

PatvAc

PSE-380000-2008-3

Patrimonio Accesible: I+D+i para una cultura sin barreras

**E 2.17 – protocolo para el estudio constructivo
previo a las intervenciones en el patrimonio
arquitectónico**

INDICE

INTRODUCCIÓN.....	4
1. ESTRUCTURA DEL DOCUMENTO.....	5
2. METODOLOGÍA DE TRABAJO ADOPTADA.....	6
I. ESPECIFICACIÓN DE PRERREQUISITOS Y FUNCIONALIDADES.....	7
1. ESTADO DEL ARTE.....	7
2. ESTANDARIZACIÓN Y TIPOLOGÍAS CONSTRUCTIVAS.....	9
3. DISEÑO Y PLANIFICACIÓN DE INTERVENCIONES.....	12
II. ESTUDIO COMPARATIVO DE LAS TECNOLOGÍAS EXISTENTES EN ENSAYOS NO DESTRUCTIVOS (TND) O SEMIDESTRUCTIVOS (TSD) PARA EL ANÁLISIS ARQUITECTÓNICO Y CONSTRUCTIVO DEL EDIFICIO.....	13
1. ACTIVIDADES REALIZADAS.....	15
2. LISTADO DE TÉCNICAS NO DESTRUCTIVAS.....	15
3. MODELO DE FICHA.....	18
4. CATÁLOGO DE TÉCNICAS NO DESTRUCTIVAS.....	20
5. ANÁLISIS COMPARATIVO EXHAUSTIVO DE LAS DIFERENTES TÉCNICAS, EN FUNCIÓN DE LAS APLICACIONES REQUERIDAS.....	36
6. LIMITACIONES Y POSIBLES MEJORAS QUE SE REQUIERAN EN LAS TND / TSD FRENTE A ADAPTACIONES DE ACCESIBILIDAD EN EL PATRIMONIO HISTÓRICO.....	38
7. CLASIFICACIÓN POR TIPO DE TÉCNICA DE LAS TND / TSD EXISTENTES.....	42
7.1. <i>Técnicas No Destructivas (TND)</i>	42
7.2. <i>Técnicas Semi-Destructivas (TSD)</i>	65
8. CONCLUSIONES.....	66
III. PROTOCOLO DE ESTUDIO PARA EL ANÁLISIS PREVIO A LA ADAPTACIÓN DE LOS EDIFICIOS PATRIMONIALES A LA ACCESIBILIDAD.....	67
IV. DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE LA APLICACIÓN SOFTWARE.....	70
1. ARQUITECTURA DE LA APLICACIÓN GIRAPIM.....	71
2. DISEÑO DE PROCESOS.....	75
3. DISEÑO DE SERVICIOS PARA EXPERTOS.....	76
4. CONCLUSIONES.....	78
V. CONCLUSIONES GENERALES.....	79

RESUMEN de CONTENIDOS

En este entregable se resumen los trabajos realizados de la subtarea 2.3.1 “Diagnóstico del Estado Previo” relacionados con la descripción de los Protocolos de estudio adecuados para el análisis previo de las intervenciones en monumentos para el aumento de su grado de accesibilidad correspondientes al Entregable E.2.17. En contraposición con el E.2.18, este entregable tiene un carácter metodológico. No obstante, la metodología desarrollada se ha nutrido de la documentación disponible y de las experiencias llevadas a cabo recientemente por el equipo participante en casos de uso, algunos de los cuales se detallan en el Entregable E.2.18.

A continuación se tratan las técnicas no destructivas o semidestructivas existentes, de las cuales se hace un exhaustivo estudio, para finalmente proponer las posibles mejoras que facilitarían su uso para la aplicación en el estudio de bienes patrimoniales susceptibles de ser adaptados a la accesibilidad física.

Por último, y a partir del conocimiento obtenido del estudio de las citadas técnicas, se presenta un protocolo de estudio para el análisis previo a la adaptación de los edificios patrimoniales a la accesibilidad.

INTRODUCCIÓN

Tal y como se recoge en la Memoria aprobada para el ejercicio de 2008, el aumento de la accesibilidad del Patrimonio Cultural requiere la intervención en el bien, utilizando técnicas de restauración y rehabilitación del patrimonio. Esta intervención para la instalación de productos que aumenten en lo posible el grado de accesibilidad debe ser reversible y minimizar el impacto en el monumento. Para garantizar estas premisas es necesario el estudio y desarrollo de técnicas de intervención en elementos del bien cultural, como muros, pilares, forjados y cerramientos que garantizan la estabilidad estructural del BIC.

De acuerdo con los objetivos especificados para la subtarea 2.3.1 de la redacción aprobada para el ejercicio 2008 de PATRAC, este documento pretende proporcionar una metodología aplicable al análisis estructural y de materiales para resolver los problemas de accesibilidad detectados en los casos de uso en la fase de diseño. La resolución efectiva de dichos problemas requiere una financiación adicional y una infraestructura física y digital de soporte que permita llevar a cabo las intervenciones y proveer los servicios adecuados para cada escenario de prueba.

El objetivo de esta subtarea es la evaluación de las diferentes técnicas de estudio y análisis constructivo que deberán emplearse para la evaluación del estado y características de los monumentos objeto de estudio, de cara a establecer su acondicionamiento desde el punto de vista de la accesibilidad.

Las características principales que habrán de evaluarse, previamente a las intervenciones que se efectúen para aumentar el nivel de accesibilidad del Patrimonio Cultural son:

- Conocer la composición de sus elementos estructurales, incluyendo tanto las zonas vistas como las zonas ocultas del edificio, y detectando, asimismo, posibles huecos y otros elementos ocultos (estructurales, arqueológicos, etc.) que puedan existir

- Evaluar la estabilidad estructural del edificio, previamente y posteriormente a la intervención que se desea efectuar, para asegurar la seguridad de la misma. Esta evaluación conlleva, además de un levantamiento geométrico lo más exacto posible del monumento, una caracterización mecánica y física (resistencias mecánicas y módulo elástico, densidad, etc.) de los materiales a utilizar
- Establecer, en función del conocimiento adquirido, aquellas zonas en las que las intervenciones que se desea efectuar, resulten más viables, desde los puntos de vista siguientes:
 - o Reversibilidad
 - o Mínimo impacto en el edificio (tanto estructural como estético)
 - o Seguridad estructural
 - o Eficacia, con respecto a la adquisición del nivel de accesibilidad deseado

Según los protocolos habitualmente utilizados para la realización de diagnósticos del estado previo, se tratará de minimizar la toma de muestras. Para ello, se emplearán, fundamentalmente, métodos no destructivos, si bien el empleo de los mismos deberá complementarse con la extracción de muestras para su ensayo Mecánico y físico en determinadas zonas de los edificios.

1. Estructura del documento

Para facilitar el desarrollo del trabajo, se ha subdividido el entregable en cuatro secciones que afectan a las fases de 1) Especificación de prerequisites y funcionalidades, 2) Estudio comparativo de las tecnologías existentes en ensayos no destructivos (TND) o semidestructivos (TSD) para el análisis arquitectónico y constructivo del edificio, 3) Protocolo de estudio para el análisis previo a la adaptación de los edificios patrimoniales a la accesibilidad, y 4) Diseño e Implementación de la Aplicación Software. De acuerdo con ello, el documento se ha dividido en cinco secciones principales:

- **Especificación de prerequisites y funcionalidades:** esta sección incluye un estado del arte en relación con los protocolos de intervención que afecta sobre todo a la identificación de los aspectos normativos (directivas de la

UE, legislación, CTE, normativa regional, etc) en relación con accesibilidad, la Estandarización (CEN/ISO) en relación con las Tipologías Constructivas y, por último, la especificación de prerrequisitos y funcionalidades para el Diseño y Planificación de Intervenciones.

- **Estudio comparativo de las tecnologías existentes** en ensayos no destructivos (TND) o semidestructivos (TSD) para el análisis arquitectónico y constructivo del edificio.
- **Protocolo de estudio para el análisis previo a la adaptación de LOS edificios patrimoniales a la accesibilidad:** Dirigido a tratar de establecer y recoger en cada caso la información que la TND/TSD a usar puede darnos. Se interpretará la información que nos proporcionen y así proseguirá con la adaptación a la accesibilidad del monumento, o en su caso, se modificará la propuesta inicial adaptándola a las características del bien.
- **Diseño e implementación de la aplicación software:** esta sección incluye el diseño de la Arquitectura de la Aplicación software que proporciona el soporte para el seguimiento de las intervenciones (análisis de procesos) en relación con las intervenciones para facilitar la accesibilidad y la provisión de servicios ligados a la documentación, el procesamiento y el análisis de la información. Se ha adoptado una arquitectura software abierta que permita incorporar servicios para ciudadanos (discapacitados ó no) ó entidades interesadas en facilitar servicios a diferentes tipos de usuarios.
- **Conclusiones.**

2. Metodología de trabajo adoptada

Tras el reparto de tareas entre los tres socios participantes en el Entregable, la metodología de trabajo adoptada ha consistido en fijar una agenda interna entre los tres socios para la circulación de versiones previas consensuadas de este documento (un mes), una etapa de desarrollo interno a cargo de cada socio (cuatro meses) y una puesta en común de los diferentes puntos de vista (un mes) durante el último mes del período financiado.

I. ESPECIFICACIÓN DE PRERREQUISITOS Y FUNCIONALIDADES

1. Estado del Arte

Los procesos de intervención en Patrimonio presentan unas características muy diferentes, pues pueden afectar a la corrección de problemas estructurales (la estabilidad estructural es el más importante), de materiales (deterioro ó modificaciones en la composición debido a factores geoquímicos, p.e.) ó funcionales relacionados con características del entorno (accesibilidad física propiamente dicha, p.e.). La metodología comúnmente aceptada para los procesos de intervención incluye las siguientes fases: captura de datos, almacenamiento de la información en bases de datos apropiadas (relacionales), procesamiento de datos, análisis de la información, diagnóstico, visualización y gestión del conocimiento. Los datos se refieren sobre todo al entorno físico (incluyendo condiciones medio-ambientales), a la estructura del edificio y los materiales; el sustrato común a ambos es la geometría del objeto.

Por ello y siguiendo una metodología típica de Sistemas de Información Geográfica (SIG en lo sucesivo), toda la información se refiere a la geometría de los objetos físicos; asimismo, el soporte para la fusión debe ser un Sistema con diferentes subsistemas que puedan soportar funcionalidades típicas de SIG, Documentación y Gestión, con sus correspondientes módulos de Visualización en el que todos los módulos descritos están referenciados al soporte geométrico del objeto. Las representaciones utilizadas habitualmente son 2D (Cartografía, Planimetría); más recientemente, se ha abordado la integración en relación con modelos 3D. CityGML proporciona un marco para la integración de los sistemas de documentación e información según una metodología típica de SIG organizada de forma jerárquica en 5 niveles de detalle (LoD).

El análisis e identificación de protocolos en las diferentes etapas de captura de datos, procesamiento y análisis es crucial para garantizar la eficiencia de las soluciones y facilitar su reutilización por parte de los expertos que van a

intervenir para facilitar ó mejorar la accesibilidad al Patrimonio Arquitectónico. El di seño y especificación de protocolos va estrechamente ligado al modelado y los tipos de datos que serán incorporados al diseño de la intervención. La actualización de la información relativa a diferentes intervenciones a lo largo del tiempo por distintos expertos requiere un histórico, donde se especifiquen los agentes y sus intervenciones, que se almacenan como metadatos.

La interoperabilidad requiere un marco común de referencia para toda la información; de forma similar a los Sistemas de Información Geográficos (SIG en lo sucesivo), se adopta una estrategia con múltiples jerarquías pero en la que toda la información está referida a un modelo espacial que se actualiza a lo largo del tiempo. La existencia de un modelo espacio-temporal 4D común permite tratar los análisis llevados a cabo por diferentes expertos como diferentes capas que pueden agruparse según diferentes criterios especificados en la base de datos asociada al Sistema de Información y Gestión del Bien de Interés Cultural (SIGBIC, en lo sucesivo).

Una dificultad inicial para formular un modelo común a diferentes expertos procede de la diversidad de comunidades de expertos que van a intervenir para mejorar la accesibilidad a escenarios arquitectónicos. En efecto, cada comunidad de expertos tiene sus vocabularios, herramientas y metodologías propias. Esta diversidad pone de manifiesto la conveniencia de desarrollar esquemas de metadatos específicos para cada área; la identificación de elementos comunes dentro de los metadatos es la clave para facilitar la transferencia de información y la interoperabilidad entre las herramientas software utilizadas.

Por ello, no se trata tanto de identificar una metodología común (algo imposible a la vista de los diferentes perfiles, conocimientos y herramientas), sino de proporcionar un soporte para compartir, intercambiar y transformar la información en conocimiento compartido por diferentes usuarios dentro de un marco colaborativo. Sin embargo, en este punto surge ya la primera distinción

importante relativa a la estrategia más apropiada para el diseño de protocolos en relación con la Accesibilidad que puede plantearse atendiendo a

- El objeto 4D (transformación temporal de objeto a lo largo del ciclo de vida correspondiente a la intervención), tal y como se hace en extensiones recientes a Sistemas de Información Geográficos, como CityGML1 para facilitar diferentes tipos de servicios a ciudadanos ó entidades relacionadas con la gestión de los BIC.
- Los procesos de intervención y los perfiles de aplicación específicos para cada tipo de comunidad dentro de un contexto arquitectónico², tal y como aparecen en extensiones de bases de datos basadas en IFC (Industry Foundation Classes) para facilitar las líneas de negocio vinculadas a las intervenciones.

En el Proyecto PATRAC se desarrollan las dos estrategias orientadas a servicios y procesos, mostrando relaciones entre ambas. Las relaciones entre ambas son la clave para involucrar a diferentes agentes sociales. La identificación de estas relaciones afecta a una reutilización de procesos relacionados con la toma de datos, diseño y planificación dentro de la fase de especificación de prerequisites y funcionalidades.

2. Estandarización y Tipologías Constructivas

La estandarización afecta a todas las fases relacionadas con las intervenciones, es decir, a la toma de datos, el almacenamiento, el procesamiento, el análisis, la visualización y la gestión de la información. El desarrollo de un marco conceptual común que sea universal con respecto a diferentes protocolos está hoy fuera del alcance de las aplicaciones informáticas al uso. Mientras tanto, nuestra propuesta propone una articulación a través de un conjunto delimitado de relaciones conceptuales a nivel de metadatos, como paso previo a fases más avanzadas como la transferencia de

¹ Ver más abajo

² Una aproximación general al problema en el marco de metadatos a esta distinción se encuentra formulada ya en Baker, T.: Diverse Vocabularies in a Common Model: DCMI at ten years, Keynote speech, DC-2005, Madrid, 2005. <http://dc2005.uc3m.es/program/presentations/2005-09-12.plenary.baker-keynote.ppt>

datos, el procesamiento y análisis de información y, por último, la interoperabilidad entre herramientas. Para fijar ideas y en relación con la especificación de metadatos (paso previo para el acceso a la aplicación informática), nos limitamos a dos de los estándares más generales de metadatos como son el IEEE LOM y Dublin Core (DC). Para ello, es necesario especificar un contexto (framework) que pueda ser compartido por diferentes estándares. La elección basada en RDF (Resources Description Framework) se justifica por razones internas y externas:

- Internas: por las descripciones de metadatos, la interoperabilidad entre estándares y las especificaciones sobre las cuales están basadas las descripciones de metadatos. Una ventaja adicional interna de los DCS (DC Standards) es su relativa simplicidad.
- Externas: RDF proporciona la “capa inferior” para facilitar servicios web basados en la web semántica (W3C), mediante la construcción semi-automática de relaciones sobre esquemas RDF que incorporan funcionalidades “hereditarias” al RDF original³. Una ventaja adicional externa de los DCS es su aplicabilidad a diferentes dominios.

Nótese que la metodología adoptada es similar a la que se viene desarrollando en los últimos diez años en relación con el enfoque orientado hacia objetos físicos 4D basado en las especificaciones generales UML4 2.0 (incluyendo la UML Meta Object Facility para el caso particular de metadatos) y que resulta de especial utilidad para la inserción y gestión de información bajo CityGML. De cara a la provisión de servicios web basados en formatos multimedia es asimismo significativo que MPEG7 proporciona un soporte que puede soportar anotaciones (manuales aún, en su mayor parte) dentro del marco para la gestión de vocabularios con respecto a sistemas de metadatos para multimedia⁵.

³ El enfoque basado en la Web Semántica se desarrolla sobre todo en el Subproyecto 6.4

⁴ Unified Mark-Up Language

⁵ Este aspecto es importante tenerlo presente de cara al desarrollo posterior de herramientas relacionadas con e-learning y e-training, especialmente en relación con fases más avanzadas del Subproyecto 6.2

La anotación automática a partir de la búsqueda, hallazgo e indexación de contenido en diferentes formatos multimedia es un reto que aún sigue pendiente y que facilitará la provisión de servicios web. La anotación semi-automática de video ofrece grandes posibilidades en relación con técnicas no-destructivas como las correspondientes al modelado geométrico basada en video ó la video-correlación.

Mientras se resuelve el desarrollo de herramientas de Reconocimiento multimedia conviene contar con una metodología que permita realizar de forma manual anotaciones sobre el modelo geométrico que faciliten la reutilización de datos y la interoperabilidad entre sistemas y herramientas software. Ello requiere especificar protocolos para cuestiones aparentemente tan diversas como

- 1) La gestión de la información: gestión usando modelos de metadatos (DCS es el recomendado por la UE) para referenciar objetos, expertos e intervenciones.
- 2) Captura y procesamiento de datos: almacenamiento en bases de datos relacionales. Oracle ofrece prestaciones de gran interés, pero presenta un elevado coste; por ello, se ha elegido SQL Server como marco abierto y no-propietario
- 3) Modelos de diseño y planificación asociados: IFC para la lógica de negocio vinculada a procesos de intervención, versus CityGML para la lógica de documentación, diseño y planificación vinculada a servicios.

Esta diversidad es la que sugiere la elección de estándares abiertos extendidos y de amplia aplicabilidad (tales como DCS para metadatos, SQL para bases de Datos Relacionales e IFC/CityGML como marco general para AEC), desarrollando clasificaciones para subpartados relativos al objeto y a los perfiles de aplicación en el marco AEC (Architecture, Engineering, Construction). Para asegurar la interoperabilidad entre estándares a partir de la

especificación de metadatos en el SP6.4 se ha adoptado el esquema desarrollado por Nilsson et al (2006)⁶.

3. Diseño y Planificación de intervenciones

A continuación se ofrece un resumen de prerequisites y funcionalidades que afectan a la planificación de intervenciones en relación con la aplicación de las diferentes tecnologías en cada uno de los ámbitos del estudio estructural a desarrollar en un edificio de obra de fábrica.

