

# **DESCRIPCIÓN, CARACTERIZACIÓN GEOTÉCNICA Y ANÁLISIS DEL DESLIZAMIENTO DE ABRIL DE 2009, DEL TALUD DEL INSTITUTO DE EDUCACIÓN SECUNDARIA SANTA MARGALIDA, MALLORCA, ILLES BALEARS**

**Mateu OLIVER MUNAR<sup>1</sup>, Jose Ignacio MARÍN MILLÁN<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Geólogo. Master en Ingeniería Geológica

<sup>2</sup>Geólogo. Master en Ingeniería del Terreno y del Agua

## **RESUMEN**

*En abril de 2009 y tras un periodo de intensas lluvias, se produjo un deslizamiento en el talud del IES Santa Margalida, isla de Mallorca (Illes Balears). El deslizamiento rompió el muro del patio del IES, depositando material deslizado sobre dicho patio. A partir de datos bibliográficos y del estudio topográfico de la superficie afectada por el deslizamiento, de los datos aportados por cuatro sondeos a rotación con recuperación de testigo continuo, de los resultados de los ensayos de campo y de los ensayos de laboratorio y del análisis de gabinete de todos los datos, se presenta la caracterización geotécnica de los materiales y un análisis retrospectivo del deslizamiento.*

## **1. INTRODUCCIÓN**

En abril de 2009 y tras un periodo de intensas lluvias, se produjo un movimiento en el talud posterior del Instituto de Educación Secundaria (IES) Santa Margalida, isla de Mallorca (Illes Balears), en el punto aproximado de coordenadas geográficas: 39°42'19''N; 03°06'05''E (ver figura 1). El deslizamiento rompió el muro del patio, depositando material deslizado sobre dicho patio (ver figura 2).

## **2. OBJETIVOS**

Los objetivos de la presente comunicación son determinar la naturaleza y características geotécnicas de los diferentes materiales que conforman el subsuelo del talud así como clasificar, definir y realizar un análisis retrospectivo del deslizamiento.

### 3. CONTEXTO GEOLÓGICO

La isla de Mallorca está conformada, desde el punto de vista geológico y morfológico, por tres unidades; la Serra de Tramuntana, el Llano Central y las Serres de Llevant. Dentro de la unidad del Llano Central se distinguen cuatro dominios: Llano de Palma, Llano de Inca-Sa Pobra, Llano de Campos-Manacor y Serres Centrals.

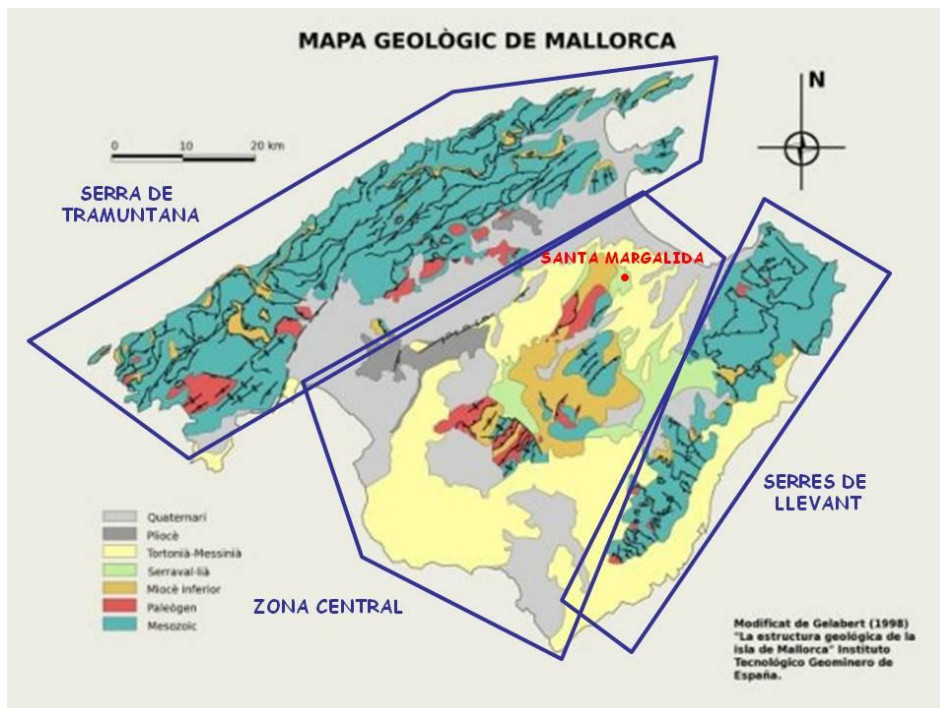


FIGURA 1.- Unidades geomorfológicas de Mallorca y localización del pueblo de Santa Margalida

