



ESTUDIOS PREVIOS SOBRE LA IGLESIA DE SAN GIL DE MEDIAVILLA EN LUNA (ZARAGOZA) Y SU ENTORNO



Julio 2007

DIRECCIÓN

JOSE MARIA GARCIA DE MIGUEL

EQUIPO

PILAR MORILLAS GONZALEZ

IÑAKI UBIRIA RODRIGUEZ DE QUIJANO

CRISTINA CEDAZO TABERNERO



CATEDRA UNESCO DE PATRIMONIO
CATEDRA DE PETROLOGÍA DE LA E.T.S.I DE MINAS DE LA UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE
MADRID



ESTUDIOS PREVIOS SOBRE LA IGLESIA DE SAN GIL DE MEDIAVILLA EN LUNA (ZARAGOZA) Y SU ENTORNO

Julio 2007

DIRECCIÓN

José María García de Miguel

Catedrático de Petrología y Mineralogía de la UPM

EQUIPO

Pilar Morillas González

Dra. en Ciencias Geológicas por la UPM

Iñaki Ubiría Rodríguez de Quijano

Ldo. en Ciencias Geológicas

Cristina Cedazo Tabernero

Ldo. en Ciencias Geológicas



CATEDRA UNESCO DE PATRIMONIO
CATEDRA DE PETROLOGÍA DE LA E.T.S.I DE MINAS DE LA UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE
MADRID





ESTUDIOS PREVIOS SOBRE LA IGLESIA DE SAN GIL DE MEDIAVILLA EN LUNA (ZARAGOZA) Y SU ENTORNO

1 INTRODUCCIÓN

En marzo de 2007, por parte de RESTAUROEGEA S.A., se encargó a la CÁTEDRA DE PETROLOGÍA DE LA ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIEROS DE MINAS, la realización de estudios destinados a determinar las causas que están provocando una inestabilidad estructural en la Ermita de San Gil de Mediavilla de Luna, provincia de Zaragoza, y de esta manera establecer las medidas correctoras para la conservación de este singular monumento.

Para la realización de ensayos y análisis se ha contado con los laboratorios de la Cátedra de Petrología y el Laboratorio Centralizado de la Escuela T. S. de Ingenieros de Minas de la Universidad Politécnica de Madrid. El estudio estructural de estabilidad de la Iglesia-talud ha corrido a cargo de la empresa INES S.A. Ingenieros Consultores.

1.1 OBJETIVOS Y TRABAJOS REALIZADOS

El objetivo de este estudio es la determinación de las variables que pueden estar afectando a la estabilidad del talud sobre el que se edificó esta Iglesia de San Gil de Mediavilla, con el fin de correlacionarlas con las fracturas que se observan en los paramentos de la Iglesia y poder modelizar los procesos tensionales-deformacionales que tienen lugar en el conjunto talud-edificio, pudiendo de esta forma establecer las medidas correctoras adecuadas para una eficaz conservación de este monumento.



Para alcanzar estos objetivos se han realizado los siguientes trabajos y estudios:

- Visitas a la Ermita para su estudio y toma de muestras.
- Levantamiento de la columna estratigráfica del talud.
- Cartografía de las discontinuidades que afectan al talud.
- Caracterización petrológica y petrofísica del material pétreo constitutivo del talud.
- Caracterización mecánica de los materiales que constituyen el talud.
- Análisis de estabilidad del talud.
- Estudio climático de la zona.
- Estudio estructural del conjunto talud-edificio.
- Interpretación y discusión de los resultados y redacción de informe.

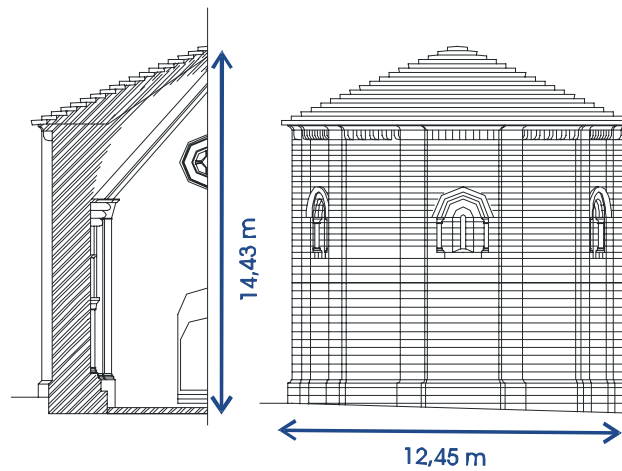
1.2 DESCRIPCIÓN DE LA ERMITA DE SAN GIL DE MEDIAVILLA Y SU ENTORNO

Antes de acometer los trabajos de investigación y estudio de la estabilidad de Ermita de San Gil de Mediavilla, se ha creído necesario exponer, con el objeto de situar el monumento y centrar la problemática que presenta, una descripción del edificio y de los materiales observados en visitas previas.

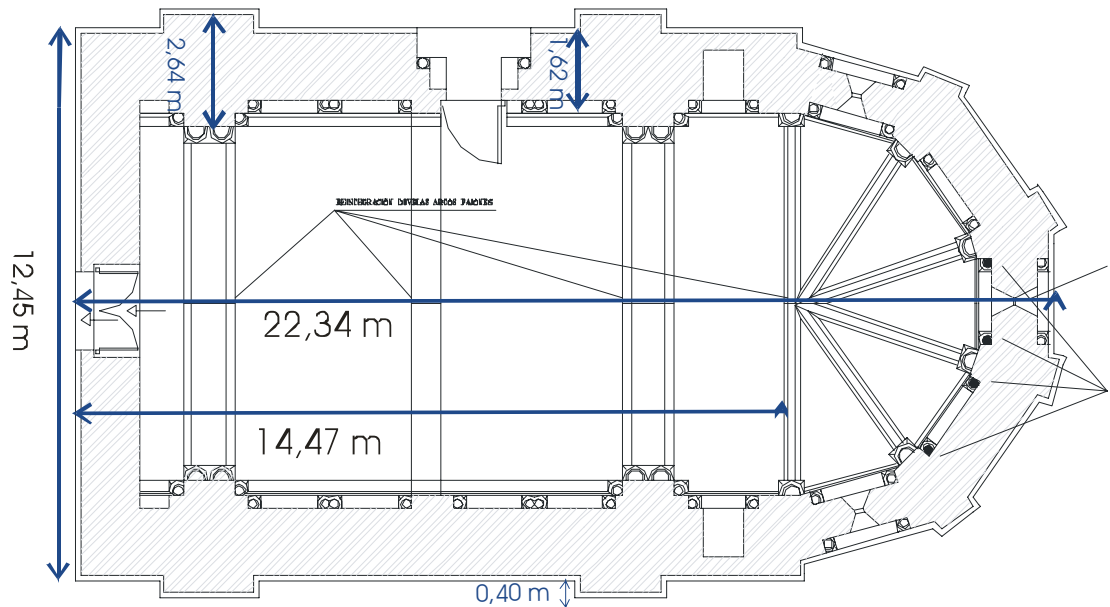
Se trata de una iglesia románica con planta rectangular de 22,34 m x 12,45 m² con terminación en ábside en su extremo este (radio 6,22 m). El ancho de sus muros es de aproximadamente 1,62 m en paramentos y de 2,64 m en los contrafuertes y una altura máxima de 14,43 m.

Externamente, su arquitectura es de una gran sobriedad y monumentalidad. Presenta una nave rematada en cabecera con un ábside poligonal con grandes contrafuertes. En los cinco paños resultantes se abrieron tres ventanales de arquivoltas semicirculares sobre columnas. El edificio tiene un claro estilo Cisterciense, que se puede datar hacia la segunda mitad del XII o principios del XIII.

El interior del templo es una nave rematada en ábside poligonal, de cinco lienzos. Se cubre con una bóveda apuntada y está reforzada con fajones en la nave, y 6 nervaduras de triple bocel; dos de las cuales se continúan formando como un pequeño fajón en el que convergen las demás.



Dimensiones alzado



Dimensiones planta

En origen tuvo dos entradas, una a los pies, que posee un hermoso crismón en la clave y la otra al norte con tímpano decorado con imágenes que representan la vida de San Gil.

En las jambas de la entrada norte hubo esculturas de las que sólo queda una, un apóstol cuyo cuerpo sirve de columna, mientras que los capiteles se muestran aún decorados con cabezas de águilas.



A pesar de su sencillez, la iglesia fue ricamente decorada. Los capiteles de las columnas adosadas a los muros muestran la vida cristo, mientras que la arquería ciega que recorre el ábside también presenta decoración escultórica.

Sus frentes este y oeste presentan fisuras que afectan a juntas, pero también fracturan los sillares. Estas fisuras poseen mayor luz en su parte media baja, llegando a alcanzar un máximo de medio centímetro. La fisuración aparece tanto en la parte externa como en la interna de los muros. Esta fisuración viene a sumarse a otra previa a la restauración en curso, que se considera ya estabilizada y que hoy día es posible apreciar en el interior de la nave.



La edificación se asienta en el borde de un talud. En el escarpe del talud se pueden apreciar las características geológicas del subsuelo. En efecto, el escarpe aparece formado por afloramientos de una alternancia subhorizontal de areniscas y areniscas arcillosas, serie típica del mioceno prepirenaico. Las areniscas constituyen los paquetes más competentes, por lo que se forma un relieve diferencial. Toda la serie presenta un sistema de diaclasado que llega a separar los estratos en bloques más o menos paralelepípedicos.

En las visitas realizadas, se observó sobre el coluvión de ladera bloques recientemente desprendidos, que todavía no habían sido biocolonizados, por lo que sus contornos aparecían con las características de la roca fresca.

En el borde superior del escarpe aparecen entalladuras en la roca, que se interpretan arqueológicamente como tumbas. El mismo escarpe en varios puntos, parece presentar signos de haber sido canteado, por lo que probablemente, constituye el lugar de donde fue extraída la piedra para la construcción.

Según la información facilitada antes de la guerra civil española las fisuras ya existían. En los años 50 se desmontaron y repararon las cubiertas y algunas pilas. Dejaron sólo el



escalonado de la cubierta. Esta intervención disminuyó el peso de la cubierta pero no eliminó las filtraciones, por lo que a los 2 meses se volvieron a producir nuevas goteras.

En 1997 se levantó el solado y se hormigonó pero no se realizaron catas para la inspección de la cimentación. En esta intervención también se limpiaron sillares.

Se ejecutó una tercera intervención en 1999 por la empresa Restaurogea. En ella se volvió a desmontar y reparar la cubierta por tramos, dejándola con el mismo aspecto que la intervención de los años 50 pero dando una solución definitiva a los problemas de humedades por filtraciones. Se confeccionó un escalonado de mortero de cal, se impermeabilizó con pintura y fibra de vidrio. En las juntas se colocaron láminas de plomo. La parte superior de los paramentos externos se reparó rellenando grietas sobre ventanas que llegaban hasta la bóveda.

1.2.1 Encuadre geológico

El objeto del estudio del presente informe es, principalmente, el terreno sobre el que se asienta la iglesia de San Gil, por lo que resulta de gran relevancia el detallado conocimiento de los diferentes materiales geológicos que conforman el área de estudio y su comportamiento en términos hídricos y de resistencia. Por ello, se ha relacionado la bibliografía geológica disponible del MAGNA que nos da información sobre la geología y la hidrogeología regional.

El relieve característico de la zona es más o menos llano, del que sobresalen cerros aislados por la erosión, que llegan a alcanzar una altura de 657 m en el alto de la Monlora, drenado por el río Arba de Biel.

Los demás cauces existentes en la zona consisten en pequeños arroyos de funcionamiento efímero, que tributan sus aguas a este río.

Los materiales geológicos que constituyen la zona son de edad miocena y cuaternaria. Dentro de los primeros, el entorno de Luna se ve dominado por la presencia de areniscas y de arcillas de origen fluvial que condicionan un paisaje llano, con cerros de diferente altitud preservados de la erosión pliocuaternaria.

En el pueblo de Luna, los materiales de edad cuaternaria están constituidos por las terrazas del río Arba de Biel.



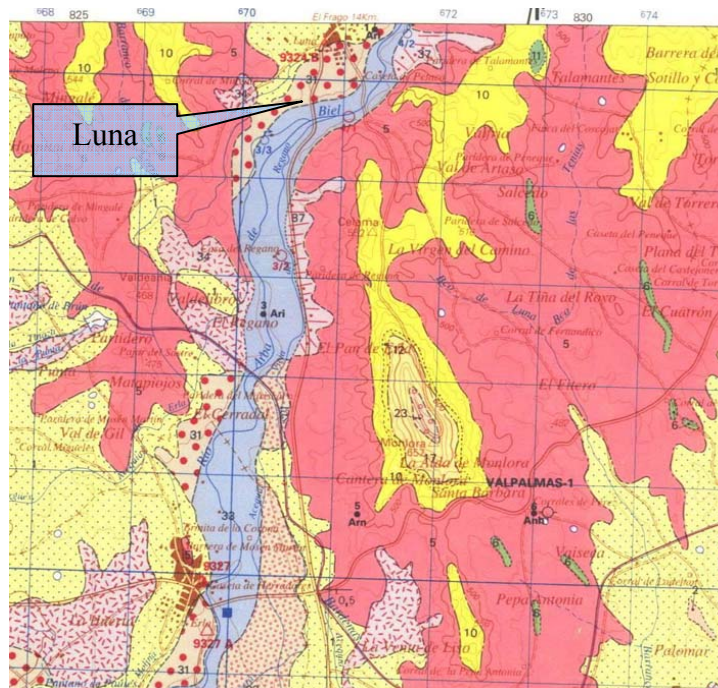
La actividad tectónica dentro del área estudiada, ha sido prácticamente nula, tal y como demuestra la disposición subhorizontal de los estratos, que tienen un buzamiento aproximado de 1° hacia el S-SO. Hay que señalar que en el área comprendida entre la Sierra de Luna y Las Pedrosas, existen buzamientos de hasta 3,5°, lo que podría indicar la existencia de una estructura de dirección ONO-ESE, que pudiera consistir en un pliegue flexural con un mayor desarrollo en profundidad.

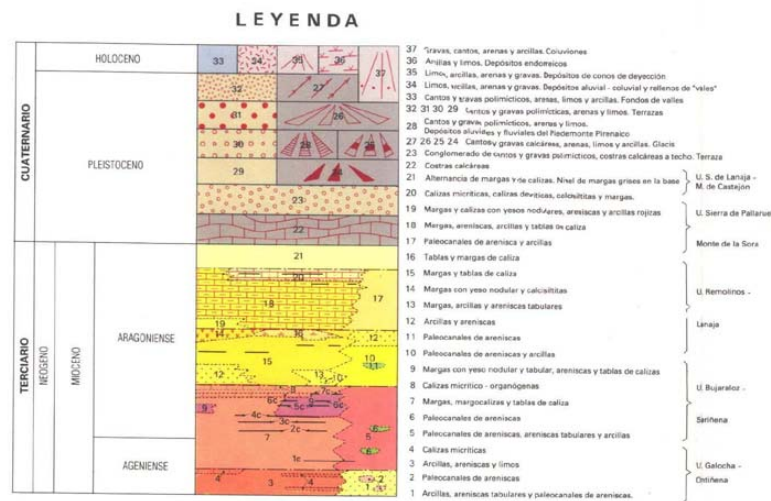
La zona donde se enclava la Iglesia se halla situada en la parte central de la Cuenca del Ebro. Esta Cuenca, desde principios del Oligoceno hasta el Mioceno superior, se ha comportado como una cuenca endorreica que recibía sedimentos continentales procedentes del desmantelamiento de las cordilleras circundantes: el Pirineo en el norte, la Cordillera Ibérica en el sur y SO y los Catalánides en el SE. Los materiales fluviales, de edad miocena, son de procedencia pirenaica.

Un extracto de la secuencia estratigráfica de sedimentos en el entorno geológico del área en estudio según la memoria del Mapa Geológico de España de Ejea de los Caballeros, Hoja 284 (27-12), escala 1:50.000 se expone a continuación:

1. ESTRATIGRAFIA

La hoja de Ejea de los Caballeros está constituida por materiales de edad miocena que colmatan la parte central de la Cuenca del Ebro que, en gran parte, se hallan recubiertos por materiales de edad cuaternaria.





Geología de la zona de Luna. MAGNA de Ejea de los Caballeros (Hoja nº 284, Escala 1:50.000)

Dentro de los sedimentos del Mioceno, en la hoja se distinguen dos dominios litológicos diferentes: en la parte septentrional del territorio se encuentran areniscas y arcillas de origen fluvial, correspondientes a la parte distal del Sistema de Luna (Nichols, 1984) que, en gran parte, provienen del desmantelamiento de las Sierras Exteriores pirenaicas. Estos materiales forman parte de la Formación Uncastillo, definida por Soler y Puigdefábregas (1970), equivalente a la Formación Sariñena de Quirantes (1969). Por el contrario, la parte meridional de la hoja viene dominada por una alternancia de margas y calizas depositadas, a grandes rasgos, dentro de un ambiente lacustre. El conjunto de estos materiales pertenece a los Miembros Castellar y Castejón de la Formación Alcubierre (Quirantes, 1969). Riba et al. (1973) consideran que la parte inferior de estos materiales margo-carbonatados, es de edad Mioceno inferior, mientras que la parte superior de la serie margocarbonatada, que configura los Montes de Castejón, tiene una edad correspondiente al Mioceno medio-superior.

No obstante, dentro del dominio fluvial, puede observarse una ordenación vertical cíclica de los materiales, que consiste en una alternancia de tramos con predominio de canales de arenisca y de niveles con predominio de arcillas. Los primeros representan etapas de reactivación en la sedimentación fluvial y los segundos, etapas de retracción de la misma. Dentro de estos materiales se han distinguido un total de cuatro unidades cíclicas, cuya base consiste en agrupaciones de paleocanales de areniscas y su techo es fundamentalmente arcilloso, con intercalaciones de areniscas tabulares y de paleocanales de escasa continuidad lateral.

Dentro del complejo lacustre desarrollado en la parte meridional del territorio que comprende la hoja, existen intercalaciones de materiales siliciclásticos, de origen aluvial, que se han correlacionado con las agrupaciones de paleocanales mencionadas en el párrafo anterior. De esta forma, en el sector sur de la hoja, se han distinguido un total de cuatro unidades cíclicas formadas por depósitos aluviales en la base y por depósitos de origen lacustre-palustre en el techo.

Esta ordenación vertical permite distinguir unidades con un carácter rítmico, denominadas como unidades genético sedimentarias, compuestas en su base por depósitos aluviales más groseros y en su parte superior por sedimentos de llanura de inundación y palustre-lacustres. El límite entre cada unidad es neto y brusco, mientras



que los cambios de facies en la sucesión vertical, dentro de la propia unidad, son graduales.

Se han diferenciado, en la parte central de la cuenca del Ebro, un total de veinte unidades genético-sedimentarias que abarcan una edad comprendida entre el Priaboniense y el Aragoniense-Vallesiense. De todas estas sólo cinco se hallan presentes en la hoja y tienen una edad comprendida entre el Mioceno inferior (Ageniense) y el Mioceno medio (Aragoniense). Estas unidades reciben, de base a techo, los nombres de unidad Galocha-Ontiñena, unidad Bujaraloz-Sariñena, unidad Remolinos-Lanaja, unidad Sierra de Pallaruelo-Monte de la Sora y unidad Sierra de Lanaja-Montes de Castejón.

Los materiales cuaternarios corresponden principalmente a distintos niveles de terraza de los ríos Arba de Biel y Arba de Luesia, a distintos niveles de glacis desarrollados al pie de los Montes de Castejón y a depósitos aluviales y coluviales de escasa importancia.

Las unidades aflorantes en el entorno de Luna son las siguientes:

1.1. Terciario

1.1.1. Unidad Galocha-Ontiñena

Es la unidad genético-sedimentaria más antigua que aflora en la hoja. Se localiza en las zonas topográficamente más deprimidas. En la parte nor-oriental de la hoja, la unidad está formada por arcillas y paleocanales de arenisca y hacia el sur y SO pasa transicionalmente a arcillas con intercalaciones de limos y areniscas tabulares y niveles de calizas abundantes en su parte superior.

En la parte central de la Cuenca del Ebro, la unidad Galocha-Ontiñena se ha caracterizado por la presenta facies aluviales procedentes del Pirineo y que forman parte del Sistema de Huesca (Hirst y Nichols, 1986). En la parte sur de la zona de Sariñena, las facies aluviales están solapadas por facies carbonáticas de origen lacustre-palustre, que constituyen el techo de la unidad. Hacia el área comprendida en las hojas de Peñalba, Fraga, Mequinenza y la parte oriental de la hoja de Bujaraloz, está formada por facies aluviales distales (lutíticas), en las que se intercalan diferentes niveles carbonatados en la parte superior.

En la presente hoja, dentro de la unidad Galocha Ontiñena, se han distinguido los siguientes niveles cartográficos.

1. 1. 1.1. Arcillas, areniscas tabulares y paleocanales de arenisca (1). (Ageniense)

Aflora en la parte centro-septentrional de la hoja. En la zona de la Casa Alegre, se han medido unos 30 metros de potencia correspondientes a esta unidad cartográfica, que consisten en una alternancia de areniscas de tamaño de grano medio y de arcillas de color ocre. Las areniscas se organizan en bancos de hasta 3 metros de espesor, tienen estructuras de reactivación marcadas por cantos blandos y presentan superficies de acreción lateral. Las arcillas están bioturbadas y entre ellas se intercalan capas de areniscas planoparalelas, con laminación paralela y "ripples" de corriente. La parte superior del tramo es fundamentalmente pelítica, con intercalaciones de limos carbonatados.

Petrográficamente, las areniscas corresponden a litarenitas, con un 36% de clastos cuarcíticos, un 20 % de clastos calcáreos y, el resto de los clastos, son de feldespatos potásicos y sódicos. También existe un pequeño porcentaje de yeso detrítico. La matriz es fundamentalmente clorítica y el cemento, es calcáreo y yesífero, en la misma proporción.



Los bancos de arenisca representan el relleno de paleocanales de ríos meandriformes ("point bars"), mientras que las arcillas con intercalaciones de areniscas tabulares corresponden a las facies de llanura de inundación de los paleocanales descritos.

1. 1. 1. 2. Paleocanales de arenisca (2). (Ageniense)

Dado que algunos de los paleocanales intercalados en la unidad anterior poseen una buena expresión geomorfológica, se han diferenciado de la unidad anterior como cuerpos cartográficos individuales. Presentan las mismas características sedimentológicas que los paleocanales descritos anteriormente y, por consiguiente, las mismas características petrológicas. Corresponden a "pointbars" de ríos meandriformes. Su edad es Ageniense.

1.1.2. Unidad Bujaraloz-Sariñena

Esta unidad genético-sedimentaria aflora tanto en el sector septentrional como en el meridional de la hoja. En la parte septentrional, esta unidad está formada por paleocanales de arenisca, intercalados con lutitas ocreas que en conjunto representan facies aluviales distales. En el sector meridional, la parte media-superior de la unidad está formada por margas con intercalaciones de calizas, mientras que su parte basal está formada por una alternancia de lutitas y de areniscas (tabulares y canaliformes). En la zona comprendida entre el Corral Alto y el extremo oriental de la hoja, al norte de las Pedrosas, las margas contienen nódulos y niveles de yeso.

La potencia de la unidad Bujaraloz-Sariñena dentro de la hoja ha sido evaluada de forma parcial en las series de Luna (01) de unos 65 m.

En el norte del territorio, el contacto con la unidad infrayacente se pone de manifiesto a través de una acumulación de paleocanales en la base de esta unidad que se apoyan sobre los materiales predominantemente arcillosos de la parte superior de la unidad Galocha-Ontiñena.

Los materiales terrígenos, que forman parte de esta unidad en la parte septentrional de la hoja, corresponden a la Formación Uncastillo (Soler y Puigdefábregas, 1970). Los materiales yesíferos que la configuran en los extremos sur este y SO de la hoja, pertenecen a la Formación Zaragoza (Quirantes, 1969), mientras que los materiales carbonáticos, que se intercalan en su parte superior en el sector meridional, se incluyen en la Formación Alcubierre (Miembro Castellar).

En la cartografía, se han diferenciado las siguientes asociaciones de facies:

1.1.2.1. Paleocanales de arenisca, areniscas tabulares y arcillas (5). (Ateniense-Aragoniense).

Esta unidad cartográfica se extiende por los sectores septentrional y central de la hoja, aflorando entre las terrazas del río Arba de Biel. Para su descripción, se han utilizado los datos de la columna sedimentológica de Pepa Antonia (04). En este sector tiene unos 80 m de potencia. Consiste en una alternancia de bancos de arenisca y de arcillas. Las areniscas son de grano medio y tienen un espesor máximo de 6 m. Poseen granoclasificación positiva, superficies de reactivación internas y superficies de acreción lateral. Entre las arcillas se intercalan areniscas de grano fino planoparalelas, con laminaciones paralelas y "ripples".

Los cantos que integran las areniscas son mayoritariamente calcáreos y cuarcíticos, con un porcentaje ligeramente superior de los primeros. Minoritariamente, se encuentran clastos de feldespatos potásicos y sódicos. El cemento es calcáreo y yesífero, y la matriz es clorítica.



De acuerdo con sus características sedimentológicas los bancos de arenisca pueden interpretarse como "point bars" de ríos meandriformes, mientras que las areniscas planoparalelas y las arcillas, representan probablemente los depósitos de desbordamiento de estos paleocanales.

1.1.2.2. Paleocanales de arenisca (6). (Ateniense-Aragoniense)

Corresponden a paleocanales similares a los descritos en el párrafo anterior que se han diferenciado en la cartografía, debido a su expresión geomorfológica. Tanto sus características sedimentológicas, como las petrográficas, son idénticas a las de las areniscas anteriormente descritas. Tienen una edad Ateniense-Aragoniense.

En cuanto a la tectónica que ha afectado a los estratos miocenos menciona lo siguiente:

(...) 2.4. NEOTECTÓNICA

Hacia el Mioceno superior-Plioceno se desarrolló en la región una tectónica de tipo distensivo que, aunque apenas se manifiesta por fallas cartográficas, sí produjo un sistema de diaclasado bastante homogéneo y, según se observa localmente en algunas de las hojas vecinas, fallas normales de pequeño salto. Este campo de esfuerzos sería una distensión que da lugar a una familia principal de diaclasas entorno a N-S y un a familia secundaria en dirección E-O. En ciertas áreas se produjo una desviación de las trayectorias de esfuerzos por efecto, probablemente, de fallas mayores de dirección ESE a SE con las que posiblemente también estaría relacionado el basculamiento observado en la parte central de la Hoja.

Durante el Plioceno y Cuaternario siguen produciéndose en muchos puntos fracturas SSE y ENE (y en menor medida ESE y NE).

En cuanto al modelado de las laderas, el MAGNA indica:

3.2.2. Estudio del Modelado

3.2.2.1. Laderas

Las laderas constituyen una parte importante del conjunto del paisaje y proveen de agua y sedimento a la red de drenaje, por lo que son elementos fundamentales en la comprensión del relieve. Dentro de la hoja, pueden apreciarse distintos tipos de laderas en función de su substrato y de los procesos erosivos presentes.

Los relieves de areniscas (cerros uniformes y relieves de paleocanales) originan laderas ruiformes por infiltración del agua de lluvia (normalmente a través de las juntas presentes en las areniscas) y lavado del material arcilloso. Debemos señalar que este tipo de laderas no se ha presentado como elemento morfológico independiente al quedar incluido como proceso de origen poligénico (en los cerros ruiformes en areniscas) además de carecer de entidad cartográfica suficiente (en el caso de los relieves de paleocanales).

1.2.2 Hidrogeología del área

En el área se distinguen dos cuencas principales, según la clasificación decimal de los ríos del M.O.P.U.; ambas están incluidas en la Cuenca del Ebro: la mayoría de la superficie drena hacia el río Arba de Luesia y su afluente el Arba de Biel.



La red de drenaje está constituida por una serie de barrancos de carácter esporádico que funcionan con ocasión de las lluvias. Los únicos cursos de carácter permanente son el Arba de Luesia y el Arba de Biel.

En la zona no hay definido ningún sistema acuífero a escala regional, pero sí que existen algunas formaciones que pueden resultar interesantes a escala local y que se describen a continuación. En primer lugar redestacan los depósitos cuaternarios que son los que presentan mayores posibilidades hidrogeológicas, y en segundo lugar los materiales terciarios.

Dentro de los acuíferos terciarios se pueden incluir, por un lado los materiales detríticos de la Formación Uncastillo, y por otro, la alternancia calcáreo-margosa de los Montes de Castejón.

Los primeros están constituidos por areniscas tabulares, paleocanales de arenisca, y arcillas, con una transmisividad del orden de $10 \text{ m}^2/\text{día}$.

