



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA

DEPARTAMENTO DE CONSTRUCCIONES ARQUITECTÓNICAS

TESIS DOCTORAL

El diagnóstico de las humedades de capilaridad en muros y suelos.
Determinación de sus causas y origen mediante una metodología basada en la
representación y análisis de curvas isohídricas.



TOMO I

DOCTORANDO:

JUAN BAUTISTA AZNAR MOLLÁ

DIRECTOR: DR. D. JAVIER BENLLOCH MARCO

CATEDRÁTICO DE UNIVERSIDAD

UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE VALENCIA.

CO-DIRECTOR: DR. D. FRANCISCO JAVIER MEDINA RAMÓN.

PROFESOR TITULAR DE UNIVERSIDAD.

UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE VALENCIA.

PROGRAMA DOCTORADO: ARQUITECTURA, EDIFICACIÓN, URBANÍSTICA Y PAISAJE

DEPARTAMENTO DE CONSTRUCCIONES ARQUITECTÓNICAS

0. RESUMEN

Este trabajo de investigación tiene como objeto la obtención y el diseño de un procedimiento que pueda llevarse fácilmente a la práctica para poner de manifiesto la humedad existente que no se puede observar directamente en elementos constructivos en muros de planta baja y semienterrados, muros de sótanos, pavimentos y soleras, lo que nos ayudará a determinar el origen y la causa de esa patología de humedad y así poder establecer la intervención más idónea que la pueda resolver, por lo que se transforma en una herramienta de diagnóstico muy válida. Incluso puede convertirse en un elemento de control de tratamientos efectuados pues permite la monitorización del elemento tratado (muro o suelo).

Aquest treball d'investigació té com a objecte l'obtenció i el disseny d'un procediment que pugui emportar-se fàcilment a la pràctica per a posar de manifest la humitat existent que no es pot observar directament en elements constructius en murs de planta baixa i semienterrats, murs de soterranis, paviments i soleres, la qual cosa ens ajudarà a determinar l'origen i la causa d'eixa patologia d'humitat i així poder establir la intervenció més idònia que la pugui resoldre, per la qual cosa es transforma en una ferramenta de diagnòstic molt vàlida. Inclús pot convertir-se en un element de control de tractaments efectuats perquè permet la monitorització de l'element tractat (mur o sòl).

This research aims to obtain and design a process which can easily be implemented to bring out the moisture that cannot be observed directly in constructive elements in walls and half-buried ground floor, basement walls, floor screeds, which will help us determine the origin and cause of the pathology of moisture and thus establish the most appropriate intervention that can solve, so it becomes a very valid diagnostic tool. You can even become an element of control processing performed by allowing the treaty monitoring (wall or floor) element.

Palabras clave:

Humedad, capilaridad, sales, conservación, rehabilitación, intervención.

Agradecimientos

Si bien esta Tesis Doctoral ha sido el resultado del proceso de investigación realizado por el doctorando, la presente ha sido posible gracias al interés y apoyo del Departamento de Construcciones Arquitectónicas de la Universidad Politécnica de Valencia. Mi agradecimiento hacia éste y sus dirigentes.

A los Directores de esta Tesis, D. Javier Benlloch Marco y D. Francisco Javier Medina Ramón, por su apoyo incondicional, permanente disponibilidad y ánimos continuos.

A la Doctora Dña. M^a Dolores Marcos Martínez, por sus minuciosas y precisas correcciones.

Al profesor D. Joaquín Moreno Flores, por su paciencia e instrucción.

A todos aquellos profesores de la Escuela Técnica Superior de Ingeniería de Edificación de la Universidad Politécnica de Valencia, a la cual tengo el honor de pertenecer como profesor, que continuamente me han animado a finalizar esta Tesis: D. Luis Palmero Iglesias, D. Jorge Girbés Pérez, D. José Miguel Molines Cano, D. José Ramón Albiol Ibáñez y Dña. M^a Luisa Navarro García.

Muy especialmente al Arquitecto Técnico, D. Agustín Díaz Poveda, por su inestimable colaboración e incondicional apoyo.

Mi agradecimiento especial también al Profesor D. Juan Manuel Valiente Soler, que siempre ha creído en mis capacidades y ha sido el primero en animarme a alcanzar este objetivo de realizar esta Tesis.

A mi esposa Amparo y mis hijos Marta, Juan y Belén, los cuales son partícipes de esta Tesis, puesto que ésta les ha robado un tiempo que yo tenía que haberles dedicado, a ellos mi agradecimiento por su paciencia y comprensión.

El diagnóstico de las humedades de capilaridad en muros y suelos.
Determinación de sus causas y origen mediante una metodología basada en la representación y análisis de curvas isohídricas.

Acrónimos utilizados:

- BRE:** British Research Establishment
BS.: British Standard
CMC: Capillary Moisture Content (contenido de humedad capilar)
EE.UU.: Estados Unidos de América
EMC: Equilibrium Moisture Content (contenido de humedad de equilibrio)
EN: Norma Europea
E.T.S.A: Escuela Técnica Superior de Arquitectura
 F_c : fuerza molecular de cohesión
 F_a : fuerza molecular de adhesión
g: gramos
GB: Gran Betaña
hc: altura capilar
 h_o : altura de la humedad original o inicial
Hr: humedad relativa
HMC: Higroscopic Moisture Content (contenido de humedad higroscópica)
I: intensidad de corriente eléctrica
I.N.E.M: Instituto Nacional de Enseñanza Media
I.S.O: International Standard Organization
máx: máximo
MC: Moisture Content (contenido de humedad), equivalente a **TMC**
mín: mínimo
MR: Relación de la mezcla o relación de humedad de la mezcla masa de vapor de agua-masa aire seco
mV: milivoltio
Pc: presión capilar
p.ej.: por ejemplo
r: radio de un capilar en el interior de un sólido
R: resultante de la combinación de las fuerzas F_c y F_a
R.A.E.: Real Academia de la Lengua Española
r.p.m.: revoluciones por minuto
TMC: Total Moisture Content (contenido total de humedad), equivalente a **MC**
U.N.E: Una Norma Española
U.N.I: Una Norma Italiana
U.P.V.: Universidad Politécnica de Valencia
U.P.M.: Universidad Politécnica de Madrid
 $\Delta\phi$: Impedancia
 Θ : ángulo de contacto de la tensión superficial en la interfase líquido-sólido
 ρ : densidad del líquido que moja o está en el interior de un sólido y que ha sido absorbido por éste.
 ρ_a : resistividad aparente
%WME: % Wood Moisture Content (% de humedad equivalente al contenido de humedad en madera)
%Hr: % de humedad relativa

El diagnóstico de las humedades de capilaridad en muros y suelos.
Determinación de sus causas y origen mediante una metodología basada en la representación y análisis de curvas isohídricas.

Índice:

0. RESUMEN	1
1. PREÁMBULO	13
2. INTRODUCCIÓN	15
2.1. Antecedentes	15
2.2. Objetivo	18
2.3. Estado actual de la cuestión	18
3. CONCEPTOS PREVIOS ACERCA DEL CONTENIDO DE HUMEDAD EN UN MATERIAL DE CONSTRUCCIÓN	22
3.1. Capilaridad	22
3.2. La fuerza molecular	25
3.3. La tensión superficial	27
3.4. La difusión capilar	28
3.5. La electro-ósmosis	32
3.6. La humedad de ascensión capilar	34
3.7. Definiciones de contenidos de valores de humedad	36
3.7.1. Contenido de humedad capilar	36
3.7.2. Contenido de humedad de equilibrio	37
3.7.3. Contenido de humedad higroscópica	39
3.7.4. Contenido total de humedad	40
3.7.5. Contenido de humedad potencial	40
3.7.6. Relación de mezcla o relación de humedad de la mezcla	40
3.8. Formas de medir la humedad en los materiales de construcción	41
3.8.1. Método gravimétrico	42
3.8.2. Método químico	44
3.8.3. Métodos eléctricos	44
3.8.3.1. Medición por conductividad o resistencia eléctrica	44
3.8.3.2. Medición por capacitancia	45
3.8.4. Usos y limitaciones de los métodos de medición de humedad	47
4. ESTADO DEL ARTE	44
4.1. British Research Establishment (BRE)	50
4.2. Prof. T. A. Oxley	52
4.3. Prof. Angelo Salemi	54
4.4. G. Massari e I. Massari	59
4.5. Prof. F. Ortega Andrade	61
4.6. Prof. S. García Morales	62
4.7. Ejemplo de diagnóstico para el Patrimonio Construido. Palacio de Belvedere en San Leucio, Caserta (Compania, Italia). V. Compare, M. Cozzolino, E. di Giovanni, P. Mauriello	66
4.8. L'Origine dell'umidità nella Basilica di San Vitale (Roma). Prof. F. Romanelli	71

4.9. <i>Study of rising dampness problem in housing area in Klang Valley, Malaysia.</i> (Hanif, Othuman Mydin, & Utaberta)	74
4.10. <i>Conclusiones generales</i>	76
5. <i>PROCEDIMIENTO. METODOLOGÍA</i>	78
5.1. <i>Justificación y descripción del método</i>	78
5.2. <i>Toma de datos: proceso</i>	80
5.3. <i>Instrumentación utilizada. Procedimiento de toma de datos</i>	82
5.4. <i>Dispositivos, máquinas a utilizar</i>	93
5.5. <i>Extracción de muestras</i>	96
5.6. <i>Traspaso de datos a la malla</i>	97
5.7. <i>Modo de representación. Trazado de las curvas isohídricas</i>	101
5.8. <i>Validación del procedimiento</i>	104
5.9. <i>Ventajas e inconvenientes del Procedimiento. Sus limitaciones</i>	108
6. <i>DISCUSIÓN DE RESULTADOS Y CONCLUSIONES</i>	110
7. <i>LÍNEAS FUTURAS DE INVESTIGACIÓN</i>	114
8. <i>BIBLIOGRAFÍA</i>	115
9. <i>ANEXO</i>	129
9.1. <i>Iglesia de Ntra. Sra. de la Encarnación de Náquera (Valencia)</i>	130
9.2. <i>Agromuseo y Ermita de Vera, Valencia</i>	136
9.3. <i>Iglesia de San Pablo de los Jesuitas. I.N.E.M. Luis Vives, Valencia</i>	144
9.4. <i>Local comercial en planta baja en Rinconada García Sánchez nº 3 y 5, Valencia</i>	165

GINEBRA: ¿Qué te pasa Merlín?

MERLÍN: Los muros susurran cosas

GINEBRA: Y ¿Qué dicen Merlín?

*(Diálogo entre Merlín y Ginebra,
en el momento en que ésta descubre
su fogoso amor por Sir Lancelot)*

El diagnóstico de las humedades de capilaridad en muros y suelos.
Determinación de sus causas y origen mediante una metodología basada en la representación y análisis de curvas isohídricas.

*“... a fin de hacer con ellas más palpable aquella verdad tan demostrada,
que la teoría sin los conocimientos prácticos,
solo sirve para alucinar la ignorancia y estupidez de los que
con el solo caudal de principios y conocimientos superficiales,
hacen invertir sumas cuantiosas, sin mas seguridad para el dueño,
que una esperanza, las mas veces fallida”.*

OBSERVACIONES sobre la PRÁCTICA del ARTE de EDIFICAR

Por el Arquitecto D. Manuel Fornés y Gurrea

Imprenta Cabrerizo, Valencia, 1841

Ed. Paris-Valencia, Facsímil, Valencia 1999

El diagnóstico de las humedades de capilaridad en muros y suelos.
Determinación de sus causas y origen mediante una metodología basada en la representación y análisis de curvas isohídricas.

1. PREÁMBULO

Sirvan las citas anteriores como prolegómeno al preámbulo de esta Tesis Doctoral, desarrollada por el autor durante los cursos académicos 2012 a 2015.

Los edificios hablan, gritan, se quejan, enferman, los recuperamos, embellecen, y, como dice Merlín, en la cita anterior, “las paredes escuchan”. Cuantas veces nos conmueve aquel edificio, aquel monumento..., quizás sea por su historia la cual conocemos o que sin conocerla la intuimos y, entonces, nuestra alma se embelesa y comienza a apreciar y reconocer su belleza: nos habla.

Los que trabajamos en la Conservación del Patrimonio Arquitectónico, sabemos que ello es una responsabilidad con nosotros mismos, nuestros contemporáneos y las generaciones venideras.

Con respecto a esto último le he oído muchas veces decir a mi profesor, compañero y amigo, Prof. J.M. Valiente Soler, y muy acertadamente por cierto: “El Patrimonio es responsabilidad del que lo hereda, pero no es propiedad de éste, sino que es responsabilidad suya transmitirlo a la generación posterior en un estado, por lo menos igual al que se recibió”. A mí me gustaría añadir a esta gran aseveración, que cada generación somos por tanto depositarios no exclusivos de ello....

Es esta preocupación por la Conservación del Patrimonio, recuperando la experiencia vivida durante treinta y cuatro años dedicado profesionalmente casi en exclusividad a estas labores con el Patrimonio Arquitectónico Construido, lo que me ha movido a elegir este Trabajo tan especializado, intentando encajar la teoría con la práctica, deseando así y esperando que otros no caigan en las circunstancias citadas por D. Manuel Fornés (Fornés y Gurrea, 1841)¹.

Además, tiene necesidad el autor de explicar, que la presente investigación es fruto de una labor de querer entender y trabajar (buscando razones y explicaciones científicas) sobre una de las lesiones más comunes y más mal tratada en los manuales generales de la construcción.

¹ “... a fin de hacer con ellas más palpable aquella verdad tan demostrada, que la teoría sin los conocimientos prácticos, solo sirve para alucinar la ignorancia y estupidez de los que con el solo caudal de principios y conocimientos superficiales, hacen invertir sumas cuantiosas, sin mas seguridad para el dueño, que una esperanza, las mas veces fallida”. (Fornés y Gurrea, 1841)

Es por ello por lo que el objetivo de esta Tesis Doctoral, es:

**El diagnóstico de las humedades de capilaridad en muros y suelos.
Determinación de sus causas y origen mediante una metodología basada en
la representación y análisis de curvas isohídricas.**

Es decir:

“Establecer un sistema de detección de humedades de capilaridad ascensional y lateral en muros de planta baja y semienterrados así como en muros de sótanos y pavimentos y soleras, mediante la sistematización de un proceso aplicable por cualquiera (paso a paso) para crear un "mapping" muy exacto y riguroso de la humedad en estos elementos constructivos que nos ayude a determinar el origen y la causa de esa patología de humedad y poder establecer la intervención más idónea que la resuelva, utilizando procedimientos lo más sencillos posibles, evitando al máximo traumatismos a los elementos a investigar, todo ello sin perder rigurosidad científica y como pauta de trabajo”.

Nota: la elección de la palabra ISOHÍDRICA, no se corresponde con el significado usualmente utilizado y definido por la RAE, sino que si etimológicamente:

ISO: corresponde a un prefijo que significa “igual” o que denota uniformidad.

HÍDRICA: del agua o referente a ella,

se ha utilizado dicha palabra para definir aquella curva que une todos los puntos con la misma cantidad de agua, curva a obtener que es el objetivo de esta Tesis Doctoral.

2. INTRODUCCIÓN

2.1. Antecedentes

La HUMEDAD POR CAPILARIDAD como patología en los muros de los edificios, como podemos imaginar, es tan antigua como el hombre. En los inicios el hombre en las cuevas buscaba refugio frente a los elementos que le eran hostiles y, por tanto, su experiencia le llevó a descubrir los receptáculos más convenientes donde la humedad existente, entre otras circunstancias, fuera soportable y aceptable. Muestras y referencias tenemos y muy antiguas de la existencia de esta patología en los edificios en la Historia de la Humanidad, así en uno de los cinco libros del Pentateuco; es decir, aquellos de los más antiguos de la Biblia, en el Libro del Levítico² (Lev 14, 34-49.54-57), se describe el buen sentido para solucionar un problema al que llama “lepra de la casa”, que por su descripción corresponde a los hongos y mohos desarrollados por la presencia de humedad en la casa, humedad que en algunos de los casos será por condensación pero que, a buen seguro, también serían provocados por humedad de capilaridad. Allí el sacerdote, después de indicar la eliminación de los revestimientos e indicar la sustitución de las piedras “malsanas”, realiza un complicado exorcismo con siete bendiciones.

El fenómeno de la humedad en los muros presenta aspectos engañosos, que para nosotros que vivimos en tiempos de la era científica, donde las explicaciones científicamente justificadas son las únicas válidas, es peligroso encomendarse al buen sentido como el sacerdote de la Biblia. El buen sentido no siempre es aplicable. A menudo, el remedio capaz de eliminar la causa de la humedad es anti-indicado, y el remedio verdadero está oculto a

² “Cuando hayáis entrado en la tierra de Canaán, la cual yo os doy en posesión, si pusiere yo plaga de lepra en alguna casa de la tierra de vuestra posesión, vendrá aquel de quien fuere la casa y dará aviso al sacerdote, diciendo: Algo como plaga ha aparecido en mi casa. Entonces el sacerdote mandará desocupar la casa antes que entre a mirar la plaga, para que no sea contaminado todo lo que estuviere en la casa; y después el sacerdote entrará a examinarla. Y examinará la plaga; y si se vieren manchas en las paredes de la casa, manchas verdosas o rojizas, las cuales parecieren más profundas que la superficie de la pared, el sacerdote saldrá de la casa a la puerta de ella, y cerrará la casa por siete días. Y al séptimo día volverá el sacerdote, y la examinará; y si la plaga se hubiere extendido en las paredes de la casa, entonces mandará el sacerdote, y arrancarán las piedras en que estuviere la plaga, y las echarán fuera de la ciudad en lugar inmundo. Y hará raspar la casa por dentro alrededor, y derramarán fuera de la ciudad, en lugar inmundo, el barro que rasparen. Y tomarán otras piedras y las pondrán en lugar de las piedras quitadas; y tomarán otro barro y recubrirán la casa. Y si la plaga volviere a brotar en aquella casa, después que hizo arrancar las piedras y raspar la casa, y después que fue recubierta, entonces el sacerdote entrará y la examinará; y si pareciere haberse extendido la plaga en la casa, es lepra maligna en la casa; inmunda es. Derribará, por tanto, la tal casa, sus piedras, sus maderos y toda la mezcla de la casa; y sacarán todo fuera de la ciudad a lugar inmundo. Y cualquiera que entrare en aquella casa durante los días en que la mandó cerrar, será inmundo hasta la noche. Y el que durmiere en aquella casa, lavará sus vestidos; también el que comiere en la casa lavará sus vestidos. Mas si entrare el sacerdote y la examinare, y viere que la plaga no se ha extendido en la casa después que fue recubierta, el sacerdote declarará limpia la casa, porque la plaga ha desaparecido... Esta es la ley acerca de toda plaga de lepra y de tiña, y de la lepra del vestido, y de la casa, y acerca de la hinchazón, y de la erupción, y de la mancha blanca, para enseñar cuándo es inmundo, y cuándo limpio. Esta es la ley tocante a la lepra”. (34-49.54-57).

nuestro instinto y, sobretodo, a nuestro buen sentido. Solo cuando bien pertrechados con instrumentos a la manera de Galileo, comenzamos a examinar el fenómeno y estudiamos los síntomas, aparece la verdad y la razón de ella. Es necesario evitar impresiones personales, no apoyadas en la experiencia. La desmesurada o no adecuada humedad en un local de un edificio (dormitorio, sala, habitación), a la cual se le marca denominándolo peyorativamente “local húmedo” o “local con humedad”, corresponde normalmente a una apreciación personal y subjetiva del observador no traducido a valores cuantitativos. Esta valoración si no va acompañada de una valoración técnica tal como se ha comentado anteriormente, nos inducirá a graves errores en la determinación de la causa y en la elección de la solución.

La cuantificación de estos valores en cada uno de los puntos posibles de esos elementos nos darán, como demostraré en esta investigación, orientaciones de cuáles son las causas y también medios para poder determinar cuál es la solución más adecuada (esto es lo deseable por cualquier proyectista). Esto me ha obligado a determinar un procedimiento para obtener estos datos, que fuera:

- ✓ Lo más sencillo posible,
- ✓ Lo más exacto posible,
- ✓ Lo más rápido posible,
- ✓ Lo más económico posible.

Para alcanzar los objetivos propuestos en esta Tesis se han realizado distintos estudios de la patología de humedad en edificios singulares que se describen al final de esta tesis.

Las consecuencias de la humedad en los materiales de construcción son desconchamientos de enlucidos y revestimientos, proliferación de mohos y hongos, etc. Los contenidos de humedad ambiental superiores al 50% favorecen la creación y desarrollo de microorganismos tales como hongos y mohos como el *Aspergillus*, *Alternaria*, *Cladosporium*, *Cándida* y ácaros del polvo, etc, los cuales albergan bacterias responsables de enfermedades en el ser humano, como el asma, constipados, sinusitis, etc.

Teniendo en cuenta que personas con la capacidad pulmonar disminuida, como son niños y ancianos, son los más afectados, la National Asthma Education and Prevention Program de la National Institutes of Health (U.S.A.) (Health, 1997), editó los Criterios para el Diagnóstico y Tratamiento del Asma, de acuerdo a las Recomendaciones del II Informe del Grupo de Expertos, publicado en Mayo de 1997 por el National Heart, Lung and Blood Institute, el cual establece en su Cap. 2.- Control de los Factores que contribuyen a la gravedad del asma:

- *Preguntas para la evaluación de los factores ambientales y otros factores que pueden empeorar el asma:*
 -
 - *¿Tiene humedad o humedades en alguna habitación de la casa? (Sugiere ácaros del polvo, mohos).*
 - *¿Tiene algún moho visible en alguna parte de la casa? (Sugiere mohos).*

- *En cuanto a medidas de control de los factores ambientales que pueden empeorar el asma:*
 -
 - *Ácaros del polvo:*
 -
 - *Deseable: Reducir la humedad del interior del domicilio a cotas inferiores al 50%...*

- *Mohos de interior:*
 -
 - *Tapar todas las fugas y eliminar las fuentes de agua asociadas al crecimiento de mohos, limpiar las superficies mohosas. Considerar la reducción de la humedad del interior de la casa a cotas inferiores al 50%.*

Se han realizado estudios científicos sobre adolescentes que sufren afecciones respiratorias (Jornadas Nacionales de la Sociedad Francesa de Alergología, Estrasburgo 27 y 28 de mayo de 1988. Informe presentado por O.C.G. Adan Universidad d'Eindhoven, Países Bajos) (Informe, 1988) donde se ha demostrado que el 83% de asma, bronquitis asmáticas y bronquitis crónicas y el 87% de rinitis crónicas, corresponden a adolescentes que viven en habitaciones demasiado húmedas. El 20-30% de las personas sufrimos alergias respiratorias. Y esto ha aumentado dos veces más que en 20 años. Nicolas Nolart, jefe de micología en el Instituto de Salud Pública Louis Pasteur, explica este aumento por nuestro modo de vida: "*Vivimos más al interior, en casa o en el despacho. Desde la crisis del petróleo, se aísla demasiado y no se airea suficientemente.*"

Esto demuestra para el ser humano la nocividad de una cantidad de humedad estancada en un ambiente. Luego está justificado el valor del estudio que realizamos en esta tesis, no solo

en cuanto a la afección de los materiales y elementos constructivos, sino incluso a nivel de la posible afección a las personas.

2.2. Objetivos

Es por ello que los objetivos a alcanzar en la presente Tesis son:

**El diagnóstico de las humedades de capilaridad en muros y suelos.
Determinación de sus causas y origen mediante una metodología basada en
la representación y análisis de curvas isohídricas.**

Para ello se han utilizado pequeños dispositivos y aparatos, ordenadores, sensores de temperatura y humedad ambiental, utilizado laboratorios, cámaras térmicas, georradar, etc, que describiremos más adelante, que nos van a facilitar la interpretación de cuál es la causa de esa humedad existente en los elementos constructivos analizados y que conforman el edificio, en definitiva, a analizar.

Así el lector podrá comprobar como partiendo del análisis del comportamiento de la humedad existente con su distribución topográfica en los elementos constructivos analizados y las sales que contiene, realizando un mapeo no sólo de las humedades en muros, sino de temperatura y humedad ambiental, ha permitido:

- determinar el origen de las humedades,
- el correcto/incorrecto funcionamiento e idoneidad de un sistema antihumedad por capilaridad ya existente y,
- el control de su efectividad posterior en varios edificios analizados.

Otro de los objetivos será demostrar que los datos proporcionados por los dispositivos medidores de humedad, son aceptables cualitativamente.

