



**GEOCISA**

# **VERSOS16: 'V CONGRESO INTERNACIONAL SOBRE MEJORES TECNOLOGÍAS DISPONIBLES (MTD) EN VERTEDEROS, SUELOS CONTAMINADOS Y GESTIÓN DE RESIDUOS'.**

## **TÉCNICAS DE AUSCULTACIÓN DE DEPÓSITOS CONTROLADOS DE RESIDUOS: EQUIPOS, PLANES DE SEGUIMIENTO Y EJEMPLOS**

Alfredo Álvarez Gutiérrez

*Ingeniero de Caminos*

Jefe de la División de Actuaciones Ambientales

Servicio Técnico e I+D+i

Javier Alonso Vázquez

*Ingeniero Agrónomo*

Técnico de la División de Actuaciones Ambientales

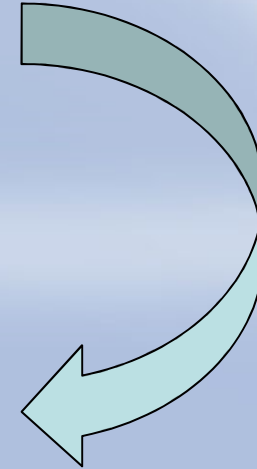
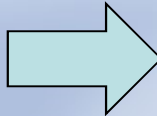
Servicio Técnico e I+D+i

## ¿Que es la auscultación geotécnica ?

- ❑ La auscultación geotécnica es la rama de la ingeniería civil que trata de medir y evaluar la respuesta del terreno o materiales ante determinadas variaciones en las condiciones de su entorno, las cuales pueden ser debidas a fenómenos naturales o a la acción del hombre (ejecución de obras o construcción de infraestructuras, o fases de explotación por ejemplo).
- ❑ Se fundamenta en la observación, la toma de datos y su posterior análisis.
- ❑ Permite, en función del número y fiabilidad de los datos, hacer predicciones de comportamientos del terreno o materiales, diseñar planes de actuación y el seguimiento de su explotación en función de los mismos.

# 1. INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS DE LOS SISTEMAS DE AUSCULTACIÓN

**AUSCULTACIÓN  
Y CONTROL  
TÉCNICO**



## FINALIDADES DE LA IMPLANTACIÓN DE UN SISTEMA DE AUSCULTACIÓN



## DESARROLLO DE UN PROYECTO / PLAN DE AUSCULTACIÓN



## PROYECTO / PLAN DE AUSCULTACIÓN

- ❑ MAGNITUDES A CONTROLAR
- ❑ SELECCIONAR LOS EQUIPOS ESPECÍFICOS QUE MEJOR SE ADAPTEN A LAS NECESIDADES DEL EMPLAZAMIENTO (CIMENTACIÓN, TALUDES, FASES Y/O ELEMENTOS) A ESTUDIAR, ASI COMO A LOS MATERIALES DONDE SE INSTALEN.
- ❑ DISEÑAR SU LOCALIZACIÓN, NÚMERO Y PROFUNDIDAD DE ANCLAJE O MEDIDA.
- ❑ DEFINIR METODOLOGÍA DE INSTALACIÓN Y LECTURA, Y LA FRECUENCIA.
- ❑ DEFINIR METODOLOGÍA DE PROCESO Y PRESENTACIÓN DE LOS DATOS OBTENIDOS.
- ❑ ANÁLISIS DE RESULTADOS: UMBRALES DE ALARMA.
- ❑ PROTOCOLO DE MANEJO Y GESTIÓN DE INFORMACIÓN.

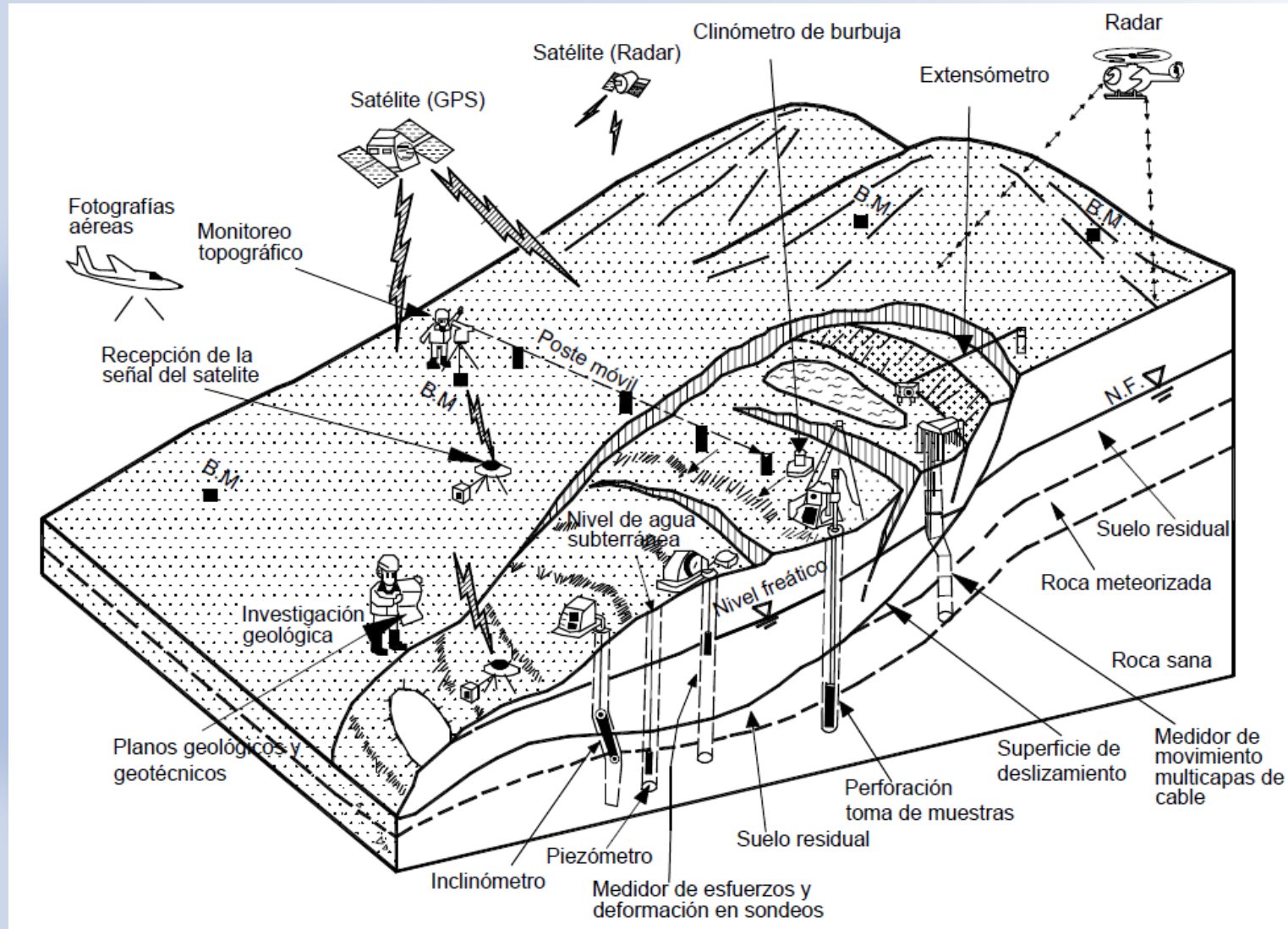
**2. MAGNITUDES A MEDIR.  
EQUIPOS Y ELEMENTOS DE  
INSTRUMENTACIÓN EMPLEADA.  
PLANIFICACIÓN DE LA RED DE  
CONTROL**



## INSTRUMENTACIÓN HABITUALMENTE EMPLEADA

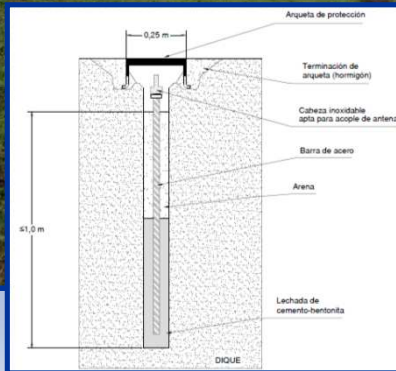
<b>MOVIMIENTOS SUPERFICIALES</b>	<i>TOPOGRAFÍA (CONVENCIONAL Y AUTOMATIZADA)</i>
	<i>GPS</i>
	<i>EXTENSÓMETROS SUPERFICIALES</i>
	<i>FISURÓMETROS</i>
	<i>CLINÓMETROS</i>
	<i>ELECTRONIVELES</i>
	<i>LIDAR / DRONES</i>
	<i>IMÁGENES DE SATÉLITE</i>
<b>MOVIMIENTOS PROFUNDOS</b>	<i>INCLINÓMETROS (CONVENCIONALES E INPLACE)</i>
	<i>EXTENSÓMETROS DE VARILLA</i>
	<i>EXTENSÓMETROS DE CABLE</i>
	<i>EXTENSÓMETROS DE ANILLOS MAGNÉTICOS</i>
	<i>EXTENSÓMETROS INCREMENTALES</i>
	<i>INTERFEROMETRÍA</i>
<b>NIVELES DE AGUA</b>	<i>PIEZÓMETROS RANURADOS</i>
	<i>PIEZÓMETROS CUERDA VIBRANTE</i>
	<i>PIEZÓMETROS DE CASAGRANDE</i>
<b>TENSIONES Y EMPUJES</b>	<i>CÉLULAS DE PRESIÓN</i>
	<i>CÉLULAS DE CARGA</i>

## INSTRUMENTACIÓN HABITUALMENTE EMPLEADA EN DESLIZAMIENTOS



Estudio y monitoreo de deslizamientos: Análisis Geotécnico. Suarez, J.

## CONTROL DE MOVIMIENTOS VERTICALES NIVELACIÓN DE PRECISIÓN



**PRECISIÓN DEL SISTEMA: HASTA  $\pm 0,3$  mm por Km en DOBLE RECORRIDO**

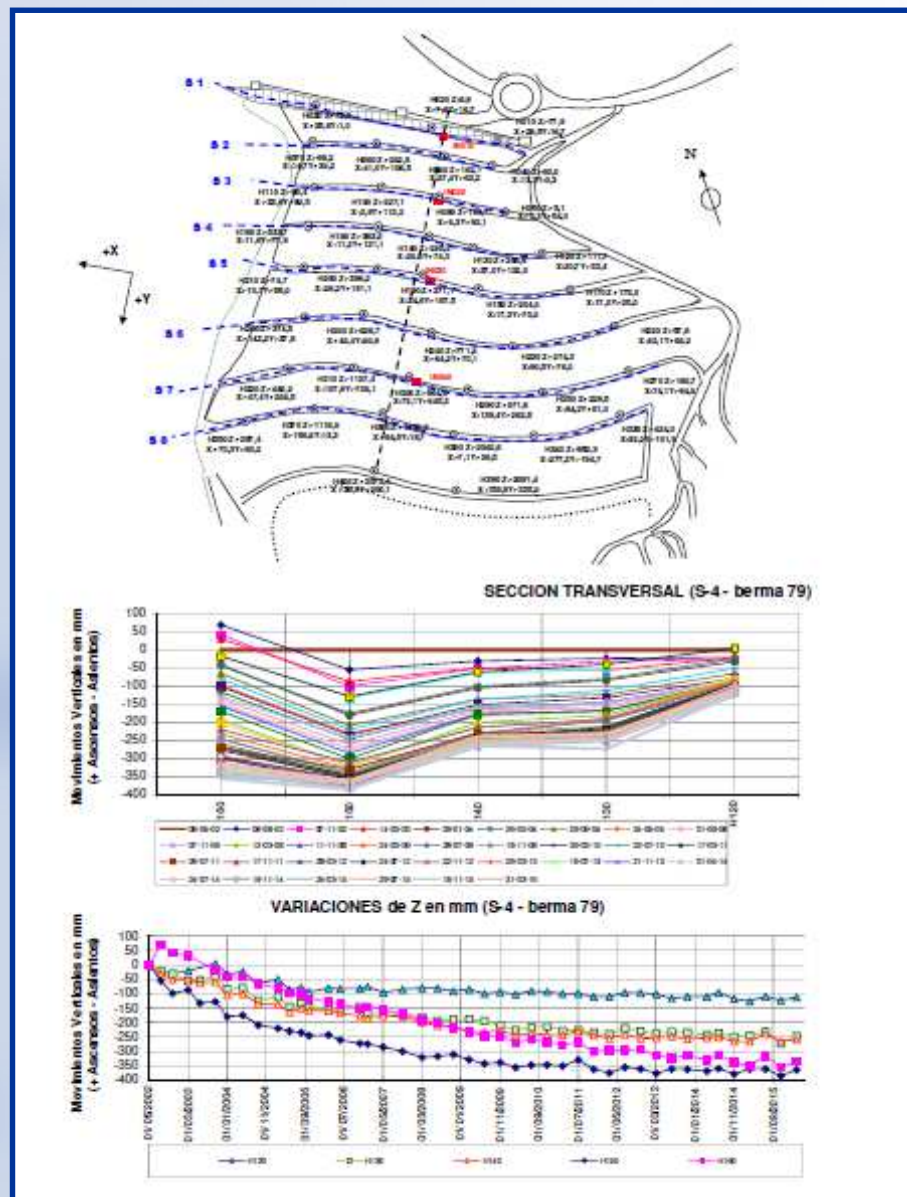
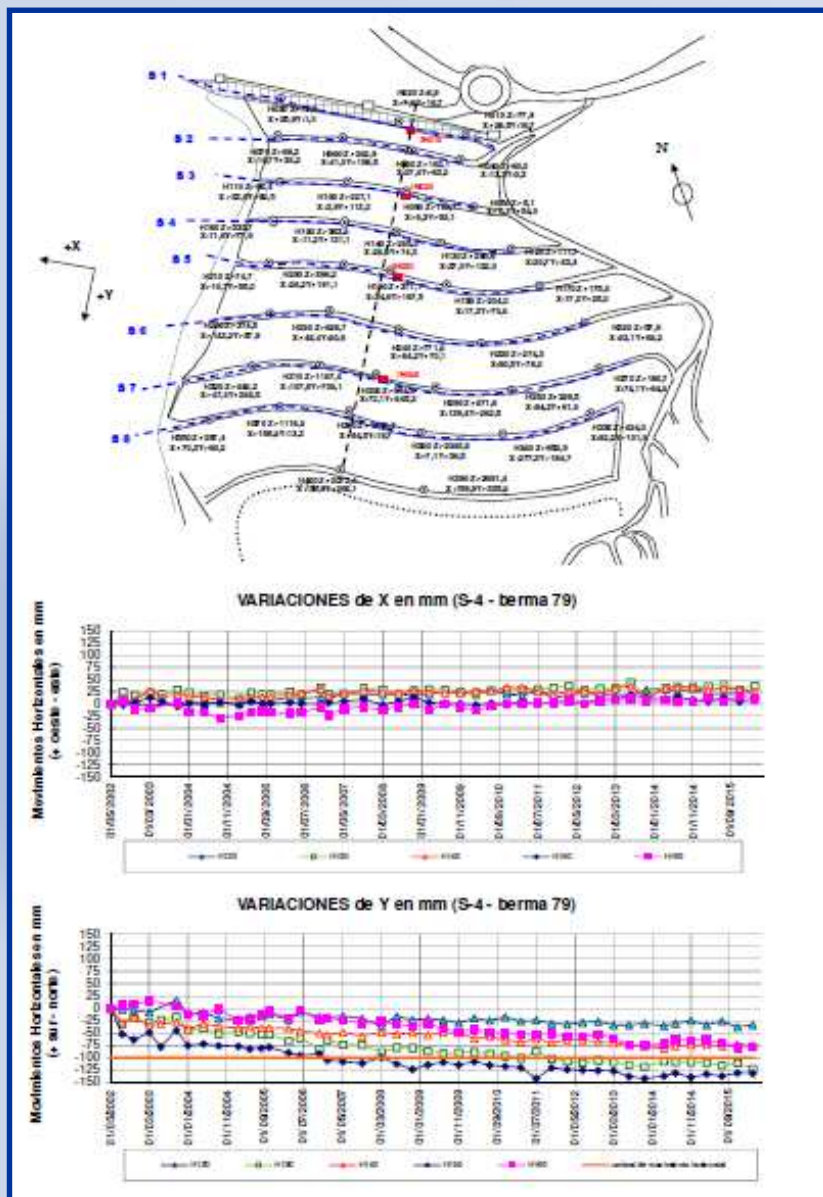
TÉCNICAS DE AUSCULTACIÓN DE DEPÓSITOS CONTROLADOS DE RESIDUOS: EQUIPOS, PLANES DE SEGUIMIENTO Y EJEMPLOS

