

HIDRÁULICA FLUVIAL

Prof. Ada Moreno Barrios

EJERCICIO PREDIMENSIONAMIENTO DE DIQUES DE TIERRA COMPACTADA

Para las fundaciones mostradas, se tiene:

NAN = 550.00 m FETCH = 10500.00 m

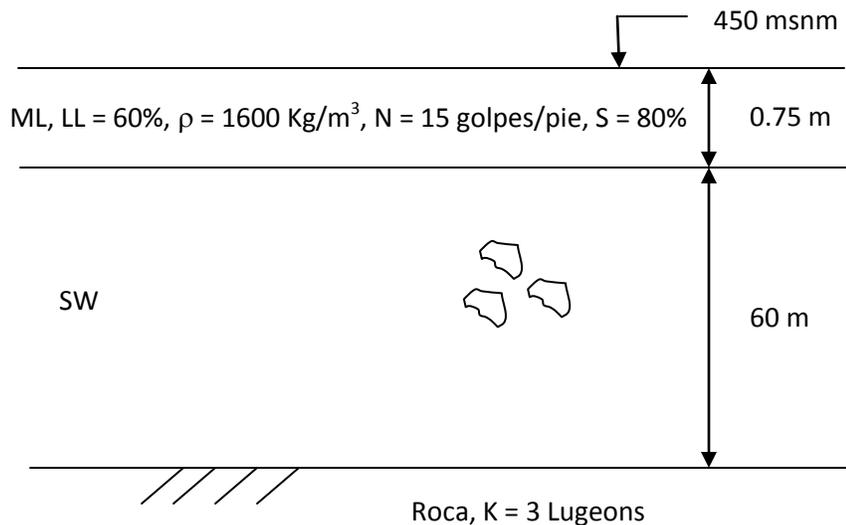
NAMx = 560.00 m FETCH = 14000.00 m

NAMin = 465.00 m FETCH = 5250.00 m

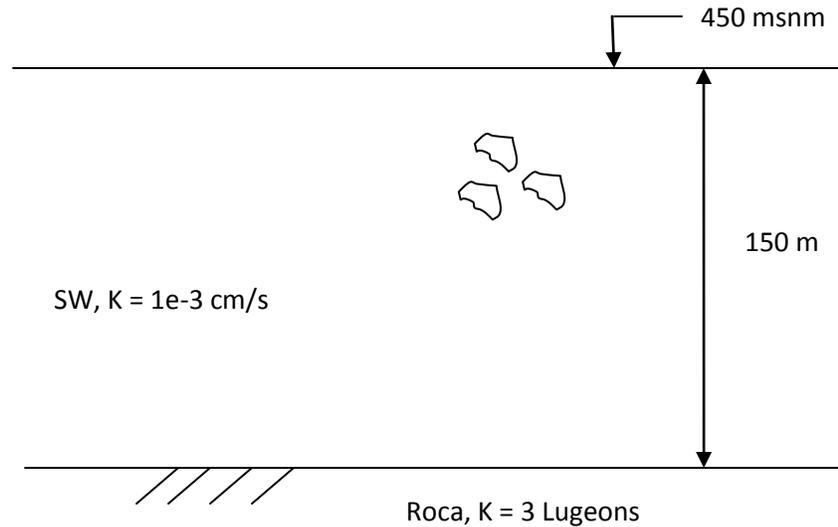
Determine:

- Tratamiento de fundaciones
- Predimensionamiento
- Diseño de las protecciones
- Dibujos de las presas y sus dimensiones

FUNDACIÓN 1. Presa Homogénea de material SC, presa sujeta a desembalses rápidos, poca presencia de roca en la zona.



FUNDACIÓN 2. Presa Zonificada de núcleo SC y espaldones SW, presencia abundante de rocas, no estará sujeta a desembalses rápidos.



