

**ANEJO N° 10 BALSAS DE REGULACIÓN. CÁLCULOS DE ESTABILIDAD**



**ÍNDICE**

<b>1. Balsa PK 23+055. CÁLCULOS DE ESTABILIDAD Y ASIENTOS</b> .....	<b>1</b>
<b>1.1. CÁLCULO DE ESTABILIDAD</b> .....	<b>1</b>
1.1.1. PARÁMETROS RESISTENTES .....	1
1.1.2. COEFICIENTES DE SEGURIDAD .....	2
1.1.3. HIPÓTESIS 1. CONSTRUCCIÓN DEL DIQUE .....	2
1.1.4. HIPÓTESIS 2. EMBALSE LLENO .....	4
1.1.5. HIPÓTESIS 3. ROTURA DE LÁMINA Y EMBALSE LLENO SIN ELEMENTO DE IMPERMEABILIZACIÓN EXTERNA.....	4
1.1.6. HIPÓTESIS 4. DESEMBALSE RÁPIDO .....	5
1.1.7. CONCLUSIONES .....	6
<b>1.2. CÁLCULO DE CONSOLIDACIÓN Y ASIENTOS</b> .....	<b>6</b>
1.2.1. METODOLOGÍA DE CÁLCULO Y PARÁMETROS CONSIDERADOS.....	7
1.2.2. CÁLCULO DE ASIENTOS .....	7
<b>2. Balsa PK 30+871. CÁLCULOS DE ESTABILIDAD</b> .....	<b>8</b>
<b>2.1. CÁLCULO DE ESTABILIDAD</b> .....	<b>9</b>
2.1.1. PARÁMETROS RESISTENTES .....	9
2.1.2. COEFICIENTES DE SEGURIDAD .....	9
2.1.3. HIPÓTESIS 1. CONSTRUCCIÓN DEL DIQUE.....	9
2.1.4. HIPÓTESIS 2. EMBALSE LLENO .....	10
2.1.5. HIPÓTESIS 3. ROTURA DE LÁMINA Y EMBALSE LLENO SIN ELEMENTO DE IMPERMEABILIZACIÓN EXTERNA.....	11
2.1.6. HIPÓTESIS 4. DESEMBALSE RÁPIDO .....	11
2.1.7. CONCLUSIONES .....	12

**APENDICES****APENDICE 1. CÁLCULO DE ASIENTOS Balsa PK 23+055**



## 1. Balsa PK 23+055. CÁLCULOS DE ESTABILIDAD Y ASIENTOS

En el siguiente punto se abordará el análisis de la estabilidad global del dique perimetral de la balsa así como la estimación de los asentos esperados y la definición de los tratamientos del terreno necesarios.

Los valores de los parámetros geotécnicos empleados son los recomendados como característicos en el Anejo N°3 Estudio Geológico-Geotécnico.

### 1.1. CÁLCULO DE ESTABILIDAD

Para realizar el estudio de estabilidad del dique se ha empleado el programa SLOPE/W de la casa GEO-SLOPE a través del cual se estudia el problema con un grado razonable de exactitud, considerando si es necesario, la acción de presiones intersticiales en el dique, la existencia de diferentes tipologías de materiales y la presencia de un nivel de agua.

Entre los distintos métodos disponibles para comprobar la estabilidad del dique se ha elegido el de Morgenstern-Price que permite ensayar potenciales superficies de rotura circulares.

Se ha analizado la estabilidad del conjunto dique-cimiento en las siguientes hipótesis:

- Final de construcción.
- Situación de balsa llena con elemento de impermeabilización externa
- Rotura de lámina y embalse lleno sin elemento de impermeabilización externo.
- Desembalse rápido total.

En fase de construcción se considera el nivel freático situado a la cota de terreno natural, de acuerdo con las conclusiones obtenidas de las investigaciones realizadas al respecto. Se considera que no existen presiones intersticiales en el interior del cuerpo del dique.

En la hipótesis de balsa llena, se considera que el paramento aguas arriba queda totalmente impermeabilizado por la lámina dispuesta para este fin por lo que no se considera

la existencia de presiones intersticiales en el interior del dique. Se considerará, eso sí, la presencia de un nivel freático a cota de terreno natural afectando a los materiales impermeables del cimiento.

En la hipótesis de desembalse rápido, se considera la existencia de ciertas presiones intersticiales en el cuerpo del dique, para considerar la existencia de posibles filtraciones por fisuras en la lámina drenante.

Se ha estudiado la estabilidad del conjunto cimiento+dique para el perfil más desfavorable correspondiente al de mayor altura (aproximadamente del orden de unos 13,5 m medidos desde el cimiento), realizando el cálculo en la situación más desfavorable a efectos de estabilidad que en este caso corresponde a la situación de corto plazo.

#### 1.1.1. PARÁMETROS RESISTENTES

Se han considerado los valores que se incluyen en la tabla adjunta para los parámetros resistentes del cimiento y de los materiales que constituyen el dique, de acuerdo con las consideraciones realizadas al respecto en el Estudio Geológico-Geotécnico incluido en el Anejo N°3.

Debido a la proximidad de la balsa al río Tajo y teniendo en cuenta los niveles superficiales en los que se ha medido la presencia del nivel freático, será necesario disponer en la base del dique un espesor de material drenante hasta la cota máxima de inundación. A efectos del cálculo de la estabilidad del dique se ha considerado un espesor de cimiento drenante de 1 m.

Material	$\gamma_{ap}$ (kN/m <sup>3</sup> )	$\gamma_{sat}$ (kN/m <sup>3</sup> )	$c' / s_u$ (kPa)	$\Phi'$ (°)
Núcleo dique	21,2	21,9	10	30
Cimiento drenante	20,0	20,0	10	35
Arcillas nivel superior (espesor 5m)	19,8	20,3	14	0
Arcillas nivel inferior	21,2	21,2	245	0

Los taludes del dique son iguales en el paramento de aguas arriba y en el de aguas abajo y presentan una inclinación de 2,5H/1V.

**1.1.2. COEFICIENTES DE SEGURIDAD**

Con objeto de realizar un estudio pormenorizado de la estabilidad del dique se han tenido en cuenta, tal y como se ha indicado anteriormente, tres importantes deslizamientos que pueden llegar a producirse durante la fase de construcción, la fase de embalse lleno y la fase de desembalse. También se ha tenido en cuenta la situación de rotura accidental de la lámina impermeabilizante en situación de embalse lleno.

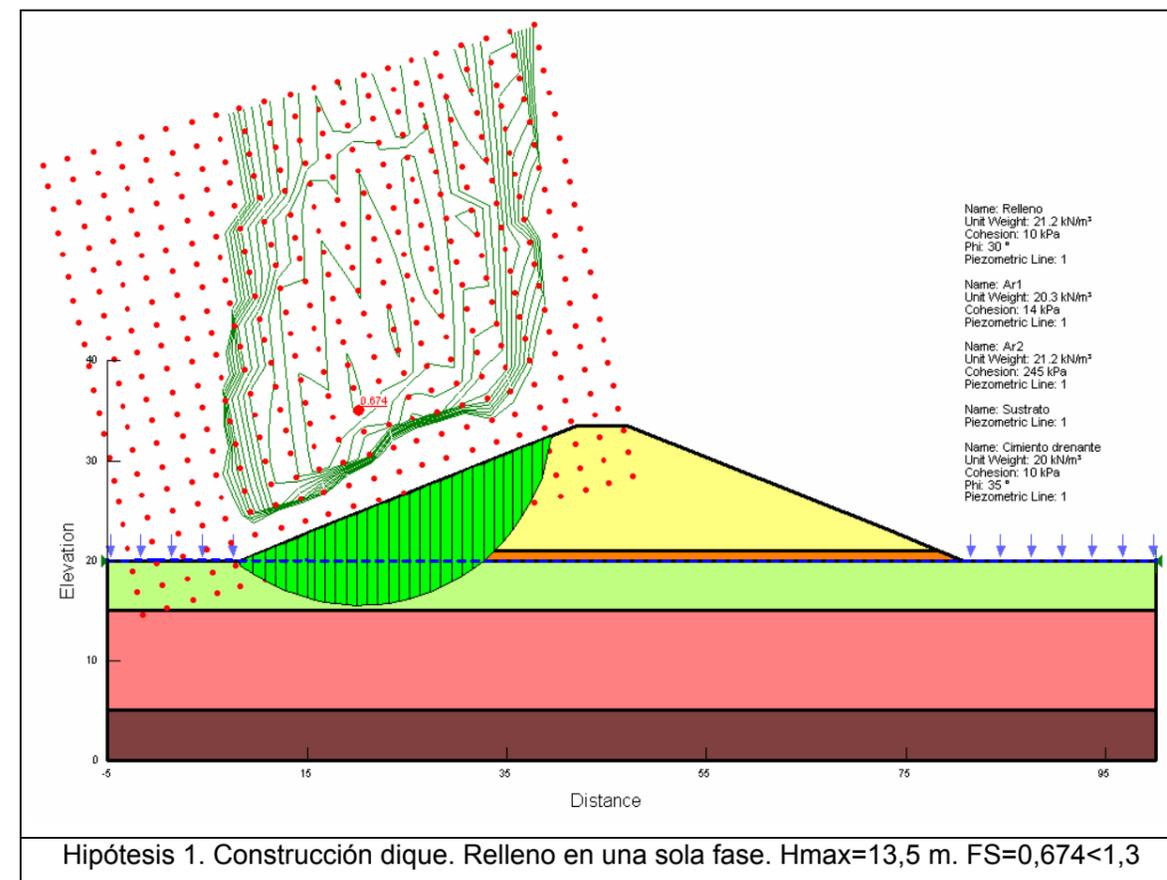
Los coeficientes de seguridad a exigir se incluyen en la siguiente tabla:

HIPÓTESIS DE CÁLCULO	FACTOR DE SEGURIDAD
1.Durante la construcción	1,3
2.Embalse lleno	1,5
3.Rotura de lámina y embalse lleno sin elemento de impermeabilización externa	1,3
4.Desembalse rápido	1,1

**1.1.3. HIPÓTESIS 1. CONSTRUCCIÓN DEL DIQUE**

La presencia de un nivel de arcillas blandas en el apoyo del dique condiciona la estabilidad de este durante el proceso de construcción, produciéndose la rotura del relleno por el cimientto con un factor de seguridad inferior a 1,3 para toda la altura del mismo como se observa en el gráfico de salida del programa SLOPE siguiente.

El nivel freático se considera situado a cota del terreno natural.



Cuando la resistencia al corte de la arcilla sobre la que el relleno va a ser construido es demasiado pequeña para garantizar un suficiente margen de seguridad contra el fallo, como es el caso, una solución clásica consiste en construir el relleno en etapas y permitir la consolidación y consiguiente ganancia en la resistencia de las arcillas de cimentación que ocurre entre cada fase. Este procedimiento exige, además de establecer las alturas máximas de relleno que se alcanzarán en cada fase, establecer el tiempo necesario que

deberá transcurrir en cada etapa, para asegurar la consolidación debida a cada incremento de carga. Esta última definición se realizará en el apartado correspondiente al análisis de asentamientos del dique.