## CONTROL DE MOVIMIENTOS XYZ GPS / ESTACIÓN TOTAL

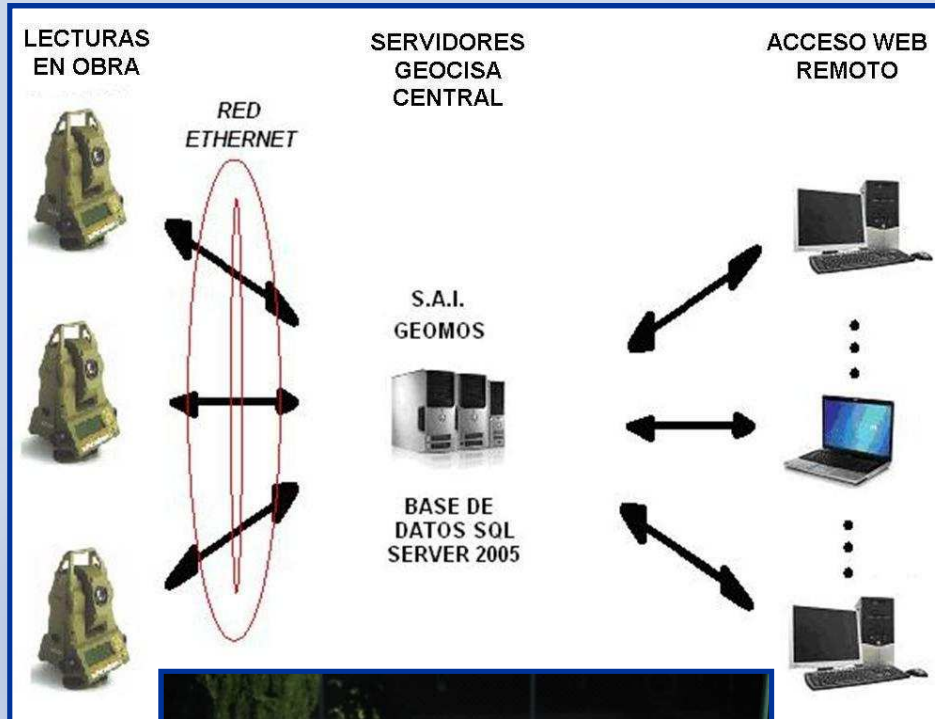


PRECISIÓN DEL SISTEMA:	
ESTACIÓN TOTAL	1 mm.
G.P.S	5-10 mm. X E Y; 10-20 mm. Z

# CONTROL DE MOVIMIENTOS XYZ GRÁFICO SEGUIMIENTO

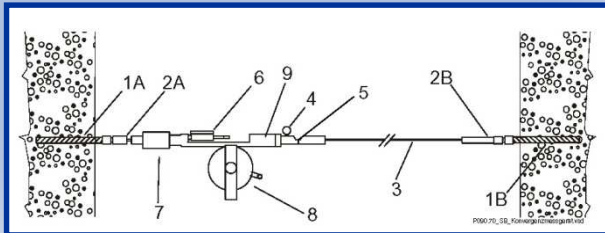


## CONTROL DE MOVIMIENTOS XYZ ESTACIÓN TOTAL ROBOTIZADA



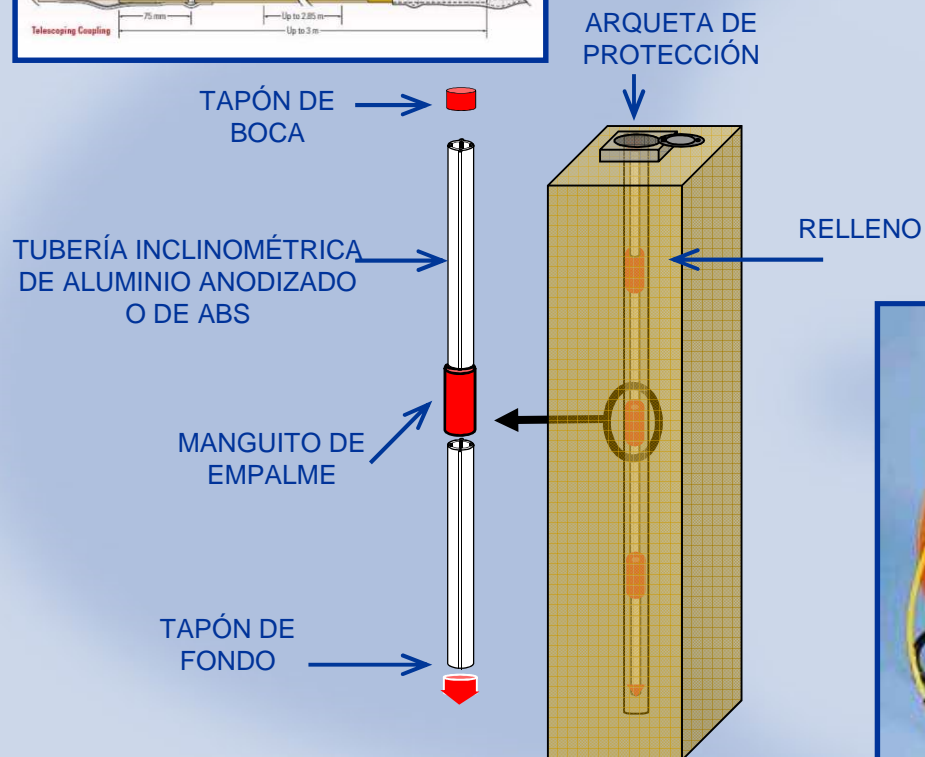
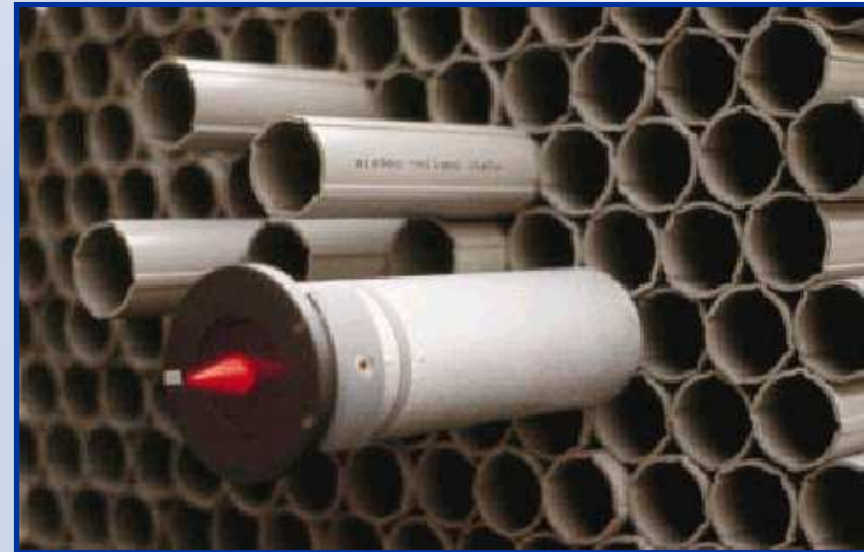
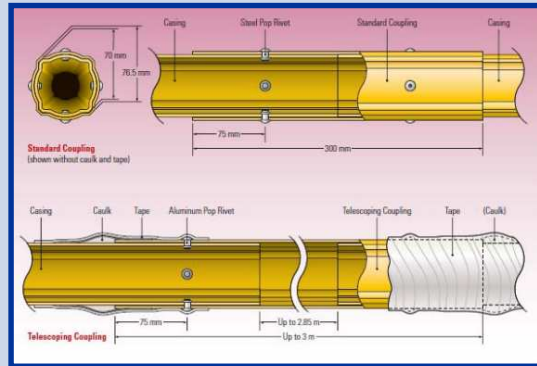
## CONTROL DE MOVIMIENTOS SUPERFICIALES

### CONVERGENCIAS



RANGO DE MEDIDA: Hasta 50 m  
PRECISIÓN DEL SISTEMA:  $\pm 0,1$  mm

# CONTROL DE MOVIMIENTOS HORIZONTALES INCLINÓMETROS

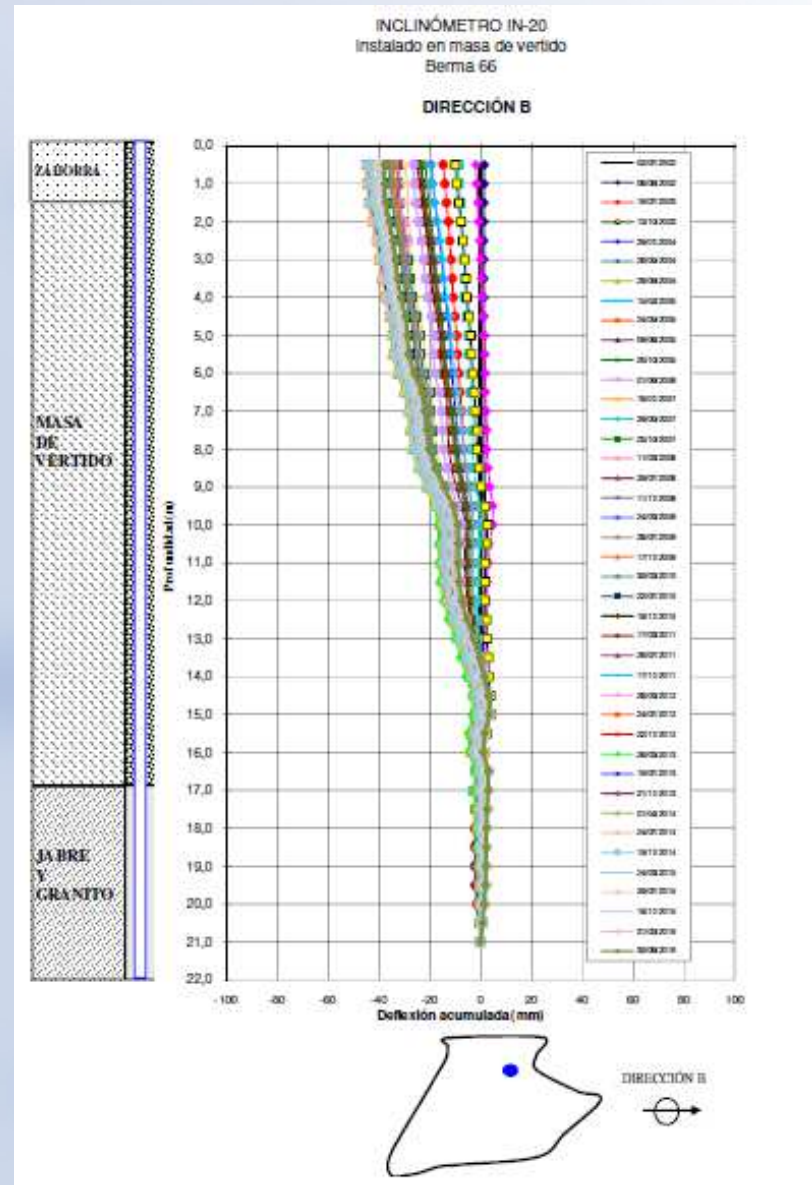
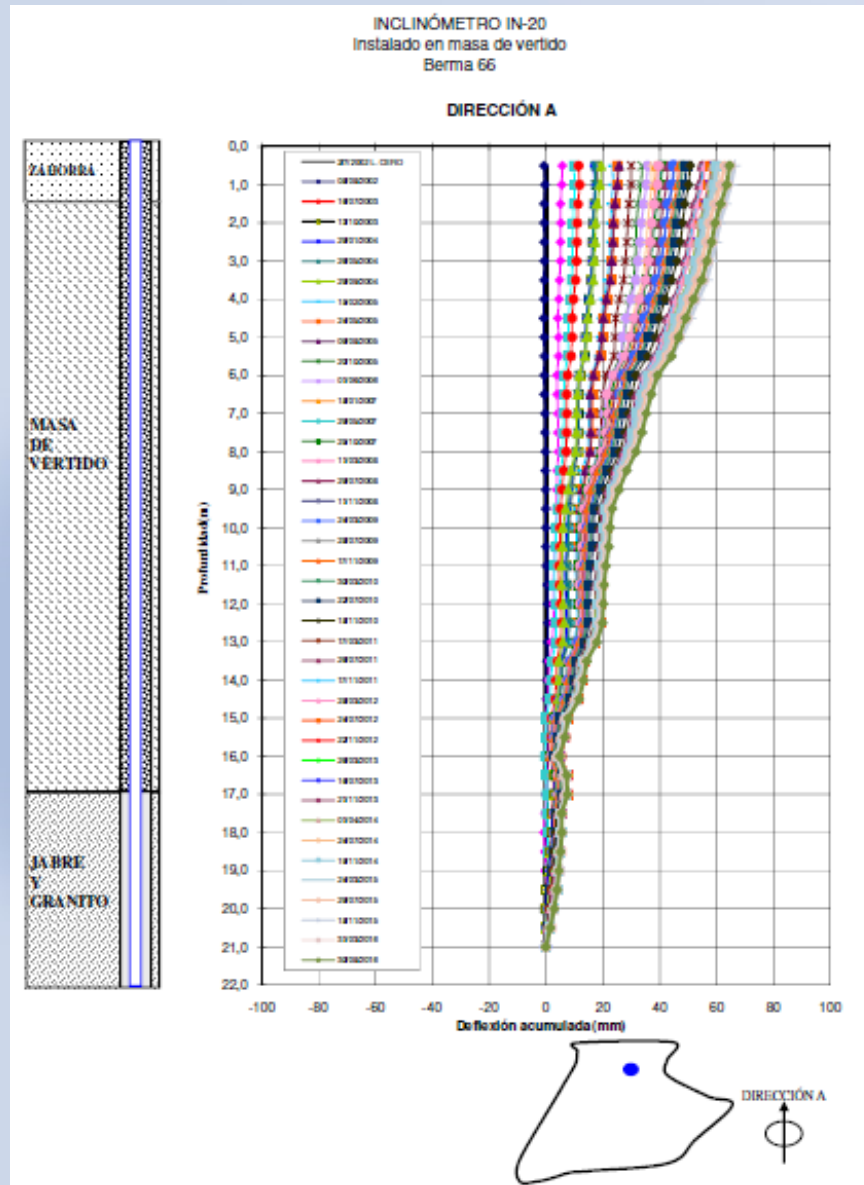


RANGO DE MEDIDA:  $\pm 53^\circ$  Respecto a la Vertical  
PRECISIÓN DEL SISTEMA: HASTA  $\pm 2$  mm cada 25 m

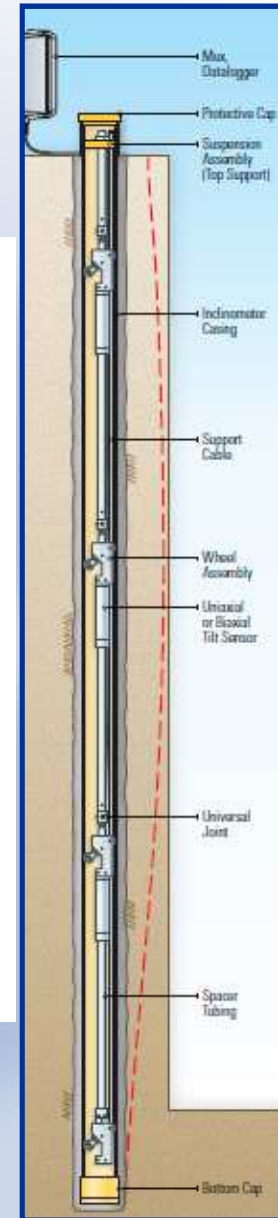
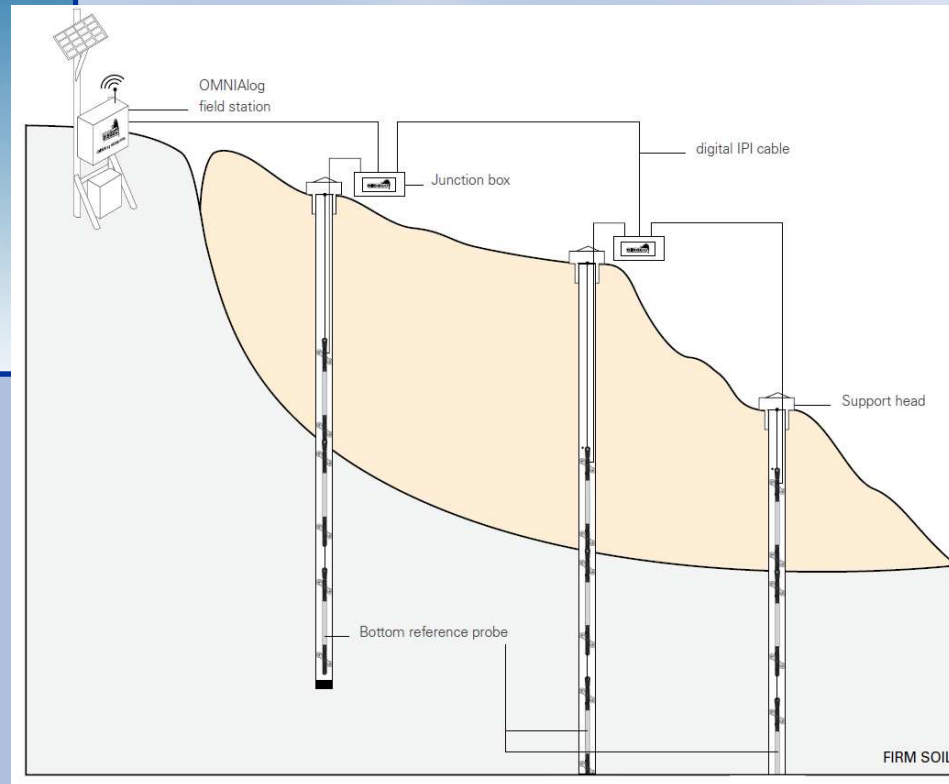




