



*Compagnie Nationale du Rhône*

Compagnie Nationale du Rhône  
Direction Ingénierie Ouvrages Hydrauliques et Fluviaux  
I.00009.001 (CL04)

## **Canal del Dique**

**Nota de cálculos de dimensionamiento de las compuertas-  
chapaleta de la obra de regulación**

**CALAMAR**

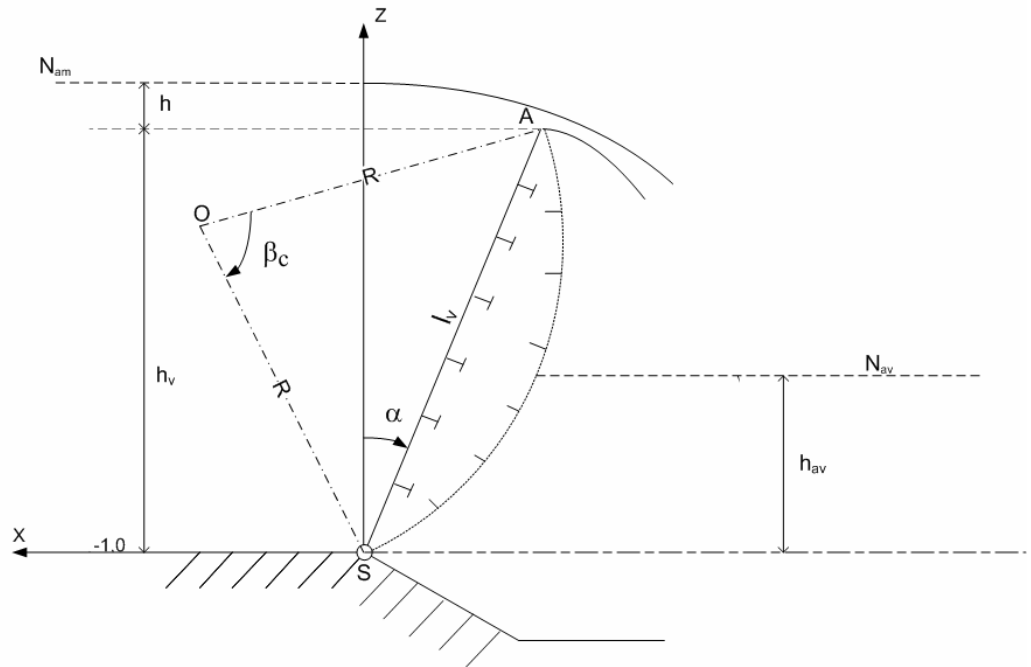
---

## ÍNDICE

---

1.	Geometría de la compuerta .....	3
2.	Esfuerzos hidráulicos .....	4
2.1.	Empuje aguas arriba .....	4
2.1.1	Componente horizontal $H_{am}$ .....	4
2.1.2	Componente vertical $V_{am}$ .....	5
2.2.	Empuje aguas abajo.....	5
2.2.1	Componente horizontal $H_{av}$ .....	5
2.2.2	Componente vertical $V_{av}$ .....	5
2.3.	Empuje resultante y acciones en las uniones .....	5
3.	Esfuerzos internos y deformaciones en función de la longitud de la chapaleta: .....	9
4.	Maniobra de la chapaleta.....	11
5.	Retención de la chapaleta por un solo gato .....	12
6.	Aeración del estrato vertidor .....	15
6.1.	Cálculo del caudal de aire arrastrado .....	15
6.2.	Cálculo de la sección requerida para el paso del aire.....	18
	Programa Matlab .....	20

# 1. GEOMETRÍA DE LA COMPUERTA



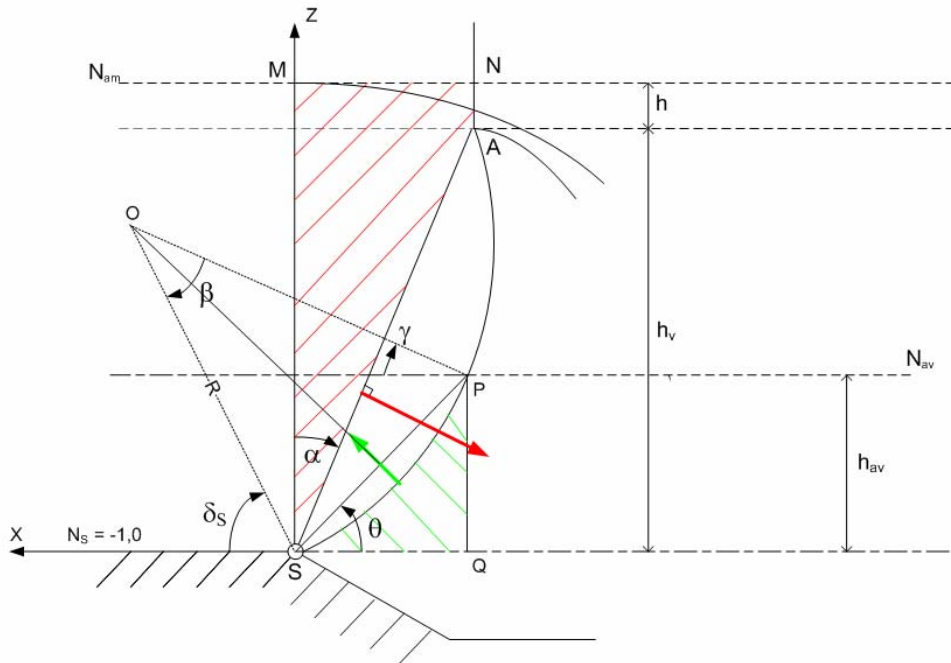
*Figura 1 : Geometría de la compuerta-chapaleta. Corte vertical*

El cuerpo de la compuerta está formado por un ribete plano aguas arriba y un ribete cilíndrico aguas abajo (centro O, radio R). El ribete aguas arriba, al menos, es rígido. La compuerta está articulada alrededor de un eje horizontal situado a nivel del umbral S (una bisagra de cada lado de la compuerta) . Dos gatos ubicados de una y otra parte de la compuerta y unidos a ella a nivel de cada extremo superior A permiten maniobrarla. El ángulo de rotación  $\alpha$  varía entre un valor mínimo (aproximadamente  $20^\circ$ ) y  $90^\circ$ , ángulo para el cual la compuerta está completamente escamoteada bajo el umbral. El desborde se efectúa por sobre derrame.

Las características geométricas de la compuerta-chapaleta (o simplemente chapaleta) se presentan a título de ejemplo en la siguiente tabla:

Altura $l_v$ del ribete aguas arriba (m)	Ángulo $\alpha_{\min}$ de la chapaleta en posición cerrada ( $^\circ$ )	Abscisa $x_O$ del centro ribeteado aguas abajo % umbral chapaleta cerrada (m)	Ordenada $x_O$ del centro ribeteado aguas abajo % umbral chapaleta cerrada (m)	Radio R del ribete aguas abajo (m)
10.2	20	4.0	6.8	7.86

## 2. ESFUERZOS HIDRÁULICOS



*Figura2 : Modelización de los empujes sobre la compuerta*

El empuje hidráulico y su punto de aplicación deben ser calculados en función del ángulo de rotación  $\alpha$ . En efecto, el empuje es máximo cuando la chapaleta está elevada (no hay caudal de sobre derrame, salvo si  $N_{am} > 8.6$  msnm) pero cuando la chapaleta descende por completo, el punto de aplicación del empuje se acerca a la altura media de este aunque el brazo del empuje en relación con la articulación sobre el umbral aumente. La determinación del momento máximo de éste requiere el estudio del empuje en función de  $\alpha$

Este estudio se lleva a cabo cuando el umbral no esté sumergido, es decir cuando :  $h_{av} \leq \frac{2}{3} h_{am}$ .