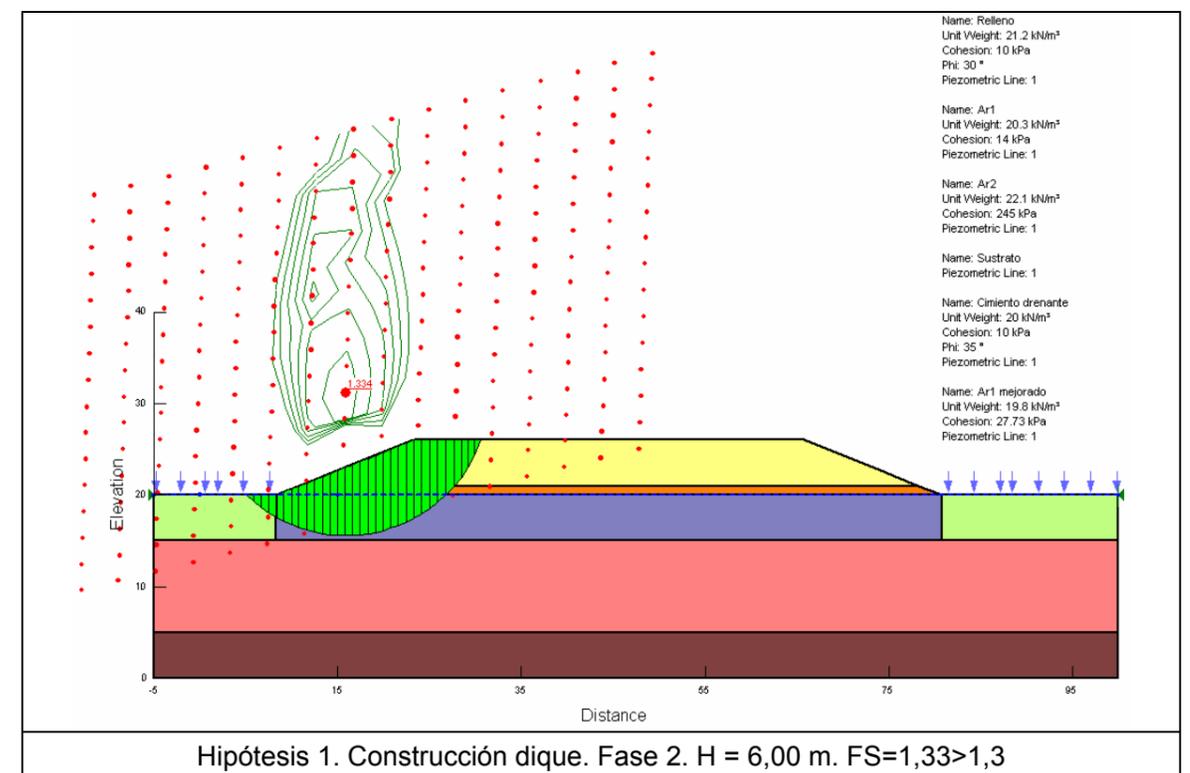
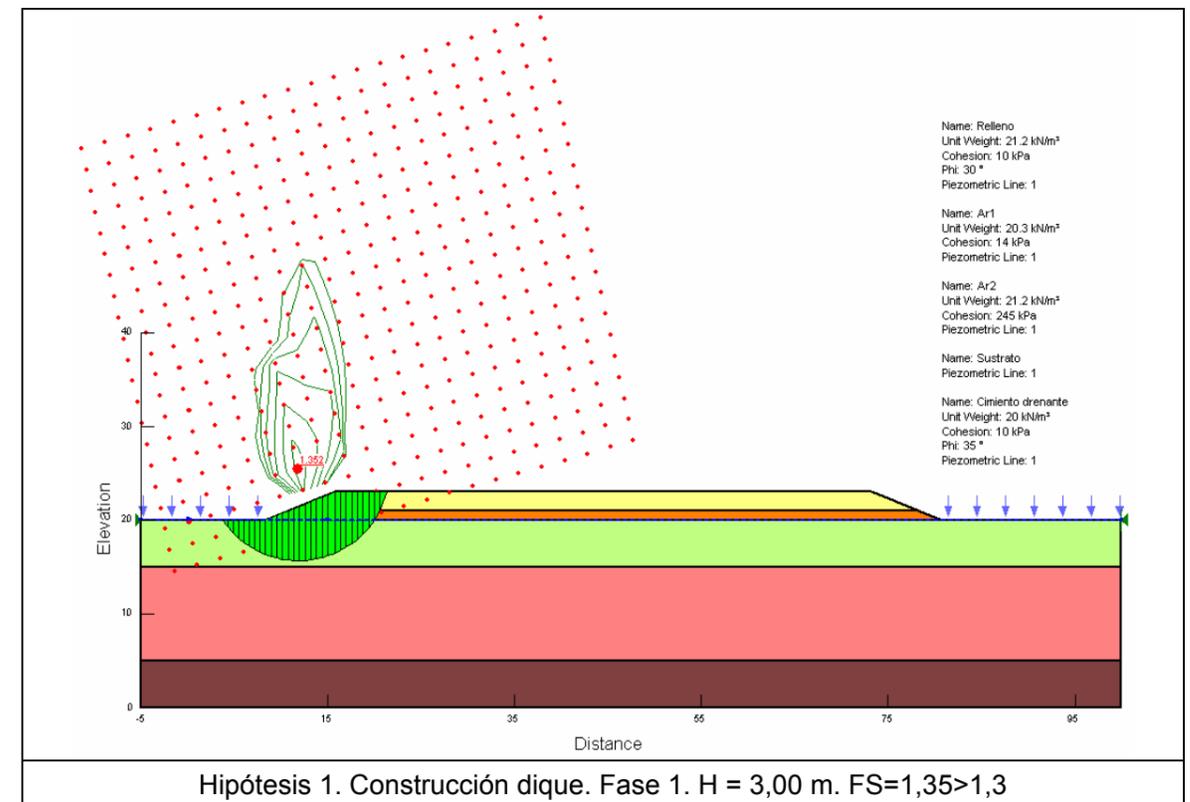
La altura de la primera fase de construcción del relleno corresponderá a la altura máxima para la que se obtiene un factor de seguridad suficiente (1,3) con los parámetros iniciales de la arcilla del cimientto. En este caso, para  $s_u=14$  kPa, la altura máxima de esta primera fase será de 3m de relleno.

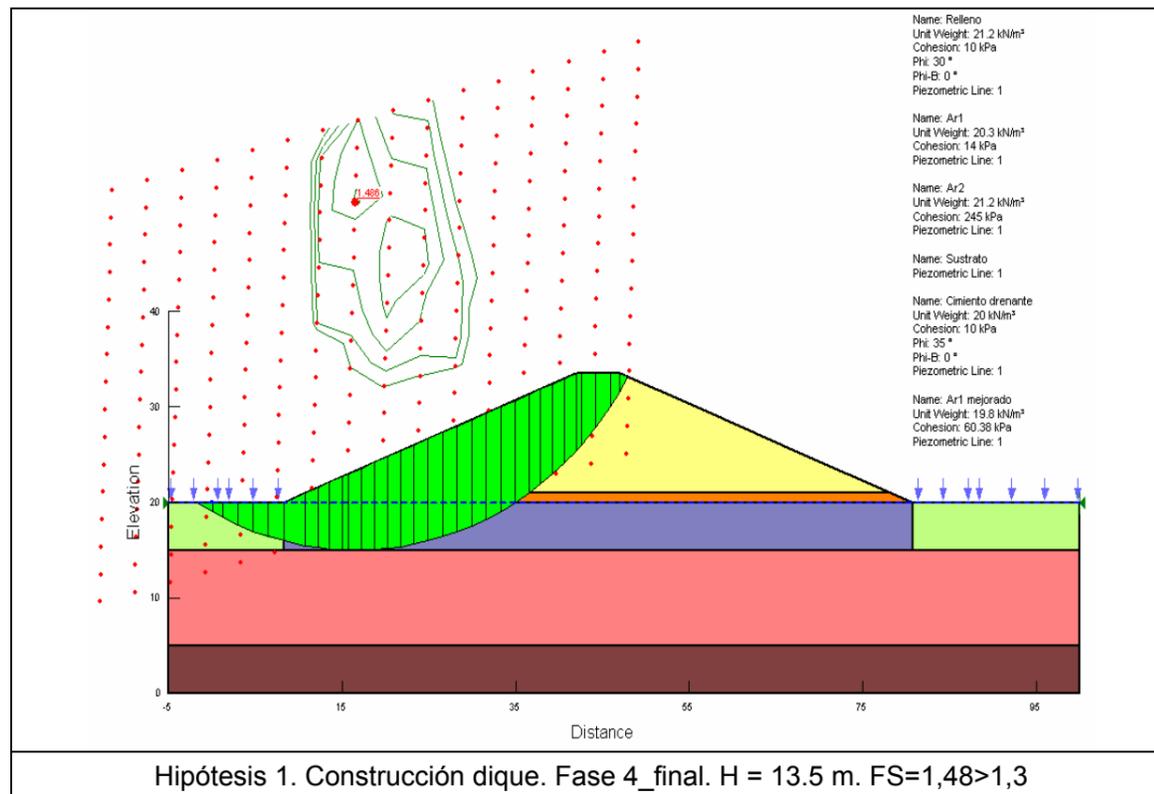
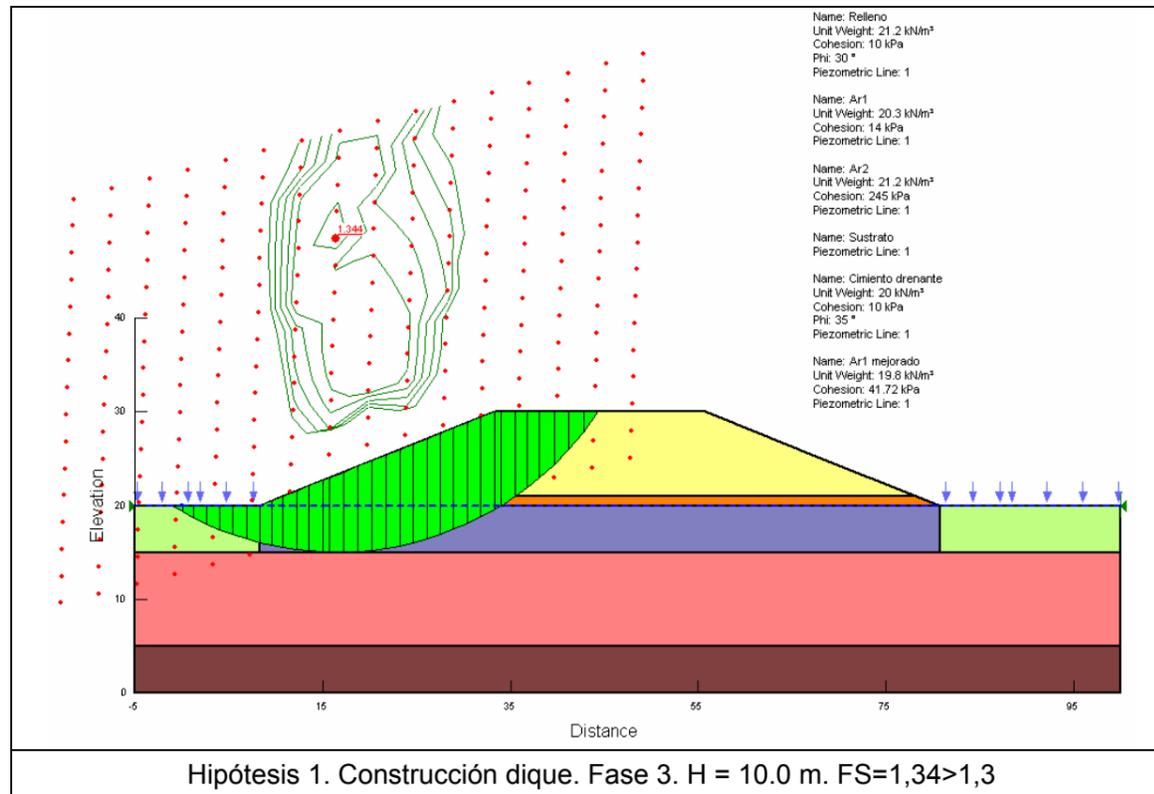
Para la estimación del aumento en la resistencia al corte sin drenaje que se producirá por consolidación del cimientto bajo el incremento de carga correspondiente a cada etapa del relleno, se utiliza la relación (Ladd, 1991), siendo  $\Delta\sigma$  el incremento de la tensión vertical efectiva del cimientto producido por el peso del relleno en cada fase.