2.3. Estado actual de la cuestión

La humedad ascensional en muros y suelos es una afección muy dañina y, por desgracia, frecuente en edificios históricos (Park, 1990)³. Actualmente y debido a la coyuntura económica, el horizonte de la construcción en España pasa por la recuperación y restauración no solo de edificios históricos sino, en gran manera, también por la de nuestros edificios residenciales. Estos edificios privados también son afectados por esta humedad, de modo que si fuera posible disponer de una herramienta rápida, sencilla y con el menor coste posible, que nos facilite tanto en la fase de estudios previos como en la de ejecución, el estudio, caracterización y detección de estas humedades, así como la determinación de sus

³ “El aumento de la humedad es sólo una forma de entrar humedad en los edificios, y para controlar efectivamente la humedad perjudicial, la fuente de la humedad debe ser identificada”. (Park, Rising Damp in Historic Buildings II: Case Studies, 1990)

causas, tendríamos una herramienta insustituible para dictaminar con mucha seguridad el procedimiento o sistema para la resolución de este problema.

Mucho se ha escrito acerca de la humedad de capilaridad, se han vertido ríos de tinta para describir sus características, causas y remedios. Algunos autores de renombre y de gran reputación han escrito bien informados, bien documentados y desde su gran experiencia (Massari & Massari, 1985), (Pinto Guerra, Marzo 2008), otros científicos desde su conocimiento teórico, unos analizando el movimiento del agua en sólidos porosos (Torraca, 1982), analizando la relación del flujo de calor estableciendo una ecuación bidimensional no lineal para la transmisión del vapor de agua en régimen transitorio de un material anisótropo y no homogéneo mediante cálculos por elementos finitos (Franchini, 1991), analizando los mecanismos de degradación que ejerce la temperatura (Camuffo, 2001), describiendo la succión de las aguas subterráneas por las paredes desde el punto de vista de un físico del suelo (Vos, 1971) y otros utilizando los conceptos y métodos de la teoría de flujo no saturado y la teoría de la difusión capilar no lineal (Hall & Hoff, 2007).

Casi todas estos análisis son descriptivos y algunos cualitativos. Debemos entender que la humedad ascendente es un proceso complicado (Park, 1990)⁴. La humedad capilar cuando ya es visible el daño es patente pero aún no siendo visible el daño existe o está latente por lo que es conveniente diagnosticar a tiempo. Es necesario crear un procedimiento que facilite la identificación del problema, aún más, si cabe, su origen, como así lo demostraremos⁵.

Lo que se pretende en esta Tesis Doctoral es ofrecer una herramienta que a través de un análisis físico de la humedad ascendente realizando una toma de datos cualitativa, a partir de la cual se desarrolla un modelo cuantitativo para significarse en una hipótesis de existencia cuantitativa de humedad en el elemento constructivo analizado (muro o suelo). Esto puede proporcionar una clara identificación de los principales factores que genera la patología analizada de humedad, facilitando su diagnosis y la elección del procedimiento o sistema más idóneo en la intervención para la resolución de esta lesión de humedad.

Se hace hincapié en que estos resultados son teóricos, aunque se han cotejado con termografía y georradar, pudiendo no ser los resultados exactos del elemento analizado, se

⁴ "Estas sales a menudo sesgan los resultados de los equipos de diagnóstico utilizados en el lugar y, por esa razón, el análisis de laboratorio es generalmente requerido. La inspección visual no es la adecuada para diagnosticar la humedad ascendente". (Park, Rising Damp in Historic Buildings: Diagnosis and Treatment, 1990).

⁵ ". . . No creo que la humedad se pudiera haber detectado por el ojo humano o colocando las manos contra la pared o similar, pero estoy completamente seguro que podría haber sido detectada con el uso de un medidor de humedad Protimeter colocado en posición correcta. Así que yo sostengo que la humedad es detectable. . . " (Extract from the judgement by Judge John Newey Q.C. in the case of Fryer vs. Burney in the Official Referee's Court on November 10, 1981, as reported by Estates Gazette, 10.7.82), 1982). Traducción propia.

demuestra que estas predicciones son consistentes con observaciones prácticas. El autor de esta Tesis Doctoral, en su práctica profesional, dedicado durante 32 años a la resolución de patología en el Patrimonio Arquitectónico Construido y a las últimas, más especialmente, en

la patología concerniente a las humedades de capilaridad, siempre ha sido una preocupación el realizar un acertado diagnóstico; al principio con un simple humidímetro por conductancia, más adelante con un humidímetro capacitativo, y por último más recientemente conjuntamente con éstos, utilizando la termografía y el georradar. Sin embargo, faltaba algo, se planteaba la necesidad de no solo detectar la humedad, faltaba una apreciación más real que mostrara de una forma conjunta en el elemento afectado (muro, suelo, etc.) la humedad real y la mostrara de una forma patente: trazando las áreas húmedas y secas.

Así sin más, comenzó con esta inquietud la necesidad de obtener datos posiblemente fehacientes de dónde está la humedad y cómo se distribuye el agua por el elemento a analizar: ¿sería posible establecer de manera fehaciente la topografía de la humedad en un muro o un suelo?. Una herramienta que dé indicaciones y que estas no se pueden obtener a partir de los propios sentidos del observador, ni tan siquiera de una manera tan relevante como utilizando un humidímetro.

Este análisis va acompañado de una gran complejidad pues los materiales utilizados en la conformación de una unidad de obra son heterogéneos en ella misma, incluso pueden estar distribuidos heterogéneamente, máxime si actuamos sobre elementos con cierta antigüedad donde la distribución de piedras y morteros no están distribuidos homogéneamente o las pastas de yeso o morteros de distintos conglomerantes (yeso, cal aérea o hidráulica, cemento) no tienen las mismas dosificaciones en el caso de estos, ni la misma cantidad de agua en el caso de aquellos, añadamos a esto el factor diferenciador que puede aportar la puesta en obra en cuanto que unos mismos elementos constructivos a analizar estén ejecutados por distinto personal, o en distintas épocas del año (por lo que corresponde la afección de los agentes atmosféricos y valores ambientales) o incluso elementos realizados por el mismo personal presentan distintas características.

Por el planteamiento inicial pasó por ser prácticamente imposible recoger todas las variables posibles:

- En una pasta de yeso: todos los distintos tipos de yeso existentes actualmente en el mercado, más aquellos que se utilizaron en distintas épocas (es necesario tener en cuenta que los análisis se pueden realizar en edificios históricos y en recientes), así como añadir a esta variable otra más, la correspondiente a la proporción de agua y además sería imposible añadir la variable de puesta en obra tan aleatoria como el propio personal laborante ejecutor de las muestras. En un mortero: Las variables corresponderían a los materiales de la zona y de la época de construcción (áridos: silíceos, calizos, etc; y conglomerantes: yesos,

- cales aéreas o hidráulicas, cementos naturales, artificiales, más o menos resistentes, con o sin adiciones, con o sin aditivos, la influencia de la fecha de fabricación por su implicación en su calidad y características, etc).
- En un ladrillo: su tipo, clase, fecha de fabricación, temperatura de cocción, materias primas utilizadas, su moldeo, la influencia en el proceso de secado, etc).
 - En una piedra: su composición (caliza, granítica, etc), su morfología (características físicas: porosidad, compacidad, estructura, textura; no homogénea ni igual en todas las piedras por ejemplo en las calizas, el tipo más utilizado en esta zona mediterránea), etc.

Como ya se ha justificado la diversidad de los materiales y la gran cantidad de variables (GE)⁶ hacen imposible un estudio en laboratorio, el cual sería ideal pues serviría de muestra de control. Los datos obtenidos así no serían extrapolables a la realidad de los materiales existentes en la obras a analizar. Por tanto se obvió esta situación y se optó por realizar los estudios y análisis no considerando esas particularidades inicialmente, pero sí tenerlas en cuenta cuando al analizar nos apareciera algo que pudiera justificar una variación en los materiales que pudiera justificar un cambio o diferenciación en el comportamiento hídrico del elemento analizado.

Los signos detectables organolépticamente tales como alteraciones superficiales, manchas, eflorescencias, desagregación, etc, pueden ser indicadores válidos pero no suficientes para la determinación e identificación de la patología específica de humedad de capilaridad.

En el Cap.4 de esta investigación se relaciona la manera en cómo se expresan actualmente los contenidos de humedad en muros o suelos.

⁶ "... Los materiales son infinitamente variables en su composición. El peso del mortero (en seco) variará de acuerdo con la proporción de arena y cemento, así será en el hormigón con las distorsiones adicionales introducidas por diferentes tipos de áridos. La arcilla para la fabricación de ladrillos varía de una región a otra; "Yeso" puede ser de un gran número de diferentes mezclas..." (General Electric: Measurement and Control Solutions, How to Measure Moisture in Buildings, extraído de Dampness in Buildings (Oxley & Gobert, 1994)).

3. CONCEPTOS PREVIOS ACERCA DEL CONTENIDO DE HUMEDAD EN UN MATERIAL DE CONSTRUCCIÓN

En este capítulo se referencian los conceptos que se han manejado en esta Tesis. Se ha intentado mostrarlos de manera concisa, muy concreta y resumida. También utilizaremos conceptos establecidos en la normativa vigente.

3.1.- Capilaridad

La difusión de un líquido a través de la estructura porosa de un medio sólido, es y puede estudiarse como extensión del fenómeno que conocemos por acción o actividad capilar (Ortega Andrade, 1994).

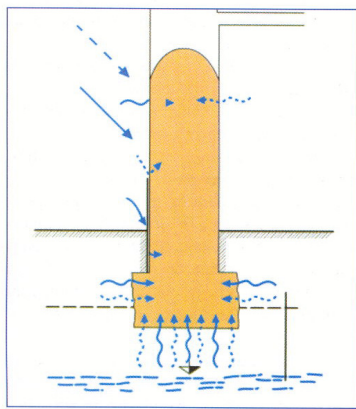


Fig. 3.1. Tipos de humedades que pueden afectar a un muro.

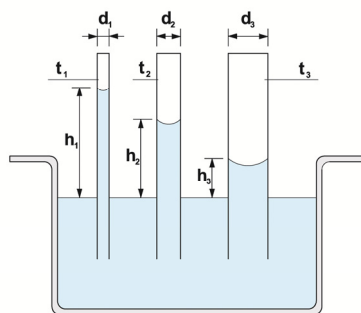


Fig. 3.2. El fenómeno capilar se caracteriza por distraer las fuerzas de la gravedad, para unas mismas condiciones a menor dimensión del canal por donde es absorbido, la altura alcanzada será mayor. Esto podemos asimilarlo a poros y canales de conexión entre poros internos en un sólido. (h, altura capilar; d, diámetro del capilar; t, capilar). Dibujo del autor.

La humedad capilar tiene, por tanto, que ver con el movimiento del agua a través de un material, es decir, la capilaridad es un fenómeno a través del cual se genera la absorción de agua por parte de un cuerpo poroso. Cuando la red del sistema de capilares situados en la base de una pared entra en contacto con las fuerzas capilares del agua se desencadena un fenómeno de succión al interior del cuerpo: se produce el transporte de agua desde el suelo hacia arriba. Este fenómeno se denomina ascensión capilar.

Es necesario aclarar que en la bibliografía adjunta consultada se trata tanto en inglés como en italiano este tipo de humedad como humedad ascendente (rising damp y risalità), y como humedad capilar (capillarity, capillarità), teniendo en cuenta que la humedad capilar se puede diferenciar de la ascendente cuando aquella además es lateral, en este caso las acepciones serán capillarity y capillarità.

Así el agua asciende y pasa por el cuerpo a través de sus poros tomando altura, desatendiendo la ley de la gravedad, siempre y cuando estos poros estén formando una red porosa enlazada por canales internos que los comunican. Así mismo por esta ley de la gravedad, de hecho, el líquido contenido en dos vasos comunicantes se mantienen en el mismo nivel; pero cuando uno de los vasos es más estrecho, al que podemos llamar capilar, el líquido se eleva en el vaso más estrecho, tanto más alto cuanto más pequeña es su sección^{7,2}.

⁷ Según la publicación DIMOS del Istituto Centrale del Restauro, Módulo 1, parte II, pág 24, viene especificada una fórmula que permite establecer la altura máxima de humedad capilar en un muro, una vez establecido el radio del poro del material en condiciones de perfecta verticalidad:

$$X_{max} = \frac{2}{r} \cdot 15 \cdot 10^{-6}, \text{ siendo } X_{max} \text{ en mm la altura máxima de humedad capilar; } r \text{ en mm el radio del capilar}$$

Ampliando lo anterior, cuando los capilares son grandes mayoritariamente en un sólido, el movimiento del agua en gran parte está regido por la ley de la gravedad (el nivel del agua sube o baja según el nivel externo) o según el principio de los vasos comunicantes. En cambio cuando los capilares son mayoritariamente finos el movimiento del agua al interior, es decir, la imbibición de un material, se lleva a cabo por el fenómeno físico de difusión capilar (las fuerzas de cohesión, las fuerzas de adhesión y la tensión superficial) establecido por la capilaridad. Así pues, dos materiales con la misma porosidad abierta en valor absoluto es más peligrosa ésta, para aquél material⁸ donde los poros sean más pequeños.

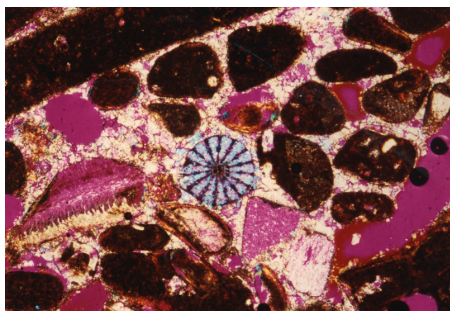


Fig. 3.3a. Porosidad interna de un sólido, con canales que los conectan entre sí. Los canales pueden ser más o menos tortuosos, facilitando o impidiendo el paso del agua, así como facilitar su mayor o menor tensión superficial con respecto al líquido que lo moja. Fotografía de una piedra caliza en el microscopio. Laboratorio Microscopía Óptica, UPV.



Figura 3.3.b. Representación ideal de una porosidad interna. Dibujo cedido por HUMICONTROL S.L.

Esta condición es fundamental para que exista este fenómeno. Así si tomamos como ejemplo una plancha de poliestireno extruido, con una porosidad encapsulada, no interconectada y llena de aire, al contacto con el agua, los únicos huecos que se llenarán de agua serán aquellos que estén en contacto directo con el agua y que se encuentren en la superficie de contacto. Así pues, el fenómeno de la capilaridad aquí, en estas condiciones, no se podrá producir, aunque existan poros en grandes cantidades, es decir que el material sea muy poroso. Este material, aunque sea muy poroso, no es permeable al agua, ni existirá capilaridad.

Por tanto aquí tiene mucho que ver:

- la capacidad de adsorción del material (normalmente un paramento suele ser un conjunto de materiales; debe considerarse este aspecto ya que este es un factor de gran relevancia en esta Tesis),
- la permeabilidad e impermeabilidad de los cuerpos afectados,
- la forma, el tamaño, cantidad y distribución de los poros,
- así como el tipo de red capilar:
 - o su forma: alta o baja tortuosidad,
 - o su espesor: canales gruesos, finos.

⁸ Christopher Hall y William Hoff en su investigación “La humedad capilar: la dinámica del ascenso capilar en las paredes”, establecen teóricamente cual es el mecanismo de la ascensión capilar y establecen un cálculo cuantitativo más complejo, pero a la vez más exacto, de la altura estabilizada de la humedad capilar, la cantidad de agua absorbida en estado estacionario por unidad de longitud, el flujo constante de agua a través de la pared y el tiempo medio de residencia del agua en la pared (Hall & Hoff, 2007).

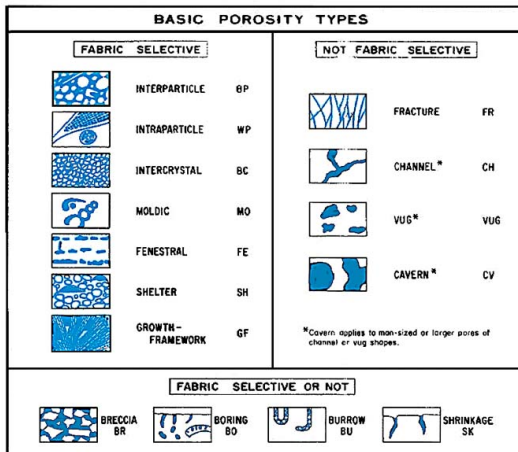


Figura 3.4: Tipos de poros según Cocquette y Reza (1982)

No todos los canales que conectan los poros son de iguales dimensiones, ni tienen un diámetro constante (fig. 3.3a, 3.3b, y 3.4) y, por lo tanto, la cantidad de agua absorbida disminuye con la altura de acuerdo con la Hipótesis de Kettenacker que establece que el secado se inicia en la parte más alta de un muro afectado por humedad capilar, mientras que debajo de la línea de demarcación de la humedad, la tasa de humedad presente en la obra de fábrica se mantiene sin cambios.

Esta hipótesis se basa en estas consideraciones:

- En un material húmedo en el que la evaporación superficial es forzada por la ventilación y por el calor del sol, el aumento del agua evaporada conduce a un aumento del agua absorbida desde abajo.
- En un muro sucede un fenómeno análogo, aumentando la velocidad de evaporación aumenta la velocidad de ascensión. El secado empezará a producirse solo cuando la velocidad de evaporación sea mayor que la de ascensión, iniciándose siempre por la parte más alta.

Esta es la razón por la que, una de las características fundamentales de la humedad capilar, es que la cantidad de humedad es mayor en la base y conforme toma altura el contenido de agua en el muro es menor.

Otro aspecto a tener en cuenta es el contenido de sales disueltas en el agua absorbida, factor de suma importancia, pues debido a su higroscopicidad puede falsear los datos obtenidos del contenido de humedad en un material.

Para que exista el fenómeno de la capilaridad, fundamentalmente es necesario que se cumpla:

- Que exista agua en el terreno, con más o menos cantidad de sales disueltas.
- Que el material en contacto con el agua del terreno sea poroso y que dicha porosidad esté interconectada.

Los factores que determinan el ascenso capilar son (Trotman, DG 245, 2007 Edition, 2007):

- La estructura porosa del muro
- El grado de saturación del terreno
- La velocidad de evaporación desde la superficie del muro
- La presencia de sales del muro

Los factores que influyen en la humedad capilar son (Pinto Guerra, Marzo 2008):

- La naturaleza del material del muro o suelo: su porosidad y permeabilidad.
- La naturaleza del material del terreno: su porosidad y permeabilidad.
- La homogeneidad del material del muro.
- La cantidad de agua disponible en el terreno en el momento de la acción.
- La temperatura del aire.
- La temperatura del muro.
- La velocidad del aire.
- La Humedad Relativa del aire (%Hr).
- La concentración de sales del soluto existente en el interior del muro.
- La cantidad de sal disuelta en el terreno.
- La cantidad de sal cristalizada en el muro

3.2. La fuerza molecular

El fenómeno de la humedad capilar o ascensional es de carácter físico.

Cada molécula de un sólido, de un líquido o de un gas, atrae y es atraído por la molécula vecina, ya sea idéntica o de distinto material, por una fuerza llamada fuerza molecular de cohesión F_c cuyo valor es específico de cada material y depende de la temperatura. Estas fuerzas internas del cuerpo hacen que un material líquido permanezca cohesionado y unido.

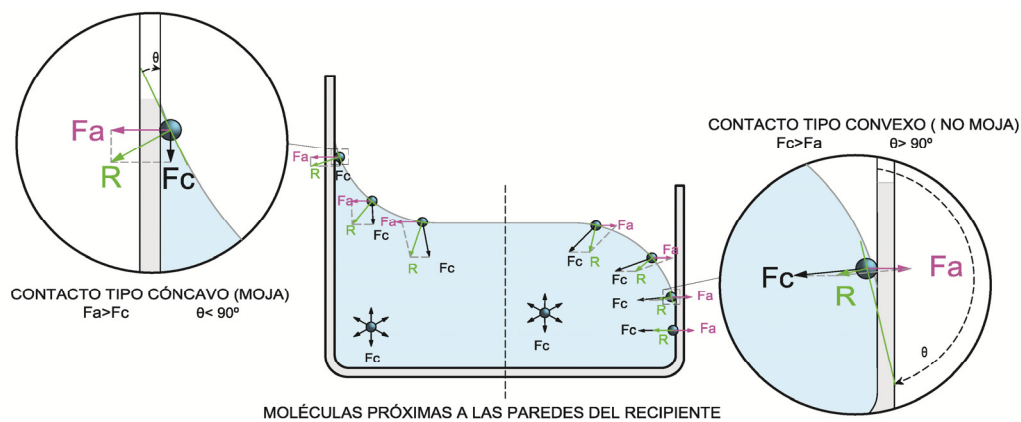


Fig. 3.5. Las fuerzas moleculares de adhesión F_a y de cohesión F_c en cada punto del líquido en contacto con el sólido, en su combinación forman una fuerza resultante R , perpendicular a la curva en ese punto y cuya tangente forma un ángulo de contacto θ . Fuentes propias.

En la superficie de contacto aire-líquido se crea una situación muy singular. Cuando una molécula se encuentra en el interior de un líquido su fuerza de cohesión se equilibra con las fuerzas de cohesión de las moléculas vecinas que la rodean, quedando en equilibrio. Sin embargo cuando estas moléculas se sitúan en las proximidades de la superficie y, todavía más, cuando se sitúan en la misma superficie libre del fluido, experimentan una fuerza dirigida hacia el interior del líquido. Esto lleva al líquido a contraerse en toda la superficie como una membrana tensada, tomando la extensión mínima de la superficie libre: curvándose en mayor o menor medida hasta alcanzar el equilibrio de las F_c equilibrándose con el volumen del propio líquido y con las diversas fuerzas externas, tales como la adhesión a otros materiales o a la masa del líquido.

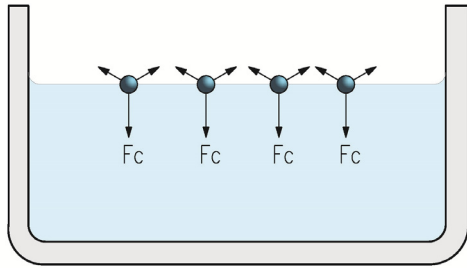


Fig.3.5a. Moléculas de agua que en el borde de la superficie no existen moléculas que la equilibren, generando un trabajo para equilibrarse curvando la superficie hasta alcanzar el equilibrio. En el caso del mar o una piscina la superficie es plana. F_c fuerza molecular de contacto. Fuentes propias.

En el aire, si el volumen del líquido es suficientemente pequeño, toma la forma de una gota, si fuera de mayor volumen (una piscina, el mar, etc.) prevalece la fuerza de la gravedad, entonces el líquido adopta una superficie plana con las F_c orientadas directamente hacia abajo debido a la atracción por la fuerza de la gravedad (Fig. 3.5a).

Por otra parte, se genera una atracción en la interfase de contacto entre dos distintos materiales llamada fuerza molecular de adhesión F_a . Su valor varía de acuerdo con los materiales en contacto. Esta fuerza F_a actúa siempre perpendicular a la pared del sólido y es

máxima en el punto de contacto y disminuye conforme aumenta la distancia a la interfase de contacto sólido-líquido, sin embargo la F_c del líquido se orienta hacia el interior de la masa del líquido. Estas dos fuerzas en cada punto de la zona de contacto (interfase) del sólido-líquido, se combinan dando lugar a una resultante R . Esta R forma un ángulo θ con la interfase, denominado ángulo de contacto. Al alejarnos de la superficie del sólido, F_a disminuye hasta desaparecer cuando alcanzamos la superficie horizontal del líquido. Por ello, al ser R perpendicular a la tangente de la superficie del líquido en cada punto, conforme nos alejamos de la superficie del sólido, al disminuir F_a disminuirá R , generando una superficie curva, semejante a un menisco, el cual será:

Si $F_a > F_c$ la fuerza de adhesión es mayor que la fuerza de cohesión. El menisco será cóncavo y $\theta < 90^\circ$: el líquido moja la superficie del sólido (mínima tensión superficial). Caso de un líquido que moja la superficie: agua, alcohol, etc (Fig. 3.5 y Fig. 3.6).

Si $F_a < F_c$ la fuerza de adhesión es menor que la fuerza de cohesión. El menisco será convexo y $\theta > 90^\circ$: el líquido NO moja la superficie del sólido (máxima tensión superficial). Caso del líquido que no moja la superficie: mercurio, aceite, superficie tratada con hidrorrepelentes o hidrofugantes (Fig. 3.5 y Fig. 3.6).