# CONTROL DE MOVIMIENTOS HORIZONTALES GRÁFICO SEGUIMIENTO INCLINÓMETRO

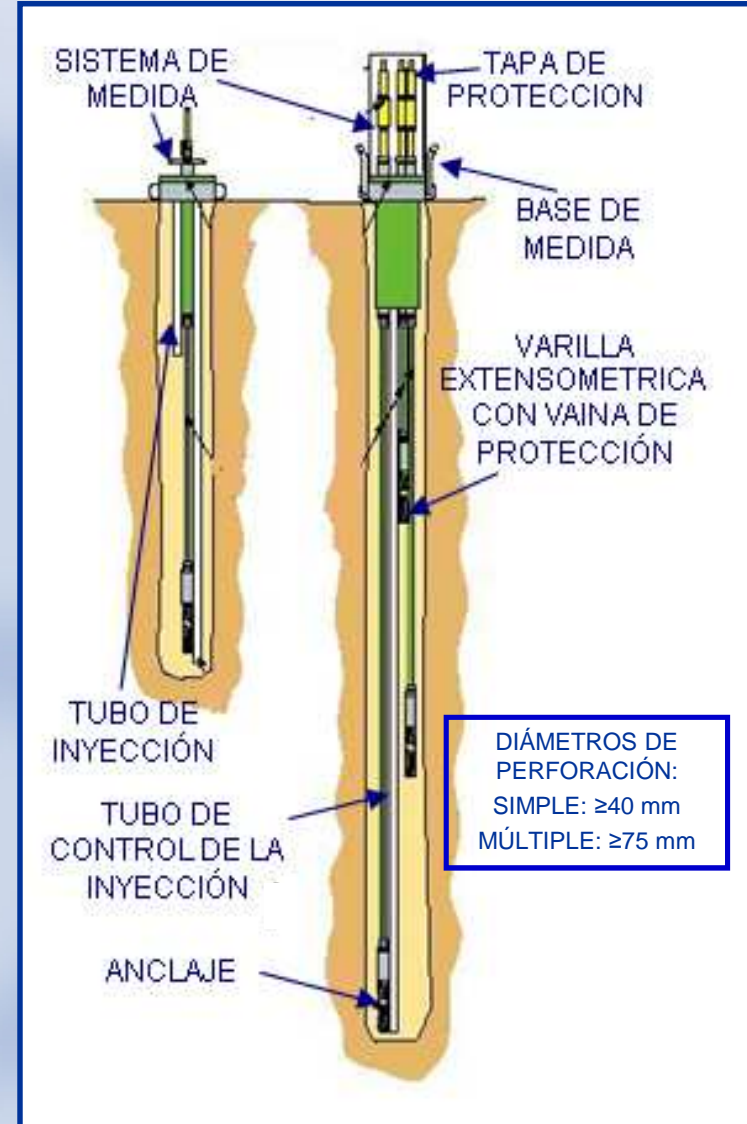


# CONTROL DE MOVIMIENTOS HORIZONTALES INCLINÓMETRO IN PLACE

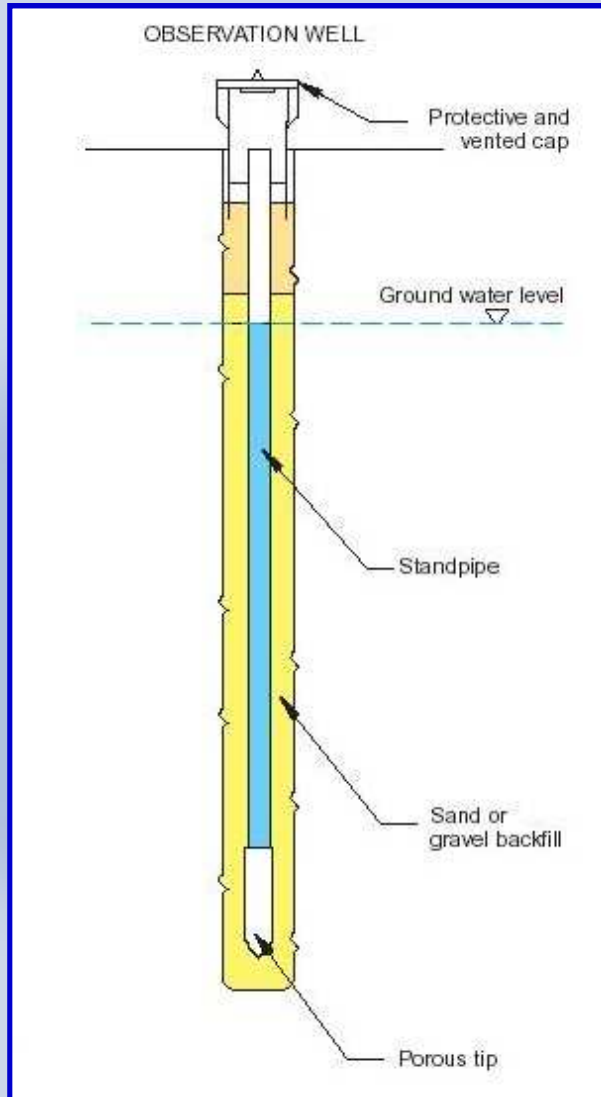


RANGO DE MEDIDA:  $\pm 10^\circ - \pm 30^\circ$  respecto a la vertical  
PRECISIÓN DEL SISTEMA: HASTA  $\pm 0,05$  mm/m

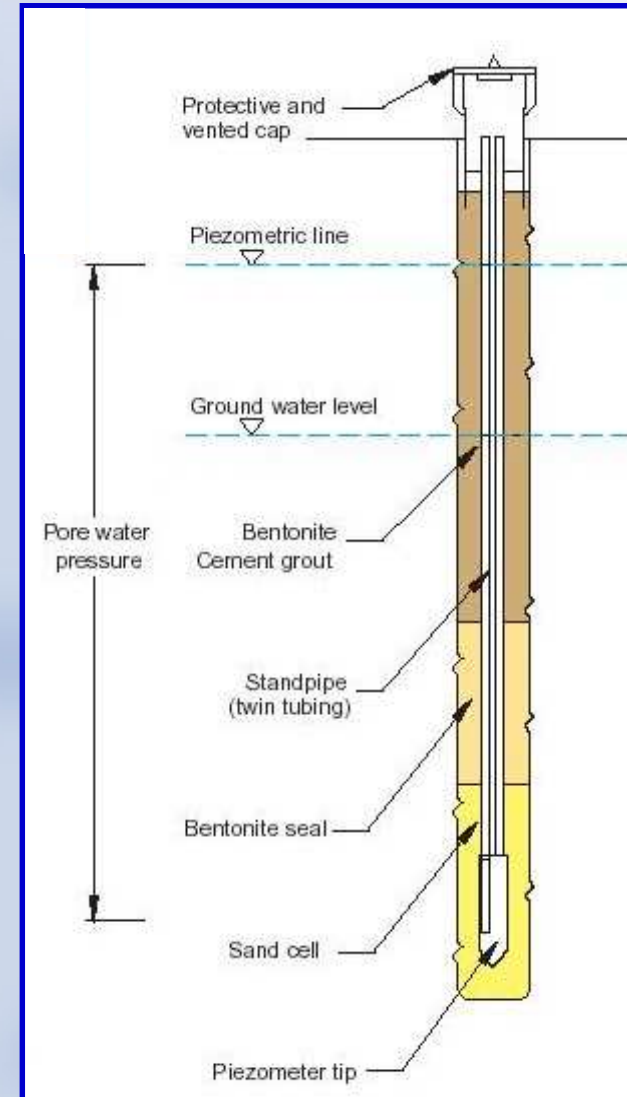
# CONTROL DE MOVIMIENTOS EN PROFUNDIDAD EXTENSÓMETRO DE VARILLAS



## CONTROL DE NIVEL DE AGUA / LIXIVIADOS PIEZÓMETROS RANURADOS Y DE CASAGRANDE



POZO DE OBSERVACIÓN



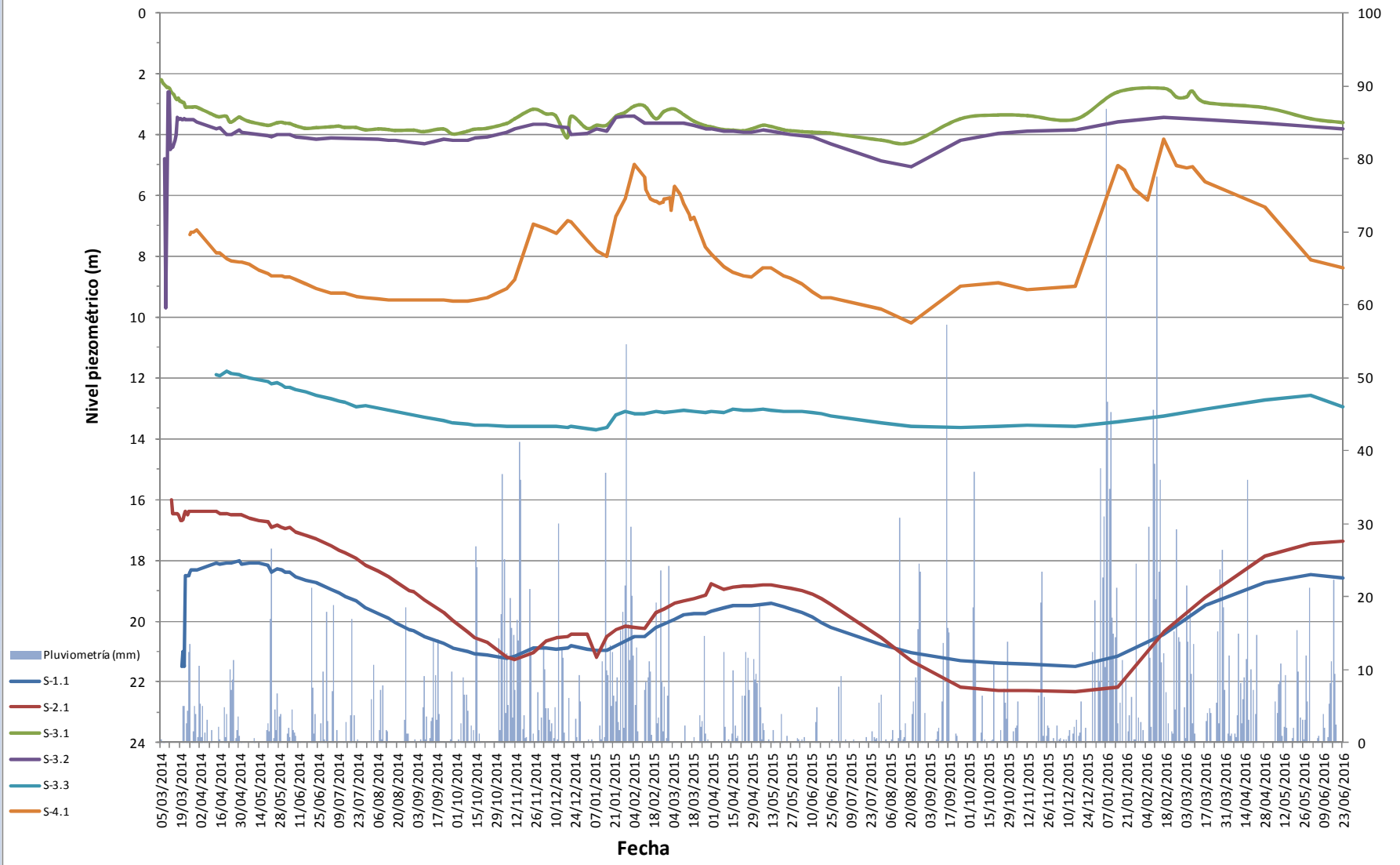
PIEZÓMETRO DE CASAGRANDE

# CONTROL DE AGUA / LIXIVIADOS

## GRÁFICO SEGUIMIENTO PIEZOMÉTRICO



Evolución de niveles piezométricos en puntos de control

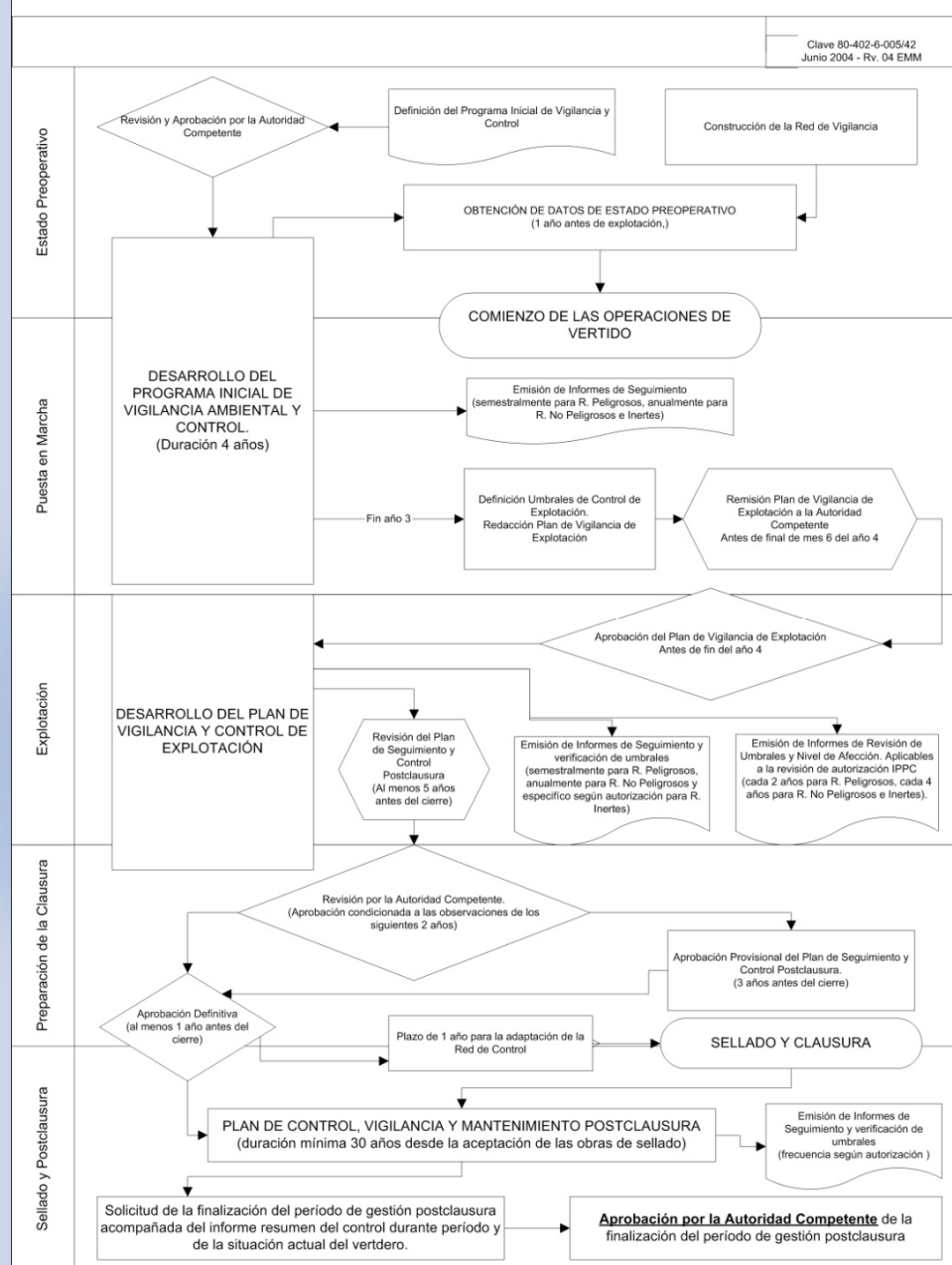


### **3. SEGUIMIENTO DE LA INSTRUMENTACIÓN E INTERPRETACIÓN**

# SEGUIMIENTO DE LA INSTRUMENTACIÓN



DIAGRAMA III-1. : FASES DE IMPLANTACIÓN DEL PROGRAMA DE CONTROL



DESARROLLO TÉCNICO DEL REAL DECRETO 1481/2001 (ANEXOS I y III). Rv. 09. DOCUMENTO DE TRABAJO

Las fases de aplicación del Plan de Vigilancia y Control del Vertedero serán:

- *Construcción de la Red de Vigilancia.*
- *Obtención de Datos Preoperativos*
- *Programa Inicial de Vigilancia y Control*
- *Plan de Vigilancia y Control de Explotación*
- *Plan de Control, Vigilancia y Mantenimiento Posterior a la clausura.*

A título indicativo, las fases del Plan de Vigilancia y Control del vertedero serán las reflejadas en el Diagrama III-1.

## SEGUIMIENTO DE LA INSTRUMENTACIÓN

- ❑ Los seguimientos deben prolongarse durante el **tiempo necesario** y ser **continuos**:
  - Intentar tener el estado preoperacional, antes de inicio de trabajos o la actividad. Incluso obras de construcción.
  - Durante toda la explotación y durante el periodo de postclausura (mínimo 30 años)
- ❑ No disminuir la periodicidad hasta **tener datos suficientes** y una **información fiable** que permita poder **predecir** futuros **comportamientos**.
- ❑ Frecuencia de las lecturas: Inicialmente se puede seguir lo recogido en el DESARROLLO TÉCNICO DEL REAL DECRETO 1481/2001 (ANEXOS I y III). Rv. 09. DOCUMENTO DE TRABAJO y siempre contando con la aprobación de Administración Competente.

Pueden llegar a requerirse medidas muy frecuentes (incluso diarias), dependiendo de la situación de riesgo.



## SEGUIMIENTO DE LA INSTRUMENTACIÓN

- Frecuencia de seguimiento recogido en el **DESARROLLO TÉCNICO DEL REAL DECRETO 1481/2001 (ANEXOS I y III). Rv. 09. DOCUMENTO DE TRABAJO .**

CUADRO 3.1. Vertederos de Residuos Inertes.

