

$$F_D = (0,5 \pi d^2/4)(5,75^2/2)[\log(30,2(d+d')\text{sen}\theta/d)]^2 U^2$$

$$F_D = 0,664 d^2 [\log(30,2(d+d')\text{sen}\theta/d)]^2 U^2 \quad (16)$$

$$F_S = 0,869 d^3 \quad (17)$$

Reemplazando ecs. (16) y (17) en ec. (15), se tiene:

$$0,332 \text{sen}\theta [\log(30,2(d+d')\text{sen}\theta/d)]^2 U^2 = 0,217 \cos\theta d'$$

$$\therefore d' = 1,53 \text{tang}\theta [\log(30,2(d+d')\text{sen}\theta/d)]^2 U^2 \quad (18)$$

Con la condición de equilibrio  $\Sigma F_H = 0$ , se tiene:

$F_D = F_S \text{ tang}\Phi$ , y reemplazando valores:

$$0,664 d^2 [\log(30,2(d+d')\text{sen}\theta/d)]^2 U^2 = 0,869 d'^3 \times 0,577$$

$$\therefore d' = 1,324 [\log(30,2(d+d')\text{sen}\theta/d)]^2 U^2 \quad (18)$$

Se adoptará el valor menor de  $d'$  calculando las expresiones (18) y (18'), las que se resolverán por tanteos.

#### REFERENCIAS

- Einstein H.A. (1950) "The Bed Load Function in Sediment Transport"
- Vega V. Solano (1991) "Fundamentos Mecánicos de la Iniciación del Movimiento en Lechos de Granulometría Gruesa y Extendida" X Congreso Nacional de Hidráulica.
- Rouse H. (1950) "Engineering Hydraulics"

FUNDAMENTOS MECANICOS DE LA ESTABILIDAD DE ENROCADOS SUPUESTOS  
ESFERICOS EN FONDOS Y TALUDES DE LECHOS NATURALES O ARTIFICIALES  
PARA MATERIAL COLOCADO EN CAPAS Y MATERIAL VERTIDO.

SOLANO VEGA VISCHI\*

#### RESUMEN

Se analiza con fundamentos mecánicos puros, las condiciones de estabilidad límite de enrocados en lechos naturales y artificiales, colocados en capas y vertidos, en fondos o radieres, y en taludes.

La colocación en capas, implica poner en su posición definitiva cada roca, a mano o a máquina, y en que la superficie resultante es virtualmente plana y cerrada. Cada elemento de esta superficie se encuentra rodeado por otros semejantes, agrupados en la forma más compacta posible.

Por otra parte, en el material vertido o vaciado, los elementos quedan dispuestos en forma no solidaria, particularmente los expuestos en la cara exterior del relleno, los que no solo deben soportar fuerzas tractivas mayores que los colocados en capas, sino además, su estabilidad depende exclusivamente de la componente de fricción que reciben de los elementos en que se apoyan.

Las diferencias de solicitaciones entre ambas categorías, obliga a un aumento considerable de los diámetros para el material vertido, particularmente en los taludes.

Se presentan los diámetros mínimos para ambos casos en tablas que acompañan este trabajo. Los valores ahí indicados deben ser afectados de un coeficiente de seguridad para ser utilizados en el diseño de protecciones por medio de enrocados.

\* Ing. Civil U. de Ch. SOLANO VEGA Y ASOCS. INGENIEROS CONSULTORES.

I.- INICIACION DEL MOVIMIENTO DE UNA ROCA ESFERICA COLOCADA EN UNA CAPA SIMPLE UNIFORME EN FONDO DE LECHO HORIZONTAL.

Por simplificación analítica, se ha reemplazado la unidad de enrocado por el equivalente esférico del mismo peso.

En Fig. 1, se muestra la posición de una capa simple, con la curva de distribución de velocidades en función a la altura desde el nivel de estagnamiento ( $U=0$ ).

Se calcularán las fuerzas que actúan sobre una partícula esférica, designada como partícula 1 (achurada), considerando que el Bernoulli es constante en la sección de interés.

