



UNIVERSIDAD DE JAÉN
Escuela Politécnica Superior de Linares

Trabajo Fin de Grado

ESTUDIO PARA LA CIMENTACIÓN DE UNA IGLESIA RENACENTISTA CON PROBLEMAS ESTRUCTURALES

Alumno: Daniel García Moya

Tutor: Prof. D. Fernando Suárez Guerra
Depto.: Ingeniería Mecánica y Minera

Septiembre, 2017



UNIVERSIDAD DE JAÉN
Escuela Politécnica Superior de Linares

Trabajo Fin de Grado

**ESTUDIO PARA LA CIMENTACIÓN DE
UNA IGLESIA CON PROBLEMAS
ESTRUCTURALES**

D. FERNANDO SUÁREZ GUERRA, tutor del Trabajo Fin de Grado "ESTUDIO PARA LA CIMENTACIÓN DE UNA IGLESIA CON PROBLEMAS ESTRUCTURALES" que presenta el alumno DANIEL GARCÍA MOYA, da su visto bueno para la defensa y evaluación del citado trabajo en la Escuela Politécnica Superior de Linares.

Linares, JULIO de 2017

EL ALUMNO:

EL TUTOR:

RESUMEN

La preservación del Patrimonio Arquitectónico es una tarea de especial relevancia en un país como España, poseedor de un gran número de edificios de singular belleza, con un gran interés histórico, cultural y arquitectónico. Mediante el presente Trabajo Fin de Grado (TFG) se busca participar en una tarea de tanta relevancia como es la conservación.

Pero esta tarea de conservación de edificios históricos presenta una serie de dificultades particulares, se trata de edificios construidos con materiales y técnicas actualmente en desuso sobre los que no existen tanto conocimiento o desarrollo como pudiera existir para materiales y técnicas actuales.

Para el caso de la Iglesia de San Andrés de Villanueva del Arzobispo, tiene lugar un asiento diferencial que conlleva la necesidad de intervención, siendo a raíz de esto que nace la idea de realizar un estudio generalizado del edificio, a fin de entender el proceso que ha tenido lugar e indagar sobre otros procesos de deterioro que pudieran estar ocurriendo o que pudieran llegar a ocurrir.

La fase de recopilación de información es de vital importancia para la consecución de unos buenos resultados. El presente TFG realiza un análisis pormenorizado de la Iglesia de San Andrés, indagando acerca de daños históricos acontecidos, leyendo con detenimiento el proyecto de recalce de cimentación, tomando datos topográficos que definiesen con precisión la geometría, recopilando aspectos estructurales y constructivos, y observando las grietas existentes como medio para entender las causas que las provocaron. La emisión del diagnóstico será tanto más acertada cuanto más abundante y precisa sea la información de la que se dispone.

El empleo de métodos actuales nos brindará un análisis más preciso de la situación en estudio, el uso del método de los elementos finitos ofrece resultados de interés, convirtiéndolo en parte fundamental del presente trabajo.

Finalmente, se incluyen las conclusiones más relevantes a tener en cuenta para la preservación de la Iglesia.

ABSTRACT

The preservation of architectural heritage is a task of particular relevance in a country like Spain, with a large number of buildings of singular beauty with a great historical, cultural and architectural heritage. This final-degree project seeks to engage in a task of such importance as conservation.

Nevertheless, conservation of historic buildings presents a series of particular difficulties, it deals with structures built with materials and techniques currently in disuse on which there are not much knowledge or development as for current materials and techniques.

In the case of the Church of San Andrés in Villanueva del Arzobispo, a differential settlement takes place, which requires intervention; this is the main reason of the study carried out in this project, trying to understand the process that has taken place and look for other processes of deterioration that may be occurring or could occur.

The data collection phase is of vital importance for the achievement of good results. This final-degree project performs a detailed analysis of the church of San Andrés, inquiring about damage historical events, reading carefully the project of foundation, taking topographic data to define the geometry with precision, collecting the structural and constructive aspects and observing the existing cracks as a way to understand the causes that provoked them. The more abundant and accurate the available information is, the more successful the diagnosis will be.

The use of current methods will provide a more accurate analysis of the situation under study, the use of the finite element method provides results of interest, making it an essential part of this work.

Finally, the most relevant conclusions to be taken into account for the preservation of the Church are included.

ÍNDICE GENERAL

1	INTRODUCCIÓN	1
1.1	Planteamiento general	1
1.2	Contenido del trabajo	2
1.3	Iglesia de San Andrés de Villanueva del Arzobispo.....	3
2	OBJETIVOS.....	8
3	MATERIALES Y MÉTODOS	9
4	DOCUMENTACIÓN DEL ESTADO PREVIO DEL MONUMENTO	10
4.1	Daños históricos.....	10
4.2	Antecedente. Recalce de cimentación	11
4.2.1	Redacción del proyecto de recalce de cimentación.....	11
4.2.2	Ejecución del recalce de cimentación.....	12
4.3	Forma y geometría. El levantamiento topográfico.	13
4.3.1	Metodología	13
4.3.2	Base topográficas	15
4.3.3	Puntos destacados.....	16
4.3.4	Estacionamientos libres.	17
4.4	Aspectos estructurales y constructivos.....	19
4.4.1	Elementos que componen la estructura	19
4.4.2	La estructura de fábrica.....	20
4.4.3	Características y propiedades de los mampuestos y sillares.....	22
4.4.4	Características y propiedades de los morteros.....	24
4.4.5	Interfaz mortero-sillar.	26
4.4.6	Comportamiento de la fábrica como material compuesto.	26
4.4.7	Consideraciones sobre la seguridad de la fábrica.	27
4.5	Inspección visual. Fichas para análisis patológico.....	30
4.5.1	Fichas de lesiones asociadas al asiento diferencial de una de las pilastras.	31

4.5.2	Fichas de demás lesiones existentes.....	41
5	DIAGNÓSTICO	51
5.1	Empujes laterales en muros.....	52
5.2	Asientos diferenciales	52
5.2.1	Asiento diferencial en pilastra según proyecto de recalce de cimentación con fecha octubre de 2015.....	52
5.2.2	Lesión compatible con un nuevo asiento diferencial.....	53
5.3	Inclinación de pilastras y arco toral deformado.....	54
5.3.1	Arco toral deformado.....	56
5.4	Deficiencias en la cimentación.	58
6	MODELADO Y ANÁLISIS POR EL MÉTODO DE ELEMENTOS FINITOS.....	64
6.1	Pre-proceso	64
6.1.1	Autocad 2017	65
6.1.2	Cype 3D.....	69
6.2	Análisis por el método de elementos finitos de la Iglesia con antelación al asiento diferencial.	74
6.2.1	Comprobación de la presión admisible y presión de hundimiento.	77
6.3	Análisis por el método de elementos finitos de la Iglesia durante el asiento diferencial.	79
6.4	Análisis por el método de elementos finitos de la Iglesia con recalce ejecutado.	84
7	MEDIDAS CORRECTORAS Y EFICACIA DE LAS INTERVENCIONES.....	87
8	DISCUSIÓN	88
9	CONCLUSIONES	89
10	PLANOS.....	91
10.1	Plano de situación.	91
10.2	Plano de emplazamiento.	91
10.3	Levantamiento topográfico. Exterior.	91
10.4	Levantamiento topográfico. Exterior e interior.....	91
10.5	Levantamiento topográfico. Arcos torales.	91

10.6	Levantamiento topográfico. Arcos fajones.	91
10.7	Patologías estructurales.	91
ANEXO A. INSTRUMENTOS DE MEDICIÓN TOPOGRÁFICA		
	92	
-	Equipo GPS Leica 1200+	92
-	Estación total Trimble S3	94
-	Estación permanente de Villanueva del Arzobispo (Red Andaluza de Posicionamiento).	95
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS		96

ÍNDICE DE FIGURAS

2.1.	Iglesia de San Andrés de Villanueva del Arzobispo.....	3
2.2.	Torre perteneciente a la antigua fortaleza.....	4
2.3.	Bóveda de cañón.....	4
2.4.	Crucero.....	5
2.5.	Coro.....	5
2.6.	Fachada Sur.....	6
2.7.	Torre entre las fachadas Sur y Oeste.....	6
2.8.	Ventana en fachada Oeste.....	7
2.9.	Dependencias parroquiales en la fachada Norte.....	7
4.1.	GPS Leica 1200+.....	14
4.2.	Estación total Trimble S3 en estacionamiento libre.....	15
4.3.	Bases topográficas para realización de levantamiento topográfico medidas con GPS.....	15
4.4.	Puntos destacados.....	17
4.5.	Estacionamientos libres.....	18
4.6.	Tipos de mampostería.....	21
4.7.	Tipos de aparejos en sillares.....	22
4.8.	Piedra arenisca en Iglesia de San Andrés.....	22
4.9.	Piedra caliza en Iglesia de San Andrés.....	23
4.10.	Asiento diferencial de pilar.....	28
5.1.	Zona recalzada con micropilotes.....	53
5.2.	Grieta a 45 grados correspondiente a la ficha número 9.5.....	54
5.3.	Arco toral y pilastra contiguas al Altar Mayor.....	55
5.4.	Arco toral junto al Altar Mayor.....	57
5.5.	Mecanismo de colapso.....	57
5.6.	Empujes mínimo y máximo en un arco de dovelas.....	58
5.7.	Ubicación de canalización encontrada dentro de la cata.....	60
5.8.	Detalle de la canalización encontrada dentro de la cata.....	60
5.9.	Zapata.....	61
5.10.	Perspectiva de la cata excavada.....	62
5.11.	Estructura de la cimentación a la izquierda del zuncho.....	62
5.12.	Estructura de la cimentación a la derecha del zuncho.....	63

6.1. Proyección en planta de la estructura y representación de aristas de pilastras.....	65
6.2. Modelo 3D del edificio generado en Autocad mediante la herramienta “Línea”.....	66
6.3. Perspectiva 1.....	67
6.4. Perspectiva 2.....	67
6.5. Perspectiva 3.....	68
6.6. Perspectiva 4.....	68
6.7. Importación de ficheros DXF y DWG.....	69
6.8. Láminas definidas en Cype 3D.....	70
6.9. Incorporación en Cype 3D de las características del material que componen las láminas.....	71
6.10. Sistemas de referencias locales.....	71
6.11. Vinculaciones exteriores en láminas donde se interrumpe la continuidad del edificio.....	72
6.12. Definición de vinculaciones exteriores.....	74
6.13. Deformada.....	75
6.14. Desplazamientos en Z.....	75
6.15. Tensiones normales en Y.....	76
6.16. Tensiones normales en X.....	76
6.17. Tensiones normales en Y para la pilastra.....	78
6.18. Tensiones normales en Y para muro de carga.....	78
6.19. Deformada.....	80
6.20. Desplazamientos en Z.....	81
6.21. Tensiones normales en Y.....	81
6.22. Tensiones normales en Y.....	82
6.23. Tensiones normales en X.....	83
6.24. Tensiones tangenciales en XY.....	83
6.25. Deformada.....	84
6.26. Desplazamientos en Z.....	85
6.27. Tensiones normales en Y.....	85
6.28. Tensiones normales en X.....	86

ÍNDICE DE TABLAS

4.1.	Coordenadas de bases topográficas para realización de levantamiento topográfico medidas con GPS.....	16
4.2.	Coordenadas de los puntos destacados.....	17
4.3.	Coordenadas de los estacionamientos libres.....	18
4.4.	Valores para el Peso Específico (kN/m^3). [3].....	23
4.5.	Valores de resistencia a compresión (MPa). [3].....	23
4.6.	Valores de resistencia a tracción (MPa). [3].....	24
4.7.	Valores del módulo de deformación longitudinal (GPa). [3].....	24
4.8.	Tabla de resistencias de morteros. [3].....	25
4.9.	Módulo de deformación longitudinal de diferentes tipos de morteros. [3]...	25
4.10.	Valores de resistencia a compresión para fábricas de piedra. [3].....	26
4.11.	Tensiones de trabajo de varias fábricas en edificios históricos. [6].....	26
4.12.	Valores de resistencia a tracción para fábricas. [3].....	27
6.1.	Coeficientes de balasto.....	73
6.2.	Condiciones de hundimiento extraídas del estudio geotécnico.....	77
6.3.	Condiciones de hundimiento y presión neta aplicada al cimiento.....	79

1 INTRODUCCIÓN

El presente apartado incluye en primer lugar una serie de comentarios en cuanto a los motivos que empujan a la elaboración del presente TFG, realiza a continuación un breve repaso del contenido y termina incluyendo datos descriptivos e históricos relativos al edificio que dan testimonio de su valor.

1.1 Planteamiento general

Surge la idea de realizar el presente trabajo fin de grado tras la aparición de una serie de grietas asociadas a un asiento diferencial en la Iglesia de San Andrés de Villanueva del Arzobispo y habiendo sido redactado el proyecto de recalce de cimentación. Es en esta etapa, previa al inicio de la ejecución de las obras, cuando surge el planteamiento de efectuar un trabajo orientado a conseguir resultados que puedan ser de utilidad en la preservación del monumento como complemento a las aportaciones efectuadas por el proyecto de recalce redactado, principalmente centrado en el área afectada por el asiento de la pilastra.

La conservación y restauración del patrimonio arquitectónico son tareas de gran relevancia debido a su alto valor y requieren de una gran dedicación. Se necesita de un conocimiento detallado del estado en que se encuentran los monumentos, como elemento indispensable para realizar intervenciones eficaces.

Reseñar el que estos edificios estén compuestos por estructura de fábrica, cuyo comportamiento marca grandes diferencias respecto de las técnicas constructivas actuales. La fábrica está sujeta a diversas variables que será necesario conocer en profundidad.

El análisis estructural nos permitirá evaluar los niveles de seguridad del edificio y estudiar el comportamiento posible ante diferentes solicitaciones. La aplicación de técnicas actuales como el método de los elementos finitos, nos brinda la oportunidad de realizar un análisis más detallado.

Concluir que de forma habitual, un determinado problema estará originado por diversas causas, siendo elemental una correcta identificación de las mismas.

1.2 Contenido del trabajo

El presente trabajo se compone de un total de diez capítulos, cuyo orden coincide con el orden de desarrollo de las tareas descritas.

El Capítulo 1 realiza una introducción general, incluyendo la redacción de un planteamiento general, la descripción del contenido del trabajo fin de grado y desarrollando una introducción histórica a la arquitectura renacentista y a la propia Iglesia de San Andrés.

El Capítulo 2 recoge los objetivos que se plantean en este trabajo.

El Capítulo 3 realiza una descripción de los materiales y método empleados, utilizados en las distintas fases que han tenido lugar.

El Capítulo 4 contempla toda la fase de recopilación de información. Se incluyen daños históricos registrados y otros antecedentes; descripción del proceso de recopilación de información geométrica del edificio haciendo uso de técnicas de topografía; una recopilación de aspectos estructurales y constructivos de interés para el edificio en cuestión; y por último, fichas con descripción de las lesiones observadas como resultado de la inspección visual realizada, donde se incluye una valoración acerca de cuáles podrían ser las causas que las provocan.

El Capítulo 5 describe cuales son las patologías que posee el edificio, siendo cuatro los principales diagnósticos emitidos.

El Capítulo 6 se dedica a la aplicación del método de los elementos finitos, aportando información gráfica que ayuda a comprender los procesos que tienen lugar en la estructura. Son tres las situaciones analizadas, correspondientes a tres etapas diferentes del edificio, una etapa inicial sin contemplar el asiento diferencial, la etapa donde tiene lugar el asiento diferencial y una última donde se analiza con vistas a futuro el comportamiento de la iglesia incorporando el recalce de la cimentación. Extrayendo valores sobre la presión transmitida al terreno según el peso propio, se procede también a su comparación con la presión admisible y la presión de hundimiento.

El Capítulo 7 reúne de forma breve una serie de comentarios de interés con vistas a las futuras intervenciones que pudieran ser llevadas a cabo.

El Capítulo 8 contiene una serie de reflexiones acerca de los resultados alcanzados, las aportaciones realizadas y las posibilidades de mejora del proceso empleado.

El Capítulo 9 presenta una recopilación de las principales conclusiones del trabajo realizado.

Por último, el Capítulo 10 contiene los planos generados.

1.3 Iglesia de San Andrés de Villanueva del Arzobispo

La iglesia de San Andrés se ubica en el núcleo urbano de Villanueva del Arzobispo, destacando de forma notable entre el resto de edificios. La Figura 2.1 muestra una perspectiva del monumento.



Figura 2.1: Iglesia de San Andrés de Villanueva del Arzobispo

Se inicia la construcción del monumento actual en el primer tercio del siglo XVII, sobre una primera parroquia dedicada a San Andrés de la que hay constancia en el año 1488.

Originariamente existían cuatro torres que inicialmente formaban parte de una antigua fortaleza y que posteriormente fueron integradas en la construcción de la Iglesia, actualmente se conservan sólo dos de las torres. La Figura 2.2 muestra una de las torres conservadas en la actualidad.



Figura 2.2: Torre perteneciente a la antigua fortaleza.

El interior de la Iglesia presenta estructura de cruz latina con una única nave y crucero poco desarrollado. En los laterales capillas-hornacinas y a los pies, el coro. El interior se cubre con bóveda de cañón (Figura 2.3) y el crucero se define por cuatro arcos torales en los que apoya la cúpula de media naranja sobre pechinas (Figura 2.4).

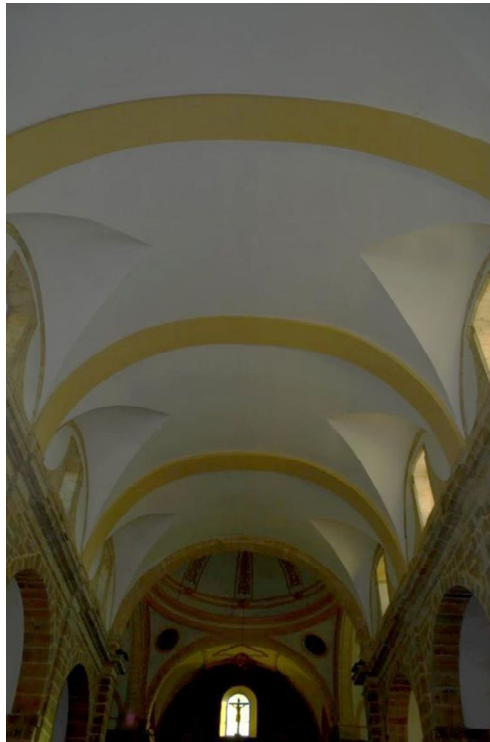


Figura 2.3: Bóveda de cañón.



Figura 2.4: Crucero.

Como describíamos con anterioridad, a los pies del de la nave se eleva sobre gradas un coro con sillería de madera distribuido en dos pisos. Ver Figura 2.5.



Figura 2.5: Coro.

La portada principal de la Iglesia tiene lugar en la fachada Sur. Consta de un arco de medio punto, inserta un óvalo con heráldica episcopal, queda definida la entrada

mediante dos columnas toscanas, y posee un frontón triangular que queda abierto colocando una hornacina donde se ubica la escultura de San Andrés. La Figura 2.6 muestra una imagen de esta fachada.



Figura 2.6: Fachada Sur.

Entre las fachadas Sur y Oeste, encontramos una de las dos torres pertenecientes a la antigua fortaleza, construida en mampostería ordinaria (Figura 2.7).



Figura 2.7: Torre entre las fachadas Sur y Oeste.

La fachada Oeste se corresponde con los pies del templo, las dos torres medievales existentes se localizan en sus extremos. En esta fachada existe una ventana ligeramente apuntada, adornada con un artístico rosetón (Figura 2.8).



Figura 2.8: Ventana en fachada Oeste.

Adosadas a la fachada Norte aparecen las diferentes dependencias parroquiales construidas en el siglo XX, junto a un amplio espacio ajardinado. En 1881 se produce un derribo que afecta a esta fachada acometiéndose importantes obras que transforman la fachada inicial. La Figura 2.9 muestra una perspectiva de la fachada Norte.



Figura 2.9: Dependencias parroquiales en la fachada Norte.

2 OBJETIVOS

Se pretende desarrollar un estudio global del estado de la Iglesia de San Andrés de Villanueva del Arzobispo, que como resultado de las conclusiones emitidas facilite las labores de selección las posibles medidas correctoras a ejecutar y orienten tanto el control de la eficacia de las intervenciones que puedan tener lugar, como la observación y seguimiento de las zonas más sensibles del edificio.

Las complejidades de las estructuras de edificios históricos, hacen necesario que el estudio o las propuestas se efectúen de forma organizada, análogamente a como pudieran llevarse a cabo en medicina (anamnesis, reconocimiento, diagnosis, terapia y control) [9]. Siendo objeto del presente trabajo un estudio previo lo más completo posible de acuerdo a los medios de los que se disponen, una determinación de las causas de las lesiones, deterioros o degradaciones que tienen lugar y un análisis que permita la evaluación de niveles de seguridad y daños estructurales.

El correcto desarrollo de las fases objeto de este trabajo, redundan en un empleo eficiente de los fondos y en la minimización del impacto sobre el patrimonio arquitectónico.

3 MATERIALES Y MÉTODOS

En relación a los materiales y método empleados, empezar describiendo la utilización de material bibliográfico relativo a la historia del edificio y los daños históricos que han tenido lugar, el proyecto de recalce de cimentación y otros con carácter técnico. Todos ellos reflejados en la bibliografía.

Han sido empleado equipos de medición topográfica, estación total y GPS, en la definición del sistema de referencia y la toma de los puntos de interés para la correcta definición de la geometría de la iglesia.

Como registro gráfico de las lesiones del edificio, la toma de fotografías es de gran ayuda para la identificación y descripción de las lesiones presentes. Tienen las fotografías una segunda función, la posibilidad de hacer una revisión de las lesiones con el paso del tiempo, examinando su evolución, o la posibilidad de efectuar una revisión del edificio intentando localizar nuevas anomalías.

En cuanto a los materiales empleados, las aplicaciones informáticas ocupan un lugar de especial relevancia por sus importantes prestaciones. Se relacionan los programas utilizados:

- MDT (desarrollado por Aplitop), aplicación de topografía en ingeniería civil empleada en la representación de los puntos del levantamiento topográfico, delineación de la estructura y obtención de perfiles de los arcos.
- Autocad (desarrollado por Autodesk), en la elaboración del modelo en tres dimensiones de la parte de la iglesia que es modelizada, como paso previo a su importación en el programa de cálculo del modelo.
- Cype 3D (desarrollado por Cype Ingenieros), para la realización de cálculos en tres dimensiones de los modelos seleccionados, permitiendo la discretización de la estructura mediante láminas para determinar sus esfuerzos y tensiones.

Respecto de los métodos empleados, decir que es el método de elementos finitos el empleado para el cálculo del modelo que representa la estructura, con arreglo a las diferentes vinculaciones exteriores tenidas en cuenta.

4 DOCUMENTACIÓN DEL ESTADO PREVIO DEL MONUMENTO

Es el cometido de este apartado el recabar información sobre la estructura en su estado original, las técnicas que se emplearon en la construcción, las alteraciones sufridas y sus consecuencias, los fenómenos que se han producido y, por último, sobre su estado actual.

Desde un punto de vista del cálculo de estructuras, es imprescindible conocer las geometrías, las propiedades físicas y las propiedades mecánicas de los diferentes elementos estructurales presentes en el edificio en cuestión.

4.1 Daños históricos

En varias ocasiones sus bóvedas han caído al suelo. En 1926, se produjo el hundimiento de la bóveda central del crucero o media naranja; la actual se realizó un año posterior y se debe al arquitecto alcalaíno D. Manuel López con la colaboración del escayolista granadino maestro Santisteban.

En 1965, se llevó a cabo una nueva obra de relevancia, como consecuencia de la caída de la bóveda de la Inmaculada.

En 1992, tiene lugar una nueva intervención dirigida por el arquitecto D. Arturo Vargas Machuca, siendo uno de los objetivos principales la restauración de la cubierta. Cabe destacar del proyecto realizado por el arquitecto mencionado, los siguientes textos al hilo del objeto de este trabajo.

- En relación a grietas en las bóvedas: *“Las causas son los empujes que le están siendo transmitidos por las cerchas de madera que forman la cubierta. Parte de las tirantas, apoyan directamente sobre las citadas bóvedas y no debería de ocurrir” [12]*
- En relación a grietas en los muros: *“Las grietas podrían deberse a dos motivos:*

Uno de ellos, a un hundimiento de la cimentación como consecuencia de las filtraciones de aguas también a que no hace mucho tiempo, en ocasión de sanear la calle, fue excavada una zona de jardín que estaba adosada a la parte posterior del presbiterio.

El otro motivo y principal, es el empuje que están produciendo las cerchas de madera que forman la estructura de la cubierta. El mal estado de la misma hace que ya se hayan saneado algunas, pero es insuficiente. Los empujes los

ejerce sobre las bóvedas, con una presión en la clave de las mismas, lo que hace que transmitan empujes laterales a los muros....” [12]

En conclusiones, añade D. Arturo Vargas Machuca: *“El templo, manifiesta daños graves, algunos con soluciones fáciles y cómodas y otros difíciles y costosas, pero que tanto una como otra han de atajarse cuanto antes, pues de lo contrario el daño será cada vez mayor, pudiendo llegar a una ruina y en caso de desprendimiento, por ejemplo de bóvedas, producir accidentes, poniendo en peligro vidas humanas”. [12]*

4.2 Antecedente. Recalce de cimentación

4.2.1 Redacción del proyecto de recalce de cimentación

En Marzo de 2014, el párroco de la Iglesia alertado por caídas de arena desde las bóvedas laterales y cúpula central, contacta con el arquitecto D. Juan Bautista Villar Martínez, a fin de iniciar el estudio del monumento y tomar las medidas necesarias.

El 9 de marzo de 2015, es redactado por el citado arquitecto, un informe técnico en el que se concluye: *“Asiento diferencial de muro y contrafuerte situado al sur-este del templo” [12]*

Con fecha Julio de 2015 es redactado un estudio geotécnico, elaborado por la empresa IGEA Consultoría y Laboratorio. Este estudio a petición del arquitecto se centra en analizar las causas del asiento diferencial ocurrido en una de las pilastras y en parte de un muro de carga situados al sur-este del templo. Las causas de la patología emitidas por el estudio geotécnico se resumen en que los daños analizados deben tener una relación con un asiento diferencial ocasionado por condiciones ajenas a la cimentación y a las presiones transmitidas al terreno y establece como único factor que pueda estar relacionado la presencia de dos cipreses próximos a la zona afectada.

Son dos los procedimientos de recalce propuestos por el estudio geotécnico:

- Recalce semiprofundo mediante inyecciones de resina.
- Recalce profundo mediante micropilotes.

Finalmente, en el proyecto de recalce de cimentación de la Parroquia de San Andrés, redactado por D. Juan Bautista Villar Martínez con fecha octubre de 2015, consta como intervención de recalce la propuesta por la empresa GeoNovatek, que prevé la hincas de 54 micropilotes a presión MP60 de acero con adherencia mejorada, cuya disposición se indica en la planimetría de proyecto.

4.2.2 Ejecución del recalce de cimentación

De forma más extendida, procedemos a continuación a la explicación de la técnica de recalce empleada, consistente en la inyección de resina expansiva y micropilotes hincados a presión.

Refiriéndonos a los métodos de inyección, cabe describirlos como un conjunto de operaciones necesarias para rellenar huecos o fisuras no accesibles en el terreno. Su principal objetivo es mejorar las características mecánicas del suelo (incremento de resistencia, disminución de la deformabilidad, etc.) así como la disminución de la permeabilidad. En concreto, el tipo de inyección realizada en este caso, es una inyección de compensación de asentamientos, cuyo objetivo es inducir movimientos controlados en el terreno que compensen los producidos por otras causas.

La resina utilizada para la ejecución, es una resina de alta densidad bicomponente, que es inyectada en estado líquido a presión en el terreno. La mezcla de los dos componentes tiene como resultado una reacción química que da lugar a la expansión del producto, en su paso de líquido a sólido. El resultado es una capa de alta resistencia a la compresión.

Los micropilotes son elementos estructurales con un área de sección transversal pequeña, comparada con su longitud. Tendrán como función, en este caso, la transmisión de la carga de la estructura a estratos de suelos más profundos. Destacar como propiedad el hecho de ser resistentes a tracción y a compresión.

Los micropilotes empleados en la obra de recalce son los denominados MP/60 con adherencia mejorada. El proceso de corrugación externa ofrece un mayor coeficiente de fricción en toda la longitud del micropilote. Los datos geométricos del pilote a presión estándar son:

- Longitud de un módulo aislado: 1 m
- Diámetro exterior: 61,2 mm
- Espesor mínimo: 8 mm
- Profundidad de las estrías: 2,8 mm
- Incremento de la superficie lateral aproximadamente del 46 %

Extraído de información elaborada por la empresa GeoNovatek, se incluyen las fases ejecutivas y su descripción:

1. Ejecución de las perforaciones que atraviesan la cimentación, para la realización de las inyecciones de resinas HDR.
2. Colocación de la cánula metálica de inyección en el orificio.

-
3. Inyección de la resina expansiva con relleno de las cavidades y compactación del terreno.
 4. Ejecución de las perforaciones para alojar los micropilotes.
 5. Hinca de los micropilotes, atravesando las perforaciones realizadas en la cimentación, con la unión progresiva de los módulos que componen el MP/60.
 6. Alcance de la profundidad de empotramiento del micropilote, determinada por la máxima presión de hinca definida en el proyecto.
 7. Anclaje de la parte superior del micropilote a la cimentación mediante un mortero especial para la unión del metal y el hormigón.

4.3 Forma y geometría. El levantamiento topográfico.

El levantamiento topográfico nos brindará conocimiento de la Iglesia desde el punto de vista de su forma y geometría. Nos aporta información útil para todos los demás procesos de entendimiento, aportando en algunos casos datos fundamentales, y en otros, como soporte gráfico de representación.

Cuanto más completo sea el levantamiento topográfico realizado, en mejor disposición estaremos a la hora de plantear cualquier intervención.

4.3.1 Metodología

En este apartado, se describen las técnicas utilizadas para la realización de la medición topográfica.

Se utiliza para la toma de puntos una estación total marca Trimble modelo S3 de 2" de precisión angular (Ver Figura 4.2) y un equipo GPS Leica 1200 + (Ver Figura 4.1), que además es utilizado para la definición del sistema de referencia en coordenadas oficiales.