FACTOR	ACCIÓN	FRECUENCIA MÍNIMA	
		FASE EXPLOTACIÓN	FASE POSTCLAUSURA
Control de topografía de la zona. Datos sobre el vaso de vertido y asentamientos	Frecuencia de Control de Asientos y Subsidiencias	Semestral	Semestral
	Frecuencia de Movimientos horizontales de la masa de residuos	De acuerdo a la autorización	De acuerdo a la autorización
	Frecuencia de Reconocimientos e inspecciones de grietas, hundimientos y erosiones.	Mensual	Trimestral
	Frecuencia de Levantamiento de la topografía , estructura y composición del vaso de vertido	Anual	---

## SEGUIMIENTO DE LA INSTRUMENTACIÓN

- Frecuencia de seguimiento recogida en el **DESARROLLO TÉCNICO DEL REAL DECRETO 1481/2001 (ANEXOS I y III). Rv. 09. DOCUMENTO DE TRABAJO .**

CUADRO 3.2. Vertederos de Residuos No Peligrosos.

FACTOR	ACCIÓN	FRECUENCIA MINIMA	
		FASE EXPLOTACIÓN	FASE POSTCLAUSURA
Control de topografía de la zona. Datos sobre el vaso de vertido y asentamientos	Frecuencia de Control de Asientos y Subsidiencias	Trimestral	Semestral
	Movimientos horizontales en el caso de R. No Biodegradables	Semestral	Semestral
	Movimientos horizontales en el caso de R. Biodegradables	Trimestral	Semestral
	Reconocimientos e inspecciones de grietas, hundimientos y erosiones en el caso de R. No Biodegradables.	Mensual	Trimestral
	Reconocimientos e inspecciones de grietas, hundimientos y erosiones en el caso de R. Biodegradables.	Quincenal	Trimestral
	Levantamiento de la topografía , estructura y composición del vaso de vertido en el casos de capacidad de gestión inferior a 50.000 Tn/año	Anual	---
	Levantamiento de la topografía , estructura y composición del vaso de vertido en el caso de capacidad de gestión igual o superior a 50.000 Tn/año	Semestral	---

## SEGUIMIENTO DE LA INSTRUMENTACIÓN

- Frecuencia de seguimiento recogida en el **DESARROLLO TÉCNICO DEL REAL DECRETO 1481/2001 (ANEXOS I y III). Rv. 09. DOCUMENTO DE TRABAJO .**

CUADRO 3.3. Vertederos de Residuos Peligrosos

FACTOR	ACCIÓN	FRECUENCIA MINIMA	
		FASE EXPLOTACIÓN	FASE POSTCLAUSURA
Control de topografía de la zona. Datos sobre el vaso de vertido y asentamientos	Frecuencia de Control de Asientos y Subsidiencias	Trimestral	Semestral
	Frecuencia de Movimientos horizontales de la masa de residuos	Trimestral	Semestral
	Frecuencia de Reconocimientos e inspecciones de grietas, hundimientos y erosiones.	Quincenal	Trimestral
	Frecuencia de Levantamiento de la topografía , estructura y composición del vaso de vertido	Trimestral	---

## SEGUIMIENTO DE LA INSTRUMENTACIÓN

- ❑ Se debe intensificar el seguimiento, e incluso ampliar la instrumentación instalada y/o las zonas controladas, si se detectan comportamientos anómalos o situaciones de riesgo para la instalación.
- ❑ Los seguimientos deben estar correlacionados con las obras y/o fases de explotación, así como con hitos o incidentes significativos.
- ❑ Procurar, siempre que sea posible, **mantener el equipo de seguimiento** (operarios y equipos de medida) a lo largo de toda la campaña o coordinar los cambios.
- ❑ Para poder hacer un adecuado análisis de los datos es preciso **disponer de un número mínimo de lecturas** (nunca menos de 3).
- ❑ Verificar la representatividad de los puntos fijos de referencia.

## TRATAMIENTO E INTERPRETACIÓN DE LOS DATOS

- ❑ En casos especiales, se debe disponerse de la información con rapidez suficiente para evaluar el cumplimiento de los umbrales propuestos y poder adoptar las medidas correctoras o preventivas necesarias en su caso.
- ❑ Es fundamental **reflejar los datos en gráficos, marcar los umbrales y analizar sus tendencias** de los parámetros controlados.
- ❑ **Cruzar los datos** con el seguimiento con los datos de **variables climáticas**, de **entradas de residuos**, de **generación de gases** y de **captación de lixiviados**.
- ❑ **Revisar los datos** para descartar medidas erróneas o incorrectas (fallos de lectura, error de los aparatos, alteraciones en las bases de referencia, etc.) que pueden distorsionar los comportamientos reales.
- ❑ Se deben **comparar con los umbrales propuestos** y previsiones realizadas para, en su caso, corregirlas o actualizarlas a medida que se conocen los resultados.
- ❑ Es importante analizar las velocidades de los movimientos, su dirección y controlar su evolución.

## EJEMPLOS DE UMBRALES DE ALERTA

### □ Planes de auscultación de masas de residuos

ELEMENTO O ZONA A CONTROLAR	DISPOSITIVO DE AUSCULTACIÓN	MOVIMIENTO	UMBRAL VERDE	UMBRAL ÁMBAR	UMBRAL ROJO
Diques de cierre	Hitos de nivelación	Desplazamiento horizontal	$\leq \pm 30 \text{ mm}^*$	entre $\pm 30 \text{ mm}$ y $\pm 35 \text{ mm}^*$	$\geq \pm 35 \text{ mm}^*$
		Desplazamiento vertical	$\leq \pm 20 \text{ mm}^*$	entre $\pm 20 \text{ mm}$ y $\pm 25 \text{ mm}^*$	$\geq \pm 25 \text{ mm}^*$
Bermas o taludes de residuos	Hitos de nivelación	Desplazamiento horizontal para residuos de alto grado de degradabilidad	$\leq \pm 40 \text{ mm}^{**}$	entre $\pm 40 \text{ mm}$ y $\pm 50 \text{ mm}^{**}$	$\geq \pm 50 \text{ mm}^{**}$
		Desplazamiento horizontal para residuos maduros con bajo grado de degradabilidad	$\leq \pm 1/1000 \text{ espesor}^{**}$	entre $\pm 1/1000$ y $1/800$ del espesor $^{**}$	$\geq \pm 1/800 \text{ espesor}^{**}$
		Vector movimiento H/V	$\leq 45^\circ$ con respecto a la vertical $^{**}$	entre $45^\circ$ y $47^\circ$ con respecto a la vertical $^{**}$	$\geq 47^\circ$ con respecto a la vertical $^{**}$

## DISPOSICIONES ASOCIADAS A LA SUPERACIÓN DE UMBRALES

UMBRAL DE CONTROL	MEDIDAS DE ACTUACIÓN
VERDE	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Proseguir con la frecuencia de lecturas e inspecciones establecida en el Plan de Auscultación.</li> <li>• Continuar con el plan de explotación o de ejecución de obras según lo previsto.</li> </ul>
ÁMBAR	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Incrementar la frecuencia de lecturas, evaluando la situación a partir de la velocidad de variación de los parámetros registrados.</li> <li>• Efectuar una inspección visual somera del emplazamiento.</li> <li>• Continuar con el plan de explotación o de ejecución de obras según lo previsto, estando pendiente de cualquier suceso anómalo.</li> </ul>
ROJO	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Establecer una frecuencia de lecturas y un análisis específico de la situación registrada.</li> <li>• Colocación de instrumentación complementaria si fuera preciso.</li> <li>• Valorar la necesidad de introducir medidas correctoras, diseño y ejecución de las mismas, incluso paralización de los trabajos</li> <li>• Revisión del proyecto o plan de explotación para introducir posibles modificaciones.</li> </ul>

# 4 EJEMPLOS DE INSTRUMENTACIÓN EN DEPÓSITOS CONTROLADOS DE RESIDUOS



## DEPOSITO CONTROLADO DE RESIDUOS RBBA

- ❑ Control de elemento de cierre de un depósito de residuos RBBA y de los taludes que rodean al vaso de vertido.
- ❑ Altura máxima del dique de cierre de escollera 16,00 m.

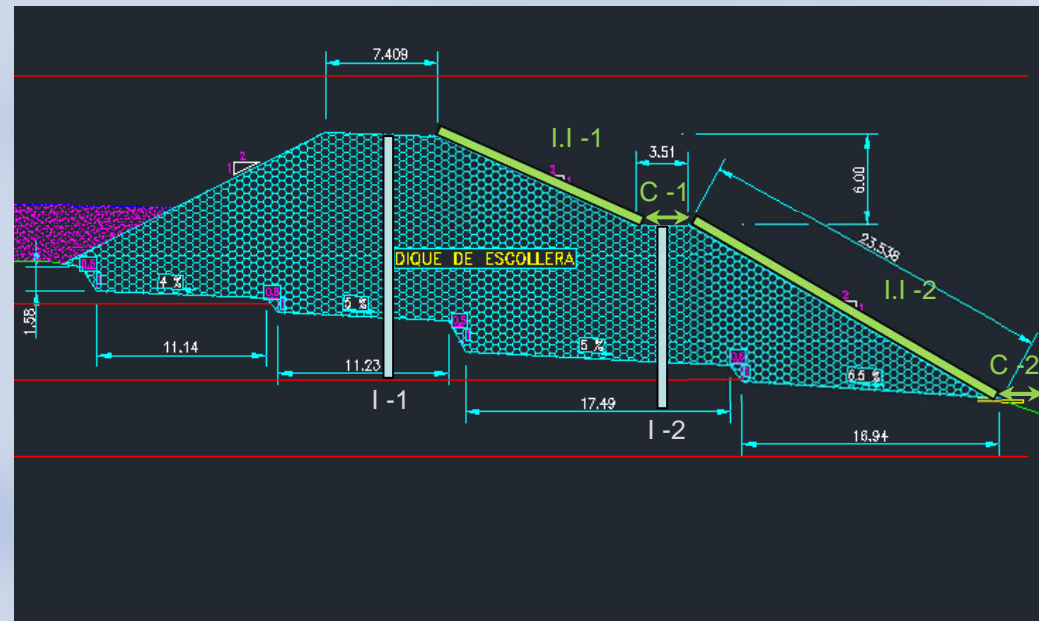


## DEPOSITO CONTROLADO DE RESIDUOS RBBA

- En 2009 se diseña un plan de auscultación para el emplazamiento. Compuesto por elementos para el:
  - Control topográfico de movimientos del vaso de explotación y dique de escollera (mediante 14 hitos de control).
  - Control de estabilidad del dique de escollera (mediante 2 inclinómetros).
  - Control de erosión en las laderas del vaso de explotación (mediante inspección visual).

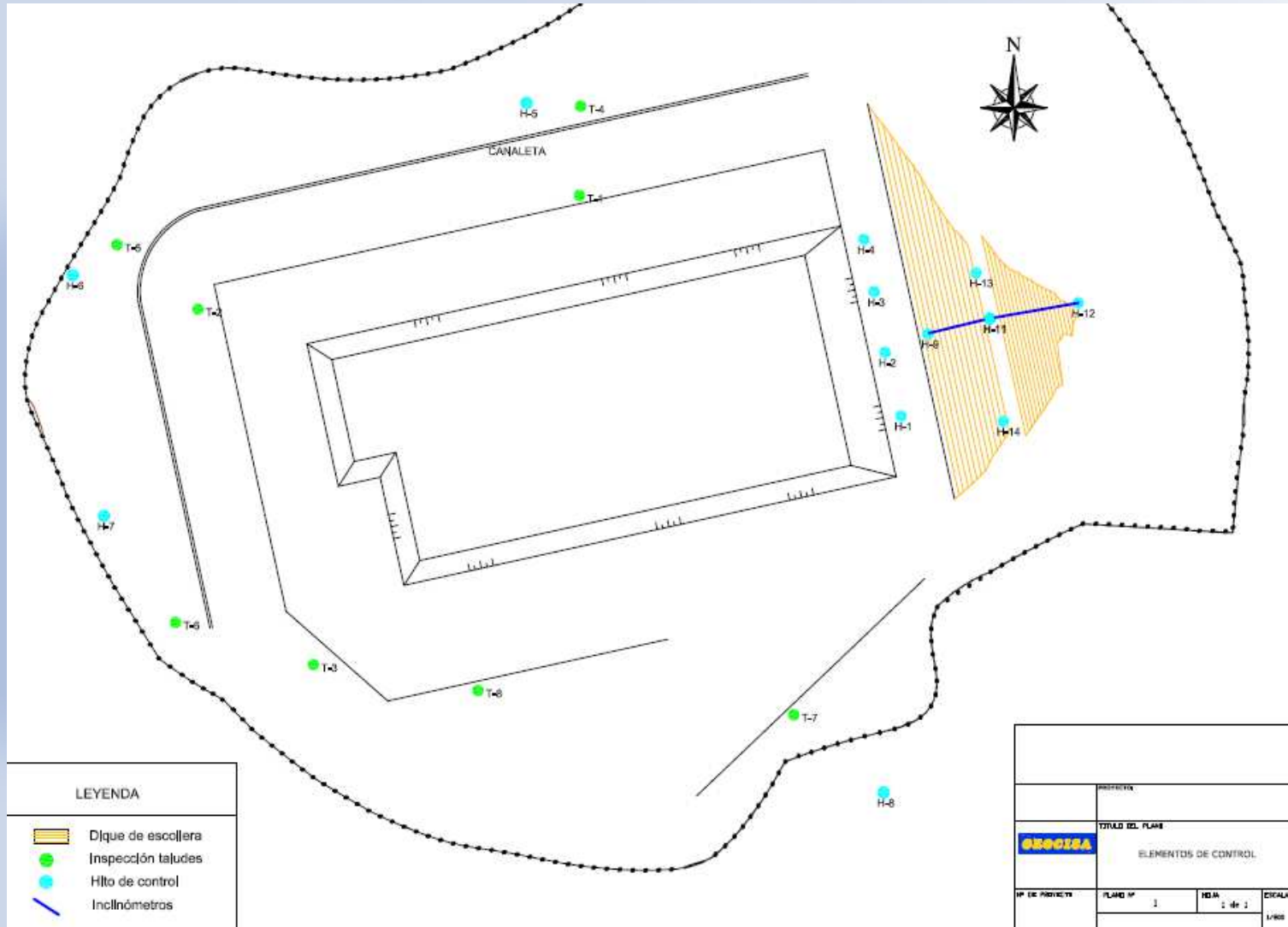
- PROBLEMAS, para la construcción de los inclinómetros en dique de escollera.

Hubo que modificar los elementos de control de estabilidad del dique de escollera (se hará mediante dos inclinómetros inclinados adosados al dique (sup. 9 m e inf. 19 m), hitos de control y pernos de convergencia).

