



Universidad Nacional de Misiones

# CÁTEDRA DE HIDRÁULICA APLICADA (CI453)

Ing. José A. Serra – Ing. Juan C. Pereira

# CAPACIDAD DE EMBALSE



## Definición:

La **Capacidad de un Embalse** viene definida por el volumen de la parte del mismo destinada a almacenar agua, denominada **VASO**.

El volumen del vaso depende de la morfología del terreno y de la altura de la presa que lo define.

Generalmente las **demandas y aportaciones hídricas** al embalse determinan el volumen del vaso, siendo la altura del dique deducida a partir de dicho volumen y de la morfología del vaso.

# CAPACIDAD DE EMBALSE

El **VASO DEL EMBALSE** sirve para regular las escorrentías de una cuenca, es decir, para almacenar el volumen de agua en las temporadas lluviosas con el fin de usarlo posteriormente en las secas.

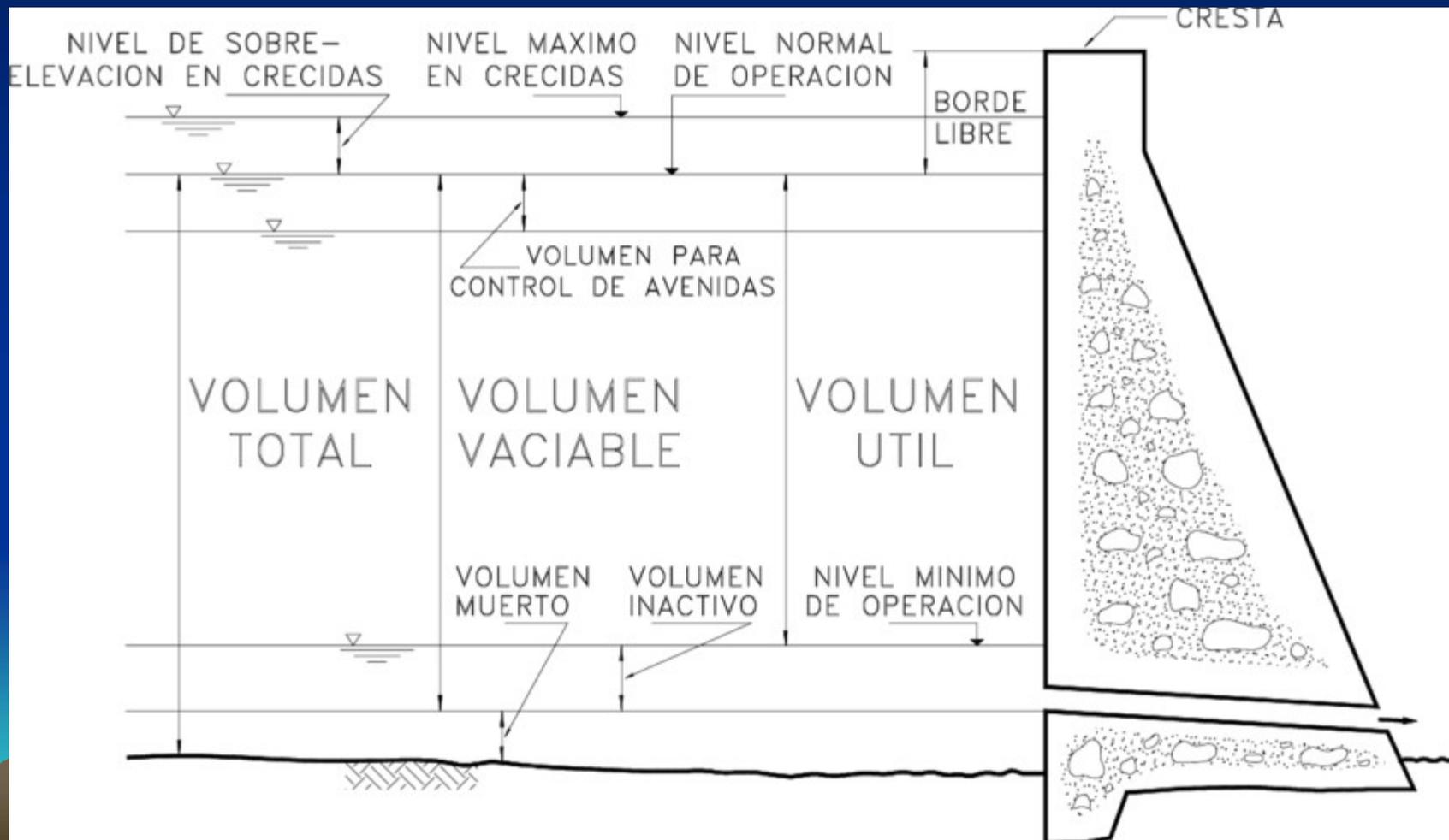
Este planteamiento corresponde a un embalse de **regulación anual**.

Los embalse de **regulación hiper-anual**, además de realizar esta compensación anual, pretenden compensar la heterogeneidad de los recursos hídricos entre los años lluviosos y los años secos, almacenando los recursos sobrantes en los primeros para consumirlos en los segundos.

Los **pequeños embalses**, suelen diseñarse con el tipo de regulación anual.

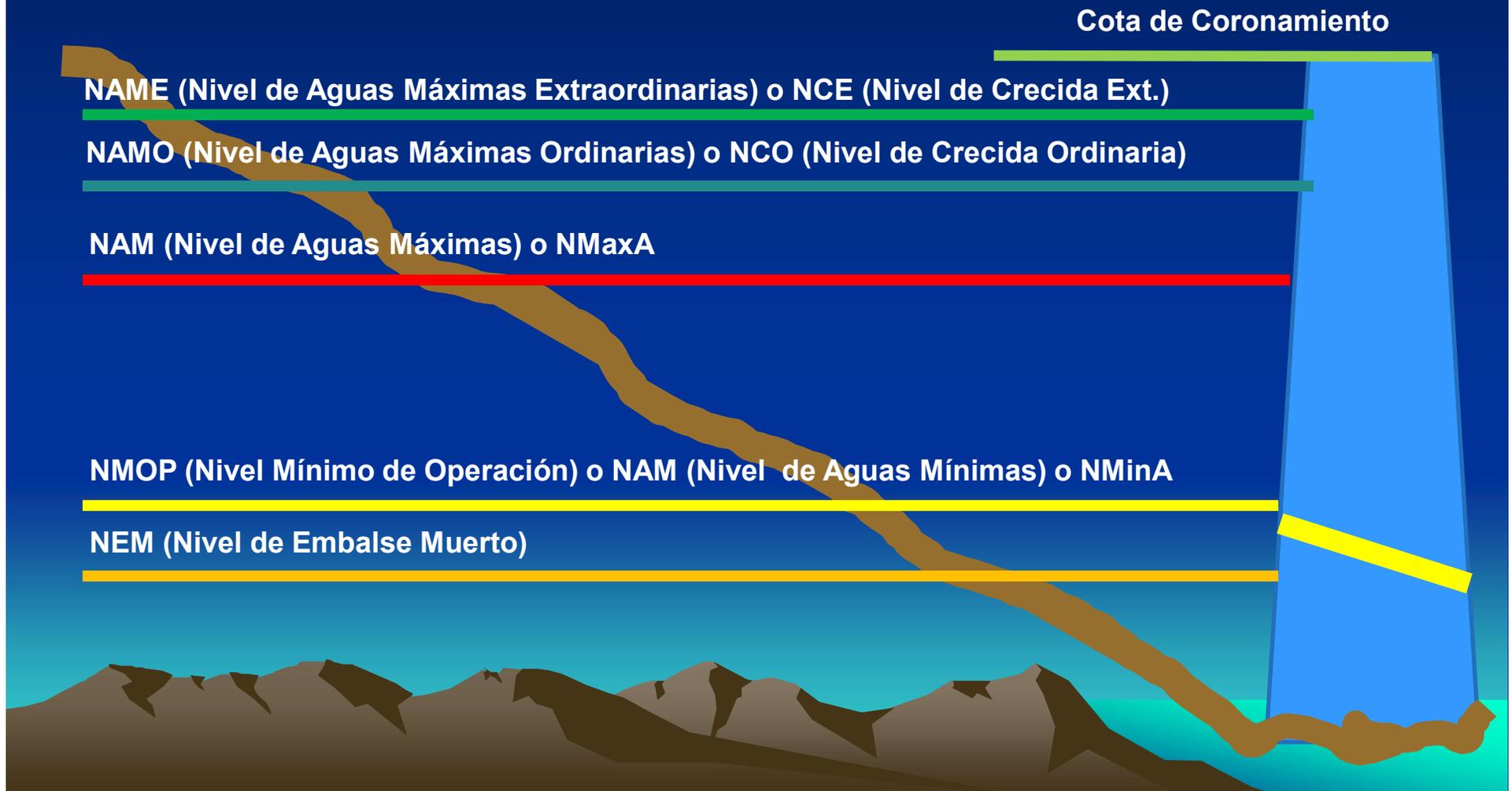
# COMPONENTES DEL VASO DE UN EMBALSE

Los **COMPONENTES** que se distinguen son:



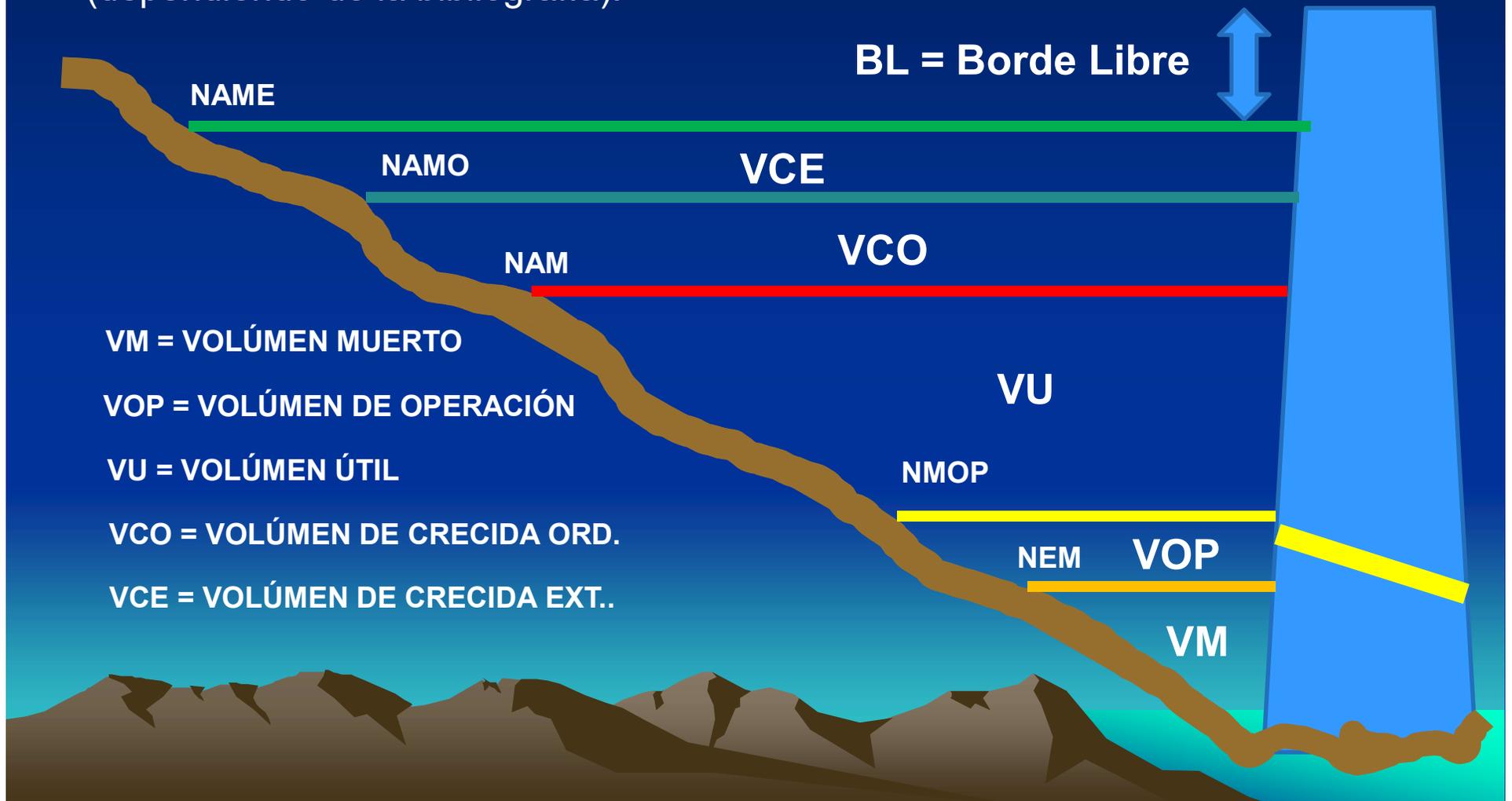
# COMPONENTES DEL VASO DE UN EMBALSE

Si denominamos las **ALTURAS** características, tenemos (dependiendo de la bibliografía):



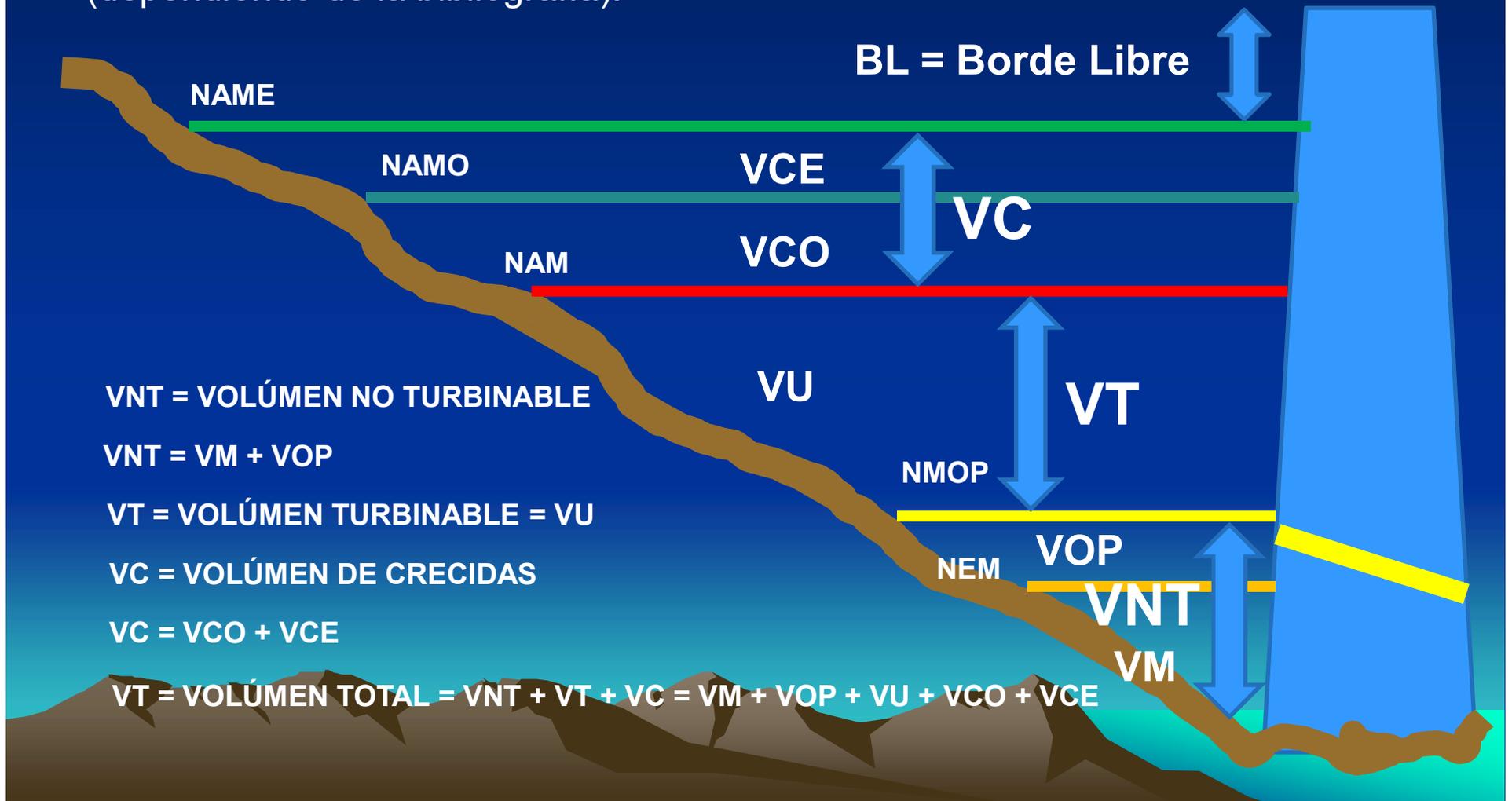
# COMPONENTES DEL VASO DE UN EMBALSE

Si denominamos los **VOLÚMENES EMBALSADOS** característicos, tenemos (dependiendo de la bibliografía):



# COMPONENTES DEL VASO DE UN EMBALSE

Si denominamos los **VOLÚMENES EMBALSADOS** característicos, tenemos (dependiendo de la bibliografía):



# CAPACIDAD ÚTIL DEL EMBALSE

El **CÁLCULO DE LA CAPACIDAD ÚTIL O NECESARIA DEL EMBALSE** objeto del proyecto puede ser muy sencillo o complicarse, en función de la **finalidad** del mismo o de la naturaleza de las aportaciones.