El núcleo urbano de Santa Margalida se sitúa en el Llano de Inca-Sa Pobra, sobre un cerro constituido por calcarenitas y calizas (rocas), las cuales se encuentran sobre una formación arcillosa con intercalaciones de capas de las mismas rocas.

#### 3.1. Rasgos geomorfológicos y nivel freático

El I.E.S. de Santa Margalida se encuentra en el borde nororiental del núcleo urbano, sobre una ladera de montaña de relieve uniforme, pendiente topográfica original inclinada  $33^\circ$  NW y cota topográfica absoluta 65 metros sobre el nivel del mar. El talud se encuentra entre las cotas 65 y 85 m. La nivelación del solar supuso que se originara un talud artificial, al descalzarse la ladera natural, por delante del cual se levantó el muro del patio del I.E.S. En este talud artificial es donde se han producido movimientos o deslizamientos (ver figuras 2, 3, 4 y 5). Existe un nivel freático medido, en octubre de 2009, a 4,0 metros de la superficie del patio.



FIGURA 2.- Detalle de la cicatriz de los dos deslizamientos de la figura 3 y situación del IES Santa Margalida en el borde nororiental del núcleo urbano, sobre la foto aérea del 2012

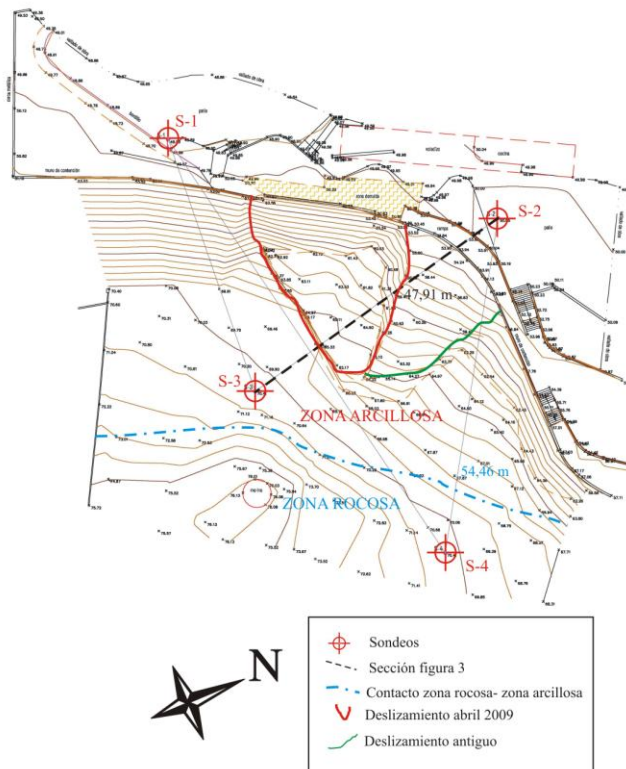


FIGURA 3.- Plano topográfico de la superficie en estudio y situación de los sondeos realizados

### 3.2. Estratigrafía

Los materiales que constituyen el sustrato del I.E.S. se interpretan de edad Serravalliense, Mioceno medio (Terciario), se trata de materiales arcillosos (unidad CH en la figura 4) con intercalaciones de capas de calcarenitas y calizas (unidad C en la figura 4), equivalentes a la unidad sedimentaria conocida con el nombre de Margas de Pina. Se ha medido la siguiente dirección de capa y buzamiento: 220/25 SE. Destaca la presencia de una falla normal: 235/45 SE. Por encima de las margas y coronando el cerro donde se apoya el casco antiguo del núcleo de Santa Margalida se disponen las calcarenitas y calizas (rocas, ver figura 3), las cuales se interpretan equivalentes a la unidad sedimentaria conocida con el nombre de Calizas de sa Verdera, también de edad Serravalliense, Mioceno medio.