Con estos criterios, se ha determinado que la construcción del dique se deberá realizar en 4 etapas, de 3 m de altura de relleno las dos primeras, 4 metros en la tercera y 3,5 m la última, hasta alcanzar la altura total del dique establecida en 13,5 m. En el cuadro siguiente se indican las características de cada una de las fases consideradas y el factor de seguridad frente a la rotura del talud conseguido en cada una de ellas.

Etapa	Incremento de altura $\Delta h$	Altura de relleno alcanzada	Resistencia al corte sin drenaje ( $s_u$ ) arcillas Ar1	Factor de seguridad
Fase 1	3 m	3 m	14 kPa	1,35
Fase 2	3 m	6 m	27,73 kPa	1,33
Fase 3	4 m	10 m	41,72 KPa	1,34
Fase 4_final	3,5 m	13.5 m	60,37 kPa	1.48

A continuación se incluyen las salidas gráficas del programa SLOPE para cada una de las fases consideradas.

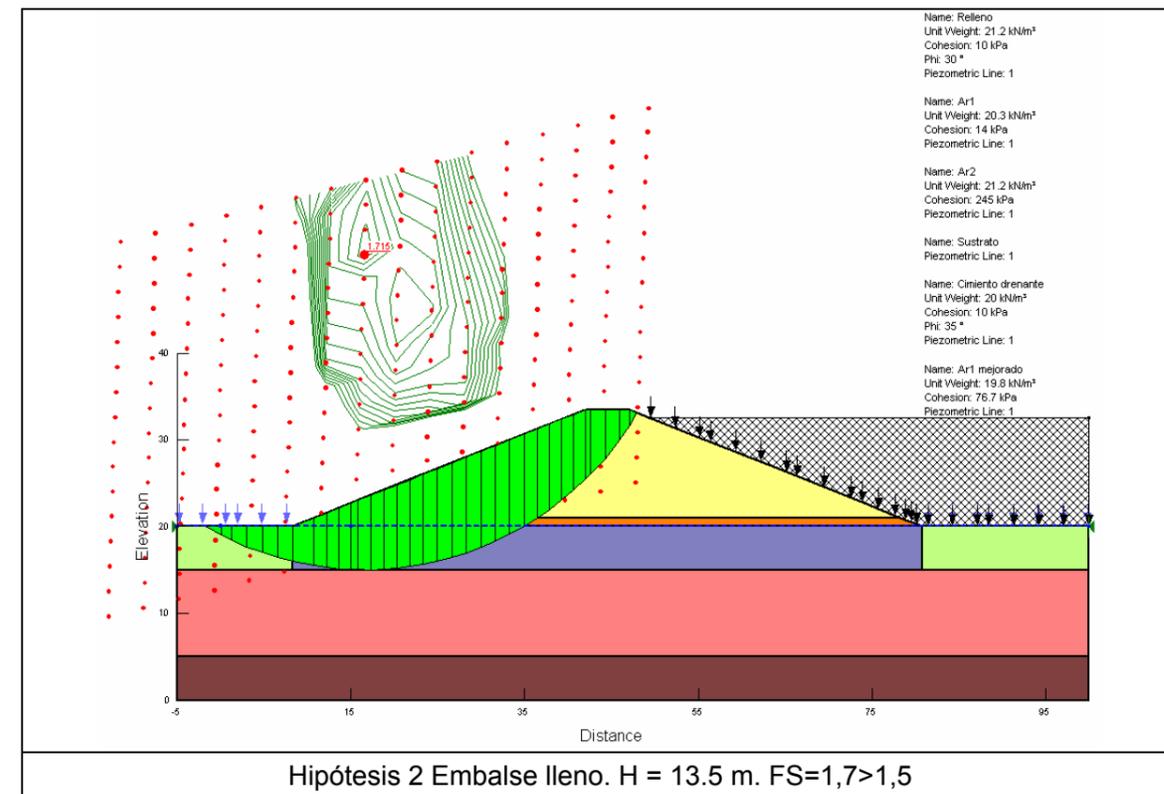




### 1.1.4. HIPÓTESIS 2. EMBALSE LLENO

Para el cálculo de la hipótesis de embalse lleno se considerará la situación a corto plazo, que resulta la más desfavorable, adoptando para las arcillas superiores (Ar1) situadas bajo el relleno la resistencia al corte mejorada por efecto de la construcción por fases, tal y como se ha descrito en el apartado anterior. Se considera el peso debido al agua aguas abajo del dique y la presencia de un nivel freático en superficie.

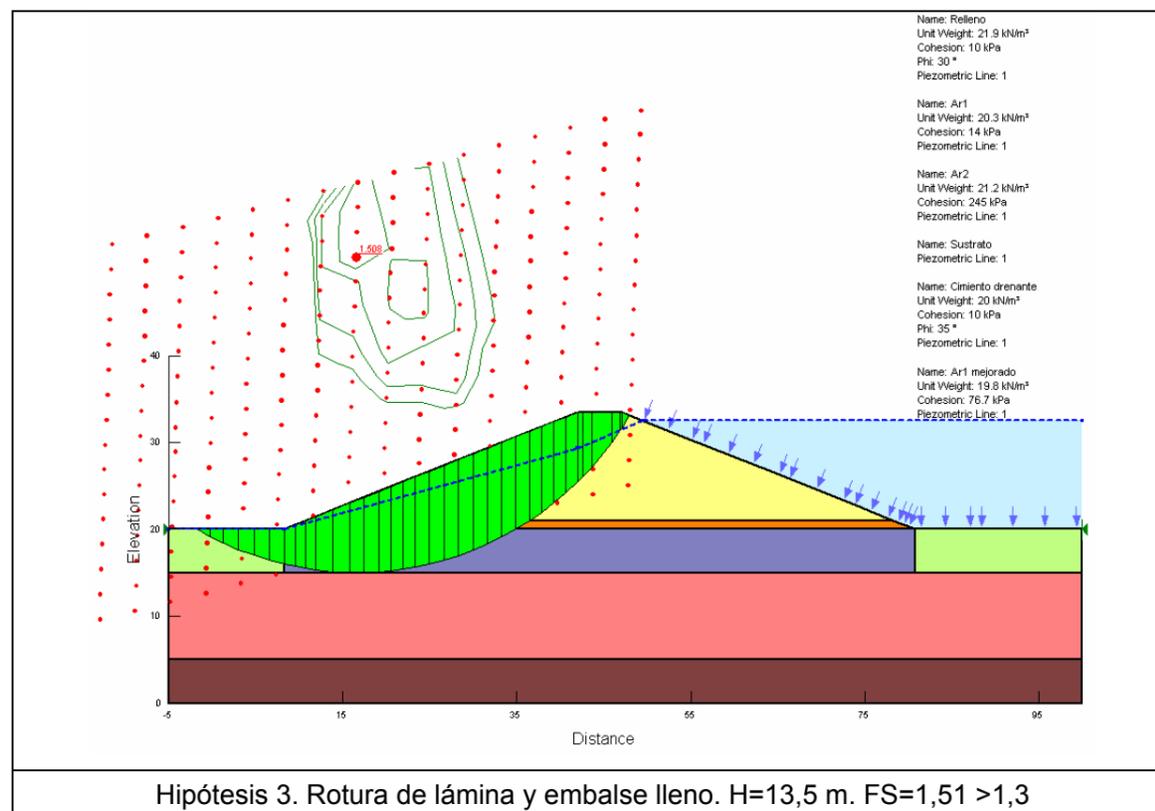
Con estas consideraciones el talud resulta estable con un factor de seguridad suficiente igual a 1,7, como se puede observar en el siguiente gráfico.



**1.1.5. HIPÓTESIS 3. ROTURA DE LÁMINA Y EMBALSE LLENO SIN ELEMENTO DE IMPERMEABILIZACIÓN EXTERNA.**

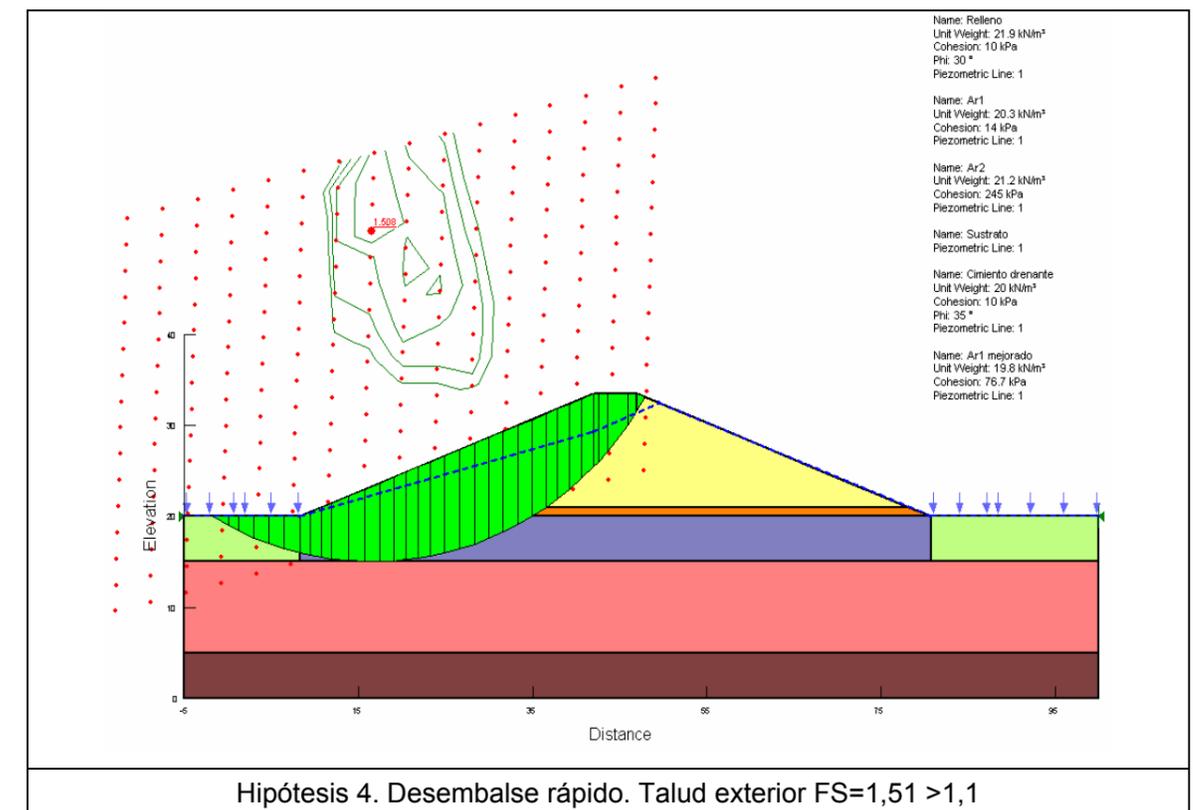
En esta hipótesis se considera una rotura accidental de la lámina impermeabilizante en la que se considera que material del cuerpo del dique de la balsa se encuentra saturado y con el nivel freático afectando al dique.

