



DISEÑO GEOTÉCNICO DE PRESAS DE TIERRA USANDO SOFTWARE MODERNO PROYECTO: "PRESA WIPPRA"

Autor: P. Grubert, M.Saucedo¹

RESUMEN

El proceso de diseño de la estructura de una presa de tierra con la ayuda del software de GGU es demostrado usando un proyecto como ejemplo. Junto al estudio de impacto ambiental del proyecto, este documento presenta la discusión del procesamiento de los datos de campo y los resultados del cálculo de estabilidad y asentamientos.

1. Introducción

La construcción de una presa de tierra es planificada para completar el sistema de protección contra inundaciones en el valle de Wippa, en la cordillera del Harz en Alemania. La presa en Wippa estará ubicada en la unión de dos ríos (Figura 1).



Figura 1. Ubicación de la presa en el valle de Wippa

La estructura consiste en una presa de tierra con un vertedero de hormigón que cuenta con un canal de desagüe suficientemente largo como para conducir el agua de desborde a través de la presa. La

Peter Grubert
Dr.-Ing. Dipl.-Wirtsch.-Ing. M.Sc.
GGU mbH, Am Hafen 22
38112 Braunschweig, Germany
p.grubert@ggu.de

Mariano Saucedo
Ing. M.Sc.
Civilserve GmbH, Am Hafen 22
38112 Braunschweig, Germany
m.saucedo@civilserve.com

CONTENIDO

1. Introducción
2. Principio del diseño geotécnico
 - 2.1. Diseño preliminar de la presa
3. Cálculo de estabilidad
4. Cálculo de asentamientos
5. Estudio de impacto ambiental
6. Bibliografía



sección transversal típica de la presa tiene 18 m de alto y 130 m de largo.

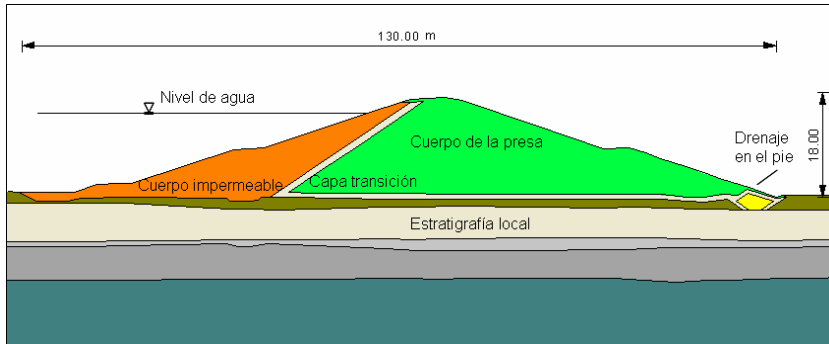


Figura 2. Sección transversal típica de la presa

2. Principio del diseño geotécnico

El diseño geotécnico consiste en la ejecución de una extensa investigación en campo, en el cálculo de estabilidad (modelos geohidráulicos y geoestáticos), y en el cálculo de asentamientos. Para este propósito se recopiló un extenso plan de sondajes y se usó la información existente de perforaciones llevadas a cabo durante la década del 50 y 60.