Cuando se pretende afrontar el estudio de un edificio de obra de fábrica para evaluar la posibilidad de integración de algún elemento que facilite la accesibilidad, es necesario conocer una serie de aspectos estructurales del edificio:

- Propiedades MCTánicas de los materiales que componen la fábrica, (mortero, piedra, ladrillo, etc.)
- Propiedades MCTánicas de las fábricas en su conjunto (resistencia de la fábrica, modulo de deformabilidad, etc)
- Morfología constructiva de la fábrica (si es muro de doble hoja, si existe relleno en el interior del muro, dimensión de las cimentaciones, etc)
- Estado de degradación de los materiales, presencia de fisuración en el material pétreo, degradación de los morteros, etc. Algunas veces la degradación de los mismos implica pérdida de propiedades MCTánicas.
- Estado de los elementos estructurales de fábrica con respecto a la presencia de
- Heterogeneidades, huecos, desdoblamiento de hojas, etc.
- En la sección siguiente se detallan los diferentes tipos de técnicas a utilizar.

⁶ Nilsson, M., Johnston, P., Naeve, A., Powell, A. (2006), The Future of Learning Object Metadata Interoperability, in Koohang A. (ed.) Learning Objects: Standards, Metadata, Repositories, and LCMS, 2006

II. ESTUDIO COMPARATIVO DE LAS TECNOLOGÍAS EXISTENTES EN ENSAYOS NO DESTRUCTIVOS (TND) O SEMIDESTRUCTIVOS (TSD) PARA EL ANÁLISIS ARQUITECTÓNICO Y CONSTRUCTIVO DEL EDIFICIO

El diagnóstico estructural de un edificio requiere diferentes tipos de herramientas que proporcionen a los técnicos una información fiable y completa sobre la estabilidad global de la fábrica. Desde el punto de vista estructural, el análisis de la estabilidad puede ser estático ó dinámico. Cada uno requiere combinar diferentes tipos de técnicas no-destructivas ó semi-destructivas con sus correspondientes tipos de instrumentación. El propósito de esta sección es proporcionar un breve resumen de los diferentes tipos de técnicas y la instrumentación correspondiente utilizados para intervenciones en Patrimonio, con una especial atención a cuestiones de accesibilidad. Esta descripción posibilita la creación de un protocolo de estudio para el análisis previo a la adaptación de edificios patrimoniales a la accesibilidad. Asimismo proporciona un soporte para la aplicación informática (actualmente en desarrollo) que facilite una guía para la monitorización, la asistencia a la intervención y el seguimiento en el comportamiento del edificio.

La parte visible del objeto es relativamente fácil de identificar con técnicas no-destructivas que permiten recuperar la geometría correspondiente a la apariencia física del objeto; así por ejemplo, las técnicas de Fotogrametría basadas en imagen y en rango proporcionan una representación geométrica del objeto con una precisión “a la carta”. Sin embargo, la identificación de las características correspondientes a la parte no-visible, presenta un mayor grado de incertidumbre, no sólo en su parte estática (composición y propiedades de los materiales), sino también en su parte casi-estática (relacionada con los diferentes tipos de esfuerzos en la estructura, p.e.). Habitualmente, es muy conveniente utilizar diferentes tipos de técnicas para identificar los parámetros que puedan identificar características del comportamiento dinámico, en relación, con la identificación de posibles patologías. En ocasiones, dichas

patologías pueden proceder de restauraciones anteriores que en ocasiones han contribuido a empeorar el comportamiento de la fábrica original.

A pesar de los avances que han tenido lugar en los últimos años en relación con la aplicación de técnicas específicas, aún carecemos de resultados significativos que faciliten información sobre la posible correlación entre diferentes factores, incluso en condiciones de Laboratorio. Por ello, se requiere un mayor esfuerzo de investigación que permita identificar de forma automática las correlaciones entre datos de características similares que pueden aparecer en Laboratorio y su validación in situ. Antes de calcular dichas correlaciones, es importante disponer de herramientas e interfaces que permitan realizar las anotaciones y traducirlas a un esquema computacionalmente implementable. Estas herramientas deben facilitar el procesamiento y análisis de los datos obtenidos en campo sobre diferentes soportes multimedia.

Estudio comparativo de tecnologías existentes en ensayos no destructivos (TND) o semidestructivos (TSD) para el análisis arquitectónico y constructivo del edificio

El objetivo del presente estudio, es la evaluación de las diferentes técnicas no destructivas que se pueden utilizar en el análisis y estudio constructivo para la evaluación del estado y características de los monumentos objeto de estudio de cara a establecer su acondicionamiento desde el punto de vista de la accesibilidad.

Dentro del amplio ámbito de las técnicas no destructivas que se pueden emplear para el reconocimiento de un edificio, únicamente se van a recoger en el presente estudio las que se utilizan en las estructuras de fábrica, quedando excluidas por tanto en el presente estudio otras técnicas aplicadas en las estructuras de madera, de hormigón, metálica, etc.

1. Actividades Realizadas

Para la realización del presente estudio comparativo de las técnicas no destructivas que se pueden emplear en el estudio y reconocimiento de estructuras de fábricas se han realizado las siguientes actividades.

- Listado de técnicas a evaluar
- Elaboración de un modelo de ficha comparativa
- Catálogo de TND, completando las fichas elaboradas
- Análisis comparativo exhaustivo de las diferentes técnicas, en función de las aplicaciones requeridas
- Identificación de las posibles mejoras que se requieran en las TND/TSD para los estudios de accesibilidad
- Protocolo de TND/TSD y su aplicación en estudios de accesibilidad

2. Listado de Técnicas No Destructivas

En primer lugar y atendiendo a la definición de técnica no destructiva enunciada por el Director técnico de AEND, se entiende por ensayo no destructivo, la prueba que mediante la mediación de alguna propiedad física, proporciona información sobre el objeto ensayado, sin que este experimente ningún deterioro tanto durante como al finalizar el ensayo.

No obstante hay que indicar que algunas técnicas calificadas como no destructivas, producen en el objeto a estudiar pequeñas alteraciones que se pueden reparar de forma que no alteran de forma excesiva el monumento.

Dentro del ámbito del patrimonio construido, donde es necesario conocer el estado de las construcciones existentes de forma que se pueda determinar la situación estructural en la que se encuentran los edificios, (las características de los materiales que los componen, las geometrías de los diferentes elementos que las forman, etc.) es importante identificar las técnicas de auscultación lo menos invasivas y destructivas posibles, que permitan el estudio de las construcciones de fábrica para la integración de diferentes actuaciones que permitan que dichos elementos del patrimonio construido sean mas accesibles.

A continuación se incluye el listado de técnicas no destructivas aplicables en el estudio de las fábricas. El listado se ha clasificado según las diferentes técnicas que se pueden emplear.

LISTADO DE TECNICAS NO DESTRUCTIVAS.

- TECNICAS DE INSPECCIÓN VISUAL
 - **Endoscopia**
- TECNICAS ESCLEROMETRICAS
 - **Esclerometría**
- TECNICAS BASADAS EN TENSIONES Y DEFORMACIONES DE LA FÁBRICA
 - **Hole Drilling (método Donostia)**
 - **Gatos planos (Flat Jack)**
 - **Bore Hole Dilatometer**
 - **Presurómetro**

- TECNICAS BASADAS EN ONDAS
 - **Termografía IR**
 - **Georadar**
 - **Tomografía eléctrica**
 - **Tomografía axial computerizada**
 - **Tomografía de radar**
- TECNICAS BASADAS EN ACUSTICA
 - **Ultrasonidos**
 - **Impacto Eco**
 - **Métodos sónicos**
- TECNICAS APLICADAS A MORTEROS y MATERIAL PETREO
 - **Pull out**
 - **Penetrómetro de mortero**
- TECNICAS PARA OBTENCIÓN DE GEOMETRIA
 - **Fotogrametría**
 - **Scanner 3D**
- TECNICAS MONITORIZACIÓN ESTRUCTURAL Y AMBIENTAL
 - **Monitorización estática de deformaciones**
 - **Monitorización dinámica**
 - **Monitorización ambiental (T^a, humedad, etc)**

De todas las técnicas no destructivas mencionadas no se analizado las correspondientes a monitorización ya que son técnicas que requieren de un capitulo aparte y que se incluye en el apartado 2.15 que desarrollará Geocisa de forma detallada.

Por otro lado las técnicas no destructivas que se emplean para obtener un modelado geométrico de exteriores, interiores y elementos concretos del edificio, son técnicas ampliamente conocidas y desarrolladas por otro de los componentes del equipo UVA, que la desarrollaran en el entregable E2.14.

Indicar que además de las técnicas enumeradas existen numerosas técnicas no destructivas o semidestructivas aplicadas en geotecnia, estudio de hormigones y morteros que se han aplicado por algunos autores en estructuras de fábrica, pero la aplicación directa de algunas de estas técnicas es complicada ya que la interpretación de los resultados que se obtienen

necesitan de una labor previa de investigación para poder establecer unos parámetros de correlación.

3. Modelo de Ficha

Se ha diseñado una ficha para realizar la comparativa entre las diferentes técnicas no destructivas a analizar y que recoge los siguientes campos con la definición de cada uno de ellos.

- **Nombre.** Nombre común o más utilizado para cada una de las técnicas.
- **Descripción y Fundamento.** Descripción del fundamento de la técnica y fenómeno físico en el que se basa.
- **Gama de Equipos a utilizar.** Nombre del equipo o componentes del equipo a utilizar
- **Metodología de uso.** Se describen las operaciones a realizar para aplicar la técnica no destructiva. Se distinguen entre las tareas a desarrollar en campo y las que hay que desarrollar en la oficina para llevar a cabo el tratamiento de los datos y obtener la información que permita conocer el parámetro objeto del ensayo. Se han incluido dentro de este apartado la autonomía de uso del propio equipo o medios auxiliares, el grado de alteración que genera en el bien las operaciones necesarias para la aplicación de la técnica y el tiempo necesario para llevar a cabo dichas operaciones de campo.
 - **Descripción operativa**
 - En campo
 - En oficina
 - **Grado de alteración**
 - ELEVADO. Se genera una alteración pequeña en el bien pero apreciable tras la reparación de la misma.
 - MODERADO. Se genera una pequeña alteración en el bien pero que tras ser reparada no es apreciable.
 - NULO. No se genera ninguna alteración en el bien objeto de estudio.
 - **Autonomía en su uso.**
 - Equipos autónomos. Dotados con baterías y no es necesario fuente de alimentación ni para el propio equipo ni para los medios auxiliares

- Necesidad de equipos generadores. Es necesario para el funcionamiento del equipo necesario para la aplicación de la técnica de un grupo electrógeno o suministro eléctrico.
- **Tiempo de estancia en el bien.**
 - Menos de un día
 - Menos de una semana
 - Mas de un una semana
- **Datos que se obtienen.** Información que se adquiere al utilizar la técnica, en forma de gráficos, longitudes, propiedades mecánicas, tiempos, etc.
- **Grado de Complejidad de la técnica.** Se recoge mediante una clasificación en tres niveles de lo complicado que puede ser la aplicación de la técnica analizada desde el punto de vista de las operaciones de desarrollar en campo y las operaciones que posteriormente hay que desarrollar en la oficina.
 - **In situ (BAJA MEDIA ALTA)**
 - BAJA. Equipo portátil sin necesidad de medios auxiliares
 - MEDIA Equipo portátil necesidad de medios auxiliares sencillos (taladro, etc)
 - ALTA Equipo con portabilidad limitada y necesidad de complejos medios auxiliares
 - **Interpretación de resultados**
 - BAJA. Interpretación inmediata, No es necesario ser experto
 - MEDIA. Necesita tratamiento de datos. Interpretación directa del resultado.
 - ALTA. Necesita tratamiento de datos. Experto en el tratamiento e interpretación de los datos
- **Aplicación.** Principales conocimientos que se pueden obtener.
- **Ventajas.** Mejoras que supone con respecto a otras técnicas
- **Limitaciones.** Problemas o incógnitas que presenta la técnica
- **Normativa de utilización.** En caso de que exista la normativa en la que se basa la técnica o donde se recoge el proceso operativo de la misma.
- **Complementariedad con otras técnicas.** Técnicas adicionales que sean necesarias para completar los resultados obtenidos mediante la técnica analizada.
- **Técnicas equivalentes.** Técnicas que permiten la obtención de información similar

4. Catálogo de Técnicas No Destructivas

A continuación se muestran los datos más relevantes de las técnicas no destructivas analizadas y que se han recogido en las fichas que se incluyen a continuación.

Nombre: ENDOSCOPIA

- **Descripción y Fundamento.** Se basa en la observación de zonas ocultas, no visibles de forma natural, a través de fibras ópticas tras la iluminación de la zona.
- **Gama de Equipos a utilizar.**
 - Endoscopios rígidos (o baroscopios), que pueden ser de dos tipos, de lentes o de fibras ópticas
 - Endoscopios flexibles (flexoscopio)
 - Algunos equipos permiten la obtención de medidas
- **Metodología de uso:**
 - **Descripción operativa.**
 - **En campo.** Realización de taladros de pequeño diámetro <10 mm para introducción de tubo donde se instala la fibra de vidrio. A veces no es necesario ya que existen huecos a través de los cuales se puede introducir el equipo y observar la zona de estudio
 - **En oficina.** Descarga de imágenes inmediata.
 - **Grado de alteración en el bien:** nula o moderada
 - **Autonomía en su uso.** Equipos dotados con baterías
 - **Tiempo de estancia en el bien.** Menos de un día
- **Datos que se obtienen.** Imágenes, medidas, etc
- **Grado de Complejidad de la técnica:**
 - **In situ** MEDIA ,ya que en algunas ocasiones es necesario el empleo de medios auxiliares como taladros , grupos electrógenos, etc.
 - **Interpretación de resultados** BAJA
- **Aplicación:**
 - Inspección de zonas ocultas para:
 - identificación de sistemas constructivos
 - estado de degradación de zonas ocultas.
- **Ventajas :**
 - Interpretación directa
 - Diagnósticos visuales y objetivos en vez de meras suposiciones
- **Limitaciones**
 - Equipos algo voluminosos para el transporte de los mismos
- **Normativa de utilización** No se conoce
- **Complementariedad con otras técnicas.** Método complementario a otros métodos de exploración convencionales.
- **Técnicas equivalentes** .Inspección visual a través de la apertura de huecos

Nombre: **ESCLEROMETRIA**

- **Descripción y Fundamento.** Determinación de la dureza superficial del material estudiado y el origen está en la técnica que desarrolló Ernest Schmidt para evaluar la dureza superficial del hormigón. El principio básico de esta técnica es una masa metálica impulsada con una energía determinada que golpea contra el material a estudiar sobre una superficie de contacto. La cantidad de energía recuperada en el rebote de la masa, permite obtener un índice de dureza de la superficie ensayada (índice de rebote) sobre una escala graduada y acoplada al aparato.
- **Gama de Equipos a utilizar.** esclerómetro
- **Metodología de uso:**
 - o **Descripción operativa.**
 - **En campo.** Utilización del esclerómetro en la superficie del material y obtener la medida del índice de rebote que posee el equipo
 - **En oficina.** Tratamiento de los datos para hacer la correlación entre la dureza de la superficie y el índice de rebote obtenido.
 - o **Grado de alteración en el bien:** moderado
 - o **Autonomía en su uso.** Equipos portátiles
 - o **Tiempo de estancia en el bien.** Menos de un día
- **Datos que se obtienen.** Índices de rebote del material , se podrían correlacionar con la resistencia a compresión del material
- **Grado de Complejidad de la técnica:**
 - o **In situ** Baja
 - o **Interpretación de resultados** Alta
- **Aplicación:**
 - Chequear la degradación superficial del material estudiado
 - Comparar el estado de la piedra analizada con las propiedades del material analizados mediante otras técnicas.
 - Determinación de la resistencia a compresión del material analizado utilizando de forma combinada otras técnicas no destructivas
 - Partiendo del índice de rebote, existe un gráfico específico para rocas que relaciona este valor con unas resistencias a compresión estimadas en función de la orientación del martillo en el momento de la realización del ensayo y la densidad de la roca. Por lo tanto se podría obtener un valor orientativo de la resistencia a compresión del material pétreo
- **Ventajas :**
 - Obtención de la resistencia de compresión del material
 - Equipamiento fácil de utilizar
- **Limitaciones**
 - La información obtenida es cualitativa no cuantitativa.
 - Para obtener información cuantitativa necesidad de complementar con otras técnicas
- **Normativa de utilización** .no. Para morteros ISRM doc 05.1997 y UNE-EN 12504-2:2002. Para hormigón ASTM D5873
- **Complementariedad con otras técnicas.** Ensayo a compresión de testigos, etc
- **Técnicas equivalentes** .Extracción y rotura de testigos, etc

Nombre: HOLE DRILING (METODO DONOSTIA)

- **Descripción y Fundamento.** Método utilizado para medir los esfuerzos residuales. Consiste en la eliminación localizada del material bajo esfuerzo y la medición de las deformaciones relajadas en el material adyacente
- **Gama de Equipos a utilizar.** Galgas tipo roseta de elementos para medir deformaciones residuales
- **Metodología de uso:**
 - o **Descripción operativa.**
 - **En campo.** En primer lugar es necesario realizar una preparación de la superficie mediante un pulido con una pulidora manual convencional. De esta forma se garantiza que las galgas quedan adherida a la superficie razonablemente lisa. Colocación de galgas extensométricas de 6 mm de longitud (8 en fábrica de piedra y 3 en la de ladrillo) en la superficie de estudio con un pegamento estándar adecuado. La disposición de las mismas es colocarlas en 8 radios a 45 grados sobre una circunferencia de 4 cm de radio. Se conectan todas las galgas mediante un puente de Wheastone a un equipo multicanal de registro de deformaciones. Por otro lado se coloca una banda de compensación de temperatura que se conecta al mismo equipo, para eliminar los efectos térmicos. Posteriormente se registran las deformaciones, tres horas después de pegadas y conectadas. Se tomarán medidas durante 90 minutos antes de su estabilización (si las fluctuaciones son menores de 5 µm esta estabilizado). Realización de un taladro de pequeño diámetro (36 mm) con broca trazadora para asegurar el centrado. El taladro se realiza en el centro de la circunferencia de las galgas. Debe evitarse el calentamiento de la zona por lo que el taladro hay que realizarlo en pasos con breves paradas. La profundidad del taladro debe ser 0,4 veces el diámetro de la circunferencia de las galgas (en fábrica pétreo de 36 mm y en las de ladrillo depende de la circunferencia de, si el diámetro es de 8 cm la profundidad de 36 mm y si es de 12 cm de 50 mm de profundidad). Finalmente se registran las deformaciones cada 5 minutos durante 180 minutos.
 - **En oficina.** Se deducen los estados tensionales a partir de las deformaciones registradas en las bandas. Se deducen las constantes A y B bien en función de unos parámetros adimensionales, el modulo de Young y el coeficiente de Poisson o en función de la deducción experimental. Posteriormente se estima el valor de los estados tensionales obtenidos a partir de las combinaciones de los datos obtenidos de las galgas.
 - o **Grado de alteración en el bien:** moderado
 - o **Autonomía en su uso.** Equipos portátiles, aunque necesidad de toma eléctrica para medios auxiliares
 - o **Tiempo de estancia en el bien.** Menos de una semana
- **Datos que se obtienen.** Datos de medida de galgas extensométricas que tratados permiten determinar el estado tensional de la zona objeto de ensayo
- **Grado de Complejidad de la técnica:**
 - o **In situ** media, necesidad de taladro y pulidora
 - o **Interpretación de resultados** Media
- **Aplicación:**
 - Obtención de esfuerzos residuales antes de la relajación del material.
- **Ventajas :**
 - Técnica simple
 - Costo reducido
- **Limitaciones**
 - Estudio de una zona muy localizada
 - Nunca las bandas o taladro deben incluir el mortero
 - Procedimiento de colocación de las galgas muy laborioso
 - Carácter local de las tensiones deducidas
- **Normativa de utilización** ASTM E 837-95
- **Complementariedad con otras técnicas.** Gatos planos, Bore Hole, etc
- **Técnicas equivalentes** .Gatos planos