La posición correspondiente de la chapaleta se determinará. Más allá de esto, es decir para el umbral sumergido, el empuje y su momento disminuirán fuertemente

### 2.1. Empuje aguas arriba

#### 2.1.1 Componente horizontal $H_{am}$

$H_{am} = w L_v(h+h_v/2)h_v$  con :

- $h_v$  : altura de la compuerta proyectada sobre la vertical
- $h$  : altura del sobrederrame ( $h = N_{am} - N_s - h_v$ )
- $L_v$  : longitud del ribete de la compuerta

### 2.1.2 Componente vertical $V_{am}$

Recordando que  $A_{am}$  el área de superficie plana SMNA delimitada por el ribete aguas arriba SA, el segmento horizontal MN, los segmentos verticales SM y AN se tiene :

$$A_{am} = h_v \tan \alpha (h + h_v/2)$$

y el empuje vertical es igual al peso del agua contenida en el volumen de la sección  $A_{am}$  y la longitud igual a  $L_v$  :

$$V_{am} = w L_v A_{am}$$

## 2.2. Empuje aguas abajo

### 2.2.1 Componente horizontal $H_{av}$

$H_{av} = w L_v h_{av}/2$  donde  $h_{av}$  es la altura del agua por encima del umbral aguas abajo

### 2.2.2 Componente vertical $V_{av}$

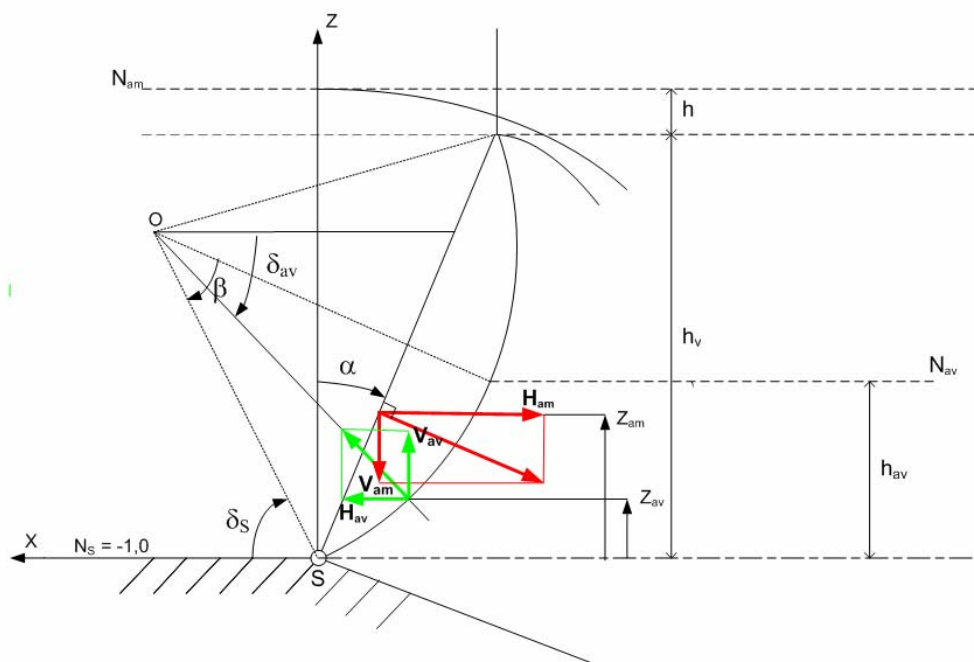
Recordando que  $A_{av}$  el área de la superficie SPQ delimitada por la parte SP del ribete húmedo aguas abajo, el segmento vertical PQ y el segmento horizontal SQ, se tiene :

$$A_{av} = PS \cos \theta h_{av}/2 - R^2/2 (\beta - \sin \beta)$$

y el empuje vertical es igual al peso del agua contenida en el volumen de la sección  $A_{av}$  y la longitud igual a  $L_v$  (longitud del ribete)

$$V_{av} = w L_v A_{av}$$

## 2.3. Empuje resultante y acciones en las uniones



*Figura3 : Modelación del empuje resultante sobre la compuerta*

El empuje hidrostático resultante  $F_h$  tiene por componentes:

$$H = H_{am} - H_{av}$$

$$V = V_{am} - V_{av}$$

Su punto de aplicación tiene por coordenadas en la referencia (S,x,z):

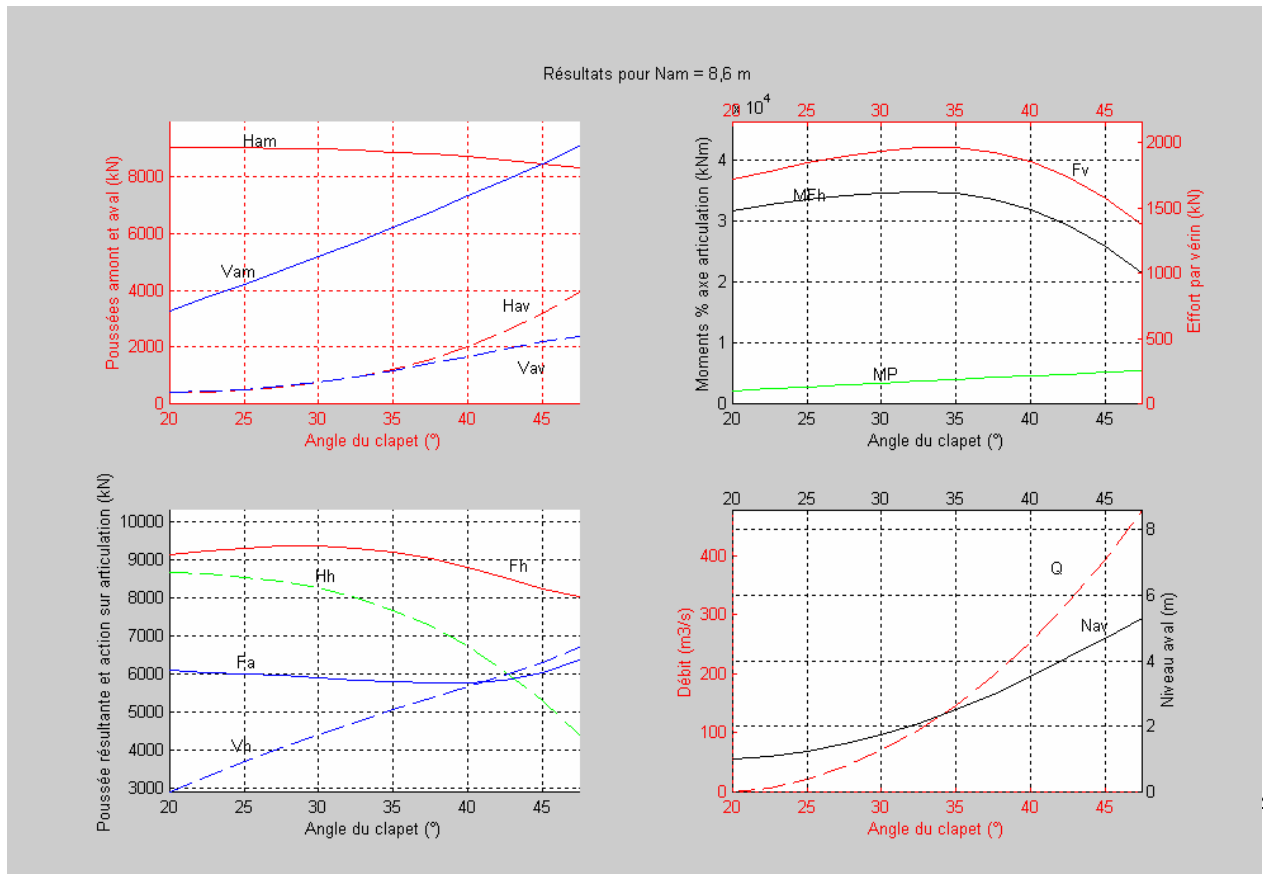
$$x_R = (x_{am}V_{am} - x_{av}V_{av}) / V$$

$$z_R = (z_{am}H_{am} - z_{av}H_{av}) / H$$

El siguiente gráfico indica, para un nivel dado aguas arriba igual a 8.6 m, las variaciones en función del ángulo de la chapaleta con la vertical:

- componentes de los empujes aguas arriba y aguas abajo (gráfico1)
- componentes horizontal y vertical del empuje resultante, del módulo  $F_h$  de ésta última y del módulo  $F_a$  de la acción sobre la articulación (gráfico 2)
- momentos en relación con la articulación (gráfico3):
  - empuje hidráulico  $MF_h$
  - peso aparente  $MP$
- fuerza ejercida por un gato (gráfico 3), igual a :  $F_v = \frac{MF_h + MP}{2d}$  donde  $d$  representa el brazo de la palanca del gato en relación con la articulación (ver plano compuerta fichero de archivos autocad)
- caudal total a través del embalse y del nivel aguas abajo (gráfico 4)