Nos referimos en primer lugar a la medición realizada utilizando *técnicas GPS*, que requieren como paso previo a la salida a campo, la realización de los trabajos de configuración necesarios del equipo de medición. Estas tareas de configuración tienen como objetivo fijar el sistema de coordenadas para el trabajo, basado en la proyección UTM y el sistema de referencia ETRS89.

Destacar que para la toma de datos se ha empleado en todo momento la Red Andaluza de Posicionamiento (RAP), recibiendo de esta entidad las correcciones diferenciales necesarias vía GPRS. La RAP, se encuentra enmarcada dentro de los proyectos gestionados por el Instituto de Cartografía de Andalucía (ICA) cuyos objetivos son la definición, desarrollo y explotación de un conjunto de servicios destinados a la obtención y envío de correcciones diferenciales GPS, en tiempo real, para Andalucía.

Añadir también, que la antena a la que se georreferencia el presente trabajo, se corresponde a una estación permanente perteneciente a la RAP, denominada VIAR y localizada en Villanueva del Arzobispo (Jaén).



Figura 4.1: GPS Leica 1200+.

Nos centramos a continuación en las técnicas de *topografía clásica*, que vienen precedidas del establecimiento de las bases que definen nuestro sistema de referencia, previamente materializadas y medidas por GPS. El proceso de trabajo con estación total se inicia con montajes libres, desde los cuales se visarán todos aquellos puntos de interés para el conocimiento de la geometría del edificio.

La orientación de la estación se lleva a cabo mediante una bisección inversa, método utilizado para determinar la posición de puntos desconocidos, en nuestro caso los puntos de estacionamiento. La bisección inversa requiere de la observación de dos puntos de coordenadas conocidas sobre los que medir ángulos y distancias, como base para la determinación de las coordenadas del punto de estacionamiento. Los puntos de coordenadas conocidas son aquellos medidos mediante GPS para la definición del sistema de referencia.

Llevada a cabo la orientación de la estación total se procede a la medida de puntos topográficos, para lo cual se recurre al método de radiación, método que permite determinar la posición de un punto respecto de otro de coordenadas conocidas, el punto de estacionamiento.



Figura 4.2: Estación total Trimble S3 en estacionamiento libre.

4.3.2 Base topográficas

En primer lugar, se materializan en el exterior de la Iglesia cinco puntos mediante puntas de acero, que medidas con técnicas GPS mediante RTK con referencia a la estación permanente de la RAP de Villanueva del Arzobispo, son dotadas de coordenadas oficiales. La Figura 4.3 identifica la posición de las bases.



Figura 4.3: Bases topográficas para realización de levantamiento topográfico medidas con GPS.

La tabla 4.1 enumera las coordenadas de las bases descritas, con descripción de la precisión de cada una de ellas (información aportada por el equipo de medida).

DESCRIPCIÓN	X (m)	Y (m)	Z (m)	CQ3D (cm)
B1	498949,670	4224652,920	688.281	1,4
B2	498959,975	4224607,381	687.865	1,8
B3	498984,765	4224607,770	686.322	1,9
B4	499016,685	4224619,126	680.613	1,4
B5	499001,279	4224662,727	682.611	1,6

Tabla 4.1: Coordenadas de bases topográficas para realización de levantamiento topográfico medidas con GPS.

4.3.3 Puntos destacados

Vista la distribución de las bases en el apartado anterior, se aprecia la necesidad de incluir puntos de coordenadas conocidas dentro de la Iglesia, es lo que denominaremos puntos destacados.

La determinación de las coordenadas de estos puntos destacados se realiza mediante un estacionamiento libre frente a la puerta sur de la Iglesia, al que se le dan coordenadas mediante bisección inversa con observaciones a las bases B2 y B3.

Conocida la posición del estacionamiento libre, se miden dos puntos materializados en el interior de la iglesia lanzando visuales a través de la entrada. Estos dos puntos servirán para la realización de las bisecciones inversas a realizar dentro del monumento, permitiéndonos tener enlazados en un mismo sistema de referencia los puntos medidos en el exterior y en el interior, aspecto fundamental para conocer entre otras cuestiones el espesor de los muros.

La Figura 4.4 muestra la ubicación de los puntos destacados.



Figura 4.4: Puntos destacados.

La tabla 4.2 enumera las coordenadas de los puntos destacados, con descripción de la precisión de cada una de ellas (información aportada por el equipo de medida).

DESCRIPCIÓN	X (m)	Y (m)	Z (m)	CQ3D (cm)
D1	498976,251	4224630,912	686,241	1,7
D2	498975,875	4224621,016	686,243	1,6

Tabla 4.2: Coordenadas de los puntos destacados.

4.3.4 Estacionamientos libres.

Establecidas las bases y puntos destacados se inicia el proceso de toma de datos del edificio. Conocidas las coordenadas del punto de estacionamiento y la orientación de la estación total recurriendo al método de bisección inversa, se inicia la medida de puntos topográficos mediante radiación para cada uno de los estacionamientos.

La Figura 4.5 muestra la posición de los diferentes estacionamientos libres realizados.



Figura 4.5: Estacionamientos libres.

La tabla 4.3 recopila las coordenadas de los estacionamientos libres, con descripción de la precisión de cada uno de ellos (información aportada por el equipo de medida).

DESCRIPCIÓN	X (m)	Y (m)	Z (m)	CQ3D (cm)
EL1	498954,129	4224606,222	689,96	1,1
EL2	499016.343	4224613.950	682,36	1,8
EL3	499021.445	4224619.522	682,17	0,9
EL4	499008.648	4224660.973	684,15	1,2
EL5	498969.299	4224658.165	687,60	2,0
EL6	498982,099	4224628,506	686,241	0,7
EL7	498970,724	4224627,335	686,246	0,5
EL8	498962,030	4224628,755	686,243	0,8

Tabla 4.3: Coordenadas de los estacionamientos libres.

4.4 Aspectos estructurales y constructivos

4.4.1 Elementos que componen la estructura

El mecanismo estructural de un edificio histórico se podría explicar de forma resumida de la siguiente forma: arcos constructivos que concentran empujes verticales que se transmiten al terreno mediante los pilares y muros de carga. Los empujes horizontales son contrarrestados por los contrafuertes, que será el elemento que transmita esas cargas hasta la cimentación.

Los elementos que componen la estructura de un edificio histórico se pueden agrupar en cuatro grandes bloques:

- 1.- La cimentación
- 2.- Los muros, los pilares y los arcos
- 3.- Las bóvedas y las cúpulas
- 4.- Las cubiertas

4.4.1.1 La cimentación

La cimentación servirá de apoyo a la estructura y su principal función será transmitir las cargas recibidas al terreno. Una cimentación bien construida será una garantía para la durabilidad del edificio.

Factores que condicionan el comportamiento de la cimentación:

- Valor y naturaleza de la carga.
- Tipología y dimensiones de la cimentación.
- Materiales que la forman.
- Características del terreno.
- Nivel freático y su fluctuación.

Un aspecto muy a tener en cuenta es el hecho de que normalmente los edificios históricos están contruidos sobre restos de construcciones más antiguas, siendo importante conocer cuáles serían las características de esos restos y sus capacidades como cimentación. A pesar de la importancia que tiene, el conocimiento de la cimentación de los edificios históricos suele ser muy limitado.

4.4.1.2 Muros, pilares y arcos

Como función principal tienen la de servir de apoyo y conexión, transmitiendo esfuerzos entre los cimientos y las bóvedas, cúpulas y cubiertas. La estabilidad de la

estructura, dependerá en gran medida del material con el que hayan sido contruidos y la geometría que la defina.

En concreto, los muros tienen dos funciones, por una parte, dar forma al edificio y protegerlo de los agentes climáticos, y por otra parte, soportar el peso de la estructura. Distinguimos básicamente dos tipos de muros, los portantes y los no portantes.

La función de los pilares es la de resistir por compresión las cargas verticales que recibe. Los pilares que soportan importantes cargas, estarán contruidos de forma análoga a los muros, cara exterior de sillares que envuelve un núcleo formado de relleno de cascotes y mortero compactado.

El arco es un elemento de directriz curva, formado por dovelas que transmiten las cargas mediante esfuerzos de compresión. La denominada línea de empujes de un arco nos aporta información en cuanto a la forma de transmitir las cargas. Para que un arco sea estable es necesario que la línea de empujes no toque la sección en más de tres puntos (rótulas).

4.4.1.3 Las bóvedas y las cúpulas

Las bóvedas presentes en el edificio que nos ocupan son del tipo bóvedas de cañón, formadas por el desplazamiento de un arco de medio punto a lo largo de un eje longitudinal.

La cúpula es una construcción abovedada formada, generalmente, por superficies de revolución en la que todas las secciones horizontales son anulares. El origen de las cúpulas está basado en los conocimientos constructivos que se tenían sobre los arcos de medio punto. En nuestro caso, la cúpula existente es un compuesto de yeso y cañizo.

4.4.1.4 Las cubiertas

Las cubiertas tienen una función de vital relevancia, que es la de proteger el edificio de los efectos climáticos.

4.4.2 La estructura de fábrica

Las estructuras de los edificios históricos están generalmente compuestas por piedras o ladrillo, destacando su buen comportamiento a compresión y su casi inexistente resistencia a tracción. La forma de la estructura debe garantizar el trabajo a compresión de los elementos que la forman.

Los elementos que forman la fábrica hacen que tenga un comportamiento anisótropo, heterogéneo y discontinuo.

Una definición breve y precisa del término fábrica viene recogida en la normativa EC-6: conjunto trabado de piezas asentadas con mortero. En el monumento en estudio, la fábrica está compuesta por piedras de cantería, organizadas de forma manual y unida por mortero.

Atendiendo a los elementos y la construcción presentes en el edificio, podemos clasificar la fábrica existente en dos grupos:

- Mampostería: fábrica construida con piedras en bruto, sin labrar o con labra irregular. Encontramos esta fábrica en las torres existentes en la parte oeste del edificio, parte más antigua de la construcción y que se asocia con torres de una antigua fortificación medieval conservadas hasta la fecha. Cabe mencionar diferentes mamposterías según el tipo de aparejo, ordinaria, careada o concertada; siendo la ordinaria la que más se adapta a la mampostería existente descrita. Ver Figura 4.6.

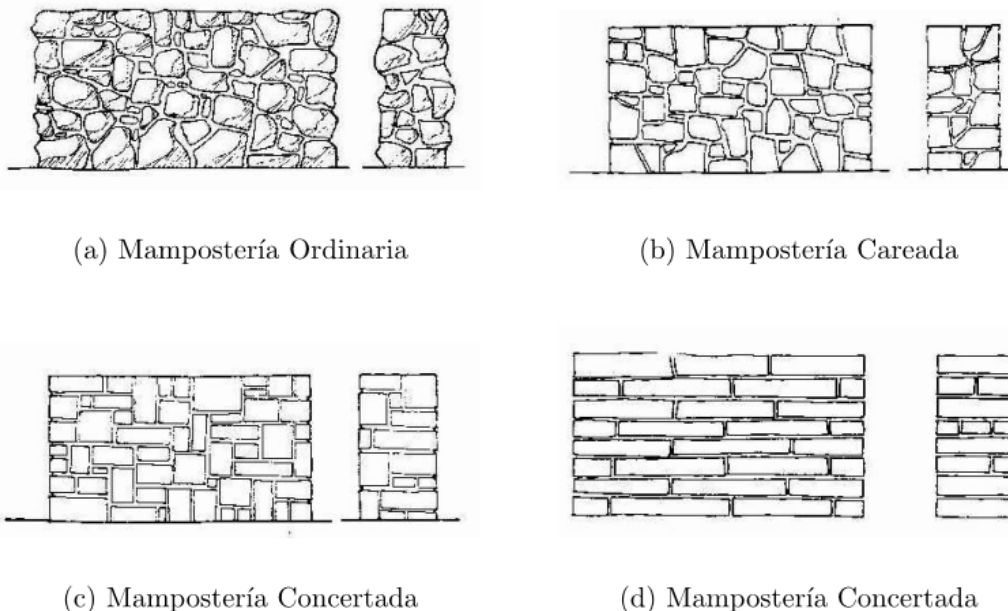


Figura 4.6: Tipos de mampostería. [3]

- Sillería: fábrica constituida por piedras naturales que se han labrado para formar sillares. Está presente esta fábrica en la totalidad del edificio renacentista, con diferentes estados de conservación, siendo principalmente visibles las diferencias entre la sillería interior y la exterior. Según la forma de la cara externa de la piedra tenemos varios tipos: recta, moldurada, aplantillada, averdugada, almohadillada, etc. Por la colocación de la piedra distinguimos: a soga, a tizón o clave. Ver Figura 4.7.

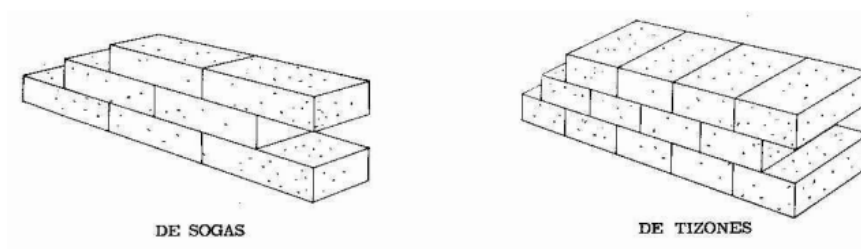


Figura 4.7: Tipos de aparejos en sillares. [3]

4.4.3 Características y propiedades de los mampuestos y sillares.

Las piedras utilizadas para la confección de los sillares y compuestos en el edificio en estudio son rocas sedimentarias, de entre las que concretamos como presentes las siguientes:

- Areniscas: fáciles de trabajar y con ligera porosidad. Por lo general, son muy descomponibles, hecho que queda visible en algunos paramentos verticales exteriores. Ver Figura 4.8.

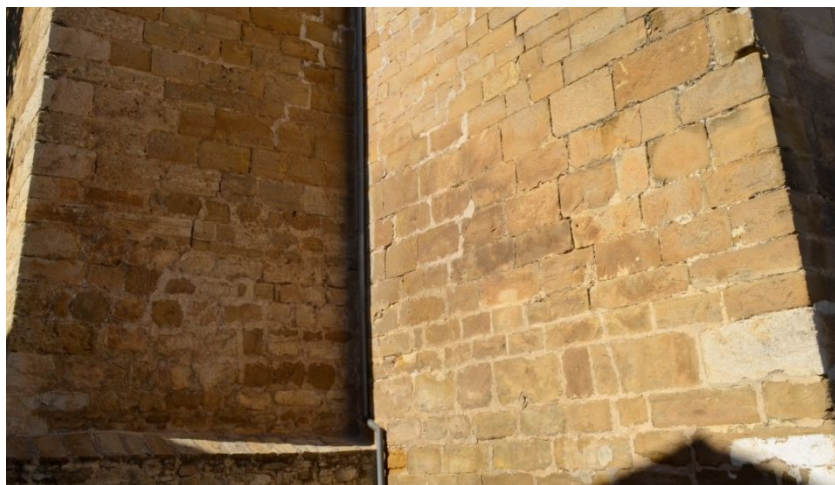


Figura 4.8: Piedra arenisca en Iglesia de San Andrés.

- Calizas: formadas por carbonato cálcico, normalmente incluyen impurezas que favorecen la degradación de la roca. Muy permeable, fácilmente agrietable y se descompone en presencia de ácidos. Ver Figura 4.9.

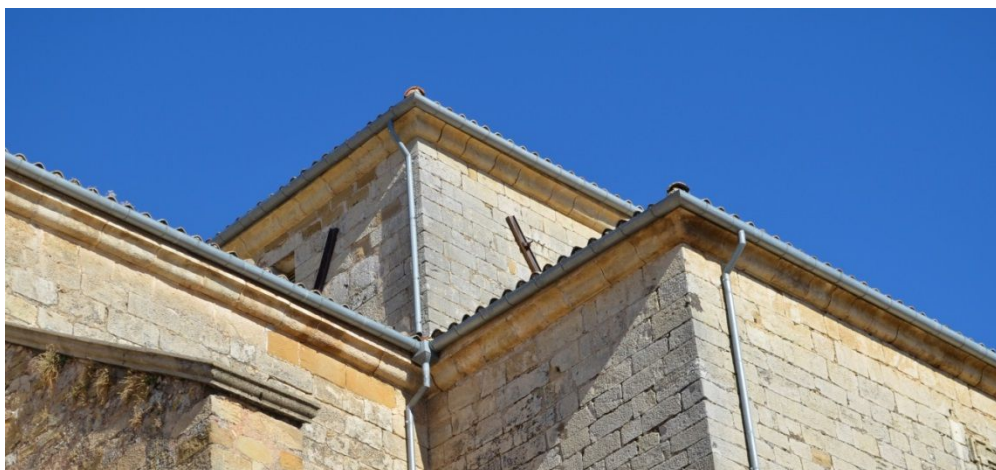


Figura 4.9: Piedra caliza en Iglesia de San Andrés.

4.4.3.1 Características físicas

La más relevante es el Peso Específico, ya que será fundamental para el cálculo de la carga gravitatoria, acción principal en este tipo de estructuras. Ver Tabla 4.4.

Tipo de piedra	Arredondo [5]	p.i.e.t.70 [105]	Intemac [29]	Delbecq [36]	Rondelet [120]
Granito	26-27	26-30	>25.6	28.5	19.8-26.9
Arenisca	23-29	—	—	—	—
Caliza	24-28	20	21.6-25.6	21-23.6	—

Tabla 4.4: Valores para el Peso Específico (kN/m^3). [3]

4.4.3.2 Propiedades mecánicas

- Resistencia a compresión: presenta gran dispersión experimental, asociada a la fuerte anisotropía del material. Las rocas que han absorbido agua resisten menos que las secas y su resistencia es mayor cuando el esfuerzo se ejerce perpendicularmente a los planos de estratificación. Ver Tabla 4.5.

Tipo de piedra	Arredondo [5]	p.i.e.t.70 [105]	Intemac [29]	Delbecq [36]	Cedex [3]
Granito	80-270	>100	>134	60-180	>120
Arenisca	10-180	>10	14-140	7-60	>30,>80
Caliza	80-150	>30	12.5-56	7-100	>20,>50

Tabla 4.5: Valores de resistencia a compresión (MPa). [3]

- Resistencia a tracción:

Considerablemente menor a la resistencia a compresión. Ver Tabla 4.6.

Tipo de piedra	<i>Caliza ordinaria</i>	<i>Caliza compacta</i>	<i>Arenisca</i>	<i>Granito</i>
$f_{tb}(MPa)$	0.5-5	4-15	0.5-5	6-15

Tabla 4.6: Valores de resistencia a tracción (MPa). [3]

- Módulo de deformación longitudinal:

Varía en función de la tensión de trabajo y del tipo de piedra. Para algunas piedras es prácticamente constante con independencia al nivel de carga; en la arenisca varia notablemente con el nivel de carga. Ver Tabla 4.7.

Tipo de piedra	<i>Caliza ordinaria</i>	<i>Caliza compacta</i>	<i>Arenisca</i>	<i>Granito</i>
$E_b(GPa)$	5-30	30-60	7-50	15-70

Tabla 4.7: Valores del módulo de deformación longitudinal (GPa). [3]

- Coeficiente de Poisson:

Se trata de un parámetro de deformabilidad que no es frecuente obtener. Se utiliza para determinar el comportamiento de la fábrica en algunos modelos analíticos. Para piedra, los valores habituales varían entre 0,15 y 0,20.

4.4.4 Características y propiedades de los morteros.

Otro componente de la fábrica es el mortero, que mezcla aglomerantes inorgánicos (cal, cemento, yeso) con áridos y agua. Puede contener aditivos orgánicos e/o inorgánicos que mejoren sus propiedades.

Es la principal función del mortero rellenar huecos entre las piedras, así como dotar de adherencia o trabazón a la fábrica.

Básicamente, el componente utilizado históricamente es la cal (CaO), pudiendo diferenciarse entre cal aérea o cal hidráulica en función de si su fraguado se produce en contacto con el aire o en contacto con el agua, estos últimos son más resistentes.

- Características específicas

El peso específico obtenido en ensayos de diferentes tipos de cales está entre 10 y 26,31 kN/m³.

- Resistencia a compresión

La resistencia a compresión del mortero depende mucho de su composición, proceso de fabricación, adiciones,.... La tabla 4.8 recopila la resistencia a compresión de diferentes tipos de morteros.

<i>Tipo de mortero</i>	$f_m(MPa)$
De cal aérea	0.2-0.5
De cal hidráulica	0.5-2.0
De cemento y cal	2.2-8.0
De cemento	8.0-15

Tabla 4.8: Tabla de resistencias de morteros. [3]

- Resistencia a tracción

La resistencia a tracción de los morteros es muy baja. Asignándosele valores de entre 0,1 y 1,2 MPa.

- Módulo de deformación longitudinal

Varía según el tipo de mortero y el estado tensional. La Tabla 4.9 relaciona diferentes valores con diferentes tipos de morteros.

<i>Tipo de mortero</i>	$E_m(GPa)$	E_m/f_m
De cal aérea	0.4-1	2000
De cal hidráulica	1-2	2000-1000
De cemento y cal	2-6	1000-750
De cemento	6-10	750-650

Tabla 4.9: Módulo de deformación longitudinal de diferentes tipos de morteros. [3]

- Coeficiente de Poisson

El coeficiente de Poisson del mortero se determina mediante ensayos uniaxiales y se adopta habitualmente un valor medio de 0,2.

4.4.5 Interfaz mortero-sillar.

Es otro de los elementos que intervienen en el comportamiento de la fábrica. Esta unión es a menudo débil. Su comportamiento estará condicionado por la adherencia entre piezas y la capa de mortero, y por el área efectiva de unión.

4.4.6 Comportamiento de la fábrica como material compuesto.

Como material heterogéneo que es, su comportamiento mecánico estará directamente influenciado por las características y propiedades de sus componentes.

- Resistencia a compresión

Nos referimos a la resistencia a compresión de la fábrica en la dirección normal a la junta (compresión uniaxial).

La Tabla 4.10 recoge algunos valores de resistencia a compresión para diferentes tipos de fábrica.

<i>Tipo de piedra</i>	<i>Resistencia a compresión (MPa)</i>	
	<i>Mortero tipo M o S</i>	<i>Mortero tipo N</i>
Granito	4.96	4.41
Caliza o marmol	3.1	2.76
Arenisca	2.48	2.21

Tabla 4.10: Valores de resistencia a compresión para fábricas de piedra. [3]

La tesis de Santiago Huerta, propone la Tabla 4.11, con valores de tensiones de trabajo de algunas estructuras de fábrica de edificios de más de 100 años.

<i>EDIFICIOS HISTÓRICOS</i>	<i>Tensión de trabajo (MPa)</i>
Pilares de la cúpula de San Pedro de Roma	1.7
Pilares de la cúpula de San Pablo de Londres	1.9
Pilares de la cúpula de los Inválidos de París	1.4
Pilares de la cúpula de Santa Genoveva de París	2.9
Columnas de la iglesia de San Pablo Extramuros de Roma	2.0
Columnas de la iglesia de Toussaint d'Angers	4.4
Pilares de la cúpula de Santa Sofía de Constantinopla	2.2
Pilares de la catedral de Palma de Mallorca	2.2

Tabla 4.11: Tensiones de trabajo de varias fábricas en edificios históricos. [6]

- Resistencia a tracción

La resistencia a tracción suele ser muy baja. El valor de resistencia a tracción de la fábrica no suele superar la décima parte de su resistencia a compresión. En la Tabla 4.12 se pueden consultar algunos valores de resistencia a tracción en fábricas.

<i>Tipo de fábrica</i>	<i>Resistencia a tracción (MPa)</i>	
	<i>Mortero tipo M o S</i>	<i>Mortero tipo N</i>
Normal a las juntas		
Piezas macizas	0.166	0.103
Piezas huecas:		
- sin rellenar	0.103	0.062
- rellenas	0.283	0.200
Paralelo a las juntas		
Piezas macizas	0.331	0.207
Piezas huecas:		
- sin rellenar	0.207	0.131
- rellenas	0.331	0.207

Tabla 4.12: Valores de resistencia a tracción para fábricas. [3]

- Módulo de deformación longitudinal

Se trata de una variable poco estudiada. Son pocos los ensayos realizados, que además arrojan datos muy diferentes.

4.4.7 Consideraciones sobre la seguridad de la fábrica.

4.4.7.1 Modos de fallo en agotamiento de las estructuras de fábrica

Entre los diferentes modos de fallo de una estructura de fábrica distinguimos entre los que dan lugar a la pérdida del equilibrio y los que dan lugar a la rotura de la fábrica.

Posibles causas de la pérdida de equilibrio:

- Formación de mecanismo.
Articulaciones o mecanismos de corte suficientes para que la estructura se convierta en un mecanismo. Pueden no alcanzarse los niveles de agotamiento de tensiones de compresión.
- Pérdida de equilibrio como sólido rígido.
Caso de estructuras con problemas en la cimentación.

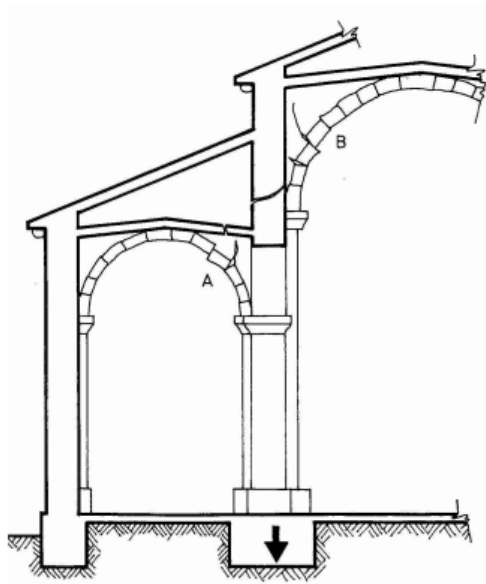


Figura 4.10: Asiento diferencial de pilar. [3]

- Inestabilidad.

Fallo por pérdida de forma. Habitual en bóvedas y arcos muy rebajados, muy solicitados.

- Deformabilidad excesiva.

Ejemplo es el de pilares de edificios que sometidos a esfuerzos horizontales, pueden inducir un exceso de deformación.

Mecanismos de rotura de la fábrica:

- Agotamiento por compresión.

La tensión alcanza la resistencia a compresión del material, no suele producirse pues exige un elevado grado de compresión.

- Deslizamiento relativo por cortante

En arcos o bóvedas comprimidos sometidos a deslizamientos impuestos, o por cargas puntuales sobre dovelas poco comprimidas.

- Deslizamiento relativo por rasante horizontal
- Deslizamiento relativo por rasante vertical

Modo de fallo que es habitual encontrarlo en muros compuestos formados por distintas rigideces o causas externas.

- Inestabilidad por pandeo

Tiene lugar en elementos lineales sometidos a un axil excéntrico y dependerá de la esbeltez del elemento. Algunos de estos elementos serían muros o pilas.

4.4.7.2 *Modos de fallo en servicio*

Se corresponde con situaciones de la estructura, que impiden el cumplimiento de ciertas condiciones de funcionalidad, comodidad, durabilidad,...

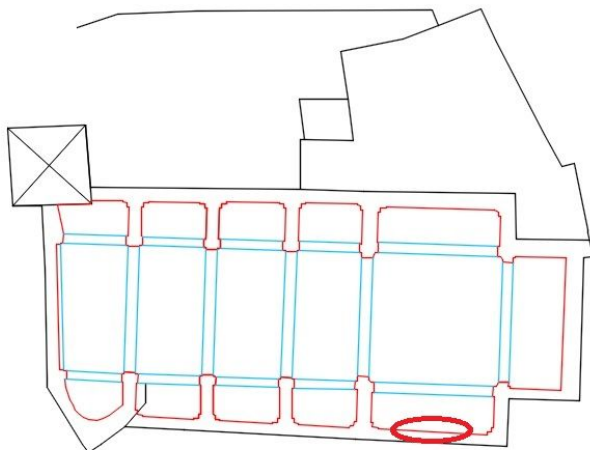
Los edificios históricos no suelen presentar problemas asociados al estado límite de servicio.

4.5 Inspección visual. Fichas para análisis patológico

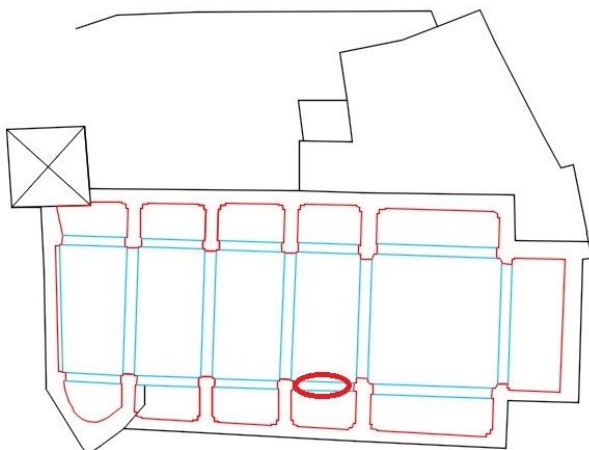
Resultado de la inspección visual de las lesiones más destacadas de la Iglesia, se recogen a continuación mediante fichas que las describen, analizan posibles causas y las evalúan.

Son dos los apartados que forman este punto. El primero recopila las lesiones encontradas que se relacionan con el asiento diferencial para el que se ejecuta un recalce de cimentación. El segundo apartado recopila otras lesiones identificadas que merecen atención.

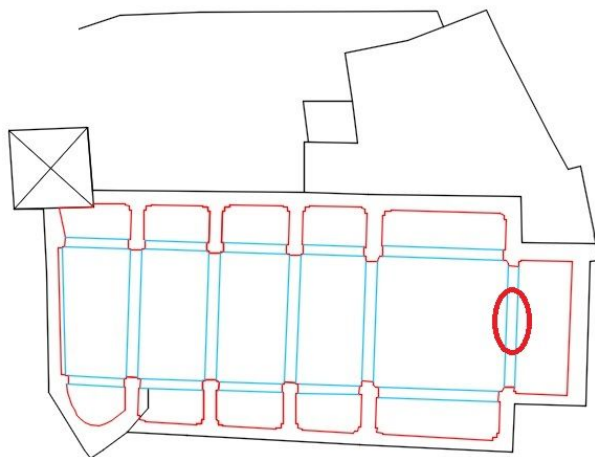
4.5.1 Fichas de lesiones asociadas al asiento diferencial de una de las pilastras.