SOLUCIÓN:

Fundación 1. Diseño de presa homogénea con SC.

a. Tratamiento de la fundación:

Fundación expuesta: Arena arcillosa (SC) que conforma una fundación de grano fino. Se debe estudiar en primer lugar si el grado de saturación (S) corresponde a un material saturado o relativamente seco.

$S = 80\% < 95\%$ Por lo tanto se trata de una fundación de grano fino no saturada o relativamente

Seca

El procedimiento de tratamiento será el siguiente:

- Recomendar el cambio de emplazamiento del dique.
- En caso de no ser posible mudar de sitio la presa, se estudia el espesor del estrato de grano fino:
 - o Como $D = 0.75 \text{ m} < 1.0 \text{ m}$; se decide excavar en su totalidad el estrato fino, y fundar en el material subyacente. La excavación debe realizarse en la zona de contacto presa - fundación.

Nueva fundación expuesta: Arena bien gradada (SW) que representa una fundación de grano grueso. En este tipo de material el principal problema a tratar es la alta permeabilidad, por lo que se recomiendan y diseñan obras de impermeabilización de la fundación.

La carga hidráulica será:

$$H = \text{NAMx} - \text{Cota de fundación}$$

Donde la cota de fundación fue modificada al realizar la excavación del estrato de grano fino, quedando en:

$$\text{Cota de fundación} = (450 - 0.75) \text{ msnm} = 449.25 \text{ msnm}$$

Por lo tanto:

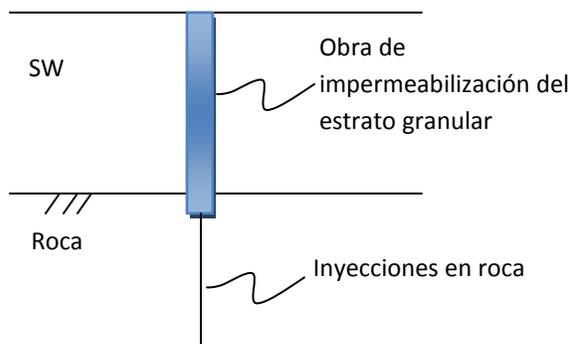
$$H = (560 - 449.25) \text{ m} \quad H = 110.75 \text{ m}$$

El espesor del estrato permeable es $D = 60.00 \text{ m}$; donde el estrato subyacente al mismo está compuesto por roca permeable con $K = 3 \text{ Lugeons} > 1 \text{ Lugeón}$.

Debido a que $H > D$, el tratamiento recomendado trabajará el estrato granular en toda su profundidad, y adicionalmente se hará tratamiento en la roca permeable.

En definitiva se recomienda:

- Tratamiento total del estrato granular, con profundidad $P = (60 + 1) \text{ m}$
- Tratamiento de inyecciones de solución inestable a la roca con profundidad p' :
 $P = (110.75 - 61) \text{ m} = 49.75 \text{ m}$



Obras de impermeabilización recomendadas para el estrato granular:*

1. Dentellón con profundidad de 25 m, combinado con alguna de las siguientes opciones:
Inyecciones de solución estable con profundidad de 36 m.
Pilotes entrelazados con profundidad de 36 m.
2. Inyecciones estables con profundidad de 61 m.
3. Pilotes entrelazados con profundidad de 61 m.

* Se debe elegir una sola alternativa, al momento de diseñar el tratamiento.

Suponiendo que se elija el dentellón combinado con soluciones estables:

Dentellón con profundidad de 25 m:

