



**UNIVERSIDAD DE CANTABRIA**  
ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIEROS  
DE CAMINOS, CANALES Y PUERTOS



---

DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA ESTRUCTURAL Y MECÁNICA

# **TESIS DOCTORAL**

**INVESTIGACIÓN TEÓRICO – EXPERIMENTAL SOBRE  
ENSAYOS LIGERAMENTE DESTRUCTIVOS (MDT)  
UTILIZADOS PARA LA CARACTERIZACIÓN MECÁNICA  
IN SITU DE ESTRUCTURAS DE FÁBRICA DEL  
PATRIMONIO CONSTRUIDO**

**Autor**

**IGNACIO LOMBILLO VOZMEDIANO**  
INGENIERO DE CAMINOS, CANALES Y PUERTOS

**Director**

**PROF. DR. LUIS VILLEGAS CABREDO**  
DOCTOR INGENIERO DE CAMINOS, CANALES Y PUERTOS

---

**SANTANDER, MAYO DE 2010**



*“Pon en la lectura de este escrito tanta atención como yo  
he puesto en componerlo.*

*No pienses, sin embargo, que está escrito de tal forma que  
debas seguirlo en todas sus cosas. Porque todo cuanto te  
parezca que puede ser mejor, entonces será mejor, de  
acuerdo con tu propio buen saber y entender”.*

**Lorenz Lechler**, maestro de obras, en la introducción del  
tratado de construcción que legó a su hijo.

*Alemania, S. XV*

*A mis padres: Dionisio y Yolanda,  
a Ruth, mi gran apoyo.*



## AGRADECIMIENTOS

---

Me gustaría aprovechar estas líneas para agradecer a todas las personas e Instituciones que contribuyeron, cada uno con su valioso aporte, en el desarrollo del proceso de investigación que condujo a la elaboración de la presente Tesis Doctoral.

En primer lugar me gustaría agradecer, de una manera especial, a mi Director de Tesis y Maestro, Luis Villegas, por su aliento, sus inestimables aportaciones y por su calidad humana. Cada día, a su lado, es una clase magistral de ilusión, trabajo y humildad.

Seguidamente, agradecer a mis compañeros del Grupo I+D en Tecnología y Gestión de la Edificación de la Universidad de Cantabria (GTED-UC), a Jaime, Elena, Luis, Paula María, Fernando, David, Víctor, José Ramón, Pablo y César, por los buenos momentos que hemos pasado y su compañerismo. Gratitud especial a Clara por su apoyo en alguna de las partes de la Tesis, y a Jorge, compañero de ensayos, juntos hemos pasado bastante frío y mucho calor, pero todo se lleva mejor cuando tienes un amigo con quien consolarte.

Gracias al Departamento de Ingeniería Estructural y Mecánica de la Universidad de Cantabria por acogerme en su seno durante este período, a Javier por sus ánimos, a Arturo por facilitarme la finalización del presente trabajo, a José Ramón por sus consejos y a Eva por la gestión administrativa.

A su vez, muchas gracias a la empresa Apia XXI dado que, con su apoyo, contribuyó a mi retorno a la Universidad.

Dar también las gracias al Laboratorio de Estructuras de la Universidad de Cantabria, instalaciones en las que se ha llevado a cabo la mayor parte de los ensayos presentados, gracias a Germán y Leo por sus enseñanzas, y a Enrique por su auxilio en la logística de los ensayos.

Igualmente, agradecer a los compañeros del Laboratorio de la División de Ciencia e Ingeniería de los Materiales de la Universidad de Cantabria, especialmente a Juan Antonio, Jesús y Carlos, por su apoyo en tareas concretas focalizadas a la caracterización de los materiales formes de los elementos constructivos ensayados.

Muchas gracias al ingenioso Santiago Sánchez Beitia por sus enseñanzas y por su trato afable. Hemos pasado buenos momentos, los cuáles no dudamos que van a seguir repitiéndose.

Gracias al Instituto Tecnológico de la Construcción de la Comunidad Valenciana (Aidico) por su siempre buena disposición a realizar trabajos conjuntos y por su franco apoyo a las Jornadas Internacionales sobre Tecnología de la Rehabilitación y Gestión del Patrimonio Construido (REHABEND). A Javier, Rafael, José Vicente, Vicente, Ángel y resto de compañeros.

Agradecimientos a la Unidad de Modelización Geofísica de la Universidad de Oviedo, a Paulino y Alejandro, en lo referente a la puesta en práctica, de forma conjunta, de la técnica de impacto-eco en uno de las construcciones estudiadas.

Gracias a Geocisa por facilitarme un resumen de la memoria del proyecto SICEXPAR, cuyas principales aportaciones figuran dentro del estado del arte del documento elaborado.

Agradecimientos sinceros a todos los Ponentes de las Jornadas Internacionales REHABEND, pues cada una de sus intervenciones ha sido una enseñanza.

Igualmente, agradecer a las Instituciones de las que se ha obtenido colaboración en la financiación de esta investigación, fundamentalmente a Sodercan por su apoyo a través del Plan

de Gobernanza Tecnológico 2006, y al Ministerio de Fomento por su apoyo, desde inicio, del foro técnico REHABEND.

Agradecer al Excmo. Ayuntamiento de Santander, a la Sociedad de Activos Inmobiliarios Campus Comillas y a José Antonio Martínez la confianza depositada para realizar el estudio de alguna de las construcciones tratadas en la campaña experimental desarrollada in situ.

Gracias a mi mujer, Ruth, por su infinita paciencia y apoyo en todo momento; son muchas las horas que hemos dejado de disfrutar en común para que este trabajo haya podido llegar a buen puerto, por ello que te agradezco en el alma tu comprensión y tu ánimo inagotable. Muchas gracias peque.

También un profundo agradecimiento a mis padres y hermanos por su esfuerzo, ejemplo y sacrificio; a Ricardo, en paz descansa, por su bondad; y a Don Fernando, maestro de pueblo, que desde los tres años hasta los catorce contribuyó de forma decisiva a guiar mi camino.

Finalmente, gracias a todos los que, en la certeza de que me perdonarán por no constar entre los relacionados, saben muy bien que contribuyeron con su granito de arena a la consecución de este objetivo.

¡Gracias a todos!

## RESUMEN

---

### *INVESTIGACIÓN TEÓRICO – EXPERIMENTAL SOBRE ENSAYOS LIGERAMENTE DESTRUCTIVOS (MDT) UTILIZADOS PARA LA CARACTERIZACIÓN MECÁNICA IN SITU DE ESTRUCTURAS DE FÁBRICA DEL PATRIMONIO CONSTRUIDO*

La conservación del patrimonio cultural está considerado como un principio fundamental en la vida cultural de las sociedades modernas. En los últimos años, se han realizado extensas investigaciones en torno a esta área, conduciendo a desarrollos en la inspección, ensayos no destructivos, monitorización y análisis estructural de monumentos.

Por otra parte, el análisis de construcciones antiguas formula importantes desafíos dada la complejidad de su geometría, la variabilidad de las propiedades de los materiales tradicionales, las diferentes técnicas de construcción, la ausencia de conocimiento sobre los daños existentes, y de cómo afectan determinadas acciones a las construcciones a lo largo de su vida.

