

S.E.M.R.
JORNADA TÉCNICA 2013
CIMENTACIONES DE PRESAS DE FÁBRICA EN
MEDIOS ROCOSOS

EFFECTOS DEBIDOS AL DRENAJE EN CIMIENTOS DE
PRESAS DE FÁBRICA CONSECUENCIA DE
EXCAVACIONES SUBTERRÁNEAS

Dr. Roger Bremen
Dr. Giovanni Lombardi.
Lombardi Engineering Ltd.

Efectos debidos al drenaje en cimientos de presas de fábrica consecuencia de excavaciones subterráneas

Dr. R. Bremen / Dr G. Lombardi

Madrid, 17 de Abril de 2013

Índice

1. Antecedentes
2. Túnel de base de San Gotardo
3. Presas afectadas
4. Fenómenos básicos
5. Cálculos / Análisis (FES)
6. Situaciones particulares
7. Conclusiones generales

1. Antecedentes

Presas de Zeuzier. Primer caso conocido de presa afectada en forma substancial por deformaciones del macizo causadas por la excavación de un túnel (1978/79).



Altura : 156 m
 L. Coronación : 256 m
 Embalse : 51 mio. m³
 Año de constr : 1957

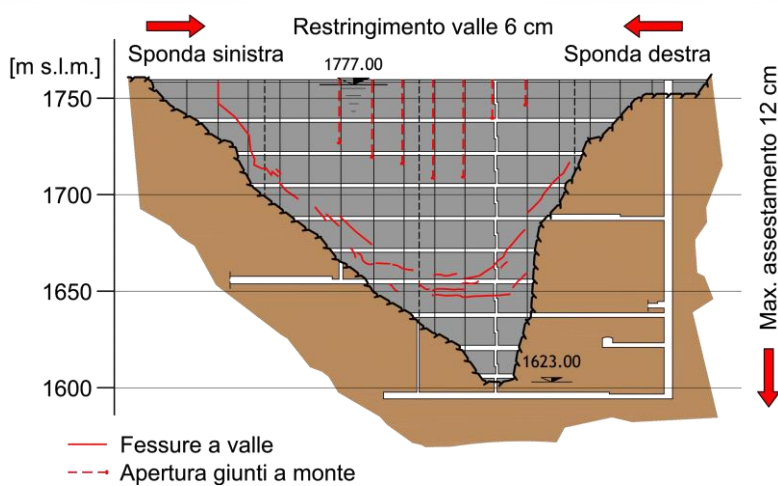


3 Lombardi SA Ingenieros Consultores, 17 de Abril de 2013

PPT 1

1. Antecedentes

Presas de arco de Zeuzier – Deformaciones permanentes

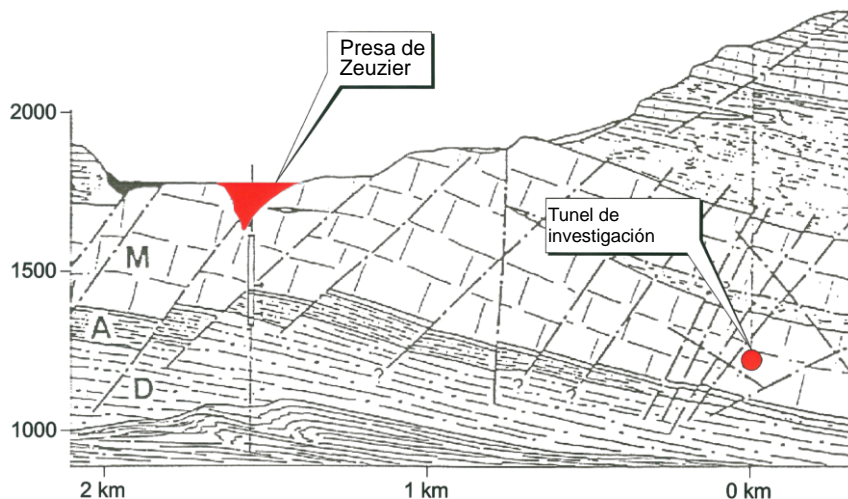


4 Lombardi SA Ingenieros Consultores, 17 de Abril de 2013

PPT 1

1. Antecedentes

Presas de arco de Zeuzier – Corte geologico

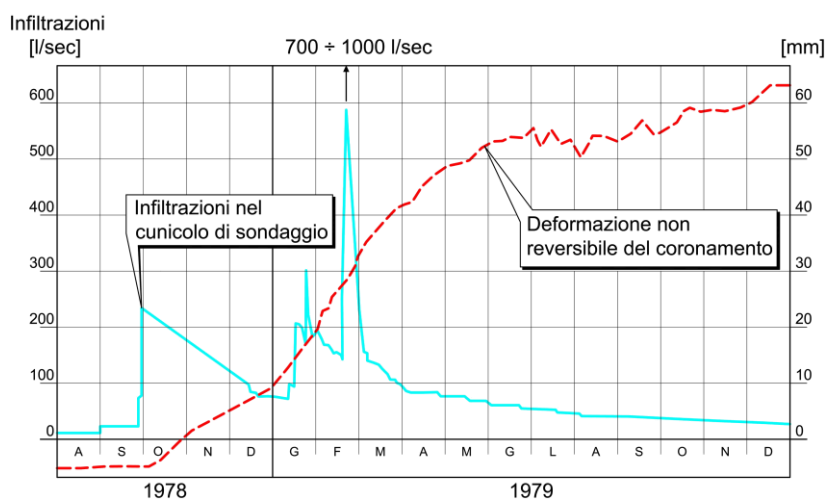


5 Lombardi SA Ingenieros Consultores, 17 de Abril de 2013

PPT 1

1. Antecedentes

Presas de arco de Zeuzier – Infiltraciones y deformaciones



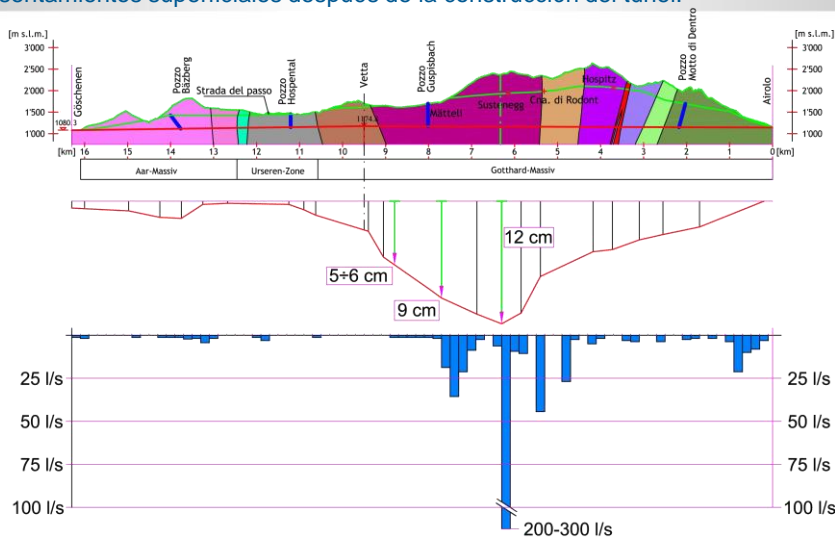
6 Lombardi SA Ingenieros Consultores, 17 de Abril de 2013

PPT 1

1. Antecedentes

Túnel de autopista del San Gottardo (17 km)

Asentamientos superficiales después de la construcción del túnel.



7 Lombardi SA Ingenieros Consultores, 17 de Abril de 2013

PPT 1

2. Túnel de base de San Gotardo

Posibles interferencias con las presas existentes en la zona

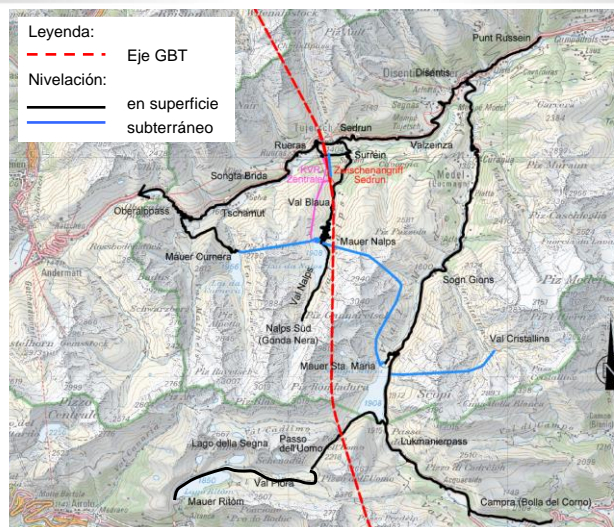


8 Lombardi SA Ingenieros Consultores, 17 de Abril de 2013

PPT 1

2. Túnel de base de San Gotardo

Red geodésica en superficie y subterránea



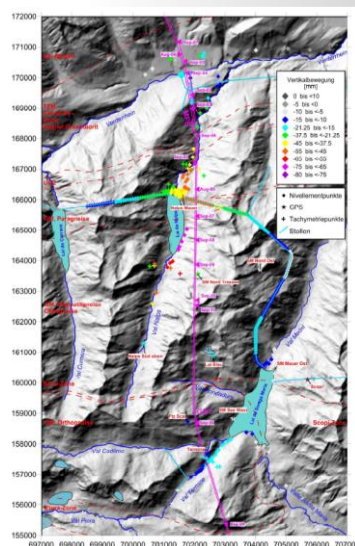
9 Lombardi SA Ingenieros Consultores, 17 de Abril de 2013