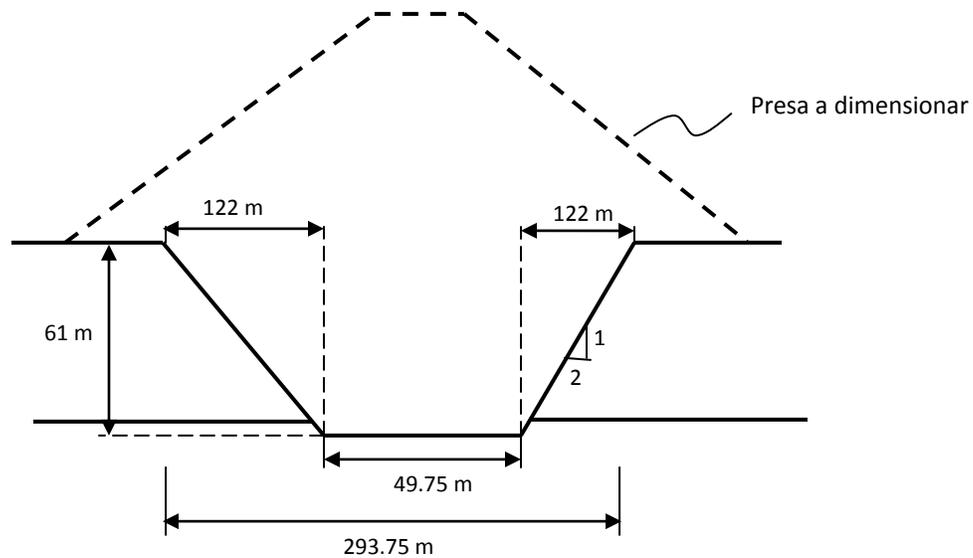
Ancho de base B:

$$B = H - D = (110.75 - 61) \text{ m} = 49.75 \text{ m}$$

Inclinación de los taludes:

Dependen del tipo de material que se encuentre en la fundación, sin embargo puede recomendarse un talud conservador de 2:1 (2 metros en horizontal por cada metro en vertical)

Con estas dimensiones el dentellón quedaría de la siguiente manera:



Inyecciones estables con profundidad de 36 m:

Las inyecciones se realizarán en 4 hileras con las siguientes proporciones de mezcla:

Cortinas exteriores:	20% Arcilla	Cortinas Interiores:	25% Arcilla
	14% Cemento		70% Agua
	66% Agua		5% Silicato de Sodio

b. Predimensionamiento de una presa homogénea construida con SC.

Altura Z:

$$Z = \left\{ \begin{array}{l} \text{NAN} - \text{Cota de fondo} + \text{BLnormal}^{**} \\ \text{ó} \\ \text{NAMx} - \text{Cota de fondo} + \text{BLminimo}^{**} \end{array} \right\} \text{ Tomar el mayor valor}$$

** Modificación de la fórmula si las alturas características del embalse vienen dadas en msnm.

La protección del talud de aguas arriba será lisa, debido a que la poca presencia de rocas impide realizar un enrocado volcado o colocado a mano.

Según la ASCE (American Society of Civil Engineers)

$BL = K \times h_o$ Donde $K = 2.5$ y h_o se obtiene interpolando en la tabla.

Borde Libre Normal:

Fetch (Km)	Vv (Km/h)	ho (m)
8	160	1.46
10.5	160	1.59
16	160	1.86

Borde Libre Mínimo:

Fetch (Km)	Vv (Km/h)	ho (m)
8	80	1.13
14	80	1.31
16	80	1.37

$$BL_{\text{normal}} = 2.5 \times 1.59 \text{ m} = 3.98 \text{ m}$$

$$BL_{\text{minimo}} = 2.5 \times 1.31 \text{ m} = 3.28 \text{ m}$$

Según USBR (United States Bureau of Reclamation)

Para protección de enrocado volcado en el talud de aguas arriba:

Borde Libre Normal:

Fetch (Km)	BLnormal (m)
8	2.45
10.5	2.64
16	3.05

Borde Libre Mínimo:

Fetch (Km)	ho (m)
8	1.85
14	2.10
16	2.15

Para protecciones lisas, se debe corregir los bordes libres de las tablas anteriores:

$$BL_{\text{protección lisa}} = FC \times BL_{\text{enrocado volcado}} = 2.0 \times BL_{\text{enrocado volcado}}$$

$$BL_{\text{normal}}|_{\text{protección lisa}} = 2.0 \times 2.64 \text{ m} = 5.28 \text{ m}$$

$$BL_{\text{mínimo}}|_{\text{protección lisa}} = 2.0 \times 2.10 \text{ m} = 4.20 \text{ m}$$

