

**ANEJO Nº 7:**  
**BALSAS DE ALMACENAMIENTO**

## ÍNDICE

<b>1</b>	<b>INTRODUCCIÓN</b> .....	<b>1</b>
<b>2</b>	<b>NUEVA BALSA DE LA SAT EL GRUPO DE ANTAS</b> .....	<b>1</b>
2.1	CLASIFICACIÓN DE LA BALSA .....	1
2.2	CAPACIDAD DE LA BALSA.....	2
2.3	ESTUDIO PLUVIOMÉTRICO .....	3
2.3.1	<i>Introducción</i> .....	3
2.3.2	<i>Precipitación máxima</i> .....	3
2.3.3	<i>Volúmenes recogidos en la balsa</i> .....	5
2.4	CÁLCULO DEL ALIVIADERO.....	7
2.4.1	<i>Características del aliviadero</i> .....	7
2.4.2	<i>Comprobación del aliviadero</i> .....	7
2.4.3	<i>Tubería de desagüe del aliviadero</i> .....	9
2.5	CARACTERÍSTICAS CONSTRUCTIVAS .....	11
2.5.1	<i>Dimensionamiento</i> .....	11
2.5.2	<i>Conducciones y obras auxiliares</i> .....	15
2.6	ESTUDIO DE LA ESTABILIDAD DE TALUDES .....	24
2.6.1	<i>Métodos de análisis</i> .....	24
2.6.2	<i>Metodología de cálculo</i> .....	26
2.6.3	<i>Criterios generales para estudiar la estabilidad global de los taludes</i> .....	26
2.6.4	<i>Datos de partida</i> .....	29
2.6.5	<i>Resultados</i> .....	29
<b>3</b>	<b>REFORMA DE LAS BALSAS DE LA SAT CLIMASOL DE VERA</b> .....	<b>30</b>
3.1	CLASIFICACIÓN DE LA BALSA .....	30
3.2	CAPACIDAD DE LA BALSA.....	31
3.3	ESTUDIO PLUVIOMÉTRICO .....	32
3.3.1	<i>Introducción</i> .....	32
3.3.2	<i>Precipitación máxima</i> .....	32
3.3.3	<i>Volúmenes recogidos en la balsa</i> .....	34
3.4	CÁLCULO DEL ALIVIADERO.....	36
3.4.1	<i>Características del aliviadero</i> .....	36
3.4.2	<i>Comprobación del aliviadero</i> .....	36
3.4.3	<i>Tubería de desagüe del aliviadero</i> .....	38
3.5	CARACTERÍSTICAS CONSTRUCTIVAS .....	38
3.5.1	<i>Dimensionamiento</i> .....	38
3.5.2	<i>Conducciones y obras auxiliares</i> .....	42
3.6	ESTUDIO DE LA ESTABILIDAD DE TALUDES .....	49

3.6.1	<i>Métodos de análisis</i> .....	49
3.6.2	<i>Metodología de cálculo</i> .....	51
3.6.3	<i>Criterios generales para estudiar la estabilidad global de los taludes</i> .....	51
3.6.4	<i>Datos de partida</i> .....	54
3.6.5	<i>Resultados</i> .....	55
<b>APÉNDICE Nº 1. RESULTADOS DE LA ESTABILIDAD DE TALUDES DE LA Balsa DE LA SAT EL GRUPO DE ANTAS</b> .....		<b>56</b>
<b>APÉNDICE Nº 2. RESULTADOS DE LA ESTABILIDAD DE TALUDES DE LA Balsa DE LA SAT CLIMASOL DE VERA</b> .....		<b>57</b>

## ÍNDICE DE TABLAS

<i>Tabla 1. Cubicación de la balsa de la SAT El Grupo de Antas.</i>	2
<i>Tabla 2. Parámetros de cálculo de la precipitación máxima diaria</i>	4
<i>Tabla 3. Precipitaciones máximas y volúmenes recogidos en la balsa</i>	6
<i>Tabla 4. Caudal de cálculo del aliviadero</i>	8
<i>Tabla 5. Altura de vertido y Nivel Avenida de Proyecto</i>	8
<i>Tabla 6. Parcelas ocupadas por la balsa</i>	11
<i>Tabla 7. Características principales de la balsa</i>	12
<i>Tabla 8. Valores de <math>r_1</math> y <math>r_2</math></i>	14
<i>Tabla 9. Resguardo normal</i>	14
<i>Tabla 10. Resguardo normal considerando el bordillo</i>	15
<i>Tabla 11. Resguardo mínimo</i>	15
<i>Tabla 12. Coeficientes de seguridad mínimos</i>	28
<i>Tabla 13. Propiedades del terreno</i>	29
<i>Tabla 14. Geometría de la balsa</i>	29
<i>Tabla 15. Resultados de la estabilidad de taludes</i>	29
<i>Tabla 16. Cubicación de la balsa de la SAT Climazol de Vera.</i>	31
<i>Tabla 17. Parámetros de cálculo de la precipitación máxima diaria</i>	33
<i>Tabla 18. Precipitaciones máximas y volúmenes recogidos en la balsa</i>	35
<i>Tabla 19. Caudal de cálculo del aliviadero</i>	37
<i>Tabla 20. Altura de vertido y Nivel Avenida de Proyecto</i>	37
<i>Tabla 21. Parcelas ocupadas por las balsas</i>	39
<i>Tabla 22. Características principales de la balsa</i>	39
<i>Tabla 23. Valores de <math>r_1</math> y <math>r_2</math></i>	41
<i>Tabla 24. Resguardo normal</i>	41
<i>Tabla 26. Resguardo mínimo</i>	42
<i>Tabla 27. Coeficientes de seguridad mínimos</i>	54
<i>Tabla 28. Propiedades del terreno</i>	54
<i>Tabla 29. Geometría de la balsa</i>	54
<i>Tabla 30. Resultados de la estabilidad de taludes</i>	55

## ÍNDICE DE FIGURAS

<i>Figura 1. Mapa de isolíneas</i>	4
<i>Figura 2. Representación gráfica del método de Bishop.</i>	25
<i>Figura 3. Mapa de isolíneas</i>	33
<i>Figura 4. Representación gráfica del método de Bishop.</i>	50

## **INDICE DE GRÁFICOS**

<b>Gráfico 1.</b> <i>Cubicación de la balsa de la SAT El Grupo de Antas</i> .....	3
<b>Gráfico 2.</b> <i>Cubicación de la balsa de la SAT Climasol de Vera</i> .....	32

## **1 INTRODUCCIÓN**

En el presente Anejo se describirán las características de las dos balsas proyectadas, en concreto la nueva balsa para la SAT El Grupo de Antas y la modificación de las balsas existentes, procediendo a su unificación, para la SAT Climazol de Vera.

## **2 NUEVA BALSA DE LA SAT EL GRUPO DE ANTAS**

### **2.1 CLASIFICACIÓN DE LA BALSA**

De acuerdo con el artículo 358 del Real Decreto 9/2008, por el que se modifica el Reglamento del Dominio Público Hidráulico, las presas y embalses se clasifican en las siguientes categorías:

- a) *En función de sus dimensiones se considera gran presa aquella cuya altura es superior a 15 metros y la que, teniendo una altura comprendida entre 10 y 15 metros, tenga una capacidad de embalse superior a 1 hectómetro cúbico. Se considera pequeña presa aquella que no cumple las condiciones de gran presa.*

La balsa recogida en este proyecto tiene menos de 15 m de talud exterior y menos de 1 hm<sup>3</sup> de capacidad, por lo que se clasifica como **PEQUEÑA PRESA**.

- b) *En función del riesgo potencial que pueda derivarse de su posible rotura o funcionamiento incorrecto, se clasificarán en una de las tres categorías siguientes:*

- 1º. *Categoría A: Presas cuya rotura o funcionamiento incorrecto pueden afectar gravemente a núcleos urbanos o a servicios esenciales, o producir daños materiales o medioambientales muy importantes.*
- 2º. *Categoría B: Presas cuya rotura o funcionamiento incorrecto puede ocasionar daños materiales o medioambientales importantes o afectar a un número reducido de viviendas.*
- 3º. *Categoría C: Presas cuya rotura o funcionamiento incorrecto puede producir daños materiales de moderada importancia y sólo incidentalmente pérdidas de vidas humanas. En todo caso, a esta categoría pertenecerán todas las presas no incluidas en las categorías A o B.*

Según el artículo 367 del Real Decreto 9/2008, *los titulares de presas y balsas de altura superior a 5 m o de capacidad de embalse mayor de 100.000 m<sup>3</sup>, de titularidad privada o pública, existentes, en construcción o que se vayan a construir, estarán obligados a solicitar su clasificación y registro.*

La balsa de almacenamiento de la SAT El Grupo de Antas recogida en este proyecto tiene más de 5 m de talud exterior y una capacidad mayor de 100.000 m<sup>3</sup>, por lo que es necesaria la clasificación y registro de la misma.

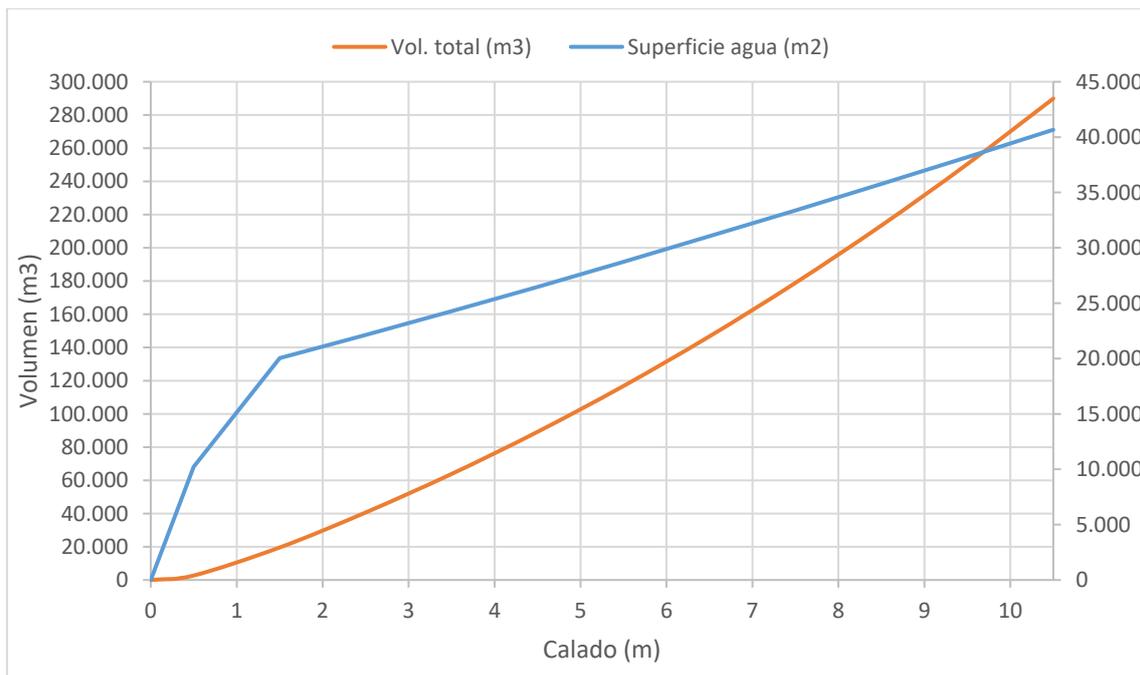
## 2.2 CAPACIDAD DE LA BALSA

El diseño de la balsa y su correspondiente movimiento de tierras necesario se ha realizado mediante el programa de diseño gráfico AutoCad Civil 3D 2024.

En la Tabla 1 se recoge, para cada cota, el incremento de volumen, volumen acumulado y el área de la superficie de agua.

**Tabla 1.** Cubicación de la balsa de la SAT El Grupo de Antas.

<b>Cota (m)</b>	<b>Altura (m)</b>	<b>Superficie (m<sup>2</sup>)</b>	<b>Incremento Vol. (m<sup>3</sup>)</b>	<b>Vol. Total (m<sup>3</sup>)</b>
202,5	0	0	0	0
203	0,5	10.228	2.711	2.711
204	1,5	20.041	16.876	19.587
205	2,5	22.129	21.076	40.663
206	3,5	24.277	23.195	63.858
207	4,5	26.474	25.368	89.226
208	5,5	28.732	27.595	116.821
209	6,5	31.053	29.885	146.706
210	7,5	33.379	32.209	178.915
211	8,5	35.768	34.567	213.482
212	9,5	38.196	36.975	250.457
213	10,5	40.666	39.425	289.881



**Gráfico 1.** Cubicación de la balsa de la SAT El Grupo de Antas

*Fuente: Elaboración propia*

## 2.3 ESTUDIO PLUVIOMÉTRICO

### 2.3.1 Introducción

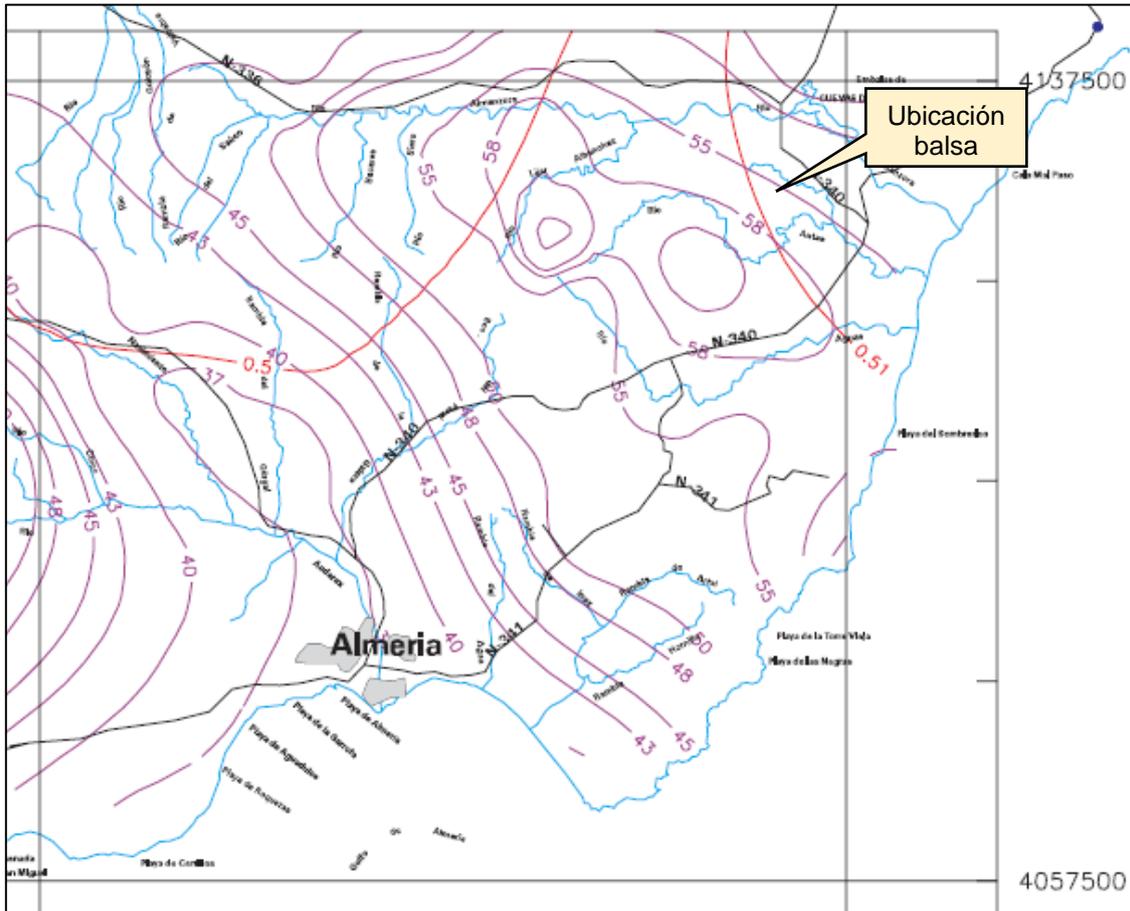
En el presente apartado se incluyen los estudios realizados para la determinación de la máxima precipitación diaria en la zona de la balsa, para un período de retorno de 500 años, definiendo posteriormente las precipitaciones máximas para distintas duraciones de aguacero y calculando el volumen recogido en la balsa.

El volumen de agua que capta de forma natural la balsa proyectada es el de la lluvia que cae directamente sobre ella.

Los cálculos realizados sobre la pluviometría son importantes a la hora del dimensionamiento del aliviadero, pues este hay que dimensionarlo teniendo en cuenta el aguacero máximo.

### 2.3.2 Precipitación máxima

La precipitación máxima diaria se obtiene a partir del documento “Máximas lluvias diarias en la España Peninsular” del Ministerio de Fomento. De aquí se puede obtener el valor medio de la precipitación diaria anual ( $P_{media}$ ) y el coeficiente de variación ( $C_v$ ), a partir de los mapas de isolíneas:



**Figura 1.** Mapa de isolinías  
*Fuente: Máximas luvias diarias en la España Peninsular*

Utilizando una aplicación informática que realizó el Ministerio para facilitar el cálculo, la precipitación máxima diaria para un tiempo de retorno de 500 años, obtenida para las coordenadas donde se ubica la balsa, es:

Coordenadas ETRS89 HUSO 30:

X= 592.595  
Y= 4.125.810

**Tabla 2.** Parámetros de cálculo de la precipitación máxima diaria

Valor medio de la máxima precipitación diaria (Pm) mm/día	56
Coficiente de variación (Cv)	0,511
Tiempo de retorno (años)	500
Precipitación máxima diaria (Pd)	<b>214 mm/día</b>

Para el cálculo de las precipitaciones máximas para distintas duraciones de aguacero, se parte de la precipitación máxima diaria obtenida en el apartado anterior.

Para dicho cálculo se utiliza la formulación expuesta en la Instrucción 5.2-IC de Drenaje Superficial, que tiene la siguiente expresión:

$$I_t = I_d \left( \frac{I_1}{I_d} \right)^{\frac{28^{0.1} - t^{0.1}}{28^{0.1} - 1}}$$

donde:

$I_d$  (mm.) : intensidad media diaria de precipitación. Es igual a  $P_d/24$ .

$P_d$  (mm.) : precipitación total diaria correspondiente.

$I_1$  (mm.) : intensidad horaria de precipitación. El valor de la razón  $I_1/I_d$  se tomará del mapa de isolíneas recogido en la Instrucción 5.2-IC, que para la zona que nos ocupa tiene un valor de 10.

$t$  (h) : duración del intervalo al que se refiere  $I_t$ .

Para una duración de una hora se obtiene:  $I_t = 89,17$  mm.

### **2.3.3 Volúmenes recogidos en la balsa**

Basándose en lo anteriormente expuesto, se pueden obtener las precipitaciones sobre la balsa para cualquier duración de lluvia, la precipitación horaria para una lluvia uniforme de cualquier duración, y multiplicando la precipitación total por la superficie de recogida de la balsa (47.800 m<sup>2</sup>), se obtienen los volúmenes de agua recogidos.

A continuación, se adjunta una tabla donde se puede observar, para distintas duraciones de lluvia, la precipitación horaria, la precipitación total, el % sobre la precipitación máxima diaria, y los volúmenes recogidos en la balsa.

**Tabla 3.** Precipitaciones máximas y volúmenes recogidos en la balsa

<b>T (h)</b>	<b>Precip. Horaria (mm)</b>	<b>Precip. Total (mm)</b>	<b>Precip. Diaria (%)</b>	<b>Volúmenes balsa regulación (m<sup>3</sup>)</b>
1	89,17	89,17	41,67	4.262
2	58,71	117,42	54,87	5.613
3	45,35	136,04	63,57	6.503
4	37,51	150,05	70,12	7.173
5	32,26	161,29	75,37	7.710
6	28,44	170,66	79,75	8.158
7	25,53	178,69	83,50	8.541
8	23,21	185,69	86,77	8.876
9	21,32	191,89	89,67	9.172
10	19,74	197,45	92,26	9.438
11	18,41	202,47	94,61	9.678
12	17,25	207,04	96,75	9.897
13	16,25	211,23	98,71	10.097
14	15,36	215,10	100,51	10.282
15	14,58	218,68	102,19	10.453
16	13,88	222,01	103,74	10.612
17	13,24	225,12	105,20	10.761
18	12,67	228,03	106,56	10.900
19	12,15	230,76	107,83	11.031
20	11,67	233,34	109,04	11.154
21	11,23	235,77	110,17	11.270
22	10,82	238,07	111,25	11.380
23	10,45	240,25	112,27	11.484
24	10,10	242,32	113,23	11.583
36	7,25	261,04	121,98	12.477
48	5,69	272,91	127,53	13.045
72	3,99	287,09	134,15	13.723

## **2.4 CÁLCULO DEL ALIVIADERO**

### **2.4.1 Características del aliviadero**

Tendrá como misión evacuar el exceso de agua que exista por encima del nivel máximo de almacenamiento, como consecuencia del oleaje producido por el viento o por una precipitación muy elevada en un corto espacio de tiempo. Por ello, su entrada en funcionamiento va estar muy restringida a situaciones muy esporádicas.

Se proyecta de hormigón armado HA-25/B/20/XC2, situándose embutido en el talud de la balsa. La solución adoptada es un aliviadero de labio fijo en pared gruesa, con disposición frontal y sección de entrada rectangular, de 2x1,50 m de anchura útil y coincidente con el labio vertiente (cota 212,0).

Este canal atraviesa el dique de la balsa y desemboca en una arqueta de rotura también de hormigón armado HA-25/B/20/XC2, desde donde se lleva el agua hasta una arqueta de descarga situada a pie de talud de la rambla cercana situada al norte de la balsa, mediante una tubería de PEAD de DN 500 mm y 6 atm de timbraje, que discurre por el talud exterior de la balsa hasta el pie del mismo, y desde aquí mediante una tubería de PVC orientado de DN 500 mm y 12,5 atm de timbraje hasta la citada arqueta.

### **2.4.2 Comprobación del aliviadero**

El caudal que deberá ser capaz de evacuar el aliviadero será el correspondiente a la máxima precipitación sobre la superficie del embalse, además de, para una mayor seguridad, el caudal de entrada a la balsa desde diferentes fuentes, suponiendo que, por un fallo del sistema, no se puede cortar esta entrada de agua.

#### *2.4.2.1 Caudal de lluvia.*

La precipitación máxima diaria para un período de retorno de 500 años, es  $P_d=214$  mm, según se calculó anteriormente. Para calcular el caudal de lluvia  $Q_{lluvia}$ , se supone que toda el agua caída durante la lluvia (en mm) se almacena en la balsa, sin salir nada por el aliviadero, por lo que se obtendrán valores conservadores.

La Ley de desagüe del aliviadero viene dada por la cantidad de agua que es capaz de desaguar el vertedero de hormigón armado de 2x1,5 m de anchura. Se ha calculado considerando el mismo como un vertedero de pared gruesa según la conocida fórmula de Rehbock:

$$Q = 1,7 \times b \times h^{3/2}$$

siendo b la anchura del canal y h el calado que alcanza el agua.