Dichos desafíos suponen que las construcciones del patrimonio arquitectónico estén sometidas a una serie de dificultades de diagnóstico y restauración, que limitan la aplicación de las disposiciones normativas y las pautas vigentes en el ámbito general de la construcción. Y es por todo ello que la comprensión, el análisis y la reparación de construcciones históricas se establece como uno de los desafíos más importantes de los técnicos modernos.

¿Sería razonable operar a un enfermo sin tener constancia objetiva del mal que adolece?, en ese caso ¿porqué intervenimos en nuestra herencia cultural sin tener conocimiento contrastado de las causas desencadenantes de sus procesos patológicos?

Respondiendo a la cuestión formulada, las intervenciones en las construcciones antiguas, dada su fragilidad, requieren precisión, detalle y formación especial en el desarrollo de un estudio previo riguroso de diagnóstico que de soporte a las decisiones sobre las técnicas de intervención que deben adoptarse.

En este proceso es fundamental la fase de reconocimiento – análisis, dado que es en esta etapa en la que se plantean hipótesis y se comprueban, de forma objetiva, a través de cálculos y ensayos. Dentro de la fase referida, debe prestarse especial atención al reconocimiento experimental, dado que dicha inspección además de contribuir a la obtención de parámetros de entrada de los modelos de análisis, tiene como misión el contribuir a calibrarlos mediante la comprobación experimental de los resultados obtenidos analíticamente en determinados puntos de control.

Por su parte, es deseable que dicho reconocimiento experimental se realice de la forma menos intrusiva posible para con la construcción, sobremanera en el caso de bienes de carácter monumental.

En línea con lo argumentado, la investigación que se presenta incide, dentro del proceso metodológico general de intervención en una construcción antigua, en la fase del reconocimiento experimental, in situ, ligeramente destructivo, y a su vez, dentro de éste, en las técnicas orientadas a obtener información útil desde un punto de vista de la caracterización mecánica de elementos estructurales de fábrica.

En este sentido, se pretende contribuir a la puesta a punto, en España, de métodos para la evaluación in situ de la fiabilidad de los elementos estructurales existentes en construcciones históricas de obra de fábrica. Para ello, se van a focalizar los esfuerzos en el calibrado, en laboratorio, de las técnicas de gatos planos, hole drilling y mini-presurometría de fábricas, y posteriormente se aplicarán a casos reales in situ.





## ABSTRACT

---

### *THEORETICAL – EXPERIMENTAL RESEARCH ABOUT MINOR DESTRUCTIVE TESTS (MDT) APPLIED TO THE MECHANICAL ON-SITE CHARACTERIZATION OF HISTORICAL MASONRY STRUCTURES*

Cultural heritage conservation is considered as a fundamental principle of modern societies' cultural life. In recent years, extensive research has been done on this area, leading developments on inspection, non-destructive testing, monitoring and monument structural analysis.

In other hand, old buildings analysis implies significant challenges due to the complexity of its geometry, variability of traditional materials properties, different construction techniques, lack of knowledge about existing damage, and how certain actions affect throughout their life to buildings.

These challenges mean that architectural heritage buildings are subject to diagnosis and refurbishment difficulties, which limit the application of standards and construction guidelines. That is why the understanding, the analysis and the historic buildings' repair, are considered as one of the most important challenges of modern technicians.

Would it be reasonable to operate a patient without objective evidence of the illness that suffers? In that case, why do we intervene in our cultural heritage without knowing the causes that have initiated its pathological processes?

Answering to this question, interventions in old buildings, because of its fragility, require accuracy, detail and a special education in the development of a previous diagnostic study, in order to give support to decisions to be adopted on intervention techniques.

In this process, it is essential the phase survey - analysis, because it is at this stage where the hypothesis are set out and verified with calculations and tests. Within this phase, it should pay special attention to experimental survey, since such inspection contributes to both obtaining input parameters of the model analysis, and contributes to calibrate it using the experimental verification of the results obtained analytically at certain checkpoints.

Moreover, it is desirable that such experimental survey is performed of the least intrusive way as possible for the construction, greatly in the case of monumental constructions.

Within the general process of intervention on old constructions, the research presented insists on the on-site experimental survey stage, slightly destructive, and within it, on the techniques aimed to obtain useful information for the mechanical characterization of masonry structural elements.

In this sense, it aims to contribute to the development in Spain of methods for on-site evaluation of the structural elements' reliability in masonry historical buildings. For this, efforts will focus on the calibration, in laboratory, of the techniques of flat jacks, hole drilling and masonry mini-pressurometer, and then its application to real on-site cases.



# TESIS DOCTORAL

## Investigación teórico – experimental sobre ensayos ligeramente destructivos (MDT) utilizados para la caracterización mecánica in situ de estructuras de fábrica del patrimonio construido.

### ÍNDICE GENERAL

<b>1</b>	<b>INTRODUCCIÓN, ALCANCE, NECESIDADES, OBJETIVOS, METODOLOGÍA, PLAN DE ENSAYOS Y ORGANIZACIÓN DEL DOCUMENTO.</b>	<b>1</b>
1.1	Introducción: Metodología de intervención en construcciones del Patrimonio construido.	1
1.2	Alcance de la investigación.	14
1.3	Necesidades de la investigación.	16
1.4	Objetivos de la investigación.	24
1.5	Metodología y plan de ensayos.	27
1.6	Organización del documento.	30
<b>2</b>	<b>ESTADO DEL ARTE.</b>	<b>32</b>
2.1	Marco general de las técnicas de reconocimiento in situ de estructuras de fábrica.	32
2.1.1	Situación actual en España de las técnicas ligeramente destructivas (MDT) utilizadas para la caracterización mecánica in situ de estructuras de fábrica del patrimonio construido.	40
2.2	Técnicas basadas en aspectos tensionales.	43
2.2.1	Gatos planos.	43
2.2.2	Hole drilling.	139
2.2.3	Presurometría y dilatometría de componentes de fábrica.	163
2.2.4	Método FreD.	185
2.2.5	Ensayo UIC.	194
2.2.6	Método Doorstopper.	197
2.3	Sobre la deformabilidad de las estructuras de fábrica.	198
<b>3</b>	<b>MATERIALES Y PROCEDIMIENTOS EMPLEADOS EN LOS ENSAYOS.</b>	<b>216</b>
3.1	Materiales y procedimientos empleados en los ensayos con gatos planos.	217
3.2	Materiales y procedimientos empleados en los ensayos de corte in situ.	241
3.3	Materiales y procedimientos empleados en los ensayos hole drilling.	250
3.4	Materiales y procedimientos empleados en los ensayos con técnicas mini-presurométricas.	260
3.5	Tiempos relacionados con la ejecución de los ensayos referidos.	272