En los casos de **balsas** de regulación para riego u otros consumos, su cálculo depende más de las circunstancias de utilización del agua que de las aportaciones, pues dichos embalses se suelen alimentar de caudales continuos conocidos o están proyectados para aprovechar aguas sobrantes de otros usos.

Cuando las aportaciones de la cuenca son muy superiores a la capacidad del embalse su cálculo se complica, sobre todo si se pretende un **aprovechamiento integral** máximo de las aportaciones de agua de una cuenca para la transformación en regadío de la mayor superficie posible.

El caso mas general corresponde a la situación originada por necesidades concretas a satisfacer, pudiendo determinar la capacidad necesaria mediante un **balance anual** de las entradas y salidas de agua del embalse.



# CAPACIDAD ÚTIL DEL EMBALSE

La determinación de la capacidad necesaria del volumen de embalse de operación de una presa para regular un río y satisfacer una determinada demanda, es un estudio que debe **tener en cuenta no sólo los factores hidrológicos sino también las normas de manejo de la presa.**

Los factores hidrológicos en sí (fundamentalmente las entradas de agua al embalse) conjuntamente con las demandas previstas darán una primera idea de las necesidades de regulación.

Un análisis más detallado a nivel mensual, o diario o incluso horario según sean las necesidades en un estudio de operación del embalse, dará el ajuste final del cálculo del volumen útil.

**Para obtener la primera aproximación se usa la comparación de la curva de masa de volúmenes del río vs la curva de masa de los volúmenes de las demandas estimadas.**



# CAPACIDAD REGULADORA TOTAL O PARCIAL

Se pueden presentar DOS casos:

- Que se regulen o embalsen, totalmente las agua del río;
- Que esta regulación sea solo parcial, para un determinado volumen.

## CAPACIDAD REGULADORA TOTAL

- En este caso, se almacenan todas las aguas para obtener un caudal instantáneo, o de salida constante, llamado caudal módulo o seguro.

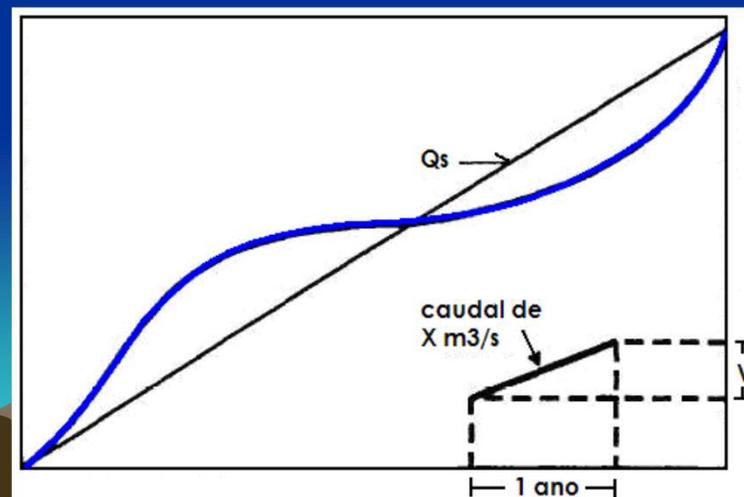


# 9- CAPACIDAD REGULADORA TOTAL O PARCIAL

## CAPACIDAD REGULADORA PARCIAL

En este caso, se almacena un volumen determinado de agua, que asegure un caudal continuo de  $X \text{ m}^3/\text{s}$  (**DEMANDA**)

**Condiciones:** Si la pendiente de la curva masa (caudal módulo  $Q_m$ ), es menor que la pendiente correspondiente al caudal  $X$  ( $Q_m < X$ ), hay deficiencia de agua en el río y no se podrá proporcionar el caudal de  $X \text{ m}^3/\text{s}$ . Si la pendiente de la curva masa, es mayor que la pendiente correspondiente al caudal  $X$  ( $Q_m > X$ ), hay exceso de agua en el río, y se puede aportar el caudal de  $X \text{ m}^3/\text{s}$ .



# CURVAS CARÁCTERÍSTICAS DE EMBALSES

Para el diseño y operación de una presa es necesario contar con información de **registros hidrológicos y topográficos.**

La información topográfica nos permite hallar las relaciones que hay entre las elevaciones y área del vaso y la relación de las elevaciones y el volumen que almacena el vaso o el embalse.

Esta información topográfica se sintetiza en:

- **Curvas elevación-área;**
- **Curvas elevación-volumen.**



# CURVAS CARÁCTERÍSTICAS DE EMBALSES

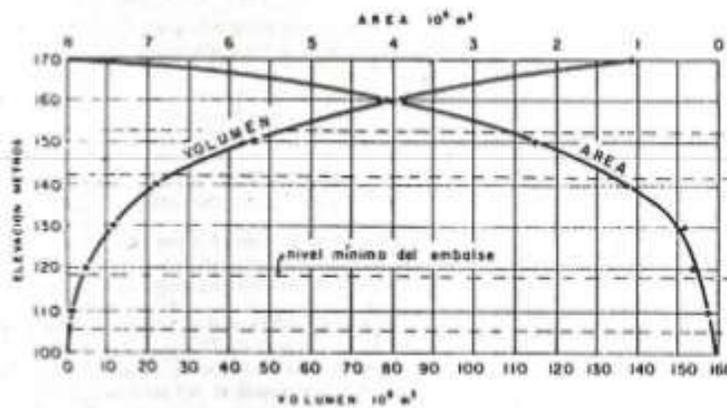
## CURVA ÁREA-CAPACIDAD-ELEVACIÓN

EL m	AREA $10^4 \text{ m}^2$	$\Delta V$ $10^6 \text{ m}^3$	V $\text{m}^3$
100	0	0	0
110	0.2	1	1
120	0.6	4	5
130	0.9	7	12
140	1.3	10.5	22.5
150	2.5	24.0	46.5
160	4.0	32.5	79.0
170	8.0	60.0	139.0

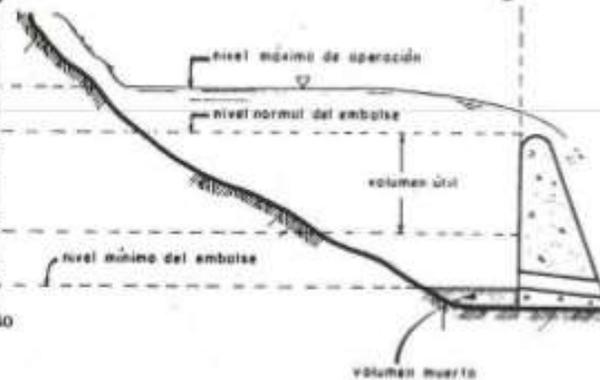
a) TABLA PARA EL CALCULO DE LAS CURVAS  
AREA-CAPACIDAD-ELEVACION



b) PLANTA DEL SITIO  
DE EMBALSE



c) CURVAS: AREA - CAPACIDAD - ELEVACION

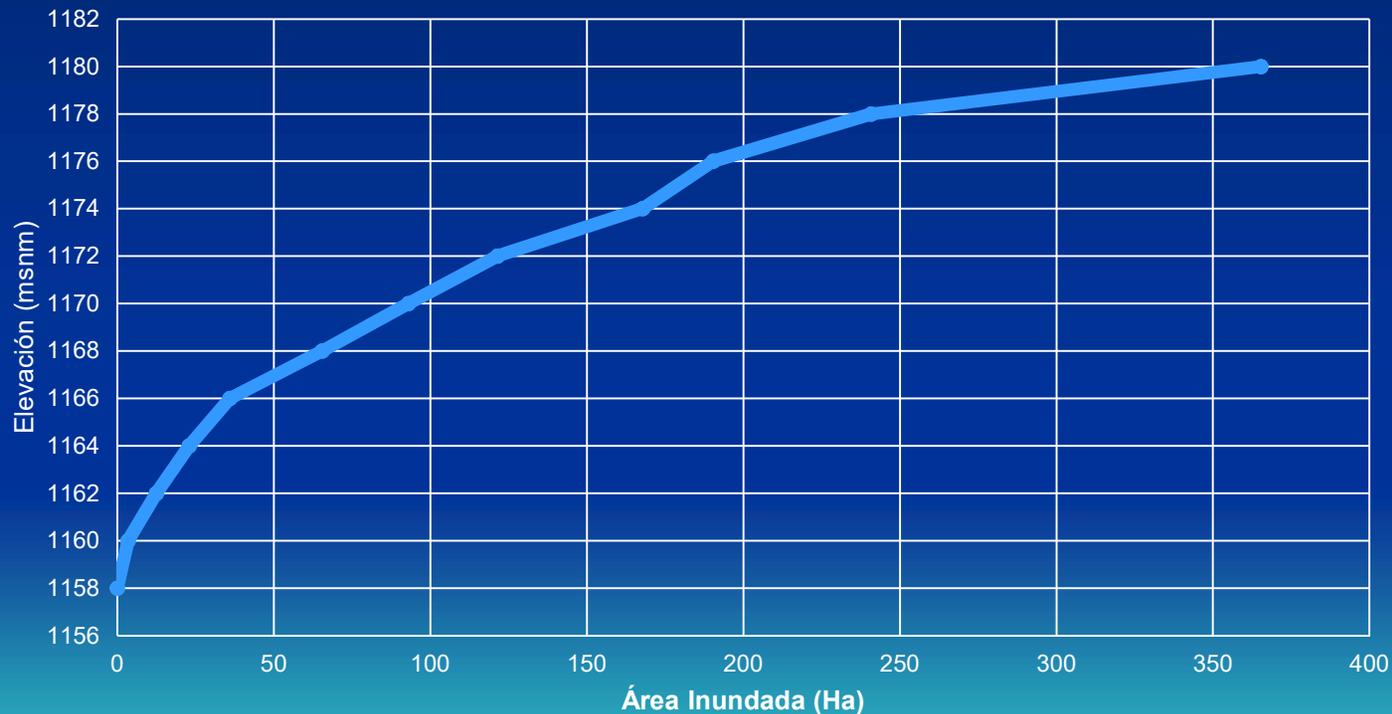


d) CORTE DEL EMBALSE

# CURVAS CARÁCTERÍSTICAS DE EMBALSES

1. **Curva área-elevación:** se construye a partir de información topográfica planimetrando el área comprendida entre cada curva de nivel del vaso topográfico. Indica la superficie inundada correspondiente a cada elevación.

Curva Área-Elevación



# CURVAS CARÁCTERÍSTICAS DE EMBALSES

2. **Curva volumen-elevación:** se obtiene mediante la integración de la curva area-elevación. Indica el volumen almacenado correspondiente a cada elevación. El incremento de volumen entre dos curvas de nivel consecutivas se calcula con la siguiente expresión:

$$\Delta V = \frac{\Delta h}{3} \cdot (A_i + A_s + \sqrt{A_i \cdot A_s})$$

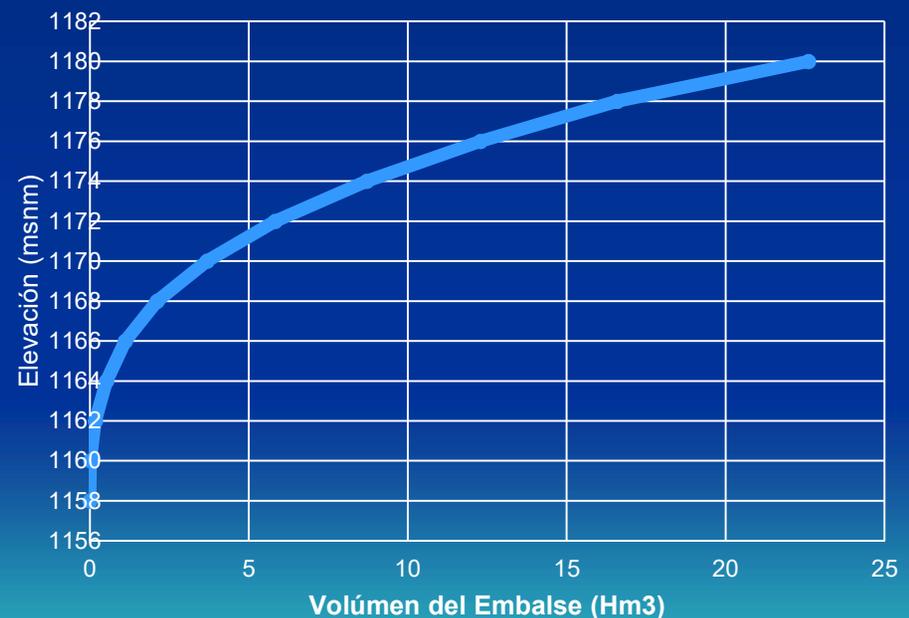
$\Delta V$  = incremento de volumen entre curvas de nivel consecutivas

$\Delta h$  = diferencia de nivel entre curvas de nivel consecutivas

$A_i$  = área correspondiente a un nivel inferior

$A_s$  = área correspondiente a un nivel superior

Curva Volúmen-Elevación



# CURVAS CARÁCTERÍSTICAS DE EMBALSES

La curva elevación-área nos muestra la relación entre la elevación y el área cubierta por agua del vaso, mientras que la curva elevación-volumen nos muestra la relación entre la elevación y el volumen acumulado de agua en el vaso.

Estas curvas son necesarias para poder determinar la altura que tendrá la presa y la capacidad de almacenamiento de la misma, así como también para el tránsito de avenidas.