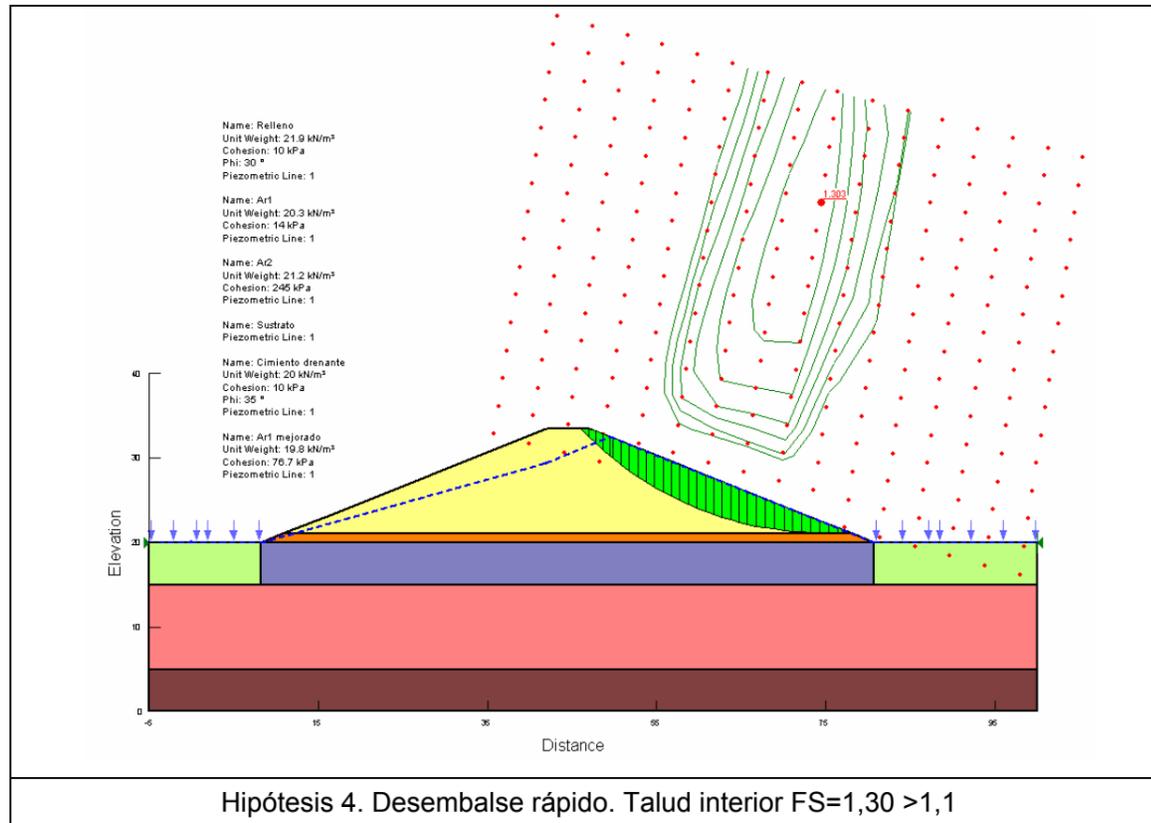
En esta situación el dique resulta estable con un factor de seguridad igualmente suficiente y superior a 1,3. En la gráfica se observa el círculo de rotura obtenido.



**1.1.6. HIPÓTESIS 4. DESEMBALSE RÁPIDO**

En esta hipótesis se considera que no existe peso de agua en el interior de la balsa pero aún no se han disipado las tensiones intersticiales en el interior del dique por lo que el material de relleno se considera saturado y con el nivel freático situado a, aproximadamente 1/3H de la altura de coronación, siendo H la altura del agua en el interior de la vals





### 1.1.7. CONCLUSIONES

La balsa diseñada, con taludes 2,5H:1V y altura máxima 13,5 m resulta estable para todas las hipótesis consideradas con los factores de seguridad mínimos indicados por la instrucción. Durante la construcción del dique deberá llevarse a cabo una construcción por etapas, considerando las alturas máximas de relleno establecidas en los cálculos. En el apartado siguiente se estimarán los tiempos necesarios que se deberán mantener entre cada una de las etapas de construcción.

En la siguiente tabla se incluyen los coeficientes de seguridad obtenidos para cada una de las hipótesis estudiadas.

HIPÓTESIS DE CÁLCULO	FACTOR DE SEGURIDAD			
	Fase 1 H=3 m	Fase 2 H=6 m	Fase 3 H=10 m	Fase 4 H=13,5 m
Durante la construcción	1,35 >1,3	1,33 >1,3	1,34 >1,3	1,48 >1,3
Embalse lleno	1,72 >1,5			
Desembalse rápido	1,51 >1,1 (talud exterior) 1,30 >1,1 (talud interior)			
Rotura de lámina y embalse lleno sin elemento de impermeabilización externa	1,51 >1,3			

## 1.2. CÁLCULO DE CONSOLIDACIÓN Y ASIENTOS

### 1.2.1. METODOLOGÍA DE CÁLCULO Y PARÁMETROS CONSIDERADOS

El cálculo de la magnitud del asiento se ha realizado a partir del incremento de tensiones que genera el terraplén considerado en el centro de cada uno de los niveles del terreno definidos en el perfil tipo. Este valor se obtiene empleando una solución elástica para carga en banqueta sobre semiespacio elástico descrita en el libro "Geotecnia y Cimientos. Tomo II" Pág.212 (Jiménez Salas et al, 1981). A partir de este valor, del módulo de deformación definido para cada una de las capas y de su espesor, se estima la magnitud del asiento. El valor del módulo de deformación se ha estimado a partir de los resultados de los ensayos edométricos para los incrementos de carga actuantes. La relación entre el módulo de deformación y el módulo edométrico se considera igual a

$$E = E_m \frac{1 - \nu - 2\nu^2}{1 - \nu}$$

Donde Em= módulo edométrico y v=coeficiente de Poison

Los tiempos de consolidación se han estimado mediante la teoría de la consolidación vertical de Terzaghi. El valor del coeficiente de consolidación vertical, Cv, se ha obtenido a partir de los resultados de los ensayos edométricos para distintos escalones de carga, al igual que el módulo edométrico y el coeficiente de permeabilidad, con los resultados que se indican en la tabla siguiente.

Muestra	$\sigma$ (Kg/cm2)	Cv (cm2/s)	Em (Kg/cm2)	Kv (cm/s)
S2 2,00a 2,60	0,80	7,84E-04	33,295	2,35E-08
	1,50	7,63E-04	48,21	1,58E-08
	3,00	7,18E-04	80,70	8,89E-09
	6,00	1,41E-03	134,96	1,05E-08
	10,00	6,78E-04	204,79	3,31E-09
S2 5,60 a 6,15	1,50	4,41E-06	199,83	2,21E-11
	3,00	9,19E-06	207,43	4,43E-11
	6,00	9,00E-06	279,75	3,22E-11
	10,00	1,55E-05	397,10	3,90E-11
S2 10,0 a 10,4	1,50	9,30E-04	215,27	4,32E-09
	3,00	1,61E-05	226,41	7,11E-11
	6,00	1,58E-05	355,55	4,44E-11
	10,00	1,83E-05	464,50	3,94E-11

De acuerdo con diversos autores, los valores del coeficiente de consolidación en arcillas obtenidas a partir de la aplicación del método de Casagrande o de Taylor en los ensayos edométricos, resultan, en general, por debajo de los valores medidos en los mismos materiales en rellenos reales. En la mayoría de los casos, la diferencia estriba en que las condiciones reales de geometría, estratigrafía y carga se alejan de las condiciones teóricas de aplicación de la teoría de consolidación unidimensional de Terzaghi. El factor multiplicador medido, resulta, en ocasiones de entre 20, 50 y hasta 100 veces. En nuestro caso, se considera razonable aplicar un factor 10 al coeficiente de consolidación obtenido mediante los ensayos edométricos para su empleo en la estimación de los tiempos de consolidación del terreno.

Para estimar el grado de consolidación horizontal en el caso de la consolidación que se produce tras los tratamientos con mechas drenantes, se ha empleado la expresión incluida en la "Guía de cimentaciones en obras de carretera".

### 1.2.2. CÁLCULO DE ASIENTOS

Para la estimación de los movimientos verticales que se producirán bajo el relleno en cada una de las etapas de ejecución consideradas, se considera un perfil de terreno formado por un nivel superior de 5 m de espesor de arcillas de baja consistencia AR1 y un nivel inferior de arcillas duras, de 10 m de espesor. Se considera que a partir de 15 m de profundidad el sustrato es indeformable.

En el siguiente cuadro se resumen los valores de los parámetros geotécnicos del terreno utilizados para el cálculo de asientos.

NIVEL	PROFUNDIDAD (m)	Yd (g/cm <sup>3</sup> )	Yap (g/cm <sup>3</sup> )	Ysat (g/cm <sup>3</sup> )	Cv (cm <sup>2</sup> /seg)	Em (kg/cm <sup>2</sup> )	v	E (kg/cm <sup>2</sup> )
AR1	De 0,00 a 5,00	1,64	1,98	2,03	7,83. 10 <sup>-3</sup>	33,3	0,3	25
AR2	De 5,00 a 15,00	1,75	2,10	2,10	9,3. 10 <sup>-3</sup>	300	0,3	223

Con estas hipótesis el asiento total estimado al final de la construcción del dique es de unos 65 cm de los que 54 cm corresponden al asiento del nivel superficial de arcillas. Para cada una de las etapas de construcción del dique, los asientos que se obtienen son los que se recogen en la tabla siguiente

Asientos sin tratamiento del terreno

	FASE 1	FASE 2	FASE 3	FASE 4
<b>Altura relleno (m)</b>	<b>3</b>	<b>6</b>	<b>10</b>	<b>13,5</b>
Incremento altura (m)	3	3	4	3,5
Asiento final capa 1 s1 (cm)	12	12	16	13,5
Asiento final capa 2 s2 (cm)	2,7	2,6	3,3	2
Asiento final total s (cm)	14,7	14,6	19,3	15,5
	FASE 1	FASE 2	FASE 3	FASE 4
<b>Altura relleno (m)</b>	<b>3</b>	<b>6</b>	<b>10</b>	<b>13,5</b>
Tiempo (días)	320	320	320	300
Grado de consolidación nivel 1 U1	0,90	0,90	0,90	0,89
Grado de consolidación nivel 2 U2	0,43	0,43	0,43	0,42
Asiento final capa 1 s1 (cm)	10,9	10,9	14,5	12,0
Asiento final capa 2 s2 (cm)	1,2	1,1	1,4	0,8
Asiento final total s (cm)	12,0	12,0	15,9	12,9

Se obtienen asientos verticales de valor entre 14,6 y 19,3 cm en cada una de las fases de levantamiento del dique, de los cuales únicamente 2 o 3 centímetros se desarrollarán en las arcillas inferiores. El resto corresponde a los asientos de consolidación de las arcillas blandas superficiales. El 90% del asiento correspondiente a este nivel, se calcula que se producirá en un tiempo aproximado de casi un año para cada una de las etapas de relleno del dique. Esto implicaría plazos de ejecución de la balsa superiores a 4 años, ya que es necesario asegurar un alto grado de consolidación del cimienta para garantizar la estabilidad del dique, como se ha indicado en el capítulo anterior. Estos plazos resultan económicamente inviables para el proyecto de que se trata, por lo que se establece la necesidad de acelerar los procesos de consolidación mediante tratamientos del terreno.

Se propone, por tanto la realización de un tratamiento del nivel de arcillas blandas, en un espesor medio de 5 m a lo largo de todo el área de apoyo del relleno, mediante mechas drenantes, de 0,10 cm de diámetro, dispuestas en malla triangular de 350 cm de lado. El tratamiento deberá extenderse en planta, unos 10 m a cada lado del pie del relleno.

Este tratamiento permite reducir los plazos de ejecución de cada una de las etapas del relleno a tiempos razonables de obra. De acuerdo con los cálculos realizados cuyos resultados se resumen a continuación, con la disposición planteada se podría conseguir la consolidación total del tramo blando en aproximadamente 10 días para cada una de las fases de ejecución de la obra.

Asientos con tratamiento mediante mechas drenantes.

	FASE 1	FASE 2	FASE 3	FASE 4
<b>Altura relleno (m)</b>	<b>3</b>	<b>6</b>	<b>10</b>	<b>13,5</b>
Tiempo (días)	10	10	10	10
Grado de consolidación nivel 1	1,00	1,00	1,00	1,00
Grado de consolidación nivel 2	0,10	0,10	0,10	0,10
Asiento capa 1 s1 (cm)	12,0	12,0	16,0	13,5
Asiento capa 2 s2 (cm)	0,3	0,2	0,3	0,4
Asiento total s (cm)	12,2	12,2	16,3	13,9

El detalle de los cálculos realizados se incluye en apéndice al final de este documento.