Aunque no se tiene constancia de la existencia de puntos de agua asociados a esta formación, observaciones realizadas en otras áreas, indican la posibilidad de drenajes dispersos a través de manantiales de escaso caudal, y existencia de flujos hacia ríos y arroyos que queda enmascarada por la presencia de los cuaternarios solapantes.

Los acuíferos cuaternarios están constituidos por los aluviales de los ríos Arba de Biel y Arba de Luesia. La llanura aluvial y los depósitos de terrazas de ambos ríos están formados por cantos y gravas dispuestos en forma de barras, con intercalaciones de materiales arenosos y limosos.

El espesor medio del acuífero relacionado con el río Arba de Luesia es de 20 m, con un espesor saturado medio de 14 m. La anchura oscila entre 1-1,5 Km. aguas debajo de Ejea y 4-6 Km. al norte de esta localidad.

El aluvial del río Arba de Biel, tiene un espesor puntual al sur de Luna de 7 m y un espesor saturado de 3 m.

Estas formaciones aluviales constituyen acuíferos permeables por porosidad intergranular y de carecer libre. La transmisividad obtenida mediante ensayos de bombeo toma valores entre $100 \text{ m}^2/\text{día}$ y $600 \text{ m}^2/\text{día}$.



Los niveles piezométricos presentan oscilaciones cíclicas estacionales, registrándose notables ascensos en las épocas de regadío motivados por infiltración de excedentes. Los ríos de la zona considerada son efluentes, drenando al acuífero.

La recarga procede de la infiltración de la precipitación directa sobre el acuífero, así como de los retornos de regadío. También pueden recibir aportes provenientes de los materiales terciarios.

La descarga se produce hacia los ríos que son los principales ejes de drenaje. Otras salidas se producen a través de zanjas drenantes, y manantiales, que se sitúan en el borde las terrazas, y por bombeos en pozos y sondeos.

2 METODOLOGÍA EMPLEADA

La metodología empleada ha estado condicionada por las patologías estructurales que presenta la Iglesia, las que están afectando a la estabilidad de los lienzos del edificio. Establecer el estado actual de estos daños y su envergadura y conocer los procesos que intervienen en el desarrollo de las patologías observadas ha sido el objetivo prioritario de este trabajo, con el fin de diseñar las medidas oportunas y permitir una adecuada conservación del monumento en estudio.

Los ensayos y técnicas empleadas pretenden caracterizar geotécnicamente los materiales que conforman el talud sobre el que se asienta la Iglesia para determinar el grado de inestabilidad del mismo y su relación con las fisuras observadas en los paramentos de la iglesia.

Por ello ha sido importante conocer la respuesta mecánica de estos materiales frente a las solicitaciones requeridas para estabilizar estructuralmente los lienzos de sillería que condicionarán las medidas correctoras propuestas.

Para delimitar los daños y los procesos que los provocan ha sido necesaria una serie de medidas en campo, como el levantamiento de columnas estratigráficas que describen la secuencia estratigráfica del talud, la cartografía de las discontinuidades que lo afectan y la toma de muestras para determinar las propiedades petrológicas y geomecánicas de estos materiales.



Este capítulo se ha dividido en cuatro apartados donde, en primer lugar, se expone la toma de muestras realizada. En los siguientes apartados se relacionan los protocolos de los ensayos realizados en laboratorio, y los fundamentos teóricos de las técnicas empleadas se relacionan en el último apartado.

2.1 TOMA DE MUESTRAS Y DATOS

2.1.1 Toma de muestras

Se ha pretendido que la toma de muestras del material que compone el talud sea lo más representativa posible.

Las muestras recogidas, su denominación, el ensayo y/o técnica empleada para su estudio y su localización se exponen en la siguiente tabla.

| CARACTERIZACIÓN DE LAS ROCAS | | | |
|------------------------------|-------------------|--------------|--|
| CARACTERIZACIÓN PETROLÓGICA | | | |
| Denominación | Tipo muestra | Localización | Técnica empleada |
| GIL 1 | Arenisca calcárea | Fragmentos | Microscopía óptica, |
| GIL 2 | Limolita | Fragmentos | Microscopía óptica, DRX |
| CARACTERIZACIÓN PETROFÍSICA | | | |
| Denominación | Tipo muestra | Localización | Técnica empleada |
| GIL 1 | Arenisca calcárea | Fragmentos | Porosimetría de Hg, Permeabilidad UNE-EN 539-1:1994 |
| GIL 2 | Limolita | Fragmentos | Porosimetría de Hg, Permeabilidad UNE-EN 539-1:1994 |
| CARACTERIZACIÓN GEOMECÁNICA | | | |
| Denominación | Tipo muestra | Localización | Técnica empleada |
| GIL 1 | Arenisca calcárea | Fragmentos | Resistencia a la tracción indirecta (ensayo brasileño) |

2.1.2 Toma de datos *in situ* para la descripción geométrica, litológica y estructural del talud

En las fases de obra que se han llevado a cabo en la Ermita con anterioridad, se han acometido diferentes labores de intervención, siempre en el interior de la Ermita y en su cubierta y paramentos exteriores, pero nunca en el terreno contiguo al monumento. Es por



ello que se ha debido ampliar la documentación cartográfica de la iglesia para introducir la geomorfología del entorno en la planta del proyecto, y en concreto la situación del escarpe del talud, para establecer las relaciones geométricas directas que puedan existir entre éste y la construcción.

Se realizó un levantamiento topográfico del talud en el que se detallaron las discontinuidades observadas en los afloramientos rocosos.

La medida de las discontinuidades se ha realizado mediante el uso de la brújula y el clinómetro, que permite conocer su orientación, es decir, su dirección (ángulo de una línea horizontal contenida en el plano de discontinuidad con respecto al norte) y su buzamiento (ángulo que forma la línea de máxima pendiente contenida en el plano de discontinuidad con respecto a la horizontal).

La orientación de las discontinuidades respecto a la del talud permite discernir el tipo de rotura y el proceso de inestabilidad de ladera que lo provoca. La representación de estas orientaciones se ha realizado mediante proyección estereográfica.

El análisis del encuadre geológico se ha localizado, especialmente en detalle, en la ladera existente próxima a la Ermita. Se ha realizado el estudio de la secuencia estratigráfica del talud mediante el levantamiento de columnas estratigráficas en tres puntos representativos de éste, para lo que se ha requerido la observación y experiencia de un geólogo. Esta base de información geológica, correlacionada con los croquis del talud y sus discontinuidades, ha permitido crear un perfil del talud del macizo rocoso, que se complementará con la planta de la Ermita y su entorno.

2.2 CARACTERIZACIÓN PETROLÓGICA DE LAS ROCAS

2.2.1 Microscopía óptica de luz transmitida

Se ha realizado la observación, mediante microscopía óptica de las muestras descritas en la siguiente tabla:

| ROCAS | | |
|--------------|-------------------|--------------|
| Denominación | Tipo muestra | Localización |
| GIL 1 | Arenisca calcárea | Fragmentos |
| GIL 2 | Limolita | Fragmentos |



El método universalmente admitido, desde finales del siglo XIX, en que se puso a punto la técnica, para conocer la naturaleza de las rocas, es el estudio petrográfico mediante microscopía óptica por luz polarizada transmitida. Este método permite la observación directa de la mineralogía y textura de la roca (la textura indica la forma en que se relacionan los minerales), así como de su macroporosidad. Este tipo de microscopía permite aumentos entre 31 y 1000 (mediante objetivo de aceite). A grandes aumentos, la resolución es muy baja por lo que las observaciones se realizan normalmente entre 30 y 125 aumentos. La información que el método suministra, depende en gran medida de la experiencia del petrógrafo y de que este sepa lo que busca. No existe técnica analítica alternativa que permita conocer como denominar a la roca.

La preparación se realizará, como es usual, en lámina transparente de unas 30 micras de espesor, tiñendo los carbonatos, para su distinción con rojo alizarina y los feldespatos con cobaltonitrato, para diferenciar el feldespato potásico de la plagioclasa, en caso de que el tipo de material pétreo haga sospechar la existencia de estos minerales. La cuantificación de los componentes se hará, normalmente, mediante estimación visual, aunque en algún caso muy específico se puede recurrir al análisis modal mediante contador de puntos.

La *microscopía óptica de luz transmitida* se fundamenta en la observación, mediante un microscopio óptico polarizante. El microscopio empleado ha sido un CARL ZEISS JENAPOL, siendo la muestra cortada y desbastada en *lámina delgada* de 30 micrómetros de espesor, montada sobre un cristal portaobjetos. La técnica permite a observación directa de la mineralogía y textura de la roca en una sección y la información que proporciona se basa ampliamente en la experiencia del observador. La identificación de los minerales se realiza a través de sus propiedades ópticas reconocibles con el microscopio polarizante al ser atravesados por la luz polarizada. Al observarse directamente los granos se aprecia, igualmente, su textura y macroporosidad. Se pueden efectuar cuantitativos mediante la estimación del área ocupada por cada fase. Esto se puede llevar a cabo mediante apreciación visual, nuevamente basada en la experiencia del petrógrafo, o mediante análisis modal, contando los puntos de una red superpuesta que coinciden con cada una de las fases minerales.

Para preparar la muestra, se impregna al vacío con una combinación de resina y fluoresceína, se pega sobre un portaobjetos de cristal y se desbasta hasta el espesor señalado de 30 micras. A ese espesor, la mayor parte de los minerales de las rocas son



transparentes. Para distinguir los feldespatos potásicos de calcosódicos su pueden teñir los minerales con cobalto nitrito sódico. El feldespato potásico se tiñe de amarillo y el calcosódico no. Para distinguir los carbonatos (calcita de dolomita) se puede teñir con alizarina (la calcita se tiñe de rojo y la dolomita no).

2.2.2 Difracción de rayos X

Mediante esta técnica se ha estudiado una muestra de limolita (GIL 2) para comprobar la mineralogía de esta roca. La muestra se ha preparado mediante agregados orientados para comprobar el tipo de arcilla que contiene.

La aplicación fundamental de la Difracción de Rayos X es la identificación cualitativa de la composición mineralógica de una muestra cristalina. La difracción está basada en las interferencias que se producen cuando una radiación monocromática atraviesa la muestra en polvo. En función de la red cristalina de los minerales presentes, esta radiación sufrirá una serie de reflexiones (en realidad difracciones) características de cada mineral, según la conocida ley de Bragg, que relaciona el ángulo de reflexión (θ) con la longitud de onda utilizada (λ) y el espaciado entre los planos reticulares de la estructura (d)

$$2 d \text{ sen } \theta = n \lambda$$

donde n , es un número entero.

Esta técnica se realiza mediante la molienda de la muestra por debajo de 40 micras, previo a la introducción de la misma en un difractor. El difractor empleado es un PHILLIPS BW-1404 del Laboratorio Centralizado de la E.T.S.I. de Minas de la UPM. Los resultados obtenidos se pueden representar como un listado de los picos principales, o bien, como un gráfico de intensidad de radiación en función del ángulo de incidencia del rayo. Éstos deben después interpretarse en función de los patrones publicados para cada mineral.

2.3 ENSAYOS PARA LA CARACTERIZACIÓN PETROFÍSICA EFECTUADOS EN LABORATORIO

El agua es el principal factor de degradación de la piedra, por ello es importante conocer las propiedades petrofísicas de las rocas con el fin de evaluar su respuesta frente a los procesos erosivos que afectan a la estabilidad del talud.



En los apartados siguientes se exponen los ensayos y las muestras sometidas a los mismos, así como el laboratorio que los ha realizado.

2.3.1 Porosidad total y distribución porosimétrica mediante la técnica de intrusión de mercurio

El sistema poroso de las rocas es la parte de éstas donde se desarrolla el almacenaje y circulación de fluidos. Por lo que la morfología y dimensiones de los poros desempeñan un papel fundamental en la alterabilidad de las rocas respecto de los agentes de degradación relacionados con el agua.

Esta técnica permite caracterizar la porosidad de las litologías que presenta el talud, generando datos cualitativos y cuantitativos que presenta, basándose en la intrusión de mercurio en función de las variaciones de presión.

| ROCAS | | |
|--------------|-------------------|--------------|
| Denominación | Tipo muestra | Localización |
| GIL 1 | Arenisca calcárea | Fragmentos |
| GIL2 | Limolita | Fragmentos |

Para los ensayos se ha utilizado un Poresizer 9320 V2.05 de la CÁTEDRA DE PETROLOGÍA Y MINERALOGÍA DE LA E.T.S.I. MINAS.

Las muestras se han cortado la muestras en forma cuasicilíndrica, luego, se han desecado previamente en una estufa de vacío. Esta operación se realiza en un intervalo de temperaturas que oscila entre los 60 y los 65° C, para evitar transformaciones en la estructura de los minerales.

El porosímetro de mercurio, determina la porosidad en función del volumen de mercurio intruido en los poros bajo diferentes presiones. Según la Ley de Jurín, existe una relación entre el diámetro de los poros que el mercurio puede alcanzar y la presión ejercida sobre el líquido metal. El volumen de mercurio introducido es medido por el cambio en la capacitancia eléctrica de un transductor cilíndrico formado por una coraza externa metálica alrededor del vástago del penetrómetro, en el capilar interior de mercurio.



El nivel de mercurio dentro del capilar decae tanto como los poros se rellenan en la muestra bajo incremento de presión, conduciendo a un decrecimiento lineal de la capacitancia eléctrica con el incremento del volumen. Los cambios en la capacitancia son convertidos en volúmenes mediante un factor de calibración del penetrómetro.

La aludida ley de Jurín, expresa que:

$$d = \frac{\gamma \cos \theta}{P}$$

Donde

d: Diámetro del poro en micras

γ : Tensión superficial líquido-aire (γ Hg=480 dinas/cm, a 250° C)

θ : Angulo de contacto líquido-sólido (θ Hg-piedra = 138.6 °)

P: Presión ejercida sobre el líquido en psias

Es decir, para el caso del mercurio y materiales pétreos se tiene la expresión

$$d = 180/P$$

El volumen de mercurio intruido es medido por la variación que experimenta el nivel del mercurio en un tubo capilar de sección conocida.

El ensayo de cada muestra consta de dos partes: Primero se introduce la muestra en un detector a baja presión (hasta 30 Psia) para que se rellenen los poros de mayor diámetro y posteriormente se coloca dentro de uno a alta presión (hasta 30.000 Psia), para que sean accesibles los poros más pequeños.

Para calcular la porosidad, de forma automática mediante el software del equipo informático adjunto al aparato, se ha utilizado la fórmula

$$P(\%) = 100 \cdot V_v/V_m$$

Donde

V_v = Volumen de vacíos

V_m = Volumen de muestra

Para calcular el índice de poros I_p se ha utilizado la fórmula

$$I_p = V_v/V_s = V_v/(V_m - V_v) = P/(1-P)$$

Siendo P la porosidad.

La información que proporciona el ensayo viene en forma de gráficos y tablas.



Así se obtienen tablas de distribución del diámetro de poro en relación con la presión aplicada, el incremento de volumen y volumen total de la probeta, la variación del área superficial de poros y el área de poros acumulada.

Los gráficos obtenidos son curvas-diagrama, que relacionan el diámetro de poro (mm), el volumen acumulado de intrusión (ml/g), el incremento de intrusión (ml/g), la diferencia en la distribución de espacios intruidos (ml/g - mm) y el área superficial específica de poros acumulada (m²/g).

El ensayo permite comparar la curva de distribución porométrica, así como la relación entre el volumen de intrusión y el área de poros, lo que define, en gran medida, la morfología, que no tipología, de poros, teniendo en cuenta que el método supone un modelo cilíndrico de poros (capilares de sección equidimensional).

Se considera:

Macroporo Radio de poro > 7,5 micras

Microporo Radio de poro < 7,5 micras

De los datos aportados por la porosimetría de mercurio, se desprenden una serie de factores que es necesario analizar, teniendo también en cuenta el estudio de microscopía.

La desviación de los parámetros, tamaño medio de poro y tamaño medio de accesos, refleja la desviación de la morfología de los poros de la roca de un modelo de un modelo de poro cilíndrico, aproximándose más al esférico, como era de esperar, por otro lado.

La macroporosidad en otro tipo de rocas, calizas, granitos etc, puede venir determinada por la presencia de microfisuración interclástica, huecos de disolución, por microkarstificación (pitting), etc.

La microporosidad, por su parte, también llamada porosidad "fina", es la causante del mal comportamiento de la piedra alterada ante los fenómenos de circulación de agua, ya sea en fase sólida, líquida o gaseosa; y por consiguiente es culpable también de otros fenómenos que se observan en la porosimetría: la capilaridad y la microfisuración intraclástica.

El aumento de la microporosidad va a favorecer, por un lado, las consecuencias negativas de los fenómenos de hielo-deshielo y de cristalización de sales y por otro, el fenómeno de capilaridad, también muy negativo en los procesos de alteración por circulación de agua que, en muchos casos, lleva disueltas sales.



Es posible, mediante la previa programación de las presiones, ejercer, una vez saturada la muestra de mercurio, la extrusión del mismo, quedando en el interior de la roca un volumen de mercurio que no ha sido capaz de abandonar la porosidad de la roca. Dicho volumen se conoce como porosidad atrapada y constituye un parámetro fundamental a la hora de establecer la alterabilidad de la roca y se debe a la presencia de poros en botella (con diámetros de acceso inferiores al diámetro del poro). El valor complementario de la porosidad atrapada es la porosidad libre, que representa el volumen de los canales de acceso o capilares por donde circulan sin impedimento los fluidos (permeabilidad). En la porosidad atrapada, que para rocas de porosidad muy fina, presenta índices elevados, se producen la mayor parte de los fenómenos de cristalización salina, así como los procesos de heladicidad, al existir en ella mayor acumulación temporal de humedades.

2.4 CARACTERIZACIÓN GEOMECÁNICA DE LA ROCA

2.4.1 Ensayo de tracción indirecta (ensayo brasileño)

Dados los problemas estructurales que presenta la Iglesia de San Gil de Mediavilla se ha procedido a realizar un ensayo de resistencia a la tracción indirecta (ensayo brasileño) para determinar los requerimientos mecánicos de la roca de arenisca tableada sobre la que se asienta el talud.

Este ensayo ha sido efectuado sobre 6 probetas de la muestra de arenisca calcárea (GIL 1) en el laboratorio de Mecánica de rocas de la ETSI de Minas de la UPM.

Este ensayo determina de forma indirecta la resistencia a tracción de las rocas. Está basado en el hecho experimental de que la mayoría de las rocas sometidas a campos de tensiones biaxiales rompen a tracción al alcanzar su resistencia a tracción uniaxial, cuando una tensión principal es de tracción y la otra tensión principal es de compresión, con una magnitud que no exceda tres veces la de la tensión principal de tracción.

La resistencia a tracción de la probeta, σ_t , se calcula según la siguiente fórmula:

$$\sigma_t = \frac{2 \cdot P}{\pi \cdot D \cdot e}$$



σ_t : es la resistencia a tracción de la probeta, en MPa
P: es la carga de rotura en N
D: es el diámetro de la probeta ensayada, en mm
e: es el espesor de la probeta ensayada, en mm



Vista de la prensa brasileña



3 RESULTADOS

3.1 ESTUDIO CLIMÁTICO DEL ÁREA

Para la confección de este apartado se han tomado los datos termopluviométricos de la estación Monflorite (Huesca), periodo de años 1971-2000 del Instituto Nacional de Meteorología.

El pueblo de Luna pertenece a la comarca de las Cinco Villas. Ésta es una comarca situada al norte de la provincia de Zaragoza.

| HUESCA (MONFLORITE) | | | | | | | | | | | | |
|---|------|------|------|-----|----|----|----|----|----|----|----|------|
| Periodo: 1971-2000 Altitud (m): 541 Latitud: 42° 05 00 Longitud: 0° 19 35 | | | | | | | | | | | | |
| MES | T | TM | Tm | R | H | DR | DN | DT | DF | DH | DD | I |
| ENE | 4.9 | 8.5 | 1.3 | 39 | 78 | 6 | 1 | 0 | 8 | 11 | 6 | 131 |
| FEB | 7.0 | 11.5 | 2.5 | 32 | 70 | 5 | 1 | 0 | 3 | 6 | 6 | 169 |
| MAR | 9.6 | 15.0 | 4.2 | 34 | 60 | 4 | 0 | 0 | 1 | 4 | 7 | 220 |
| ABR | 11.4 | 17.2 | 5.7 | 53 | 59 | 6 | 0 | 1 | 1 | 1 | 6 | 245 |
| MAY | 15.3 | 21.3 | 9.3 | 62 | 58 | 8 | 0 | 3 | 1 | 0 | 5 | 265 |
| JUN | 19.7 | 26.5 | 12.9 | 47 | 53 | 5 | 0 | 5 | 1 | 0 | 8 | 298 |
| JUL | 23.4 | 30.8 | 16.1 | 20 | 48 | 3 | 0 | 4 | 0 | 0 | 14 | 339 |
| AGO | 23.3 | 30.2 | 16.3 | 38 | 50 | 4 | 0 | 5 | 1 | 0 | 11 | 310 |
| SEP | 19.5 | 25.4 | 13.5 | 54 | 57 | 4 | 0 | 3 | 1 | 0 | 8 | 241 |
| OCT | 14.3 | 19.1 | 9.5 | 54 | 67 | 6 | 0 | 1 | 2 | 0 | 6 | 197 |
| NOV | 8.9 | 12.9 | 4.9 | 50 | 76 | 6 | 0 | 0 | 6 | 4 | 5 | 144 |
| DIC | 5.6 | 9.1 | 2.1 | 51 | 81 | 6 | 0 | 0 | 10 | 9 | 6 | 112 |
| AÑO | 13.6 | 19.0 | 8.2 | 535 | 63 | 62 | 2 | 23 | 35 | 34 | 84 | 2682 |

| LEYENDA | |
|---------|---|
| T | Temperatura media mensual/anual (°C) |
| TM | Media mensual/anual de las temperaturas máximas diarias (°C) |
| Tm | Media mensual/anual de las temperaturas mínimas diarias (°C) |
| R | Precipitación mensual/anual media (mm) |
| H | Humedad relativa media (%) |
| DR | Número medio mensual/anual de días de precipitación superior o igual a 1 mm |
| DN | Número medio mensual/anual de días de nieve |
| DT | Número medio mensual/anual de días de tormenta |
| DF | Número medio mensual/anual de días de niebla |
| DH | Número medio mensual/anual de días de helada |
| DD | Número medio mensual/anual de días despejados |
| I | Número medio mensual/anual de horas de sol |

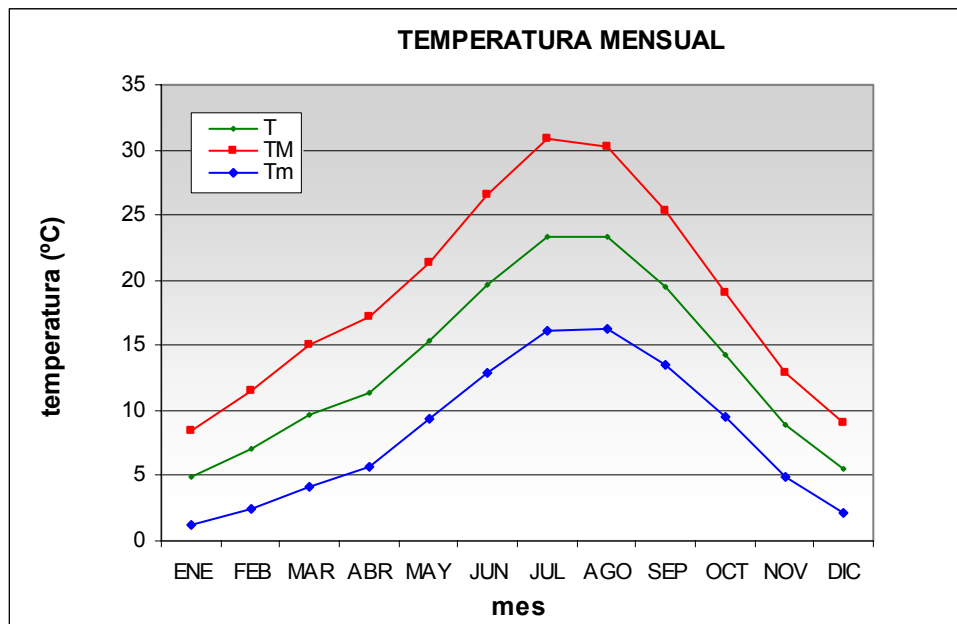


Se ha estimado oportuno, por tanto, conocer y, de algún modo, cuantificar las fluctuaciones relevantes de temperaturas y las épocas de heladas por su repercusión en la meteorización del talud. Igualmente, conocer la pluviometría local es esencial como dato a tener en cuenta de la cantidad de agua que precipita sobre los materiales del talud y que juega un papel importante en la degradación de éstos a través del sistema de diaclasado del talud.

Según los datos aportados por esta estación, las oscilaciones térmicas varían entre 7,2 °C en el mes de enero y 30,6 °C en julio, considerando que esta diferencia se hace entre la temperatura mínima y máxima registradas en el mismo mes dentro de la serie de 29 años.

En el siguiente cuadro figuran las temperaturas medias y extremas del periodo comprendido entre 1971 y 2000 en la estación considerada, todas expresadas en grados centígrados.

La temperatura media anual es de 13,25 °C (1971-2000). Los meses más cálidos son julio y agosto con una media de 23,4 °C y 23,3 respectivamente (1971-2000) y el más frío enero con 4,9 °C (1971-2000).

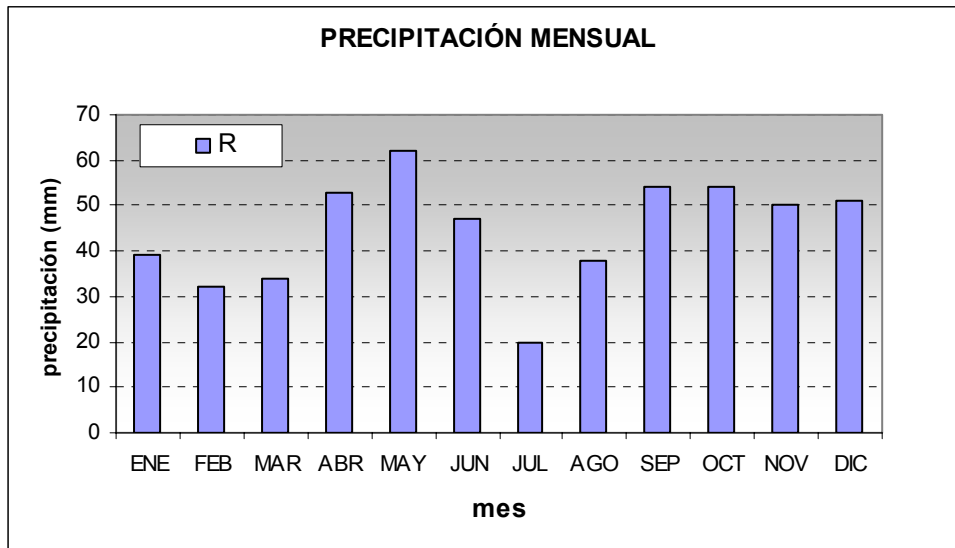


Temperaturas medias mensuales. T=Temperatura media, TM= Temperatura máxima, Tm= Temperatura mínima. Estación de Monflorite (Huesca) periodo 1971-2000.

En el área de la estación meteorológica, la media anual de precipitaciones ha sido de 535 mm en el periodo de 1971 a 2000.

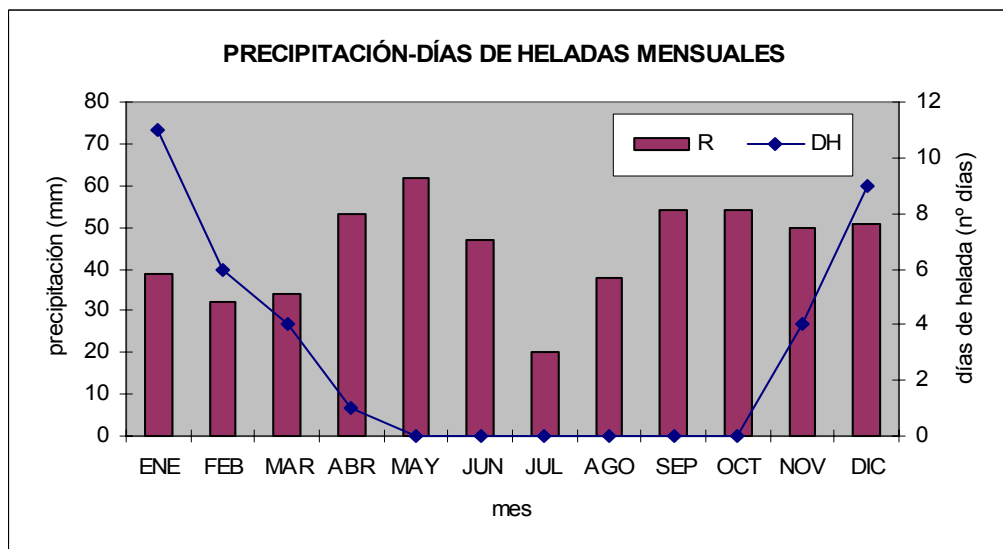


Las lluvias son más frecuentes en otoño con un 29,5 % de la media del total anual, seguido de primavera con un 27,85 % y de invierno con un 22,8 %. La época menos húmeda se corresponde a los meses de verano que supone un 19,6 % del total anual.