Al existir una velocidad media  $U_y$  en el hemisferio superior, se tendrá para  $y = d/4$  una velocidad que se expresará de acuerdo a la distribución logarítmica de von Karman, con las constantes de Keulegan para lecho áspero. (EINSTEIN 1950)

$$U_y = 5,75 \log(30,2 y/k_g) U^* \quad (1)$$

para  $y = d/2$ ,  $k_g = d/2$ , se tiene:

$$U_y = 5,75 \log(30,2) U^* = 8,51 U^* \quad (2)$$

$$k_g = \text{rugosidad} = d/2$$

$$U^* = \sqrt{gRJ}$$

R = radio hidr.

J = pendiente del plano de carga.

La velocidad media en el hemisferio superior de partícula 1 será  $U'_y = U_y/2 = 4,255 U^*$ . Este aumento de velocidad entre base de semiesfera y su coronamiento, por constancia del B, implica una disminución de presión  $-\Delta p$  tal que:

$$-\Delta p = \gamma_a U'^2 / 2g = \gamma_a (4,255 U^*)^2 / 2g = \gamma_a 0,923 U^{*2} \quad (3)$$

en  $\gamma_a = \text{peso especif. agua} = 1 \text{ ton/m}^3$

Como consecuencia de esta disminución de presión, se tendrá una fuerza vertical  $F_L$  que trata de levantar la roca:

$$F_L = \pi d^2 \Delta p / 4 = 0,725 \gamma_a d^2 U^{*2} \quad (4)$$

Por otro lado, la esfera 1 está sometida a una fuerza de arrastre

Figura 1

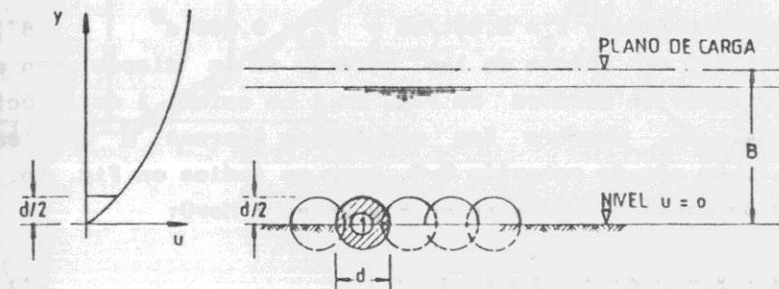
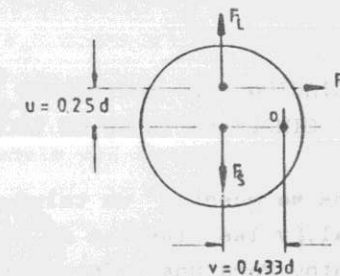
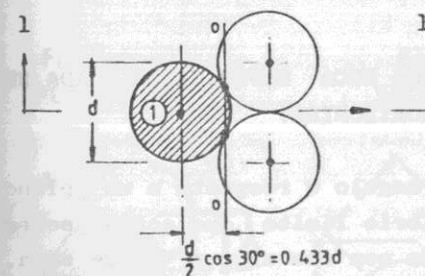


Fig. 2 a  
PLANTA

Fig 2b  
SECCION 1 - 1



$F_D$  y al peso propio sumergido  $F_S$ , en que :

$$F_D = [0,5C_D \pi d^2/4][Y_a/g][U'^2 y/2] = 0,0725 d^2 U'^2 \quad (5)$$

En expresión anterior  $C_D = 0,20$  para  $R > 300.000$ ; (ROUSE, 1950) y  $U'_y = 4,255 U^*$ .

$$F_S = (Y_s - Y_a) \pi d^3/6 \quad (6)$$

En expresión anterior,  $Y_s = 2,66t/m^3$  y  $F_S = 0,869 d^3$  (6')

La distribución en planta de las esferas en la disposición más compacta posible se muestra en Fig. 2a. La esfera 1 en Sección 1-1 de Fig. 2a, muestra las siguientes fuerzas a que está sometida, y su eje de rotación O-O, como se indica en Fig. 2b. La situación de equilibrio límite en Fig. 2b es  $\Sigma M_o=0$ :

$$F_D \times 0,25d + F_L \times 0,433d - F_S \times 0,433d = 0 \quad (7)$$

Reemplazando en (7), las expresiones (4), (5) y (6') y despejando d, se tiene:

$$d_{cf} = 0,882 U'^2 = 8,65 RJ \quad (8)$$

El valor dado por (8), es del mismo orden del que resulta de aplicar la función de Shields en régimen turbulento en que  $d = 10 RJ$  (VEGA 1973), con lo que el modelo físico propuesto recibe confirmación experimental.