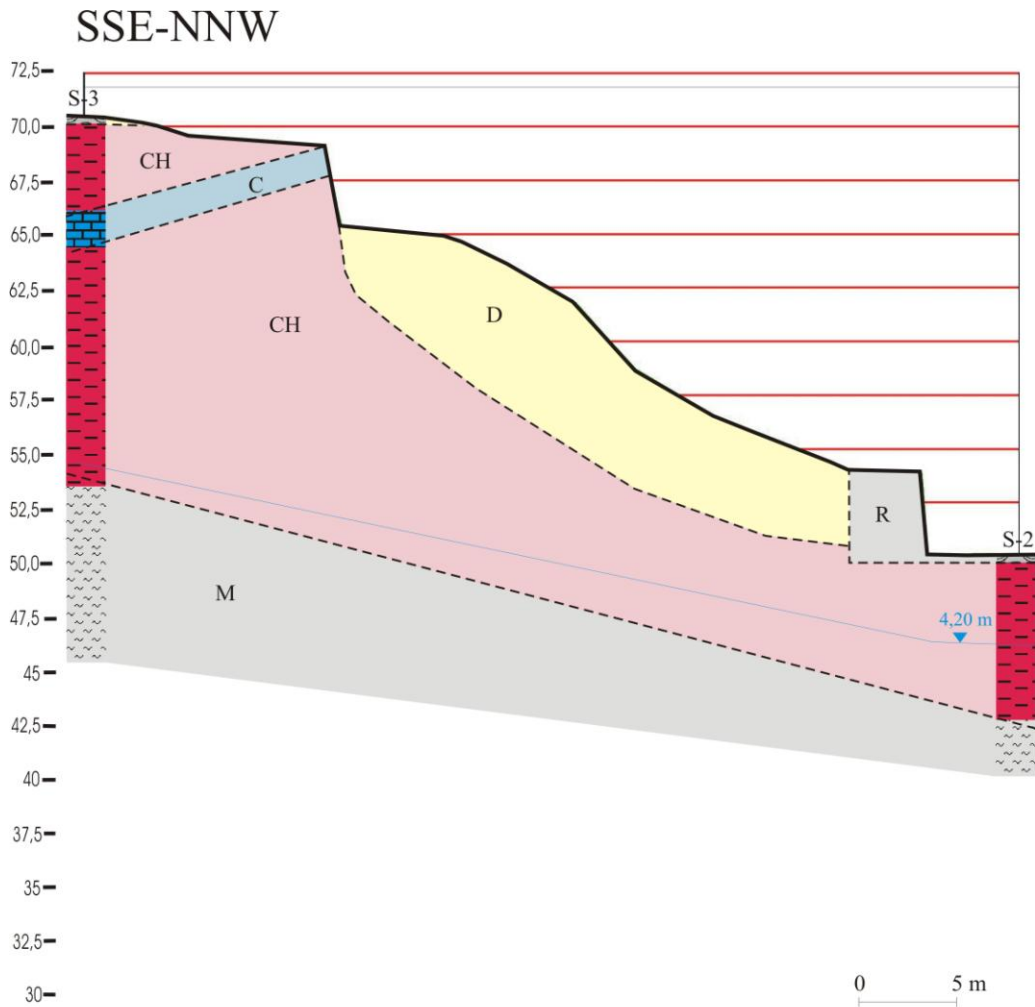


FIGURA 4.- Sección del deslizamiento y correlación entre los sondeos S-2 y S-3. Las unidades geotécnicas R, D, CH, C y M se definen en el apartado 5

## 4. TRABAJOS REALIZADOS

Los trabajos de reconocimiento específicos para la caracterización del movimiento son: plano topográfico de la zona en estudio, sondeos mecánicos, ensayos “in situ” y ensayos de laboratorio.