Precipitaciones medias mensuales. Estación de Monflorite (Huesca) periodo 1971-2000.

Los días de helada son más numerosos en los meses de enero y diciembre, comenzando el periodo de heladas en noviembre y finalizando en abril.



Comparativa de precipitaciones medias mensuales con número de días de heladas mensuales. D= precipitación media mensual, DH= número medio mensual de días de helada.



3.2 CARACTERIZACIÓN DE LOS MATERIALES

3.2.1 Caracterización petrológica-mineralógica de los materiales del talud

3.2.1.1 *Análisis petrográfico de las muestras*

Se han estudiado 4 muestras de los materiales que constituyen las unidades litológicas presentes en el talud: dos de arenisca tabulada tomadas e distintas zonas del talud y 2 de limolitas.

La denominación es la siguiente:

| | |
|--------|-------------------|
| GIL 1A | Arenisca calcárea |
| GIL 1B | Arenisca calcárea |
| GIL 2A | Limolita |
| GIL 2B | Limolita |

3.2.1.1.1 *Análisis petrográfico de la muestra GIL 1A*

Se trata de una arenisca moderadamente clasificada, clastosoportada, y constituida por granos de tamaño fino principalmente de cuarzo.

Composición y morfología de los granos: (el 58 % de la masa total)

- Cuarzo (mono y policristalino): 28 %, subangulosos-subredondeados, tamaños inferiores a 0,5 mm.
 - Feldespatos: 10 %, tamaños inferiores a 0,5 mm.
 - Fragmentos de roca carbonática y sedimentaria: 12 %, 0,2-0,5 mm. de tamaño.
 - Micas: 4 %.
 - Gasterópodos y restos de algas: 4 %.

Matriz micrítica carbonática: 12 %

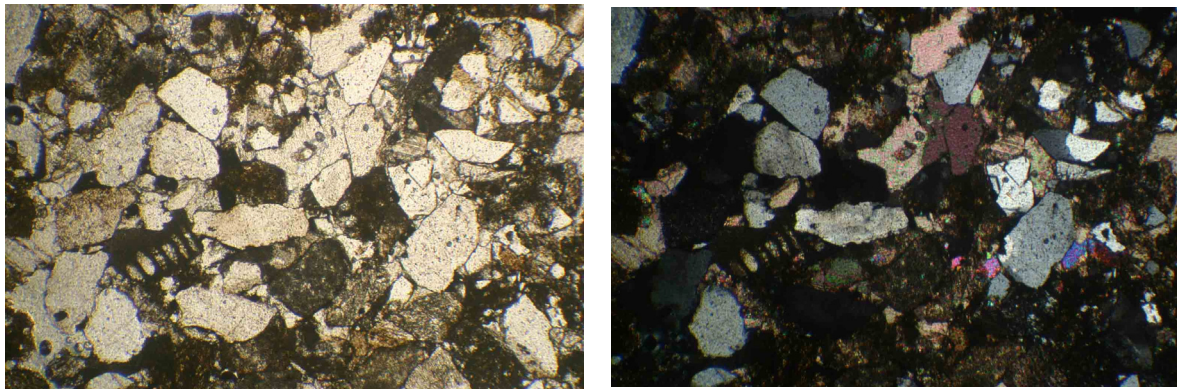
Cemento microesparítico carbonático: 20 %



Porosidad intergranular y móldica: 10 %. La estimación visual del porcentaje de poros realizada sobre la lámina delgada.

Clasificación: Litarenita feldespática (Folk, 1974). Dado su alto contenido calcáreo, no sería incorrecto clasificarla también como arenisca calcárea.

Observaciones: Los porcentajes se estiman por observación visual.



Muestra GIL 1A. Vista parcial de la muestra en lámina delgada. Objetivo 3,5. Nícoles paralelos en la imagen de la izquierda y cruzados en la de la derecha

3.2.1.1.2 *Análisis petrográfico de la muestra GIL 1B*

Se trata de una arenisca moderadamente clasificada, clastosoportada, y constituida por granos de tamaño fino principalmente de cuarzo.

Composición y morfología de los granos:(el 50 % de la masa total)

- Cuarzo (monocristalino): 32 %, subredondeados-subangulosos, tamaños inferiores a 0,4 mm.
- Feldespatos: 7 %, 0,1-0,3 mm. de tamaño.
- Fragmentos de roca sedimentaria y carbonática: 10 %, 0,1-0,3 mm. de tamaño.
- Micas: 1 %

Matriz micritica carbonática: 20 %

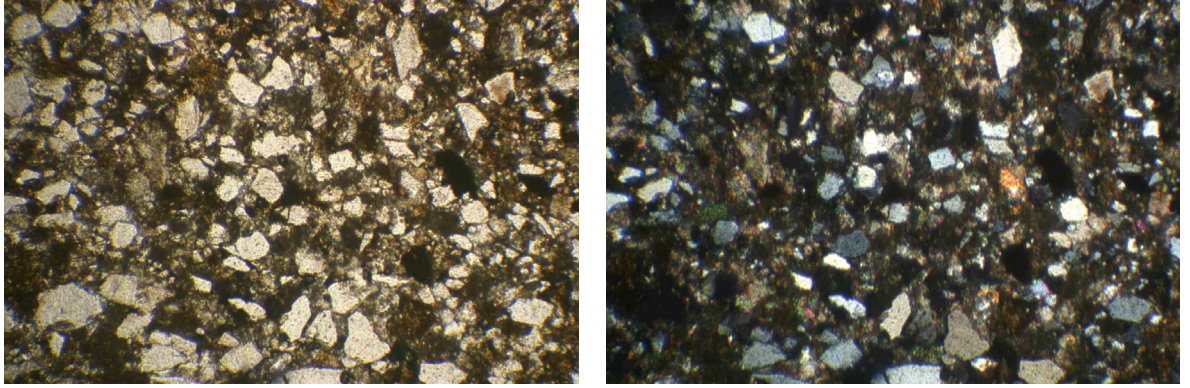
Cemento microesparítico carbonático: 15 %

Porosidad intergranular: 15 %. La estimación visual del porcentaje de poros realizada sobre la lámina delgada.



Clasificación: Grauvaca lítica (Folk. 1974)

Observaciones: Los porcentajes se estiman por observación visual.



Muestra GIL 1B. Vista parcial de la muestra en lámina delgada. Objetivo 3,5. Nícoles paralelos en la imagen de la izquierda y cruzados en la de la derecha

3.2.1.1.3 *Análisis petrográfico de la muestra GIL 2A*

Se trata de una roca soportada por la matriz.

Composición y morfología de los granos:(el 20 % de la masa total)

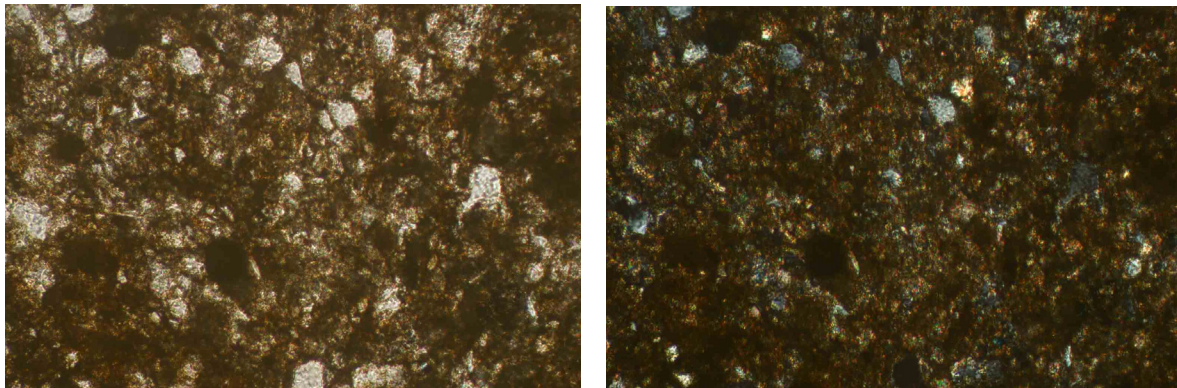
- Cuarzo (monocristalino): 15 %, subredondeados-subangulosos, tamaños inferiores a 0,1 mm.
- Micas: 4 %
- Feldespatos: 1 %, tamaños inferiores a 0,1 mm.

Matriz: 70 %. Se compone de calcita micrítica y de minerales de la arcilla (clorita identificable)

Porosidad intergranular: 10 %. La estimación visual del porcentaje de poros realizada sobre la lámina delgada.

Clasificación: Limolita (Pettijohn et al. 1987)

Observaciones: Los porcentajes se estiman por observación visual. No se observan estructuras sedimentarias como laminación o estratificación.



Muestra GIL 2A. Vista parcial de la muestra en lámina delgada. Objetivo 10. Nícoles paralelos en la imagen de la izquierda y cruzados en la de la derecha

3.2.1.1.4 Análisis petrográfico de la muestra GIL 2B

Se trata de una roca soportada por la matriz.

Composición y morfología de los granos:(el 20 % de la masa total)

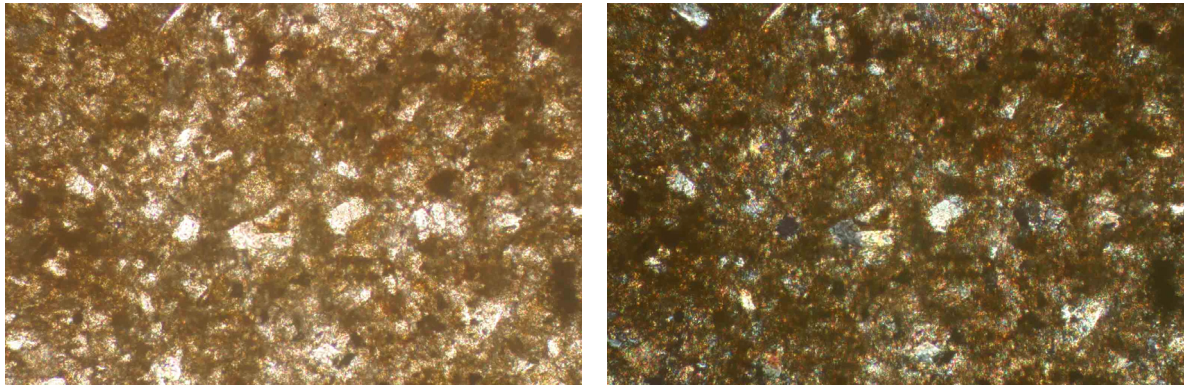
- Cuarzo (monocristalino): 17 %, subredondeados-subangulosos, tamaños inferiores a 0,1 mm.
- Micas: 2 %
- Feldespatos: 1 %, tamaños inferiores a 0,1 mm.

Matriz: 65 %. Se compone de calcita micrítica y de minerales de la arcilla (clorita identificable)

Porosidad intergranular: 15 %. La estimación visual del porcentaje de poros realizada sobre la lámina delgada.

Clasificación: Limolita (Pettijohn et al. 1987)

Observaciones: Los porcentajes se estiman por observación visual. No se observan estructuras sedimentarias como laminación o estratificación.



Muestra GIL 2B. Vista parcial de la muestra en lámina delgada. Objetivo 10. Nicoles paralelos en la imagen de la izquierda y cruzados en la de la derecha

3.2.1.2 Mineralogía de los materiales estudiados

Con el fin de determinar el componente arcilloso de las capas del talud de mayor debilidad frente a la erosión y meteorización se ha estudiado una muestra de la limolita GIL-2 mediante difracción de rayos X. La muestra se la preparó como agregado orientado para comprobar qué tipo de arcilla contenía.

Los resultados de la aplicación de esta técnica han permitido establecer como componentes principales de la roca cuarzo, calcita y moscovita. Asimismo, la fracción arcillosa es de tipo illítica-clorítica (la presencia de moscovita en la difracción se atribuye, en su mayor parte, al componente illítico de la matriz). Dentro de la composición del árido, se encuentra también feldespato pero en menor cantidad..

| ANÁLISIS DE DIFRACCIÓN DE RAYOS X | | |
|-----------------------------------|----|------------|
| Limolita (GIL-2) | | |
| Con picos intensos | 1° | Cuarzo |
| | 2° | Calcita |
| | 3° | Moscovita |
| Con picos débiles | 1° | Feldespato |
| | 2° | Clorita |



3.2.2 Caracterización petrofísica de los materiales

3.2.2.1 Distribución del sistema poroso de los materiales

Se ha estimado de gran relevancia conocer la porosidad de las rocas del talud, como parámetro fundamental que orienta el estudio del comportamiento hídrico de las mismas y su influencia directa en el grado de alteración que los procesos de degradación pueden provocar en estos materiales.

Se han sometido a ensayos de porosimetría de inyección de mercurio cuatro muestras, dos de arenisca (GIL 1A y GIL 1B) y otras dos de limolita (GIL 2A y GIL 2B).

Los resultados se exponen a continuación, tanto en tablas, donde se resumen los parámetros porosimétricos determinados, como en forma gráfica, para comprobar la distribución de los tamaños de poro.

Muestra GIL 1A

El ensayo realizado a la muestra de la roca GIL 1A, indica una porosidad total del 10,15%, de la que un 50,33% corresponde al campo de la macroporosidad y el 49,68% al de la microporosidad. La macroporosidad es el sistema de poros con diámetros mayores de 14 μm , y la microporosidad los menores de 14 μm .

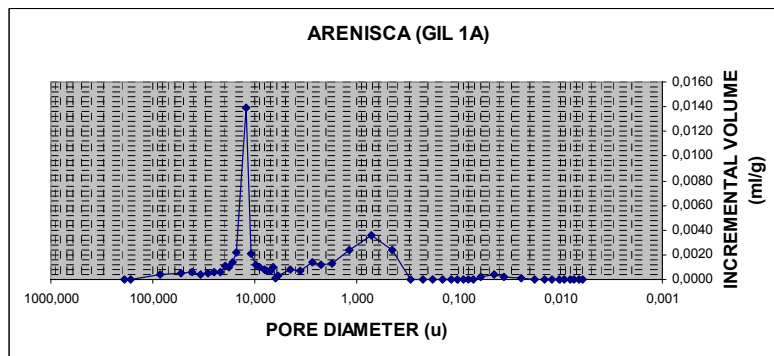
El intervalo de diámetro de poros de esta roca está comprendido entre 0,30 y 40 μm , y la moda (que es el valor que cuenta con una mayor frecuencia en una distribución de datos) es de 15 μm .

La porosidad libre es el volumen de porosidad de la roca capaz de evacuar el fluido que ha intruido en ella. Para ser permeable un material debe ser poroso, esto es, debe contener espacios vacíos que le permitan absorber fluidos, y los espacios deben estar interconectados para que el fluido disponga de caminos a través del material. La porosidad libre de esta roca es de 65,51%, lo que indica la existencia de un 34,49% de la denominada porosidad atrapada, que consiste en los poros con una morfología tal que no dejan escapar al fluido, como por ejemplo los poros “en cuello de botella”.

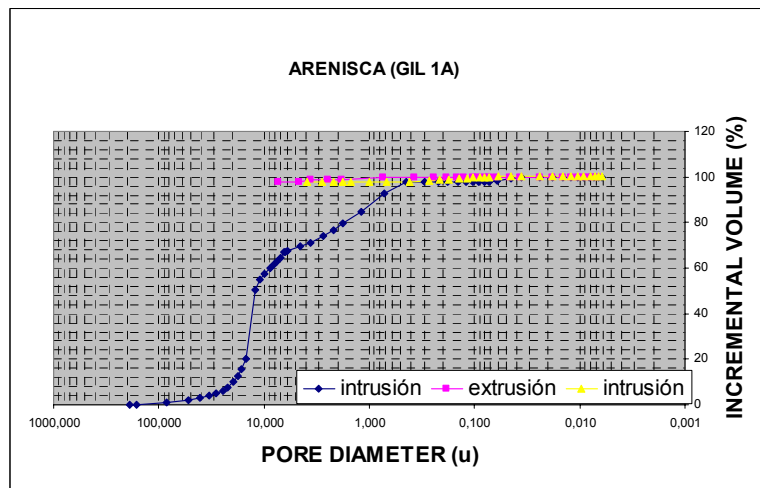
La desviación entre los parámetros “tamaño medio de poro” y “tamaño medio de accesos” refleja el desvío de la morfología de los poros de esta roca de un modelo de poro cilíndrico, en el que se basa la medida del aparato.



| ARENISCA (GIL 1A) | | |
|---|----------|--------|
| Parámetro | | |
| Porosidad total (%) | | 10,150 |
| Macroporosidad (%) | Absoluta | 5,108 |
| | Relativa | 50,325 |
| Microporosidad (%) | Absoluta | 5,042 |
| | Relativa | 49,675 |
| Porosidad libre (%) | Absoluta | 6,649 |
| | Relativa | 65,510 |
| Tamaño medio de poro (μm) | | 12,241 |
| Tamaño medio de accesos (μm) | | 0,061 |



Gráfica que representa el incremento de volumen en función del diámetro de poro.



Gráfica que representa un ciclo de intrusión-extrusión de mercurio en la muestra.

En cuanto al tipo de porosidad (Choquette y Pray, 1970), posee porosidad primaria deposicional interpartícula e intrapartícula y porosidad diagenética por transformaciones minerales y por procesos de disolución selectiva, como el caso de la porosidad móldica, que en esta roca puede ser debida, por ejemplo, a la disolución de las conchas de los gasterópodos.

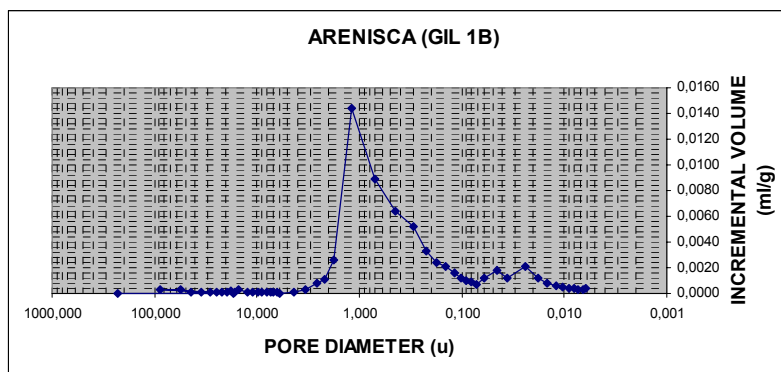


Como conclusión, la roca permitirá una moderada transferencia hídrica, absorbiendo agua y eliminándola con igual velocidad. En lo que se refiere a la permeabilidad, esta será debida a rango de poro sobre las 10 micras (un 60% aproximadamente de la porosidad total) mientras que las modas más finas retendrán humedad capilar con poca capacidad de transmisión debido de la falta de conexión con la porosidad más gruesa. Esta permeabilidad se añade a la debida a la de la red fisural del diaclasado que el ensayo, realizado sobre una pequeña muestra, no puede estimar.

Muestra GIL 1B

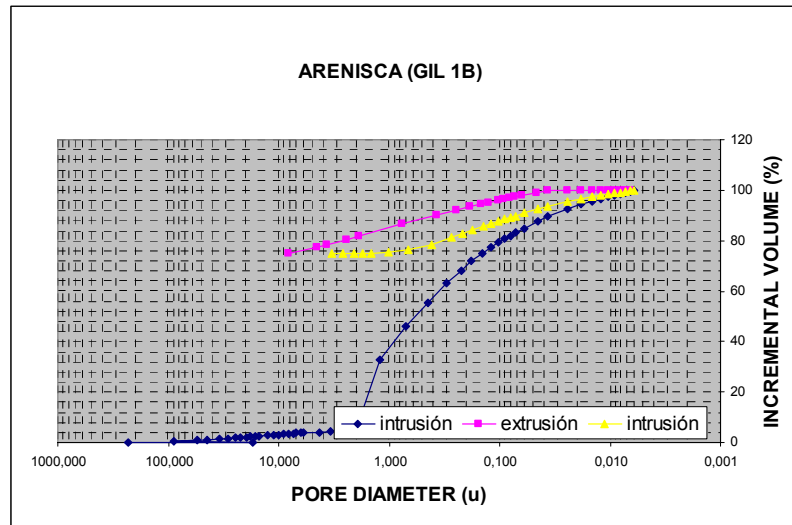
La porosimetría realizada en esta muestra de roca arenisca muestra una porosidad total del 14,50%, la mayor parte corresponde a microporosidad, concretamente un 97,02%. El diámetro de poros discurre entre las 0,010 y las 3 μm , con una moda principal de 1,25 μm

| ARENISCA GIL 1B | | |
|---|----------|--------|
| Parámetro | | |
| Porosidad total (%) | | 14,520 |
| Macroporosidad (%) | Absoluta | 0,433 |
| | Relativa | 2,980 |
| Microporosidad (%) | Absoluta | 14,087 |
| | Relativa | 97,020 |
| Porosidad libre (%) | Absoluta | 4,155 |
| | Relativa | 28,614 |
| Tamaño medio de poro (μm) | | 0,586 |
| Tamaño medio de accesos (μm) | | 0,017 |



Gráfica que representa el incremento de volumen en función del diámetro de poro.

La roca contiene un 28,61% de porosidad libre y una porosidad atrapada del 71,39% que no deja escapar el mercurio una vez éste se introduce en ellos.



Gráfica que representa un ciclo de intrusión-extrusión de mercurio en la muestra.

El rango de porosidad de mayores diámetros es atribuible a la porosidad interpartícula. La pequeña proporción correspondiente al intervalo de menores tamaños se puede asociar a la porosidad intracristalina, generada por transformaciones minerales, cruceros de feldespatos, etc.

El tamaño medio de poro y el tamaño medio de acceso son bastante similares entre sí, por lo que se acercaría al modelo cilíndrico en el que se basa el porosímetro.

La muestra de roca GIL 1B, tiene una elevada microporosidad, lo que tendrá gran influencia en su grado de alterabilidad ante los fenómenos de circulación de agua, ya sea en fase sólida, líquida o gaseosa, y por consiguiente, la permeabilidad será baja.

En lo que se refiere a la permeabilidad al agua, esta será muy lenta, ya que aunque la porosidad se encuentra bien comunicada, aparece en un tamaño capilar donde la humedad es retenida, con lo que su comportamiento se aproxima al de la limolita.

Muestra GIL 2A

La muestra presenta una porosidad total de 12,81%, de la que la mayor parte, un 98,46%, pertenece al campo de la microporosidad. El intervalo de diámetros que marca fundamentalmente la porosidad de la muestra comprende tamaños entre 0,010 y 1 µm y su distribución es multimodal, lo que indica que no existe una familia de poros de gran predominación.

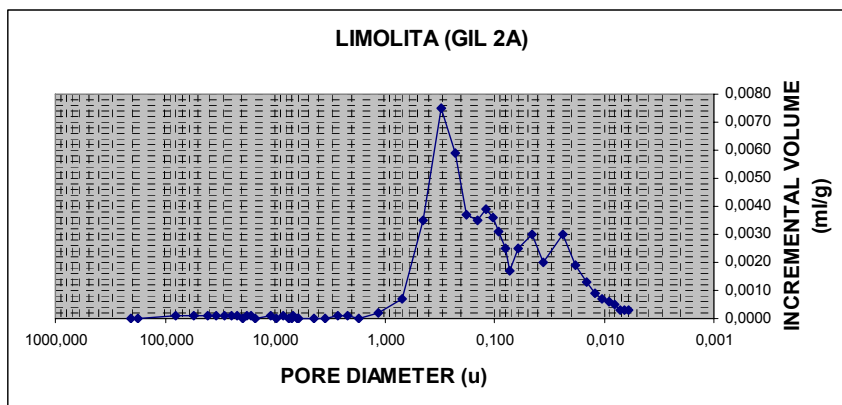


La porosidad es de tipo primaria interpartícula e intrapartícula, asociada a los cruceros de los feldespatos y filosilicatos, y debida a fenómenos de alteración mineral.

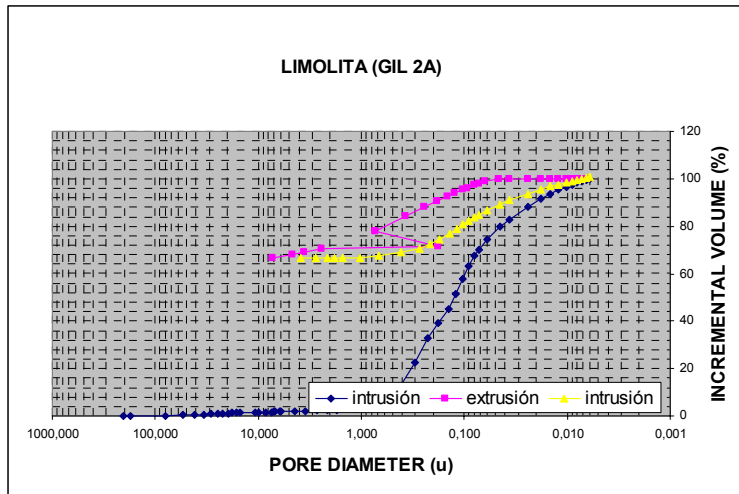
De la porosidad de la muestra, el 35,04% es porosidad libre y un alto porcentaje, el 64,96% es porosidad atrapada, (poros que no están interconectados entre sí).

El tamaño medio de poro y el tamaño medio de accesos se asemejan por lo que la morfología del poro se acerca al modelo cilíndrico en el que se basa la porosimetría de inyección de mercurio.

| LIMOLITA (GIL 2A) | | |
|---|----------|--------|
| Parametro | | |
| Porosidad total (%) | | 12,810 |
| Macroporosidad (%) | Absoluta | 0,197 |
| | Relativa | 1,538 |
| Microporosidad (%) | Absoluta | 12,613 |
| | Relativa | 98,462 |
| Porosidad libre (%) | Absoluta | 4,489 |
| | Relativa | 35,043 |
| Tamaño medio de poro (μm) | | 0,125 |
| Tamaño medio de accesos (μm) | | 0,021 |



Gráfica que representa el incremento de volumen en función del diámetro de poro.



Gráfica que representa un ciclo de intrusión-extrusión de mercurio en la muestra.

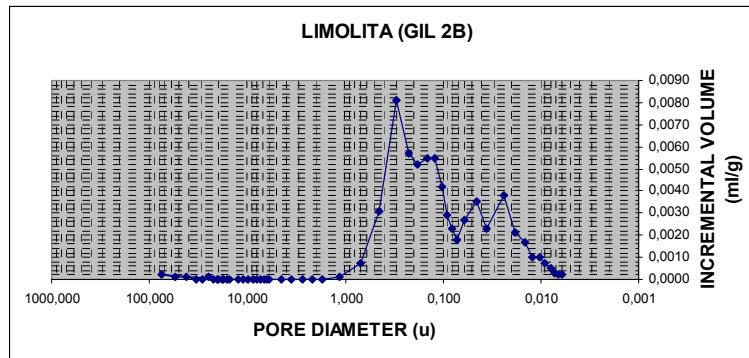
La microporosidad y la alta proporción de porosidad atrapada, confieren a la roca una baja permeabilidad (poca capacidad de transferir agua), y un alto grado de alterabilidad ante los fenómenos de circulación de agua.

Muestra GIL 2B

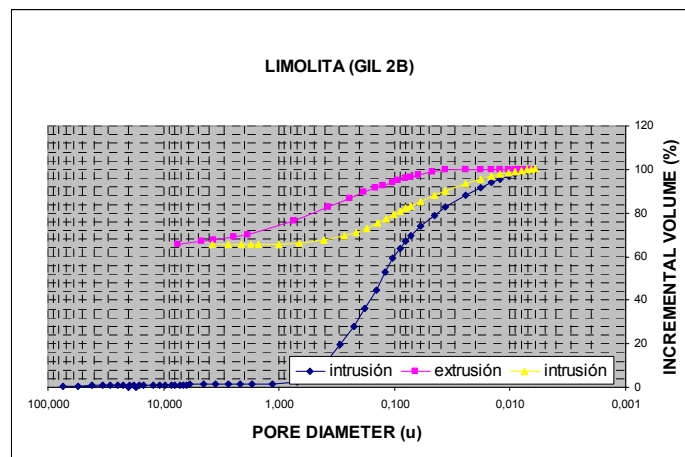
El ensayo de la roca GIL 2B muestra una porosidad total de 14,50%. Un 1,54% pertenece al campo de la macroporosidad y, un alto porcentaje, el 98,94%, al de la microporosidad. La distribución porosimétrica de esta roca comprende el intervalo 0,010-1 μm . La moda principal es de 0,3 μm , siendo la distribución de todo el sistema poroso, como en la anterior, multimodal.