<b>4</b>	<b>PROGRAMA EXPERIMENTAL EN LABORATORIO DESARROLLADO EN ESTA INVESTIGACIÓN.</b>	<b>274</b>
4.1	Campaña experimental sobre componentes de sillería.	275
4.2	Campaña experimental sobre componentes de mampostería.	396
4.3	Campaña experimental sobre componentes de ladrillo.	442
4.4	Campaña experimental sobre muretes de ladrillo hueco.	503
4.5	Campaña experimental sobre componentes de tierra compactada: Tapial.	523
4.6	Campaña experimental sobre un muro de adobe.	580
<b>5</b>	<b>PROGRAMA EXPERIMENTAL IN SITU DESARROLLADO EN ESTA INVESTIGACIÓN.</b>	<b>618</b>
5.1	Campaña experimental desarrollada en muros de sillería arenisca de la torre de la Iglesia parroquial de N <sup>a</sup> S <sup>a</sup> de la Asunción, s. XIII (Zarratón, La Rioja).	619
5.2	Campaña experimental desarrollada en muros de mampostería arenisca del Palacio de Casa-Fuerte, s. XVI (Zarratón, La Rioja).	632
5.3	Campaña experimental desarrollada en un muro de mampostería caliza del Palacio de Rivera-Herrera, s. XVII (Santander).	650
5.4	Campaña experimental desarrollada en una chimenea de fábrica de ladrillo de finales del siglo XIX – principios del siglo XX (Tejerías La Covadonga – Muriedas, Cantabria).	679
5.5	Campaña experimental desarrollada en un arco de fábrica de ladrillo del siglo XIX (Arco de ladrillo de Campo Grande – Valladolid).	684
5.6	Campaña experimental desarrollada en muros de mampostería caliza y de ladrillo de un edificio del siglo XIX (Seminario Mayor de Comillas, Cantabria)	711
<b>6</b>	<b>CONCLUSIONES Y TRABAJOS FUTUROS.</b>	<b>766</b>
6.1	Conclusiones relativas al estado del arte.	766
6.2	Conclusiones relativas a la campaña experimental desarrollada en laboratorio.	772
6.3	Conclusiones relativas a la campaña experimental desarrollada in situ.	778
6.4	Trabajos futuros.	781
<b>7</b>	<b>REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.</b>	<b>783</b>

*ANEXOS (Ascienden a un total de 22 anexos).*





# TESIS DOCTORAL

## Investigación teórico – experimental sobre ensayos ligeramente destructivos (MDT) utilizados para la caracterización mecánica in situ de estructuras de fábrica del patrimonio construido.

### ÍNDICE

<b>1</b>	<b>INTRODUCCIÓN, ALCANCE, NECESIDADES, OBJETIVOS, METODOLOGÍA, PLAN DE ENSAYOS Y ORGANIZACIÓN DEL DOCUMENTO.</b>	<b>1</b>
<b>1.1</b>	<b>Introducción: Metodología de intervención en construcciones del Patrimonio construido.</b>	<b>1</b>
1.1.1	El conocimiento	4
1.1.1.1	Anámnesis y preliminares	4
1.1.1.2	Reconocimiento – Análisis	5
1.1.1.2.1	Reconocimiento experimental	6
1.1.1.2.2	Reconocimiento analítico	8
1.1.1.2.3	Evaluación del nivel de seguridad.	11
1.1.2	El diagnóstico y la reflexión	12
1.1.2.1	Diagnóstico	12
1.1.2.2	Reflexión y toma de decisiones	12
1.1.3	Terapia: el Proyecto y la ejecución de la Obra	13
1.1.4	Control y mantenimiento.	13
<b>1.2</b>	<b>Alcance de la investigación.</b>	<b>14</b>
<b>1.3</b>	<b>Necesidades de la investigación.</b>	<b>16</b>
1.3.1	Referencias estadísticas (Euroconstruct y SEOPAN)	17
1.3.2	Informe ANEP (1998): “Tendencias en la conservación del patrimonio cultural: demandas tecnológicas y científicas en Italia y España”.	20
1.3.3	Plataforma Tecnológica Española de Construcción: Línea Estratégica Patrimonio Cultural (PTEC).	21
<b>1.4</b>	<b>Objetivos de la investigación.</b>	<b>24</b>
1.4.1	Objetivo general.	24
1.4.2	Objetivos específicos.	27
<b>1.5</b>	<b>Metodología y plan de ensayos.</b>	<b>27</b>
<b>1.6</b>	<b>Organización del documento.</b>	<b>30</b>
<b>2</b>	<b>ESTADO DEL ARTE.</b>	<b>32</b>
<b>2.1</b>	<b>Marco general de las técnicas de reconocimiento in situ de estructuras de fábrica.</b>	<b>32</b>
2.1.1	Situación actual en España de las técnicas ligeramente destructivas (MDT) utilizadas para la caracterización mecánica in situ de estructuras de fábrica del patrimonio construido.	40
<b>2.2</b>	<b>Técnicas basadas en aspectos tensionales.</b>	<b>43</b>

<b>2.2.1</b>	<b>Gatos planos</b>	<b>43</b>
2.2.1.1	Nacimiento de la técnica	43
2.2.1.2	Primeros desarrollos de la técnica: 1980-1985	45
2.2.1.3	Primeros desarrollos de la técnica: 1986-1990	52
2.2.1.4	Desarrollos y aplicaciones más significativas de la técnica entre 1991-1995	61
2.2.1.5	Desarrollos y aplicaciones más significativas de la técnica entre 1996-2000	70
2.2.1.6	Desarrollos y aplicaciones más significativas de la técnica entre 2001-2005	88
2.2.1.7	Desarrollos y aplicaciones más significativas de la técnica entre 2006-2009	103
2.2.1.8	Desarrollos y aplicaciones más significativas de las técnicas de gato plano en España	116
2.2.1.9	Estimación de la fiabilidad de los resultados de la técnica de gatos planos.	136
<b>2.2.2</b>	<b>Hole drilling</b>	<b>139</b>
2.2.2.1	Antecedentes	139
2.2.2.2	Introducción	142
2.2.2.3	Campaña experimental desarrollada en laboratorio.	143
2.2.2.3.1	Campañas experimentales en laboratorio sobre muestras de roca. 1997-2000.	143
2.2.2.3.2	Campaña experimental en laboratorio sobre un muro de fábrica de sillería y otro de ladrillo construidos al efecto. 2003-06	146
2.2.2.4	Aplicaciones prácticas in situ de la Técnica Hole Drilling.	150
2.2.2.4.1	Catedral de Santa María de Vitoria (España). 1994-95.	150
2.2.2.4.2	Casa Botines de León (España). 1995	152
2.2.2.4.3	Iglesia de la asunción del Monasterio de San Millán de la Cogolla (La Rioja, España). Patrimonio de la Humanidad. 1996.	152
2.2.2.4.4	Murallas de Fuenterrabía (Guipúzcoa, España). 1997.	152
2.2.2.4.5	Acueducto del Sultán El Ghouri (El Cairo, Egipto). 1998.	153
2.2.2.4.6	Altes Museum de Berlín (Alemania). 2004.	153
2.2.2.4.7	Colegiata de Toro (Zamora, España). 2005.	156
2.2.2.4.8	Iglesia-Fortaleza de Turégano (Segovia, España). 2005.	156
2.2.2.4.9	Catedral de Tarazona (Zaragoza, España). 2006.	156
2.2.2.4.10	Catedral gótica de Barcelona (España). 2006.	157
2.2.2.4.11	Palacio renacentista granadino, Carrera del Darro 25. 2006.	158
2.2.2.4.12	Iglesia de Saint Jakobs en Lovaina (Bélgica). 2007.	158
2.2.2.4.13	Santa María del Mar de Barcelona (España). 2007.	158
2.2.2.4.14	Catedral de Palma de Mallorca (España). 2007.	160
2.2.2.5	Otras reflexiones	161
2.2.2.5.1	Comparación con la técnica de gato plano simple.	161
2.2.2.5.2	Diferencias con respecto a la Norma ASTM E837-95	162
<b>2.2.3</b>	<b>Presurometría y dilatometría de componentes de fábrica.</b>	<b>163</b>
2.2.3.1	Introducción.	163
2.2.3.2	Aplicación en estructuras de fábrica.	163
2.2.3.3	Experiencia portuguesa: BHD (BoreHole Dilatometer) del Laboratório Nacional de Engenharia Civil (LNEC).	169
2.2.3.4	Experiencia española: Método PiD.	175
2.2.3.4.1	Ensayos realizados sobre tapial.	177
2.2.3.4.2	Ensayos realizados sobre muros de adobe.	178
2.2.3.4.3	Ensayos realizados sobre mampostería.	180
2.2.3.4.4	Ensayos realizados sobre fábrica de ladrillo.	181
2.2.3.4.5	Conclusiones obtenidas.	183
<b>2.2.4</b>	<b>Método FreD</b>	<b>185</b>
2.2.4.1	Introducción	185
2.2.4.2	Método de ensayo	186
2.2.4.3	Desarrollo del dispositivo	188
2.2.4.4	Campaña experimental	189
2.2.4.5	Resultados y perspectivas de futuro	192
<b>2.2.5</b>	<b>Ensayo UIC</b>	<b>194</b>
<b>2.2.6</b>	<b>Método Doorstopper.</b>	<b>197</b>