Nombre: GATOS PLANOS (FLAT-JACK)

- **Descripción y Fundamento.** Técnica que permite obtener una estimación de la tensión de compresión a la que están trabajando los materiales de una zona. Asimismo existe un procedimiento para conocer la deformabilidad de la fábrica analizada.
- **Gama de Equipos a utilizar.** Gatos planos, sistema de presión (bomba de aceite, mangueras, etc), referencias de medida y calibre de precisión.
- **Metodología de uso:**
 - o **Descripción operativa.**
 - **En campo.** Se efectúa un corte en la fábrica con una radial, se produce entonces una relajación de tensiones y consecuentemente unas deformaciones en el entorno de la ranura. El ensayo de determinación de la tensión de compresión existente previamente en la fábrica se basa en la medición de las presiones que es necesario aplicar en el interior del corte para restituir el estado de deformaciones previo. Para ello se realizan mediciones precisas de la distancia existente entre puntos de referencia situados a ambos lados del corte, antes y después de efectuarlo, se introduce el gato plano en la ranura y se aplica presión en sucesivos escalones, hasta que se consiga contrarrestar por completo los movimientos de relajación provocados por el corte.
 - Para realizar el ensayo de deformabilidad de los materiales que forman la fábrica se usan dos gatos idénticos que se colocan en dos ranuras practicadas paralelas realizadas a una distancia conveniente. Ambos gatos se conectan a una bomba de aceite y son sometidos a procesos de carga y descarga antes de incrementar definitivamente la presión que agota el material. Los puntos de medida se sitúan dentro del prisma de la fábrica ensayada en las proximidades de las ranuras que lo delimitan.
 - **En oficina.** La tensión de la fábrica se deducirá directamente de la presión de aceite aplicada afectada por dos factores de corrección (factor que tiene en cuenta la geometría y rigidez del gato y la relación entre la superficie del gato y la superficie real de la ranura).
 - o **Grado de alteración en el bien:** Alto
 - o **Autonomía en su uso.** Necesidad de utilizar medios auxiliares que necesitan toma de electricidad
 - o **Tiempo de estancia en el bien.** Menos de una semana
- **Datos que se obtienen.** Datos de presión y medidas de desplazamiento entre referencias colocadas
- **Grado de Complejidad de la técnica:**
 - o **In situ** ALTA, necesidad de radial, equipo de presión, etc
 - o **Interpretación de resultados** MEDIA
- **Aplicación:**
 - Obtención de esfuerzos residuales antes de la relajación del material.
 - Obtención de parámetro de deformabilidad de la fábrica
 - Estimar la resistencia a compresión del material que forma la fábrica siempre que la capacidad operativa del gato plano lo permita
- **Ventajas :**
 - Estimación de forma directa de los niveles tensionales de la fábrica
- **Limitaciones**
 - Los materiales de una fábrica poseen características mecánicas diferentes por lo que su comportamiento estructural bajo carga son muy diferentes.
 - La profundidad de la ranura influye en los como se comporta la fábrica alrededor de la misma y esta a su vez depende de las propiedades mecánicas de la misma. Puede suceder que la fábrica sea muy rígida y las perturbaciones alrededor de la fábrica sean muy pequeñas de forma que no se obtienen resultados prácticos.
 - Tensión a compresión en la dirección perpendicular al gato
- **Normativa de utilización** numerosas investigaciones, ensayos del RILEM a través del comité 76LUM, ASTM c 150406 como base en la redacción de normas ASTM C1196-91 y ASTM C 1197
- **Complementariedad con otras técnicas.** Medidas de deformación, etc
- **Mejoras**
- **Técnicas equivalentes.** No se han localizado

Nombre: BORE HOLE DILATOMETER-PRESIOMETRO –DILATOMETRICO - PRESIODILATOMETRO

- **Descripción y Fundamento.** Aplicación de una presión uniforme hidrostática en un orificio y posteriormente se miden las deformaciones y presiones, La técnica es la misma que se aplica en los ensayos geotécnicos in situ.
- **Gama de Equipos a utilizar.** Equipo dilatométrico, en función del equipo que se utilice se denomina de una u otro forma. (Presiómetro de Menar, presiodilatómetro, presiodilatómetro flexible, etc.)
- **Metodología de uso:**
 - o **Descripción operativa.**
 - **En campo.** Realización de orificio de diámetro en función del equipo a utilizar y de longitud depende del espesor de la fábrica. Se introduce en el interior del agujero una sonda cilíndrica dilatante radialmente. Dependiendo del equipo a utilizar el fluido de inyección puede ser agua o nitrógeno. Se obtienen los parámetros de deformabilidad y presión en la zona estudiada.
 - **En oficina.** Estudio de los datos obtenidos, generación de gráficas, etc
 - o **Grado de alteración en el bien:** elevado
 - o **Autonomía en su uso.** Equipos portátiles, aunque los equipos auxiliares necesitan toma de electricidad o equipo eléctrico
 - o **Tiempo de estancia en el bien.** Menos de una semana
- **Datos que se obtienen.** Modulo de deformación y tensión de la fábrica
- **Grado de Complejidad de la técnica:**
 - o **In situ** media
 - o **Interpretación de resultados** media
- **Aplicación:**
 - Determinar las características de deformabilidad de las fábricas
 - Determinar las tensiones de trabajo de las fábricas
- **Ventajas :**
 - Permite determinar la diferencia de deformabilidad entre las hojas exteriores con respecto a la hoja interior.
- **Limitaciones**
 - Zona de estudio muy limitada (mas que para los gatos planos)
- **Normativa de utilización** .no (solo, existe normativa para aplicaciones geotécnicas)
- **Complementariedad con otras técnicas.** Gatos planos, etc
- **Técnicas equivalentes** .gatos planos, método Donostia, etc

Nombre: TERMOGRAFIA INFRARROJA

- **Descripción y Fundamento:** Analiza la radiación electromagnética que emite o refleja un cuerpo. Se captan emisiones infrarrojas entre 3 y 13 μm de longitud de onda. Como la radiación infrarroja es función de la temperatura permite a la cámara representar en forma de imagen la temperatura del objeto de estudio.
- **Gama de Equipos a utilizar.** Cámara de infrarrojos (puede recoger imágenes o videos), denominada comúnmente cámara termográfica
- **Metodología de uso:**
 - o **Descripción operativa.**
 - **En campo.** El equipo de termografía infrarroja es un equipo portátil que se coloca enfrente de la zona de estudio y se recogen imágenes de la misma, como si de una cámara de video o de fotos se tratara.
 - **En oficina.** Como la radiación medida por la cámara depende de la temperatura y de la emisividad del material que compone la superficie estudiada. Por lo tanto es necesario la utilización de un software adecuado para tener en cuenta esos datos y obtener un valor de T^{a} superficial fiable.
 - o **Tiempo de estancia en el bien.** Menos de un día
 - o **Autonomía en su uso.** Equipos dotados con baterías
 - o **Grado de alteración en el bien:** nulo
- **Datos que se obtienen.** Imágenes térmicas que representan en colores la distribución de temperaturas. Señalan zonas con diferencias de T^{a} acusadas.
- **Grado de Complejidad de la técnica:**
 - o **In situ** BAJA.
 - o **Interpretación de resultados** ALTA
- **Aplicación:**
 - Detectar materiales diferentes constructivos e in homogeneidades constructivas, cronología en fases constructivas, etc
 - Obtener información sobre la superficie de los materiales como diferente grado de humedad, fenómenos de capilaridad, etc.
- **Ventajas :**
 - Obtención rápida de los datos
 - No hay contacto con el objeto de estudio
- **Limitaciones**
 - Control complejo de la técnica
 - Experiencia para la interpretación de resultados, ya que la interpretación no es directa
 - Necesidad de otros métodos para obtener conclusiones determinantes sobre lo observado con esta técnica
 - Para identificación de diferentes materiales, necesidad de calentamiento de la zona.
- **Normativa de utilización** No se conoce
- **Complementariedad con otras técnicas.** En necesario el uso de otros métodos como medidores de humedad, de temperatura, planos, etc para comprobar las conclusiones obtenidas mediante la técnica de la termografía
- **Técnicas equivalentes** .Medida de temperaturas con termómetros

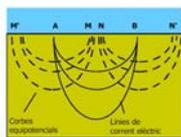
Nombre: GEO-RADAR

- **Descripción y Fundamento.** Radiación de impulsos cortos de energía electromagnética (entre 10 Mhz y 2 Ghz), mediante antena trasmisora. Se mide el tiempo de ida y vuelta de las ondas reflejadas en los límites de los materiales con diferente permisividad dieléctrica. La señal reflejada es detectada por un receptor y en la unidad de control se amplifica, transformándose en un espectro de audio-frecuencia, que se puede procesar. Cuanto mas baja es la frecuencia, mayor profundidad investigada y menor resolución
- **Gama de Equipos a utilizar.**
 - Equipo de georadar compuesto por antena emisora, receptor de señal y unidad de control
- **Metodología de uso:**
 - **Descripción operativa.**
 - **En campo.** Se monta en carro o sistema portátil la antena con la que se emite la radiación y la señal reflejada es almacenada directamente en la unidad de control. Se almacena un perfil continuo de la medida. A veces las antenas a utilizar con pesadas para la utilización en vertical
 - **En oficina.** Descarga de radargramas a un ordenador donde se tratan con un software que permite el empleo de filtros para obtener un grafico en el que se representan en la abscisa la distancia recorrida y en la ordenada el tiempo que tarda la onda en reflejarse, que indicaría la profundidad de la discontinuidad.
 - **Grado de alteración en el bien:** nula
 - **Autonomía en su uso.** Equipos dotados con baterías
 - **Tiempo de estancia en el bien.** Menos de un día
- **Datos que se obtienen.** Radargramas
- **Grado de Complejidad de la técnica:**
 - **In situ** Baja
 - **Interpretación de resultados** Alta
- **Aplicación:**
 - Localización de elementos enterrados
 - Localización de cambios de material, rellenos, macizos rocosos,
 - Detección de elementos metálicos
 - Localización de cavidades
 - Localización de estructuras enterradas.
- **Ventajas :**
 - No se daña el bien analizado, no es necesario realizar perforaciones e incluso a veces tocas la superficie
 - Rapidez en la realización del ensayo in situ
- **Limitaciones**
 - Amplia experiencia por parte de los técnicos en la interpretación de los radargramas ya que la salida de los resultados no es instantánea
 - A veces para obtener datos satisfactorios es necesario completar los resultados con los de otras técnicas.
 - Atenuación de la señal al atravesar terrenos arcillosos o materiales con elevado contenido de humedad (materiales mas conductores)
- **Normativa de utilización** No se conoce
- **Complementariedad con otras técnicas.** Método complementario a otros métodos de exploración como tomografía eléctrica, etc
- **Técnicas equivalentes** .otras técnicas geofísicas (tomografía eléctrica, etc),

Nombre: TOMOGRAFIA ELECTRICA

- **Descripción y Fundamento.** Método geofísico que se basa en que los materiales poseen diferencias importantes en cuanto a la resistividad eléctrica que posee.
- **Gama de Equipos a utilizar.** Equipo de tomografía que consiste en electrodos conectados a un voltímetro, electrodos conectados a un amperímetro generador de corriente continua.
- **Metodología de uso:**

- o **Descripción operativa.**

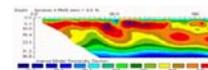


- **En campo.** Clavar unos electrodos en el terreno, dos de ellos introducen corriente eléctrica a la zona objeto de estudio (electrodos A) y los otros dos miden la diferencia de potencial (electrodos B). La intensidad inyectada es creada por un generador de corriente continua y medida por un amperímetro que esta conectado a ambos electrodos A y B. Para medir el potencial eléctrico, los electrodos M y N entran en contacto con un voltímetro. A partir de la diferencia de potencial y la intensidad eléctrica medida, se determina el valor de la resistividad aparente en diferentes puntos. Para colocar los electrodos es necesario la realización de taladros en la zona de estudio.

- **En oficina.** La representación grafica de las medidas realizadas en el campo permiten crear una imagen bidimensional de la zona estudiada y muestra las variaciones de resistividad eléctrica tanto lateral como vertical. Para determinar el modelo de resistividad de la zona objeto de estudio es necesario procesar los datos utilizando programas informáticos que permiten crear un posible modelo del interior de la zona estudiada (terreno, muros,...) filtrando los datos y eliminando aquellas medias que poseen errores. Estos programas realizan cálculos automáticos y muestran modelos de la zona de estudio que son compatibles con las medidas realizadas en campo eliminando errores.

- o **Grado de alteración en el bien:** moderado
- o **Autonomía en su uso.** Necesidad de batería
- o **Tiempo de estancia en el bien.** Menos de una semana

- **Datos que se obtienen.** Graficas de resistividad eléctrica de materiales



- **Grado de Complejidad de la técnica:**

- o **In situ** Media
- o **Interpretación de resultados** Alta

- **Aplicación:**

- Localización de elementos enterrados
- Localización de cambios de material, rellenos, macizos rocosos,
- Localización de cavidades
- Localización de estructuras enterradas.

- **Ventajas :**

- Permite el estudio de zonas con altos contenidos en humedad y con altos contenidos en arcillas

- **Limitaciones**

- La necesidad de introducir pica metálicas a veces se complica si el substrato es muy duro
- La necesidad de tratar los datos con software adecuado ya que los resultados que se obtienen directamente no son de fácil interpretación.

- **Normativa de utilización** No se conoce

- **Complementariedad con otras técnicas.** Método complementario a otros métodos de exploración sondeos, catas, extracción de testigos, endoscopias, etc

- **Técnicas equivalentes** .otras técnicas geofísicas (georadar, etc),

Nombre: TOMOGRAFÍA AXIAL COMPUTERIZADA (TAC)

- **Descripción y Fundamento.** Técnica que permite conocer la composición interna de un determinado material. La tomografía axial se obtiene mediante movimiento combinado de un tubo de rayos x donde un haz plano de rayos x gira hacia un lado mientras la placa radiográfica se mueve hacia el lado contrario.
- **Gama de Equipos a utilizar.** Sistema de generación de datos que consiste en un generador de energía de alto voltaje para obtener la energía necesaria y un tubo de rayos x que produce la radiación necesaria. Un sistema de adquisición de datos (DAS), que recibe la señal eléctrica que le envían los detectores y lo convierten a formato digital, enviándola a su vez a un ordenador.
- **Metodología de uso:**
 - o **Descripción operativa.**
 - **En campo.** El aparato del TAC generador de energía que emite un haz muy fino de rayos x. este haz incide sobre el objeto de que se estudia y parte del haz lo atraviesa. Esta energía es percibida por el sistema de adquisición de datos en cada uno de los planos de anabiosis y dentro de cada plano en un número elevado de direcciones separadas todos unos determinados ángulos.
 - **En oficina.** A partir de todos estos datos en casa plano y de todos los planos, mediante algoritmos matemáticos y con ayuda de la informática se reconstruye la información de forma que se obtienen graficas claramente entendibles.
 - o **Grado de alteración en el bien:** nulo
 - o **Autonomía en su uso.** Equipos de laboratorio. No portátil
 - o **Tiempo de estancia en el bien.** Menos de una semana
- **Datos que se obtienen.** Datos digitales de cada escaneado que tiene que ser tratados matemáticamente
- **Grado de Complejidad de la técnica:**
 - o **In situ** no es aplicable
 - o **Interpretación de resultados** Alta
- **Aplicación:**
 - Identificación de huecos
 - Identificación de heterogeneidades en el material
 - Porosidad interna
 - Fracturas
 - Evaluación de volumen global de poros
 - Localización de elementos metálicos
- **Ventajas :**
 - Visión tridimensional del material objeto de estudio
 - Una vez obtenido el modelo, se pueden utilizar diferentes filtros para la observación de diferentes parámetros
- **Limitaciones**
 - Equipo no portátil
 - Muestra a estudiar muy pequeña
- **Normativa de utilización .no**
- **Complementariedad con otras técnicas.** Extracción de testigos, etc
- **Técnicas equivalentes .porosímetro de mercurio, microscopio electrónico**