La porosidad atrapada es constante en este tipo de roca, puesto que resulta el mismo valor en ambas muestras, es decir, 35 %.

| LIMOLITA SAN GIL 2B | | |
|---|----------|--------|
| Parámetro | | |
| Porosidad total (%) | | 14,500 |
| Macroporosidad (%) | Absoluta | 0,154 |
| | Relativa | 1,059 |
| Microporosidad (%) | Absoluta | 14,346 |
| | Relativa | 98,941 |
| Porosidad libre (%) | Absoluta | 5,155 |
| | Relativa | 35,552 |
| Tamaño medio de poro (μm) | | 0,127 |
| Tamaño medio de accesos (μm) | | 0,023 |



Gráfica que representa el incremento de volumen en función del diámetro de poro.



Gráfica que representa un ciclo de intrusión-extrusión de mercurio en la muestra.

Cabe destacar el alto porcentaje de porosidad total que presentan, teniendo en cuenta que se trata de limolita, las muestras GIL 2A y GIL 2B. Este tipo de litología suele contener una porosidad menor, por compacidad de sus micropartículas. Este aspecto le confiere cierta vulnerabilidad a los procesos de alteración y lavado de finos, por circulación de agua. La elevada proporción de microporosidad dentro de su sistema poroso es común, acorde con el tamaño de grano. Al igual que en la anterior limolita ensayada, el rango fino, capilar, hace esta porosidad poco apta para la transmisión del agua, quedando como humedad retenida.



3.2.3 Caracterización geomecánica de los materiales del talud

3.2.3.1 Resistencia a la tracción indirecta

Este ensayo ha sido efectuado sobre 6 probetas discoidales de la muestra de arenisca calcárea (GIL 1) en el laboratorio de Mecánica de rocas de la ETSI de Minas de la UPM. Corresponden a dos bloques de piedra distintos recogidos del terreno, llamados bloque A y bloque B, así la denominación de las probetas (tres de cada bloque) ha quedado como A-1, A-2, A-3, B-1, B-2, B-3. Las fichas de los ensayos se muestran en el anexo II.

La resistencia a tracción de las probetas se resume en la siguiente tabla:

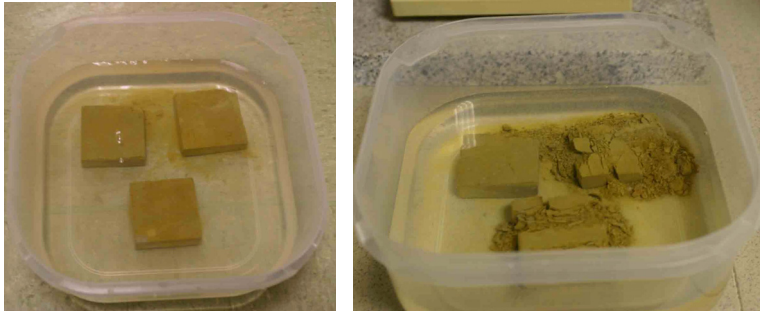
| PROBETA N° | DIAMETRO (mm) | ESPESOR (mm) | RESISTENCIA (MPa) |
|--------------|---------------|--------------|-------------------|
| A-1 | 52,0 | 26,0 | 1,013 |
| A-2 | 52,0 | 26,0 | 1,415 |
| A-3 | 52,0 | 26,0 | 0,965 |
| B-1 | 52,0 | 26,0 | 1,298 |
| B-2 | 52,0 | 26,0 | 1,288 |
| B-3 | 52,0 | 26,0 | 1,350 |
| MEDIA | 52,0 | 26,0 | 1,222 |

Los valores obtenidos de resistencia a tracción son bajos, incluso dentro del campo de resistencias de las propias areniscas. En la clasificación de rocas de Fourmantaux (1976) en base a resultados del ensayo brasileño, las muestras se sitúan dentro del campo de **resistencia débil**.

Las muestras de roca limolita (GIL 2) no han sido objeto de este ensayo de tracción indirecta debido a que su bajísima consistencia no lo permitía. A su contacto con el agua, es poco tiempo el que discurre para que comience su disgregación y desmoronamiento (ver foto adjunta). Éste es, por tanto, un dato de su comportamiento hídrico sin



cuantificar, pero muy elocuente a los efectos que nos conciernen en este estudio. Más adelante se describirá el papel que las limolitas, y su gran alterabilidad frente al agua, desempeñan en el macizo rocoso sobre el que se asienta la Iglesia.

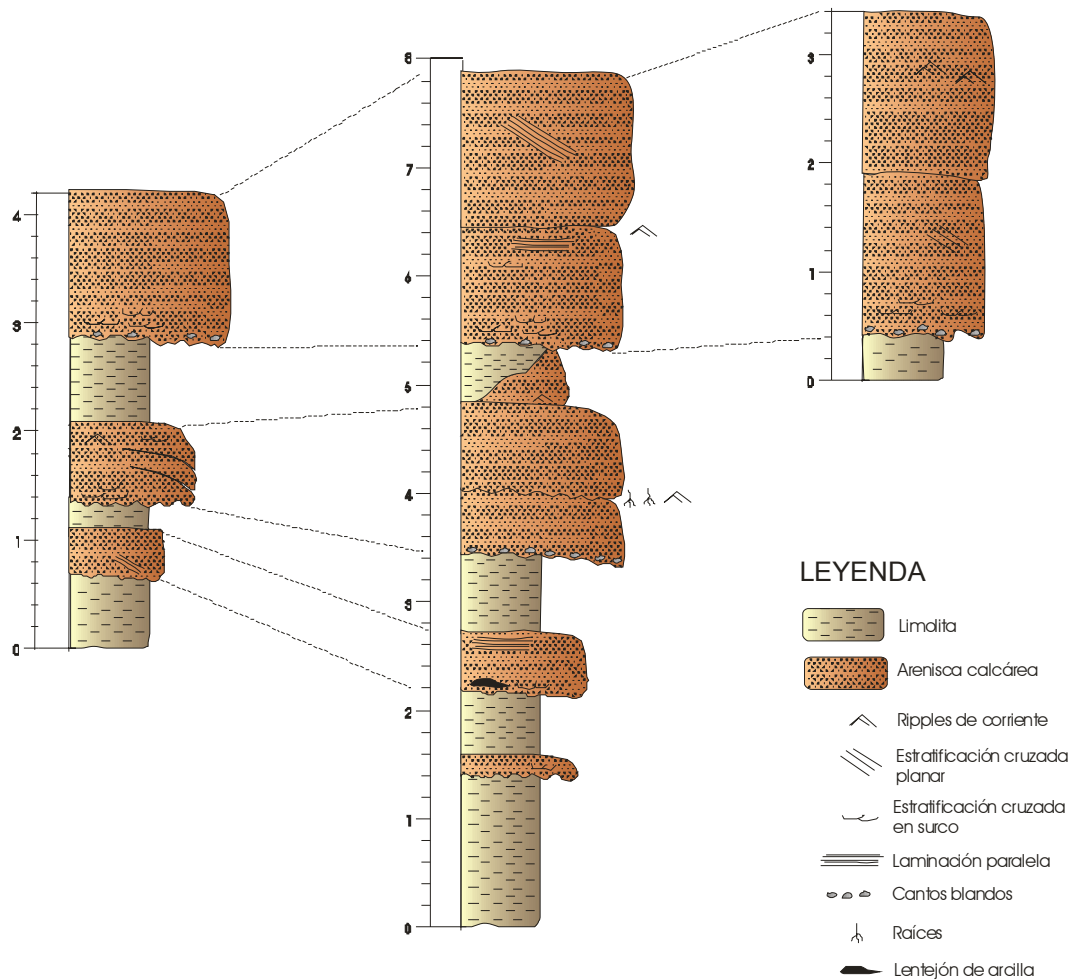


Probetas cortadas de limolita. A la izquierda recién sumergidas en agua. A la derecha, pasadas diez horas aproximadamente

3.3 ESTRATIGRAFÍA LITOLÓGICA DEL TALUD

La recopilación de información de la geología regional, descrita en el apartado 1.2.1. del presente informe, se ha contrastado con el estudio del terreno sobre el que se asienta la iglesia de San Gil de Mediavilla. Resulta imprescindible conocer en detalle las litologías que conforman el talud para establecer las causas de su probable inestabilidad.

Se realizó el estudio y descripción de la secuencia estratigráfica del talud mediante la observación y experiencia de un geólogo. Las columnas estratigráficas, adjuntas en la figura expuesta a continuación, corresponden a tres puntos representativos del talud:



La base de todas las columnas se sitúa en el punto inferior del afloramiento, es decir que la secuencia continúa hacia cotas inferiores donde los depósitos de coluvión de ladera la cubren y no permiten su observación.

No obstante, el talud aflorante y la bibliografía geológica regional, descrita en el apartado 1.2.1., permiten identificar la secuencia estratigráfica como una alternancia de arenisca calcárea y limolita. Se trata de depósitos fluviales, la primera litología corresponde a etapas de reactivación de la sedimentación fluvial, mientras que los depósitos finos, que presentan mayor vulnerabilidad a los procesos erosivos, tienen su origen en épocas de retracción de dicha sedimentación fluvial.

Se observan signos de acreción lateral en las areniscas, que indican el crecimiento lateral de barras de meandro, dato relacionado con la ligera fluctuación de espesores de los bancos presentes en el talud. Las señales de estratificación cruzada son también comunes de este tipo de depósitos sedimentarios.



Tal y como indican las columnas estratigráficas, existen dos bancos principales de arenisca calcárea, separados por un tramo de limolita, coronando la secuencia estratigráfica que forma el cerro. En la columna de la derecha no aparece el banco inferior de arenisca, que supuestamente se encuentra cubierto por el coluvión de ladera.

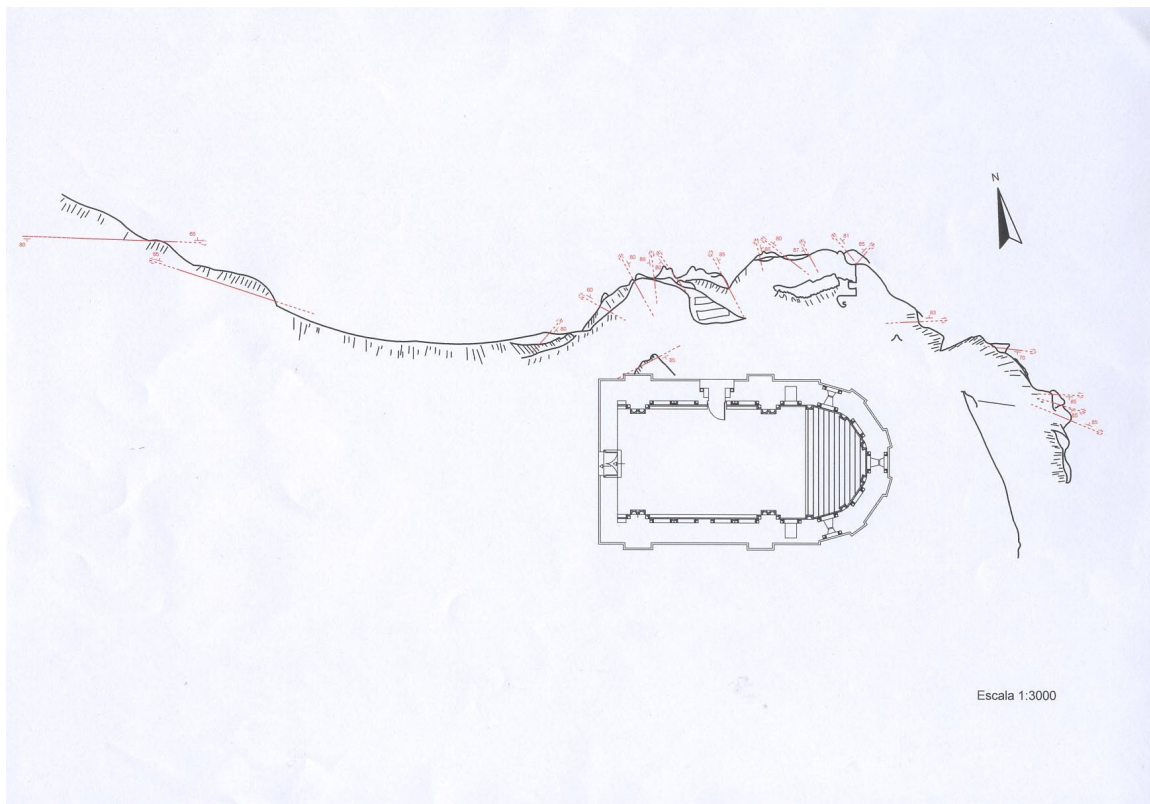
Como ya se ha comentado, el perfil del talud presenta una erosión diferencial, siendo la litología más fina la que mayor erosión y lavado sufre por los procesos de meteorización. Se forma así un relieve típico de las alternancias geológicas entre paquetes “duros” y “blandos”, en el cual los paquetes “duros” quedan con parte de su cuerpo sin sustento, en voladizo. Así ocurre con el banco superior de arenisca calcárea, que localmente acaba quebrando y desprendiéndose, tal y como se puede observar en la misma ladera, donde se acumulan numerosos bloques caídos.

3.4 ANÁLISIS DE LA ESTABILIDAD DEL TALUD. ESTUDIO DE LAS DISCONTINUIDADES

La estabilidad del talud muestra su debilidad a la vista de las discontinuidades presentes en los afloramientos rocosos, el lavado de material fino y los bloques de arenisca desprendidos en la ladera. Su relación directa con las grietas presentes en la iglesia y los problemas estructurales inducidos en ésta son el objeto del análisis de la estabilidad del talud.

Se realizó la cartografía en planta de la Ermita y sus alrededores, concretamente del perfil topográfico del escarpe del talud para, a continuación, representar las discontinuidades visibles en los afloramientos rocosos.

La medida de las discontinuidades se ha realizado mediante el uso de la brújula y el clinómetro, que permite conocer su orientación, es decir, su dirección (ángulo de una línea horizontal contenida en el plano de discontinuidad con respecto al norte) y su buzamiento (ángulo que forma la línea de máxima pendiente contenida en el plano de discontinuidad con respecto a la horizontal, se ha representado numéricamente junto a cada discontinuidad correspondiente).



Planta de la Iglesia de San Gil de Mediavilla y el borde del talud. En rojo se muestran las discontinuidades observadas en los afloramientos rocosos

Las discontinuidades que presenta un macizo rocoso son debidas a esfuerzos compresivos o distensivos que superan la resistencia de la roca y provocan su rotura frágil. Puede existir un desplazamiento de un bloque respecto del otro a favor de la superficie de rotura (plano de falla).

En el caso concreto que concierne a la zona en estudio, no parece ser la tectónica regional la principal causa para la aparición de las discontinuidades presentes (ya se aludió al respecto de este tema en el apartado del entorno geológico 1.2.1.), sino que éstas responden, mayoritariamente y entre otros factores, al proceso común de erosión de ladera.



| DISCONTINUIDAD | ORIENTACIÓN (°) | | | ESPACIADO (m) | | | | | CONTINUIDAD SEGÚN RUMBO (m) | | | | | CONTINUIDAD SEGÚN BUZAMIENTO(m) | | | | | SUPERFICIE MACRO | | | | SUPERFICIE MICRO | | | | RELLENO | OBSERVACIONES |
|----------------|-----------------|------------|-----------------|---------------|----------|---------|---------|------|-----------------------------|---------|----------|-----------|-------|---------------------------------|---------|----------|-----------|-------|------------------|----------|-----------|------------|------------------|------|--------|---------------------|---|--------------------------------------|
| | Dirección | Buzamiento | Dir. buzamiento | <0,05 | 0,06-0,2 | 0,2-0,6 | 0,6-2,0 | >2,0 | <1 | 1,0-3,0 | 3,0-10,0 | 10,0-20,0 | >20,0 | <1 | 1,0-3,0 | 3,0-10,0 | 10,0-20,0 | >20,0 | Plana | Ondulada | Irregular | Escalonada | Satin-Bril. | Lisa | Rugosa | Muy Rugosa | | |
| 1 | 285 | 80 | SW | 0,05 | | | | | | | | | | | X | | | | X | | | | | | | X | Arcilla | |
| 2 | 300 | 65 | NE | 0,05 | | | | | | | X | | | | X | | | | X | | | | | | | X | Arcilla | |
| 3 | 310 | 60 | NE | 0,08 | | | | | X | | | | | | X | | | | X | | | | | | | X | Arcilla, Arena | |
| 4 | 345 | 80 | NE | 0,15 | | | | | | | | | | | X | | | | X | | | | | | X | Arcilla, Arena | Relleno abundante | |
| 5 | 185 | 88 | NW | X | | | | | | | | | | | 4 | | | | X | | | | | | X | Arcilla | Relleno escaso | |
| 6 | 335 | 80 | SW | X | | | | | | | | | | | 3 | | | | X | | | | | | X | Arcilla | Relleno escaso | |
| 7 | 345 | 85 | NE | | 0,25 | | | | | | | | | | 1,5 | | | | X | | | | | | X | Arcilla, Arena, Gra | Relleno abundante | |
| 8 | 000 | 85 | E | 0 | | | | | | | | | | | 1,5 | | | | X | | | | | | X | | | |
| 9 | 320 | 80 | NE | 0,05 | | | | | | | | | | | 4 | | | | X | | | | | | | X | Arcilla | Espaciado de 0,05 m en el banco infe |
| 10 | 015 | 85 | SW | 0 | | | | | | | | | | | 4 | | | | X | | | | | | X | Arcilla | Sólo banco inferior | |
| 11 | 315 | 80 | NE | | 0,1 | | | | | 1 | | | | | 2,5 | | | | X | | | | | | X | Arcilla, Arena | Afecta sólo al banco inferior de arenis | |
| 12 | 235 | 85 | NW | 0,03 | | | | | | | | | | | 4 | | | | X | | X | | | | X | | Afecta a los dos bancos de arenisca. | |
| 13 | 285 | 88 | NE | 0,02 | | | | | | | | | | | 1 | | | | X | | | | | | X | | Sólo banco superior | |
| 14 | 115 | 70 | SW | 0 | | | | | 0 | | | | | | 0,5 | | | | X | | | | | | X | | Sólo banco inferior | |
| 15 | 110 | 75 | SW | 0,02 | | | | | | | | | | | 1 | | | | X | | | | | | X | Arcilla | Sólo banco inferior | |
| 16 | 305 | 85 | SW | 0,05 | | | | | | | | | | | 1,5 | | | | X | | | | | | X | | Sólo banco inferior; bloques separad | |
| 17 | 310 | 88 | NE | 0,03 | | | | | 0 | | | | | | 2 | | | | | X | | | | | X | | Sólo banco inferior; bloques separad | |
| 18 | 305 | 88 | NE | 0,01 | | | | | | | | | | | 2 | | | | X | | | | | | X | Arcilla | Sólo banco inferior; bloques separad | |
| 19 | 250 | 11 | SE | 0,15 | | | | | | | | | | | 1 | | | | X | | | | | | X | Arcilla, Arena, Gra | Sólo banco inferior | |
| 20 | 320 | 80 | NE | 0 | | | | | | 1 | | | | | 2 | | | | X | | | | | | X | | Banco superior | |
| 21 | 210 | 88 | SE | 0,01 | | | | | | 1 | | | | | 1 | | | | X | | | | | | X | Arcilla | | |
| 22 | 075 | 88 | SE | 0,03 | | | | | | 2,5 | | | | | | | | | X | | | | | | X | Arcilla, Arena | | |

Tabla de discontinuidades observadas en los afloramientos rocosos. Orientación, características geométricas y de relleno.

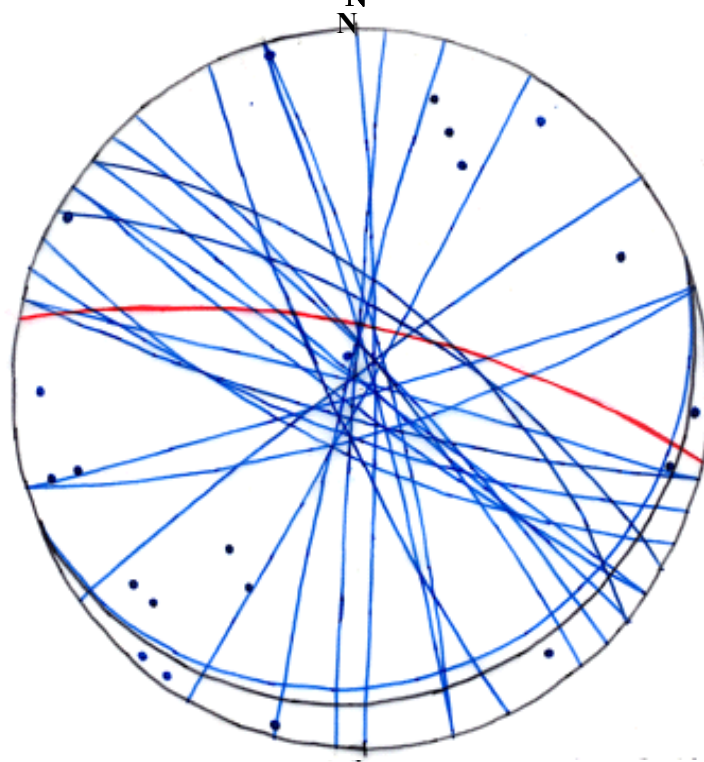
El espaciado de las fracturas indica el movimiento que ha existido de separación entre los bloques rocosos. Se observa mayor espaciado, en general, en las discontinuidades del cuerpo central del talud, lo que indica un mayor movimiento del terreno en esta zona a favor de la pendiente. El relleno de las grietas del talud corresponde mayoritariamente a depósitos arrastrados por el agua, al infiltrar en éstas, lo cual merece especial atención a la hora de intervenir sobre las discontinuidades del talud.

La orientación de las discontinuidades respecto a la del talud permite discernir el tipo de rotura y el proceso de inestabilidad de ladera que lo provoca. La representación de estas orientaciones se ha realizado mediante proyección estereográfica, teniendo en cuenta que el talud se dispone de forma curvilínea en la mayor parte de la zona de estudio.

Las nubes de polos correspondientes a las discontinuidades representadas muestran cierta dispersión, atribuible a esta característica del talud.



**PROYECCIÓN ESTEREOGRÁFICA
(Diagrama de círculos máximos y polos)**



| | | |
|---------------------|----------------------|----------------------|
| D1= N 075° W, 80 SW | D10= N 015° E, 85 SW | D19= N 070° E, 11 SE |
| D2= N 060° W, 65 NE | D11= N 045° W, 80 NE | D20= N 040° W, 80 NE |
| D3= N 050° W, 60 NE | D12= N 055° E, 85 NW | D21= N 030° E, 88 SE |
| D4= N 015° W, 80 NE | D13= N 075° W, 88 NE | D22= N 075° E, 88 SE |
| D5= N 005° E, 88 NW | D14= N 065° W, 70 SW | S = N 070° E, 3 SE |
| D6= N 025° W, 80 SW | D15= N 070° W, 75 SW | T = N 103° E, 70 NE |
| D7= N 015° W, 85 NE | D16= N 055° W, 85 SW | |
| D8= N 000° E, 85 E | D17= N 050° W, 88 NE | |
| D9= N 040° W, 80 NE | D18= N 055° W, 88 NE | |

Proyección estereográfica (diagrama de círculos máximos y polos) donde se ha representado la orientación media del talud (T) y la de las discontinuidades observadas

La tipología de las roturas se considera mixta. Se observan indicios de rotura por deslizamiento y vuelco, y de rotura en cuña. El primer tipo de rotura corresponde a las discontinuidades asociadas a los tramos de roca en voladizo, por erosión diferencial del banco inferior de limolita. El segundo es extrapolable a la condición global de la parte alta de la ladera, o más concretamente, del cuerpo central del talud.

Existe un leve predominio de la orientación NW-SE en el cómputo global de las discontinuidades identificadas, el cual se asocia a la rotura en cuña del talud, dada la



orientación de éste. Una rotura en términos geológicos, es decir a una escala de tiempo muy grande.

En el diagrama de rosetas adjunto se diferencian claramente las orientaciones predominantes respecto al norte geográfico.

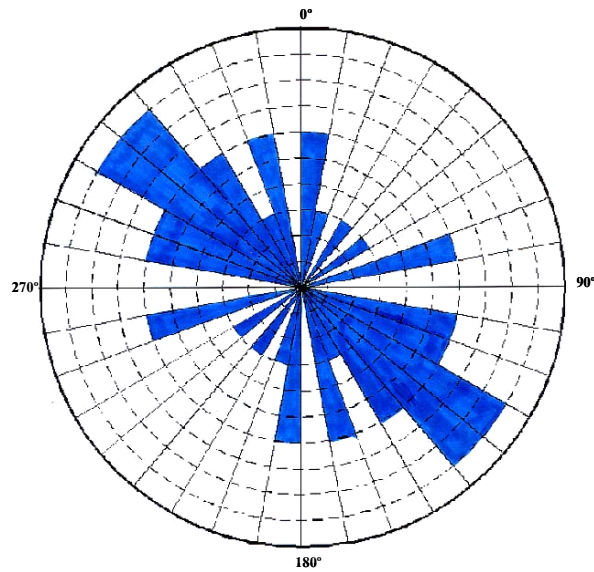
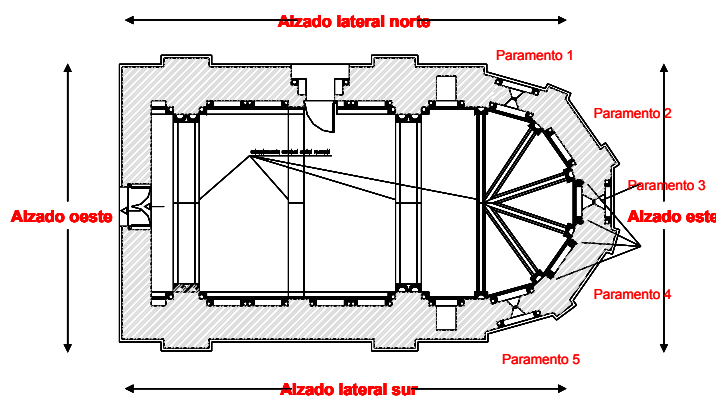


Diagrama de rosetas con las lineaciones de las diaclasas ponderadas por su frecuencia (cantidad de datos en un rango) donde $n=22$ y la media es $100,7^\circ$.

3.5 ANÁLISIS ESTRUCTURAL DE LA ERMITA

La iglesia, de planta rectangular, posee un ábside poligonal en su extremo este de cinco



lados, que se han nombrado como paramentos 1, 2, 3, 4 y 5 (ver figura), comenzando desde el situado en el alzado norte hasta el que forma parte del alzado sur. Tiene tres ventanas

que se disponen en el lado central alineado axialmente respecto a la nave y hacia los lados de forma alternativa.

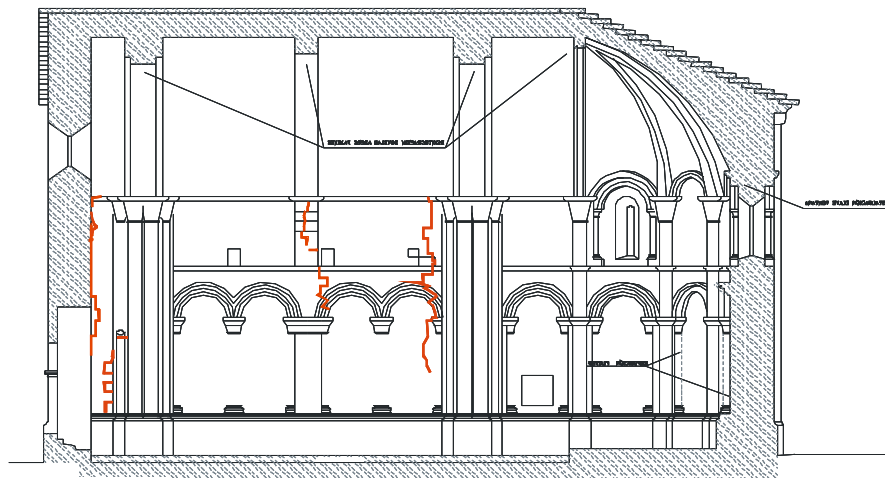
El análisis, caracterización y evaluación estructural de la iglesia ha sido llevado a cabo por la empresa INES INGENIEROS CONSULTORES, cuya memoria se adjunta en el anejo I.