Se deberán disponer hitos topográficos en los pies y coronación del relleno en cada fase, para llevar a cabo el seguimiento y control, mediante medidas de nivelación, de los asientos del dique.

Se dispondrá, además, al menos una línea continua de asientos en cada uno de los lados de la balsa.

Se realizarán lecturas diarias, o cada dos días, al menos durante los primeros 10 días después de la construcción de cada fase de recrecimiento del dique, que es cuando se prevé que se alcance la mayor parte de la consolidación.

Se cuidará que no se ejecute una nueva etapa de recrecimiento del dique hasta que no se verifique que los asientos debidos a la etapa anterior se encuentran estabilizados y que se ha alcanzado el grado de consolidación requerido en los cálculos.

## 2. Balsa PK 30+871. CÁLCULOS DE ESTABILIDAD

En el siguiente punto se abordará el análisis de la estabilidad global de los taludes de excavación de la balsa de PK 30+871. Esta balsa será excavada completamente desde la cota de terreno natural. Los taludes de excavación considerados han sido de 3H:1V.

Los valores de los parámetros geotécnicos empleados son los recomendados como característicos en el Anejo N°3 Estudio Geológico-Geotécnico.

## 2.1. CÁLCULO DE ESTABILIDAD

Para realizar el estudio de estabilidad del dique se ha empleado el programa SLOPE/W de la casa GEO-SLOPE a través del cual se estudia el problema con un grado razonable de exactitud, considerando si es necesario, la acción de presiones intersticiales en el dique, la existencia de diferentes tipologías de materiales y la presencia de un nivel de agua.

Entre los distintos métodos disponibles para comprobar la estabilidad del dique se ha elegido el de Morgenstern-Price que permite ensayar potenciales superficies de rotura circulares.

Se ha analizado la estabilidad del talud de excavación en las siguientes hipótesis:

- Final de construcción.
- Situación de balsa llena con elemento de impermeabilización externa
- Rotura de lámina y embalse lleno sin elemento de impermeabilización externo.
- Desembalse rápido total.

De acuerdo con las investigaciones realizadas, no se ha detectado nivel freático en la zona de ubicación de esta balsa. No obstante, se comprobará la estabilidad del talud en fase construcción con la presencia de un eventual nivel freático situado a 3 m de profundidad.

En la hipótesis de balsa llena, se considera que el paramento aguas arriba queda totalmente impermeabilizado por la lámina dispuesta para este fin por lo que no se considera la existencia de presiones intersticiales en el paramento de cierre de la balsa.

En la hipótesis de desembalse rápido, se considera la existencia de ciertas presiones intersticiales en el terreno natural, para considerar la existencia de posibles filtraciones por fisuras en la lámina drenante.

Se ha estudiado la estabilidad del talud de excavación para el perfil más desfavorable correspondiente al de mayor altura (aproximadamente del orden de unos 8,5 m medidos desde la cota de terreno natural), realizando el cálculo en la situación más desfavorable a efectos de estabilidad.

### 2.1.1. PARÁMETROS RESISTENTES

El terreno se considera formado por un único estrato compuesto por arenas limosas (AL1) de alta compacidad, con las características geotécnicas descritas en el apartado correspondiente del Estudio Geológico-Geotécnico incluido en el Anejo N°3, y que se resumen en el cuadro siguiente.

Material	$\gamma_{ap}$ (kN/m <sup>3</sup> )	$\gamma_{sat}$ (kN/m <sup>3</sup> )	c' (kPa)	$\Phi'$ (°)
Arenas limosas	20,0	21,2	20	33

Los taludes de excavación presentan una inclinación de 3H/1V.

### 2.1.2. COEFICIENTES DE SEGURIDAD

Al tratarse de una balsa excavada en la que el "dique" lo conformará el terreno natural, siendo este de buena calidad, la estabilidad de los taludes no presenta grandes problemas. Pese a eso, se ha tratado de realizar un tratamiento similar al de los diques en terraplén, considerándose hipótesis de rotura similares. Así, los posibles deslizamientos considerados han sido los que pueden llegar a producirse durante la fase de construcción, la fase de embalse lleno y la fase de desembalse. También se ha tenido en cuenta la situación de rotura accidental de la lámina impermeabilizante en situación de embalse lleno.

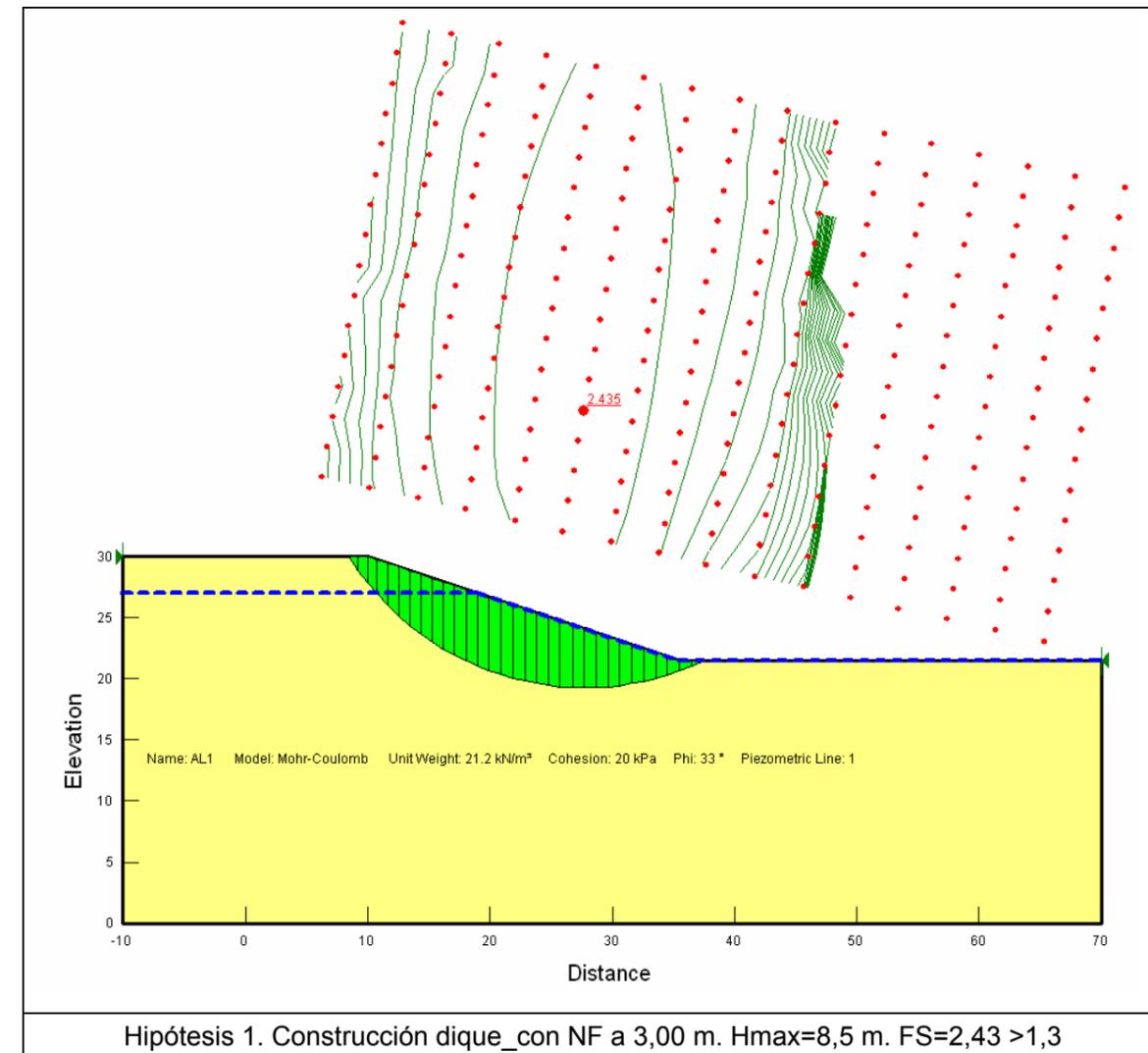
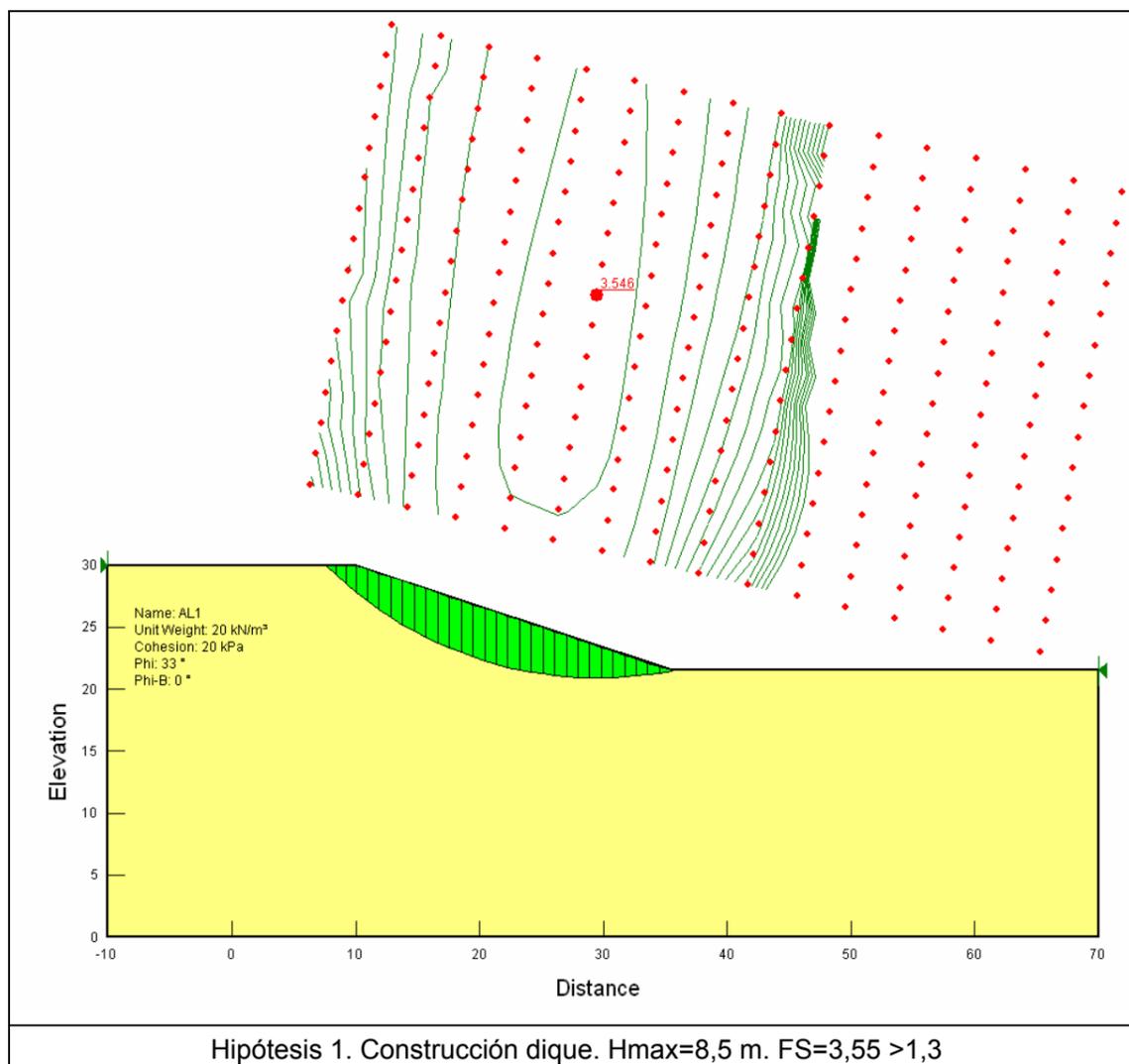
Los coeficientes de seguridad a exigir se incluyen en la siguiente tabla:

HIPÓTESIS DE CÁLCULO	FACTOR DE SEGURIDAD
1. Durante la construcción	1,3
2. Embalse lleno	1,5
3. Rotura de lámina y embalse lleno sin elemento de impermeabilización externa	1,3
4. Desembalse rápido	1,1

**2.1.3. HIPÓTESIS 1. CONSTRUCCIÓN DEL DIQUE**

Para un talud seco de altura máxima 8,5 m e inclinación 3H:1V, se obtiene un círculo de rotura afectando a la superficie del talud con un factor de seguridad superior a 3. A modo de comprobación se ha efectuado el cálculo del mismo talud considerando una eventual presencia de nivel freático situado a 3 m de profundidad respecto de la superficie del terreno natural. El talud es igualmente estable con un factor de seguridad suficiente.