La compuerta-chapaleta tiene una longitud de 20 m correspondiente a estrechamientos de 18m



El empuje hidráulico es máximo para  $\alpha = 30^\circ$  y es :  $F_h = 9\,360\text{ kN}$

La acción sobre la articulación es máxima para  $\alpha = 47.5^\circ$  y es :  $F_a = 6\,377\text{ kN}$

El esfuerzo ejercido por un gato es máximo para  $\alpha = 33^\circ$  y es :  $F_v = 1\,962\text{ kN}$

Entonces el caudal de sobrederrame equivale a  $147\text{ m}^3/\text{s}$  y el nivel aguas abajo  $2.52\text{ msnm}$

Para el mismo nivel aguas arriba de  $8.6\text{ msnm}$  y chapaleta cerrada ( $\alpha = 20^\circ$ ) y para un nivel aguas abajo que tiende a  $0\text{ msnm}$ , estos esfuerzos se convierten en :

$$F_h = 9\,621\text{ kN} \quad \text{et} \quad F_v = 1\,777\text{ kN}$$

Para el nivel aguas arriba de  $9.7\text{ msnm}$ , estos esfuerzos se convierten en :

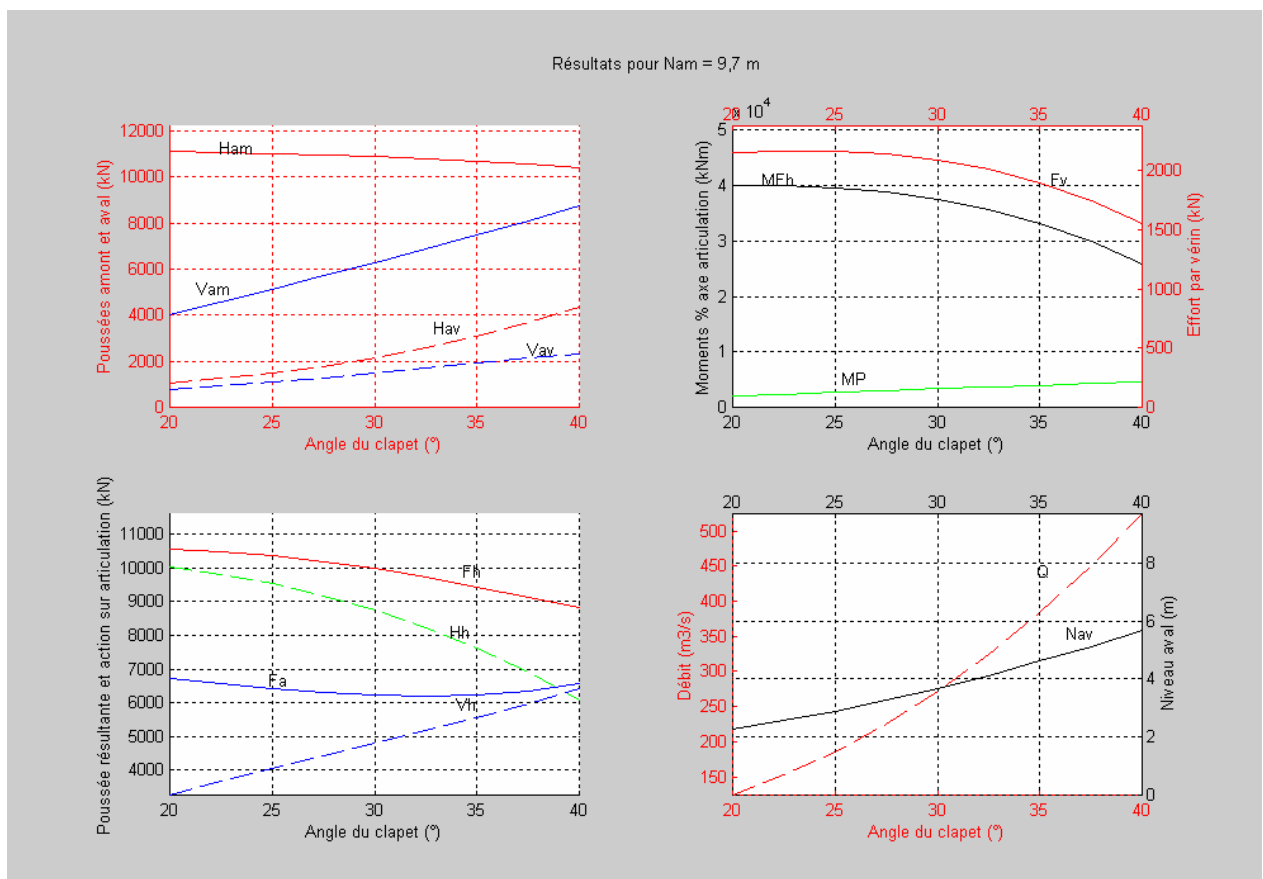
El empuje hidráulico es máximo para  $\alpha = 20^\circ$  y es :  $F_h = 10\,562\text{ kN}$

Su punto de aplicación está situado a  $3.65\text{ m}$  por encima del umbral

La acción sobre la articulación es máxima para  $\alpha = 20^\circ$  y es :  $F_a = 6\,718\text{ kN}$

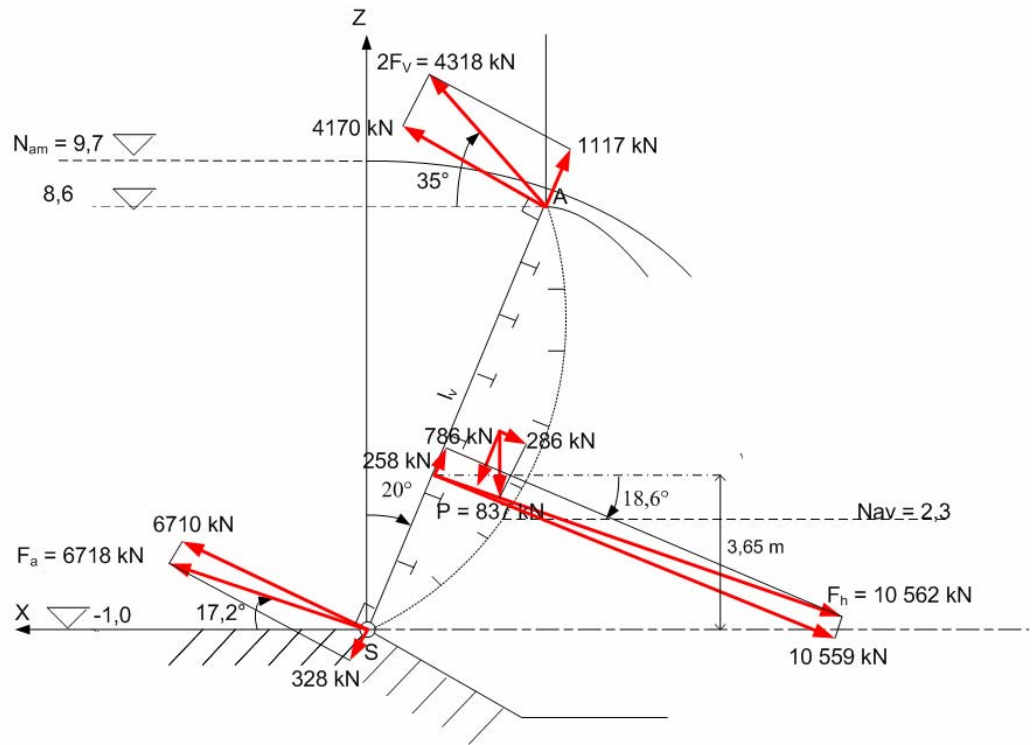
El esfuerzo ejercido por un gato es máximo para  $\alpha = 20^\circ$  y es :  $F_v = 2\,159\text{ kN}$

Entonces el caudal de sobrederrame equivale a  $124\text{ m}^3/\text{s}$  y el nivel aguas abajo  $2.29\text{ msnm}$