Por tanto, fijando un ancho de vertedero de 3,0 m, el caudal de lluvia será:

$$Q_{\text{lluvia}} = 1,7 \times b \times h^{3/2} = 1,7 \times 3 \times (214/1000)^{3/2} = 0,505 \text{ m}^3/\text{s} = 505 \text{ l/s}$$

#### 2.4.2.2 Caudal de entrada a la balsa.

La balsa se llenará con el agua proveniente de distintas fuentes:

- a) Trasvase Negratín-Almanzora: mediante una tubería de PEAD de DN 400 mm y 10 atm de timbraje. Esta fuente aporta un caudal de 160 l/s.
- b) Pozos: mediante una tubería de PEAD de DN 250 mm y 10 atm de timbraje. Son tres los pozos que, mediante una única tubería, llenarán la balsa desde los mismos, con unos caudales de 50 l/s, 23 l/s y 23 l/s.
- c) Desaladora: se prevé la entrada de agua a la balsa desde la futura desaladora proyectada. Se hará mediante una tubería de PEAD de DN 400 mm y 10 atm de timbraje. Esta fuente aportará un caudal de 200 l/s.

No se prevé el llenado de la balsa mediante todas estas fuentes a la vez, por lo que el caudal máximo que se tendrá en cuenta para el cálculo del aliviadero será de 360 l/s. Por tanto, el caudal de cálculo del aliviadero será la suma del caudal máximo de llenado y el caudal aportado por lluvia:

**Tabla 4.** Caudal de cálculo del aliviadero

<b>Q<sub>lluvia</sub></b> <b>(l/s)</b>	<b>Q<sub>llenado</sub></b> <b>(l/s)</b>	<b>Q<sub>aliviadero</sub></b> <b>(l/s)</b>
505	360	865

#### 2.4.2.3 Descarga sobre el vertedero.

Con los datos de caudal antes calculados y la anchura de vertedero considerada de 2x1,5 m, aplicando la ley de desagüe del aliviadero reseñada anteriormente, la cota de vertido alcanzada por el agua (Nivel Avenida de Proyecto, N.A.P.) será:

**Tabla 5.** Altura de vertido y Nivel Avenida de Proyecto

<b>Q<sub>aliviadero</sub></b> <b>(l/s)</b>	<b>h<sub>aliviadero</sub></b> <b>(m)</b>	<b>N.M.N.</b>	<b>N.A.P.</b>
865	0,31	212,00	212,31

Como se ha comprobado, la altura de vertido alcanzada es menor que la altura del canal del aliviadero, que es de 0,75 m.

### 2.4.3 Tubería de desagüe del aliviadero

Por último, se calcula el diámetro de la tubería de desagüe del aliviadero, que conecta la arqueta de rotura con el punto de descarga en la rambla cercana al norte de la balsa. Se ha diseñado una tubería en dos tramos que se describen a continuación y se realiza la comprobación de que esta tubería es suficiente para desaguar el caudal calculado.

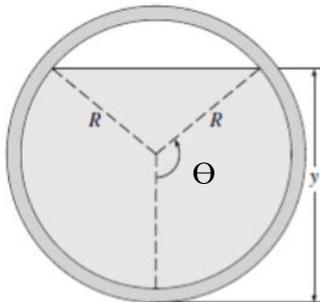
#### 1) Tramo 1 (arqueta rotura-pie de talud exterior balsa)

Este tramo es de PEAD DN 500 mm y 6 atm de timbraje, y tiene una longitud de 15 m con una pendiente del 50% (talud exterior de la balsa, 2:1). Con esta pendiente tan elevada, se deduce que esta tubería no entrará en carga y funcionará en régimen de lámina libre ocluida. Para comprobar su funcionamiento, se utilizará la fórmula de Manning-Strickler:

$$Q = \frac{1}{n} A R_h^{2/3} i^{1/2}$$

donde:

- Q: caudal desaguado, en m<sup>3</sup>/s
- A: área del flujo de agua en la tubería (m<sup>2</sup>), que depende del calado y (m)
- P: perímetro mojado (m)
- R<sub>h</sub>: radio hidráulico (m)



$$A = R^2(\theta - \sin \theta \cos \theta)$$

$$P = 2R\theta$$

$$R_h = \frac{A}{P} = \frac{\theta - \sin \theta \cos \theta}{2} R$$

$$y = R (1 - \cos \Theta)$$

$$\Theta = \arccos (1 - y/R), \text{ en radianes}$$

- n: coeficiente de rugosidad de Manning
- i: pendiente de la tubería (m/m)

Mediante un proceso iterativo, se van probando distintos calados hasta alcanzar el caudal requerido, siempre tomando la pendiente que tenga la tubería en el tramo estudiado.

**Entrada:**

Diámetro de la tubería, D	461,8	mm
Rugosidad según Manning, n	0,011	
Pendiente hidráulica (o de la tubería), i	50	%
Calado, y	0,185	m

**Resultados:**

$\Theta$	1,37	rad
Caudal, Q	865	m <sup>3</sup> /s
Velocidad, v	13,77	m/s
Presión (en M.C.As) por velocidad de flujo, hv	9,67	m
Área del flujo, A	0,0628	m <sup>2</sup>
Perímetro mojado, P	0,6335	m
Radio hidráulico	0,1	m
Ancho de lámina libre, T	0,4527	m
Número de Froude, F	12,48	

Como factor de seguridad se impone que el calado máximo del tubo sea del 85 % de su diámetro interior (y máx = 0,85 D). En este caso supone 40,12 % del diámetro del tubo.

2) Tramo 2 (pie de talud exterior balsa-arqueta de descarga en rambla)

Este tramo es de PVC orientado DN 500 mm y 12,5 atm de timbraje, y tiene una longitud de 69 m con una pendiente mínima del 2,7%. Con esta pendiente, muy inferior a la del tramo anterior, se deduce que esta tubería entrará en carga. La pérdida de carga en la tubería se calcula por la fórmula de Hazen-Williams:

$$J(m/m) = 10,62 \cdot C^{-1,85} \cdot D^{-4,87} (m) \cdot Q^{1,85} (m^3/s)$$

donde C depende del material de la conducción y del diámetro de la misma. Para PVC, Polietileno y diámetros que se manejan, se adopta un valor de C = 150.

La tubería de PVC orientado de DN=500 mm y PN de 12,5 atm tiene un diámetro interno de 475,2 mm, por lo que, para la longitud de 69 m y un caudal de 865 l/s, las pérdidas de carga son de 2 m, inferior a la diferencia de cota existente entre el inicio y el fin de la tubería, por lo que será capaz de desaguar el caudal máximo del aliviadero.

## **2.5 CARACTERÍSTICAS CONSTRUCTIVAS**

### **2.5.1 Dimensionamiento**

#### *2.5.1.1 Características generales*

La balsa de almacenamiento está situada en el término municipal de Antas, provincia de Almería, al noroeste del núcleo urbano, en una parcela situada junto a la balsa existente de Capellanía, perteneciente a la SAT El Grupo de Antas.

Las parcelas catastrales que ocupará la balsa parcialmente, son las siguientes:

**Tabla 6.** Parcelas ocupadas por la balsa

<b>Término Municipal</b>	<b>Polígono</b>	<b>Parcela</b>
Antas	23	25
Antas	23	26
Antas	23	27

Se proyecta una balsa de almacenamiento de materiales sueltos impermeabilizada con lámina de polietileno de alta densidad. Se ha diseñado una balsa con un volumen útil de almacenamiento de 250.457 m<sup>3</sup>

Las características constructivas principales son las siguientes:

**Tabla 7.** Características principales de la balsa

Talud interior	2,5H:1V
Talud exterior	2H:1V
Anchura de coronación	5,0 m
Cota de coronación (sin zahorra)	213,00
Cota de coronación (con zahorra)	213,10
Cota Nivel Máximo Normal (N.M.N.)	212,00
Cota Nivel Máximo de Explotación (N.M.E.)	212,00
Cota Nivel Avenida de Proyecto (N.A.P.)	212,31
Cota máxima de fondo	203,50
Cota mínima de fondo	202,50
Resguardo sobre el N.M.N.	1,00 m
Altura máxima de dique	11,50 m
Altura interior total	10,50 m
Altura útil de agua	9,50 m
Longitud de coronación	1.011 m
Superficie ocupada	60.174 m <sup>2</sup>
Superficie lámina de agua total (213,00)	40.666 m <sup>2</sup>
Superficie lámina de agua útil (212,00)	38.196 m <sup>2</sup>
Superficie lámina de agua fondo (213,50)	19.018 m <sup>2</sup>
Volumen de agua a N.M.N.	250.457 m <sup>3</sup>
Volumen de agua hasta coronación	289.881 m <sup>3</sup>
Caudal de llenado	0,865 m <sup>3</sup> /s

### 2.5.1.2 Taludes

La inclinación de los taludes del dique será función de su altura, de las características del material empleado en la construcción del mismo, de la tipología adoptada y de las condiciones sísmicas. Hay que tener en cuenta que estos taludes deben ser estables en todas las condiciones posibles a las que se pueda enfrentar durante el proceso constructivo y su posterior vida útil. Se han elegido las siguientes inclinaciones:

Talud interior: 2,5 : 1 (H/V)

Talud exterior: 2 : 1 (H/V)

El criterio fundamental para la elección de la inclinación en el talud exterior es la estabilidad, ya que se cuenta con una altura de dique considerable. En el Apartado 2.6 de este Anejo se recoge un estudio específico de la estabilidad de los taludes de la balsa.

En cuanto al talud interior, aparte de la estabilidad, se ha tenido en cuenta el dar una inclinación suficiente para que las máquinas de compactación puedan subir y bajar fácilmente por el talud para realizar el refino interior de la balsa, de ahí la elección de la inclinación 2,5 : 1 (H/V).

La obra de tierra comenzará desechando la capa del suelo más superficial, que contiene materia orgánica, material éste que no se empleará en la construcción. La fabricación y consolidación del cuerpo del terraplén se realizará por tongadas horizontales de 20 cm. de espesor, regadas y compactadas mínimo al 100% Proctor Modificado.

#### 2.5.1.3 Coronación

La anchura de coronación, por una parte, debe ser la menor posible por razones de tipo económico y, por otra parte, debe asegurar la estabilidad estructural y ser suficiente para albergar un camino de servicio que tenga continuidad a lo largo de toda la coronación del dique.

Siguiendo estas premisas, para asegurar un ancho suficiente para el tránsito de vehículos y dar la estabilidad suficiente al dique de más altura, según los cálculos realizados en el Apartado 2.6 de este Anejo, se dispondrá un pasillo de coronación de 5,0 m de anchura. Este pasillo llevará una capa de material granular seleccionado de 10 cm, compactado al 100% del Proctor Modificado, con una pendiente transversal del 2% hacia el interior de la balsa, para evacuar el agua de lluvia caída sobre el mismo. (Ver plano nº 4.4. «Balsa de almacenamiento SAT El Grupo de Antas. Sección tipo»).

Se colocarán elementos de seguridad en la balsa para uso en caso de caídas de personas en la misma, formado por cable de nylon de 12 mm de diámetro con flotador y sujeto a poste anclado en la coronación de la balsa, aparte de otros flotadores en el interior, flotando para poder utilizarse de forma autónoma. (Ver plano nº 4.8. «Balsa de almacenamiento SAT El Grupo de Antas. Medidas ambientales». Hoja 2 de 2).

Se incluirá cartelería de prohibición de acceso y de baño tanto a lo largo de la coronación como en el acceso principal a la misma. Igualmente, en dicho acceso se colocará un cartel indicativo con la limitación de entrada a vehículos con peso máximo de 10 Toneladas por eje y velocidad máxima de circulación de 10 km/h.

### 2.5.1.4 Resguardo

Se denomina resguardo a la diferencia entre el nivel de agua de la balsa en una situación concreta y la coronación del dique de cierre de la balsa ( $Z_{cor}$ ). El resguardo se define para las dos situaciones principales de la balsa:

- a) Resguardo normal ( $R_{NORMAL}$ ): es el relativo al Nivel Máximo Normal (NMN) o máximo nivel que puede alcanzar el agua de la balsa en un régimen normal de explotación. Este resguardo deberá ser igual o superior a la sobreelevación correspondiente al caudal de cálculo del aliviadero ( $r_1$ ) más la sobreelevación correspondiente al oleaje máximo ( $r_2$ ).
- b) Resguardo mínimo ( $R_{MÍNIMO}$ ): es el relativo al Nivel Avenida de Proyecto (NAP) o nivel correspondiente al caudal de cálculo del aliviadero. Este resguardo deberá ser igual o superior a la sobreelevación correspondiente al oleaje máximo ( $r_2$ ).

La comprobación del resguardo normal se puede realizar mediante la expresión siguiente:

$$R_{NORMAL} (m) = Z_{cor} - NMN \geq r_1 + 1,5 \cdot r_2$$

Siendo:

- $r_1 = NAP - NMN$
- $r_2$  : altura de ola (m), que se puede calcular por la fórmula de Iribarren:

$$r_2 = 0,6 \times F^{0,25}$$

donde F : Fetch (km) = cuerda más larga de la balsa

Por tanto, se tiene:

**Tabla 8.** Valores de  $r_1$  y  $r_2$

N.A.P.	N.M.N.	$r_1$ (m)	F (km)	$r_2$ (m)
212,31	212,00	0,31	0,4	0,477

Con la cota de coronación (sin la terminación con zahorra) de la balsa no se consigue el resguardo normal:

**Tabla 9.** Resguardo normal

$Z_{cor}$	$R_{NORMAL}$ (m)	$r_1 + 1,5 \cdot r_2$ (m)
213,00	1,00	1,026

Dado que no se consigue el resguardo normal, tal y como se dice en el “Manual para el diseño, construcción, explotación y mantenimiento de balsas” del CEDEX, se puede contabilizar la mitad de la altura del pretil como parte del resguardo. En este caso, la altura del bordillo de cerramiento que se colocará en coronación tiene una altura de 17 cm sobre la capa de rodadura, de los cuales, 8,5 cm se contabilizarán como parte del resguardo. Así se consigue cumplir con el resguardo normal:

**Tabla 10.** Resguardo normal considerando el bordillo

Z <sub>cor</sub>	Z <sub>mitad bordillo</sub>	R <sub>NORMAL</sub> (m)	r <sub>1</sub> + 1,5·r <sub>2</sub> (m)
213,00	213,085	1,085	1,026

Complementariamente, la comprobación de que el resguardo mínimo tiene un valor suficiente se puede realizar mediante la expresión siguiente:

$$R_{\text{MÍNIMO}} \text{ (m)} = Z_{\text{cor}} - \text{NAP} \geq 1,5 \cdot r_2$$

Se considera igualmente Z<sub>mitad bordillo</sub> para el cálculo del resguardo mínimo. En este caso, se tiene:

**Tabla 11.** Resguardo mínimo

R <sub>MÍNIMO</sub> (m)	1,5·r <sub>2</sub> (m)
0,775	0,716

Por lo que cumple también con el resguardo mínimo.

## 2.5.2 Conducciones y obras auxiliares

### 2.5.2.1 Entrada de agua a la balsa

Como se ha detallado en un apartado anterior, la balsa se llenará con el agua proveniente de distintas fuentes:

- a) Trasvase Negratín-Almanzora: mediante una tubería de PEAD de DN 400 mm y 10 atm de timbraje. Esta fuente aporta un caudal de 160 l/s.
- b) Pozos: mediante una tubería de PEAD de DN 250 mm y 10 atm de timbraje. Son tres los pozos que, mediante una única tubería, llenarán la balsa desde los mismos, con unos caudales de 50 l/s, 23 l/s y 23 l/s.
- c) Desaladora: se prevé la entrada de agua a la balsa desde la futura desaladora proyectada. Se hará mediante una tubería de PEAD de DN 400 mm y 10 atm de timbraje. Esta fuente aportará un caudal de 200 l/s.

La entrada de agua se realiza por la parte superior de la balsa, atravesando el cuerpo de la balsa por debajo del camino de coronación. El control de entrada se realiza mediante sendas válvulas de mariposa que se alojan en una arqueta cada una.

#### *2.5.2.2 Salida de agua de la balsa*

La toma de agua de la balsa se realizará por el fondo de la misma y mediante una pieza cilíndrica de chapa perforada de acero galvanizado, conectada a una conducción de toma, formada por una tubería de P.E.A.D. de DN 900 mm y timbraje 6 atm, protegida en un tubo de hormigón machihembrado de DN 1.200 mm. Esta tubería cruza el cuerpo de la balsa hacia su parte exterior, donde desemboca en la arqueta de válvulas.

Para proteger la tubería de salida de la carga que soporta por encima de ella al atravesar el dique de la balsa, la zanja donde se aloja se rellenará por completo con hormigón en masa HM-20/B/20/X0 de 20 N/mm<sup>2</sup> de resistencia.

#### *2.5.2.3 Desagüe de la balsa*

Como desagüe de fondo de la balsa se utilizarán la salida de agua descrita anteriormente, así como otra toma formada por una pieza cilíndrica de chapa perforada de acero galvanizado, conectada a una tubería de P.E.A.D. de DN=500 mm protegida en un tubo de hormigón machihembrado de DN=800 mm. Para proteger esta tubería de la carga que soporta por encima de ella, la zanja donde se aloja irá rellena de hormigón HM-20/B/20/X0 de 20 N/mm<sup>2</sup> de resistencia. Mediante una serie de válvulas de mariposa y compuerta de DN=500 mm alojadas en la arqueta de válvulas, se podrá controlar el flujo de agua, bien hacia el desagüe, o bien hacia la tubería de la red de riego.

#### *2.5.2.4 Aliviadero*

Tendrá como misión evacuar el exceso de agua que exista por encima del nivel máximo de almacenamiento, como consecuencia del oleaje producido por el viento o por una precipitación muy elevada en un corto espacio de tiempo. Por ello, su entrada en funcionamiento va estar muy restringida a situaciones muy esporádicas.

Se proyecta de hormigón armado HA-25/B/20/XC2, situándose embutido en el talud de la balsa. La solución adoptada es un aliviadero de labio fijo en pared gruesa, con disposición frontal y sección de entrada rectangular, de 2x1,50 m de anchura útil y coincidente con el labio vertiente

(cota 212,0). En sección longitudinal, la obra está formada por tres partes que, de aguas arriba hacia aguas abajo, son las siguientes:

- **Embocadura.** Dos aletas y un canal de hormigón armado de sección rectangular, con dos huecos de 1,5 m de anchura libre y 0,75 m de altura útil, con un murete central de 0,3 m de anchura, y con una longitud 5,0 m, a la que añadir las aletas rectas de transición, de 2,5 m de longitud y diseño triangular decreciente. Para permitir el paso del tráfico rodado por la parte superior con firme de 10 cm de zahorra artificial, se realiza un paso apoyado en las paredes extremas y central del aliviadero, que se traduce en la colocación de placas prefabricadas en obra de hormigón armado HA-25/B/20/XC2 de 25 cm de espesor, con doble armadura de Ø10 mm cada 15 cm. Los muros de 30 cm de espesor del canal, con doble armadura reticular de Ø10 mm cada 15 cm, arrancan de la cimentación realizada por losa de hormigón armado HA-25/B/20/XC2 de 25 cm de espesor, con una armadura doble de Ø12 mm cada 20 cm, sobre una capa de hormigón de limpieza HM-20/B/20/X0 de 10 cm.
- **Arqueta de rotura,** de dimensiones interiores en planta, 3,3 m de anchura, 2,0 m de altura y 1,5 m de longitud, cerrada por su parte superior con planchas de trámex metálico galvanizado sobre perfilera de apoyo S 235 JR de acero conformado en frío. Esta arqueta, de hormigón armado HA-25/B/20/XC2, dispone de muros de 25 cm de espesor con armadura reticular de Ø10 mm cada 20 cm, sobre losa de 30 cm con una armadura de Ø12 mm cada 30 cm, que conforma un resalto respecto a la solera del aliviadero, de 1,0 m de altura. La solera irá sobre una capa de 10 cm de hormigón de limpieza HM-20/B/20/X0.
- **Conducción** constituida por una tubería de P.E.A.D. de DN 500 mm y 6 atm de timbraje, 15 m de longitud, que parte de la arqueta de rotura del aliviadero y se dispone apoyada por el talud exterior de la balsa hasta el pie del mismo, donde pasa a estar enterrada. Desde este punto se cambia a una tubería de PVC orientado de DN 500 mm y 12,5 atm de timbraje, 69 m de longitud, que se prolonga hasta la arqueta de descarga situada al borde de la rambla cercana, situada al norte de la balsa.

La armadura a disponer en todos los elementos de hormigón armado elaborados in situ, se ejecutará con ferralla de acero de calidad B 500 S.

#### 2.5.2.5 Sistema de drenaje

El sistema de drenaje se efectúa con la doble finalidad de eliminar las aguas infiltradas de parcelas adyacentes, y con el fin de construir un sistema de seguridad que nos avise de posibles fugas de la impermeabilización. La red deberá tener la capacidad de evacuar las aguas sin que sufran daños los terraplenes en caso de infiltraciones o fugas de agua.

Los drenajes estarán formados por una zanja de 0,40 m x 0,40 m revestida por un dren geotextil no tejido de filamentos continuos de polipropileno con un gramaje de 350 gr/m<sup>2</sup>, donde en el fondo se colocará una capa de grava sobre la que irá el tubo de drenaje. La tubería drenante será de PVC corrugado y ranurado de 100 mm de diámetro. Una vez colocada ésta, se terminará de llenar la zanja con grava de 10-25 mm, para finalmente cubrir el relleno con el mismo geotextil que ha revestido la zanja.

La red de drenaje será perimetral y transversal, estando la perimetral situada a varios metros del pie del talud interior y la transversal conectada a uno de los tubos perimetrales. Se diseña un sistema de drenaje dividido en dos sectores. También se colocará un drenaje alrededor de la toma de salida de agua para protegerla. Los caudales procedentes de los sectores y el drenaje de la toma, se recogen al final en tuberías de P.E.A.D. de DN 110 mm y 10 atm de timbraje, y discurrirán desde el término del dren del que se alimentan hasta una arqueta de control de drenes situada a pie del talud exterior de la balsa, donde se podrá visualizar la cantidad de agua drenada por cada uno de los sectores. Estas tres tuberías se dispondrán en el mismo tubo de protección de hormigón machihembrado de DN 800 mm por el que discurre el desagüe de fondo. El vaciado de dicha arqueta se realizará mediante una tubería de PVC orientado de DN 160 mm y 12,5 atm de timbraje, que discurrirá hasta la misma arqueta de descarga donde vierte la tubería de desagüe del aliviadero.

Esta arqueta de control de drenes está formada por un tubo de hormigón machihembrado de DN 1000 mm de diámetro interior y una altura de 1,5 m, apoyada sobre una solera de hormigón armado HA-25/B/20/XC2 de 15 cm de espesor y 1,3 m x 1,3 m de dimensiones. Además, tendrá una tapa abisagrada de chapa galvanizada de 3 mm de espesor.