## II.- INICIACION DEL MOVIMIENTO DE UNA ROCA ESFERICA COLOCADA EN CAPA SIMPLE EN TALUD DE LECHO HORIZONTAL.

En Fig. 3a se muestra un talud con ángulo  $\theta$  respecto a un plano horizontal, y las fuerzas de equilibrio límite que actúan sobre un elemento. Para una esfera colocada con una altura "h" de agua, las ecuaciones (4), (5) y (6') se modifican teniendo en cuenta los siguientes cambios:

a).- Lo que para una esfera del fondo  $U^* = \sqrt{gRJ}$ , en que  $R = KH$ , para talud,  $U^* = \sqrt{gK'h}$ , de donde  $U^* = U^* \sqrt{K'h/KH} \approx U^* \sqrt{h/H}$

Fig 3 a

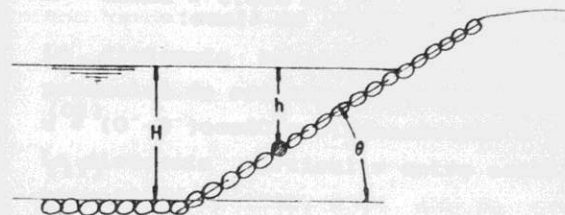


Fig 3 b

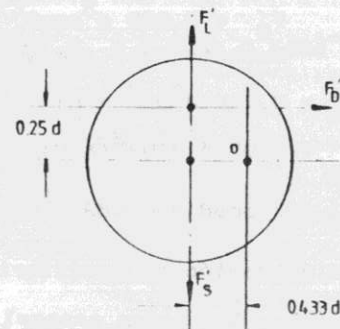


Fig 4

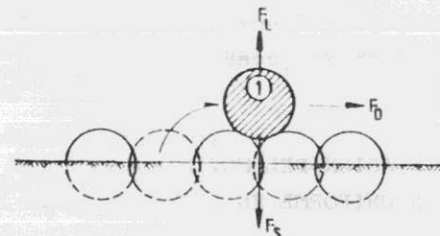
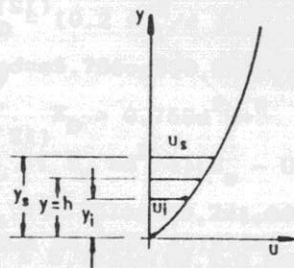
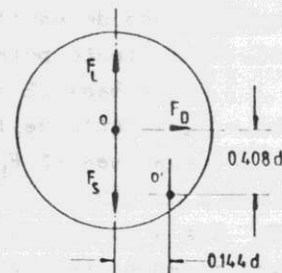
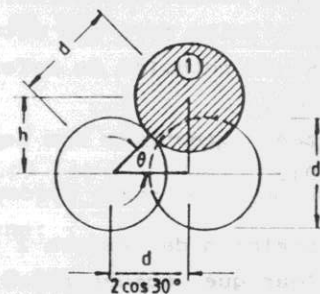
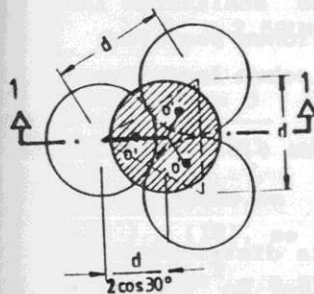


Fig 5 a  
PLANTA

Fig 5 b  
SECCION 1-1

Fig 5 c



$F_D$  y al peso propio sumergido  $F_S$ , en que :

$$F_D = [0,5C_D \pi d^2/4][\gamma_a/\gamma][U^2 y/2] = 0,0725 d^2 U^2 \quad (5)$$

En expresión anterior  $C_D = 0,20$  para  $R > 300.000$ ; (ROUSE, 1950) y  $U'_y = 4,255 U^*$ .

$$F_S = (\gamma_b - \gamma_a) \pi d^3/6 \quad (6)$$

En expresión anterior,  $\gamma_b = 2,66t/m^3$  y  $F_S = 0,869 d^3$  (6')

La distribución en planta de las esferas en la disposición más compacta posible se muestra en Fig. 2a. La esfera 1 en Sección 1-1 de Fig. 2a, muestra las siguientes fuerzas a que está sometida, y su eje de rotación O-O, como se indica en Fig. 2b. La situación de equilibrio límite en Fig. 2b es  $\Sigma M_o=0$ :

$$F_D \times 0,25d + F_L \times 0,433d - F_S \times 0,433d = 0 \quad (7)$$

Reemplazando en (7), las expresiones (4), (5) y (6') y despejando d, se tiene:

$$d_{cf} = 0,882 U^{*2} = 8,65 RJ \quad (8)$$

El valor dado por (8), es del mismo orden del que resulta de aplicar la función de Shields en régimen turbulento en que  $d = 10 RJ$  (VEGA 1973), con lo que el modelo físico propuesto recibe confirmación experimental.