Según ASCE:

$$Z = \left\{ \begin{array}{l} (550 - 449.25 + 3.98) \text{ m} = 104.73 \text{ m} \\ \text{ó} \\ (560 - 449.25 + 3.28) \text{ m} = \mathbf{114.03 \text{ m}} \end{array} \right\} \quad \text{Tomar el mayor valor}$$

Según USBR:

$$Z = \left\{ \begin{array}{l} (550 - 449.25 + 5.28) \text{ m} = 106.03 \text{ m} \\ \text{ó} \\ (560 - 449.25 + 4.20) \text{ m} = \mathbf{114.95 \text{ m}} \end{array} \right\} \quad \text{Tomar el mayor valor}$$

$$Z = 114.95 \text{ m}$$

🚧 Contraflecha z:

$$z = Z/100 = 114.95 \text{ m}/100 = 1.15 \text{ m}$$

$$Z_{\text{total}} = (114.95 + 1.15) \text{ m} = 116.1 \text{ m} \cong \mathbf{116.5 \text{ m}}$$

🚧 Ancho de cresta W:

Para presas grandes ($Z > 15 \text{ m}$)

$$W = \left\{ \begin{array}{l} 20.00 \text{ m} \\ \text{ó} \\ 3.6 \sqrt[3]{Z} - 3.00 = 3.6 \sqrt[3]{116.5 \text{ m}} - 3.00 = 14.58 \text{ m} \end{array} \right\} \quad \text{Tomar el menor valor}$$

$$W = \mathbf{14.60 \text{ m}}$$

✚ Taludes de la presa:

Tipo de presa: Homogénea modificada, pues la altura Z es mayor a 10 m. Se debe diseñar un dren de chimenea debido a que $Z > 45$ m. Se elige un dren de chimenea inclinado hacia aguas arriba.

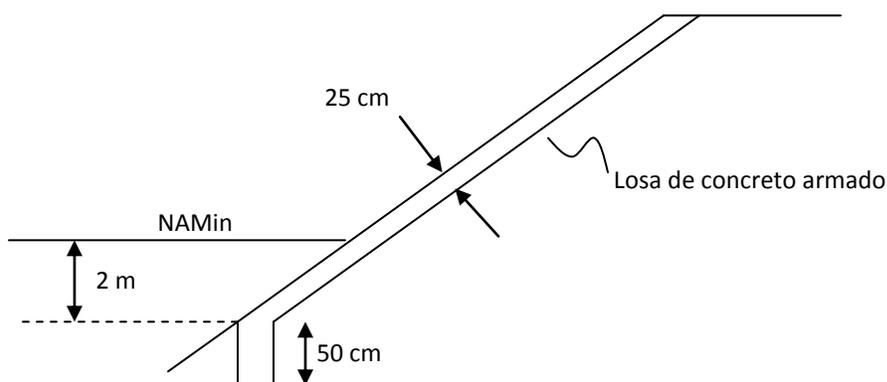
El punto de arranque del dren de chimenea estará a una distancia ($Z + 1.5$ m = 116.5 m + 1.5 m = 118 m) del eje de presa.

Según la Tabla 8.3, y considerando que la presa estará sujeta a desembalses rápidos, se tienen que los taludes de aguas arriba y abajo tendrán las inclinaciones respectivas: **3:1 y 2:1**

c. Protecciones

- Cresta: Se recomienda protección basada en una capa de grava o piedra picada de 15 cm de espesor, con un bombeo hacia aguas arriba del 2%.
- Talud de aguas abajo: Se recomienda la colocación de una capa de grava o cascajos de roca resultantes de los trabajos de construcción del dren con mortero de cemento, y un espesor de 5 cm, adicionalmente se plantea la construcción de un canal de drenaje ubicado a todo lo largo del pie de presa, que sea capaz de desalojar las aguas provenientes de la precipitación caída sobre el talud de aguas abajo.
- Talud de aguas arriba:

Revestimiento de concreto: Losa monolítica con espesor de 25 cm, reforzada con malla trucson con área relativa de acero de 0.5% en ambas direcciones. Se debe colocar un cabezal de concreto, prolongado 50 cm por debajo del nivel inferior del revestimiento.



d. Dibujo detallado

Fundación 2. Diseño de presa zonificada con SC en núcleo y SW en espaldones.

a. Tratamiento de la fundación:

Fundación expuesta: Arena bien gradada (SW) que conforma una fundación de grano grueso. Se debe recomendar la impermeabilización de la fundación.

La carga hidráulica será:

$$H = \text{NAMx} - \text{Cota de fundación}$$

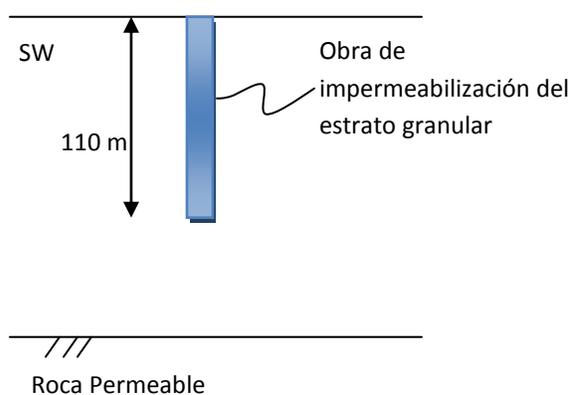
$$H = (560 - 450) \text{ m} \quad H = 110 \text{ m}$$

El espesor del estrato permeable es $D = 150.00 \text{ m}$; donde el estrato subyacente al mismo está compuesto por roca permeable con $K = 3 \text{ Lugeons} > 1 \text{ Lugeón}$.

Debido a que $H < D$, el tratamiento recomendado trabajará el estrato granular de forma parcial (tratamiento parcial), afectando una profundidad igual a la carga hidráulica.

En definitiva se recomienda:

- Tratamiento parcial del estrato granular, con profundidad $P = 110 \text{ m}$



Obras de impermeabilización recomendadas para el estrato granular:*

1. Dentellón con profundidad de 25 m, combinado con alguna de las siguientes opciones:
Inyecciones de solución estable con profundidad de 85 m.
Pilotes entrelazados con profundidad de 85 m.
2. Inyecciones estables con profundidad de 110 m.
3. Pilotes entrelazados con profundidad de 110 m.
4. Carpeta impermeable

* Se debe elegir una sola alternativa, al momento de diseñar el tratamiento.

Suponiendo que se elija la carpeta impermeable:

Carpeta Impermeable:

Asumiendo que el estudio de las redes de flujo en el sistema presa – fundación arroja un caudal de infiltración (q) de 20m³/s/m, se procede a diseñar la carpeta impermeable, para disminuir el caudal a 0.25 m³/s/m.

$$B' = \frac{KoDH - pqB}{pq} = \frac{\left(1e - 5 \frac{m}{s}\right) (150m)(110m) - (0.0125) \left(0.02 \frac{m^2}{s}\right) (B)}{(0.0125)(0.02m^2/s)}$$

$$B' (m) = 660 - B$$

$$e = 0.6 + X/100$$

e (m)	X (m)	e (m)	X (m)
1.00	0	1.60	100
1.00	25	1.85	125
1.10	50	2.10	150

b. Predimensionamiento de una presa zonificada construida con SC y SW.

Altura Z:

$$Z = \left\{ \begin{array}{l} \text{NAN} - \text{Cota de fondo} + \text{BLnormal}^{**} \\ \text{ó} \\ \text{NAMx} - \text{Cota de fondo} + \text{BLmínimo}^{**} \end{array} \right\} \text{ Tomar el mayor valor}$$

** Modificación de la fórmula si las alturas características del embalse vienen dadas en msnm.

La protección del talud de aguas arriba será enrocado volcado, debido a que existe abundante presencia de rocas.