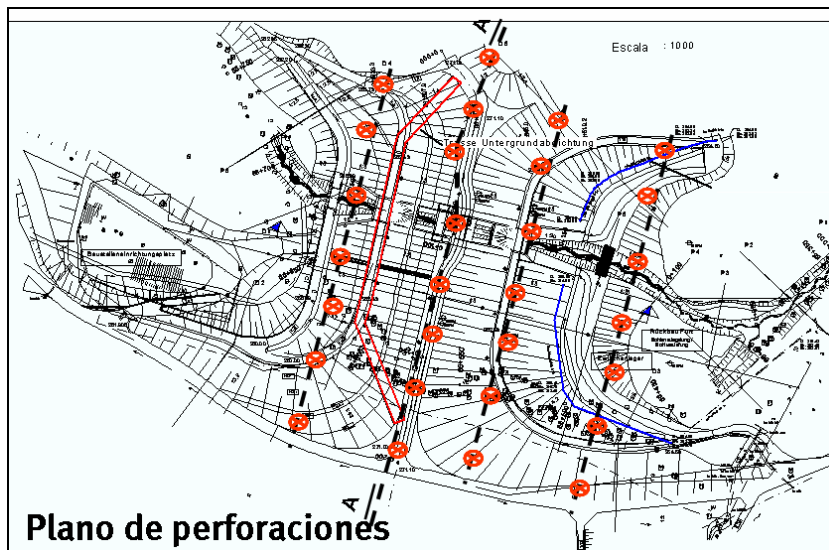


Figura 3. Localización en planta de las perforaciones

Los resultados de la investigación de campo en el centro de la presa son presentados en la Figura 4.

La estratigrafía consiste en una capa vegetal, seguida por una capa superficial de lodo. Por debajo de ella se encuentran 2 m de roca residual fisurada. Por debajo se encuentra una capa de roca compacta en la base del sistema investigado.

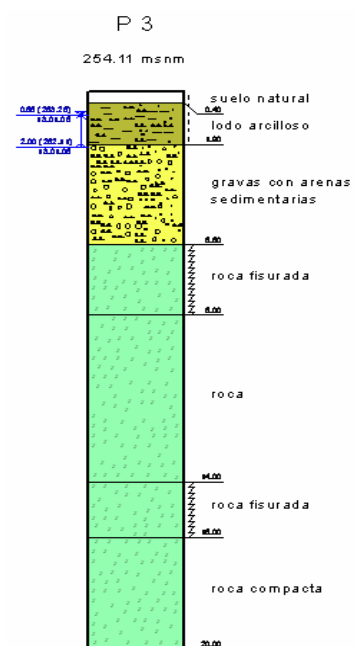


Figura 4. Resultados de la investigación de campo GGU-STRATIG



2.1. Diseño preliminar de la presa

Para establecer el modelo del sistema geohidráulico se tuvo que tomar en cuenta parámetros importantes como la heterogeneidad y anisotropía de la permeabilidad del suelo, además de considerar detalles como la presencia de un muro subsuperficial de impermeabilización, el drenaje en el pie de la presa o las inyecciones profundas (*grouting*) dentro de la capa de roca.

Variaciones de estos aspectos fueron modeladas para determinar la mejor solución desde el punto de vista geohidráulico y geoestático. Debido a la elevada permeabilidad de la capa de roca residual fisurada, se adoptó la opción de una presa con un relleno de roca con un muro de impermeabilización conectado a una capa impermeable. Se tuvo que limitar la presión de poros y fue necesario coleccionar las filtraciones de agua, para ello fue considerado un drenaje en el pie de la presa (Figura 2).

3. Cálculo de estabilidad

La condición de equilibrio fue analizada usando el mecanismo de falla circular de Bishop y el mecanismo de cuña según el método de Janbu.

Para poder analizar la estabilidad del sistema es necesario tener en cuenta el

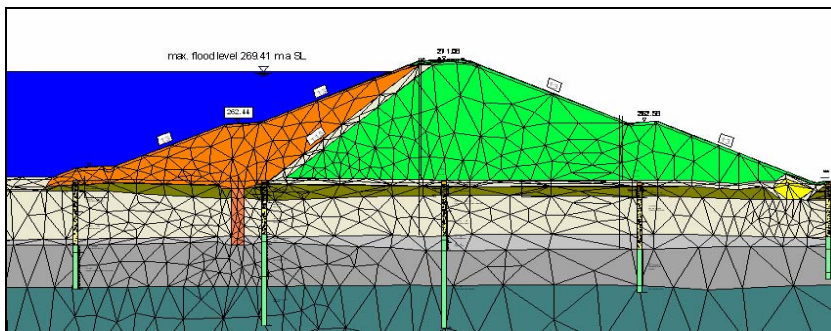


Figura 5. Red de Elementos Finitos del programa GGU-SS-FLOW 2D

efecto de la presión de poros. Para tal efecto se modeló la infiltración utilizando la red de elementos finitos del programa GGU-SS-FLOW 2D.