## II.- INICIACION DEL MOVIMIENTO DE UNA ROCA ESFERICA COLOCADA EN CAPA SIMPLE EN TALUD DE LECHO HORIZONTAL.

En Fig. 3a se muestra un talud con ángulo  $\theta$  respecto a un plano horizontal, y las fuerzas de equilibrio límite que actúan sobre un elemento. Para una esfera colocada con una altura "h" de agua, las ecuaciones (4), (5) y (6') se modifican teniendo en cuenta los siguientes cambios:

a).- Lo que para una esfera del fondo  $U^* = \sqrt{gRJ}$ , en que  $R = KH$ , para talud,  $U^* = \sqrt{gK'h}$ , de donde  $U^* = U^* \sqrt{K'h/KH} \approx U^* \sqrt{h/H}$

Fig 3a

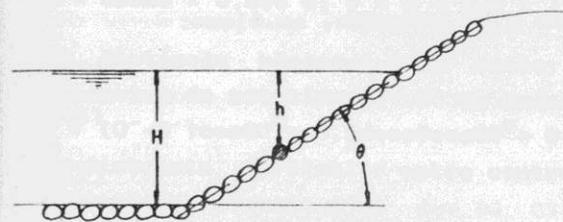


Fig 3b

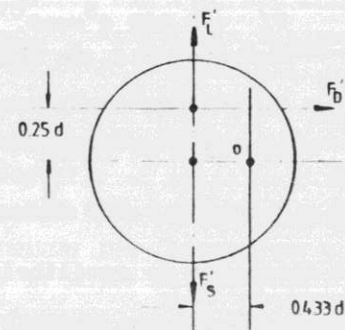


Fig 4

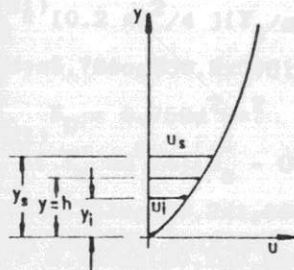


Fig 5 a  
PLANTA

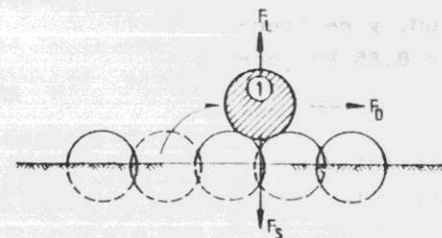
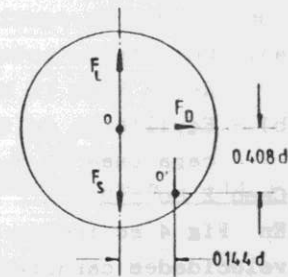
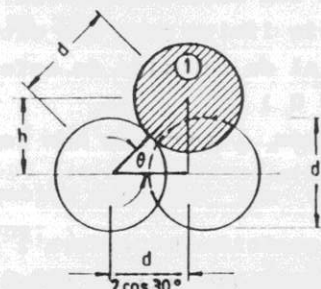
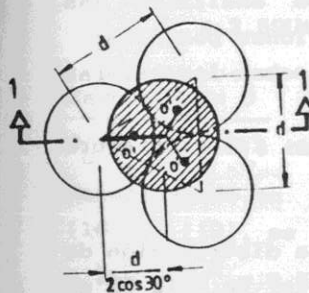