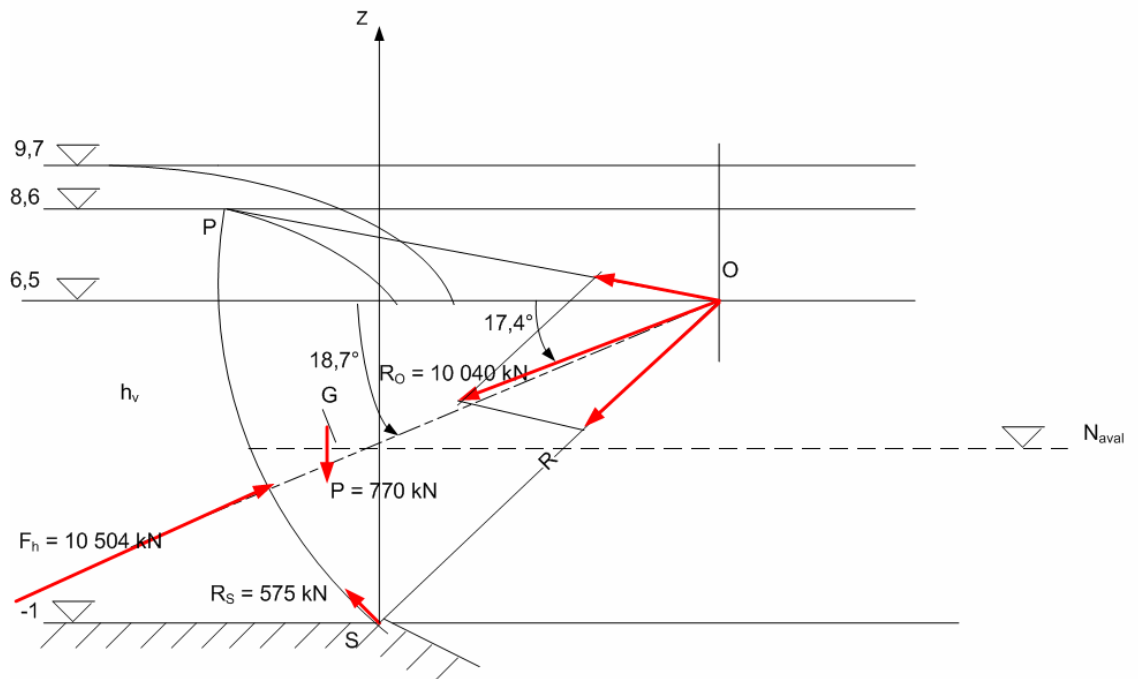


Entonces la carga es máxima en la configuración de la cerrada y  $N_{am} = 9.7\text{ m}$ .

La figura 4 muestra esta carga. Para la comparación, la figura 5 muestra la carga máxima sobre la compuerta-segundo de la misma longitud, obtenida en la misma configuración: compuerta cerrada y  $N_{am} = 9.7\text{ m}$



*Figura 4 : Carga máxima sobre la compuerta-chapaleta*

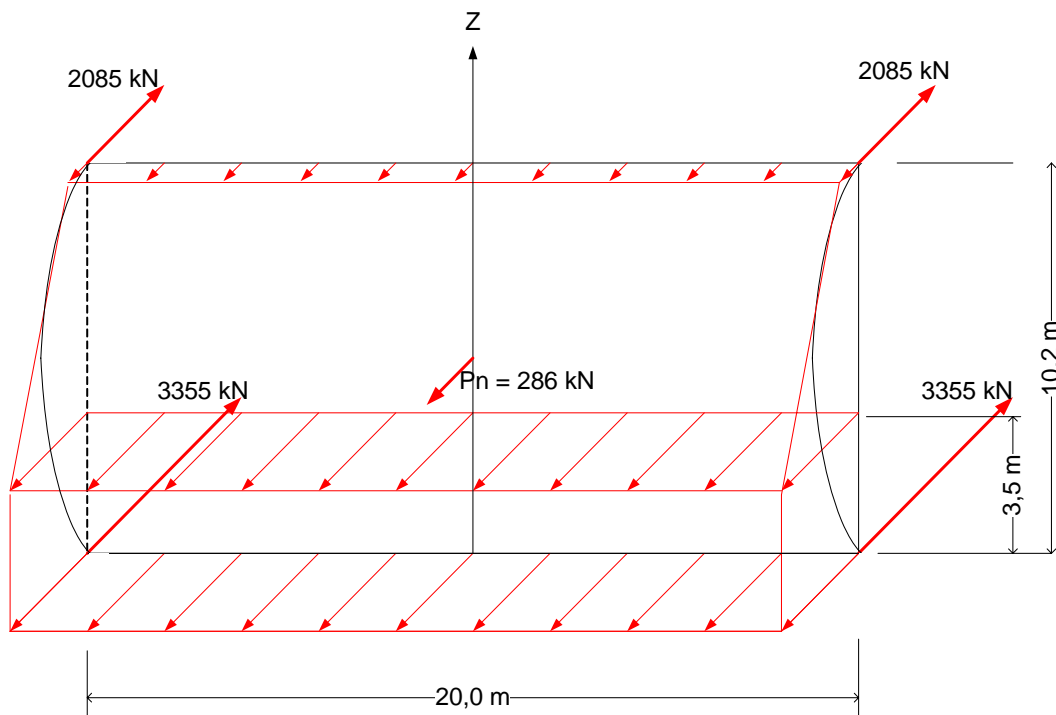


*Figura 5 : Carga máxima sobre la compuerta-segmento*

Los empujes hidráulicos son muy cercanos y la reacción de la articulación más importante en el caso de la compuerta-segmento, estando compensado el descarte de esta dimensión por alguna cosa cerca del esfuerzo ejercido por el gato en el caso de la compuerta-chapaleta.

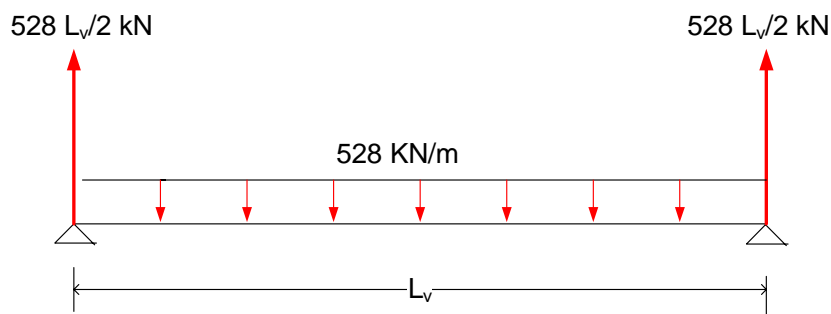
### 3. ESFUERZOS INTERNOS Y DEFORMACIONES EN FUNCIÓN DE LA LONGITUD DE LA CHAPAleta:

Teniendo en cuenta solamente los esfuerzos normales en el ribete, la chapaleta está cargada según la siguiente figura. La resultante de las fuerzas de presión equivale a 10 560 kN. El componente normal del peso es  $P_n = 286$  kN



*Figura 6 : Carga normal en el ribete aguas arriba sobre la compuerta-chapaleta*

Al considerar la flexión normal de la chapaleta alrededor del eje Z, sin tener en cuenta el componente normal del peso, éste es asimilable a una viga cargada uniformemente de  $q = 10560/20 = 528$  kN/m. Al establecer la parametrización con la longitud  $L_v$ , la carga está representada sobre la siguiente figura :



*Figura 7 : Carga normal de la viga-ribete*

El momento de flexión en la viga es máximo en la mitad y equivale a :

$$M_f = \frac{q L_v^2}{8} = 66 L_v^2 \text{ kNm con } L_v \text{ en m}$$

y la sagita en el mismo punto es :  $f = \frac{5qL_v^4}{384EI}$

En la tabla siguiente se calcula la resistencia de la chapaleta en la flexión global y su deformación en función de su longitud y las dimensiones de los elementos esenciales estructurales :

- el ribete aguas arriba
- los tensores longitudinales del ribete aguas arriba se toman aquí a título de ejemplo como UAP 250
- ribete aguas abajo

Bordé amont	hauteur (cm)			épaisseur (cm)	Section (cm <sup>2</sup> )	A	Distance cdg - milieu bordé d (cm)	A*d (cm <sup>3</sup> )	Distance cdg - centroïde D (cm)	A*D <sup>2</sup> (cm <sup>4</sup> )	Inertie propre (cm <sup>4</sup> )	Module d'inertie (cm <sup>3</sup> )	Contrainte de flexion globale (Mpa)
	1020			1,4	1428		0	0	57,7	4 750 701	233	280 690	94
Bordé aval	rayon (cm)	demi-angle au sommet (°)	épaisseur (cm)										
	786	40 0,698	1,4	1 536			121	186 526	64	6 247 616	4 661 451	129 299	204
Raidisseurs longi UAP 250	Section unitaire	Inertie propre unitaire (cm <sup>4</sup> )	Nb										
	43,8	4136	8	350,4			13,2	4 625	44	693 213	33 088		
<b>Totaux</b>				3 314			57,7	191 151		11 691 530	4 694 772		
Module d'Young		2,10E+11								Inertie flexion globale (cm4)		Flèche maximale (cm)	
										16 386 302		3,2E+00	
Épaisseur du clapet : ep (cm)		183,7											
Longueur du clapet : lc (cm)		2 000											