Nombre: TOMOGRAFÍA ULTRASONICA, SONICA O DE RADAR

- **Descripción y Fundamento.** Reproduce la estructura interna de un sólido a partir de medidas recogidas desde la superficie externa. Los datos de partida pueden ser los proporcionados por ensayos ultrasónicos o sónicos. La imagen tomográfica es una técnica computacional que utiliza un método iterativo para el procesado de gran cantidad de datos.
- **Gama de Equipos a utilizar.** Equipamiento para el análisis ultrasónico o sónico.
- **Metodología de uso:**
 - o **Descripción operativa.**
 - **En campo.** Se parte de los datos obtenidos por los métodos ultrasónicos o sónicos descritos en las fichas correspondientes.
 - **En oficina.** Los datos obtenidos en los ensayos sónicos y ultrasónicos se emplean como datos de partida de un algoritmo de reconstrucción tomográfica para proporcionar una representación de las propiedades internas de una sección. Se pueden obtener inversiones tomográficas que utiliza la magnitud de medida del tiempo de viaje y el mapa obtenido es una distribución de la velocidad de propagación dentro del objeto. Si se usan datos de tomografía de amplitud la magnitud de medida es la amplitud de señal y el mapa obtenido se relaciona con la distribución del coeficiente de absorción.
 - o **Grado de alteración en el bien:** nulo
 - o **Autonomía en su uso.** Equipos portátiles los de medida
 - o **Tiempo de estancia en el bien.** Mas de una semana
- **Datos que se obtienen.** Datos de tiempos (tiempo de viaje)
- **Grado de Complejidad de la técnica:**
 - o **In situ** Media
 - o **Interpretación de resultados** Alta
- **Aplicación:**
 - Identificación de huecos, vacíos, grietas en obras de fábrica
- **Ventajas :**
 - Solo requiere el acceso de la estructura por una cara
- **Limitaciones**
 - Requiere un considerable esfuerzo para adquirir el extenso numero de datos necesario
- **Normativa de utilización** .no
- **Complementariedad con otras técnicas.** Endoscopias, testigos, etc
- **Técnicas equivalentes** .Ultrasonidos, métodos sónicos

Nombre: TECNICA DE ULTRASONIDOS

- **Descripción y Fundamento.** Se basa en la generación de impulsos sónicos, en este caso ultrasónicos en un punto de la estructura mediante un dispositivo, siendo posteriormente recibidos por un receptor que se puede situar en diferentes posiciones. La generación de ondas ultrasónicas se basa en que una unidad envía una señal eléctrica al transductor, el cual mediante un cristal piezoeléctrico interno genera una onda de tensión de baja energía y alta frecuencia.
- **Gama de Equipos a utilizar.** Transductores electro acústico emisor y transductor que recibe la señal eléctrica que forman parte de un equipo ultrasónico diseñado en el caso del material pétreo para frecuencias entre 30 KHz y 1 MHz.
- **Metodología de uso:**
 - o **Descripción operativa.**
 - **En campo.** El transductor electro-acústico emisor produce impulsos de vibraciones longitudinales, que tras atravesar una cierta distancia, se convierten en señal eléctrica por medio de un segundo transductor y un circuito que mide el tiempo de propagación de los impulsos en un display. La lectura se recoge en microsegundos.
En oficina. Los datos que se obtienen es tiempo pero hay que tener en cuenta que el tiempo de propagación del impulso ultrasónico depende, entre otros factores, de la densidad del material y de la presencia de huecos, es decir, de su anisotropía. Cuando el impulso ultrasónico atraviesa una interfase material-aire, se produce una transmisión despreciable de energía; si el hueco es grande, la señal puede no ser recibida. Cualquier fisura, grieta o espacio lleno de aire que esté entre los dos transductores, y cuyo área sea mayor que la del transductor, obstruye el paso del haz ultrasónico, recorriendo un camino alrededor de la periferia del defecto y alargando el tiempo de propagación.
 - o **Grado de alteración en el bien:** nulo
 - o **Autonomía en su uso.** Equipos portátiles
 - o **Tiempo de estancia en el bien.** Un día
- **Datos que se obtienen.** Tiempos de propagación de los impulsos
- **Grado de Complejidad de la técnica:**
 - o **In situ** Baja
 - o **Interpretación de resultados** Alta
- **Aplicación:**
 - Determinar la posible existencia de anisotropías
 - Deducir el estado de porosidad/fisuración interna, detectar diferentes niveles de alteración
 - Evaluar el daño causado por los ensayos de durabilidad.
 - Controlar durante largos periodos de tiempo ,posibles degradaciones de los materiales
 - Valorar las bondad de los tratamientos de conservación de los materiales pétreos
 - Evaluar la inyección en fábricas deterioradas.
- **Ventajas :**
 - Solo acceso por una cara
- **Limitaciones**
 - La información obtenida es cualitativa no cuantitativa.
- **Normativa de utilización** .en RILEM MS-D.5 se encuentra información sobre el procedimiento de ensayo e información del equipo a utilizar
- **Complementariedad con otras técnicas.** Endoscopias, testigos, etc
- **Técnicas equivalentes** .Georadar, tomografía eléctrica

Nombre: METODOS SONICOS

- **Descripción y Fundamento.** Basan en la generación de ondas mecánicas de baja frecuencia (frecuencias sónicas) mediante martillo instrumentado.
- **Gama de Equipos a utilizar.** Generador de ondas de baja frecuencia (frecuencias sónicas), martillo, acelerómetro, osciloscopio o registrador digital
- **Metodología de uso:**
 - o **Descripción operativa.**
 - **En campo.** Los martillos suministran una masa cayendo de una determinada distancia, por lo que la dureza y la masa del mismo definen la energía y frecuencia de la onda inicial. La onda mecánica es recogida por un receptor, normalmente un acelerómetro que puede colocarse en diferentes posiciones, de forma que un osciloscopio o registrador digital comienza a compilar los datos a medida que son recibidos por el receptor.
 - **En oficina.** La elaboración de los datos consiste en medir el tiempo del impulso para cubrir la distancia entre el emisor y el receptor (tiempo de viaje). Este dato permite calcular la velocidad de onda en el medio.
 - o **Grado de alteración en el bien:** nulo
 - o **Autonomía en su uso.** Equipos portátiles
 - o **Tiempo de estancia en el bien.** Mas de una semana
- **Datos que se obtienen.** Datos de tiempos (tiempo de viaje)
- **Grado de Complejidad de la técnica:**
 - o **In situ** Media
 - o **Interpretación de resultados** Alta
- **Aplicación:**
 - Determinación de espesores de elementos
 - Presencia de huecos y defectos en fábricas
 - Controla la eficacia de la reparación por técnicas de inyección
 - Detección cuando cambian las características físicas de los materiales
- **Ventajas :**
 - Menor disipación de la onda en medios muy heterogéneos con huecos, vacíos, etc que en los métodos ultrasónicos
- **Limitaciones**
 - Coste relativo de las operaciones ya que hay que hacer un numero elevado de mediciones
 - La interpretación de las señales obtenidas (Análisis en el dominio de la frecuencia de espectros de las ondas), debe realizarse por personal técnico cualificado en este campo.
 - El tamaño de los defectos que se pueden localizar esta relacionado con la longitud de onda emitida por lo que depende de los espesores de los elementos estudiados.
 - Dificultad para correlacionar las propiedades mecánicas de los materiales con las parámetros sónicos
 - La velocidad del pulso sónico es característica para cada tipología de fábrica, siendo imposible la generalización de valores. Los ensayos deben ser calibrados para cada tipo de fábrica in situ.
- **Normativa de utilización** .Equipo y procedimiento de medida descrito en RILEM MS.D.1
- **Complementariedad con otras técnicas.** Endoscopias, testigos, etc
- **Técnicas equivalentes** .Ultrasonidos,

Nombre: IMPACTO ECO o METODO DE ECO SISMICO

- **Descripción y Fundamento.** Es una variación del método de transmisión de una onda mecánica que emplea un análisis basado en la frecuencia de los ecos de las ondas que se propagan dentro de la fábrica para localizar discontinuidades internas.
- **Gama de Equipos a utilizar.** Se utiliza un equipo que consta de un impactador mecánico capaz de producir impactos de corta dirección. La duración de estos puede ser variada. Un receptor de alta fidelidad para medir la respuesta superficial y un sistema de adquisición y análisis de la señal que sea capaz de capturar la salida transitoria del receptor, almacenar las ondas asociadas con el movimiento de la superficie y realizar el análisis y procesado de señal.
- **Metodología de uso:**
 - o **Descripción operativa.**
 - **En campo.** Un impactador genera un pequeño pulso de ondas de tensión acústicas que se propagan dentro del objeto que está siendo inspeccionado. La excitación genera ondas P y S que viajan hacia el centro y ondas S que son reflejadas por los defectos internos o por contornos externos. Las señales de las ondas son recibidas por un transductor (tanto al emisor como al receptor) que se manifiestan en un osciloscopio y se mide eléctricamente el tiempo de viaje del pulso (ida y vuelta).
 - **En oficina.** Posteriormente y conocido el tiempo de viaje del pulso, mediante el conocimiento de la velocidad de propagación de la onda de tensión es posible conocer la distancia de reflexión. El análisis de los datos hace tiempo se realizaba en el dominio del tiempo. Posteriormente se ha utilizado el análisis frecuencial para el registro de las ondas. Para ellos es necesario determinar las frecuencias dominantes de la onda registrada, para lo que se utiliza la transformada de Fourier. Posteriormente y a través de ecuaciones se obtiene la profundidad de la interfase reflectora.
 - o **Grado de alteración en el bien:** nulo
 - o **Autonomía en su uso.** Equipos portátiles
 - o **Tiempo de estancia en el bien.** Mas de una semana
- **Datos que se obtienen.** Datos de tiempos (tiempo de viaje)
- **Grado de Complejidad de la técnica:**
 - o **In situ** Media
 - o **Interpretación de resultados** Alta
- **Aplicación:**
 - Aplicación para la localización de tizones
 - Identificaciones de células macizadas en fábricas armadas
 - Determinación de espesores de secciones transversales
 - Identificación de huecos entre hojas de fábrica
- **Ventajas :**
 - Solo requiere el acceso de la estructura por una cara
- **Limitaciones**
 - La duración del impacto es critica para el éxito del ensayo
 - Depende de la profundidad a la que se encuentra el vacío es posible que no se detecte
- **Normativa de utilización** .ACI 228.2, ASTM Test Method C 1383
- **Complementariedad con otras técnicas.** Endoscopias, testigos, etc
- **Técnicas equivalentes** .Ultrasonidos, métodos sónicos

Nombre: PENETRÓMETRO DE TALADRO O DRMS (DRILLING RESISTANCE MEASUREMENT SYSTEM)

- **Descripción y Fundamento:** Se obtiene utilizando un Penetrómetro de rotación la resistencia de penetración
- **Gama de Equipos a utilizar.** Penetrómetro dinámico de rotación, es un motor de taladro al que se han acoplado dos células de carga situadas en la parte posterior del motor y en la parte inferior y sujetas mediante una agarradera
- **Metodología de uso:**
 - o **Descripción operativa.**
 - **En campo.** Se realiza un taladro con un equipo denominado Penetrómetro dinámico de rotación. Se obtienen dos parámetros fuerza, que representa la fuerza realizada para vencer la resistencia del taladro en profundidad y Par la resistencia al giro.
 - **En oficina.** Los registros obtenidos fueron filtrados con procesado de señales para corregir los efectos del ruido debidos a la macroporosidad y microconglomerados. El uso del par permite la corrección a la abrasión debida a la naturaleza distinta de los áridos.
 - o **Grado de alteración en el bien:** nula
 - o **Autonomía en su uso.** Equipos portátiles aunque necesidad de alimentación
 - o **Tiempo de estancia en el bien.** Menos de un día
- **Datos que se obtienen.** Fuerza y Par.
- **Grado de Complejidad de la técnica:**
 - o **In situ** .media, necesidad de alimentación
 - o **Interpretación de resultados.** alta
- **Aplicación:**
 - Comportamiento mecánico de los morteros y piedras
 - Detección de grietas, vetas e incluso aumentos de resistencia debidos a procesos químicos como el de la carbonatación.
- **Ventajas :**
 - Permite determinar de forma continua la evolución de la resistencia que presenta el material al avance del taladro.
- **Limitaciones**
 - Solo permite conocer hasta 10 cm de espesor.
- **Normativa de utilización** no
- **Complementariedad con otras técnicas.** Extracción de testigos y rotura a compresión
- **Técnicas equivalentes.**

Nombre: PULL OUT

- **Descripción y Fundamento:** provocar la rotura del hormigón en una zona superficial por ensanchamiento de una pieza situada previamente dentro de la estructura.
- **Gama de Equipos a utilizar.** Equipo de Pull out
- **Metodología de uso:**
 - o **Descripción operativa.**
 - **En campo.** Se ancla el equipo al elemento del que se quiere tirar embebido en el mortero y se toma la lectura del equipo
 - **En oficina.** Correlación de los datos obtenidos
 - o **Grado de alteración en el bien:** elevado
 - o **Autonomía en su uso.** Equipos portátiles
 - o **Tiempo de estancia en el bien.** Menos de un día
- **Datos que se obtienen.** Fuerza.
- **Grado de Complejidad de la técnica:**
 - o **In situ** .baja
 - o **Interpretación de resultados.** alta
- **Aplicación:**
 - Comportamiento mecánico de los morteros
- **Ventajas :**
 - Sencillo
- **Limitaciones**
 - Aplicado para morteros y hormigones nuevos, no se han encontrado referencias para morteros o piedras
- **Normativa de utilización** para el hormigón ASTM c900
- **Complementariedad con otras técnicas.**
- **Técnicas equivalentes.** Penetrómetro , Penetrómetro de taladro

Nombre: PENETROMETRO DE MORTERO

- **Descripción y Fundamento:** Resistencia a la penetración.
- **Gama de Equipos a utilizar.** Existen diferentes equipos. Uno de ellos por ejemplo se basa en el martillo de Schmidt pero con un impacto de baja energía. Otros sistemas basados en la esclerometría de huella, como el método de la sonda Windsor
- **Metodología de uso:**
 - o **Descripción operativa.**
 - **En campo.** En función del equipo utilizado en el ensayo da uno u otro resultado. En unos casos mide la resistencia de acuerdo a la fuerza vertical descendente ejercida para penetrar 25 mm. La lectura de la presión es la medida que da una balanza con un indicador de anillo deslizante en la malla del vástago (anillo), en otros el índice esclerométrico
 - **En oficina.** Correlación de los datos obtenidos de índice esclerométrico o resistencia de penetración de una aguja con el tipo de mortero y la resistencia del mismo. En el caso del esclerométrico, el número de golpes se correlaciona con el grado de penetración de la punta, comparando el resultado con otros previamente ensayados en laboratorio sobre probetas de las que se conocen sus características resistentes.
 - o **Grado de alteración en el bien:** moderado
 - o **Autonomía en su uso.** Equipos portátiles
 - o **Tiempo de estancia en el bien.** Menos de un día
- **Datos que se obtienen.** Resistencia a la penetración o dureza superficial
- **Grado de Complejidad de la técnica:**
 - o **In situ** .baja
 - o **Interpretación de resultados.** alta
- **Aplicación:**
 - Comportamiento mecánico de los morteros
- **Ventajas :**
 - barato
- **Limitaciones**
 - Aplicado para morteros ,hormigones, terrenos, no se han encontrado referencias para morteros o piedras
 - Complicado aplicación in situ
- **Normativa de utilización** para el hormigón ASTM c403 AASHTOT197 (para morteros)
- **Complementariedad con otras técnicas.**
- **Técnicas equivalentes.** Pull out, Penetrómetro



5. Análisis comparativo exhaustivo de las diferentes técnicas, en función de las aplicaciones requeridas

En el presente apartado se incluye un cuadro resumen de las aplicaciones de las tecnologías no destructivas que se pueden aplicar en cada unos de los ámbitos del estudio estructural a desarrollar en un edificio de obra de fábrica.

Cuando se pretende afrontar un estudio en un edificio de obra de fábrica para evaluar la posibilidad de integración de algún elemento en el mismo, que facilite la accesibilidad es necesario conocer una serie de aspectos estructurales del edificio como son:

- Propiedades mecánicas de los materiales que componen la fábrica, (mortero, piedra, ladrillo, etc.)
- Propiedades mecánicas de las fábricas en su conjunto (resistencia de la fábrica, modulo de deformabilidad, etc)
- Morfología constructiva de la fábrica (si es un muro de doble hoja, si existe relleno en el interior del muro, dimensión de las cimentaciones, etc)
- Estado de degradación de los materiales, presencia de fisuración en el material pétreo, degradación de los morteros, etc. Algunas veces la degradación de los mismos implica pérdida de las propiedades mecánicas del mismo.
- Estado de los elementos estructurales de fábrica con respecto a la presencia de heterogeneidades, huecos, fisuras, desdoblamiento de las hojas, etc.

En las tablas que se recogen a continuación se incluye una comparativa de las técnicas no destructivas aplicables a cada uno de los aspectos a determinar en un estudio estructural, en la que se indica con un código de puntos las técnicas que se consideran de mayor utilidad.

TÉCNICA NO DESTRUCTIVA	Características mecánicas de los materiales que componen la fábrica	Características mecánicas de la fábrica	Morfología constructiva de la fábrica	Estado de degradación de los materiales	Estado de los elementos estructurales (presencia de huecos, fisuras, etc)
Endoscopia		
Esclerometría	..				
Hole drilling		...			
Gatos planos		...			
Bore hole dilatometer		..			
Presurómetro		..			
Termografía infrarroja			.		
Georadar		
Tomografía eléctrica		
Tomografía axial computerizada				...	
Tomografía de radar		
Ultrasonidos	.			.	
Impacto eco		
Métodos sínicos		
Pull out	.				
Penetrómetro de mortero	.				

...muy buena

..buena

.regular

6. Limitaciones y posibles mejoras que se requieran en las TND / TSD frente a adaptaciones de accesibilidad en el Patrimonio Histórico

En la siguiente tabla aparecen las principales **limitaciones y las posibles mejoras** que se deberían realizar en las técnicas analizadas. Se señalan específicamente las técnicas que producen cierto grado de alteración en el bien (semidestructivas), ya que al tratarse de bienes patrimoniales, las técnicas ideales deberían producir el mínimo grado de alteración en el mismo.