Ficha	01	Inmueble	Localización
		Iglesia de San Andrés	Villanueva del Arzobispo (Jaén)
Situación de la lesión		Elemento	
Elemento estructural contiguo a pilastra con asiento diferencial		Muro de carga	
Situación en plano			
			
Descripción de la lesión			
Grieta con inclinación aproximada de 45°			
Análisis y posibles causas			
Asiento de pilastra que provoca grietas inclinadas en los muros, grietas que se alejan a medida que se acercan a la cimentación. Si el asiento es muy elevado, pueden verse afectados elementos estructurales próximos, comprometiendo su estabilidad. Como causas probables de un asiento diferencial tenemos: alteración de las condiciones del terreno (deseccación, saturación, nivel freático, etc.), oquedades próximas a la cimentación, presión excesiva sobre el terreno,....			

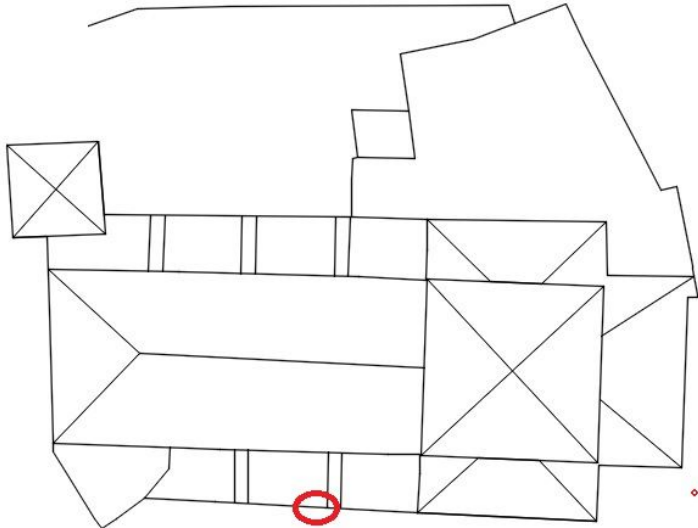
Clasificación							
Elemento estructural:		Peligro de estabilidad:			Urgencia de intervención:		
SI	NO	BAJA	MEDIA	ALTA	BAJA	MEDIA	ALTA
Fotografías							
							

Ficha	02	Inmueble	Localización
		Iglesia de San Andrés	Villanueva del Arzobispo (Jaén)
Situación de la lesión		Elemento	
Elemento estructural contiguo a pilastra con asiento diferencial		Muro de carga y arco formero	
Situación en plano			
			
Descripción de la lesión			
Grieta con inclinación aproximada de 45°			
Análisis y posibles causas			
Asiento de pilastra que provoca grietas inclinadas en los muros, grietas que se alejan a medida que se acercan a la cimentación. Si el asiento es muy elevado, pueden verse afectados elementos estructurales próximos, comprometiendo su estabilidad. Como causas probables de un asiento diferencial tenemos: alteración de las condiciones del terreno (deseccación, saturación, nivel freático, etc.), oquedades próximas a la cimentación, presión excesiva sobre el terreno,....			

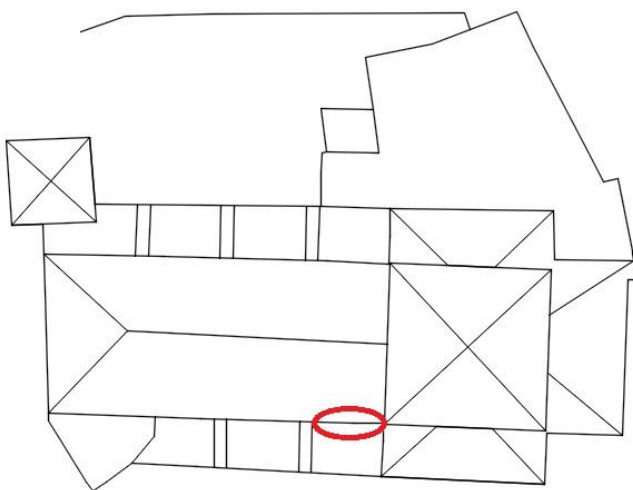
Clasificación							
Elemento estructural:		Peligro de estabilidad:			Urgencia de intervención:		
SI	NO	BAJA	MEDIA	ALTA	BAJA	MEDIA	ALTA
Fotografías							
							

Ficha	03	Inmueble	Localización
		Iglesia de San Andrés	Villanueva del Arzobispo (Jaén)
Situación de la lesión		Elemento	
Elemento estructural próximo a pilastra con asiento diferencial		Arco toral	
Situación en plano			
			
Descripción de la lesión			
Grieta entre dos de las piedras que forma el arco toral. En concreto, dichos elementos se ubican en la parte más alta del mismo.			
Análisis y posibles causas			
Grieta producida por la aparición de distensión entre los elementos que forma el arco, que puede ser producida a su vez, por un desplazamiento horizontal de las pilastras sobre las que se sustenta.			

Clasificación							
Elemento estructural:		Peligro de estabilidad:			Urgencia de intervención:		
SI	NO	BAJA	MEDIA	ALTA	BAJA	MEDIA	ALTA
Fotografías							
							
							

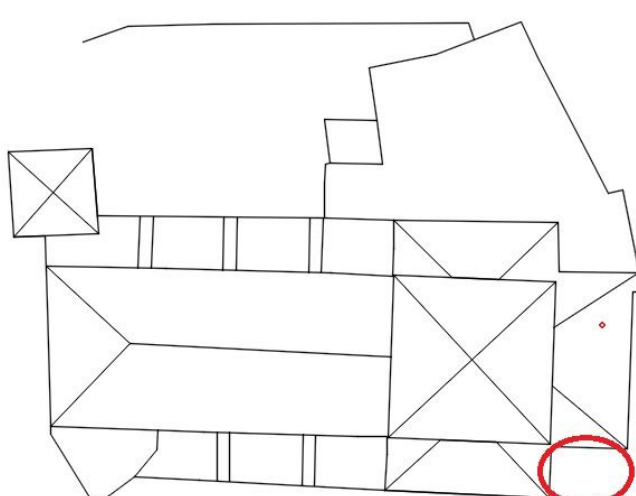
Ficha	04	Inmueble	Localización
		Iglesia de San Andrés	Villanueva del Arzobispo (Jaén)
Situación de la lesión		Elemento	
Elemento estructural ligado a pilastra con asiento diferencial.		Muro de carga exterior	
Situación en plano			
			
Descripción de la lesión			
Grieta vertical.			
Análisis y posibles causas			
Asiento diferencial de pilastra que provoca un deslizamiento sobre el terreno, al encontrarnos con estructuras poco rígidas que no poseen resistencia suficiente para contrarrestar esfuerzos de tracción. Como causas probables de un asiento diferencial tenemos: alteración de las condiciones del terreno (deseccación, saturación, nivel freático, etc.), oquedades próximas a la cimentación, presión excesiva sobre el terreno,....			

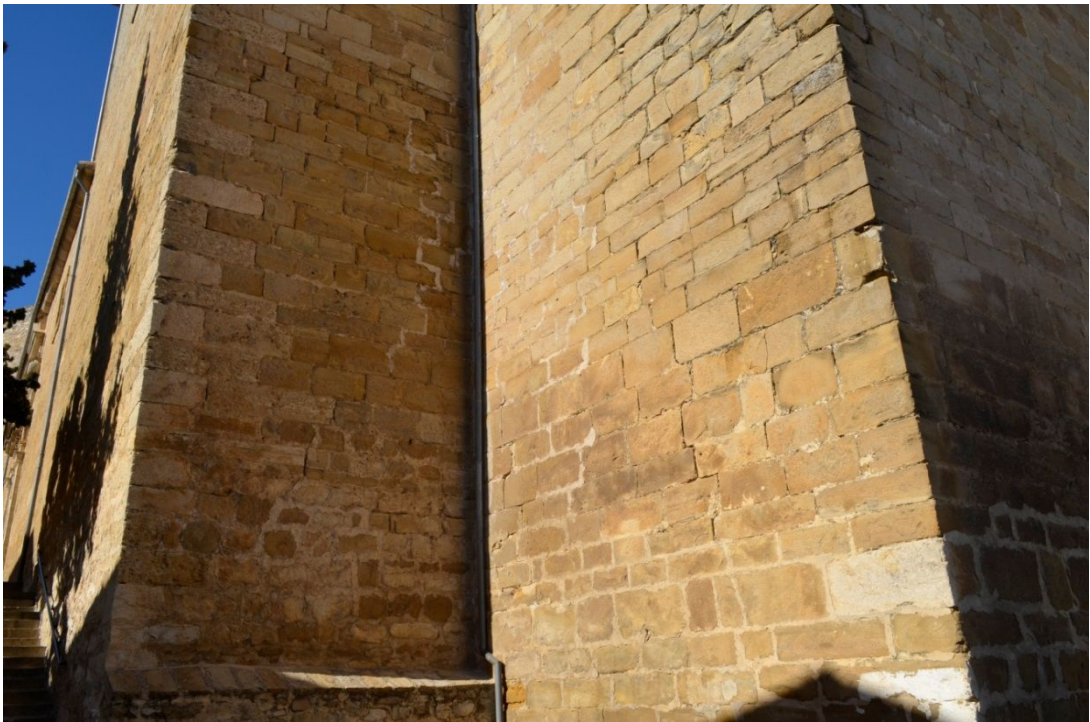
Clasificación							
Elemento estructural:		Peligro de estabilidad:			Urgencia de intervención:		
SI	NO	BAJA	MEDIA	ALTA	BAJA	MEDIA	ALTA
Fotografías							
 The photograph shows a close-up of a light-colored stone wall. A prominent horizontal crack runs across the middle of the wall. Above the crack, a metal pipe is visible, possibly a downspout. To the left, there is a small, triangular stone structure, possibly a decorative element or a small shrine. The wall appears to be part of a larger building, with some architectural details visible on the left side.							

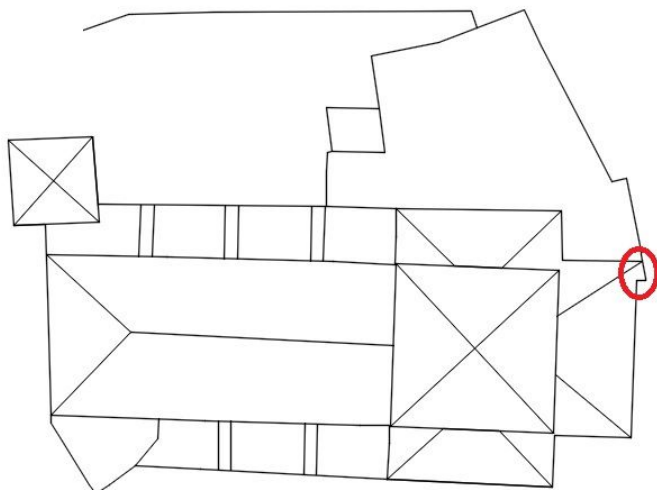
Ficha	05	Inmueble	Localización
		Iglesia de San Andrés	Villanueva del Arzobispo (Jaén)
Situación de la lesión		Elemento	
Elemento estructural contiguo a pilastra con asiento diferencial.		Muro de carga exterior sobre arco formero.	
Situación en plano			
			
Descripción de la lesión			
Grieta con inclinación aproximada de 45°			
Análisis y posibles causas			
Asiento diferencial de pilastra que provoca un deslizamiento sobre el terreno, al encontrarnos con estructuras poco rígidas que no poseen resistencia suficiente para contrarrestar esfuerzos de tracción. Como causas probables de un asiento diferencial tenemos: alteración de las condiciones del terreno (deseccación, saturación, nivel freático, etc.), oquedades próximas a la cimentación, presión excesiva sobre el terreno,....			

Clasificación							
Elemento estructural:		Peligro de estabilidad:			Urgencia de intervención:		
SI	NO	BAJA	MEDIA	ALTA	BAJA	MEDIA	ALTA
Fotografías							
							

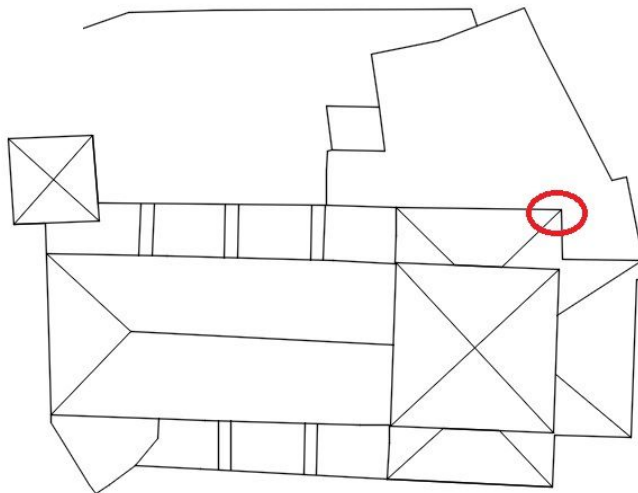
4.5.2 Fichas de demás lesiones existentes.

Ficha	06	Inmueble	Localización
		Iglesia de San Andrés	Villanueva del Arzobispo (Jaén)
Situación de la lesión		Elemento	
Fachada sureste		Muros de carga exteriores	
Situación en plano			
			
Descripción de la lesión			
Dos Grietas con inclinación aproximada de 45°, indicando un mismo asiento diferencial. No se trata de grietas que actualmente indiquen actividad.			
Análisis y posibles causas			
Asiento diferencial de pilastra que provoca un deslizamiento sobre el terreno, al encontrarnos con estructuras poco rígidas que no poseen resistencia suficiente para contrarrestar esfuerzos de tracción. Como causas probables de un asiento diferencial tenemos: alteración de las condiciones del terreno (deseccación, saturación, nivel freático, etc.), oquedades próximas a la cimentación, presión excesiva sobre el terreno,....			

Clasificación							
Elemento estructural:		Peligro de estabilidad:			Urgencia de intervención:		
SI	NO	BAJA	MEDIA	ALTA	BAJA	MEDIA	ALTA
Fotografías							
							

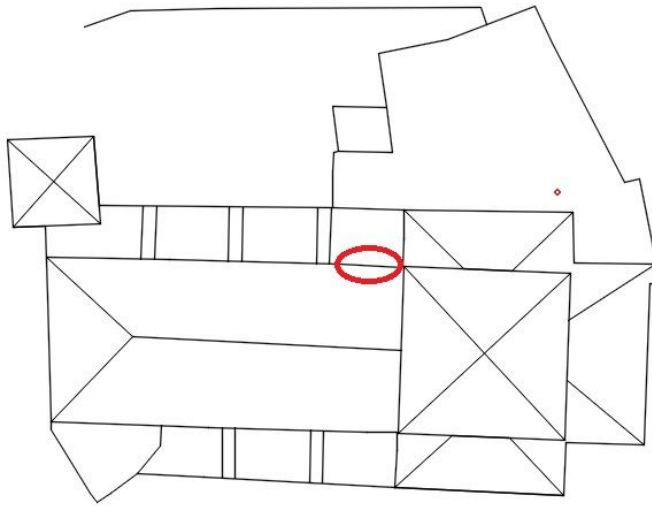
Ficha	07	Inmueble	Localización
		Iglesia de San Andrés	Villanueva del Arzobispo (Jaén)
Situación de la lesión		Elemento	
Fachada este		Muros de carga exteriores	
Situación en plano			
			
Descripción de la lesión			
Grieta vertical, de menor a mayor anchura a medida que ganamos en altura.			
Análisis y posibles causas			
Grieta ubicada entre muros con distinta fábrica y perpendiculares entre sí, con poca capacidad resistente a tracción, que se separan por influencia de las acciones recibidas. Como causas probables tenemos la aparición de empujes laterales en la cubierta, alteración de las condiciones del terreno, presión excesiva sobre el terreno,...			

Clasificación							
Elemento estructural:		Peligro de estabilidad:			Urgencia de intervención:		
SI	NO	BAJA	MEDIA	ALTA	BAJA	MEDIA	ALTA
Fotografías							
							

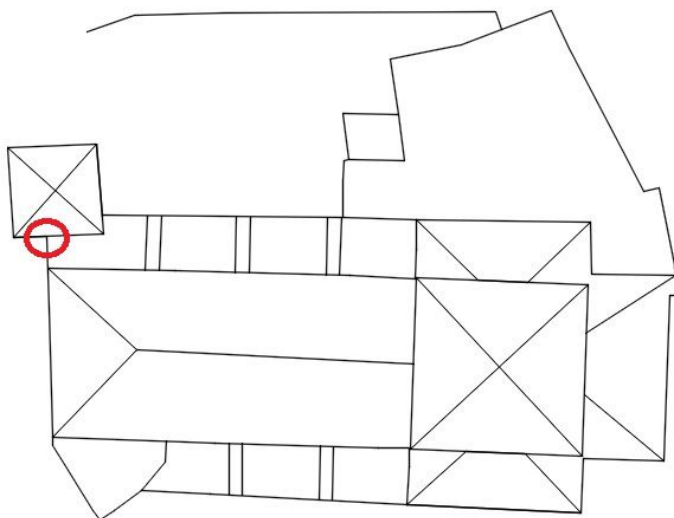
Ficha	08	Inmueble	Localización
		Iglesia de San Andrés	Villanueva del Arzobispo (Jaén)
Situación de la lesión		Elemento	
Fachada norte		Muros de carga exteriores	
Situación en plano			
			
Descripción de la lesión			
Grietas verticales, entre paños de muros perpendiculares entre sí, localizadas en la parte alta de los mismos. Aparecen selladas, como consecuencia de alguna actuación de restauración previa.			
Análisis y posibles causas			
Grietas ubicadas entre muros con distinta fábrica y perpendiculares entre sí, con poca capacidad resistente a tracción, que se separan por influencia de las acciones recibidas. Como causas probables tenemos la aparición de empujes laterales en la cubierta, alteración de las condiciones del terreno, presión excesiva sobre el terreno,...			

Continuación ficha: 08

Clasificación							
Elemento estructural:		Peligro de estabilidad:			Urgencia de intervención:		
SI	NO	BAJA	MEDIA	ALTA	BAJA	MEDIA	ALTA
Fotografías							
							

Ficha	09	Inmueble	Localización
		Iglesia de San Andrés	Villanueva del Arzobispo (Jaén)
Situación de la lesión		Elemento	
Fachada norte		Muro de carga exterior	
Situación en plano			
			
Descripción de la lesión			
Grieta con inclinación aproximada de 45°			
Análisis y posibles causas			
Asiento de pilastra que provoca grietas inclinadas en los muros, grietas que se alejan a medida que se acercan a la cimentación. Si el asiento es muy elevado, pueden verse afectados elementos estructurales próximos, comprometiendo su estabilidad. Como causas probables de un asiento diferencial tenemos: alteración de las condiciones del terreno (deshidratación, saturación, nivel freático, etc.), oquedades próximas a la cimentación, presión excesiva sobre el terreno,....			

Clasificación							
Elemento estructural:		Peligro de estabilidad:			Urgencia de intervención:		
SI	NO	BAJA	MEDIA	ALTA	BAJA	MEDIA	ALTA
Fotografías							
							

Ficha	10	Inmueble	Localización
		Iglesia de San Andrés	Villanueva del Arzobispo (Jaén)
Situación de la lesión		Elemento	
Fachada oeste		Torreón medieval y muro de carga exterior renacentista	
Situación en plano			
			
Descripción de la lesión			
Grieta vertical, entre paños de muros perpendiculares entre sí, con ancho constante a todo lo largo de la zona de contacto. Anchura de grieta de 5 cm.			
Análisis y posibles causas			
Grietas ubicadas entre muros con distinta fábrica y perpendiculares entre sí, con poca capacidad resistente a tracción, que se separan por influencia de las acciones recibidas. Como causas probables de la separación entre muros tenemos: construcción de un muro sobre terreno de relleno y otro sobre terreno firme, alteración de las condiciones del terreno (deshidratación, saturación, nivel freático, etc.), oquedades próximas a la cimentación, presión excesiva sobre el terreno,			

Clasificación							
Elemento estructural:		Peligro de estabilidad:			Urgencia de intervención:		
SI	NO	BAJA	MEDIA	ALTA	BAJA	MEDIA	ALTA
Fotografías							
 The photograph shows a close-up of a stone wall. On the left, there is a rougher, more textured section of the wall. To the right, the wall is made of more uniform, rectangular stone blocks. A prominent vertical crack runs down the center of the image, separating the two sections. Above the crack, there is a window with a wooden frame and a small balcony with a metal railing. A vertical pipe or rod runs along the right side of the wall.							

5 DIAGNÓSTICO

Cabe reseñar en primer lugar y de forma resumida, los pasos previos hasta llegar a la determinación de las patologías encontradas en el inmueble y abordarlas. Ha sido llevada a cabo la búsqueda de datos históricos respecto de daños e intervenciones documentadas; tomada en cuenta la intervención realizada por D. Arturo Vargas Machuca en el año 1992, junto con sus apreciaciones; estudiado el proyecto de recalce de cimentación llevado a cabo por el asiento diferencial de una pilastra y efectuado un seguimiento de la ejecución de la obra, llevada a cabo entre los años 2015 y 2016; recopilada información en cuanto a la forma, geometría, elementos constructivos y estructurales; y elaboradas las fichas de lesiones encontradas, con sus correspondientes análisis.

Es llegado a este punto, cuando nos encontramos en disposición de determinar que patologías que existen, abordando cada una de ellas de forma individualizada para su mejor estudio.

Como paso previo a la descripción de las patologías, destacar que el diagnóstico arquitectónico efectuado se define según la siguiente clasificación:

- Diagnóstico constructivo: se incluyen variables como la humedad, los materiales empleados, las fábricas, estructuras de madera, cubiertas, carpintería y cerrajería,...

La perduración de una estructura dañada tiene su origen y resolución en una serie de problemas constructivos. La posibilidad de que el edificio continúe en su deterioro pasa por la evolución de los daños que padecen los materiales constructivos y las fábricas.

- Diagnóstico estructural: Orientado a conocer el comportamiento del edificio, evaluando incluso el riesgo de posibles colapsos generales o parciales. El primer paso reside en la observación de las lesiones y las deformaciones, así como su seguimiento y comparación con la forma original.

La evaluación del estado de deformaciones en este caso, pasa por considerar un estado de origen en el que las construcciones se habrían levantado correctamente, es decir, muros aplomados, cornisas horizontales, arcos siguiendo una traza geométrica reproducible, en distintas escalas, desde el papel a la piedra, pilares alineados, y así sucesivamente.

5.1 Empujes laterales en muros.

Se trata ésta de una patología descrita en el año 1.992 por el arquitecto D. Arturo Vargas Machuca, quien hablaba el empuje producido por cerchas de madera que formaban la estructura de la cubierta, el mal estado de las mismas provocaba empujes sobre las bóvedas, con una presión en la clave de las mismas, lo que provoca que se transmitan empujes laterales en los muros. Dichas cerchas fueron sustituidas por otras de tipo metálico para solventar el problema. [12]

Las lesiones de las fichas número 7 y 8, podrían estar relacionadas con estos empujes laterales, ambas son grietas verticales en la parte alta de muros. Como diferencia, indicar que la lesión de la ficha número 8 aparece sellada y sin síntomas de actividad, mientras que la lesión de la ficha número 7 da importantes señales de movimiento.

La grieta de la ficha número siete, presenta una mayor anchura en la parte alta, disminuyendo a medida que nos alejamos la cubierta. Se trata de una lesión claramente compatible con un posible empuje lateral.

El no disponer de acceso a la parte alta de la Iglesia, no nos permite conocer la disposición de las cerchas y sus apoyos, no pudiendo ser contrastada esta hipótesis, o el planteamiento de alguna otra hipótesis alternativa. Pero por la relevancia de esta lesión, se estima necesario un estudio preciso de las causas que provocan la aparición de la lesión descrita en la ficha número 7.

5.2 Asientos diferenciales

5.2.1 Asiento diferencial en pilastra según proyecto de recalce de cimentación con fecha octubre de 2015

En el apartado de antecedentes del presente trabajo, se efectúa una descripción extendida del proceso de redacción del proyecto de recalce de cimentación, así como de la ejecución del mismo. Se incluye además, en el presente trabajo, el apartado “4.5.1. Fichas asociadas al asiento diferencial de una de las pilastras”, que incluye las lesiones identificadas asociadas a esta patología.

Como complemento a la información ya incluida y por el interés que tiene de cara al futuro comportamiento de la Iglesia, adjuntamos imagen con descripción de la zona recalzada con micropilotes (Figura 5.1).

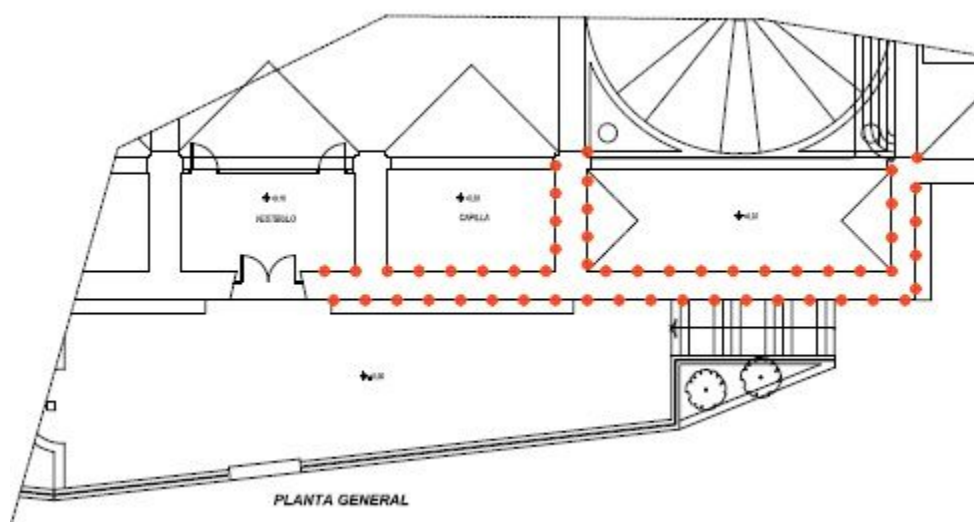


Figura 5.1: Zona recalzada con micropilotes. [12]

5.2.2 Lesión compatible con un nuevo asiento diferencial.

Resultado de la observación y análisis el edificio, se recoge en la ficha número 9 una lesión que aun no teniendo un importante desarrollo, requiere una especial atención y seguimiento por su compatibilidad con un posible asiento diferencial.

Según puede ser observada en la imagen incluida en la ficha número 9 y en la Figura 5.2, nos encontramos con una grieta, que por su disposición y trayectoria, es totalmente compatible con un posible asiento diferencial de la pilastra simétrica respecto de la ya intervenida mediante un recalde de cimentación por micropilotes. Esta simetría es una clara evidencia de los posibles daños que podrían volver a presentarse, hablamos de pilastras estructuralmente idénticas que soportan las mismas cargas.

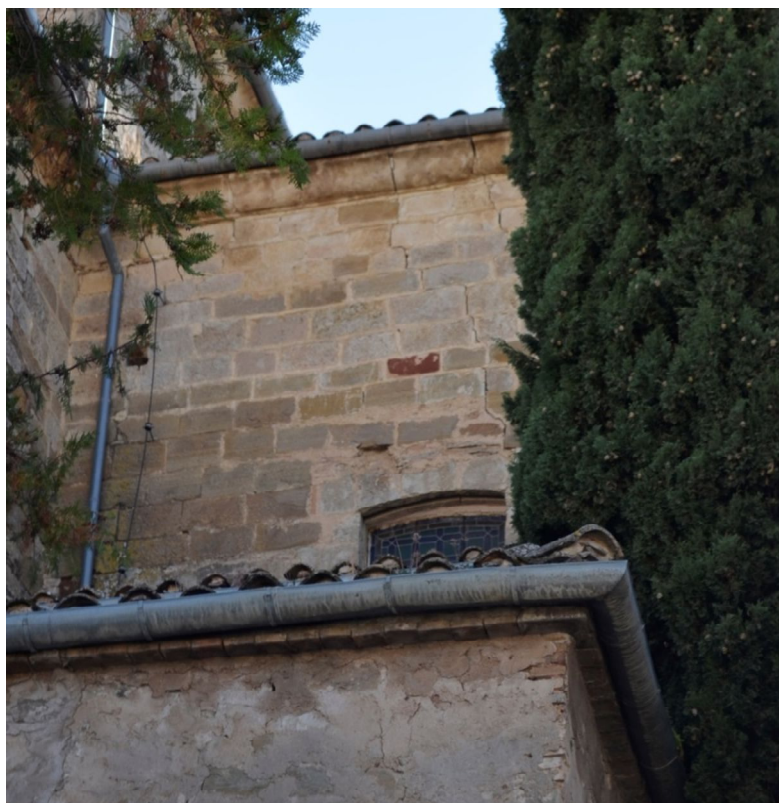


Figura 5.2: Grieta a 45 grados correspondiente a la ficha número 9.

5.3 Inclinación de pilastras y arco toral deformado

Para la redacción del presente trabajo, una de las tareas de recopilación de información, previo al análisis de lesiones y patologías, ha sido la toma de datos mediante técnicas topográficas, lo que nos aporta un conocimiento preciso de la forma y geometría de la Iglesia. Esta información queda recogida en la documentación gráfica adjunta en formato de planos.

Resultado de la medición de las pilastras para comprobar su verticalidad, nos encontramos con la falta de la misma en las pilastras comunes a la bóveda de crucero, lo que a su vez repercute en la alteración de la geometría inicial de los arcos torales, especialmente del arco toral identificado con el número tres en planos y al que ya se hace referencia en la ficha de lesiones número 3. La Figura 5.3 recoge el arco toral indicado en la ficha número 3 y las pilastras contiguas.

