

PRESA RALCO ALTO BIO BIO



CARACTERISTICAS PRESA RALCO EN EL RIO BIO BIO



Un embalse de 3.467 hectáreas fue formado por la construcción de una presa gravitacional de hormigón compactado con rodillo (HCR).

Esta presa es la segunda en su tipo en Chile y tiene una altura máxima de 155 metros, una longitud de 360 metros en su coronamiento y un volumen total de 1,5 millones de metros cúbicos.

La presa Ralco, al momento de la puesta en servicio, fue la tercera más alta del mundo y la quinta en volumen del tipo gravitacional en HCR.



El diseño de la presa consideró un paramento vertical aguas arriba y escalonado aguas abajo con una pendiente de 0,8:1 (horizontal/vertical).

Las obras del embalse incluyen un vertedero equipado con tres compuertas radiales, localizado cerca del centro de la presa con una capacidad de evacuación máxima de 6.550 m³/s.

La presa también incluye un desagüe de fondo que proporciona un caudal ecológico al río de 27,1 m³/s para la zona comprendida entre la presa y la salida del túnel de evacuación de la casa de máquinas.

Tipo de presa	Gravitacional de HCR
Altura máxima (m)	155
Longitud coronamiento (m)	360
Ancho coronamiento (m)	8,5
Cota de coronamiento (m.s.n.m)	727,30
Volumen total de HCR (m³)	1,5 x 10⁶
Nivel máximo del embalse (m.s.n.m)	725,00
Superficie máxima inundada (ha)	3.467
Volumen total embalsado (m³)	1.222 x 10⁶
Volumen máximo de regulación (m³)	800 x 10⁶
Caudal diseño del vertedero (m³/s)	6.550

La casa de máquinas está localizada en una caverna subterránea que tiene 110 m de largo, 26 m de ancho y 48 m de alto.

El agua desde el embalse será conducida a la casa de máquinas a través de un túnel en presión de 9,2 m de diámetro y 7 km de longitud.

Análisis Estructural

Para una presa como Ralco, con una altura total de 155 metros entre el punto más bajo de su fundación y su coronamiento, uno de los mayores desafíos ha sido la necesidad de realizar estudios exhaustivos para definir su geometría, de manera de garantizar su estabilidad y resistencia frente a distintas condiciones de sollicitación, entre las cuales destacan las de peso propio, empuje hidrostático del agua, empuje de sedimentos, subpresión, acciones sísmicas y térmicas. En tal sentido se han efectuado diversos análisis mediante modelos computacionales bi y tridimensionales de elementos finitos (programas ANSYS 5.4, EACD), pudiéndose mencionar análisis estáticos, pseudo estáticos, dinámicos y térmicos.

SISTEMA DE CONSTRUCCION



INSTRUMENTACIÓN DE PRESAS

1. EQUIPOS MEDIDORES DE PRESIÓN

PIEZÓMETROS HIDRÁULICOS
PIEZÓMETROS NEUMÁTICOS
PIEZÓMETROS DE CUERDA VIBRANTE
PIEZÓMETRO DE RESISTENCIA ELÉCTRICA
CELDA DE PRESIÓN TOTAL
PIEZÓMETROS CASAGRANDE

2. INSTRUMENTOS PARA LA MEDICIÓN DE INFILTRACIONES

VERTEDEROS
CANALETAS PARSHALL
MEDIDORES DE VELOCIDAD
RECIPIENTES CALIBRADOS

3. INSTRUMENTOS PARA LA MEDICIÓN DE MOVIMIENTOS INTERNOS

PLACA - BASE DE FUNDACIÓN
INCLINÓMETROS
EXTENSÓMETROS
PUNTAS VINCHON

4. EQUIPOS PARA LA MEDICIÓN DE MOVIMIENTOS SUPERFICIALES

CLINÓMETROS
PUNTOS DE CONTROL TOPOGRAFICO
PUNTOS DE CONTROL ESTRUCTURAL
EQUIPOS PARA MEDICIÓN DE GRIETAS

5. EQUIPOS PARA MONITOREO DE EVENTOS SÍSMICOS

SISMOGRAFOS
ACELERÓGRAFOS

REVANCHA POR OLA

Seville

$$R = 0,0026 (v^2/g)(gF_e/v^2)^{0,47}$$

F_e = fetch efectivo (m)

V = velocidad del viento (m/s)

R = revancha (m)