TND / TSD		PRINCIPALES LIMITACIONES Y POSIBLES MEJORAS FRENTE A ADAPTACIONES DE ACCESIBILIDAD DEL PATRIMONIO HISTÓRICO
1	ENDOSCOPIA	<p>En los casos en los que no existen huecos para introducir el equipo, se trata de una técnica semidestructiva, ya que necesita de realización de taladros de pequeño diámetro.</p> <p>DISMINUCIÓN DE LOS EQUIPOS: Por las particularidades que presentan los bienes patrimoniales, en cuanto a escasez de espacios amplios o presencia de zonas difícilmente accesibles sin medios auxiliares, los grandes volúmenes que actualmente presentan los equipos de realización de endoscopias resultan excesivos.</p>
2	ESCLEROMETRÍA	<p>Técnica semidestructiva</p> <p>OBTENCIÓN DE INFORMACIÓN CUANTITATIVA: Para la obtención de información cuantitativa es necesario complementarla con otras técnicas, lo que aumenta la alteración en el bien. Una mejora importante partiría de la instalación de un sistema que permitiese convertir los datos cualitativos obtenidos en cuantitativos, mediante pequeñas operaciones o intervenciones en el bien.</p>
3	HOLE DRILING (METODO DONOSTIA)	<p>Técnica semidestructiva</p> <p>UTILIZACIONES PUNTUALES: Se trata de una técnica muy laboriosa que permite el estudio de zonas muy localizadas, lo que resulta poco apropiado para el análisis de bienes patrimoniales, en los cuales la irregularidad del bien haría necesaria la utilización del procedimiento en varias ocasiones, con el consiguiente deterioro del mismo.</p>
4	GATOS PLANOS (FLAT-JACK)	<p>Técnica semidestructiva con alto grado de alteración del bien</p> <p>UTILIZACIONES PUNTUALES: Se trata de una técnica muy laboriosa que permite el estudio de zonas muy localizadas, lo que resulta poco apropiado para el análisis de bienes patrimoniales, en los cuales la irregularidad del bien haría necesaria la utilización del procedimiento en varias ocasiones, con el consiguiente deterioro del mismo.</p> <p>DISMINUCION DE LOS EQUIPOS: Alta complejidad de los trabajos, y necesidad de varios equipos con grandes volúmenes. Las características de los bienes patrimoniales pueden no permitir el uso de grandes equipos.</p>
5	BORE HOLE DILATOMETER-PRESIODILATÓMETRO	<p>Técnica semidestructiva, con elevado grado de alteración del bien</p> <p>UTILIZACIONES PUNTUALES: Zona de estudio muy limitada (mas incluso que para los gatos planos)</p>
6	TERMOGRAFÍA INFRAROJA	<p>UNIFICACIÓN DE EQUIPOS: La realización de Termografías Infrarrojas no permite por si sola la obtención de resultados irrefutables. El acople de sensores de contacto de temperatura y humedad a los equipos de termografía existentes daría a esta técnica más capacidad de obtener conclusiones determinantes.</p>
7	GEO-RADAR	<p>SIMPLIFICACIÓN DE INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS: Está técnica tiene una alta complejidad a la hora de la interpretación de los resultados, por lo que es necesaria una amplia experiencia en la interpretación de los radargramas. Una simplificación y mejora del software de interpretación de los datos supondría un gran avance.</p>
8	TOMOGRAFÍA ELÉCTRICA	<p>Técnica semidestructiva</p> <p>SIMPLIFICACIÓN DE INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS: Simplificación y mejora del software de interpretación de los datos.</p>
9	TOMOGRAFÍA AXIAL COMPUTERIZADA (TAC)	<p>DISMINUCION Y MOVILIDAD DEL EQUIPO: No se trata de equipos portátiles, por lo que se podría disminuir su tamaño y así facilitar su traslado.</p> <p>SIMPLIFICACION DE INTERPRETACION DE RESULTADOS: Simplificación y mejora del software de interpretación de los datos.</p>
10	TOMOGRAFÍA ULTRASÓNICA, SONICA O RADAR	<p>SIMPLIFICACIÓN DE LA TOMA DE DATOS: Ya que requiere un considerable esfuerzo para adquirir el extenso numero de datos necesarios.</p> <p>SIMPLIFICACION DE INTERPRETACION DE RESULTADOS: Simplificación y mejora del software de interpretación de los datos.</p>
11	TECNICA DE ULTRASONIDOS	<p>SIMPLIFICACIÓN DE INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS: Simplificación y mejora del software de interpretación de los datos.</p> <p>OBTENCIÓN DE INFORMACIÓN CUANTITATIVA: Para la obtención de información cuantitativa es necesario complementarla con otras técnicas, lo que supone la alteración en el bien. Una mejora importante partiría de la instalación de un sistema que permitiese convertir los datos cualitativos obtenidos en cuantitativos, mediante pequeñas operaciones o intervenciones en el bien.</p>

12	METODOS SONICOS	SIMPLIFICACIÓN DE INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS: La interpretación de las señales obtenidas debe realizarlo actualmente personal técnico cualificado. Además existe la dificultad para correlacionar las propiedades mecánicas de los materiales con los parámetros sónicos. Una posible mejora pasaría por la simplificación y mejora del software de interpretación de los datos.
13	IMPACTO ECO o METODO DE ECO SISMICO	SIMPLIFICACIÓN DE INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS: Simplificación y mejora del software de interpretación de los datos.
14	PENETÓMETRO DE TALADRO O DRMS	ADAPTACIÓN ESPECÍFICA: Al permitir únicamente conocer hasta 10 cm de espesor, resulta insuficiente para su utilización en bienes patrimoniales, por los grandes espesores que éstos suelen albergar. Se podría mejorar la técnica adaptandola para mayores espesores de fábrica. SIMPLIFICACION DE INTERPRETACION DE RESULTADOS: Simplificación y mejora del software de interpretación de los datos.
15	PULL OUT	Técnica semidestructiva, con elevado grado de alteración del bien ADAPTACIÓN ESPECÍFICA: Actualmente sólo se aplica para morteros y hormigones nuevos, por lo que sería necesaria una adaptación para el análisis de morteros históricos. SIMPLIFICACIÓN DE INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS: Simplificación y mejora del software de interpretación de los datos.
16	PENETÓMETRO DE MORTERO	Técnica semidestructiva ADAPTACIÓN ESPECÍFICA: Actualmente sólo se aplica para morteros, hormigones y terrenos, por lo que sería necesaria una adaptación para el análisis de materiales utilizados en construcciones patrimoniales. SIMPLIFICACIÓN DE EQUIPOS DE TOMA DE DATOS: Ya que su aplicación in-situ resulta complicada. SIMPLIFICACION DE INTERPRETACION DE RESULTADOS: Simplificación y mejora del software de interpretación de los datos.

En este sentido, se han estudiado los diferentes **sistemas de monitorización estática y dinámica** necesarios para comprender y estimar el comportamiento estructural del edificio, antes, durante y después de las intervenciones.

La monitorización es por si sola una metodología no destructiva, que permite con la colocación de una serie de referencias y equipos conocer como se deforman las estructuras en un periodo de tiempo, ya sea mediante instrumentación de lectura in situ o bien de lectura remota. La realización de estos procedimientos permitirá a los técnicos emitir un adecuado diagnóstico del estado del bien antes, durante y tras la realización de los trabajos.

La instrumentación y monitorización de las obras es una práctica cada vez más generalizada y sin duda técnicamente muy desarrollada, que permite no sólo detectar fallos en la estructura sino, sobre todo, conocer los movimientos de la misma en tiempo real, así como su evolución temporal. Hay que tener en cuenta que las estructuras de los bienes patrimoniales son, por lo general, grandes desconocidos: la mayoría de los profesionales que trabajan con ellos no tienen conocimientos suficientes

para valorar a fondo su comportamiento estructural.

Es necesaria la realización de un control de movimientos en una estructura de fábrica sobre la cual se va a realizar una obra que pueda modificar su estado de cargas o su geometría, tales como un cambio de cubierta, apertura de huecos, eliminación de fábricas adosadas no originales, etc. Pese a estudiar detenidamente la incidencia teórica de la intervención, puede resultar conveniente garantizar que el comportamiento previsto se corresponde con el real, e incluso verificando como dichas intervenciones pueden llegar a alterar el comportamiento cíclico que el edificio pudiera tener hasta entonces.

Independientemente del sistema de monitorización que se emplee, este debe de colocarse una vez que se hayan seguido ciertos pasos tendentes a obtener un conocimiento previo del comportamiento de la estructura y de su posible funcionamiento. Cuando la campaña de medición tenga su origen en una intervención en el mismo, además de conocer su estado patológico, se deberá de valorar previamente las posibles afecciones, a fin de seleccionar los parámetros a controlar durante el proceso de seguimiento.

7. Clasificación por tipo de técnica de las TND / TSD existentes

Para referenciar toda la información extraída a un dato común objetivo es conveniente empezar con la obtención de la Geometría del objeto 3D que proporciona el soporte para insertar el resto de la información.

7.1. Técnicas No Destructivas (TND)

7.1.a. Técnicas para la Obtención de la Geometría

Para disponer de un modelo global el objeto arquitectónico y para su posterior reutilización es conveniente referenciar toda la información capturada por los diferentes sensores a un único modelo geométrico fiable y estable. Este modelo se genera a partir de información de vistas 2D y rango 3D. La Fotogrametría se ocupa del análisis obtenido a partir de vistas 2D, mientras que las técnicas de Láser 3D terrestre proporcionan información sobre el modelo 3D (entendido como envolvente de las superficies que lo acotan) a partir de las nubes discretas de puntos.

- Fotogrametría

La Fotogrametría (medida sobre fotos) es la técnica cuyo objetivo es el conocimiento de las dimensiones y posición de objetos en el espacio a través de la(s) medida(s) realizadas a partir de la intersección de dos ó más fotografías ó de una fotografía y el modelo digital del terreno correspondiente al lugar representado⁷. La documentación del Patrimonio utiliza Fotogrametría terrestre digital para generar modelos 3D.

La generación de un modelo 3D a partir de datos parciales obtenidos mediante fotogrametría se realiza mediante una técnica de ajuste de haces (fotogrametría analógica) que es un caso particular de transformaciones del plano proyectivo (homografías) asociadas a una vista; la aplicación de esta herramienta a objetos físicos constituye el núcleo de la Fotogrametría Analítica.

⁷ <http://es.wikipedia.org/wiki/Fotogrametría> consultado el 19/05/2009

La Reconstucción 3D a partir de técnicas Fotogramétricas tiene tres fases con sus correspondientes reglas (etiquetadas como reglas 3x3 por P.Waldhausen):

1) Geométricas:

- Preparar la información de control
- Recubrimiento fotográfico múltiple en torno al objeto.
- Toma de pares estéreo para restitución fotogramétrica.

2) Fotográficas

- Geometría (calibración) interna de la cámara.
- Selección de una iluminación homogénea.
- Selección del formato más estable y amplio disponible.

3) Organizacionales

- Realización de un croquis apropiado.
- Escribir los protocolos (metadatos) apropiados
- Realizar las comprobaciones finales oportunas.

En el asistente diseñado para los módulos de aprendizaje y para la supervisión del trabajo de campo se desarrolla cada uno de los ítems precedentes.

Una vez capturada la información, es necesario aplicar las correspondientes herramientas de procesamiento (local y global, incluyendo posible restauración de imagen) y de análisis (extracción de elementos significativos correspondientes a bordes, p.e.). Una vez corregidas las distorsiones procedentes de tomas oblicuas (ortorectificación) ó presentes en las regiones periféricas de la imagen, es necesario “pegar” la información local en un modelo 3D global. Este pegado puede presentar problemas adicionales procedentes de variaciones en altura. Las variaciones en la orientación y la altura de los objetos dan lugar a dificultades en el ajuste de los datos sobre un modelo común 3D.

- Las dificultades procedentes de variaciones en la orientación se resuelven mediante

ortorectificación (reproyección métrica sobre un plano dominante para obtener una representación en “verdadera magnitud”); para ello, es conveniente contar con pares de vistas estéreo con una “pequeña línea base” (distancia entre las localizaciones de la cámara) y una puesta en correspondencia semi-automática que permitan minimizar los errores.

- En relación con las variaciones en altura, con el fin de asegurar el establecimiento de un sistema de coordenadas objeto que sea coherente con las fuerzas gravitatorias, es imprescindible la operación de geo-referencia para nivelación rigurosa de los modelos. Para ello, es conveniente establecer marcas de referencia (dianas) sobre los objetos en estudio, cuya altitud se determinará por el procedimiento topográfico de nivelación geométrica con equialtímetro automático o alternativamente mediante estación total. De este modo, se acota la incertidumbre sobre la verticalidad del eje Z teórico.

- Escáner 3D

Estos dispositivos se basan en un haz de luz láser que “barre” las superficies de los objetos en su entorno alcanzable obteniendo, como representación discreta del objeto, nubes densas de puntos en tres dimensiones que almacenan información geométrica (coordenadas de posición 3D) y radiométrica (intensidad en la escala de grises ó bien color). Para los escáner terrestres de largo ó medio alcance, existen actualmente dos variantes tecnológicas que se diferencian por el principio de medición, son los llamados sistemas TOF “time of flight” y los PS “phase shift”. Aparte de sus diferencias internas, ambos sistemas se caracterizan por sus distintos alcance máximo, velocidad y precisión de captura. Para el escaneo de Patrimonio Histórico, es frecuente recurrir a sistemas de ambos tipos para conseguir la digitalización de las superficies exteriores e interiores necesaria para el modelado completo de los objetos.

La estrategia de toma de datos es similar a la descrita en Fotogrametría terrestre, con la diferencia de que ahora ya no es necesaria la tomar de pares estéreo, pues el dispositivo láser

proporciona de entrada una información métrica centrada en el objeto. No obstante, para georeferenciar el objeto es conveniente insertar coordenadas UTM para cada estacionamiento del láser 3D. Los equipos láser que habitualmente se utilizan para el levantamiento 3D, tienen una precisión nominal de entre 3 y 15mm dependiente de la distancia a que se encuentre el objeto. Esta precisión que corresponde a cada medida individual proporcionada por el rayo barredor, es mucho mayor cuando se consideran áreas del objeto grandes; si el objeto puede considerarse como una combinación de figuras con caras planas o al menos con superficies regulares, la posición que se atribuye a una de estas superficies, deriva del análisis de centenares de miles y hasta millones de puntos, con lo que las imprecisiones asociadas a los puntos individuales pueden ser absorbidas por operaciones de ajuste matemático.

El procesamiento y análisis de la información procedente de los dispositivos láser 3D presenta una problemática muy diferente a la correspondiente a las fases de procesamiento y análisis para la información basada en vistas 2D (Fotogrametría ó Visión Computacional). Aunque el objeto 3D sea el mismo, la información digital disponible es completamente diferente: para vistas digitales se tiene información densa sobre un soporte continuo 2D (la foto), mientras que para escaneos se tiene información muy dispersa sobre un soporte discontinuo 3D (el espacio virtual en el que se representa). Por ello, las técnicas de identificación, agrupamiento, selección y análisis de la información dependen fuertemente de la resolución, de la distribución espacial (requiriendo muestreo ó refinamiento) y del tipo de primitivas que se desea obtener.

A partir de las nubes de puntos obtenidas se procede a la creación, basada en operaciones de ajuste, de modelos idealizados basados en geometrías simples (prismas, cilindros, conos, esferas, etc) combinadas en diversas formas hasta lograr modelos generalizados de los objetos de estudio. El paso de modelos discretos basados en nubes de puntos a modelos continuos basados en primitivas geométricas (Boundary Representations ó colección de superficies que acotan el sólido) se lleva a cabo mediante una descomposición de la nube en subnubes y el ajuste de primitivas geométricas continuas para cada una de

dichas subnubes; este ajuste se puede realizar de forma automática a partir de la detección semi-automática de planos dominantes ó de trozos de cuádricas sencillas dominantes (cilindros, esferas, conos) mediante las correspondientes herramientas software. Algunas ventajas que presenta el modelado continuo conciernen a la reducción del volumen de información (y la consiguiente simplificación de los cálculos estructurales), las facilidades de gestión y de visualización del objeto volumétrico, y sobre todo las posibilidades que ofrece para la detección de patologías estructurales (fisuras, grietas) derivadas de las diferencias entre el objeto original y el modelo ideal geométrico esperado.

Cada fabricante de escáner suele utilizar formatos propietarios para el almacenamiento de los datos. La utilización del formato de cada fabricante determina la necesidad de realizar el procesamiento inicial de los mismos con programas específicos producidos por el mismo fabricante, o al menos condicionan el proceso hasta la fase en que sea posible la exportación en un modelo de datos estándar que permita la unificación de los trabajos hechos con uno u otro equipo. La clave para la unificación de los datos procedentes de diferentes equipos consiste en utilizar ficheros en los que se almacenen las coordenadas (cartesianas ó esféricas) y los valores de la función de intensidad (escalar ó vectorial) para cada punto escaneado. No obstante, debe tenerse en cuenta que diferentes escaneos de un mismo objeto proporcionan diferentes nubes de puntos incluso correspondientes a las mismas zonas visibles ó seleccionando una resolución similar. Ello implica que es necesario resolver los problemas de optimización correspondientes a la puesta en correspondencia sobre un mismo objeto volumétrico escaneado. El software UvaCad (Utilidad de Visualización Avanzada Con Asistencia al Dibujo) desarrollado por el grupo LFA-DAVAP de la Universidad de Valladolid permite fusionar nubes de puntos a diferentes resoluciones procedentes de diferentes dispositivos de escaneo

Debido a efectos geométricos (orientación relativa, distancia) y radiométricos (desigual respuesta dependiendo de la reflectancia del objeto), la distribución espacial de la nube de puntos procedente de un escaneo presenta una gran variabilidad. Para evitar los efectos indeseados correspondientes a la pérdida

de información en procesos de decimación ó diezmo iterativos, es conveniente implementar técnicas de muestreo más flexibles ligadas a la obtención de un modelo robusto; un método general para obtener un muestreo inteligente se basa en criterios tipo RANSAC (Random Sampling Consensus) en el que la selección de puntos está ligada a la consecución de un modelo geométrico robusto; el método RANSAC se ha utilizado en Visión Computacional para una estimación robusta de la matriz fundamental que proporciona la puesta en correspondencia automática entre pares de puntos homólogos utilizando la correspondencia entre líneas epipolares; actualmente se trabaja en una extensión del método RANSAC para el alineamiento entre escaneos utilizando pares de planos dominantes homólogos. El método IMPSAC (Importance Sampling Consensus) es un método más fino que utiliza correcciones del muestreo basadas en “funciones de importancia” asociadas a propiedades radiométricas (reflectancia en cada punto) ó geométricas (profundidad, orientación de los triángulos asociados a la nube en relación con la dirección del escaneo). Sin embargo, en los procesos de simulación por elementos finitos, se asumirán supuestos acerca del estado interior de los materiales, de la composición y cohesión de las fábricas, de los elementos estructurales ocultos, etc. que serán causa de incertidumbre mucho más determinante.

- Fusión de información de imagen y rango

La fusión de información procedente de vistas 2D y de escaneos 3D no es sencilla. La información procedente de vistas 2D es continua, aunque las técnicas de Reconstrucción 3D de la Visión Computacional proporcionan modelos 3D. Por el contrario, la información procedente de escaneos es discreta y muy dispersa. Por ello, para fusionar la información hay dos estrategias posibles: discretizar la información procedente de vistas ó bien convertir en continua la información procedente de escaneos:

- a) La Reconstrucción 3D proporciona el marco para reconstruir objetos 3D a partir de dos ó más vistas. Hay multitud de métodos para la Reconstrucción 3D; uno de los más precisos utiliza el ajuste de haces como principio común con la

Fotogrametría para obtener modelos 3D.

- b) El mallado de una nube de puntos proporciona un modelo continuo asociado a la nube de puntos. El suavizado de este mallado da lugar a una superficie sin aristas que facilita el diseño e implementación de modelos de propagación para texturas.