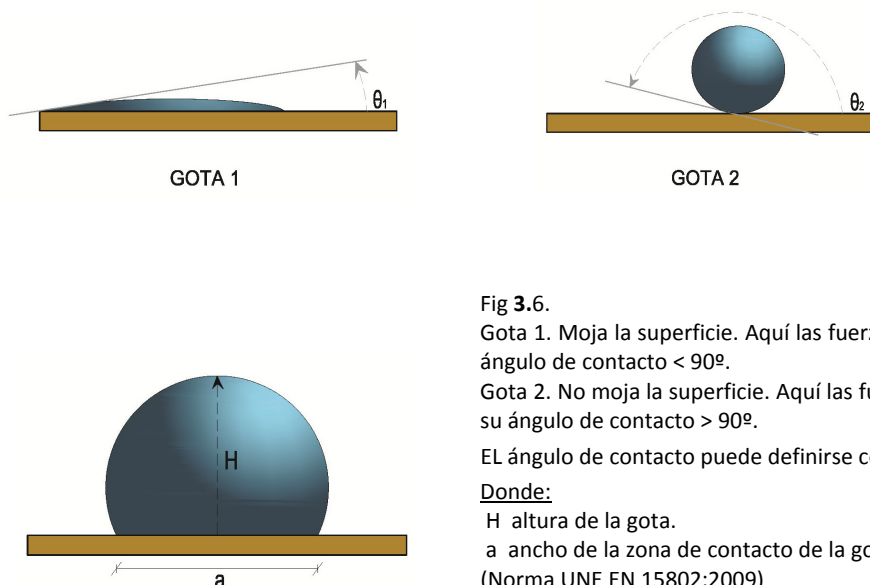


Fig 3.6.

Gota 1. Moja la superficie. Aquí las fuerzas moleculares son $F_a > F_c$ y su ángulo de contacto $< 90^\circ$.

Gota 2. No moja la superficie. Aquí las fuerzas moleculares son $F_a < F_c$ y su ángulo de contacto $> 90^\circ$.

EL ángulo de contacto puede definirse como $\theta = 2 \arctg \frac{2H}{a}$

Donde:

H altura de la gota.

a ancho de la zona de contacto de la gota con el sólido.

(Norma UNE EN 15802:2009)

3.3. La tensión superficial

En general la tensión superficial γ es la cantidad de trabajo medida en cantidad de fuerza por unidad de longitud, N/m o dina/cm, como energía superficial por unidad de superficie: J/m², que realiza un líquido curvándose para alcanzar su equilibrio en una unidad de superficie libre, a través de sus fuerzas moleculares de cohesión internas, bajo las condiciones de desequilibrio generadas en su superficie al entrar en contacto con otro material: sólido, líquido, gaseoso⁹. Este trabajo se acumula en la superficie como energía potencial. Para un líquido dado, el valor de la tensión superficial disminuye con la temperatura, debido al aumento de la agitación térmica, lo que redundará en una menor intensidad efectiva de las fuerzas intermoleculares. En cada interfase líquido-sólido, líquido-gas (Fig. 3.7), cada tensión superficial en el líquido es perpendicular a la R resultante en el punto de contacto y se dispone resultando con un ángulo de contacto θ (Fig. 3.9). Se representa como un vector cuya dimensión se corresponde con el trabajo realizado y cuya orientación toma la dirección de la perpendicular a la R (compuesta por las fuerzas moleculares F_a y F_c) en sentido ascendente. Esta tensión superficial γ se descompone en dos fuerzas (Fig. 3.8) de tal manera que su componente vertical actúa, en el caso de que el líquido moje la superficie, como compensación de las fuerzas de la gravedad (se opone a ella)¹⁰ y su componente horizontal se compensa con la componente horizontal de su tensión superficial γ homónima situada en la cara opuesta del recipiente (cara interior del poro o superficie del material) que contiene el líquido.

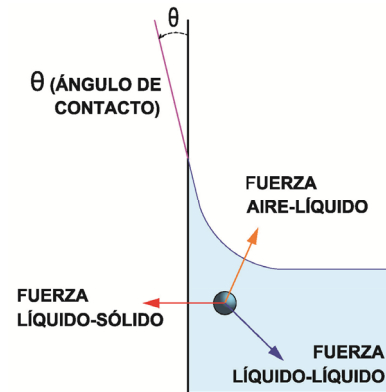


Figura 3.7: fuerzas que actúan sobre una molécula en un fluido contenido en un recipiente, vemos que las tres fuerzas que actúan son: la fuerza de líquido-sólido, la fuerza del aire-líquido, y la fuerza de líquido-líquido. El ángulo de contacto θ depende exclusivamente de las fuerzas moleculares de adhesión y de cohesión.

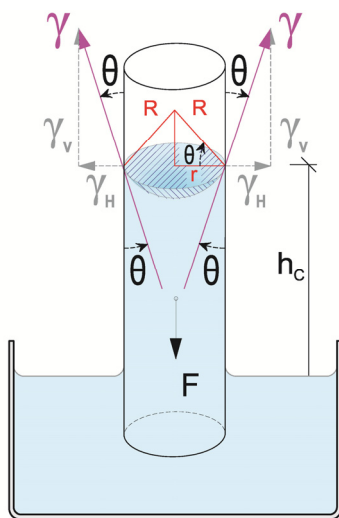


Fig.3.8. La Tensión superficial γ se descompone en dos fuerzas las cuales se compensan: la vertical con la fuerza F de la gravedad (masa del agua en el interior del capilar) y la horizontal con su homónima opuesta. Fuentes propias.

Si el contacto del líquido es con una pared vertical la componente vertical de la tensión superficial γ obtenida como $\gamma \cos \theta$, es paralela a la pared y actúa sobre todo en el perímetro del capilar de radio r de valor total: $2\pi r \cdot \gamma \cdot \cos \theta$, y su variación tenderá a hacer bajar o subir el líquido dentro del capilar. Los valores del trabajo realizado γ , deben estar en equilibrio en cualquier punto.

⁹ Tensión superficial del agua a 20° C : 0.073 N/m, a 100° C : 0.059 N/m.

¹⁰ La adhesión y la tensión superficial, ejercen tensión sobre las moléculas de agua, directamente bajo la superficie, generando un movimiento hacia la parte alta del tubo, hasta llegar a equilibrar la fuerza de cohesión (componente vertical) con el peso de la columna de agua.

3.4. La difusión capilar

Dentro de un capilar la fuerza $2\pi r \cdot \gamma \cdot \cos\theta$ es la que actúa a lo largo de toda la longitud de su perímetro y en todas direcciones. La curvatura del menisco genera, con respecto al aire, una presión capilar P_c que hace que se mueva el líquido al interior del capilar.

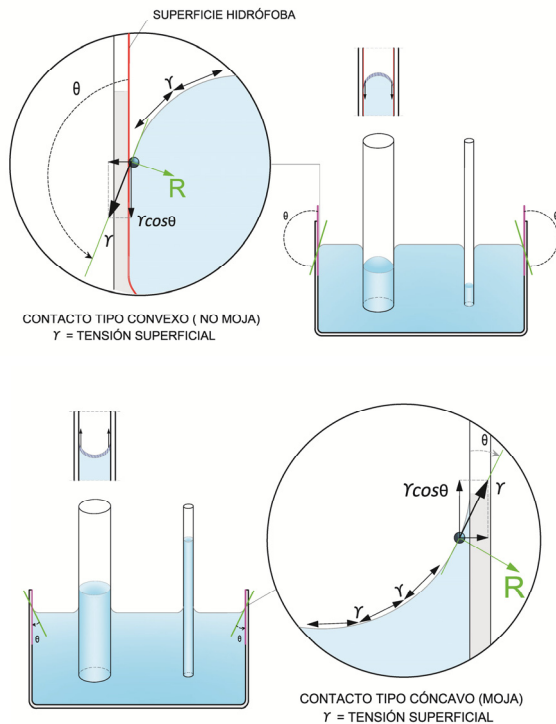


Fig. 3.9. La composición de las fuerzas F_a y F_c dan como resultante R . La tensión superficial γ es perpendicular a esta fuerza R . Figura superior el líquido no moja la superficie, figura inferior el líquido sí moja la superficie. Fuentes propias.

Según la ecuación de Washburn¹¹:

$$P_c = \frac{2\gamma \cos\theta}{r}$$

En el caso de un líquido, como el agua, que entra en contacto con una superficie a la cual moja, puede entonces extenderse espontáneamente dentro del material que moja en todas sus direcciones e imbibirlo independientemente de la forma y orientación de los capilares (por ejemplo, la imbibición lateral de un muro o una cimentación enterrada, o los muros en un sótano) como mencionaré posteriormente, esto justifica la existencia de la humedad capilar lateral, abundando sobre lo mencionado por el Prof. Andrade (Ortega Andrade, 1994). Esta fuerza en su conjunto se llama *capilaridad*.

Cuanto más delgado es el capilar, su radio es menor y esto significa que la fuerza que actúa en el perímetro del capilar toma un valor significativo con respecto al peso del líquido que está en el interior del capilar, que será, en las mismas condiciones, de igual valor que en el caso de un

capilar más grueso, ya que el contenido de agua (y por tanto su masa) será el mismo pero con menor altura capilar.

En un capilar vertical el movimiento de la columna de agua que se genera por la imbibición, es hacia arriba (contrarrestando la gravedad) siempre y cuando el agua moje la superficie. En el caso contrario, cuando el líquido no moja la superficie del capilar, esta agua no se elevará sino que muy al contrario descenderá.

¹¹ Esta ecuación se deriva del caso de un capilar totalmente humectable, según Washburn:

$$P_c = \frac{4\gamma \cos\theta}{d}$$

Donde P_c es la presión capilar, γ tensión superficial del líquido, θ ángulo de contacto, d diámetro del poro

Cuanto más delgado es el capilar, tanto más pequeña es el área de la superficie libre del líquido, tanto menos peso de líquido contiene y tanto menor es la fuerza de $2\pi r \cdot \gamma \cdot \cos\theta$, que puede ser contrarrestada por la gravedad.

La fuerza total F (fig. 7) ejercitada por

$$\gamma \cdot \cos\theta = F$$

en todo el perímetro de un capilar de radio r es de

$$2\pi r \cdot F$$

En un poro vertical el agua ascenderá hasta una altura h_c que denominaremos altura de capilaridad o altura capilar, que con un líquido de densidad ρ el peso de la columna de agua será igual a:

$$\pi r^2 \cdot h_c \cdot \rho \cdot g$$

Siendo g la fuerza de la gravedad.

La máxima altura h_c se alcanzará cuando se equilibre el peso de esta columna de agua con las fuerzas de ascensión capilar sumadas, que será:

$$\pi r^2 \cdot h_c \cdot \rho \cdot g = 2\pi r \cdot F$$

y por tanto se cumple con la Ley de Jurín¹²:

$$h_c = \frac{2 \cdot F}{r \cdot \rho \cdot g}$$

Es necesario considerar que la Ley de Jurín responde a un valor obtenido en laboratorio utilizando capilares de vidrio, sin actividad capilar en el material utilizado y sin considerar la influencia de la evaporación producida por ventilación cuando se establece el equilibrio de la columna de agua ascendente. Este factor debe considerarse en los edificios. La orientación de estos juega un papel primordial en su comportamiento higrotérmico, es por lo que fachadas orientadas a Norte y Este en este clima continental mediterráneo, están más afectadas por este fenómeno de la capilaridad.

¹² La ley de **Jurín** establece la altura que alcanza un líquido en el interior de un tubo (asimilable a un capilar en un sólido) cuando se equilibra el peso de la columna del líquido con la fuerza de ascensión generada por capilaridad. La altura h en metros de la columna del líquido viene dada por la ecuación:

$$h = \frac{2\gamma \cos\theta}{\rho g r}$$

donde: γ tensión superficial del líquido en N/m
 θ ángulo de contacto
 ρ densidad del líquido en kg/m³

g aceleración de la gravedad en m/s²
 r radio del tubo o capilar en m

De la fórmula anterior se desprende que:

- Cuando el radio del capilar r es más pequeño, la altura capilar h_c es mayor. la altura capilar h_c es inversamente proporcional al radio del capilar. Por tanto los capilares y poros, cuanto más pequeños de tamaño, el agua ascenderá a mayor altura. Luego aquellos materiales con una estructura porosa de menor tamaño y comunicados entre sí por capilares pequeños el nivel de ascensión será mayor que en el caso de aquellos otros con poros y capilares mayores. Reseñar la importancia de esto cuando estos elementos estén afectados por temperaturas por debajo del punto de congelación del líquido que absorben, por la presión hidrostática que genera esa situación cuando el espacio donde se sitúan es reducido y sin posibilidad de expansión (saturación).
- La altura capilar h_c es también función de la temperatura, ya que la tensión superficial y la densidad del líquido son variables en función de la temperatura. A mayor temperatura la tensión superficial disminuye ya que ya que las fuerzas de cohesión disminuyen al aumentar la agitación térmica y, por tanto a menor temperatura las fuerzas de cohesión son mayores y así aumenta la altura capilar.
- La altura capilar es independiente de la cantidad de agua existente en el suelo, pues no es una variable a tener en cuenta: este dato no aparece en las fórmulas como variable. La altura capilar no se modifica si se retira el agua en la base por la que es absorbida, ni se modifica por aumento o disminución en el terreno de ésta por debajo de la base. Por ello no tiene sentido realizar acciones de desecación de terrenos para eliminar esta afección.

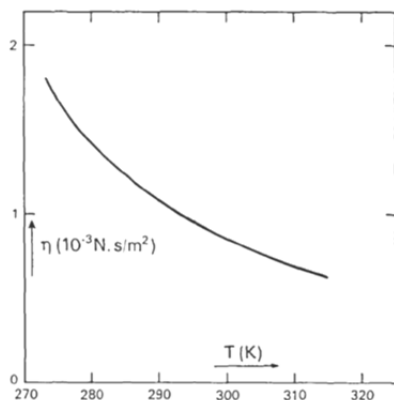


Fig. 3.10. Viscosidad de un líquido en función de la temperatura, (Vos, 1971), donde η es la viscosidad dinámica del líquido y T la temperatura.

- Según el Prof. F. Ortega Andrade, "...la capilaridad no debe entenderse exclusivamente, como un fenómeno de ascensión vertical, sino que su flujo se extiende radialmente (y en todas sus direcciones) y su circulación puede ser horizontal y (...) se moverá de forma ramificada en cualquier dirección en la que encuentre succión o actividad capilar". (Ortega Andrade, 1994).

- La viscosidad^{13,14} del líquido absorbido influye en las oscilaciones de h_c . En la humedad ascendente este parámetro contribuye a las variaciones en el nivel de la cota máxima de ascensión y es consecuencia de las variaciones térmicas habidas en los ciclos de frío-calor y/o noche-día (aquí influye el clima y la zona: hay que diferenciar clima de costa y clima de montaña) y tiene como resultado el deterioro exagerado de los revesti-

¹³ Según la Física, la viscosidad o ángulo de rozamiento interno es una característica de los fluidos que están en movimiento cuando muestran una tendencia a oponerse a fluir ante la aplicación de una fuerza. Se define también como la resistencia que oponen distintas capas de un líquido en movimiento al deslizamiento de una de ellas sobre las otras. Cuanta más resistencia oponen los líquidos a fluir, más viscosidad poseen.

¹⁴ Según B.H. Vos: La viscosidad dinámica es una medida de la "elasticidad". Depende de la temperatura tal como se expresa en la figura 3.10. (Vos, 1971)

mientos del muro en la línea de máxima altura capilar. Por otro lado, en un soluto el contenido de sales disueltas hace que varíe la viscosidad del líquido. Por tanto, una capilaridad exagerada con un líquido con una concentración de sales se comportará favoreciendo el fenómeno de la capilaridad.

Teóricamente, para agua pura, con porosidad de capilares de radio 1 μm , en ausencia de evaporación, la altura h_c podría alcanzar 15m de altura antes de ser equilibrada por la fuerza de la gravedad. En la práctica en los estados de evaporación medios, la altura no sobrepasa los 4,25m.

Justifiquemos este dato a partir de la Ley de Jurín:

cuando θ es 0° , $\rightarrow \cos\theta = 1$,

luego la h_c , será la $h_{m\acute{a}x}$, por lo que la Ley de Jurín será entonces

$$h_{m\acute{a}x} = \frac{2\gamma}{\rho g r}$$

Ejemplo: para un tubo de vidrio (si lo asimilamos a un poro-canal) situado en Valencia (España) al nivel del mar con un líquido absorbido de

ρ 1000 kg/m³,

γ 0.0728 N/m a 20º C de temperatura,

r 0.0001mm,

aplicando la fórmula anterior la $h_{m\acute{a}x}$ será 150mm.

Si tomamos ese mismo sólido, en ese mismo lugar pero dejando como valor fijo $h_{m\acute{a}x}$ a 4,25m, el radio del poro r , sería 3,5mm. Dimensión de poro que es difícil se pueda producir en un material de construcción (el material podría ser inaceptable por las características físicas y mecánicas que pudiera transmitir si tuviera esas condiciones).

Así pues cuando nos encontremos un muro bañado por encima de esta altura, podría ser absorción capilar pero nunca proveniente del terreno y por tanto nunca sería capilaridad.

Por ejemplo, los ladrillos y morteros en muros de edificios antiguos tienen poros tan pequeños como 0.001mm de diámetro, lo que significa que pueden llegar a poder soportar un peso de columna de agua de hasta 1m.

3.5. La electro-ósmosis

Como ya se ha comentado anteriormente este fenómeno de la humedad capilar tiene carácter físico. Hasta aquí se han descrito algunos fenómenos físicos, aquí ahora se describe otro fenómeno físico que se produce en el hecho de la humedad capilar.

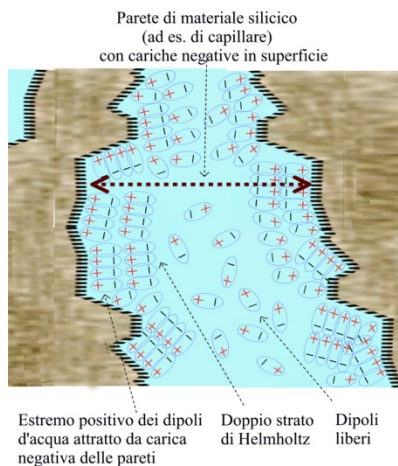


Fig 3.11: Dibujo (copyright EPG) de moléculas de "agua en forma de pequeño imán unido a la superficie de un material de capilar negativo silíceo" (Pinto Guerra, Marzo 2008)

la sílice, llamada doble capa de Helmholtz¹⁵. Esta doble capa eléctrica se puede mover por la aplicación de un campo eléctrico: los iones positivos se moverán hacia el polo negativo (ánodo) del campo eléctrico del potencial aplicado. Si esta doble capa eléctrica se ha formado en un capilar (con diámetro suficientemente pequeño) el movimiento de los iones positivos de la capa en contacto con la superficie de sílice hacia el polo negativo es capaz de mover todo el volumen de líquido contenido en el capilar y entonces lo que podemos observar es la diferencia de nivel en el líquido por traspaso, expresada en la Fig. 3.12.

Esta capa también se genera en un estrato de arcilla de composición mayoritaria silíceo, donde las cargas se crean en la superficie de los granos de la arcilla. Como la superficie de contacto con el agua, en volumen, es inmensamente más grande en un capilar, las cargas son mucho más fuertes. En ambas situaciones los dipolos del agua se pueden mover mediante suministro de energía eléctrica a partir de un potencial eléctrico aplicado. Todo esto se produce

A nivel molecular la superficie de un material silíceo está cargado de un potencial electrostático negativo, véase como ejemplo en el terreno un lecho arcilloso, un terreno de piedra de granito, o un muro de ladrillo cerámico, todos ellos de mayoría compositiva silíceo (SiO_2). Por tanto, la sílice organiza las moléculas de agua, cargadas dipolarmente, de forma que la capa de moléculas en contacto con la superficie estarán enfocando la parte positiva de los dipolos (los átomos de hidrógeno) hacia la superficie, ordenando las moléculas del líquido, perdiéndose este orden conforme nos separamos de la superficie: primero los positivos, muy bien ordenados y cerca de la superficie de la sílice y después los negativos, contrarrestando la carga producida por la acumulación de iones positivos cerca de la superficie de la sílice. Este ordenamiento genera una doble capa eléctrica de muy poco espesor que se pierde rápidamente a medida que nos alejamos de la superficie de

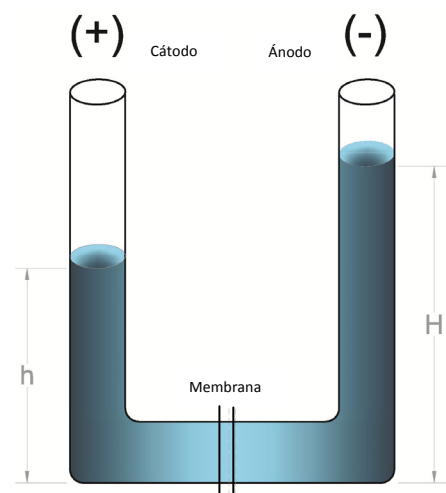


Fig.3.12: Formulación de Van't Hoff. Fuentes propias.

¹⁵ Hermann von Helmholtz, médico y físico alemán (1821–1894), fue el científico que ya en 1879 fue el primero que afirmó esto.

por la bipolarización existente en la molécula de agua que se orienta eléctricamente de acuerdo a la carga contigua.

Cuando hay un flujo o movimiento de ascenso capilar de un líquido por una evaporación que tiene lugar desde la cara externa de una pared, este líquido se mueve dentro de las paredes de los capilares de la parte exterior de la capa de Helmholtz creada y, por consiguiente genera una débil diferencia de potencial medida entre la tierra (positivo) y la pared (negativo) la cual será siempre menor de 1 voltio (aproximadamente de 600-700 mV), sin que, teóricamente, se produzca evaporación en la capa exterior de la doble capa de Helmholtz y, por supuesto, que se encuentre el cuerpo en estado estacionario. Esta diferencia de potencial es causada por la ionización de las sustancias contenidas y por el distinto grado de humedad muro-suelo¹⁶. Como consecuencia de lo

anterior podemos decir que la electroósmosis es el fenómeno por medio del cual se produce el movimiento de un líquido bajo la influencia de un campo eléctrico, a través de una pared porosa, cada poro del material se considera como un capilar que está en contacto con una solución de agua que contiene iones. Las superficies porosas de los materiales del terreno, así como los utilizados en la construcción de la edificación suelen estar cargados con carga negativa, pero en la proximidad del

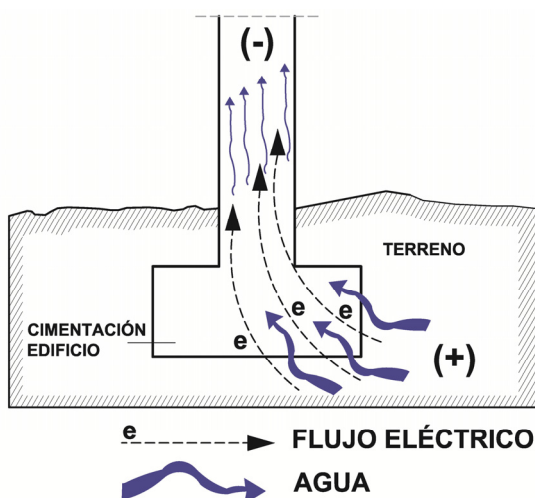


Fig.3.14. Ascensión capilar por flujo eléctrico según Paul Ernst. Fuentes propias.

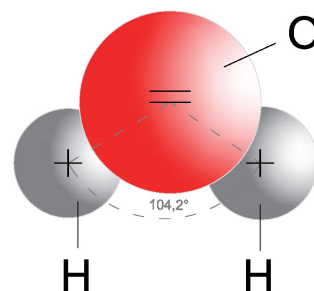


Fig 3.13: Molécula de agua con sus cargas eléctricas. Ya que el oxígeno tiene una electronegatividad superior a la del hidrógeno, el agua es una molécula polar. El oxígeno tiene una ligera carga negativa y los átomos de hidrógeno una carga ligeramente positiva, del que resulta un fuerte momento dipolar eléctrico. Fuentes propias.

subsuelo de los muros se encuentran iones positivos o cationes, es por esto que se forma una doble capa, que se compone de una capa fija correspondiente a cationes absorbidos por la superficie (el muro) y de una capa móvil o difusa. Si se introducen unos electrodos y se aplica un potencial diferencial, la capa móvil se trasladará hacia el electrodo negativo (-) o cátodo, llevando consigo las moléculas de agua, este movimiento de transporte del agua es lo que se denomina electroósmosis. Así a principios del siglo XX el Profesor e Ingeniero Paul Ernst¹⁷ descubrió que este fenómeno físico puede ser medido mediante un voltímetro muy sensible, intercalado entre

¹⁶ En 1885 Jacobus H. Van't Hoff (Premio Nobel de Química 1901) formuló por primera vez el valor de la presión osmótica, estableciendo que si dos soluciones se ponen en contacto a través de una membrana semipermeable, se establece una circulación de fluidos de un disolvente hacia el otro.