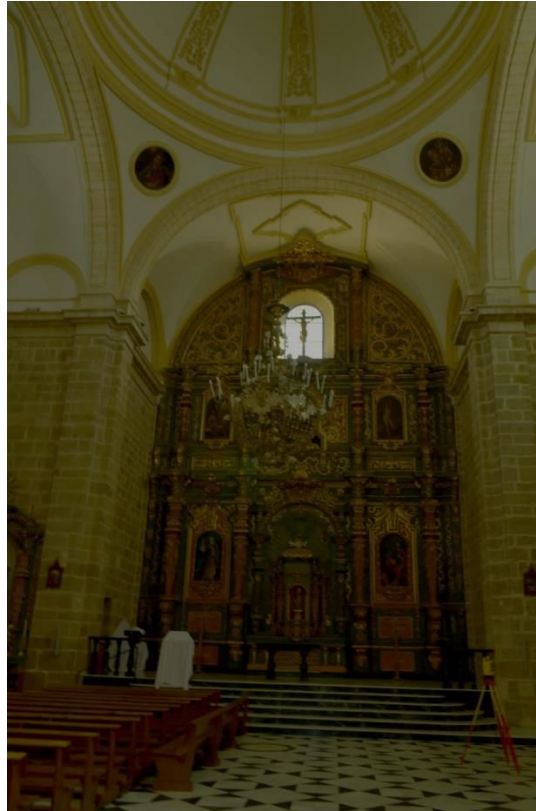


Figura 5.3: Arco total y pilastra contiguas al Altar Mayor.

Las conclusiones obtenidas son de gran interés, mereciendo por esta razón su enumeración y descripción precisa:

- Los arcos torales números dos y cuatro, simétricos, presentan a su vez una inclinación de las pilastras donde apoyan, que podrían considerarse iguales relacionando pilastras simétricas. La magnitud de las inclinaciones mencionadas es de 3 y 5 centímetros en un extremo, y de 7 y 8 centímetros en el otro. Pormenorizando:
 - La inclinación de pilastras se traduce en un aumento de la distancia entre los apoyos de los arcos torales dos y cuatro, de 4 y 3 centímetros respectivamente. A pesar de este distanciamiento entre apoyos, los arcos torales no presentan grietas entre las piedras que lo forman, visualmente manifiestan un buen estado estructural.
 - La inclinación de las pilastras comunes de los arcos torales dos y cuatro con el arco toral tres, ponen de manifiesto un desplazamiento del arco toral tres en una magnitud de 7-8 centímetros en sentido contrario al centro de la bóveda de cruce.
- Para el arco toral número tres, una de las pilastras presenta una desviación respecto de la vertical de 11 centímetros. Nos encontramos con un

distanciamiento entre apoyos, que se traduce en una irregularidad en la forma del arco presente cerca de la clave, observable a simple vista y registrada en la medición efectuada. Es más, esta zona deformada del arco, presenta una grieta entre dos de las piedras que lo forman, aparecida como consecuencia del asiento diferencial de la pilastra recalzada con micropilotes, esta grieta queda descrita en la ficha número tres del apartado de lesiones.

- Las mayores desviaciones respecto de la vertical se presentan en una misma pilastra, aquella donde confluyen los arcos torales tres y cuatro. Esta desviación es de 8 cm en una dirección y 11 cm en la dirección perpendicular a la anterior, ambas coinciden en el sentido, contrario al crucero.

Es común, tanto en bóvedas como en cúpulas que el origen de los daños derive de la descompresión generada por el movimiento de los muros, pilares o pilastras que reciben sus empujes, ya sea por el desplome lateral de los propios muros o por el descenso proveniente de un asiento diferencial. También es cierto que el exceso de sobrecarga o su propia debilidad pudieran ser las causas de las lesiones que pudieran aparecer.

Por último, cabe destacar que las reseñas históricas ya recogen la caída de bóvedas en dos ocasiones, lo que unido a las conclusiones de deformaciones obtenidas a partir de las medidas topográficas, presentan esta zona del edificio como zona de especial inestabilidad con riesgos importantes a nivel estructural.

5.3.1 Arco toral deformado

En concreto, será en relación al arco toral junto al Altar Mayor, el identificado con el número 3 en los planos, respecto del cual se desarrolle el presente apartado. Su manifiesta deformación, apreciable principalmente en la clave del mismo, así como la aparición de grietas por distensión entre las piedras que lo forman como consecuencia del asiento diferencial producido en una de las pilastras, nos plantea una cuestión tan vital como la de conocer su estabilidad y la evaluación del riesgo de colapso. La Figura 5.4 muestra un detalle del arco toral junto al Altar Mayor.



Figura 5.4: Arco total junto al Altar Mayor.

5.3.1.1 Estabilidad en arcos

Como ya ha sido mencionado, el arco al que nos referimos es un arco toral, que vienen a ser cada uno de los cuatro arcos que sostienen una cúpula, un cimborrio o un tramo central del crucero.

El arco de dovelas da lugar a fuerzas verticales y horizontales, y requiere por tanto apoyos rígidos. Cuando el apoyo es sobre una columna esbelta, el empuje horizontal se podrá contrarrestar con el arco siguiente o con la construcción de contrafuertes, según el caso.

El mecanismo de trabajo de un arco se basa en la presión que unas dovelas ejercen sobre otras, transmitiendo los esfuerzos, aumentando el rozamiento e impidiendo que deslicen.

Para un arco de sección límite se producen tres articulaciones, pasando la línea de empujes por el intradós en los estribos y por el trasdós en la clave. Ver Figura 5.5.

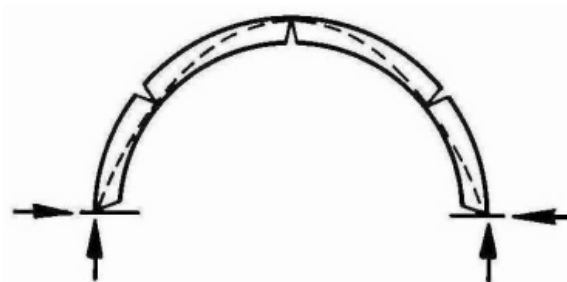


Figura 5.5: Mecanismo de colapso. [3]

Con la posición de la línea de empujes definida, se puede calcular el empuje horizontal sobre el estribo, que es el mínimo necesario para garantizar la estabilidad del arco (la reacción del estribo no puede ser menor sin que el arco colapse). En caso de que los estribos se acercasen, variaría el tipo de agrietamiento, con rótulas en el trasdós de los arranques y en el intradós de dos secciones próximas a la clave, determinándose el empuje máximo que es capaz de soportar el arco. Ver Figura 5.6.

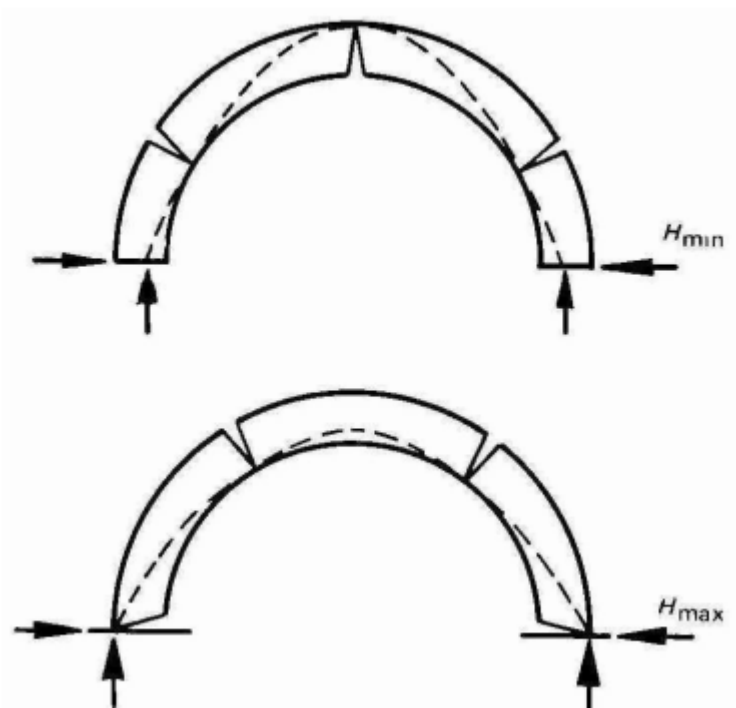


Figura 5.6: Empujes mínimo y máximo en un arco de dovelas. [3]

5.4 Deficiencias en la cimentación.

Este apartado tiene su origen en la observación de las diferentes lesiones existentes compatibles muchas de ellas con oquedades en el terreno, alteración de las condiciones del terreno, presión excesiva sobre el terreno,...Todas ellas altamente relacionadas con la cimentación, el terreno y la interacción entre ambos.

Cabe recuperar en este punto un texto extraído de la tesis redactada por Doña María Jesús Casati Calzada y titulada: *“Influencia del comportamiento de la fábrica en la sensibilidad estructural de las catedrales góticas. Aplicación del estudio a la catedral de León”*. El texto citado dice así:

“Se deberá prestar atención, al hecho de que, con frecuencia, no hay una sola causa, sino una combinación de ellas, de orígenes diferentes, cuyo alcance y consecuencias deberán tenerse muy presentes para no incurrir en errores en el análisis

estructural y en la interpretación de la auscultación. De lo contrario se corre el riesgo de plantear propuestas de actuaciones incompatibles o incluso contraproducentes. Por ejemplo, puede ser el caso de reparaciones que concluyan en nuevos daños por incompatibilidad de rigideces entre elementos estructurales, o el empleo de materiales cuya reacción química con el sustrato produzca nuevos y nocivos compuestos.”

Compartiendo el criterio de la existencia con frecuencia, de diferentes causas para un mismo daño o lesión, el presente apartado pretende contribuir a ampliar la conclusión emitida en el proyecto de recalce de la cimentación, donde se recoge: *“Y el único factor que puede estar relacionado es la presencia de dos cipreses próximos a los sectores dañados”*.

Se desarrollan a continuación algunas causas.

- OQUEDADES EN EL TERRENO

Resultado de las primeras visitas a la iglesia por parte de técnicos intervinientes en la ejecución del recalce de cimentación, se observan importantes humedades en los muros de carga, principalmente en zonas próximas a la pilastra protagonista en el asiento diferencial. Se procede a la auscultación con georadar del subsuelo, detectándose una oquedad a escasa distancia de la pilastra indicada.

Con el fin de poder estudiar en detalle la oquedad observada, es autorizada la ejecución de una cata que deja finalmente al descubierto una antigua canalización respecto de la cual se adopta la decisión de sellarla. En las Figura 5.7 y 5.8 queda registrada la canalización descrita.



Figura 5.7: Ubicación de canalización encontrada dentro de la cata.



Figura 5.8: Detalle de la canalización encontrada dentro de la cata.

- TIPOLOGÍA DE CIMENTACIÓN

- *Tipología de cimentaciones en edificios históricos*

Las tipologías de cimentaciones en edificios históricos se pueden clasificar en:

1. Cimentación sobre roca o suelo suficientemente sólido. La base de los muros queda fija a la roca.
2. Zapatas corridas en suelos poco resistentes. La carga es transmitida por medio de una zapata horizontal de mayor superficie que la sección de la columna. Ver Figura 5.9.

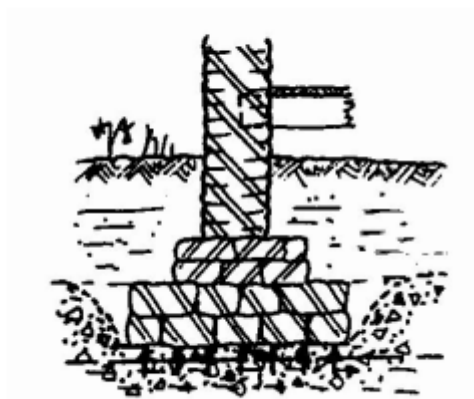


Figura 5.9: Zapata. [3]

3. Cimentación mediante pilotes de madera. Necesaria cuando al profundizar la cimentación no se encontraba suelo resistente.

- *Tipología de cimentación en la Iglesia de San Andrés:*

La ejecución de la cata descrita acaba siendo una fuente de información de gran importancia, que no solo nos aportará conocimiento acerca de la historia de la iglesia o permitirá abordar correcciones necesarias, sino que además deja al descubierto una información tan relevante como la tipología de la cimentación en ese lugar, que como hipótesis podría ser extrapolada al resto del edificio.

La Figura 5.10 recoge una perspectiva total de la excavación, de la que posteriormente serán aportadas imágenes de detalle que serán de utilidad para la emisión de conclusiones.



Figura 5.10: Perspectiva de la cata excavada.

En la parte superior de la Figura 5.10, observamos la base de la pilastra que ha sufrido el asiento diferencial. En el centro de la excavación, aparece un zuncho de piedra que une pilastras simétricas. A la derecha y a la izquierda del zuncho, bajo la pilastra, observamos el tipo de cimentación ejecutada.



Figura 5.11: Estructura de la cimentación a la izquierda del zuncho.



Figura 5.12: Estructura de la cimentación a la derecha del zuncho.

Resultado de la observación de las Figuras 5.11 apreciamos la existencia de piedras irregulares dispuestas a modo de relleno, que según los estudios arqueológicos podrían pertenecer a un antiguo templo existente. En la Figura 5.12, observamos como la pilastra apoya directamente sobre el terreno existente, no se aprecia cimentación.

Por las características del terreno y atendiendo a las tipologías de cimentaciones en edificios históricos, la solución de zapata corrida habría sido la solución más adecuada. Sin embargo, no es una zapata corrida la tipología de cimentación encontrada, observamos piedras a modo de relleno y tierra bajo la pilastra.

La inexistencia de una tipología concreta de cimentación, nos alerta de los riesgos que esto puede conllevar para la estabilidad estructural del edificio.

6 MODELADO Y ANÁLISIS POR EL MÉTODO DE ELEMENTOS FINITOS

Para el análisis más detallado de la Iglesia de San Andrés se recurre a la aplicación del método de elementos finitos. Se trata de un método numérico con aplicación en la resolución de problemas de Mecánica de Sólidos, entre otro gran número de disciplinas.

Transmitiendo una idea básica, el método de elementos finitos permite sobre un determinado sólido sometido a unas determinadas hipótesis de carga y condiciones de contorno, dividirlo en pequeños elementos interconectados entre sí a través de los nudos que los definen. El campo de desplazamiento en el interior de cada elemento puede ser expresado en función de los desplazamientos de los nudos. Con posterioridad, para cada elemento es posible determinar su matriz de rigidez, que ensambladas, permitirán determinar los desplazamientos en los nudos de cada elemento para a continuación, poder determinar tensiones y deformaciones en el interior de los elementos.

Distinguimos tres fases bien diferenciadas en la resolución mediante el método de los elementos finitos:

- Pre-proceso: implica la generación del modelo para su posterior cálculo, e incluye la geometría de la estructura, las propiedades del material y las condiciones de contorno. En este trabajo se ha empelado el programa Autocad 2017 para la delineación de la geometría, a la que una vez importada en Cype 3D y mediante este programa, se le incluyen las propiedades del material y las condiciones de contorno.
- Cálculo: efectuado desde el programa Cype 3D.
- Post-proceso: salidas gráficas o numéricas que contienen la distribución de tensiones, desplazamientos, reacciones, etc...

6.1 Pre-proceso

Describimos en este apartado la secuencia que nos lleva a tener definida la geometría de la estructura en el programa Autocad 2017 y su posterior importación en Cype 3D, donde definir las propiedades del material y las condiciones de contorno.

6.1.1 Autocad 2017

La definición del modelo en Autocad requiere haber recabado la información necesaria de la geometría del edificio, información obtenida mediante mediciones topográficas realizadas in situ, que nos aportan un conocimiento preciso de las características geométricas de cada elemento, como pilastras, muros, arcos,....

El modelo 3D abarca la zona de la iglesia más sensible desde un punto de vista estructural, de acuerdo al diagnóstico efectuado.

Puesto el programa en funcionamiento, se selecciona como espacio de trabajo “*Modelado 3D*” y se procede al dibujo de las aristas de los elementos que componen la estructura haciendo uso de la herramienta “*Línea*”.

Se representa en primer lugar una proyección en planta de la zona a modelar, que nos servirá de referencia para la representación posterior en tres dimensiones. La figura 6.1 contiene la proyección en planta de los ejes de los elementos estructurales y aristas de las pilastras a representar.

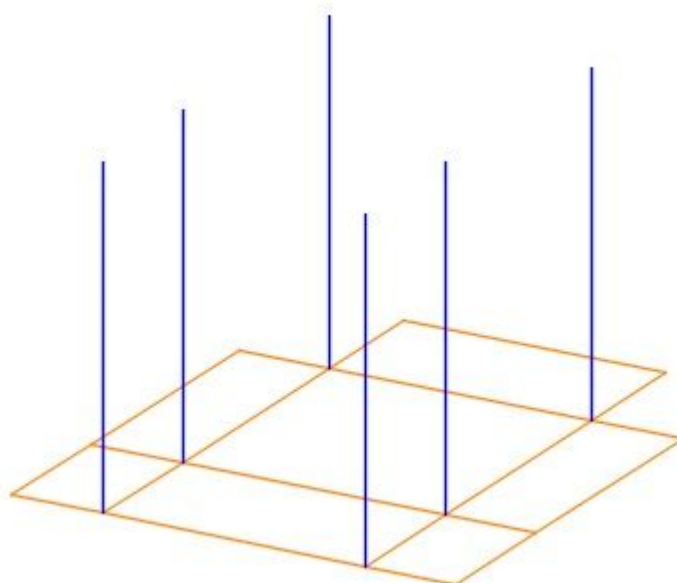


Figura 6.1: Proyección en planta de la estructura y representación de aristas de pilastras.

Uno a uno, son dibujados cada uno de los elementos lineales que definen el contorno de los elementos a representar. Finalizado este proceso de delineación, obtenemos como resultado el recogido en la figura 6.2.

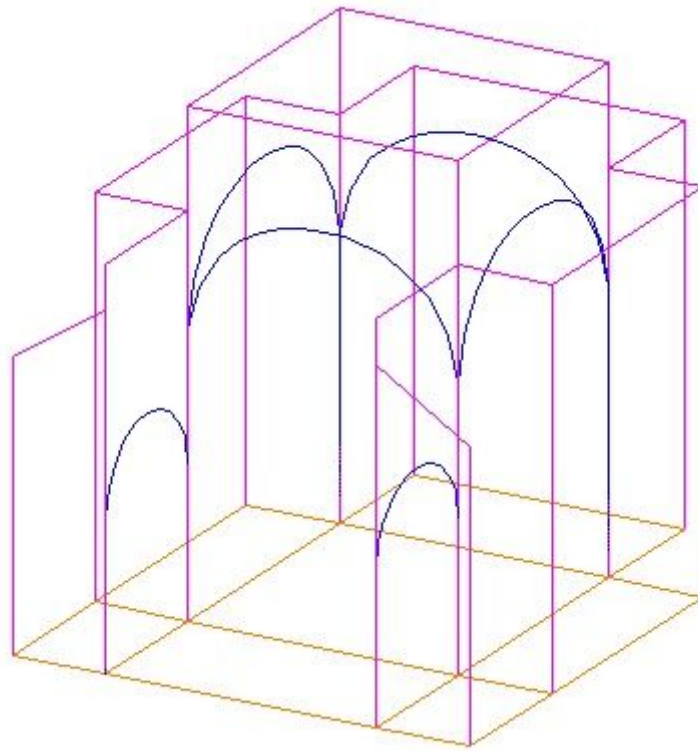


Figura 6.2: Modelo 3D del edificio generado en Autocad mediante la herramienta “Línea”.

Es este resultado, el que será trasladado a Cype 3D mediante la herramienta de importación desarrollada a este efecto.

Las figuras 6.3, 6.4, 6.5 y 6.6 aportan varias perspectivas del modelo 3D generado en Autocad, completado para su mejor visualización haciendo uso de la herramienta “3dcara”.

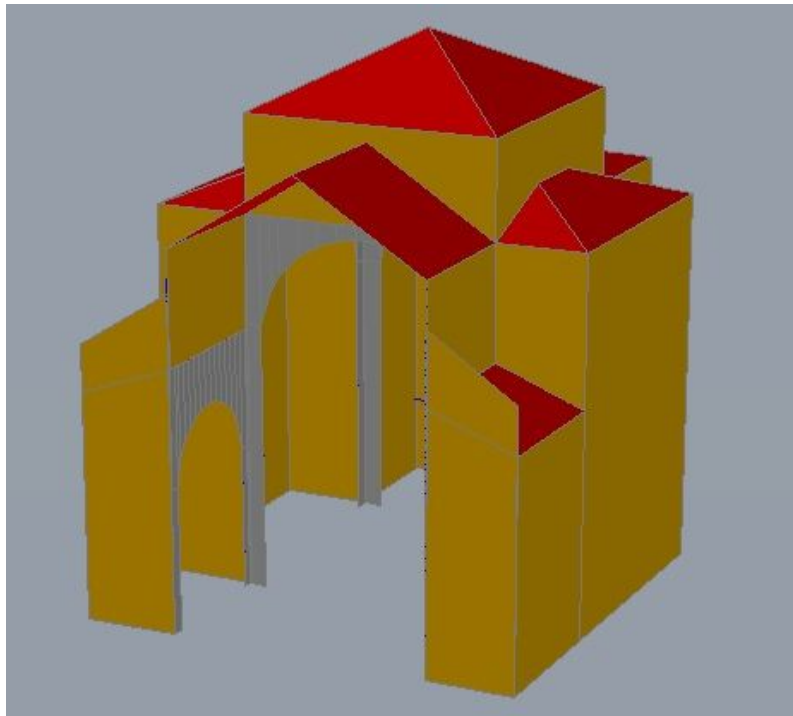


Figura 6.3: Perspectiva 1

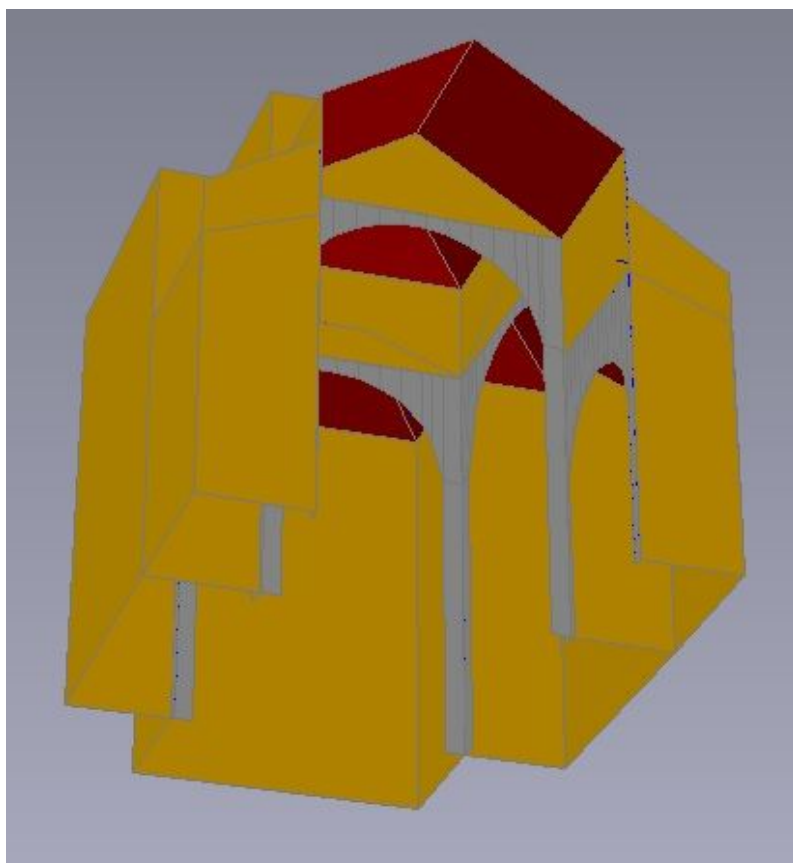


Figura 6.4: Perspectiva 2

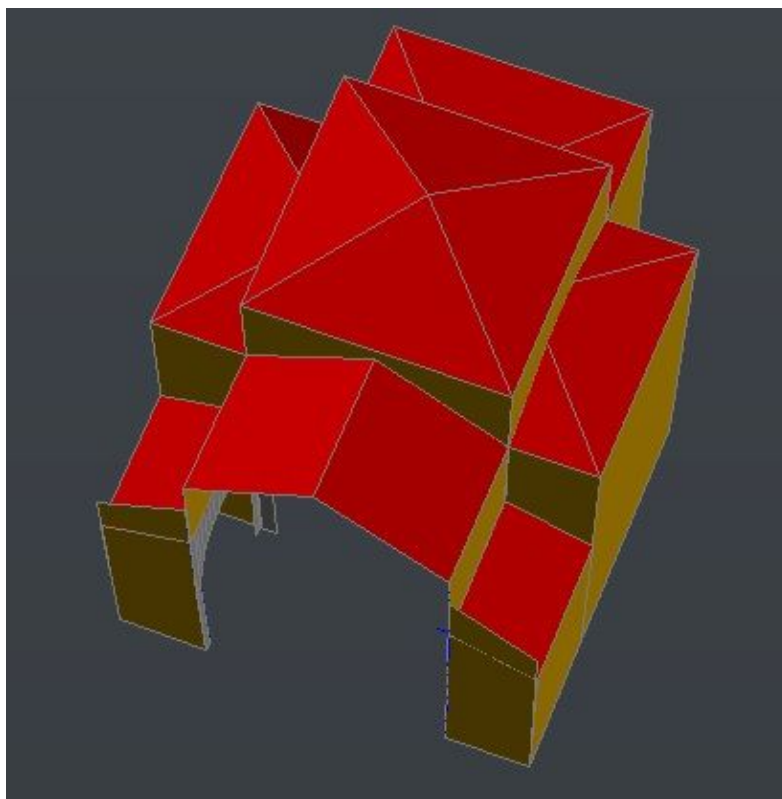


Figura 6.5: Perspectiva 3

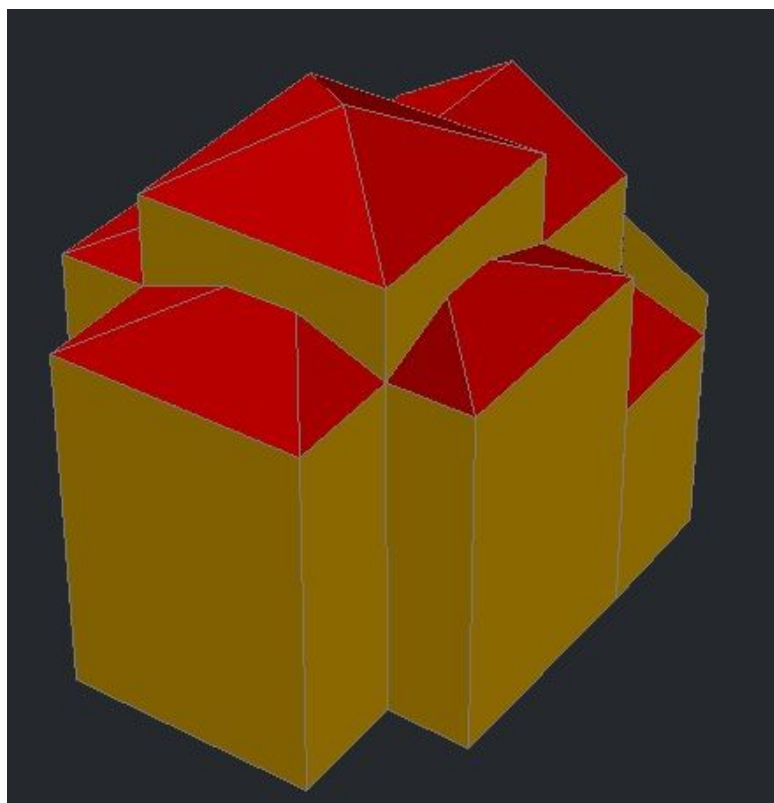


Figura 6.6: Perspectiva 4

6.1.2 Cype 3D

Definida la geometría del edificio en Autocad, el proceso continua sus pasos con ayuda del programa Cype 3D. Se irán describiendo en lo sucesivo cada una de las tareas llevadas a cabo en este programa, todas estas incluidas dentro de la denominada fase de pre-proceso, sin entrar por tanto, en la fase de cálculo.

En primer lugar, efectuamos la importación del modelo generado con anterioridad, mediante la herramienta “*Importar ficheros DXF y DWG*”. La figura 6.7 muestra el entorno gráfico del programa para la importación de ficheros DXF y DWG.

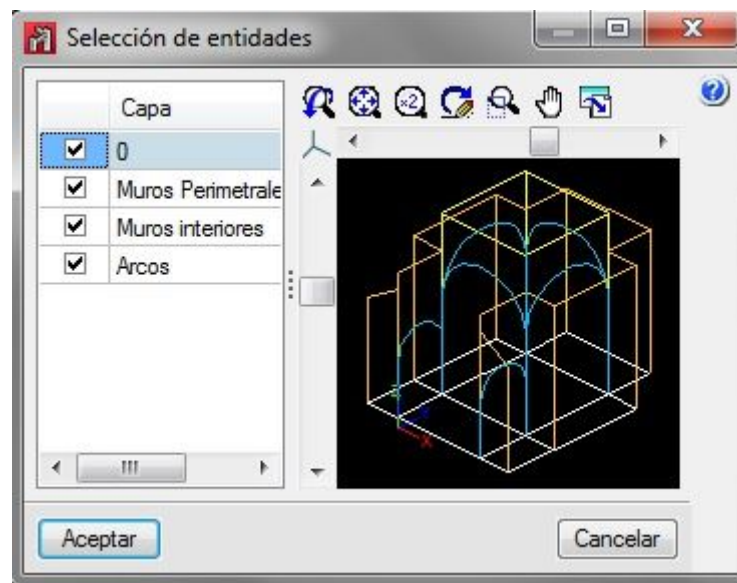


Figura 6.7: Importación de ficheros DXF y DWG

Una vez incorporados los datos anteriores, se procede a la definición mediante láminas de los elementos que componen la estructura, nos referimos a muros, pilastras y arcos. La figura 6.8 muestra el resultado obtenido tras la delineación de todas las láminas.