A continuación se detalla una descripción del estado de los paramentos del edificio y las grietas observadas en éstos:



MURO NORTE: En el exterior no se observa ninguna, sin embargo en el paño interior se aprecian varias grietas. Si observamos el alzado de este a oeste, la primera de ellas se sitúa en el paramento 1 del ábside, con recorrido desde el abocinado de la ventana hasta las arquivoltas de la misma. La siguiente se inicia a mitad de camino entre el zócalo y el arco ciego, a la derecha de la puerta norte, y discurre de forma continua entre las juntas de los sillares hasta la imposta que marca la línea de arranque de la bóveda. La tercera se sitúa a la izquierda, por encima de la puerta, y de igual modo, traza su camino desde las dovelas del arco ciego hasta la imposta. Una cuarta se sitúa en la esquina de este alzado con el paño oeste interior, partiendo desde el asolado a través de las juntas hasta la mitad del fuste de la primera columna por la izquierda del alzado, la cual está adosada al paramento. Por último, otra aparece en la esquina con el alzado oeste, desde una altura a la mitad del fuste de la anterior columna hasta la imposta y se traza por la juntas de los sillares.

Alzado lateral norte interior

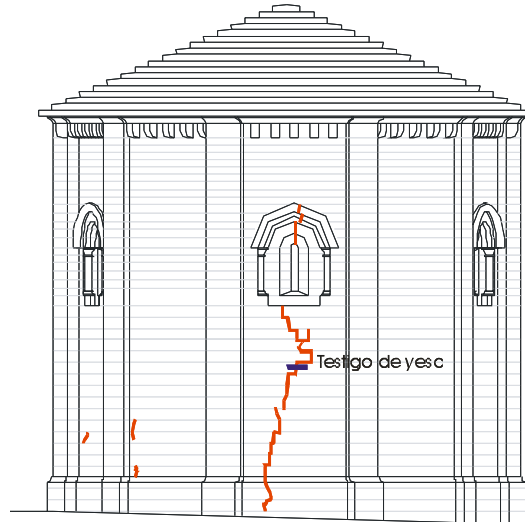


MURO ESTE (ÁBSIDE): En este alzado se puede apreciar una grieta más o menos continua, que recorre longitudinalmente el paramento central este del ábside (denominado paramento 3 en el esquema de planta), la cual parte desde el zócalo ascendiendo hasta la zona inferior de la ventana abocinada, atravesando sillares y otras veces rodeándolos por las juntas, para reaparecer más tarde en la pechina y en el alero, entre los canecillos. Se colocó un testigo de yeso con fecha de 28-11-05 que partió en poco tiempo.



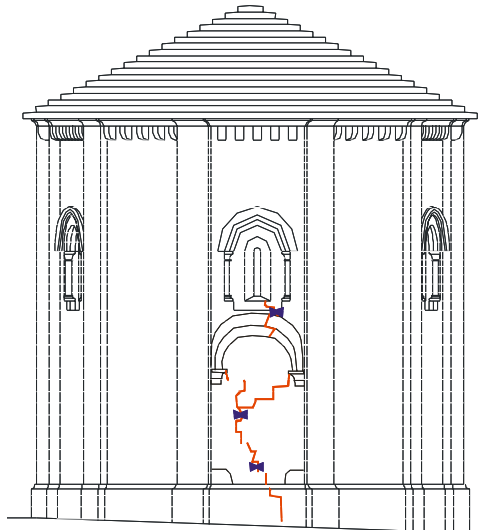
Paramento exterior del ábside, con un testigo de yeso roto por la abertura activa de la grieta vertical

Alzado este exterior



En el interior se aprecia una grieta importante, que asciende desde el zócalo hasta la parte inferior de la ventana (por encima de la cual fue restaurada), a través de las juntas de los

Alzado este interior



sillares y aumentando de grosor. En ella se colocaron tres testigos de yeso a lo largo de la misma con igual fecha de 28-11-05, en los que no se apreciaron cambios hasta la visita en día 05-07-07, cuando se apreció el testigo rajado.

De menor relevancia son dos pequeñas grietas localizadas en la parte baja del exterior en el paramento 4 del ábside, hacia el lateral sur, en sendos sillares; una se encuentra inmediatamente encima del zócalo y en otras cuatro hiladas de sillares arriba.

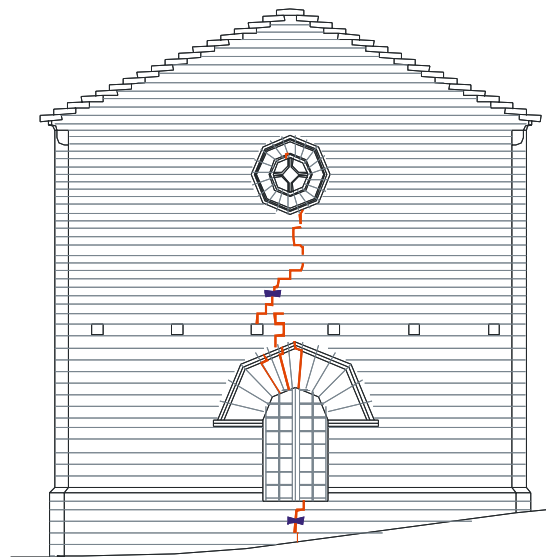
Las grietas están a la izquierda del lienzo y en la misma vertical, aunque a simple vista no se aprecia ninguna continuación entre ambas.



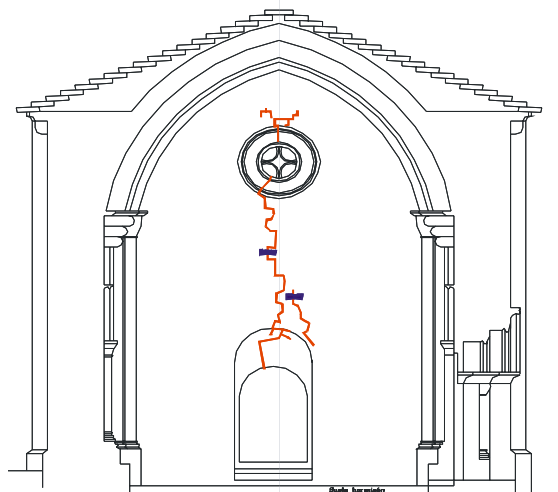
MURO OESTE: En el exterior existe una abertura en la parte superior donde se han colocado dos testigos de yeso, uno colocado en el zócalo, y otro más arriba fechado en 26-12-05, entre la ventana y el rosetón. Esta grieta comienza en el zócalo, surcando sillares, y prosigue hacia arriba, en la misma vertical, entre las juntas y las dovelas de la zona de la clave de la ventana abocinada, y entre juntas de hiladas de sillares, por encima de la ventana hasta el rosetón también abocinado, en el que reaparece la grieta.

En el interior de la iglesia, aparece una grieta continua, y bastante ancha que puede guardar relación con la del exterior, antes comentada. Parte de los sillares del tímpano de la ventana para ascender por le paramento hasta el rosetón abocinado atravesándolo hasta acabar por encima de este. A media altura tiene un testigo de yeso con fecha 23-11-05. A la derecha de esta grieta aparece una segunda, desde el arco de la ventana hasta media altura, a la

Alzado oeste exterior



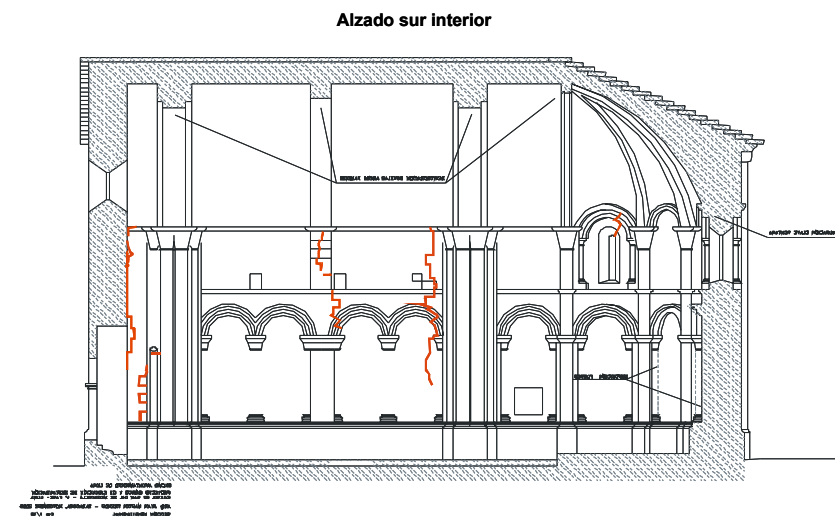
Alzado oeste interior



que también han colocado un testigo de yeso en la misma fecha. Cabe apuntar que no se observa cambio alguno en los testigos.



MURO SUR: En el exterior, en el paramento 5 perteneciente al ábside, se observa la continuidad vertical de una grieta que parte del zócalo superior atravesando dos sillares. Desaparece hacia arriba, al comenzar el paramento (ya que ha sido restaurada), y reaparece de forma intermitente, a modo de pequeñas separaciones entre junta y sillar, hasta la ventana abocinada donde se observa una abertura de tamaño mayor que fue restaurada. En el interior de la iglesia, de oeste a este, se aprecian varias grietas: la primera consistiría en una abertura localizada a media altura del primer arco ciego que se pierde hacia arriba. Digna de mención es la que parte de las arquivoltas del cuarto arco ciego, desde el muro oeste, ascendiendo casi paralela a las columnas de su izquierda, entre las juntas de los sillares, para acabar en la imposta. Por último, una tercera se localiza desde el abocinamiento de la ventana del paramento 5 perteneciente al ábside, hasta las arquivoltas.



3 DIAGNÓSTICO

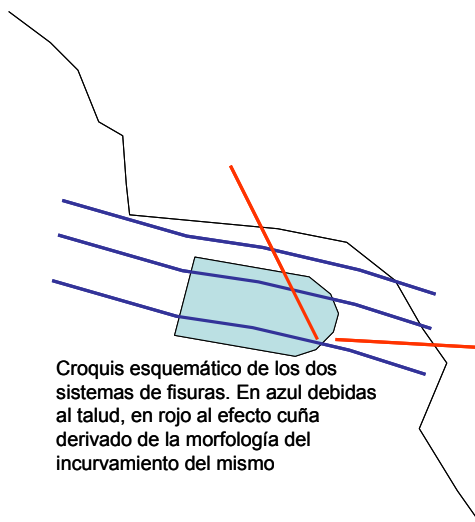
La edificación se asienta en el borde de un talud constituido por un paquete de areniscas, de unos 2 metros de potencia, que se apoya en limolitas. En cotas inferiores del talud, el coluvión y bloques desprendidos del paquete superior de areniscas recubren los afloramientos.



La simple apreciación visual muestra una fuerte erosión diferencial entre el paquete de areniscas (más resistentes) y las limolitas subyacentes (más fácilmente erosionables).

Por otro lado, el borde del talud, muestra un saliente en el punto de apoyo de la edificación que parece haber sido guía para orientar la construcción de la misma y que, como se explicará seguidamente, condiciona

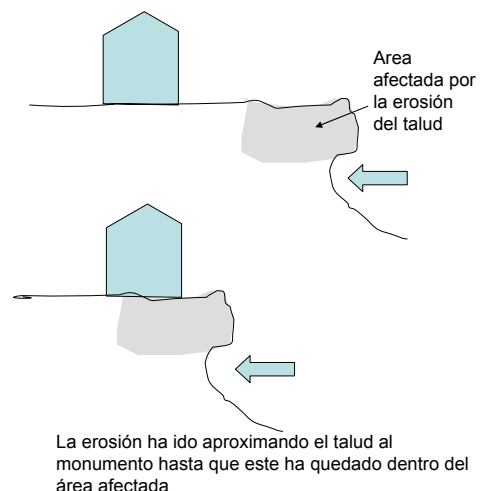
el proceso que ha dado origen a aparición de las grietas que motivan este informe.



propio terreno de asiento.

Los estudios realizados muestran un efecto de cuña en la disposición de las grietas en el paquete de arenisca sobre el que la Iglesia ha sido construida, acompañando a los fenómenos de erosión geológica normal

Descartados problemas estructurales derivados del propio sistema constructivo, por el análisis realizado y por el hecho de que durante mucho tiempo haya permanecido estable hasta la aparición de las fisuras anteriormente aludidas, hay que buscar las causas en el movimiento del

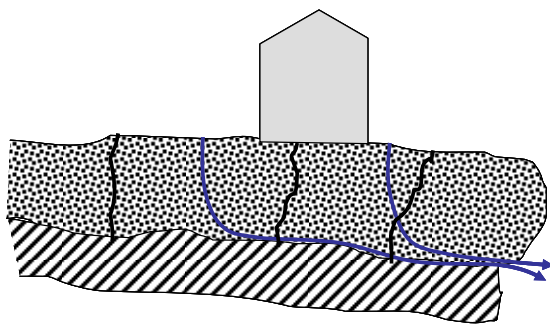




de un talud de las características litológicas señaladas. La presencia de bloques desprendidos en la ladera del talud, por debajo del escarpe de areniscas que lo corona, confirman la actuación de este proceso. La morfología de la incurvación del talud, observado en vista aérea, explica la disposición en cuña de las fracturas.

Este proceso erosivo se ha venido produciendo a lo largo del tiempo, aproximando el talud al edificio a medida que la erosión ha ido haciendo su labor, hasta que ésta ha entrado dentro de su área de influencia, momento en que comienza el movimiento del terreno y la apertura de grietas en el monumento.

La formación de voladizos resaltando el paquete superior de areniscas es consecuencia de la distinta alterabilidad de esta roca con respecto a las limolitas infrayacentes. Éstas últimas son mucho menos compactas y cementadas, estando constituidas por minerales arcillosos y partículas de cuarzo muy finas. Estos componentes son arrastrados con



mucha más facilidad por la escorrentía superficial que los granos de arena que forman las areniscas bien cementadas. Los componentes arcillosos, además, absorben la humedad, sus finas laminillas se separan y el conjunto resulta levigado y arrastrado.

Circulación del agua subterránea

Además, hay que tener en cuenta las aguas subterráneas. El paquete de areniscas, compacto y fisurado es mucho más permeable que las más plásticas limolitas. El agua que filtra por el terreno alcanza dicho nivel limolítico por el que resbala hacia el talud, contribuyendo al proceso de degradación.

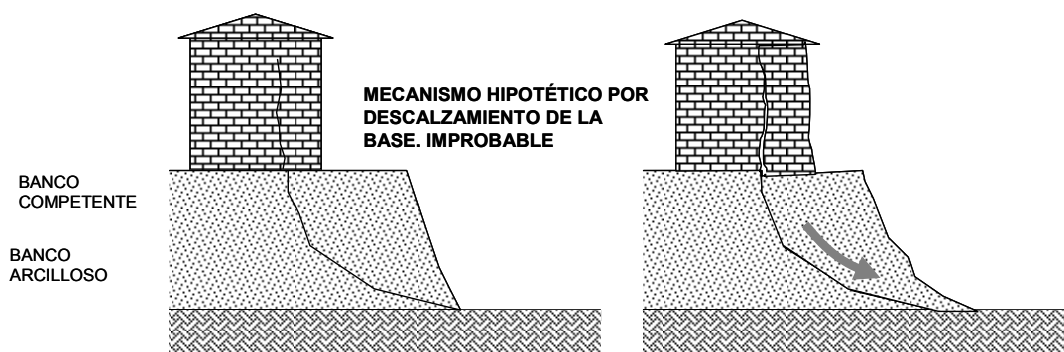
Una vez que el paquete de areniscas ha quedado en voladizo, la afectación al monumento se podría producir por tres procesos:

- Por descalzamiento de la base del talud
- Por vuelco debido al peso de la parte que vuela
- Por adelgazamiento y acuñaamiento como consecuencia del arrastre de finos de la limolita por el agua, lo que produce, más bien un deslizamiento que un vuelco. Este deslizamiento implica, primero la fracturación del paquete de areniscas y



luego la apertura de las fracturas formadas, arrastrando la edificación a la que sirven de asiento.

El primer mecanismo se produce en ladera con materiales inconsistentes al ser empapados por el agua, lo cual no es el caso.

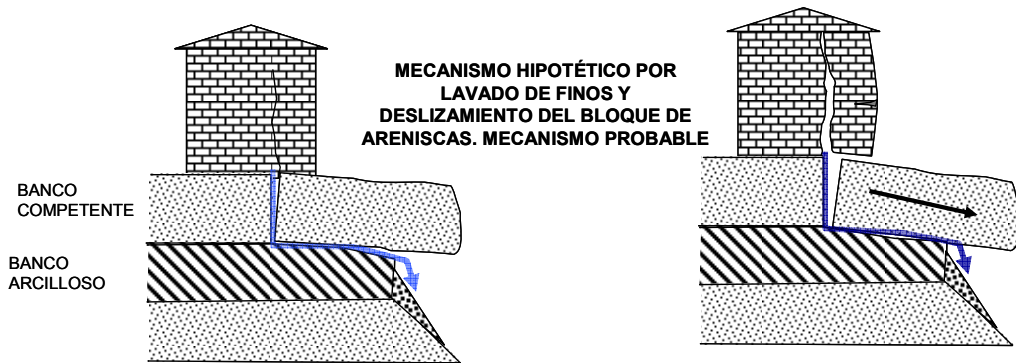


En terrenos homogéneos no competentes o poco consolidados, el descalzamiento de la base de un talud por obras o por erosión natural del mar, corriente de agua u otro causa, puede provocar que la pendiente busque su equilibrio mediante la apertura de las grietas correspondientes, llegando al colapso en casos extremos que puede producirse bruscamente y sin previo aviso. El riesgo es mayor en época de fuertes precipitaciones

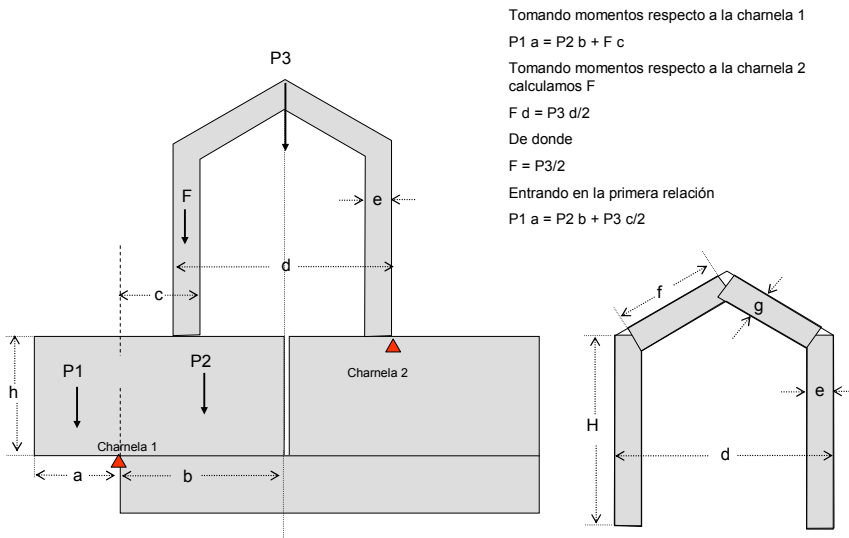
Para examinar la influencia relativa del segundo mecanismo, el de vuelco, se pueden realizar unos someros cálculos.



El lecho incompetente es comprimido por el peso del competente, con lo que se deforma mediante expansión hacia la cara libre del talud, a partir del que se fractura y desprende. El acúñamiento de este banco, por deformación, provoca el colapso del lecho superior competente arrastrando la estructura que sustenta.



El agua percola por las diaclasas a través del nivel competente permeable (caliza o arenisca) hasta encontrar un lecho plástico e impermeable de limolita. Desde allí, se desplaza hacia el talud arrastrando finos. La erosión diferencial deja en voladizo el banco competente. El arrastre de finos lima el banco limolítico que le sirve de base, y se comienza a producir el deslizamiento del bloque destacado por el diaclasado o por nuevas fracturas provocadas por la tensión derivada del deslizamiento.



En el gráfico adjunto se han estimado los siguientes valores

Valores estimados

| | | |
|----|-------|-------|
| D1 | 2,70 | Tm/m3 |
| D2 | 2,50 | Tm/m3 |
| D3 | 2,00 | Tm/m3 |
| a | 0,70 | m |
| c | 3,00 | m |
| d | 10,00 | m |
| e | 1,20 | m |
| f | 7,00 | m |
| g | 0,50 | m |
| h | 2,00 | m |
| H | 8,00 | m |



Los momentos en cuestión respecto al punto que podría hacer de charnela (destacado en rojo) tienen la siguiente expresión.

$$M1 = D_1 a^2 h$$

$$M2 = D_1 (c+d/2-e)^2 h$$

$$M3 = (D_2 e H + D_3 f g) c$$

Con lo que

**Valores
calculados**

| | | |
|---------|--------|-----|
| M1 = | 2,65 | N*m |
| M2= | 457,06 | N*m |
| M3= | 93,00 | N*m |

Por consiguiente, igualando momentos

$$a^2 = (c+d/2-e)^2 + (D_2 e H + D_3 f g) c / D_1 h$$

de donde

$$a = 10,09$$

Es decir, para que se produjera el vuelco, el bloque de areniscas debería volar 10 metros, lo que evidentemente se encuentra muy alejado de la situación real, de esta forma, hay que aducir el tercero de los mecanismos descritos, el de lavado de finos y deslizamiento del bloque sobre la limolita acuñada, como causante del fenómeno erosivo.

De estos cálculos y consideraciones se deduce la importancia de la circulación del agua y la estimación del régimen de precipitaciones. Además, también se puede concluir que el momento de mayor riesgo se produce tras precipitaciones intensas y muy continuadas. Por otro lado, una vez que el proceso ha comenzado, el área afectada resulta más agrietada como consecuencia del mismo, con lo que se incrementa la circulación de agua y dicho proceso se acelera. Se trata, por consiguiente, de un proceso exponencial con el tiempo o, en otras palabras, una vez que una zona próxima al talud es afectada, cada vez se deteriora más deprisa, de donde se deduce la necesidad de intervenir sobre el talud antes de que el proceso progrese.



4 RECOMENDACIONES

4.1 CONSIDERACIONES GENERALES Y ESTRATÉGICAS

Si la erosión y vuelco de las capas competentes de arenisca, por arrastre de los finos de las capas de limolitas con que se encuentran interestratificadas, es la causa del movimiento del terreno, detener este proceso constituye la primera actuación recomendada.

En principio, cabe suponer, que una vez detenido este proceso, cese el desplazamiento de la base de asiento de la estructura construida, pero existe la posibilidad de que esto no se consiguiera definitivamente por distintas causas entre las que se encuentran:

- Reajustes posteriores debidos a la inercia del proceso.
- Que la actuación no consiga completamente su objetivo y en alguna medida el proceso continúe si bien ralentizado, o existan desplazamientos buscando el nuevo equilibrio. En este caso, y solo en este caso, sería necesario acudir a medidas adicionales más incisivas sobre el monumento.

Es aconsejable, en la conservación del patrimonio histórico, comenzar por las actuaciones menos agresivas, incrementando el impacto de la intervención, hasta que se logren detener los procesos de degradación, no llevando más allá la actuación, una vez que este objetivo se consigue. En consecuencia, no se recomiendan intervenciones con intención de ser definitivas, que pudieran modificar más o menos profundamente el objeto que se pretende conservar. En este sentido apunta la doctrina internacional expresada en la distintas Cartas de ICOMOS y las directrices y resoluciones de la UNESCO. En consonancia con esta filosofía, las actuaciones deberían ser las mínimas necesarias en las zonas de mayor riesgo.

Por otro lado, la experiencia demuestra que los resultados de las actuaciones agresivas en patrimonio, por más que se encuentren bien planteadas, siempre comportan un riesgo debido a la heterogeneidad de materiales y estructuras, y a la imposibilidad de determinar su comportamiento con la precisión con que son conocidas en obra nueva. Este riesgo, que se puede asumir cuando son de temer males mayores necesitándose actuaciones duras para detener violentos procesos de degradación, es inaceptable cuando las estructuras históricas resultan afectadas por degradación lenta. En estos casos, siempre es aconsejable intervenir lo menos posible, recogiendo la máxima información en cuanto a sus causas y



evolución, de forma que una futura actuación, de ser necesaria, se efectúe con las máximas garantías.

Dado que el proceso de erosión es un proceso lento (aunque impredecible, es decir, pueden pasar muchos años sin movimiento aparente o con ligeros desplazamientos y producirse más o menos repentinamente el deslizamiento de un bloque a raíz de unas precipitaciones intensas), en términos generales, la actuación debe ser muy conservadora y establecer un programa de vigilancia de la evolución de las fisuras observadas mediante bandas extensométricas, e inclinómetros.

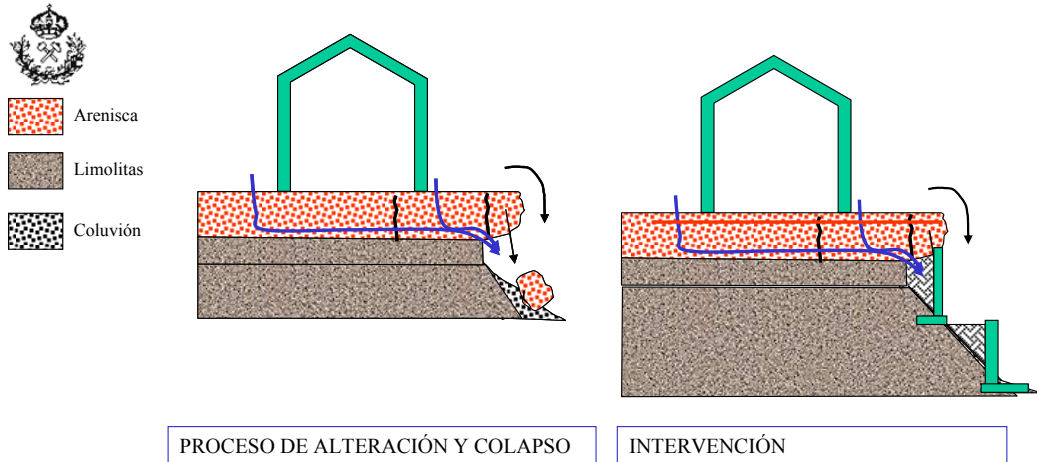
Coherentemente con lo expresado en los párrafos anteriores, parece que la estrategia recomendable sería comenzar por la estabilización del talud, y solamente, en el caso de que se comprobara que esta actuación no fuera suficiente, acudir a las más enérgicas estrategias consistentes en llevar a cabo cosidos, colocación de micropilotes, o bulonado.

En las líneas que siguen se centrará la atención, de forma inmediata, en la primera de estas actuaciones y en la vigilancia y comprobación de la posible existencia de desplazamientos tras la intervención, ya que en caso de que estos se hubieran detenido no tendría sentido abordar la segunda.

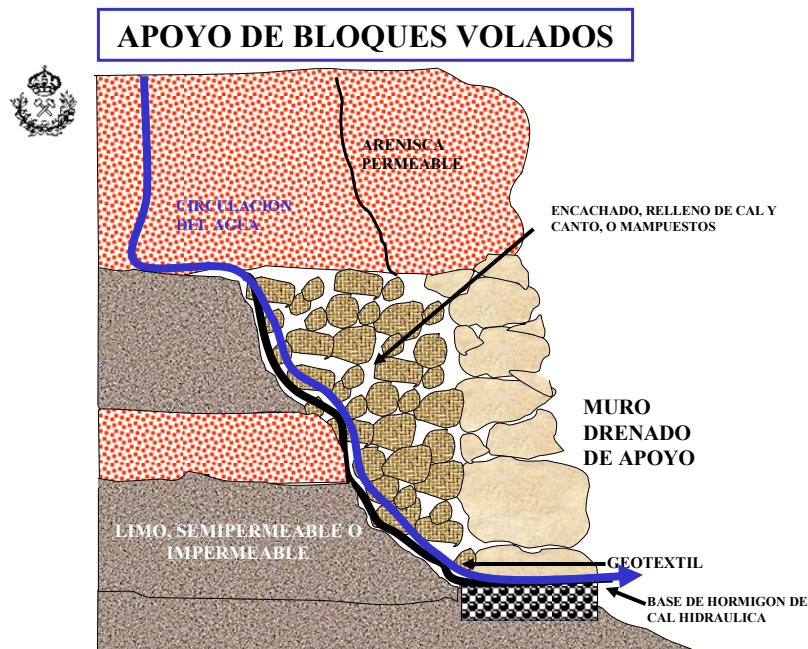
Por otro lado, aunque se trataría de una segunda hipotética intervención, que posiblemente nunca se produzca, por si fuera necesario abordarla, se efectuarán también, algunas consideraciones sobre la estrategia con que se platearía, sus dificultades y las alternativas existentes.