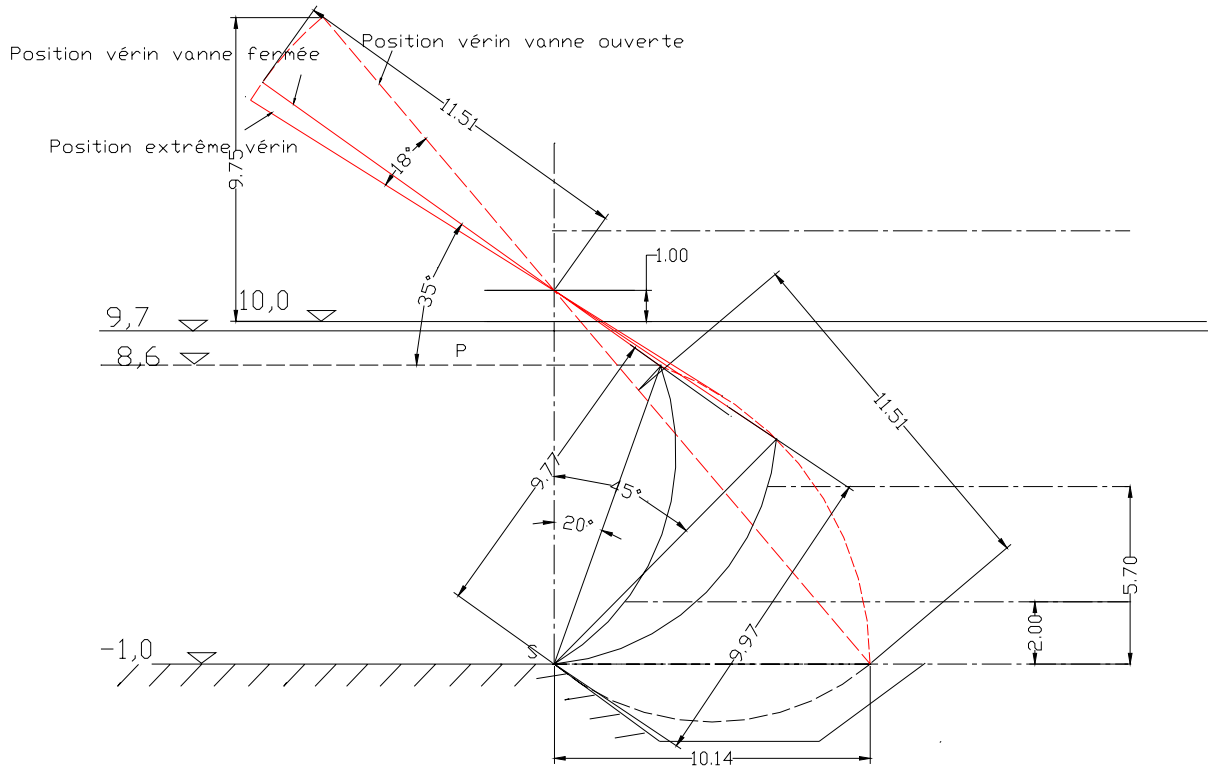
Se presentan los resultados para una chapaleta de 20 m de longitud correspondiente a un estrechamiento de 18 m. La sagita obtenida equivale a 3.2 cm; es en la sagita de la parte inferior en particular en el nivel del umbral donde debe asegurarse la hermeticidad. Es un valor un poco grande que para ser disminuido requiere aumentar la inercia de la chapaleta aumentando la forma del pandeo de éste (lo esencial de la inercia se debe aquí al ribete aguas abajo cf siguiente tabla)

Para una chapaleta de 15 m de longitud correspondiente a un estrechamiento de 13.5 m y a un embalse constituido por 4 estrechamientos (anchura total del paso = 4 x 13.5 = 3 x 18 = 54 m), se obtienen los siguientes resultados :

- tensión de flexión global en el ribete aguas arriba : 53 MPa
- tensión de flexión global en el ribete aguas abajo : 115 MPa
- sagita máx : 1.0 cm

De otra parte, el esfuerzo máximo para un gato es solamente de 1 470 en vez de 2160 kN.

#### 4. MANIOBRA DE LA CHAPAleta



*figura 8 : Plano de la compuerta-chapaleta*

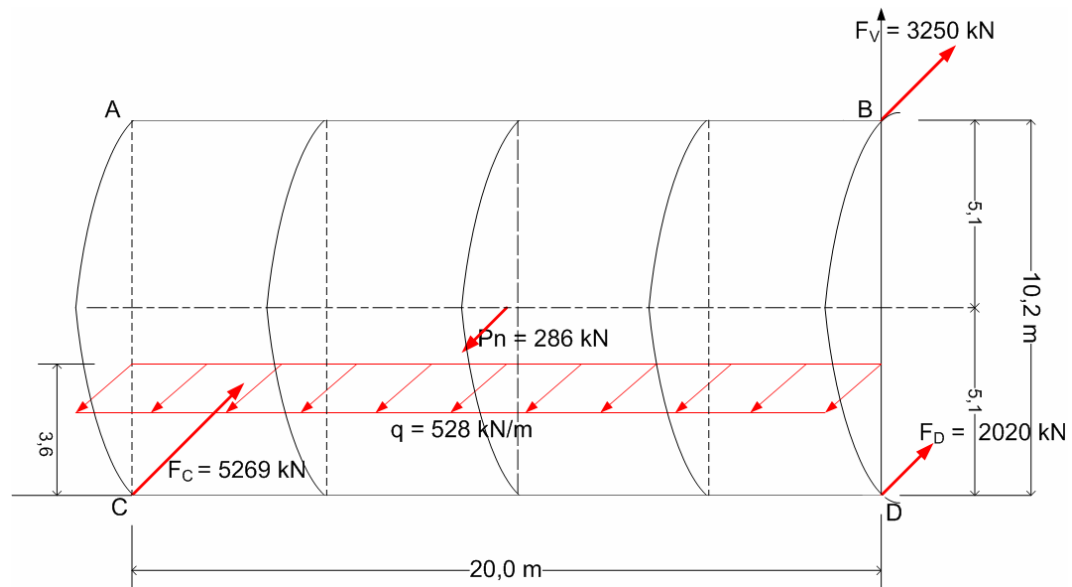
Los puntos fijos de los gatos están situados 1 m por encima de GC en la plomada del umbral. Los puntos de unión sobre la chapaleta están situados en la cima de ésta (revestimientos situados sobre las orejas de los diafragmas del extremo no se representan aquí)

Para dejar caer completamente la chapaleta, el curso del vástago del gato debe ser de 11.5 m. El cuerpo del gato tiene un movimiento de eje de 18° y sube a un máximo de 9.75 m por encima de GC

Los esfuerzos que se deben al rozamiento de las hermeticidades laterales son insignificantes frente a los esfuerzos que deben suministrar los gatos para oponerse a la carga hidráulica al comienzo de la apertura

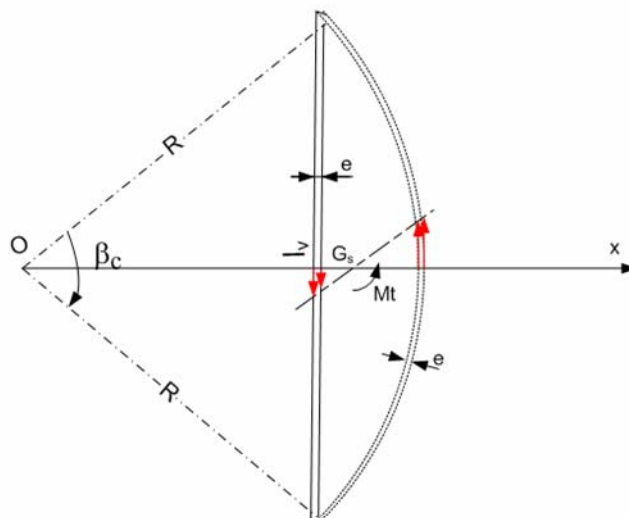
## 5. RETENCIÓN DE LA CHAPAleta POR UN SOLO GATO