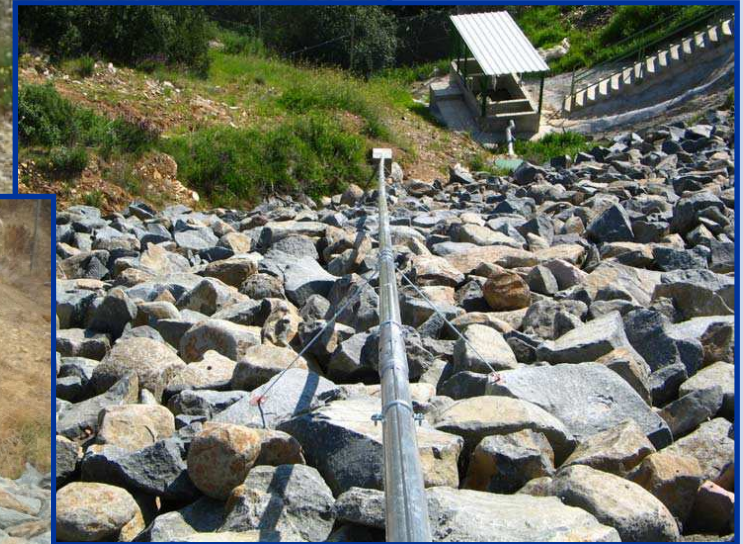


# DEPOSITO CONTROLADO DE RESIDUOS RBBA

## Situación de la instrumentación y zona a controlar

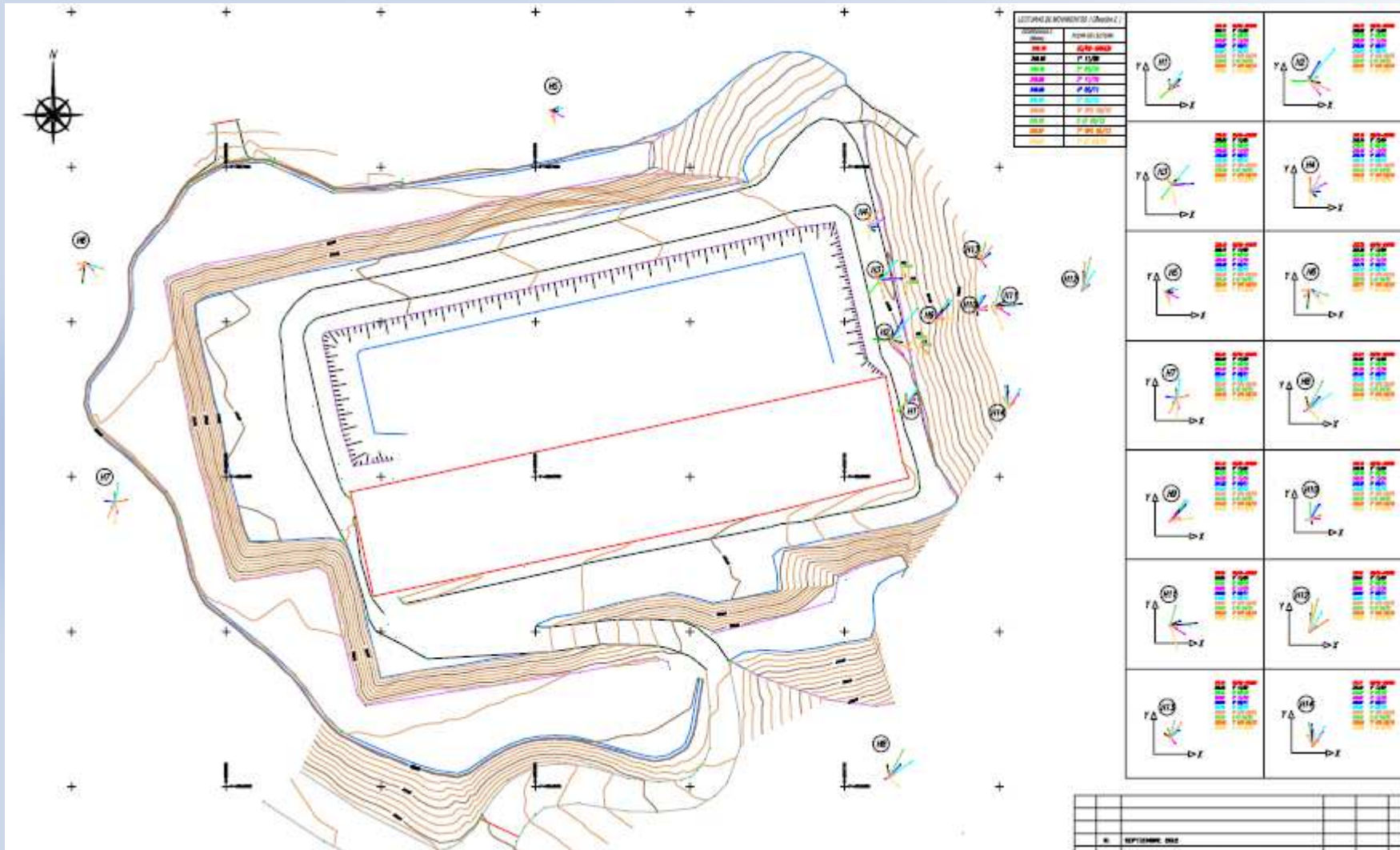


# DEPOSITO CONTROLADO DE RESIDUOS RBBA



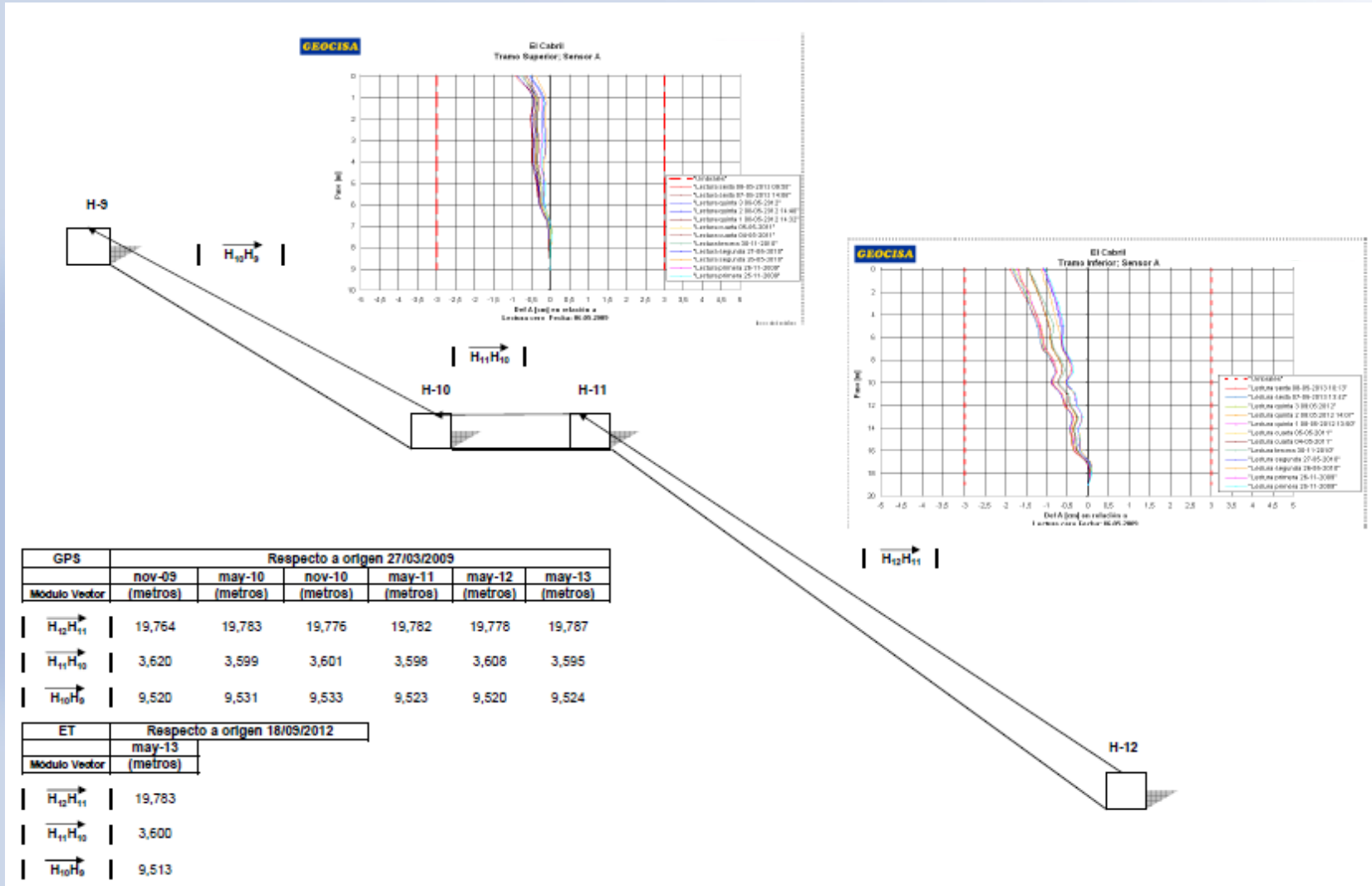
# DEPOSITO CONTROLADO DE RESIDUOS RBBA

Vectores desplazamiento en hitos de control de movimientos.



# DEPOSITO CONTROLADO DE RESIDUOS RBBA

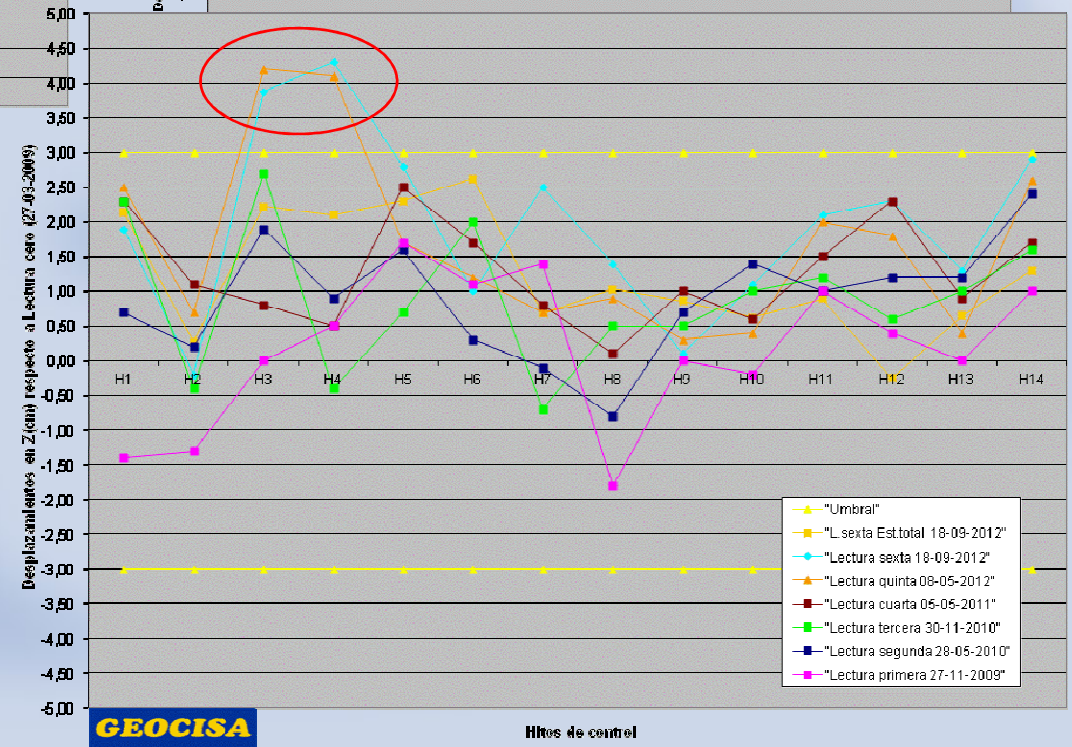
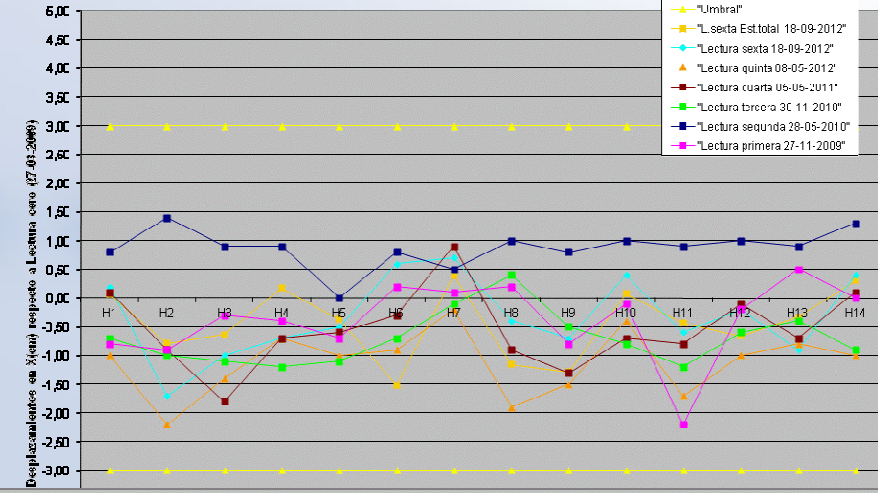
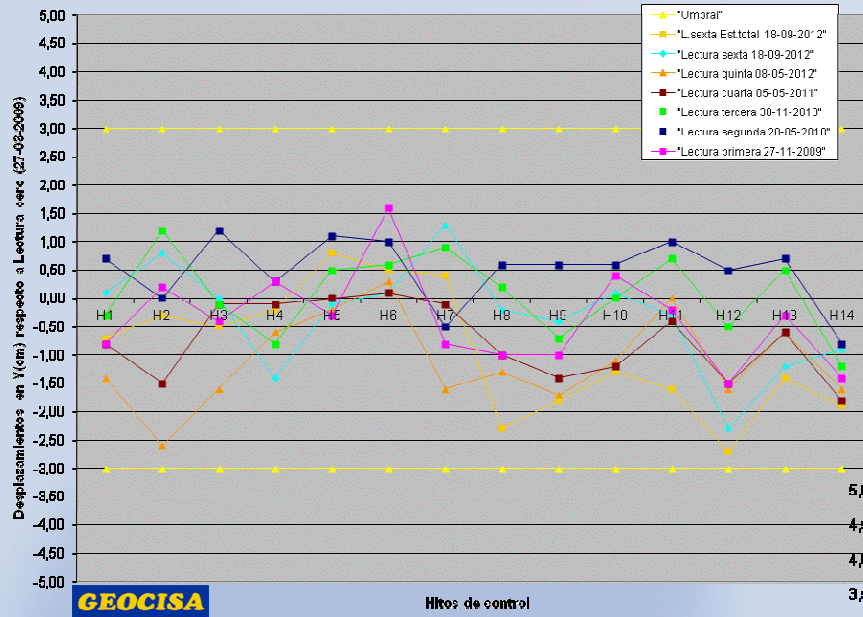
## Gráfico de la composición de la deformada del dique de cierre



# DEPOSITO CONTROLADO DE RESIDUOS RBBA



**GEOCISA**



En los controles de mayo y septiembre de 2012 los asentamientos registrados en los hitos H-3 y H-4, superan ligeramente el umbral de referencia propuesto.

## DEPOSITO CONTROLADO DE RESIDUOS RBBA

Como propuesta de actuación, tras superarse ligeramente el umbral de referencia en dos lecturas consecutivas de los asientos registrados en los hitos H-3 y H-4. Se decide:

- Ampliar la instrumentación y controlar movimientos en más elementos del dique y del entorno.
- Repetir la medida y emplear también una estación total robotizada (mayor precisión).
- Realizar una inspección visual detallada de la zona.





## DEPOSITO CONTROLADO DE RESIDUOS RBBA



**GEOCISA**

### Conclusiones de las medidas tomadas.

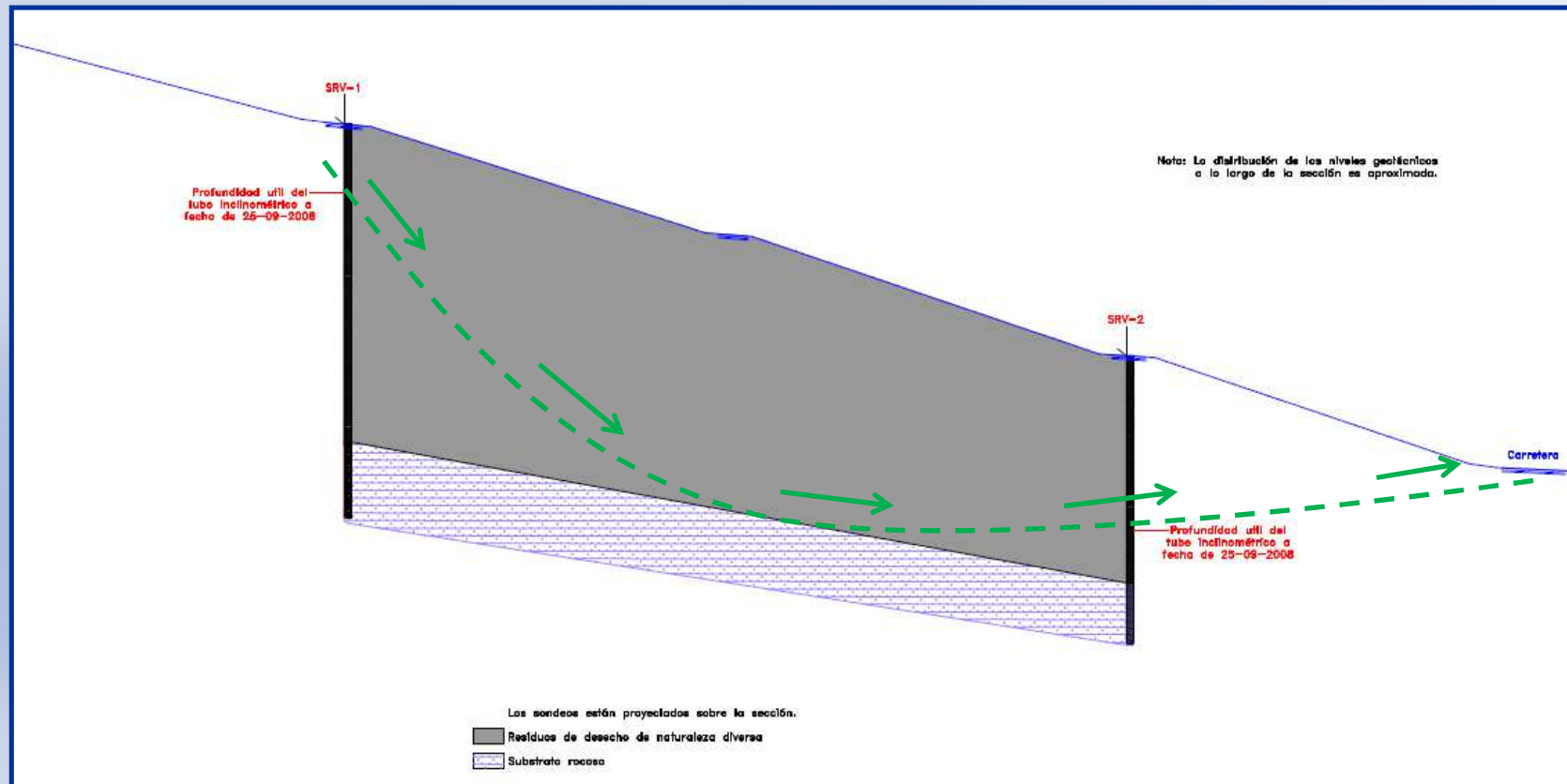
- ❑ En la zona periférica al vaso en explotación, todos los hitos permanecían estables, y registraban movimientos dentro del umbral máximo admisible. Sólo los hitos H-3 y H-4 (ubicados en la plataforma de coronación del dique de escollera) habían superando el umbral de referencia propuesto para movimientos en Z.
- ❑ Tras la repetición de la lectura con GPS y Estación Total, los asientos registrados son ligeramente superiores al umbral de referencia en los hitos H-3 y H-4, pero no han aumentado con respecto a la anterior lectura, ni se han reflejado en otros puntos de control del dique o del entorno.
- ❑ Con la inspección de campo se evidencia que estos asientos podrían ser debidos a los trabajos de colocación de las nuevas carpas sobre las líneas de explotación 3 y 4, debido al estacionamiento o paso de maquinaria pesada por la coronación del dique de escollera en esta zona, causando la recolocación de los bloque del material que conforman el cuerpo del pedraplén, provocando los asientos, y sin que afecten a la estabilidad del mismo.
- ❑ Continuar con el seguimiento planificado y control de ejecución de nuevos trabajos para evitar situaciones como éstas.