¹⁷ Paul Ernst, fue ingeniero y Profesor en la Universidad Politécnica de Zurich. Se trataba de que, conociendo el funcionamiento de la ósmosis formulado en 1885 por Van't Hoff, si dos disoluciones se ponen en contacto a través de una membrana semipermeable se establece una circulación de un disolvente a otro, pasando las moléculas del disolvente y no las del soluto, aglomerándose estas en las caras de la membrana, generando la fuerza que impulsa la circulación de aquél, en 1935 contravenir y superar el fenómeno osmótico y el de la corriente de galvanización en los muros, aplicando una corriente eléctrica al fenómeno de la ósmosis.

dos bornes metálicos introducidos uno en la fábrica del muro húmedo y el otro en el subsuelo contiguo (Aznar Mollá, 1995).

Esta diferencia de potencial provoca un movimiento de todas las especies cargadas que se encuentren en el seno de la disolución, los cationes positivos, hacia el ánodo (negativo) y los aniones hacia el cátodo (positivo) en sentido ascendente desde el cátodo (+) situado en el subsuelo al ánodo (-) que corresponde a la pared. Esto hace que se cierre el circuito en el interior de la disolución y se pueda medir la conductividad generada. Esta corriente eléctrica hace que el agua circule a través de los capilares y poros, remontando la pared siguiendo la corriente eléctrica ascendente.

La existencia de agua rica en sales, modifica la tensión superficial del líquido y hace que el voltaje sea mayor y que la ascensión sea más intensa, ya que un líquido con sales disueltas es más conductor porque las sales al disolverse se disocian en sus iones correspondientes y son estos iones los que conducen la electricidad en el seno del líquido, que normalmente en agua pura (destilada) apenas conduce la electricidad por su poca cantidad de iones ($2 \cdot 10^{-7}$). El agua potable que tomamos de la red urbana de suministro, al contener sales sí es conductora.

Esa ascensión de las moléculas por los capilares con la ayuda de una pequeña corriente eléctrica ascendente haciéndolas pasar por los capilares y a través de los poros la llamaremos electro-ósmosis. Este es el fundamento para que más tarde Paul Ernst junto con el ingeniero suizo Jacob Traber diseñaran, añadiendo el principio de la electro-fóresis¹⁸ (Aznar Mollá, 1995), el sistema de desecación de muros afectados por capilaridad denominado Ernst-Traber de electro-ósmosis-fóresis.

3.6. La humedad de ascensión capilar (rising damp, risalita)

La humedad de capilaridad, ascensional o de ascensión capilar, se puede definir como aquella producida por absorción de agua contenida en el subsuelo y que a través de la cimentación o cualquier otro elemento constructivo enterrado o en contacto con el terreno, asciende por los muros hasta alcanzar un nivel por encima de la rasante, donde se manifiesta como una mancha generalmente en forma de ola, de forma generalmente suave o quebrada, de acuerdo con la composición constructiva del muro (fig.13). En esta zona existe una zona húmeda aparente y puede existir otra zona donde la humedad no es aparente visualmente (esta cuestión es el objeto de esta Tesis). La zona húmeda en superficie se corresponde con la zona interior húmeda del muro y no toda ella es distinguible visualmente, sin embargo es detectable con dispositivos adecuados (higrómetros, termografía, extracción de muestras, etc).

La altura de la humedad ascensional de capilaridad es inversamente proporcional al radio de los poros. Es mayor cuanto menores son los poros, contiene mayor porcentaje de poros accesibles y si estos están interconectados por canales. La baja temperatura aumenta la ascensión porque aumenta la tensión superficial.

¹⁸ La electro-fóresis se define como el movimiento de partículas bajo el influjo de un campo eléctrico. Esto en la práctica se consigue con partículas de un elemento como la foresita (tipo de arcilla con capacidad de intercambio de iones y poder tampón) la cual es fácilmente ionizable disuelta en un líquido.

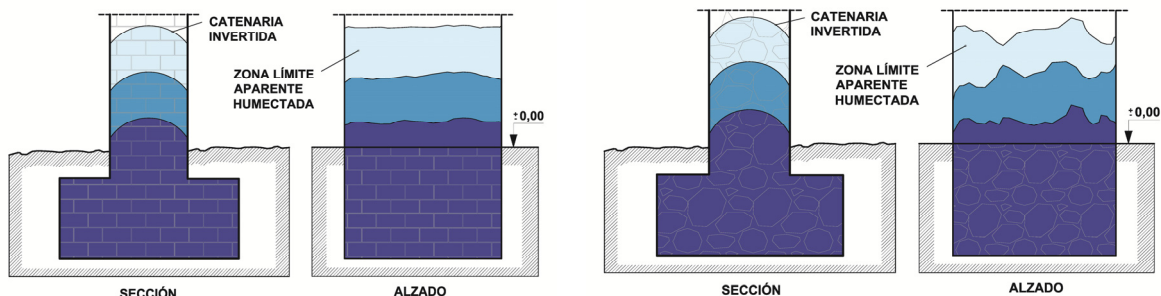


Fig. 15a

Fig. 15b

Fig. 3.15. El aspecto visual de la humedad capilar en lo más evidente de su aspecto, corresponde a una ola con oscilaciones en su altura, la cual será más o menos ondulada, fig.4.15a, de acuerdo a la homogeneidad de los materiales que constituyen el muro (caso de un muro de ladrillo y mortero,) o quebrada, fig. 4.15b, si su constitución es heterogénea (caso de un muro de mampostería: piedra, mortero o tierra), debido a su distinto comportamiento frente a la absorción por la distinta porosidad de cada uno de sus elementos constructivos existentes. Fuentes propias.

La formación de esta catenaria se debe a que la humedad es menor en este punto por estar en la zona más alta de la afección y porque conforme nos alejamos del centro del muro su evaporación

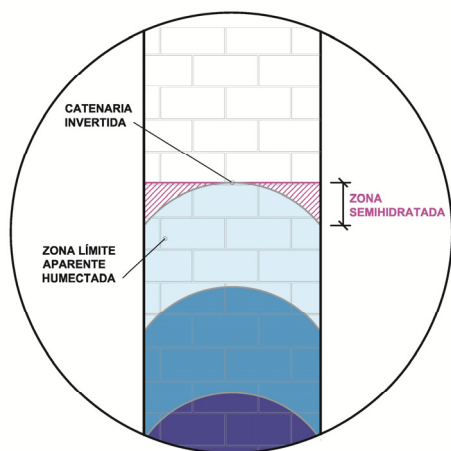


Fig. 3.16. Zona límite aparente humectada en el interior de un muro afectado por humedad capilar en su zona superior. Entre el punto más húmedo de esta zona situado en la coronación de la catenaria y el punto de intersección de esta catenaria con las caras externas del muro determina una zona de humedad no visual, semihidratada, dado que está rodeada de zonas saturadas y, por tanto, para encontrar su equilibrio se humedecará de acuerdo con las condiciones de su entorno. Fuentes propias.

facilita una disminución del contenido de humedad, encontrándose semihidratada la zona existente entre el punto de coronación de esta curva y el punto de contacto con la superficie externa del muro. (Ver gráficos sobre esto en la obra analizada en esta Tesis: Iglesia de San Pablo de los Jesuitas, I.N.E.M Luis Vives, Valencia; Cap. 9.3).

Las zonas visuales húmedas corresponden a la zona donde el muro está humectado. La zona no visual existente dentro de la zona húmeda, puede corresponder, entre otras causas, a zonas donde existen barreras físicas: morteros impermeables, pinturas especiales, tratamientos especiales, etc, en definitiva tratamientos que oculten el fenómeno y que dificulta la detección de la humedad. Con el procedimiento desarrollado en esta Tesis puede manifestarse esta situación.

Otra zona no visual, ésta semihidratada, no saturada, se corresponde con la contigua a esta catenaria invertida, comprendida desde el punto de contacto de esta curva con la superficie externa del muro hasta la parte de coronación de esta curva. Usualmente se corresponde con 40-50 cm de altura, para muros de 50-60 cm de espesor.

Esta catenaria puede tener los puntos de contacto con la cara externa del muro a distintas alturas al interior y al exterior de la vivienda debido a la distinta temperatura interior y exterior, lo que puede ocurrir al facilitar una distinta facilidad de evaporación.

Por otra parte, pueden aparecer zonas independientes de forma y situación caprichosa en el lienzo del muro donde existen humedades, en las cuales se manifiesta un mayor deterioro y con aspecto de mayor contenido de humedad. Esto puede ser debido a una concentración o un mayor contenido de sales en esa zona, manifestando cuantitativamente un alto y mayor contenido de humedad que en las zonas contiguas, debido a la higroscopicidad de estas sales. En alguna situación esto se puede confundir con una filtración, cuestión que se debería comprobar observando lo que hay en el otro lado del muro y si existe alguna tubería empotrada y en mal estado en su interior.

Otra característica de la humedad de ascensión capilar corresponde a aquella, que por las razones expuestas, cuando el muro se encuentra en contacto con una superficie inclinada (calle inclinada, zanca de escalera o rampa), la “ola” manifestada toma la inclinación de la pendiente de esa calle, zanca o rampa. Esto es debido a que las fuerzas manifestadas y descritas trabajan de acuerdo con la fuerza de la gravedad por lo que las componentes verticales de la resultante R se situarán siguiendo los puntos de arranque de la cota más baja que corresponde a la intersección del plano vertical del muro con el plano inclinado.



Fig. 3.17: Santillana del Mar (España).
Fuentes propias.



Fig. 3.18: Bnejúzar, Alicante (España).
Fuentes propias.

3.7. Definiciones de contenidos de valores de humedad

3.7. 1. Contenido de humedad capilar (CMC)

Contenido de humedad capilar (Capillary Moisture Content), definido en la norma UNE EN ISO 15148:2002 como la cantidad de humedad en % en peso de una muestra, absorbida por las fuerzas de capilaridad dentro del material. CMC es la humedad que existe por encima de la humedad de equilibrio, es decir, aquella humedad que se puede esperar en el material y que ha sido tomada del aire húmedo debido a la higroscopicidad inherente del material. A veces es descrito como la humedad no deseada o “humedad que no debería estar allí” (Trotman & Parret, Diagnosing Damp, 2004).

Se mide de acuerdo a la norma UNE EN ISO 15148:2002, con el siguiente procedimiento resumido:

Para la realización del ensayo, tras secar la muestra a peso constante y pesarla, se coloca parcialmente inmersa en agua (entre 1- 5 mm). Una vez colocada la muestra en contacto con el agua, la muestra comienza a absorber el agua por capilaridad. Mediante sucesivas pesadas se obtiene el incremento del contenido de agua en la muestra a lo largo del tiempo.

Se representa en un gráfico la variación del contenido de agua de la muestra respecto a la raíz cuadrada del tiempo. Este gráfico mostrará que hay dos fases o etapas claramente diferenciadas en el proceso de absorción de agua, antes y después de que el agua alcance la parte superior de la muestra.

El contenido de humedad capilar se determina mediante el contenido de humedad de la muestra en la transición de la primera etapa a la segunda etapa.

Este valor no lo consideramos en esta tesis, por no ser necesario calcularlo para las labores que se describen en él.

3.7.2. Contenido de humedad de equilibrio (EMC)

Contenido de humedad de equilibrio (Equilibrium Moisture Content) es la cantidad de humedad contenida en la muestra en % en peso, cuando la velocidad de su humedad de transferencia es nula, es decir, cuando no absorbe ni cede agua, está estable. Con humedad relativa ambiental constante (Hr), p.ej. 75%, el contenido de diferentes materiales en estrecho contacto uno con otro se estabilizará o equilibrará. Pero incluso en equilibrio, cada material tendrá un porcentaje diferente de contenido de humedad debido a la variación en las propiedades físicas y químicas de cada uno. Por ejemplo, en Hr 75%, el EMC para el ladrillo podría ser 2%, para el yeso 5%, y para la industria maderera 2%, así mismo un mismo material puede variar en su humedad de equilibrio de una situación a otra por su falta de homogeneidad. Es poco probable que cada material, incluso en equilibrio, pueda registrar la misma lectura de humedad leída mediante instrumentos de control con procedimientos eléctricos (humidímetro).

La forma teórica ideal de determinar la humedad de equilibrio de un material colocado en obra consiste en cubrir el área sospechosamente húmeda con una especie de menuda tienda de campaña impermeable de polietileno, aluminio o con una caja, conteniendo un dispositivo de medición de humedad en el interior de ella. El agua que se evapora de la pared, en la pequeña cantidad de aire atrapado en la tienda de campaña o caja dispuesta al efecto, aumentará su humedad relativa hasta que encuentre su equilibrio. Entonces, mediante la medición de la humedad relativa de ese aire es posible decir con exactitud tanto cuánto de húmeda está la pared independientemente de la humedad de la habitación, como en su conjunto¹⁹.

¹⁹ Procedimiento descrito en la norma BS 5325:2001 y ASTM F 2420-05 (Relative Humidity Insulated Hood Testing), denominado test de la capucha o test de la cúpula.

Hasta su desaparición hace varios años, la marca Protimeter, tenía disponible a la venta unos parches autoadhesivos que incluían un sensor de humedad colocado entre una membrana semipermeable y una lámina impermeable. El parche es colocado adherido a la zona de la pared objeto de control por la cara de su membrana permeable, el aire existente dentro del parche llegará al equilibrio con la pared y esta humedad de equilibrio obtenida con el sensor nos dará el valor de la humedad de equilibrio del material.

Este procedimiento ya no es posible utilizarlo pues no está a la venta, pero sí algo similar, más aparatoso y caro: la marca TRAMEX dispone por 84€/ud de unos HYGROHOOD a modo de cajas. Pero independientemente de ello para poder realizar un mapeo en un muro con muchos puntos de control sería muy lento, carísimo, muy laborioso y quizás un poco complicado pues debe situarse 72 horas este dispositivo para que se aclimate, teniendo en cuenta que es un dispositivo por punto, se pierde la inmediatez del ensayo y su relación con el resto de datos si se tienen que tomar varios puntos. La solución sería poner varios a la vez lo que incrementa el costo del análisis.



Fig. 3.19. Detector de humedad de equilibrio para pavimentos de hormigón: Tramex Hygrohood. TRAMEX. (www.tramexmeters.eu/hygrohood-with-built-in-sensor)

Se toma como ensayo para obtener este dato en esta Tesis, la norma italiana UNI 11086 por su validez para cualquier material²⁰ y simplicidad, la cual coincide con las indicaciones del BRE Digest 245²¹ (DG245) con el siguiente procedimiento resumido:

Previamente deberá desecarse a masa constante, a continuación la muestra se introduce en un desecador con sal común (ClNa) y a una temperatura de $20^{\circ} \pm 2^{\circ} \text{C}$, en cámara climatizada para garantizar la temperatura durante 48 horas. La diferencia entre la primera pesada y la pesada a las 48 horas, con respecto a la inicial, indicará la cantidad de agua absorbida hasta que se estabiliza en la atmósfera saturada al 75% de humedad proporcionada por la sal.

$$EMC (\%) = \frac{M_{48} - M_s}{M_s} \cdot 100$$

Donde: M_{48} es la pesada a las 48 horas en la condiciones de 75% de HR y a 20°C

M_s masa desecada a masa constante, después de que la diferencia entre dos pesadas sea $<0.001\text{g}$.

²⁰ Las normas UNE españolas están divididas en el análisis para distintos tipos de piedras (calizas ornamentales, granitos), pero no para materiales en general, como así es en la UNI italiana, de ahí su elección.

²¹ BRE Digest son manuales o dossiers emitidos por Building Research Establishment, Ltd, organismo antes gubernamental y actualmente privado en Reino Unido, y que es el principal centro de conocimientos sobre la construcción y medio ambiente, el uso de energía en los edificios, la prevención y control de incendios, y la gestión del riesgo en el Reino Unido. Emite unos manuales o guías sobre la "buena construcción". Este DG 245, está revisado en 2007 y es original de 1982; es un manual muy controvertido en GB, trata sobre como determinar, reconocer y evaluar una humedad de capilaridad y, ahí está la controversia: ¿cual es el valor mínimo a considerar como humedad?. El valor de humedad se considera por encima del 5%, valor muy criticado Por G. Coleman y sus seguidores, como valor fijo y universal para GB, no deja lugar a interpretaciones del controlador/inspector la valoración de si existe humedad capilar o no. Su mayor exponente es Peter Trotman (Trotman, DG 245, 2007 Edition, 2007).

En otro orden de estas cosas, si tomamos otra normativa vigente: UNE EN 16242:2012, "Procedimientos e instrumentos para la medición de la humedad del aire y los intercambios de humedad entre el aire y el patrimonio cultural", nos encontramos con un valor de la humedad de equilibrio distinto al especificado en las normas anteriores, aunque el concepto de humedad de equilibrio es el mismo: "Contenido de humedad en el que un material ni pierde ni gana humedad de la atmósfera circundante a determinados niveles de humedad relativa y de temperatura. Se expresa en g/kg como el cociente de la masa de agua m_w contenida en el material y la masa seca m_{dm} del mismo material", es decir

$$EMC = \frac{m_w}{m_{dm}}$$

Este valor así expresado lo consideraremos en este Trabajo exclusivamente para calcular la "relación de mezcla" o "relación de humedad de la mezcla" (**MR**)

3.7.3. Contenido de humedad higroscópica (HMC)

El contenido de humedad higroscópica (Higroscopic Moisture Content) es la cantidad de humedad que un material normalmente tomaría desde el aire. El HMC de un material puede ser medido por un experimento simple²²: colocar secando al horno una muestra del material en una cámara con la humedad relativa controlada, que contenga una solución de sal común saturada en una bandeja. (La cámara se mantendrá estable en cerca de 75% RH sobre el rango típico de la temperatura ambiente.) Si están presentes las sales higroscópicas en cualquier material de la muestra y el material es poroso en sí absorberá la humedad desde el aire húmedo de la cámara. El aumento de peso de la muestra, muestra cómo mucha humedad ha sido absorbida debido a la higroscopicidad al 75% de Hr. En una muestra fuera del laboratorio, materiales 'secos' normalmente incluirán su HMC.

Esto se consigue con el mismo ensayo anterior efectuando una pesada previa a la de las 48 horas, realizándola a las 24 horas.

$$HMC (\%) = \frac{M_{H24} - M_S}{M_S} \cdot 100$$

²²UNI 11085:2003 Beni culturali - Materiali lapidei naturali ed artificiali - Determinazione del contenuto d'acqua: Metodo ponderale.

3.7.4. Contenido total de humedad (TMC), (MC)

El contenido total de humedad de una muestra TMC (Total Moisture Content) es la cantidad total de humedad en el material, expresada como un porcentaje de su masa secada al horno. Se realiza mediante el procedimiento establecido en la norma UNI 11085:2003 Metodo ponderale.

$$TMC (\%) = \frac{Msat - Ms}{Ms} \cdot 100$$

TMC siempre incluirá HMC, a menos que el material haya sido secado en un horno de secado, y puede o no, incluir CMC. Como valor expresado resumidamente se expresa en ocasiones como MC (Moisture Content, contenido de humedad).

$$TMC = MC = EMC + HMC + CMC$$

3.7.5. Contenido de humedad POTENCIAL (PMC)

El contenido de humedad potencial es la cantidad de humedad, como % de peso seco, que un material podría potencialmente mantener. Por ejemplo, si un material pudiera contener el 23% de su peso en seco como agua cuando esté saturado, su PMC sería 23%. TMC nunca podría ser superior a PMC. Este valor no lo consideramos en esta tesis, por no ser necesario calcularlo para las labores que se describen en él.

3.7.6. Relación de la mezcla o relación de humedad de la mezcla (MR)

La relación de mezcla o relación humedad de la mezcla, según se enuncia en la norma UNE EN 16242:2012, es el cociente de la masa de vapor de agua m_v y la masa de aire seco m_a expresada en g/kg, es decir

$$MR = \frac{m_v}{m_a}$$

Este valor se considerará en esta investigación cuando este se calcula a partir de los valores de temperatura y humedad relativa ambiental por puntos en un ambiente de un edificio para el reconocimiento de la penetración y propagación del aire exterior a través de un espacio. Esta relación de mezcla se utiliza como un indicador para reconocer el recorrido, difusión y penetración del aire exterior a la sala analizada.²³

²³ Norma UNE EN 16242:2012. Procedimientos e instrumentos para la medición de la humedad del aire y los intercambios de humedad entre el aire y el patrimonio cultural.
Es necesario añadir que esta norma utiliza procedimientos descritos en la Tesis Doctoral de la Prof. Soledad García Morales ya en 1995.

3.8. Instrumentación y técnicas para medir la humedad en materiales de construcción

Es importante tener en cuenta que los materiales no siempre llegan a estar visiblemente húmedos, y tampoco en todos los casos se notan húmedos al tacto. La madera, por ejemplo, no se nota húmeda cuando la humedad es inferior al 30 % (es decir, alrededor del 97 o 98 % de humedad relativa). Así, la humedad es peligrosa antes de que pueda ser detectada únicamente por los sentidos. Es por esto que es tan esencial utilizar un medidor de humedad durante el análisis de la humedad, para poder hacer juicios sobre su gravedad.

Medir con precisión la humedad en los materiales o estrictamente hablando el contenido de humedad de las paredes, está llena de dificultades e imprecisiones. Para poder determinar el contenido de humedad es necesario previamente saber cuándo un material es o está "seco", aunque en términos absolutos un material poroso en un edificio casi siempre retendrá un poco de humedad, ya sea desde su higroscopicidad natural o por los efectos de las sales delicuescentes contenidas en el material.

El método ideal de medición de contenido de humedad en los materiales sería aquel que fuera:

- no destructivo;
- Independiente del soporte (sin necesidad de calibración);
- Igualmente sensible a todos los contenidos de humedad;
- Independiente de la presencia de sales solubles;
- Independiente de la temperatura ambiental;
- Independiente de la textura de la superficie;
- Capaz de dar valores de perfiles de humedad;
- Capaz de ser restringido a la zona de muestreo requerido (que no sea influido por elementos contiguos)
- Posibilidad de uso cuando sólo un lado del elemento es accesible (muro, pilar, etc);
- Capaz de conectarse a dispositivos con registro de datos (útil sobre todo para fines experimentales);
- Rápido: da una lectura inmediata
- Barato.

Ningún método actual posee todas estas características. La medición de humedad en materiales de construcción es compleja y, a pesar de una gran investigación durante un largo período de tiempo, un método que se aproxime al ideal todavía se nos escapa. Mientras tanto, pensando en la selección del método más adecuado para cada caso y reconociendo sus inconvenientes ya que ninguno de los métodos disponibles ha superado la necesidad de calibración para diferentes materiales, utilizaremos los disponibles actualmente. En algunas circunstancias puede que no sea posible identificar a priori el tipo de piedra o ladrillo que vamos a analizar y esto puede dar lugar a posibles imprecisiones en la medición de su contenido de humedad.

En primer lugar será necesario realizar una descripción de los sistemas existentes disponibles actualmente para la toma de valores de humedad en muros y suelos.

Ya se ha justificado que sería de gran ayuda para un correcto diagnóstico de la determinación de la causa de la humedad, el poder asignar la distribución de la humedad existente dentro de una pared e, idealmente, poder así cuantificar su grado de humedad.

Hay, fundamentalmente, tres diferentes formas de determinar y/o medir humedad en unidades de obra compuestas por diferentes materiales de construcción: ladrillos, hormigones, pastas, piedras, diversos tipos y clases de morteros, mamposterías, etc²⁴.

Métodos de secado, tipos:

1. gravimétrico: estufa, lámpara halógena
2. químico: método del carburo de calcio
3. eléctrico
 - 3.1 conductividad (denominado también como de resistencia o de resistividad)
 - 3.2 capacitancia.

El objetivo de estos procedimientos consiste en medir en muestras extraídas mediante taladrado en el muro o suelo, tanto su contenido humedad como su higroscopicidad. Veremos que ninguno de ellos lo consigue totalmente y que necesitaremos para alcanzar este objetivo varios de ellos en combinación.