Fig 5 b  
SECCION 1-1

Fig 5 c



b).- La componente del peso  $F_S$ , será la normal al talud, de modo que  $F'_S = F_S \cos \theta$ . Habrá además una componente del peso actuando en la dirección del talud, cuya expresión es  $F'_S = 0,869 d^3 \text{sen} \theta$ , actuando al centro esfera y dando momento nulo. De acuerdo a lo anterior, se tiene:

$$F'_L = 0,725 d^2 U^{*2} (h/H) \quad (9)$$

$$\frac{F'}{D} = 0,0725 d^2 U^{*2} (h/H) \quad (10)$$

$$F'_S = F_S \cos \theta = 0,869 d^3 \cos \theta \quad (11)$$

La situación de equilibrio límite en Fig. 3b en que  $\Sigma M_o = 0$ :

$$0,0725 d^2 U^{*2} (h/H) \times 0,25d + 0,725 d^2 U^{*2} (h/H) \times 0,433d =$$

$$0,869 d^3 \cos \theta \times 0,433d$$

$$\therefore d_{ct} = 8,65 RJ (h/H) / \cos \theta \quad (12)$$

El tamaño máximo de equilibrio corresponde a  $h \approx H$ , en la base del talud, y se tiene:

$$d'_{ct} = 8,65 RJ / \cos \theta \quad (12')$$

### III. INICIACION DEL MOVIMIENTO DE UNA ROCA ESFERICA VERTIDA SOBRE CAPA UNIFORME EN LECHO DE FONDO HORIZONTAL.

Del proceso descrito en Sección I, resulta que por condiciones de escurrimiento una partícula de diámetro  $d$ , quede colocada sobre la capa base que tiene los mismos diámetros. Se analizarán las condiciones de equilibrio límite para dos situaciones posibles:

a).- Movimiento potencial de rotación de esfera sobre las esferas de la base ( $\Sigma M_o = 0$ )

b).- Equilibrio de fuerzas tractivas con las de fricción sobre capa base ( $\Sigma F_H = 0$ ).

Caso  $\Sigma M_o = 0$

En Fig 4 se indica la posición de esfera 1 y la distribución de velocidades características que actúan sobre ella. En Fig 5a se

muestra la posición en planta de la esfera y en Fig. 5b, la sección 1-1 correspondiente a la planta.

De sección 1-1 se tiene:  $d \cos \theta = d/2 \cos 30^\circ$

$$\therefore \cos \theta = 1/2 \cos 30^\circ = 0,577 ; \theta = 54,73^\circ$$

$$h = d \text{sen} \theta = 0,816 d ; y_B = h + d/4 = 1,066d ; y_1 = h - d/4 = 0,566d$$

La distancia horizontal  $u$  entre centro de esfera 1 y eje potencial de rotación  $O'-O'$  en esferas inferiores es:

$$u = (O'-O') \cos 60^\circ = 0,5d \cos \theta \cos 60^\circ = 0,144d$$

La distancia vertical  $v$  entre centro esfera 1 y eje potencial de rotación:

$$v = 0,5d \text{sen} \theta = 0,408d$$

En Fig. 5c se muestra esfera 1 con las fuerzas actuantes y puntos  $O'$  de eje de rotación potencial:  $\Sigma M_o = 0$

$$F_D \times 0,408d + (F_L - F_S) 0,144d = 0 \quad (13)$$

$$F_D = [0,2 \pi d^2 / 4] [Y_a / g] U_y^2 / 2 \quad (14)$$

$$U_y = 5,75 \log(30,2 \times 0,816d / 0,5d) U^* = 9,733 U^* \quad (15)$$

$$\therefore F_D = 0,759 d^2 U^{*2} \quad (14')$$

$$F_L = (Y_a \pi d^2 / 4) (U_B - U_1)^2 / 2g \quad (16)$$

$$U_B = 5,75 \log(30,2 \times 1,066d / 0,5d) U^* = 10,40 U^* \quad (17)$$

$$U_1 = 5,75 \log(30,2 \times 0,566d / 0,5d) U^* = 8,82 U^* \quad (18)$$

$$\therefore F_L = 0,100 d^2 U^{*2} \quad (16'') ; F_S = 0,869 d^3 \quad (19)$$

Reemplazando los valores precedentes en ec. (13), se tiene:

$$0,408d \times 0,759 (dU^*)^2 + [0,100 (dU^*)^2 - 0,869 d^3] \times 0,144d = 0$$

$$\therefore d = 2,59 U^{*2} = 25,37 RJ \quad (20)$$

Caso  $\Sigma F_H = 0$

$$F_D = (F_S - F_L) \text{tang} \Phi \quad \text{en que } \Phi = 30^\circ \text{ y } \text{tang} \Phi = 0,577$$