En un depósito controlado de RSU en explotación se detectan potenciales inestabilidades durante la ejecución del plan de auscultación que contaba con los siguientes elementos:

- Red de hitos de control (20) de movimientos en las tres primeras bermas
- Red de inclinómetros (2) de control de movimientos en bermas

## Control mediante inclinómetros eje principal



La inestabilidad ha provocado que los dos inclinómetros ya no se puedan medir en toda su longitud por los excesivos desplazamientos sufridos.

**¿Qué hacer ahora?**



Geocisa propone la investigación de las causas de la potencial inestabilidad, realizando:

- Estudio de estabilidad.
- Balance hídrico.
- Inspección detallada del emplazamiento.

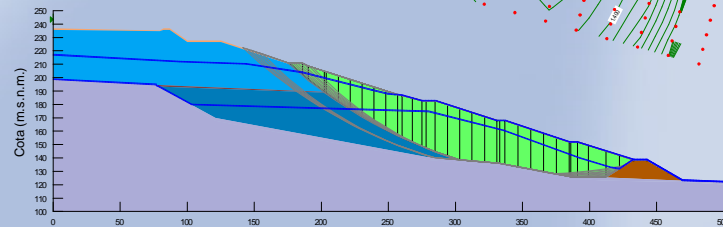
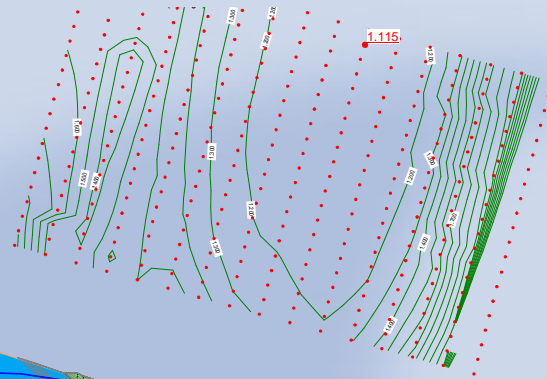
Y la ampliación del plan auscultación a todo el depósito controlado y especialmente al dique de cierre del depósito.

- Ampliación de red de hitos de control (de 20 a 64) de movimientos.
- Ampliación de red de inclinómetros (de 2 a 5) de control de movimientos.
- Red de piezómetros (de 0 a 3) de control de niveles de lixiviados.

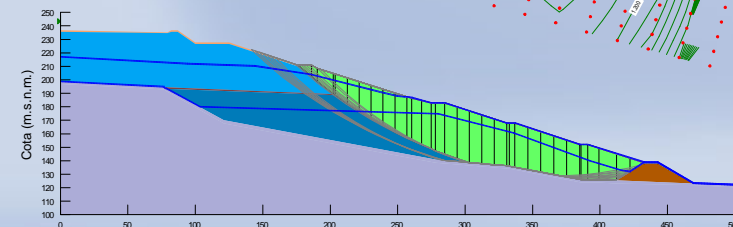
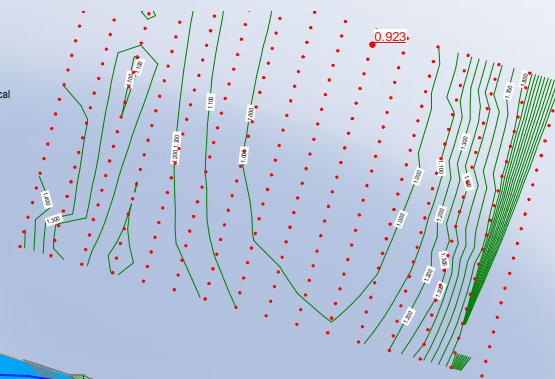
## ESTUDIO DE ESTABILIDAD DEL ESTADO INICIAL

El vertedero esta en una situación de equilibrio inestable, F.S. próximo a 1

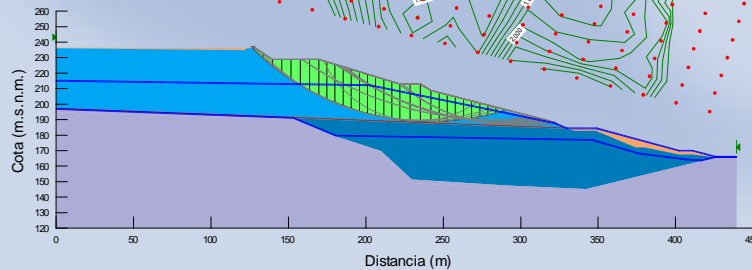
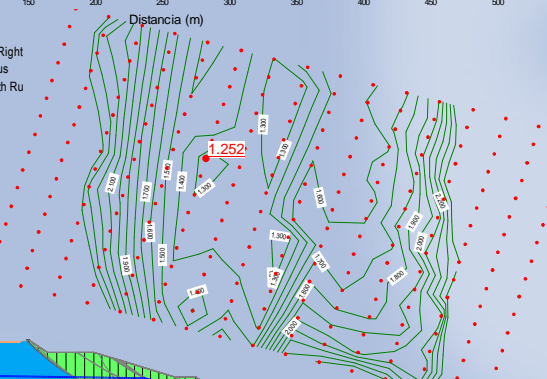
File Name: 1.1.1 - Eje 1 - base.slz  
 Analysis Method: Bishop  
 Direction of Slip Movement: Left to Right  
 Slip Surface Option: Grid and Radius  
 P.W.P. Option: Piezometric lines with Ru  
 Seismic Coefficient: (none)



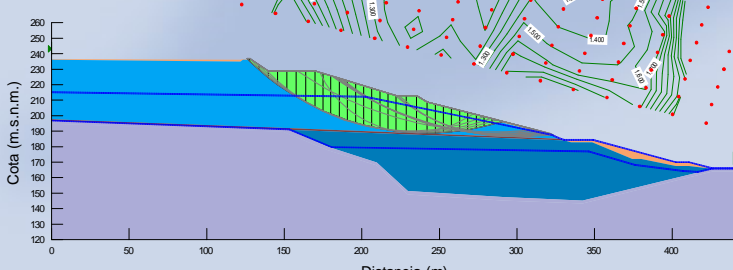
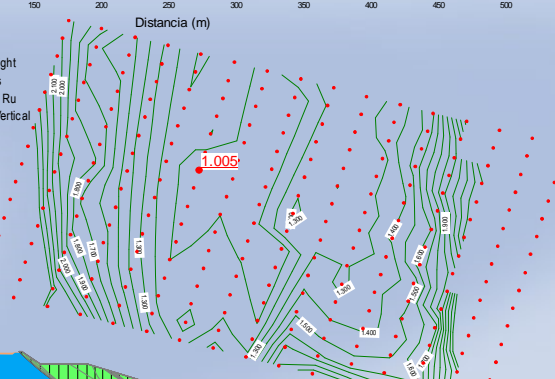
File Name: 1.1.2 - Eje 1 - base.slz  
 Analysis Method: Bishop  
 Direction of Slip Movement: Left to Right  
 Slip Surface Option: Grid and Radius  
 P.W.P. Option: Piezometric lines with Ru  
 Seismic Coefficient: Horizontal and Vertical



File Name: 2.1.1 - Eje 2 - base.slz  
 Analysis Method: Bishop  
 Direction of Slip Movement: Left to Right  
 Slip Surface Option: Grid and Radius  
 P.W.P. Option: Piezometric lines with Ru  
 Seismic Coefficient: (none)



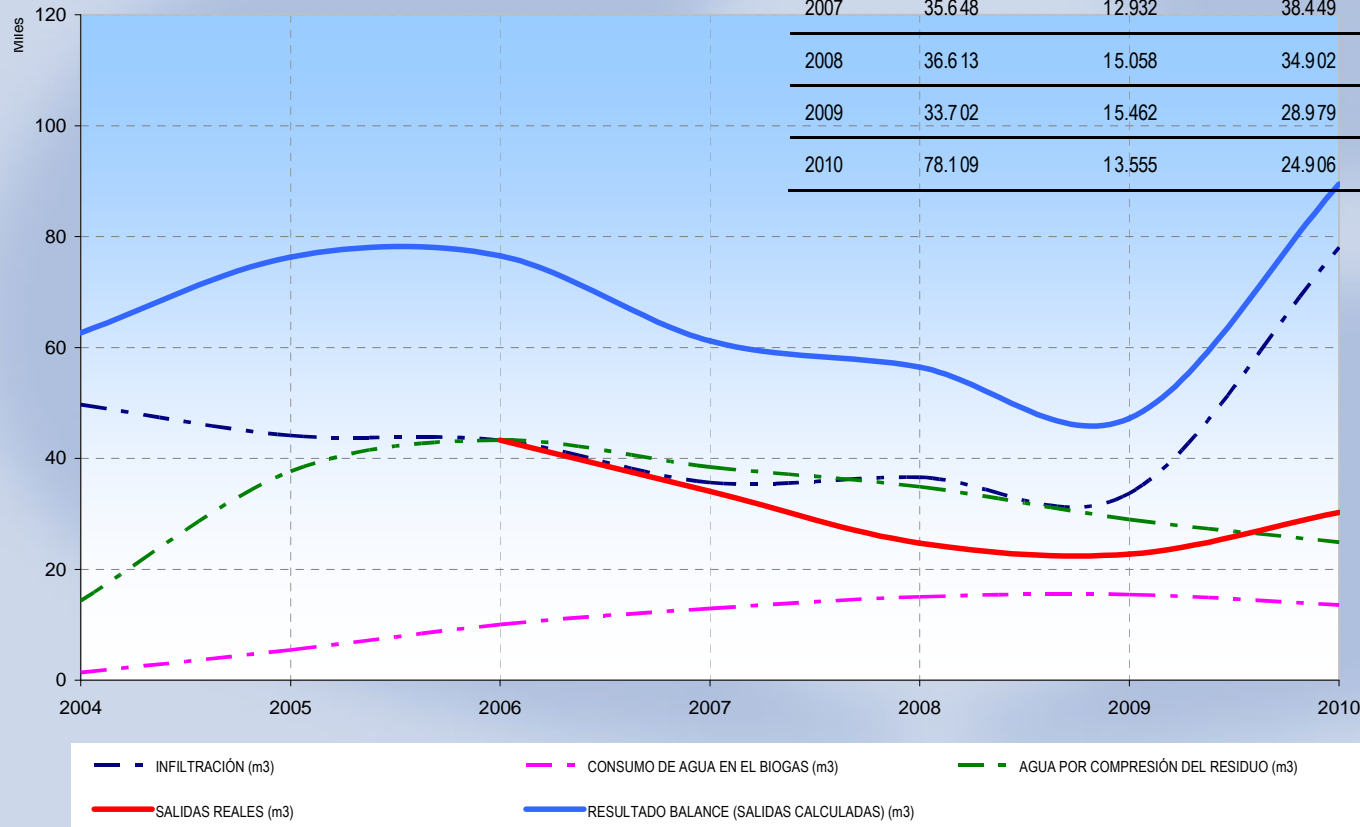
File Name: 2.1.2 - Eje 2 - base.slz  
 Analysis Method: Bishop  
 Direction of Slip Movement: Left to Right  
 Slip Surface Option: Grid and Radius  
 P.W.P. Option: Piezometric lines with Ru  
 Seismic Coefficient: Horizontal and Vertical



## BALANCE HIDRICO

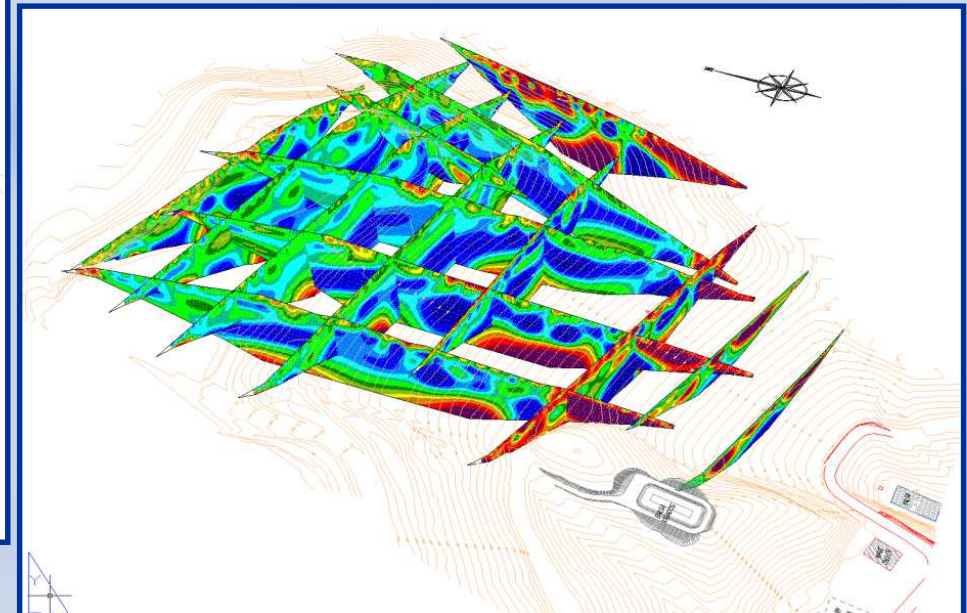
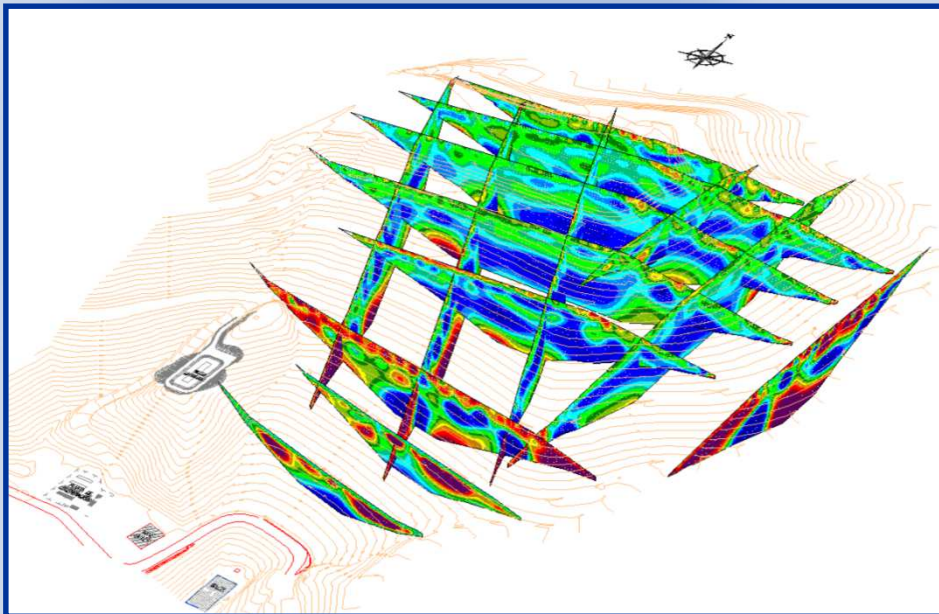
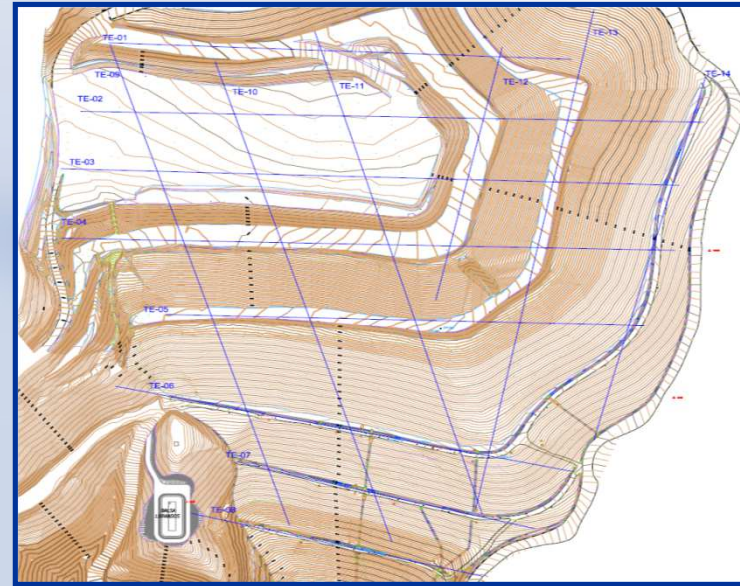
Nos indica que se está produciendo una acumulación de lixiviados dentro de la masa de residuos

AÑO	INFILTRACIÓN (m³)	CONSUMO DE AGUA EN EL BIOGÁS (m³)	AGUA POR COMPRESIÓN DEL RESIDUO (m³)	RESULTADO BALANCE (m³)	SALIDAS REALES (m³)	DIFERENCIA (%)
	I	AB	CR	(I-AB+CR)		
2004	49.711	1.397	14.358	22.904		
2005	44.120	5.447	37.639	71.962		
2006	43.267	10.038	43.293	77.375	43.322	78,6%
2007	35.648	12.932	38.449	68.784	34.024	102,2%
2008	36.613	15.058	34.902	55.492	24.740	124,3%
2009	33.702	15.462	28.979	50.130	22.770	120,2%
2010	78.109	13.555	24.906	71.622	30.259	136,7%