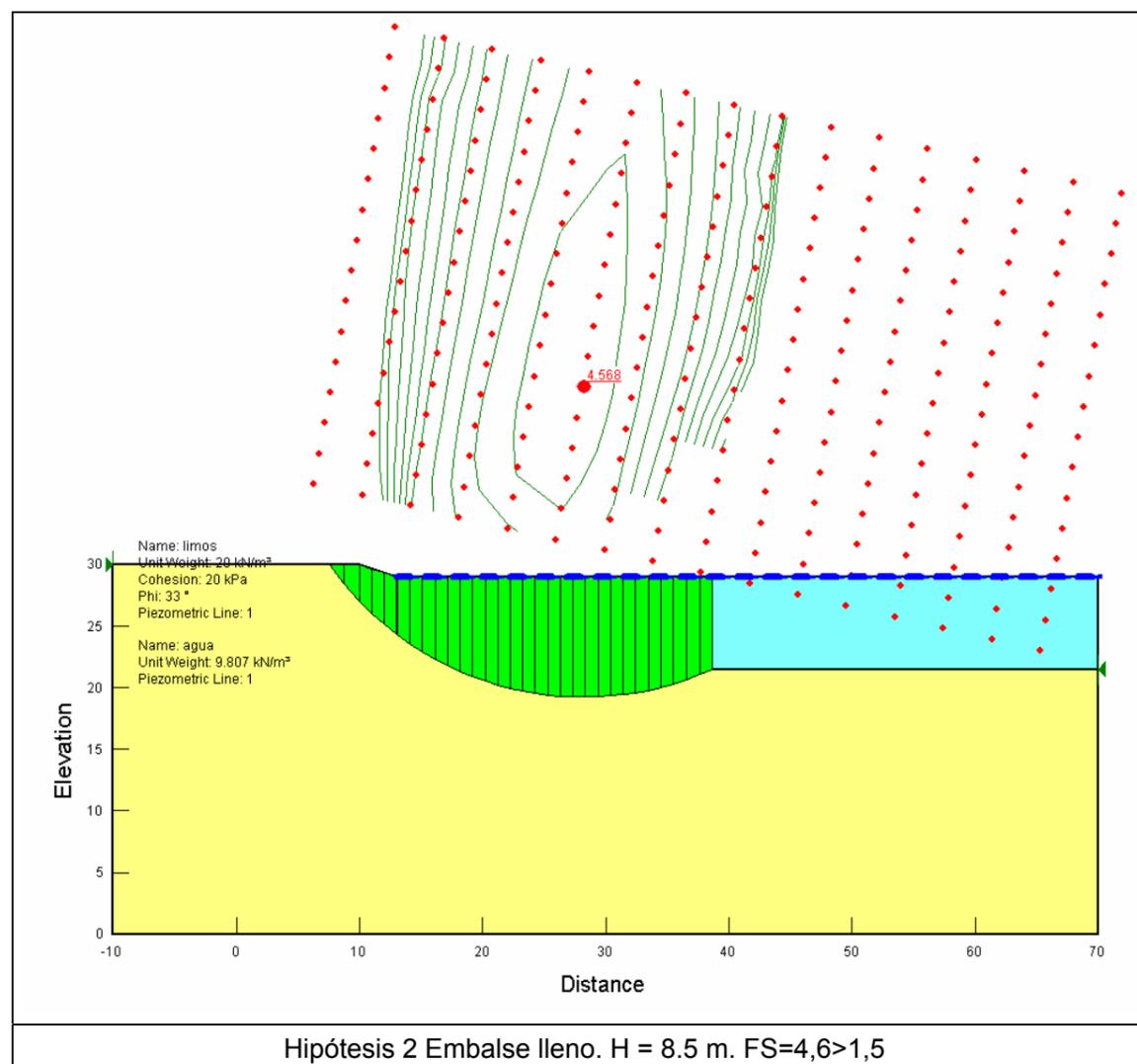
En las gráficas siguientes se observan los resultados obtenidos en el programa SLOPE.



**2.1.4. HIPÓTESIS 2. EMBALSE LLENO**

Para el cálculo de la hipótesis de embalse lleno se considerará el peso debido al agua y la presencia de un nivel freático afectando únicamente a la parte del talud situada bajo el nivel de llenado del embalse.

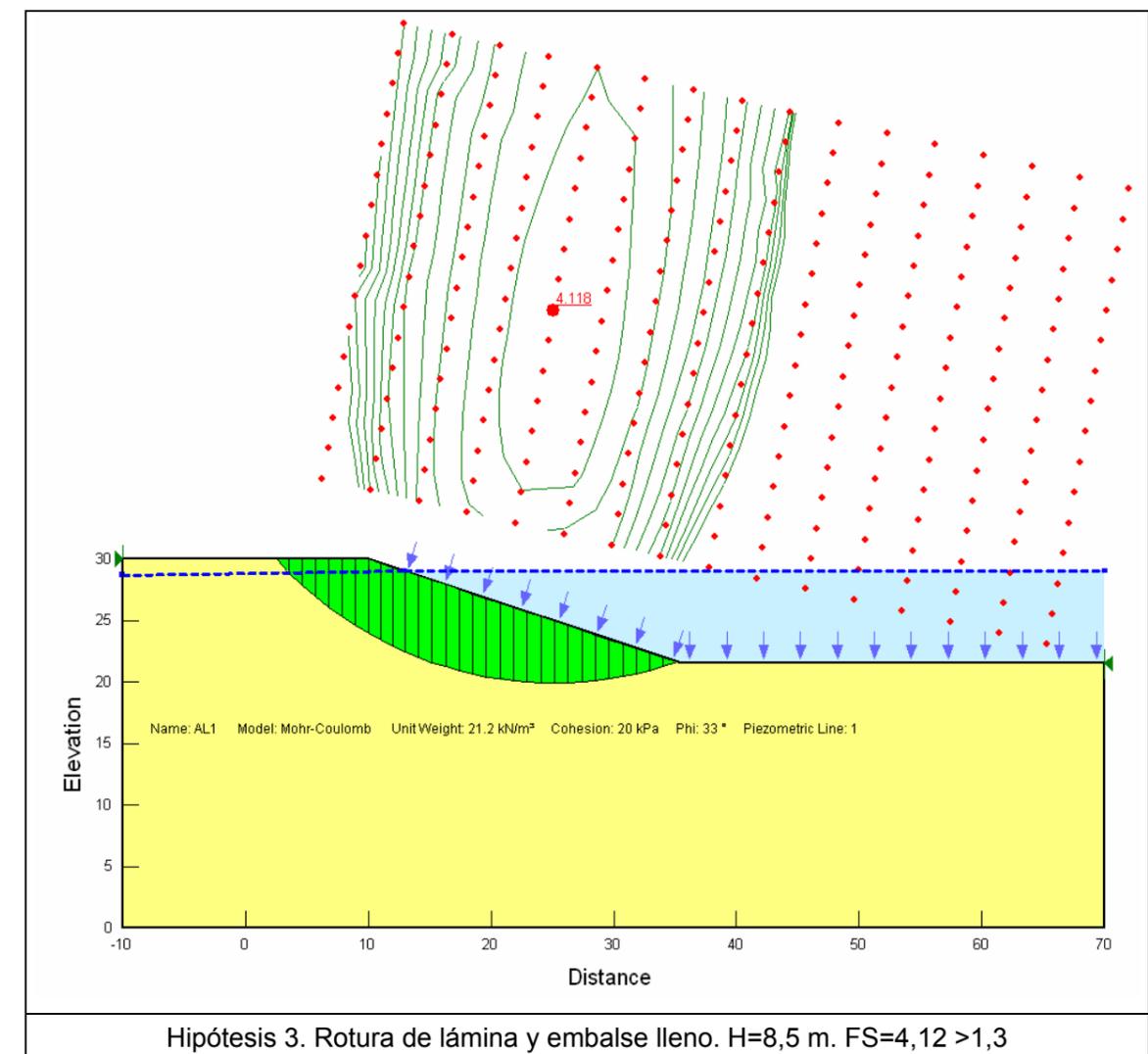
Con estas consideraciones el talud resulta estable con un factor de seguridad superior a 4, como se puede observar en el siguiente gráfico.



**2.1.5. HIPÓTESIS 3. ROTURA DE LÁMINA Y EMBALSE LLENO SIN ELEMENTO DE IMPERMEABILIZACIÓN EXTERNA.**

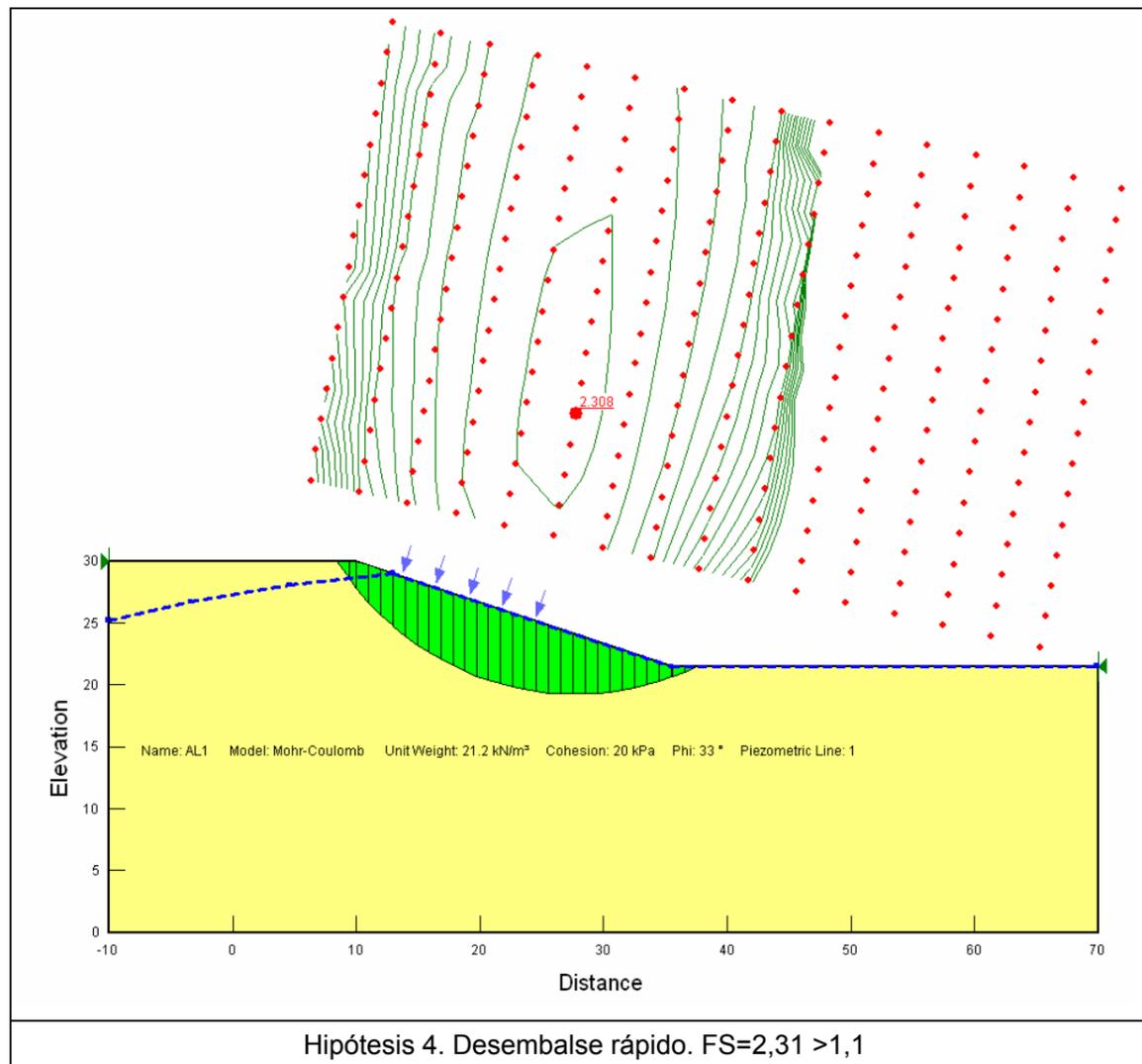
En esta hipótesis se considera una rotura accidental de la lámina impermeabilizante en la que se considera que el terreno natural se encuentra saturado y con el nivel freático afectando al talud.