Las presiones de poros resultantes fueron exportadas al programa GGU-STABILITY para los cálculos geoestáticos subsecuentes. Se analizaron tres casos de carga. El Caso de Carga 1 (LC 1) es el caso estándar, el Caso de Carga 2 (LC 2) considera la falla del muro de impermeabilización y del drenaje en el pie. El Caso de Carga 3 (LC 3) considera un análisis transitorio considerando la descarga rápida del nivel de agua.

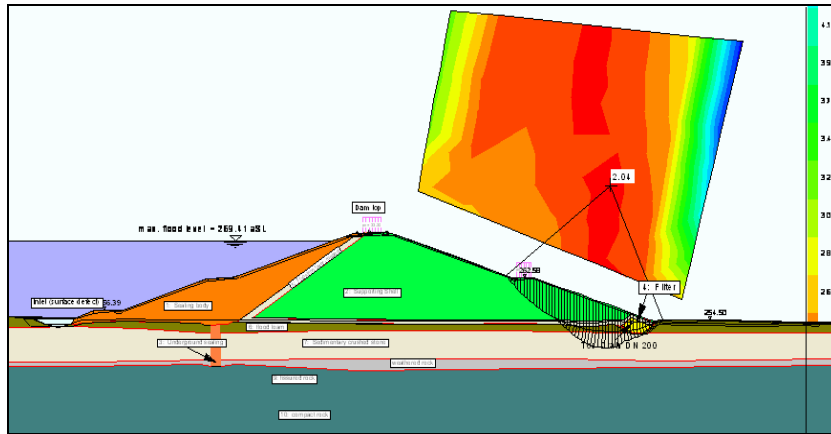


Figura 6. Análisis geoestático de la presa con GGU-STABILITY usando el método de Bishop

Todos los análisis de las condiciones de inundación dieron como resultado factores de seguridad suficientes, de acuerdo a la norma DIN 4084 (antigua) [3]:

Análisis usando el método de los círculos de falla de acuerdo a BISHOP – Condición de inundación	Factor de seguridad
LC 1. Caso estándar	2.04
LC 2. Falla del drenaje en el pie de la presa	1.39
LC 2. Falla del muro de impermeabilización	1.51

Análisis usando superficies de falla poligonales según JANBU – Condición de inundación	Factor de seguridad
LC 1. Caso estándar	1.81
LC 2. Falla del drenaje en el pie de la presa	1.82
LC 2. Falla del muro de impermeabilización	1.71

El análisis de la condición transitoria fue llevado a cabo usando el programa GGU-TRANSIENT y luego exportado a GGU-STABILITY para el cálculo geoestático. Los resultados del cálculo se muestran en la Figura 7.