#### 2.5.2.6 Arqueta de válvulas

Los dispositivos de regulación previstos en la salida de la balsa son los siguientes:

- Una válvula de mariposa de DN 900 mm de accionamiento eléctrico, colocada en la tubería de toma de agua o vaciado de la balsa.
- Una válvula de mariposa de DN 900 mm de accionamiento manual, colocada a continuación de la válvula anterior, en la tubería de toma de agua o vaciado de la balsa.
- Un by-pass de DN 150 mm controlado mediante una válvula de compuerta de accionamiento manual de ese diámetro, colocada en la tubería de toma de la balsa, y que servirá para el llenado progresivo de la tubería de riego.
- Dos válvulas de mariposa y una de compuerta de DN 500 mm de accionamiento manual, dos colocadas en la tubería de desagüe de la balsa y otra en una conexión entre la

tubería de toma y la de desagüe, para darle versatilidad al sistema de vaciado de la balsa.

Estas válvulas se alojan en una arqueta con unas dimensiones interiores de 4,50 x 4,50 x 2,50 m, ejecutada con muros de hormigón armado HA-25/B/20/XC2 de 30 cm de espesor con doble armadura reticular de Ø10 mm cada 15 cm, empotrados en una losa de canto 30 cm con doble armadura de Ø12 mm cada 30 cm, sobre 10 cm de hormigón de limpieza HM-20/B/20/X0. Dispondrá de una tapa formada por placas prefabricadas a base de hormigón armado, realizada en obra, de 15 cm de espesor con doble armadura de Ø10 mm cada 20 cm y simplemente apoyadas, para facilitar el montaje en obra y optimizar el proceso de construcción, ya que son elementos que no resisten paso de tráfico rodado, al estar la arqueta parcialmente enterrada. Desde el punto de vista constructivo, se trata de una arqueta seca con profundidad interior útil de 2,50 m e irá dotada de cuatro rejillas de ventilación de 0,8x0,2 m.

El acceso de personas a esta arqueta para operación y mantenimiento se realiza a través de tres tapas abisagradas de chapa galvanizada de 3 mm de espesor, recercadas en su cara inferior con angular metálico de 50x50x5 mm y cierre de seguridad antivandálico, ubicadas en sendos huecos de la tapa de hormigón armado descrita anteriormente. La bajada al fondo de la arqueta se realizará por los pates de acero galvanizado colocados en el muro. Se habilitan tres zonas de acceso para poder operar en cada una de las tres partes libres de la arqueta, ya que no es posible pasar de una zona a otra una vez que se está en el fondo de la arqueta.

#### *2.5.2.7 Arqueta de descarga de los desagües.*

Esta arqueta se sitúa en el borde de la rambla cercana a la balsa, donde descargan las tuberías de desagüe de la balsa, el aliviadero y el drenaje. Se trata de una arqueta de hormigón armado HA-25/B/20/XC2 de 2x2x2 m de dimensiones interiores, con muros de 25 cm de espesor armados con doble mallazo Ø10 mm cada 15 cm, solera de 30 cm de espesor armada con doble mallazo Ø12 mm cada 20 cm, con tapa prefabricada en obra de hormigón armado de 15 cm de espesor con doble armadura Ø10 mm cada 20 cm, y acceso de personas mediante tapa abisagrada de chapa galvanizada de 3 mm de espesor, recercada en su cara inferior con angular metálico de 50x50x5 mm y cierre de seguridad antivandálico. Dispondrá de una apertura de 50 cm de altura en la parte superior de una de las caras para descarga del agua.

#### *2.5.2.8 Cerramiento*

En la parte exterior de la balsa, se colocará un cerramiento de postes de tubo de acero galvanizado en caliente de 5 cm de diámetro y 2,35 m de altura, a 3 m de separación, empotrados

y anclados mediante dados de hormigón HM-20/B/20/X0 de 35x35x35 cm, y guarnecidos con malla galvanizada simple torsión de 50 mm de paso de malla y diámetro 1,8 mm, de 2,0 m de altura, enterrada 10 cm en el terreno. (Ver plano n° 4.8. «Balsa de almacenamiento SAT El Grupo de Antas. Medidas ambientales». Hoja 1 de 2).

La misión de la malla será proteger de los daños que pudieran producir la entrada de personas o animales y evitar cualquier tipo de accidente. Para facilitar el acceso a la zona de la balsa se colocará una puerta de 5 m con doble hoja, cuyas características son las mismas que las del cerramiento antes descrito. Este acceso a la coronación se ubica en la esquina suroeste de la balsa, junto al camino de tierra existente. (Ver plano n° 4.2. «Balsa de almacenamiento SAT El Grupo de Antas. Planta General»).

#### *2.5.2.9 Impermeabilización*

Toda la superficie de la solera, así como las paredes laterales irán protegidas con una lámina plástica de polietileno de alta densidad (PEAD) de 1,5 mm de espesor. Esta se anclará a lo largo de todo el perímetro en un zuncho a unos 50 cm del borde de la coronación, de 0,4 x 0,6 metros, donde se enterrará el inicio de cada rollo y se rellenará con 50 cm del material extraído previamente y 10 cm de hormigón en masa de resistencia característica 20 N/mm<sup>2</sup>. (Ver plano n° 4.7. «Balsa de almacenamiento SAT El Grupo de Antas. Impermeabilización»).

Entre láminas contiguas deberá existir un solape adecuado que garantice la estanqueidad del sistema (en ningún caso menor de 15 cm). Las uniones se realizarán exclusivamente por termofusión y presión. Además, serán dobles, esto es, dejan un canalillo interior de prueba a fin de que se verifique, mediante presión, la idoneidad o no de la soldadura.

En la zona de entrada de agua a la balsa, se dispondrá doble lámina en una anchura de 7 m y hasta el fondo de la balsa, para reforzar y proteger el talud del flujo de entrada.

Repartidas a lo largo de toda la balsa, se dispondrán bandas desde coronación hasta solera de 7 m de anchura y separadas 20 m entre ellas, de esta misma lámina de polietileno, pero texturizado, con rugosidad suficiente para facilitar la salida de aquellos animales y personas que hayan podido caer por accidente. Tiene la superficie estructurada por una cara, con multitud de tacos (57.000 tacos/m<sup>2</sup>) de una altura mayor de 0,9 mm, lo que confiere a la lámina alta estabilidad en la impermeabilización de planos inclinados con fuertes pendientes (alto coeficiente de rozamiento y ángulo de fricción). Irán soldadas y con el mismo solape que el resto de la lámina de PEAD.

El PEAD se colocará sobre geotextil no tejido de filamentos continuos de polipropileno, unidos mecánicamente por agujado, estabilizados frente a los rayos UV y gramaje de 350 gr/m<sup>2</sup>. Este

geotextil se colocará siguiendo las líneas de máxima pendiente, solapando de 7 a 10 cm una banda con otra, y realizando un punteo mediante soplete de aire caliente.

#### *2.5.2.10 Elementos de auscultación y control*

La auscultación de una balsa comprende una serie de actividades encaminadas a conocer el comportamiento real de la misma, empleando para ello distintas técnicas de medición y análisis de datos, inspección y control. La finalidad fundamental del sistema de auscultación es conocer en todo momento cuál es el comportamiento de la balsa y, por lo tanto, cuál es su seguridad.

Estas actividades servirán para prevenir un eventual accidente o rotura de la balsa, pues permitirán conocer el comportamiento actual y predecir el comportamiento futuro, anticipándose al fallo de la estructura.

La pronta detección de asientos considerados anormales en el dique puede evitar el fallo de la estructura. El método más exacto para la medición de los asientos del dique de cierre es la nivelación topográfica de precisión a lo largo de su coronación. Esta metodología requiere únicamente la instalación de clavos de nivelación o colimación y puntos fijos (hitos). En este caso, se colocarán diez (14) clavos de colimación repartidos por la coronación de la balsa y cuatro (6) hitos situados en el exterior de la balsa (ver plano n° 4.9. «Balsa de almacenamiento SAT El Grupo de Antas. Elementos de auscultación y control»).

Para medir el nivel de agua en la balsa se dispondrá una sonda piezorresistiva para lectura de nivel continuo, con lo que se podrá conocer de manera continua en cada momento la cota de agua en la balsa y, por consiguiente, el volumen almacenado.

También se colocará un transductor de presión en la arqueta de válvulas de salida de la balsa, concretamente en el colector de DN 900 mm, que, en función de la presión medida, dará información del nivel de agua en la balsa, por lo que servirá como método redundante al de la sonda piezorresistiva descrita anteriormente.

#### *2.5.2.11 Medidas ambientales*

Como toda obra, una balsa de regulación y almacenamiento supondrá una alteración del medio en que se construye. Con frecuencia esta alteración consiste en la realización de desmontes y terraplenes, que presentarán unas superficies impactantes en el paisaje.

No solamente como atención a este impacto debe adoptarse medidas correctoras, sino como simple medida de seguridad y protección para la propia obra, ya que estas superficies expuestas

quedarán desprotegidas, y la acción de los vientos y lluvia provocarán arrastres y aterramientos en los desmontes expuestos, y cárcavas y corrimientos en las partes de terraplén.

Igualmente, en el diseño de la balsa de regulación, y a fin de hacerla apta para la vida de la fauna silvestre y garantizar la seguridad de las personas y animales, se adoptarán una serie de medidas que se recogen a continuación:

- **Revegetación de los taludes exteriores:** se utilizará una cubierta vegetal compuesta por especies herbáceas y arbustivas adaptadas a las características ecológicas de la zona. Su finalidad será la de proteger el talud exterior de la erosión producida por la lluvia, así como la corrección del impacto visual que produce la construcción de la balsa de regulación y almacenamiento.

Para la restauración de los taludes exteriores se asegurará un correcto almacenamiento de la capa edáfica de tierra vegetal con espesor de al menos 30 cm y su posterior utilización en la revegetación de los taludes. Los taludes exteriores de la balsa deben estar restaurados con especies de matorral subserial dependiendo de las características ecológicas de la zona. Antes de la plantación de las especies indicadas se colocará algún tipo de mulch o estabilizadores de taludes o siembra de herbáceas (mezcla de veza, avena, trigo o similar).

Con respecto a la proporción de especies vegetales usadas para la restauración, el 80% deberá ser de especies de matorral subserial y el 20% restante de matorral serial, garantizándose una fracción de cubierta inicial de al menos un 50%. El resto de la superficie se deberá de restaurar con herbáceas comerciales (veza, avena, trigo, o similar), a las que habrá que incorporar semillas locales en un porcentaje del 10%.

Todas las plantas provendrán de vivero autorizado y con semilla certificada. En todo caso dispondrá del correspondiente certificado de material genético seleccionado. En otro caso, se podrán recolectar semillas de plantas herbáceas silvestres de la zona. La dosificación será de 25 gr. de semillas por m<sup>2</sup>, 200 gr. de mulch, 40 gr. de abono, 40 gr. de estabilizante y 20 gr. de bioactivadores. (Ver plano n° 4.8. «Balsa de almacenamiento SAT El Grupo de Antas. Medidas ambientales». Hoja 1 de 2).

Se realizarán los siguientes riegos a esta cubierta vegetal:

- Riego de mantenimiento: se contemplan de 3 a 5 riegos anuales para conseguir la supervivencia de las plantas
- Riegos de emergencia: solo se realizarán a causa de un prolongado período de sequía que ponga en riesgo la supervivencia de la planta.

Al año siguiente de la ejecución de las plantaciones se realizará la reposición de marras en el caso de que la supervivencia haya sido inferior al 75% de los ejemplares. Para estimar la mortalidad, se realizarán los correspondientes muestreos.

- **Vallado perimetral** con altura total de 2,00 m, situado en la base del talud exterior y con malla simple torsión, de acero galvanizado enterrada al menos 10 cm. En el apartado 2.5.2.8 de este Anejo y el plano nº 4.8. «Balsa de almacenamiento SAT El Grupo de Antas. Medidas ambientales». Hoja 1 de 2, se detallan las características de este cerramiento.
- **Instalación de bandas antideslizantes** sobre las paredes interiores de la balsa. Se dispondrán bandas desde coronación hasta solera de 7 m de anchura y separadas 20 m entre ellas, de PEAD texturizado, con rugosidad suficiente para facilitar la salida de aquellos animales y personas que hayan podido caer por accidente. En el apartado 2.5.2.9 de este Anejo y el plano nº 4.7. «Balsa de almacenamiento SAT El Grupo de Antas. Impermeabilización», se detallan las características de esta lámina texturizada.
- **Instalación de islas flotantes con vegetación** para que puedan ser utilizadas por aves acuáticas como lugar de nidificación y área de descanso, además de ofrecer protección frente a los depredadores terrestres. Además, puede ayudar a controlar la proliferación de algas unicelulares (ova) o vegetación subacuática, ya que las raíces de las plantas de la isla actúan como filtradores de nutrientes, mejorando la calidad de agua.

Se instalarán 17 islas flotantes para avifauna de 2 x 2 m<sup>2</sup> de superficie, construidas con estructura flotante de polietileno de baja densidad, rampa de acceso de madera desde el agua y herbazales estructurados en fibra de coco colonizados con vegetación palustre autóctona (aneas, lirios acuáticos, juncos o carrizo) a razón de 10 ud/m<sup>2</sup>, ancladas a la coronación de la balsa mediante cuerdas de nylon. (Ver plano nº 4.8. «Balsa de almacenamiento SAT El Grupo de Antas. Medidas ambientales». Hoja 2 de 2).

## **2.6 ESTUDIO DE LA ESTABILIDAD DE TALUDES**

Es preciso analizar la estabilidad de los taludes frente al posible deslizamiento provocado por las tensiones tangenciales que existen en el interior de la masa del suelo.

### **2.6.1 Métodos de análisis**

Los métodos de análisis de estabilidad más antiguos y más utilizados en presas pequeñas son los basados en el equilibrio límite. Los diversos métodos de equilibrio límite están basados en las siguientes hipótesis.

Consideran la estabilidad como un problema de deformación plana, es decir, el talud es indefinido en la dirección horizontal y paralela a la superficie del talud. Se estudia la estabilidad según un número suficientemente elevado de superficies de deslizamiento. La forma de la superficie varía según el método. La estabilidad se analiza comparando el cociente entre las fuerzas resistentes que se oponen al deslizamiento y las fuerzas que tiendan a provocarlo. Dicho cociente recibe el nombre de coeficiente de seguridad. Si el mínimo de los coeficientes de seguridad obtenidos para las posibles superficies de deslizamiento probadas es superior al indicado por la Instrucción Española, se podrá garantizar la estabilidad de la balsa.

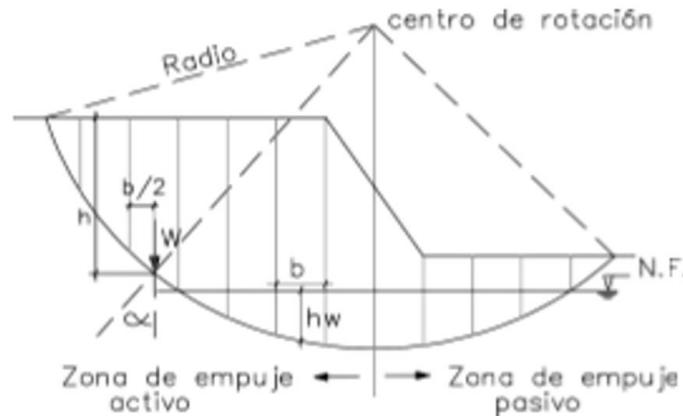
En el análisis de estabilidad de una ladera finita, como es la de una balsa, hay que considerar dos variables; una es la forma de la superficie de falla y otra la situación de la superficie crítica. En cuanto a la primera, la superficie es curva. Muchos investigadores han sugerido que la superficie curva es un arco circular o parte de una espiral logarítmica. Las superficies de deslizamiento observadas tienden a ser una combinación de ambas, aunque a veces existen discontinuidades si la superficie intersecta a un estrato duro tal como una arcilla rígida, una arena densa o roca.

En cuanto a los Métodos de las Dovelas, estos son usados en aquellos casos en que la superficie de rotura del terreno es del tipo circular. De esta manera, el problema se aborda bidimensionalmente, tomando una sección transversal representativa del talud y dividiéndola en franjas del mismo tamaño. A cada dovela se le analiza su nivel de estabilidad, lo que permite concluir acerca de la seguridad global del talud.

El método de análisis empleado para el cálculo de la estabilidad de los taludes es el método de Bishop. Este método fue desarrollado en el año 1960, donde se plantea dibujar tajadas o dovelas que dividan la masa de suelo prevista a deslizarse. Sirve para establecer el cálculo de taludes a largo y corto plazo. Este método se emplea solo para superficies de falla de tipo circular, plateando el equilibrio de momentos, según el cual el momento que actúa generado sobre el

peso propio de cada una de las tajadas alrededor del centro de rotación es igual al momento producido por la resistencia al corte del suelo de la tajada.

Las fuerzas que actúan en la masa de suelo pueden dividirse en fuerzas producidas por empujes activos y pasivos de acuerdo con la ubicación respectiva de la tajada. En la siguiente Figura se puede observar el proceso descrito anteriormente:



**Figura 2.** Representación gráfica del método de Bishop.  
 Fuente: Universidad Industrial de Santander (2017).

Este método además tiene en cuenta el efecto de las fuerzas que actúan entre las tajadas. El factor de seguridad para el método de Bishop se define de la siguiente manera:

$$FS = \frac{\sum(c \cdot b + (W - u \cdot b) \cdot \text{tg} \phi) / m_{\alpha}}{\sum W \cdot \text{sen} \alpha}$$

Donde:

$\phi$  : ángulo de rozamiento interno del suelo

c : cohesión efectiva

b : ancho de la tajada

W : peso de la tajada

u : presión de poros con respecto a la base de cada tajada

$\alpha$  : ángulo formado entre la perpendicular a la línea de falla y la vertical en el centro de la tajada

El factor  $m_{\alpha}$  se define como

$$m_{\alpha} = \cos \alpha \cdot \left( 1 + \frac{\text{tg} \alpha \cdot \text{tg} \phi}{FS} \right)$$

## 2.6.2 Metodología de cálculo

La forma sistemática de abordar el problema del análisis de estabilidad en un talud es la siguiente:

- Establecer una retícula de centros posibles.
- En cada centro tomar varios círculos con distinto radio.
- Encontrar el coeficiente de seguridad de cada círculo.
- Obtener el mínimo valor de F para cada centro.
- Determinar el mínimo de mínimos de F que sería el coeficiente de seguridad del talud.

El proceso manual del método de Bishop para el análisis del desplazamiento crítico de las fallas puede ser un poco extenso y riguroso. Actualmente existe una serie de software que facilitan el cálculo de un conjunto de círculos de desplazamiento en poco tiempo y, de esta forma, facilitan el análisis del talud. En este caso se ha utilizado el programa informático STB2010 de Arnold Verruijt, profesor de la Universidad Tecnológica de Delft (Países Bajos).

## 2.6.3 Criterios generales para estudiar la estabilidad global de los taludes

### 2.6.3.1 Estabilidad estática

El análisis de la estabilidad del dique de cierre y su cimiento debe contemplar las siguientes situaciones:

- Situación de final de construcción: esta situación se analizará en los casos en los que el dique de cierre está constituido mayoritariamente por materiales arcillosos en los que se puede suponer que no se ha producido disipación de la presión intersticial durante el proceso de construcción. En este caso no se analizará esta situación al estar constituido mayoritariamente el dique por materiales clasificados como no plásticos.
- Embalse lleno: esta hipótesis supone que la carga de agua se corresponde con la cota de máximo embalse posible. Para los casos de balsas con elemento de impermeabilización externa se supondrá que en el dique de cierre no hay línea piezométrica. Esta hipótesis se estudiará para el talud exterior que es el más desfavorable.
- Rotura del elemento de impermeabilización externo: esta hipótesis supone que la carga de agua se corresponde con la cota de máximo embalse posible y aparece una línea de saturación en el cuerpo del dique. Esta hipótesis se estudiará para el talud exterior que es el más desfavorable.

- Desembalse rápido: esta situación se corresponde con la situación en la que se produce un vaciado de la balsa a una velocidad mayor que la necesaria para que se produzca el drenaje del cuerpo del dique, lo que implica la presencia de sobrepresiones intersticiales en el interior del cuerpo del dique. En las balsas con elemento de impermeabilización externo, para que esta situación se dé, debe ir aparejada con la anterior, es decir, se ha tenido que producir primero una rotura de la impermeabilización para que se sature el cuerpo del dique. Esta hipótesis se estudiará para el talud interior, ya que el exterior sería igual que la hipótesis anterior.

En estas cuatro situaciones de cálculo se deben analizar superficies de deslizamiento que se desarrollen por el cuerpo del dique de cierre, por el cimientado del mismo o por el contacto entre uno y otro.

#### 2.6.3.2 Estabilidad dinámica

En aquellas zonas cuya aceleración básica ( $a_b$ ) sea igual o superior a 0,04-g, siendo g la aceleración de la gravedad, se debe tener en cuenta el efecto del terremoto en la estabilidad del dique de cierre.

La incorporación del efecto del terremoto en los cálculos se podrá hacer por el método pseudoestático, es decir, incorporando una fuerza horizontal igual al peso del terreno multiplicado por un coeficiente sísmico que se obtiene como indica la Norma de Construcción Sismorresistente (NCSE-02).

Teniendo en cuenta la reducida probabilidad de ocurrencia de sismo en las situaciones de final de construcción y desembalse rápido, el análisis de la estabilidad dinámica del dique de cierre y su cimientado, para no penalizar el diseño, se puede limitar a la situación de sismo con el embalse lleno.

Tal y como marca la NCSE-02, la aceleración sísmica de cálculo  $a_c$  se define como:

$$a_c = S \cdot \rho \cdot a_b$$

donde:

- $a_b$ : aceleración sísmica básica definida en el mapa de peligrosidad sísmica. La balsa está situada en Antas (Almería), donde la aceleración sísmica es 0,14-g.
- $\rho$ : coeficiente adimensional de riesgo, función de la probabilidad aceptable de que se exceda  $a_c$  en el período de vida para el que se proyecta la construcción. Para una construcción de importancia normal (período de vida  $t=50$  años) como ésta se toma  $\rho=1$ .

- S: coeficiente de amplificación del terreno. En este caso  $0,1 \cdot g < \rho \cdot ab < 0,4 \cdot g$ , por lo que

$$S = \frac{C}{1,25} + 3,33 \left( \rho \cdot \frac{a_b}{g} - 0,1 \right) \left( 1 - \frac{C}{1,25} \right)$$

siendo C el coeficiente del terreno que depende de las características geotécnicas de la cimentación. En este caso se tiene un terreno tipo II, según se recoge en el Estudio Geotécnico, por lo que  $C=1,3$  y, por tanto,  $S=1,035$ .

Por tanto,  $a_c = 1,035 \cdot 1 \cdot 0,14 \cdot g = 0,1449 \cdot g$

Para comprobar el efecto de la acción sísmica en el estudio de los problemas de estabilidad global controlados por la resistencia del terreno, y a falta de un mejor procedimiento para realizar el cálculo dinámico, se podrá suponer las aceleraciones siguientes:

Coeficiente sísmico horizontal:  $a_h = \alpha \cdot a_c$

Coeficiente sísmico vertical:  $a_v = \frac{1}{2} a_h$

Siendo  $a_c$  la aceleración sísmica de cálculo en el emplazamiento, definida anteriormente.