F_e	V	H
m	m/s	m
6.000	30	1,70
5.000	20	1,02
4.000	10	0,44

REVANCHA POR OLA

Stevenson

$$R = 0,032(V Fe)^{0,5} + 0,76 - 0,26 (Fe)^{0,25}$$

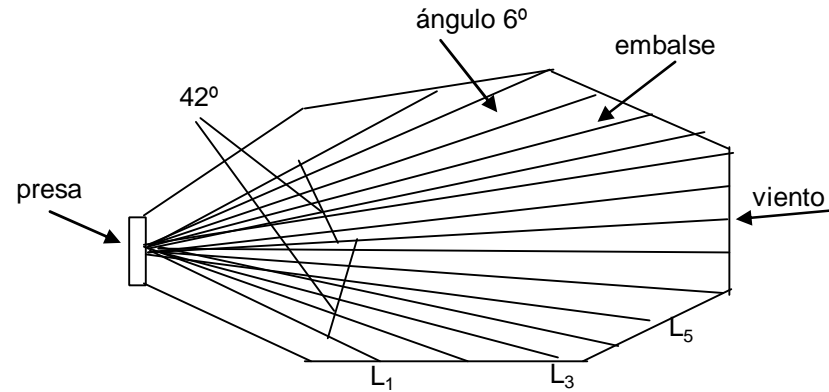
Fe (km)

V (km/hora)

R = revancha (m)

Fe	V	H
km	km/hora	m
6	108	1,17
5	72	0,98
4	36	0,78

FETCH EFECTIVO



línea N°	ángulo α	$\cos \alpha$	$\cos^2 \alpha$	L	$L \cos^2 \alpha$
1	42			L1	
2	36			L2	
3	30				
4	24				
5	18				
6	12				
7	6				
8	0				
9	6				
10	12				
11	18				
12	24				
13	30				
14	36				
15	42				
		suma $\cos \alpha$			suma $L \cos^2 \alpha$

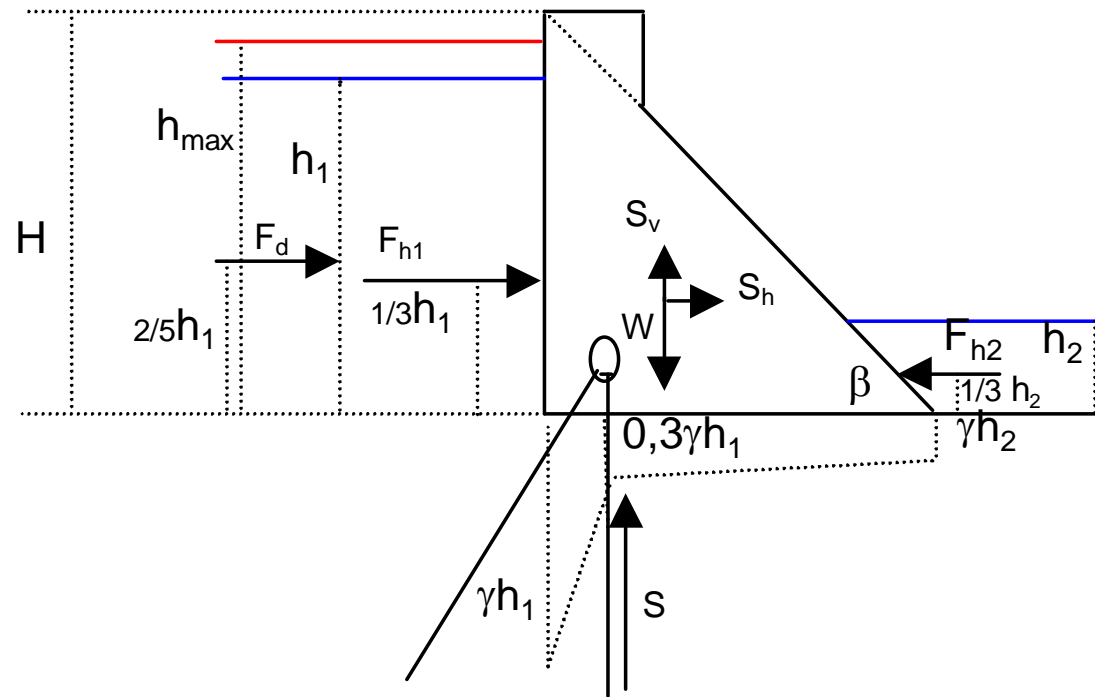
$$\text{Fetch efectivo } Fe = \frac{\text{suma } L \cos^2 \alpha}{\text{suma } \cos \alpha}$$