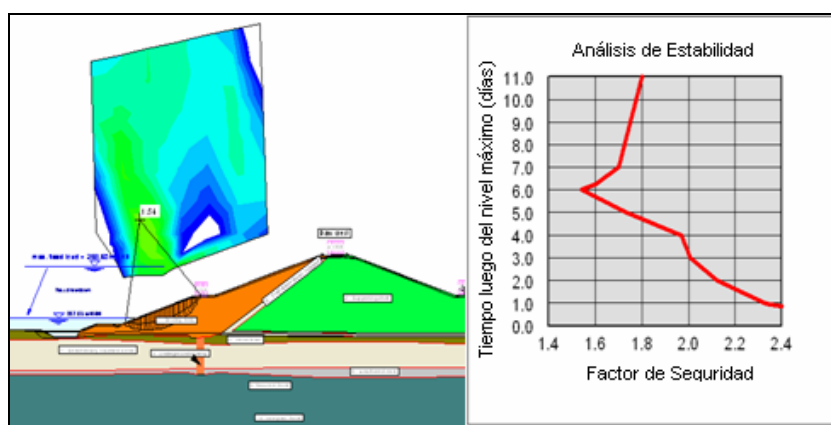


Figura 7. Factores de seguridad como función del nivel de inundación



4. Cálculo de asentamientos

La presencia de la capa superficial de lodo hace necesario el cálculo de los asentamientos de la presa, tomando en cuenta los asentamientos diferenciales y la construcción del vertedero de hormigón. El cálculo de asentamientos fue realizado usando el programa GGU-SETTLE. El peso de la presa, los estratos del suelo y las perforaciones fueron modelados usando una red triangular bidimensional (2D), de modo que la interpolación entre estos puntos pueda ser llevada a cabo para determinar la rigidez del suelo en cualquier punto y su correspondiente asentamiento. La red triangular puede ser apreciada en la Figura 8.

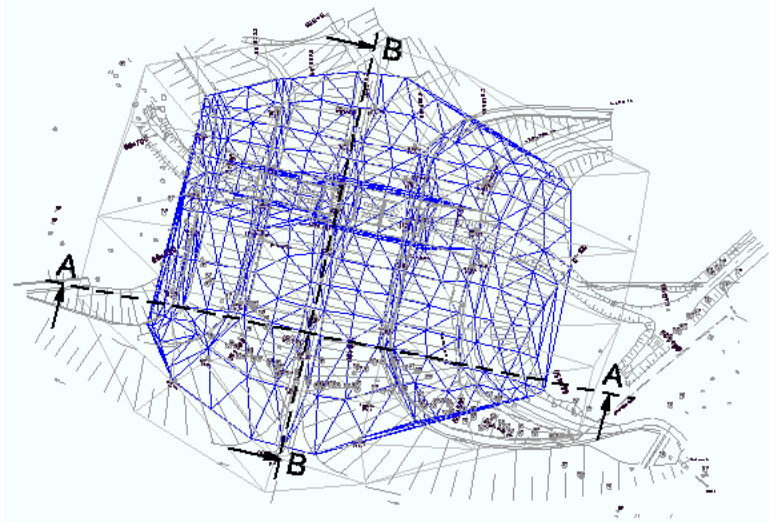


Figura 8. Red triangular programa GGU-SETTLE

Una vez completado el modelo, los asentamientos fueron calculados para cada punto del área modelada. Los cálculos evidenciaron un asentamiento máximo de 23 cm en el centro de la presa, donde la capa de lodo es muy gruesa y la presa presenta su mayor elevación.

La fundación de la estructura de hormigón está ubicada a mayor profundidad que la presa, por ello sus asentamientos son menores que los del resto de la estructura (presa de tierra). Fue por lo tanto necesario tener en cuenta los asentamientos diferenciales.