El factor  $\alpha$ , o coeficiente sísmico, trata de evaluar la flexibilidad de la obra frente a los terremotos. Su valor debe ser tanto más alto cuanto más coartado este el movimiento. Para problemas de taludes exentos y muelles de gravedad sin coacciones,  $\alpha = 0,5$ .

Por tanto, el coeficiente sísmico horizontal a tener en cuenta para el cálculo de la estabilidad de taludes será:

$$a_h = \alpha \cdot a_c = 0,5 \cdot 0,1449 \cdot g = 0,0725 \cdot g$$

### 2.6.3.3 Coeficientes de seguridad

Los valores mínimos de los coeficientes de seguridad que se deben adoptar en los cálculos de estabilidad global se recogen en la siguiente tabla obtenida del *"Manual para el diseño, construcción, explotación y mantenimiento de Balsas"* editado por el Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino en el año 2010:

**Tabla 12.** Coeficientes de seguridad mínimos.

SITUACIÓN DE DISEÑO	F.S.
Final de construcción	1,3
Rotura del elemento de impermeabilización	1,3
Embalse lleno con sismo	1,3
Embalse lleno sin sismo	1,5
Desembalse rápido	1,1

#### 2.6.4 Datos de partida

Los valores de densidad se han obtenido de la densidad máxima del ensayo Proctor, ya que se supone que para el terraplén se empleará el material obtenido del desmonte y compactado al 100% P.M. Los valores de cohesión y ángulo de rozamiento interno se han tomado de los ensayos de corte directo realizados sobre la muestra S-03 3.00-3.42, tomada en el sondeo S-03 (ver anejo n° 6 «Geología, geotécnica y estudio de materiales»).

Los datos de entrada introducidos en el programa de ordenador, son los siguientes:

**Tabla 13.** Propiedades del terreno.

Angulo de rozamiento: $\phi$	26,80°
Coeficiente de rozamiento: $\text{tg } \phi$	0,505
Cohesión	46 kN/m <sup>2</sup>
Densidad máxima	16,3 kN/m <sup>3</sup>
Densidad saturada	18,2 kN/m <sup>3</sup>
Coeficiente sísmico	0,0725

**Tabla 14.** Geometría de la balsa.

Altura máxima interior	10,5 m
Altura máxima exterior	11,5 m
Anchura de coronación	5,0 m
Talud interior	2,5/1
Talud exterior	2,0/1
Altura máxima de agua	9,5 m

#### 2.6.5 Resultados

Al final de este anejo se adjunta el apéndice n°1 «Resultados de la estabilidad de taludes» con los resultados de los cálculos de la estabilidad de taludes para las hipótesis de cálculo antes reseñadas. Para obtener el mínimo factor de seguridad se ha utilizado el software STB 2010, obteniéndose los siguientes valores:

**Tabla 15.** Resultados de la estabilidad de taludes.

Hipótesis	Coef. seg. obtenido		Coef. seg. exigible	Valoración
Rotura impermeabilización	Talud exterior	3,786	1,3	Estable
Embalse lleno con sismo	Talud exterior	3,599	1,3	Estable
Embalse lleno sin sismo	Talud exterior	4,164	1,5	Estable
Desembalse rápido	Talud interior	3,944	1,1	Estable

### **3 REFORMA DE LAS BALSAS DE LA SAT CLIMASOL DE VERA**

#### **3.1 CLASIFICACIÓN DE LA Balsa**

De acuerdo con el artículo 358 del Real Decreto 9/2008, por el que se modifica el Reglamento del Dominio Público Hidráulico, las presas y embalses se clasifican en las siguientes categorías:

- c) *En función de sus dimensiones se considera gran presa aquella cuya altura es superior a 15 metros y la que, teniendo una altura comprendida entre 10 y 15 metros, tenga una capacidad de embalse superior a 1 hectómetro cúbico. Se considera pequeña presa aquella que no cumple las condiciones de gran presa.*

La balsa recogida en este proyecto tiene menos de 15 m de talud exterior y menos de 1 hm<sup>3</sup> de capacidad, por lo que se clasifica como **PEQUEÑA PRESA**.

- d) *En función del riesgo potencial que pueda derivarse de su posible rotura o funcionamiento incorrecto, se clasificarán en una de las tres categorías siguientes:*

4º. *Categoría A: Presas cuya rotura o funcionamiento incorrecto pueden afectar gravemente a núcleos urbanos o a servicios esenciales, o producir daños materiales o medioambientales muy importantes.*

5º. *Categoría B: Presas cuya rotura o funcionamiento incorrecto puede ocasionar daños materiales o medioambientales importantes o afectar a un número reducido de viviendas.*

6º. *Categoría C: Presas cuya rotura o funcionamiento incorrecto puede producir daños materiales de moderada importancia y sólo incidentalmente pérdidas de vidas humanas. En todo caso, a esta categoría pertenecerán todas las presas no incluidas en las categorías A o B.*

Según el artículo 367 del Real Decreto 9/2008, *los titulares de presas y balsas de altura superior a 5 m o de capacidad de embalse mayor de 100.000 m<sup>3</sup>, de titularidad privada o pública, existentes, en construcción o que se vayan a construir, estarán obligados a solicitar su clasificación y registro.*

La nueva balsa de almacenamiento resultante de la unión y reforma de las dos balsas existentes, recogida en este proyecto, tiene más de 5 m de talud exterior y más de 100.000 m<sup>3</sup> de capacidad, por lo que es necesaria la clasificación y registro de la misma.

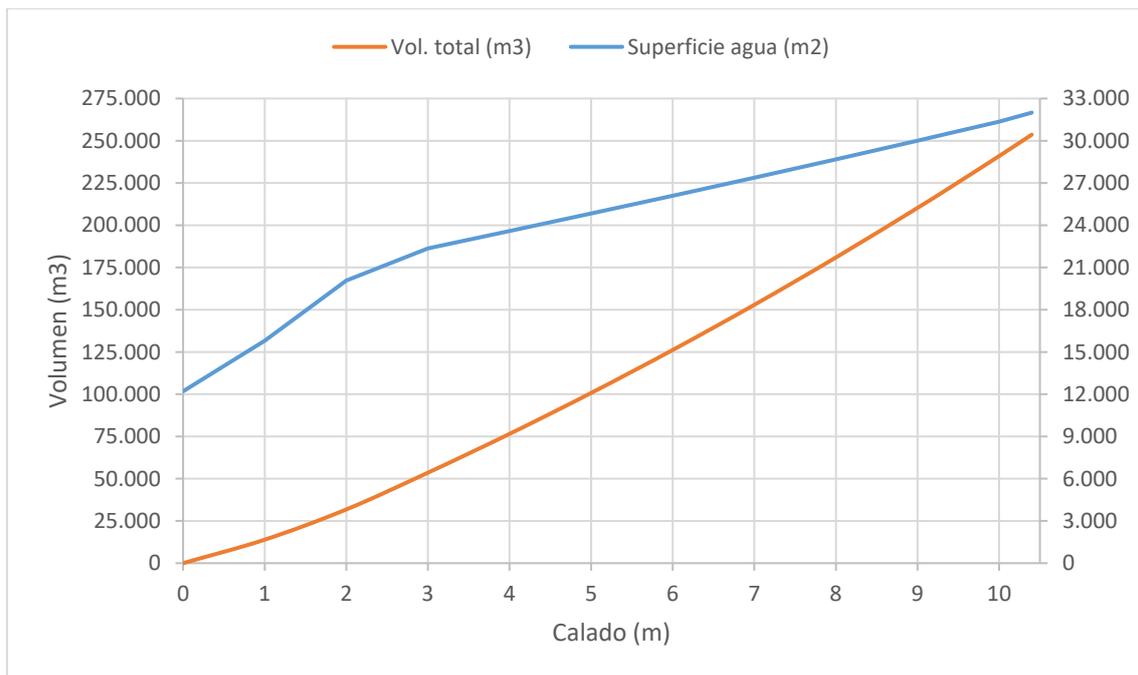
### 3.2 CAPACIDAD DE LA Balsa

El diseño de la balsa y su correspondiente movimiento de tierras necesario se ha realizado mediante el programa de diseño gráfico AutoCad Civil 3D 2024.

En la Tabla 16 se recoge, para cada cota, el incremento de volumen, volumen acumulado y el área de la superficie de agua.

**Tabla 16.** Cubicación de la balsa de la SAT Climasol de Vera.

Cota (m)	Altura (m)	Superficie (m <sup>2</sup> )	Incremento Vol. (m <sup>3</sup> )	Vol. Total (m <sup>3</sup> )
158	0	12.205	0	0
159	1	15.800	13.890	13.890
160	2	20.076	17.895	31.785
161	3	22.359	21.754	53.539
162	4	23.587	22.970	76.510
163	5	24.836	24.209	100.718
164	6	26.090	25.460	126.179
165	7	27.374	26.729	152.908
166	8	28.680	28.024	180.933
167	9	30.006	29.341	210.273
167,4	9,4	30.550	12.111	222.384
168	10	31.352	18.570	240.954
168,4	10,4	32.000	12.670	253.625



**Gráfico 2.** Cubicación de la balsa de la SAT Climasol de Vera

*Fuente: Elaboración propia*

### 3.3 ESTUDIO PLUVIOMÉTRICO

#### 3.3.1 Introducción

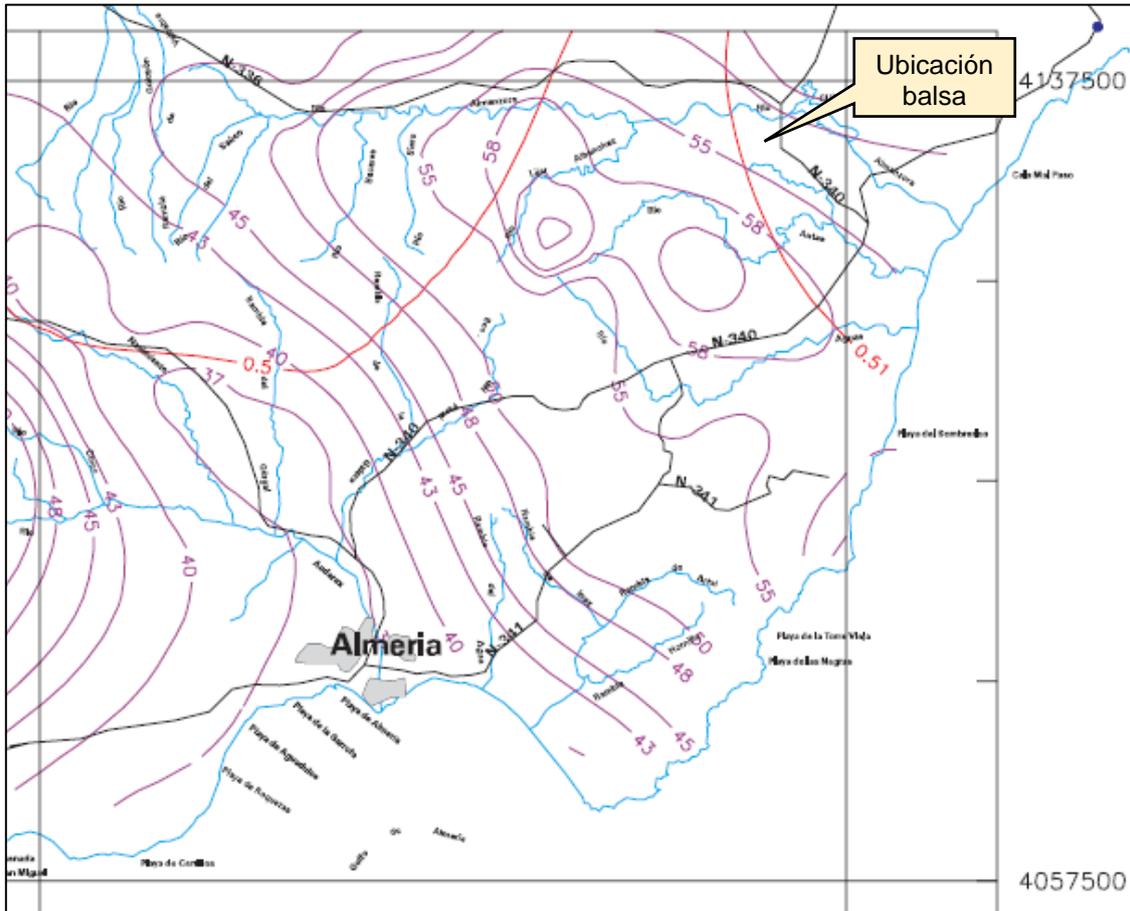
En el presente apartado se incluyen los estudios realizados para la determinación de la máxima precipitación diaria en la zona de la balsa, para un período de retorno de 500 años, definiendo posteriormente las precipitaciones máximas para distintas duraciones de aguacero y calculando el volumen recogido en la balsa.

El volumen de agua que capta de forma natural la balsa proyectada es el de la lluvia que cae directamente sobre ella.

Los cálculos realizados sobre la pluviometría son importantes a la hora del dimensionamiento del aliviadero, pues este hay que dimensionarlo teniendo en cuenta el aguacero máximo.

#### 3.3.2 Precipitación máxima

La precipitación máxima diaria se obtiene a partir del documento “Máximas lluvias diarias en la España Peninsular” del Ministerio de Fomento. De aquí se puede obtener el valor medio de la precipitación diaria anual ( $P_{media}$ ) y el coeficiente de variación ( $C_v$ ), a partir de los mapas de isolíneas:



**Figura 3.** Mapa de isolinías  
*Fuente: Máximas luvias diarias en la España Peninsular*

Utilizando una aplicación informática que realizó el Ministerio para facilitar el cálculo, la precipitación máxima diaria para un tiempo de retorno de 500 años, obtenida para las coordenadas donde se ubica la balsa, es:

Coordenadas ETRS89 HUSO 30:

X= 596.906  
Y= 4.125.620

**Tabla 17.** Parámetros de cálculo de la precipitación máxima diaria

Valor medio de la máxima precipitación diaria (Pm) mm/día	54
Coficiente de variación (Cv)	0,513
Tiempo de retorno (años)	500
Precipitación máxima diaria (Pd)	<b>206 mm/día</b>

Para el cálculo de las precipitaciones máximas para distintas duraciones de aguacero, se parte de la precipitación máxima diaria obtenida en el apartado anterior.

Para dicho cálculo se utiliza la formulación expuesta en la Instrucción 5.2-IC de Drenaje Superficial, que tiene la siguiente expresión:

$$I_t = I_d \left( \frac{I_1}{I_d} \right)^{\frac{28^{0,1} - t^{0,1}}{28^{0,1} - 1}}$$

donde:

$I_d$  (mm.) : intensidad media diaria de precipitación. Es igual a  $P_d/24$ .

$P_d$  (mm.) : precipitación total diaria correspondiente.

$I_1$  (mm.) : intensidad horaria de precipitación. El valor de la razón  $I_1/I_d$  se tomará del mapa de isolíneas recogido en la Instrucción 5.2-IC, que para la zona que nos ocupa tiene un valor de 10.

$t$  (h) : duración del intervalo al que se refiere  $I_t$ .

Para una duración de una hora se obtiene:  $I_t = 85,83$  mm.

### **3.3.3 Volúmenes recogidos en la balsa**

Basándose en lo anteriormente expuesto, se pueden obtener las precipitaciones sobre la balsa para cualquier duración de lluvia, la precipitación horaria para una lluvia uniforme de cualquier duración, y multiplicando la precipitación total por la superficie de recogida de la balsa (32.000 m<sup>2</sup>), se obtienen los volúmenes de agua recogidos.

A continuación, se adjunta una tabla donde se puede observar, para distintas duraciones de lluvia, la precipitación horaria, la precipitación total, el % sobre la precipitación máxima diaria, y los volúmenes recogidos en la balsa.

**Tabla 18.** Precipitaciones máximas y volúmenes recogidos en la balsa

<b>T (h)</b>	<b>Precip. Horaria (mm)</b>	<b>Precip. Total (mm)</b>	<b>Precip. Diaria (%)</b>	<b>Volúmenes balsa regulación (m<sup>3</sup>)</b>
1	85,83	85,83	41,67	2.747
2	56,51	113,03	54,87	3.617
3	43,65	130,96	63,57	4.191
4	36,11	144,44	70,12	4.622
5	31,05	155,26	75,37	4.968
6	27,38	164,28	79,75	5.257
7	24,57	172,01	83,50	5.504
8	22,34	178,75	86,77	5.720
9	20,52	184,72	89,67	5.911
10	19,01	190,07	92,26	6.082
11	17,72	194,90	94,61	6.237
12	16,61	199,30	96,75	6.378
13	15,64	203,34	98,71	6.507
14	14,79	207,06	100,51	6.626
15	14,03	210,50	102,19	6.736
16	13,36	213,71	103,74	6.839
17	12,75	216,70	105,20	6.934
18	12,19	219,51	106,56	7.024
19	11,69	222,14	107,83	7.108
20	11,23	224,62	109,04	7.188
21	10,81	226,96	110,17	7.263
22	10,42	229,17	111,25	7.333
23	10,06	231,27	112,27	7.401
24	9,72	233,26	113,23	7.464
36	6,98	251,28	121,98	8.041
48	5,47	262,71	127,53	8.407
72	3,84	276,36	134,15	8.843

### **3.4 CÁLCULO DEL ALIVIADERO**

#### **3.4.1 Características del aliviadero**

Tendrá como misión evacuar el exceso de agua que exista por encima del nivel máximo de almacenamiento, como consecuencia del oleaje producido por el viento o por una precipitación muy elevada en un corto espacio de tiempo. Por ello, su entrada en funcionamiento va estar muy restringida a situaciones muy esporádicas. Actualmente, cada una de las dos balsas dispone de un aliviadero. La balsa mayor tiene un aliviadero formado por 3 tubos de hormigón de DN 400 mm, mientras que la más pequeña dispone de un rebaje en coronación a modo de vado. No obstante, al unificar ambas balsas en una sola, se diseña un nuevo aliviadero que sea suficiente para los nuevos condicionantes de esta balsa.

Este nuevo aliviadero se proyecta de hormigón armado HA-25/B/20/XC2, situándose embutido en el talud de la balsa. La solución adoptada es un aliviadero de labio fijo en pared gruesa, con disposición frontal y sección de entrada rectangular, de 2x1,50 m de anchura útil y coincidente con el labio vertiente (cota 167,4).

Este canal atraviesa el dique de la balsa y desemboca en una arqueta de rotura también de hormigón armado HA-25/B/20/XC2, desde donde se lleva el agua hasta la parte húmeda de la arqueta de válvulas situada junto al talud exterior de la balsa, por donde sale la toma y desagüe de fondo, mediante una tubería de PVC orientado de DN 500 mm y 12,5 atm de timbraje.

#### **3.4.2 Comprobación del aliviadero**

El caudal que deberá ser capaz de evacuar el aliviadero será el correspondiente a la máxima precipitación sobre la superficie del embalse, además de, para una mayor seguridad, el caudal de entrada a la balsa desde diferentes fuentes, suponiendo que, por un fallo del sistema, no se puede cortar esta entrada de agua.

##### *3.4.2.1 Caudal de lluvia.*

La precipitación máxima diaria para un período de retorno de 500 años, es  $P_d=206$  mm, según se calculó anteriormente. Para calcular el caudal de lluvia  $Q_{lluvia}$ , se supone que toda el agua caída durante la lluvia (en mm) se almacena en la balsa, sin salir nada por el aliviadero, por lo que se obtendrán valores conservadores.

La Ley de desagüe del aliviadero viene dada por la cantidad de agua que es capaz de desaguar el vertedero de hormigón armado de 2x1,5 m de anchura. Se ha calculado considerando el mismo como un vertedero de pared gruesa según la conocida fórmula de Rehbock:

$$Q = 1,7 \times b \times h^{3/2}$$

siendo b la anchura del canal y h el calado que alcanza el agua.

Por tanto, fijando un ancho de vertedero de 3,0 m, el caudal de lluvia será:

$$Q_{\text{lluvia}} = 1,7 \times b \times h^{3/2} = 1,7 \times 3 \times (206/1000)^{3/2} = 0,477 \text{ m}^3/\text{s} = 477 \text{ l/s}$$

### 3.4.2.2 Caudal de entrada a la balsa.

La balsa se llena con el agua proveniente de distintas fuentes como son el Trasvase Negratín-Almanzora, diversos pozos y la desaladora de Palomares. No se prevé el llenado de la balsa mediante todas estas fuentes a la vez, por lo que el caudal máximo que se tendrá en cuenta para el cálculo del aliviadero será de 360 l/s. Por tanto, el caudal de cálculo del aliviadero será la suma del caudal máximo de llenado y el caudal aportado por lluvia:

**Tabla 19.** Caudal de cálculo del aliviadero

<b>Q<sub>lluvia</sub> (l/s)</b>	<b>Q<sub>llenado</sub> (l/s)</b>	<b>Q<sub>aliviadero</sub> (l/s)</b>
477	360	837

### 3.4.2.3 Descarga sobre el vertedero.

Con los datos de caudal antes calculados y la anchura de vertedero considerada de 2x1,5 m, aplicando la ley de desagüe del aliviadero reseñada anteriormente, la cota de vertido alcanzada por el agua (Nivel Avenida de Proyecto, N.A.P.) será:

**Tabla 20.** Altura de vertido y Nivel Avenida de Proyecto

<b>Q<sub>aliviadero</sub> (l/s)</b>	<b>h<sub>aliviadero</sub> (m)</b>	<b>N.M.N.</b>	<b>N.A.P.</b>
837	0,30	167,40	167,70

Como se ha comprobado, la altura de vertido alcanzada es menor que la altura del canal del aliviadero, que es de 0,75 m.

### **3.4.3 Tubería de desagüe del aliviadero**

Por último, se calcula el diámetro de la tubería de desagüe del aliviadero, que conecta la arqueta de rotura con la parte húmeda de la arqueta de válvulas de salida de la balsa. Se ha diseñado una tubería de PVC orientado de DN=500 mm y PN de 12,5 atm para la que se realizará la comprobación de que esta tubería es suficiente para desaguar el caudal calculado.

Este tramo tiene una longitud de 183 m con un desnivel de 9 m. Si aplicamos Bernoulli entre ambas arquetas, como la presión en ellas es cero (presión atmosférica), la pérdida de carga que produce el caudal circulante en la tubería será igual a la diferencia de cota entre el punto inicial y final de la tubería. La fórmula de pérdidas de carga en tuberías de Hazen-Williams, empleada en el dimensionamiento, es la siguiente:

$$J(m/m)=10,62 \cdot C^{-1.85} \cdot D^{-4.87}(m) \cdot Q^{1.85}(m^3/s)$$

donde C depende del material de la conducción y del diámetro de la misma. Para PVC, Polietileno y diámetros que se manejan, se adopta un valor de C = 150.