Según la ASCE (American Society of Civil Engineers)

BL = K x ho Donde K = 1.5 y ho se obtiene interpolando en la tabla.

Borde Libre Normal:

Borde Libre Mínimo:

Fetch (Km)	Vv (Km/h)	ho (m)
8	160	1.46
10.5	160	1.59
16	160	1.86

Fetch (Km)	Vv (Km/h)	ho (m)
8	80	1.13
14	80	1.31
16	80	1.37

$$BL_{normal} = 1.5 \times 1.59 \text{ m} = 2.39 \text{ m}$$

$$BL_{minimo} = 1.5 \times 1.31 \text{ m} = 1.97 \text{ m}$$

Según USBR (United States Bureau of Reclamation)

Para protección de enrocado volcado en el talud de aguas arriba:

Borde Libre Normal:

Fetch (Km)	BLnormal (m)
8	2.45
10.5	2.64
16	3.05

$$BL_{normal}^{\text{enrocado volcado}} = 2.64 \text{ m}$$

$$BL_{minimo}^{\text{enrocado volcado}} = 2.10 \text{ m}$$

Borde Libre Mínimo:

Fetch (Km)	ho (m)
8	1.85
14	2.10
16	2.15

Según ASCE:

$$Z = \left\{ \begin{array}{l} (550 - 450 + 2.39) \text{ m} = 102.39 \text{ m} \\ \text{ó} \\ (560 - 450 + 1.97) \text{ m} = \mathbf{111.97 \text{ m}} \end{array} \right. \quad \left. \vphantom{Z} \right\} \text{ Tomar el mayor valor}$$

Según USBR:

$$Z = \left\{ \begin{array}{l} (550 - 450 + 2.64) \text{ m} = 102.64 \text{ m} \\ \text{ó} \\ (560 - 450 + 2.10) \text{ m} = \mathbf{112.10 \text{ m}} \end{array} \right. \quad \left. \vphantom{Z} \right\} \text{ Tomar el mayor valor}$$

$$Z = 112.10 \text{ m}$$

🚩 Contraflecha z:

$$z = Z/100 = 112.10 \text{ m}/100 = 1.12 \text{ m}$$

$$Z_{total} = (112.10 + 1.12) \text{ m} = 113.22 \text{ m} \cong \mathbf{113.5 \text{ m}}$$

✚ Ancho de cresta W:

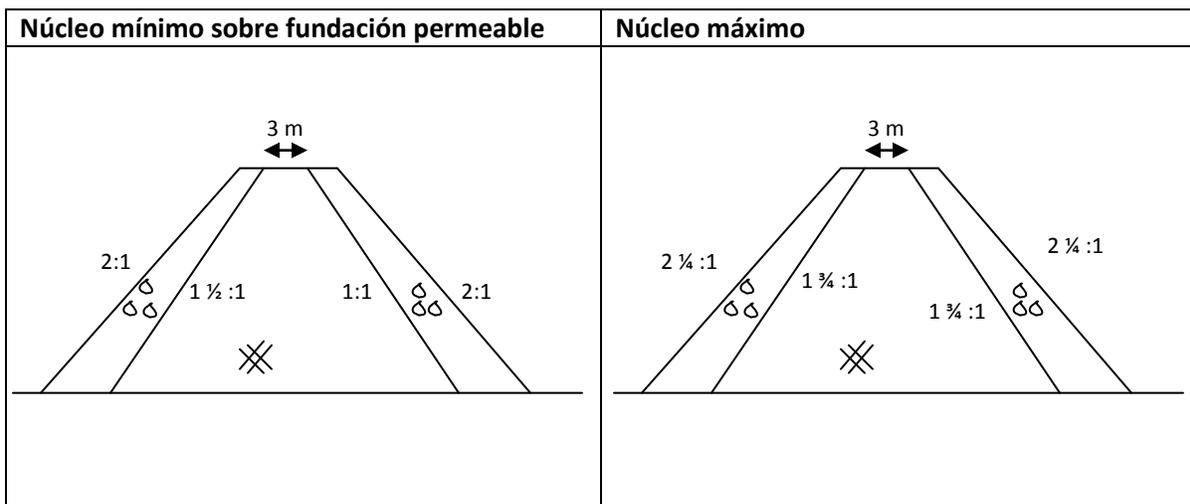
Para presas grandes ($Z > 15$ m)