<b>2.3</b>	<b>Sobre la deformabilidad de las estructuras de fábrica.</b>	<b>198</b>
2.3.1	Modulo de deformación longitudinal, E.	204
2.3.2	Módulo equivalente para cargas de larga duración	210
2.3.3	Resumen de la revisión bibliográfica.	212
<b>3</b>	<b>MATERIALES Y PROCEDIMIENTOS EMPLEADOS EN LOS ENSAYOS.</b>	<b>216</b>
<b>3.1</b>	<b>Materiales y procedimientos empleados en los ensayos con gatos planos.</b>	<b>217</b>
3.1.1	Localización del emplazamiento y acondicionamiento de la superficie.	218
3.1.2	Pegado de los puntos de control	219
3.1.2.1	Caso del ensayo de tensión (gato plano simple).	222
3.1.2.2	Caso del ensayo de deformación (gato plano doble).	223
3.1.3	Replanteo y ejecución de las rozas	223
3.1.4	Conexión y purga	227
3.1.4.1	Conexión y purga del gato plano simple	227
3.1.4.2	Conexión y purga del gato plano doble	227
3.1.5	Ejecución del ensayo.	228
3.1.5.1	Ensayo de tensión in situ (ensayo de gato plano simple).	228
3.1.5.2	Ensayo de deformación in situ (ensayo de doble gato plano).	231
3.1.5.3	Equipamiento y materiales.	233
3.1.5.3.1	Gatos planos.	233
3.1.5.3.2	Placas de relleno	237
3.1.5.3.3	Sistema hidráulico	238
3.1.5.3.4	Equipo de medida de desplazamientos.	238
<b>3.2</b>	<b>Materiales y procedimientos empleados en los ensayos de corte in situ.</b>	<b>241</b>
3.2.1	Ensayo de corte in situ para la determinación de la tensión de adhesión y el coeficiente de fricción de una fábrica.	243
3.2.1.1	Equipamiento requerido	244
3.2.1.2	Preparación del emplazamiento del ensayo.	244
3.2.1.3	Ejecución del ensayo.	245
3.2.1.4	Estimación de la tensión de adhesión y el coeficiente de fricción de la fábrica.	247
<b>3.3</b>	<b>Materiales y procedimientos empleados en los ensayos Hole Drilling.</b>	<b>250</b>
3.3.1	Preparación de la zona analizada	250
3.3.2	Elección y pegado de las bandas extensométricas	251
3.3.3	Conexión de las galgas	254
3.3.4	Registro de deformaciones antes del taladrado	254
3.3.5	Taladrado	255
3.3.6	Registro de las deformaciones después del taladro	256
3.3.7	Obtención de los estados tensionales	257
3.3.8	Deducción de las Constantes A y B	258
3.3.8.1	Constantes A y B en función de unos parámetros adimensionales, del Módulo de Elasticidad y del Coeficiente de Poisson ( $A_t$ y $B_t$ ).	258
3.3.8.2	Constantes A y B deducidas experimentalmente ( $A_s$ y $B_s$ )	259
<b>3.4</b>	<b>Materiales y procedimientos empleados en los ensayos con técnicas mini-presurométricas.</b>	<b>260</b>
3.4.1	Realización de perforaciones de cierta profundidad de 36 mm de diámetro.	260
3.4.2	Realización de la perforación	263
3.4.3	Inspección de la perforación	265
3.4.4	Preparación de la sonda y el equipo	265
3.4.5	Eliminación de la rigidez de la sonda	266
3.4.6	Realización del ensayo.	267
3.4.7	Procesado de resultados	268
<b>3.5</b>	<b>Tiempos relacionados con la ejecución de los ensayos referidos.</b>	<b>272</b>