La tubería de PVC orientado de DN=500 mm y PN de 12,5 atm tiene un diámetro interno de 475,2 mm, por lo que, para la longitud de 183 m y unas pérdidas de carga de 9 m (igual al desnivel), el caudal máximo que puede transportar es de Q=1.155 l/s, superior al caudal del aliviadero (837 l/s). Por tanto, la tubería proyectada será capaz de desaguar el caudal máximo del aliviadero.

## **3.5 CARACTERÍSTICAS CONSTRUCTIVAS**

### **3.5.1 Dimensionamiento**

#### *3.5.1.1 Características generales*

Se proyecta la reforma de las dos balsas que tiene la SAT Climasol de Vera en el paraje El Real (Cañada de Las Zorras) del término municipal de Antas, consistente en la unión de ambas mediante la eliminación del talud que comparten. Además, con el fin de aumentar el volumen de almacenamiento, se diseña también aumentar la pendiente de los taludes interiores de la balsa más grande de las dos existentes, pasando de un talud 4H:1V a 2,5H:1V.

Las parcelas catastrales que ocupan las balsas parcialmente, son las siguientes:

**Tabla 21.** Parcelas ocupadas por las balsas

<b>Término Municipal</b>	<b>Polígono</b>	<b>Parcela</b>
Antas	5	13
Antas	5	94

Se proyecta una balsa de almacenamiento de materiales sueltos impermeabilizada con lámina de polietileno de alta densidad. Se ha diseñado una balsa con un volumen útil de almacenamiento de 222.384 m<sup>3</sup>

Las características constructivas principales son las siguientes:

**Tabla 22.** Características principales de la balsa

Talud interior modificado	2,5H : 1V
Talud interior no modificado	1,0-1,5H : 1V
Talud exterior	1,5H : 1V
Anchura de coronación	3,5-5,0 m
Cota de coronación mínima	168,40
Cota de coronación máxima	168,70
Cota Nivel Máximo Normal (N.M.N.)	167,40
Cota Nivel Máximo de Explotación (N.M.E.)	167,40
Cota Nivel Avenida de Proyecto (N.A.P.)	167,70
Cota máxima de fondo	160,00
Cota mínima de fondo	158,00
Resguardo sobre el N.M.N.	1,00 m
Altura máxima de dique	9,70 m
Altura interior total	10,40 m
Altura útil de agua	9,40 m
Longitud de coronación	764 m
Superficie ocupada	44.400 m <sup>2</sup>
Superficie lámina de agua total (168,40)	32.000 m <sup>2</sup>
Superficie lámina de agua útil (167,40)	30.550 m <sup>2</sup>
Superficie lámina de agua fondo (158,00)	12.205 m <sup>2</sup>
Volumen de agua a N.M.N.	222.384 m <sup>3</sup>
Volumen de agua hasta coronación	253.625 m <sup>3</sup>
Caudal de llenado	0,837 m <sup>3</sup> /s

### 3.5.1.2 Taludes

La inclinación de los taludes del dique será función de su altura, de las características del material empleado en la construcción del mismo, de la tipología adoptada y de las condiciones sísmicas. Hay que tener en cuenta que estos taludes deben ser estables en todas las condiciones posibles a las que se pueda enfrentar durante el proceso constructivo y su posterior vida útil.

Como se ha comentado anteriormente, se van a cambiar los taludes interiores de la balsa más grande de las dos existentes, pasando de 4,0 : 1 (H/V) a 2,5 : 1 (H/V). Por tanto, la nueva balsa quedará con los siguientes taludes:

Talud interior modificado: 2,5 : 1 (H/V)

Talud interior no modificado: 1,0-1,5 : 1 (H/V)

Talud exterior: 1,5 : 1 (H/V)

El criterio fundamental para la elección de la inclinación en el talud exterior es la estabilidad, ya que se cuenta con una altura de dique considerable. En el Apartado 3.6 de este Anejo se recoge un estudio específico de la estabilidad de los taludes de la balsa.

En cuanto al talud interior, aparte de la estabilidad, se ha tenido en cuenta el dar una inclinación suficiente para que las máquinas de compactación puedan subir y bajar fácilmente por el talud para realizar el refino interior de la balsa, de ahí la elección de la inclinación 2,5 : 1 (H/V).

### 3.5.1.3 Coronación

La anchura de coronación, por una parte, debe ser la menor posible por razones de tipo económico y, por otra parte, debe asegurar la estabilidad estructural y ser suficiente para albergar un camino de servicio que tenga continuidad a lo largo de toda la coronación del dique. La anchura de este camino no se va a modificar, siendo variable entre los 3,5 m y los 5 m.

Se colocarán elementos de seguridad en la balsa para uso en caso de caídas de personas en la misma, formado por cable de nylon de 12 mm de diámetro con flotador y sujeto a poste anclado en la coronación de la balsa, aparte de otros flotadores en el interior, flotando para poder utilizarse de forma autónoma. (Ver plano nº 5.8. «Balsa de almacenamiento SAT Climasol de Vera. Medidas ambientales». Hoja 2 de 2).

Se incluirá cartelería de prohibición de acceso y de baño tanto a lo largo de la coronación como en el acceso principal a la misma. Igualmente, en dicho acceso se colocará un cartel indicativo con la limitación de entrada a vehículos con peso máximo de 10 Toneladas por eje y velocidad máxima de circulación de 10 km/h.

### 3.5.1.4 Resguardo

Se denomina resguardo a la diferencia entre el nivel de agua de la balsa en una situación concreta y la coronación del dique de cierre de la balsa ( $Z_{cor}$ ). El resguardo se define para las dos situaciones principales de la balsa:

- c) Resguardo normal ( $R_{NORMAL}$ ): es el relativo al Nivel Máximo Normal (NMN) o máximo nivel que puede alcanzar el agua de la balsa en un régimen normal de explotación. Este resguardo deberá ser igual o superior a la sobreelevación correspondiente al caudal de cálculo del aliviadero ( $r_1$ ) más la sobreelevación correspondiente al oleaje máximo ( $r_2$ ).
- d) Resguardo mínimo ( $R_{MÍNIMO}$ ): es el relativo al Nivel Avenida de Proyecto (NAP) o nivel correspondiente al caudal de cálculo del aliviadero. Este resguardo deberá ser igual o superior a la sobreelevación correspondiente al oleaje máximo ( $r_2$ ).

La comprobación del resguardo normal se puede realizar mediante la expresión siguiente:

$$R_{NORMAL} (m) = Z_{cor} - NMN \geq r_1 + 1,5 \cdot r_2$$

Siendo:

- $r_1 = NAP - NMN$
- $r_2$  : altura de ola (m), que se puede calcular por la fórmula de Iribarren:

$$r_2 = 0,6 \times F^{0,25}$$

donde F : Fetch (km) = cuerda más larga de la balsa

Por tanto, se tiene:

**Tabla 23.** Valores de  $r_1$  y  $r_2$

N.A.P.	N.M.N.	$r_1$ (m)	F (km)	$r_2$ (m)
167,70	167,40	0,30	0,26	0,428

Con la cota de coronación mínima de la balsa se consigue el resguardo normal:

**Tabla 24.** Resguardo normal

$Z_{cor}$	$R_{NORMAL}$ (m)	$r_1 + 1,5 \cdot r_2$ (m)
168,40	1,00	0,943

Complementariamente, la comprobación de que el resguardo mínimo tiene un valor suficiente se puede realizar mediante la expresión siguiente:

$$R_{\text{MÍNIMO}} \text{ (m)} = Z_{\text{cor}} - \text{NAP} \geq 1,5 \cdot r_2$$

Se considera igualmente la cota de coronación mínima para el cálculo del resguardo mínimo. En este caso, se tiene:

**Tabla 25.** Resguardo mínimo

<b>R<sub>MÍNIMO</sub> (m)</b>	<b>1,5·r<sub>2</sub> (m)</b>
0,7	0,643

Por lo que cumple también con el resguardo mínimo.

### **3.5.2 Conducciones y obras auxiliares**

#### *3.5.2.1 Entrada de agua a la balsa*

Como se ha detallado en un apartado anterior, la balsa se llena con el agua proveniente de distintas fuentes. Se procederá a sustituir el tramo de estas tuberías que atraviesan la coronación por otras nuevas del mismo diámetro, pero todas de PEAD. Las nuevas tuberías a colocar para el llenado son las siguientes:

- 3 tuberías de PEAD de DN 315 mm y 10 atm de timbraje.
- 2 tuberías de PEAD de DN 200 mm y 10 atm de timbraje.

#### *3.5.2.2 Salida de agua de la balsa*

Las tomas de fondo que tienen las dos balsas a reformar se mantendrán sin modificarlas. Además de éstas, se proyecta una nueva toma de agua de la balsa que se realizará por el fondo de la misma y mediante una pieza cilíndrica de chapa perforada de acero galvanizado, conectada a una conducción de toma, formada por una tubería de P.E.A.D. de DN 710 mm y timbraje 6 atm. Para no romper el dique de la balsa existente y poder colocar esta nueva toma de fondo, se procederá a realizar una perforación horizontal por debajo del dique, con una tubería de acero de 12 mm de espesor de DN 914 mm, a través de la cual se colocará la tubería de PEAD antes reseñada. Esta tubería de la toma de fondo cruza el cuerpo de la balsa hacia su parte exterior, donde desemboca en la arqueta de válvulas.

### 3.5.2.3 Desagüe de la balsa

Como desagüe de fondo de la balsa se utilizarán la salida de agua descrita anteriormente, así como otra nueva toma formada por una pieza cilíndrica de chapa perforada de acero galvanizado, conectada a una tubería de P.E.A.D. de DN=500 mm. Al igual que la anterior, se realizará una perforación horizontal por debajo del dique de la balsa con una tubería de acero de 12 mm de espesor de DN 813 mm, a través de la cual se colocará la tubería de PEAD antes reseñada. Esta tubería de la toma de fondo cruza el cuerpo de la balsa hacia su parte exterior, donde desemboca en la arqueta de válvulas. Mediante una serie de válvulas de mariposa y compuerta de DN=500 mm alojadas en la arqueta de válvulas, se podrá controlar el flujo de agua, bien hacia la arqueta húmeda, o bien hacia la tubería de la red de riego.

Desde la parte húmeda de la arqueta de válvulas, donde confluyen la tubería de desagüe de fondo, la del aliviadero y las de salida de los drenajes, se llevará el agua hasta una arqueta de descarga situada en una vaguada cercana al sur de la balsa, mediante una tubería de PVC orientado de DN 500 mm, 12,5 atm de timbraje y 457 m de longitud.

### 3.5.2.4 Aliviadero

Tendrá como misión evacuar el exceso de agua que exista por encima del nivel máximo de almacenamiento, como consecuencia del oleaje producido por el viento o por una precipitación muy elevada en un corto espacio de tiempo. Por ello, su entrada en funcionamiento va estar muy restringida a situaciones muy esporádicas. Actualmente, cada una de las dos balsas dispone de un aliviadero. La balsa mayor tiene un aliviadero formado por 3 tubos de hormigón de DN 400 mm, mientras que la más pequeña dispone de un rebaje en coronación a modo de vado. No obstante, al unificar ambas balsas en una sola, se diseña un nuevo aliviadero que sea suficiente para los nuevos condicionantes de esta balsa.

Este nuevo aliviadero se proyecta de hormigón armado HA-25/B/20/XC2, situándose embutido en el talud de la balsa. La solución adoptada es un aliviadero de labio fijo en pared gruesa, con disposición frontal y sección de entrada rectangular, de 2x1,50 m de anchura útil y coincidente con el labio vertiente (cota 167,4). En sección longitudinal, la obra está formada por tres partes que, de aguas arriba hacia aguas abajo, son las siguientes:

- Embocadura. Dos aletas y un canal de hormigón armado de sección rectangular, con dos huecos de 1,5 m de anchura libre y 0,75 m de altura útil, con un murete central de 0,3 m de anchura, y con una longitud 5,0 m, a la que añadir las aletas rectas de transición, de 2,5 m de longitud y diseño triangular decreciente. Para permitir el paso del tráfico rodado por la parte superior con firme de 10 cm de zahorra artificial, se realiza un paso

apoyado en las paredes extremas y central del aliviadero, que se traduce en la colocación de placas prefabricadas en obra de hormigón armado HA-25/B/20/XC2 de 25 cm de espesor, con doble armadura de Ø10 mm cada 15 cm. Los muros de 30 cm de espesor del canal, con doble armadura reticular de Ø10 mm cada 15 cm, arrancan de la cimentación realizada por losa de hormigón armado HA-25/B/20/XC2 de 25 cm de espesor, con una armadura doble de Ø12 mm cada 20 cm, sobre una capa de hormigón de limpieza HM-20/B/20/X0 de 10 cm.

- Arqueta de rotura, de dimensiones interiores en planta, 3,3 m de anchura, 2,0 m de altura y 1,5 m de longitud, cerrada por su parte superior con planchas de trámex metálico galvanizado sobre perfilera de apoyo S 235 JR de acero conformado en frío. Esta arqueta, de hormigón armado HA-25/B/20/XC2, dispone de muros de 25 cm de espesor con armadura reticular de Ø10 mm cada 20 cm, sobre losa de 30 cm con una armadura de Ø12 mm cada 30 cm, que conforma un resalto respecto a la solera del aliviadero, de 1,0 m de altura. La solera irá sobre una capa de 10 cm de hormigón de limpieza HM-20/B/20/X0.
- Conducción constituida por una tubería de PVC orientado de DN 500 mm y 12,5 atm de timbraje, 183 m de longitud, que parte de la arqueta de rotura del aliviadero y se prolonga hasta la parte húmeda de la arqueta de válvulas situada junto al talud exterior de la balsa, por donde sale la toma y desagüe de fondo.

La armadura a disponer en todos los elementos de hormigón armado elaborados in situ, se ejecutará con ferralla de acero de calidad B 500 S.

#### 3.5.2.5 Sistema de drenaje

El sistema de drenaje se efectúa con la doble finalidad de eliminar las aguas infiltradas de parcelas adyacentes, y con el fin de construir un sistema de seguridad que nos avise de posibles fugas de la impermeabilización. La red deberá tener la capacidad de evacuar las aguas sin que sufran daños los terraplenes en caso de infiltraciones o fugas de agua.

Los drenajes estarán formados por una zanja de 0,40 m x 0,40 m revestida por un dren geotextil no tejido de filamentos continuos de polipropileno con un gramaje de 350 gr/m<sup>2</sup>, donde en el fondo se colocará una capa de grava sobre la que irá el tubo de drenaje. La tubería drenante será de PVC corrugado y ranurado de 100 mm de diámetro. Una vez colocada ésta, se terminará de llenar la zanja con grava de 10-25 mm, para finalmente cubrir el relleno con el mismo geotextil que ha revestido la zanja.

La red de drenaje será perimetral y transversal, estando la perimetral situada a varios metros del pie del talud interior y la transversal conectada a uno de los tubos perimetrales. Se diseña un

sistema de drenaje dividido en dos sectores. También se colocará un drenaje alrededor de la toma de salida de agua para protegerla. Los caudales procedentes de los sectores y el drenaje de la toma, se recogen al final en tuberías de P.E.A.D. de DN 110 mm y 10 atm de timbraje, y discurrirán desde el término del dren del que se alimentan hasta la parte húmeda de la arqueta de válvulas situada junto al talud exterior de la balsa, donde se podrá visualizar la cantidad de agua drenada por cada uno de los sectores. Estas tres tuberías se dispondrán en el mismo tubo de acero de DN 813 mm de la perforación horizontal por el que discurre el desagüe de fondo.

### 3.5.2.6 *Arqueta de válvulas*

Los dispositivos de regulación previstos en la salida de la balsa son los siguientes:

- Una válvula de mariposa de DN 700 mm de accionamiento eléctrico, colocada en la tubería de toma de agua o vaciado de la balsa.
- Una válvula de mariposa de DN 700 mm de accionamiento manual, colocada a continuación de la válvula anterior, en la tubería de toma de agua o vaciado de la balsa.
- Un by-pass de DN 150 mm controlado mediante una válvula de compuerta de accionamiento manual de ese diámetro, colocada en la tubería de toma de la balsa, y que servirá para el llenado progresivo de la tubería de riego.
- Dos válvulas de mariposa y una de compuerta de DN 500 mm de accionamiento manual, dos colocadas en la tubería de desagüe de la balsa y otra en una conexión entre la tubería de toma y la de desagüe, para darle versatilidad al sistema de vaciado de la balsa.

Estas válvulas se alojan en una arqueta con unas dimensiones interiores de 6,80 x 4,50 x 2,50 m, con un muro separador de forma que queden dos partes, una seca y otra húmeda, ejecutada con muros de hormigón armado HA-25/B/20/XC2 de 30 cm de espesor con doble armadura reticular de Ø10 mm cada 15 cm, empotrados en una losa de canto 30 cm con doble armadura de Ø12 mm cada 30 cm, sobre 10 cm de hormigón de limpieza HM-20/B/20/X0. Dispondrá de una tapa formada por placas prefabricadas a base de hormigón armado, realizada en obra, de 15 cm de espesor con doble armadura de Ø10 mm cada 20 cm y simplemente apoyadas, para facilitar el montaje en obra y optimizar el proceso de construcción, ya que son elementos que no resisten paso de tráfico rodado, al estar la arqueta parcialmente enterrada. Desde el punto de vista constructivo, se trata de una arqueta con una parte seca y otra húmeda con profundidad interior útil de 2,50 m e irá dotada, la parte seca, de tres rejillas de ventilación de 0,8x0,2 m.

El acceso de personas a esta arqueta para operación y mantenimiento se realiza a través de tres tapas abisagradas de chapa galvanizada de 3 mm de espesor, recercadas en su cara inferior con angular metálico de 50x50x5 mm y cierre de seguridad antivandálico, ubicadas en sendos

huecos de la tapa de hormigón armado descrita anteriormente. La bajada al fondo de la arqueta se realizará por los pates de acero galvanizado colocados en el muro. Se habilitan dos zonas de acceso en la arqueta seca para poder operar en cada una de las partes libres de la arqueta, ya que no es posible pasar de una zona a otra una vez que se está en el fondo de la arqueta.

#### 3.5.2.7 *Arqueta de descarga de los desagües.*

Esta arqueta se sitúa en el comienzo de una vaguada cercana a la balsa, donde descarga la tubería de desagüe que proviene de la parte húmeda de la arqueta de válvulas de salida de la balsa. Se trata de una arqueta de hormigón armado HA-25/B/20/XC2 de 2x2x2 m de dimensiones interiores, con muros de 25 cm de espesor armados con doble mallazo  $\varnothing 10$  mm cada 15 cm, solera de 30 cm de espesor armada con doble mallazo  $\varnothing 12$  mm cada 20 cm, con tapa prefabricada en obra de hormigón armado de 15 cm de espesor con doble armadura  $\varnothing 10$  mm cada 20 cm, y acceso de personas mediante tapa abisagrada de chapa galvanizada de 3 mm de espesor, recercada en su cara inferior con angular metálico de 50x50x5 mm y cierre de seguridad antivandálico. Dispondrá de una apertura de 50 cm de altura en la parte superior de una de las caras para descarga del agua.

#### 3.5.2.8 *Cerramiento*

Actualmente, las dos balsas existentes disponen de un cerramiento en la parte interior del camino de coronación. Una vez realizada la reforma con la unión de ambas balsas, se procederá a eliminar este cerramiento y colocar uno nuevo en la parte exterior de la misma, ya que, por requerimientos medioambientales, el vallado no se puede colocar en la coronación de la balsa, solo en la parte exterior a pie del talud.

Se colocará un cerramiento de postes de tubo de acero galvanizado en caliente de 5 cm de diámetro y 2,35 m de altura, a 3 m de separación, empotrados y anclados mediante dados de hormigón HM-20/B/20/X0 de 35x35x35 cm, y guarnecidos con malla galvanizada simple torsión de 50 mm de paso de malla y diámetro 1,8 mm, de 2,0 m de altura, enterrada 10 cm en el terreno. (Ver plano n° 5.8. «Balsa de almacenamiento SAT Climasol de Vera. Medidas ambientales». Hoja 1 de 2).

La misión de la malla será proteger de los daños que pudieran producir la entrada de personas o animales y evitar cualquier tipo de accidente. Para facilitar el acceso a la zona de la balsa se colocarán cuatro puertas de 5 m con doble hoja, cuyas características son las mismas que las del cerramiento antes descrito. (Ver plano n° 5.2. «Balsa de almacenamiento SAT Climasol de Vera. Planta General»).

### 3.5.2.9 Impermeabilización

Toda la superficie de la solera, así como las paredes laterales irán protegidas con una lámina plástica de polietileno de alta densidad (PEAD) de 1,5 mm de espesor. Esta se anclará a lo largo de todo el perímetro en un zuncho a unos 50 cm del borde de la coronación, de 0,4 x 0,6 metros, donde se enterrará el inicio de cada rollo y se rellenará con 50 cm del material extraído previamente y 10 cm de hormigón en masa de resistencia característica 20 N/mm<sup>2</sup>. (Ver plano nº 5.7. «Balsa de almacenamiento SAT Climazol de Vera. Impermeabilización»). Parte de la lámina de las paredes laterales de la balsa más pequeña existente se mantendrá sin sustituir.

Entre láminas contiguas deberá existir un solape adecuado que garantice la estanqueidad del sistema (en ningún caso menor de 15 cm). Las uniones se realizarán exclusivamente por termofusión y presión. Además, serán dobles, esto es, dejan un canalillo interior de prueba a fin de que se verifique, mediante presión, la idoneidad o no de la soldadura.

En la zona de entrada de agua a la balsa, se dispondrá doble lámina en una anchura de 7 m y hasta el fondo de la balsa, para reforzar y proteger el talud del flujo de entrada.

Repartidas a lo largo de toda la balsa, se dispondrán bandas desde coronación hasta solera de 7 m de anchura y separadas 20 m entre ellas, de esta misma lámina de polietileno, pero texturizado, con rugosidad suficiente para facilitar la salida de aquellos animales y personas que hayan podido caer por accidente. Tiene la superficie estructurada por una cara, con multitud de tacos (57.000 tacos/m<sup>2</sup>) de una altura mayor de 0,9 mm, lo que confiere a la lámina alta estabilidad en la impermeabilización de planos inclinados con fuertes pendientes (alto coeficiente de rozamiento y ángulo de fricción). Irán soldadas y con el mismo solape que el resto de la lámina de PEAD.

El PEAD se colocará sobre geotextil no tejido de filamentos continuos de polipropileno, unidos mecánicamente por agujado, estabilizados frente a los rayos UV y gramaje de 350 gr/m<sup>2</sup>. Este geotextil se colocará siguiendo las líneas de máxima pendiente, solapando de 7 a 10 cm una banda con otra, y realizando un punteo mediante soplete de aire caliente.

### 3.5.2.10 Elementos de auscultación y control

La auscultación de una balsa comprende una serie de actividades encaminadas a conocer el comportamiento real de la misma, empleando para ello distintas técnicas de medición y análisis de datos, inspección y control. La finalidad fundamental del sistema de auscultación es conocer en todo momento cuál es el comportamiento de la balsa y, por lo tanto, cuál es su seguridad.