3.8.1 Método gravimétrico

In situ las muestras obtenidas mediante perforación se colocan en recipientes lo más herméticos posibles con posibilidad de ser sellados fácilmente a fin de conservar la humedad original de la muestra. El contenido de humedad total es entonces determinado por secado en estufa de laboratorio o mediante un dispositivo fácilmente transportable que funciona por emisión de calor a través de una lámpara halógena. Mediante el uso de la técnica descrita en BRE Report 245, también se puede determinar el contenido de humedad debido a la presencia de sales higroscópicas calculando la **HMC**.



Fig. 3.20: Analizador halógeno de humedad según el principio termogravimétrico. Transportable. Izda.: dispositivo Mettler Toledo. Foto catálogo Mettler Toledo España. Dcha.: Sencillo montaje de laboratorio en obra para análisis directo in situ. Foto gentileza de HUMICONTROL, S.L.

²⁴ Existen múltiples sistemas de control de humedad en materiales de construcción. Según Shinsaku Tada (Tada & Kazumasa, 1998): métodos nucleares por absorción de partículas radiactivas (rayos gamma, resonancia magnética nuclear, atenuación nuclear), métodos por la conductividad térmica, métodos eléctricos (resistencia o conductividad, capacitancia, ondas electromagnéticas) y métodos por ultrasonidos. Más recientemente se han realizado controles con tomografía geoelectrónica 3D (Compare, Cozzolino, Di Giovanni, & Mauriello, 2010).

En esta investigación se ha utilizado como proceso para obtener este dato la norma UNI 11085:2003 Beni culturali - Materiali lapidei naturali ed artificiali - Determinazione del contenuto d'acqua: Metodo ponderale. Este método se conoce vulgarmente como “método ponderado o ponderal” o “método de las pesadas”.



Fig. 3.21: Estufa de laboratorio para secado de muestras utilizada en esta investigación. Laboratorio de Materiales de Construcción, ETSIE, U.P.V. Fuentes propias.

Este procedimiento consiste en desecar hasta masa constante las muestras analizadas añadiendo calor seco producido en una estufa de laboratorio a una temperatura dada. La diferencia entre las dos pesadas: masa de la muestra húmeda y masa de la muestra seca nos dará la cantidad de agua contenida en la muestra inicial, y si esta la referimos a la masa desecada obtendremos su % de humedad con respecto a la masa seca. La podemos expresar como:

$$MC (\%) = \frac{M_i - M_s}{M_s} \times 100$$

Donde: ***M_i*** masa inicial húmeda de la muestra

M_s masa desecada hasta masa constante

Este procedimiento tiene la desventaja de que es necesario acertar en cual debe ser la temperatura de secado, debido al riesgo de poder eliminar también la humedad combinada químicamente falseando el resultado. Esto puede ocurrir en materiales o compuestos como el yeso, que contienen agua combinada además de agua ligada no combinada. Así hay normas que establecen que para obtener la masa desecada a masa constante la temperatura debe ser de $100 \pm 2^\circ\text{C}$ (UNE EN 22182-85), para ello tomaremos en esta investigación una temperatura máxima de 40°C para yesos y 105°C para el resto de materiales.

Todas las normas admiten y toman como válido este procedimiento como la norteamericana ASTM F2659-10 (2015), la australiana AS 1884-2012, las normas europeas anteriormente citadas, etc.

3.8.2. Método químico

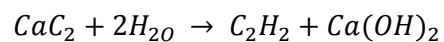
Este método es una forma rápida y relativamente exacta para determinar el contenido de humedad en el mismo lugar de extracción de las muestras. Su inmediatez es idónea para trabajos de campo



Fig. 3.22. Maleta para transporte de equipo para análisis con carburo de calcio. Utilizada en esta investigación, propiedad del autor. Fuentes propias

donde es necesario conocer el contenido de humedad de la muestras de forma inmediata "in situ", evitando así pérdidas de humedad por errores en el sellado de las muestras y por el tiempo transcurrido hasta su análisis en laboratorio. Este procedimiento corresponde a una combinación química entre un reactivo y el agua, esta agua que se combina con el reactivo corresponde a un agua ligada pero no combinada. Esto es una ventaja con respecto al procedimiento gravimétrico, donde hay que calibrar la temperatura de la estufa para que no se pierda el agua que está combinada químicamente.

Insertando "muestras individuales" con carburo de calcio en un recipiente a presión, se produce una lectura casi inmediata del contenido de humedad, de la siguiente manera: La humedad de las muestras taladradas reacciona con el carburo de calcio CaC_2 resultando gas acetileno C_2H_2 en fase aeriforme e hidróxido de calcio $Ca(OH)_2$ en fase sólida, según la siguiente reacción,



La presión de este gas subsecuente es indicativa de la humedad. El proceso es el siguiente: una muestra con peso estándar (20-30-50g) se mezcla en un recipiente estanco y hermético, con carburo de calcio en polvo el cual inicialmente se encuentra en una ampolla de vidrio que se rompe al agitar el recipiente herméticamente cerrado mediante enroscado de la tapa o gatillos de presión, combinándose este al quedar libre con el agua adherida no combinada del elemento. Este recipiente metálico, denominado bomba por encontrarse a presión, está equipado con un manómetro calibrado. La reacción entre el carburo de calcio y el agua libre, no combinada de la muestra, forma un volumen de gas acetileno, el cual la presión que genera es directamente proporcional al contenido de humedad de la muestra. El manómetro está calibrado para dar una lectura directa del contenido de humedad de la muestra, a través de una escala comandada por una aguja motivada por esta presión. (Ver normas: UNE EN 15801:2010 y por el método del carburo de calcio. UNI 11121:2004 y BS 6576:2005 + A1:2012).

3.8.3. Métodos eléctricos

3.8.3.1. Medición por conductividad o resistencia eléctrica

Un circuito eléctrico a través del medidor se cierra mediante la colocación de dos sondas en la superficie o profundizando (incrustando) en la pared con dos electrodos en forma de agujas metálicas afiladas en punta (pins). La resistencia eléctrica de la pared está influenciada por el conte-

nido de humedad de la pared, así será mayor cuanto más seca esté la pared y menor cuanto más húmeda se encuentre. Las variaciones en la resistencia se indican en el medidor a través de una escala de diodos distribuidos en una escala de colores en rojo, amarillo y verde o mediante un display digital con numeración de 0 a 100. La técnica es muy simple y adecuada para el control automático, rápido, incluso para realizar un control remoto.

Principio de funcionamiento:

Se incrustan o clavan el par de electrodos metálicos en el material y el medidor mide la resistencia a una corriente continua que hacemos circular entre los electrodos. La resistencia obtenida puede ser asociada al contenido de humedad del material por medio de curvas de calibración. La resistencia



Fig. 3.23. Humidímetro en modo conductivo. Utilizado en esta investigación. Propiedad del autor. Fuentes propias

eléctrica realizada con agua pura y en materiales secos es bastante alta, el portador principal de la corriente son los iones disueltos en el agua de los poros. Así, la medición directa de la resistencia está influenciada por las sales contenidas en los materiales y en el agua, además de la temperatura y por la falta de homogeneidad del material. Una variación de un grado de temperatura puede resultar en una variación de la resistencia de 2 a 4% y será mucho mayor en una zona con mucha humedad.

La resistencia puede ser expresada experimentalmente en la siguiente relación lineal:

$$\ln \rho = -K\phi + c,$$

donde ρ es la resistividad y K , c son constantes (Tabata, Koh, & Kamada, 1976) y (Tada & Kazumasa, 1998)

Oxley²⁵, apunta que en pruebas realizadas usando medidores Protimeter de resistencia, los resultados obtenidos fueron aceptables para agua pura en bajas concentraciones de sales con lecturas de alto contenido de humedad. Las lecturas del medidor de resistencia son de poco valor con contenidos significativos de sal.

3.8.3.2. Medición por capacitancia

En este caso o bien el propio medidor lleva colocada una placa donde se sitúan los electrodos de envío y recepción de ondas o, en otro dispositivo anexo al medidor dispuesto en su cabeza, lleva unos anillos concéntricos en el interior de una bola metálica. Su funcionamiento es simple: se coloca tocando la superficie cuya contenido de humedad se va a medir y la lectura es inmediata.

Principio de funcionamiento:

Las propiedades dieléctricas de los materiales porosos pueden ser medidas usando circuitos eléctricos convencionales y dispositivos basados en dos electrodos condensadores. Estos medidores

²⁵ (Oxley & Gobert, 1994)

han estado disponibles mucho tiempo y se han usado para cuantificar la humedad en materiales sueltos (granos, gravas, arenas, etc.).

Los instrumentos comerciales disponibles para la industria de la construcción usan una pequeña placa plana, midiendo el área con dos anillos conductores conectados a una unidad separada que contiene el circuito eléctrico. Un ejemplo son los medidores Protimeter de General Electric.



Fig.3. 24. Izqda. Humidímetro de bola GANN. Derecha: humidímetro Protimeter con posibilidad de modo capacitativo, “búsqueda” (parte trasera abultada) y modo conductivo: pins. Instrumentos utilizados en esta investigación, propiedad del autor. Fuentes propias.

Según Oxley²⁵, el principio de funcionamiento de estos medidores se corresponde con que el agua tiene una alta capacidad de aumentar la capacitancia de un par de placas de metal en alrededor de 80 veces más que el aire. La materia seca como la de un ladrillo de un muro, sin embargo, es solo alrededor de 5 veces mayor que el aire. Por tanto, si la capacitancia de un par de placas es medida primero con aire entre las dos placas y después con un muro húmedo entre las placas, una gran parte del incremento de la capacitancia se debe al contenido en agua en el muro medido.

Las lecturas de los medidores miden la capacitancia en la franja del sensor que está influenciada por el contenido de humedad en la pared.

En el caso de medición por conductancia el agua combinada no la mide. Vamos a ver porqué.

Continuando con Oxley²⁵, muchas de las sustancias que se pueden disolver en agua son ionizables. Cuando se disuelve en agua una sustancia, como un material de construcción, cada molécula de agua se divide en dos partes, una con carga positiva y otra con carga negativa. Cuando se le conecta a esta sustancia húmeda (muro húmedo) una corriente eléctrica mediante dos electrodos de metal, estas partículas cargadas, llamadas iones, se mueven a través del agua hacia los electrodos, los iones positivos al electrodo negativo, los iones negativos al electrodo positivo. Así estos iones pierden sus cargas resultando en un flujo eléctrico, que detectará el medidor de capacitancia, el cual dispone de las dos placas, ionizando solo las partículas de agua ligadas, sin poder desplazar las partículas de agua que están combinadas químicamente adheridos.

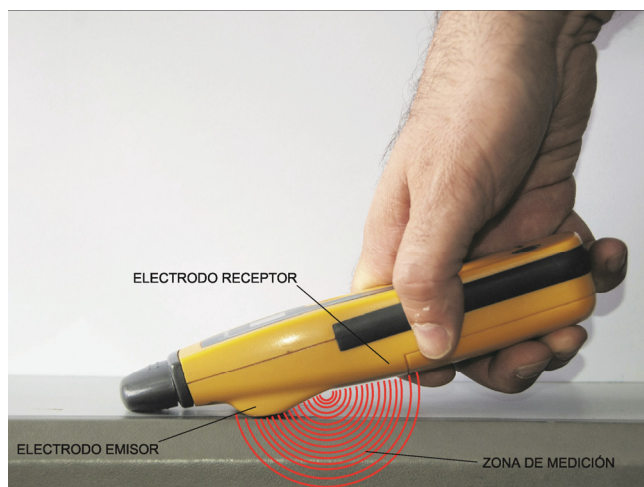


Fig. 3.25. Humidímetro Protimeter en modo capacitivo, correspondiente a modo "búsqueda". Fuentes propias.

Por otra parte, es de notar, que si a un material seco le añadimos agua, cada molécula de agua se adhiere fuertemente a la superficie seca, entonces las moléculas de agua están muy firmemente ligadas a la superficie y ahora no tienen libertad de movimiento, en particular no puede disolver un material, por lo tanto no forma iones y no hay conducción eléctrica, por esta razón no pueden ser medidos muy bajos niveles de contenido de humedad.

Algunos de estos instrumentos (de ambos tipos: capacitivos y conductivos) utilizan una escala analógica semicircular grafiada en valores testados y calibrados por la que se mueve una barra del grosor de un pelo;

o con una escala de leds con una luz intermitente, con tonos agudos audibles para indicar cambios en el contenido de humedad, ya sea en lugar de, o también con un dial digital.

3.8.4. Usos y limitaciones de los métodos de medición.

El método de secado gravimétrico y el método de la estufa, son métodos destructivos en los que las muestras deben ser tomadas mediante perforaciones realizadas en la pared directamente. También requiere el uso de instalaciones de laboratorio y por lo tanto tiene la limitación de no poder ser utilizado en el lugar de la toma de muestras, ni tampoco por todos aquellos que no dispongan de acceso a un laboratorio. Podría subsanarse este último inconveniente mediante la utilización de un pequeño dispositivo transportable, el cual funciona secando la muestra a través de una lámpara halógena, la limitación está en que no solo evalúa la humedad adherida sino que, al utilizar el calor de la lámpara mencionada, la temperatura puede sobrepasar los 100° C, por lo que eliminará también el agua asociada químicamente, falseando el resultado. El método de la estufa es el método más exacto disponible y se puede utilizar para distinguir entre la humedad del suelo y la humedad higroscópica. (Ver BRE Digest 245).

El uso del método del carburo de calcio, es también un método destructivo. Puede, sin embargo, ser utilizado en el lugar donde se realiza la toma de muestras por lo que el riesgo de pérdida de contenido de la humedad de las muestras es menor y además es bastante rápido, toma alrededor de 20-30 minutos por muestra. Tiene un muy aceptable grado de exactitud, pero no diferencia la humedad capilar y la humedad higroscópica, aunque por comparación con las muestras tomadas en profundidad se obtendría una buena indicación de estos datos.

En cuanto a los métodos eléctricos, estos métodos no son destructivos y sus lecturas son tomadas con facilidad y rapidez. En la mayoría de paredes que son de composición incierta y no homogénea, el método eléctrico no proporciona una lectura exacta del porcentaje de contenido de humedad pues las lecturas pueden variar de material a material.

Las lecturas se suelen registrar en una relación o escala aparentemente arbitraria que permite que se establezca el patrón de la humedad (en esta investigación se demostrará que estas escalas coinciden con los datos obtenidos con el Procedimiento objeto de esta Tesis, por lo que podemos considerar que no son aleatorios).

El método eléctrico no da una lectura directa del contenido de humedad²⁶ y su valor depende mucho de la capacidad del usuario para interpretar los resultados obtenidos por su uso. En manos experimentadas es una herramienta útil, pero puede dar lugar a confusión o a un incorrecto diagnóstico, particularmente porque las sales estén presentes al ser estas en sí mismas un medio conductor, o porque contenga la pared gránulos con compuestos de carbono, o exista un papel de aluminio utilizado en la pared como elemento impermeable (láminas asfálticas con acabado superficial de protección en aluminio), o cuando la humedad es debida a condensación.

Los métodos eléctricos no son adecuados para comprobar la eficacia de un tratamiento realizado para la eliminación de la humedad capilar en un edificio que ha sufrido el fenómeno de la capilaridad



Fig. 3.26. Línea de leds marca a la izquierda su valor en %WME y a la derecha en una tabla de conversión el valor de humedad equivalente en yeso, hormigón y mortero. Humidímetro Protimeter Humitest, propiedad del autor. Fuentes propias.

si no se ha actuado sobre los revestimientos dañados afectados por sales. En tales casos, las sales al seguir estando presentes, en mayor o menor medida, no se puede determinar claramente si el tratamiento efectuado es eficaz o no. La presencia de estas sales pueden producir altas lecturas en estos dispositivos, como ya se ha comentado, por su alta conductividad.

Un problema adicional del medidor eléctrico, en este caso el de capacitancia, es su uso en superficies rugosas, debido a la disposición de la placa de contacto, que al ser plana, la zona de contacto sobre superficies rugosas no se garantiza por lo que puede dar lecturas falsas, al no realizar un contacto completo, incluso puede haber riesgo de dañar la superficie de medición. Este medidor, sin embargo, facilita la lectura por detrás del revestimiento más exterior que puede estar aparentemente seco, el cual puede ocultar la humedad, tales como tratamientos superficiales de capa que pueden ocultar la humedad (morteros impermeables, etc), por lo que es indicado para estos casos, ya que su acción puede alcanzar los 15-20 mm de profundidad.

Estos métodos eléctricos de capacitancia son los más aceptables para esta investigación ya que en un estudio con un gran número de lecturas se pueden tomar en un tiempo muy pequeño sin perturbar o dañar los revestimientos decorativos de la pared.

²⁶ “El hecho de que el medidor no registra una medición cuantitativa es de poca importancia. El diagnóstico se basa en la distribución general de las lecturas del medidor y en sí no es tanto la lectura real. La mayoría de los materiales de construcción (ladrillos, enfoscados de mortero) están libres de materiales que afectan a la resistencia eléctrica. Por lo tanto, ¡debe apreciarse que en más del 99,5% de los casos los cambios en la resistencia eléctrica está reflejando o bien agua y / o sales solubles!. Por lo tanto, es muy válida para utilizar medidores de humedad eléctricos para ver los problemas húmedo / sal”. (Coleman, 2015) (Traducción libre propia del autor).

Estos humidímetros están ideados para la medición de humedad en maderas por tanto los fabricantes de estas máquinas los tienen tarados en estos valores de acuerdo a valores de contenido de humedad en madera (Burkinshaw., 2002), que luego extrapolan a materiales de construcción en algunos casos con escalas paralelas a la correspondiente a maderas, colocando cada escala distintamente para mortero, hormigón, etc³.

Como conclusión entendemos que los valores obtenidos con estas observaciones no son cuantitativos sino cualitativos, es decir indicativos, por lo que expresan no la cantidad de humedad en peso o en volumen del material sino que expresan si el material está seco o por el contrario si está húmedo o, me atrevería a decir, excesivamente húmedo.

En esta Tesis se llega a comprobar que esos valores de verde, amarillo, rojo son ciertos y se corresponden con los valores establecidos por el fabricante de la máquina con respecto a su relación con %WME.

4. ESTADO DEL ARTE

En este capítulo se referencia a aquellos que han trabajado en la línea de esta Tesis, exponiendo cuáles son sus premisas y sus alcances para, a continuación, realizar una crítica o valoración de su investigación y, en definitiva, establecer los puntos comunes o de discrepancia con la línea de esta Tesis.

Debo aclarar que concretamente me voy a ceñir a lo correspondiente a la forma y manera de reflejar las humedades en un lienzo de un muro o suelo de forma topográfica, es decir realizando un mapeo o mapping donde queden reflejadas las humedades existentes en ese elemento constructivo.

4.1. British Research Establishment (BRE)²⁷

Debemos empezar por describir cuál es el procedimiento que indica el British Research Establishment (BRE), en su controvertido dossier-informe DG245²⁸.

No se entrega a la necesidad de realizar un mapeo general sino que especifica cómo realizar un control para poder determinar si es humedad capilar o higroscópica, a través de un mapeo por verticales no en todo el elemento a analizar sino en zonas concretas establecidas como de control.

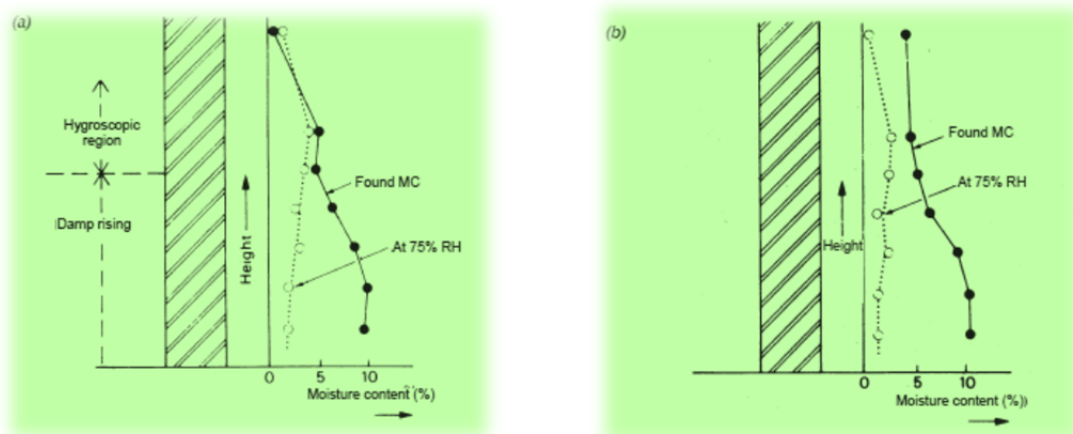


Fig. 4.1. BRE DG245, pág. 6: “La fig. ilustra dos casos típicos de la humedad ascendente donde el MC es más de 5% en la base de la pared y disminuye con la altura. La Figura (a) ilustra una situación donde el MC en la parte inferior de la pared está dominado por la humedad ascendente por encima del cual existe una región en la que el contenido de humedad es controlada por la higroscopicidad de la pared. La Figura (b) ilustra una situación en la que las condiciones en la base son similares a los mostrados en (a) pero en donde la región superior de la pared está ganando agua de otras fuentes (por ejemplo lluvia); el contenido de humedad de la parte superior está por encima de que, debido a cualquiera de las sales higroscópicas presentes, no existe gradiente significativo de humedad”.

²⁷ Este organismo, se estableció en 1921 en GB como la Building Research Station (BRS). Este se convirtió en el Building Research Establishment (BRE) en 1972. Desde que fue privatizada en 1997, se ha llamado a sí misma, simplemente "BRE", tiene su parangón en España en el Instituto Eduardo Torroja. Se dedica a la consultoría, investigación, análisis, innovación, sostenibilidad y formación en el ámbito de la construcción en general. Emite documentos tales como Digest, Information Papers, Good Buildings Guides y Good Repair Guides.

²⁸ Peter Trotman es el alma mater de esta publicación. Es miembro de la BRE desde 1967 y desde 1975 más concretamente miembro del departamento BRE Advisory Service y desde 1990 su director.

Estableciendo este tipo de control, el proceso de realización es:

- Se toman los valores en una vertical elegida para su interpretación.
- Las tomas se realizan cada 25cm de distancia en vertical y en profundidad cada 2,5 a 5 cm, por cada punto de toma. Para las tomas en profundidad se utilizan sondas enfundadas con limitación de profundidad de 25cm (sondas de máxima medida asequibles en el mercado).
- Las tomas se realizan extrayéndolas con broca de 9-12mm. Recogida de muestras en recipientes estancos. Debe tenerse en cuenta, en cuanto a la cantidad recogida, que cada muestra se tomará para realizar el ensayo de MC y de HMC. Aquí se detalla el proceso paso a paso describiéndolo minuciosamente.
- Análisis en laboratorio de las muestras recogidas mediante el método ponderado para obtener el contenido de humedad (MC) (el método que describe coincide con la norma UNI 11085:2003) o "in situ" mediante el método del carburo de calcio.
- Análisis en laboratorio de las muestras recogidas para obtener el contenido de humedad higroscópica (HMC) al 75% de humedad ambiental (el método que describe se corresponde con la norma BS EN ISO 12572:2001²⁹)
- Conformación de los perfiles del muro con sus contenidos de humedad por puntos desarrollado en gráficas (Fig 4.1).
- Interpretación de resultados:
 - o Si comparamos el contenido de humedad higroscópica (HMC) obtenido con el contenido de humedad existente (MC) se obtiene una indicación de cuál es el valor de la humedad en cualquier punto tomado. Una HMC más alta que la MC indica que la humedad se debe a que la humedad es absorbida del aire en lugar de desde el suelo o de alguna otra fuente. Un MC más alta que la HMC indica que el agua tomada proviene de una fuente que no es el aire, tales como el aumento producido por la penetración de agua del terreno.
 - o Si se toman muestras a un número suficiente de alturas, los resultados se pueden representar como se muestra en la Figura 4.1.

Este procedimiento tiene en cuenta las siguientes variables:

- Cuando el muro está compuesto de varios materiales el valor a considerar será el correspondiente al material de mayor contenido de humedad. Para testear esta cuestión y determinar que las muestras que se tomen sean todas del mismo material, se deben realizar pruebas pinchando con la broca hasta encontrar zona de mortero.
- No es válida la medición si existen sales.
- Establece que no es necesario realizar gráficamente todos los diversos perfiles que puedan mostrar los gradientes de humedad que se pueden obtener de esta manera, pero en varios puntos importantes sí será necesario realizarlos para obtener una guía para la interpretación del problema.

Conclusiones:

- El método es válido para determinar si es humedad de capilaridad, higroscópica o de condensación, pero esto reducido exclusivamente en la zona estudiada.