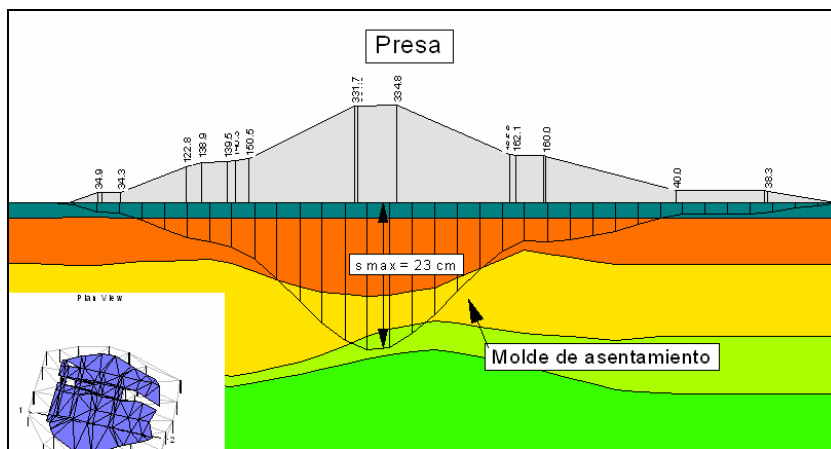


Figura 9. Perfil de asentamientos para la sección de la presa GGU-SETTLE

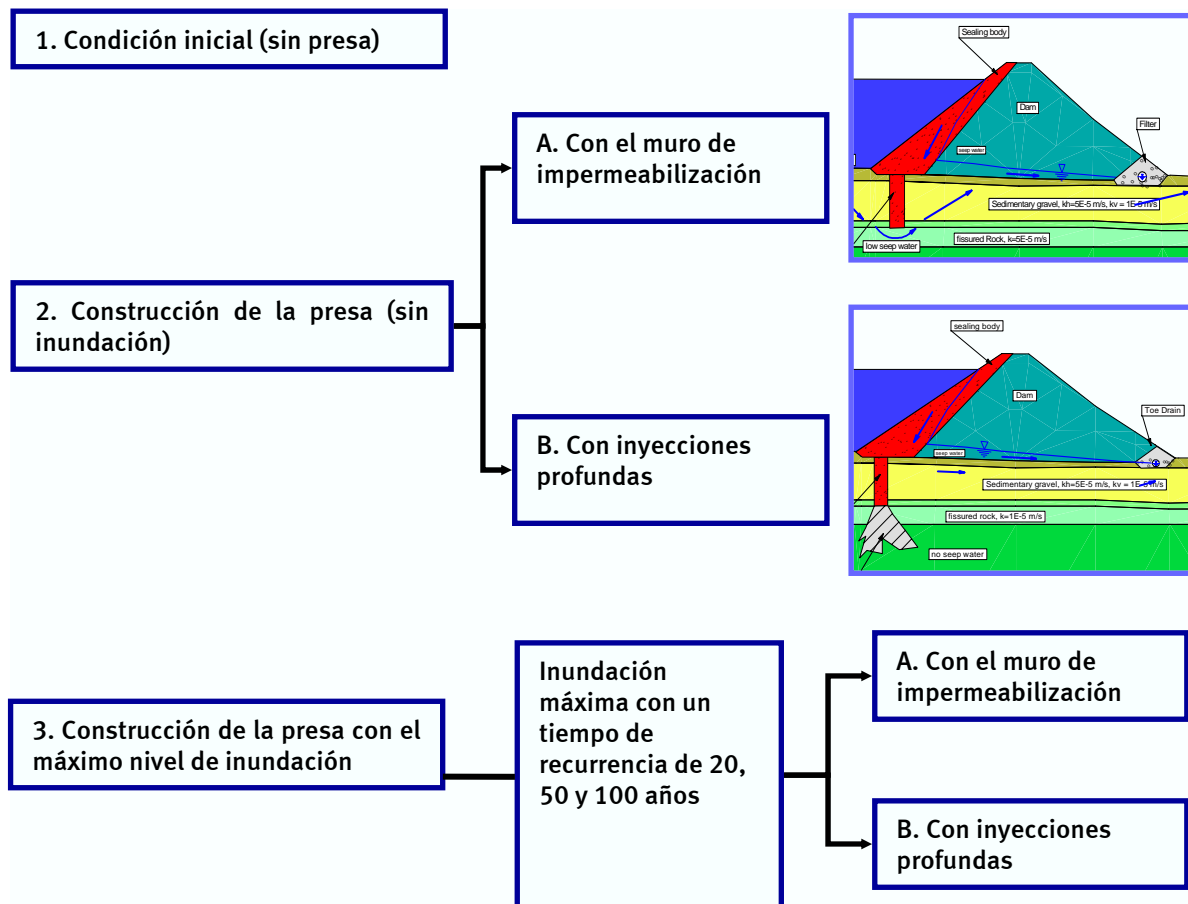


5. Estudio de impacto ambiental

Junto a la evaluación geotécnica, el estudio de impacto ambiental del proyecto es necesario para verificar la influencia de la estructura en las condiciones naturales del agua freática y la vegetación circundante.