4.2 ACTUACIONES DESTINADAS A ESTABILIZAR EL TERRENO.

Para detener el proceso de erosión, y estabilizar el talud, habría que impedir el lavado de finos de los paquetes limolíticos por el agua que se filtra a través del terreno, y apoyar los bloques que se encuentran en voladizo. En un problema similar, existente en el Castillo de Jadraque, en la intervención que actualmente se lleva a cabo bajo nuestras recomendaciones, se ha adoptado una solución que se describe seguidamente, tratando de provocar el mínimo impacto visual y estético, armónico con el carácter de la construcción, y al mismo tiempo estable y eficaz en el tiempo. Dicha intervención actúa mediante la detención del proceso de socavamiento del nivel más fácilmente erosionable (limolítico en el caso presente y arcilloso yesífero en Jadraque) y soportar, cuando se requiera por encontrarse en voladizo, el nivel compacto superior (arenisca en el caso presente, caliza de páramo en Jadraque).



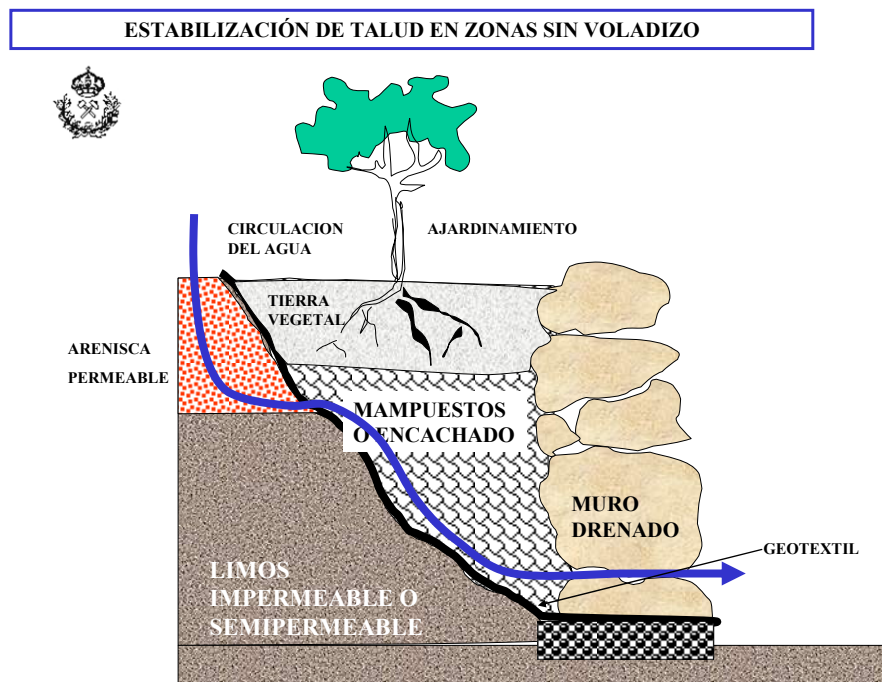
En definitiva se trataría de construir un murete de contención rellenando y apoyando las zonas socavadas. Es esencial, por otro lado, que esta estructura superpuesta permita el drenaje del agua subterránea para garantizar su permanencia.



La naturaleza de este murete puede ser diversa, siempre que se respete lo anteriormente expresado respecto a la permeabilidad y capacidad de drenaje. La arquitectura proporcionará el diseño más adecuado, no obstante lo cual, se puede sugerir un muro de



grandes bloques de piedra, tipo escollera, o mejor, ligeramente escuadrados, sobre un cimiento de hormigón a base de cal hidráulica y canto. Si los bloques se asientan adecuadamente, tienen suficiente tamaño y el muro tiene suficiente espesor no será necesario trabar los bloques con argamasa de cal, en caso contrario se deberán dejar tubos de drenaje, o al menos juntas exentas de argamasa en la base del muro. Por otro lado, sería conveniente que el muro tuviera su parte externa fuera de la verticalidad siguiendo la dirección de la pendiente. Esto se puede lograr, por ejemplo, si la base es más ancha que la zona superior.



Si se necesitara rellenar detrás del murete, se podría utilizar cal y canto ó mampuestos; en cualquier caso es imprescindible colocar geotextil entre el terreno y los mampuestos (o relleno de cal y canto) para evitar el arrastre de finos.

La actuación más importante es en la zona del saliente del talud, donde se está produciendo el colapso en cuña del paquete de areniscas, manifiesto porque este se encuentra en voladizo, no obstante lo cual, en zonas donde no se haya producido este fenómeno se puede acudir, como medida adicional al aterrazamiento. La figura adjunta, ilustra suficientemente la forma de proceder, señalando que el ajardinamiento o revegetación natural favorece, asimismo, la estabilidad del terreno.



La segunda de las actuaciones en esta etapa iría destinada a impedir la entrada de agua al nivel de limolita, causante del proceso de movimiento del terreno y a incrementar su compacidad. Se excluyen, en esta primera etapa, impermeabilizaciones, solados o drenajes visibles en las inmediaciones del monumento, por lo que habría que acudir a rellenos del sistema fisural de las areniscas que lo soportan.

Un primer relleno iría destinado a colmatar las fisuras de mayor luz. Para ello se utilizará lechada de cal hidráulica, nunca pórtland, por las sales y excesiva rigidez que pudiera introducir. El relleno se podría efectuar a lo largo de taladros horizontales en el talud que cortaran normalmente las fisuras o en ángulo desde el terreno periférico a la Iglesia. En el primer caso, el taladro se detendría, una vez que se rebasara la estructura en unos 3 metros; en el segundo caso una vez atravesado el paquete de arenisca y se cortaran limolitas.

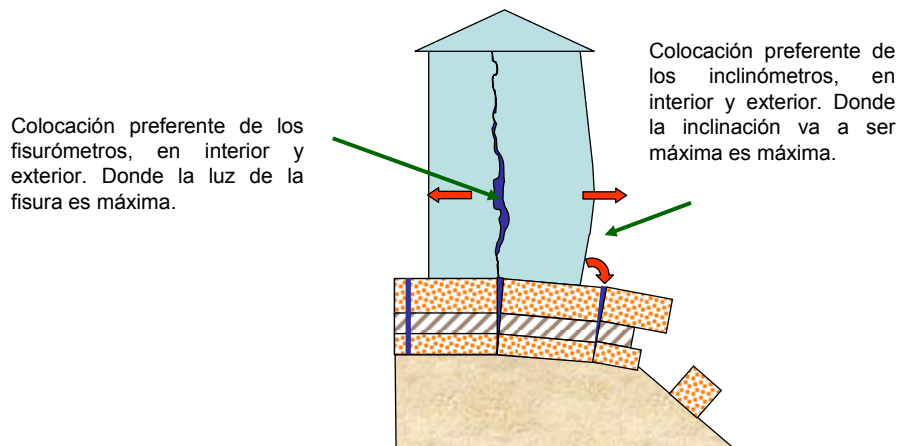
Para el relleno de las fisuras más finas, se podría utilizar resina epoxídica de baja tensión superficial y alto poder de penetración. Para ello, habría que practicar nuevos taladros de menor diámetro.

En los dos casos se actuaría bajo presión hidrostática, colocando el recipiente que contenga el material a inyectar a unos 8 metros sobre la cota del terreno. Alternativamente se podría actuar bajo presión aplicada de una atmósfera.

También en ambos casos, se podrían aprovechar los taladros para aumentar la resistencia mecánica del paquete de areniscas introduciendo varillas de fibra de vidrio.

4.3 MEDIDAS DE VIGILANCIA Y COMPROBACIÓN DE QUE LA INTERVENCIÓN HA DETENIDO EL PROCESO.

Es de la mayor relevancia, constatar si la intervención ha sido suficiente para detener el desplazamiento del terreno. La medida más elemental es la colocación de testigos de yeso, sin embargo, este método parece insuficiente ya que no permite una estimación de la magnitud del desplazamiento si éste se produjera. Hay que tener en cuenta, además, que una vez finalizada la actuación, existan posibles reajustes del terreno hasta su definitiva estabilización, que pudieran fracturar los testigos, creando una alarma injustificada y como consecuencia, una intervención posterior exagerada e innecesaria. Por otro lado, los cambios termohigrométricos ambientales afectan tanto al yeso del propio testigo, como a la dilatación térmica de los propios materiales de la edificación, pudiendo fracturar los testigos con la consecuencia indeseable anteriormente anotada.



La forma correcta de proceder, sería la colocación de un sistema de sensores en las zonas afectadas. Dicha tarea debería preceder al comienzo de las intervenciones en el talud, con el fin de detectar desde el principio cualquier posible incidencia desde el inicio de actuación que se desarrolle sobre el conjunto del monumento y su entorno, y la evolución de ésta durante la ejecución de las intervenciones y a posteriori.

Se trataría de dos tipos de sensores: por un lado fisurómetros que estimaran la variación de la luz de las fisuras y por otro, inclinómetros que estimaran posibles variaciones en la inclinación del muro contiguo al talud.

Parece conveniente colocar, al menos cuatro fisurómetros, dos en la grieta en la fachada principal, tanto en su parte interior y como exterior y otros dos en la correspondiente al ábside (también exterior e interior). En todos los casos, la altura correcta sería donde sea máxima la luz de las fisuras, ya que es donde será mayor la sensibilidad frente a posibles desplazamientos.

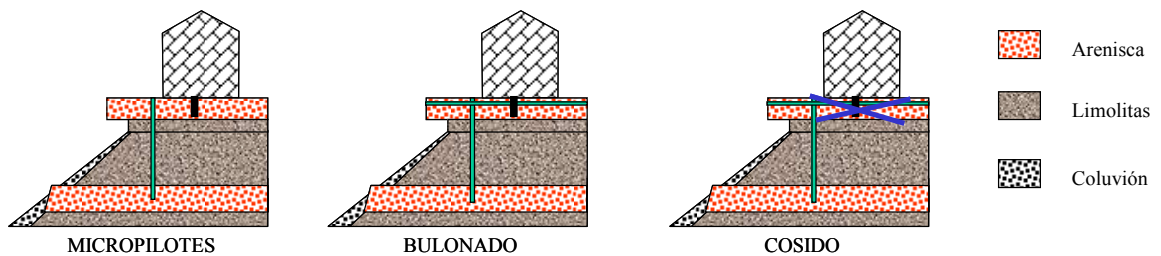
Asimismo, también se deberían colocar, al menos, tres inclinómetros, a dos metros aproximadamente de altura sobre el terreno. Ello es debido a que, normalmente, la charnela o bisagra de rotación del muro se suele producir a $1/3$ de la altura del paramento, cuando se encuentra trabado por la cubierta en la coronación, por lo que las zonas señaladas serán las más sensibles a cualquier desplazamiento.

La valoración de los resultados se debería hacer por personal experto, tras un ciclo estacional completo para poder eliminar la influencia de los cambios termohigrométricos, mediante obtención de curvas envolventes.



4.4 CONSIDERACIONES SOBRE MEDIDAS MÁS AGRESIVAS SI EL PROCESO NO SE HUBIERA CORREGIDO CON LAS ACTUACIONES ANTERIORES.

Solo en el caso de que el programa de vigilancia estimara que las medidas anteriores no han sido suficientes para detener el proceso, se pueden acudir a otras más incisivas. Entre éstas se encuentran el micropilotaje, bulonado, cosido y drenado y solado del terreno. Las tres primeras, requerirían practicar una red de sondeos destinados a conocer el espesor concreto del paquete de areniscas en el área afectada. A continuación se realiza en pequeño análisis de cada una de ellas.



4.4.1 Barrera de micropilotes

Barrera de micropilotes verticales, entre la estructura y el talud. Para ello, se requiere encontrar terreno firme a una profundidad razonable donde anclar el paquete móvil de areniscas. Los estudios geológicos realizados estiman una baja posibilidad de encontrar un potente nivel de arenisca, que podría cumplir con esta función; más bien parece que la serie se va haciendo más arcillosa, limolítica y poco competente con la profundidad. Se apoya esta interpretación en la ausencia de afloramientos de arenisca en la ladera del talud y en las características geológicas regionales. Aunque existe un recubrimiento de coluvión de ladera, sería extraño que un banco potente no aflorara en algún punto debido a la erosión diferencial, en un talud pronunciado como es el que nos ocupa. Por otro lado, el análisis de la serie en otros puntos, apunta también en este sentido. Una barrera de micropilotes inclinados se encontraría con el mismo problema.

4.4.2 Anclajes con bulones

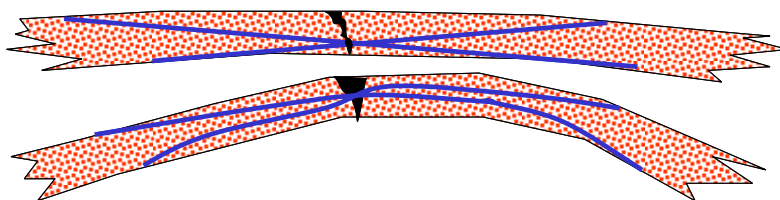
Por otro lado, si se optara por un sistema de anclajes bulonados cosiendo el paquete de areniscas bajo la Iglesia, tendría que ser practicada horizontalmente o con muy baja inclinación desde el borde superior del talud, con las correspondientes dificultades de ejecución y la falta de garantías de que el sistema funcionara si no se hubiera conseguido detener, previamente, el proceso de erosión del mismo. Adicionalmente, para esta



operación se suele utilizar acero corrugado de 22 o 25 mm., de diámetro adherido con resina o mortero. Este acero tiende a oxidarse con el tiempo en las zonas que la resina no consiga recubrir, por lo que podría plantear problemas en un futuro más o menos distante.

4.4.3 Cosidos

Se debería utilizar varilla de fibra de vidrio adherida con resina epoxídica con una resistencia de 300 Kg/cm² de sección. La ausencia de una fisura franca y manifiesta que permitiría un cosido desde el interior de la Iglesia (en su lugar lo que existe es una red de fisurillas) obliga a practicar los taladros desde fuera y ambos lados de la Iglesia. De esta forma se lograría compactar el bloque de arenisca de asiento del edificio pero, en caso de proseguir el proceso de erosión, existe el riesgo de que se abran fisuras más alejadas del talud y el conjunto se incline. Además, están los problemas para una ejecución efectiva de los cosidos, ya que la Iglesia tiene unas dimensiones de cerca de 10 metros de ancho, mientras que el paquete de areniscas mantiene unos 2 metros de espesor. Si la boca de los taladros se colocara a un metro, al exterior del muro, deberían recorrer una distancia horizontal de unos 12 metros. Con dos metros de recorrido vertical, el taladro tendría que practicarse en un ángulo de alrededor, de unos 10° de inclinación con la horizontal. Con este ángulo los cosidos irían casi paralelos por lo que su efectividad se vería muy reducida.



Los cosidos en cruz con un fuerte ángulo no resultan muy efectivos para detener el movimiento del terreno

4.4.4 Impermeabilización, drenaje y solado del terreno en el entorno.

Esta actuación estaría destinada a impedir la entrada de agua, causante del problema, a la red de fisuras. Consistiría en solar el terreno en el entorno y drenar la escorrentía superficial hacia una zona donde no represente un riesgo. Sin embargo, tiene varios inconvenientes: el primero de ellos es el impacto visual por la descontextualización que introduce en el entorno del monumento; el segundo es que el agua subterránea recogida más allá de la zona intervenida, alcance, de todas formas, el subsuelo de la Iglesia y



provoque capilaridad al impedirse la transpiración natural del terreno. Para su ejecución se debería conocer con bastante precisión la naturaleza del contacto de las areniscas con las limolitas, para estimar cual va a ser la circulación del agua subterránea, lo que se puede conseguir con una campaña de sondeos. En su caso, esta intervención se podría complementar con sondeos de drenaje del terreno bajo la Iglesia, practicados desde el talud para impedir la acumulación de las citadas aguas subterráneas en zonas subterráneas de depresión en el contacto arenisca-limolita.

ANEJO I

CARACTERIZACIÓN Y EVALUACIÓN ESTRUCTURAL DE IGLESIA DE SAN GIL DE MEDIAVILLA LUNA

ERMITA DE SAN GIL DE MEDIAVILLA LUNA. HUESCA

Caracterización y evaluación estructural de la ermita de
San Gil de Mediavilla.

Informe de caracterización

9 de julio de 2007



Índice

| | |
|--|-----------|
| 1 Introducción y objetivos | 1 |
| 2 Datos previos y trabajos realizados | 2 |
| 2.1 Descripción general | 2 |
| 2.2 Tipología y funcionamiento resistente..... | 4 |
| 2.3 Evaluación estructural..... | 8 |
| 2.4 Descripción de los procesos de deterioro y daños detectados..... | 13 |
| 3 Conclusiones y consideraciones finales | 15 |
| | |
| Anexo de cálculo estructural | |

1 Introducción y objetivos

Actualmente se está llevando a cabo un conjunto de trabajos en la Ermita de San Gil de Mediavilla en Luna. Estos trabajos tienen por objeto conocer los materiales, diagnosticar los procesos de degradación (fundamentalmente la fisuración existente) y establecer las eventuales medidas correctoras.

En el marco de estos trabajos que están siendo coordinados por la CÁTEDRA DE PETROLOGÍA DE LA ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIEROS DE MINAS, se pide a INES Ingenieros Consultores que realice una caracterización y evaluación estructural de los elementos estructurales principales de la Ermita.

Dentro de los trabajos de caracterización y evaluación estructural se engloban:

- La descripción tipológica de los diferentes elementos estructurales,
- La descripción de las propiedades mecánicas y del funcionamiento resistente de estos elementos y,
- Por último, la eventual identificación de los procesos y mecanismos derivados de un mal funcionamiento resistente que podrían estar presentes en dichos elementos.

El objetivo último de este informe es, por tanto, identificar si los procesos y daños detectados en la ermita se deben a causas resistentes o, por el contrario, a otros efectos.

2 Datos previos y trabajos realizados

Como ya se ha indicado anteriormente, estos trabajos se enmarcan dentro de los trabajos generales de investigación. Se incidirá en este informe específicamente en los aspectos directamente relacionados con la capacidad y estabilidad de los elementos de la ermita.

Se incluye a continuación, en primer lugar, una descripción de la estructura atendiendo a las propiedades mecánicas de sus materiales componentes y a su geometría y, en segundo lugar, su caracterización estructural.

2.1 Descripción general

Una vez consultada la información disponible y realizada una inspección a la estructura en cuestión el día 6 de julio, se recoge a continuación una breve descripción de la ermita.

Se trata de una iglesia templaria, con planta rectangular con terminación en ábside en su extremo este. Sus dimensiones en planta son de 22,34 m x 12,45 m² con terminación en ábside en su extremo este (radio 6,22 m). El ancho de sus muros es de aproximadamente 1,62 m en paramentos y de 2,64 en los contrafuertes y una altura máxima de 14,43 m.

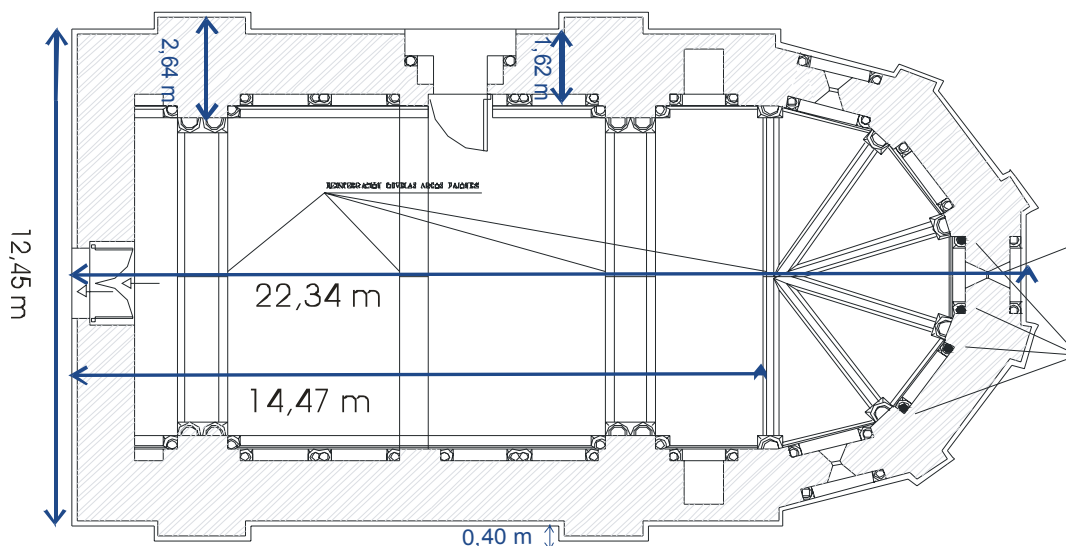


Figura 1. Planta de la Ermita

Presenta una nave rematada en cabecera con un ábside poligonal con grandes contrafuertes. Se cubre con una bóveda apuntada y está reforzada con fajones en la nave, y 6 nervaduras de triple

bocel; dos de las cuales se continúan formando como un pequeño fajón en el que convergen las demás.

En los cinco paños resultantes se abrieron tres ventanales de arquivoltas semicirculares sobre columnas.

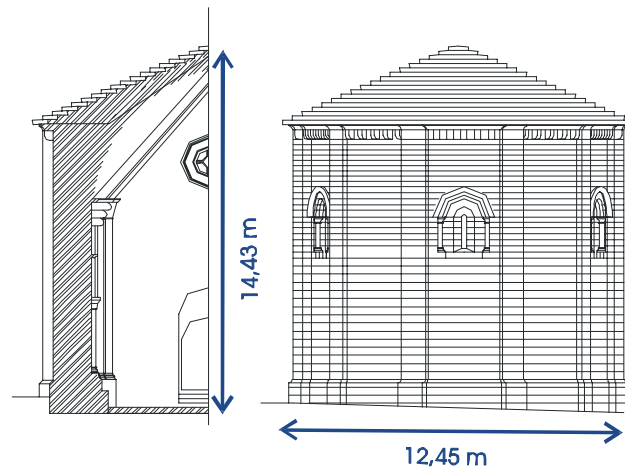


Figura 2. Alzado de la Ermita

Según la información geotécnica consultada, la edificación se asienta en el borde de un talud. En el escarpe del talud se pueden apreciar las características geológicas del subsuelo. En efecto, el escarpe aparece formado por afloramientos de una alternancia subhorizontal de areniscas y areniscas arcillosas, serie típica del mioceno prepirinanico. Las areniscas constituyen los paquetes más competentes, por lo que se forma un relieve diferencial. Toda la serie presenta un sistema de diaclasado que llega a separar los estratos en bloques más o menos paralelinédicos.

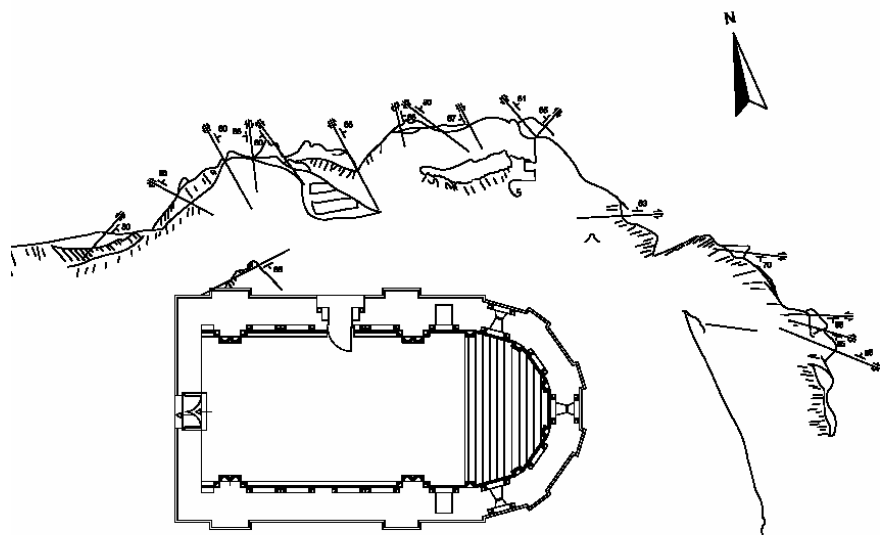


Figura 3. Situación en planta de la Ermita

Según la información facilitada en los años 50 se desmontaron y repararon las cubiertas y algunas pilas. Dejaron sólo el escalonado de la cubierta. Durante esta intervención se disminuyó el peso de la cubierta ya que se recortaron parte de las piedras de la cubierta no eliminándose las filtraciones, por lo que a los 2 meses se volvieron a producir nuevas goteras.

En 1997 se levantó el solado y se hormigonó pero no se realizaron catas para la inspección de la cimentación. En esta intervención también se limpiaron sillares.

Se ejecutó una tercera intervención en 1999 por la empresa Restauroegea. En ella se volvió a desmontar y reparar la cubierta por tramos, dejándola con el mismo aspecto que la intervención de los años 50 pero dando una solución definitiva a los problemas de humedades por filtraciones. Se confeccionó un escalonado de mortero de cal, se impermeabilizó con pintura y fibra de vidrio. En las juntas se colocaron láminas de plomo. La parte superior de los paramentos externos se reparó rellenando grietas sobre ventanas que llegaban hasta la bóveda.

2.2 Tipología y funcionamiento resistente

El análisis de la estructura y su modelización exige, como paso previo, la identificación de los elementos estructurales. Sucede con frecuencia que las estructuras de fábrica, generalmente de tipo masivo, no dejen ver cuáles son sus elementos resistentes, debido a la existencia de postizos, ornamentos, rellenos y otros cuerpos que disfrazan el esquema estructural.

Dentro de la edificación religiosa se incluyen una diversidad de construcciones de distintos estilos con algunas características comunes. Se trata de edificios cuya función es cerrar y cubrir un espacio para destinar su interior al uso previsto.

Las construcciones religiosas incluyen iglesias, basílicas y catedrales. Suelen tener una altura considerable con una cubierta única, mientras los edificios civiles pueden contar varias plantas materializadas por forjados de madera o bóvedas de fábrica.

Las acciones principales solicitantes son las gravitatorias y el viento. La misión portante vertical se encomienda a muros de fachada e interiores o soportes, bien aislados, bien trabados por arcadas. Los empujes horizontales deben ser resistidos por muros, dotados del espesor suficiente, o por sistemas diseñados al efecto como estribos, arbotantes y botareles como se comprobará en el punto siguiente.

Las cubiertas, que pueden estar duplicadas, pueden ser planas o inclinadas, conformadas por forjados, artesonados o cerchas de madera o abovedadas de fábrica. Los edificios de cierta importancia pueden estar rematados por elementos como torres, cúpulas, cimborrios, etc.

En el caso objeto de estudio se pueden distinguir dos elementos constructivos diferentes, por una parte, la nave principal materializada por una cubierta abovedada de sillería de 8.25 m de luz libre y un espesor medio de aproximadamente 0.50 m que descansa sobre unos muros de sillería de 1.60 m de espesor y 8.50 m de altura. La bóveda está reforzada por unos arcos cuyo espesor total es de 1.00 m y que al llegar al muro se continúan en unos contrafuertes de 2.60 m de canto, es decir, un metro más de espesor que el muro.

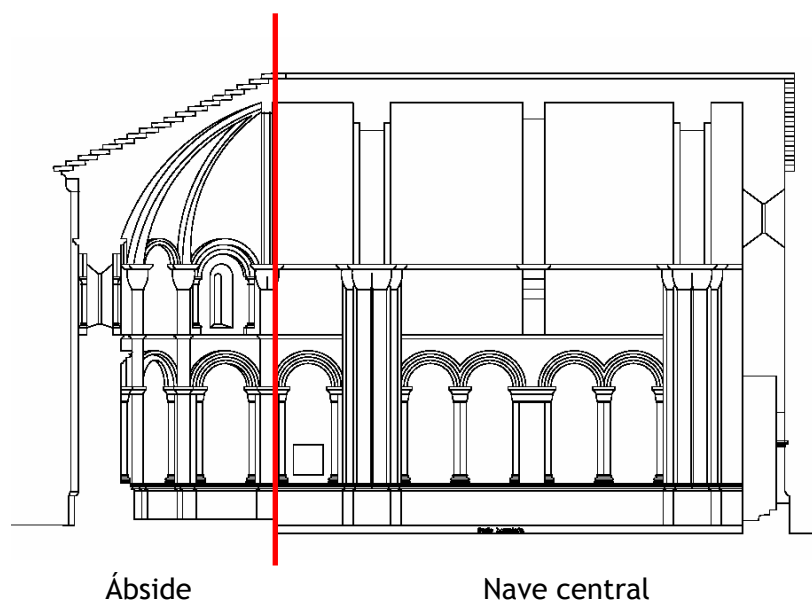


Figura 4. Sección longitudinal de la ermita.