Un gato debe ser capaz de retener la chapaleta en caso de mal funcionamiento de algún otro gato. En la configuración chapaleta cerrada ( $\alpha = 20^\circ$ ) y  $N_{am} = 9.7 \text{ m}$ , se tiene la siguiente carga normal del ribete aguas arriba :



*Figura 9: Carga normal en el ribete aguas arriba sobre la chapaleta en caso de retención mediante un solo gato*

En la figura 9 se ha representado cierto número de diafragmas verticales sobre los cuales se apoya el ribete aguas arriba y que retoman, por lo tanto, el empuje hidráulico



**LA CHAPAleta SE ASIMILA EN RELACIÓN CON LA TORSIÓN A LA CUAL ESTÁ SOMETIDA, EN LA SIGUIENTE VÁLVULA DE PARED DELGADA:**

*Figura 10: Geometría de la sección de la chapaleta y flujo de cizalladura debido a su torsión*

El área comprendida en el perímetro medio de la válvula es:  $S_c = \frac{R^2}{2}(\beta_c - \sin \beta_c)$

Teniendo en cuenta la simetría de la sección alrededor del eje Ox, el centro de torsión G<sub>S</sub> está situado sobre este eje

El módulo de resistencia a la torsión es:  $W = 2S_c e$

La constante de torsión de la válvula es:  $J = \frac{4S_c^2}{\int \frac{ds}{e(s)}} = \frac{4S_c^2}{\frac{R\beta_c}{e} + \frac{l_v}{e}}$

El momento de torsión es máximo en la sección situada en el extremo opuesto al gato y

equivale a:  $M_t = F_{Cn} \frac{l_v}{2} - F_{dN} (5,1 - 3,6)$

F<sub>dN</sub> representa la parte del empuje hidráulico retomado por el diafragma e<sup>nésimo</sup> situado en el extremo opuesto al gato. Su valor depende de N y de la repartición de estos diafragmas

Aquí se plantea la hipótesis de que este diafragma retoma 15 % del empuje

La tensión de cizalladura máxima obtenida sobre el revestimiento exterior del ribete aguas

abajo, es:  $\tau = \frac{M_t}{W}$

El ángulo de rotación de esta sección es:  $\varphi = \frac{M_t L_v}{G J}$

En la configuración chapaleta cerrada ( $\alpha = 20^\circ$ ) y  $N_{am} = 9.7$  m se obtiene:

$t = 344$  MPa y  $f = 0.014$  rad

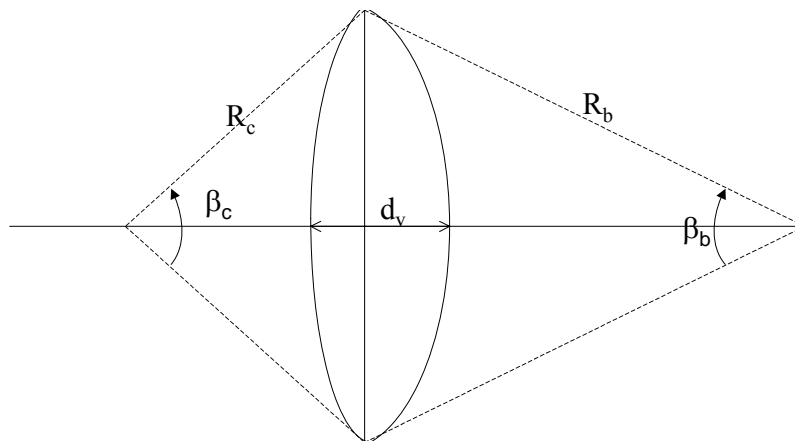
El esfuerzo de retención del gato es: 3940 kN

Con una compuerta de 15 m de longitud, se obtiene:

$t = 265$  MPa y  $f = 0.008$  rad

El esfuerzo de retención del gato es: 3042 kN

Las tensiones obtenidas sobrepasan las tensiones admisibles para el acero ordinario. Es necesario aumentar el módulo de torsión de la chapaleta incrementando los espesores o adoptando un ribete con harto pandeo aguas arriba. Así, adoptando la siguiente geometría:



*Figura 11: Geometría de la sección de la chapaleta en pandeo de pez*

Se obtiene con una longitud de chapaleta de 20 m :

$R_c$ (m)	$R_b$ (m)	$d_v$ (m)	$\tau$ (MPa)	$\varphi$ (rad)
7.86	0	1.89	344	0.014
7.86	12	3.0	215	0,0055

y con una longitud de chapaleta de 15 m :

$R_c$	$R_b$	$d_v$ (m)	$\tau$ (MPa)	$\varphi$ (rad)
7.86	0	1.89	265	008
7.86	12	3.0	166	0032

$R_c$  y  $R_b$  son los radios de los ribetes aguas abajo y aguas arriba respectivamente,  $d_v$  es el espesor de la sección. Las tensiones de torsión se vuelven admisibles

La sección de la chapaleta en pandeo de pez en la escala está representada en el fichero de archivos autocad atascamiento compuerta 2



El aire arrastrado por la superficie inferior del estrato se traduce en una depresión en el volumen comprendido entre la chapaleta, el tramo aguas abajo, y las pilas del embalse.

Hay que permitir una estrada de aire en este volumen equivalente al caudal de aire arrastrado por la lámina

El siguiente programa calcula la relación entre el caudal de aire arrastrado y el caudal de agua de derrame

```
% Cálculo del caudal de aeración necesaria

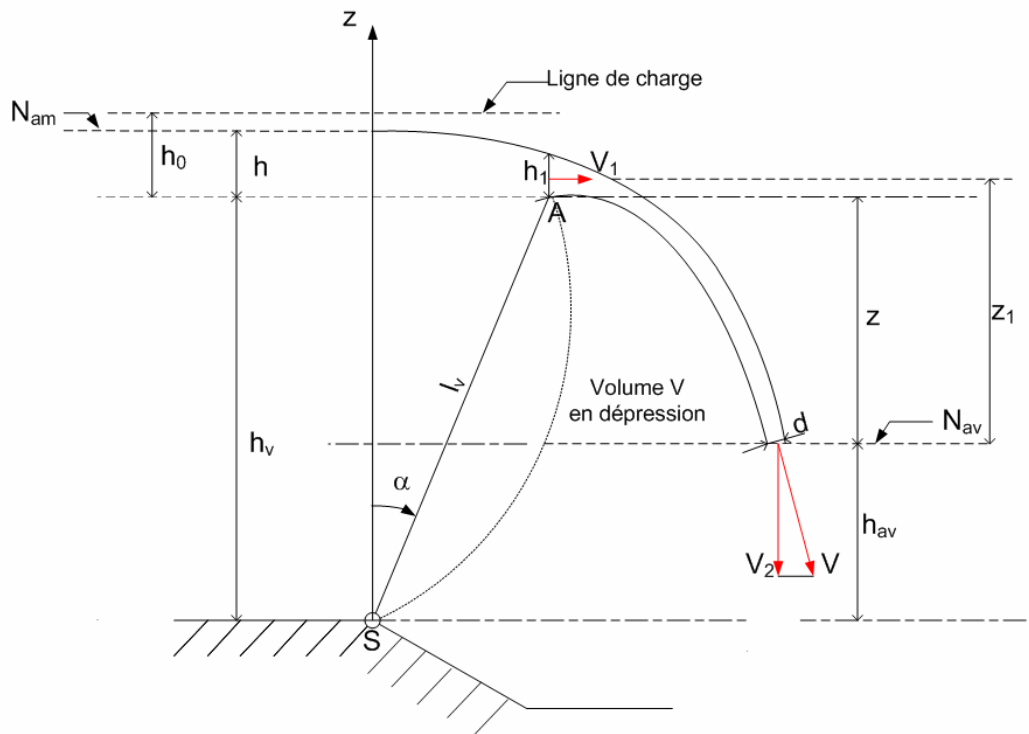
global h hv hav Qu L

%Peso volúmico del agua (N/m3)
g=9.81;
w=9810;
nu=1e-6;

%Velocidad aguas arriba de la chapaleta
V0=Qu./(L*h);
%Carga aguas arriba de la chapaleta (referencia : nivel aguas arriba)
h0=h+V0.^2/(2*g);

z=hv-hav;
hc=z+0.643*h0;
h1=0.714*h0;
%Caudal por metro de anchura de paso (m2/s)
qw=Qu/L;
%Velocidad media de chorro en el enrasamiento de la chapaleta (m/s)
V1=qw./h1;
z1=z+h0-V1.^2/(2*g)-h1/2;
%Componente vertical de la velocidad de impacto en el tramo aguas
abajo(m/s)
V2=(2*g*z1).^0.5;
%Velocidad de impacto (m/s)
V=(V1.^2+V2.^2).^0.5;
%Espesor del chorro a nivel del impacto (m)
d=qw./V;

%Número de Froude
Fr=V./(g*d).^0.5;
%Número de Reynolds
Re=V.*h0/nu;
%Coeficiente de aeración
bet=0.78*1e-9*Fr.^1.51.*Re.^1.1;
%Caudal requerido de aeración (m3/s)
Qa=bet.*qw*L
```