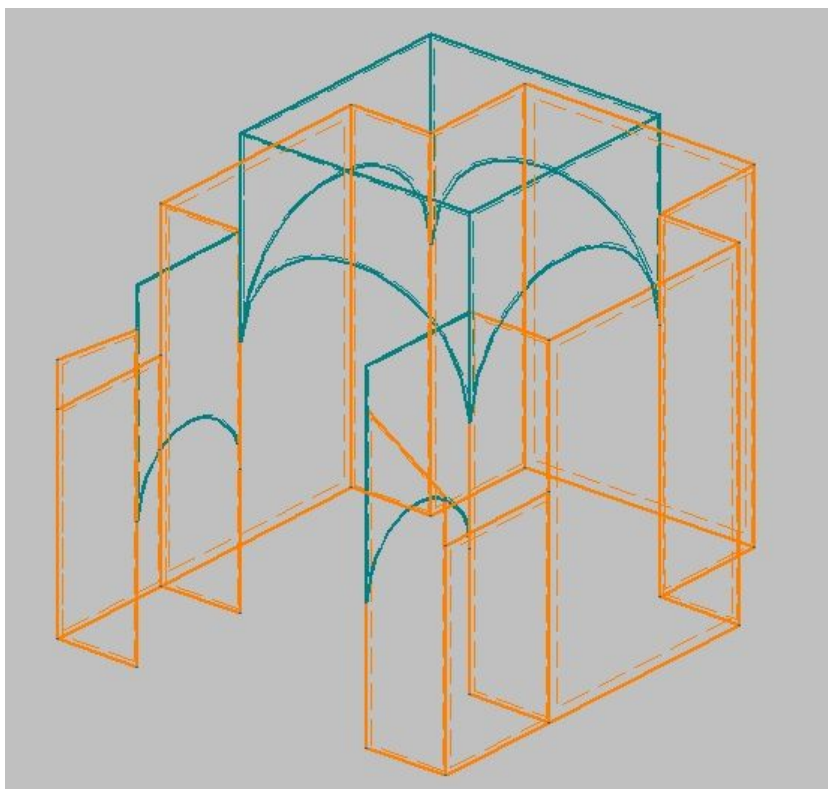


Figura 6.8: Láminas definidas en Cype3D

La definición de cada lámina conlleva, además de su representación gráfica, la descripción del material que la forma. En nuestro caso, optamos por seleccionar la opción “*Genérico*” ofrecida por el programa, quedando nuestro material definido por las siguientes variables:

- Espesor de la lámina: diferente para cada muro y cada pilastra, datos obtenidos a partir del levantamiento topográfico.
- Módulo de elasticidad: 4000 MPa
- Coeficiente de dilatación: 0,000012 m/m°C
- Peso específico: 23 kN/m³
- Módulo de Poisson: 0,15

Dado que el modelo únicamente contempla la acción del peso propio y de desplazamientos impuestos sobre la estructura, la definición de estos parámetros es de particular importancia.

La figura 6.9 muestra la ventana empleada para incorporar estos datos al programa.

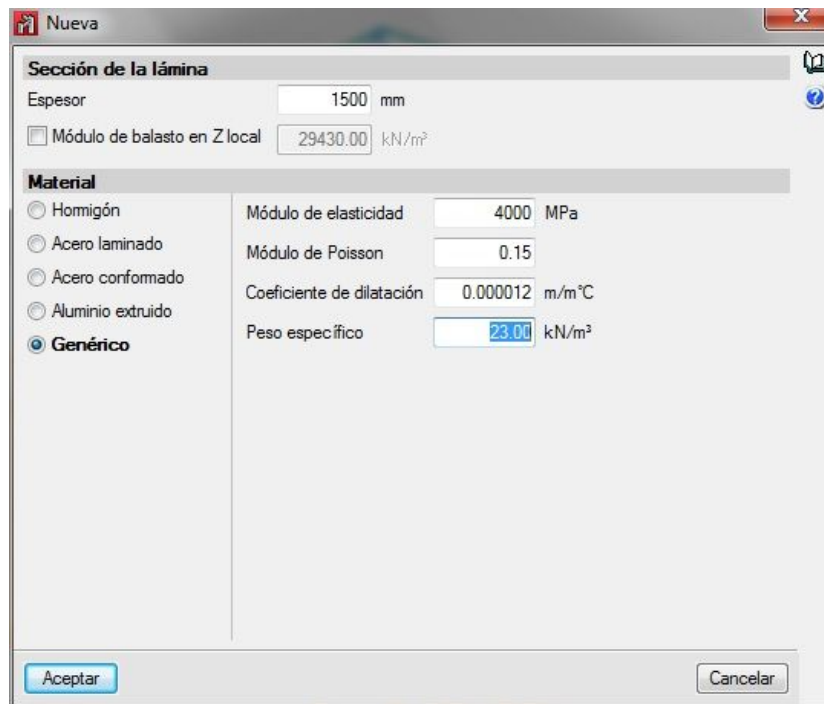


Figura 6.9: Incorporación en Cype3D de las características del material que componen las láminas.

Con vistas a conseguir una representación homogénea de resultados una vez efectuado el cálculo del modelo, es necesario establecer un único criterio para la asignación del sistema local de coordenadas. En nuestro caso, el eje Y local coincide en dirección y sentido con el eje Z global; el eje Z local, es perpendicular a las láminas con sentido hacia el exterior. La figura 6.10 representa el sistema local definido para cada lámina siguiendo el criterio establecido.

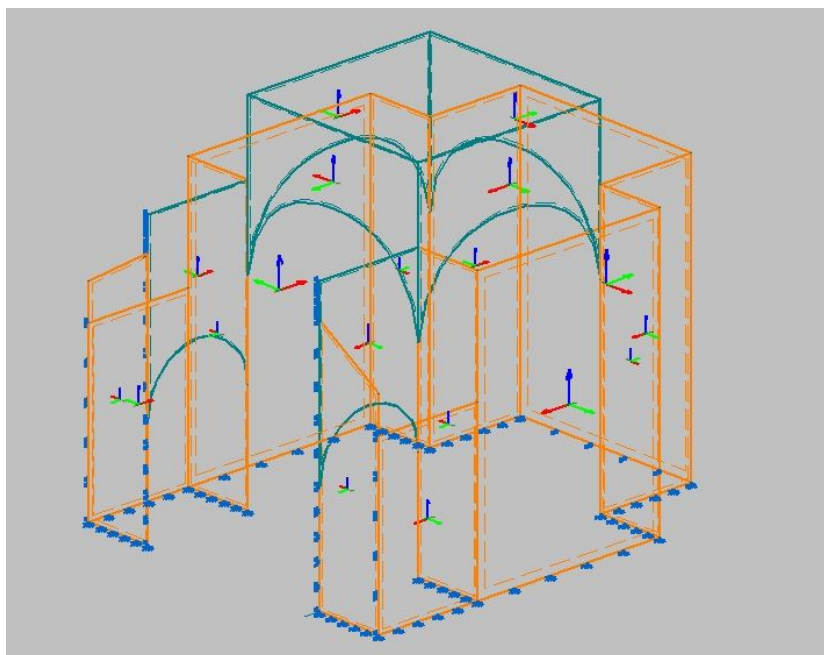


Figura 6.10: Sistemas de referencias locales.

Queda una última definición, previa al proceso de cálculo, las vinculaciones exteriores que poseerá el modelo. Estas vinculaciones no serán exactamente iguales para cada uno de los análisis que se realizarán a continuación, por tanto, describimos ahora aquellos aspectos de la vinculación exterior que serán comunes en todos los casos.

El hecho de dibujar un modelo parcial de la iglesia, nos lleva a definir vinculaciones exteriores en las aristas de dos de las láminas donde se interrumpe la continuidad del edificio. La vinculación seleccionada fija desplazamientos en X e Y, dejando libre los desplazamientos en Z. La figura 6.11 muestra un detalle de la representación gráfica de la vinculación exterior.

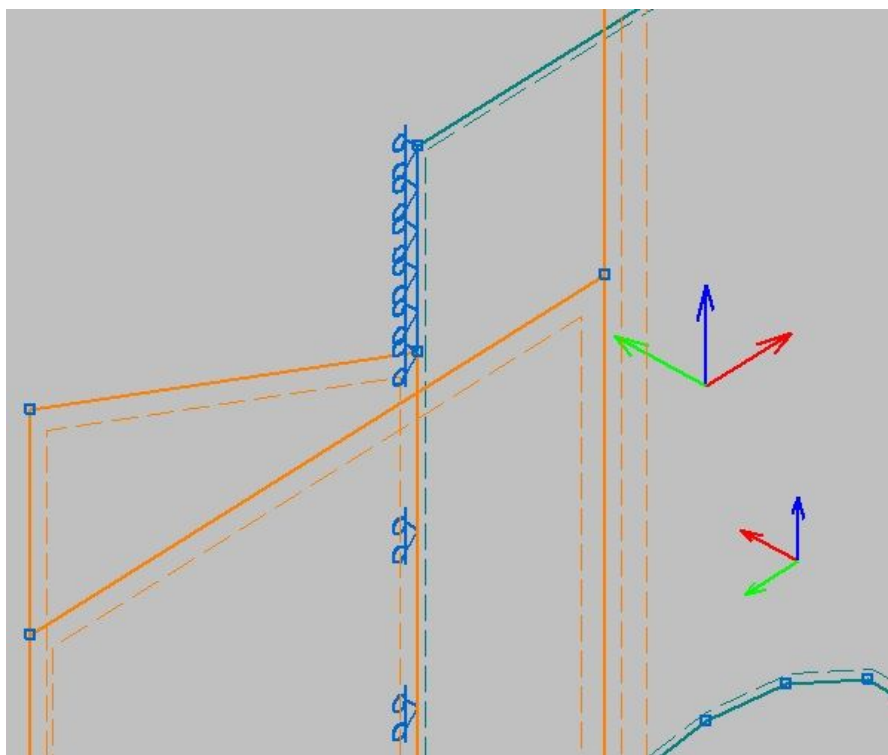


Figura 6.11: Vinculaciones exteriores en láminas donde se interrumpe la continuidad del edificio.

En última instancia, previo al cálculo, se incorpora la interacción entre el terreno y la estructura. Es aquí donde diferirán los posteriores análisis a realizar, ya que poseerán diferentes puntos de partida para abordar diferentes objetivos. Concretando, las diferencias procederán respecto de la vinculación exterior asignada a las láminas en su contacto con el terreno, bien asignándoles un comportamiento elástico o un comportamiento fijo.

Mediante una vinculación exterior fija en todas las variables, impediremos todos los desplazamientos y giros posibles, será esta vinculación utilizada para la zona del modelo afectado por el recalce de la cimentación.

Mediante una vinculación exterior elástica en Z, conseguimos reflejar la interacción entre el terreno y la estructura. Se recurre al modelo de Winkler, que representa el suelo como un sistema de resortes lineales, bajo la suposición de que las presiones de contacto son proporcionales a las deformaciones.

De la tabla 6.1 proporcionada por el servicio técnico de Cype, seleccionamos el coeficiente de balasto de acuerdo a nuestro tipo de terreno:

Terreno	K (kg/cm ³)
Arcilla arenosa húmeda	2-3
Arcilla arenosa seca	6-8
Grava arenosa fina	8-10
Grava arenosa seca	15-20

Tabla 6.1: Coeficientes de balasto.

Teniendo en cuenta el tipo de material que de manera natural forma el suelo donde se asiente la iglesia, el valor seleccionado es de 3 kg/cm³.

El modo de incorporar al programa el comportamiento elástico descrito en la interacción entre estructura y suelo, requiere como paso previo conocer la superficie de apoyo de las pilastras y los muros. Resultado de multiplicar estas superficies por el coeficiente de balasto, obtendremos un valor para cada elemento en unidades kN/m, será este el valor que introduciremos. La figura 6.12 contiene el entorno gráfico proporcionado por el programa para la definición de las vinculaciones exteriores.

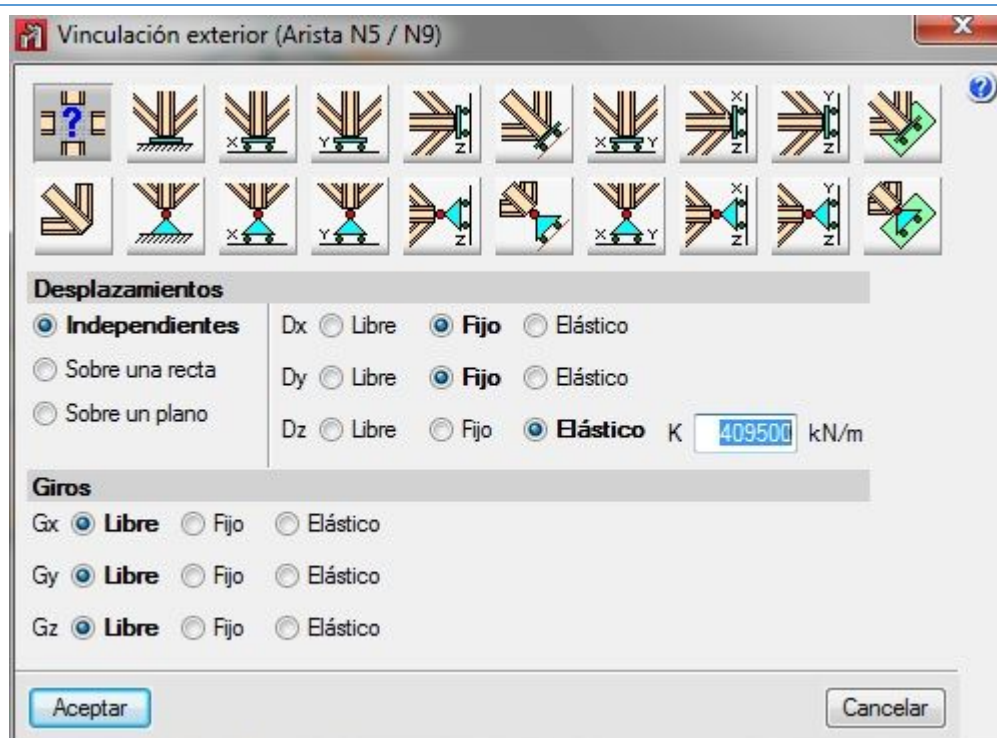


Figura 6.12: Definición de vinculaciones exteriores.

6.2 Análisis por el método de elementos finitos de la Iglesia con antelación al asiento diferencial.

Se trata de abordar en este apartado la situación inicial de la iglesia, previo al asiento diferencial producido, con la finalidad de tener un conocimiento más preciso de la estructura que nos ayude a entender los procesos que han tenido lugar y los que puedan llegar a ocurrir.

En este caso, todas las vinculaciones exteriores en la base del edificio tendrán un comportamiento elástico en el eje Z, de acuerdo al procedimiento descrito en el apartado anterior.

Efectuado el cálculo del modelo, obtenemos una serie de representaciones gráficas que nos ayudan a entender el comportamiento de la iglesia. Se recopilan a continuación acompañadas de comentarios.

La figura 6.13 muestra la deformada del edificio, nos proporciona una visión global de las zonas más y menos sensibles a ser deformadas dentro de la estructura, como resultado de sus características y su interacción con el terreno. Las deformaciones aumentan a medida que subimos en altura, alcanzando sus mayores valores en los arcos torales y los muros que sustentan, dentro de estos, aumenta la deformación al acercarnos hacia el punto medio entre apoyos. Particularizando para los distintos arcos

torales, es el más alejado del altar mayor el que concentra los mayores valores del global de la estructura.

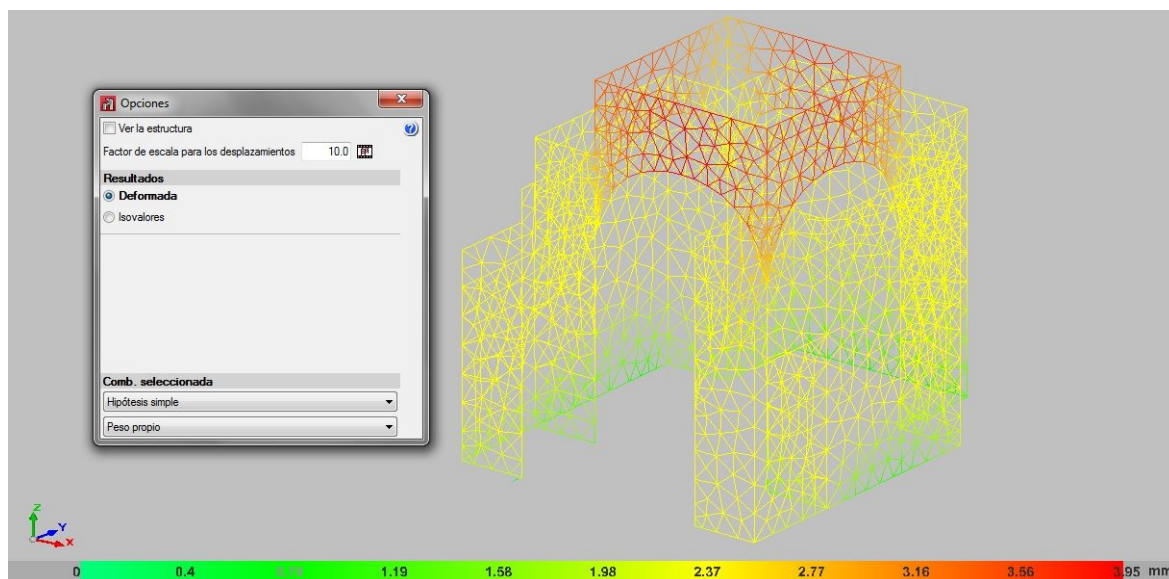


Figura 6.13: Deformada

En sintonía con los comentarios efectuados en base a la deformada, la figura 6.14 muestra como aumentan los desplazamientos en Z de forma análoga a como aumentan las deformaciones representadas en la gráfica anterior.

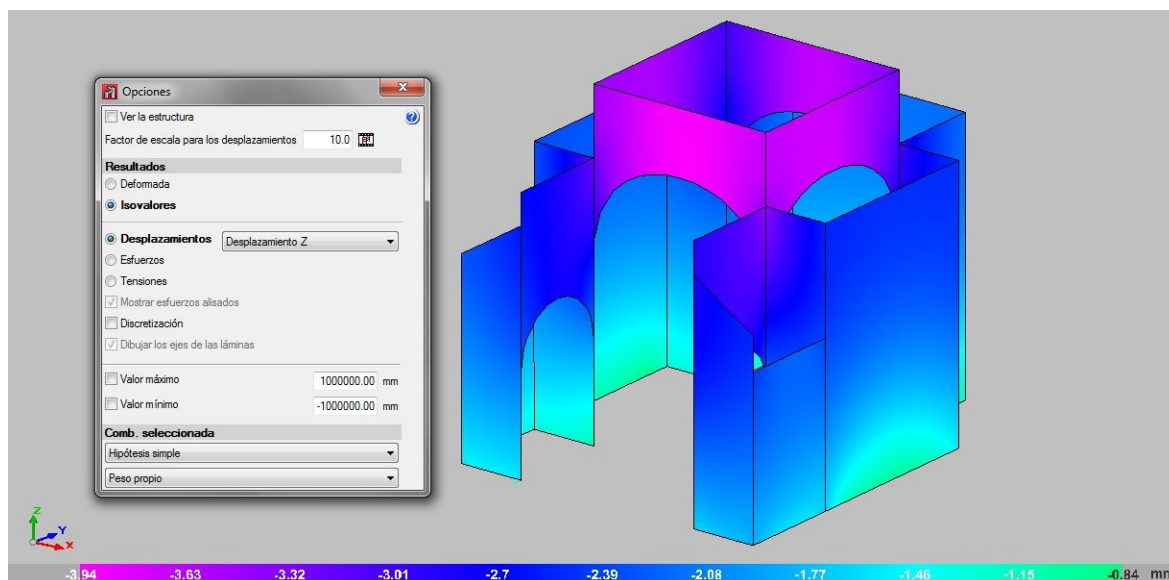


Figura 6.14: Desplazamientos en Z

Las tensiones normales en Y (Figura 6.15), de forma simplificada, aumentan al descender en altura por el aumento del peso propio soportado. Cabe hacer una mención especial a los puntos donde los arcos existentes transmiten la carga soportada a las pilastras, con valores tensionales más elevados.

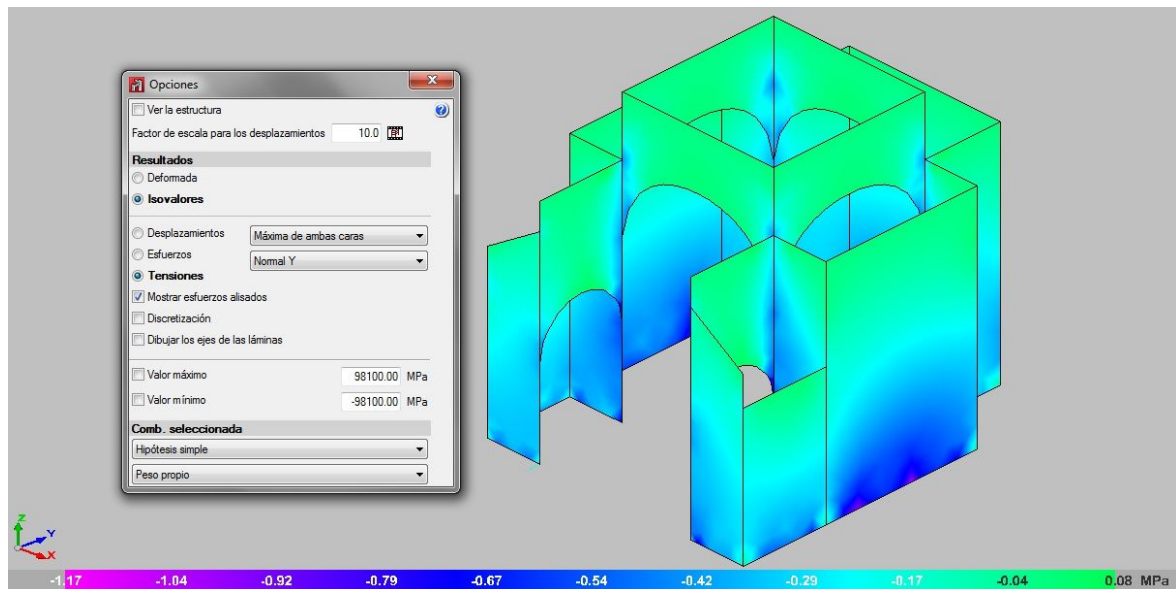


Figura 6.15: Tensiones normales en Y

Las tensiones normales en X (Figura 6.16) son tensiones imprescindibles para la estabilidad del arco, de especial interés son los mayores valores de tensión a compresión localizadas sobre los arcos torales y en los puntos de conexión de los arcos torales con las pilastras. Las pilastras colaboran en la estabilidad del arco oponiéndose a su apertura.

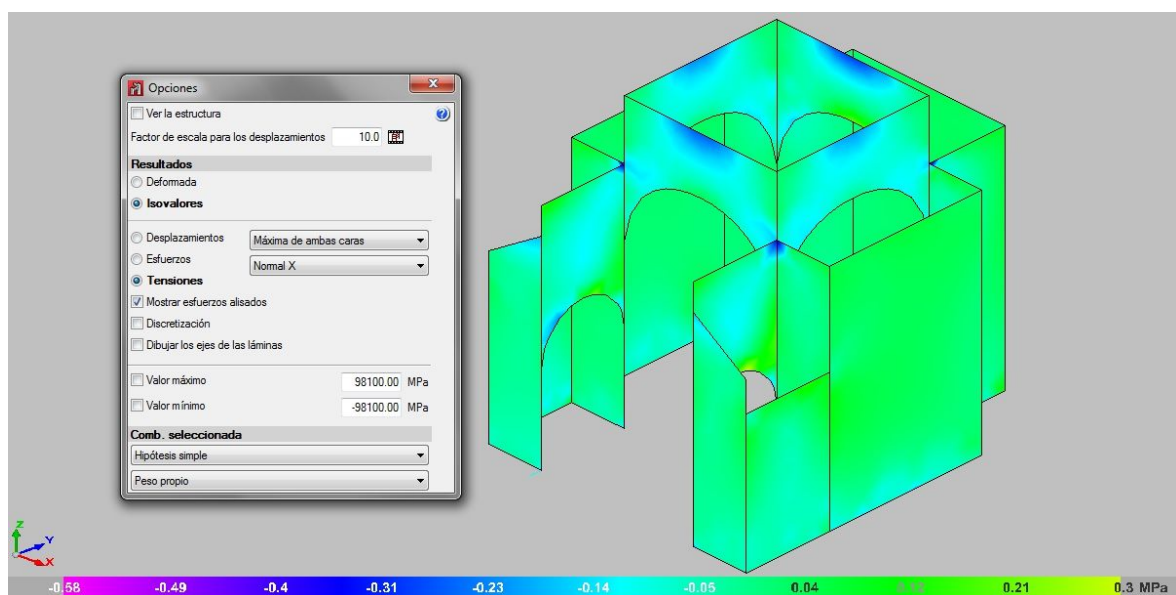


Figura 6.16: Tensiones normales en X

6.2.1 Comprobación de la presión admisible y presión de hundimiento.

Conocidas las deficiencias en la cimentación de la iglesia y con el objeto de evaluar de forma objetiva su estabilidad, se procede en este apartado a efectuar una comparativa entre los valores de tensión obtenidos en el apartado anterior respecto a la presión admisible del terreno y la presión de hundimiento.

La presión admisible del terreno y la presión de hundimiento, son proporcionadas por el estudio geotécnico vinculado al proyecto de recalce de cimentación, el método seguido es el propuesto por Brinch Hansen (1961 y 1970), recogido en el Código Técnico de la Edificación. En concreto, los valores calculados corresponden a la pilastra que ha sufrido el asiento diferencial y al muro de carga contiguo, por tanto, las conclusiones emitidas irán asociadas a estos elementos de la iglesia. La tabla 6.2 contiene los valores reflejados en el estudio geotécnico.

CIMENTACIÓN	CONDICIONES DE HUNDIMIENTO			
	Corto plazo		Largo plazo	
	Presión de hundimiento (kp/cm ²)	Presión admisible (kp/cm ²)	Presión de hundimiento (kp/cm ²)	Presión admisible (kp/cm ²)
Pilastra	0,95	0,34	2,39	0,83
Muro de carga	0,91	0,32	2,25	0,78

Tabla 6.2: Condiciones de hundimiento extraídas del estudio geotécnico.

La presión ejercida por el edificio sobre el terreno, es extraída del modelo calculado por el método de elementos finitos. Mediante la representación gráfica en isovalores de las tensiones normales en Y que se acumulan en la zona de contacto con el terreno, extraemos los valores que compararemos con los proporcionados desde el estudio geotécnico.

La figura 6.17 muestra detalle del modelo para la zona concreta de la pilastra, apreciándose la distribución de tensiones producidas por el peso propio del edificio. Observamos valores de hasta -1,17 MPa.

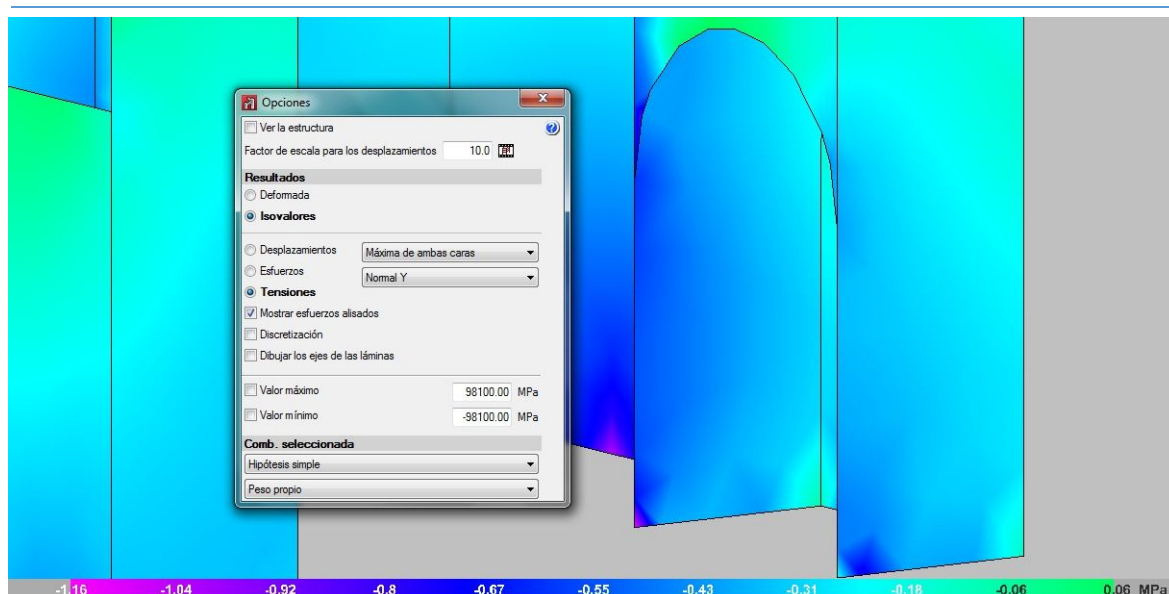


Figura 6.17: Tensiones normales en Y para la pilastra.

La figura 6.18 muestra detalle del modelo para la zona concreta del muro de carga contiguo a la pilastra que sufre el asiento diferencial, apreciándose la distribución de tensiones producidas por el peso propio del edificio. Observamos valores de hasta -1,16 MPa.

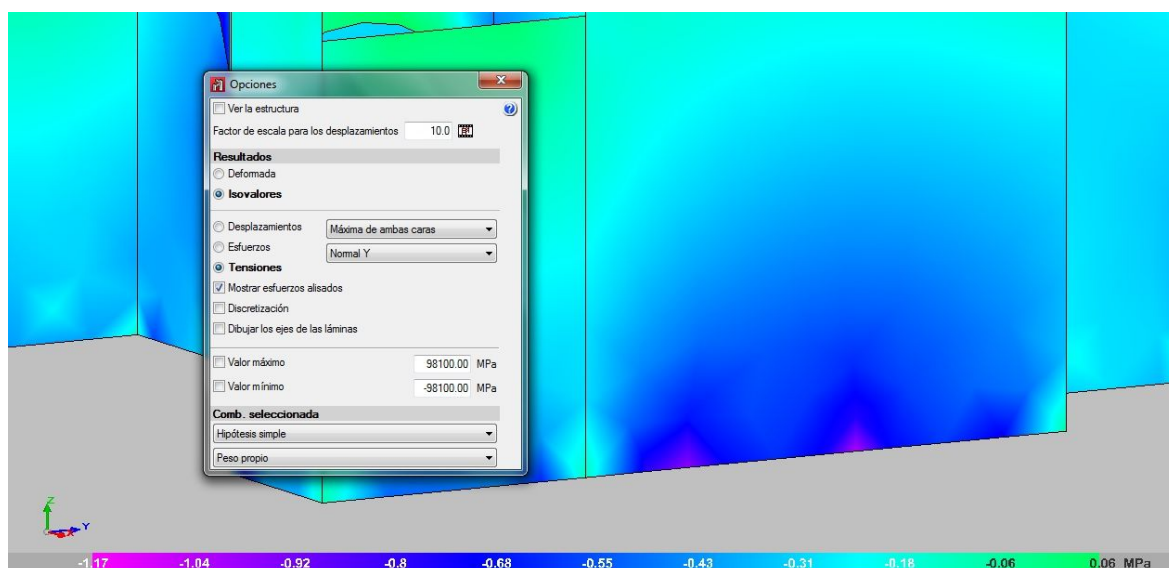


Figura 6.18: Tensiones normales en Y para muro de carga.