#### 4 PROGRAMA EXPERIMENTAL EN LABORATORIO DESARROLLADO EN ESTA INVESTIGACIÓN. \_\_\_\_\_ 274

<b>4.1</b>	<b>Campaña experimental sobre componentes de sillería.</b>	<b>275</b>
4.1.1	Construcción del muro	275
4.1.2	Transporte del muro	276
4.1.3	Determinación del ángulo de apertura de cargas en el muro de sillería.	277
4.1.4	Determinación de las características mecánicas del muro.	279
4.1.5	Ensayos de Hole Drilling	282
4.1.5.1	Obtención de las características mecánicas (E y v) de la piedra arenisca involucrada en los ensayos hole drilling.	282
4.1.5.1.1	Características mecánicas involucradas en el ensayo HDS1.	283
4.1.5.1.2	Características mecánicas involucradas en el ensayo HDS3.	284
4.1.5.1.3	Características mecánicas involucradas en el ensayo HDS5.	286
4.1.5.1.4	Características mecánicas involucradas en la piedra arenisca del murete de arenisca (HDS6, HDS7 y HDS8).	287
4.1.5.2	Ensayo hole drilling HDS1	288
4.1.5.3	Ensayo hole drilling HDS2	291
4.1.5.4	Ensayo hole drilling HDS3	292
4.1.5.5	Ensayo hole drilling HDS4	295
4.1.5.6	Ensayo hole drilling HDS5	296
4.1.5.7	Comparativa entre el registro de la deformación en dos ensayos Hole Drilling: uno mediante extensometría resistiva (HDS6) y otro mediante extensometría de fibra óptica (HDS7).	299
4.1.5.7.1	Ensayo hole drilling HDS6 (Extensometría resistiva)	300
4.1.5.7.2	Ensayo hole drilling HDS7 (Extensometría óptica)	303
4.1.5.7.3	Comparación de los resultados obtenidos por extensometría resistiva y óptica.	307
4.1.5.8	Comparativa entre el registro de la deformación en dos ensayos Hole Drilling: uno mediante extensometría resistiva (HDS8) y otro mediante videocorrelación (HDS9).	308
4.1.5.8.1	Ensayo hole drilling HDS8 (Extensometría resistiva)	308
4.1.5.8.2	Ensayo hole drilling HDS9 (Videocorrelación)	312
4.1.5.8.3	Comparación de los resultados obtenidos por extensometría resistiva y videocorrelación digital de imágenes DIC.	317
4.1.6	Ensayos de Gato plano	319
4.1.6.1	Ensayos de gato plano GPS-A (simple y doble)	320
4.1.6.2	Ensayos de gato plano GPS-B (simple y doble)	329
4.1.7	Simulación de un ensayo de gato plano simple mediante elementos finitos. Estimación del nivel tensional mediante gato plano simple y hole drilling en el muro de sillería.	339
4.1.7.1	Datos de partida	339
4.1.7.2	Metodología de cálculo	340
4.1.7.3	Ensayo de gato plano simple	341
4.1.7.3.1	Descripción general	341
4.1.7.3.2	Situación inicial	341
4.1.7.3.3	Cálculo 1. Primera aproximación.	345
4.1.7.3.4	Cálculo 2. Considerada la forma real de la roza	351
4.1.7.3.5	Cálculo 3. Considerada la forma de la roza y el área de aplicación de la carga	358
4.1.7.4	Estudio de la influencia de los distintos parámetros en los resultados.	364
4.1.7.4.1	Módulo de Elasticidad	364
4.1.7.4.2	Coefficiente de Poisson	371
4.1.7.4.3	Densidad	374
4.1.7.5	Ensayos Hole Drilling.	377
4.1.8	Ensayos mini-presurométricos desarrollados en el muro de sillería	379
4.1.9	Demolición controlada	381
4.1.9.1	Gatos planos GPS-A	381
4.1.9.1.1	Gato plano GPS-A-Superior	381
4.1.9.1.2	Gato plano GPS-A-Inferior	383
4.1.9.2	Gatos planos GPS-B	385
4.1.9.2.1	Gatos plano GPS-B-Superior	385
4.1.9.2.2	Gato plano GPS-B-Inferior	386
4.1.9.3	Mini-presurometro DiS1	388
4.1.10	Contraste de los resultados obtenidos en la sillería arenisca.	389

4.1.10.1	Bondad de los niveles tensionales obtenidos mediante la técnica hole drilling.	389
4.1.10.2	Bondad de los niveles tensionales obtenidos mediante gato plano simple.	391
4.1.10.3	Bondad de las características mecánicas obtenidas mediante gato plano doble.	393
4.1.10.4	Bondad de los ensayos mini-presurométricos desarrollados en el muro de sillería.	395
<b>4.2</b>	<b>Campaña experimental sobre componentes de mampostería.</b>	<b>396</b>
4.2.1	Construcción del muro	396
4.2.2	Transporte del muro	397
4.2.3	Determinación del ángulo de apertura de cargas en el muro de mampostería.	398
4.2.4	Determinación de las características mecánicas del muro.	401
4.2.5	Ensayos de Hole Drilling	405
4.2.5.1	HDM1	406
4.2.5.2	HDM2	409
4.2.5.3	HDM3	412
4.2.5.4	HDM4	416
4.2.6	Ensayos de Gato plano	419
4.2.6.1	Gato plano GPMS0 (simple)	420
4.2.6.2	Gatos planos GPM1 (simple y doble)	422
4.2.7	Ensayos mini-presurométricos desarrollados en el muro de mampostería.	430
4.2.7.1	Mini-presurometro DILM1.	431
4.2.7.2	Mini-presurometro DILM2.	432
4.2.7.3	Mini-presurometro DILM3.	433
4.2.8	Demolición controlada	434
4.2.8.1	GPMD1	434
4.2.8.1.1	GPMD1-Superior	434
4.2.8.1.2	GPMD1-Inferior	435
4.2.8.2	Ensayos mini-presurometros DILM1-3.	437
4.2.9	Contraste de los resultados obtenidos en la mampostería caliza.	438
4.2.9.1	Bondad de los niveles tensionales obtenidos mediante la técnica hole drilling.	438
4.2.9.2	Bondad de los niveles tensionales obtenidos mediante gato plano simple.	439
4.2.9.3	Bondad de las características mecánicas obtenidas mediante gato plano doble.	439
4.2.9.4	Bondad de los ensayos mini-presurométricos desarrollados en el muro de mampostería.	441
<b>4.3</b>	<b>Campaña experimental sobre componentes de ladrillo.</b>	<b>442</b>
4.3.1	Construcción del muro de ladrillo.	442
4.3.2	Transporte del muro de ladrillo.	443
4.3.3	Determinación del ángulo de apertura de cargas en el muro de ladrillo.	444
4.3.4	Determinación de las características mecánicas del muro de ladrillo.	446
4.3.5	Ensayos hole drilling en el muro de ladrillo.	452
4.3.5.1	HDL1	453
4.3.5.2	HDL2	457
4.3.5.3	HDL3	460
4.3.6	Ensayos de gato plano en el muro de ladrillo.	463
4.3.6.1	Gatos planos GPL-A (simple y doble).	463
4.3.6.2	Gatos planos GPL-B (simple y doble).	468
4.3.6.3	Ensayo de corte in situ para la determinación de la tensión de adhesión y el coeficiente de fricción de la fábrica de ladrillo.	474
4.3.6.3.1	Preparación del emplazamiento del ensayo.	474
4.3.7	Ensayos mini-presurométricos en el muro de ladrillo.	481
4.3.8	Ensayos sínicos en componentes de ladrillo.	483
4.3.8.1	Caracterización mediante inspección ultrasónica de materiales formes de la fábrica de ladrillo: mortero y ladrillo.	483
4.3.8.2	Auscultación sónica y ultrasónica de muretes de fábrica de ladrillo.	485
4.3.8.2.1	Auscultación ultrasónica de muretes de fábrica.	485
4.3.8.2.2	Auscultación sónica de muretes de fábrica.	486
4.3.8.3	Caracterización sónica y ultrasónica de un muro de fábrica de ladrillo.	494
4.3.8.3.1	Auscultación ultrasónica del muro de fábrica de ladrillo.	494
4.3.8.3.2	Auscultación sónica del muro de fábrica	495
4.3.8.4	Variación de módulos de elasticidad, E, frente a cargas crecientes.	498
4.3.9	Contraste de los resultados obtenidos en el muro de ladrillo.	499