### 4.1. Sondeos mecánicos

La campaña consistió en la realización de los siguientes 4 sondeos a rotación con extracción de testigo continuo (ver situación en figura 2):

sondeo	profundidad (m)	Cota boca sondeo (m)
S-1	10,0	48,9
S-2	10,0	50,0
S-3	25,0	70,4
S-4	24,0	70,4

TABLA 1.- Profundidades y cotas de los sondeos referidas al plano topográfico realizado

### 4.2. Ensayos “in situ” y ensayos de laboratorio

A medida que se profundizaba en los sondeos (ver figura 5) se realizaron nueve ensayos de penetración dinámica SPT y catorce ensayos de toma de muestra inalterada (MI). En ocho MI se realizaron los siguientes ensayos de laboratorio: análisis granulométrico, límites de Atterberg, contenido de humedad, densidad, compresión simple, corte directo consolidado y drenado, presión máxima de hinchamiento, determinación cuantitativa de sulfatos y análisis químico de agua (sulfatos, residuo seco, pH y magnesio).

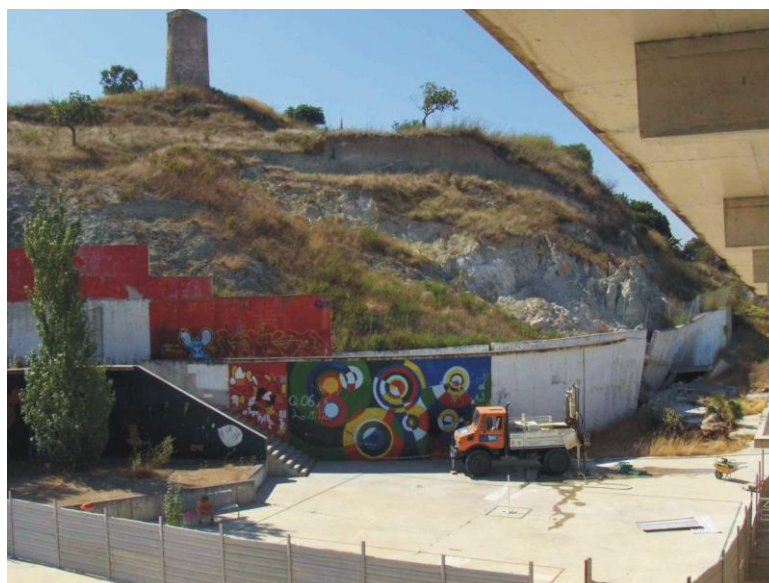


FIGURA 5.- Detalle de la realización del sondeo S-2 y vista del deslizamiento desde el instituto



## 5. UNIDADES GEOTÉCNICAS

A partir de los trabajos realizados se diferenciaron seis unidades litológico-geotécnicas:

<b>UNIDAD</b>	<b>DESCRIPCIÓN</b>
<b>D</b>	Material desplazado. En esta unidad se incluyen todos aquellos materiales que han sido desplazados por el deslizamiento hacia fuera del talud, desde su posición original en el mismo.
<b>R</b>	Relleno antrópico. Muros y soleras de hormigón, “machaca” y material removido para la nivelación de la superficie de sondeo.
<b>C</b>	Calcarenitas y calizas de tonalidad beige-blanca con coloraciones ocre de oxidación y capas centimétrico-decimétricas de sílex. ROCAS.
<b>GM</b>	Calcarenitas degradadas de tonalidad beige-blanca con algo de finos. Comportamiento de suelo granular de compacidad MUY DENSA y expansividad BAJA.
<b>CH</b>	Arcillas margosas verdes y grises de plasticidad alta, con algo de arenas y gravas, niveles mm-cm de calcarenitas, calizas y sílex, coloraciones ocre de oxidación y negras de materia orgánica. Suelo cohesivo de consistencia MUY FIRME y expansividad MEDIA. Esta unidad es el producto de la alteración de las margas que constituyen la unidad M. Con la profundidad aumenta la consistencia.
<b>M</b>	Margas arcillosas grises y verdosas. Suelo cohesivo de consistencia DURA y expansividad BAJA. Destaca la presencia de cristales y precipitaciones de yeso.