Reemplazando en ecuación anterior los valores de ecs. (14'), (16') y (19), se tiene:

$$0,759 d^2 U^{*2} = 0,577 (0,869 d^3 - 0,100 d^2 U^{*2})$$

$$\therefore d_{vf} = 1,628 U^*{}^2 = 15,98 \text{ RJ} \quad (20')$$

La ecuación (20'), será la adoptada pues es más realista, e indica que para una esfera colocada sobre una capa base del mismo diámetro, el alcanzar el estado de movimiento potencial requiere aproximadamente 0,54 veces la fuerza tractiva que para mover una esfera de la base. Este valor está en el orden de lo experimentado en laboratorio y prototipo, (ISBASH, 1936) en que obtuvo un valor de 0,51.

#### IV.- INICIACION DEL MOVIMIENTO DE UNA ROCA VERTIDA SOBRE CAPA UNIFORME EN TALUD DE LECHO HORIZONTAL.

En Fig. 6a se representa por  $F_{DF}$  la fuerza tractiva sobre una roca vertida sobre el fondo, y  $F_{DT}$  la correspondiente a una vertida en talud, pero cerca del fondo.

Se designa  $K = F_{DT} / F_{DF}$

La resistencia de la roca a ser arrastrada en el talud, depende de la componente normal al talud del peso sumergido menos la fuerza ascensional también normal al talud. De Figs. 6a y 6b, la condición de equilibrio límite  $\Sigma F_H = 0$ , es:

$$\sqrt{[(F_S - F_L)\text{sen}\theta]^2} + F_{DT}^2 = (F_S - F_L)\text{cos}\theta \text{ tang}\phi \quad (21)$$

$$\therefore F_{DT} = \sqrt{[(F_S - F_L)\text{cos}\theta \text{ tang}\phi]^2 - [(F_S - F_L)\text{sen}\theta]^2} \quad (22)$$

A su vez, la roca vaciada sobre el lecho está sometida a una fuerza tractiva:

$$F_{DF} = (F_S - F_L)\text{tang}\phi$$

De la definición del factor K, se tiene:

$$K = \sqrt{[(F_S - F_L)\text{cos}\theta \text{ tang}\phi]^2 - [(F_S - F_L)\text{sen}\theta]^2} / (F_S - F_L)\text{tang}\phi$$

$$\therefore K = \text{cos}\theta \sqrt{1 - (\text{tang}\theta / \text{tang}\phi)^2} \quad (22')$$

Dado un tamaño  $d_{vf}$  que es crítico en el fondo para  $F_{DF}$ , en el talud, la fuerza que lo pone al límite del equilibrio, es  $F_{DT} = K F_{DF}$ . Para obtener el tamaño crítico  $d_{vt}$  correspondiente a una fuerza de la magnitud  $F_{DF}$  aplicada en el talud, se tiene