4.3.9.1	Bondad de los niveles tensionales obtenidos mediante la técnica hole drilling.	499
4.3.9.2	Bondad de los niveles tensionales obtenidos mediante gato plano simple.	500
4.3.9.3	Bondad de las características mecánicas obtenidas mediante gato plano doble.	500
4.3.9.4	Bondad de los ensayos mini-presurométricos desarrollados en el muro de ladrillo	502
4.3.9.5	Bondad de la auscultación sónica del muro de fábrica de ladrillo.	502
<b>4.4</b>	<b>Campaña experimental sobre muretes de ladrillo hueco.</b>	<b>503</b>
4.4.1	Construcción de los muretes.	503
4.4.2	Ensayos n° 1 y n° 2	505
4.4.2.1	Ensayo n° 1	505
4.4.2.2	Ensayo n° 2	506
4.4.2.3	Comparativa de los ensayos n° 1 y n° 2	510
4.4.3	Ensayos n° 3 y n° 4	511
4.4.3.1	Ensayo n° 3	514
4.4.3.2	Ensayo n° 4	518
4.4.3.3	Comparativa de los ensayos n° 3 y n° 4	520
<b>4.5</b>	<b>Campaña experimental sobre componentes de tierra compactada: Tapial.</b>	<b>523</b>
4.5.1	Introducción	523
4.5.1.1	Características físico-mecánicas del tapial	528
4.5.1.2	Otros comentarios	528
4.5.2	Construcción del muro	530
4.5.3	Transporte y refrentado del tapial.	534
4.5.4	Determinación del ángulo de apertura de cargas en el tapial.	535
4.5.5	Determinación de las características mecánicas de probetas construidas con el mismo material que conforma el muro.	537
4.5.6	Ensayos de Gato plano	549
4.5.6.1	Ensayo de gato plano GPTap-Simple 1.	549
4.5.6.2	Ensayo de gato plano GPTap-Simple2	553
4.5.6.3	Gato plano GPTap-Doble	557
4.5.7	Ensayos de Hole Drilling (HDTap1).	562
4.5.8	Ensayos mini-presurométricos desarrollados en el tapial.	568
4.5.8.1	Ensayo mini-presurométrico DILTap1.	568
4.5.8.2	Ensayo mini-presurométrico DILTap2.	570
4.5.9	Demolición controlada	572
4.5.9.1	GPTap-Simple1	572
4.5.9.2	GPTap-Simple2	573
4.5.9.3	GPTap-Doble	574
4.5.9.4	GPTap-Doble-Superior	574
4.5.9.5	GPTap-Doble-Inferior	575
4.5.9.6	DILTap1 y DILTap2	576
4.5.10	Contraste de los resultados obtenidos en el tapial.	576
4.5.10.1	Bondad de los niveles tensionales obtenidos mediante la técnica hole drilling.	576
4.5.10.2	Bondad de los niveles tensionales obtenidos mediante gato plano simple.	577
4.5.10.3	Bondad de las características mecánicas obtenidas mediante gato plano doble.	577
4.5.10.4	Bondad de los ensayos mini-presurométricos desarrollados en el tapial.	578
<b>4.6</b>	<b>Campaña experimental sobre un muro de adobe.</b>	<b>580</b>
4.6.1	Construcción del muro	580
4.6.2	Transporte y refrentado del muro de adobe.	581
4.6.3	Determinación de la resistencia a compresión y el módulo de elasticidad de los adobes empleados.	582
4.6.4	Determinación del ángulo de apertura de cargas en el muro de adobe.	584
4.6.5	Determinación de las características mecánicas del muro.	586
4.6.6	Ensayos de Gato plano	590
4.6.6.1	Ensayos de gato plano GPAd-A (simple y doble)	591
4.6.6.2	Ensayo de gato plano GPAd-B Doble	598
4.6.7	Ensayos mini-presurométricos desarrollados en el muro de adobe.	604
4.6.7.1	Ensayo mini-presurométrico DILAd1.	605
4.6.7.2	Ensayo mini-presurométrico DILAd2.	606
4.6.7.3	Ensayo mini-presurométrico DILAd3.	608

4.6.8	Demolición controlada	610
4.6.8.1	GPAAd-A	610
4.6.8.1.1	GPAAd-A-Superior	610
4.6.8.1.2	GPAAd-A-Inferior	611
4.6.8.2	GPAAd-B	612
4.6.8.2.1	GPAAd-B-Superior	612
4.6.8.2.2	GPAAd-B-Inferior	612
4.6.8.3	DILAd1	613
4.6.8.4	DILAd2	614
4.6.8.5	DILAd3	614
4.6.9	Contraste de los resultados obtenidos en el muro de adobe.	615
4.6.9.1	Bondad de los niveles tensionales obtenidos mediante gato plano simple.	615
4.6.9.2	Bondad de las características mecánicas obtenidas mediante gato plano doble.	615
4.6.9.3	Bondad de los ensayos mini-presurométricos desarrollados en el muro de adobe	616

## **5 PROGRAMA EXPERIMENTAL IN SITU DESARROLLADO EN ESTA INVESTIGACIÓN. \_ 618**

### **5.1 Campaña experimental desarrollada en muros de sillería arenisca de la torre de la Iglesia parroquial de N<sup>a</sup> S<sup>a</sup> de la Asunción, s. XIII (Zarratón, La Rioja). \_\_\_\_\_ 619**

5.1.1	Introducción.	619
5.1.2	Ensayos MDT y NDT in situ.	621
5.1.2.1	Estimación del nivel tensional.	621
5.1.2.1.1	Gato plano simple	621
5.1.2.1.2	Hole drilling HD-1.	623
5.1.2.1.3	Hole drilling HD-2.	626

### **5.2 Campaña experimental desarrollada en muros de mampostería arenisca de la Casona-Palacio de Casa Fuerte, s. XVI (Zarratón, La Rioja). \_\_\_\_\_ 632**

5.2.1	Introducción.	632
5.2.2	Ensayos MDT in situ.	634
5.2.2.1	Gato plano doble FJD-1.	634
5.2.2.2	Gato plano doble FJD-2.	641
5.2.2.3	Ensayo mini-presurométrico en una partición interior de adobe.	647

### **5.3 Campaña experimental desarrollada en un muro de mampostería caliza del Palacio de Riva Herrera, s. XVI (Santander). \_\_\_\_\_ 650**

5.3.1	Introducción.	650
5.3.2	Caracterización del terreno de cimentación.	653
5.3.3	Caracterización de materiales	653
5.3.3.1	Caracterización química	654
5.3.3.2	Caracterización física de las piedras.	656
5.3.3.3	Caracterización mecánica: Resistencia a compresión.	657
5.3.3.4	Durabilidad: Ensayos de heladicidad.	658
5.3.4	Ensayos MDT y NDT in situ.	660
5.3.4.1	Estimación del nivel tensional.	660
5.3.4.1.1	Gato plano simple	660
5.3.4.1.2	Hole drilling HD-1.	662
5.3.4.2	Caracterización mecánica de la fábrica.	666
5.3.4.2.1	Gato plano doble.	666
5.3.4.3	Ensayos sínicos.	671
5.3.4.3.1	Toma de datos	672
5.3.4.3.2	Procesado de señales	675
5.3.4.3.3	Interpretación de resultados	675