TABLA 2.- Descripción de las unidades geotécnicas diferenciadas

A continuación se presenta una tabla resumen de los principales parámetros geomecánicos de las unidades involucradas en el deslizamiento:

	<b>C</b>	<b>GM</b>	<b>CH</b>	<b>M</b>
SUCS	roca	GM	CH a MH	CH
LL (%)	-	no plástico	40,0 a 120,0	60,0
IP (%)			20,0 a 65,0	35,0
Nspt	rechazo	50	12 a 40	rechazo
$\rho_{ap}$ (kg/cm <sup>3</sup> )	2,1	2,0	1,90	2,0
$q_u$ (kg/cm <sup>2</sup> )	250,0	-	3,50	4,0
$c_u$ (kg/cm <sup>2</sup> )	125,0		1,75	2,0
p max hinch (kg/cm <sup>2</sup> )	-	-	0,60	-
$c'$ (kg/cm <sup>2</sup> )	> 0,5	0,05	0,25	> 0,25
$\phi'$ (°)	> 45,0	41,0	28,5	> 28,5
excavabilidad	martillo	Cuchara		
permeabilidad <sup>1</sup> (cm/s)	10 <sup>-5</sup> - 10 <sup>-2</sup>		< 10 <sup>-5</sup>	
tipo de terreno/C <sup>2</sup>	I/1,0	II/1,3	III/1,6	II/1,3

TABLA 3.- Parámetros geomecánicos de las unidades geotécnicas. Valores obtenidos a partir de los ensayos de campo y laboratorio realizados. SUCS: Clasificación según el Sistema Unificado de Clasificación de suelos (SUCS). LL: límite líquido. IP: índice de plasticidad. Nspt: número de golpes según el ensayo de penetración normal (SPT).  $\rho_{ap}$ : densidad aparente.  $q_u$ : resistencia a compresión simple  $c_u$ : cohesión sin drenaje. p max hinch: Presión máxima de hinchamiento.  $c'$ : cohesión efectiva  $\phi'$ : ángulo de rozamiento interno efectivo. C: coeficiente del terreno

<sup>1</sup> En referencia a la tabla 2.1 del DB-Salubridad (CTE)

<sup>2</sup> Según norma sismoresistente NCSE-02

## 6. ANÁLISIS DE ESTABILIDAD

Una vez caracterizado el terreno se realizó un análisis retrospectivo del movimiento mediante el programa SLIDE 5.0, a partir del método de dovelas o rebanadas (Bishop simplificado), normalmente utilizado en los estudios de estabilidad de taludes.

### 6.1. Tipo y descripción del movimiento

El terreno, en el que se ha producido el movimiento es un suelo arcilloso. Existe una superficie de rotura interna de forma aproximadamente circular y cóncava, por lo que se define como un deslizamiento rotacional con la superficie de rotura de talud o de pie de talud (ver figura 4).

El deslizamiento se produjo al superarse la resistencia al corte del material y a lo largo de una superficie principal de rotura. La altura del deslizamiento, medida entre la cabecera y el pie, es de 20 metros. La distancia horizontal desde el pie a la cabecera es de 30 metros. La máxima profundidad del deslizamiento, medida perpendicularmente al plano del talud, es de 5 metros. El volumen total de material desplazado es de 1800 m<sup>3</sup>.

Anteriormente al deslizamiento que rompió el muro de cerramiento del patio del I.E.S. Santa Margalida, se había producido otro deslizamiento (ver figura 3) del mismo tipo que el de abril de 2009, pero no rompió el muro.

### 6.2. Cálculo mediante el programa SLIDE 5.0

Del análisis retrospectivo del movimiento, mediante el programa SLIDE 5.0, se presentan las siguientes tres situaciones:

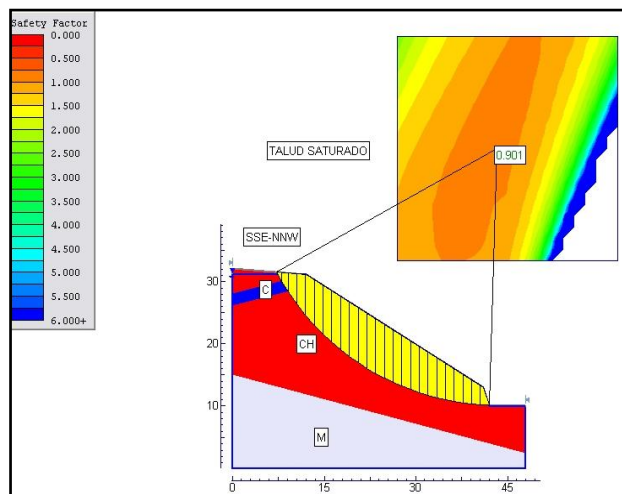
- Talud saturado (ver figura 6.1): Geometría del talud antes del deslizamiento y condiciones hidrogeológicas del momento del deslizamiento (saturado tras un periodo de intensas lluvias)
- Talud no saturado (ver figura 6.2): Geometría del talud antes del deslizamiento y condiciones hidrogeológicas habituales (freático a 4,0 metros de la superficie del patio del instituto)
- Ladera natural saturada (ver figura 6.3): Geometría anterior a la excavación del talud y condiciones hidrogeológicas saturado.

Se obtienen los siguientes valores de factor de seguridad (FS) para las tres situaciones (ver figura 6):

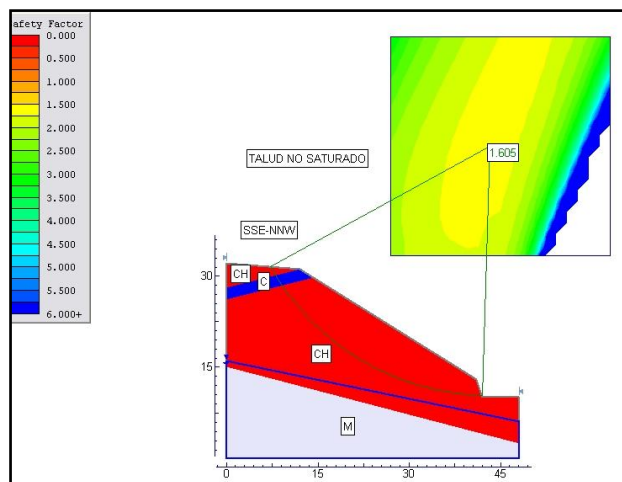
TALUD	FS	ESTABILIDAD
talud saturado (figura 6.1)	0,9	INESTABLE
talud no saturado (fig. 6.2)	1,6	ESTABLE
talud sin excavar (ladera natural) saturado (fig. 6.3)	1,0	EQUILIBRIO LÍMITE

TABLA 4.- Resumen del cálculo del factor de seguridad

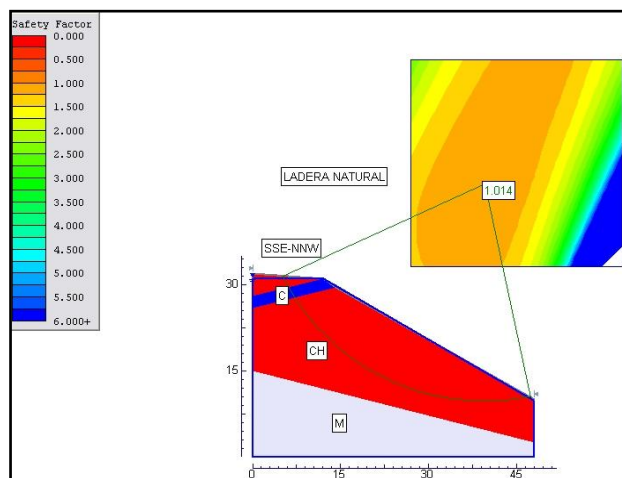




6.1.- TALUD SATURADO (FS = 0,9): INESTABLE



6.2.- TALUD NO SATURADO (FS = 1,6): ESTABLE



6.3 LADERA NATURAL SATURADA (FS = 1,0). EQUILIBRIO LÍMITE

FIGURA 6.- Factores de seguridad (FS) para el talud saturado, no saturado y para la ladera natural

### 6.3. Factores condicionantes y desencadenantes

Los factores **CONDICIONANTES** de la estabilidad de un talud son cuatro: la estructura geológica, la litología, las condiciones hidrogeológicas y la morfología. La variación de uno o varios de estos condicionantes **DESENCADENA** la inestabilidad de una masa de terreno.

Los factores **DESENCADENANTES** del deslizamiento estudiado son dos: la **excavación** creó el talud inestable (varió la morfología) y el **agua** caída en una época de intensas lluvias (varió las condiciones hidrogeológicas. Ver figura 6).