Estas tensiones en Y son asimilables a la presión ejercida por la estructura sobre el terreno, que es la presión que se necesita para la comprobación de las condiciones de hundimiento.

Finalmente, la tabla 6.3 presenta una recopilación de valores de presión:

CIMENTACIÓN	CONDICIONES DE HUNDIMIENTO				Presión neta aplicada por el cimiento (MPa)
	Corto Plazo		Largo plazo		
	Presión de hundimiento (MPa)	Presión admisible (MPa)	Presión de hundimiento (MPa)	Presión admisible (MPa)	
Pilastra	0,95	0,34	2,39	0,83	1,16
Muro de carga	0,91	0,32	2,25	0,78	1,17

Tabla 6.3: Condiciones de hundimiento y presión neta aplicada al cimiento.

De la observación del cuadro recopilatorio, se aprecia que la presión neta aplicada por el cimiento supera las presiones admisibles a corto y largo plazo, además de la presión de hundimiento a corto plazo.

A pesar de las desfavorables conclusiones que podrían ser emitidas de la comparación con las presiones a corto plazo, estas no deben ser tenidas en cuenta por la antigüedad del edificio, se considera que el proceso de consolidación ha finalizado.

Respecto de las presiones a largo plazo, la presión neta aplicada por el cimiento supera la presión admisible, pero queda lejos de alcanzar los valores de la presión de hundimiento.

Analizando las consecuencias de esta última comparativa, podemos concluir que la superación de la presión admisible del terreno se traduce en la superación de la máxima tensión que el terreno puede asumir sin que tengan lugar daños en la estructura. El no alcanzar la presión de hundimiento es garantía de que el edificio no experimentará movimientos que pudieran ser inadmisibles.

6.3 Análisis por el método de elementos finitos de la Iglesia durante el asiento diferencial.

El siguiente modelo tiene la particularidad de incorporar un desplazamiento prescrito en la pilastra a la que se le atribuye el asiento diferencial, este desplazamiento nos permitirá apreciar la influencia del mismo sobre los distintos elementos de la iglesia, además de la evolución de tensiones y desplazamientos respecto de la situación inicial, la contenida en el anterior apartado.

En cuanto a las vinculaciones exteriores, se mantienen con un desplazamiento elástico en Z para todas las láminas en su arista de apoyo sobre el terreno, con la particularidad de incluir un desplazamiento prescrito sobre la pilastra asociada al asiento diferencial. Este desplazamiento tiene un valor de 3 cm, de acuerdo al valor estimado por los técnicos intervinientes en la ejecución del proyecto de recalce.

Las siguientes imágenes recopilan los resultados gráficos obtenidos tras el proceso de cálculo.

La figura 6.19 muestra la deformada, donde se identifica la parte superior de la pilastra con asiento diferencial como la zona más sensible, coincidiendo con el entorno del punto de conexión de los arcos torales con la pilastra.

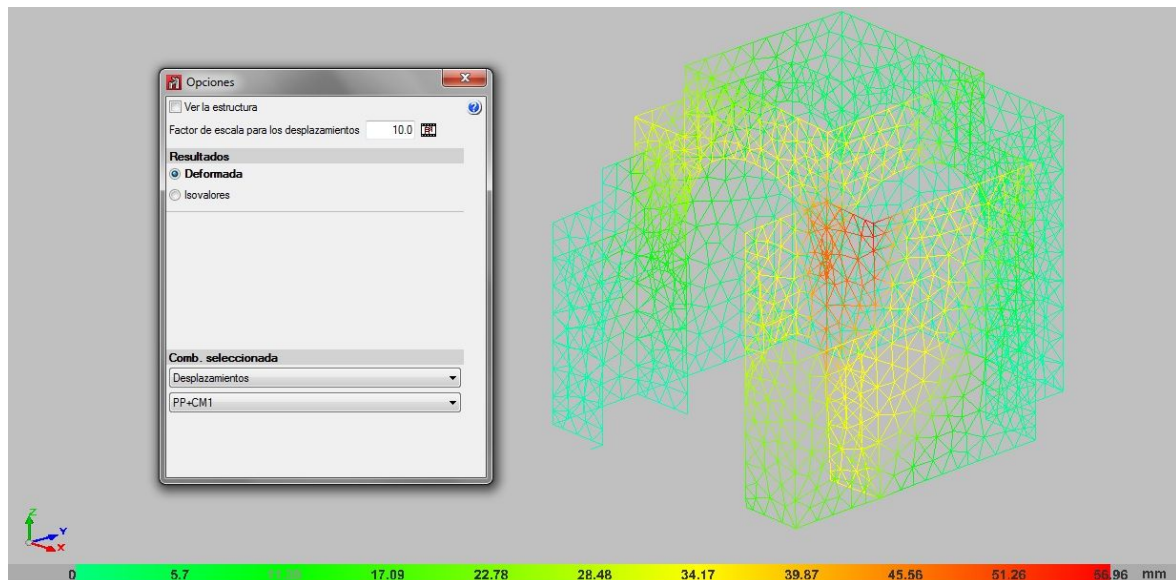


Figura 6.19: Deformada

Los desplazamientos en Z (Figura 6.20) presentan sus mayores valores en la zona que presenta el asiento diferencial, concretamente en la arista que une los arcos torales que apoyan en la pilastra y en uno de los muros de carga contiguos.

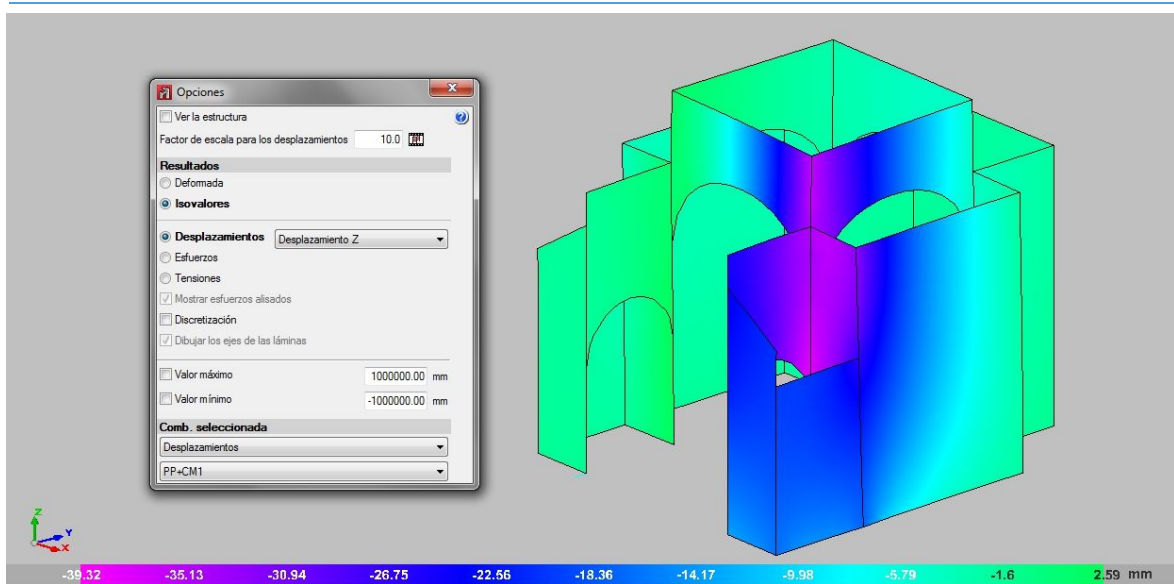


Figura 6.20: Desplazamientos en Z

De la representación de las tensiones normales contenidas en el eje Y (Figura 6.21), observamos una figura que tiende a asemejarse a un triángulo originado por los efectos del asiento diferencial, se identifica esta área con tonalidades azules y magenta. Los límites de la zona de afectación descrita debido al asiento diferencial, coinciden sensiblemente con las grietas que han tenido lugar por ese mismo motivo.

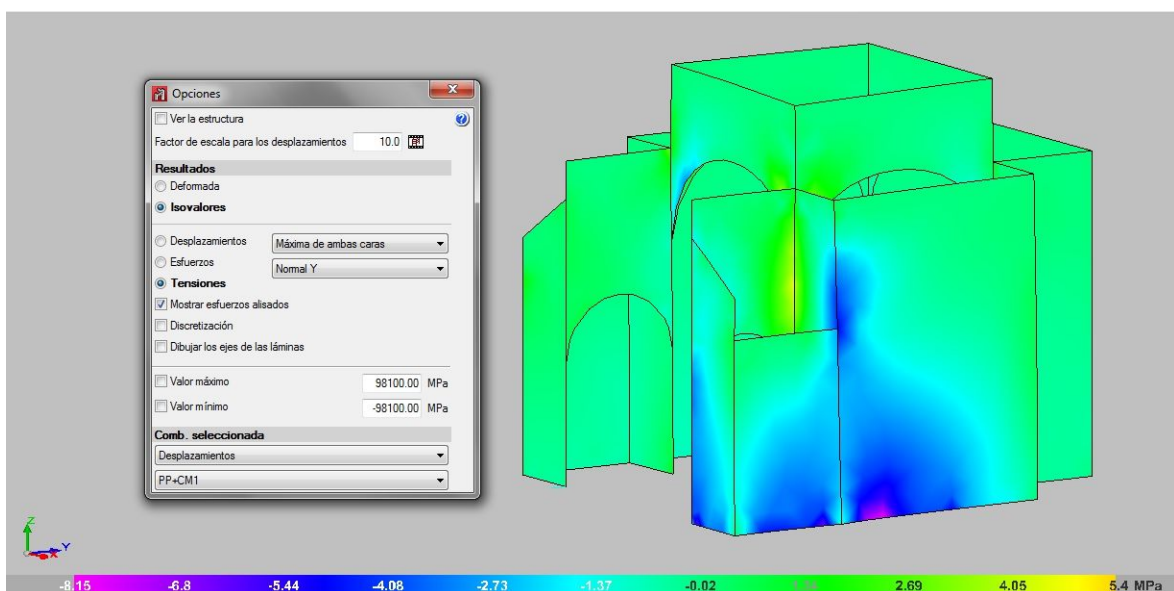


Figura 6.21: Tensiones normales en Y.

Continuando con el análisis de la gráfica de tensiones normales en Y, analizando en este caso la figura 6.22, prestamos especial atención a uno de los arcos torales contiguo a la pilastra con asiento diferencial, observando la aparición de tensión de

compresión en la parte más alejada y tensión de tracción en su parte más próxima a la pilastra. Es un arco toral claramente afectado por la patología descrita.

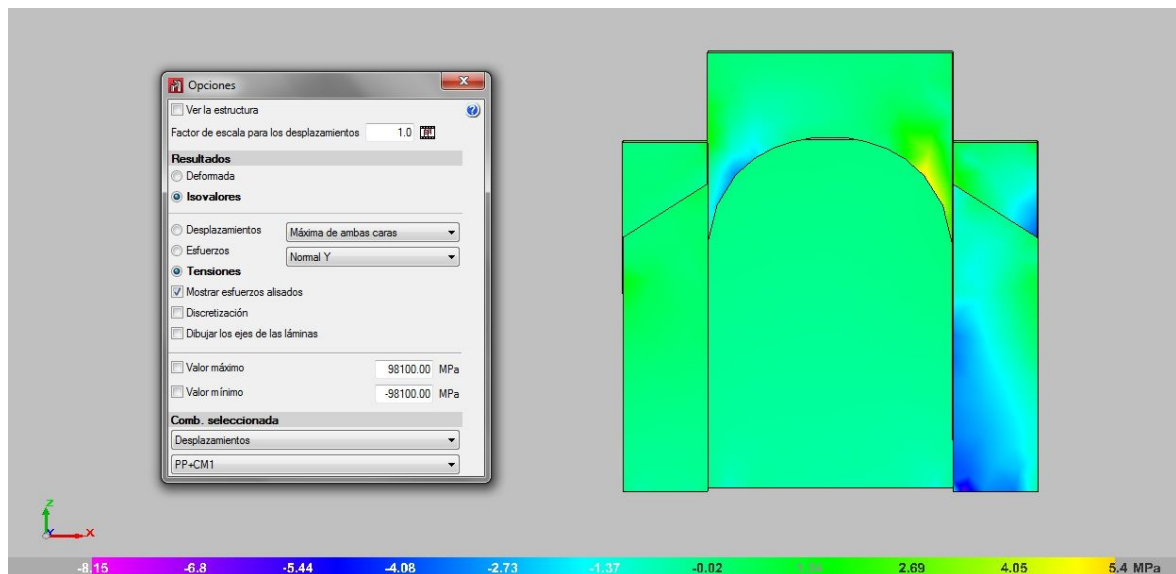


Figura 6.22: Tensiones normales en Y.

Las tensiones normales en X (Figura 6.23), presentan importantes diferencias respecto del modelo anterior. Centrando nuestra atención en los arcos torales, encontramos los mayores valores de compresión a lo largo de la línea que describe el arco, mientras que para el modelo anterior esos mayores valores de compresión se localizan en la parte superior del muro. Por último, destacar que es notable el incremento del valor de tensión a compresión máximo entre el modelo actual y el anterior.

La aparición de tensiones de tracción en una de las aristas de la pilastra es también una clara diferencia respecto del modelo objeto del apartado anterior.

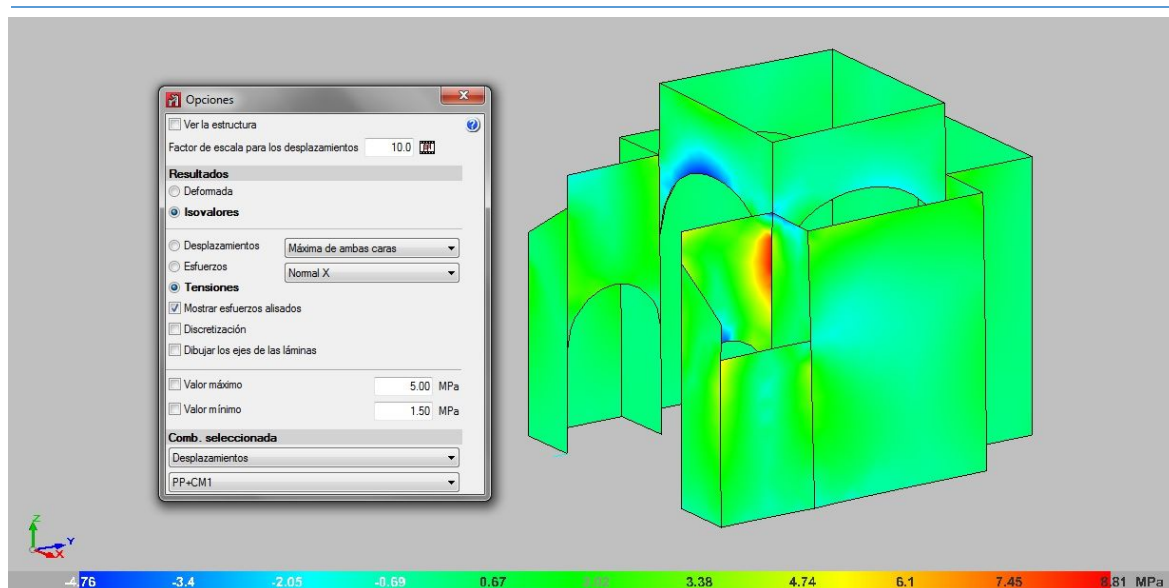


Figura 6.23: Tensiones normales en X.

Incluimos también gráfica que representa las tensiones tangenciales en el plano XY, para las cuales identificamos patrones con inclinaciones similares a las visualizadas en las grietas que han tenido lugar debido al asiento diferencial.

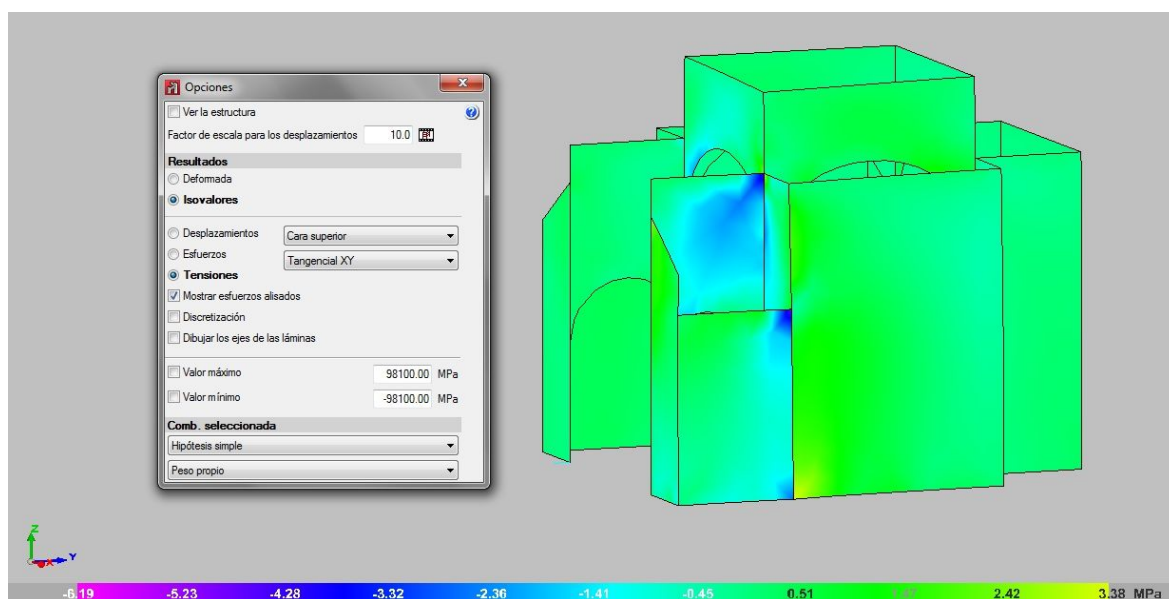


Figura 6.24: Tensiones tangenciales en XY.

Todas las conclusiones alcanzadas, nos sirven para contrastar mediante métodos numéricos que el diagnóstico de asiento diferencial efectuado para la pilastra intervenida ha sido adecuado; además, teniendo en cuenta la simetría del edificio y la grieta con una inclinación aproximada de 45 grados descrita en la ficha número nueve, la información recopilada nos ayuda a entender el proceso que podría estar ocurriendo en esta otra

pilastra, fundamental para orientar sobre esa zona un especial seguimiento que pudiera ayudar a prevenir daños en el edificio.

6.4 Análisis por el método de elementos finitos de la Iglesia con recalce ejecutado.

Pasamos a continuación a incorporar al modelo la intervención de recalce de cimentación ejecutada, la manera de efectuar esta incorporación reside en establecer fijas todas las vinculaciones exteriores de las aristas que se identifican con los elementos recalzados.

El fijar la zona recalzada, dejando desplazamiento elástico en Z para el resto de láminas, nos aportará conclusiones sobre la redistribución de tensiones y deformaciones en el edificio como consecuencia de la intervención. De esta manera, podemos localizar las zonas más sensibles de la estructura, orientando nuestra atención hacia aquellos puntos que requieren un mayor control y seguimiento, ayudándonos a prever futuros daños y reduciendo los tiempos de respuesta.

La deformada (Figura 6.25) nos vuelve a identificar la parte alta de la iglesia como la zona donde se dan las mayores deformaciones, pero en concreto, los mayores valores se aprecian en la arista donde coinciden los arcos torales que descansan sobre la pilastra opuesta a la pilastra con el asiento diferencial. Si a estos resultados unimos la lesión descrita en la [ficha nueve](#), donde se describe una grieta a 45 grados compatible con un asiento diferencial, se identifica esta parte de la estructura de la iglesia como una zona que requiere un especial seguimiento y atención, a fin de minimizar los daños que pudieran llegar a ocurrir.

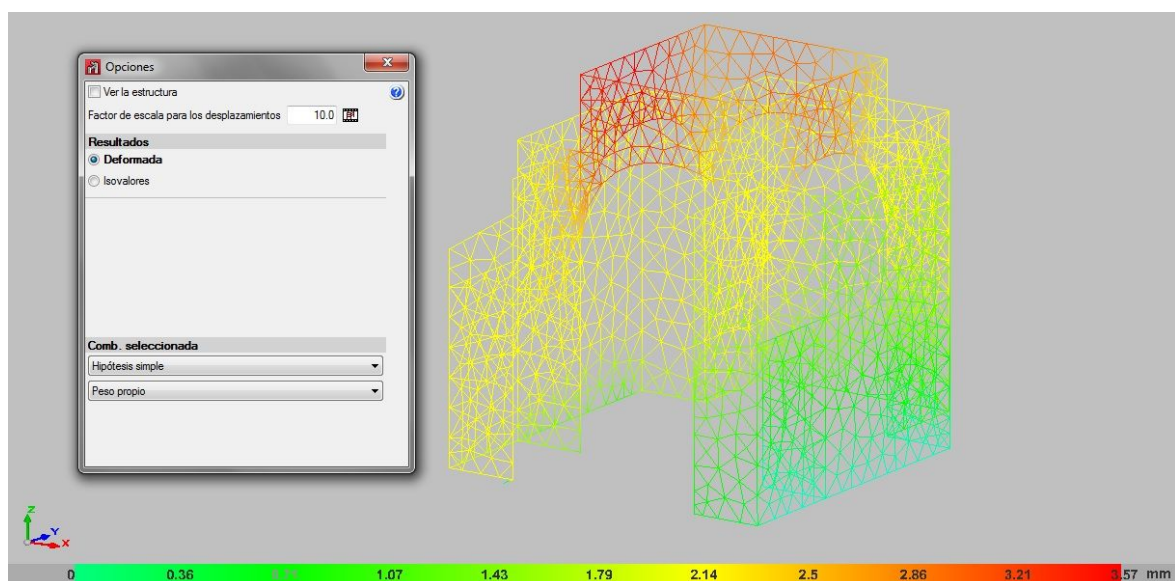


Figura 6.25: Deformada.

Observando los desplazamientos en Z de la figura 6.26 se identifican claramente dos zonas con un comportamiento diferente, la zona micropilotada que no presenta desplazamiento en Z y el resto de la iglesia que presenta desplazamientos en Z influenciados por su interacción con el terreno. Los mayores desplazamientos, se localizan en la zona descrita en el análisis efectuado de la deformada, como zona sobre la que centrar la atención con vistas a la preservación del edificio.

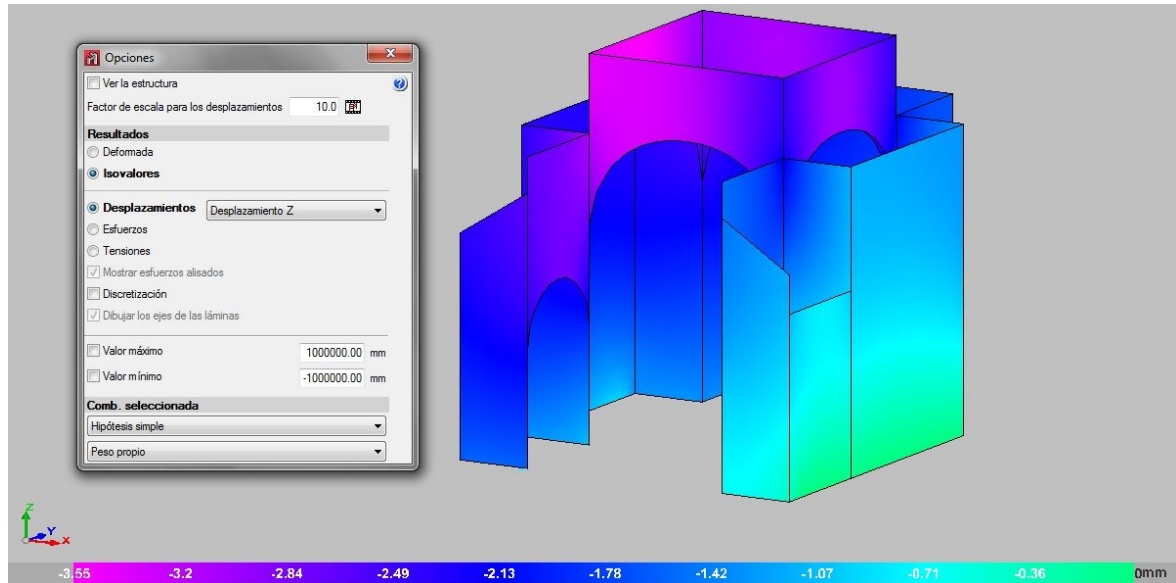


Figura 6.26: Desplazamientos en Z.

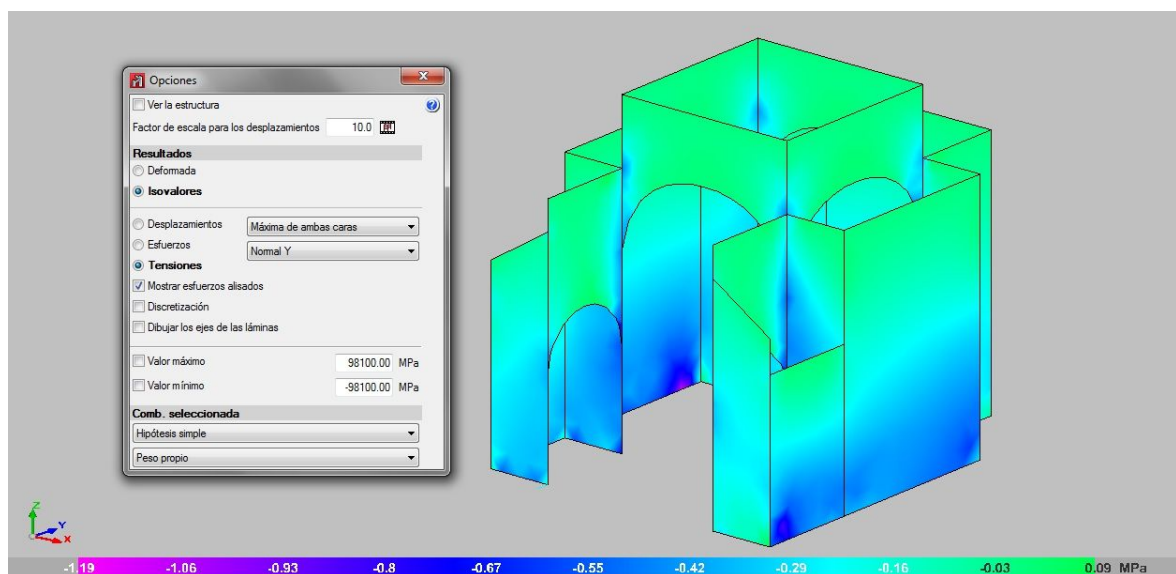


Figura 6.27: Tensiones normales en Y.

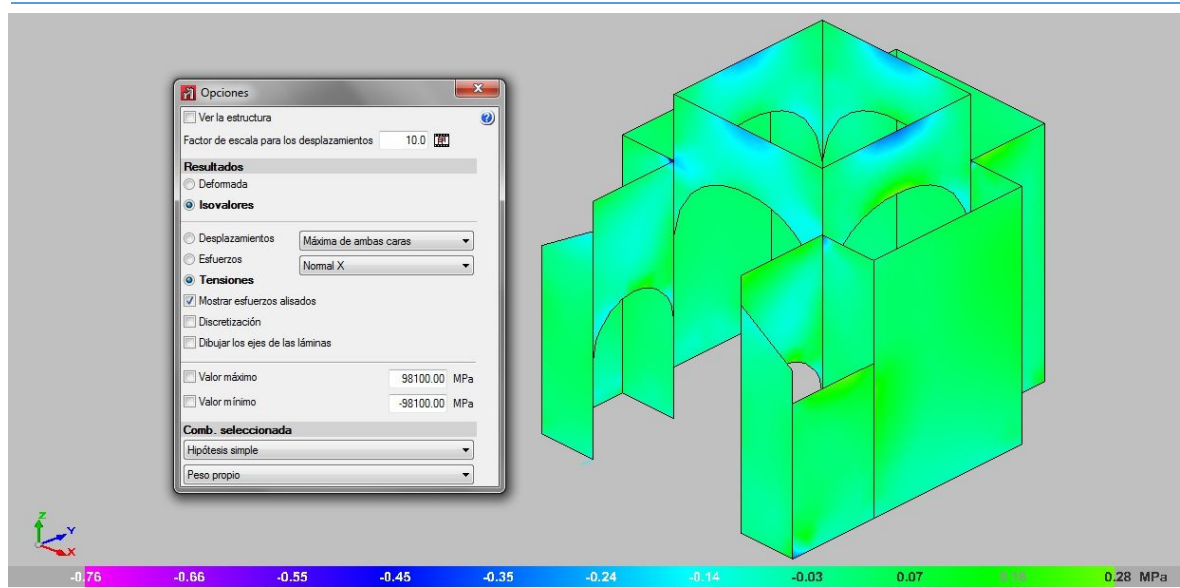


Figura 6.28: Tensiones normales en X.

7 MEDIDAS CORRECTORAS Y EFICACIA DE LAS INTERVENCIONES.

De forma breve, se introducen en este apartado una serie de comentarios a tener en cuenta en las futuras intervenciones que pudieran ser llevadas a cabo tanto en la Iglesia de San Andrés como en otros edificios históricos dañados:

- La solución adoptada debe estar dirigida a la causa del problema, abordándose ante la presencia de daños o niveles de seguridad insuficientes.
- Es necesario un entendimiento preciso de los factores que originan el problema, así como de aquellos factores adecuados para un correcto seguimiento de la intervención.
- El valor del patrimonio histórico abarca el total de sus elementos, no ciñéndose únicamente a su aspecto externo.
- El concepto de reversibilidad debe ser tenido en cuenta en las medidas que se puedan adoptar.
- En caso de intervenciones no reversibles, se debe procurar su compatibilidad con otras futuras.
- Análisis minuciosos de las propiedades de los materiales a emplear y compatibilidad con los existentes.
- Todo proyecto de intervención deberá incluir medidas de control y mantenimiento.