PPT 1

2. Túnel de base de San Gotardo

Desplazamiento vertical absoluto a lo largo del túnel

Ubicación de los puntos de nivelación,
puntos taquimetría y estaciones de GPS

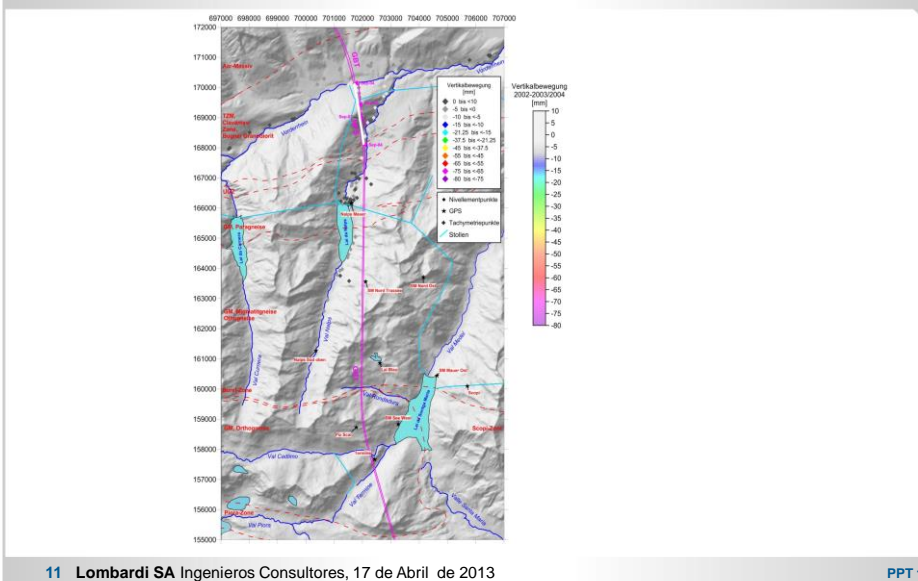


10 Lombardi SA Ingenieros Consultores, 17 de Abril de 2013

PPT 1

2. Túnel de base de San Gotardo

Evolución de la curva de asentamiento - Nivelación

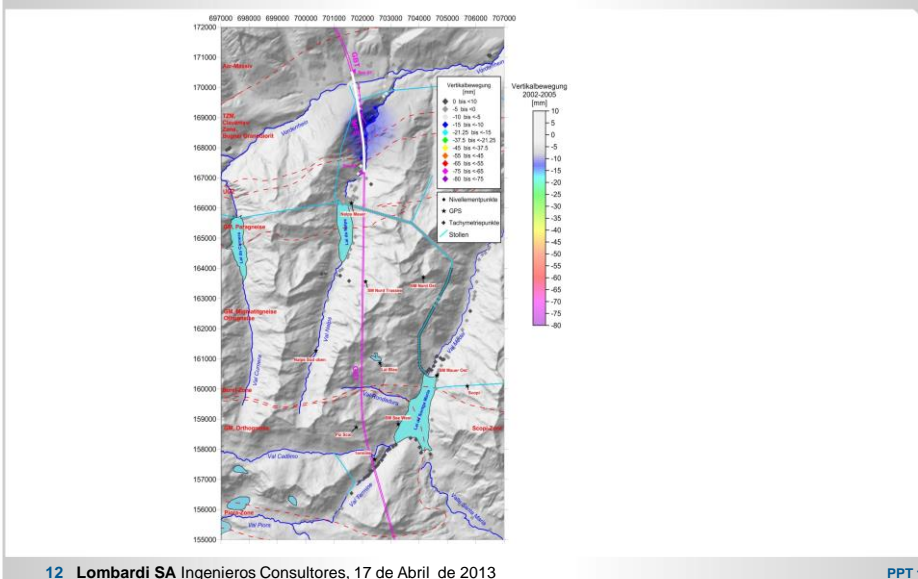


11 Lombardi SA Ingenieros Consultores, 17 de Abril de 2013

PPT 1

2. Túnel de base de San Gotardo

Evolución de la curva de asentamiento - Nivelación

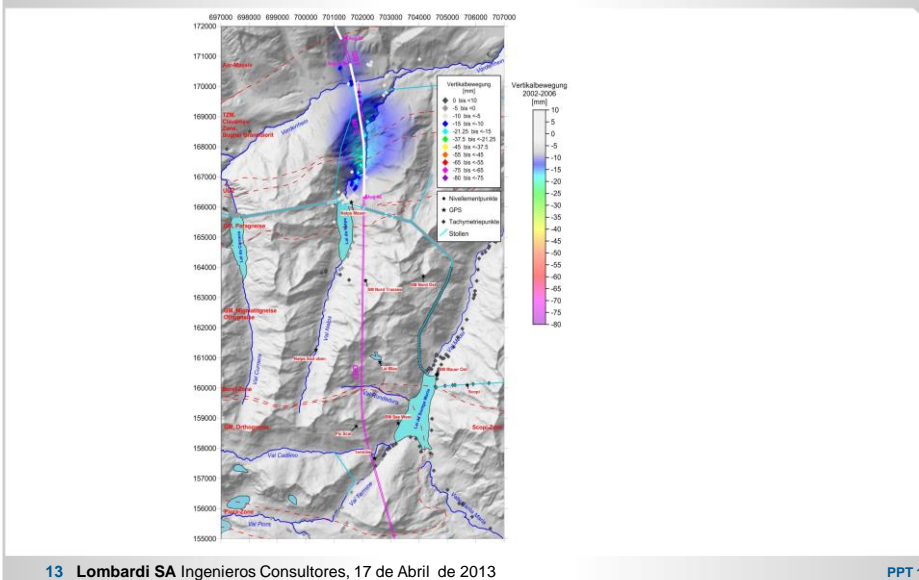


12 Lombardi SA Ingenieros Consultores, 17 de Abril de 2013

PPT 1

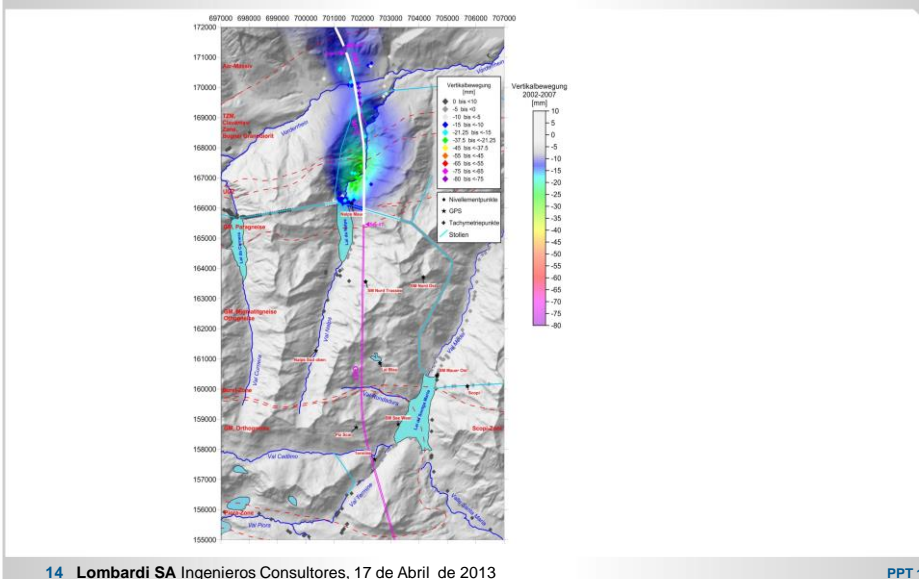
2. Túnel de base de San Gotardo

Evolución de la curva de asentamiento - Nivelación



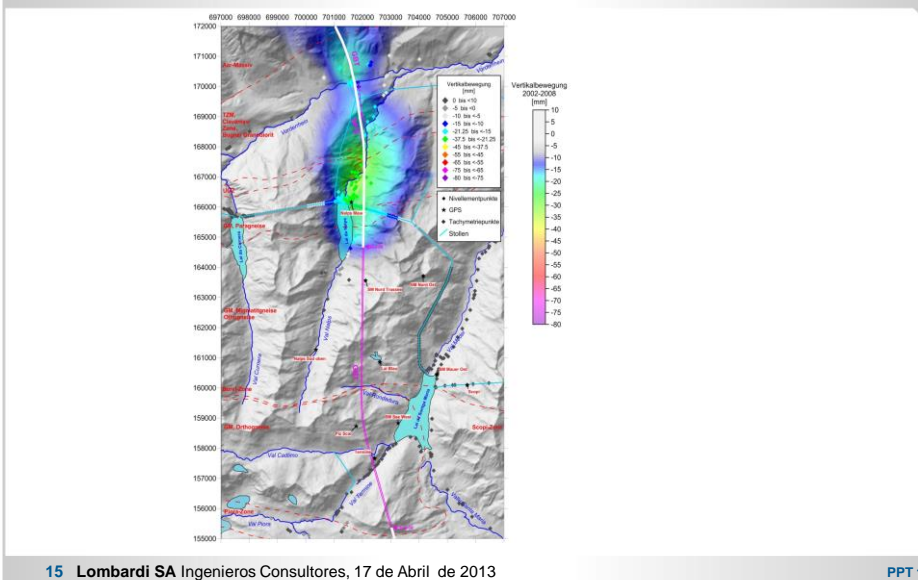
2. Túnel de base de San Gotardo

Evolución de la curva de asentamiento - Nivelación



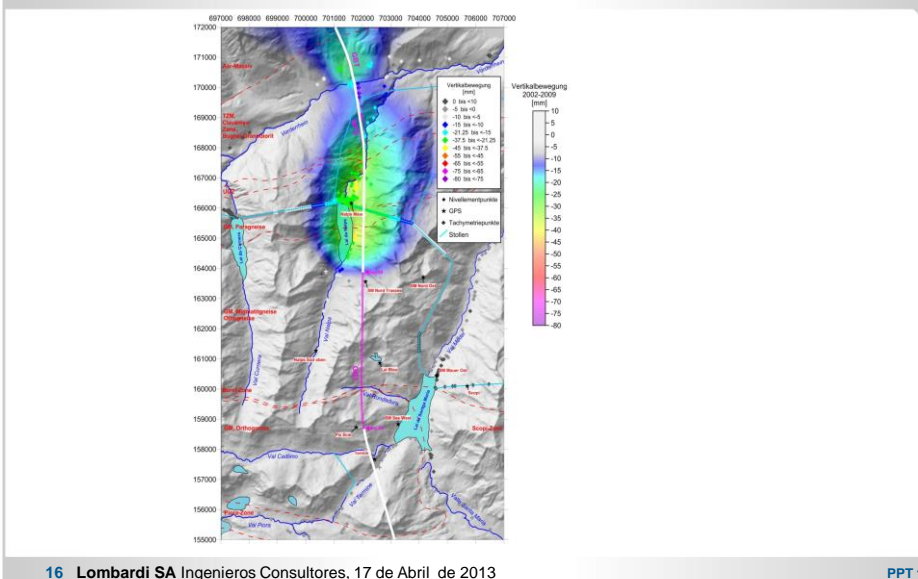
2. Túnel de base de San Gotardo