Fig. 6a

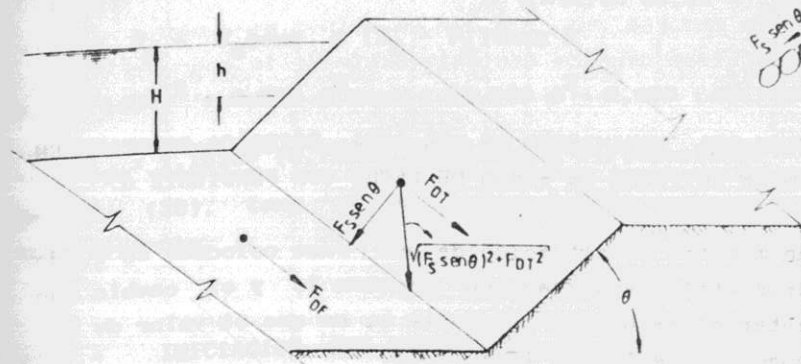


Fig. 6b

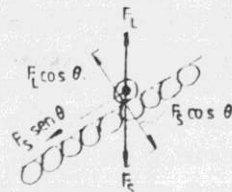


Fig. 7

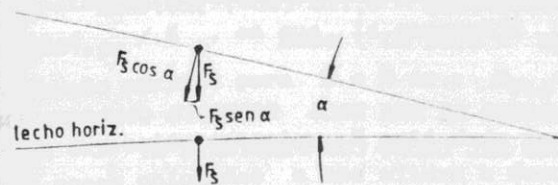
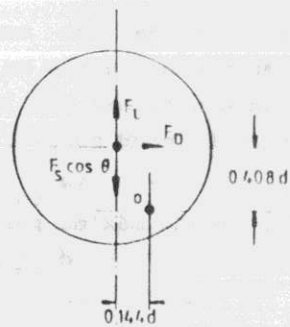
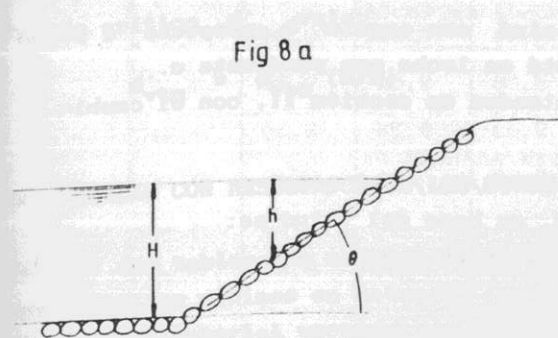


Fig 8b

Fig 8a



$d_{vt} = d_{vf} / K$ . El ángulo  $\theta$  máx. para equilibrio límite sale de ec. (22')  $\theta = \phi = 30^\circ$  (talud  $V/H = 1 / 1,73$ ). El tamaño máximo es:

$$d_{vt} = 15,98 RJ / K \quad (23)$$

El tamaño máximo corresponde a  $h \approx H$ , en base del talud. Para alturas de agua sobre la roca igual a  $h$ , se tiene:

$$d'_{vt} = 15,98 RJ(h/H) / K \quad (23')$$

#### V.- INICIACION DEL MOVIMIENTO DE UNA ROCA ESFERICA COLOCADA EN CAPA SIMPLE UNIFORME EN FONDO DE LECHO CON PENDIENTE $\alpha$ .

En Fig. 7 se muestra la situación de una roca colocada en fondo de lecho horizontal, analizada en sección I, y el cambio que implica al estar el lecho con pendiente  $\alpha$ , en que el valor de  $F_S$  cambia a  $F_S \cos \alpha$ . La ecuación final será:

$$F_D \times 0,25d = (F_S \cos \alpha - F_L) \times 0,433d \quad (24)$$

$$0,0725 (dU^*)^2 \times 0,25d = [0,869d^3 \cos \alpha - 0,725 (dU^*)^2] \times 0,433d$$

$$\therefore d_{cfa} = 0,882 U^{*2} / \cos \alpha = 8,65 RJ / \cos \alpha \quad (25)$$

#### VI.- INICIACION DEL MOVIMIENTO DE UNA ROCA ESFERICA COLOCADA EN CAPA UNIFORME EN TALUD DEL LECHO CON PENDIENTE $\alpha$ .

En Fig. 8a, se muestra talud con ángulo  $\theta$ , respecto a plano horizontal, que a su vez está en lecho con pendiente  $\alpha$ .

Las ecuaciones son las planteadas en sección II, con el cambio  $F'_S = F_S \cos \theta \cos \alpha$ :

$$\therefore d_{cta} = 8,65 RJ (h/H) / \cos \theta \cos \alpha \quad (26)$$

El tamaño máximo para  $h = H$ , en base del talud es:

$$d'_{cta} = 8,65 RJ / \cos \theta \cos \alpha \quad (26')$$

#### VII.- INICIACION DEL MOVIMIENTO DE UNA ROCA VERTIDA SOBRE CAPA UNIFORME EN FONDO DE LECHO CON PENDIENTE $\alpha$ .

Las ecuaciones que rigen este caso corresponden a sección III, en que  $F'_S = F_S \cos \alpha$ ,  $F'_L = F_L \cos \alpha$ , y por lo tanto la ecuación de equilibrio se puede escribir para  $\Sigma F_H = 0$ :

$$F_D + F_S \text{sena} = (F'_S - F'_L) \text{tang } \phi \quad (27)$$

$$0,759 (dU^*)^2 + 0,869 d^3 \text{sena} = [0,869 d^3 - 0,100 (dU^*)^2] \cos \alpha \text{ tang } \phi$$

$$\therefore d_{vfa} = 1,151 U^{*2} (0,759 + 0,100 \cos \alpha \text{ tang } \phi) / (\cos \alpha \text{ tang } \phi - \text{sena}) \quad (28)$$

En ec. (28),  $\text{tang } \phi$  se toma 0,577, como se ha hecho anteriormente.