8 DISCUSIÓN

Resultado del recorrido desarrollado se han obtenido resultados mediante diferentes vías y métodos, todos orientados a entender la iglesia en estudio de una forma global, con un estudio previo al asiento diferencial, mediante el análisis de la situación particular del asiento diferencial y finalizando con una perspectiva de futuro.

Este estudio nos ha permitido acotar deficiencias, daños existentes, puntos débiles de la estructura,...resultados de utilidad para la preservación del patrimonio histórico.

Los métodos utilizados han sido variados, observación e interpretación de lesiones existentes, toma de datos geométricos mediante técnicas de topografía, modelado haciendo uso de programas especializados, aportando cada uno de ellos resultados de interés en el procedimiento de adquirir una visión global de la iglesia.

Cabe mencionar la existencia de métodos y técnicas actuales, que no habiendo sido accesibles en el caso que nos ocupa, podrían incorporarse a trabajos de esta índole, ayudando en la obtención de más resultados más precisos.

En definitiva, resaltar que son aportaciones útiles a la iglesia las que se han pretendido efectuar en todo momento, con la intención de que pudieran también ser extrapolables.

9 CONCLUSIONES

Abordamos en primer lugar las conclusiones principales derivadas de la información recopilada, la observación de las lesiones existentes y la medición topográfica, que derivan en la emisión de una serie de diagnósticos:

- Asiento diferencial en una de las pilastras, identificado en el proyecto de recalce de cimentación.
- Presencia de grieta con inclinación aproximada de 45 grados en muro de carga contiguo a pilastra simétrica respecto de la que describe el asiento diferencial. La presencia de esta grieta descrita en la ficha número 9, teniendo como antecedentes el asiento diferencial ocurrido, debe concentrar una especial atención y seguimiento que debe iniciarse con la determinación de si posee actividad.
- Deformación en arco toral junto al altar mayor e inclinación de pilastras que lo sustentan. Se trata de unas anomalías que se descubren como consecuencia del análisis de los resultados obtenidos mediante medición topográfica. También ocurre que a raíz del asiento diferencial objeto del proyecto de recalce, aparece una grieta en ese mismo arco toral, grieta cuya apertura ha ido disminuyendo como consecuencia de recalce ejecutado. La deformación e inclinación descritas, añadidas a la distensión observada en el arco toral, nos alertan de la necesidad de atención y seguimiento de estas lesiones.
- Deficiencias en cimentación. Queda patente la inexistencia de una tipología concreta de cimentación, la existencia de rellenos antrópicos bajo los muros de carga, y es visualizada una oquedad bajo la pilastra que presenta el asiento diferencial intervenido.

Abordamos a continuación, las conclusiones más relevantes obtenidas con ayuda de los programas de modelado utilizados, empleando el método de elementos finitos para el cálculo del modelo.

- Obtención de información gráfica acerca de la deformada, desplazamientos en Z, tensiones normales en X y tensiones normales en Y para cada uno de los modelos incorporados a Cype y correspondientes a tres situaciones diferentes, con antelación al asiento diferencial, durante el asiento diferencial y con posterioridad a la ejecución del recalce de la cimentación.
- Comprobadas la presión admisible y de hundimiento a largo plazo aportadas por el estudio geotécnico redactado para el proyecto de recalce, se observa que la primera es superada de acuerdo a los resultados obtenidos mediante el

modelo calculado respecto de la situación previa al asiento diferencial. La superación de la presión admisible del terreno conlleva la aparición de daños en la estructura.

- El modelo calculado mediante elementos finitos, al que se le ha inducido un desplazamiento prescrito de 3 cm en la pilastra que actualmente está recalzada, nos ha permitido contrastar mediante método numéricos el diagnóstico de asiento diferencial atribuido a esa pilastra.
- El modelo calculado contemplando el recalce de la cimentación ejecutado, nos aporta información respecto de cuál podría ser el futuro comportamiento del edificio, identificando la pilastra simétrica a la recalzada como la zona más sensible a la aparición de nuevos daños. Recodar por último, que es esta pilastra la contigua al muro de carga que posee la lesión descrita en la ficha número 9 (grietas a 45 grados).

10 PLANOS

10.1 Plano de situación.

10.2 Plano de emplazamiento.

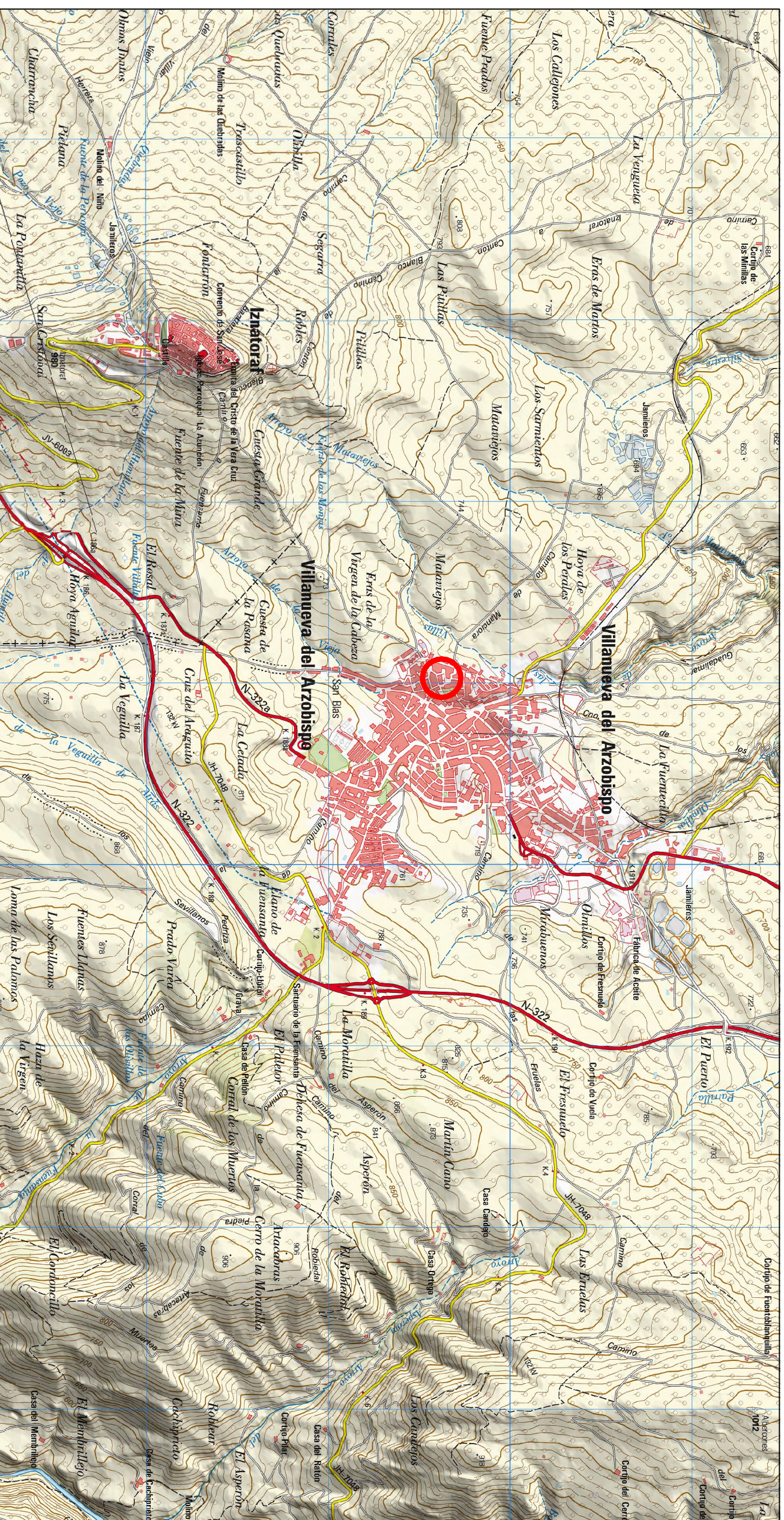
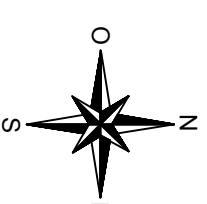
10.3 Levantamiento topográfico. Exterior.

10.4 Levantamiento topográfico. Exterior e interior.

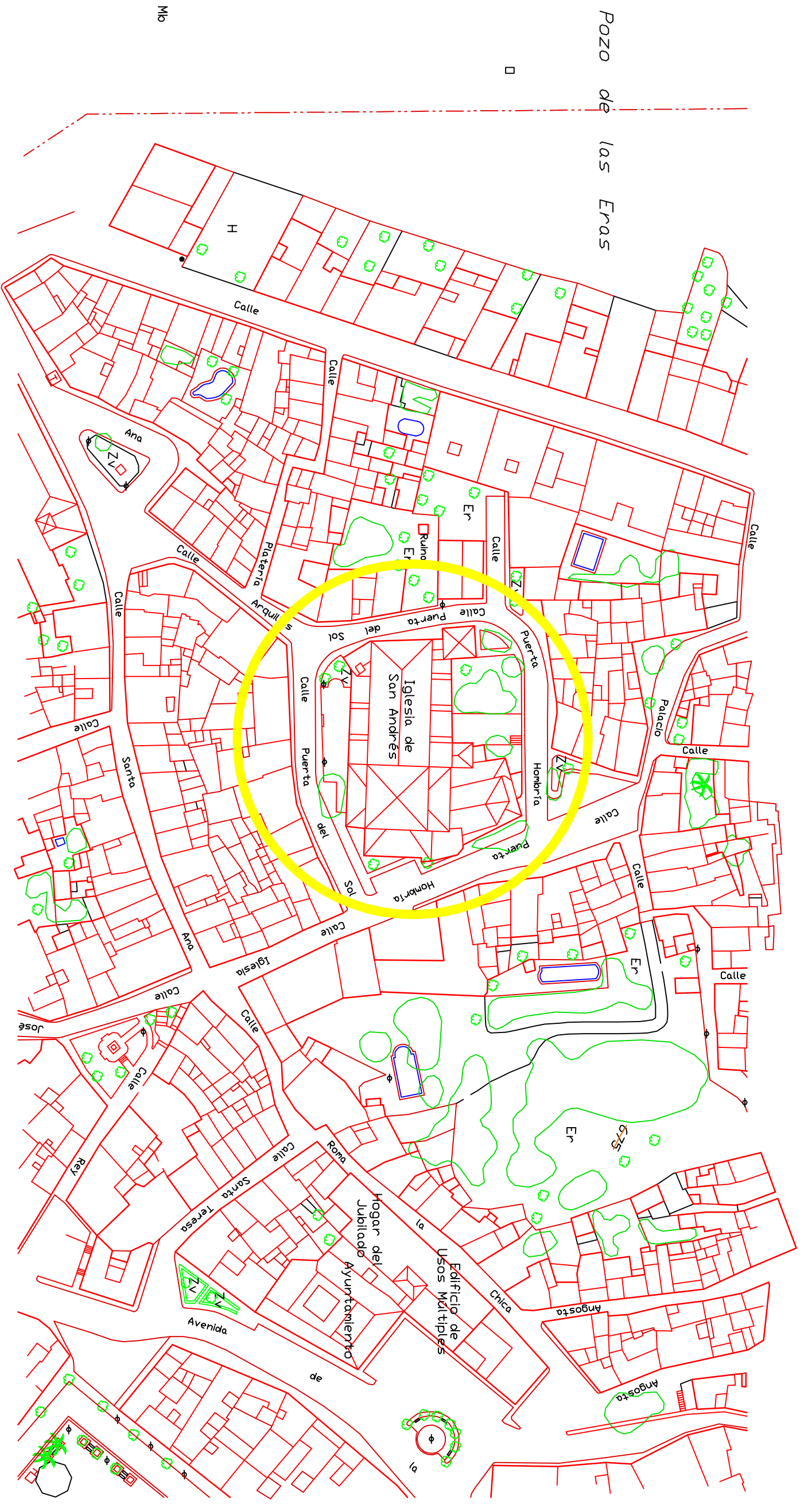
10.5 Levantamiento topográfico. Arcos torales.

10.6 Levantamiento topográfico. Arcos fajones.

10.7 Patologías estructurales.

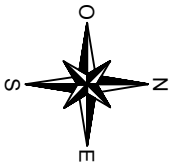


	FECHA	NOMBRE	FIRMA	ESCUELA POLITÉCNICA SUPERIOR LINARES
DIBUJADO	07/07/2017	Daniel García Moya		
COMPROBADO				
ESCALA:	Estudio para la cimentación de una iglesia renacentista con problemas estructurales.			N° PLANO 1/7
1:25000	Plano de situación			SUSTITUYE A: SUSTITUIDO POR:



	FECHA	NOMBRE	FIRMA	ESCUELA POLITÉCNICA SUPERIOR LINARES
DIBUJADO	07/07/2017	Daniel García Moya		
COMPROBADO				
ESCALA:	Estudio para la cimentación de una iglesia renacentista con problemas estructurales.			N° PLANO
1/1000	Plano de emplazamiento			SUSTITUYE A:
				SUSTITUIDO POR:

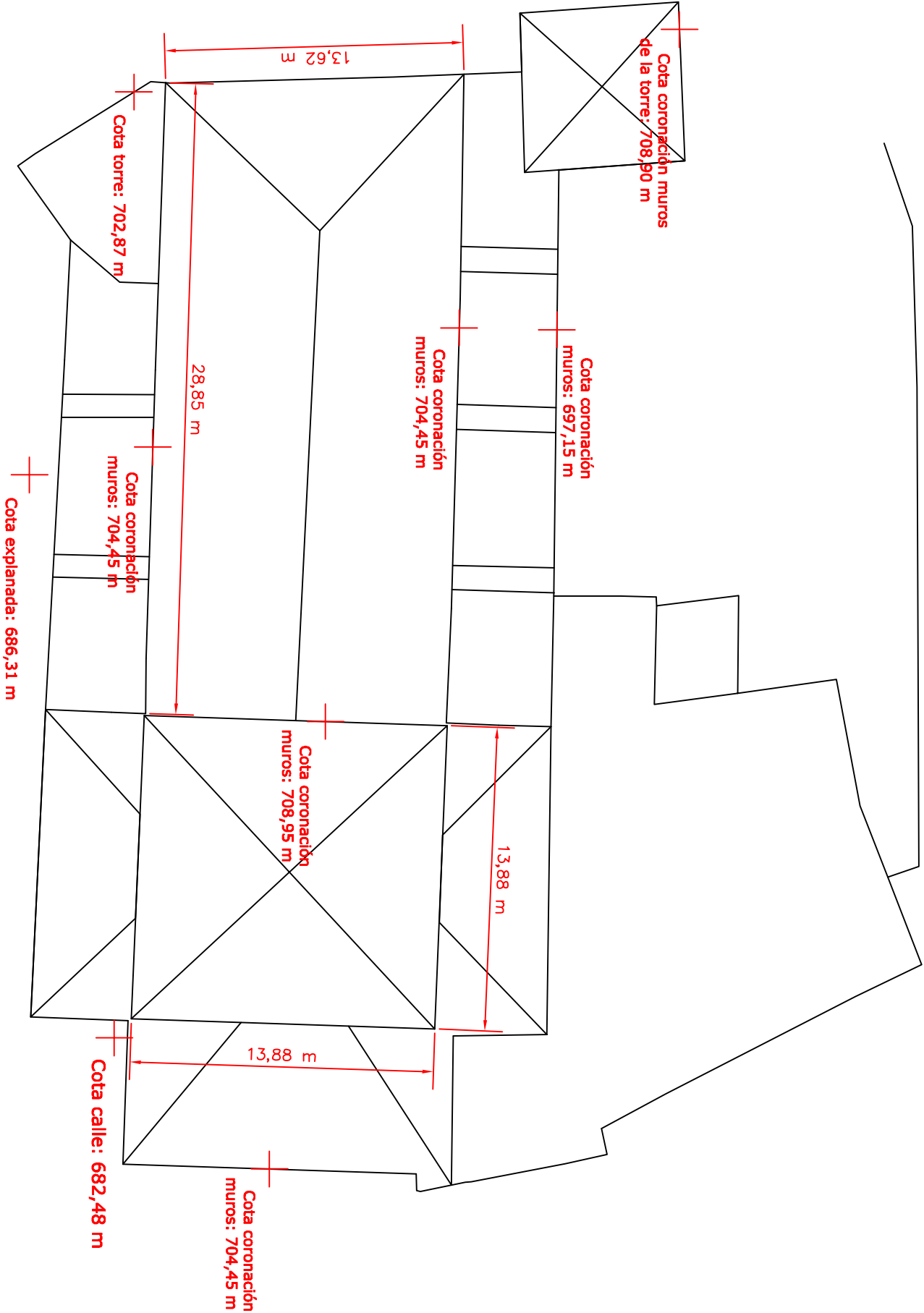
498.945,245 m
4.224.656,303 m



499.009,569 m
4.224.656,303 m

498.945,245 m
4.224.609,975 m

499.009,569 m
4.224.609,975 m

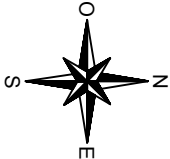


Cota interior del tiempo: 686,24 m

- Sistema de referencia: European Terrestrial Reference System (ETRS89)
- Sistema cartográfico de representación: Proyección Univesal Transversa de Mercator (U.T.M.)

	FECHA	NOMBRE	FIRMA	ESCUELA POLITÉCNICA SUPERIOR LINARES	
DIBUJADO	07/07/2017	Daniel García Moya			
COMPROBADO					
ESCALA:				Estudio para la cimentación de una iglesia renacentista con problemas estructurales.	
1/250					
Levantamiento topográfico. Exterior.				Nº PLANO	3/7
				SUSTITUYE A:	
				SUSTITUIDO POR:	

498.945,245 m
4.224.656,303 m



499.009,569 m
4.224.656,303 m

498.945,245 m
4.224.609,975 m

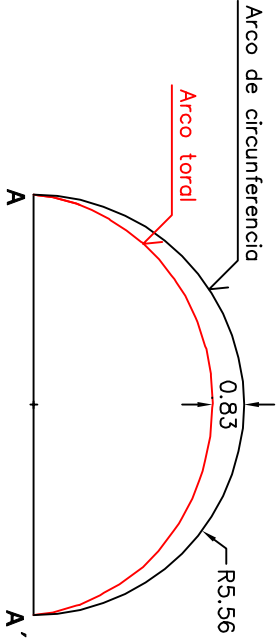
499.009,569 m
4.224.609,975 m



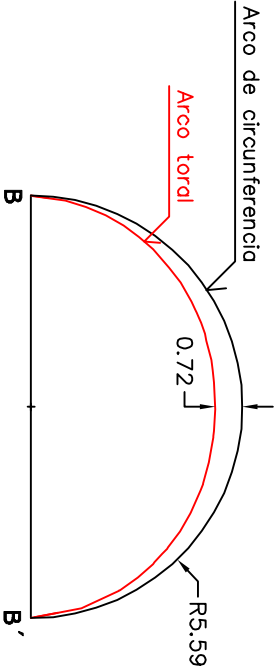
- Sistema de referencia: European Terrestrial
Reference System (ETRS89)
- Sistema cartográfico de representación:
Proyección Univesal Transversa de Mercator
(U.T.M.)

	FECHA	NOMBRE	FIRMA	ESCUELA POLITÉCNICA SUPERIOR LINARES	
DIBUJADO	07/07/2017	Daniel García Moya			
COMPROBADO					
ESCALA:				Estudio para la cimentación de una iglesia renacentista con problemas estructurales. Levantamiento topográfico. Exterior e interior.	
1/250					
				Nº PLANO	4/7
				SUSTITUYE A:	
				SUSTITUIDO POR:	

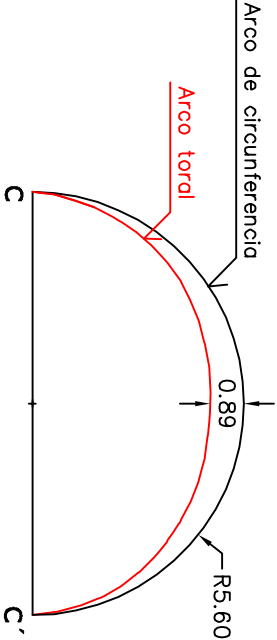
Arco toral 1



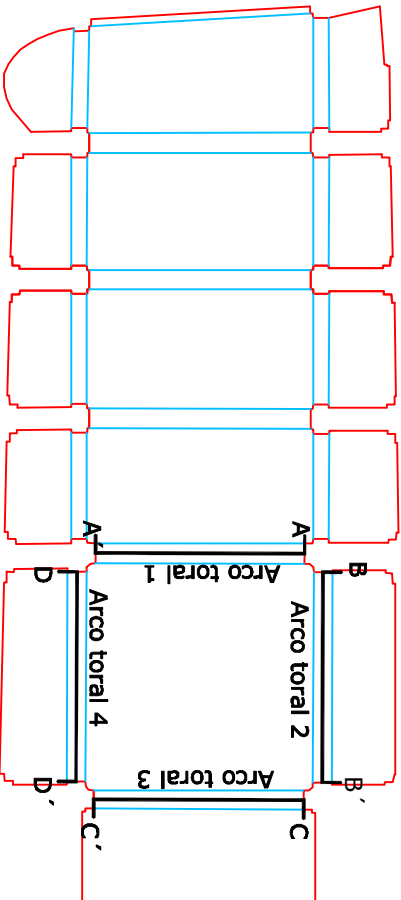
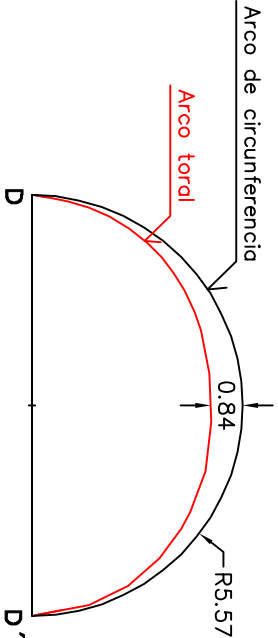
Arco toral 2



Arco toral 3

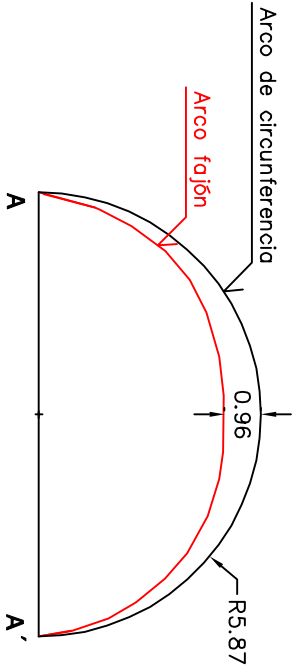


Arco toral 4

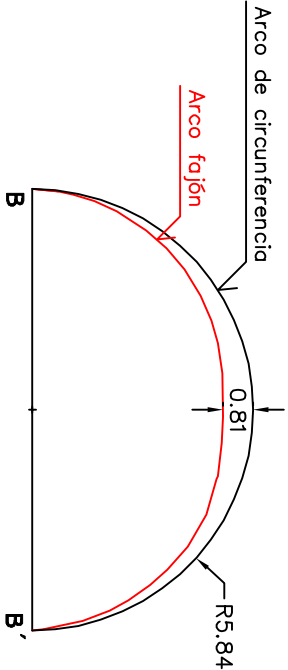


	FECHA	NOMBRE	FIRMA	ESCUELA POLITÉCNICA SUPERIOR LINARES	
DIBUJADO	07/07/2017	Daniel García Moya			
COMPROBADO					
ESCALA:	Estudio para la cimentación de una iglesia renacentista con problemas estructurales.			N° PLANO	
1/200	Levantamiento topográfico. Arcos torales.			5/7	
				SUSTITUYE A:	
				SUSTITUIDO POR:	

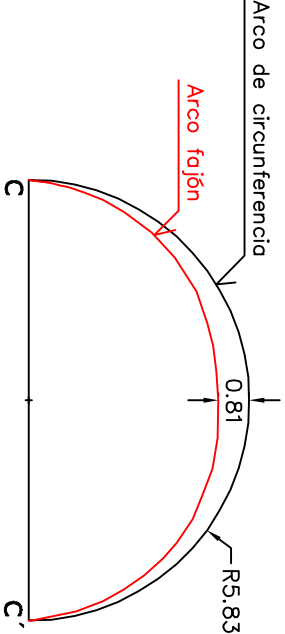
Arco fajón 1



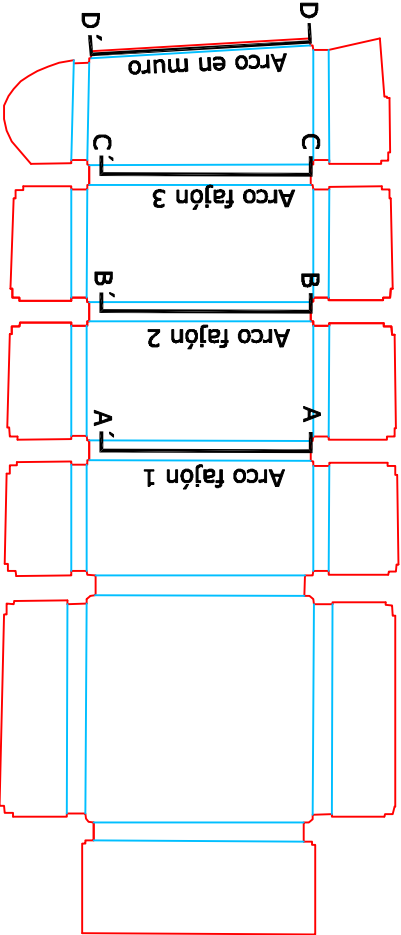
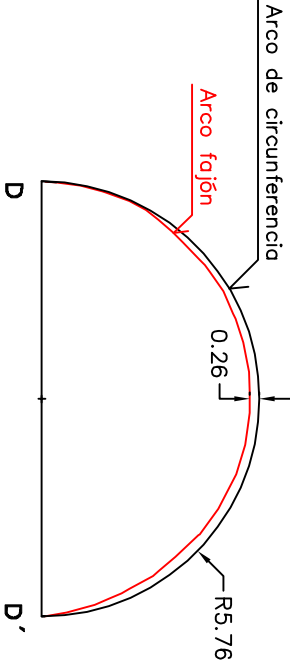
Arco fajón 2



Arco fajón 3

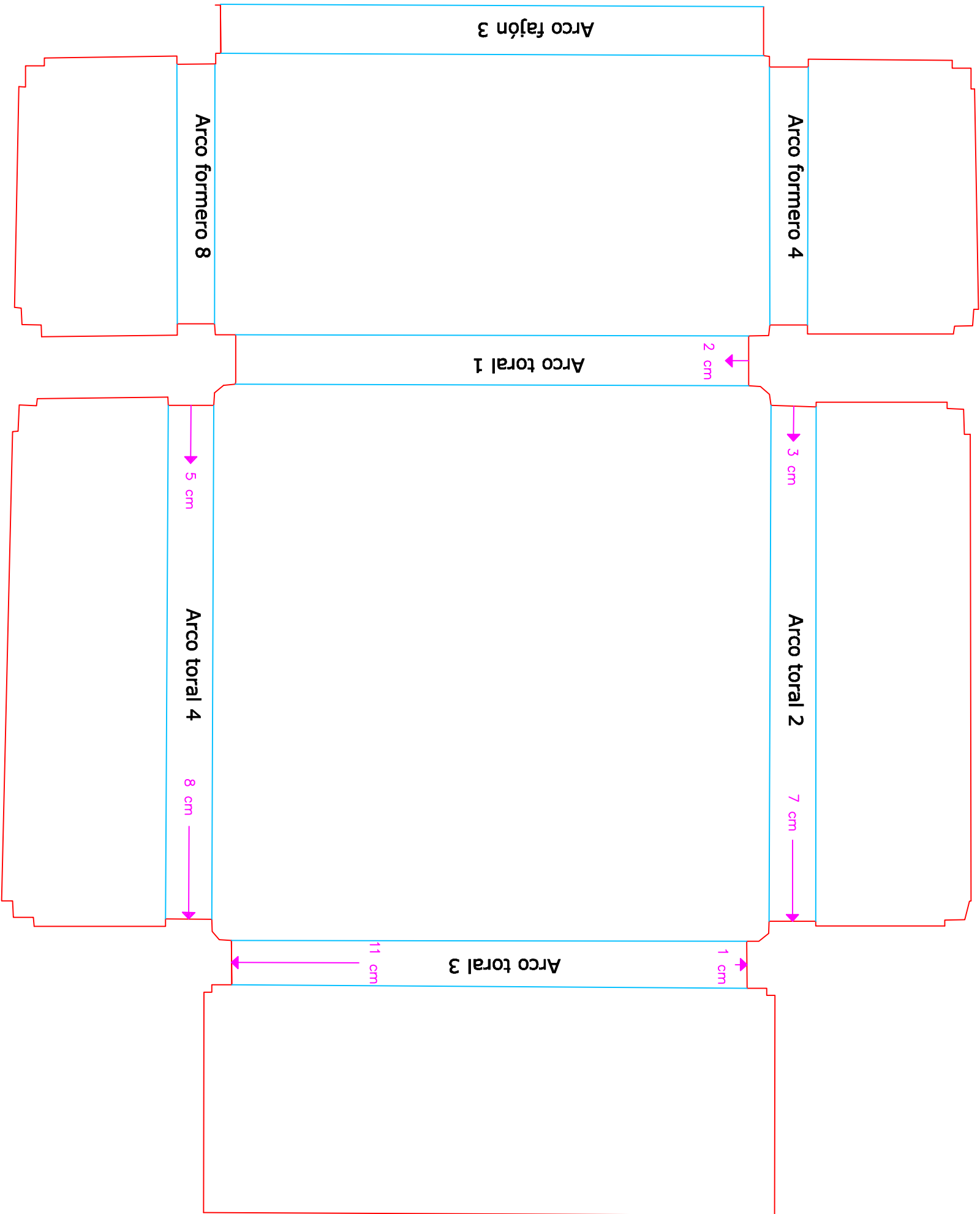


Arco en muro



1/100

	FECHA	NOMBRE	FIRMA	ESCUELA POLITÉCNICA SUPERIOR LINARES	
DIBUJADO	07/07/2017	Daniel García Moya			
COMPROBADO					
ESCALA:	Estudio para la cimentación de una iglesia renacentista con problemas estructurales.				Nº PLANO
1/200	Levantamiento topográfico. Arcos fajones.				6/7
				SUSTITUYE A:	
				SUSTITUIDO POR:	



8 cm → Dirección, sentido y distancia indicando desplazamiento de la parte superior de la pilastra respecto de su base.