La reproyección de información 2D sobre objetos 3D puede desarrollarse sobre modelos discretos ó modelos continuos. La estrategia para el diseño de algoritmos es completamente diferente:

- a) En el caso discreto se orienta la nube de puntos de forma similar a la orientación que presenta la vista; la visualización de la nube de puntos orientada presenta habitualmente una menor densidad que la vista 2D, lo cual permite referenciar (mediante algoritmos de búsqueda del más próximo) los puntos de las vistas a puntos de la nube.
- b) En el caso continuo, una vez reorientada la vista se reprojectar (mediante proyección inversa dada por una perspectiva cónica) sobre el volumen 3D; esta reproyección se realiza sin distorsión, si se conoce la calibración de la cámara (lo cual es computable mediante métodos de Visión Computacional).

Esta metodología presenta ventajas indudables con respecto a las técnicas más usuales en CAD donde la reproyección sólo puede tener lugar sobre planos dominantes. Algunos programas avanzados de Informática Gráfica permiten el remapeado de texturas sobre superficies de características arbitrarias, pero rara vez es posible extraer información métrica a partir del modelo 3D. Asimismo, la solución aportada por UvaCad permite validar los resultados métricos procedentes de la Fotogrametría (acotando el error asociado al láser) ó extender la información métrica del modelo 3D a vistas arbitrarias para cámaras no calibradas. Las dos líneas actualmente en desarrollo son:

- 1) Calibración aproximada de la cámara a partir de información proporcionada por el láser 3D.

- 2) Alineamiento semi-automático de vistas y escaneos a partir de una identificación de planos dominantes en 3D y de haces de líneas homólogas (en particular, líneas de perspectiva ó, con más generalidad, líneas epipolares).

7.1.b. Técnicas de Inspección Visual

El modelado geométrico permite insertar sobre un modelo objetivo toda la información obtenida a partir de otros sensores. Por ello, debe realizarse siempre de forma preva a cualquier otro tipo de documentación. Sin embargo, a menudo no se dispone de un equipamiento fotogramétrico ó láser 3D para el levantamiento arquitectónico de los objetos 3D. En este caso, hay que recurrir a técnicas de menor precisión pero que son asimismo significativas. Asimismo, alguna de ellas proporciona información sobre aspectos parciales que puede ser integrada a alta resolución dentro del modelo global obtenido a partir de la aplicación de técnicas de modelado geométrico.

- Endoscopia

La endoscopia consiste en observar cavidades de difícil acceso de forma sencilla y precisa con el grado de nitidez, fidelidad en la reproducción de los colores y luminosidad requeridos para obtener una información significativa. Con ello, se pretende identificar la presencia de defectos, evaluar su tamaño, estimar la composición de las capas de un muro, etc.

- Videocorrelación

El método de videocorrelación se basa en calcular el desplazamiento del componente objeto de medida mediante un seguimiento de un patrón moteado en imágenes obtenidas durante el proceso de carga. El patrón moteado puede ser regular (tipo parrilla) ó bien aleatorio; el desarrollo de un software específico permite evaluar el desplazamiento en cada punto de referencia comparando los datos del patrón contenidos en la imagen inicial con los datos de su evolución a lo largo del proceso de carga. No se puede esperar un comportamiento regular en la variación de las coordenadas para los puntos de referencia en el patrón moteado.

Sobre superficies planas que soportan esfuerzos de compresión, resulta útil situar una cámara en posición fronto-paralela al objeto de medida y evaluar el comportamiento a lo largo del proceso de carga; el método correspondiente a comparar los datos iniciales y los observados en cada instante muestreado de la secuencia de video para una cámara se incluye dentro de las estrategias de Análisis de Movimiento de la Visión Computacional y, en cierto modo, se puede etiquetar como Visión Estéreo temporal. Sin embargo, los efectos de torsión debidos a esfuerzos de tracción pueden ser menos apreciables para una localización fronto-paralela de las cámaras. Asimismo, debido a problemas de acceso, en ocasiones sólo se pueden situar cámaras en posición oblicua con respecto al objeto; en este caso, para una evaluación correcta de la deformación es necesario “rectificar” la imagen con respecto a un plano tangente al baricentro de la zona observada.

Asimismo, en ocasiones puede resultar útil situar 2 cámaras sincronizadas en posición oblicua que proporcionen una medida 3D de los efectos de torsión en el objeto poco apreciables para cámaras en posición fronto-paralela, pero observables para perspectivas oblicuas⁸. Este método se puede etiquetar como de Visión Estéreo espacio-temporal y proporciona una aproximación que presenta un coste inferior al basado en dispositivos de rango descritos en el apartado 3.2.1. La puesta en correspondencia entre elementos homólogos de las vistas tomadas de forma simultánea por 2 cámaras de video, no necesariamente calibradas, se realiza en términos de la Geometría Epipolar (cálculo de la matriz fundamental), con tal de que la geometría del objeto esté bien definida⁹; en presencia de materiales granulados con una textura complicada (patrones con alta variabilidad para el color), la evaluación del desplazamiento de puntos de control puede requerir insertar marcas adicionales.

En ambos casos de Visión Estéreo, la correlación de los datos extraídos a lo largo del proceso de carga procedentes de las imágenes proporcionadas por

⁸ Una estrategia similar se expone en P.Lorenzo: “La Video-correlación, una técnica de medida de deformación y desplazamiento sin contacto”, en L.Villegas e I.Lombillo (eds): “Tecnología de la Rehabilitación y la Gestión del Patrimonio Construido”, Jornadas organizadas por el Grupo de Tecnología de la Edificación, Santander, 2007, pp.45-57

⁹ El algoritmo RANSAC proporciona una aproximación robusta a la estimación de la matriz fundamental para la puesta en correspondencia automática entre datos homólogos contenidos en dos vistas no necesariamente calibradas (P.Torr, 1997).

una ó más cámaras proporciona una medida de la deformación y el desplazamiento.

7.1.c. Técnicas Esclerométricas

– Esclerometría

El objetivo de la Esclerometría es la evaluación de la ratio entre la resistencia del material y la penetración de una herramienta en su interior. Con ello se pretende disponer de un orden de magnitud de la resistencia y calidad del material utilizado en la construcción.

La evaluación de las características de fisuras y grietas en componentes es crucial para estimar el comportamiento de la estructura, anticiparse a intervenciones de recalce y prevenir daños mayores que puedan afectar a la estabilidad global de la fábrica. Las variaciones en la temperatura y los efectos de dilatación ó compresión de los materiales modifican la tipología de las fisuras y grietas monitorizadas. En AIDICO se han desarrollado modelos, sistemas de instrumentación y software específico que permiten monitorizar, evaluar y controlar la variación de las patologías detectada para diseñar una estrategia óptima de mantenimiento ó de intervenciones sobre la fábrica¹⁰.

7.1.d. Técnicas basadas en ondas

La información correspondiente a los materiales no-visibles contenidos en muros es difícil de identificar y frecuentemente requiere la utilización de diferentes tipos de técnicas no-intrusivas que aportan información complementaria. Algunas de las técnicas más importantes se presentan a continuación¹¹.

¹⁰ Para detalles ver J.Yuste y V.Albert: “Monitorización e instrumentación de fisuras para el diagnóstico estructural en Patrimonio Histórico construido” en L.Villegas e I.Lombillo (eds): “Tecnología de la Rehabilitación y la Gestión del Patrimonio Construido”, Jornadas organizadas por el Grupo de Tecnología de la Edificación, Santander, 2007, pp. 59-67

¹¹ Para toda esta sección son de gran utilidad los materiales contenidos en I.Lombillo y L.Villegas: “Metodología para el Análisis de las Estructuras de Fábrica del Patrimonio Construido”, L.Villegas e I.Lombillo (eds): “Tecnología

– Termografía

La Termografía (también llamada Termovisión) produce una representación ó mapa general del objeto correspondiente a la distribución de la temperatura y una estimación cualitativa de las áreas húmedas en la superficie. Presenta la ventaja de la rapidez en la toma de datos, pero la dificultad en la correlación cuantitativa con el contenido de agua en el interior que pueden presentar las áreas con una mayor presencia de humedad. Por ello, es conveniente combinarla con otras técnicas (procedentes típicamente del Georádar ó la Tomografía) para obtener una representación volumétrica.

La Termografía infrarroja utiliza radiaciones infrarrojas del espectro electromagnético (invisibles al ojo humano) que todo cuerpo a temperatura superior al cero absoluto emite en forma de calor, con una distribución espectral en función de la temperatura, de la composición del cuerpo y de su emisividad. Los objetivos de esta técnica son la localización de humedades, la identificación de estructuras ocultas, la localización de huecos cegados, la identificación de grietas, la localización de diferentes materiales, etc

– Georádar

El Georádar (Grund Penetrating Radar) a una técnica geofísica no destructiva que proporciona una imagen del subsuelo midiendo diferencias en las propiedades electromagnéticas de los materiales a partir del estudio de reflexiones de las ondas. Dichas propiedades esta definidas por una serie de parámetros (propiedades dieléctricas) que, junto con las características de la onda emitida, determinan la propagación de la energía del pulso electromagnético por el medio. El resultado es la generación de una imagen del subsuelo con una altísima resolución vertical y lateral permitiendo la identificación de objetos singulares, además de caracterizar el entorno¹².

de la Rehabilitación y la Gestión del Patrimonio Construido”, Jornadas organizadas por el Grupo de Tecnología de la Edificación, Santander, 2007, pp.69-91.

¹² M.Mateo Gacía: “Aplicaciones del Georádar de Alta Frecuencia en la Ingeniería Civil”, en L.Villegas e I.Lombillo (eds): “Tecnología de la Rehabilitación y la Gestión del Patrimonio Construido”, Jornadas organizadas por el Grupo de Tecnología de la Edificación, Santander, 2007, pp.51-57.

La aplicación de las técnicas de Georádar al Patrimonio construido trata de identificar la morfología interna del interior de los muros y la presencia de defectos locales (incluyendo fisuras ó grietas no visibles en los pilares) a partir del análisis de las señales emitidas por antenas con diferentes frecuencias. Así, por ejemplo, el georádar permite identificar desprendimientos de materiales debidos a la utilización de materiales cerámicos (diferentes tipos de ladrillo, p.e.), pétreos (incluyendo escombros, p.e.) u otros (incluyendo madera ó metales, p.e.) con diferente composición utilizados como mortero ó como relleno de muros. La falta de isotropía en los materiales de relleno de muros da lugar a diferentes respuestas en relación con problemas de humedad, ventilación ó temperatura.

El Georádar proporciona información más completa que la Termografía, pues permite obtener información sobre el interior. Así por ejemplo, bajo condiciones de Laboratorio una mayor presencia de humedad se detecta en términos de un decrecimiento de la velocidad en la onda EM y por un incremento en la atenuación de onda EM. No obstante, es necesario avanzar en la evaluación experimental y el modelado de las correlaciones entre parámetros observados, permeabilidad y contenido del agua en los materiales testeados.

Algunas de las aplicaciones a Patrimonio más significativas del Georádar son:

- a) Arqueología y Paleontología: Definición de zonas de excavaciones en yacimientos, localización de vías, murallas, restos fósiles, etc
- b) Ingeniería Civil: Localización de cavidades bajo superficies rígidas ó bien de tuberías de servicios y cables enterrados en medios urbanos,
- c) Fábricas: Localización de grandes espacios vacíos e inclusiones de materiales diferentes (acero, madera, etc), identificación del estado de conservación ó daño de estructuras, definición de la presencia y nivel de humedad, control de la eficacia de reparación por técnicas de inyección, descubrimiento de la morfología de la sección de muros de múltiples hojas de piedra y/o ladrillo, etc

- Tomografía Eléctrica
- Tomografía axial computerizada
- Tomografías de Rádar

7.1.e. Técnicas basadas en Acústica

Las técnicas sónicas y ultrasónicas son técnicas no destructivas que proporcionan una información local del estado de los materiales utilizados en la fábrica del edificio.

- Ultrasonidos

La velocidad del pulso ultrasónico es la medida del tiempo de propagación de la onda ultrasónica. Con ello se pretende evaluar los elementos pétreos aislados (mampuestos ó sillares de compacidad adecuada) ó probetas extraídas de los mismos (SDT). Está técnica no es adecuada para evaluar materiales muy heterogéneos (fábricas, p.e.). Los parámetros significativos a estimar son las propiedades físicas (densidad, p.e.) y mecánicas mediante correlaciones. Con ello, se pretende disponer de rangos de velocidades relacionados con la calidad del material.

- Métodos sónicos

La velocidad de pulso sónico se realiza a partir de la estimación del tiempo que toma el impulso para cubrir la distancia entre el transmisor y el receptor. Este método es apropiado para evaluar materiales muy heterogéneos (fábricas, p.e.) a diferencia de los métodos ultrasónicos, descritos en el párrafo anterior. El objetivo de los métodos sónicos es la calificación de la fábrica, la detección de presencia de vacíos y defectos, el hallazgo de patrones de agrietamiento y modelos de daño, el control de la eficacia asociada a una inyección y la detección de cambios en las características físicas de los materiales.

- Impacto Eco

En un material heterogéneo, como la fábrica, siempre que haya una discontinuidad del material se producirá una reflexión de la onda acústica de llegada, produciéndose una pérdida de velocidad con respecto a la que se obtendría en un material homogéneo. Supuesta conocida la velocidad de propagación de la onda, la medida del tiempo de viaje (ida y vuelta) permite determinar la distancia a la que se produce la reflexión (profundidad e intensidad de la interfase reflectora: defecto ó cara opuesta).

De forma similar a los métodos sónicos descritos en el párrafo anterior, el impacto eco pretende obtener una calificación de la fábrica, la detección de presencia de vacíos y defectos, el control de la eficacia asociada a una inyección y la detección de cambios en las características físicas de los materiales.

7.1.f. Técnicas de Monitorización Estructural

En la actualidad se desarrollan controles de movimientos de estructuras de fábrica basados en dos sistemas diferentes; una de ellas es el control remoto de estructuras y otra el control de estructuras mediante técnicas convencionales denominado manual (colocación de referencias y medida de las mismas con equipos portátiles). Con ambas técnicas se pueden obtener resultados similares, si bien la calidad de los datos, frecuencia de lecturas y flexibilidad en las mismas es superior en el caso de la remota. La medición manual se impone en casos de entidad menor, de menor puntos de lectura o bien cuando los recursos disponibles se encuentran más limitados.

A continuación se describen los sistemas de monitorización que habitualmente se emplean para llevar acabo los controles de movimientos en estructuras de fábrica.

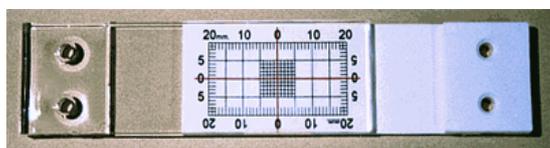
Monitorización Manual

La monitorización manual consiste en la colocación de una serie de referencias que se fijan a las zonas de la estructura a estudiar para su lectura manual mediante equipamiento portátil.

Se muestran a continuación las referencias más habituales para llevar a cabo el proceso de medición y control:

- Testigos de fisuración.

Los testigos de fisuración se emplean como sustitutivo de los tradicionales fisurómetros (reglas graduadas fijadas a ambos lados de las fisuras a controlar); consisten en dos dados de aluminio con un alojamiento troncocónico fijados mediante adhesivo a ambos lados de las fisuras, en los puntos de control que se establezcan. Por este motivo debe de eliminarse puntualmente el revoco o el enlucido a ambos lados de la fisura en los puntos en los cuales se proceda a su instalación. Con posterioridad, y una vez endurecido el adhesivo, se procederá a la lectura de la separación entre los mismos mediante calibre adaptado de sensibilidad 0,01 mm.



Fisurómetro convencional



Referencia fisuración en obra de fábrica

- Referencias de control de desplazamientos angulares.

Las referencias de control de desplazamientos angulares consisten en placas, habitualmente metálicas, que se fijan a los paramentos verticales objeto de estudio mediante un mortero de retracción compensada. Con posterioridad y una vez endurecido el mortero empleado como adhesivo, se procede a su lectura mediante un equipo denominado Tilt meter, con una sensibilidad de 8" de arco, con el objeto de detectar variaciones en la inclinación de los mismos. Al igual que las referencias de fisuración, requiere la eliminación de enlucidos o de revestimientos en mal estado que pudieran provocar su desprendimiento.



Placa inclinométrica



Transductor portátil de lectura

- Cintas de convergencia.

Las referencias para la medición de la variación relativa de la distancia entre muros mediante cinta métrica indeformable, son dos argollas metálicas fijadas a los paramentos a controlar mediante resinas. Una vez endurecida la resina procederá a la lectura de la distancia relativa entre los paramentos controlados mediante cinta métrica indeformable. La sensibilidad del equipo es de 0,05 mm.



Cinta de convergencia en proceso de lectura

- Referencias de nivelación.

Para monitorizar los posibles movimientos verticales que pueda sufrir la estructura, se puede realizar una nivelación de precisión de varios puntos. Para ello se fijaran una serie de referencias, manteniendo al menos dos referencias en puntos considerados fijos, fuera del área de influencia de movimientos verticales.



Referencias de nivelación



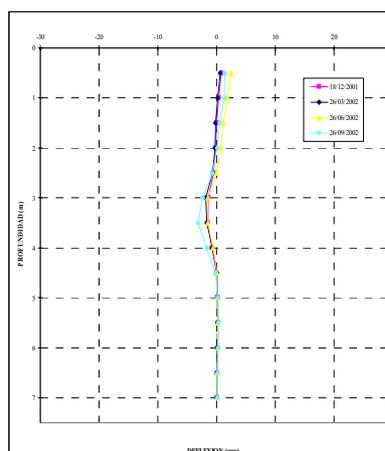
Nivel de precisión

- Inclinómetros.

Para conocer posibles movimientos en el subsuelo se instalan tubos ranurados en sondeos previamente ejecutados, con las ranuras ubicadas cada 90° en sección transversal. Ello permite introducir en el tubo un torpedo inclinométrico que detecta la inclinación del tubo en las dos direcciones ortogonales a diferente profundidad. Con esta técnica se puede conocer las deformaciones en profundidad en el terreno, hecho especialmente interesante cuando pudieran existir patologías asociadas a movimientos del terreno o bien se prevén excavaciones en zonas cercanas. El equipo cuenta con una sensibilidad de 10" de arco.



Tubo ranurado y torpedo inclinométrico con electrónica de medida.



Lecturas de inclinómetro a largo de un periodo de medición.

Condiciones ambientales.

En los momentos de realizar las mediciones es necesario proceder al menos al registro de temperatura y humedad, para poder analizar posteriormente los datos de las lecturas en consonancia con las variaciones ambientales.