#### VIII.- INICIACION DEL MOVIMIENTO DE UNA ROCA VERTIDA SOBRE CAPA UNIFORME EN TALUD DE LECHO CON PENDIENTE.

El tratamiento es semejante al expuesto en sección IV en que  $d_{vta} = d_{vfa} / K$ , en que la expresión  $d_{vfa}$  es la de ec. (28).

El tamaño máximo, para  $h = H$  es:  $d'_{vta} = d_{vfa} / K \quad (29)$

En la expresión anterior,  $K$  está dado por ec. (22'). Para rocas colocadas a una altura  $h$  desde superficie de agua, el tamaño crítico  $d'_{vt}$  vale:

$$d'_{vta} = d_{vta} (h/H) \quad (29')$$

#### IX.- TABLAS CON RESULTADOS DE LAS FORMULAS CALCULADAS.

En las dos tablas que se presentan a continuación, se presentan los diámetros mínimos en metro/RJ para la situación de material colocado, y material vertido, en fondos o radiers y en taludes. Se entiende por material colocado en capas, cuando cada elemento

se ubica en su posición definitiva, a mano o máquina, y en el que la superficie resultante queda virtualmente plana y cerrada, ya que cada elemento queda rodeado por otros similares, en la forma más densa posible.

En el material vertido o vaciado, los elementos quedan ubicados en forma no solidaria, particularmente los expuestos en la superficie exterior, los que no solamente están soportando fuerzas tractivas mayores que los que se ubican en capas, sino además, su estabilidad depende exclusivamente de la componente de fricción que reciben de los elementos en los cuales se apoyan. Esta situación es particularmente crítica para los enrocados vertidos en taludes.

TABLA 1

DIAMETROS DE ROCA MINIMOS  $d_{cfa}$  y  $d_{cta}$  EN FONDOS Y TALUDES, CERCA DEL FONDO, PARA ENROCADOS COLOCADOS EN CAPAS EN LECHOS CON PENDIENTE  $\alpha$ .

$d_{cfa}$ y $d_{cta}$ en metros / RJ						
tang $\theta$	tang $\alpha$					
	0,00	0,02	0,04	0,06	0,08	0,10
1/ 1.5	10,40	10,40	10,41	10,42	10,43	10,44
1/ 2.0	9,67	9,67	9,68	9,69	9,70	9,72
1/ 2.5	9,32	9,32	9,33	9,34	9,35	9,36
1/ 3.0	9,12	9,12	9,13	9,14	9,15	9,16
1/ 3.5	9,00	9,00	9,01	9,02	9,03	9,04
1/ 4.0	8,92	8,92	8,93	8,94	8,95	8,96
Fondo	8,65	8,65	8,66	8,67	8,68	8,69

TABLA 2

DIAMETROS DE ROCA MINIMOS  $d_{vfa}$  Y  $d_{vta}$  VERTIDOS EN FONDO Y TALUDES, CERCA DEL FONDO, EN LECHOS CON PENDIENTE  $\alpha$ .

$d_{vfa}$ y $d_{vta}$ en metros / RJ						
tang $\theta$	tang $\alpha$					
	0,00	0,02	0,04	0,06	0,08	0,10
1/ 2.0	35,82	37,08	38,50	40,00	41,68	43,50
1/ 2.5	23,88	24,72	25,67	26,68	27,79	29,00
1/ 3.0	20,65	21,37	22,18	23,06	24,02	25,06
1/ 3.5	19,14	19,81	20,56	21,38	22,26	23,23
1/ 4.0	18,28	18,92	19,65	20,42	21,27	22,20
Fondo	15,98	16,54	17,17	17,85	18,5	19,4

REFERENCIAS

- Vega V. Solano (1973) "Modelo Teórico de Socavación General y Local en Lechos Granulares Gruesos" II Congreso Nac. de Hidráulica.
- Isbash S.V. (1936) "Construction of Dams by Depositing Rock in Running Water" ICOLD 1936
- Einstein H.A. (1950) "The Bed Load Function in Sediment Transport"
- Rouse H. (1950) "Engineering Hydraulics"