La directriz de las bóvedas, según la información consultada es sensiblemente apuntada, ya que la flecha es de 5.00 (relación $f/L = 0.60$) además, internamente se detectan la presencia de unos rellenos rígido hasta una altura de 3.40 m.

Por otra parte, el ábside materializado por una semicúpula circular de 5.00 de radio y de 0.50 m de espesor. La cúpula se encuentra reforzada por tres arcos radiales que se continúan en pilastras y contrafuertes. Por último, de cierre de la semicúpula existe un arco meridiano completo de 1.00 m de espesor.

Esta construcción y sus dimensiones coincide con los ratios habituales en restas construcciones. Con respecto a los muros tanto de la nave como del ábside y teniendo en cuenta que en este caso, su función estructural es la conducción de las cargas verticales y la transmisión de empujes de bóvedas, como sucede en los masivos muros románicos.

La sollicitación preponderante es la de fuera del plano al recibir el empuje perpendicular de las bóvedas y arcos de la nave y semicúpula y ser estos mayores en comparación con las cargas verticales. En estos casos, la posición de los empujes recibidos y de los puntos de arriostramiento define la forma de trabajo en flexión fuera del plano con compresión moderada.

Un aspecto muy importante es la presencia de huecos, que si bien es verdad en este caso no son importantes, en el gótico más transparente llega a difuminar la propia esencia del elemento. En estos casos se precisa como mínimo llevar a cabo un análisis plano, elástico en principio, para conocer las trayectorias del descenso de cargas.

Para elementos que sobrepasan un cierto espesor, en torno a 500 mm, la sección del muro será casi siempre compuesta, contando con caras exteriores de fábrica de buena calidad material y de labra y aparejo, y un relleno interior de fábrica de menor calidad o, simplemente, cascotes.

Las reglas históricas de dimensionamiento, dan valores del espesor t del muro en función de la luz del vano que arriostran L , en torno a $t=L/10$ (los góticos Ungewitter y Lechler).

Fray Lorenzo de San Nicolás (s. XVII) da valores entre $L/6$ para muros que arriostran bóvedas de piedra hasta $L/7$ si las bóvedas son tabicadas; en ambos casos se cuenta con contrafuertes con espesor doble que el del muro. Este caso coincide casi exactamente con las dimensiones de nuestros muros ($8.25/6 = 1.40$ m) y pertenece además, al momento de construcción.

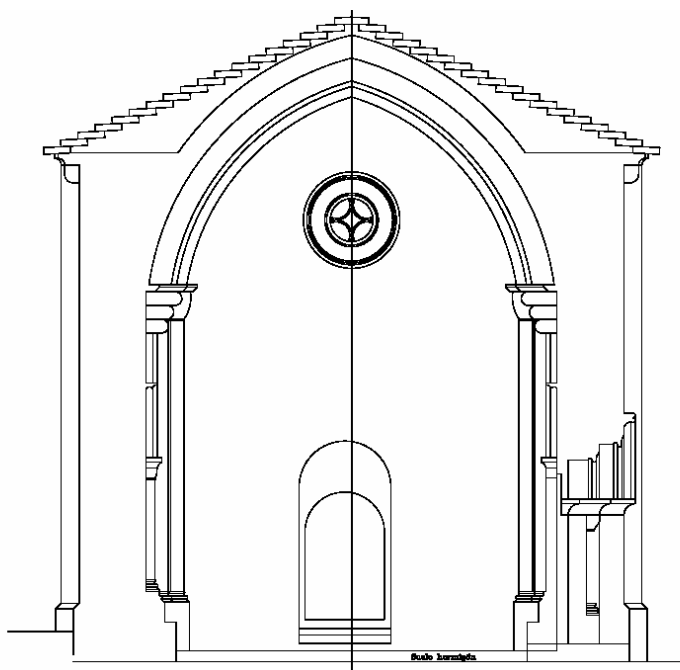


Figura 5. Sección transversal de la nave central.

En caso de muro sin contrafuertes las proporciones serían de $L/3$ hasta $L/5$, para piedra y tabicas, respectivamente. Para muros que sólo reciben las cargas de cubierta y no centran empujes de bóvedas se recomiendan espesores entre $L/7$ y $L/8$.

En cuanto a las bóvedas y a las cúpulas, la función resistente es soportar el peso propio y el peso de rellenos o enjutas macizas, a diferencia de las bóvedas de puentes que soportan además cargas móviles. Ocasionalmente pueden estar solicitados por sobrecargas, por apoyo de cubiertas por ejemplo.

El funcionamiento de estos elementos depende de cómo estén arriostrados por sus estribos. El análisis tiene, por tanto, dos puntos de interés; el equilibrio del elemento supuesto convenientemente estribado y la estabilidad de los elementos sustentantes.

Las sucesivas secciones de una bóveda de cañón pueden considerarse arcos que se analizan por unidad de longitud paralela al eje de la bóveda. En ocasiones, el cañón presenta regresados del canto como es nuestro caso que constituyen arcos perpiaños de refuerzo, si bien en construcción pudieron utilizarse como cimbra.

El reparto de carga entre arcos y bóveda dependerá de la proporción de su rigidez relativa y de la concentración de la reacción horizontal dada por la posición de los posibles contrafuertes exteriores y machones interiores que rigidizan el muro.

La geometría de los arranques de los arcos puede ser muy inclinada e incluso vertical, por lo que para lograr obtener líneas de empuje válidas, debe contarse con la acción del relleno de los senos. Esta contribución es extraordinariamente importante, hasta tal punto que la verdadera bóveda puede calcularse a partir de la cota de rellenos que suele situarse a una altura sobre arranques entre $\frac{1}{2}$ y $\frac{2}{3}$ de la flecha de los perpiaños. Figura 4.

La mayoría de las reglas existentes que permitían predimensionar los espesores de estas bóvedas y arcos se refieren a periodos históricos posteriores a la construcción de esta ermita. En cualquier caso, en la tabla siguiente se recogen algunas reglas que permiten concluir que las bóvedas y arcos de la ermita presentan ratios poco esbeltos ($c/L= 1/16$).

Tabla.1 Relaciones espesor de los arcos / luz del tramo en bóvedas compuestas

| Arco | t/L^* | |
|----------|---------|---------|
| | Gil | Lechler |
| Perpiaño | 1/20 | 7/150 |
| Diagonal | 1/24 | 1/30 |

| | | |
|------------|------|---|
| Terceletes | 1/28 | - |
| Formero | 1/30 | - |

(*) Luz de un tramo cuadrado, para tramos rectangulares, considerar la semisuma de las luces

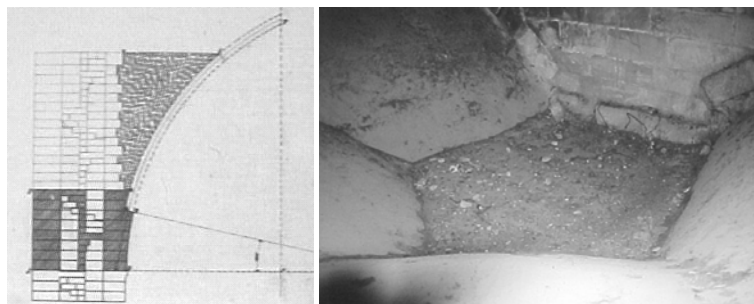


Figura 6. Rellenos en los senos de las bóvedas, b) sección de las bóvedas altas de León (Juan de Madrazo) y c) fotografía desde el extradós, también en León.

2.3 Evaluación estructural

Se recoge a continuación, por una parte, las prestaciones mecánicas de los elementos que conforman el muro, y, por otra, el análisis estructural de los principales elementos de la ermita.

2.3.1 Materiales

Piezas: Tal y como se puede concluir de la consulta de la bibliografía, las piezas son de arenisca de compacidad media.

La resistencia a compresión puede tomarse como 20 Mpa.

La resistencia a tracción puede tomarse como 1.0 Mpa, que es el valor mínimo de los resultados de los ensayos.

Mortero: Los morteros empleados originalmente, aparentemente, corresponden a morteros de cal, lo más probable es que se hayan utilizados morteros de argamasa de buen calidad habiéndose rehabilitado recientemente. Por lo tanto, se ha optado por tomar valores de resistencia a compresión y tracción medios.

La resistencia a compresión puede tomarse como 1 Mpa, y la resistencia a tracción puede tomarse como 0.1 Mpa.

Sillería de la hoja exterior e interior: Las prestaciones de la sillería como material compuesto se obtienen a partir de los parámetros geométricos del aparejo y de las propiedades de mortero y piezas.

Resistencia a compresión: Se propone utilizar la fórmula de Ohler modificada para deducir la resistencia a compresión de la sillería en función de las propiedades de los materiales constituyentes:

$$f_M = \eta \left(f_m + \frac{af_b - f_m}{1 + \frac{b\alpha}{2} \frac{f_b}{f_{tb}}} \right)$$

donde: f_M es la resistencia a compresión simple de la sillería

f_m es la resistencia a compresión simple del mortero

f_b es la resistencia a compresión simple de las piezas

f_{tb} es la resistencia a tracción de las piezas

α es la relación entre el alto de las piezas y el espesor de los tendeles, $\alpha = h_m/h_b$

η es un parámetro que depende del tipo aparejo y vale 0.75 para aparejos con tendeles perpendiculares a la compresión

a y b son parámetros que dependen de α :

| α | a | b |
|------------------------|-----|-----|
| $\alpha < 0.02$ | 1.0 | 2.2 |
| $0.02 < \alpha < 0.15$ | 0.8 | 1.0 |
| $\alpha > 0.15$ | 0.7 | 0.7 |

Por lo tanto, si se conoce la resistencia a compresión de las piezas, f_b , y el parámetro α es posible estimar el valor de f_M , resistencia a compresión de la fábrica.

Puesto que las llagas y tendeles tienen un espesor de aproximadamente 0.8cm y el canto de los sillares es de unos 40cm, se estima un valor de α de 0.02.

El valor de f_{v0} se adopta en 0.15 para este tipo de mortero, de acuerdo con lo indicado en la Tabla A2.1.

Tabla A2.1. Valores de f_{v0} .

| f_m [N/mm ²] | f_{v0} [N/mm ²] |
|-------------------------------|----------------------------------|
| <1.50 | 0.15 |
| >1.50 | 0.35 |

Adoptando $\alpha = 0,02$ y $f_b = 20\text{N/mm}^2 \rightarrow f_M = 9.65\text{N/mm}^2$

Por lo tanto, considerando que el muro es de tipología compuesta y que sus dimensiones no dan lugar a una disminución de resistencia por esbeltez la resistencia a compresión de comparación puede establecerse en:

$$f_{M, \text{muro}} = 0.5 f_M = 4.81 \text{ MPa}$$

En cuanto al peso específico de las piezas, siguiendo lo indicado en la bibliografía consultada, a efectos de cálculo se considera un valor de 23 kN/m^3 .

2.3.2 Evaluación estructural

A continuación se recoge un análisis estructural de la sección transversal de la ermita. Se comprueba, en primer lugar, la estabilidad de la bóveda ante las cargas exteriores. En segundo lugar, se obtiene la seguridad de los muros ante las cargas que le transmite la bóveda.

El análisis se ha realizado mediante el programa Vlasta que calcula una línea de empuje, en dos dimensiones, para una fuerza horizontal dada y un determinado punto de aplicación de la misma en el arranque. El programa permite calcular las tensiones en cada una de las secciones y comprobar que el estado de sollicitación en servicio del sistema portante principal es moderado. Se considera que se cumplen los requisitos de servicio si el nivel tensional de las secciones se encuentra en un rango aceptable.

El nivel de tensiones normales para la combinación más desfavorable de acciones debe cumplir la condición siguiente:

$$\sigma_{\max} \leq 0.50 f_{cd} \cdot a$$

Donde: σ_{\max} es el valor de la máxima tensión cálculo del efecto de las acciones.

f_{cd} es la resistencia a compresión de la fábrica.

a es un coeficiente de sobre-resistencia aparente ante axil excéntrico, función de la excentricidad del axil e . Este coeficiente es característico de cada fábrica. En ausencia de datos concretos puede tomarse $a = 1.00$ para sollicitaciones de compresión pura o de pequeña excentricidad y $a = 1.75$ para sollicitaciones de compresión muy excéntrica (e igual a 0.4 veces el canto de la sección).

Para el cómputo de la tensión σ_{\max} en la expresión se utilizará un método de cálculo de esfuerzos que considere nula la resistencia a tracción de la fábrica y se supondrá una distribución lineal (elasto-frágil) de tensiones en la sección.

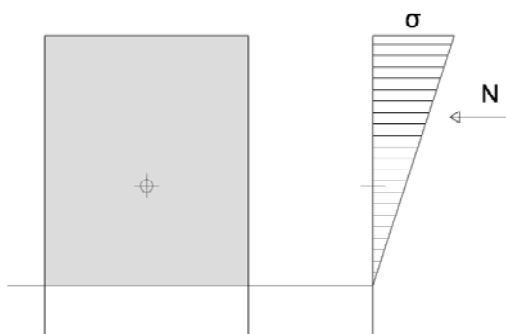


Figura 7. Distribución elasto-frágil de tensiones en una sección sometida a compresión excéntrica.

En la figura 8 se recoge el análisis transversal de la bóveda bajo la acción del peso propio. Como se puede observar la línea de presiones circula perfectamente por el interior de la bóveda. Las reacciones transmitidas por metro de anchura son de 82 kN en vertical y 30 kN en horizontal. La tensión máxima en la bóveda es de tan sólo 0.40 Mpa.

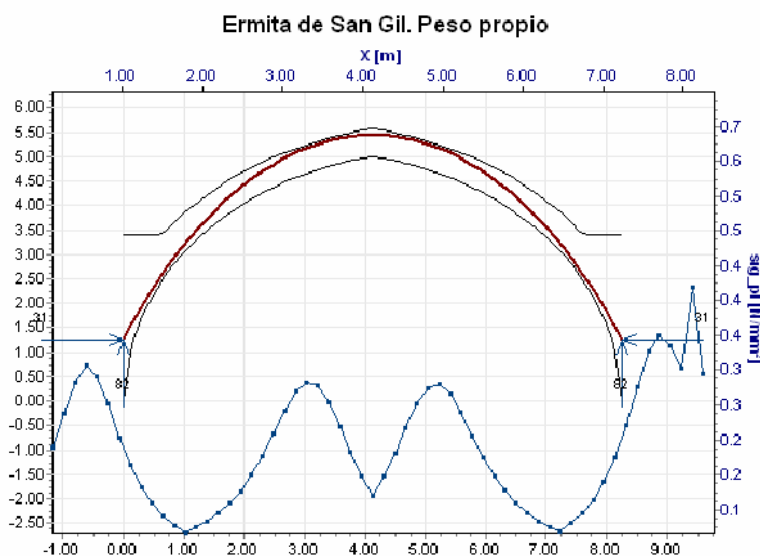


Figura 8. Línea de presiones en una rebanada de 1.00 m de anchura ante el peso propio.

En la figura 9 se recoge el análisis transversal de la bóveda bajo la acción del peso propio y carga muerta. Como se puede observar la línea de presiones circula perfectamente por el interior de la bóveda. Las reacciones transmitidas por metro de anchura son de 90 kN en vertical y 34 kN en horizontal. La tensión máxima en la bóveda es de tan sólo 0.90 Mpa.

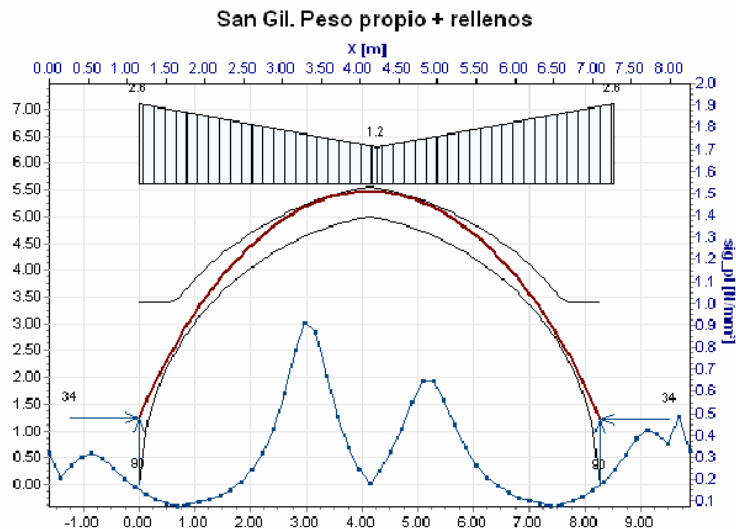


Figura 9. Línea de presiones en una rebanada de 1.00 m de anchura ante el peso propio y la carga muerta.

A continuación se analiza la estabilidad tensional y al vuelco de los muros. Como se puede ver en la figura adjunta, la seguridad al vuelco es de 1.20 en la sección del muro sin contrafuerte lo que se considera suficiente.

Equipaje sobre el muro



Peso propio

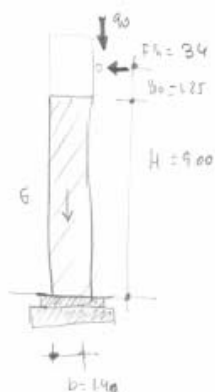
$$G = b(H+H_e) \cdot \gamma = 1.40 \cdot (9 + 0.70) \cdot 24 = 416$$

$$M_{est} = G \cdot \frac{b}{2} + F_e \cdot b = 416 \cdot 0.70 + 32 \cdot 1.40 = 406$$

$$M_{vol} = F_e \cdot (b_e + H) = 32 \cdot (0.70 + 9) = 317 \text{ kN}$$

$$CS = \frac{406}{317} = 1.27 \rightarrow \underline{OK}$$

Con peso de rellenos



$$M_{est} = 416 \cdot 0.70 + 34 \cdot 1.40 = 417$$

$$M_{vol} = 34 \cdot (1.25 + 9) = 349$$

$$CS = \frac{417}{349} = 1.20 \rightarrow \underline{OK}$$

Figura 10. Análisis de la estabilidad del muro

Las tensiones verticales medias en el muro son de aproximadamente 0.26 MPa y las máximas de 0.40 Mpa, valores muy inferiores a la resistencia a compresión estimada para la sillería de arenisca.

2.4 Descripción de los procesos de deterioro y daños detectados

Una vez realizada la inspección técnica a la ermita es posible concluir que se han detectado básicamente dos grupos de fisuras de desarrollo vertical. Estas fisuras pasantes viene replanteadas en las figuras 11 y 12, presentando una apertura horizontal y mayor en la base que en la coronación.

Estas fisuras pueden ser divididas en dos grupos, el primer lo formarían las fisuras que se encuentran localizadas entre la nave y la cúpula y están provocadas seguramente por haber sido junta constructiva entre ambos elementos (según la información consultada el ábside se ejecutó antes que la nave central).

El segundo grupo de fisuras está formado por las detectadas en los alzados oeste y este y está debido a los problemas en la cimentación inducidos por el deslizamiento y vuelco del sustrato rocoso-arcilloso sobre el que asienta la iglesia.

La descripción de la causa y mecanismo de rotura del suelo no se incluye en este informe ya que está descrito en el informe geológico-geotécnico dentro del conjunto de trabajos que se están actualmente llevando a cabo.

Estas fisuras verticales no están debidas a una compresión excesiva ya que, como se ha visto el nivel tensional es muy bajo. Tampoco se deben a un mal comportamiento resistente, como se ha demostrado en le punto anterior la seguridad ante los posibles modos de rotura de los diferentes elementos estructurales de los diferentes elementos estructurales de la ermita es adecuada.

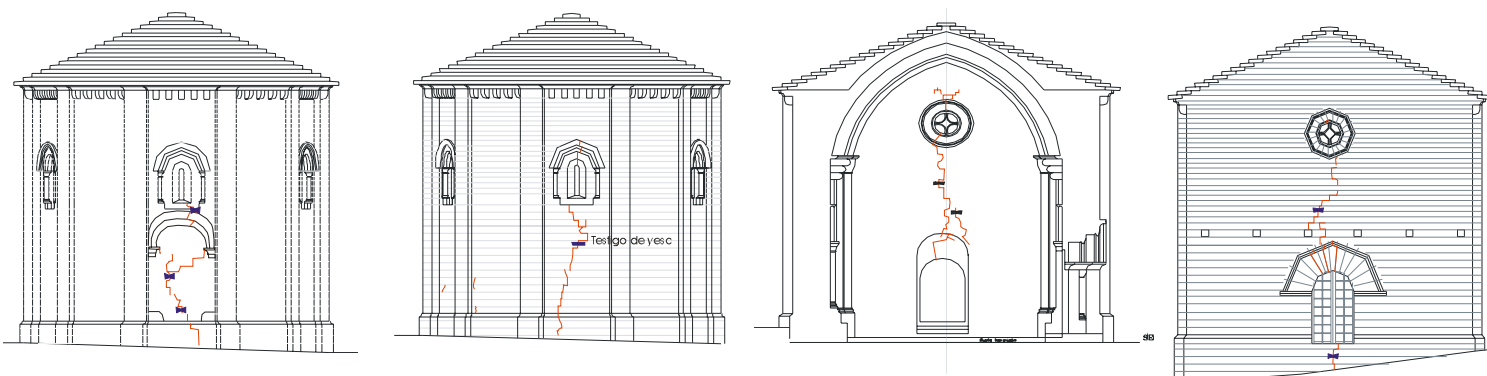


Figura 11. Fisuras detectadas en el interior y exterior de los alzados Oeste y Este respectivamente.

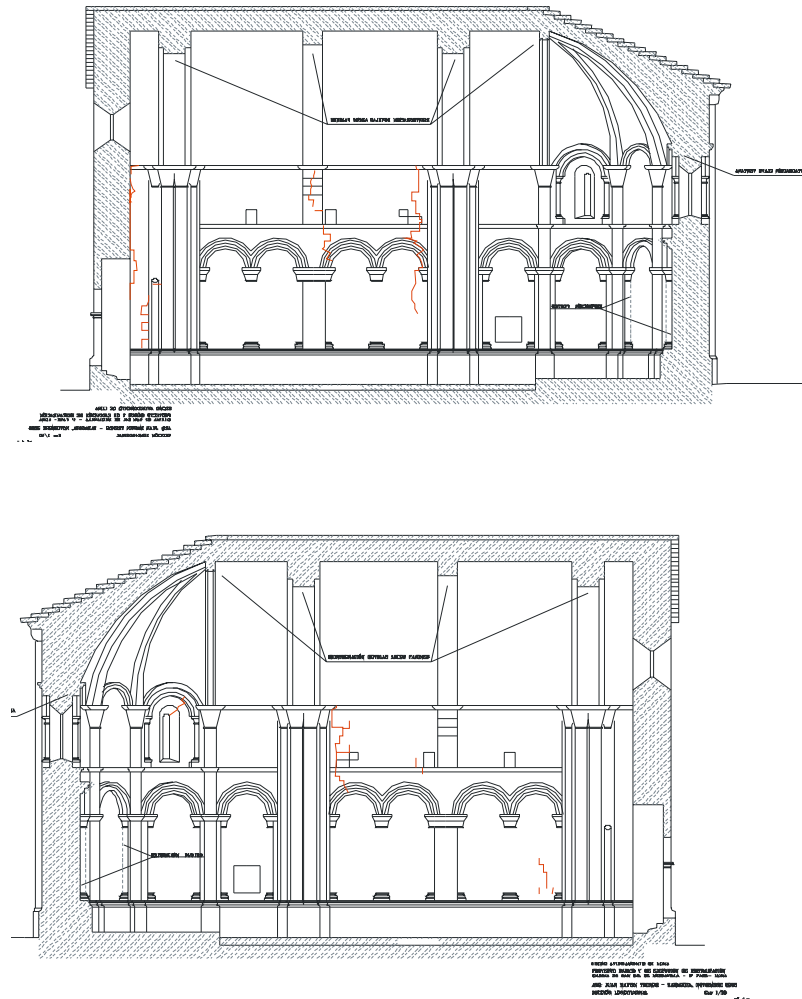


Figura 12. Fisuras detectadas en la sección longitudinal.

3 Conclusiones y consideraciones finales

A continuación se recoge las conclusiones alcanzadas una vez realizados los trabajos de inspección y de evaluación.

En cuanto al comportamiento estructural

- Las dimensiones de los principales elementos estructurales de la Ermita anuncian un correcto comportamiento estructural, que se ve después conformado con los análisis realizados.
- La seguridad de los elementos que constituyen la Ermita es adecuada presentando una estabilidad suficiente frente a las cargas actuantes. Además, los niveles tensionales presentes en la sillería son muy inferiores a la resistencia a compresión estimada.
- Las fisuras detectadas no se deben por tanto a problemas derivados de un mal comportamiento mecánico o resistente, sino que están debidas a los movimientos impuestos en la cimentación por desplazamiento del macizo rocoso donde apoya como ya se apunta en el informe geológico-geotécnico realizado.

En cuanto a las medidas a adoptar

- En primer lugar se deberán tomar medidas para eliminar la causa de los problemas. En este sentido, se deberá estabilizar los movimientos en la cimentación.
- En segundo lugar, se deberán inyectar y coser las fisuras detectadas.