Evolución de la curva de asentamiento - Nivelación



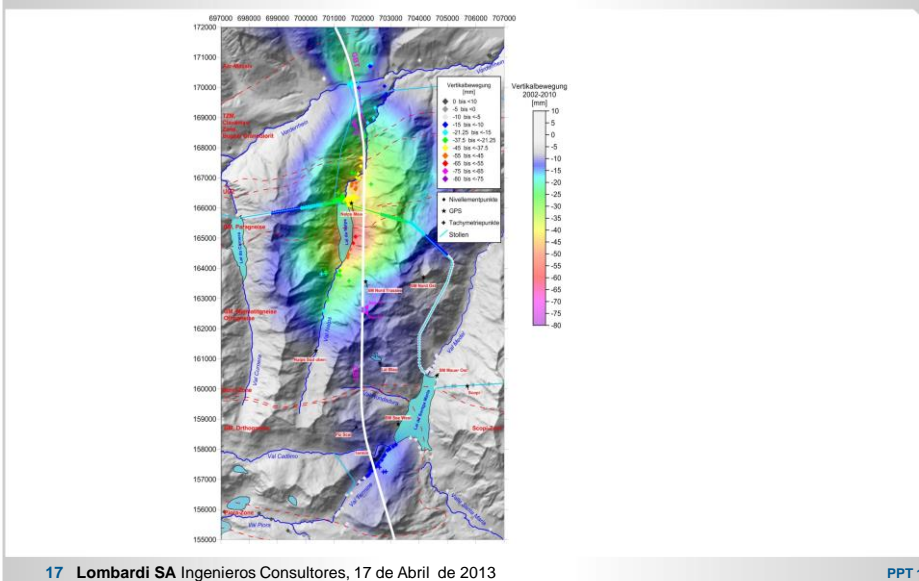
2. Túnel de base de San Gotardo

Evolución de la curva de asentamiento - Nivelación



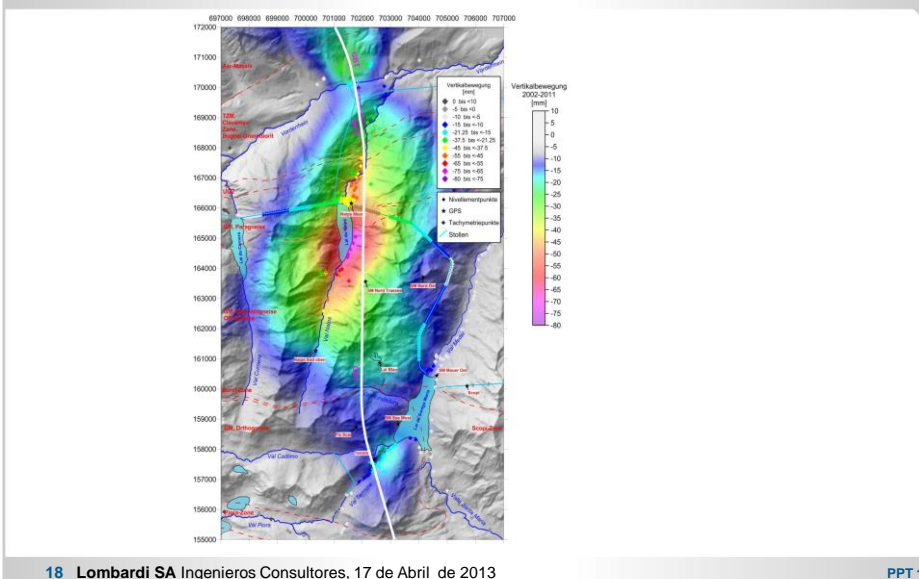
2. Túnel de base de San Gotardo

Evolución de la curva de asentamiento - Nivelación



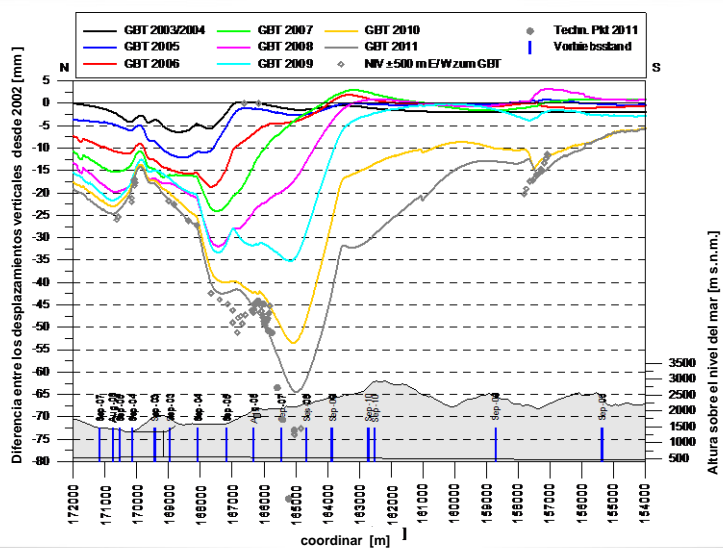
2. Túnel de base de San Gotardo

Evolución de la curva de asentamiento - Nivelación



2. Túnel de base de San Gotardo

Asentamientos absolutos a lo largo del túnel

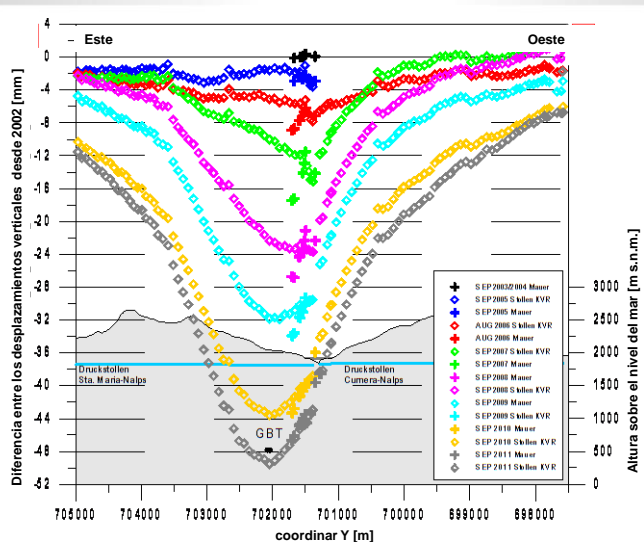


19 Lombardi SA Ingenieros Consultores, 17 de Abril de 2013

PPT 1

2. Túnel de base de San Gotardo

Asentamientos verticales Presa Nalps hasta 2011

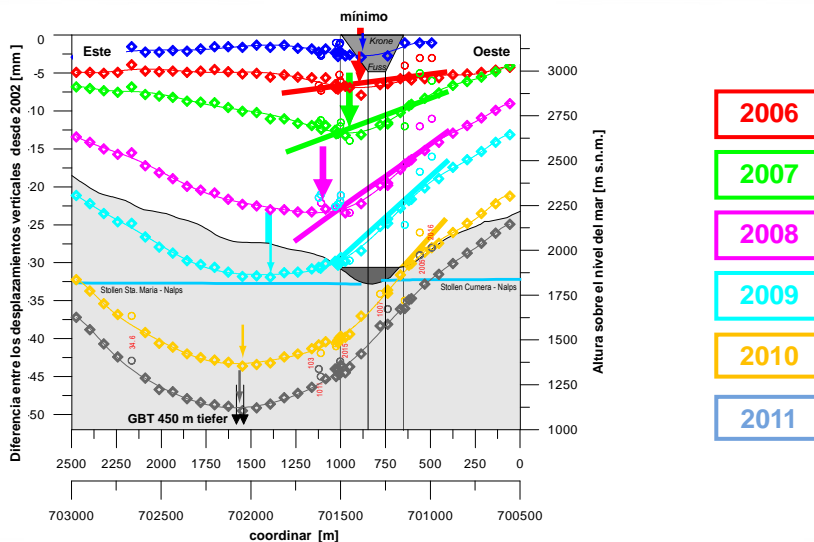


20 Lombardi SA Ingenieros Consultores, 17 de Abril de 2013

PPT 1

2. Túnel de base de San Gotardo

Sección de la presa Nalps – Vuelco hacia el oriente



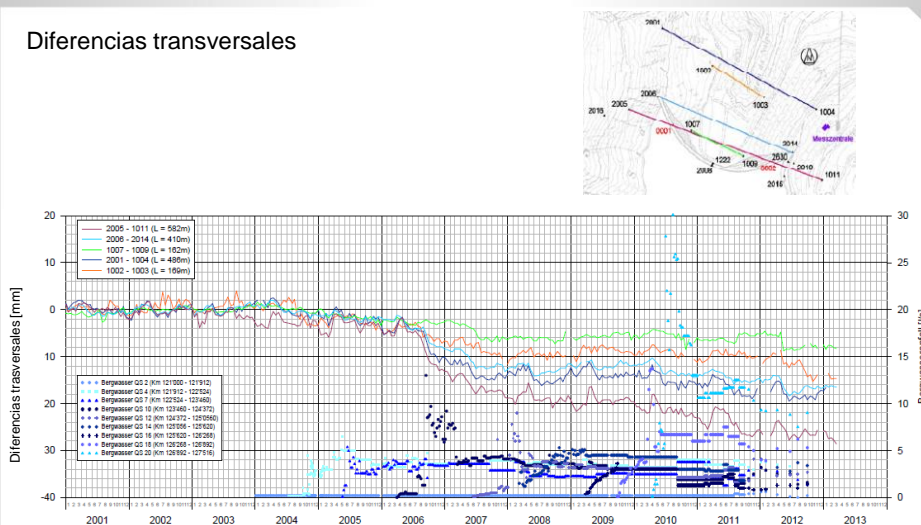
21 Lombardi SA Ingenieros Consultores, 17 de Abril de 2013