	FECHA	NOMBRE	FIRMA	ESCUELA POLITÉCNICA SUPERIOR LINARES	
DIBUJADO	07/07/2017	Daniel García Moya			
COMPROBADO					
ESCALA:	Estudio para la cimentación de una iglesia renacentista con problemas estructurales.			Nº PLANO	
1/100	Patologías estructurales.				7 / 7
				SUSTITUYE A:	
				SUSTITUIDO POR:	

ANEXO A. INSTRUMENTOS DE MEDICIÓN TOPOGRÁFICA

- Equipo GPS Leica 1200+

Leica GPS1200+ Especificaciones técnicas y características del sistema



Receptores GPS1200+	GX1230+ GNSS/ ATX1230+ GNSS	GX1220+ GNSS	GX1230+	GX1220+	GX1210+
GNSS technology	SmartTrack+	SmartTrack+	SmartTrack	SmartTrack	SmartTrack
Type	Triple frecuencia	Triple frecuencia	Doble frecuencia	Doble frecuencia	Monofrecuencia
Channels	120 canales L1/L2/L5 GPS L1/L2 GLONASS E1/E5a/ E5b/ Alt-BOC Galileo Compass ¹ 4 SBAS	120 canales L1/L2/L5 GPS L1/L2 GLONASS E1/E5a/ E5b/ Alt-BOC Galileo Compass ¹ 4 SBAS (con opción DGPS)	16 L1 + 16 L2 GPS 4 SBAS	16 L1 + 16 L2 GPS 4 SBAS (con opción DGPS)	16 L1 GPS 4 SBAS (con opción DGPS)
Ampliado a					
GX1230+ GNSS	-	Sí	Sí	Sí	Sí
RTK	SmartCheck+	No	SmartCheck	No	No
Indicadores de estado	3 indicadores LED (GX1200+): para alimentación, seguimiento, memoria				
Receptores GPS1200+	GX1230+ (GNSS)/ GX1220+ (GNSS)		GX1210+		
Puertos	1 puerto de alimentación, 3 puertos seriales, 1 puerto de controlador, 1 puerto de antena		1 puerto alimentación/controlador, Puerto de tecnología inalámbrica Bluetooth*		
Tensión de alimentación,	Nominal 12 VCC		Nominal 12 VCC		
Consumo	receptor 4,6 W + controlador + antena		1,8 W		
Entradas y PPS	Opcional: 1 puerto de salida PPS 2 puertos de entrada		Opcional: 1 puerto de salida PPS 2 puertos de entrada		
Antena estándar	SmartTrack+ AX1203+ GNSS		SmartTrack AX1201		
Plano de tierra integrado	Plano de tierra integrado		Plano de tierra integrado		
			SmartTrack+ ATX1230+ GNSS		
			Plano de tierra integrado		

Lo siguiente es aplicable a todos los receptores excepto en lo señalado.

Fuente de alimentación	Dos baterías ión-litio 4,4 Ah/7,4 V en interior del receptor. Una ión-litio 2,2 Ah/7,4 V insertada en ATX1230+ GNSS y RX1250.	Temperatura	Funcionamiento: Receptor -40 °C hasta +65 °C ISO9022 Antenas -40 °C hasta +70 °C MIL-STD-810F Controladores -30 °C hasta +65 °C Controlador RX1250c -30 °C hasta +50 °C Almacenamiento: Receptor -40 °C hasta +80 °C Antenas -55 °C hasta +85 °C Controladores -40 °C hasta +80 °C Controlador RX1250c -40 °C hasta +80 °C
Baterías ion-Li insertables Lo mismo para GNSS y TPS	Alimentan receptor + controlador + antena SmartTrack durante 17 horas (para registro de datos). Alimentan receptor + controlador + antena SmartTrack + radiomódem de baja potencia o teléfono durante 11 horas (para RTK/DGPS). Alimenta SmartAntenna + controlador RX1250 durante unas 6 horas (para RTK/DGPS)	Humedad	Receptor, antenas y controladores hasta 100 % humedad. ISO9022, MIL-STD-810F
Alimentación externa	Entrada de alimentación externa 10,5 V a 28 V.	Protección contra agua, polvo y arena	Receptor, antenas y controladores: Resistente al agua a inmersión temporal de 1 m. IP67, MIL-STD-810F
Pesos	Receptor 1,20 kg. Controlador 0,48 kg (RX1210) y 0,75 kg (RX1250). Antena SmartTrack 0,44 kg. SmartAntenna 1,12 kg. Batería ion-Li insertable 0,11 kg (2,2 Ah) y 0,2 kg (4,4 Ah). Bastón de fibra de carbono con antena SmartTrack y controlador RX1210: 1,80 kg. Todo en bastón: bastón de fibra de carbono con SmartAntenna, controlador RX1250 y baterías insertables: 2,74 kg.	Choque/Caída contra superficie dura	Receptor: resiste la caída de 1 m contra una superficie dura. Antenas: resiste la caída de 1 m sobre una superficie dura.
		Dejar caer bastón	Receptor, antenas y controladores: resisten la caída si se viene abajo el bastón.
		Vibraciones	Receptor, antenas y controladores: Aguantan vibraciones sobre grandes máquinas de construcción. Sin pérdidas de señal. ISO9022 MIL-STD-810F

¹ La señal Compass no está terminada aún, sin embargo, los receptores GPS1200+ han

SmartTrack+ Tecnología GNSS avanzada de medición	El tiempo necesario para adquirir todos los satélites después del encendido: normalmente unos 50 seg. Readquisición de satélites tras pérdida de señal (p. ej. al atravesar un túnel): normalmente con 1 seg. Muy elevada sensibilidad: adquiere más del 99 % de las observaciones posibles sobre una elevación de 10 grados. Nivel de ruido muy bajo. Seguimiento resistente. Sigue señales débiles con muy poca elevación y en condiciones adversas. Mitigación del multipath. Resistente las interferencias Precisión de medición: Fase portadora en L1: 0.2 mm emc. En L2: 0.2 mm emc. Código (pseudo distancia) en L1 y L2: 20 mm emc. Inicialización normalmente 8 segundos. Intervalo de actualización de posición seleccionable hasta 20 Hz. Latencia < 0.03 s Alcance 40 km o más en condiciones favorables. Autocomprobación.	Controladores RX1210/RX1250 Pantalla 1/4 VGA de alto contraste con opción de color (RX1250) Pantalla táctil, 11 líneas x 32 caracteres. Windows CE 5.0 en RX1250. Teclado QWERTY totalmente alfanumérico. Teclas de función y teclas definibles por el usuario. Iluminación para pantalla y teclas. También puede utilizarse con TPS1200+ para entrada alfanumérica y codificación extensa.
SmartCheck+ Tecnología RTK avanzada de largo alcance	Intervalo de actualización de posición seleccionable hasta 20 Hz. Latencia < 0.03 s Alcance 40 km o más en condiciones favorables. Autocomprobación.	Funcionamiento con controlador Lo mismo para GNSS y TPS Información mostrada Toda la información mostrada: estado, seguimiento, registro de datos, base de datos, RTK, DGPS, navegación, levantamiento, replanteo, calidad, cronómetro, alimentación, coordenadas geográficas, cartesianas, cuadrícula, etc. Pantalla gráfica (plano) de levantamiento. Acercamientos. Puede accederse a puntos levantados directamente por la pantalla táctil.
Precisiones	Cinématico Horizontal: 10 mm + 1 ppm Vertical: 20 mm + 1 ppm Estático (ISO 17123-8) Horizontal: 5 mm + 0.5 ppm Vertical: 10 mm + 0.5 ppm Fiabilidad: 99.99 % para líneas base de hasta 40 km. Formatos compatibles para la transmisión y la recepción: Leica propietario (Leica, Leica 4G), CMR, CMR+, RTCM V2.1/2.2/2.3/3.0/3.1.	Pantalla gráfica de levantamiento Lo mismo para GNSS y TPS Pantalla replanteo Lo mismo para GNSS y TPS Gráfico con zoom. Digital, polar y ortométrico. Precisión: 10 mm + 1 ppm a 20 Hz (0.05 seg.) actualización. Sin degradación por intervalos altos de actualización.
Redes de estaciones de referencia	Móvil RTK totalmente compatible con redes de estaciones de referencia de formatos de Leica Spider i-MAX & MAX, VRS y Corrección de área (FKP).	Funcionamiento sin controlador Sólo GX1200+ Encendido automático. Indicador de estado LED. Para estaciones de referencia y mediciones estáticas.
DGPS GX1230+ (GNSS), ATX1230+ GNSS, GX1220+ (GNSS) – estándar GX1210+ – opcional	DGPS, incluye soporte de MSAS, WAAS, EGNOS y GAGAN. Los formatos RTCM V2.1/2.2/2.3/3.0/3.1. soportados para transmisión y recepción. Emc línea base: normalmente 25 cm emc con la estación de referencia adecuada.	Registro de datos En tarjetas CompactFlash: 256 MB y 1 GB Las mismas tarjetas se usan para GNSS y TPS Memoria interna del receptor (opcional): 256 MB. Capacidad 64 Mb suficiente para (30 % menos para GPS/GLONASS): Aprox. 500 horas de registro de datos L1 + L2 a intervalos de 15 seg. Aprox. 2 000 horas de registro de datos L1 + L2 a intervalos de 60 seg. Aprox. 90 000 puntos RTK con códigos.
Intervalo actualización posición y latencia	Aplicable a RTK, DGPS y posiciones de navegación. Intervalo de actualización seleccionable desde 0.05 seg (20 Hz) hasta 1 seg. Latencia menor de 0,03 seg.	Gestión de datos Lo mismo para GNSS y TPS Gestión de trabajo definible por el usuario. Identificadores de punto, coordenadas, códigos, atributos, etc. Rutinas de búsqueda, filtrado y visualización. Promedio multipuntos. Cinco tipos de sistemas de codificación que cubren todos los requisitos.
Salida NMEA	NMEA 0183 V3.00 y Leica propietario.	Sistemas de coordenadas Lo mismo para GNSS y TPS Elipsoides, proyecciones, modelos geoidales, coordenadas, transformaciones, parámetros de transformación, sistemas de coordenadas específicos del país. Soporta RTCM 3.1 transferencia sistemas de coordenadas
Post-proceso con el software Leica Geo Office	Horizontal: 10 mm + 1 ppm, cinemático Vertical: 20 mm + 1 ppm, cinemático Horizontal: 5 mm + 0.5 ppm, estático Vertical: 10 mm + 0.5 ppm, estático	Programas de aplicación Lo mismo para GNSS que TPS Estándar: todas las funciones de COGO. Punto oculto. Opcional: Avance, Línea de referencia, Replanteo MDT, Plano de referencia, División de área y Levantamiento de sección X, Exportación DXF, Exportación LandXML y Cálculos de volumen
Todos los receptores GPS1200+	Para líneas largas con observaciones largas Horizontal: 3 mm + 0.5 ppm, estático Vertical: 6 mm + 0.5 ppm, estático	Programable Lo mismo para GNSS y TPS Programable por el usuario en GeoC++. Los usuarios pueden escribir y cargar programas para sus propios requisitos y aplicaciones especiales.
Notas sobre funcionamiento y precisiones	Las figuras ofrecidas son para condiciones de normales a favorables. El funcionamiento y las precisiones pueden variar dependiendo del número de satélites, geometría de satélites, hora de observación, efemérides, ionosfera, multipath etc.	

- Estación total Trimble S3

ESTACIÓN TOTAL TRIMBLE S3

RENDIMIENTO

Medición de ángulo													
Precisión (Desviación estándar según DIN 18723)	2" (0,6 mgon)												
	5" (1,5 mgon)												
Lectura de ángulos (cuenta menor)													
Estándar	1" (0,3 mgon)												
Rastreo	2" (0,6 mgon)												
Observaciones promediadas	0,1" (0,03 mgon)												
Compensador de nivel automático													
Tipo	Eje doble centrado												
Precisión	0,5" (0,15 mgon)												
Alcance	5' (±100 mgon)												
Medición de distancias													
Precisión (Desv. Est.)													
Modo de prisma													
Estándar	2 mm + 2 ppm (0,0065 pies + 2 ppm)												
Desviación estándar según ISO17123-4	1,5 mm + 2 ppm (0,0049 pies + 2 ppm)												
Rastreo	5 mm + 2 ppm (0,016 pies + 2 ppm)												
Modo DR													
Medición estándar	3 mm + 2 ppm (0,01 pies + 2 ppm)												
Rastreo	10 mm + 2 ppm (0,032 pies + 2 ppm)												
Tiempo de medición													
Modo de prisma													
Estándar	2 s												
Rastreo	0,4 s												
Modo DR													
Estándar	3-15 s												
Rastreo	0,4 s												
Alcance (en condiciones normales de visibilidad ^{1,2})													
Modo de prisma													
1 prisma	2.500 m (8.202 pies)												
3 prismas	5.000 m (16.404 pies)												
Alcance más corto posible.	0,2 m (0,65 pies)												
Modo DR													
	<table><tr><td></td><td>Bueno</td><td>Normal</td><td>Difícil</td></tr><tr><td>Tarjeta Kodak Gray (90% reflectiva)³</td><td>>400 m (>1312 pies)</td><td>400 m (1312 pies)</td><td>200 m (656 pies)</td></tr><tr><td>Tarjeta Kodak Gray (18% reflectiva)³</td><td>>250 m (>820 pies)</td><td>250 m (820 pies)</td><td>150 m (492 pies)</td></tr></table>		Bueno	Normal	Difícil	Tarjeta Kodak Gray (90% reflectiva) ³	>400 m (>1312 pies)	400 m (1312 pies)	200 m (656 pies)	Tarjeta Kodak Gray (18% reflectiva) ³	>250 m (>820 pies)	250 m (820 pies)	150 m (492 pies)
	Bueno	Normal	Difícil										
Tarjeta Kodak Gray (90% reflectiva) ³	>400 m (>1312 pies)	400 m (1312 pies)	200 m (656 pies)										
Tarjeta Kodak Gray (18% reflectiva) ³	>250 m (>820 pies)	250 m (820 pies)	150 m (492 pies)										
Hoja reflectiva 20 mm	>200 m (656 pies)												
Hoja reflectiva 60 mm	>500 m (1.640 pies)												
Alcance más corto posible.	1,5 m (4,9 pies)												

ESPECIFICACIONES EDM

Fuente de luz	Diodo láser 660 nm; Láser clase 1 en modo Prisma, Láser clase 3R en modo DR
Puntero láser coaxial (estándar)	Láser clase 3R
Divergencia de haz en modo Prisma	
Horizontal	4 cm/100 m (0,13 pies/328 pies)
Vertical	4 cm/100 m (0,13 pies/328 pies)
Divergencia de haz en modo DR	
Horizontal	2 cm/50 m (0,066 pies/164 pies)
Vertical	2 cm/50 m (0,066 pies/164 pies)
Corrección atmosférica	-130 ppm a 160 ppm continuamente

ESPECIFICACIONES GENERALES

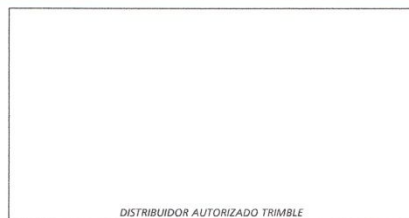
Nivelación	
Nivel circular en plataforma nivelante	8/2 mm (8/0,007 pies)
Nivel electrónico de 2 ejes en la pantalla LCD con una resolución de	0,3" (0,1 mgon)
Sistema servo	tecnología servo MagDrive, unidad electromagnética directa de sensor de servo/ángulo integrada
Velocidad de rotación	86 grados/s
Tiempo de rotación de Cara 1 a Cara 2	3,2 s
Velocidad de posicionamiento	3,2 s
Abrazaderas y movimientos lentos	Servo-accionados, ajuste fino continuo
Centrado	
Sistema de centrado	Trimble 3 pines
Plomada óptica	En plataforma nivelante
Aumento/distancia de enfoque más corta	2,3x/0,5 m (1,6 pies) al infinito
Telescopio	
Aumento	30x
Apertura	40 mm (1,57 pulg)
Campo de vista	2,6 m a 100 m (8,5 pies a 328 pies)
Distancia de enfoque más corta	1,5 m (4,92 pies) al infinito
Puntero iluminado	Variable (10 pasos)
Luz de rastreo integrada	Estándar
Temperatura de funcionamiento	-20 °C a +50 °C (-4 °F a +122 °F)
Impermeabilidad y protección contra el polvo	IP55
Alimentación de potencia	
Batería interna	Batería de ión-litio recargable 11,1 V, 4,4 Ah
Tiempo de funcionamiento ⁴	Aprox. 6 horas
Una batería interna	
Peso	
Instrumento (Servo y Autolock)	5,6 kg (12,35 libras)
Instrumento (Robótico)	5,25 kg (11,57 lb)
Base nivelante	0,7 kg (1,54 lb)
Batería interna	0,35 kg (0,77 lb)
Altura del eje del muñón	196 mm (7,71 pulg)
Comunicación	USB, Serie
LEVANTAMIENTOS ROBÓTICOS	
Alcance robótico ⁵	
Prismas pasivos	300-500 m (984-1,640 pies)
Distancia más corta de búsqueda	0,2 m (0,65 pies)
Tipo de radio interna/externa	radios con saltos de frecuencia de 2,4 GHz y amplio espectro
Tiempo de búsqueda (típico) ⁵	2-10 s
PANEL DE CONTROL SERVO Y AUTOLOCK	
Pantalla	QVGA, color de 16 bits, LCD TFT, retroiluminada (320 x 240 píxeles)
Teclado	19 teclas alfanuméricas + 4 teclas de flecha direccionales, teclas de control específicas de navegación y control del instrumento.
Audio	Altavoz integrado para eventos, advertencias y notificaciones de sistemas de audio.
Sistema operativo	Windows Embedded CE 6.0
Memoria	128 MB SDRAM, memoria Flash de 128 MB
Procesador	624 MHz Marvell ARM920T-PXA300 CPU

1 Visibilidad normal: sin neblina. Cielo cubierto o luz solar moderada con muy poco resplandor por calor.
2 El alcance y la precisión dependen de las condiciones atmosféricas, el tamaño de los prismas y la radiación de fondo.
3 Kodak Gray Card, número de Catálogo E1527795.
4 La capacidad a -20 °C (-4 °F) es un 75% de la capacidad a +20 °C (68 °F).
5 Depende del tamaño seleccionado en la ventana de búsqueda.

Las especificaciones están sujetas a cambio sin previo aviso.



© 2009-2010, Trimble Navigation Limited. Reservados todos los derechos. Trimble, el logo del Globo terráqueo y el Triángulo y TSC2 son marcas comerciales de Trimble Navigation Limited, registradas en los Estados Unidos y en otros países. Access, Integrated Surveying, MagDrive, Survey Manager y Trimble Survey Controller son marcas comerciales de Trimble Navigation Limited. Todas las otras marcas son propiedad de sus respectivos titulares. NP-022543-403A-E (01/10)



DISTRIBUIDOR AUTORIZADO TRIMBLE

AMÉRICA DEL NORTE

Trimble Engineering
& Construction Group
5475 Kellenburger Road
Dayton, Ohio 45424-1099
EE.UU.
800-538-7800 (Teléfono sin cargo)
Teléfono +1-937-245-5154
Fax +1-937-233-9441

EUROPA

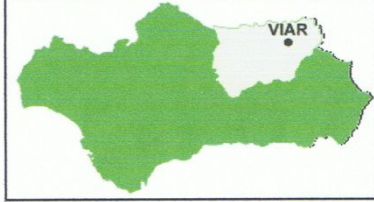
Trimble Germany GmbH
Am Prime Parc 11
65479 Raunheim • ALEMANIA
Teléfono +49-6142-2100-0
Fax +49-6142-2100-550

ASIA-PACÍFICO

Trimble Navigation
Singapore Pty Limited
80 Marine Parade Road
#22-06, Parkway Parade
Singapore 449269 • SINGAPUR
Teléfono +65-6348-2212
Fax +65-6348-2232



- Estación permanente de Villanueva del Arzobispo (Red Andaluza de Posicionamiento).

RED ANDALUZA DE POSICIONAMIENTO																																					
 Instituto de Estadística y Cartografía de Andalucía CONSEJERÍA DE ECONOMÍA Y CONOCIMIENTO	 LABORATORIO DE ASTRONOMÍA, GEODESIA Y CARTOGRAFÍA Universidad de Cádiz																																				
Estación permanente de Villanueva del Arzobispo (Fecha última actualización: 27/09/2007)																																					
ORTOFOTO 	<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="2">SITUACIÓN</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>VERTICE: VIAR</td> <td>NOMBRE: Villanueva del Arzobispo</td> </tr> <tr> <td>ID DE RED: 0017</td> <td>Nº IERS DOMES: 13472M001</td> </tr> <tr> <td>PROVINCIA: Jaén</td> <td>MUNICIPIO: Villanueva del Arzobispo</td> </tr> <tr> <td>HOJA MTN-50: 886</td> <td></td> </tr> </tbody> </table> UBICACIÓN: I.E.S. Doña Nieves López Pastor. C/ Maestro Ricardo López, 17. C.P.: 23330 – Villanueva del Arzobispo (Jaén). CONSTRUCCIÓN: Soporte metálico cilíndrico de 0.5 m. de altura y 0.09 m de diámetro, dotado con tornillo geodésico y fijado a un pilar del edificio en la cubierta.	SITUACIÓN		VERTICE: VIAR	NOMBRE: Villanueva del Arzobispo	ID DE RED: 0017	Nº IERS DOMES: 13472M001	PROVINCIA: Jaén	MUNICIPIO: Villanueva del Arzobispo	HOJA MTN-50: 886																											
SITUACIÓN																																					
VERTICE: VIAR	NOMBRE: Villanueva del Arzobispo																																				
ID DE RED: 0017	Nº IERS DOMES: 13472M001																																				
PROVINCIA: Jaén	MUNICIPIO: Villanueva del Arzobispo																																				
HOJA MTN-50: 886																																					
FOTOGRAFÍA DE CAMPO NO DISPONIBLE	<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="2">INSTRUMENTACIÓN</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>RECEPTOR: Leica GRX 1200 Pro</td> <td>ANTENA: LEIAX1202 NONE</td> </tr> <tr> <td colspan="2">ESTACIÓN METEOROLÓGICA:</td> </tr> <tr> <td colspan="2">REGISTROS:</td> </tr> </tbody> </table>	INSTRUMENTACIÓN		RECEPTOR: Leica GRX 1200 Pro	ANTENA: LEIAX1202 NONE	ESTACIÓN METEOROLÓGICA:		REGISTROS:																													
INSTRUMENTACIÓN																																					
RECEPTOR: Leica GRX 1200 Pro	ANTENA: LEIAX1202 NONE																																				
ESTACIÓN METEOROLÓGICA:																																					
REGISTROS:																																					
MAPA DE SITUACIÓN 	<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="3">COORDENADAS ETRS-89</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td colspan="3">CARTESIANAS</td> </tr> <tr> <td>X(m): 5014599.64</td> <td>Y(m): -263899.023</td> <td>Z(m): 3920551.445</td> </tr> <tr> <td colspan="3">GEODÉSICAS</td> </tr> <tr> <td></td> <td>DECIMAL</td> <td>SEXAGESIMAL</td> </tr> <tr> <td>LATITUD:</td> <td>38.167638470</td> <td>38° 10' 3.49849" N</td> </tr> <tr> <td>LONGITUD:</td> <td>-3.012476750</td> <td>3° 0' 44.91630" O</td> </tr> <tr> <td>H ELIPS (m):</td> <td>746.480</td> <td></td> </tr> <tr> <td colspan="3">UTM</td> </tr> <tr> <td colspan="3">HUSO 30</td> </tr> <tr> <td>X UTM 30 (m):</td> <td colspan="2">498907.073</td> </tr> <tr> <td>Y UTM 30 (m):</td> <td colspan="2">4224415.196</td> </tr> </tbody> </table>	COORDENADAS ETRS-89			CARTESIANAS			X(m): 5014599.64	Y(m): -263899.023	Z(m): 3920551.445	GEODÉSICAS				DECIMAL	SEXAGESIMAL	LATITUD:	38.167638470	38° 10' 3.49849" N	LONGITUD:	-3.012476750	3° 0' 44.91630" O	H ELIPS (m):	746.480		UTM			HUSO 30			X UTM 30 (m):	498907.073		Y UTM 30 (m):	4224415.196	
COORDENADAS ETRS-89																																					
CARTESIANAS																																					
X(m): 5014599.64	Y(m): -263899.023	Z(m): 3920551.445																																			
GEODÉSICAS																																					
	DECIMAL	SEXAGESIMAL																																			
LATITUD:	38.167638470	38° 10' 3.49849" N																																			
LONGITUD:	-3.012476750	3° 0' 44.91630" O																																			
H ELIPS (m):	746.480																																				
UTM																																					
HUSO 30																																					
X UTM 30 (m):	498907.073																																				
Y UTM 30 (m):	4224415.196																																				
PÁGINA WEB RAP: http://www.ideandalucia.es/portal/web/portal-posicionamiento PÁGINA WEB LAGC: http://www.uca.es/grup-invest/geodesia/	<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="2">INFORMACIÓN ADICIONAL</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td colspan="2">INSTITUCIÓN RESPONSABLE:</td> </tr> <tr> <td colspan="2">Instituto de Estadística y Cartografía de Andalucía (IECA). Consejería de Economía y Conocimiento C/ Leonardo Da Vinci, nº 21 (Pabellón de Nueva Zelanda) Isla de La Cartuja. 41092 Sevilla. España</td> </tr> <tr> <td colspan="2">E-MAIL IECA: cartografia@juntadeandalucia.es</td> </tr> <tr> <td colspan="2">CONTROL GEODÉSICO:</td> </tr> <tr> <td colspan="2">Laboratorio de Astronomía, Geodesia y Cartografía (LAGC). Departamento de Matemáticas. Facultad de Ciencias. Campus de Puerto Real. Universidad de Cádiz. 11510 Puerto Real (Cádiz). España.</td> </tr> <tr> <td colspan="2">E-MAIL LAGC: geodesia@uca.es</td> </tr> </tbody> </table>	INFORMACIÓN ADICIONAL		INSTITUCIÓN RESPONSABLE:		Instituto de Estadística y Cartografía de Andalucía (IECA). Consejería de Economía y Conocimiento C/ Leonardo Da Vinci, nº 21 (Pabellón de Nueva Zelanda) Isla de La Cartuja. 41092 Sevilla. España		E-MAIL IECA: cartografia@juntadeandalucia.es		CONTROL GEODÉSICO:		Laboratorio de Astronomía, Geodesia y Cartografía (LAGC). Departamento de Matemáticas. Facultad de Ciencias. Campus de Puerto Real. Universidad de Cádiz. 11510 Puerto Real (Cádiz). España.		E-MAIL LAGC: geodesia@uca.es																							
INFORMACIÓN ADICIONAL																																					
INSTITUCIÓN RESPONSABLE:																																					
Instituto de Estadística y Cartografía de Andalucía (IECA). Consejería de Economía y Conocimiento C/ Leonardo Da Vinci, nº 21 (Pabellón de Nueva Zelanda) Isla de La Cartuja. 41092 Sevilla. España																																					
E-MAIL IECA: cartografia@juntadeandalucia.es																																					
CONTROL GEODÉSICO:																																					
Laboratorio de Astronomía, Geodesia y Cartografía (LAGC). Departamento de Matemáticas. Facultad de Ciencias. Campus de Puerto Real. Universidad de Cádiz. 11510 Puerto Real (Cádiz). España.																																					
E-MAIL LAGC: geodesia@uca.es																																					

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

[1] ALMAGRO GORBEA, A. Levantamiento arquitectónico. Granada: Universidad de Granada.

[2] CALAVERA, J. Patología de estructuras de hormigón armado y pretensado. Intemac Ediciones, 2005.

[3] CASATI, M.J. Influencia del comportamiento de la fábrica en la sensibilidad estructural de las catedrales góticas. Aplicación del estudio a la catedral de León. Madrid: Tesis Doctoral, U.C.L.M.

[4] DÍAZ, C. Lesiones estructurales en los edificios de la arquitectura tradicional mediterránea. Universidad Politécnica de Cataluña.

[5] GARCÍA DE CASASOLA, M. Proyecto básico y de ejecución de intervención en la Iglesia de San Miguel de Jerez de la Frontera (Cádiz): Reparación de nervaduras y elementos decorativos de las bóvedas protección de vidrieras y reparación de cubiertas. Instituto Andaluz del Patrimonio Histórico.

[6] HUERTA FERNÁNDEZ, S. Diseño estructural de Arcos, Bóvedas y Cúpulas en España ca.1500-ca.1800. Madrid: Tesis Doctoral, 1990

[7] HURTADO GÓMEZ, J.E. Introducción al análisis estructural por elementos finitos. Colombia: Universidad Nacional de Colombia, 2002.

[8] LLORENS, S. El dibujo constructivo: su evolución con la aparición del hierro como material estructural 1750-1850. Madrid: Escuela Técnica Superior de Arquitectura del Madrid, 1992.

[9] LOMBILLO, I., VILLEGAS, L., GTEDE-UC. Metodología para el análisis de estructuras de fábrica del patrimonio construido. Cantabria: Grupo de Tecnología de la Edificación de Cantabria. E.T.S. de Ingenieros de Caminos, C. y P. de Santander.

[10] URIEL ORTIZ, A. Patología de las cimentaciones. Madrid: Centro Superior de Investigaciones Científicas (CSIC).

[11] VALLECILLO, A., OSUNA, J.M., HERNÁNDEZ, E. Recalce y arriostramiento de un edificio plurifamiliar de 7 plantas, en el casco histórico de Granada. Navarrensis Universitas Studiorum.

[12] VILLAR MARTÍNEZ, J.B. Proyecto de recalce de cimentación de la Parroquia San Andrés Apóstol. Torreperogil: 2015.

[13] VITRUVIO, M.L. Los diez libros de arquitectura.