Estas actividades servirán para prevenir un eventual accidente o rotura de la balsa, pues permitirán conocer el comportamiento actual y predecir el comportamiento futuro, anticipándose al fallo de la estructura.

La pronta detección de asientos considerados anormales en el dique puede evitar el fallo de la estructura. El método más exacto para la medición de los asientos del dique de cierre es la nivelación topográfica de precisión a lo largo de su coronación. Esta metodología requiere únicamente la instalación de clavos de nivelación o colimación y puntos fijos (hitos). En este caso, se colocarán diez (10) clavos de colimación repartidos por la coronación de la balsa y cuatro (4) hitos situados en el exterior de la balsa (ver plano nº 5.9. «Balsa de almacenamiento SAT Climasol de Vera. Elementos de auscultación y control»).

Para medir el nivel de agua en la balsa se dispondrá una sonda piezorresistiva para lectura de nivel continuo, con lo que se podrá conocer de manera continua en cada momento la cota de agua en la balsa y, por consiguiente, el volumen almacenado.

También se colocará un transductor de presión en la arqueta de válvulas de salida de la balsa, concretamente en el colector de DN 700 mm, que, en función de la presión medida, dará información del nivel de agua en la balsa, por lo que servirá como método redundante al de la sonda piezorresistiva descrita anteriormente.

#### 3.5.2.11 *Medidas ambientales*

En el diseño de la balsa de almacenamiento, y a fin de hacerla apta para la vida de la fauna silvestre y garantizar la seguridad de las personas y animales, se adoptarán una serie de medidas que se recogen a continuación:

- **Vallado perimetral** con altura total de 2,00 m, situado en la base del talud exterior y con malla simple torsión, de acero galvanizado enterrada al menos 10 cm. En el apartado 3.5.2.8 de este Anejo y el plano nº 5.8. «Balsa de almacenamiento SAT Climasol de Vera. Medidas ambientales». Hoja 1 de 2, se detallan las características de este cerramiento.
- **Instalación de bandas antideslizantes** sobre las paredes interiores de la balsa. Se dispondrán bandas desde coronación hasta solera de 7 m de anchura y separadas 20 m entre ellas, de PEAD texturizado, con rugosidad suficiente para facilitar la salida de aquellos animales y personas que hayan podido caer por accidente. En el apartado 3.5.2.9 de este Anejo y el plano nº 5.7. «Balsa de almacenamiento SAT Climasol de Vera. Impermeabilización», se detallan las características de esta lámina texturizada.

- **Instalación de islas flotantes con vegetación** para que puedan ser utilizadas por aves acuáticas como lugar de nidificación y área de descanso, además de ofrecer protección frente a los depredadores terrestres. Además, puede ayudar a controlar la proliferación de algas unicelulares (ova) o vegetación subacuática, ya que las raíces de las plantas de la isla actúan como filtradores de nutrientes, mejorando la calidad de agua.

Se instalarán 14 islas flotantes para avifauna de 2 x 2 m<sup>2</sup> de superficie, construidas con estructura flotante de polietileno de baja densidad, rampa de acceso de madera desde el agua y herbazales estructurados en fibra de coco colonizados con vegetación palustre autóctona (aneas, lirios acuáticos, juncos o carrizo) a razón de 10 ud/m<sup>2</sup>, ancladas a la coronación de la balsa mediante cuerdas de nylon. (Ver plano n° 5.8. «Balsa de almacenamiento SAT Climisol de Vera. Medidas ambientales». Hoja 2 de 2).

### **3.6 ESTUDIO DE LA ESTABILIDAD DE TALUDES**

Es preciso analizar la estabilidad de los taludes frente al posible deslizamiento provocado por las tensiones tangenciales que existen en el interior de la masa del suelo.

#### **3.6.1 Métodos de análisis**

Los métodos de análisis de estabilidad más antiguos y más utilizados en presas pequeñas son los basados en el equilibrio límite. Los diversos métodos de equilibrio límite están basados en las siguientes hipótesis.

Consideran la estabilidad como un problema de deformación plana, es decir, el talud es indefinido en la dirección horizontal y paralela a la superficie del talud. Se estudia la estabilidad según un número suficientemente elevado de superficies de deslizamiento. La forma de la superficie varía según el método. La estabilidad se analiza comparando el cociente entre las fuerzas resistentes que se oponen al deslizamiento y las fuerzas que tiendan a provocarlo. Dicho cociente recibe el nombre de coeficiente de seguridad. Si el mínimo de los coeficientes de seguridad obtenidos para las posibles superficies de deslizamiento probadas es superior al indicado por la Instrucción Española, se podrá garantizar la estabilidad de la balsa.

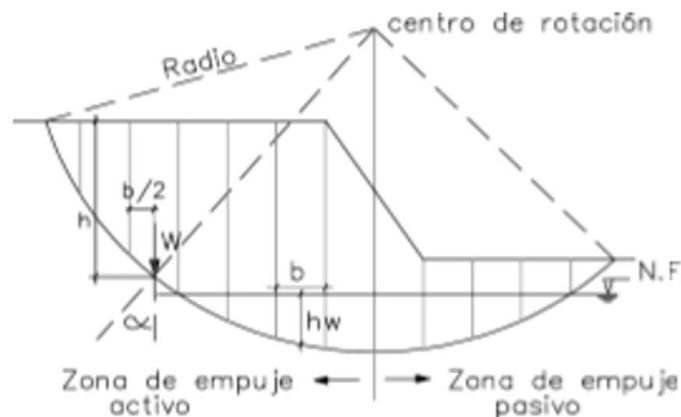
En el análisis de estabilidad de una ladera finita, como es la de una balsa, hay que considerar dos variables; una es la forma de la superficie de falla y otra la situación de la superficie crítica. En cuanto a la primera, la superficie es curva. Muchos investigadores han sugerido que la superficie curva es un arco circular o parte de una espiral logarítmica. Las superficies de deslizamiento observadas tienden a ser una combinación de ambas, aunque a veces existen

discontinuidades si la superficie intersecta a un estrato duro tal como una arcilla rígida, una arena densa o roca.

En cuanto a los Métodos de las Dovelas, estos son usados en aquellos casos en que la superficie de rotura del terreno es del tipo circular. De esta manera, el problema se aborda bidimensionalmente, tomando una sección transversal representativa del talud y dividiéndola en franjas del mismo tamaño. A cada dovela se le analiza su nivel de estabilidad, lo que permite concluir acerca de la seguridad global del talud.

El método de análisis empleado para el cálculo de la estabilidad de los taludes es el método de Bishop. Este método fue desarrollado en el año 1960, donde se plantea dibujar tajadas o dovelas que dividan la masa de suelo prevista a deslizarse. Sirve para establecer el cálculo de taludes a largo y corto plazo. Este método se emplea solo para superficies de falla de tipo circular, planteando el equilibrio de momentos, según el cual el momento que actúa generado sobre el peso propio de cada una de las tajadas alrededor del centro de rotación es igual al momento producido por la resistencia al corte del suelo de la tajada.

Las fuerzas que actúan en la masa de suelo pueden dividirse en fuerzas producidas por empujes activos y pasivos de acuerdo con la ubicación respectiva de la tajada. En la siguiente Figura se puede observar el proceso descrito anteriormente:



**Figura 4.** Representación gráfica del método de Bishop.  
Fuente: Universidad Industrial de Santander (2017).

Este método además tiene en cuenta el efecto de las fuerzas que actúan entre las tajadas. El factor de seguridad para el método de Bishop se define de la siguiente manera:

$$FS = \frac{\sum(c \cdot b + (W - u \cdot b) \cdot \text{tg}\phi)}{\sum W \cdot \text{sen}\alpha}$$

Donde:

$\phi$  : ángulo de rozamiento interno del suelo

c : cohesión efectiva

b : ancho de la tajada

W : peso de la tajada

u : presión de poros con respecto a la base de cada tajada

$\alpha$  : ángulo formado entre la perpendicular a la línea de falla y la vertical en el centro de la tajada

El factor  $m_\alpha$  se define como

$$m_\alpha = \cos\alpha \cdot \left(1 + \frac{\text{tg}\alpha \cdot \text{tg}\phi}{FS}\right)$$

### 3.6.2 Metodología de cálculo

La forma sistemática de abordar el problema del análisis de estabilidad en un talud es la siguiente:

- Establecer una retícula de centros posibles.
- En cada centro tomar varios círculos con distinto radio.
- Encontrar el coeficiente de seguridad de cada círculo.
- Obtener el mínimo valor de F para cada centro.
- Determinar el mínimo de mínimos de F que sería el coeficiente de seguridad del talud.

El proceso manual del método de Bishop para el análisis del desplazamiento crítico de las fallas puede ser un poco extenso y riguroso. Actualmente existe una serie de software que facilitan el cálculo de un conjunto de círculos de desplazamiento en poco tiempo y, de esta forma, facilitan el análisis del talud. En este caso se ha utilizado el programa informático STB2010 de Arnold Verruijt, profesor de la Universidad Tecnológica de Delft (Países Bajos).

### 3.6.3 Criterios generales para estudiar la estabilidad global de los taludes

#### 3.6.3.1 Estabilidad estática

El análisis de la estabilidad del dique de cierre y su cimiento debe contemplar las siguientes situaciones:

- Situación de final de construcción: esta situación se analizará en los casos en los que el dique de cierre está constituido mayoritariamente por materiales arcillosos en los que se puede suponer que no se ha producido disipación de la presión intersticial durante el

proceso de construcción. En este caso no se analizará esta situación al estar constituido mayoritariamente el dique por materiales clasificados como no plásticos.

- Embalse lleno: esta hipótesis supone que la carga de agua se corresponde con la cota de máximo embalse posible. Para los casos de balsas con elemento de impermeabilización externa se supondrá que en el dique de cierre no hay línea piezométrica. Esta hipótesis se estudiará para el talud exterior que es el más desfavorable.
- Rotura del elemento de impermeabilización externo: esta hipótesis supone que la carga de agua se corresponde con la cota de máximo embalse posible y aparece una línea de saturación en el cuerpo del dique. Esta hipótesis se estudiará para el talud exterior que es el más desfavorable.
- Desembalse rápido: esta situación se corresponde con la situación en la que se produce un vaciado de la balsa a una velocidad mayor que la necesaria para que se produzca el drenaje del cuerpo del dique, lo que implica la presencia de sobrepresiones intersticiales en el interior del cuerpo del dique. En las balsas con elemento de impermeabilización externo, para que esta situación se dé, debe ir aparejada con la anterior, es decir, se ha tenido que producir primero una rotura de la impermeabilización para que se sature el cuerpo del dique. Esta hipótesis se estudiará para el talud interior, ya que el exterior sería igual que la hipótesis anterior.

En estas cuatro situaciones de cálculo se deben analizar superficies de deslizamiento que se desarrollen por el cuerpo del dique de cierre, por el cimientado del mismo o por el contacto entre uno y otro.

### 3.6.3.2 Estabilidad dinámica

En aquellas zonas cuya aceleración básica ( $a_b$ ) sea igual o superior a  $0,04 \cdot g$ , siendo  $g$  la aceleración de la gravedad, se debe tener en cuenta el efecto del terremoto en la estabilidad del dique de cierre.

La incorporación del efecto del terremoto en los cálculos se podrá hacer por el método pseudoestático, es decir, incorporando una fuerza horizontal igual al peso del terreno multiplicado por un coeficiente sísmico que se obtiene como indica la Norma de Construcción Sismorresistente (NCSE-02).

Teniendo en cuenta la reducida probabilidad de ocurrencia de sismo en las situaciones de final de construcción y desembalse rápido, el análisis de la estabilidad dinámica del dique de cierre y su cimientado, para no penalizar el diseño, se puede limitar a la situación de sismo con el embalse lleno.

Tal y como marca la NCSE-02, la aceleración sísmica de cálculo  $a_c$  se define como:

$$a_c = S \cdot \rho \cdot a_b$$

donde:

- $a_b$ : aceleración sísmica básica definida en el mapa de peligrosidad sísmica. La balsa está situada en Antas (Almería), donde la aceleración sísmica es  $0,14 \cdot g$ .
- $\rho$ : coeficiente adimensional de riesgo, función de la probabilidad aceptable de que se exceda  $a_c$  en el período de vida para el que se proyecta la construcción. Para una construcción de importancia normal (período de vida  $t=50$  años) como ésta se toma  $\rho=1$ .
- $S$ : coeficiente de amplificación del terreno. En este caso  $0,1 \cdot g < \rho \cdot a_b < 0,4 \cdot g$ , por lo que

$$S = \frac{C}{1,25} + 3,33 \left( \rho \cdot \frac{a_b}{g} - 0,1 \right) \left( 1 - \frac{C}{1,25} \right)$$

siendo  $C$  el coeficiente del terreno que depende de las características geotécnicas de la cimentación. En este caso se tiene un terreno tipo II, según se recoge en el Estudio Geotécnico, por lo que  $C=1,3$  y, por tanto,  $S=1,035$ .

Por tanto,  $a_c = 1,035 \cdot 1 \cdot 0,14 \cdot g = 0,1449 \cdot g$

Para comprobar el efecto de la acción sísmica en el estudio de los problemas de estabilidad global controlados por la resistencia del terreno, y a falta de un mejor procedimiento para realizar el cálculo dinámico, se podrá suponer las aceleraciones siguientes:

Coeficiente sísmico horizontal:  $a_h = \alpha \cdot a_c$

Coeficiente sísmico vertical:  $a_v = \frac{1}{2} a_h$

Siendo  $a_c$  la aceleración sísmica de cálculo en el emplazamiento, definida anteriormente.

El factor  $\alpha$ , o coeficiente sísmico, trata de evaluar la flexibilidad de la obra frente a los terremotos. Su valor debe ser tanto más alto cuanto más coartado este el movimiento. Para problemas de taludes exentos y muelles de gravedad sin coacciones,  $\alpha = 0,5$ .

Por tanto, el coeficiente sísmico horizontal a tener en cuenta para el cálculo de la estabilidad de taludes será:

$$a_h = \alpha \cdot a_c = 0,5 \cdot 0,1449 \cdot g = 0,0725 \cdot g$$

### 3.6.3.3 Coeficientes de seguridad

Los valores mínimos de los coeficientes de seguridad que se deben adoptar en los cálculos de estabilidad global se recogen en la siguiente tabla obtenida del *“Manual para el diseño, construcción, explotación y mantenimiento de Balsas”* editado por el Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino en el año 2010:

**Tabla 26.** Coeficientes de seguridad mínimos.

SITUACIÓN DE DISEÑO	F.S.
Final de construcción	1,3
Rotura del elemento de impermeabilización	1,3
Embalse lleno con sismo	1,3
Embalse lleno sin sismo	1,5
Desembalse rápido	1,1

### 3.6.4 Datos de partida

Los valores de densidad se han obtenido de la densidad máxima del ensayo Proctor ya que se supone que para el terraplén se emplea el material obtenido del desmonte y compactado al 100% P.M. Los valores de cohesión y ángulo de rozamiento interno se han tomado de los ensayos de corte directo realizados sobre la muestra C-02 MA 2.70-2.70, tomada en la calicata C-02 (ver anejo nº 6 «Geología, geotécnica y estudio de materiales»).

Los datos de entrada introducidos en el programa de ordenador, son los siguientes:

**Tabla 27.** Propiedades del terreno.

Angulo de rozamiento: $\phi$	35,0°
Coefficiente de rozamiento: $\text{tg } \phi$	0,7
Cohesión	13 kN/m <sup>2</sup>
Densidad máxima	17,7 kN/m <sup>3</sup>
Densidad saturada	19,9 kN/m <sup>3</sup>
Coefficiente sísmico	0,0725

**Tabla 28.** Geometría de la balsa.

Altura máxima interior	10,4 m
Altura máxima exterior	9,7 m
Anchura de coronación	3,5-5,0 m
Talud interior modificado	2,5/1
Talud exterior	1,5/1
Altura máxima de agua	9,4 m

### 3.6.5 Resultados

Al final de este anejo se adjunta el apéndice nº1 «Resultados de la estabilidad de taludes» con los resultados de los cálculos de la estabilidad de taludes para las hipótesis de cálculo antes reseñadas. Para obtener el mínimo factor de seguridad se ha utilizado el software STB 2010, obteniéndose los siguientes valores:

**Tabla 29.** Resultados de la estabilidad de taludes.

<b>Hipótesis</b>	<b>Coef. seg. obtenido</b>		<b>Coef. seg. exigible</b>	<b>Valoración</b>
Rotura impermeabilización	Talud exterior	1,721	1,3	Estable
Embalse lleno con sismo	Talud exterior	1,779	1,3	Estable
Embalse lleno sin sismo	Talud exterior	2,034	1,5	Estable
Desembalse rápido	Talud interior	1,738	1,1	Estable

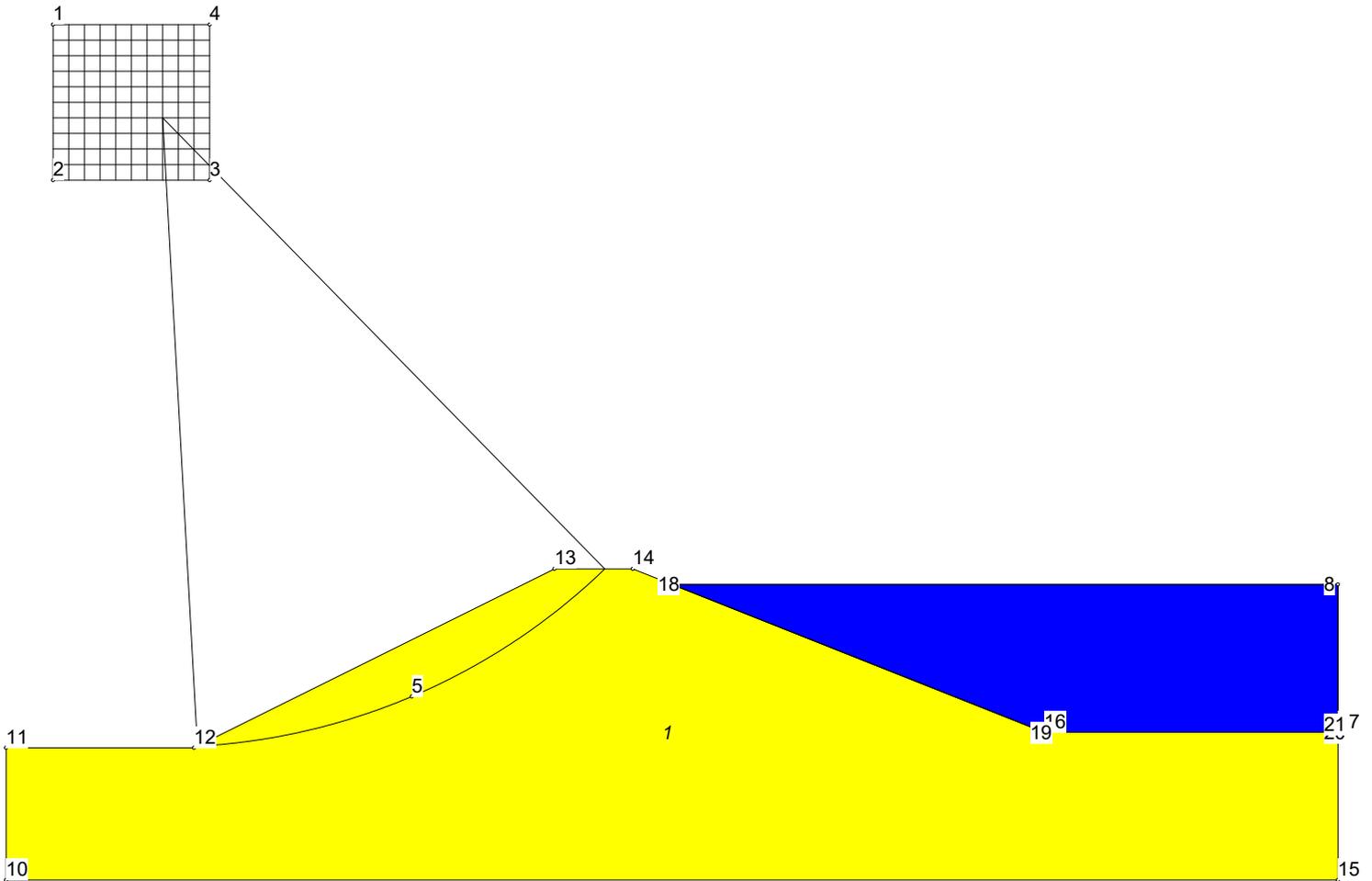
**APÉNDICE Nº 1. RESULTADOS DE LA ESTABILIDAD DE TALUDES DE LA  
BALSA DE LA SAT EL GRUPO DE ANTAS**

**Balsa llena sin sismo. Talud exterior**

**General Data**

Licensed User : tb  
 File Name : Balsa llena sin sismo\_exterior.stb  
 Problem Name : New Problem  
 Number of Slices : 1000  
 Relative Horizontal Force: 0.000000  
 Number of Nodes : 21  
 Number of Soil Polygons : 1

**Figure with critical slip circle**



**F = 4.164**

**Input Data**

**Coordinates of Nodes**

Node	x	y
1	3.000	55.000
2	3.000	45.000
3	13.000	45.000
4	13.000	55.000
5	25.890	11.796
6	85.000	9.500
7	85.000	9.500
8	85.000	19.000
9	85.000	10.000
10	0.000	0.000
11	0.000	8.500
12	12.000	8.500
13	35.000	20.000
14	40.000	20.000
15	85.000	0.000
16	66.250	9.500
17	85.000	9.500
18	42.500	19.000
19	66.250	9.500

**Balsa Ilena sin sismo. Talud exterior**

20	85.000	9.500
21	85.000	10.000

**Structure of Polygons**

Window of centers of slip circles

Nodes 1 2 3 4

Fixed point of all slip circles

Node 5

Water Polygon

Nodes 6 7 21 20 19 18 8 9

Soil Polygons

1: Nodes 10 11 12 13 14 16 17 15

**Properties of Soils**

Soil	Wd kN/m <sup>3</sup>	Ws kN/m <sup>3</sup>	Ko --	c kN/m <sup>2</sup>	phi degrees	P/F	p=0 m	cap m
1	16.300	18.200	1.000	46.000	26.800	P		0.000

**Output Data****Safety Factors**

4.587	4.851	5.075	5.257	5.385	5.441	5.261	4.877	4.169	4.175	4.182
4.657	4.893	5.099	5.268	5.384	5.429	5.203	4.799	4.168	4.176	4.185
4.708	4.927	5.122	5.279	5.383	5.419	5.146	4.706	4.169	4.179	4.190
4.750	4.960	5.144	5.290	5.382	5.410	5.089	4.539	4.172	4.183	4.197
4.790	4.991	5.165	5.300	5.383	5.402	5.031	4.164	4.176	4.190	4.206
4.829	5.020	5.185	5.310	5.384	5.354	4.969	4.168	4.182	4.198	4.217
4.866	5.049	5.204	5.320	5.386	5.306	4.899	4.174	4.190	4.208	4.219
4.902	5.076	5.223	5.330	5.389	5.259	4.814	4.182	4.199	4.218	4.223
4.936	5.103	5.241	5.341	5.393	5.211	4.526	4.190	4.209	4.219	4.230
4.969	5.129	5.259	5.351	5.397	5.160	4.181	4.200	4.217	4.224	4.239
5.001	5.153	5.276	5.362	5.402	5.106	4.191	4.211	4.219	4.231	4.251