PPT 1

2. Presas afectadas – Nalps

Levantamiento superficial - Taquimetría

Diferencias transversales



22 LombLombardi AG Ingenieros Consultores, 17. Abril 2013

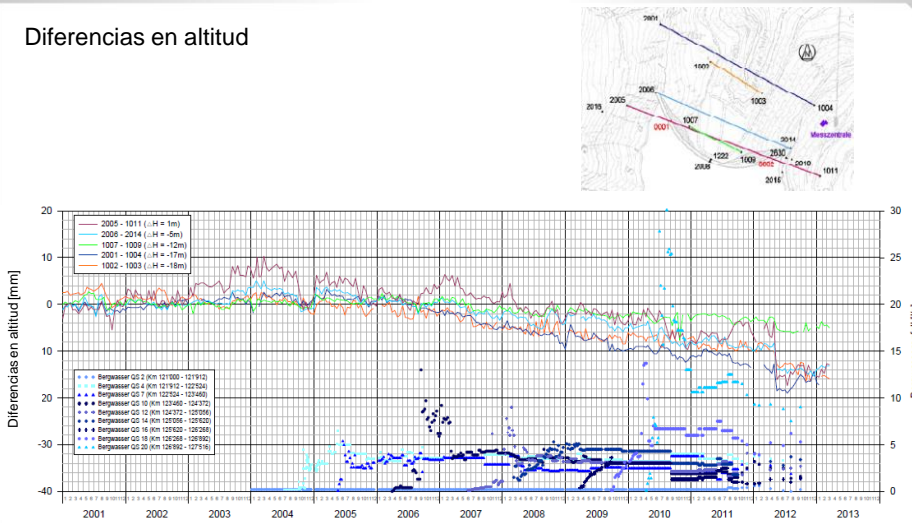


PPT 1

2. Presas afectadas – Nalps

Levantamiento superficial - Taquimetría

Diferencias en altitud



23 LombaLombardi AG Ingenieros Consultores, 17. Abril 2013

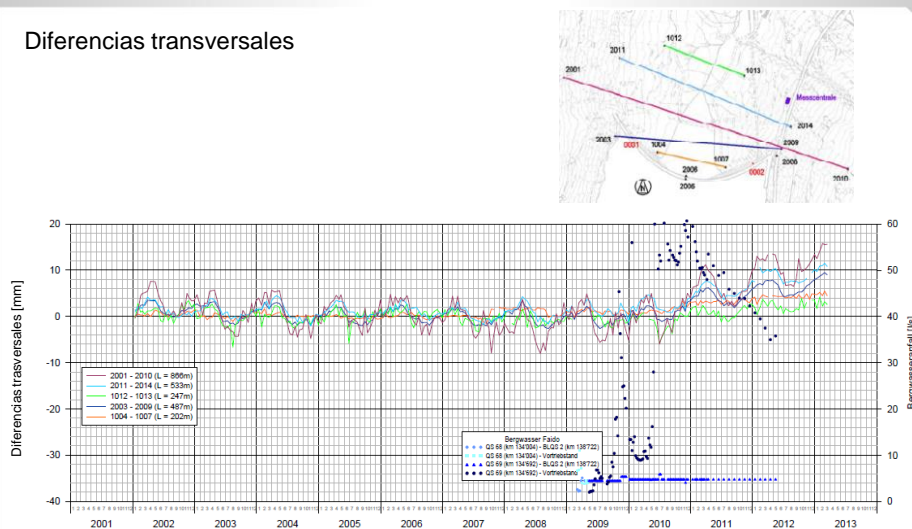


PPT 1

2. Presas afectadas – Sta. Maria

Levantamiento superficial - Taquimetría

Diferencias transversales



24 LombaLombardi AG Ingenieros Consultores, 17. Abril 2013

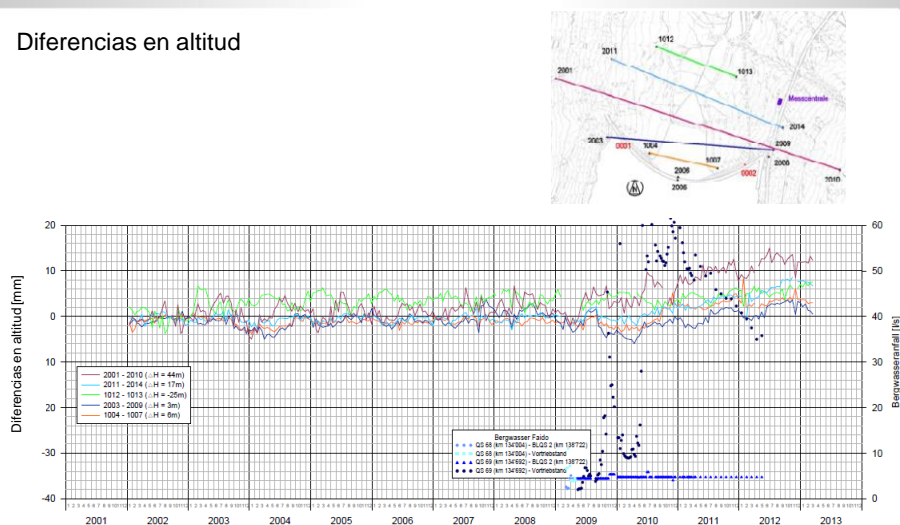


PPT 1

2. Presas afectadas – Sta. Maria

Levantamiento superficial - Taquimetría

Diferencias en altitud



25 LombaLombardi AG Ingenieros Consultores, 17. Abril 2013

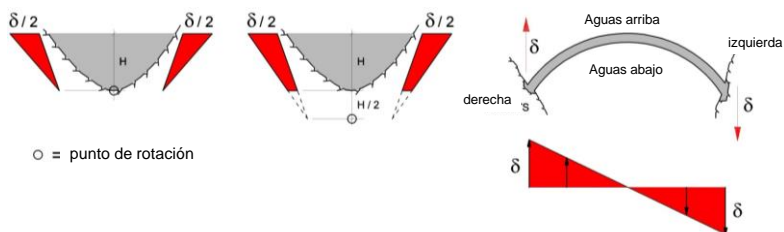


PPT 1

2. Presas afectadas

Limites de los desplazamientos elásticos en la coronación

Presa	Extensión máxima (horizontal) [mm]	Compresión máxima (horizontal) [mm]	Deslizamiento (horizontal) [mm]
Nalps	10	50	20
Sta. Maria	15	35	16
Curnera	20	70	64

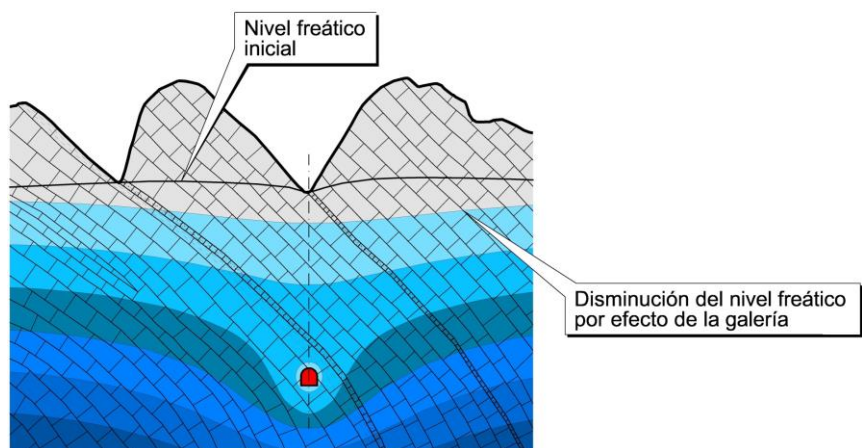


26 Lombardi SA Ingenieros Consultores, 17 de Abril de 2013

PPT 1

3. Fenómenos básicos

Influencia de una galería sobre un acuífero en un macizo rocoso

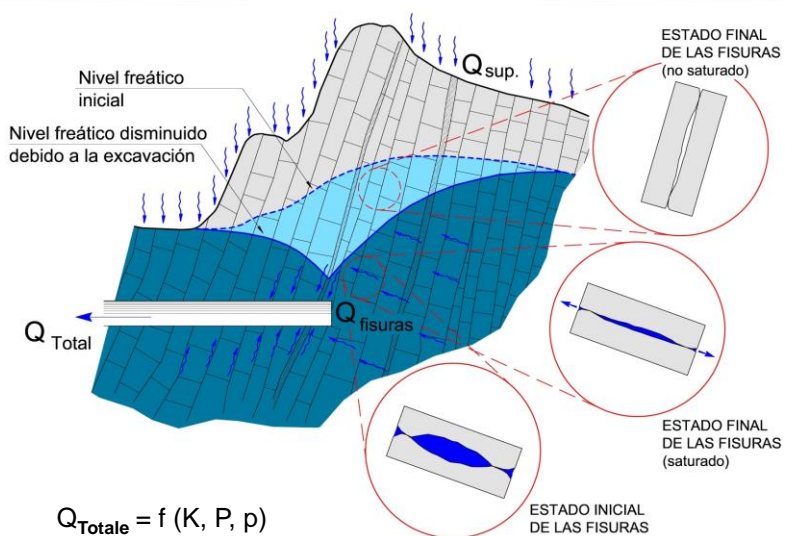


27 Lombardi SA Ingenieros Consultores, 17 de Abril de 2013

PPT 1

3. Fenómenos básicos

Influencia de la excavación de una galería sobre el nivel freático



28 Lombardi SA Ingenieros Consultores, 17 de Abril de 2013

PPT 1

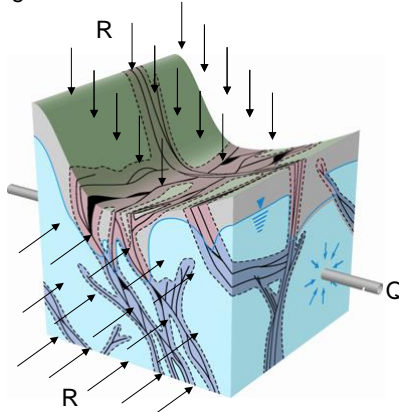
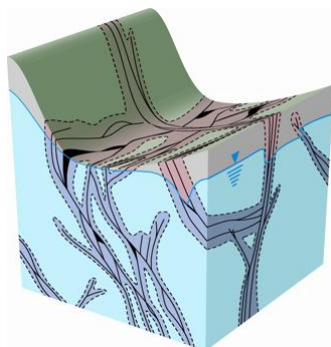
3. Fenómenos básicos