### **5.4 Campaña experimental desarrollada en una chimenea de fábrica de ladrillo de finales del siglo XIX – principios del siglo XX (Tejerías La Covadonga – Muriedas, Cantabria). \_\_\_\_\_ 679**

5.4.1	Introducción.	679
5.4.2	Estimación del nivel tensional.	680
5.4.2.1	Ensayo de Hole Drilling.	680

<b>5.5</b>	<b>Campaña experimental desarrollada en un arco de fábrica de ladrillo del siglo XIX (Arco de ladrillo de Campo Grande – Valladolid).</b>	<b>684</b>
5.5.1	Introducción.	684
5.5.2	Caracterización de materiales	686
5.5.2.1	Morteros	687
5.5.2.2	Ladrillos	687
5.5.3	Estimación de niveles tensionales.	690
5.5.3.1.1	Gato plano simple FJS-1	691
5.5.3.1.2	Gato plano simple FJS-2	693
5.5.3.1.3	Caracterización estructural mediante modelado numérico	695
5.5.4	Caracterización mecánica	700
5.5.4.1	Gato plano doble FJD-1	700
5.5.4.2	Gato plano doble FJD-2	704
<b>5.6</b>	<b>Campaña experimental desarrollada en muros de mampostería caliza y de ladrillo de un edificio del siglo XIX (Seminario Mayor de Comillas, Cantabria).</b>	<b>711</b>
5.6.1	Introducción: La construcción del Seminario Mayor.	711
5.6.2	Estudio geotécnico.	715
5.6.3	Caracterización de materiales.	716
5.6.3.1	Caracterización química	717
5.6.3.2	Caracterización física de las piedras.	719
5.6.3.3	Caracterización mecánica: Resistencia a compresión.	720
5.6.3.4	Durabilidad	722
5.6.3.4.1	Ensayos de heladicidad.	722
5.6.3.4.2	Ensayos de humedad-sequedad.	723
5.6.4	Ensayos MDT y NDT in situ.	723
5.6.4.1	Estimación del nivel tensional.	724
5.6.4.1.1	Gato plano simple FJS-1	724
5.6.4.1.2	Gato plano simple FJS-2	727
5.6.4.1.3	Gato plano simple FJS-3	729
5.6.4.1.4	Gato plano simple FJS-4	731
5.6.4.1.5	Hole drilling HD-1.	734
5.6.4.1.6	Hole drilling HD-2	737
5.6.4.1.7	Hole drilling HD-3 y HD-4.	740
5.6.4.2	Caracterización mecánica de la fábrica.	742
5.6.4.2.1	Gato plano Doble FJD-1	742
5.6.4.2.2	Gato plano Doble FJD-2	746
5.6.4.2.3	Gato plano Doble FJD-3	749
5.6.4.2.4	Gato plano Doble FJD-4	754
5.6.4.2.5	Mini-presurómetro Dil-1	760
5.6.4.3	Ensayos sísmicos.	762
5.6.4.3.1	Campaña de medidas ultrasónicas en pilastras de Claustro Este.	762
5.6.4.3.2	Detección hueco vertical continuo empotrado en el muro mediante la técnica “cross-hole sonic logging”.	764
5.6.4.3.3	Auscultación sónica y ultrasónica, a nivel de planta baja, del muro central de mampostería sito en la crujía Sur del claustro Este del Seminario Mayor (ST-1).	764
<b>6</b>	<b>CONCLUSIONES Y TRABAJOS FUTUROS.</b>	<b>766</b>
<b>6.1</b>	<b>Conclusiones relativas al estado del arte.</b>	<b>766</b>
6.1.1	Sobre las técnicas de gatos planos.	766
6.1.2	Sobre la técnica hole drilling.	768
6.1.3	Sobre la técnica dilatométrica.	770
6.1.4	Sobre la técnica FreD.	770
6.1.5	Sobre el ensayo UIC.	771
6.1.6	Sobre la deformabilidad de las fábricas históricas.	771
<b>6.2</b>	<b>Conclusiones relativas a la campaña experimental desarrollada en laboratorio.</b>	<b>772</b>
6.2.1	Sobre los ensayos realizados en el muro de sillería.	772
6.2.2	Sobre los ensayos realizados en el muro de mampostería.	774

6.2.3	Sobre los ensayos realizados en el muro de ladrillo.	775
6.2.4	Sobre los ensayos realizados en los muretes de ladrillo hueco.	775
6.2.5	Sobre los ensayos realizados en el tapial.	776
6.2.6	Sobre los ensayos realizados en el muro de adobe.	777
<b>6.3</b>	<b>Conclusiones relativas a la campaña experimental desarrollada in situ.</b>	<b>778</b>
<b>6.4</b>	<b>Trabajos futuros.</b>	<b>781</b>
<b>7</b>	<b>REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.</b>	<b>783</b>

## ANEXOS

**8 ANEXO 1: REGISTRO DE SONDEO PARA CONOCER EL IMPACTO EN ESPAÑA DE DETERMINADAS TÉCNICAS NO DESTRUCTIVAS EN EL MERCADO DE LA REHABILITACIÓN DE CONSTRUCCIONES HISTÓRICAS.**

**9 ANEXO 2: CARACTERIZACIÓN DE LOS MORTEROS FORMES DE LOS MUROS DE LADRILLO, SILLERÍA Y MAMPOSTERÍA ENSAYADOS.**

**10 ANEXO 3: REGISTRO DE LOS ENSAYOS HOLE DRILLING REALIZADOS EN LABORATORIO SOBRE EL MURO DE SILLERÍA.**

- 10.1 Registro del ensayo HDS1 (Lab0810).
- 10.2 Registro del ensayo HDS2 (Lab0811).
- 10.3 Registro del ensayo HDS3 (Lab0812).
- 10.4 Registro del ensayo HDS4 (Lab0813).
- 10.5 Registro del ensayo HDS5 (Lab0814).
- 10.6 Registro del ensayo HDS6 (Lab0833).
- 10.7 Registro del ensayo HDS7 mediante extensometría óptica (Lab0834).
- 10.8 Registro del ensayo HDS8 (Lab0819).

**11 ANEXO 4: JUSTIFICACIÓN DE LOS COEFICIENTES  $K_m$  EMPLEADOS EN LOS ENSAYOS DE GATO PLANO.**

**12 ANEXO 5: REGISTRO DE LOS ENSAYOS DE GATO PLANO REALIZADOS EN LABORATORIO SOBRE EL MURO DE SILLERÍA.**

- 12.1 Registro del ensayo GPS-A Simple (Lab0815).
- 12.2 Registro del ensayo GPS-A Doble (Lab0816).
- 12.3 Registro del ensayo GPS-B Simple (Lab0817).
- 12.4 Registro del ensayo GPS-B Doble (Lab0818).