Se analizaron distintas variaciones para determinar la diferencia entre la condición inicial (sin la presa) y la condición resultante de la implementación de la presa con el muro subsuperficial de impermeabilización, así como otras condiciones constructivas y de inundación.

A continuación se presenta un esquema de los casos analizados:



Una red horizontal bidimensional de elementos finitos fue modelada 500 m aguas arriba y aguas abajo de la presa. La condición inicial fue analizada primero para dar una base de comparación para las otras alternativas.

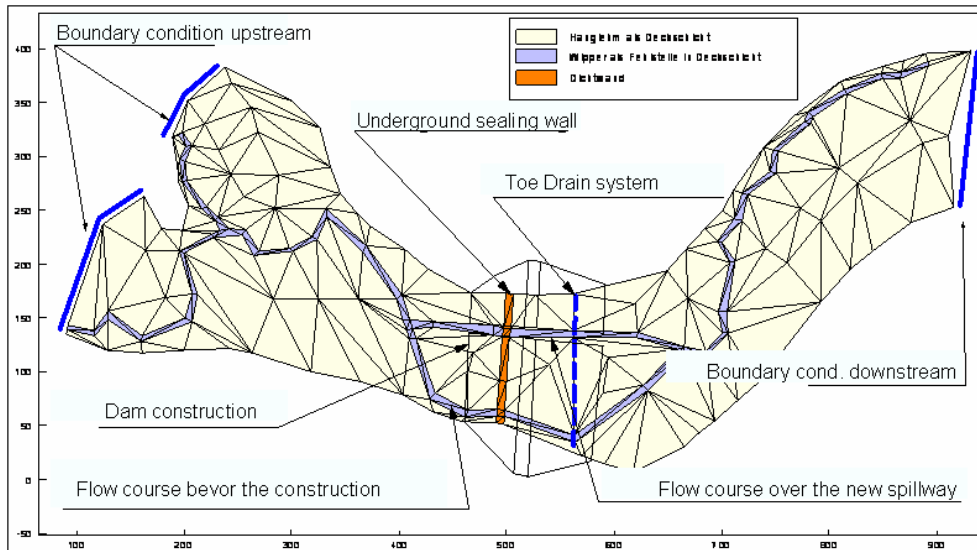


Figura 10. Red horizontal de elementos finitos modelada con GGU-SS-FLOW 2D

Luego de haber completado el cálculo, la diferencia entre la condición inicial y las otras condiciones fue analizada. Las Figuras 11 y 12 muestran el resultado del análisis.