EN TODO APROVECHAMIENTO INTEGRAL DE UN CURSO DE AGUA SE DEBEN ESTABLECER LAS DOS MAGNITUDES FUNDAMENTALES:

**Q y Hu**

Q = Caudal → Función

ESTUDIOS HIDROLÓGICOS  
(Aforos Líquidos y Sólidos)

Hu = Altura Útil → Función

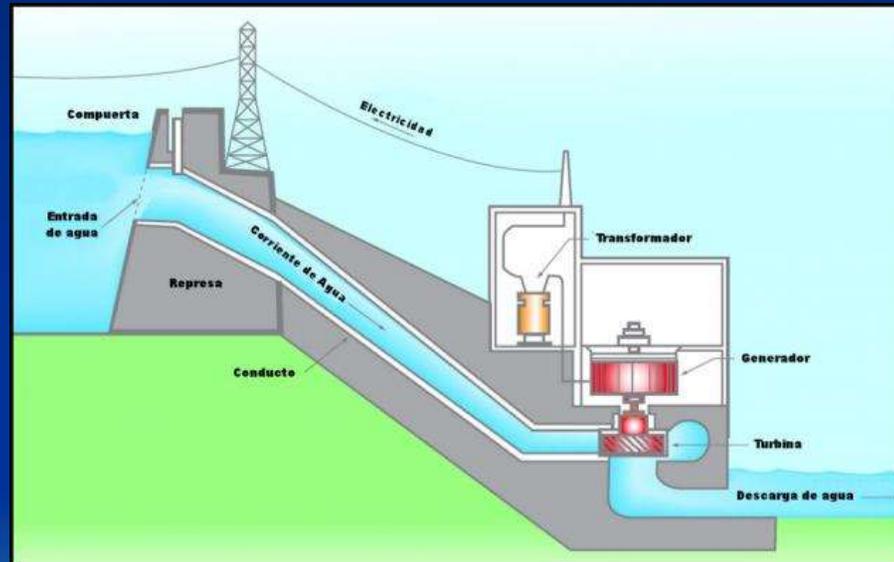
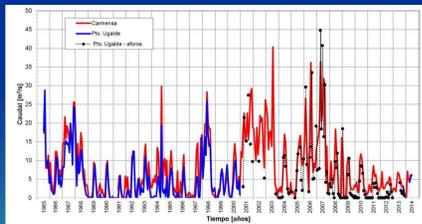
ESTUDIOS TOPOGRÁFICOS  
ESTUDIOS GEOLÓGICOS  
ESTUDIOS HIDRÁULICOS

ESTUDIOS ECONÓMICOS



# CENTRALES DE EMBALSE ESTUDIO ECONÓMICO PARA DETERMINAR LA ALTURA DE LA PRESA

CAUDAL  
AFLUENTE  
(Variables)



CAUDAL  
EFLUENTE  
(Módulo = Cte.)



ALTURA DEL  
EMBALSE  
(Variable entre  
los niveles de  
operación  
definidos)

# ESTUDIO HIDROLÓGICO DE UN CURSO DE AGUA EN VISTA DE SU APROVECHAMIENTO HIDROELÉCTRICO

- ESTABLECIDO EL CAUDAL REGULARIZADO  $Q_r$ , ESTE PERMITIRÁ ESTABLECER LAS PÉRDIDAS DE ENERGÍA QUE DESCONTADAS DE LA CAIDA BRUTA DARA LA ALTURA ÚTIL  $H_u$ .

$$H_u = H_t - (kQ^2/2g)$$

PERO AHORA “ $H_u$ ” VARIA EN FUNCIÓN DEL TIEMPO



$$H_u = f(t)$$



# ECUACIÓN DE LA ENERGÍA ANUAL

$$Ne = 8 \cdot Qr \cdot Hu(t)$$



$$Ea = \int_0^T Ne \cdot dt = \int_0^T 8 \cdot Qr \cdot Hu \cdot dt = 8 \cdot Qr \cdot \int_0^T Hu \cdot dt$$

Ne = Potencia eléctrica

Qr = Caudal regularizado

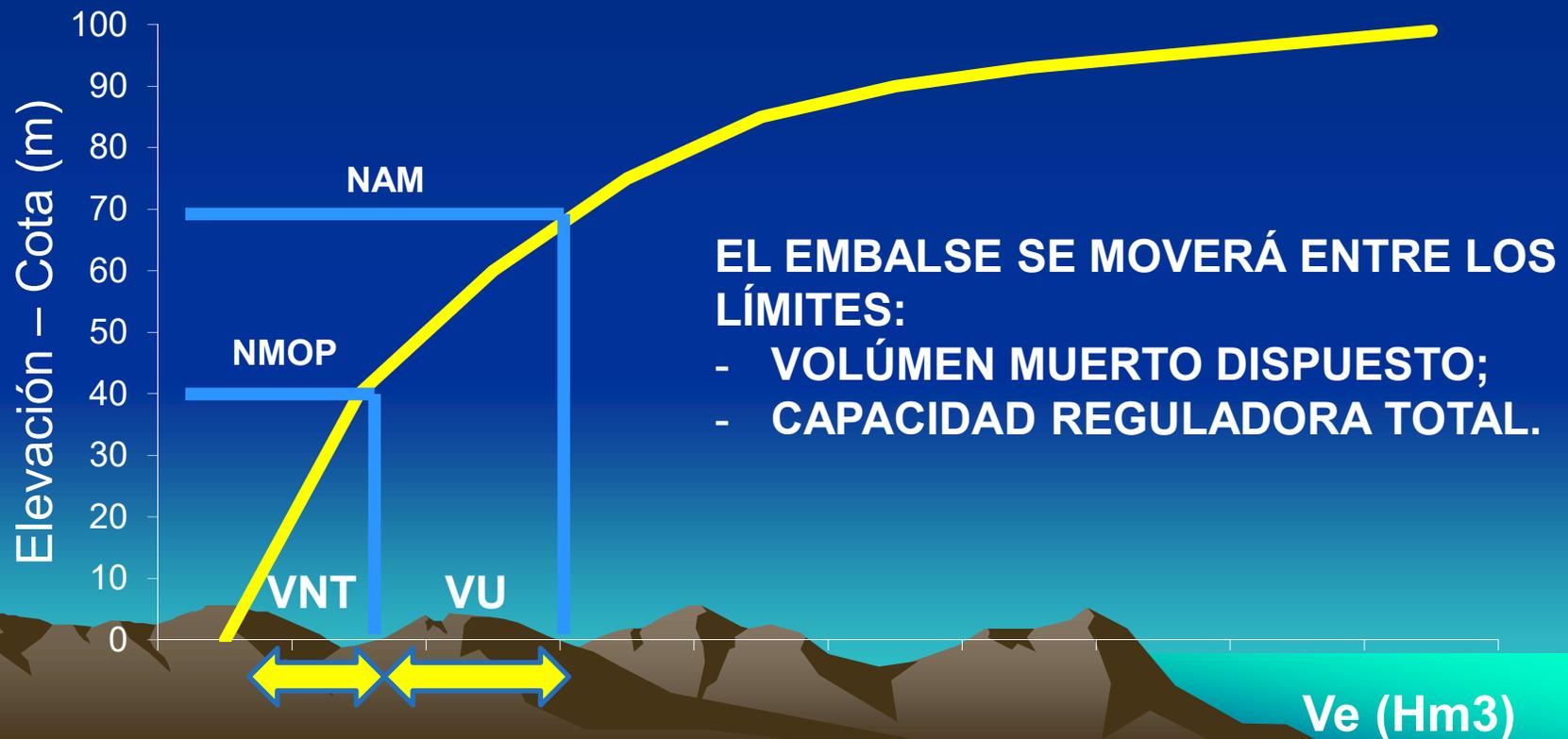
Hu = Altura útil

Ea = Energía anual

## FUNCIONAMIENTO DEL EMBALSE

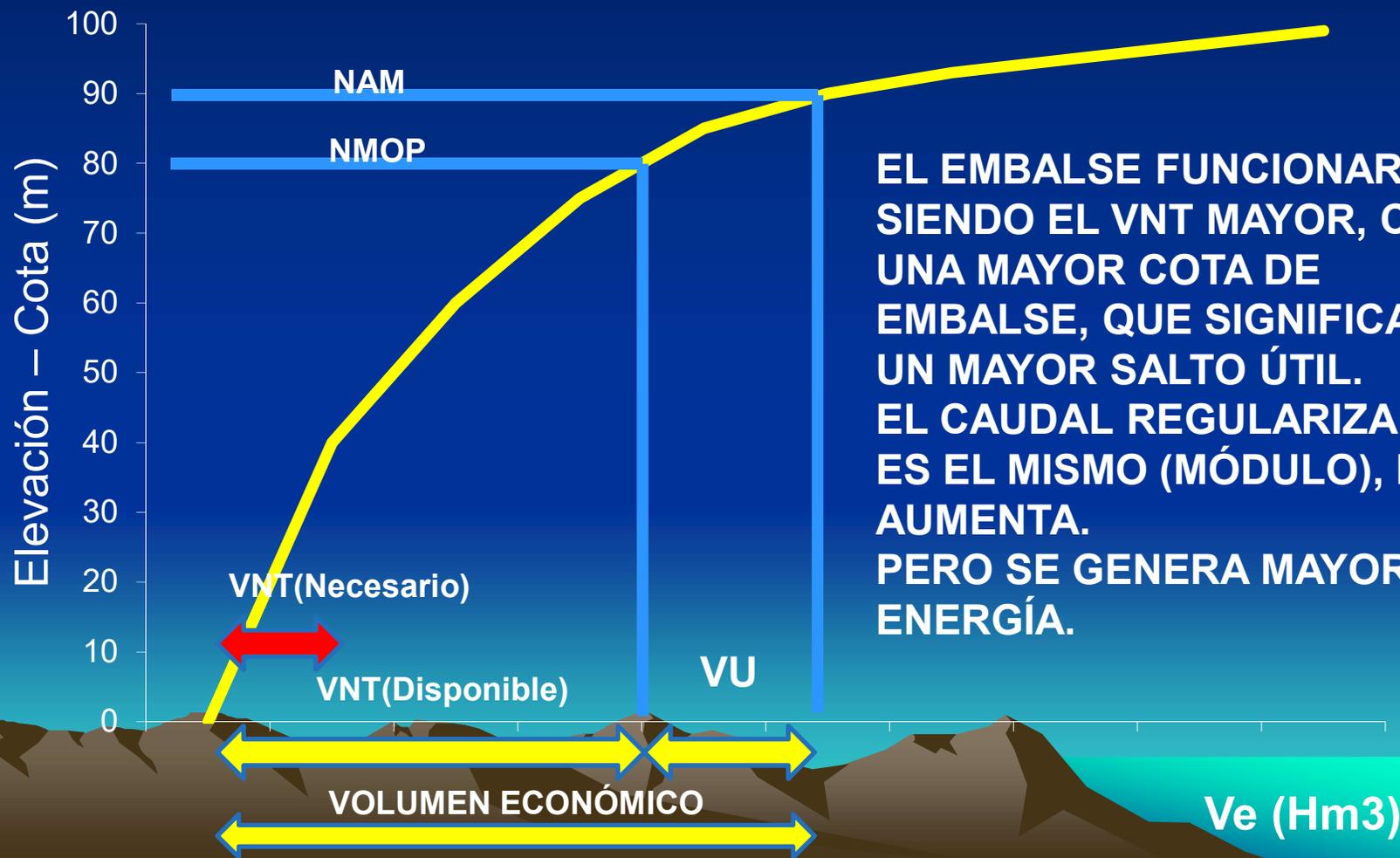
PARA ESTABLECER EL **MOVIMIENTO DEL PLANO DE AGUA EN EL EMBALSE**, HABIENDO PARTIDO DE LAS CONDICIONES TOPOGRÁFICAS Y GEOLÓGICAS, DEBEMOS SEGUIR UN CRITERIO ECONÓMICO.

DEL RELEVAMIENTO TOPOGRÁFICO OBTENEMOS LAS CURVAS CARACTERÍSTICAS, **ÁREA-ELEVACIÓN Y VOLUMEN-ELEVACIÓN**.



## FUNCIONAMIENTO DEL EMBALSE

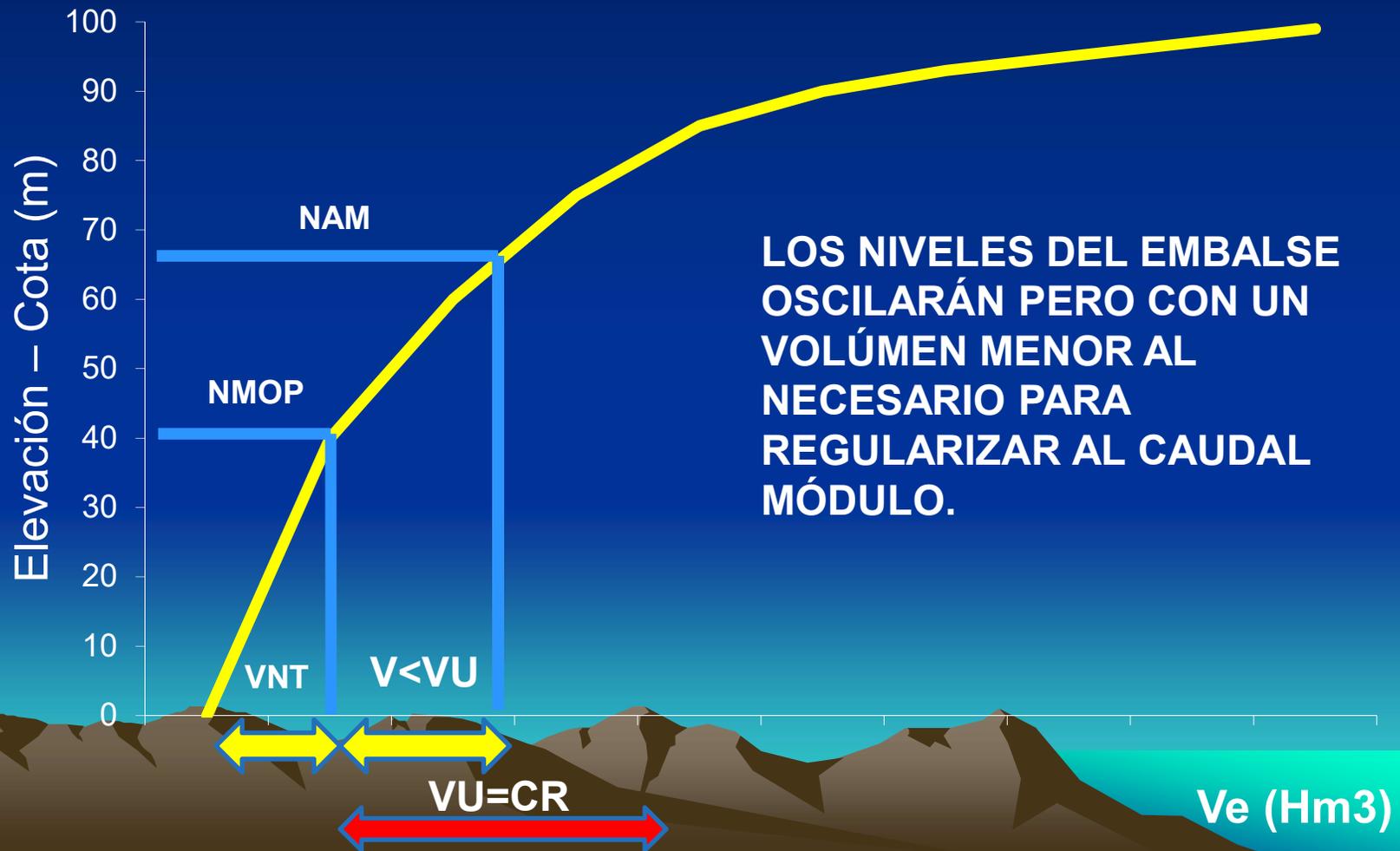
**CASO I:** SI EL VOLUMEN DETERMINADO POR LAS CONDICIONES TOPOGRÁFICAS-GEOLÓGICAS-ECONÓMICAS (V. ECONÓMICO) ES MAYOR QUE LA SUMA DEL VNT + VU → ENTONCES:



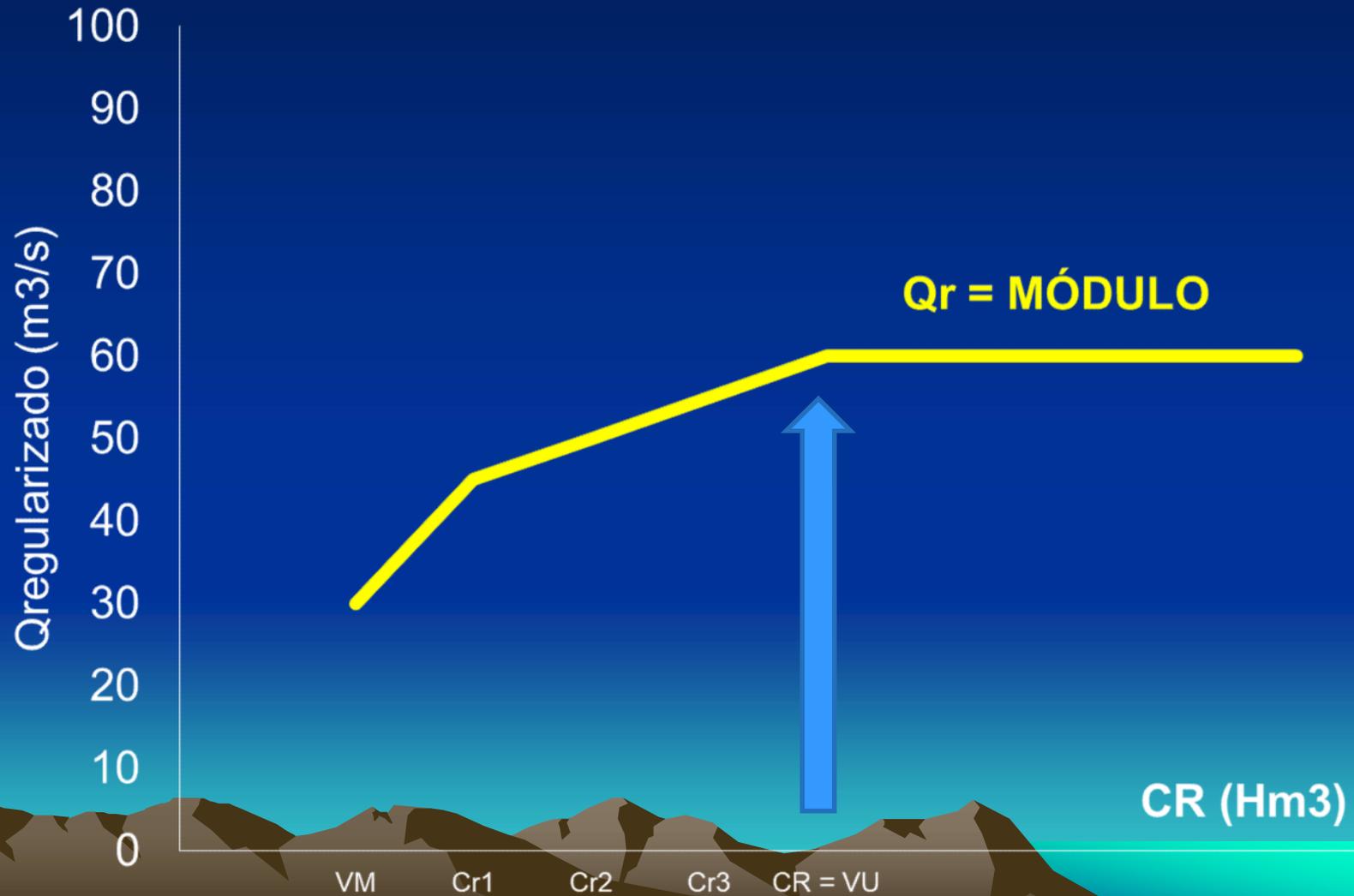
EL EMBALSE FUNCIONARÁ SIENDO EL VNT MAYOR, CON UNA MAYOR COTA DE EMBALSE, QUE SIGNIFICA UN MAYOR SALTO ÚTIL. EL CAUDAL REGULARIZADO ES EL MISMO (MÓDULO), NO AUMENTA. PERO SE GENERA MAYOR ENERGÍA.

## FUNCIONAMIENTO DEL EMBALSE

**CASO II:** EL CASO OPUESTO, SI POR LAS CONDICIONES TOPOGRÁFICAS-GEOLÓGICAS-ECONÓMICAS (V. **ECONÓMICO**) RESULTA MENOR QUE  $VNT + VU \rightarrow$  ENTONCES: **VU ES MENOR O LO QUE ES LO MISMO, EL CAUDAL A REGULARIZAR  $<$  MÓDULO.**



# SI RELACIONAMOS LOS $Q_r$ y la CR

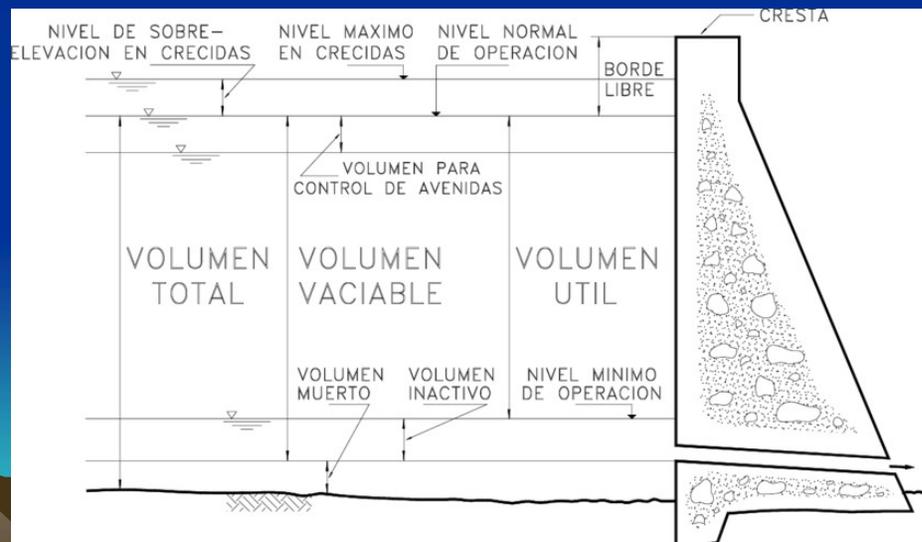


# CRITERIOS PARA DETERMINAR “Hu”

PARA LA DETERMINACIÓN DE LA ENERGÍA ANUAL PRODUCIDA POR LA CENTRAL, NOS FALTA DETERMINAR LA VARIABLE “Hu”, YA QUE LA MISMA VARÍA CON LOS NIVELES DE FLUCTUACIÓN DEL EMBALSE:

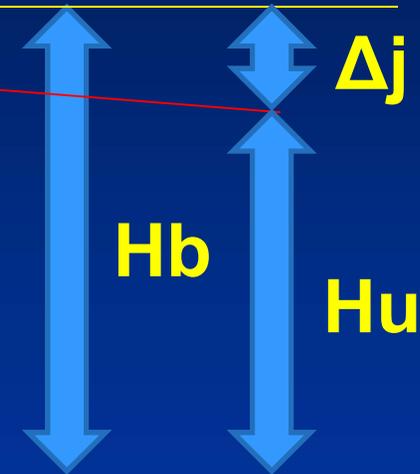
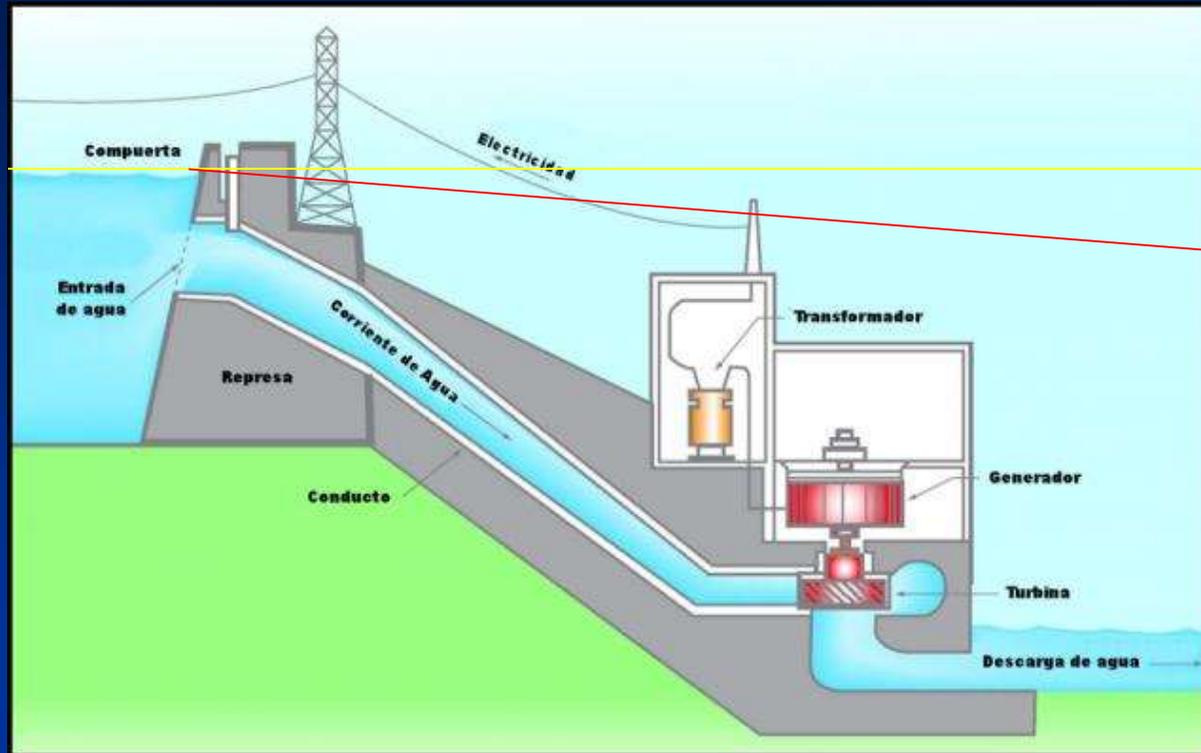
$$Ea = \int_0^T Ne \cdot dt = \int_0^T 8 \cdot Qr \cdot Hu \cdot dt = 8 \cdot Qr \cdot \int_0^T Hu \cdot dt$$

$$Hu = f(t)$$



$$Hu = Hb - \Delta j$$

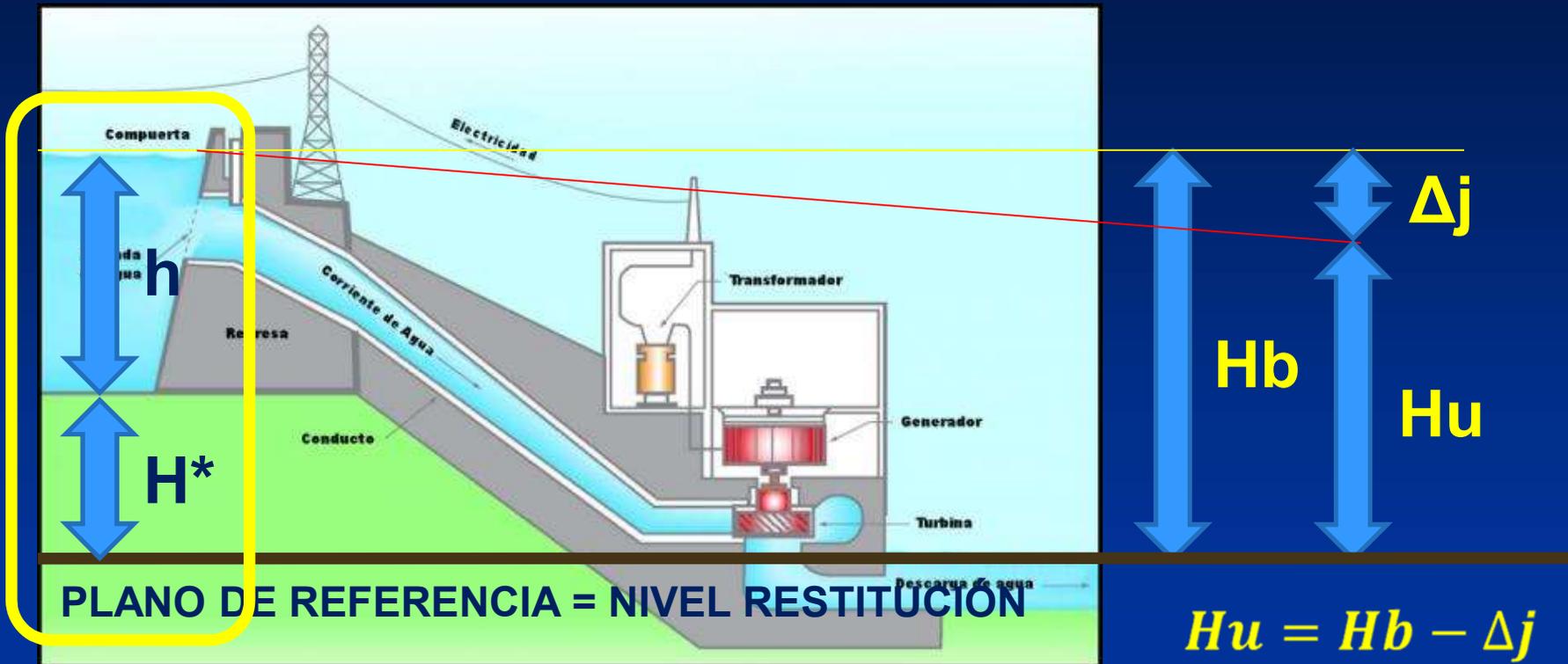
# CRITERIOS PARA DETERMINAR “ $H_u$ ”



$$H_u = H_b - \Delta j$$

TAMBIEN PODEMOS PONER A LA ÁLTURA ÚTIL EN FUNCIÓN DE LA VARIACIÓN DE ALTURA “ $h$ ” DEL NIVEL DE EMBALSE AGUAS ARRIBA, SUPONIENDO LA COTA DE DESGARGA CONSTANTE E IGUAL A LA MAS FRECUENTE.