Monitorización Remota

Como alternativa a la monitorización manual es posible la realización de una monitorización remota. Los datos que se obtienen con este sistema son mucho más numerosos y con mayor precisión. El estándar de medida habitual incluye en registro de datos dos veces al día durante el periodo de medición, de tal manera que resulta factible efectuar un seguimiento de mayor calidad, discriminando además los posibles efectos por variación de temperatura en una misma jornada. Así, al final del periodo de seguimiento, existen datos continuos de los movimientos, y que incluso, en aquellos casos en que sea de aplicación, pueden relacionarse fácilmente con las fases de ejecución de obras.

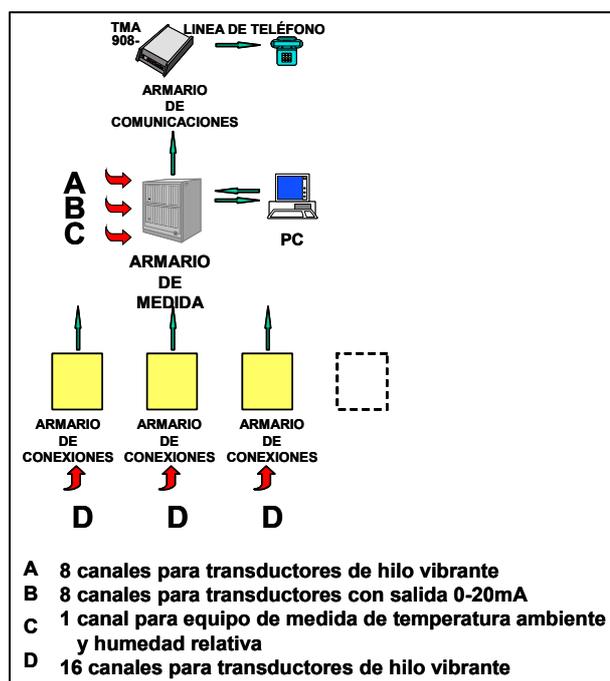
De esta forma, podría valorarse en el comportamiento estructural la incidencia inmediata de la realización de las diferentes intervenciones en el monumento.

Los equipos empleados en la monitorización remota pueden agruparse en tres familias:

- *Sensores convencionales*, habituales en laboratorios, tales como draw-wire, inclinómetros, galgas extensométricas, etc. Requerirán fuente de alimentación, batería, acondicionadores de señal necesarios y equipo de adquisición de datos y control y transmisión hasta PC.
- Sensores basados en la *tecnología de hilo vibrante*, sistema que destaca por su estabilidad de medida a largo plazo. Requerirán también fuente de alimentación, UPS, equipo de adquisición de datos y control y transmisión hasta PC.
- *Sensores de fibra óptica*, basados en interferometría de baja coherencia.

Los sensores de hilo vibrante son considerados en estos momentos como los que ofrecen una mayor ventaja en cuanto a prestaciones respecto de su coste. Esta técnica de hilo vibrante se basa en la relación existente entre la frecuencia de vibración de un hilo metálico tenso y la tracción a él aplicada. Ambos extremos del hilo metálico se fijan a los dos puntos cuyo movimiento relativo de separación o acercamiento se quiera medir. A continuación se tensa el hilo y se induce en él una vibración, midiéndose su frecuencia.

Una posterior lectura de la frecuencia de vibración se efectúa en otras circunstancias que han podido modificar la distancia entre los extremos del hilo. Con la diferencia de las frecuencias de vibración medidas, puede calcularse el movimiento relativo entre los anclajes del hilo. Todos los sensores incorporan un medidor de temperatura que permite efectuar la compensación de la misma en la propia electrónica del sensor.

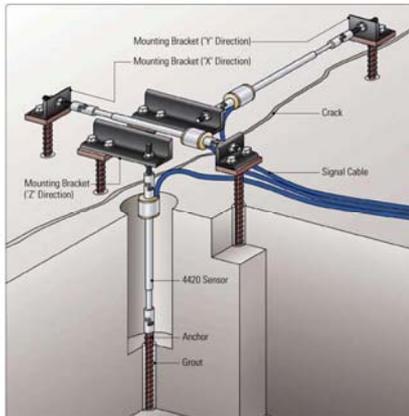


Los tipos de sensores que habitualmente se emplean para estas medidas son:

- Extensómetros (Crackmeter).

Se emplean para la medición de la variación de espesor de fisuras, con

amplitudes de medición comprendidos entre 25 y 50, y apreciación de 0,01 mm. Se fijan mecánicamente o químicamente a ambos lados de la fisura a controlar.

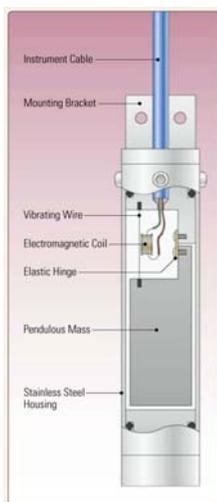


Colocación de extensómetros en tres direcciones

Extensómetro de 50 mm.

- Clinómetros

Se emplean para el registro de la inclinación de elementos estructurales (fundamentalmente muros y pilares). La capacidad de medida es de 10° en el plano de montaje seleccionado, y su apreciación es de 10 segundos. Requieren piezas específicas para su colocación



Esquema del clinómetro



Ubicación de clinómetros en una pila

- Cintas de convergencia

Se emplean para el registro de medida del movimiento relativo entre dos

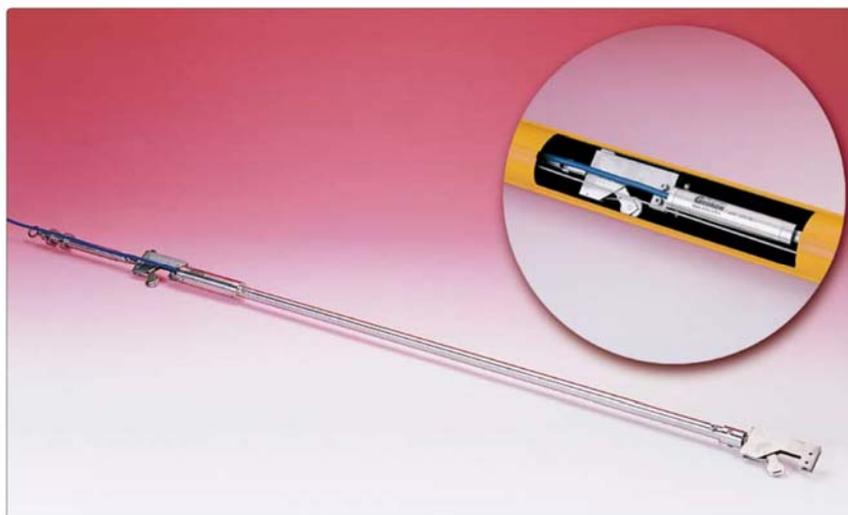
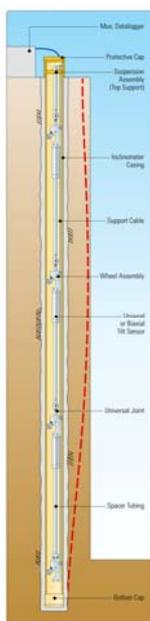
paramentos (fundamentalmente muros y pilares). La capacidad de medida al igual que los extensómetros es de 25 y 50 mm y su apreciación es 0,01 mm.



Cintas de convergencia de 50 mm.

- Inclinómetros

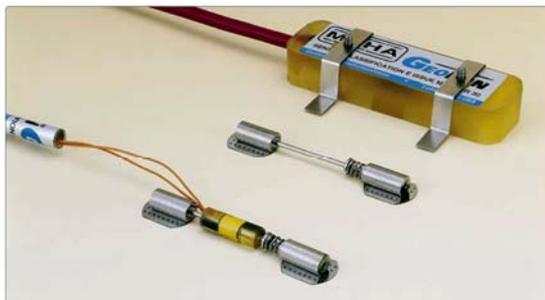
De manera análoga a la información que proporciona en inclinómetro manual, puede disponerse de inclinómetros instalados de manera permanente en tubos inclinométricos, si bien al multiplicar el número de sensores, el coste puede llegar a ser prohibitivo.



Inclinómetro

- Galgas extensométricas

Ocasionalmente puede requerirse la colocación de galgas extensométricas, de manera análoga a las convencionales. Su rango de medida es de 3 10-3 $\mu\epsilon$.



- Sensores de temperatura y humedad.

En los lugares en los que se hayan instalado los instrumentos anteriormente mencionados, se llevará a cabo una medición paralela de las temperaturas, y, en los espacios interiores, de humedad. Cada sensor de los mencionados previamente lleva incorporado un termistor, cuya lectura se realiza en paralelo a la del propio sensor. Esta información servirá para distinguir los movimientos cíclicos debidos a acciones térmicas y a valorar con mayor criterio los resultados obtenidos.

7.1.g. Monitorización ambiental (Temperatura, humedad, etc)

La monitorización de las condiciones ambientales se utiliza cada vez con mayor frecuencia en entornos tan diferentes como la Domótica ó entornos industriales, además de los correspondientes a AEC (Architecture, Engineering, Construction) propiamente dichos. Además de la temperatura, los sensores típicos son HVAC (Humedad, Ventilación, Aire Acondicionado).

En entornos de interior, existen ya en el mercado pasarelas residenciales de bajo coste con sensores inalámbricos para la medición de estos parámetros que integran las funcionalidades propias de la medición y la evaluación de los parámetros. En función de esta evaluación es posible modificar las condiciones ambientales mediante dispositivos (llamados accionadores) para restaurar las condiciones ideales relativas al entorno.

En entornos de exterior interesa estimar las variaciones en las condiciones ambientales (temperatura y humedad, sobre todo) para evaluar el posible impacto sobre las condiciones de la fábrica y su posible incidencia en problemas estructurales del edificio.

7.2. Técnicas Semi-Destructivas (TSD)

Las Técnicas Semi-Destructivas conllevan algún tipo de intervención física sobre el soporte (material ó estructural) del edificio. El objetivo es similar al de las NDT, es decir, el comportamiento estructural (flujo de tensiones) y el estado de materiales (identificación de posibles zonas críticas), pero deben ser manejadas con mayor precaución debido a su carácter invasivo y, en algunos casos, debido a su carácter irreversible.

7.2.a. Técnicas basadas en Tensiones y Deformaciones de la Fábrica

La existencia de espacios diáfanos de grandes dimensiones en plantas basilicales da lugar a problemas de difícil solución que han sido brillantemente resueltos en edificios de gran interés patrimonial construidos desde el siglo XIV. La estimación de los esfuerzos reales puede realizarse descargando ó no elementos de la estructura. La resolución del problema es más sencilla cuando la descarga es posible. Sin embargo, en ocasiones la descarga es imposible debido a los muy elevados esfuerzos de compresión que soportan los elementos estructurales. Un ejemplo típico de esto último viene dado por los esbeltos pilares compuestos por grandes sillares que soportan altas bóvedas de crucería; estos elementos están sometidos a esfuerzos de compresión muy elevados que es necesario evaluar mediante una simulación del comportamiento de la estructura discretizada (estática gráfica).

- Hole Drilling (método Donostia)
- Gatos planos (Flat Jack)
- Bore Hole Dilatometer
- Presurómetro

7.2.b. Técnicas aplicadas a Morteros y Material Pétreo

- Pull out
- Penetrómetro de mortero
- Taladro DRMS

8. Conclusiones

El diagnóstico estructural requiere de herramientas que permitan dotar a los técnicos de información fiable y completa acerca de la estabilidad de la construcción en su conjunto. No existe una técnica universal que proporcione un diagnóstico estructural global de un edificio. Es necesario disponer de un modelo 3D lo más completo posible, recurrir a una monitorización (instrumentación estática y dinámica), almacenar los datos en un sistema de información que permita cálculos sobre series temporales de datos (estáticos y dinámicos) así como correlaciones entre los mismos, un sistema de procesamiento y análisis de la información sobre el modelo 3D, un módulo de Visualización Avanzada para integrar la información y generar informes, y un sistema de gestión conjunto que permita compartir y validar los resultados obtenidos en casos de uso.

III. PROTOCOLO DE ESTUDIO PARA EL ANÁLISIS PREVIO A LA ADAPTACIÓN DE LOS EDIFICIOS PATRIMONIALES A LA ACCESIBILIDAD

Con todo esto, se elabora a continuación el protocolo de estudio para el análisis mediante TND / TSD previo a la adaptación a la accesibilidad de edificios patrimoniales, analizando el alcance real que estas técnicas pueden aportar en su estado de desarrollo actual, así en cómo interpretar las informaciones que éstas técnicas puedan aportar.

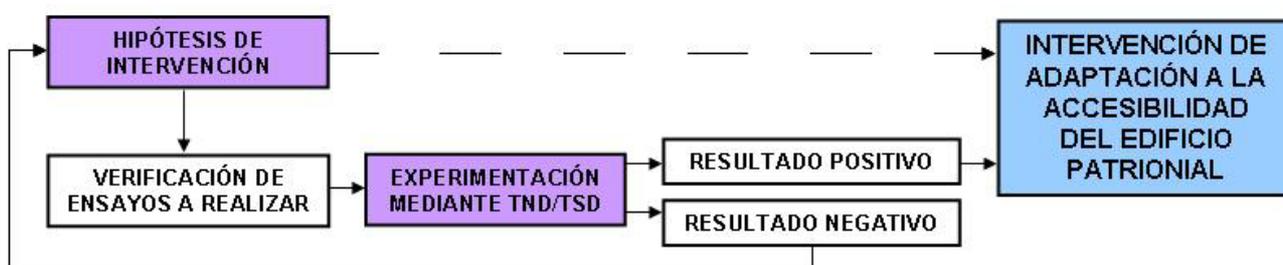
Teniendo en cuenta el objetivo final, que no es otro que el diagnóstico previo a las futuras intervenciones para el aumento del grado de accesibilidad de los monumentos, se plantean a continuación los principales procedimientos a seguir para la elección de los medios procedentes en cada caso.

Las adaptaciones a la accesibilidad de los bienes patrimoniales son por lo general más complejas que en edificios no patrimoniales, lo que es extensible a la realización de ensayos no destructivos en los bienes que vayan a albergar nuevas instalaciones de accesibilidad. Las peculiaridades de cada edificio o construcción son muy variadas y en ningún momento se puede generalizar un tipo de actuación o procedimiento. Por ello se propone un protocolo de actuación que sirva como guía para la realización de los ensayos por medio de TND/TSD en los casos en los que se vayan a instalar sistemas de mejora de la accesibilidad en bienes patrimoniales.

A la hora de instalar nuevos elementos que permitan la accesibilidad a los monumentos será necesario determinar su estado de conservación, características o capacidad portante. Por ello se hacen necesarios los ensayos mediante tecnologías no destructivas o semidestructivas, pues serán estos los que determinen características como el estado tensional en que se encuentra el monumento, y si este será capaz de soportar las tensiones que puedan surgir a raíz de las exigencias de las nuevas intervenciones. Si los citados ensayos así lo determinasen, se desecharía la opción de realizar la

intervención prevista o, en todo caso, se procedería a modificarla en consecuencia.

El protocolo de estudio que se propone a continuación recoge todas estas ideas, y permite definir de manera sencilla y ordenada la intervención a realizar en el monumento. Se trata de la consecución de un procedimiento que permitirá advertir de los posibles inconvenientes que un método de ensayo concreto pueda tener respecto a otros.



El protocolo de estudio propuesto está dirigido a tratar de establecer y recoger en cada caso la información que la TND/TSD a usar puede darnos. Se interpretará la información que nos proporciones y así proseguirá con la adaptación a la accesibilidad del monumento, o en su caso, se modificará la propuesta inicial adaptándola a las características del bien.

Las conclusiones que se obtendrán a partir del protocolo mencionado deben darnos información acerca de la viabilidad de las intervenciones para la adaptación a la accesibilidad del bien en cuestión. La realización de ensayos mediante TND/TSD nos permitirá por un lado determinar el estado tensional del muro o elemento analizado, con lo que se estimará si las intervenciones son viables o deben ser replanteadas o desechadas.

Por otro lado, en los casos en los que se plantee la necesidad de instalar otros medios en forma de instalaciones de acompañamiento para la accesibilidad, los resultados de los ensayos nos darán información muy necesaria para verificar o rediseñar la futura instalación.

Protocolo de estudio para el análisis previo a la adaptación de edificios patrimoniales a la accesibilidad

PROTOCOLO DE ESTUDIO PARA EL ANÁLISIS PREVIO A LA ADAPTACIÓN DE EDIFICIOS PATRIMONIALES A LA ACCESIBILIDAD	
HIPÓTESIS DE INTERVENCIÓN	1 Estudio de la intervención de accesibilidad a realizar: Se analizará la afección que ésta pueda tener en el bien y las características del bien que es necesario conocer previamente a la realización de los estudios mediante TND.
	2 Análisis visual del bien patrimonial: Realización de las primeras aproximaciones e hipótesis del planteamiento a seguir para intervenir en el bien.
	3 Vaciado documental: Con el objetivo de completar el conocimiento del bien, estudio histórico, caracterización de materiales, patologías y posibles agentes patológicos que le puedan afectar.
VERIFICACIÓN DE LOS ENSAYOS A REALIZAR	4 Elección de la/las TND: En función de las necesidades que la futura adaptación a la accesibilidad requiera se escogerá el ensayo o los ensayos de TND mas apropiados para el bien en cuestión.
	5 Simulación de la actuación a realizar: Sólo en caso de ser necesario. Construcción de la simulación y realización de la prueba de carga y demás pruebas pertinentes.
	6 Instalación del sistema de monitorización escogido: En función de la/las TND que se vayan a utilizar. Se instalará previamente a la realización de los ensayos con el objetivo de monitorizar el estado previo y las características del bien antes de intervenir en el. Se planificará asimismo un calendario de toma de datos y de elaboración de los pertinentes informes si estos fuesen necesarios.
EXPERIMENTACIÓN	7 Realización del ensayo/ensayos de TND.
RESULTADO	8 Valoración de los resultados: Establecer si la intervención de adaptación a accesibilidad del monumento puede ser realizada.
	9a La intervención SI puede ser realizada: Verificar/escoger el mejor lugar para la futura intervención. Diseñar/rediseñar las características de las instalaciones de acompañamiento a la accesibilidad.
	9b La intervención NO puede ser realizada: Reformulación de la aproximación.
INTERVENCIÓN DE ADAPTACIÓN A LA ACCESIBILIDAD EN EL EDIFICIO PATRIMONIAL	

IV. DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE LA APLICACIÓN SOFTWARE

El equipo de la Universidad de Valladolid ha tomado en consideración el análisis previo de prerequisites y funcionalidades y el estado actual de las técnicas para plantear el análisis y diseño de una aplicación software que proporcione soporte para las intervenciones a llevar a cabo sobre edificios de interés desde el punto de vista patrimonial y con especial atención a la resolución de los problemas de accesibilidad. Las fases de análisis y diseño se han desarrollado con la financiación correspondiente al ejercicio de 2008 y se exponen a continuación. De forma provisional, se ha adoptado el acrónimo GIRAPIM (Gestión de la Información Relacionada con el Análisis Previo de las Intervenciones en Monumentos) para etiquetar a dicha aplicación.