*Figura 13: Cinética del estrato de desborde*

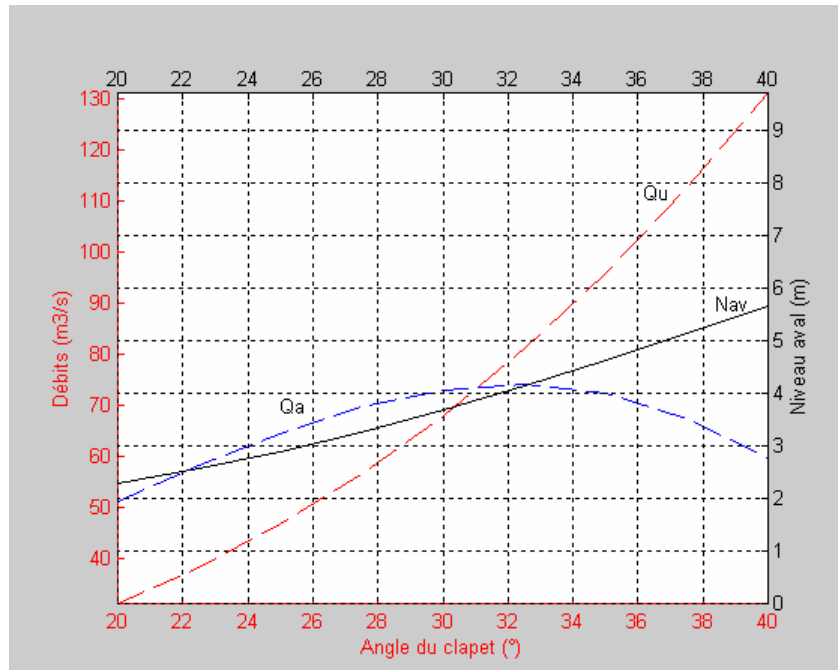
En el siguiente gráfico se muestra para un nivel aguas arriba constante igual a 9.7 m y para un embalse formado por 4 pasos :

- el caudal de aire arrastrado  $Q_a$  en función, de la apertura  $\alpha$  de la chapaleta, variante de  $20^\circ$  a  $50^\circ$
- el caudal correspondiente de desborde
- el nivel aguas abajo correspondiente

El desborde iniciado para  $\alpha = 20^\circ$  y para  $\alpha = 50^\circ$  el umbral está sumergido

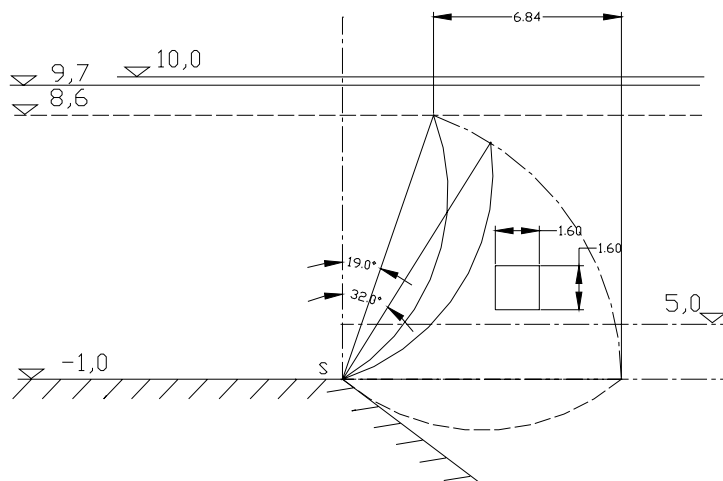
El caudal de aire arrastrado es máximo para  $\alpha = 32^\circ$  y equivale a aproximadamente  $75 \text{ m}^3/\text{s}$ . La diferencia  $N_{am} - N_{av}$  es entonces 5.7 m ; el caudal total equivale a  $Q = 4Q_u = 4 \times 80 = 320 \text{ m}^3/\text{s}$

Es para este nivel aguas arriba que el caudal de aire arrastrado es máximo



## 6.2. Cálculo de la sección requerida para el paso del aire

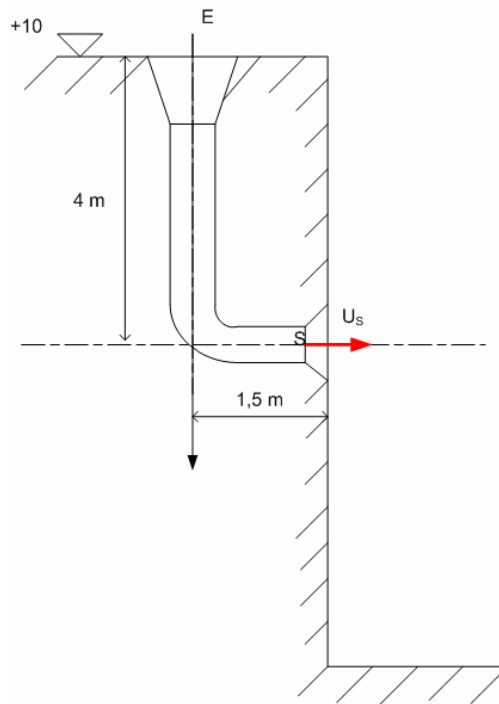
Lo ideal es realizar una ampliación del umbral aguas abajo, aproximadamente 1 m de de cada lado de la chapaleta que sirve de orificio de aeración sobre una longitud aproximadamente igual al desplazamiento horizontal del enrasamiento de la chapaleta (cf fichero de archivos posición conducto de aeración), o sea un poco menos de 7 m. La sección



de paso equivale entonces a  $7\text{m}^2$  de cada lado y las pérdidas de carga son insignificantes

*Figura 14: Posicionamiento de la desembocadura del conducto de aeración*

La otra alternativa es la creación de un conducto en el GC de las pilas y machones. La depresión aceptable en el volumen situado bajo el estrato es :  $p_d = 17 \text{ hPa}$  (Rogala « Arrastre por una lámina de desborde »)



*Figura 15 : Geometría del conducto de aeración*

El cálculo de la sección del conducto está dada por : 
$$S_c = \frac{Q_a/2}{\sqrt{2g \left[ \frac{p_d}{\varpi_a} + (z_E - z_S) \right]}} \sqrt{1 + \xi}$$

El coeficiente de pérdida de carga singular  $\xi$  equivale aproximadamente a 1 si se estudia la convergencia de entrada (pérdidas en el codo y divergencia de salida; pérdidas regulares insignificantes)

Para  $Q_a = 70 \text{ m}^3/\text{s}$  , se halla  $S_c = 2.7 \text{ m}^2$  o sea  $1.6 \times 1.6 \text{ m}$

La velocidad en el conducto equivale a  $1.3 \text{ m/s}$

La dificultad de esta solución es el posicionamiento correcto de la sección de salida en función de la inclinación de la chapaleta y de la trayectoria del estrato