**Critical slip circle**

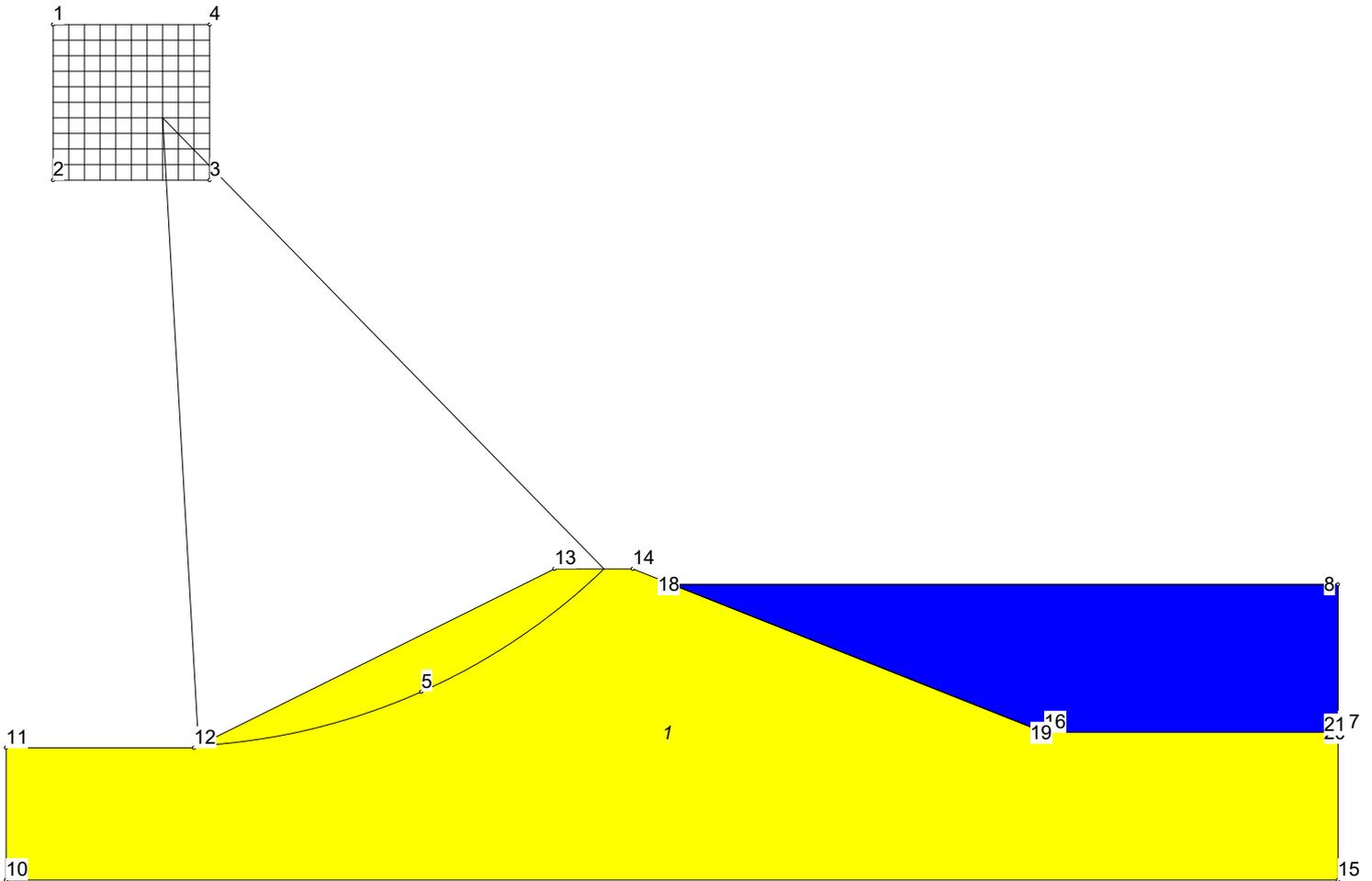
Center: x = 10.000, y = 49.000, Radius: 40.455, F = 4.164

**Balsa llena con sismo. Talud exterior**

**General Data**

Licensed User : tb  
 File Name : Balsa llena con sismo\_exterior.stb  
 Problem Name : New Problem  
 Number of Slices : 1000  
 Relative Horizontal Force: 0.072500  
 Number of Nodes : 21  
 Number of Soil Polygons : 1

**Figure with critical slip circle**



**F = 3.599**

**Input Data**

**Coordinates of Nodes**

Node	x	y
1	3.000	55.000
2	3.000	45.000
3	13.000	45.000
4	13.000	55.000
5	26.494	12.098
6	85.000	9.500
7	85.000	9.500
8	85.000	19.000
9	85.000	10.000
10	0.000	0.000
11	0.000	8.500
12	12.000	8.500
13	35.000	20.000
14	40.000	20.000
15	85.000	0.000
16	66.250	9.500
17	85.000	9.500
18	42.500	19.000
19	66.250	9.500

**Balsa llena con sismo. Talud exterior**

20	85.000	9.500
21	85.000	10.000

**Structure of Polygons**

Window of centers of slip circles

Nodes 1 2 3 4

Fixed point of all slip circles

Node 5

Water Polygon

Nodes 6 7 21 20 19 18 8 9

Soil Polygons

1: Nodes 10 11 12 13 14 16 17 15

**Properties of Soils**

Soil	Wd kN/m <sup>3</sup>	Ws kN/m <sup>3</sup>	Ko --	c kN/m <sup>2</sup>	phi degrees	P/F	p=0 m	cap m
1	16.300	16.500	1.000	46.000	26.800	P		0.000

**Output Data**

**Safety Factors**

3.708	3.923	4.118	4.297	4.450	4.561	4.488	4.203	3.606	3.615	3.621
3.770	3.965	4.153	4.325	4.469	4.572	4.451	4.137	3.606	3.615	3.621
3.816	4.006	4.188	4.352	4.487	4.582	4.413	4.050	3.606	3.615	3.623
3.860	4.045	4.221	4.377	4.505	4.592	4.371	3.766	3.608	3.617	3.625
3.904	4.083	4.252	4.402	4.523	4.600	4.325	3.599	3.610	3.620	3.629
3.945	4.120	4.283	4.426	4.540	4.570	4.273	3.602	3.613	3.623	3.634
3.986	4.156	4.313	4.450	4.556	4.538	4.207	3.606	3.617	3.628	3.636
4.025	4.190	4.342	4.472	4.573	4.504	4.056	3.610	3.622	3.633	3.633
4.064	4.224	4.370	4.494	4.589	4.467	3.602	3.615	3.627	3.634	3.633
4.101	4.256	4.397	4.516	4.605	4.424	3.607	3.620	3.633	3.632	3.634
4.137	4.288	4.423	4.537	4.621	4.375	3.613	3.627	3.632	3.632	3.638

**Critical slip circle**

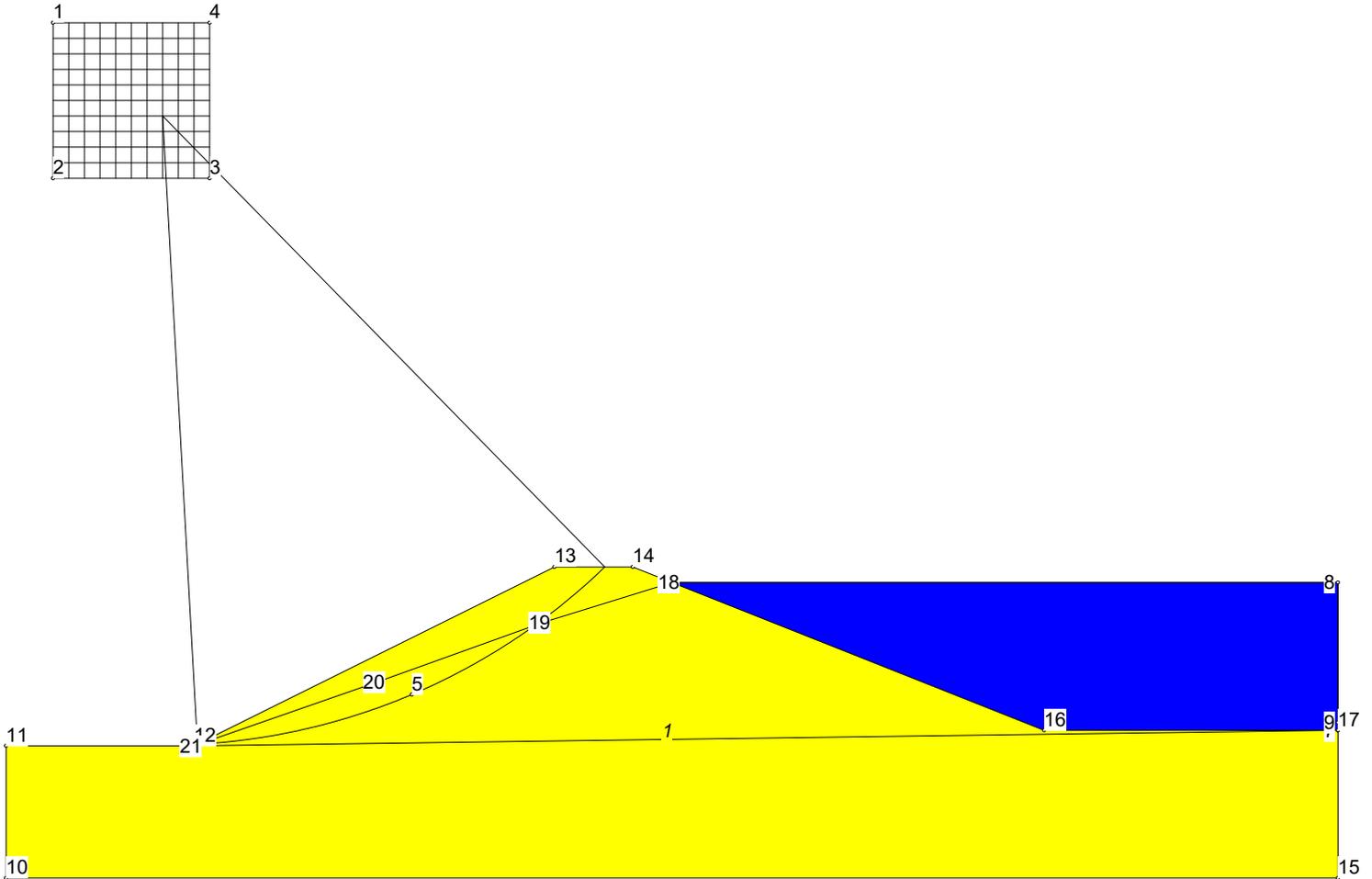
**Center: x = 10.000, y = 49.000, Radius: 40.420, F = 3.599**

**Rotura impermeabilización. Talud exterior**

**General Data**

Licensed User : Students of Geotechnics  
 File Name : Rotura impermeab\_exterior.stb  
 Problem Name : New Problem  
 Number of Slices : 1000  
 Relative Horizontal Force: 0.000000  
 Number of Nodes : 21  
 Number of Soil Polygons : 1

**Figure with critical slip circle**



**F = 3.786**

**Input Data**

**Coordinates of Nodes**

Node	x	y
1	3.000	55.000
2	3.000	45.000
3	13.000	45.000
4	13.000	55.000
5	25.890	11.796
6	85.000	9.500
7	85.000	9.500
8	85.000	19.000
9	85.000	10.000
10	0.000	0.000
11	0.000	8.500
12	12.000	8.500
13	35.000	20.000
14	40.000	20.000
15	85.000	0.000
16	66.250	9.500
17	85.000	9.500
18	42.500	19.000
19	34.245	16.427

**Rotura impermeabilización. Talud exterior**

20	23.676	12.601
21	12.000	8.500

**Structure of Polygons**

Window of centers of slip circles

Nodes 1 2 3 4

Fixed point of all slip circles

Node 5

Water Polygon

Nodes 6 7 21 20 19 18 8 9

Soil Polygons

1: Nodes 10 11 12 13 14 16 17 15

**Properties of Soils**

Soil	Wd kN/m <sup>3</sup>	Ws kN/m <sup>3</sup>	Ko --	c kN/m <sup>2</sup>	phi degrees	P/F	p=0 m	cap m
1	16.300	18.200	1.000	46.000	26.800	P		0.000

**Output Data****Safety Factors**

4.044	4.298	4.520	4.708	4.851	4.932	4.791	4.449	3.786	3.811	3.829
4.120	4.350	4.557	4.732	4.864	4.934	4.747	4.382	3.792	3.815	3.833
4.180	4.394	4.591	4.756	4.876	4.937	4.702	4.301	3.798	3.820	3.837
4.230	4.436	4.624	4.778	4.888	4.940	4.656	4.145	3.804	3.826	3.843
4.278	4.477	4.655	4.800	4.900	4.943	4.608	3.786	3.811	3.832	3.849
4.324	4.516	4.685	4.820	4.911	4.905	4.554	3.794	3.819	3.839	3.857
4.368	4.552	4.713	4.840	4.922	4.867	4.492	3.803	3.827	3.847	3.856
4.411	4.587	4.740	4.858	4.933	4.827	4.414	3.812	3.836	3.855	3.855
4.452	4.621	4.766	4.876	4.944	4.786	4.138	3.822	3.845	3.853	3.856
4.492	4.654	4.791	4.894	4.955	4.742	3.806	3.832	3.850	3.853	3.859
4.530	4.685	4.815	4.911	4.965	4.694	3.816	3.842	3.850	3.856	3.863

**Critical slip circle**

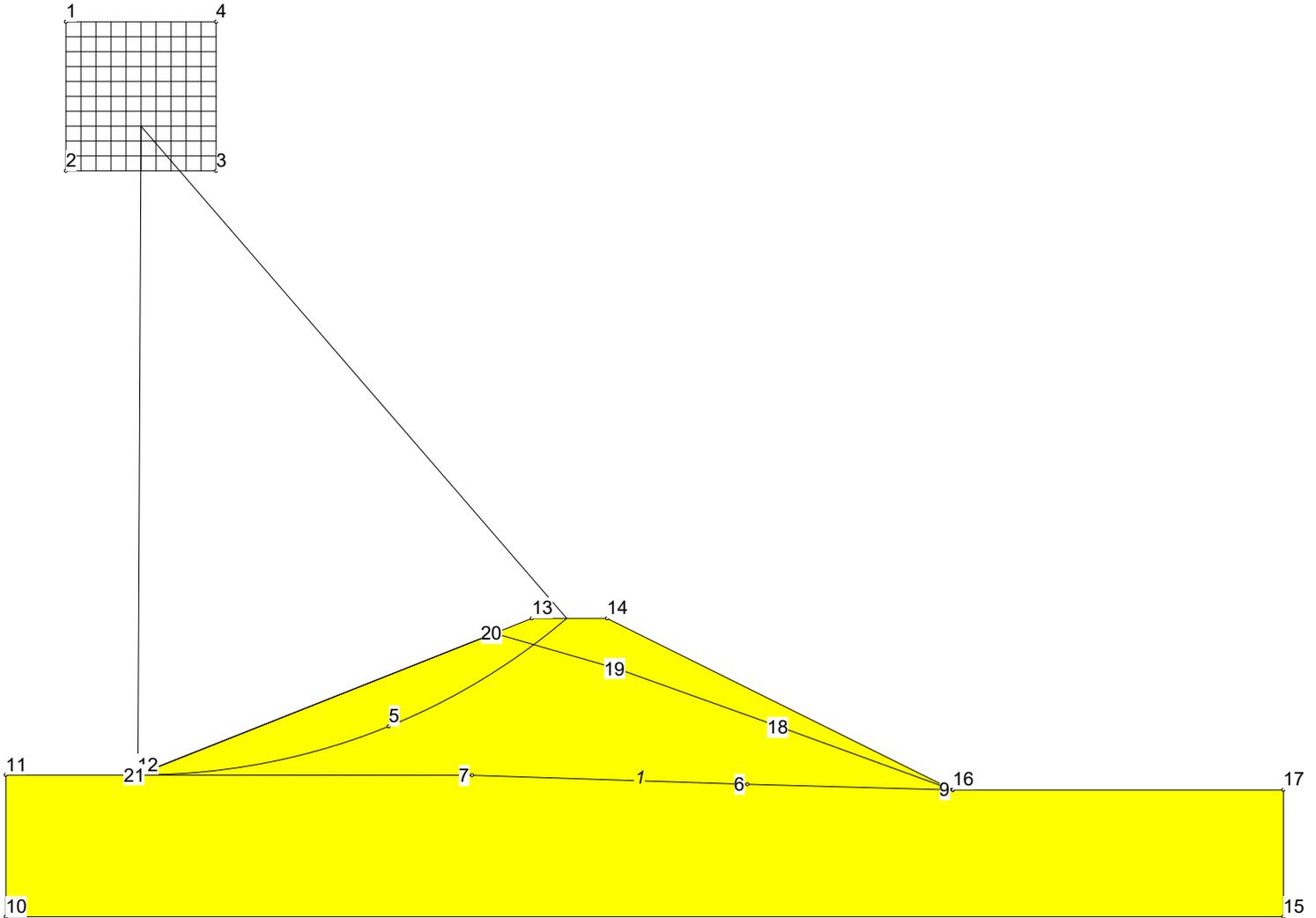
Center: x = 10.000, y = 49.000, Radius: 40.455, F = 3.786

**Desembalse rápido. Talud interior**

**General Data**

Licensed User : Students of Geotechnics  
 File Name : Desembalsa rapido\_interior.stb  
 Problem Name : New Problem  
 Number of Slices : 1000  
 Relative Horizontal Force: 0.000000  
 Number of Nodes : 21  
 Number of Soil Polygons : 1

**Figure with critical slip circle**



**F = 3.944**

**Input Data**

**Coordinates of Nodes**

Node	x	y
1	4.000	60.000
2	4.000	50.000
3	14.000	50.000
4	14.000	60.000
5	25.478	12.759
6	49.345	8.877
7	31.024	9.481
8	63.000	8.500
9	63.000	8.500
10	0.000	0.000
11	0.000	9.500
12	8.750	9.500
13	35.000	20.000
14	40.000	20.000
15	85.000	0.000

**Desembalse rápido. Talud interior**

16	63.000	8.500
17	85.000	8.500
18	51.560	12.702
19	40.688	16.628
20	32.500	19.000
21	8.750	9.500

**Structure of Polygons**

Window of centers of slip circles

Nodes 1 2 3 4

Fixed point of all slip circles

Node 5

Water Polygon

Nodes 6 7 21 20 19 18 8 9

Soil Polygons

1: Nodes 10 11 12 13 14 16 17 15

**Properties of Soils**

Soil	Wd kN/m <sup>3</sup>	Ws kN/m <sup>3</sup>	Ko --	c kN/m <sup>2</sup>	phi degrees	P/F	p=0 m	cap m
1	16.300	18.200	1.000	46.000	26.800	P		0.000

**Output Data**

**Safety Factors**

4.087	4.303	4.479	4.620	4.629	4.300	3.944	3.988	4.028	4.066	4.104
4.150	4.344	4.513	4.645	4.601	4.236	3.959	4.002	4.042	4.081	4.121
4.197	4.383	4.545	4.671	4.572	4.140	3.974	4.017	4.058	4.098	4.139
4.241	4.422	4.577	4.696	4.539	3.944	3.990	4.033	4.074	4.116	4.159
4.284	4.459	4.608	4.721	4.501	3.960	4.006	4.049	4.091	4.134	4.178
4.327	4.496	4.639	4.746	4.456	3.977	4.022	4.066	4.109	4.153	4.185
4.368	4.532	4.669	4.771	4.399	3.994	4.040	4.084	4.128	4.173	4.194
4.409	4.567	4.699	4.745	4.315	4.012	4.058	4.102	4.147	4.180	4.206
4.448	4.602	4.729	4.717	3.983	4.030	4.076	4.121	4.167	4.189	4.219
4.487	4.636	4.758	4.684	4.002	4.049	4.095	4.141	4.174	4.200	4.235
4.525	4.669	4.786	4.645	4.020	4.067	4.114	4.160	4.183	4.213	4.252

**Critical slip circle**

**Center: x = 9.000, y = 53.000, Radius: 43.484, F = 3.944**

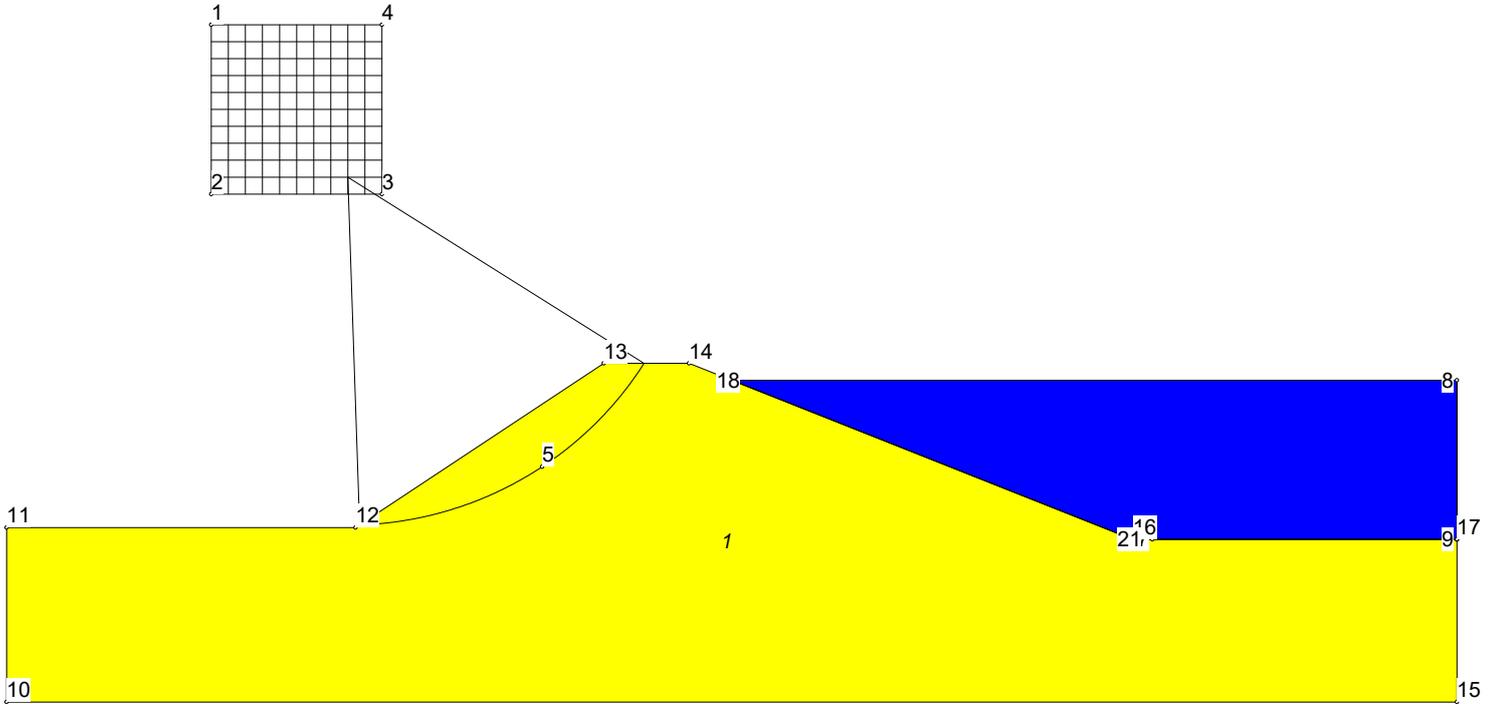
**APÉNDICE N° 2. RESULTADOS DE LA ESTABILIDAD DE TALUDES DE LA  
BALSA DE LA SAT CLIMASOL DE VERA**