Drenaje neto de las aguas en los poros

$$\Delta V_N(t) = \int_{t_1=0}^{t_2} Q dt - R$$

Q = caudal en entrada en la galería

R = Recarga en la zona del modelo

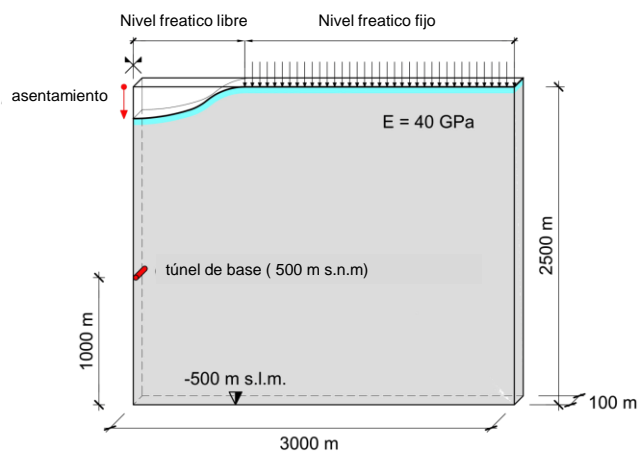


29 Lombardi SA Ingenieros Consultores, 17 de Abril de 2013

PPT 1

4. Cálculos / Análisis (FES)

Modelo básico simplificado

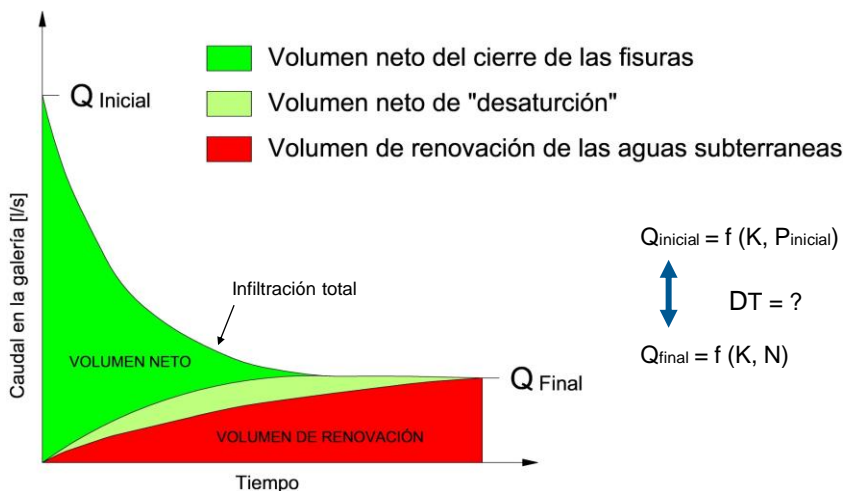


30 Lombardi SA Ingenieros Consultores, 17 de Abril de 2013

PPT 1

3. Fenómenos básicos

Infiltraciones debidas a la excavación en una zona permeable



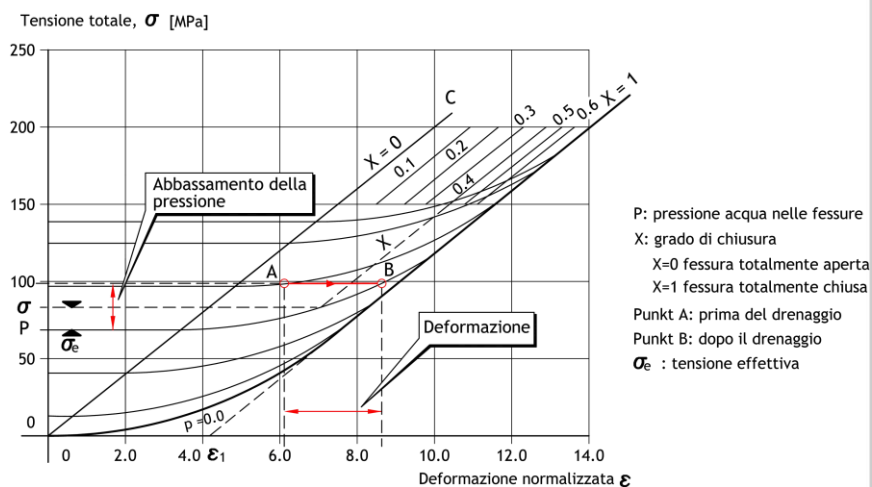
33 Lombardi SA Ingenieros Consultores, 17 de Abril de 2013

PPT 1

4. Cálculos / Análisis (FES)

(Fractured-Elastic-Saturated Model)

Relación tensión-deformación de un macizo fisurado según el modelo FES

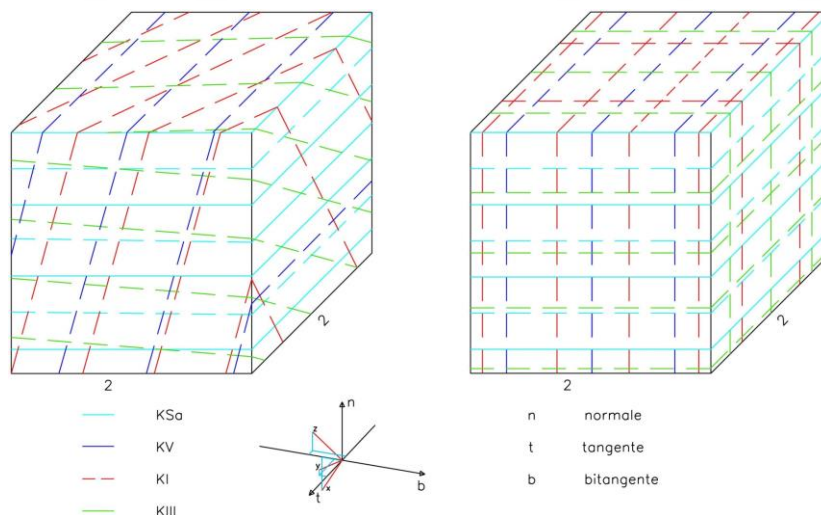


34 Lombardi SA Ingenieros Consultores, 17 de Abril de 2013

PPT 1

4. Cálculos / Análisis (FES)

Modelación del macizo rocoso según FES

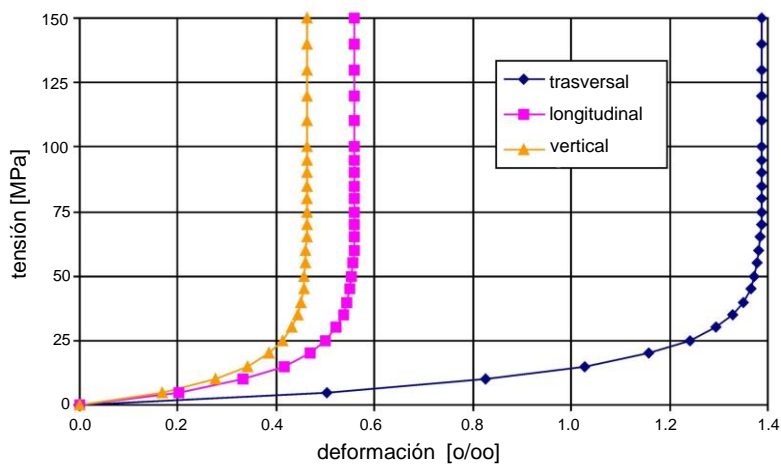


35 Lombardi SA Ingenieros Consultores, 17 de Abril de 2013

PPT 1

4. Cálculos / Análisis (FES)

Relación tensión-deformación en las tres direcciones cardinales

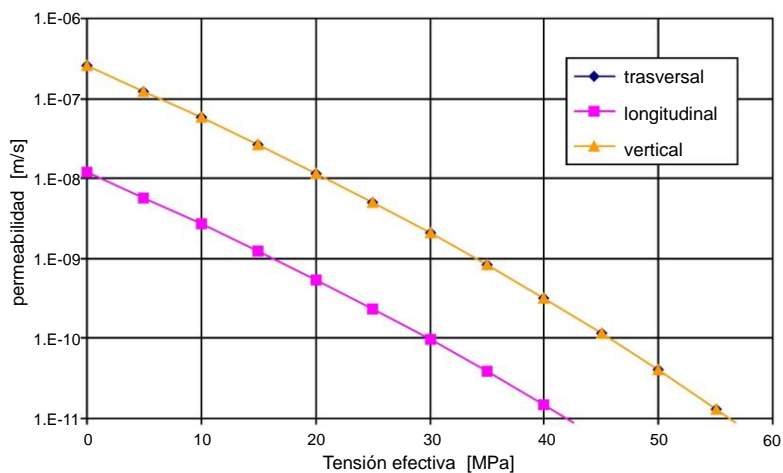


36 Lombardi SA Ingenieros Consultores, 17 de Abril de 2013

PPT 1

4. Cálculos / Análisis (FES)

Influencia de las tensiones sobre la permeabilidad del macizo rocoso en las tres direcciones cardinales