$$W = \left\{ \begin{array}{l} 20.00 \text{ m} \\ \text{ó} \\ 3.6\sqrt[3]{Z} - 3.00 = 3.6\sqrt[3]{113.5\text{m}} - 3.00 = 14.43\text{m} \end{array} \right\} \quad \text{Tomar el menor valor}$$

W = **14.50 m**

✚ Taludes de la presa:

Tipo de presa: Zonificada.



Según la Tabla 8.4, y considerando que la presa no estará sujeta a desembalses rápidos, se tiene que para un núcleo de SC, los taludes de los espaldones aguas arriba y abajo tendrán igual inclinación de **2 1/4 : 1**

c. Protecciones

- Cresta: Se recomienda protección basada en una capa de grava o piedra picada de 15 cm de espesor, con un bombeo hacia aguas arriba del 2%.
- Talud de aguas abajo: Se recomienda la colocación de una capa de grava o cascajos de roca resultantes de los trabajos de construcción del dren con mortero de cemento, y un espesor de 5 cm, adicionalmente se plantea la construcción de

un canal de drenaje ubicado a todo lo largo del pie de presa, que sea capaz de desalojar las aguas provenientes de la precipitación caída sobre el talud de aguas abajo.

- Talud de aguas arriba:

Enrocado Volcado:

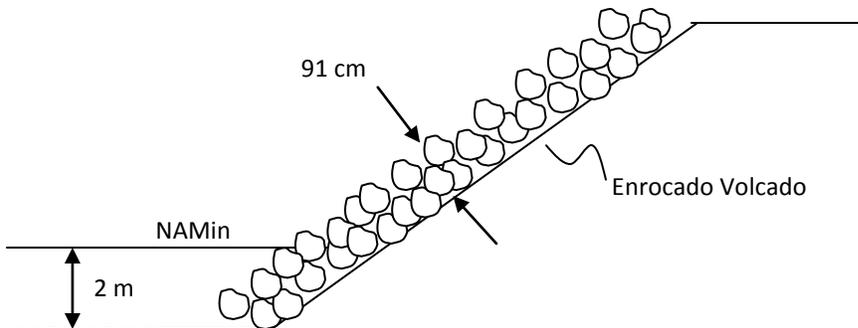
$$W_{min} = \frac{0.0063\gamma_s}{(\gamma_s/\gamma - 1)^3} \left[\frac{ho}{\text{sen}(\alpha_{cr} - \alpha)} \right]^3 = \frac{0.0063(2400)}{(2400/1000 - 1)^3} \left[\frac{1.59}{\text{sen}(65^\circ - 26.6^\circ)} \right]^3 = 36.56Kg$$

Según Sherard:

Altura máxima de la ola (m)	D50 mínimo (cm)	Espesor (cm)
0 – 0.6	25	30
0.6 – 1.2	30	46
1.2 – 1.8	38	61
1.8 – 2.4	46	76
2.4 – 3.0	53	91

Según USBR:

Fetch (Km)	Espesor (cm)	Gradación, % de rocas de varios pesos (Kg)			
		Tamaño Máximo	40-50% mayor que	50-60% entre	0-10% menor que
≤ 4	76	1134	567	34-567	34
> 4	91	2041	1021	45-1021	45



d. Dibujo detallado