²⁹ Esta norma se corresponde con la UNE EN ISO 12572:2001 y la UNI 11086:2003

- El método no da indicaciones de cuál es la causa o el origen de las humedades existentes, simplemente da valores de contenidos de humedad a distintas alturas en una vertical de todo el muro afectado, independientemente de sus dimensiones. Esta gráfica interpretada como la acción del agua puede confundirse con un agua dispersa, una capa freática colgada, una pérdida de aguas de una tubería o canalización enterrada, humedad accidental, etc; es difícil de definir la causa de esta manera, pues no se pueden relacionar los datos en un conjunto del muro.
- Este método no es monitorizable. No tiene repetibilidad en el mismo punto.
- No realiza puntos de control mediante una malla para definir puntos.
- Si se toma en la zona más desfavorable puede diluirse el juicio establecido en las otras zonas del edificio.
- Puede estar limitado por la imposibilidad de realizar las perforaciones: edificio protegido, existencia de pinturas o revestimientos con valor, dificultad de accesibilidad, incompreensión de la propiedad, etc.
- La búsqueda de materiales iguales realizando perforaciones repetidamente implica dejar como un colador el paramento, la propiedad puede que no esté dispuesta a esto en todas las ocasiones, ni las condiciones del muro lo permitan, tal como se ha expresado en el punto anterior.
- Falta la relación con el conjunto del muro y trasladarlo al conjunto del edificio.

4.2. Prof. T.A. Oxley.

Para el Prof. Thomas A. Oxley³⁰ (Oxley & Gobert, 1994) una pista valiosa del origen de un área de humedad, se da simplemente con la descripción de sus límites y la señalización de los grados de humedad existentes dentro de estos límites. Este proceso, lo denomina “pinpointing the damp” (señalando la humedad). Para él esto solo es posible realizarlo con un medidor de humedad eléctrico: “trazar el contorno de las zonas húmedas utilizando un medidor de humedad Protimeter”. Entiende (y así lo expresa textualmente) que “es el elemento que es capaz de indicar los grados de humedad que de otro modo serían indetectables”³¹.

Hace las siguientes indicaciones:

- Las mediciones de humedad a realizar con los dispositivos medidores debe realizarse siempre con el mismo aparato. Como dispositivos de medición utiliza: Protimeter, Protimeter Mini, Protimeter Surveymaster³². Aunque son distintos dispositivos con características similares, básicamente todos ellos realizan una valoración de la humedad de acuerdo con las características de un dispositivo eléctrico tal como se ha descrito en el Cap. 3.8.3. En cada elemento a analizar insiste en que es necesario utilizar el mismo dispositivo para evitar posibles diferencias en las medidas tomadas, luego es consecuente con que las medidas tomadas con estos dispositivos eléctricos pueden dar diferentes datos en el mismo punto de toma.

³⁰ Prof. Thomas A. Oxley murió en 1983, poco después de publicar estos estudios. Fue director del gubernamental Forest Products Research Laboratory at Princes Risborough, parte integrante del BRE (G.B.).

³¹ (Oxley & Gobert, 1994), *The Professionals and Home Owners Guide To Dampness in Buildings: Diagnosis, Treatment, Instruments*. Second Edition, 1994, Butterworth-Heinemann Ltd, Editors. Oxford. England. Pág. 90,92.

³² Protimeter, Protimeter Mini, Protimeter Surveymaster, son nombres registrados correspondientes a dispositivos eléctricos por resistencia eléctrica y capacitativos de, inicialmente, la marca PROTIMETER (Marlow) Limited y actualmente propiedad de la multinacional General Electric (GE).

- Realiza las mediciones en puntos sin especificar distancias concretas entre puntos ni en longitud ni en altura del muro, solo recomienda que sea a intervalos regulares en la zona afectada.
- No especifica cómo se plasma físicamente la malla en el muro para definir los puntos de control: ¿la dibuja, la marca?, ¿con qué elementos?.
- No especifica cómo se plasma físicamente la malla en el muro para definir los puntos de control: ¿la dibuja, la marca?, ¿con qué elementos?.
- Menciona la ayuda que puede representar el realizar una fotografía y “rastrear” la humedad como segunda toma de contacto después de la primera toma de contacto directa que sería la inspección visual.
- Realizadas las mediciones con el medidor eléctrico se unen los puntos de igual cantidad de humedad, generando un gráfico que muestra las humedades por curvas que expresan el mismo nivel de humedad.
- Aclara y concreta que los valores obtenidos corresponden a los entregados por el dispositivo eléctrico Protimeter según la equivalencia al contenido de humedad en madera %WME.
- Después de analizar las figuras creadas, concreta su análisis, encontrando una gran utilidad a estos gráficos: detección de fugas de tuberías, determinación de si es o no humedad capilar a través de la expresión numérica decreciente en valor y en altura de los valores de las curvas obtenidas, discernimiento sobre el origen de las humedades de capilaridad, etc.

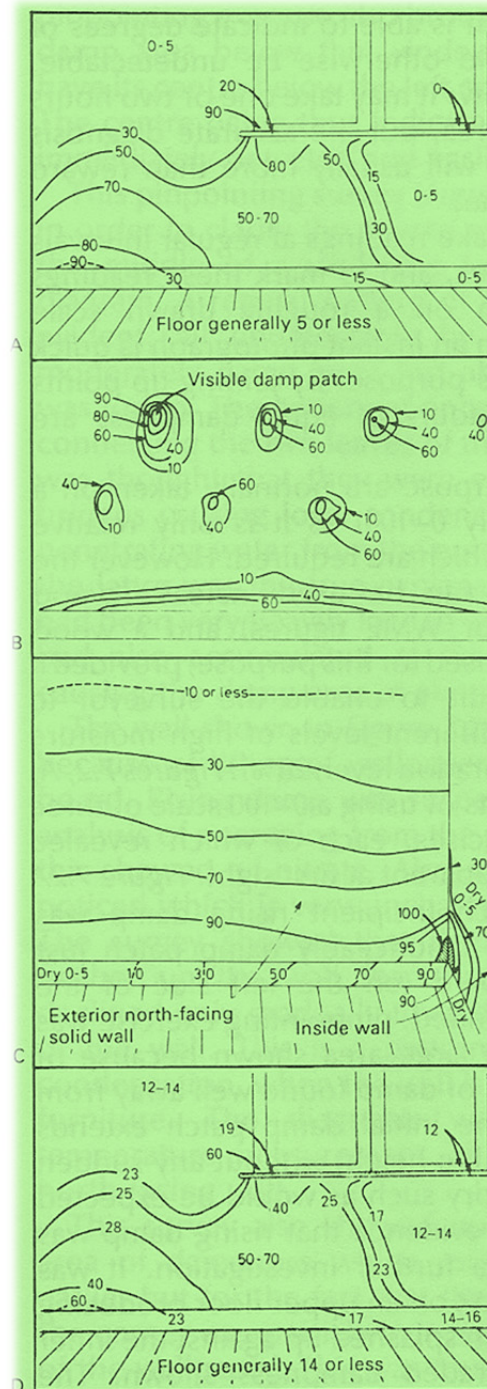


Fig. 4.2. Representación gráfica de humedades en un muro, de acuerdo con los estudios del Prof. T.A. Oxley (Oxley & Gobert, 1994).

Conclusiones:

- El que no indique las distancias para situar los puntos de toma, se entiende que quedan al libre albedrío del inspector y de las necesidades del control.
- La intención de la observación previa de la foto es buena pues puede reflejar con contrastes algo que visualmente no se pueda apreciar. Si la foto fuera térmica, entiendo que será más apreciable todavía. Debe entenderse que esto a lo que me refiero está

escrito en 1983 cuando la tecnología sobre infrarrojos no era tan asequible como lo es actualmente.

- Las valoraciones obtenidas de contenidos de humedad se refieren a lo indicado en el Protimeter: valor referenciado a %WME, luego su expresión no representa valores intrínsecos del valor humedad sino valores cualitativos del contenido de humedad. No expresa como procede a la materialización de las curvas uniendo puntos de igual contenido de humedad. Su forma, entiendo es aleatoria. Será tanto más aleatoria cuanto más distancia exista entre puntos (¿curva, recta, sinuosidad, picos crecientes o decrecientes?). Puede reflejar imprecisiones lo que implicaría variabilidad en la forma y, por tanto, variabilidad en el diagnóstico final.
- El Prof. Oxley es totalmente consciente de la variación en la lectura del dispositivo que puede producir el contenido de sales existente en el agua contenida, al que denomina en su trabajo: electrolito. Pero sin embargo, deja muy claro que esa variación no la daría si no existiera agua, por lo que defiende, frente a los que denomina “faltos de escrúpulos” en una carta personal el 6 de agosto de 1980 a su colega de la Universidad de Aston (Birmingham, GB), director del Centro de Biodeterioro, Dr. W. P. K. Findlay, los datos obtenidos con el Protimeter, calificados por aquellos como “engañosos”, por no poder separar el dato tomado sin tener en cuenta las sales. Por tanto, entiende debe darse como existente y por tanto como válido el conocimiento de que ese valor corresponde a un valor modificado por el contenido de sales PERO CON AGUA: si no hubiera agua y sales ese valor no se detectaría, no existiría, luego si existe es porque hay agua, aunque con añadido de sales, luego es válida la referencia con su matización del contenido de sales.
- Lo más importante de este trabajo en lo concerniente a esta Tesis es que es suficiente y válida la toma de datos con los dispositivos eléctricos que existen en el mercado, ya que coincido en que considera:
 - o NO NECESARIA la evaluación cuantitativa del contenido de humedad (es suficiente para realizar una correcta interpretación del problema) por lo que considera,
 - o NO ES NECESARIO analizar en peso el contenido de agua, por lo que,
 - o NO ES NECESARIA la extracción de muestras, dando por válido el estudio así obtenido y que es cierto que los valores son modificados por el posible contenido de sales, pero no por ello deben ser despreciados.

4.3. Prof. Angelo Salemi

A través del estudio de la humedad en los muros de la Catedral de Catania y otros estudios más el Prof. Angelo Salemi³³, relata en su libro “Il recupero e la conservazione delle fabbriche tradizionali. Le patologie da umidità” (Salemi, 2000), un procedimiento para determinar las humedades existentes en estos muros.

³³ Prof. Angelo Salemi es Ingeniero, miembro del Dipartimento di Architettura e Urbanistica dell'Università di Catania. Ha escrito libros sobre tecnología, recuperación y conservación de edificios. Es miembro de la UNESCO, es fundador y director del Observatorio delle Patologie Edilizie. Se ocupa de la problemática inherente a la salvaguardia del Patrimonio Construido con particular atención a los bienes culturales y a la puesta a punto de nuevos métodos de investigación, testando la eficacia de procedimientos de restauración.

Establece el siguiente proceso:

- Previos:
 - Estudio histórico del edificio arquitectónica y constructivamente, determinando la conformación material de los muros muy concretamente. Incluso mediante sondeos y extracción de muestras, si fuera necesario.
 - Levantamiento fotográfico, como medio para poder realizar una composición general.
 - Levantamiento planimétrico exhaustivo, en plantas y alzados, incluso con ayuda de técnicas topográficas.

- Metodología operativa:
 - Para medir contenidos de humedad define el uso del método ponderal y el método del carburo de calcio, a los que califica como más fiables y exactos.
 - Análisis y elección de las zonas de estudio.
 - Toma de datos medioambientales mediante termo-higrómetros digitales para conocer tanto la temperatura como la humedad relativa del aire en el momento de las operaciones.
 - Definición de una cuadrícula ortogonal con un paso virtual establecido previamente, donde las intersecciones entre las líneas verticales y las líneas horizontales representan los puntos en los que se desea detectar el contenido preciso de agua presente. Este paso lo define de un paso variable, ortogonal, concentrado o disperso, dependiendo de las características específicas del material y de la degradación. En distintas obras expuestas lo establece con pasos distintos³⁴: 100x28cm, 100x20cm, 100x8cm, 100x10cm., 10x10cm, 20x50cm (estos dos últimos en la Catedral de Catania). Señala que el paso de la rejilla debe ser inversamente proporcional al estado de degradación y del valor cultural del objeto, en general para trabajos corrientes se asumen 30cm.
 - Se determina el contenido de agua por puntos, por lo general con métodos simples y económicos: medidores de resistencia eléctrica. Utiliza concretamente, el medidor Protimeter Mark IV. En los casos en los que sea necesario realizar una calibración de los resultados obtenidos por medios indirectos (medidores citados), usa el método del peso (método ponderal).



Fig. 4.3. Medidor humidímetro PROTIMETER MARK IV. Propiedad y Foto del autor.

³⁴ Valores correspondientes a coordenadas (x,y).

- Realizadas las mediciones, los valores se muestran en una representación gráfica del paramento. La combinación de todos los puntos con el mismo contenido de agua facilita la creación de una línea de humedad a la que denomina: isohúmeda (*isoumide*). Por medio de éstas se puede deducir la existencia de la humedad patológica e identificar variaciones a lo largo de la superficie investigada. Concreta que estas mediciones deben intentar realizarse también en sentido ortogonal a la cuadrícula, se entiende en entrantes y salientes de los elementos constructivos analizados.
- Recomienda una monitorización mediante un control durante un mínimo de un año, alcanzando las cuatro estaciones, con datos proporcionados mensualmente, que permitan la formación de las líneas de humedad, a fin de poder comprender el comportamiento del muro a lo largo de distintas épocas del año.

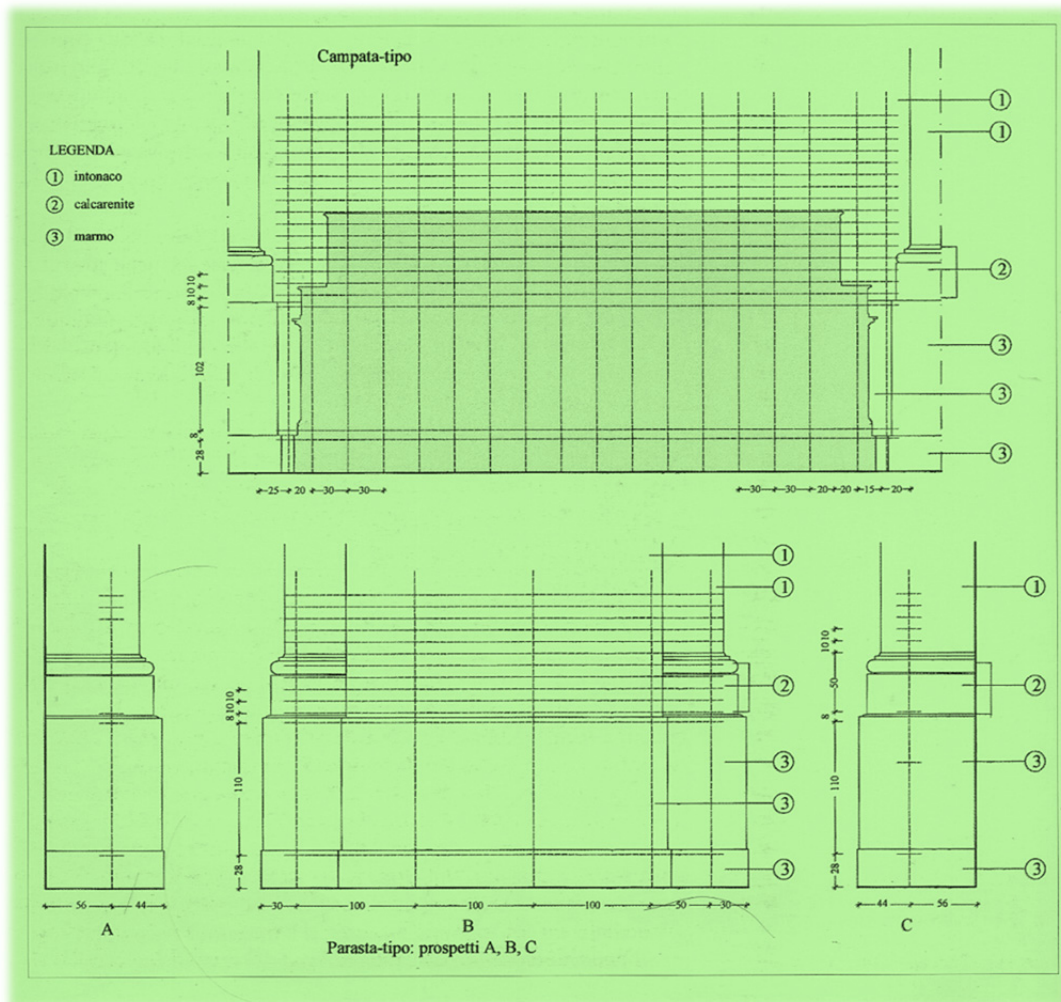


Fig. 4.4. Malla de control establecida por (Salemi, 2000)

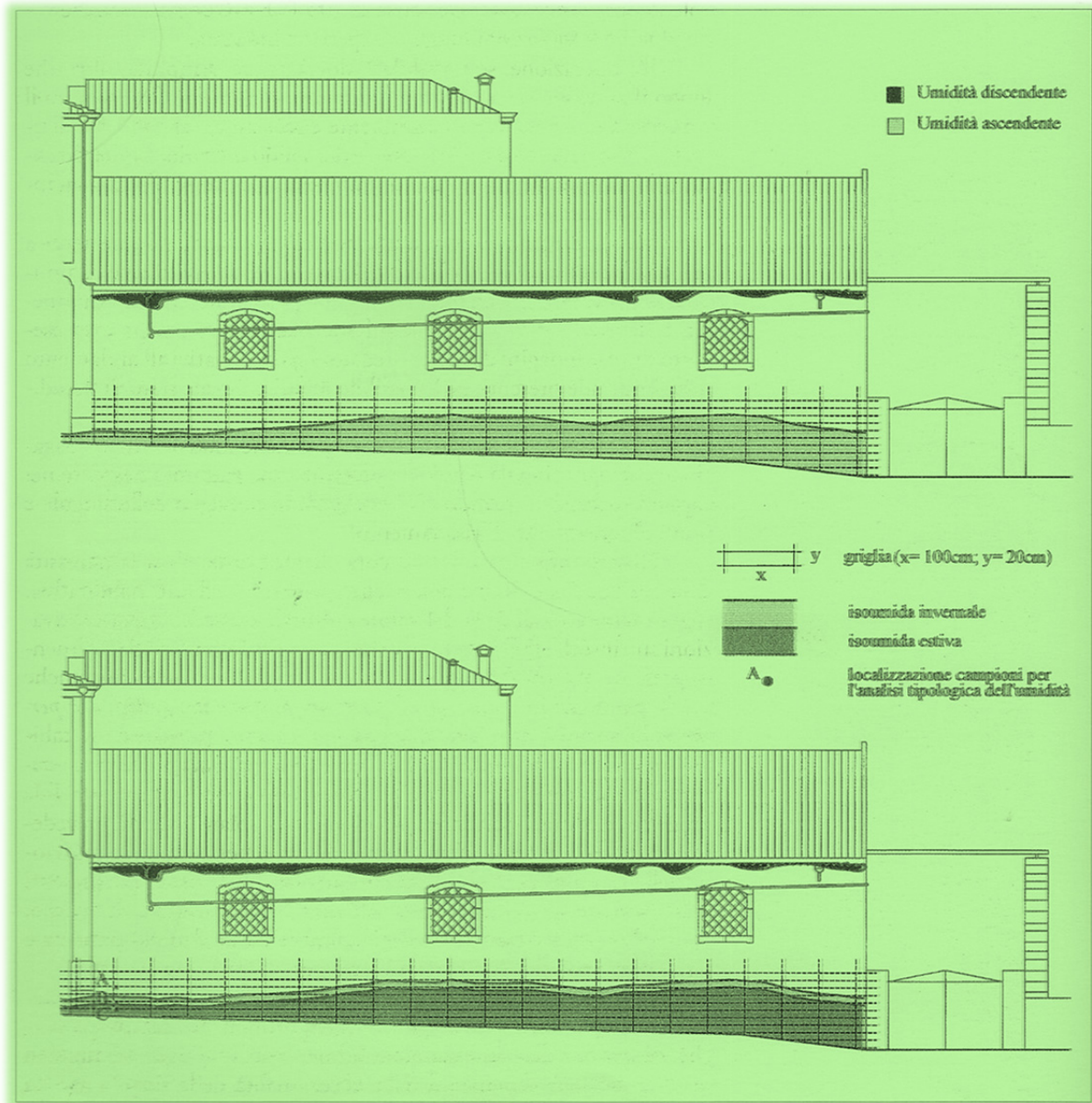


Fig. 4.5. Curvas isohúmedas sobre malla de control (Salemi, 2000)

Conclusiones:

- Es importante el estudio previo histórico, toma de datos general y de los elementos constructivos y materiales componentes a analizar.
- Fundamental el levantamiento gráfico exhaustivo del elemento a analizar. Es necesario, en ocasiones realizar alzados en desarrollo: desplegando los entrantes y salientes, de esta manera la interpretación puede ser más concreta ya que la humedad se manifiesta de forma continua en el elemento. Esto lo incluye en el estudio solo si fuera necesario. No especifica como se plasma físicamente la malla en el muro para definir los puntos de control: ¿la dibuja, la marca?, ¿con qué elementos?.
- El paso de la malla de control variando las alturas podría tener un patrón distinto de conformación en las formas de las isohúmedas, en el caso de realizarlas automáticamente.

te a través de un procedimiento informático allí donde se define una dimensión de cuadrícula y allá donde se define otra distinta. Esto puede obligar a realizarlas a mano, lo que por lo descrito y al no haber descripción de cómo se grafían en su trabajo, puede entenderse que así las realiza, a mano.

- No considera el realizar ensayos de contenido de humedad al interior, para formar las curvas de humedad en vertical ni al interior tal como las especifica el BRE, Oxley y Trotman, a fin de confirmar la existencia de esa humedad como humedad capilar.
- Solo grafía las líneas máximas de humedad en verano y en invierno, no grafía las intermedias. Esto no representa el estado general húmedo de un muro, ni tampoco es de mucha ayuda para poder determinar el origen de estas humedades, pues si toma como valor único el máximo valor de humedad y lo dibuja, obvia los demás valores que pueden estar por encima e incluso por debajo, es decir la humedad (tal como demostraré) al no ser toda de igual contenido desde la base del muro hasta la línea máxima que definimos como zona límite aparente humectada, puede mostrar zonas o puntos singulares o zonas diferenciadas, referentes de algo que puede ser motivo de esa humedad.
- Utilizando el Protimeter, acepta que de las dos lecturas que dan estos dispositivos: numérico de 0 a 100 y en escala de color: verde, amarillo, rojo, el primer valor no indica el valor real de agua contenida, sino que simplemente sirve como valor de referencia, mientras que la escala cromática dando a cada grupo de valores numéricos un color, le proporciona información cualitativa sobre el contenido real de agua.
- Salemi, en sus conclusiones reconoce que *“El tipo de investigación llevado a cabo,..., no permite formular un diagnóstico riguroso de las patologías presentes, como la medida de la humedad superficial que está influenciada en gran medida por la posible existencia de sales. El estudio sirve, sin embargo, para evaluar las condiciones generales de la degradación y para permitir la preparación de un proyecto de investigación que tiene como objetivo la realización de un análisis adecuado del tipo de humedad presente en la mampostería”*³⁵. Es consciente de que el contenido de sales es capaz de hacer variar los resultados obtenidos pero esto no es obstáculo para que sea suficientemente válido el trabajo de investigación realizado.
- No calcula la humedad de equilibrio. No compara los valores obtenidos para comprobar si están por encima o por debajo de la humedad de equilibrio, por lo que no considera la posibilidad de encontrarse con zonas con higroscopicidad.
- Toma como valores umbral de humedad en fragmentos de piedra aquellos que se encuentran por encima del 6% y en morteros este valor lo fija en el 3%. Estos valores no son aleatorios corresponden a una recomendación general de higiene en edificios indicada por G. Massari (Massari & Massari, 1985)³⁶. Si calculara la EMC, podría determinar de forma más concreta el sobrecarga de humedad en los muros. Este valor de humedad así obtenido MC, aunque incluye HMC, es más concreto y veraz en cuanto a la determinación del exceso de contenido de humedad:

$$MC = EMC + HMC + CMC$$

Analizando estos valores se podrá determinar con mayor certeza si los valores de MC obtenidos son o no dañosos.

³⁵ Salemi, Angelo. Il recupero e la conservazione delle fabbriche tradizionale. Le patologie da umidità. Gangemi Editore. Roma 2000. Página 164.