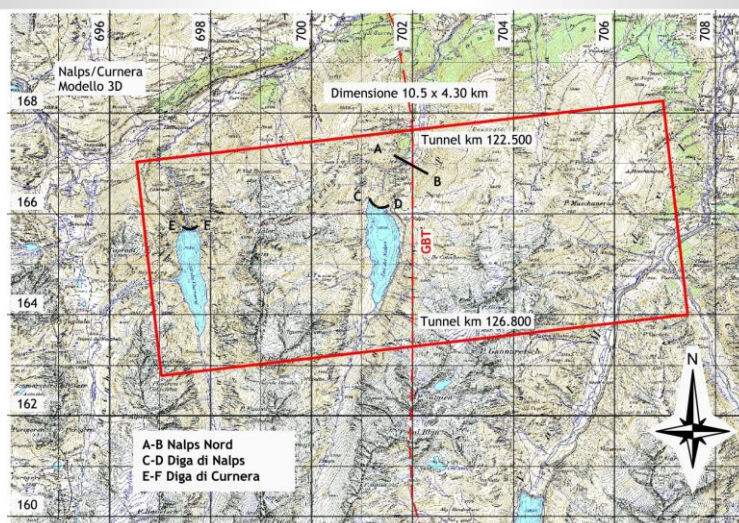


37 Lombardi SA Ingenieros Consultores, 17 de Abril de 2013

PPT 1

4. Cálculos / Análisis (FES)

Modelo geométrico de las presas Nalps y Curnera

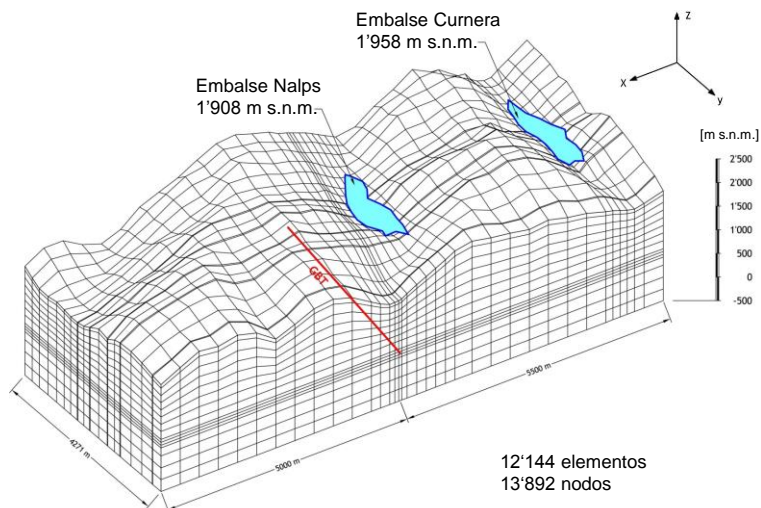


38 Lombardi SA Ingenieros Consultores, 17 de Abril de 2013

PPT 1

4. Cálculos / Análisis (FES)

Modelo geométrico de las presas Nalps y Curnera

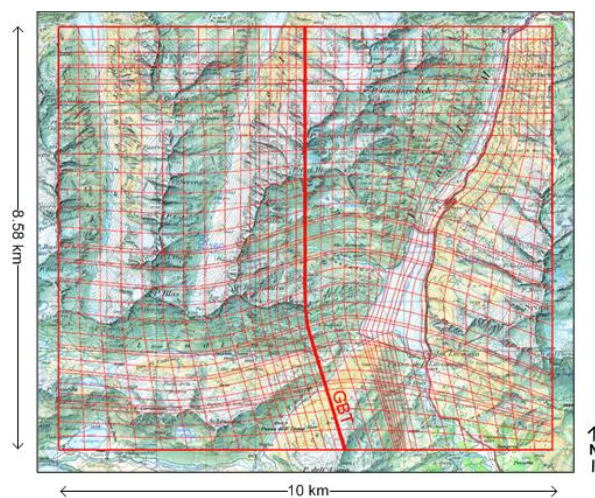


39 Lombardi SA Ingenieros Consultores, 17 de Abril de 2013

PPT 1

4. Cálculos / Análisis (FES)

Modelo geométrico de la presa Sta. Maria



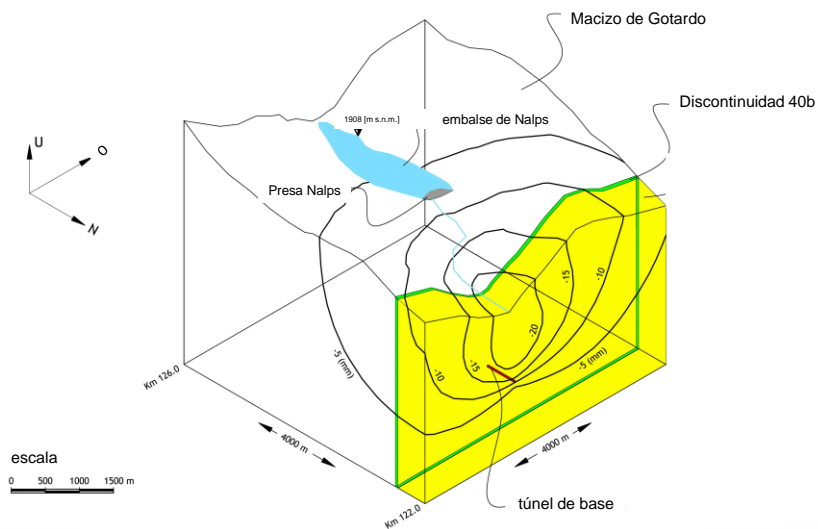
40 Lombardi AG Ingenieros Consultores, 17. Abril 2013



PPT 1

4. Cálculos / Análisis (FES)

Asentamientos verticales durante la excavación en la discontinuidad 40b

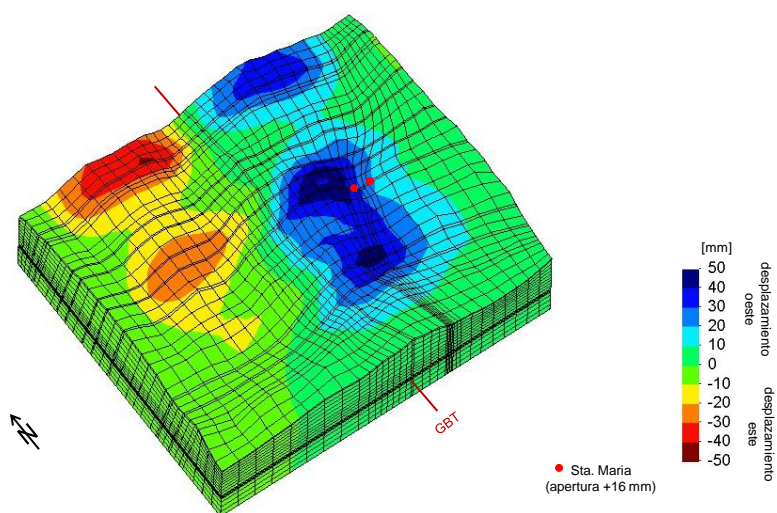


41 Lombardi SA Ingenieros Consultores, 17 de Abril de 2013

PPT 1

4. Cálculos / Análisis (FES)

Deformaciones horizontales – Situación final



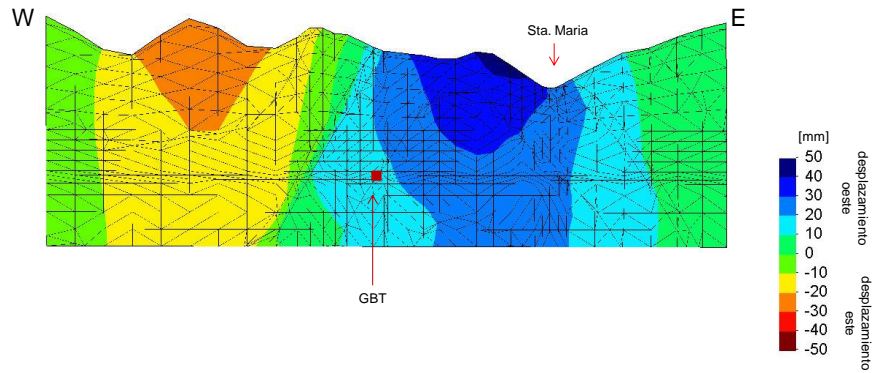
42 LombaLombardi AG Ingenieros Consultores, 17. Abril 2013



PPT 1

4. Cálculos / Análisis (FES)

Deformaciones horizontales – Situación final



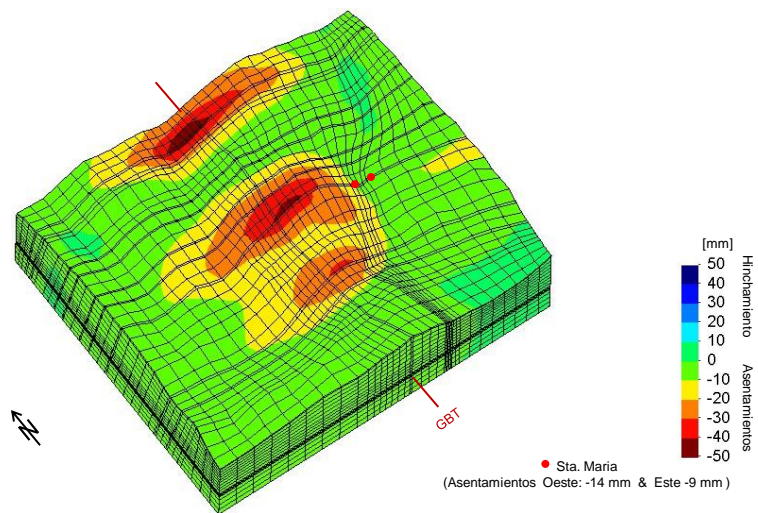
43 LombaLombardi AG Ingenieros Consultores, 17. Abril 2013



PPT 1

4. Cálculos / Análisis (FES)

Deformaciones verticales – Situación final



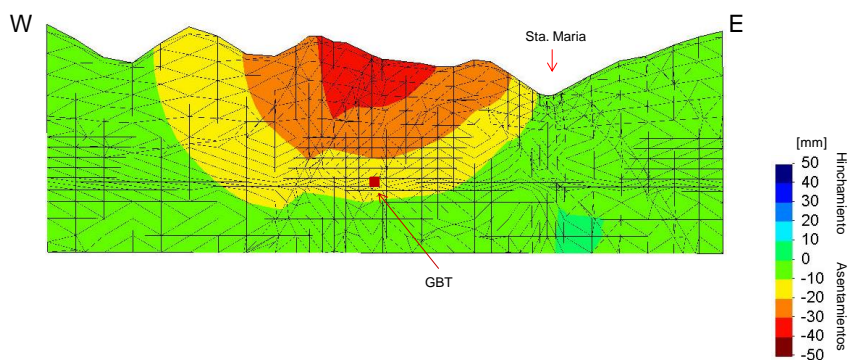
44 LombaLombardi AG Ingenieros Consultores, 17. Abril 2013



PPT 1

4. Cálculos / Análisis (FES)

Deformaciones verticales – Situación final



45 LombaLombardi AG Ingenieros Consultores, 17. Abril 2013

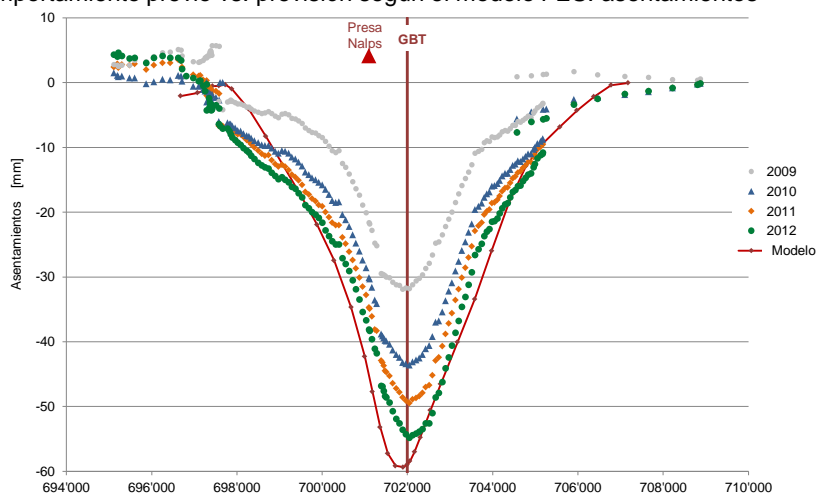


PPT 1

4. Cálculos / Análisis (FES)

Comportamiento a largo plazo – presa Nalps

Comportamiento previo vs. previsión según el modelo FES: asentamientos



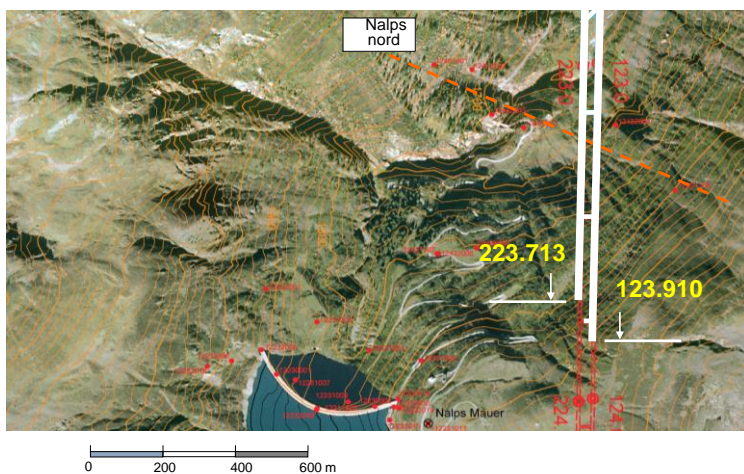
46 LombaLombardi AG Ingenieros Consultores, 17. Abril 2013