Madrid, 10 de julio de 2007

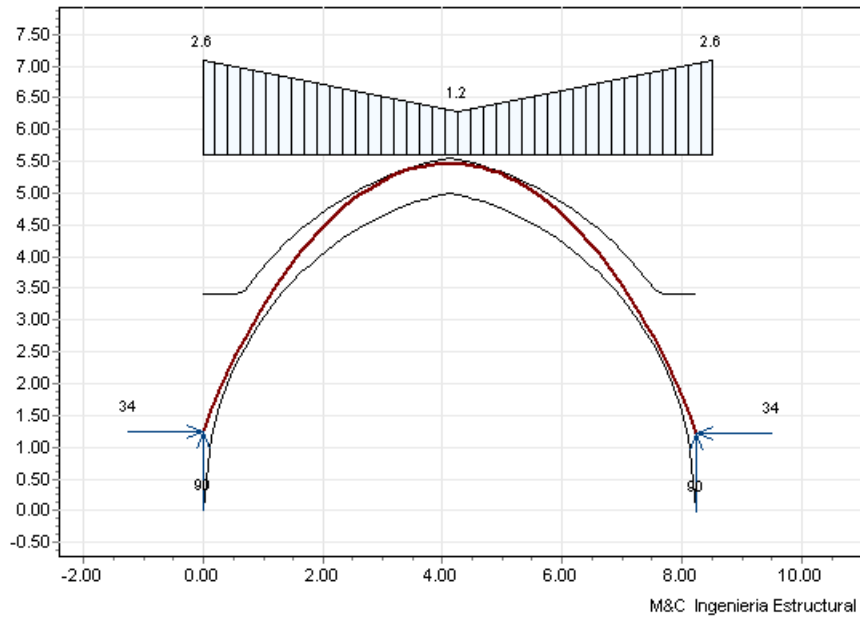


Fdo. José Antonio Martín-Caro Álamo
Dr. Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos
Nº Colegiado: 12.719

ANEXO. Cálculos estructurales



San Gil. Peso propio + rellenos

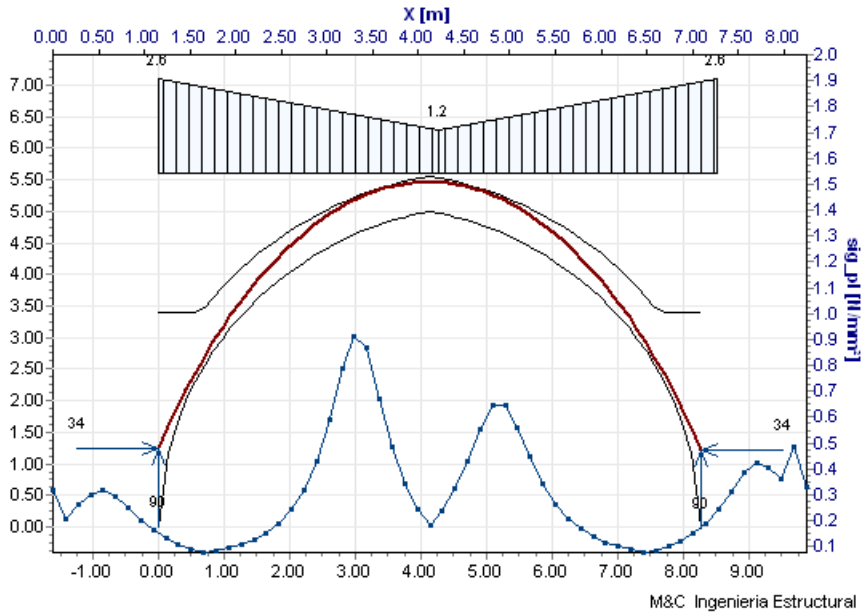


| GEOMETRÍA RESUMIDA | x [m] | y_inf [m] | y_sup [m] | b [m] | y_relleno [m] |
|-------------------------------------|-------------|-----------|-----------|------------|---------------|
| Valor inicial | 0.000 | 0.000 | 3.400 | 1.000 | 0.00 |
| Valor intermedio | 3.988 | 4.971 | 5.534 | 1.000 | |
| Valor final | 8.250 | 0.000 | 3.400 | 1.000 | |
| PESOS [kN/m³] y COEF. EMPUJE | Fábrica | Relleno | Kizq [-] | xcorte [m] | Kder [-] |
| | 24.0 | 18.0 | 0.000 | 0.00 | 0.000 |
| CARGAS MÁSICAS [g] | ax | ay | | | |
| | 0.0 | -1.0 | | | |
| CARGAS DISTRIBUIDAS | nº | xi [m] | xf [m] | qi [kN/m] | qf [kN/m] |
| | 1 | 0.0 | 4.25 | 2.6 | 1.2 |
| | 2 | 4.25 | 8.5 | 1.2 | 2.6 |
| RESULTADOS: LINEA DE EMPUJE | Y_linea [m] | Fx [kN] | Fy [kN] | | |
| Valor inicial | 1.25 | 34.00 | 89.85 | | |
| Valor final | 1.23 | 34.00 | 89.85 | | |

□



San Gil. Peso propio + rellenos

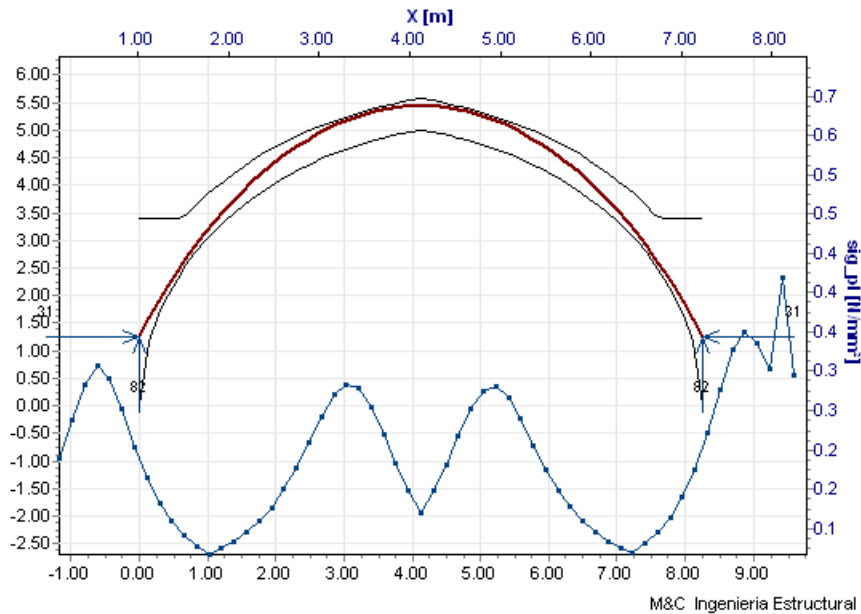


| GEOMETRÍA RESUMIDA | | x [m] | y_inf [m] | y_sup [m] | b [m] | y_relleno [m] |
|-------------------------------------|--|-------------|-----------|-----------|------------|---------------|
| Valor inicial | | 0.000 | 0.000 | 3.400 | 1.000 | 0.00 |
| Valor intermedio | | 3.988 | 4.971 | 5.534 | 1.000 | |
| Valor final | | 8.250 | 0.000 | 3.400 | 1.000 | |
| PESOS [kN/m³] y COEF. EMPUJE | | Fábrica | Relleno | Kizq [-] | xcorte [m] | Kder [-] |
| | | 24.0 | 18.0 | 0.000 | 0.00 | 0.000 |
| CARGAS MÁNICAS [g] | | ax | ay | | | |
| | | 0.0 | -1.0 | | | |
| CARGAS DISTRIBUIDAS | | nº | xi [m] | xf [m] | qi [kN/m] | qf [kN/m] |
| | | 1 | 0.0 | 4.25 | 2.6 | 1.2 |
| | | 2 | 4.25 | 8.5 | 1.2 | 2.6 |
| RESULTADOS: LINEA DE EMPUJE | | Y_linea [m] | Fx [kN] | Fy [kN] | | |
| Valor inicial | | 1.25 | 34.00 | 89.85 | | |
| Valor final | | 1.23 | 34.00 | 89.85 | | |

□



Ermita de San Gil. Peso propio

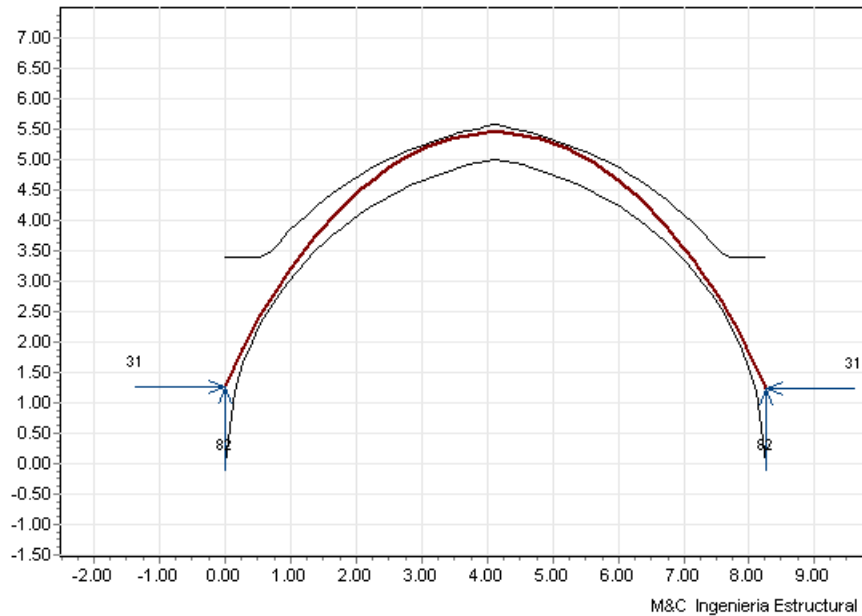


| GEOMETRÍA RESUMIDA | | x [m] | y_inf [m] | y_sup [m] | b [m] | y_relleno [m] |
|-------------------------------------|--|-------------|-----------|-----------|------------|---------------|
| Valor inicial | | 0.000 | 0.000 | 3.400 | 1.000 | 0.00 |
| Valor intermedio | | 3.988 | 4.971 | 5.534 | 1.000 | |
| Valor final | | 8.250 | 0.000 | 3.400 | 1.000 | |
| PESOS [kN/m³] y COEF. EMPUJE | | Fábrica | Relleno | Kizq [-] | xcorte [m] | Kder [-] |
| | | 24.0 | 18.0 | 0.000 | 0.00 | 0.000 |
| CARGAS MÁSICAS [g] | | ax | ay | | | |
| | | 0.0 | -1.0 | | | |
| RESULTADOS: LINEA DE EMPUJE | | Y_linea [m] | Fx [kN] | Fy [kN] | | |
| Valor inicial | | 1.25 | 31.00 | 82.10 | | |
| Valor final | | 1.25 | 31.00 | 82.10 | | |

□



Ermita de San Gil. Peso propio



| GEOMETRÍA RESUMIDA | | x [m] | y_inf [m] | y_sup [m] | b [m] | y_relleno [m] |
|-------------------------------------|--|-------------|-----------|-----------|------------|---------------|
| Valor inicial | | 0.000 | 0.000 | 3.400 | 1.000 | 0.00 |
| Valor intermedio | | 3.988 | 4.971 | 5.534 | 1.000 | |
| Valor final | | 8.250 | 0.000 | 3.400 | 1.000 | |
| PESOS [kN/m³] y COEF. EMPUJE | | Fábrica | Relleno | Kizq [-] | xcorte [m] | Kder [-] |
| | | 24.0 | 18.0 | 0.000 | 0.00 | 0.000 |
| CARGAS MÁSICAS [g] | | ax | ay | | | |
| | | 0.0 | -1.0 | | | |
| RESULTADOS: LINEA DE EMPUJE | | Y_linea [m] | Fx [kN] | Fy [kN] | | |
| Valor inicial | | 1.25 | 31.00 | 82.10 | | |
| Valor final | | 1.25 | 31.00 | 82.10 | | |

□

ANEJO II

**INFORME GEOTÉCNICO
IGLESIA DE SAN GIL DE MEDIAVILLA
LUNA**

ENSAYOS DE TRACCIÓN INDIRECTA

INFORME GEOTECNICO
IGLESIA DE SAN GIL DE MEDIAVILLA
(LUNA)

ENSAYOS DE:
TRACCION INDIRECTA

18.05.2007



Informe de Estadísticas de Ensayo de Tracción indirecta, método brasileño [B]

Fondos de escala de los canales analógicos:

Fuerza: 98,066 kN Posición: 200,00 mm Medias LVDT: 8,0000 mm

Nombre de archivo: IGLESIA DE SAN GIL DE MEDIAVILLA

Ensayos:

| Ensayo Nº | Cliente: | Fecha: | Sondeo muestra: | Roca mineral: | Diámetro: mm | Espesor: mm | Resistencia tracción: MPa |
|-----------|----------|------------|-----------------|---------------|--------------|-------------|---------------------------|
| 1 | INAKI | 18/05/2007 | B-1 | AREN CALCAREA | 52,0 | 26,0 | 1,298 |
| 2 | INAKI | 18/05/2007 | B-2 | AREN CALCAREA | 52,0 | 26,0 | 1,288 |
| 3 | INAKI | 18/05/2007 | B-3 | AREN CALCAREA | 52,0 | 26,0 | 1,350 |
| 4 | INAKI | 18/05/2007 | A-1 | AREN CALCAREA | 52,0 | 26,0 | 1,013 |
| 5 | INAKI | 18/05/2007 | A-2 | AREN CALCAREA | 52,0 | 26,0 | 1,415 |
| 6 | INAKI | 18/05/2007 | A-3 | AREN CALCAREA | 52,0 | 26,0 | 0,965 |

Resultados:

| Media | Máximo | Mínimo | Varianza | Desviación | C. variación |
|-------|--------|--------|----------|------------|--------------|
| 52,0 | 52,0 | 52,0 | 0,0 | 0,0 | 000,000 % |
| 26,0 | 26,0 | 26,0 | 0,0 | 0,0 | 000,000 % |
| 1,222 | 1,415 | 0,965 | 0,029 | 0,170 | 013,908 % |



Ensayo de Tracción indirecta, método brasileño

Fondos de escala de los canales analógicos:

Fuerza: 98,066 kN Posición: 200,00 mm Medias LVDTs: 8,0000 mm

Referencias:

Cliente: CAT. PETROLOGIA
Nombre de archivo: A-1
Altura probeta: 26,0
Sondeo muestra: IGL. SAN GIL A-1
Profundidad: 0
Roca mineral: AREN CALCAREA
Diámetro: 52,0 mm
Espesor: 26,0 mm
Observaciones:
Temperatura: 22
Fecha: 18/05/2007

Parámetros:

Velocidad: 00,051 kN/s



RESULTADOS:

Resistencia tracción: 1,013 MPa



Ensayo de Tracción indirecta, método brasileño

Fondos de escala de los canales analógicos:

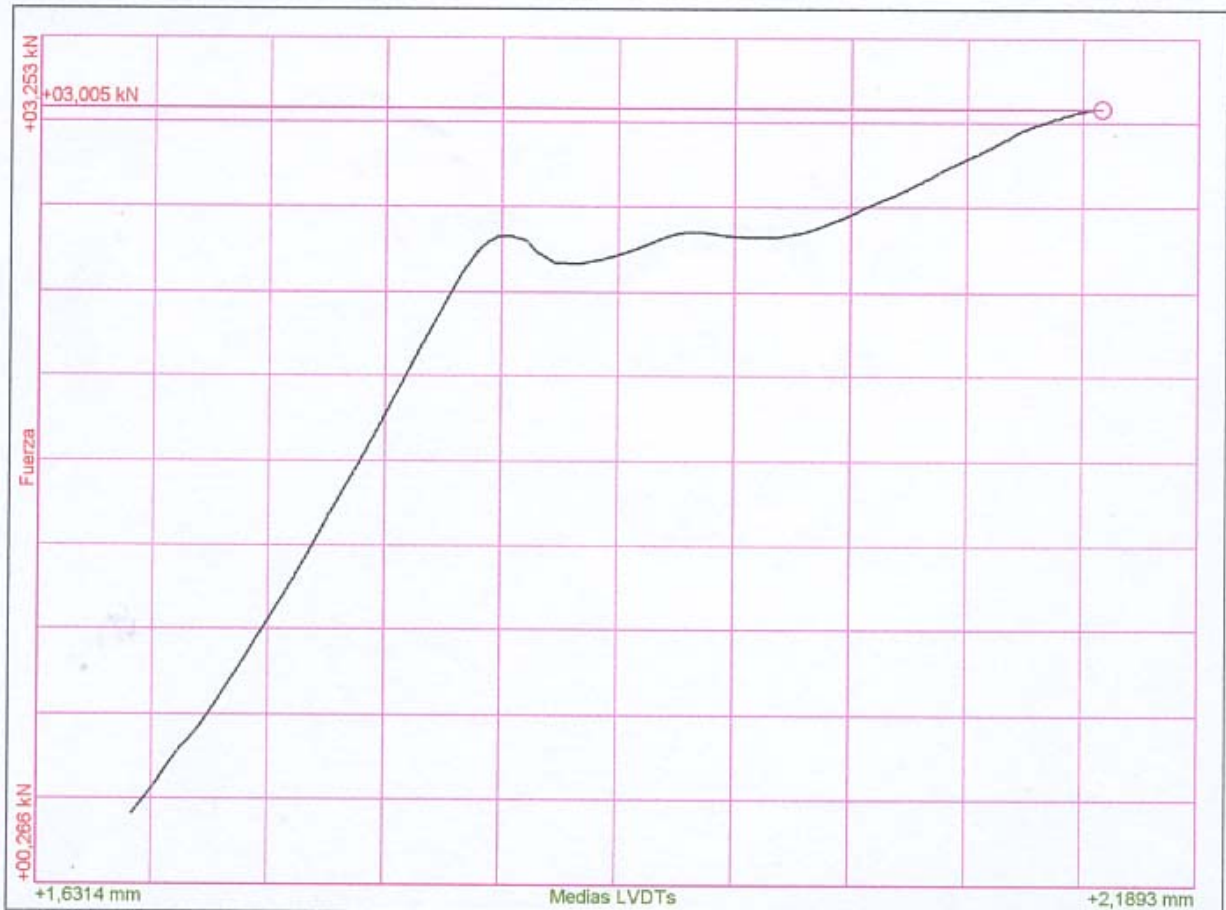
Fuerza: 98,066 kN Posición: 200,00 mm Medias LVDTs 8,0000 mm

Referencias:

Cliente: cat. petrologia
Nombre de archivo: A-2
Altura probeta: 26,0
Sondeo muestra: IGL. SAN GIL A-2
Profundidad: 0
Roca mineral: AREN CALCAREA
Diámetro: 52,0 mm
Espesor: 26,0 mm
Observaciones:
Temperatura: 22
Fecha: 18/05/2007

Parámetros:

Velocidad: 00,051 kN/s



RESULTADOS:

Resistencia tracción: 1,415 MPa



Ensayo de Tracción indirecta, método brasileño

Fondos de escala de los canales analógicos:

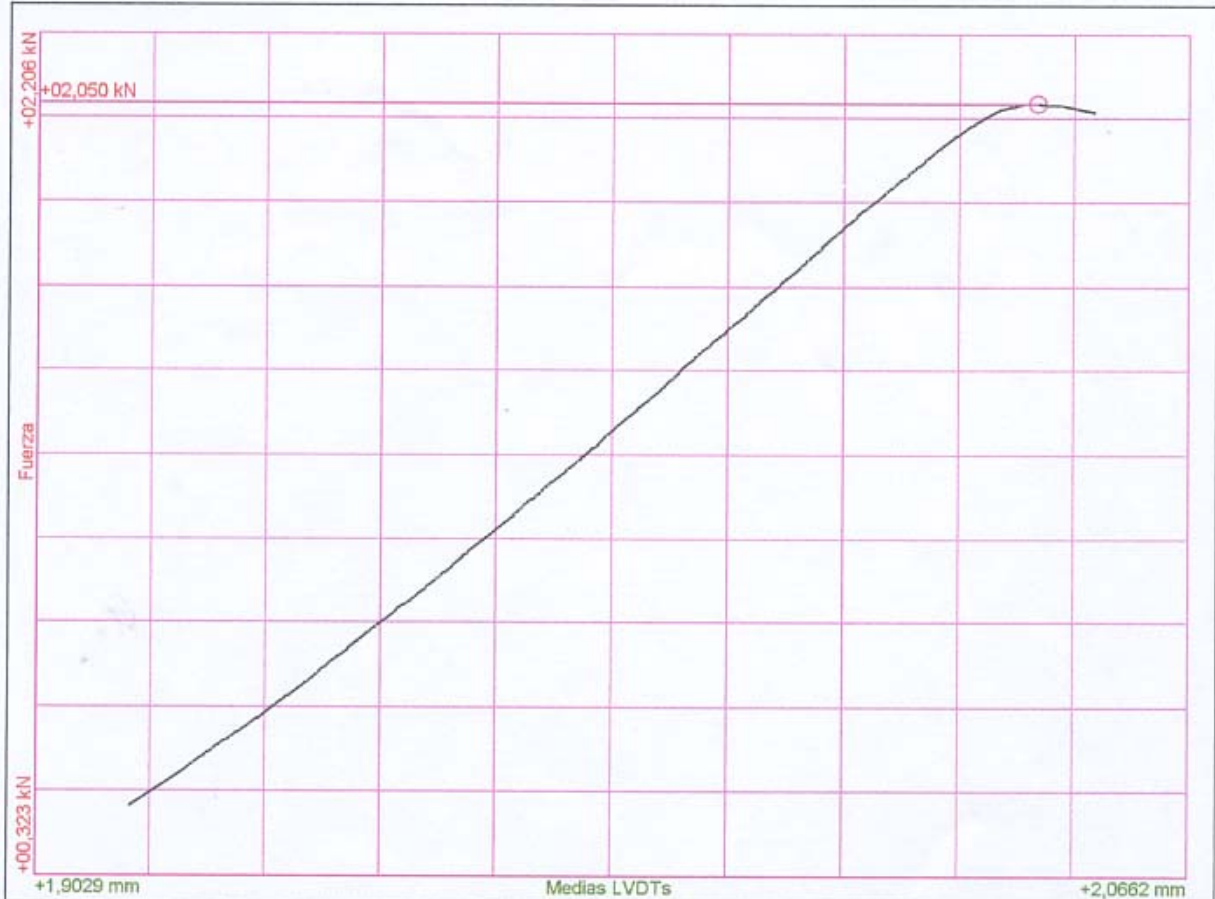
Fuerza: 98,066 kN Posición: 200,00 mm Medias LVDT: 8,0000 mm

Referencias:

Cliente: CAT. PETROLOGIA
Nombre de archivo: A-3
Altura probeta: 26,0
Sondeo muestra: IGL. SAN GIL A-3
Profundidad: 0
Roca mineral: AREN CALCAREA
Diámetro: 52,0 mm
Espesor: 26,0 mm
Observaciones:
Temperatura: 22
Fecha: 18/05/2007

Parámetros:

Velocidad: 00,051 kN/s



RESULTADOS:

Resistencia tracción: 0,965 MPa



Ensayo de Tracción indirecta, método brasileño

Fondos de escala de los canales analógicos:

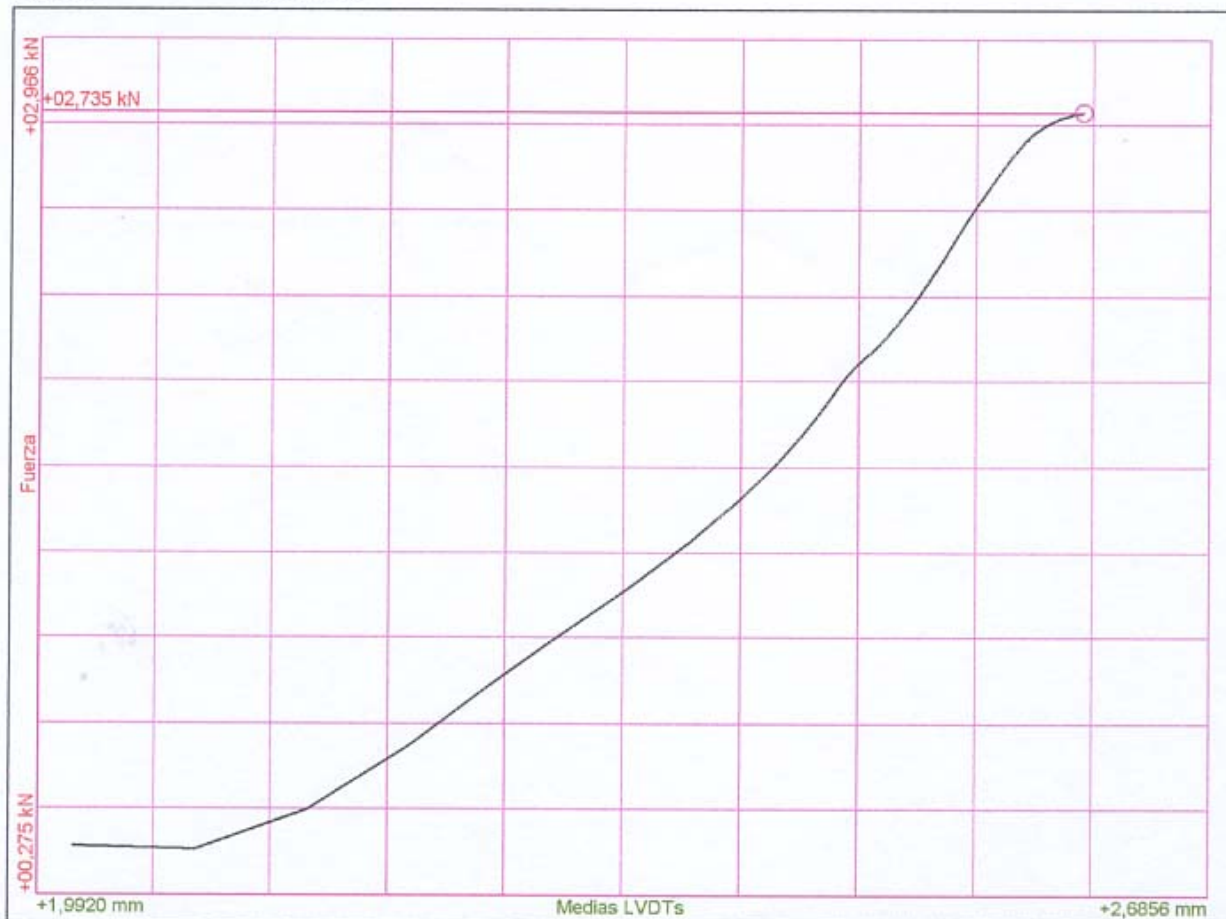
Fuerza: 98,066 kN Posición: 200,00 mm Medias LVDT: 8,0000 mm

Referencias:

Cliente: CAT.PETROLOGIA
Nombre de archivo: B-2
Altura probeta: 26,0
Sondeo muestra: IGL.SAN GIL B-2
Profundidad: 0
Roca mineral: AREN CALCAREA
Diámetro: 52,0 mm
Espesor: 26,0 mm
Observaciones:
Temperatura: 22
Fecha: 18/05/2007

Parámetros:

Velocidad: 00,051 kN/s



RESULTADOS:

Resistencia tracción: 1,288 MPa



Ensayo de Tracción indirecta, método brasileño

Fondos de escala de los canales analógicos:

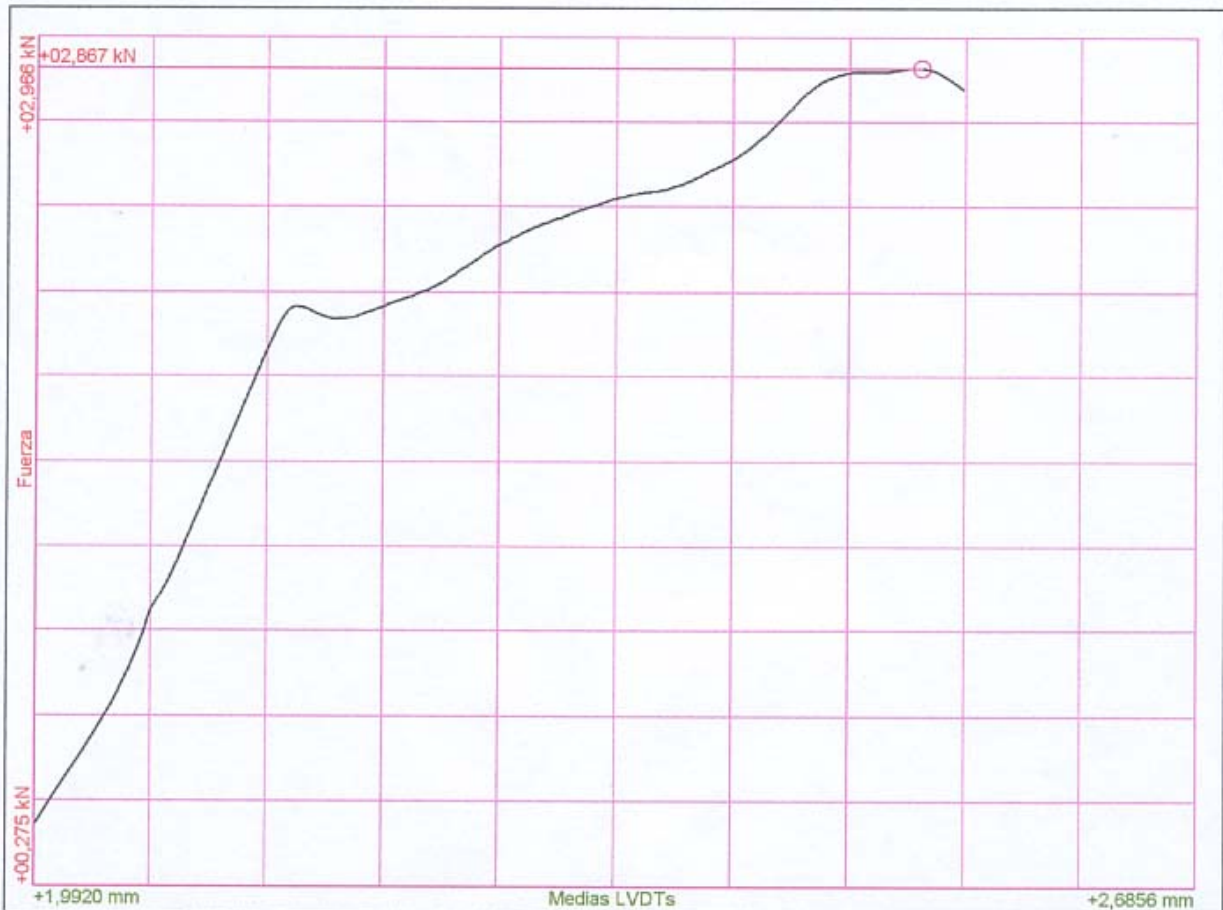
Fuerza: 98,066 kN Posición: 200,00 mm Medias LVDTs: 8,0000 mm

Referencias:

Cliente: CAT.PETROLOGIA
Nombre de archivo: B-3
Altura probeta: 26,0
Sondeo muestra: IGL.SAN GIL B-3
Profundidad: 0
Roca mineral: AREN CALCAREA
Diámetro: 52,0 mm
Espesor: 26,0 mm
Observaciones:
Temperatura: 22
Fecha: 18/05/2007

Parámetros:

Velocidad: 00,051 kN/s



RESULTADOS:

Resistencia tracción: 1,350 MPa

0,86 MPa

IGLESIA DE SAN GIL DE MEDIAVILLA
(LUNA)

ROTURAS DESPUES DE LOS ENSAYOS
DE TRACCION



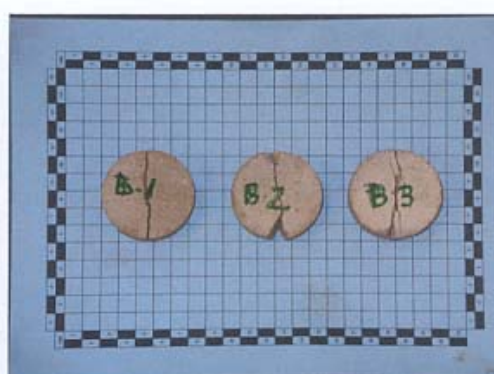
BLOQUE A



BLOQUE B



A



B