# CRITERIOS PARA DETERMINAR “Hu”



$$H_u = H_b - \Delta j \Rightarrow H_b = H^* + h \Rightarrow h = f(t)$$

$$H_u = H^* + h - \Delta j \Rightarrow H_u = f(t)$$

# CRITERIOS PARA DETERMINAR “Hu”

$$Hu = H^* + h - \Delta j \Rightarrow Hu = f(t)$$

$$Si Qr = cte \Rightarrow \Delta j = cte \Rightarrow H^* = cte$$

$$Ea = \int_0^T Ne \cdot dt = \int_0^T 8 \cdot Qr \cdot Hu \cdot dt = 8 \cdot Qr \cdot \int_0^T Hu \cdot dt$$

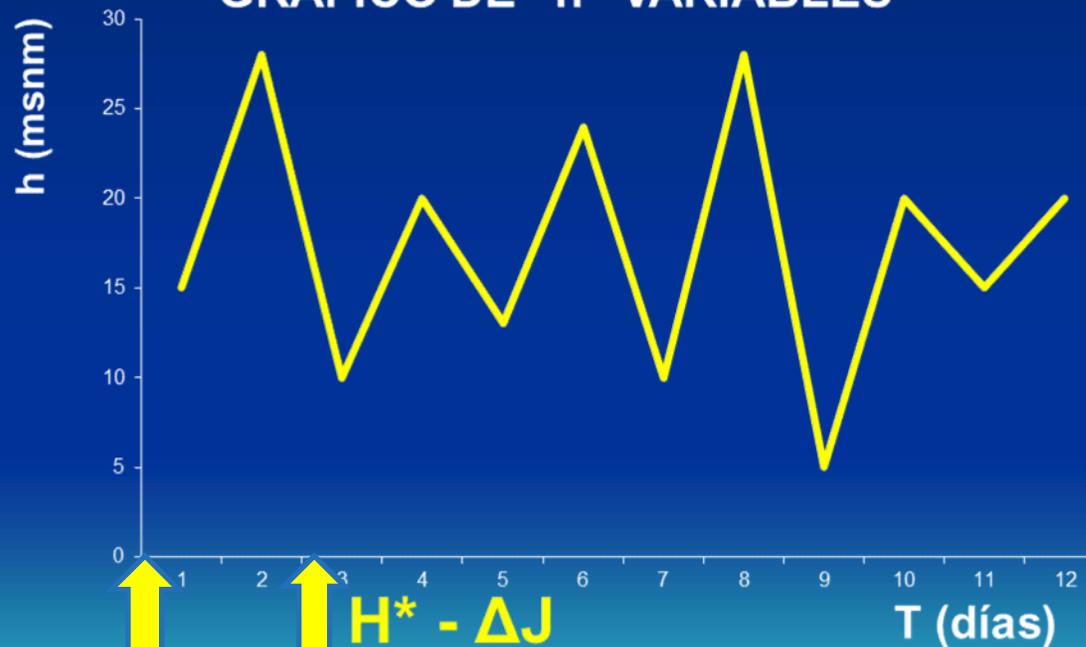
$$Ea = 8 \cdot Qr \cdot \int_0^T (H^* + h - \Delta j) \cdot dt$$

# CRITERIOS PARA DETERMINAR “Hu”

$$Ea = 8 \cdot Qr \cdot \int_0^T (H^* + h - \Delta j) \cdot dt$$

Hu (m)

GRAFICO DE “h” VARIABLES



H\*

Δj

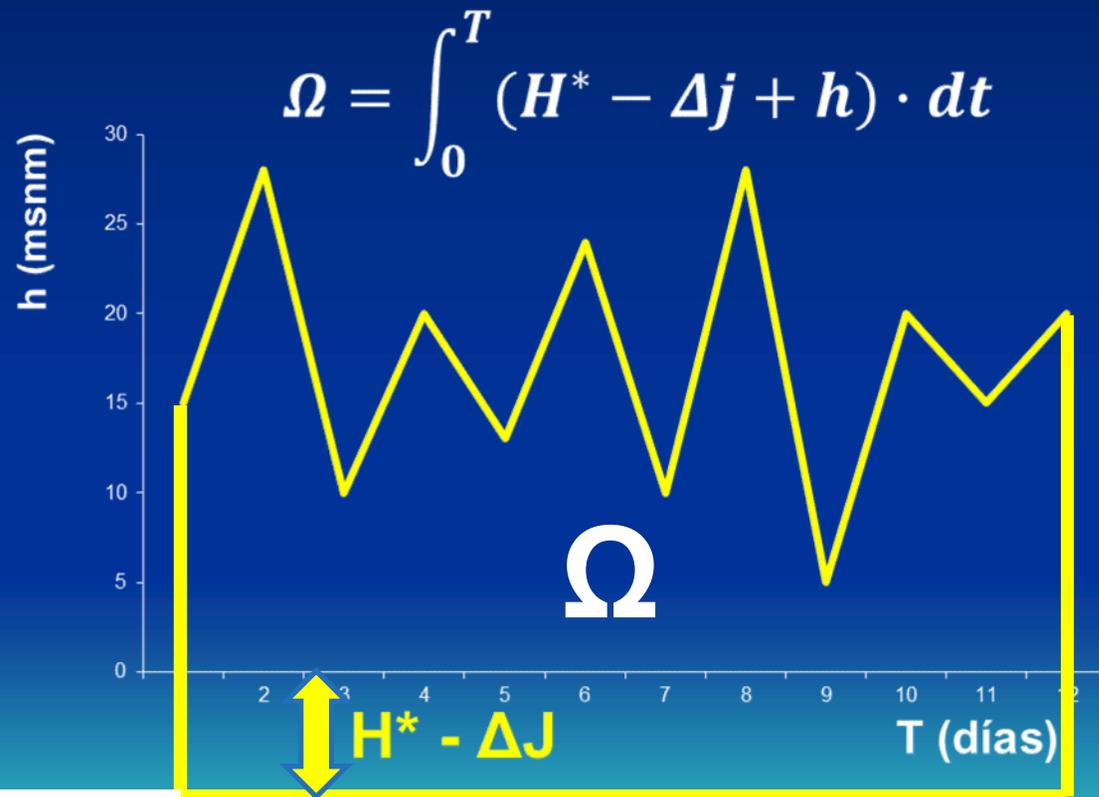
H\* - ΔJ

NIVEL DE RESTITUCIÓN

# CRITERIOS PARA DETERMINAR “Hu”

$$Ea = 8 \cdot Qr \cdot \int_0^T (H^* + h - \Delta j) \cdot dt$$

Hu (m)

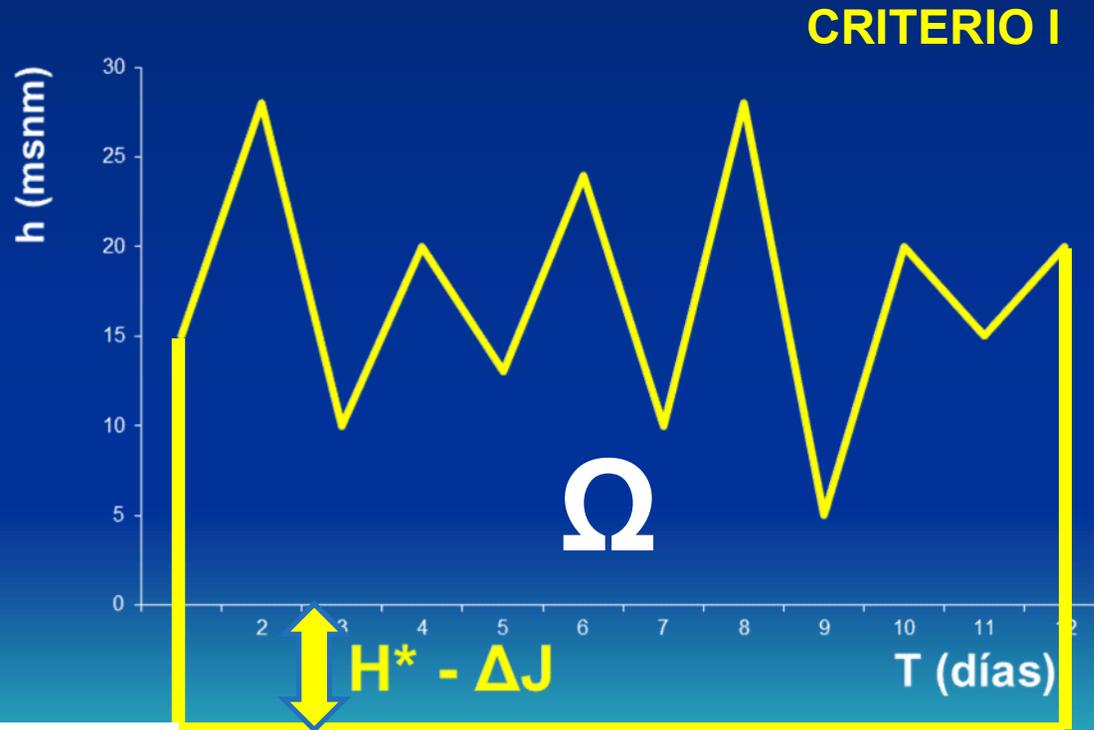


NIVEL DE RESTITUCIÓN

# CRITERIOS PARA DETERMINAR “Hu”

$$\Omega = \int_0^T (H^* - \Delta j + h) \cdot dt \Rightarrow Hum = \frac{\Omega}{T} = \frac{\int_0^T Hu \cdot dt}{T}$$

Hu (m)



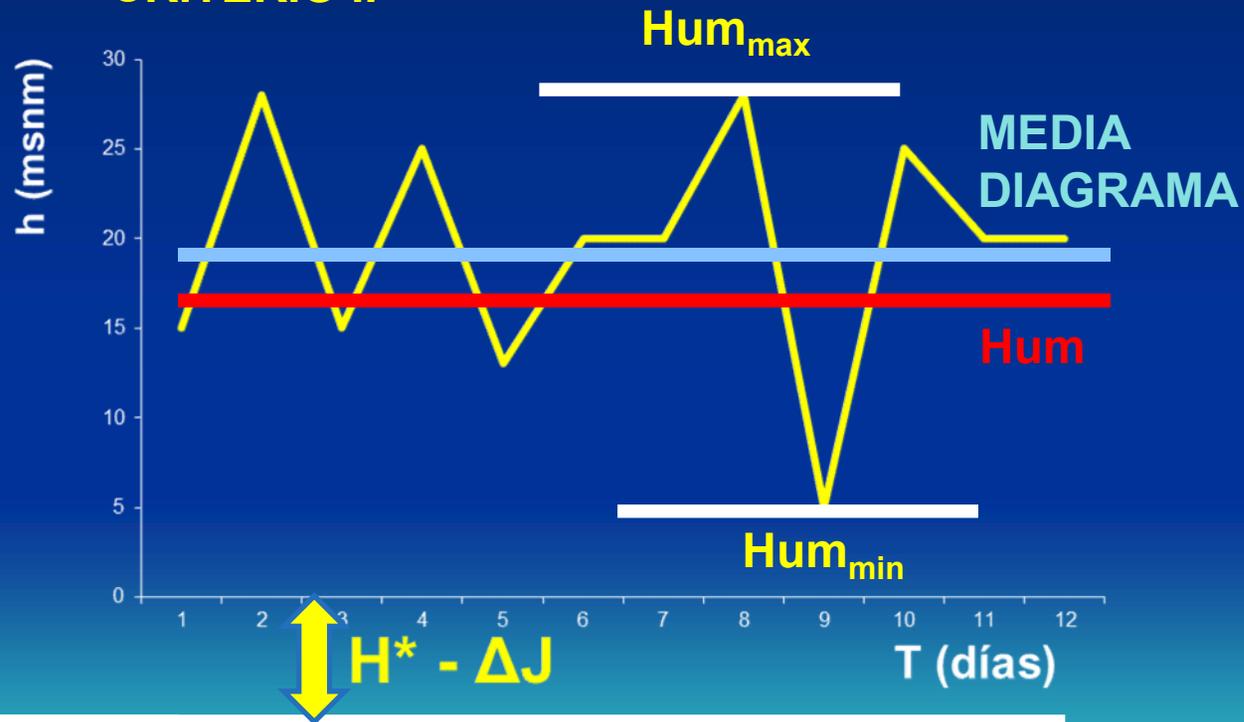
**NIVEL DE RESTITUCIÓN**

# CRITERIOS PARA DETERMINAR “Hu”

$$Hum = \frac{Hum_{max} + Hum_{min}}{2}$$

Hu (m)

## CRITERIO II



NIVEL DE RESTITUCIÓN

# CRITERIOS PARA DETERMINAR “Hu”

$$Hum = \frac{\int_0^T Hu \cdot dt}{T} \neq \frac{Hum_{max} + Hum_{min}}{2}$$

## CRITERIO I VS CRITERIO II

TAMBIEN PODEMOS PROCEDER CONSTRUYENDO UNA CURVA DE DURACIÓN O PERMANENCIA DE Hu (m).

GRAFICANDO LA PERMANENCIA DE LAS Hu QUE NOS PERMITIRÁ DETERMINAR LA Hum COMO EL ÁREA BAJO EL DIAGRAMA SOBRE EL TOTAL DEL PERÍODO (8760hs).



# ESTUDIO ECONÓMICO PARA DETERMINAR LA ALTURA DE LA PRESA

SE DEBERÁ DETERMINAR PARA DIVERSAS CAPACIDADES DE ALMACENAMIENTO EN EL EMBALSE, LAS RESPECTIVAS POTENCIAS MEDIAS → **N<sub>med</sub>**

**ELLO SIGNIFICA CALCULAR EL MOVIMIENTO DEL EMBALSE PARA CADA UNA DE ESAS CAPACIDADES DE ALMACENAMIENTO CON EL FIN DE DETERMINAR LA ENERGÍA ANUAL QUE DIVIDIDA POR 8760hs (T) DETERMINA LA POTENCIA MEDIA**



# ESTUDIO ECONÓMICO PARA DETERMINAR LA ALTURA DE LA PRESA

- SI APLICAMOS EL CRITERIO II PARA LA DETERMINACIÓN DE LA Hum → promediando la altura máxima con la mínima correspondiente a cada capacidad de almacenamiento →

## LA POTENCIA Nmed

$$Ea = \int_0^T Ne \cdot dt = \int_0^T 8 \cdot Qr \cdot Hu \cdot dt = 8 \cdot Qr \cdot \int_0^T Hu \cdot dt$$

$$Ea = 8 \cdot Qr \cdot Hum \cdot T = 8 \cdot Qr \cdot \left( \frac{Hum_{max} + Hum_{min}}{2} \right) \cdot 8760$$

$$Nmed = 8 \cdot Qr \cdot \left( \frac{Hum_{max} + Hum_{min}}{2} \right)$$

# ESTUDIO ECONÓMICO PARA DETERMINAR LA ALTURA DE LA PRESA

- SI PROCESAMOS DE FORMA MAS PRECISA O EXACTA →
  1. Fijo la línea de referencia de las alturas, sumando al nivel de restitución el  $\Delta_j$  (pérdida de energía); SIMPLIFICANDO!!
  2. Fijo el VNT (volumen no turbinable);
  3. Dispondremos distintos valores de  $Vu_i$  (capacidades de almacenamiento del embalse) →  $Vu_1, Vu_2, \dots, Vu_n$ ;
  4. En cada  $\frac{Vu_i}{2}$  correspondiente a todos los valores elegidos, levanto una vertical hasta la curva de volumen-elevación;
  5. Una vez interceptada la curva, voy en horizontal hacia la derecha hasta cortar a la vertical de cada  $Vu_i$ ;



Elevación - Cota (m)

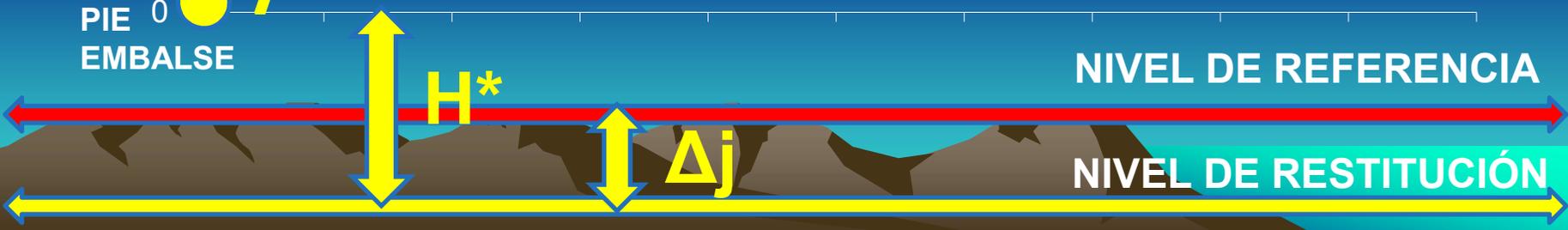
100  
90  
80  
70  
60  
50  
40  
30  
20  
10

EJEMPLO:

1. MARCO EL NIVEL DE REFERENCIA. DESDE ESE NIVEL SE MIDEN LAS ALTURAS ÚTILES.

PIE 0  
EMBALSE

Ve (Hm3)



Elevación – Cota (m)

100  
90  
80  
70  
60  
50  
40  
30  
20  
10  
0

NMOP

EJEMPLO:

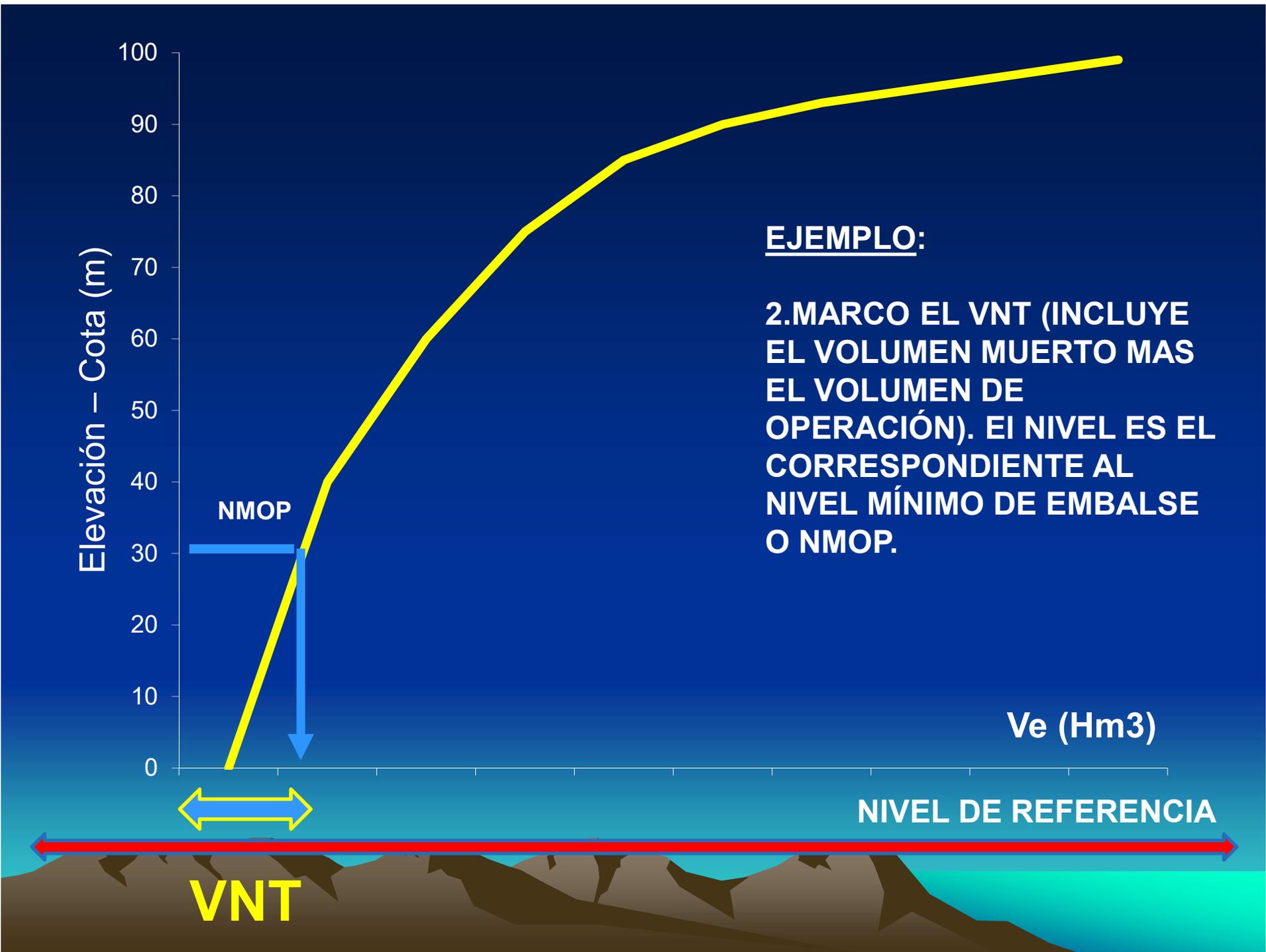
2. MARCO EL VNT (INCLUYE EL VOLUMEN MUERTO MAS EL VOLUMEN DE OPERACIÓN). EL NIVEL ES EL CORRESPONDIENTE AL NIVEL MÍNIMO DE EMBALSE O NMOP.

Ve (Hm<sup>3</sup>)

NIVEL DE REFERENCIA



VNT



Elevación - Cota (m)

100  
90  
80  
70  
60  
50  
40  
30  
20  
10  
0

NMOP

$Vu_2 = CR$

$Ve$  (Hm3)

NIVEL DE REFERENCIA

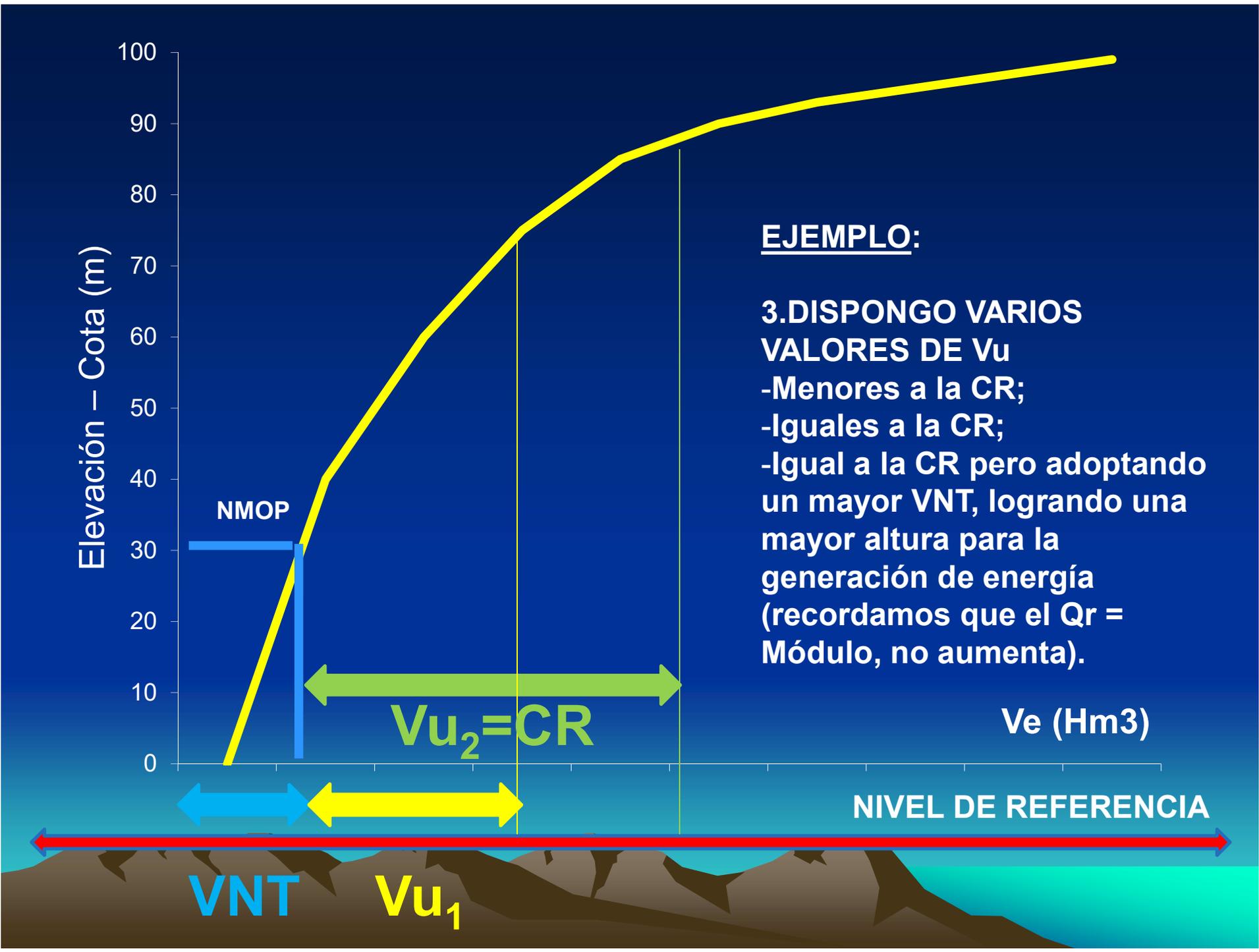
VNT

$Vu_1$

**EJEMPLO:**

**3. DISPONGO VARIOS VALORES DE  $Vu$**

- Menores a la CR;
- Iguales a la CR;
- Igual a la CR pero adoptando un mayor VNT, logrando una mayor altura para la generación de energía (recordamos que el  $Qr = \text{Módulo}$ , no aumenta).



Elevación – Cota (m)

100  
90  
80  
70  
60  
50  
40  
30  
20  
10  
0

NMOP

**PUNTO DE LA CURVA DE Hum (Hum<sub>1</sub>)**

$Vu_1/2$

Ve (Hm3)