PPT 1

5. Inyecciones

Falla N° 44 - Situación al momento de la infiltración del agua (13 septiembre 2006)

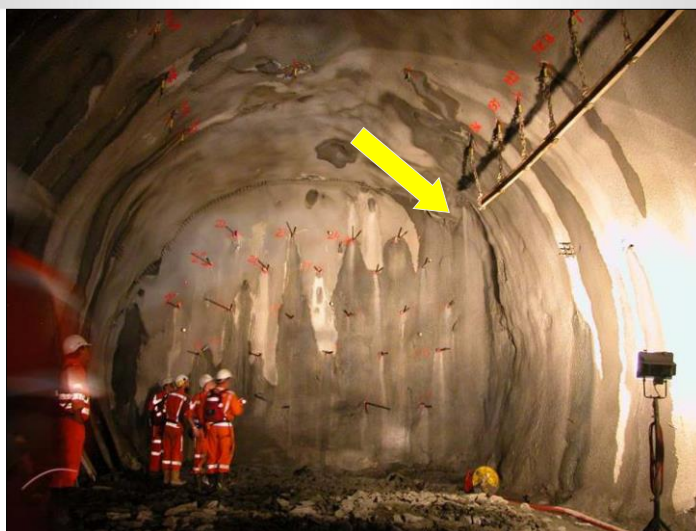


47 Lombardi SA Ingenieros Consultores, 17 de Abril de 2013

PPT 1

5. Inyecciones

Infiltración de agua (13 de septiembre del 2006)



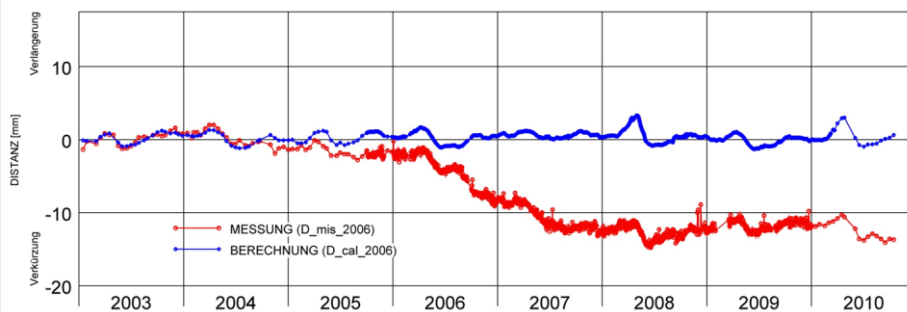
48 Lombardi SA Ingenieros Consultores, 17 de Abril de 2013

PPT 1

5. Falla N° 44

Infiltración de agua (13 de septiembre del 2006)

Evolución de la distancia entre los estribos de la presa a nivel de la coronación



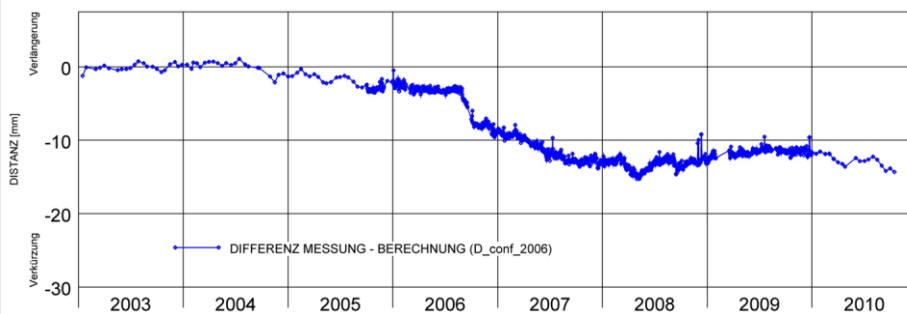
49 Lombardi SA Ingenieros Consultores, 17 de Abril de 2013

PPT 1

5. Inyecciones

Infiltración de agua (13 de septiembre del 2006)

Evolución de la distancia entre los estribos filtrada de los efectos reversibles

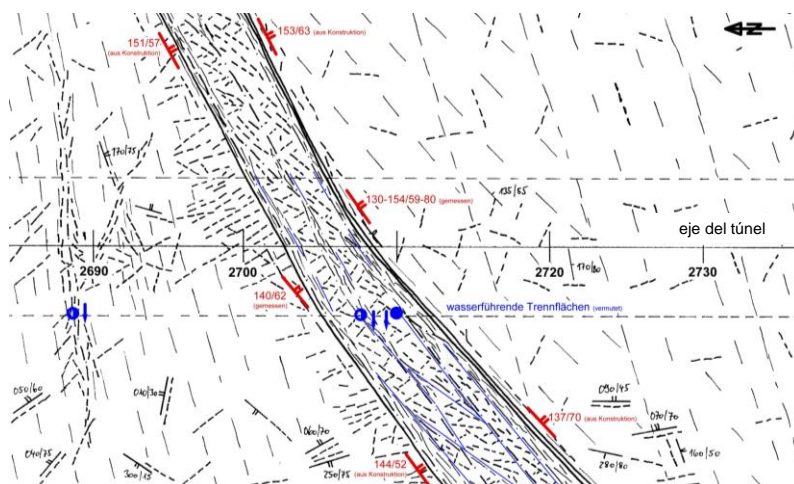


50 Lombardi SA Ingenieros Consultores, 17 de Abril de 2013

PPT 1

5. Inyecciones

Diseño de las medidas y ejecución – Zona perturbada 44 – Levantamiento geológico

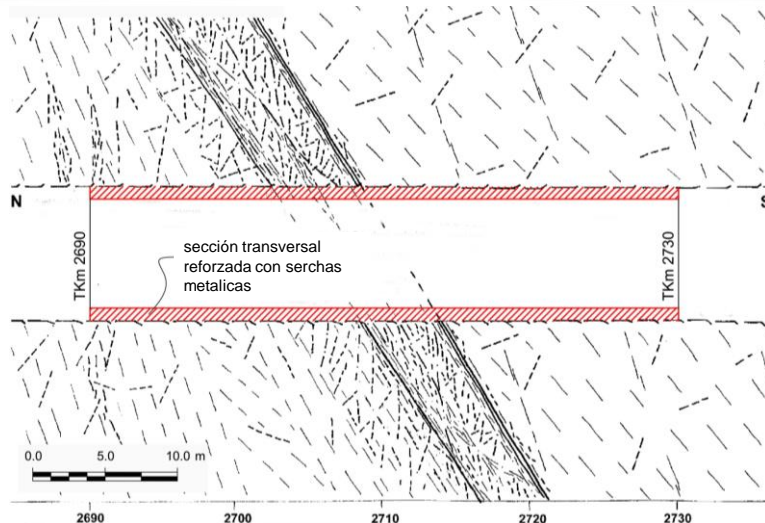


51 Lombardi SA Ingenieros Consultores, 17 de Abril de 2013

PPT 1

5. Inyecciones

Diseño de las medidas y ejecución - Impermeabilización de la zona perturbada 44 – Phase 1

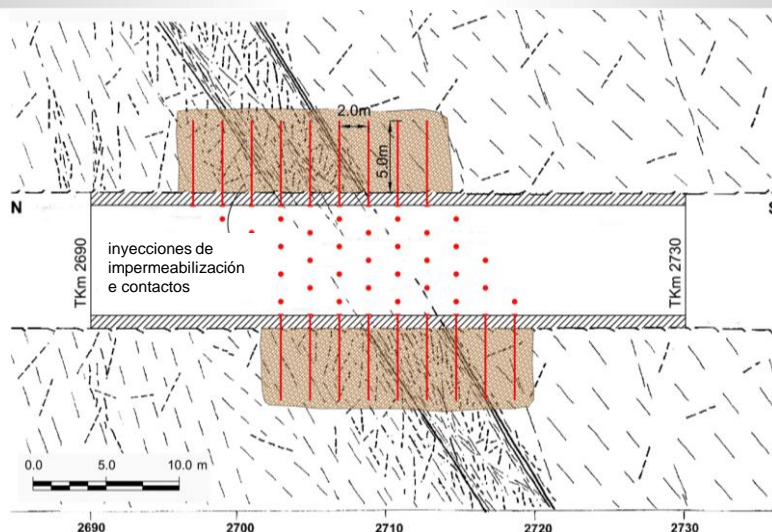


52 Lombardi SA Ingenieros Consultores, 17 de Abril de 2013

PPT 1

5. Inyecciones

Diseño de las medidas y ejecución - Impermeabilización de la zona perturbada 44 – Phase 2

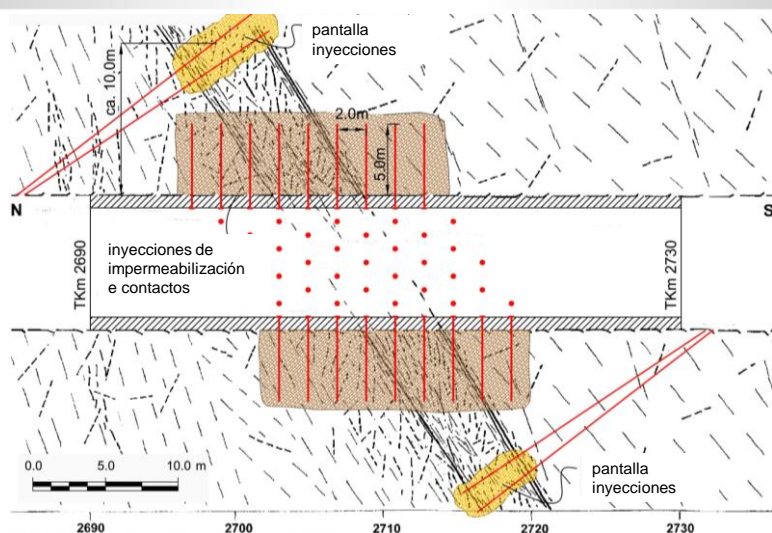


53 Lombardi SA Ingenieros Consultores, 17 de Abril de 2013

PPT 1

5. Inyecciones

Diseño de las medidas y ejecución - Impermeabilización de la zona perturbada 44 – Phase 3



54 Lombardi SA Ingenieros Consultores, 17 de Abril de 2013

PPT 1

5. Inyecciones

Después del cierre de las perforaciones para drenajes (Situación 02/07)



55 Lombardi SA Ingenieros Consultores, 17 de Abril de 2013

PPT 1

6. Conclusiones generales

- En un macizo rocoso como para un suelo el drenaje conlleva deformaciones superficiales. (Generalización de Terzaghi)
- El fenómeno puede ser de amplitudes significativas para túneles profundos (cobertura > 500-600 m)
- La entidad de las deformaciones depende en forma substancial de la cantidad de agua contenida en el macizo.