³⁶ Massari, Giovanni; Massari, Ippolito. Risanamento Igienico dei Locali Umidi. Ulrico Hoepli Editore, S.p.A. Milano. Pág. 66 (Giudizio pratico di Massari e Talenti sull'abitabilità igienica).

4.4. Mr. Giovanni e Mr. Ippolito Massari

Mr. Giovanni y Mr. Ippolito Massari³⁷, establecen para medir la humedad de un muro la necesidad de medir la temperatura y la %Hr del aire, como elementos fundamentales e influyentes en los valores de humedad en un muro.

Además establecen que es necesario realizar dos tipos de mediciones en un muro:

- Superficial: mediante medidores superficiales eléctricos, con ambos tipos de dispositivos eléctricos, por resistencia eléctrica y capacitativo (Cap. 3.8.3), con un alcance de no más allá de 15-20mm. Aunque reconoce que no es muy preciso si existen sales disueltas en el agua.
- Profunda: mediante valoración del contenido de humedad con el método ponderado, con la extracción de muestras y su puesta en valor, con el siguiente proceso:
 - o Perforación del muro a 15-20cm de profundidad, con un tubo dentado, como broca hueca. Justifica esta profundidad por no verse afectada la muestra a esta profundidad por la acción de la humedad atmosférica.
 - o La muestra en el interior de esta broca hueca se deja caer, sin tocarla, en un bote de cristal, previamente desecado y rápidamente y firmemente cerrado.
 - o La muestra preferiblemente debe ser toda de mortero, no de ladrillo.
 - o Cuando se utilice un taladro eléctrico se observará no realizar mucha presión sobre el muro y actuar a baja velocidad (habla de máx. 200 r.p.m.) para evitar el recalentamiento de la muestra y, por tanto, la pérdida de humedad.
 - o En el caso de un muro inestable, conviene que se realice la extracción mediante martillo y cincel.

En construcciones modernas que son bastante uniformes de humedad, basta con tres muestras tomadas en cualquier lugar, a la cota de 1m. sobre el pavimento, por cada muro maestro, previendo una toma por cada 5 ó 6 locales o por cada planta. En grandes construcciones se reduce la proporción de tomas.

- o En antiguas construcciones se elegirá una vertical en un muro para examinar y sobre esta vertical se tomarán muestras en número de 3, mínimo a 0,4-1.40-2,40m del pavimento. Esta medida es eminentemente práctica ya que a 0,40m la extracción es cómoda y a 2,40 el operario no necesita escalera para alcanzar la zona de extracción.

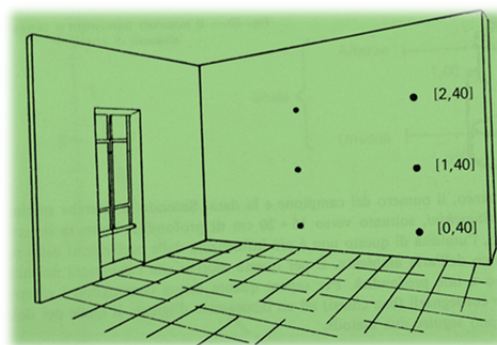


Fig. 4.6. Altura de la toma de muestras.
(Massari & Massari, 1985) (Fig. 19)

³⁷Mr. Giovanni Massari y Mr. Ippolito Massari, son ingenieros, el segundo hijo del primero, miembros del I.C.C.R.O.M. (Centro Internacional para la Conservación y la Restauración de los Bienes Culturales), con sede en Roma. Han participado en la intervención de multitud de edificios singulares en todo el mundo y han participado en investigaciones sobre humedades en gran cantidad de obras significativas por encargo de organismos como el gobierno Italiano, UNESCO, O.N.U., Siria, Jordania, Egipto, etc. Su libro: Risanamento Igienico dei Locali Umidi (Ulrico Hoepli Editore, S.p.A. Milano 1984) es un punto de referencia en el análisis y comportamiento del agua en muros.

- Para tomas en pavimento se debe tomar la muestra por debajo del pavimento existente.
- Las muestras se analizarán mediante el método ponderado o por el método del alcohol³⁸.
- Se representa la humedad en una gráfica que será uniforme en edificios nuevos o modernos, e irregular en edificios antiguos. Representación que denomina: *diagrama de la sección húmeda (diagramma della sezione umida)*³⁹, como resultado del análisis porcentual de la humedad contenida en el muro. Se pueden trazar sobre una sección vertical del muro el diagrama de las dos caras del muro, incluso del pavimento. Sin embargo no suele ser necesario realizarlo sobre el sofito.

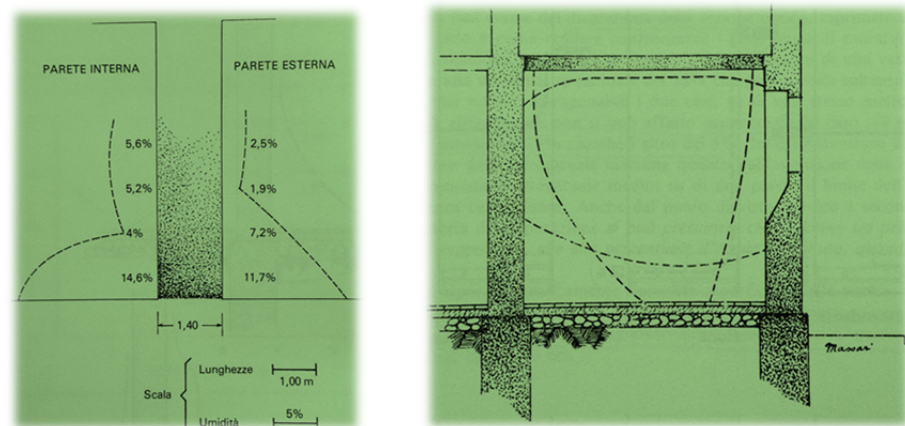


Fig. 4.7. Diagrama de la sección húmeda de un muro. (Massari & Massari, 1985). (Fig. 24 y 25)

- Si debido al contenido de sales la diferencia de valor de contenido de humedad existe, el error no tiene importancia práctica porque el muro está igualmente húmedo y dañado con un valor de humedad contenida con y sin sales (esta valoración es idéntica a la que realiza el Prof. T. Oxley).

Conclusiones:

- La toma de datos en superficie y en profundidad puede ser especialmente útil cuando ambas mediciones no tienen relación alguna, es decir son muy dispares, p.ej. revestimiento de mortero al exterior húmedo y material al interior seco: corresponde a una condensación.
- Cuando realiza la extracción de muestras a 15-20cm de profundidad la humedad mostrada es la del interior del muro y no es válida a menos profundidad porque no valora la EMC ni la HMC del muro, ya que toma en la sección vertical la humedad dentro del muro.

³⁸ El método del alcohol es un método que antes se utilizaba para averiguar la humedad en áridos, simplemente pesando la muestra húmeda inicialmente, seguidamente empapándola de alcohol y quemando el alcohol se consigue evaporar el agua existente en la muestra. Por último se pesa la muestra, la diferencia es el contenido de humedad en gramos, a partir de ahí se puede calcular el % de contenido de agua en peso como:

$$\%H = \frac{P_H - P_S}{P_S} \times 100$$

³⁹ (Massari & Massari, 1985), pág. 50.

- Habla de muestras de pavimento para analizar el contenido de humedad en estos elementos. Los autores analizados anteriormente no tratan esto, no lo consideran, esto puede ser un error porque en casos determinados la humedad muro-suelo muestra la actitud de la humedad en un conjunto.

4.5. Prof. Francisco Ortega Andrade

El Prof. Francisco Ortega Andrade⁴⁰ en su libro Humedades en la Edificación (Ortega Andrade, 1994), establece que:

- Cuando se habla de humedad capilar no se trata de humedad superficial sino que en este tipo de humedad el núcleo del muro está sensiblemente igual que la zona más exterior del muro que soporta al revestimiento.
- Explica que los aparatos de medida y la toma de muestras deben atender a la ponderación de la humedad en el núcleo.
- Para realizar las medidas de contenido de humedad no sirven los medidores eléctricos por capacitancia y los de conductancia deben ir provistos de extensiones protegidas con las puntas libres para la correcta toma de contacto con la parte central del espesor del muro.
- Realizadas estas tomas se puede representar la topografía del gradiente húmedo del muro mediante curvas de igual grado de contenido de humedad.
- En estas “cartas de contenido de humedad” (Ortega Andrade, 1994), (pág 117) como las denomina tan acertadamente y que recuerdan a las cartas marinas donde también marca líneas de igual medida, pero de profundidad, deben hacerse constar la fecha de toma de muestras y medidas, por estar sus valores sometidos a cambios estacionales.
- Acepta y reconoce que estos “mapas” como califica de nuevo:
 - o darán una visión completa de la magnitud del problema
 - o permitirán entender las singularidades de este tipo de humedad
 - o es una ayuda en la elección del sistema a aplicar en la desecación de los muros y para definir el grado de intervención en la terapéutica a seguir.

Conclusiones:

- Al igual que el BRE, Prof. Oxley y G. Massari, el Prof. Andrade determina que es necesario tomar valores de contenido de humedad al interior del muro.

⁴⁰ El Prof. Francisco Ortega Andrade es Doctor Arquitecto, actualmente es profesor emérito en la Universidad de la Laguna (Tenerife, España), ha sido profesor en titulaciones como Arquitectura, Grado en Arquitectura, Master Universitario en Gestión del Patrimonio Artístico y Arquitectónico, Museos y Mercado del Arte, Master Universitario en Arquitectura y Acondicionamiento con Tecnologías de Comunicaciones para Hoteles Sustentables. Ha dado conferencias, impartido seminarios, participado en proyectos de investigación y escrito libros en particular el libro que trata el tema objeto de esta Tesis, Humedades en la Edificación. Editan s.a. Sevilla 1995.

- Cuando especifica que se pueden representar las curvas con el mismo contenido de humedad, habla de representar el gradiente de humedad. Si es así debemos interpretar que las muestras extraídas serán analizadas en cuanto a su contenido de *MC*, *EHC* y *HMC*, de donde, siendo consecuentes con lo especificado, se puede calcular el gradiente de humedad mencionado. Por lo tanto considera necesario realizar ensayos físicos para obtener estos datos.
- Para el Prof. Ortega Andrade el valor de este “mapa” o “carta” es de altísima ayuda, según se especifica en el último punto anterior.

4.6. Prof. Soledad García Morales

La Prof. Soledad García Morales⁴¹ en sus observaciones e investigaciones sobre humedades de capilaridad en edificación llega a la conclusión de que si en el edificio se cumplen las condiciones de estabilidad de temperatura y humedad relativa constantes durante una semana (en edificios históricos con muros de un cierto espesor y sin calefacción, esta premisa fácilmente puede cumplirse), con la ayuda de unos ábacos⁴² generados con ensayos de laboratorio que muestran el comportamiento hídrico del material constituyente de los muros a analizar, podemos llegar a delimitar las “zonas de contenido en humedad” que produce cada estado patológico en el muro al que afecta.

Para ello clasifica y describe las humedades con un criterio que le permite poder concretar los contenidos de humedad en los siguientes grados:

- Material seco
- Material “en equilibrio con su ambiente”
- Material “húmedo” (en zona de evaporación)
- Material “mojado” (se corresponde con aquél que se encuentra en la zona de intervalo capilar)
- Material “saturado”

Hay que añadir a esto la acción de las distintas formas de humedad del terreno sobre la base de las zonas que ellas producen en el muro.

Para ello hace una propuesta de un método de diagnóstico para las humedades de capilaridad-higroscopicidad, por fases, que resumido es el siguiente:

⁴¹ La Prof. Soledad García Morales es Doctora Arquitecta y profesora de la Escuela Técnica Superior de Arquitectura de la Universidad Politécnica de Madrid. Es especialista en diagnóstico de humedades en la edificación. Coordinadora del Módulo Gestión y Legislación en el Master de Conservación y Restauración del Patrimonio Arquitectónico de la ETSA Madrid. Tiene varias publicaciones sobre investigación en humedades en edificación. Su tesis doctoral fue un avance en el conocimiento del funcionamiento hídrico de los muros en edificación.

⁴² Con la ayuda de estos ábacos, la Prof. García Morales, establece que se puede deducir que “considerando la cantidad de agua que contenga la muestra del muro en las condiciones de temperatura y Hr del ambiente, se puede obtener la sollicitación hídrica a la que se encuentra sometido el muro”. (García Morales, 1995).

- FASE 1: Inspección: Crea una ficha de toma de datos específica (Fig. 4.8).
- FASE 2: Detección de focos de evaporación: Utiliza un termohigrómetro portátil para la toma y representación gráfica posterior mediante “planos de isohumedad”, delimitando las zonas afectadas por la presencia de agua. A partir de estos se establece el prediagnóstico (Fig. 4.10).

FICHA B

INSPECCION DE SINTOMAS

HAY MANCHA

SITUACION-LOCALIZACION

Afecta a muro exterior
Afecta a muro interior
Afecta a tabique interior
(de separación con...)
Afecta a muro doblado
Afecta a muro de carramiento
Afecta a muro de carga
Afecta a planta sótano o semisótano
Afecta a planta última o penúltima
Afecta a planta intermedia
Afecta a planta baja
Orientación del muro
Afecta al muro por dentro
Afecta al paramento por fuera
Afecta a proximidades de huecos en fachada
Existe proximidad de depósitos,
 piscina
 pozo
 cajas o rozas
Existe proximidad de redes de abastecimiento
Existe proximidad de redes de evacuación

MORFOLOGIA Y EXTENSION

Forma radial, con núcleo, y redondeada
Forma de franja horizontal (zócalo o rodapie)
Forma de franja vertical
Mancha continua y extensa
Mancha puntual
Reproduce la forma de algún elemento constructivo
Reproduce la forma de alguna conducción

FORMA DE APARICION Y PENETRACION

Coincide con lluvia
Coincide sólo con lluvia fuerte o lluvia-viento fuerte
Es permanente (puede ser con pequeñas oscilaciones estacionales)
Manifiesta cambios estacionales importantes
Aparece bruscamente, o con un principio claro
Aparece o aumenta con descargas de algún aparato
Penetra con presión
Gotea el muro o la pared (muro mojado, saturado)
No gotea (muro o pared húmedo)
Penetra de forma continua
Penetra a rachas

OTROS SINTOMAS

Hay moho, hongos, algas, etc...
Hay eflorescencias
Olor a desagüe, fecales, etc
Olor a moho
Hay alteración o disgregación de material, revocos, etc
Hay sólo despegues de pintura, barnices, papel... (acabados) pero
 la base se conserva

Fig. 4.8. Ficha de inspección previa. (García Morales, 1995)

- FASE 3: Comprobación del prediagnóstico: realizando un muestreo de materiales y determinando su contenido de humedad que denomina como *humedad original* h_o .
- FASE 4: Comparación del dato obtenido del muro: h_o con el ábaco calculado de cada material extraído del muro y su homónimo material nuevo comparativo. Para ello realiza toma de muestras del muro a analizar y de materiales nuevos similares a los que someterá al mismo ensayo para comparar. En la toma de muestras de materiales nuevos para confeccionar los ábacos de comparación, establece unos materiales que corresponden a los más característicos de la obras que analiza: ladrillo de tejar, piedra arenisca de Salamanca, piedra caliza de Valladolid y Colmenar, piedra marés de Ibiza, morteros de cal con dosificaciones que fija en función de la relación agua/cal+árido, morteros de cemento portland en función de la relación agua/conglomerante+árido, morteros de reparación predosificados industriales Naturstein y yesos.
- FASE 5: Análisis simplificado de los datos de todas las muestras mediante una gráfica x/y que compara la humedad de equilibrio con la humedad inicial h_o . (Fig. 4.9).

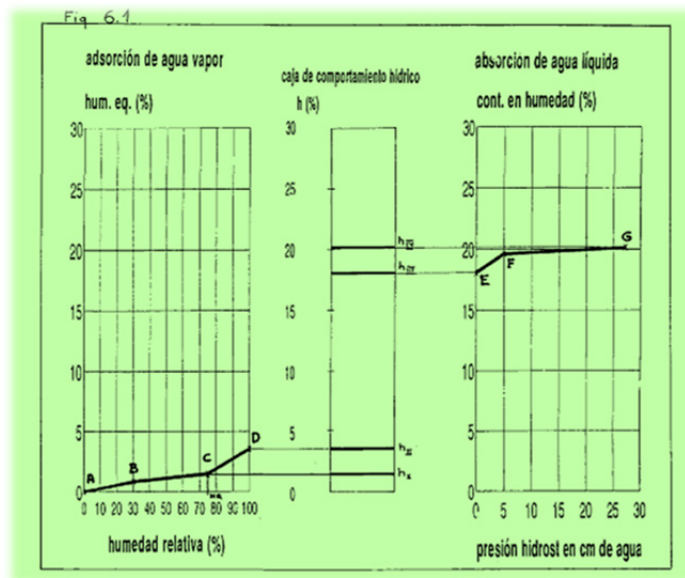


Figura 4.9. Ábacos y "Diagrama de caja" de absorción de agua de una muestra. (García Morales, 1995)

Conclusiones:

- La validez de los ábacos de comportamiento del material realizados en laboratorio, tienen la limitación de que al estar utilizando materiales que no son idénticos a los existentes en el muro el comportamiento puede diferir del original del muro. La posible divergencia entre los datos del material del muro y del material utilizado en laboratorio no está considerada. La comparación puede ser aceptable pero no deja de existir una diferencia, importante en algunos casos, entre el original y el nuevo comparable. La gran diversidad y variabilidad entre los materiales nuevos y entre los existentes para control, incluso entre sí mismos, podría invalidar cualquier ensayo que generalice los valores obtenidos, sin embargo, mientras no existan otros procedimientos de control, podemos aceptar este tipo de control.

- Para ensayos en materiales nuevos no considera el valor que puede aportar la puesta en obra y sus variables: la acción del personal laborante, temperatura y humedad ambiental, viento dominante, edad del endurecimiento en conglomerantes, etc. Estos datos pueden hacer que el ensayo no sea extrapolable por la citada variabilidad.
- Para la utilización de muestras en laboratorio para conformar sus ábacos (Fig. 4.9), la Prof. García Morales expresa que la extracción de muestras en ladrillos es menos agresiva que en fábricas de piedra, elementos esculturales y aplacados de piedra. Luego esto puede ser una limitación en la realización de un análisis completo de un muro que se componga de varios materiales distintos (zócalo de piedra natural, hoja de ladrillo posterior, revestimiento de yeso o mortero superior).
- No valora la humedad del revestimiento, solo considera la humedad en el interior del muro. No considera ni analiza suelos.
- El estudio reviste complejidad y largo tiempo de ejecución, no tiene validez inmediata.
- En su estudio de humedades de la Iglesia de San Salvador de Toro (Salamanca, España) confecciona un plano que denomina “mapa de isohumedades específica”, en el que refleja valores de %Hr cercano a los muros a fin de comprobar si existe algún foco de producción de vapor de agua, localizando dos focos. No detalla cómo lo rea-

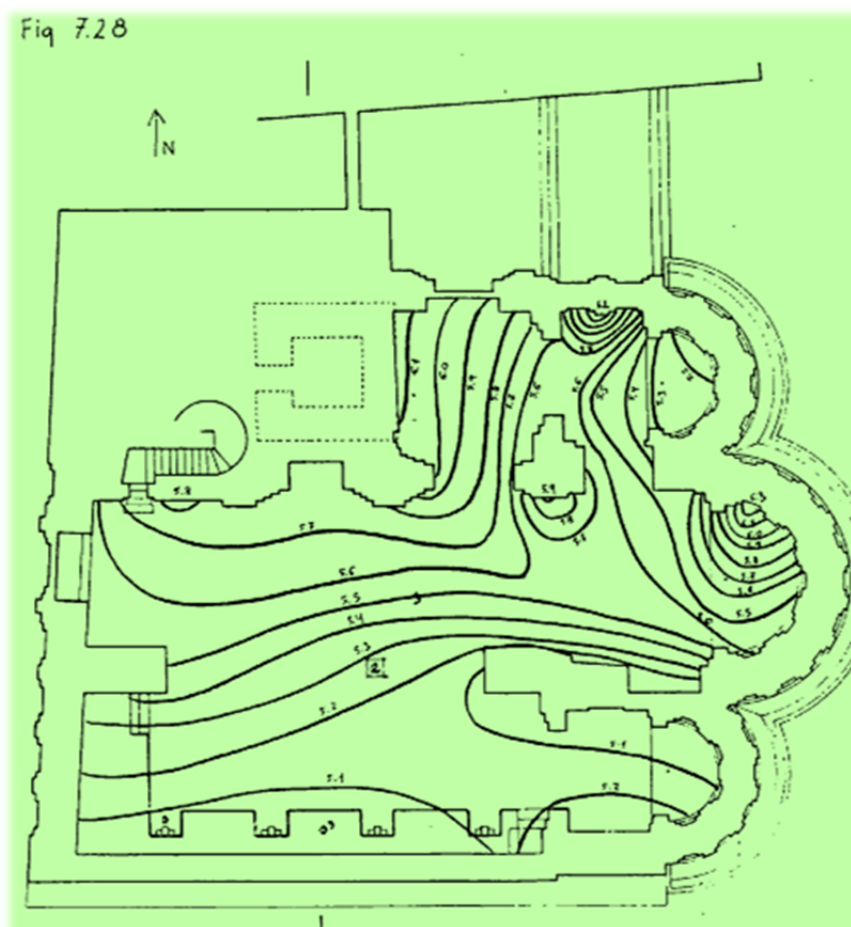


Fig. 4.10. “Mapa de isohumedades específica” del ambiente en la Iglesia del Salvador de Toro (Salamanca, España) (García Morales, 1995)

liza, no especifica qué puntos toma y no explica cuánto tiempo transcurre desde la primera toma hasta la última (dato que puede invalidar este ensayo si la diferencia de temperatura y %Hr de inicio a fin es significativa. P.ej. en verano comenzando muy pronto antes de las 9 a.m. y terminando sobre las 12 en un clima mediterráneo la diferencia puede estar alrededor de los 8°-10° C y entre 20-30% Hr). Tampoco especifica como une los puntos de igual %Hr, ni que procedimiento utiliza. Aquí la subjetividad vuelve a ser grande como en el caso de las curvas del Prof. Oxley y, por tanto, el error también grande (ver comentario en las CONCLUSIONES en la descripción de los casos del Prof. Oxley y del Prof. Angelo Salemi). (Fig. 4.10).

- Este procedimiento no permite el realizar un mapeo de humedades en los lienzos de los muros ya que no se extrae información de una relación organizada de puntos, sino que simplemente este procedimiento se concreta en la determinación de ¿qué tipo de humedad contienen los muros: higroscópica, condensación, capilaridad?. Por tanto la consideración de cuál es la causa de la afección es difícil de determinar si no se especifican los contenidos de humedad por zonas ni por partes del muro.

4.7. Ejemplo de diagnóstico para el Patrimonio Construido. Palacio de Belvedere en San Leucio (Caserta, Campania, Italia). Vincenzo Compare, Marilena Cozzolino, Elisa Di Giovanni, Paolo Mauriello.

Sig. Vincenzo Compare, Sig.ra. Marilena Cozzolino, Sig.ra. Elisa Di Giovanni, Sig. Paolo Mauriello⁴³ en la I Conference Diagnosis for the Conservation and Valorization of Cultural Heritage, celebrado en Nápoles del 9 al 10 de diciembre de 2010, expusieron los resultados de su investigación para realizar un control de las humedades existentes en un muro donde se sitúa una pintura al fresco de gran valor en el denominado Baño de María Carolina de Austria en el Complejo Palacio de Belvedere en San Leucio (Caserta, Región de Campania, Italia)⁴⁴

Hacen hincapié en que la representación adecuada del estado de conservación de un patrimonio cultural constituye un elemento primordial del conocimiento con el fin de garantizar el éxito de un proyecto relacionado con su valoración e intervención.

Sus conocimientos e investigaciones les ha permitido desarrollar un procedimiento que les facilita el uso de técnicas geofísicas, métodos geoelectrónicos GPR no invasivos (tal técnica es ecológica, no destructiva y de alta resolución) para la mejor comprensión de los problemas relacionados con el patrimonio cultural.

⁴³Sig. Vincenzo Compare, Sig.ra. Marilena Cozzolino, Sig.ra. Elisa Di Giovanni, Sig. Paolo Mauriello, son investigadores de la Università degli Studi del Molise (Campobasso, Italia), Dipartimento di Scienze e Technologie per l'Ambiente e il Territorio.

⁴⁴ El Palacio Real de Caserta y su parque, están incluidos por la UNESCO en la World Heritage List desde 1997.