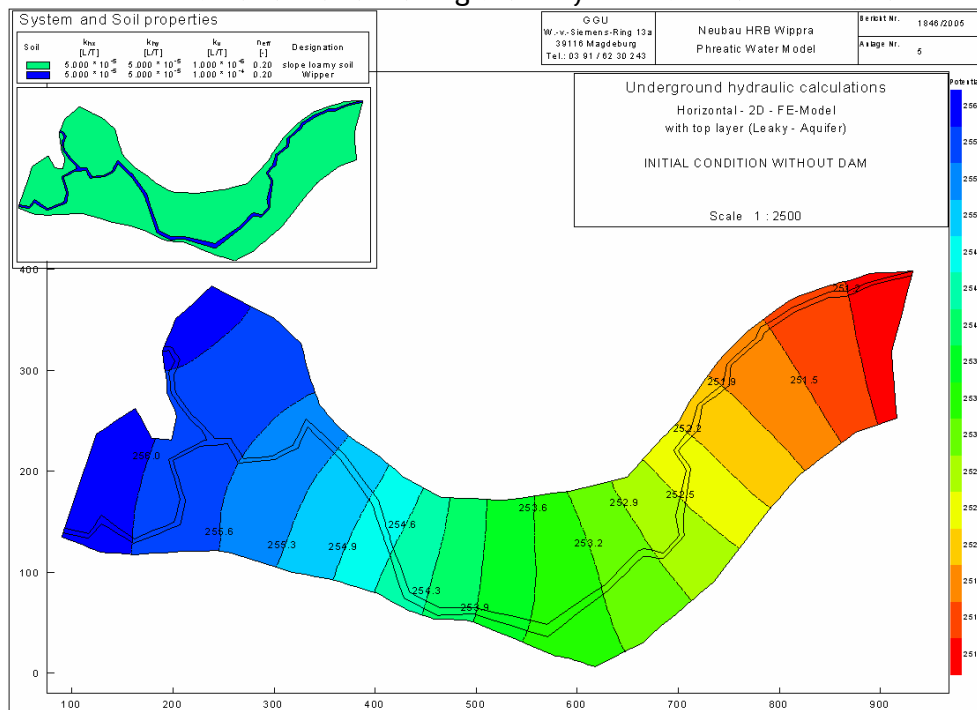


Figura 11. Niveles de agua freática luego del análisis de la condición inicial (sin la presa)

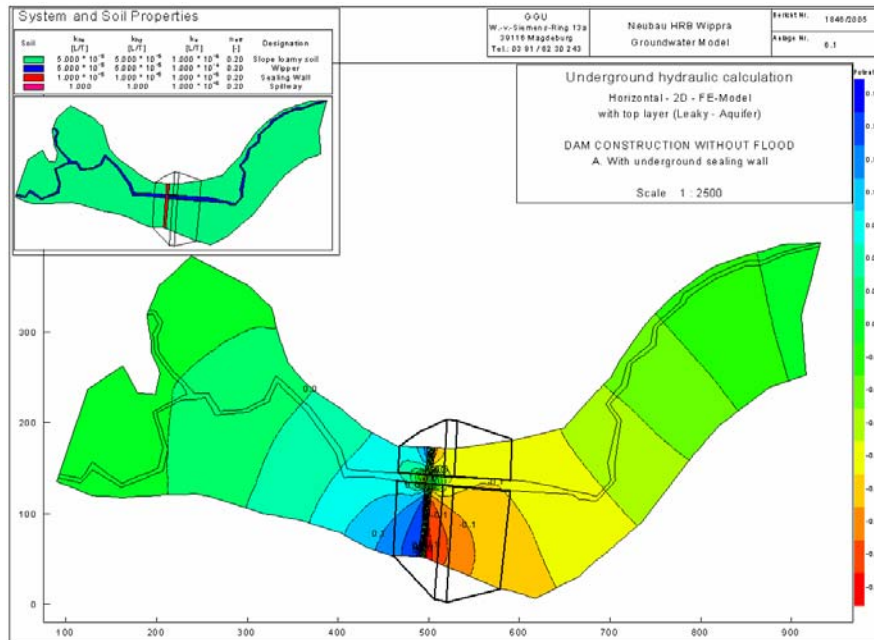


Figura 12. Comparación de los niveles de agua freática para la condición resultante de la implementación del muro de impermeabilización sin inundación y para la condición inicial.

La influencia principal en el nivel natural de agua freática ocurrió, como era previsto, en el área cercana al muro de inyección (*grouting*). En este caso, la diferencia fue de aproximadamente 60 a 70 cm. La diferencia para las distintas condiciones se resume en la siguiente tabla. De mayor interés fue determinar la influencia de la construcción 100m aguas abajo de la presa. Los resultados fueron enviados a los expertos medioambientales, quienes tendrán la última palabra sobre la ejecución de la obra.