## PROGRAMA MATLAB

```
% Cálculo de una compuerta-chapaleta

clear all;

%Peso volúmico del agua (N/m3)
g=9.81;
w=9810;

pi=3.1416;

%Altura compuerta entre umbral y enrasamiento compuerta cerrada(m)
hv0=9.6;
%Nivel aguas arriba max(m)
Namax=9.7;
%nivel aguas arriba(m)
Nam=9.7
%Nivel umbral (m)
Ns=-1;

%Posición angular compuerta cerrada(°)
alfamin=20;
%Posición angular compuerta cerrada(rad)
alfmin=alfamin/180*pi;
%Longitud del ribete aguas arriba
lv=hv0/cos(alfmin);
%Posición angular compuerta cerrada(°)
alfamax=80;
%Posición angular compuerta cerrada(rad)
alfmax=alfamax/180*pi;

%Paso angular(°)
paso=2.5/180*pi;
%Posición angular(°)
alf=alfmin:pas:alfmax;
alfa=alf/pi*180;
%Altura del enrasamiento de la compuerta por encima del umbral (m)
hv=lv*cos(alf);

%Altura sobrederrame(m)
h=(Nam-Ns)-hv;

%Altura del agua aguas arriba
ham=hv+h;
%Anchura de un paso (m)
L=13.5;

%Geometría de la compuerta
%Anchura de la compuerta (m)
Lv=15;
%Cota del centro del ribete aguas abajo % umbral de la compuerta,
compuerta en posición cerrada(m)
zOf=6.76;
%Anscisa del centro del ribete aguas abajo % umbral de la compuerta,
compuerta en posición cerrada(m)
```

```

xOf=4.01;

%Radio del ribete aguas abajo
R=(zOf^2+xOf^2)^0.5;
%Apertura angular del ribete aguas abajo
betac=2*asin(lv/(2*R));
%Ángulo entre recta que une el umbral al centro del ribete aguas abajo y
horizontal (rad)
deltas=asin(zOf/R)+(alf-alfmin);
%Coordenadas del centro del ribete aguas abajo % umbral de la compuerta
zO=R*sin(deltas);
xO=R*cos(deltas);

.....
%Cálculo de los componentes del empuje aguas arriba (kN)
%Empuje vertical
Aam = hv.*tan(alf).*(h+hv/2);
Vam = w*Lv*Aam*1e-3;
%Empuje horizontal
Ham = w*Lv*(h+hv/2).*hv*1e-3;
.....
%Cálculo del punto de aplicación del empuje aguas arriba
numzam=hv.^2/3+h.*(hv+h);
denzam=hv/2+h;
zam=(hv+h)-numzam./denzam;
xam=-zam.*tan(alf);
.....

%Caudal de desborde para una compuerta (m3/s)
Qu = 0.45*L*(2*g)^0.5*h.^1.5;
%Caudal total en el canal (m3/s)
Q = 4*Qu;
%Cálculo del nivel aguas abajo
Nav = -3.8336*(Q/1000).^2 + 10.894*(Q/1000) + 1.00
%Altura del agua aguas abajo
hav=Nav-Ns;

%Carga hidráulica
hy=ham-hav;
umbral=2/3*ham;

n=max(size(hav))

i=1;
while hav(i) < umbral
i=i+1;
end
n1=i-1
disp ('umbral sumergido para alfa (°) = ')
disp(alfa(n1))
disp ('umbral sumergido para Q (m3/s)= ')
disp(Q(n1))
disp ('umbral sumergido para Nav (m)= ')
disp(Nav(n1))

alfamax=alfa(n1);
Navmax=hav(n1)+ Ns;

.....
%Cálculo de los componentes de empuje aguas abajo
gamma=asin(abs(zO-hav)/R);

```

```

    beta=deltas-gamma;
    teta=pi/2-deltas+beta/2;
    PS=2*R*cos(pi-teta-deltas);
    Aav=PS.*cos(teta).*hav/2 - R^2/2*(beta-sin(beta));
    %Cálculo del empuje vertical aguas abajo
    Vav = w*Lv*Aav*1e-3;

    %Cálculo del empuje horizontal aguas abajo (kN)
    Hav = w*Lv*hav.^2/2*1e-3;
    .....
    %Cálculo del punto de aplicación del empuje aguas abajo
    deltav=atan(Vav./Hav);
    zav=z0-R*sin(deltav);
    zav1=hav/3;
    xav=x0-R*cos(deltav);
    .....
    %Cálculo de los componentes del empuje resultante
    %Hav=0
    %Vav=0
    Hh=Ham-Hav;
    Vh=Vam-Vav;
    Fh=(Hh.^2+Vh.^2).^0.5
    deltr=atan(Vh./Hh);
    deltar=deltr*180/pi;
    xR=(xam.*Vam-xav.*Vav)./(Vam-Vav);
    zR=(zam.*Ham-zav.*Hav)./(Ham-Hav);
    %ecart=zR-hv/3
    %ecartz=zam-zav
    dR=(xR.^2+zR.^2).^0.5;
    tetaR=atan(zR./xR)/pi*180;

    %Momento del empuje % eje rotación
    MFh=Hh.*zR - Vh.*xR;

    %Peso de la chapaleta(kN)
    P=3.688*(L^2*hv0*(Namax-Ns))^0.521;
    %Peso aparente en función de alfa (kN)
    Apa=hav.*PS.*cos(teta)-Aav-hav.^2/2.*tan(alf);
    %Pa=P-w*Apa*Lv*1e-3;
    Pa=P

    %Distancia de Cdg % al centro del ribete aguas abajo
    dG=R/2*(1+cos(betac/2));
    %Coordenadas de cdg de la chapaleta
    xG=x0-dG.*cos(betac/2-alf);
    zG=z0-dG.*sin(betac/2-alf);

    %Momento del peso % eje rotación
    MP=-Pa.*xG;
    %Momento resultante
    MRes=MFh+MP;

    %Coordenadas punto fijo de un gato
    xv=0;
    zv=12;
    %Coordenadas laña gato sobre la compuerta
    xP=hv.*tan(alf);
    zP=hv;
    %Componentes del vector gato
    Xv=xv-xP;
    Zv=zv-zP;

```

```

%Ángulo del vector gato
    alfv=abs(atan(Zv./Xv));

%Esfuerzo de un gato
    Fv=MRes/9.8/2;
    %Componente horizontal
        Hv=Fv.*cos(alfv);
        Vv=Fv.*sin(alfv);

%Acciones sobre la articulación
    Ha=Hh-2*Hv;
    Va=Vh-2*Vv+Pa;
    Fa=(Ha.^2+Va.^2).^0.5;
    deltaFa=atan(Va./Ha)*180/pi;

    Fhmax= max(Fh(1:n1))
        i=1;
        while Fh(i)<Fhmax
            i=i+1;
        end
        l=i;
    alfal=alfa(l)

    Famax= max(Fa(1:n1))
        i=1;
        while Fa(i)<Famax
            i=i+1;
        end
        j=i;
    alfaj=alfa(j)

    Fvmax=max(Fv(1:n1))
        i=1;
        while Fv(i)<Fvmax
            i=i+1;
        end
        k=i;
    alfak=alfa(k)
    Qk=Q(k)
    Navk=Nav(k)

retención;
retenciónl;

% Retención de la chapaleta en pandeo de pez, por un solo gato
global Fh,P,alf,deltar,lv,xG,zR

%Peso volúmico del agua (N/m3)
    g=9.81;
    w=9810;

    pi=3.1416;

%Geometría ribete aguas arriba
    Rb=12;
    betab=2*asin(lv/(2*Rb));
%Espesor del pandeo
    dv=R*(1-cos(betac/2))+Rb*(1-cos(betab/2));

```

```

Fhn=abs(Fh.*cos(alf-deltr));
Pn=P.*sin(alf);

Fvn=(Fhn.*zR.*cos(alf)+P.*xG)/lv;
Fvt=Fvn.*tan(alfv);
Fv1=(Fvn.^2+Fvt.^2).^0.5;

FCn=(Fhn+Pn)/2;

FDn=Fhn+Pn-FCn-Fvn;

%Esfuerzos internos de torsión
%Módulo de cizalladura(Pa)
G=8E10;
%Espesor de los ribetes (cm)
e=1.4;
%Sección de la caja de torsión (m2)
Sc=R^2*(betac/2-sin(betac)/2);
Sb=Rb^2*(betab/2-sin(betab)/2);
S=Sb+Sc
%Módulo de resistencia a la torsión (m3)
W=2*S*e*1e-3;
%Inercia de torsión (m4)
J=4*S^2/(R*betac/e+Rb*betab/e)*1e-2;
%Momento de torsión en extremo (kNm)
Mt=FCn*lv/2-0.15*Fhn;
%Tensión de cizalladura máxima (MPa)
tau=Mt/2/W*1e-3
%Ángulo de rotación en extremo (rad)
phi=Mt*Lv/(G*J)*1e3

```