56 Lombardi SA Ingenieros Consultores, 17 de Abril de 2013

PPT 1

6. Conclusiones generales

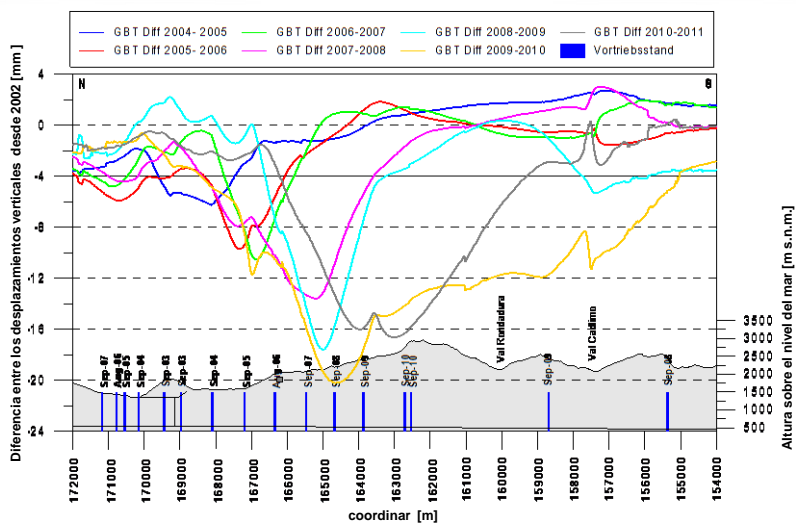
- En la análisis del comportamiento deformativo de un macizo rocoso en grande escala, el aporte de la fracturación es determinante. El modelo FES intenta una simulación de dichos fenómenos.
- La calibración de los parámetros determinantes (permeabilidad, porosidad y recarga de la falda) son particularmente difíciles.

6. Conclusiones generales

Gracias por su atención

1.Situación: Túnel de base de San Gotardo

Diferencia entre los desplazamientos verticales 2010-2011

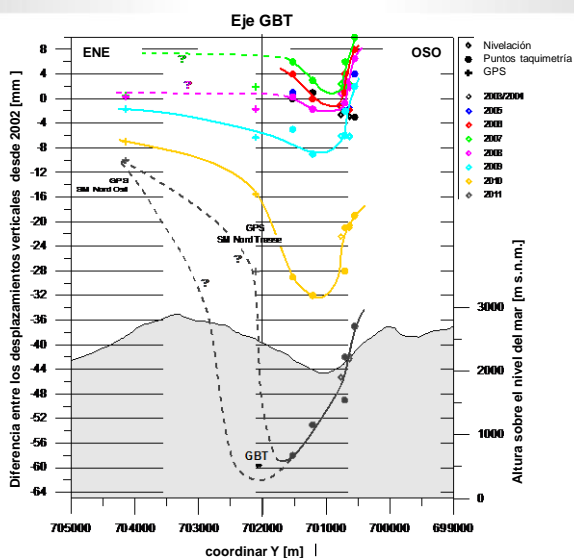


59 Lombardi SA Ingenieros Consultores, 17 de Abril de 2013

PPT 1

1.Situación: Túnel de base de San Gotardo

Desplazamientos verticales Presa Nalps Sur hasta 2011



60 Lombardi SA Ingenieros Consultores, 17 de Abril de 2013

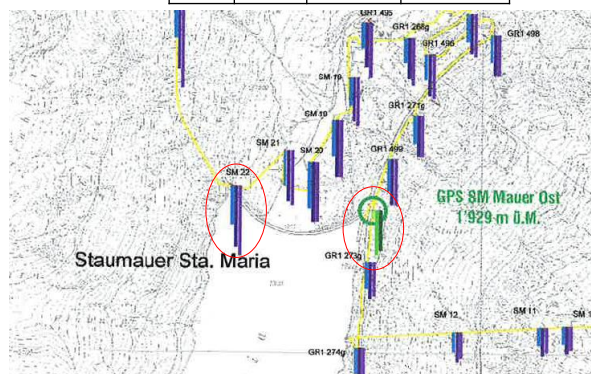
PPT 1

2. Presas afectadas – Sta. Maria

Levantamiento superficial - Nivelación

Nivelación de la presa

Año	Oeste [mm]	Este [mm]	$\Delta_{\text{Oeste-Este}}$ [mm]
2010	8	2	6
2011	13	10	3
2012	15	9	6



61 LombaLombardi AG Ingenieros Consultores, 17. Abril 2013



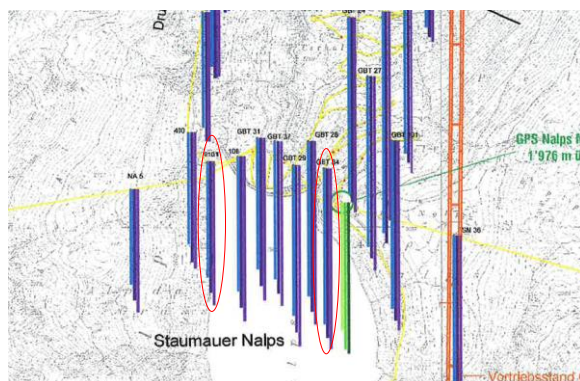
PPT 1

2. Presas afectadas – Nalps

Levantamiento superficial - Nivelación

Nivelación de la presa

Año	Oeste [mm]	Este [mm]	$\Delta_{\text{Oeste-Este}}$ [mm]
2010	35	41	- 6
2011	39	44	- 5
2012	43	47	- 4



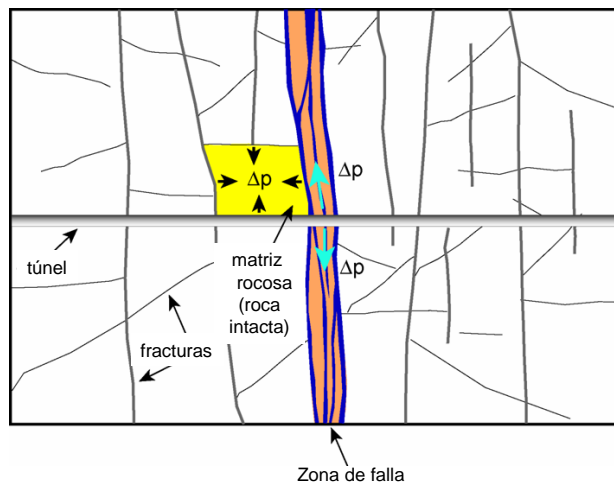
62 LombaLombardi AG Ingenieros Consultores, 17. Abril 2013



PPT 1

3. Fenómenos básicos

Mecanismo de deformación



Zangerl 2003

63 Lombardi SA Ingenieros Consultores, 17 de Abril de 2013

PPT 1

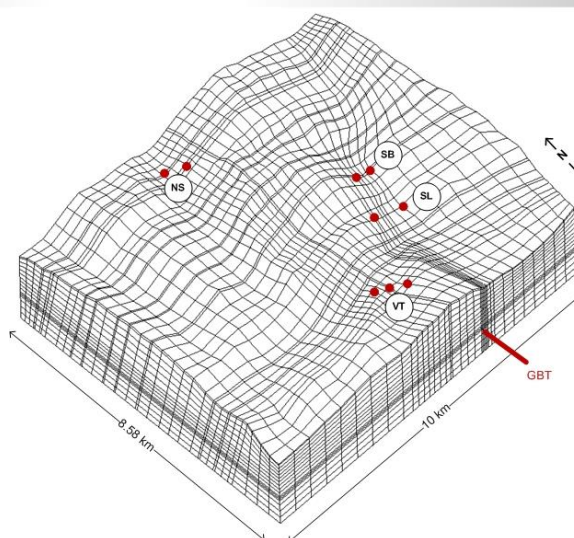
4. Cálculos / Análisis (FES)

Modelo geométrico de la presa Sta. Maria

Secciones de cálculo

- VT Val Termine
- SL Sta. Maria lago
- SB Presa Sta. Maria
- NS Nalps South

elementos: 23'564
nodos : 26'598



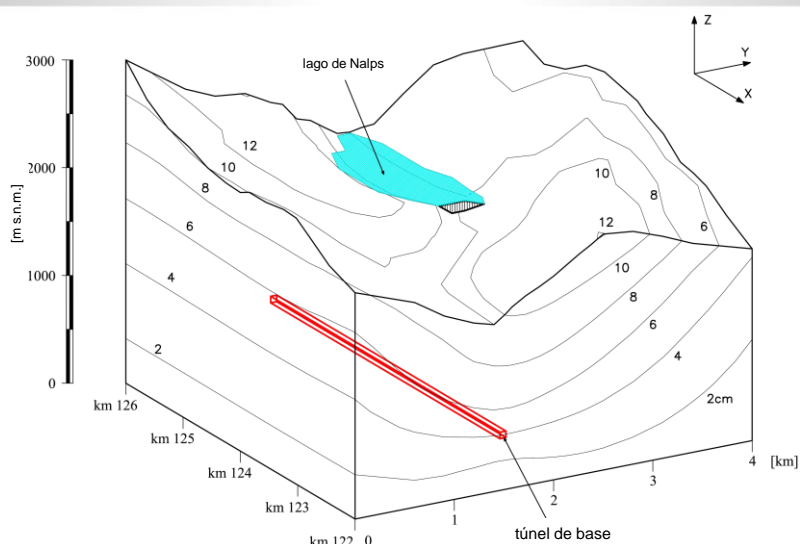
64 Lombardi AG Ingenieros Consultores, 17. Abril 2013



PPT 1

4. Cálculos / Análisis (FES)

Ejemplos de asentamientos verticales cerca de la presa Nalps



65 Lombardi SA Ingenieros Consultores, 17 de Abril de 2013

PPT 1

5. Inyecciones

Parameters Controlling Surface Deformations

Parámetros preliminares:

Filtración neta de poros, ΔV_N

Coefficiente de Biot por las Fracturas y la Matriz, $\alpha_{f,M}$

Parámetros secundarios:

Variación de la presión entre los poros (extensión, magnitud)

Rigidez de la fractura & Resistencia de corte

Porosidad de las fracturas y de la matriz

Rigidez de la matriz y coeficiente de Poisson

Parámetros terciarios:

Transmissividad de las zonas de falla

Absorción específica del macizo y caudal específico

Recarga de la napa freática & Otras condiciones de borde

66 Lombardi SA Ingenieros Consultores, 17 de Abril de 2013

PPT 1