**Balsa llena sin sismo. Talud exterior**

**General Data**

Licensed User : llena sin sismo\_exterior.stb  
 File Name : Balsa llena sin sismo\_exterior.stb  
 Problem Name : New Problem  
 Number of Slices : 1000  
 Relative Horizontal Force: 0.000000  
 Number of Nodes : 21  
 Number of Soil Polygons : 1

**Figure with critical slip circle**



**F = 2.034**

**Input Data**

**Coordinates of Nodes**

Node	x	y
1	12.000	40.000
2	12.000	30.000
3	22.000	30.000
4	22.000	40.000
5	31.392	13.894
6	85.000	9.600
7	67.153	9.600
8	85.000	19.000
9	85.000	9.600
10	0.000	0.000
11	0.000	10.300
12	20.450	10.300
13	35.000	20.000
14	40.000	20.000
15	85.000	0.000
16	66.000	9.600
17	85.000	9.600
18	42.500	19.000
19	66.000	9.600
20	66.000	9.600
21	66.000	9.600

**Balsa Ilena sin sismo. Talud exterior****Structure of Polygons**

Window of centers of slip circles

Nodes 1 2 3 4

Fixed point of all slip circles

Node 5

Water Polygon

Nodes 6 7 21 20 19 18 8 9

Soil Polygons

1: Nodes 10 11 12 13 14 16 17 15

**Properties of Soils**

Soil	Wd kN/m <sup>3</sup>	Ws kN/m <sup>3</sup>	Ko --	c kN/m <sup>2</sup>	phi degrees	P/F	p=0 m	cap m
1	17.700	19.900	1.000	13.000	35.000	P		0.000

**Output Data****Safety Factors**

4.802	4.745	4.306	3.779	3.315	2.916	2.584	2.319	2.082	2.060	2.109
4.702	4.592	4.134	3.634	3.196	2.822	2.513	2.267	2.034	2.079	2.133
4.604	4.448	3.980	3.505	3.091	2.740	2.453	2.221	2.052	2.102	2.160
4.508	4.312	3.842	3.390	2.999	2.670	2.401	2.168	2.074	2.127	2.190
4.414	4.185	3.718	3.288	2.918	2.608	2.356	2.049	2.098	2.155	2.222
4.324	4.066	3.606	3.197	2.847	2.555	2.316	2.072	2.125	2.185	2.256
4.237	3.951	3.505	3.115	2.783	2.509	2.275	2.098	2.153	2.217	2.292
4.152	3.840	3.413	3.042	2.728	2.468	2.122	2.124	2.183	2.251	2.327
4.072	3.740	3.331	2.977	2.679	2.431	2.098	2.153	2.215	2.284	2.363
3.994	3.648	3.256	2.919	2.635	2.396	2.125	2.182	2.247	2.317	2.401
3.920	3.564	3.188	2.866	2.596	2.317	2.153	2.213	2.278	2.352	2.441

**Critical slip circle**

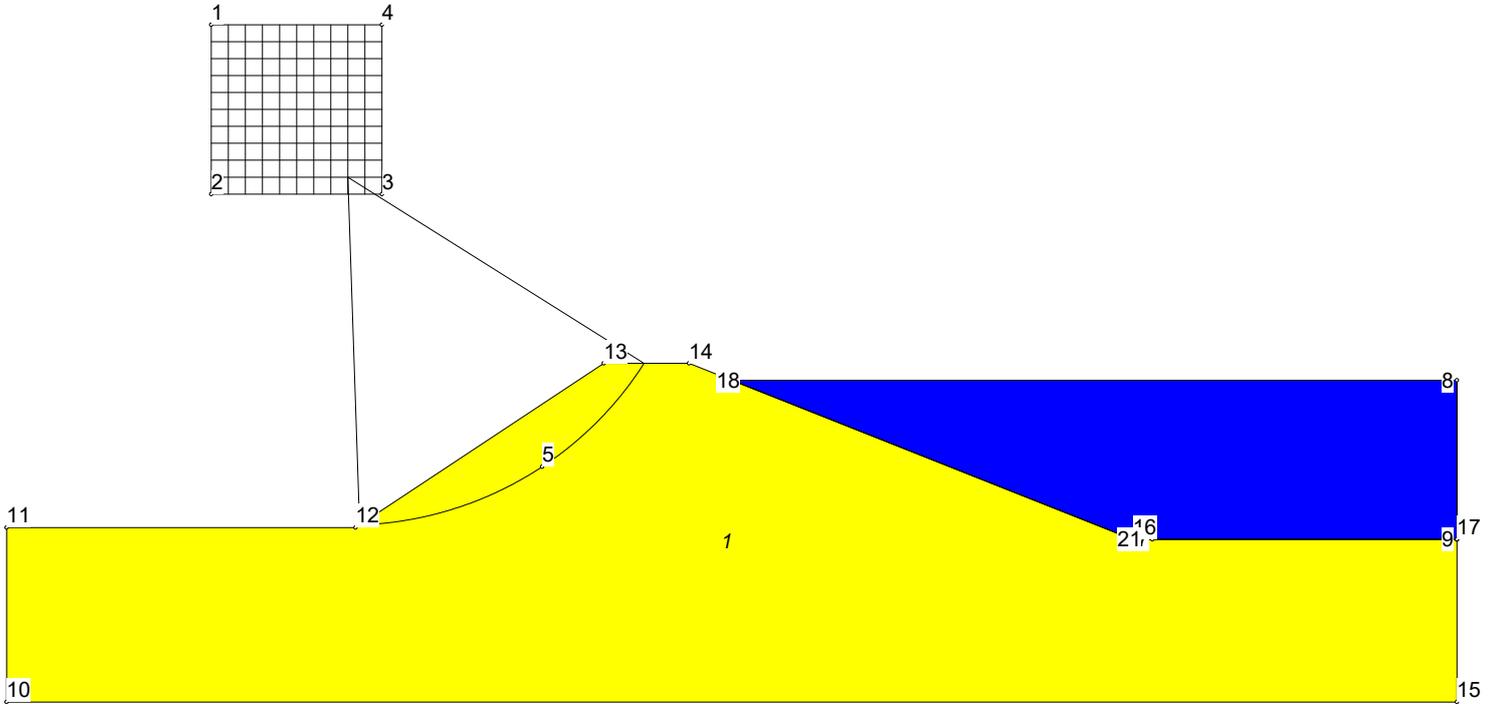
Center: x = 20.000, y = 31.000, Radius: 20.552, F = 2.034

**Balsa llena con sismo. Talud exterior**

**General Data**

Licensed User : Students of Geotechnics  
 File Name : Balsa llena con sismo\_exterior.stb  
 Problem Name : New Problem  
 Number of Slices : 1000  
 Relative Horizontal Force: 0.072500  
 Number of Nodes : 21  
 Number of Soil Polygons : 1

**Figure with critical slip circle**



**F = 1.779**

**Input Data**

**Coordinates of Nodes**

Node	x	y
1	12.000	40.000
2	12.000	30.000
3	22.000	30.000
4	22.000	40.000
5	31.392	13.894
6	85.000	9.600
7	67.153	9.600
8	85.000	19.000
9	85.000	9.600
10	0.000	0.000
11	0.000	10.300
12	20.450	10.300
13	35.000	20.000
14	40.000	20.000
15	85.000	0.000
16	66.000	9.600
17	85.000	9.600
18	42.500	19.000
19	66.000	9.600
20	66.000	9.600
21	66.000	9.600

**Balsa llena con sismo. Talud exterior****Structure of Polygons**

Window of centers of slip circles

Nodes 1 2 3 4

Fixed point of all slip circles

Node 5

Water Polygon

Nodes 6 7 21 20 19 18 8 9

Soil Polygons

1: Nodes 10 11 12 13 14 16 17 15

**Properties of Soils**

Soil	Wd kN/m <sup>3</sup>	Ws kN/m <sup>3</sup>	Ko --	c kN/m <sup>2</sup>	phi degrees	P/F	p=0 m	cap m
1	17.700	19.900	1.000	13.000	35.000	P		0.000

**Output Data****Safety Factors**

3.604	3.593	3.351	3.029	2.731	2.461	2.225	2.025	1.827	1.802	1.841
3.546	3.504	3.245	2.937	2.652	2.395	2.172	1.983	1.779	1.815	1.857
3.489	3.420	3.150	2.854	2.581	2.338	2.127	1.944	1.792	1.830	1.875
3.434	3.341	3.065	2.779	2.519	2.287	2.088	1.897	1.807	1.848	1.896
3.381	3.267	2.987	2.713	2.463	2.243	2.052	1.786	1.824	1.868	1.919
3.330	3.198	2.917	2.653	2.414	2.204	2.019	1.803	1.843	1.889	1.943
3.281	3.130	2.854	2.599	2.371	2.170	1.984	1.821	1.863	1.912	1.968
3.234	3.064	2.796	2.551	2.332	2.139	1.845	1.840	1.885	1.936	1.991
3.189	3.003	2.744	2.508	2.297	2.110	1.819	1.860	1.907	1.959	2.016
3.146	2.947	2.696	2.469	2.266	2.081	1.838	1.881	1.930	1.981	2.042
3.105	2.895	2.653	2.433	2.237	2.011	1.859	1.904	1.951	2.006	2.070

**Critical slip circle**

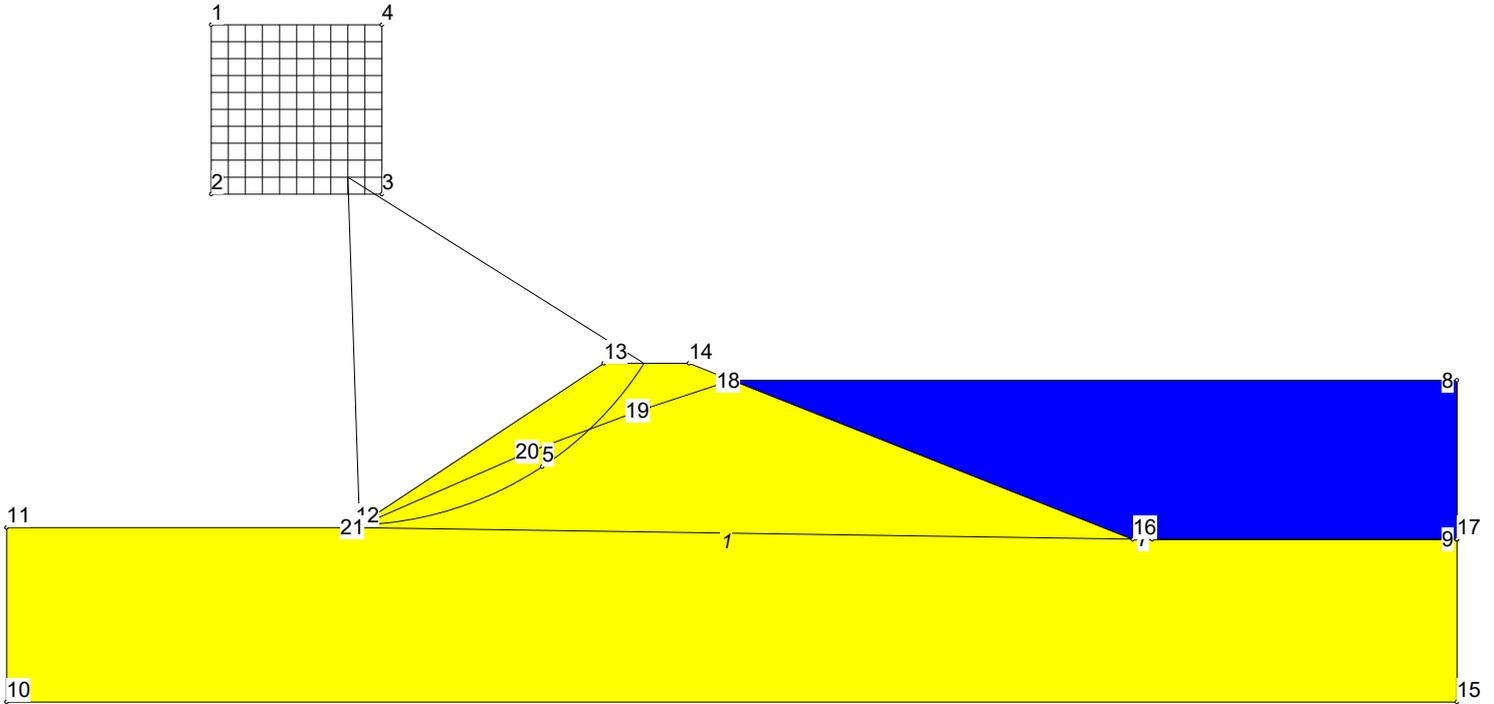
Center: x = 20.000, y = 31.000, Radius: 20.552, F = 1.779

**Rotura impermeabilizacion. Talud exterior**

**General Data**

Licensed User : Students of Geotechnics  
 File Name : Rotura impermeab\_exterior.stb  
 Problem Name : New Problem  
 Number of Slices : 1000  
 Relative Horizontal Force: 0.000000  
 Number of Nodes : 21  
 Number of Soil Polygons : 1

**Figure with critical slip circle**



**F = 1.721**

**Input Data**

**Coordinates of Nodes**

Node	x	y
1	12.000	40.000
2	12.000	30.000
3	22.000	30.000
4	22.000	40.000
5	31.392	13.894
6	85.000	9.600
7	67.153	9.600
8	85.000	19.000
9	85.000	9.600
10	0.000	0.000
11	0.000	10.300
12	20.450	10.300
13	35.000	20.000
14	40.000	20.000
15	85.000	0.000
16	66.000	9.600
17	85.000	9.600
18	42.500	19.000
19	37.165	17.232
20	30.722	14.816
21	20.450	10.300

**Rotura impermeabilizacion. Talud exterior****Structure of Polygons**

Window of centers of slip circles

Nodes 1 2 3 4

Fixed point of all slip circles

Node 5

Water Polygon

Nodes 6 7 21 20 19 18 8 9

Soil Polygons

1: Nodes 10 11 12 13 14 16 17 15

**Properties of Soils**

Soil	Wd kN/m <sup>3</sup>	Ws kN/m <sup>3</sup>	Ko --	c kN/m <sup>2</sup>	phi degrees	P/F	p=0 m	cap m
1	17.700	19.900	1.000	13.000	35.000	P		0.000

**Output Data****Safety Factors**

3.991	3.939	3.578	3.138	2.753	2.421	2.148	1.936	1.747	1.767	1.850
3.936	3.840	3.461	3.041	2.674	2.362	2.107	1.910	1.721	1.803	1.885
3.879	3.747	3.355	2.953	2.605	2.311	2.073	1.886	1.758	1.839	1.920
3.821	3.657	3.259	2.876	2.544	2.267	2.045	1.854	1.795	1.875	1.955
3.764	3.571	3.173	2.806	2.491	2.229	2.020	1.752	1.832	1.911	1.991
3.707	3.490	3.095	2.744	2.444	2.197	1.998	1.790	1.868	1.946	2.026
3.651	3.409	3.024	2.688	2.403	2.169	1.973	1.827	1.904	1.982	2.061
3.595	3.329	2.959	2.638	2.367	2.145	1.835	1.863	1.939	2.016	2.093
3.543	3.257	2.901	2.593	2.335	2.123	1.823	1.898	1.974	2.050	2.125
3.490	3.191	2.847	2.553	2.307	2.101	1.859	1.933	2.008	2.080	2.157
3.440	3.129	2.799	2.517	2.282	2.035	1.893	1.967	2.039	2.112	2.190

**Critical slip circle**

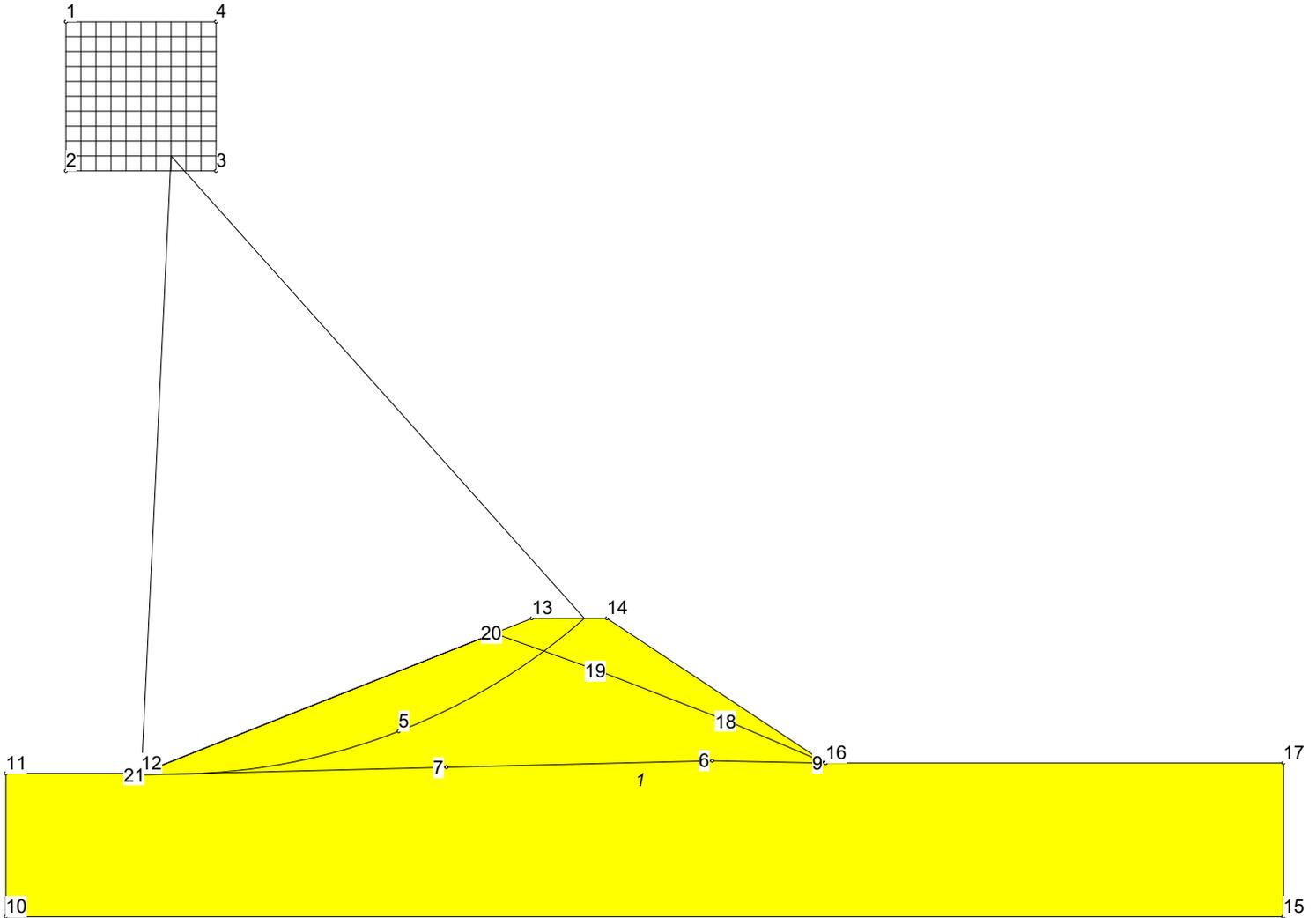
Center: x = 20.000, y = 31.000, Radius: 20.552, F = 1.721

**Desembalse rápido. Talud interior modificado**

**General Data**

Licensed User : Students of Geotechnics  
 File Name : Desembalsa rapido\_interior.stb  
 Problem Name : New Problem  
 Number of Slices : 1000  
 Relative Horizontal Force: 0.000000  
 Number of Nodes : 21  
 Number of Soil Polygons : 1

**Figure with critical slip circle**



**F = 1.738**

**Input Data**

**Coordinates of Nodes**

Node	x	y
1	4.000	60.000
2	4.000	50.000
3	14.000	50.000
4	14.000	60.000
5	26.137	12.429
6	47.002	10.453
7	29.322	10.013
8	54.550	10.300
9	54.550	10.300
10	0.000	0.000
11	0.000	9.600
12	9.000	9.600
13	35.000	20.000
14	40.000	20.000
15	85.000	0.000

**Desembalse rápido. Talud interior modificado**

16	54.550	10.300
17	85.000	10.300
18	48.101	13.088
19	39.425	16.493
20	32.500	19.000
21	8.750	9.500

**Structure of Polygons**

Window of centers of slip circles

Nodes 1 2 3 4

Fixed point of all slip circles

Node 5

Water Polygon

Nodes 6 7 21 20 19 18 8 9

Soil Polygons

1: Nodes 10 11 12 13 14 16 17 15

**Properties of Soils**

Soil	Wd kN/m <sup>3</sup>	Ws kN/m <sup>3</sup>	Ko --	c kN/m <sup>2</sup>	phi degrees	P/F	p=0 m	cap m
1	17.700	19.900	1.000	13.000	35.000	P		0.000

**Output Data****Safety Factors**

1.947	1.984	2.006	2.010	1.992	1.938	1.833	1.744	1.762	1.808	1.857
1.954	1.989	2.010	2.012	1.993	1.932	1.831	1.738	1.780	1.827	1.878
1.963	1.996	2.013	2.014	1.994	1.927	1.830	1.755	1.799	1.847	1.897
1.971	2.001	2.018	2.017	1.996	1.923	1.829	1.772	1.817	1.867	1.916
1.979	2.007	2.022	2.021	1.999	1.920	1.827	1.790	1.837	1.884	1.935
1.987	2.014	2.028	2.024	2.002	1.918	1.824	1.808	1.856	1.903	1.956
1.996	2.021	2.033	2.029	2.007	1.917	1.817	1.827	1.872	1.921	1.977
2.004	2.028	2.039	2.034	2.011	1.916	1.799	1.845	1.890	1.941	1.999
2.013	2.035	2.045	2.039	2.016	1.916	1.817	1.861	1.908	1.961	2.021
2.021	2.042	2.051	2.045	2.013	1.915	1.834	1.878	1.927	1.982	2.044
2.030	2.050	2.058	2.052	2.012	1.914	1.850	1.895	1.946	2.003	2.067

**Critical slip circle**

Center: x = 11.000, y = 51.000, Radius: 41.435, F = 1.738