En la gráfica se muestra cómo el círculo de rotura pésimo se obtiene con un factor de seguridad de 4,1.



**2.1.6. HIPÓTESIS 4. DESEMBALSE RÁPIDO**

En esta hipótesis se considera que no existe agua en el interior de la balsa pero aún no se han disipado las tensiones intersticiales en talud perimetral por lo que el material se considera saturado y con el nivel freático situado a, aproximadamente 1/3H de la altura de coronación, siendo H la altura del agua en el interior de la balsa.



**2.1.7. CONCLUSIONES**

La balsa diseñada, con taludes 3H:1V y altura máxima 8,5 m resulta estable para todas las hipótesis consideradas con factores de seguridad muy por encima de los mínimos indicados por la instrucción. A efectos de estabilidad, los taludes podrían verticalizarse sin problemas, sin embargo, se ha decidido adoptar esta inclinación por cuestiones de aprovechamiento de materiales. De esta manera, en la excavación de la balsa de PK 30+871 se obtiene un volumen de material suficiente y adecuado para cubrir las necesidades existentes en el proyecto, cuyo grueso lo constituye la ejecución del dique perimetral de la balsa de PK 23+055.

En la siguiente tabla se incluyen a modo de resumen los coeficientes de seguridad obtenidos para cada una de las hipótesis estudiadas.

HIPÓTESIS DE CÁLCULO	FACTOR DE SEGURIDAD
Durante la construcción	3,55 > 1,3
Embalse lleno	4,58 > 1,5
Desembalse rápido	2,31 > 1,1
Rotura de lámina y embalse lleno sin elemento de impermeabilización externa	4,12 > 1,3

Fdo.: Milagros Higuera Toledano  
 Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos  
 Nº Colegiado: 12.852

## APENDICE 1. CÁLCULOS DE ASIENTOS BALSA PK 23+055



**ASIENTOS TERRAPLEN SECCIÓN TRANSVERSAL**

Tramo Dique Balsa PK 23+055  
 Proyecto Canal de las Aves  
 PKinicial FASE 1

**Geometría**

Altura 3 m a 7,5 m  
 anchocor 57,5 m b 65 m  
 talud 2,5 H/V

**Otros parámetros**

Densidad 2 t/m3 Stepz 200  
 Carga 6 t/m2 textograp Ancho coronación = 58 Distancia eje = 00  
 min min  
 Distancia al pie (m) 36,25 65 72,5 71,25 81,25  
 Distancia al eje (m) 0 28,75 36,25 35 45

Resumen Consolidación					
Plazo (días)	Distancia al eje (m)				
	Eje	Hombro	Pié	d eje = 35d	eje = 45
	0	28,75	36,25	35	45
100	0,08	0,07	0,01	0,02	0,00
200	0,10	0,09	0,01	0,02	0,00
250	0,11	0,10	0,01	0,02	0,00
320	0,12	0,11	0,01	0,03	0,00
final	0,15	0,13	0,02	0,03	0,00

**Deformación vertical (por capa)**

**Asiento final (por capa)**

**Asientofinal (acumulado)**

Descripción	Nivel 1	Punto evaluación	Deformación vertical (por capa)						Asiento final (por capa)					Asientofinal (acumulado)											
			Eje	Hombro	Pié	d eje = 35	d eje = 45	Módulo def	Eje	Hombro	Pié	d eje = 35	d eje = 45	Eje	Hombro	Pié	d eje = 35	d eje = 45							
AR1	0	5	2,50	5,4	0,6	1,3	0,0	250	2,40E-02	2,15E-02	2,46E-03	5,01E-03	4,61E-05	5,00	0,120	0,11	0,01	0,03	0,000	0,147	0,127	0,020	0,035	0,002	
AR2	5	15	10,00	5,9	4,2	1,8	2,1	0,4	2230	2,66E-03	1,89E-03	7,92E-04	9,63E-04	1,71E-04	10,00	0,027	0,02	0,01	0,01	0,002	0,027	0,019	0,008	0,010	0,002

**Grado de consolidación (primaria)**

Plazo (días)	U					Drenaje
	Eje	Hombro	Pié	d eje = 35	d eje = 45	
100	0,52	0,53	0,45	0,49	0,28	
200	0,71	0,72	0,61	0,66	0,39	AR1 Cv 7,83E-03 cm2/s
250	0,76	0,78	0,66	0,72	0,44	AR2 Cv 9,30E-03 cm2/s
320	0,82	0,83	0,72	0,77	0,49	
final	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	

**Consolidación**

Espesor m	H (z)	Plazo asiento (m) a tiempo t = 100 días				
		100 días	Eje	Hombro	Pié	d eje = 35 d eje = 45
5,00	5,00	0,584	0,076	0,067	0,009	0,017 0,001
10,00	15,00	0,241	0,006	0,005	0,002	0,002 0,000

**Consolidación**

Plazo asiento (m) a tiempo t = 200 días	Plazo asiento (m) a tiempo t = 200 días				
	200 días	Eje	Hombro	Pié	d eje = 35 d eje = 45
0,787	0,103	0,091	0,012	0,023	0,001
0,340	0,009	0,006	0,003	0,003	0,001

**Consolidación**

Plazo asiento (m) a tiempo t = 250 días	Plazo asiento (m) a tiempo t = 250 días				
	250 días	Eje	Hombro	Pié	d eje = 35 d eje = 45
0,847	0,112	0,098	0,013	0,025	0,001
0,380	0,010	0,007	0,003	0,004	0,001

**Consolidación**

Plazo asiento (m) a tiempo t = 320 días	Plazo asiento (m) a tiempo t = 320 días				
	320 días	Eje	Hombro	Pié	d eje = 35 d eje = 45
0,904	0,120	0,106	0,015	0,027	0,001
0,430	0,011	0,008	0,003	0,004	0,001



**ASIENTOS TERRAPLEN SECCIÓN TRANSVERSAL**

Tramo Dique Balsa PK 23+055  
 Proyecto Canal de las Aves  
 PKInicial FASE 3

**Geometría**

Altura 10 m a 25 m  
 anchocor 22,5 m b 47,5 m  
 talud 2,5 H/V

**Otros parámetros**

Densidad 2 t/m3 Stepz 200  
 Carga 20 t/m2 textograp Ancho coronación = 23 Distancia eje = 00  
 min min  
 Distancia al pie (m) 36,25 47,5 72,5 71,25 81,25  
 Distancia al eje (m) 0 11,25 36,25 35 45

Resumen Consolidación					
Plazo (días)	Distancia al eje (m)				
	Eje	Hombro	Pié	d eje = 35	d eje = 45
0		11,25	36,25	35	45
100	0,10	0,10	0,00	0,00	0,00
200	0,14	0,14	0,00	0,00	0,00
250	0,15	0,15	0,00	0,00	0,00
320	0,16	0,16	0,00	0,00	0,00
final	0,19	0,19	0,00	0,00	0,00

**Deformación vertical (por capa)**

**Asiento final (por capa)**

**Asiento final (por capa) por fase**

**Asientofinal (acumulado)**

Descripción	Nivel 1	Punto evaluación	Eje	Hombro	Pié	d eje = 35	d eje = 45	Deformación vertical (por capa)					Asiento final (por capa)					Asiento final (por capa) por fase					Asientofinal (acumulado)									
								Módulo def	Eje	Hombro	Pié	d eje = 35	d eje = 45	Eje	Hombro	Pié	d eje = 35	d eje = 45	Eje	Hombro	Pié	d eje = 35	d eje = 45	Eje	Hombro	Pié	d eje = 35	d eje = 45				
AR1	0	5	z	Sv Eje	Sv Hombro	Sv Pié	Sv d eje = 35	Sv d eje = 45	t/m2	Def Eje	Def Hombro	Def Pié	Def d eje = 35	Def d eje = 45	m	ro final	ro final	ro final	ro final	ro final	m	ro final	ro final	ro final	ro final	ro final	m	ro final	ro final	ro final	ro final	ro final
AR2	5	15	z	Sv Eje	Sv Hombro	Sv Pié	Sv d eje = 35	Sv d eje = 45	t/m2	250	7,99E-02	7,75E-02	2,54E-03	5,13E-03	6,06E-05	5,00	0,400	0,39	0,01	0,03	0,000	5,00	0,160	0,16	0,00	0,00	0,000	0,193	0,195	0,001	0,001	0,000
									t/m2	2230	8,61E-03	7,83E-03	1,08E-03	1,31E-03	2,53E-04	10,00	0,086	0,08	0,01	0,01	0,003	10,00	0,033	0,03	0,00	0,00	0,000	0,033	0,035	0,001	0,001	0,000

**Grado de consolidación (primaria)**

Plazo (días)	U	Eje	Hombro	Pié	d eje = 35	d eje = 45
100	0,53	0,52	0,27	0,27	0,27	
200	0,71	0,71	0,38	0,38	0,37	
250	0,77	0,76	0,42	0,42	0,42	
320	0,82	0,82	0,47	0,47	0,47	
final	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	

**Drenaje**

AR1	Cv	7,83E-03	cm2/s
AR2	Cv	9,30E-03	cm2/s

**Consolidación**

Plazo	asiento (m) a tiempo t = 100 días					
	Eje	Hombro	Pié	d eje = 35	d eje = 45	
100 días	m	m	m	m	m	
Uconsol	Eje	Hombro	Pié	d eje = 35	d eje = 45	
5,00	5,00	0,584	0,101	0,102	0,000	0,000
10,00	15,00	0,241	0,008	0,008	0,000	0,000

**Consolidación**

Plazo	asiento (m) a tiempo t = 200 días					
	Eje	Hombro	Pié	d eje = 35	d eje = 45	
200 días	m	m	m	m	m	
Uconsol	Eje	Hombro	Pié	d eje = 35	d eje = 45	
0,787	0,137	0,138	0,000	0,000	0,000	
0,340	0,011	0,012	0,000	0,000	0,000	

**Consolidación**

Plazo	asiento (m) a tiempo t = 250 días					
	Eje	Hombro	Pié	d eje = 35	d eje = 45	
250 días	m	m	m	m	m	
Uconsol	Eje	Hombro	Pié	d eje = 35	d eje = 45	
0,847	0,148	0,149	0,000	0,000	0,000	
0,380	0,013	0,013	0,000	0,000	0,000	

**Consolidación**

Plazo	asiento (m) a tiempo t = 320 días					
	Eje	Hombro	Pié	d eje = 35	d eje = 45	
320 días	m	m	m	m	m	
Uconsol	Eje	Hombro	Pié	d eje = 35 <td>d eje = 45</td> <td></td>	d eje = 45	
0,904	0,159	0,160	0,000	0,000	0,000	
0,430	0,014	0,015	0,000	0,000	0,000	