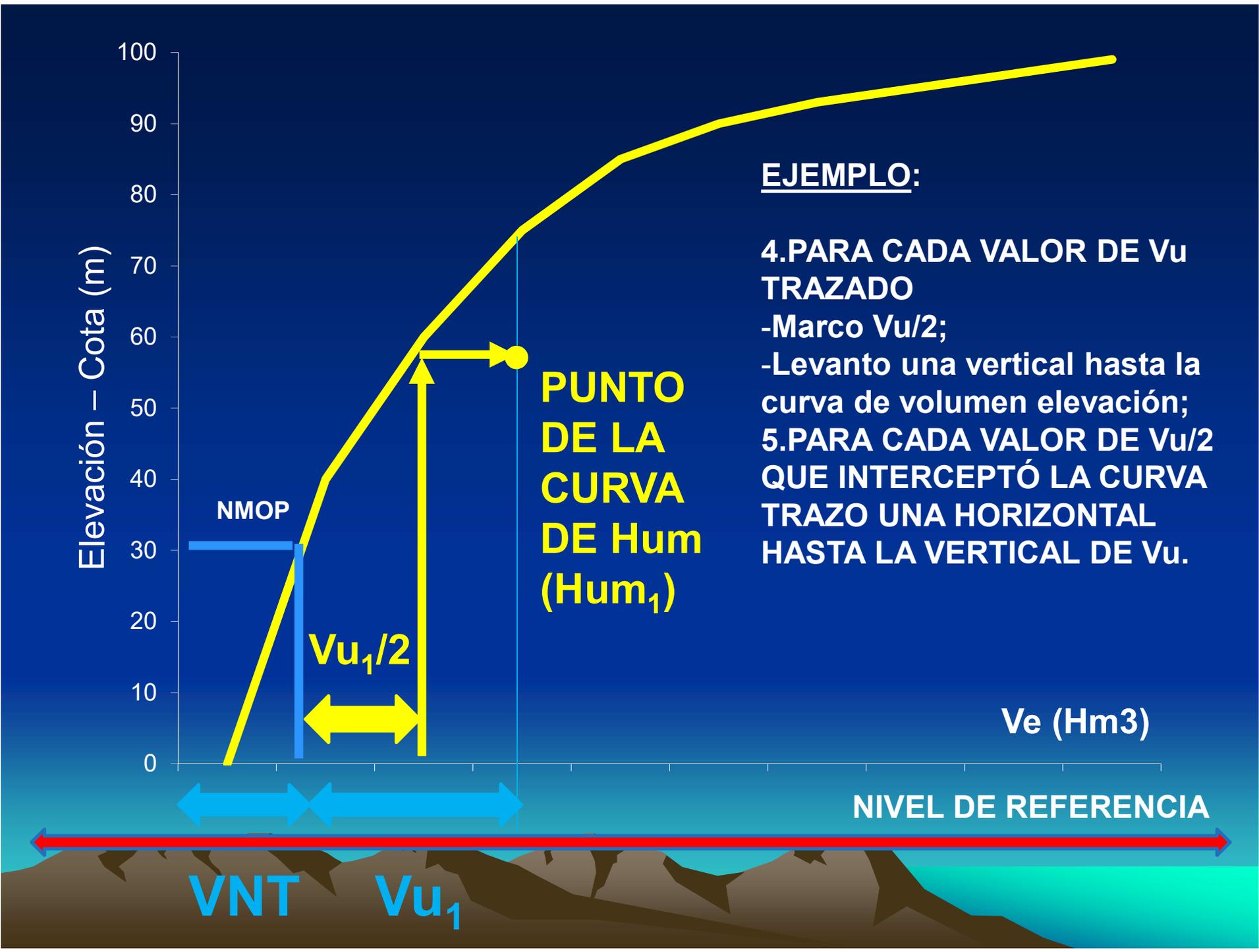
NIVEL DE REFERENCIA

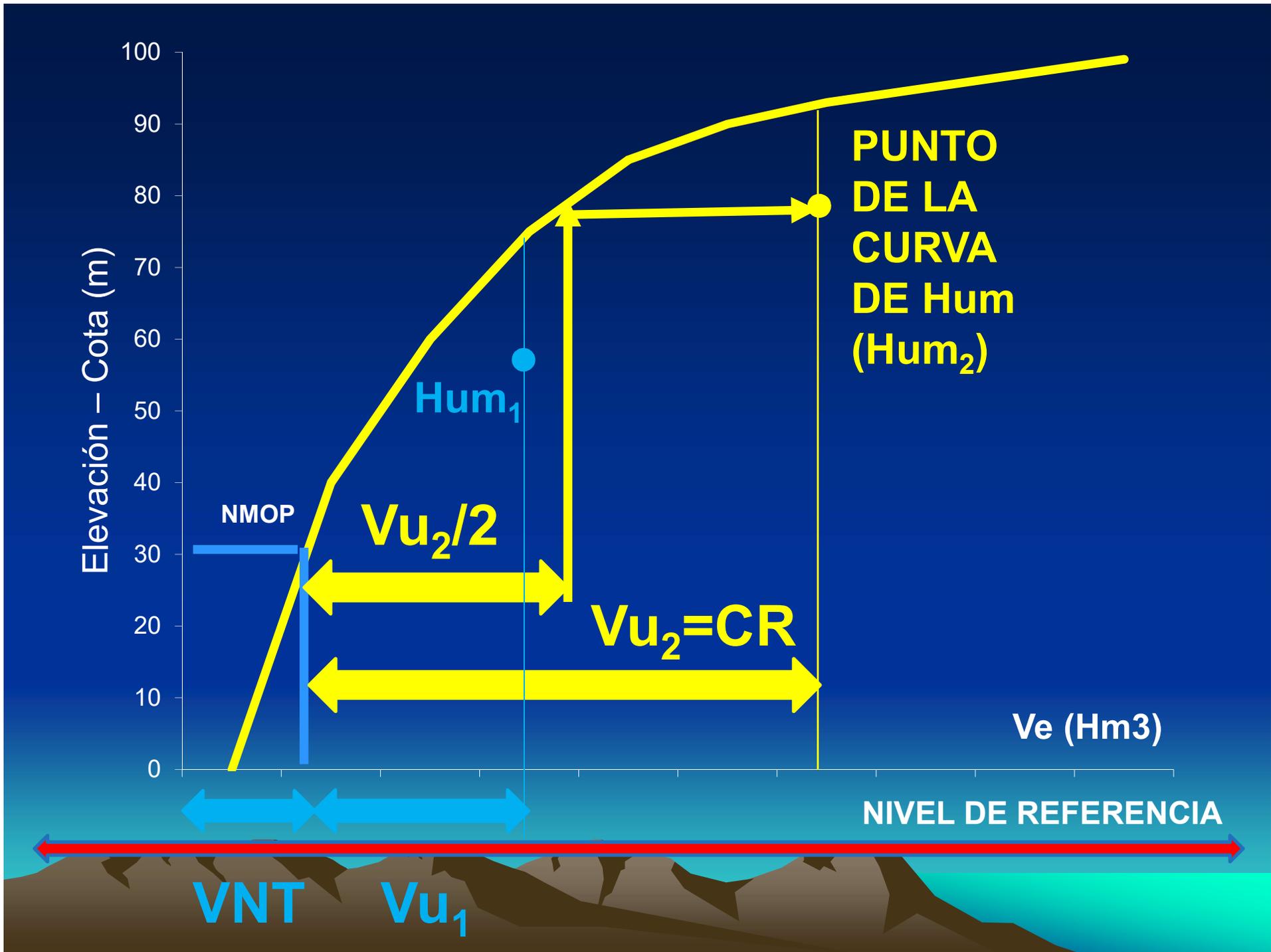
VNT

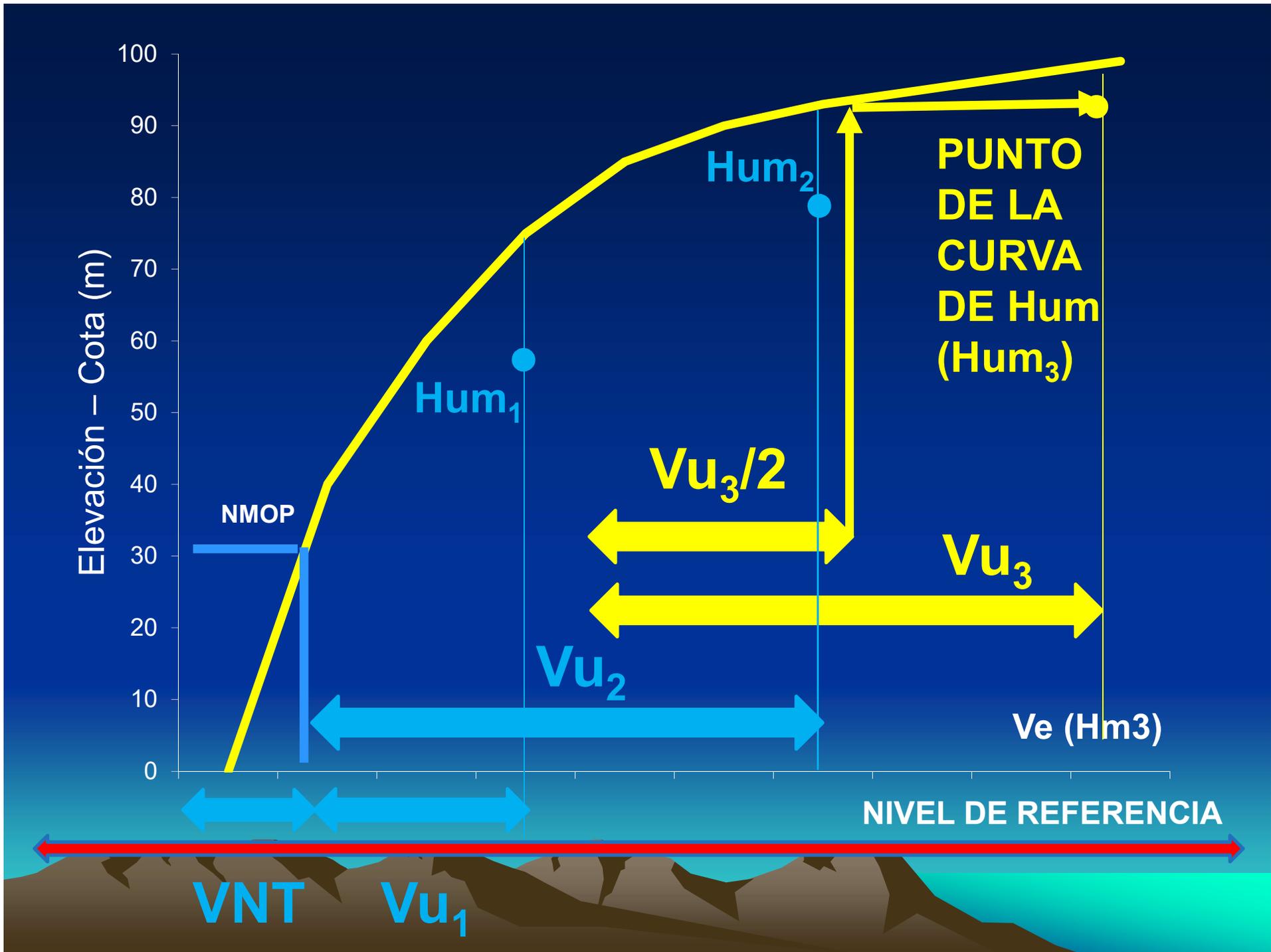
$Vu_1$

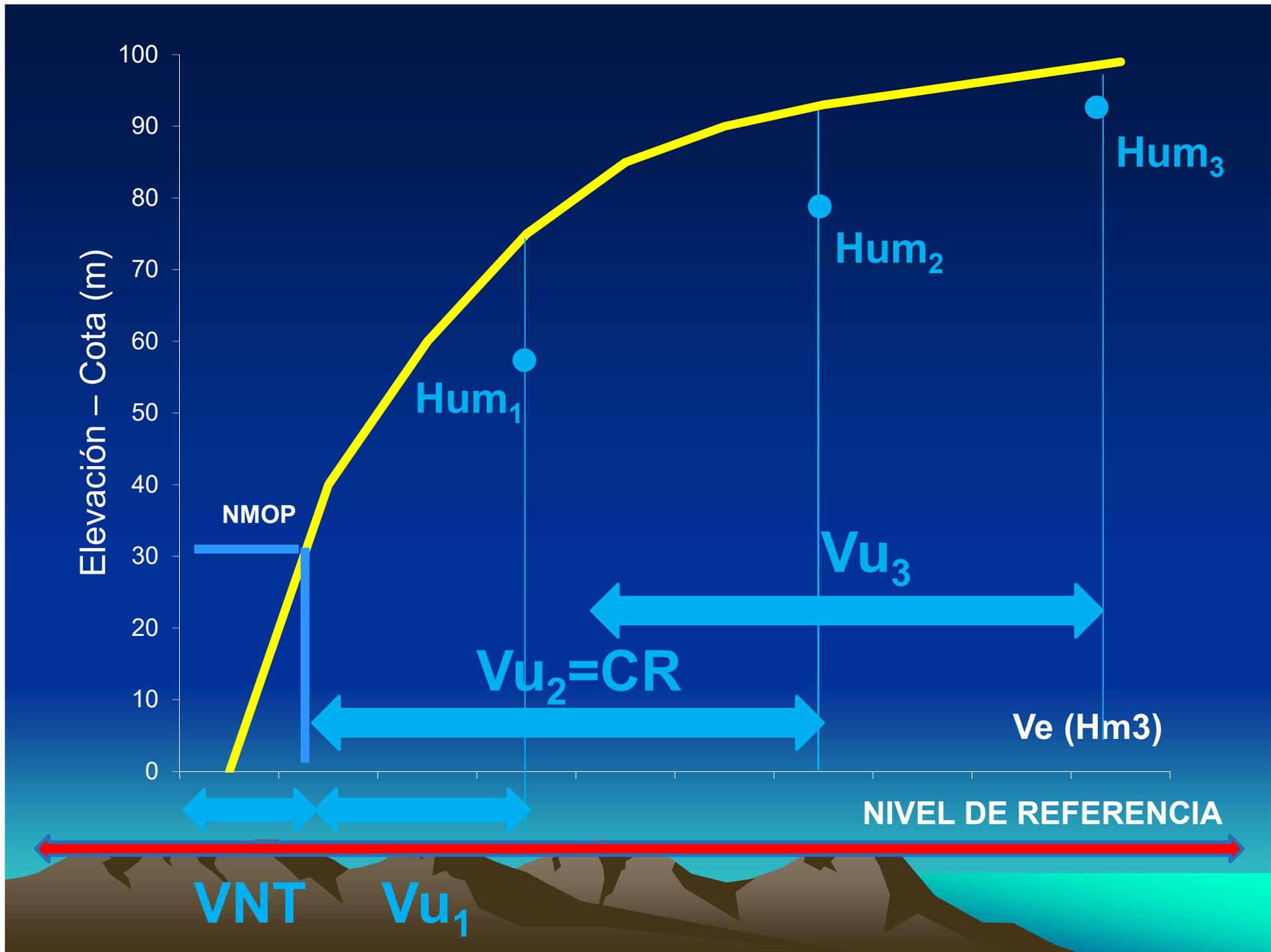
**EJEMPLO:**

- 4. PARA CADA VALOR DE  $Vu$  TRAZADO
- Marco  $Vu/2$ ;
- Levanto una vertical hasta la curva de volumen elevación;
- 5. PARA CADA VALOR DE  $Vu/2$  QUE INTERCEPTÓ LA CURVA TRAZO UNA HORIZONTAL HASTA LA VERTICAL DE  $Vu$ .









**EJEMPLO:**

**6.MIDO LA Hum PARA CADA VALOR DE Vu. GRAFICO LA CURVA DE Hum.**

Elevación - Cota (m)

100  
90  
80  
70  
60  
50  
40  
30  
20  
10  
0

NMOP

Hum<sub>1</sub>

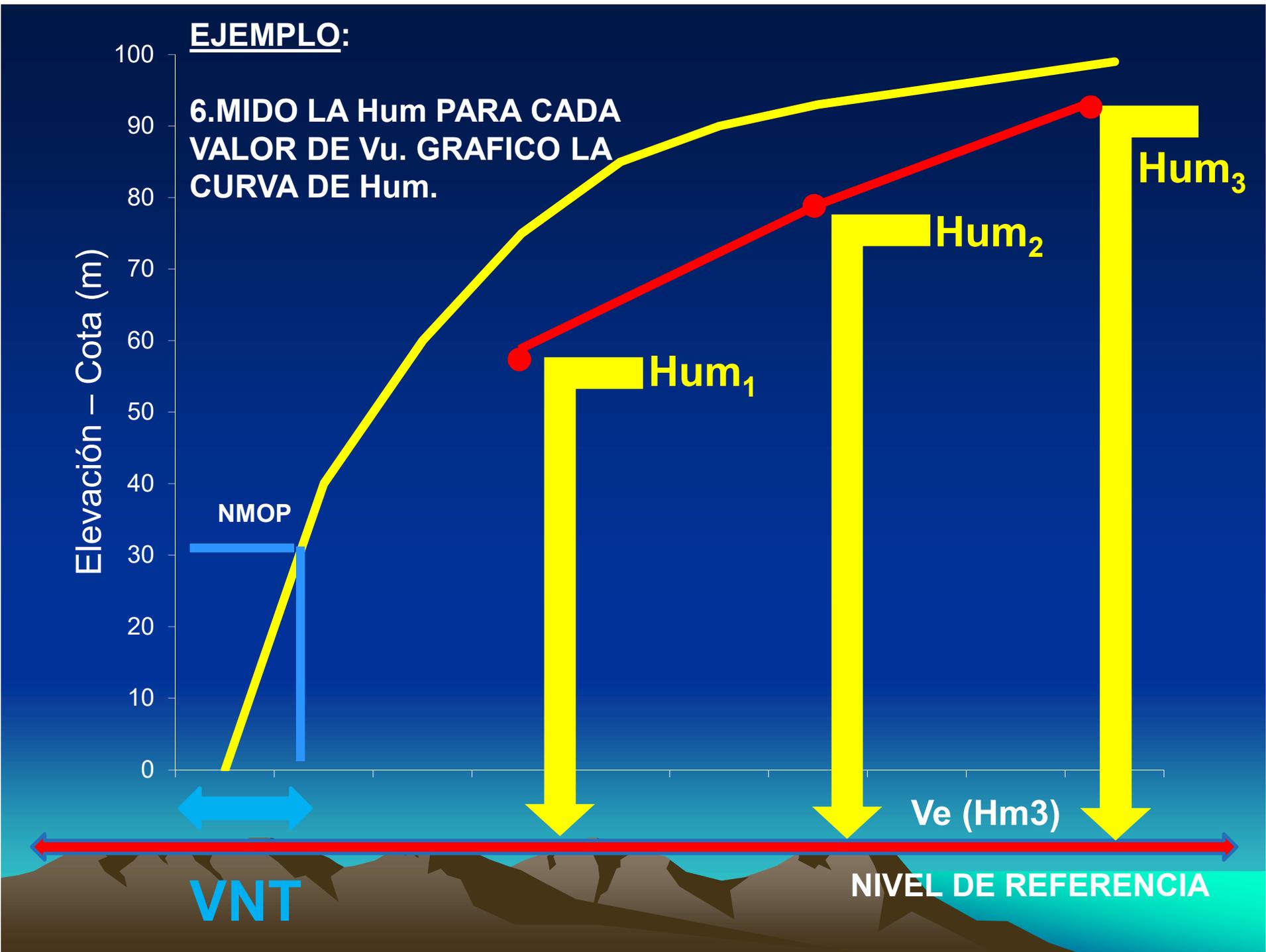
Hum<sub>2</sub>

Hum<sub>3</sub>

Ve (Hm3)

VNT

NIVEL DE REFERENCIA

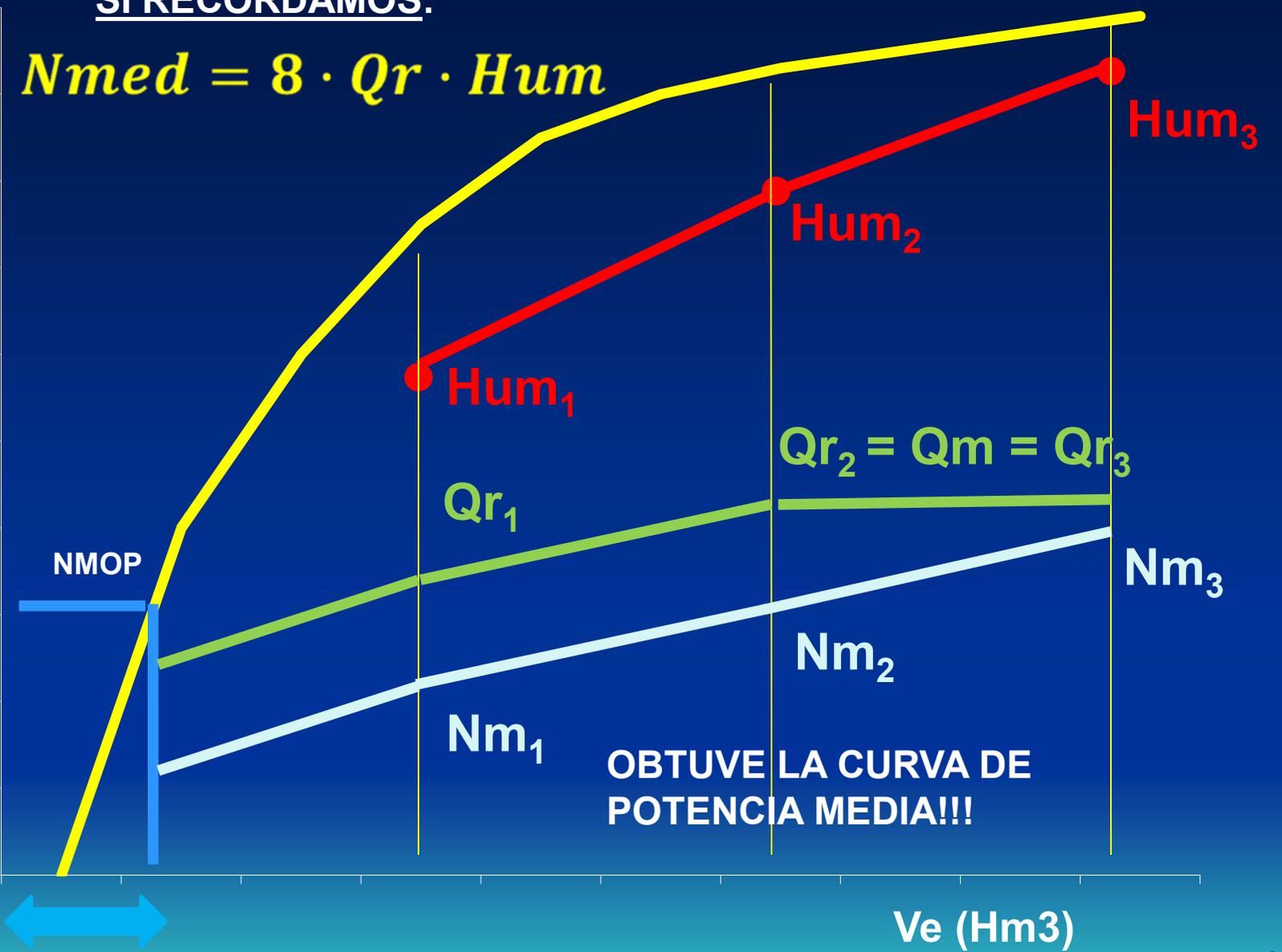


SI RECORDAMOS:

$$N_{med} = 8 \cdot Q_r \cdot H_{um}$$

Elevación – Cota (m) / Hum / Qr / Nmed

100  
90  
80  
70  
60  
50  
40  
30  
20  
10  
0



OBTUVE LA CURVA DE POTENCIA MEDIA!!!