Originalmente existía un talud natural (o ladera), el cual era estable con un ángulo medio de 33°. La excavación que se realizó creó el talud donde se han producido los deslizamientos. El factor condicionante que se varió fue la morfología del talud natural al excavar el pie de la ladera, creándose un talud artificial de mayor ángulo, produciéndose una variación del estado de equilibrio del terreno que se tradujo en los deslizamientos. Es decir, el talud estable antes de excavar (y en equilibrio límite en condición saturado), pasó a ser inestable al ejecutarse la excavación.

La excavación de un talud requiere de la aplicación de medidas correctoras ante las posibles inestabilidades. La medida correctora que se ejecutó en el I.E.S. Santa Margalida fue un muro de cerramiento, el cual no resistió las cargas a las que se vio sometido. El agua actuó (y actúa generalmente en los movimientos de taludes) como último factor desencadenante, ya que el agua aumentó la subpresión (o presión hidrostática) del terreno, produjo una sobrecarga debida a su propio peso y, en suelos arcillosos (cohesivos) como el que constituye el talud del I.E.S. Santa Margalida, produjo hinchamientos de las arcillas, incrementándose las presiones efectivas del terreno.

### 6.4. Conclusiones del análisis de estabilidad

De los trabajos y análisis realizados se concluye:

- La excavación del solar sobre el cual se asienta el I.E.S. Santa Margalida, supuso una variación del estado de equilibrio del terreno, que se tradujo en un talud artificial inestable donde se produjeron deslizamientos, al saturarse el terreno en épocas de intensas lluvias.
- El terreno, en el que se han producido los deslizamientos es un suelo arcilloso (cohesivo). Los parámetros de las arcillas son; densidad aparente:  $\rho_{ap} = 1,9 \text{ T/m}^3$ , cohesión efectiva:  $c' = 2,5 \text{ T/m}^2$  y ángulo de rozamiento interno efectivo:  $\phi' = 28,5^\circ$ . Las arcillas presentan un grado de expansividad medio, habiéndose obtenido un valor máximo de presión máxima de hinchamiento de  $6,0 \text{ T/m}^2$ .
- La ladera natural, en los materiales arcillosos, presentaba inclinación original media de 33° y altura máxima de 30 metros, por lo que la longitud horizontal máxima es de 46 metros.
- El ángulo del talud ( $\beta$ ) excavado en las arcillas, para el cual se obtiene un factor de seguridad:  $F = 1,5$ , es:  $\beta = 23,5^\circ$ .

- Se considera como límite superior del talud inestable, el contacto entre la unidad arcillosa y la unidad rocosa superior (ver figura 3). Los límites laterales, del talud inestable, abarcan más allá de los límites de la superficie en estudio.
- Se consideran tres posibles soluciones de estabilización del talud en estudio:
  - Retaluzar el talud. El ángulo del talud ( $\beta$ ) para el cual se obtiene un factor de seguridad:  $F = 1,5$ , es:  $\beta = 23,5^\circ$ . Esta solución no es factible actuando en la cabecera del talud ya que ello implica excavar solares vecinos incluido un molino declarado bien de interés cultural (BIC, ver figura 5). Actuar en el pie del talud (rellenar para restaurar la geometría original) supone ocupar el patio del instituto.
  - BERMAS y MUROS DE GABIONES. En un primer tanteo mediante el programa utilizado (SLIDE 5.0), para poder aplicar esta solución también es necesario ocupar parte del patio del instituto.
  - Combinación de cuatro medidas correctoras:
    - BERMAS.
    - DRENAJE SUPERFICIAL.
    - MUROS ANCLADOS: Corrección por elementos resistentes (MUROS y ANCLAJES). Se deben “anclar” los muros a una zona que no experimente cambios de volumen y los anclajes deben poder trabajar a tracción, ya que el cambio de volumen del terreno superior tiende a levantarlo, lo que evita la zona de “anclaje”.

## 7. AGRADECIMIENTOS

Al Excmo. Ajuntament de Santa Margalida promotor del estudio y a la empresa IGETEC, SL autora de los trabajos de campo y laboratorio.