**ASIENTOS TERRAPLEN SECCIÓN TRANSVERSAL**

Tramo Dique Balsa PK 23+055  
 Proyecto Canal de las Aves  
 PKInicial FASE 4

**Geometría**

Altura 13,5 m a 33,75 m  
 anchocor 5 m b 38,75 m  
 talud 2,5 H/V

**Otros parámetros**

Densidad 2 t/m3 Stepz 200  
 Carga 27 t/m2 textograp Ancho coronación = 5 Distancia eje = 00  
 min 35 min 45  
 Distancia al pie (m) 36,25 38,75 72,5 71,25 81,25  
 Distancia al eje (m) 0 2,5 36,25 35 45

Resumen Consolidación					
Plazo (días)	Distancia al eje (m)				
	Eje	Hombro	Pié	d eje = 35	d eje = 45
	0	2,5	36,25	35	45
100	0,08	0,09	0,00	0,00	0,00
200	0,11	0,12	0,00	0,00	0,00
250	0,12	0,13	0,00	0,00	0,00
320	0,13	0,14	0,00	0,00	0,00
final	0,16	0,17	0,00	0,00	0,00

Descripción	Nivel 1	Punto evaluación	Deformación vertical (por capa)						Asiento final (por capa)					Asiento final (por capa) por fase						Asientofinal (acumulado)											
			Eje	Hombro	Pié	d eje = 35	d eje = 45	Eje	Hombro	Pié	d eje = 35	d eje = 45	Eje	Hombro	Pié	d eje = 35d eje = 45	Eje	Hombro	Pié	d eje = 35d eje = 45											
			m	t/m2	t/m2	t/m2	t/m2	t/m2	t/m2	t/m2	t/m2	t/m2	t/m2	t/m2	t/m2	t/m2	t/m2	t/m2	t/m2	t/m2	t/m2	t/m2									
AR1	0	5	2,50	26,7	26,3	0,6	1,3	0,0	250	1,07E-01	1,05E-01	2,54E-03	5,13E-03	6,16E-05	5,00	0,535	0,53	0,01	0,03	0,000	5,00	0,135	0,14	0,00	0,00	0,000	0,155	0,166	0,000	0,000	0,000
AR2	5	15	10,00	23,7	23,4	2,4	3,0	0,6	2230	1,06E-02	1,05E-02	1,09E-03	1,33E-03	2,60E-04	10,00	0,106	0,11	0,01	0,01	0,003	10,00	0,020	0,03	0,00	0,00	0,000	0,020	0,027	0,000	0,000	0,000

**Grado de consolidación (primaria)**

Plazo (días)	U					
	Eje	Hombro	Pié	d eje = 35	d eje = 45	
100	0,54	0,53	0,27	0,27	0,27	
200	0,73	0,71	0,37	0,37	0,37	
250	0,79	0,77	0,42	0,42	0,41	
320	0,84	0,83	0,47	0,47	0,46	
final	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	

**Drenaje**

AR1	Cv	7,83E-03	cm2/s
AR2	Cv	9,30E-03	cm2/s

**Consolidación**

Espesor	m	Plazo asiento (m) a tiempo t = 100 días					
		100 días	Eje	Hombro	Pié	d eje = 35	d eje = 45
5,00	5,00	0,584	0,084	0,088	0,000	0,000	0,000
10,00	15,00	0,241	0,005	0,006	0,000	0,000	0,000

**Consolidación**

Plazo	200 días	asiento (m) a tiempo t = 200 días					
		Eje	Hombro	Pié	d eje = 35	d eje = 45	
Uconsol	0,787	0,113	0,119	0,000	0,000	0,000	
	0,340	0,007	0,009	0,000	0,000	0,000	

**Consolidación**

Plazo	250 días	asiento (m) a tiempo t = 250 días					
		Eje	Hombro	Pié	d eje = 35	d eje = 45	
Uconsol	0,847	0,122	0,128	0,000	0,000	0,000	
	0,380	0,008	0,010	0,000	0,000	0,000	

**Consolidación**

Plazo	320 días	asiento (m) a tiempo t = 320 días					
		Eje	Hombro	Pié	d eje = 35	d eje = 45	
Uconsol	0,904	0,131	0,137	0,000	0,000	0,000	
	0,430	0,009	0,012	0,000	0,000	0,000	

PROYECTO: MODERNIZACIÓN CANAL DE LAS AVES  
 CONSOLIDACIÓN DIQUE Balsa PK 23+05

Sin tratamiento	STG1	STG2	STG3	STG4	TOTALES ACUM
ΔH (m)	3	3	4	3,5	13,5
asientos finales					
s nivel 1 (cm)	12,0	12,0	16,0	13,5	53,5
s nivel 2 (cm)	2,7	2,6	3,3	2,0	10,6
s total (cm)	14,7	14,6	19,3	15,5	64,1
asientos para U1=90 %					
t (días)	320	320	320	320	1280
s nivel 1 (cm)	10,9	10,9	14,5	12	48,3
s nivel 2 (cm)	1,1	1,1	1,4	0,8	4,4
s total (cm)	12	12	15,9	12,8	52,7

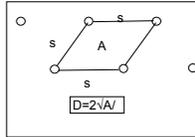
CONSOLIDACIÓN CON MECHAS DRENANTES. RESUMEN				
	FASE 1	FASE 2	FASE 3	FASE 4
Altura relleno (m)	3	6	10	13,5
Tiempo (días)	10	10	10	10
Grado de consolidación nivel 1 U1	1,00	1,00	1,00	1,00
Grado de consolidación nivel 2 U2	0,10	0,10	0,10	0,10
Asiento capa 1 s1 (cm)	12,0	12,0	16,0	13,5
Asiento capa 2 s2 (cm)	0,3	0,2	0,3	0,4
Asiento total s (cm)	12,2	12,2	16,3	13,9

Mechas drenantes

Cv (cm2/seg)= 7,83E-03  
 Ch(cm2/seg)= 7,83E-02  
 dw (cm)= 10  
 H (m) = 5

separación (cm)	A(cm2)	D (cm)	n	K (-8Ch/nD2)	t (días)= 10			
					Ur	Tv	Uv	U
50	2165,06	52,50	0,310131768	-0,002423744	1,00	2,71E-02	0,186	1,00
100	8660,25	105,01	1,003278949	-0,000187306	1,00	2,71E-02	0,19	1,00
150	19485,57	157,51	1,408744057	-5,92869E-05	1,00	2,71E-02	0,19	1,00
200	34641,02	210,02	1,696426129	-2,76935E-05	1,00	2,71E-02	0,19	1,00
250	54126,59	262,52	1,919569681	-1,56635E-05	1,00	2,71E-02	0,19	1,00
300	77942,29	315,02	2,101891237	-9,93391E-06	1,00	2,71E-02	0,19	1,00
350	106088,11	367,53	2,256041917	-6,7997E-06	1,00	2,71E-02	0,19	1,00
400	138564,06	420,03	2,38957331	-4,9151E-06	0,99	2,71E-02	0,19	0,99
450	175370,14	472,53	2,507356345	-3,70111E-06	0,96	2,71E-02	0,19	0,97
500	216506,35	525,04	2,612716861	-2,87701E-06	0,92	2,71E-02	0,19	0,93
525	238698,25	551,29	2,661507025	-2,56169E-06	0,89	2,71E-02	0,19	0,91
550	261972,68	577,54	2,708027041	-2,29401E-06	0,86	2,71E-02	0,19	0,89
600	311769,15	630,05	2,795038418	-1,8676E-06	0,80	2,71E-02	0,19	0,84

Cv (cm2/seg)= 7,83E-03  
 Ch(cm2/seg)= 7,83E-02  
 dw (cm)= 10  
 s(cm)= 350  
 D(cm)= 367,53  
 H (m) = 5



fase 1	nivel 1				nivel 2				
	separación (cm)	A(cm2)	D (cm)	n	K (-8Ch/nD2)	S1(cm)	S2(cm)	Cv (cm2/seg)	H(m)
350	106088,11	367,53	2,256041917	-6,7997E-06	12,00	2,70	9,30E-03	10	
t (días)	Ur	Tv	Uv	U	s1(cm)	Tv2	Uv(2)	s2(cm)	
2	0,69	5,41E-03	0,08	0,72	8,60	1,61E-03	0,05	0,12	
7	0,98	1,89E-02	0,16	0,99	11,83	5,62E-03	0,08	0,23	
10	1,00	2,71E-02	0,19	1,00	11,97	8,04E-03	0,10	0,27	
15	1,00	4,06E-02	0,23	1,00	12,00	1,21E-02	0,12	0,33	
20	1,00	5,41E-02	0,26	1,00	12,00	1,61E-02	0,14	0,39	
30	1,00	8,12E-02	0,32	1,00	12,00	2,41E-02	0,18	0,47	

fase 2	nivel 1				nivel 2				
	separación (cm)	A(cm2)	D (cm)	n	K (-8Ch/nD2)	S1(cm)	S2(cm)	Cv (cm2/seg)	H(m)
350	106088,11	367,53	2,256041917	-6,7997E-06	12,00	2,60	9,30E-03	10	
t (días)	Ur	Tv	Uv	U	s1(cm)	Tv2	Uv(2)	s2(cm)	
5	0,95	1,35E-02	0,13	0,95	11,45	4,02E-03	0,07	0,19	
7	0,98	1,89E-02	0,16	0,99	11,83	5,62E-03	0,08	0,22	
10	1,00	2,71E-02	0,19	1,00	11,97	8,04E-03	0,10	0,26	
15	1,00	4,06E-02	0,23	1,00	12,00	1,21E-02	0,12	0,32	
20	1,00	5,41E-02	0,26	1,00	12,00	1,61E-02	0,14	0,37	
30	1,00	8,12E-02	0,32	1,00	12,00	2,41E-02	0,18	0,46	

fase 3	nivel 1				nivel 2				
	separación (cm)	A(cm2)	D (cm)	n	K (-8Ch/nD2)	S1(cm)	S2(cm)	Cv (cm2/seg)	H(m)
350	106088,11	367,53	2,25604192	-6,7997E-06	16,00	3,30	9,30E-03	10	
t (días)	Ur	Tv	Uv	U	s1(cm)	Tv2	Uv(2)	s2(cm)	
5	0,95	1,35E-02	0,13	0,95	15,26	4,02E-03	0,07	0,24	
7	0,98	1,89E-02	0,16	0,99	15,78	5,62E-03	0,08	0,28	
10	1,00	2,71E-02	0,19	1,00	15,96	8,04E-03	0,10	0,33	
15	1,00	4,06E-02	0,23	1,00	16,00	1,21E-02	0,12	0,41	
20	1,00	5,41E-02	0,26	1,00	16,00	1,61E-02	0,14	0,47	
30	1,00	8,12E-02	0,32	1,00	16,00	2,41E-02	0,18	0,58	

fase 4	nivel 1				nivel 2				
	separación (cm)	A(cm2)	D (cm)	n	K (-8Ch/nD2)	S1(cm)	S2(cm)	Cv (cm2/seg)	H(m)
350	106088,11	367,53	2,25604192	-6,7997E-06	13,50	4,00	9,30E-03	10	
t (días)	Ur	Tv	Uv	U	s1(cm)	Tv2	Uv(2)	s2(cm)	
5	0,95	1,35E-02	0,13	0,95	12,88	4,02E-03	0,07	0,29	
7	0,98	1,89E-02	0,16	0,99	13,31	5,62E-03	0,08	0,34	
10	1,00	2,71E-02	0,19	1,00	13,47	8,04E-03	0,10	0,40	
15	1,00	4,06E-02	0,23	1,00	13,50	1,21E-02	0,12	0,50	
20	1,00	5,41E-02	0,26	1,00	13,50	1,61E-02	0,14	0,57	
30	1,00	8,12E-02	0,32	1,00	13,50	2,41E-02	0,18	0,70	