Ve (Hm3)

VNT

NIVEL DE REFERENCIA

# ESTUDIO ECONÓMICO PARA DETERMINAR LA ALTURA DE LA PRESA

• SE ANALIZARÁ AHORA LOS COSTOS DE LA ENERGÍA HIDRÁULICA PRODUCIDA EN FUNCIÓN DE LA ALTURA DE LA PRESA → INTERVIENEN:

• **GASTOS DE EXPLOTACIÓN** (APROX. NO VARIAN CON H):

**A (\$/kwh)**

• **GASTOS DEL SERVICIO DEL CAPITAL INVERTIDO EN LAS OBRAS (MENOS LA PRESA)** - (APROX. NO VARIAN SUSTANCIALMENTE CON H):

**B (\$/kwh)**

• **GASTOS DEL SERVICIO DEL CAPITAL INVERTIDO EN LA PRESA** - (VARIAN SUSTANCIALMENTE CON H):

**C (\$/kwh)**



# ESTUDIO ECONÓMICO PARA DETERMINAR LA ALTURA DE LA PRESA

EN PRINCIPIO EL VALOR DE C SE PUEDE EXPRESAR:

$$C(\$/kwh) = \frac{Sc}{Ea} = \frac{r \cdot Cu \cdot Vp}{Ea}$$

$r$  = Razón o Tasa de Servicio =  $a + i$

$i$  = Tasa de interés

$a$  = Tasa de amortización =  $\frac{i}{(1+i)^{n-1}}$

Costo de la Presa =  $Vp \times Cu$

$Vp$  (m<sup>3</sup>) = Volumen de la presa

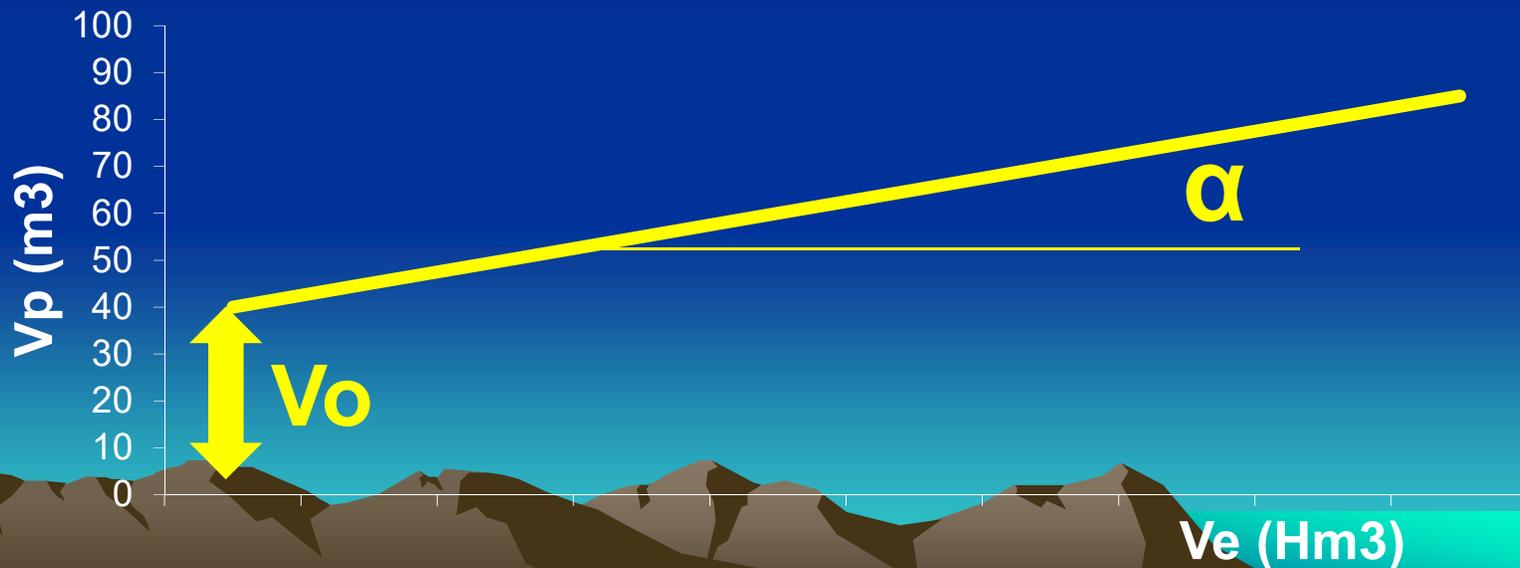
$Cu$  (\$/m<sup>3</sup>) = Costo unitario de la presa

# ESTUDIO ECONÓMICO PARA DETERMINAR LA ALTURA DE LA PRESA

EL VOLUMEN DE LA PRESA EN GENERAL Y DENTRO DE LA ZONA A ESTUDIAR OBEDECE A UNA VARIACIÓN LINEAL CON RESPECTO AL VOLUMEN EMBALSADO:

$$V_p(m^3) = V_o(m^3) + V_e(Hm^3) \cdot V_1(m^3/Hm^3)$$

**V1** = Coeficiente angular interpretado en m<sup>3</sup> de material / Hm<sup>3</sup> de agua embalsada = **tan α**



# ESTUDIO ECONÓMICO PARA DETERMINAR LA ALTURA DE LA PRESA

EL COSTO UNITARIO DE LA ENERGÍA HIDRÁULICA “CUE”

$$CUE(\$/kwh) = A + B + C = A + B + \frac{r \cdot Cu \cdot Vp}{Ea}$$

$$CUE = A + B + \frac{r \cdot Cu}{Nmed \cdot T} \cdot (Vo + Ve \cdot V1)$$

$$CUE = A + B + \frac{r \cdot Cu}{Nmed \cdot 8760} \cdot (Vo + Ve \cdot V1)$$



# ESTUDIO ECONÓMICO PARA DETERMINAR LA ALTURA DE LA PRESA

Multiplico por la  $N_{med}$

$$N_{med} \cdot CUE = (A + B) \cdot N_{med} + \frac{r \cdot Cu}{N_{med} \cdot 8760} \cdot (V_o + V_e \cdot V_1) \cdot N_{med}$$

Diferenciando

$$N_{med} \cdot dCUE + CUE \cdot dN_{med} = (A + B) \cdot dN_{med} + \frac{r \cdot Cu}{8760} \cdot V_1 \cdot dV_e$$

Pues A, B y  $V_o$  permanecen constantes, así como  $V_1$

Dividiendo por  $dN_{med}$

$$\frac{N_{med} \cdot dCUE}{dN_{med}} + CUE = (A + B) + \frac{r \cdot Cu}{8760} \cdot V_1 \cdot \frac{dV_e}{dN_{med}}$$

# ESTUDIO ECONÓMICO PARA DETERMINAR LA ALTURA DE LA PRESA

$$\frac{N_{med} \cdot dCUE}{dN_{med}} + CUE = (A + B) + \frac{r \cdot Cu}{8760} \cdot V1 \cdot \frac{dVe}{dN_{med}}$$

$$\frac{N_{med} \cdot dCUE}{dN_{med}} = (A + B) + \frac{r \cdot Cu}{8760} \cdot V1 \cdot \frac{dVe}{dN_{med}} - CUE$$

Reemplazo CUE

$$\begin{aligned} & \frac{N_{med} \cdot dCUE}{dN_{med}} \\ &= (A + B) + \frac{r \cdot Cu}{8760} \cdot V1 \cdot \frac{dVe}{dN_{med}} - (A + B) - \frac{r \cdot Cu}{8760 \cdot N_{med}} \cdot (V0 + Ve \cdot V1) \end{aligned}$$

# ESTUDIO ECONÓMICO PARA DETERMINAR LA ALTURA DE LA PRESA

$$\frac{N_{med} \cdot dCUE}{dN_{med}}$$

$$= \cancel{(A + B)} + \frac{r \cdot Cu}{8760} \cdot V1 \cdot \frac{dVe}{dN_{med}} - \cancel{(A + B)} - \frac{r \cdot Cu}{8760 \cdot N_{med}} \cdot (Vo + Ve \cdot V1)$$

$$\frac{dCUE}{dN_{med}} = \frac{1}{N_{med}} \cdot \left[ \frac{r \cdot Cu}{8760} \cdot V1 \cdot \frac{dVe}{dN_{med}} - \frac{r \cdot Cu}{8760 \cdot N_{med}} \cdot (Vo + Ve \cdot V1) \right]$$

Para que CUE pase por un mínimo  $\frac{dCUE}{dN_{med}}$  debe anularse, por lo cual el término entre corchetes debe ser igual a 0.



# ESTUDIO ECONÓMICO PARA DETERMINAR LA ALTURA DE LA PRESA

$$\left[ \frac{r \cdot Cu}{8760} \cdot V1 \cdot \frac{dVe}{dNmed} - \frac{r \cdot Cu}{8760 \cdot Nmed} \cdot (Vo + Ve \cdot V1) \right] = 0$$

$$\frac{r \cdot Cu}{8760} \cdot V1 \cdot \frac{dVe}{dNmed} = \frac{r \cdot Cu}{8760 \cdot Nmed^*} \cdot (Vo + Ve^* \cdot V1)$$

$$\frac{dVe}{dNmed} = \frac{1}{Nmed^*} \cdot \left( \frac{Vo}{V1} + Ve^* \right)$$

$$\frac{dNmed}{dVe} = \frac{Nmed^*}{\left[ \frac{Vo}{V1} + Ve^* \right]}$$

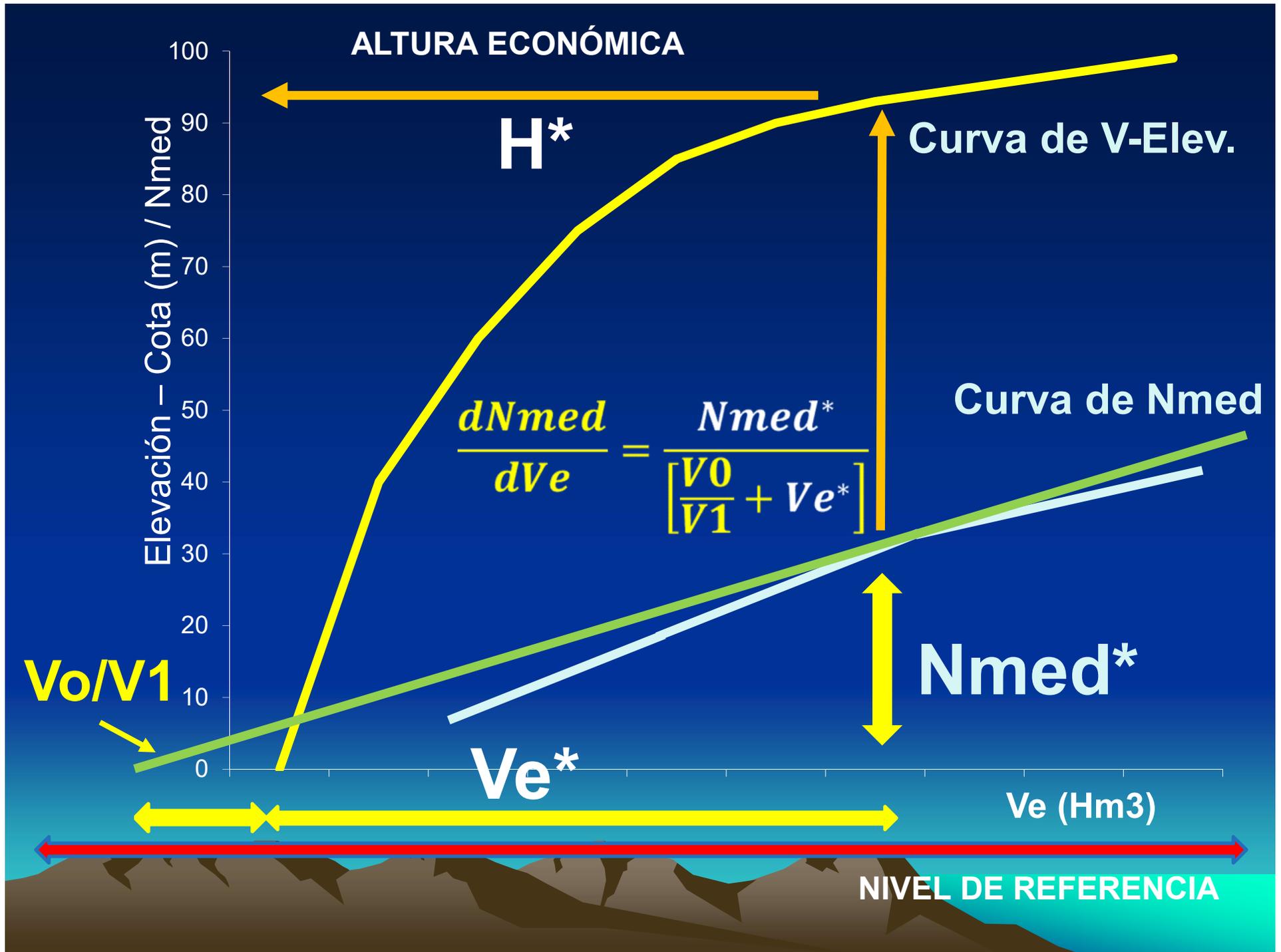
# ESTUDIO ECONÓMICO PARA DETERMINAR LA ALTURA DE LA PRESA

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

LA EXPRESIÓN SE CUMPLE PARA LOS VALORES DE  $N_{med}$  y  $V_e$  QUE HACEN MÍNIMO EL VALOR DEL COSTO DE LA ENERGÍA.



**$N_{med}^*$  y  $V_e^*$  SON PRECISAMENTE LOS VALORES DE LA SOLUCIÓN ECONÓMICA.**



# ESTUDIO ECONÓMICO PARA DETERMINAR LA ALTURA DE LA PRESA

PARA ESTA ALTURA ECONÓMICA  $H^*$  EL PRECIO DE LA ENERGÍA OBTENIDA (CUE) DEBE COMPARARSE CON EL PRECIO DE LA ENERGÍA ALTERNATIVA (POR EJ: TÉRMICA).

**DE ESTA COMPARATIVA PODRÁ SURGIR LA CONVENIENCIA DE HACER LA PRESA MAS ELEVADA, CON EL CONSIGUIENTE AUMENTO DE ENERGÍA A PRODUCIR.**



# GRACIAS!!!!

## Cátedra de Hidráulica Aplicada (CI453)

### BIBLIOGRAFÍA

[1] VEN TE CHOW (1994) Hidrología Aplicada. Editorial McGRAW-HILL INTERAMERICANA S.A. Santa Fé de Bogotá – Colombia.

[2] INGENIERO COTTA ROBERTO DIEGO (1970) Clases de Máquinas Hidráulicas y Aprovechamientos Hidroeléctricos. CEILP.

[3] LINSLEY R. K. AND FRANZINI J. B. (1979) Water Resources Engineering. McGraw-Hill. New York.