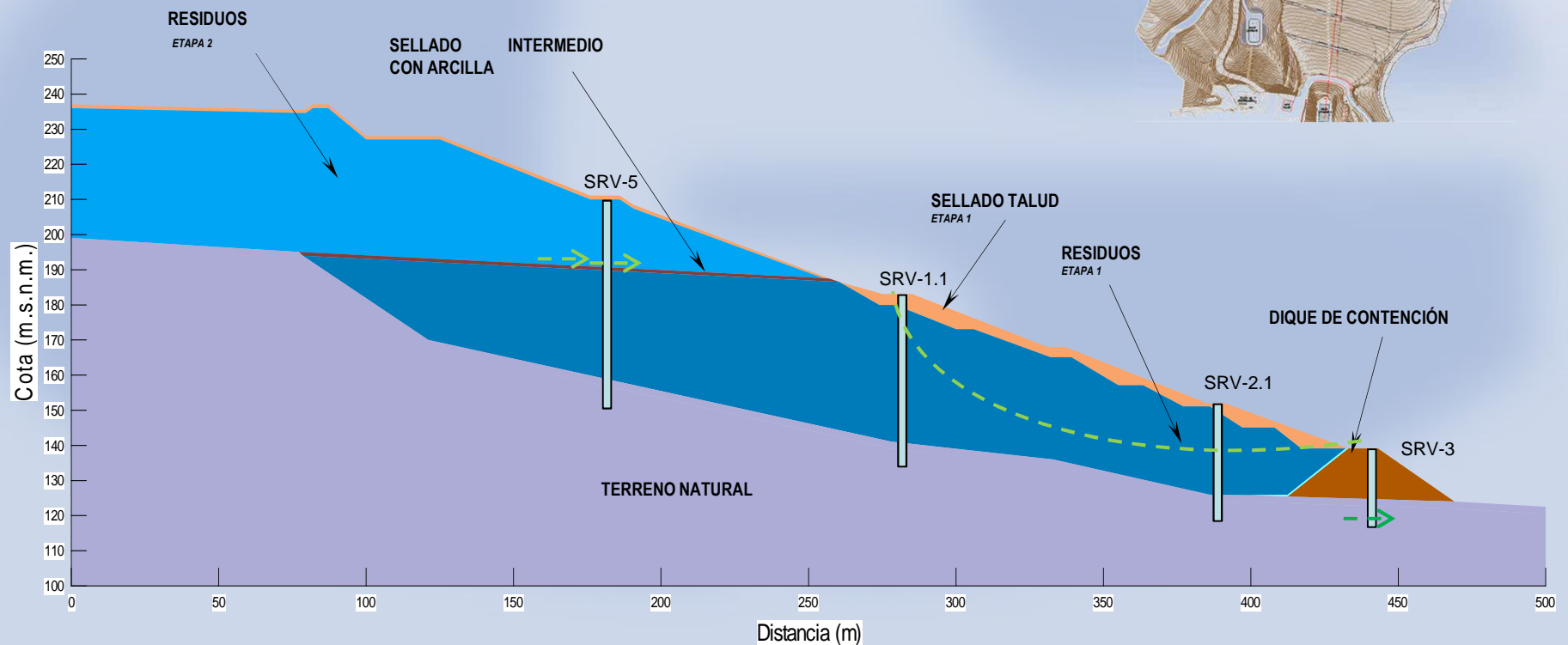
## ESTUDIO DE NIVELES Y ACUMULACIONES DE LIXIVIADOS DENTRO DE LA MASA DE VERTIDO

Se realizó un estudio mediante tomografía eléctrica para detectar acumulaciones de lixiviados. 14 perfiles en total.



## Control mediante inclinómetros eje principal 1

- Se confirma el potencial círculo de rotura de la zona inferior.
- Se detecta un potencial movimiento de traslación de la zona superior en explotación sobre la inferior sellada.

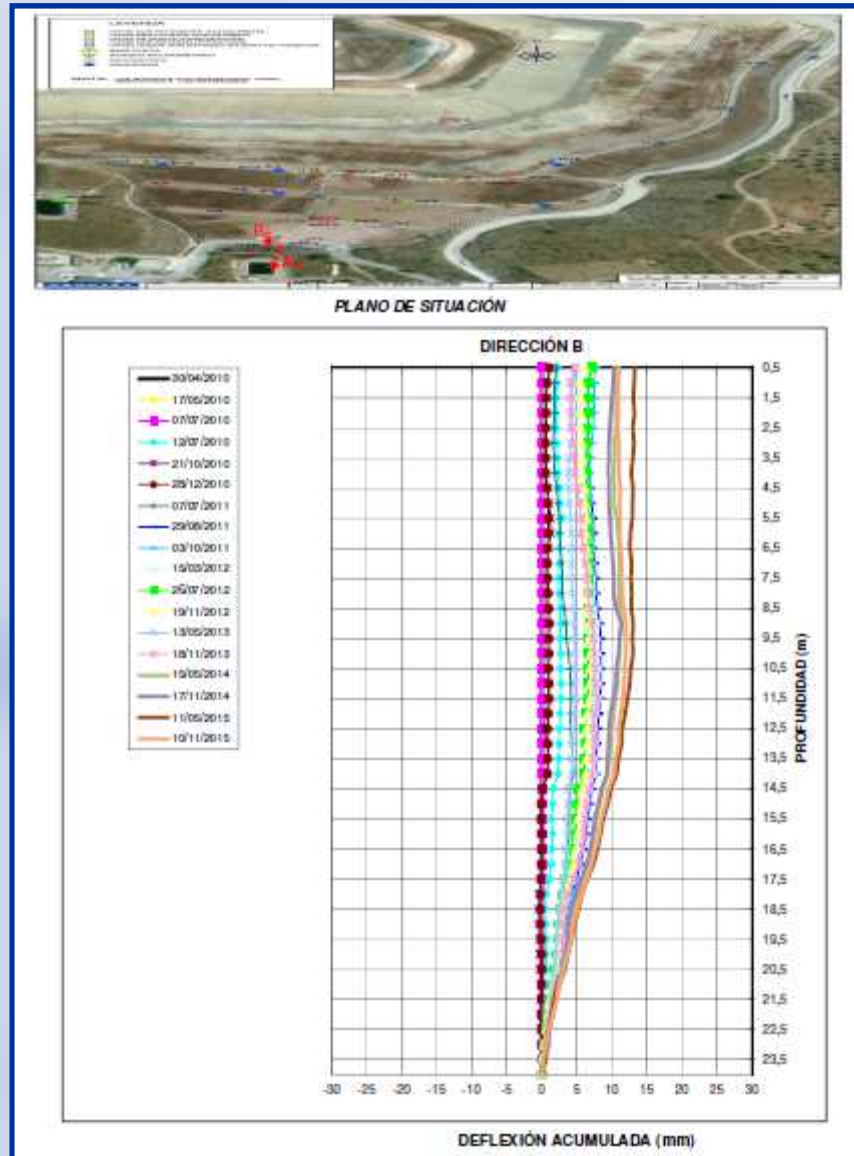
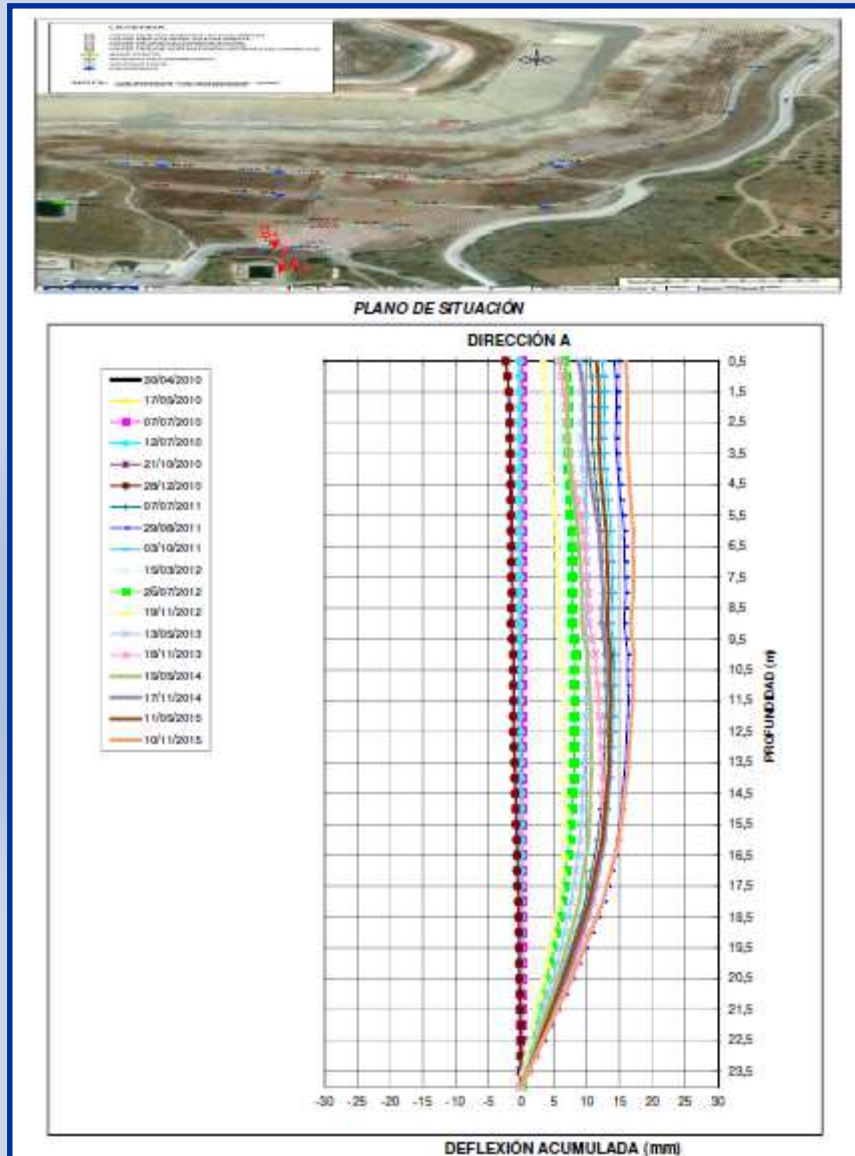




# DEPOSITO CONTROLADO DE RSU



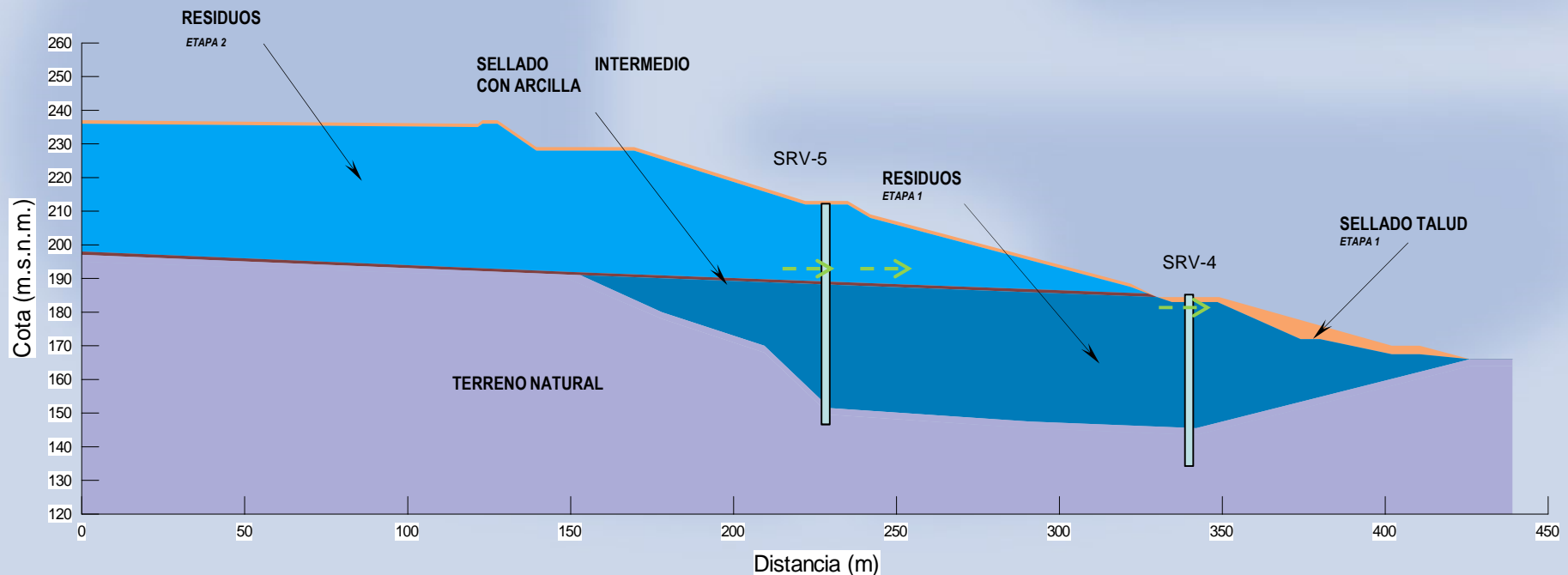
## Control mediante. Inclínómetro SRV-3 Dique de cierre



## DEPOSITO CONTROLADO DE RSU

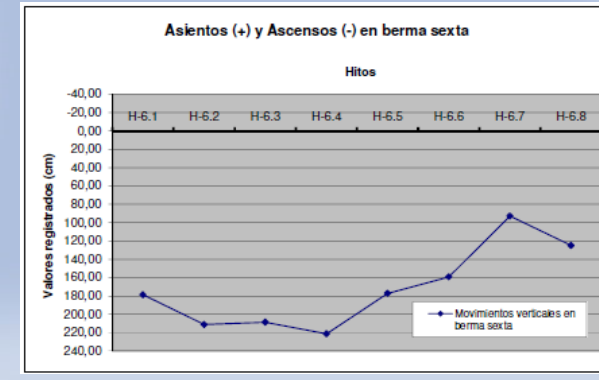
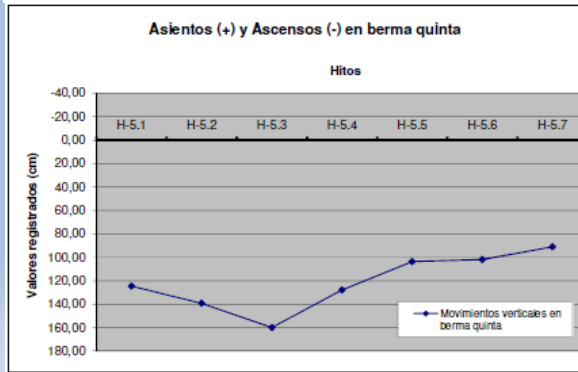
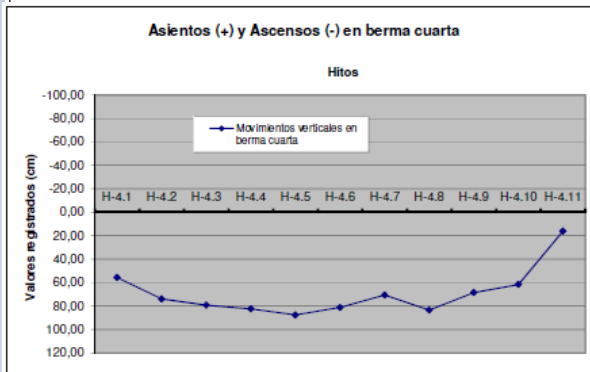
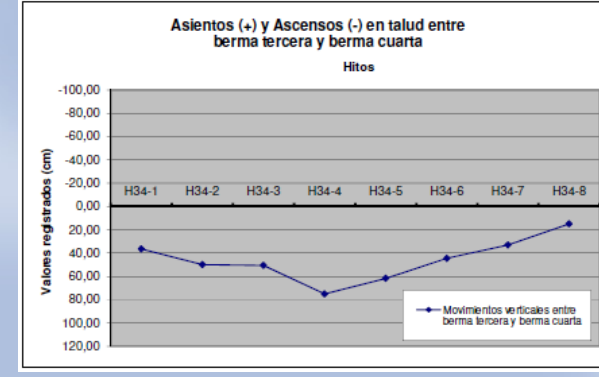
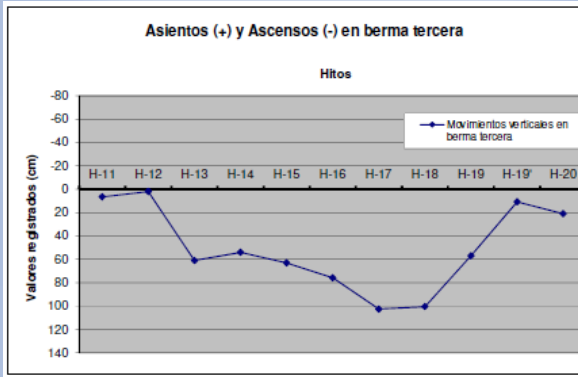
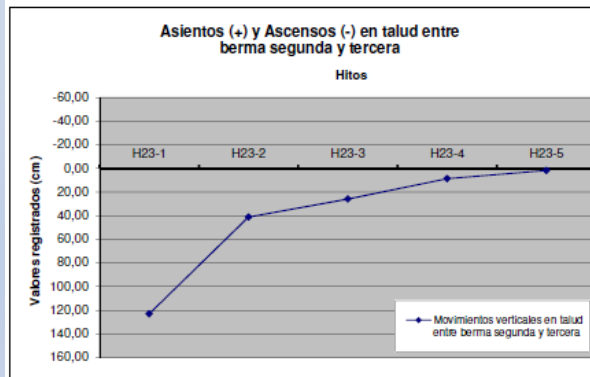
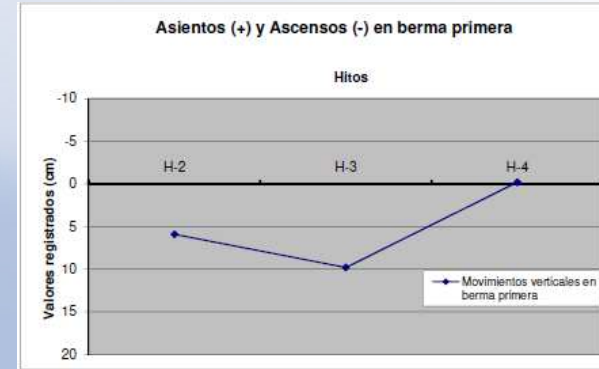
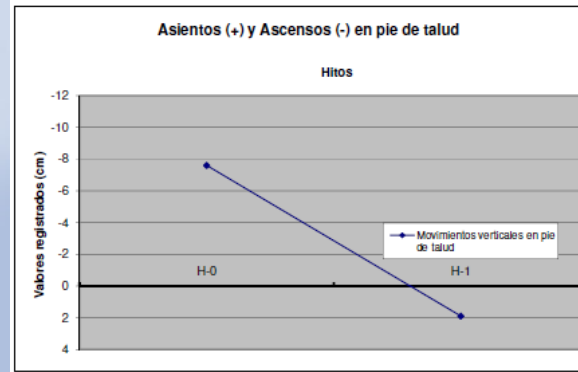
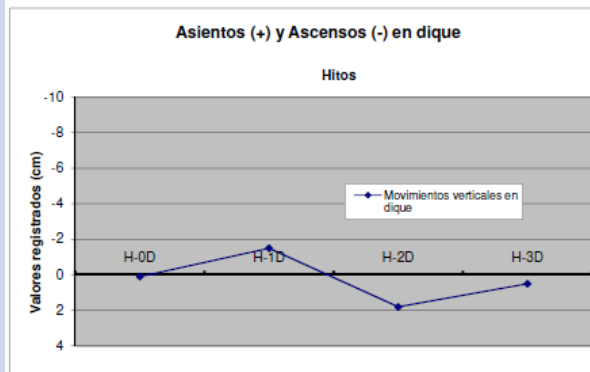
### Control mediante inclinómetros eje principal 2

