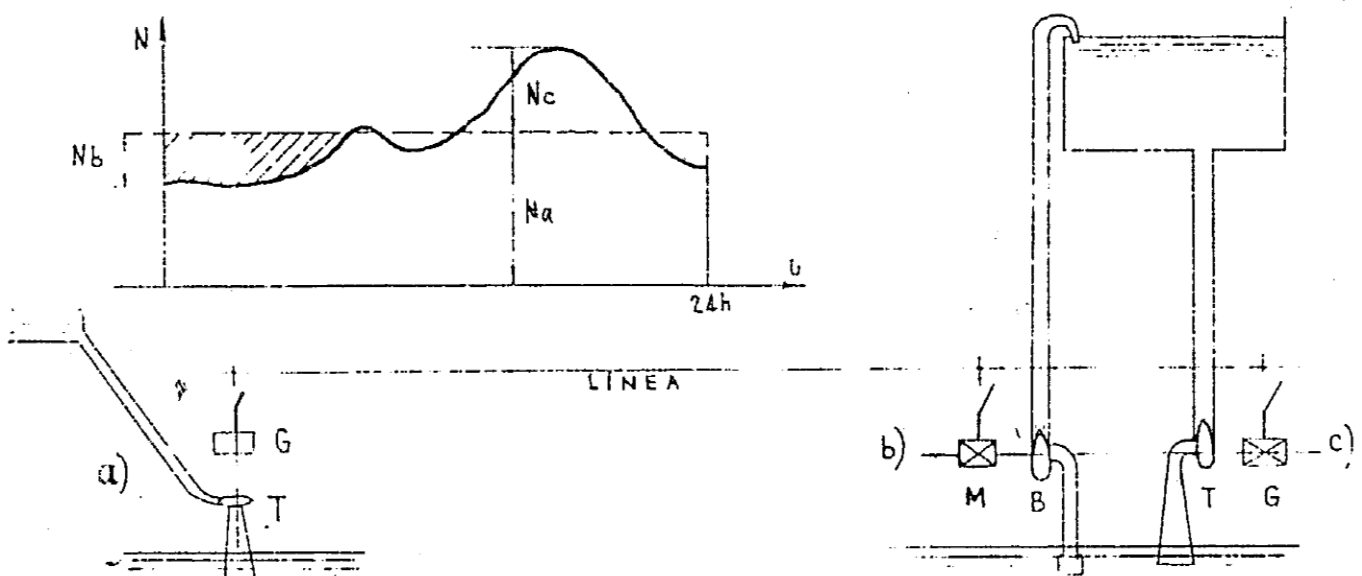
Si la solución más económica se produjera para un gasto regularizado menor que el módulo, y las aguas se utilizarán también para riego, puede llevarse la solución al punto de regulación total con altura de embalse mínima, pues en ese caso la diferencia en el costo de la energía la absorberá el riego.

## CENTRALES HIDROELÉCTRICAS DE ACUMULACIÓN POR BOMBEO

En centrales regularizadas o a pelo de agua, en que no hay posibilidad de construir un dique compensador aguas abajo, puede solucionarse el problema en gran parte, si una fracción reducida del agua que debe alimentar a la zona de riego se eleva a un depósito, que puede ser natural, suficientemente elevado para que se pueda, en esa elevación, consumir el exceso de energía producida sobre la demanda (de noche, por ejemplo) y en el descenso producir la cantidad equivalente de energía según el rendimiento, que cubra la zona de los picos raros.

Se tendrá, en consecuencia: a) una instalación de turbina-generador básica para el valor máximo de riego; b) un equipo de bombeo, tal que durante la época de riego mínimo pueda almacenar la energía de los picos y c) un equipo turbina-generador que pueda abastecer esa energía. Este esquema se refiere a la central regularizada, en el caso de pelo libre, la instalación a) se determina con el gasto de instalación  $Q_i$ , el b) con el mínimo absoluto.

La potencia del c) dependerá de la forma del pico y su potencia se determinará por diferencia entre la potencia máxima diaria y el estiaje, siempre - que el máximo consumo en el año coincida con el estiaje y su potencia en general difiere del equipo de bombeo pues las horas de menor demanda son inferiores a las de mayor demanda de energía.



Un caso especial se produciría cuando la potencia de bombeo resulte igual a la de la turbina de pico, en cuyo caso, tanto la bomba b) como la turbina a) podrán estar acopladas a un mismo motor que puede ser reversible, vale decir, que pueda funcionar como generador cuando lo accione la turbina, y por consiguiente la tubería también se unifica.-

En general la potencia de la bomba supera bastante a la de la turbina, pues por ejemplo, la elevación podrá efectuarse durante 20 horas y el vaciado en cuatro, con lo cual la potencia de la turbina puede quintuplicar a la de la bomba.-

Con todo, los gastos de riego se ven afectados, en parte, en justamente el gasto que se ha elevado al depósito superior, pero que este puede corregirse con los turnos de riego.-

En las centrales a pelo de agua en que no interese la regulación de las aguas para riego, puede obtenerse la regulación diaria, semanal y aún estacional, mediante el bombeo, siempre que se disponga de condiciones topográficas adecuadas que permitan formar el depósito con capacidad y altura requeridas. Las instalaciones se asemejan a las ya descritas.-

En las centrales térmicas, también se emplea este sistema pues permite mantener una potencia igual a la media del diagrama en marcha permanente, con lo que aumenta el rendimiento térmico de esa instalación; la energía de los bajos no utilizada en la red, se emplea en el bombeo del agua, que al pasar por la turbina hidráulica en la época de mayor demanda produce la energía de pico. La potencia instalada iguala a la que tendría una central térmica únicamente; pero se ha mejorado el rendimiento térmico.-

### Rendimiento

El rendimiento entre la energía recuperada y aplicada a los picos y la entregada al equipo de bombeo es reducido: sólo del 60 a 65%, por lo tanto se impondrá un severo estudio económico previo. En las centrales interconectadas sólo parecería aprovechable, en aquellas regularizadas que no tienen posibilidad de compensación aguas abajo para abastecer el riego.-



## Disposición constructiva

Los equipos a) b) y c) pueden hallarse ubicados en el mismo lugar; si las condiciones topográficas necesarias para la instalación hidráulica lo permite evitándose así las pérdidas de conducción de energía eléctrica en la línea, pero el caso más general consistirá en tener separada la parte hidráulica o térmica principal a) de la hidráulica b) y c), para evitar pérdidas en las tuberías de aguas. Habrá que hacer en cada caso un balance económico.-

En cuanto a la toma de agua del equipo de bombeo en el caso de centrales hidráulicas podrá efectuarse directamente en la descarga de los equipos directos, mientras que en las centrales térmicas se debe disponer ex profeso.-

### COMPILADO DE:

- Clases de Hidráulica Aplicada - FI - UNaM
- "Clases de Maquinas Hidráulicas y Aprovechamiento Hidroeléctrico" - Roberto Cotta - CEILP
- "Diseño, Explotación y Seguridad de Presas y Embalses" - MOOC - CAF - Spancold