La fase de implementación de la aplicación software se ha iniciado ya y se espera contar con la realimentación procedente de otros miembros del consorcio para tratar de adaptarla a las necesidades reales observadas en campo. La aplicación software tiene un carácter modular, escalable y expandible y está previsto que a lo largo del ejercicio 2009 del SP2 de PATRAC, esta aplicación

- Permita incorporar las funcionalidades propias de la estimación de parámetros significativos para las intervenciones y
- Se amplíe a una Plataforma Software que soporte funcionalidades ligadas a el aprendizaje de técnicas (cuestión vinculada al SP6.2), a la gestión remota de información con recursos a las bases de datos asociadas (cuestión vinculada al SP6.3) y a los servicios web relacionados (cuestión vinculada al SP6.4).

Para poder integrar estas diferentes funcionalidades, se ha adoptado desde el principio un enfoque semántico con diferentes niveles de profundidad que se describen sobre todo en el SP6.4

1. Arquitectura de la aplicación GIRAPIM

Con la Plataforma software GIRAPIM (Gestión de la Información Relacionada con el Análisis Previo de las Intervenciones en Monumentos) se proporciona:

- Un **marco colaborativo** para la planificación de las estrategias de intervención más apropiadas en la fase de diseño.
- Un **modelo funcional**: diseño y construcción de un modelo funcional (organizado por capas) para las fases de análisis y planificación.
- **Acceso Digital**: introducción de una jerarquía para facilitar acceso diferenciado y personalizado según los diferentes perfiles de usuario.
- La **verificación de los protocolos** (codificación de estrategias) en relación con las técnicas utilizadas en intervenciones realizadas en los casos de uso mediante los interfaces apropiados.
- **Análisis de conocimiento**: soporte para el desarrollo de una minería de datos por edificio correspondiente a las intervenciones especificadas con objeto de generar una base de conocimiento que permita validar y extender las estrategias utilizadas en otros edificios de características similares.
- **Validación de los resultados** obtenidos, su inserción semi-automática en una base de datos y el acceso mediante una aplicación web.

La diversidad de agentes, intereses y metodologías da lugar a que cada grupo, empresa ó entidad que trabaja en relación con cuestiones de Accesibilidad tenga su propio vocabulario y sus propios perfiles de aplicación. Las discrepancias que puedan surgir para la gestión de los diferentes tipos de vocabularios y las diferentes formas de definir los perfiles de aplicación requieren un desarrollo específico de herramientas para comparar modelos de vocabularios y modelos de perfil.

Siguiendo la metodología desarrollada en Nilsson et al (2007)¹³ se han desarrollado diferentes componentes que afectan a los Vocabularios de Metadatos, Modelos de Vocabularios, Perfiles de Aplicación y Modelos de Perfil en relación con las intervenciones orientadas a resolver el problema de la accesibilidad. Los modelos de Vocabularios y Modelos de Perfil forman parte de las Taxonomías y presentan un carácter más avanzado, por lo que no serán expuestos aquí. En el marco DCMI (Dublin Core Metadata Initiative) los Vocabularios de Metadatos afectan a

Un Elemento Vocabulario que consiste en un conjunto de propiedades de metadatos junto con sus definiciones. Los 15 metadatos de DCS se introducen por parte del usuario (si tiene los permisos) ó del administrador del sistema (en caso contrario). Cada vez que se realiza una actualización de la información se crea un “proyecto” nuevo donde la mayor parte de los metadatos se mantienen, salvo que se indique lo contrario.

Un Vocabulario Valor que consiste en conceptos ligados al espacio físico en el que puede tener lugar la intervención a partir de un conjunto controlado que se especifica mediante un esquema de codificación del vocabulario. Ligado a este Vocabulario aparecen los términos arquitectónicos relativos a elementos del espacio físico y las posibles intervenciones sobre el mismo.

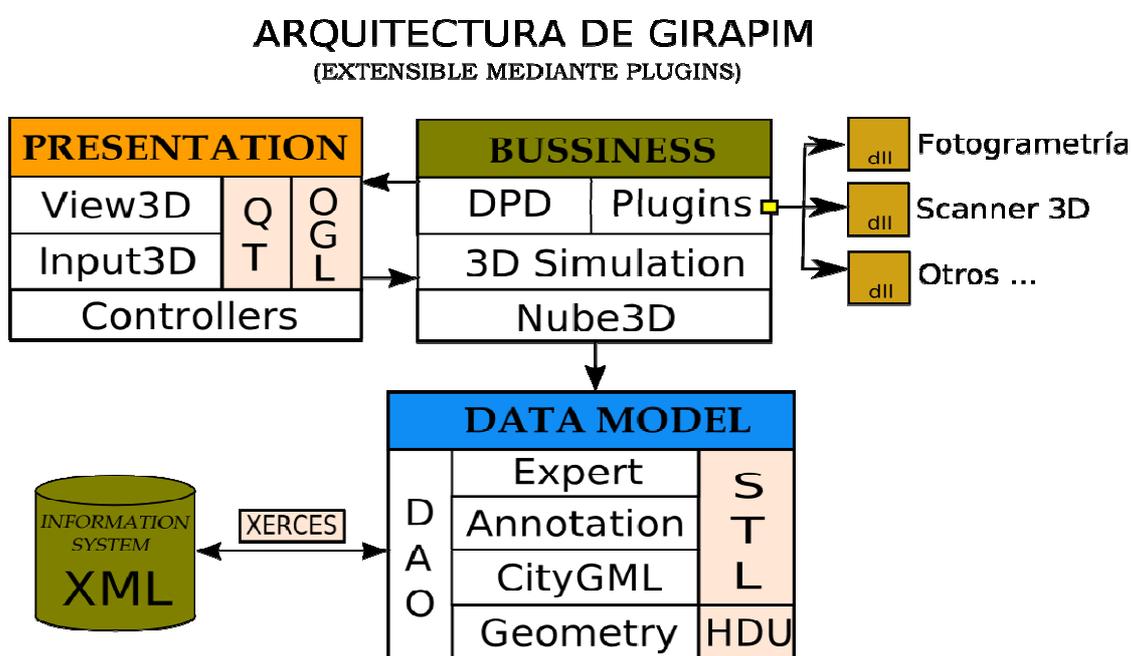
Los Perfiles de Aplicación tienen un aspecto más funcional que estructural: están orientados a la realización de intervenciones correspondientes a la aplicación de Técnicas No-Destructivas ó Semidestructivas (NDT y SDT) y la provisión de servicios a los diferentes tipos de usuarios. La aplicación recoge asimismo los protocolos de actuación para la gestión de información ligada a las intervenciones que deben ajustarse a normativas, directivas ó al conocimiento de expertos.

Especificación de la Arquitectura general de la plataforma.

¹³ M.Nilsson, P.Johnston, A.Naeve and A.Powell: “Towards an Interoperability Framework for Metadata Standards”, 2006

La plataforma diseñada hasta este momento no incluye el acceso remoto a funciones del sistema. Esto formará parte de un posterior desarrollo a realizar durante el ejercicio de 2009. En estos momentos el sistema funciona “standalone”, desde un PC cliente, aunque se ha desarrollado pensando en la extensibilidad y flexibilidad como factores de calidad prioritarios. El diagrama de bloques de la figura x muestra una descomposición modular del sistema con un elevado nivel de detalle.

Figura x: Arquitectura de GIRAPIM.



A grandes rasgos la arquitectura utiliza el modelo clásico de 3 capas: “Presentation”, “Bussines” and “Data model”. Esta descomposición permite que en el futuro las dos últimas que requieren la mayor carga de cómputo y de gestión de datos se desarrollen en un servidor y sólo la capa “presentation” se desarrolle en el navegador o dispositivo con acceso a Internet. El acceso se lleva a cabo en términos de las diferentes Ontologías (Dominio, Usuarios, Tareas) que, tras la especificación de metadatos, habilitan de forma semi-automática el acceso a cada una de las capas.

La capa “Presentation” se encarga de la presentación y visualización de los contenidos e información sobre el modelo físico y está adaptada a las

prestaciones del hardware cliente. Para la presentación de contenidos en 3D utiliza OpenGL en el módulo “View3D” y Qt Framework © para la interfaz gráfica. El módulo “Input3D” permite el uso de un dispositivo háptico 3D para la entrada de datos habilitando técnicas de inmersión en entornos virtuales para simular intervenciones.

La capa “Bussines” se encarga de realizar las operaciones de cálculo, análisis y procesamiento de los datos. Es la capa con mayores requisitos de procesamiento del sistema. Contiene un punto de extensión para plugins pensado para extender las funciones del sistema para nuevas técnicas NDT/SDT. El módulo “DPD” permite detectar por ejemplo una colección de planos dominantes (más significativos) sobre una nube de puntos 3D. “3D Simulation” es el módulo para simulación de intervenciones urbanas que permite extruir poligonales 3D y circunferencias de forma interactiva, así como los procedimientos ligados a operaciones booleanas definidas sobre los objetos 3D seleccionados (utilizando su representación como sólidos ó como superficies). Por último “Nube 3D” da soporte a las operaciones globales sobre nubes de puntos para otros módulos.

La última capa es “Data model”. Esta capa es la vista en memoria para el sistema de la base de datos. Por esta razón es la capa que se suele situar en el mismo servidor que la base de datos y con mayores necesidades de almacenamiento. Los módulos “Expert”, “Annotation”, “CityGML” y “Geometry” son colecciones de datos que representan las entidades de análisis del dominio del problema y que se almacenan de forma persistente en la base de datos. Actualmente la base de datos para GIRAPIM está creada en ficheros XML almacenados en el disco duro del cliente. Utilizar XML facilita la transferencia y uso de los contenidos a través de la Web. A pesar de esto y considerando que los sistemas de bases de datos comerciales como Oracle o MySQL son mucho más eficientes y permiten el acceso remoto se ha creado el módulo DAO (Data Access Objects). Este módulo sirve como interfaz de conexión de la base de datos con el sistema aislando las diferencias de implementación del almacenamiento permanente. La biblioteca XERCES se utiliza para importar /

exportar datos en XML. Una solución intermedia consistiría en utilizar una base de datos XML (habilitada o nativa) que mantiene el formato XML, pero mejora la eficiencia del acceso y almacenamiento de los datos. Una tercera opción sería un “middleware” conversor entre XML y SQL.

La arquitectura de GIRAPIM está diseñada para trabajar en un PC monousuario, con un repositorio de ficheros XML como fuente de datos común para los usuarios. No obstante, como se ha explicado anteriormente, la extensibilidad, tanto del almacenamiento de datos, como del procesamiento, análisis y visualización de contenidos se toma como un factor clave durante el desarrollo de la plataforma.

2. Diseño de Procesos

En este caso, los procesos se refieren a los diferentes tipos de intervenciones que se plantean en relación con las patologías detectadas en función de los datos recogidos y almacenados en la RDB. Los procesos se representan habitualmente en términos de diagramas de flujo entre diferentes agentes no necesariamente físicos (algunos pueden ser lógicos ó virtuales). Para facilitar la gestión computacional de los procesos y proporcionar un soporte lógico a los servicios (a desarrollar en el SP4), es necesario referirla a los RDB mencionadas en la sección 3 del presente documento; intuitivamente, una RDB se representa mediante una tabla en la que aparecen elementos y relaciones (según el típico enfoque estructural). La especificación de relaciones (“estar contenido en”, “requerir”, “implicar”, “compartir”, etc) entre componentes proporcionan la clave para facilitar la representación de los procesos y, por tanto, para diseñar una implementación computacional. A continuación se describen los elementos que permiten gestionar de forma semi-automática los procesos descritos en la sección 3.

Para convertir una tabla en una RDB es necesario realizar un esfuerzo de conceptualización (que permita aislar clases y objetos) y una especificación de conexiones y relaciones internas; la conceptualización debe identificar el tipo de recursos y el rango de variación permitida para los parámetros para los

datos cuantificables y se aborda en este entregable. Una vez recogida la información, las relaciones y conexiones se tratan a bajo nivel en términos de las relaciones internas detectables en términos de las tablas (propias de las RDB), pero la automatización en el tratamiento requiere una representación simbólica en términos de grafos. En dicha representación simbólica se representan mediante arcos ó aristas del grafo, mientras que los objetos ó sujetos se representan mediante nodos.

La representación simbólica es clave para convertir tablas en clases y “migrar” desde las RDB hacia un marco semántico basado en RDF (y sus extensiones a RDF schemata ó formulaciones semánticas en términos de OWL). La existencia de herramientas para generar grafos de forma automática a partir de las RDB es clave para la reutilización de materiales en el marco de la Web semántica. Para llevar a cabo este programa es necesario que los repositorios (colecciones de documentos multimedia) sean reconvertidos a RDB.

3. Diseño de Servicios para expertos

Los servicios están condicionados por el tipo de usuario y por las posibles tareas a desempeñar por dichos usuarios en entornos de Patrimonio. Los perfiles de usuario contemplados en PATRAC son a) técnicos que actúan en algún tipo de intervención, b) entidades encargadas de aspectos relacionados con la gestión del BIC ó c) ciudadanos (discapacitados ó no) que pretenden disfrutar del mismo. Una misma persona física puede presentar los tres tipos de perfil, pero al identificarse en la aplicación debe adoptar un único perfil, pues los servicios ofrecidos dependen de dicho perfil y los permisos para dichos servicios dependen del reconocimiento por parte del sistema de la condición de usuario (de acuerdo con la correspondiente contraseña). En esta sección, sólo nos ocupamos del Análisis de Servicios correspondiente a los técnicos que participan en alguna de las fases de intervención sobre el edificio ó su entorno.

El SP4 está orientado hacia los otros dos tipos de usuarios con servicios específicos como Localización (en exteriores e interiores mediante redes locales tipo WiFi, p.e.), Información general disponible sobre el BIC y su entorno (incluyendo módulos explicativos adicionales en previsión de

discapacidad psíquica ó falta de comprensión del BIC), Monitorización fisiológica (si procede en caso de alguna disfuncionalidad), Servicios orientados a personas con alguna discapacidad (salidas más próximas, rutas óptimas, obstáculos clasificados según diferentes tipos de accesibilidad y soluciones previstas), Servicios orientados al entorno (lavabos, aparcamientos próximos) ó a las entidades relacionadas con modelos de actividades ó de negocio. El desarrollo de estas soluciones propias de una SOA (Arquitectura orientada a servicios) requiere una financiación específica para las infraestructuras correspondientes a redes de sensores y comunicaciones

La aplicación software desarrollada tiene una capa de metadatos con tres tipos de datos relativos a características personales, características del objeto, aspectos administrativos y legales. Cuando un técnico se identifica como usuario accede ó no (dependiendo de los permisos concedidos por el administrador del sistema) al uso de las herramientas asociadas a su cualificación como experto. Asimismo, la introducción del objeto físico (el edificio ó su entorno) es clave para identificar qué tipo de permisos tiene el experto técnico para intervenir sobre el edificio. La propiedad intelectual ó los derechos de explotación de la información se salvaguardan en términos de los aspectos administrativos ó legales incluidos en el tercer bloque. La mayor parte de estos metadatos han sido incluidos por el Administrador del Sistema y sólo se actualiza el identificador correspondiente a la actividad desarrollada por el experto cada vez que accede a la aplicación.

Una vez que el usuario técnico accede a la aplicación mediante un dispositivo móvil (PDA, SmartPhone, PocketPC) dispone de un interfaz para:

- obtener información sobre tareas a desempeñar (servicios de agenda);
- consultar ó insertar documentos en diferentes formatos multimedia 1D (texto, voz), 2D (croquis, planos, imágenes, videos) ó 3D (modelos gráficos CAD, VR, nubes de puntos a baja resolución, superficies texturadas, etc);
- actualizar información cualitativa (atributos ó propiedades) ó cuantitativa

(en el rango permitido para los parámetros) relativa a las propiedades en tablas específicas del perfil tecnológico del usuario;

- realizar anotaciones sobre los diferentes formatos multimedia;
- acceder a herramientas de aprendizaje avanzado para la técnica en cuestión.

En principio, se ha diseñado el interfaz para estas funcionalidades y los plug-ins para que los expertos autorizados en cada área puedan insertar un esquema con las funcionalidades específicas de cada área. De acuerdo con el enfoque de entorno colaborativo propuesto para PATRAC, una vez difundido y mejorado el interfaz con las contribuciones de cada tipo de usuario, se procederá al relleno de las funcionalidades características de la NDT ó la SDT correspondiente.

4. Conclusiones

La fusión de sistemas de documentación en SIG 3D vectorialmente referenciados es ya una realidad. La estructura modular y abierta de CityGML proporciona un marco general para el desarrollo en un próximo futuro de módulos específicos que puedan afectar a intervenciones específicas ligadas a la utilización de procesos ó servicios relacionados con intervenciones en edificios. La integración de redes integradas de sensores y de plataformas software para entornos colaborativos (mash-ups) aplicados al Patrimonio Construido es un reto para el próximo futuro.

V. CONCLUSIONES GENERALES

El exhaustivo vaciado documental de técnicas existentes, el posterior catalogado y análisis detallado de las técnicas de intervención no destructivas y semidestructivas, y, por último, el estudio de las áreas de mejora de las mismas, ha sentado una base sólida para plantear el protocolo de estudio que se describe en el punto 3 del presente entregable.

Dicho protocolo de estudio debe ser el mecanismo que posibilite y facilite la adaptación de los edificios patrimoniales a la accesibilidad, sin que para ello hayan de sufrir alteraciones importantes en su estructura o apariencia. Este protocolo permitirá, mediante el uso de técnicas no destructivas, hallar el método de intervención más adecuado para la adaptación del edificio en cuestión. Así se sortearán las actuaciones que, aun con el objetivo último de posibilitar la accesibilidad universal al patrimonio edificado, muchas veces han acabado por dañarlo de manera irreversible.

La integración del protocolo en una aplicación software global que proporcione soporte para cualquier actuación que sea realizada sobre edificios desde el punto de vista patrimonial y atendiendo especialmente a los problemas de accesibilidad es un avance substancial en el afán de hacer más fácilmente aplicable el citado protocolo de estudio.