- Se detecta un potencial movimiento de traslación de la zona superior en explotación sobre la inferior sellada.



# DEPOSITO CONTROLADO DE RSU

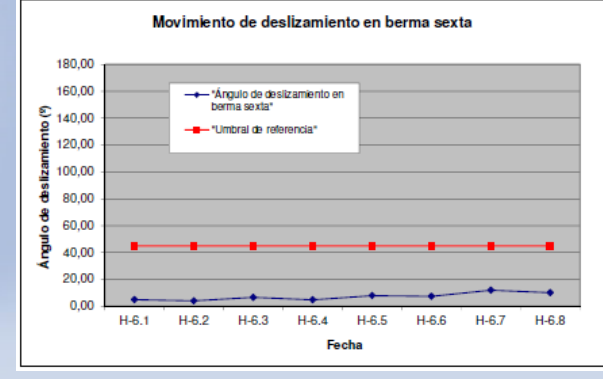
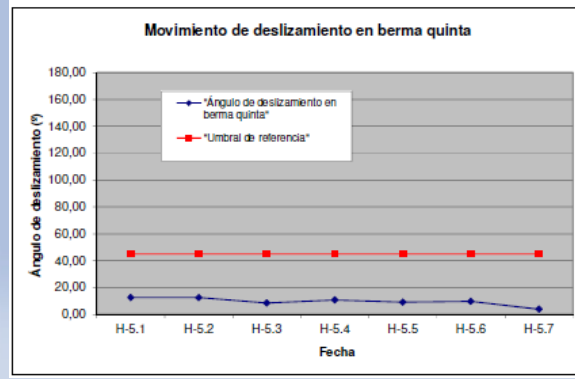
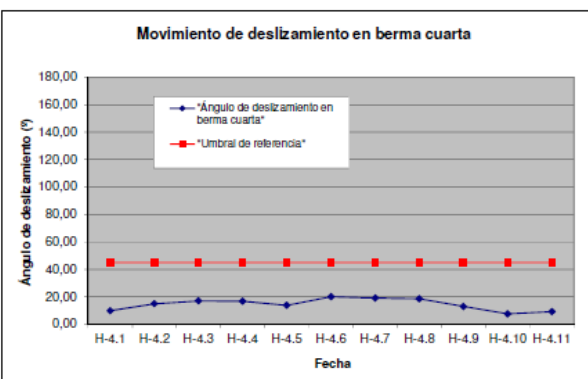
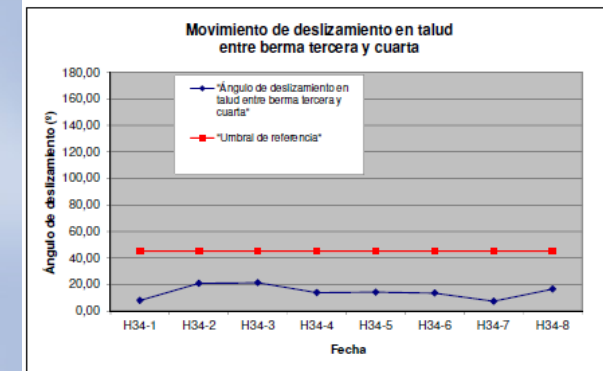
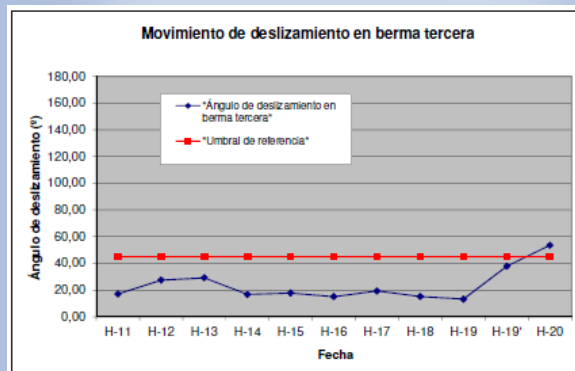
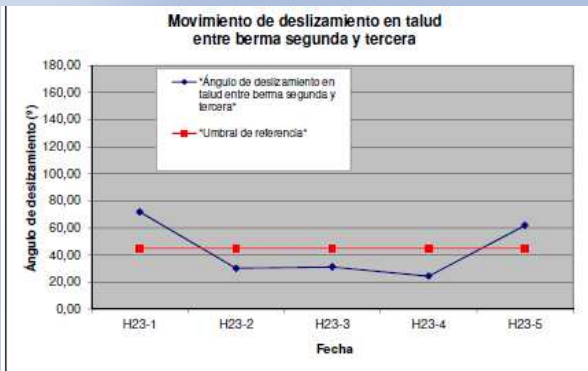
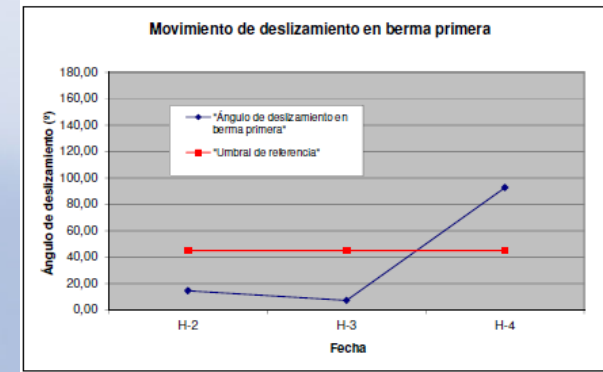
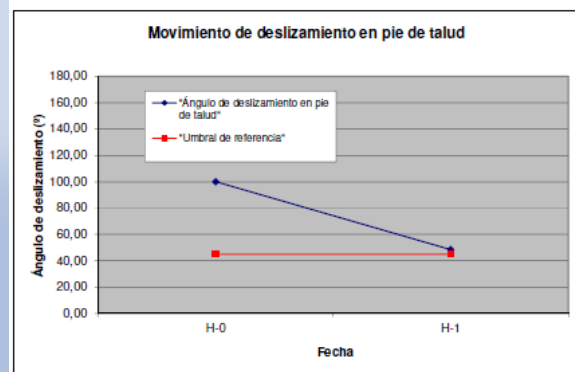
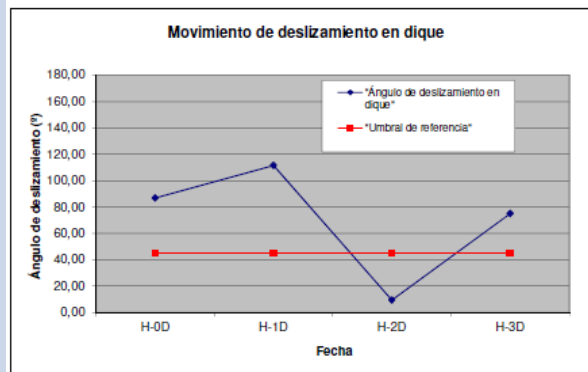
## Control de movimientos en Z



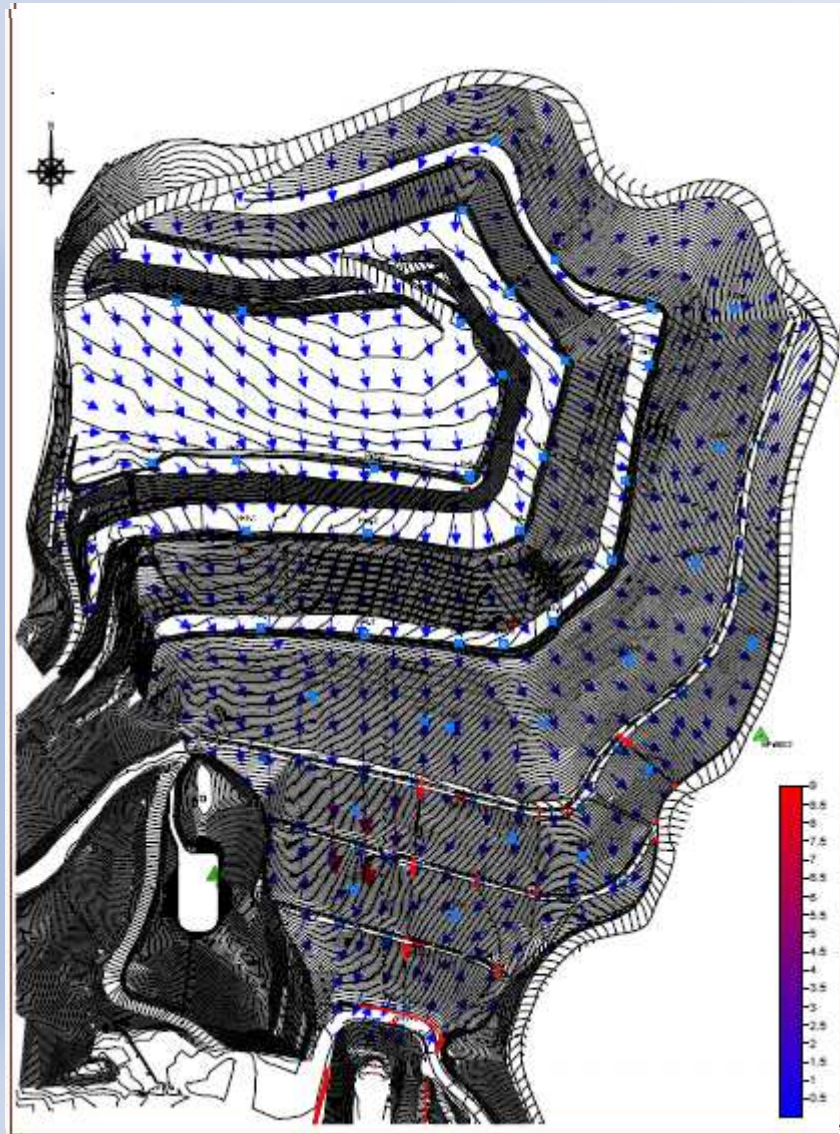
# DEPOSITO CONTROLADO DE RSU



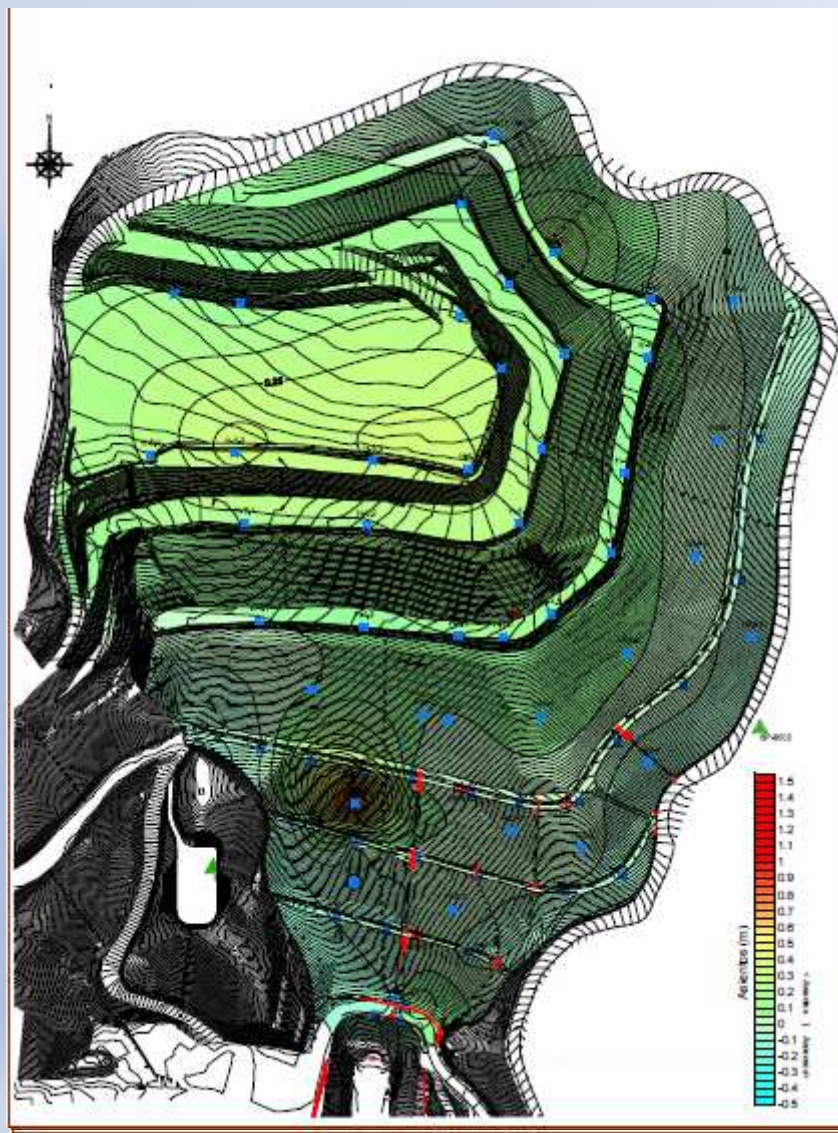
## Control Vector movimiento H/V



## DEPOSITO CONTROLADO DE RSU



Evolución del control de movimientos en X e Y en hitos de control de movimientos



Evolución de control  
de asentamientos (Z)  
en hitos de control de  
movimientos

### Conclusiones de las medidas tomadas y seguimiento realizado:

- ❑ El emplazamiento requería de un plan de auscultación y un seguimiento completo y adecuado a sus características.
- ❑ Eran necesaria actuaciones para reducir el volumen de lixiviados y de gases acumulados dentro de la masa de residuos.
- ❑ Las actuaciones para reducir el volumen de lixiviados acumulados y el control de los niveles piezométricos eran fundamentales para garantizar la estabilidad del emplazamiento.
- ❑ El dique de cierre, elemento fundamental en la estabilidad, requería de la construcción de un nuevo inclinómetro empotrado en un nivel más profundo y fijo que el actual, al no ser el empotramiento material competente.
- ❑ Es recomendable la repetición periódica de las campañas de tomografía, en función del seguimiento, para ver que no se producen acumulaciones localizadas de lixiviados y ver como se evolucionan las detectadas.
- ❑ Continuar con el control topográfico, el control del nivel piezométrico y actualizar periódicamente el balance hídrico de la instalación.



**VERSOS16: 'V CONGRESO INTERNACIONAL SOBRE MEJORES TECNOLOGÍAS DISPONIBLES (MTD) EN VERTEDEROS, SUELOS CONTAMINADOS Y GESTIÓN DE RESIDUOS'.**

# ¡GRACIAS POR SU ATENCIÓN!



Alfredo Álvarez Gutiérrez

[aalvarezg@geocisa.com](mailto:aalvarezg@geocisa.com)

Jefe de la División de Actuaciones Ambientales  
Servicio Técnico e I+D+i

Javier Alonso Vázquez

[jalonsov@geocisa.com](mailto:jalonsov@geocisa.com)

Técnico de la División de Actuaciones Ambientales  
Servicio Técnico e I+D+i