**13 ANEXO 6: REGISTRO DE LOS ENSAYOS HOLE DRILLING REALIZADOS EN LABORATORIO SOBRE EL MURO DE MAMPOSTERÍA.**

- 13.1 Registro del ensayo HDM1 (Lab0807).
- 13.2 Registro del ensayo HDM2 (Lab0808).

13.3 Registro del ensayo HDM3 (Lab0821).

13.4 Registro del ensayo HDM4 (Lab0822).

**14 ANEXO 7: OBTENCIÓN DE LAS CARACTERÍSTICAS MECÁNICAS, E Y v, DE ALGUNA DE LAS ROCAS INVOLUCRADAS EN LOS ENSAYOS DE HOLE DRILLING REALIZADOS.**

**15 ANEXO 8: REGISTRO DE LOS ENSAYOS DE GATO PLANO REALIZADOS EN LABORATORIO SOBRE EL MURO DE MAMPOSTERÍA.**

15.1 Registro del ensayo GPM1-Simple (Lab0823).

15.2 Registro del ensayo GPM1-Doble (Lab0824).

**16 ANEXO 9: LADRILLOS CERÁMICOS CARA VISTA (TEJERÍAS “LA COVADONGA”) EMPLEADOS EN LA CONSTRUCCIÓN DEL MURO DE LADRILLO.**

**17 ANEXO 10: REGISTRO DE LOS ENSAYOS HOLE DRILLING REALIZADOS EN LABORATORIO SOBRE EL MURO DE LADRILLO.**

17.1 Registro del ensayo HDL1 (Lab0803).

17.2 Registro del ensayo HDL2 (Lab0903).

17.3 Registro del ensayo HDL3 (Lab0804).

**18 ANEXO 11: REGISTRO DE LOS ENSAYOS DE GATO PLANO REALIZADOS EN LABORATORIO SOBRE EL MURO DE LADRILLO.**

18.1 Registro del ensayo GPL-A Simple (07906).

18.2 Registro del ensayo GPL-A Doble (07097).

18.3 Registro del ensayo GPL-B Simple (Lab0804).

18.4 Registro del ensayo GPL-B Doble (Lab0805).

**19 ANEXO 12: DISTRIBUCIÓN GRANULOMÉTRICA DE LA TIERRA EMPLEADA EN LA CONSTRUCCIÓN DEL TAPIAL.**

**20 ANEXO 13: FICHAS TÉCNICAS DE LOS ADHESIVOS DE POLIURETANO TERMOPLÁSTICO EMPLEADOS PARA LA FIJACIÓN DE BANDAS EXTENSOMÉTRICAS EN EL SUSTRATO TERROSO.**

**21 ANEXO 14: REGISTRO DE LOS ENSAYOS DE GATO PLANO REALIZADOS EN LABORATORIO SOBRE EL TAPIAL.**

21.1 Registro del ensayo GPTap-Simple 1 (Lab0925).

21.2 Registro del ensayo GPTap-Simple 2 (Lab1001).

21.3 Registro del ensayo GPTap-Doble (Lab1002).

**22 ANEXO 15: REGISTRO DE LOS ENSAYOS HOLE DRILLING REALIZADOS EN LABORATORIO SOBRE EL TAPIAL.**

22.1 Registro del ensayo HDTap1 (Lab0926).



**23 ANEXO 16: REGISTRO DE LOS ENSAYOS DE GATO PLANO REALIZADOS EN LABORATORIO SOBRE EL MURO DE ADOBE.**

**23.1 Registro del ensayo GPAd-A Simple (Lab0920).**

**23.2 Registro del ensayo GPAd-A Doble (Lab0922).**

**24 ANEXO 17: REGISTRO DE LOS ENSAYOS MDT REALIZADOS SOBRE MUROS DE SILLERÍA ARENISCA DE LA TORRE DE LA IGLESIA PARROQUIAL DE N<sup>a</sup> S<sup>a</sup> DE LA ASUNCIÓN, S. XIII (ZARRATÓN, LA RIOJA).**

**24.1 Registro del ensayo GPSimple (Lab0916).**

**24.2 Registro del ensayo HD-1 (Lab0918).**

**24.3 Registro del ensayo HD-2 (Lab0917).**

**25 ANEXO 18: REGISTRO DE LOS ENSAYOS MDT REALIZADOS SOBRE MUROS DE MAMPOSTERÍA ARENISCA DEL PALACIO DE CASA-FUERTE, S. XVI (ZARRATÓN, LA RIOJA).**

**25.1 Registro del ensayo FJD-1 (Lab0914).**

**25.2 Registro del ensayo FJD-2 (Lab0915).**

**26 ANEXO 19: REGISTRO DE LOS ENSAYOS MDT REALIZADOS SOBRE UN MURO DE MAMPOSTERÍA CALIZA DEL PALACIO DE RIVA-HERRERA, S. XVII (SANTANDER).**

**26.1 Registro del ensayo GPSimple (Lab1003).**

**26.2 Registro del ensayo HD-1 (Lab0902).**

**26.3 Registro del ensayo GPDoble (Lab1004).**

**27 ANEXO 20: REGISTRO DE LOS ENSAYOS MDT REALIZADOS SOBRE UNA CHIMENEA DE FÁBRICA DE LADRILLO DE FINALES DEL SIGLO XIX – PRINCIPIOS DEL SIGLO XX (TEJERÍAS LA COVADONGA – MURIEDAS, CANTABRIA).**

**27.1 Registro del ensayo HD (Lab0913).**

**28 ANEXO 21: REGISTRO DE LOS ENSAYOS MDT REALIZADOS SOBRE UN ARCO DE FÁBRICA DE LADRILLO DEL SIGLO XIX (ARCO DE LADRILLO DE CAMPO GRANDE – VALLADOLID).**

**28.1 Registro del ensayo FJS-1 (Lab0909).**

**28.2 Registro del ensayo FJS-2 (Lab0911).**

**28.3 Registro del ensayo FJD-1 (Lab0910).**

**28.4 Registro del ensayo FJD-2 (Lab0912).**

**29 ANEXO 22: REGISTRO DE LOS ENSAYOS MDT REALIZADOS SOBRE MUROS DE MAMPOSTERÍA CALIZA Y DE LADRILLO DE UN EDIFICIO DEL SIGLO XIX (SEMINARIO MAYOR DE COMILLAS, CANTABRIA).**

**29.1 Registro del ensayo FJS-1 (Lab0906).**

**29.2 Registro del ensayo FJS-2 (07908).**

**29.3 Registro del ensayo FJS-3 (Lab0828).**

- 29.4 Registro del ensayo FJS-4 (Lab0833).**
- 29.5 Registro del ensayo HD-1 (Lab0802).**
- 29.6 Registro del ensayo HD-2 (Lab0830).**
- 29.7 Registro del ensayo FJD-1 (Lab0907).**
- 29.8 Registro del ensayo FJD-2 (07909).**
- 29.9 Registro del ensayo FJD-3 (Lab0831).**
- 29.10 Registro del ensayo FJD-4 (Lab0832).**