FUERZAS SOLICITANTES SOBRE UNA PRESA

- 1. Cargas verticales debidas al peso propio de la estructura**
- 2. Componentes verticales debido a presión hidrostática**
- 3. Componentes horizontales de la presión hidrostática**
- 4. Fuerzas horizontales debidas al sismo**
- 5. Fuerzas verticales debidas al sismo**
- 6. Incremento de la componente horizontal hidrostática debido al sismo**
- 7. Subpresiones**
- 8. Reacción de la fundación**
- 9. Esfuerzos dinámicos debido a flujo sobre la presa (vertedero)**
- 10. Acción del oleaje**
- 11. Presión horizontal provocada por sedimentos**
- 12. Presiones provocadas por el hielo**
- 13. Tensiones derivadas de efectos de temperatura**

PRESA GRAVITACIONAL DE HORMIGON CON PARAMENTO VERTICAL

FUERZAS SOLICITANTES



Se consideran las siguientes fuerzas solicitantes:

Empuje hidrostático

$$F_h = 1/2 \gamma h^2$$

Esfuerzo dinámico del agua en un sismo
Para un paramento vertical, según Westergaard, si se considera el agua incompresible, la fuerza dinámica adicional será:

$$F_d = 7/12 \alpha_h \gamma h^2$$

en que α es el coeficiente de aceleración horizontal y h es la altura del agua.

Peso de la estructura W

Se considera tanto el peso del hormigón como la superestructura.

Acción del sismo sobre la presa

La componente horizontal será:

$$S_h = \alpha_h W$$

La componente vertical será:

$$S_v = \alpha_v W$$

Subpresión

Si se considera que existe una cortina de drenaje efectiva, la subpresión será la resultante de aplicar los siguientes criterios:

En el punto inferior aguas arriba de la presa será igual a la presión hidrostática.

En el punto de la base de la presa en que cruza la cortina de drenaje, la presión a considerar sea igual a $1/3$ de la presión hidrostática.

CRITERIOS DE DISEÑO

A continuación se indican los siguientes criterios de diseño para el análisis de la estabilidad de la presa.

EMBALSE LLENO

1 Aguas máximas sin sismo.

2 Aguas normales más sismo horizontal hacia aguas abajo más sismo vertical ascendente.

EMBALSE VACÍO

Aguas mínimas más sismo horizontal hacia agua arriba más sismo vertical descendente.

VERIFICACIONES DE SEGURIDAD

A. Seguridad al deslizamiento

$$\text{factor de deslizamiento } f = \frac{\Sigma H}{\Sigma V - S}$$

ΣH = suma de fuerzas horizontales

ΣV = suma de fuerzas verticales

S = subpresión

Factores de deslizamiento

Tipo de fundación	Sin temblor	Con temblor
Roca sana homogénea	Se aplica criterio de corte y fricción	
Roca deficiente	0,80	1,00
Grava	0,50	0,60
Arena	0,40	0,50
Arcilla	0,30	0,40

Criterio de corte y fricción

$$Q = \frac{\mu(\Sigma V - S) + A \tau}{\Sigma H}$$

En que μ = coeficiente de fricción
(usualmente igual a 0,65)

A = sección de la superficie basal

τ = resistencia unitaria al corte

unitario

$Q \geq 5$ en roca sana

$Q \geq 2$ en roca blanda o suelo

B. Seguridad al volcamiento

M_r = Suma de momentos resistentes

M_v = Suma de momentos volcantes

F_v = Factor de seguridad

$$F_v = M_r/M_v$$

$$F_v \geq 1,30$$

C. Reacciones de la fundación

Reacción Vertical

Si V = suma de las componentes verticales de las fuerzas

M = suma de los momentos de las fuerzas actuantes en torno al punto medio de la base

b = ancho de la base del muro

la excentricidad de la resultante, en valor absoluto valdrá:

e = valor absoluto de M/V

El diagrama de presiones de contacto resultante será un trapecio y los valores extremos de dichas presiones serán:

$$P1 = (V/b) (1 - 6 (e/b))$$

$$P2 = (V/b) (1 + 6 (e/b))$$

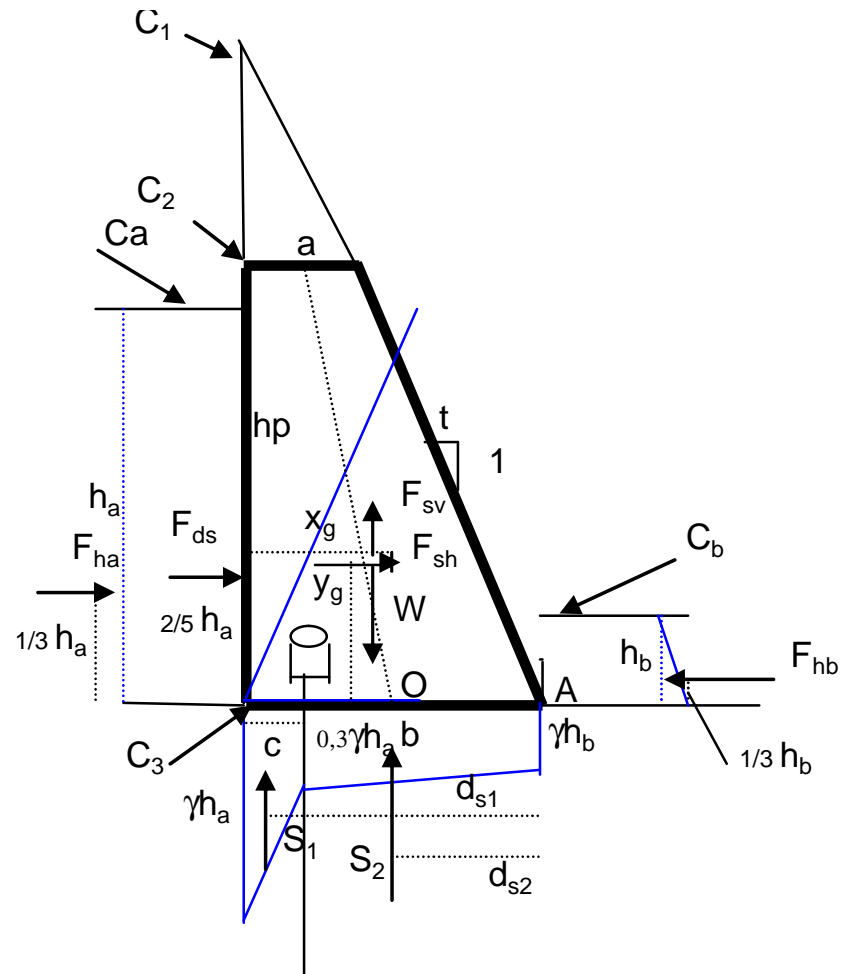
Si la resultante cae fuera del tercio central: $e > b/6$; en este caso la presión de contacto tendrá una distribución triangular y valdrá bajo la arista más cargada:

$$P2' = 2 V / (3 u)$$

En que $u = b/2 - e$

El mayor valor de la presión de contacto se producirá siempre en la arista más próxima a la ubicación de la resultante y por lo tanto si ésta se ubicare hacia la mitad de aguas arriba será necesario intercambiar P1 y P2 en las ecuaciones anteriores.

CALCULO DE LA ESTABILIDAD DE UNA PRESA



IDENTIFICACION DE FUERZAS (unidad de ancho)

$$F_{ha} = \text{fuerza hidrostática aguas arriba} = 1/2 \gamma h_a^2$$

$$F_{ds} = \text{fuerza dinámica adicional agua} = 7/12 \alpha \gamma h_a^2$$

$$F_{hb} = \text{fuerza hidrostática aguas abajo} = 1/2 \gamma h_b^2$$

$$W = \text{peso de la presa} = \gamma_h 1/2 (a+b) h_p$$

$$F_{sh} = \text{fuerza sísmica horizontal} = \alpha W$$

$$F_{sv} = \text{fuerza sísmica vertical} = \beta W$$

$$S_1 = \text{subpresión aguas arriba} = 0,35 c \gamma h_a$$

$$S_2 = \text{subpresión aguas abajo} = 1/3 \gamma (h-c) (0,8 h_a + h_b)$$

BRAZOS DE LAS FUERZAS

$$1/3 h_a$$

$$2/5 h_a$$

$$1/3 h_b$$

$$1/2 b + 1/6(b-a)(b+2a)/(t+a)$$

$$1/3 h_p (b+2a)/(b+a)$$

$$1/2 b + 1/6(b-a)(b+2a)/(t+a)$$

$$b-0,41 c$$

$$(h-c)(0,8 h_a + h_b)/(0,8 h_a + 3 h_b)$$