Situación analizada	Prob. de ocurrencia	Caso de estudio	Potenciales [m]			Dif. respecto a esta do natural (100m aguas abajo)
			Centro presa	Borde aguas abajo	100m aguas abajo	
1. Estado natural			253.9	253.2	252.9	0.00
2. Presa embalse vacío		Pared sellante	253.6	253.2	252.9	0.00
		Inyección profunda	253.2	253.0	252.4	-0.50
3. Presa embalse lleno	20 años	Pared sellante	257.0	254.0	253.1	0.20
		Inyección profunda	256.7	253.9	253.1	0.20
	50 años	Pared sellante	257.1	253.9	253.1	0.20
		Inyección profunda	255.8	253.9	253.1	0.20
	100 años	Pared sellante	257.3	253.9	253.1	0.20
		Inyección profunda	255.9	253.9	253.1	0.20



6. Bibliografía

- [1]. Manuales de Usuario de GGU-Software
- [2]. Smoltczyk, U. Geotechnical Engineering Handbook – 1-3. Ernst & Sohn 2002
- [3]. DIN 4084 (antigua) Subsoil; Calculations of terrain rupture and slope rupture 1981
- [4]. DIN 1054; Subsoil; Verification of the safety of earthworks and foundations, 2005
- [5]. Striegler Werner. Dammbau (Taschenbuch). Bauwesen 1998
- [6]. Striegler Werner. Dammbau in Theorie und Praxis. Springer 1969

Los boletines técnicos de Civilserve están elaborados por personal técnico especializado o muestran ejemplos de proyectos realizados por nuestros clientes. Sin embargo, Civilserve no puede de ninguna manera asumir responsabilidad sobre el uso del contenido de los boletines en algún otro proyecto.

PAQUETE DE INICIO GGU-SOFTWARE*

- ⇒ Uso ilimitado durante 3 MESES de 3 Programas de GGU-Software (Versiones completas)
- ⇒ 2 Licencias aptas para uso en red de cada uno de los programas
- ⇒ Incluye envío curier mediante servicio UPS
- ⇒ Incluye la llave de seguridad CmStick programada
- ⇒ Incluye programa de control de passwords - Password Manager
- ⇒ El monto invertido será descontado si compra alguno de los 3 programas luego de culminado el periodo de prueba

INCLUIR IMPUESTO AL VALOR AGREGADO 19%? (Sólo para empresas de la Unión Europea que no cuenten con el N° de IVA o CIF)



TOTAL A PAGAR (Euros):

EMPRESA o INSTITUCION:

REPRESENTANTE:

N° IVA:

DIRECCIÓN:

PAIS:

CIUDAD:

COD. POSTAL:

EMAIL:

TEL:

☐ **PAGO MEDIANTE TRANSFERENCIA BANCARIA**

☐ **PAGO MEDIANTE PAYPAL**

Realizaré a la brevedad la transferencia del monto total indicado más arriba a la cuenta:

VR BANK Dinklage-Steinfeld eG

IBAN: DE 96 28065108 4802060501

BIC (Bank Identifier Code, antes SWIFT): GENO DE F1 DIK

Para poder enviarle la solicitud de pago, necesitamos que nos indique el E-mail con el que creó su cuenta Paypal (www.paypal.com)

Mi Email en Paypal es: _____

La solicitud de pago del monto establecido arriba le llegará posteriormente a través del mismo portal con una copia al E-mail indicado en su Solicitud.

Nota: Paypal es una empresa independiente que ofrece los servicios de transferencias bancarias para facilitar compras online. Civilserve no puede asumir responsabilidad alguna por las transacciones que se realizan a través del portal Paypal.

☐ **PAGO CON TARJETA DE CRÉDITO**

TIPO DE TARJETA



Monto total a debitar: EUR _____

NOMBRE COMO APARECE EN LA TARJETA: _____

NÚMERO DE TARJETA

--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--

Vencimiento

--	--

Código de seguridad

--	--	--

son los 3 últimos dígitos indicados al reverso de su tarjeta

☐ Autorizo a Civilserve GmbH a cargar a mi tarjeta el monto total indicado más arriba.

Fecha: _____

Firma: _____

* Promoción válida fuera de Alemania. 2 Licencias aptas para uso no simultáneo en red. Envío mediante servicio UPS entre 10 a 15 días. El envío no considera posibles cobros adicionales de la aduana del país local. Promoción válida 1 única vez por cliente.