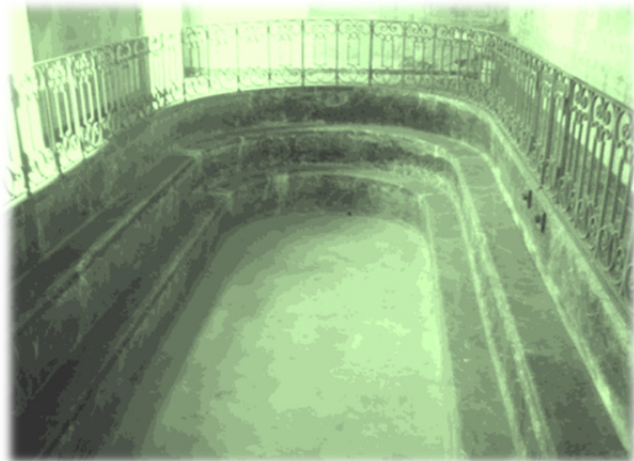


Fig. 4.10. Baño de María Carolina de Agsburgo en la Residencia Real de San Leucio (Caserta, Italia)

Esta tecnología, en su desarrollo actual, permite el análisis de la homogeneidad de estructuras murarias, el estudio del agrietamiento de masas constructivas, análisis de aguas en el terreno y, en general, el estudio de la conservación de monumentos y edificios históricos.

A través de la resistividad eléctrica recogen información sobre las superficies investigadas: distinguiendo elementos constituyentes del muro, su homogeneidad, incluso la distribución de la humedad por su interior.

Así en su Informe especifican que: “Para medir la resistividad del suelo se aplica normalmente un dispositivo de cuatro electrodos (cuádruple). Dos electrodos se utilizan para inyectar una pequeña corriente “ I ” en la superficie y otros dos para medir la diferencia de potencial $\Delta\phi$ en la superficie. El valor de la resistividad aparente ρ_a se puede determinar multiplicando la impedancia: $\Delta\phi/I$, por un factor geométrico que depende del desplazamiento de los cuatro electrodos en la superficie investigada. Sin embargo la resistividad aparente es generalmente diferente de la resistividad real, debido a que en un material no homogéneo está influenciado de diferentes volúmenes, que tienen diferente resistividad. El resultado es que ρ_a es una media volumétrica de las resistividades calculadas a través de una función ponderada compleja dependiendo de los cuatro electrodos del dispositivo y de la forma en que se utiliza. En las aplicaciones de superficie cerca del dispositivo más adecuado es el dipolo-dipolo (DD), debido a su capacidad para así delimitar cambios laterales de la resistividad y perfiles DD es una manera adecuada para adquirir datos” (Compare, Cozzolino, Di Giovanni, & Mauriello, 2010).

Este baño de grandes dimensiones, a modo de pequeña piscina, dispuesta en el interior de una sala del Palacio, tiene en sus paredes pinturas realizadas al fresco, en proceso de deterioro. Se plantearon recoger información de la razón de su estado con elementos lo menos traumático para estas pinturas. Para ello se llevaron a cabo (se transcribe directamente de su informe):

- Prospecciones geofísicas formando un conjunto de perfiles dipolo-dipolo axial, vertical y horizontal, tomados directamente del paramento y con el objetivo de llegar a entender cuáles son las razones del excesivo contenido de humedad que lo estaba dañando.

Para adquirir datos muy rápidamente, utilizando esta configuración de dipolos, se sirvió de un sistema de multielectrodo capaz de seleccionar automáticamente el cuádruple adecuado a lo largo de la línea de perfilado, con el fin de medir en toda la combinación de electrodos preparada.

- La inversión de un conjunto de datos ρ_a recogidos por la técnica de campo de perfiles de DD descrito, da lugar a una representación en dos dimensiones (2D) DD ERT. Si se reúne un conjunto de perfiles de DD paralelas, como lo hicieron en este caso, la inversión del conjunto correspondiente ρ_a proporciona un conjunto de datos en tres dimensiones (3D) DD ERT. El método de tomografía de probabilidad tridimensional fue sugerido como una herramienta para detectar la presencia y resaltar la geometría de los elementos enterrados responsables de los valores ρ_a medidos en la superficie libre. A diferencia de los algoritmos estándar de inversión de datos, este método sigue esencialmente un enfoque probabilístico, totalmente independiente de la información a priori.
- Se definió un sistema de referencia cartesiano (x, y) del plano que coincide con la pared del fresco. El origen se situó en el lado izquierdo, en la parte superior de la superficie de la x, y (figura 4.12), y el eje de las z positivo hacia el exterior, hacia delante, y z negativo hacia el interior. El ensayo geoelectrico se llevó a cabo a lo largo de los 21 perfiles, dispuestos de la siguiente manera (figura 4.12):
 - o 17 perfiles verticales y paralelos se realizaron en la pared, de izquierda a derecha y con una distancia variable entre ellos. El origen de las líneas estaba en la parte superior del fresco y los puntos de toma estaban distanciados 0,5 m de la parte superior y del límite inferior de la pared. A lo largo de cada perfil, se instalaron 13 electrodos de difusión dipolar y se fijaron a 0,25 m, alcanzando una longitud total de 3 m.
 - o 4 perfiles horizontales y paralelos se realizaron desde la parte superior a la parte inferior del fresco y el origen se situó a una distancia de 0,25 m desde el lado izquierdo. A lo largo de cada perfil, 43 electrodos de difusión dipolar se fijaron cada 0,25 m, para alcanzar una longitud total de 10,5 m.

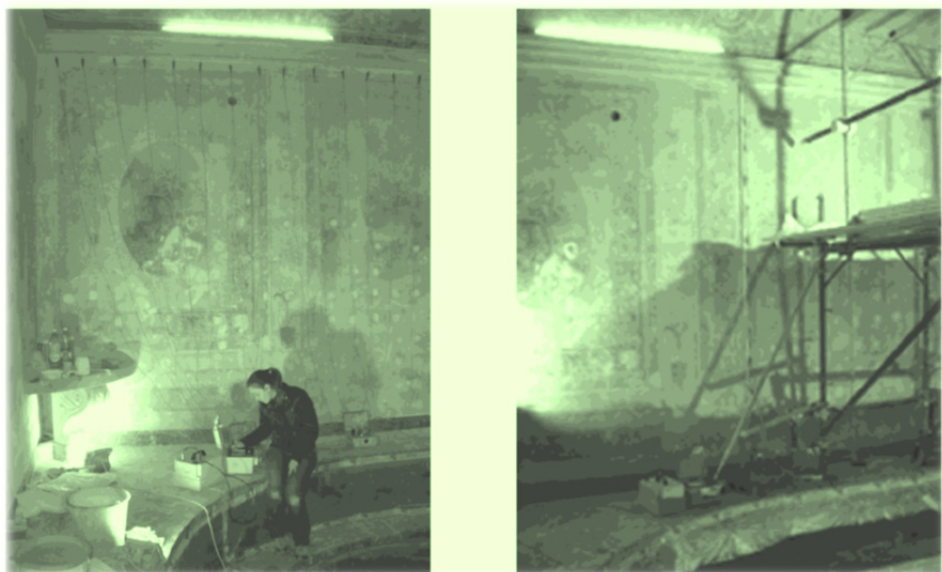


Fig. 4.12.: Formación de un perfil horizontal (izquierda) y un perfil vertical en el aire (derecha)

- Todo el conjunto de datos de resistividad aparente obtenida fue procesada siguiendo un procedimiento de tomografía 3D que permitió obtener una “tomospace” del volumen investigado, poniendo en la distribución tridimensional de las zonas en las que existe una mayor concentración de la humedad.
- La forma de identificarlo fue tomando los valores bajos de resistividad que representaban presencia de agua al ser un material conductor.

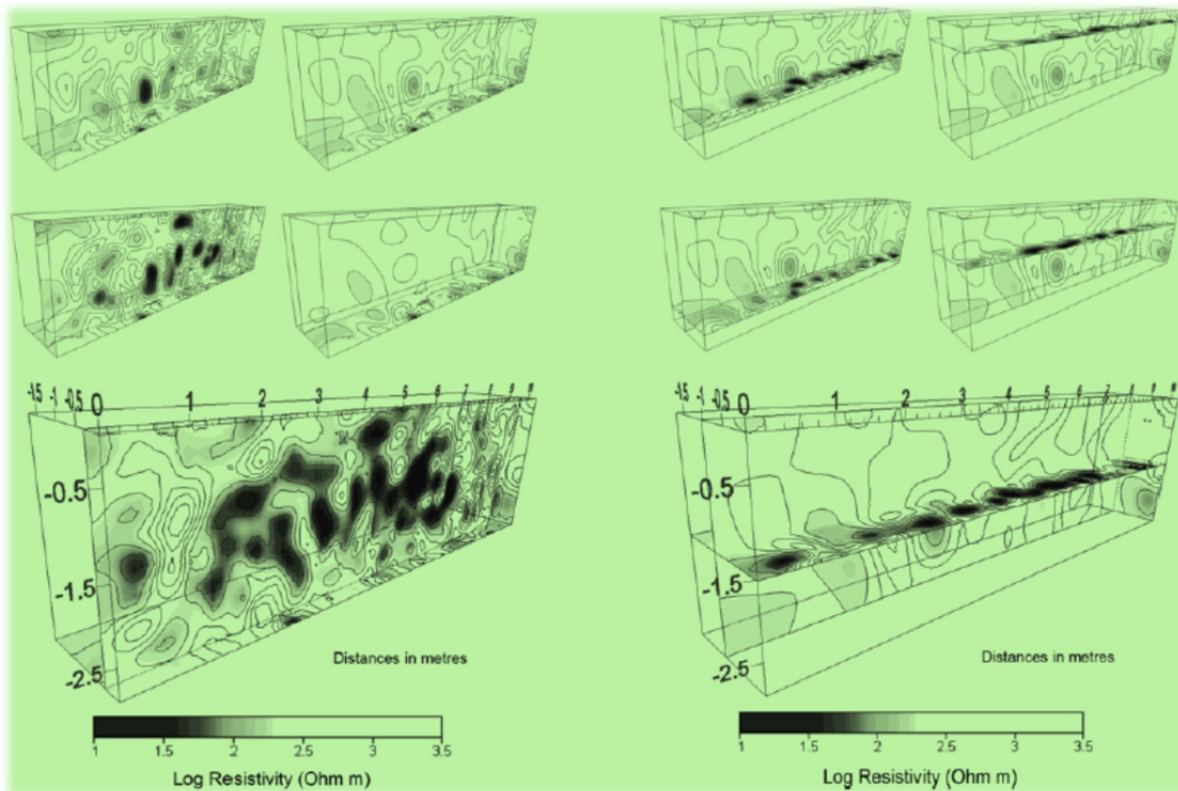


Fig. 4.13.: Vista en perspectiva de la tomospace usando diferentes estilos de dibujo. Las secuencias tienen el propósito de poner en evidencia la distribución tridimensional de las zonas en las que existe una mayor concentración de la humedad (izquierda). Tomografía geoeléctrica con una vista secuencial de las secciones horizontales en el desplazamiento desde el origen del eje x.

- Su conclusión: Teniendo en cuenta la sección de la cámara de aire existente detrás de la pared (figura 4.14. parte inferior), la hipótesis más probable es que debajo de ella hay una circulación de fluido coherente. Esta zona (indicado con una flecha en la fig 4.14) está espacialmente correlacionada con la zona conductora que se evidencia en las tomografías eléctricas.

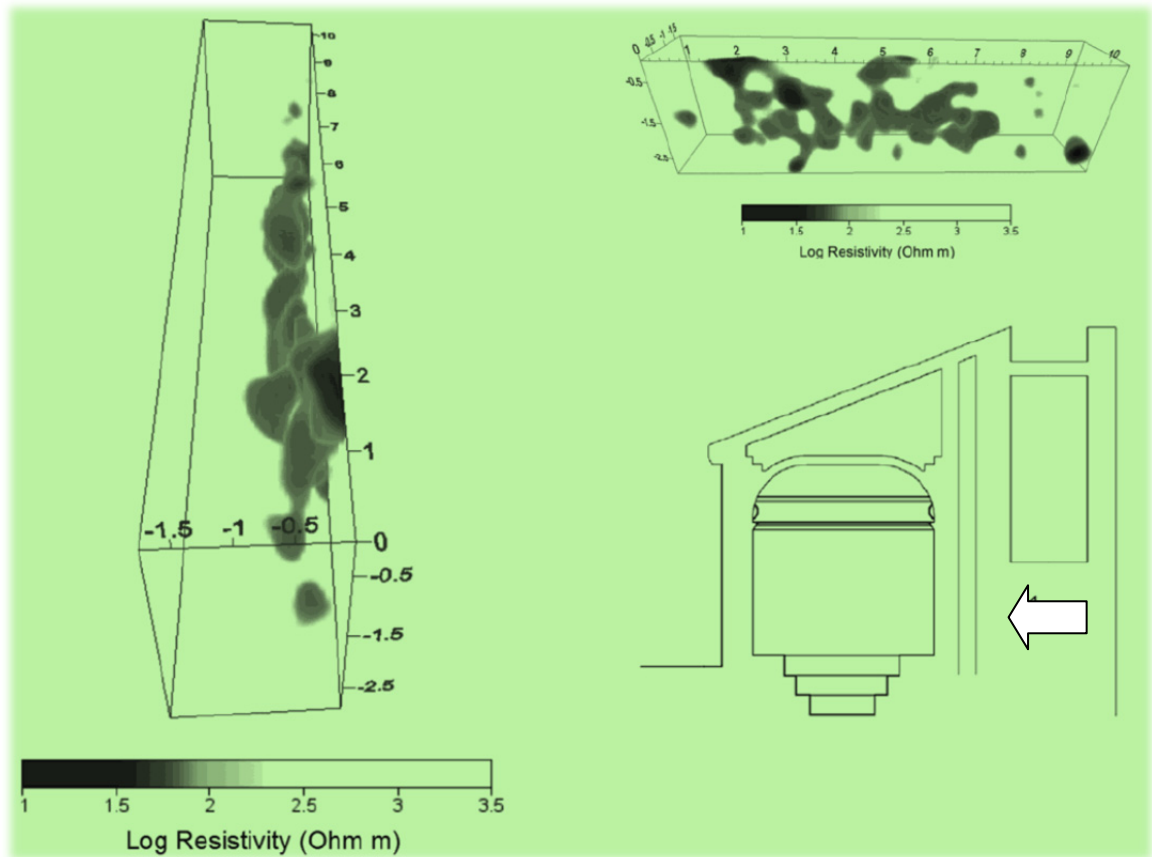


Fig. 4.14. Imagen de tomografía tridimensional limitada al núcleo incluyendo menores valores de resistividad a $2.25\Omega\text{m}$, bajo un punto de vista lateral (izquierda). Imagen de tomografía tridimensional limitada al núcleo incluyendo valores de resistividad menores $2.25\Omega\text{m}$, bajo un punto de vista frontal (arriba) y vista lateral del cuarto de baño de María Carolina de Augsburg (derecha abajo). (Compare, Cozzolino, Di Giovanni, & Mauriello, 2010)

Conclusiones:

- Ciertamente el procedimiento utilizado es nada invasivo.
- No explica el tiempo transcurrido desde la primera toma horizontal o vertical hasta la última toma. Se entiende que no debe ser muy alta. Quizás será más entretenida y laboriosa la preparación del aparataje de control que el tiempo empleado en la ejecución del ensayo.
- No habla de la posibilidad de realizar este tipo de ensayos en suelos. Entiendo que puede revestir alguna dificultad en cuanto al movimiento de las “cuerdas” de sujeción de los dispositivos de los multielectrodos.
- No tiene contraste con ninguna referencia de que esos núcleos corresponden a zonas de mayor humedad. Faltaría haber realizado una prospección con alguna toma para contrastar datos. Parece que es inevitable en todos los casos el extraer muestras físicas y analizarlas. En este caso hubiese sido necesario tomarlas allí donde pudiera haber humedad y donde no la hubiera, para después cotejar los datos entre sí y con los resultados de las tomografías obtenidas.

4.8. L'Origine dell'umidità nella Basilica di San Vitale (Roma). Prof. F. Romanelli

El Prof. Francesco Romanelli⁴⁵ se plantea inicialmente en su Tesis de Laurea el problema de estudiar las causas de deterioro debido a la humedad en un edificio de interés histórico y artístico: la Basílica de San Vitale, en Roma, para posteriormente desarrollar esta Tesis hacia el estudio de las interacciones entre las variaciones climáticas y la envolvente interna del edificio, siempre con el fin último de determinar un diagnóstico como base para una intervención aplicada lo más posible a la realidad. (Romanelli, 2001).

Esta Basílica data del año 401 y ha sufrido variaciones durante los siglos XI-XIII y la última gran intervención en 1475. En este edificio se había realizado una intervención química de corte de humedades en uno de sus laterales en 1984, por esto consideraron con este estudio, la posibilidad de poder comprobar su eficacia realizando una comparación entre los dos muros (Fig. 4.15.). En 1991 se instala un sistema de calefacción por aire caliente.

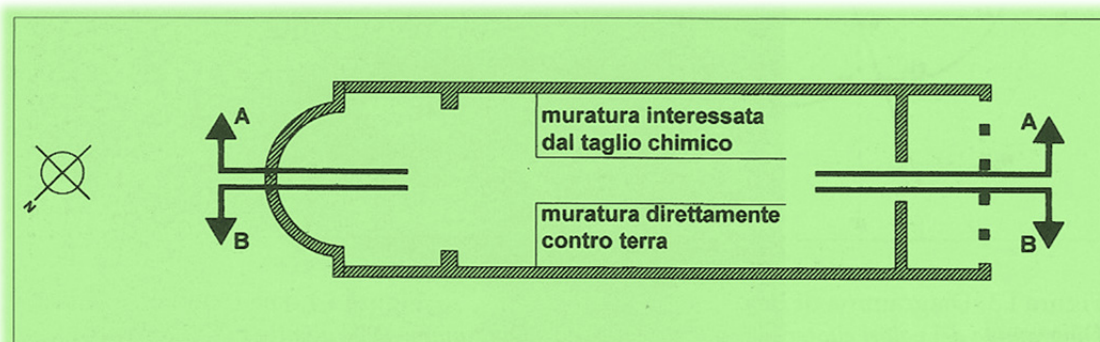


Fig.4.15. Planta esquemática de la Basílica de San Vitale (Roma). (Romanelli, 2001). Secciones AA, BB, en fig.4.16.

El estudio se realizó en dos fases:

- Primera Fase: toma de datos de los cambios de temperatura y %Hr del aire en condiciones no estacionarias y por un tiempo que va desde Mayo a Diciembre de 1990. El material fue analizado y procesado prestando especial atención a la interfaz pared-ambiente, a fin de deducir los ciclos físicos a las que se somete la pared y, en particular, la capa de aire formada a partir de la superficie a la intemperie. Para ello:
 - o Estudia y valora, como premisa, la aportación de la exposición a la radiación solar, calculando los diagramas de los valores heliotérmicos (valoración de la radiación directa del sol sobre los muros en ausencia de construcciones limítrofes) y de la cantidad de calor recibido en los muros en sus distintas orientaciones en los distintos meses del año.

⁴⁵ Prof. Francesco Romanelli, es ingeniero. Ha sido profesor asociado en el Istituto Universitario di Architectura di Reggio Calabria (I.U.S.A.) y en la Facoltà di Architettura di Algeri. Actualmente enseña Tecnología dei Materiali da Construzione en la Facoltà di Architettura dell'Università degli Studi di Roma "La Sapienza". Su actividad profesional ha estado dirigida siempre hacia la profundización de la temática relativa a la estabilidad y la humedad de los edificios sobre todo en los edificios del Patrimonio Histórico. Tiene publicaciones sobre restauración arquitectónica y sobre las características y el comportamiento de los materiales de construcción.

- Instrumentación: 5 termohigrógrafos de pelo, con registro de datos en papel (situados al interior y exterior del edificio), 1 psicrómetro (termómetro de bulbo seco y bulbo húmedo), 1 kit Protimeter con humidímetro e higrómetro con los que se realizan mediciones de temperatura y humedad en superficie. Como conclusión de estos datos refiere los plano de humedad en superficie en el edificio en la cara interior de los muros.
- Tratamiento y elaboración de los datos obtenidos analizando la respuesta térmica del edificio: inercia térmica, retardo térmico, estratificación vertical de la temperatura y humedad del ambiente.

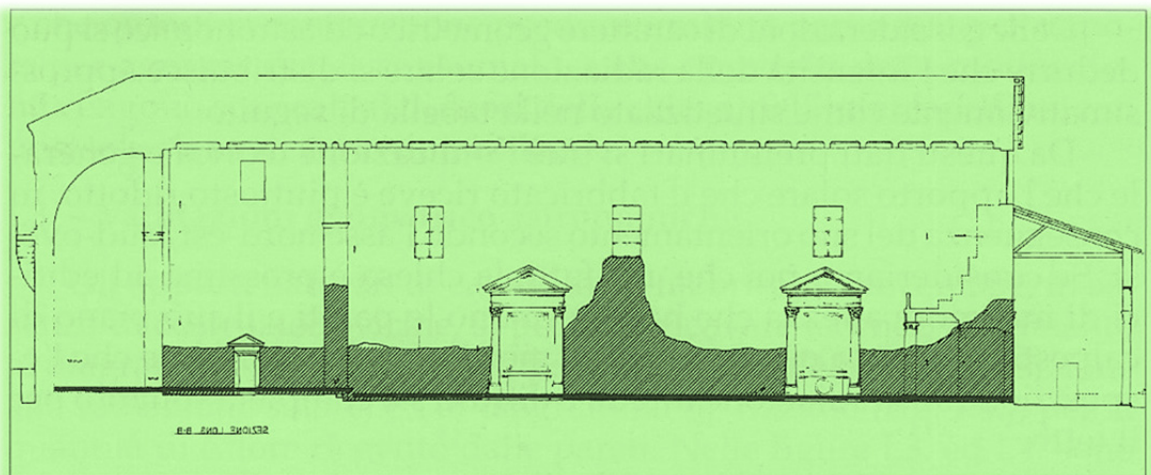


Figura I.5. - Sezione longitudinale A-A: mappa del degrado.

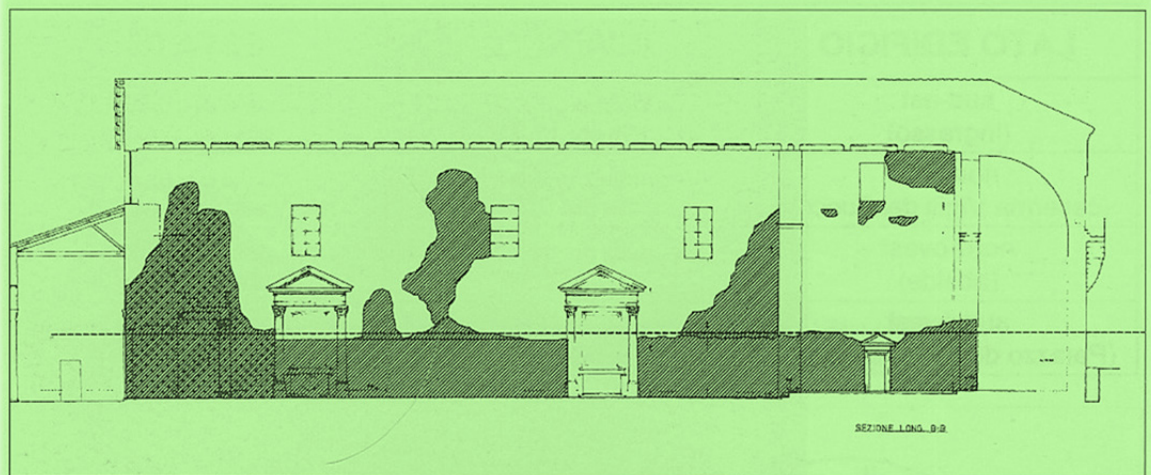


Figura I.6. - Sezione longitudinale B-B: mappa del degrado.

Fig. 4.16. Representación de los contenidos de humedad en muros. Iglesia de San Vitale. Roma. (Romanelli, 2001).

- Segunda Fase: Período de Febrero a Octubre de 1991 y siempre con el objetivo de estudiar la interfaz pared-atmósfera interna, para comprender si la humedad existente es debida a la capilaridad ascensional o a la presencia de condensación superficial

o interna del muro. Se emplea una nueva instrumentación para medir simultáneamente, y con las mismas sondas, los diversos cambios termohigrométricos tanto en el ambiente como en los muros.

- Instrumentación: 14 sensores para la humedad de la temperatura y 14 sensores para la medida de la humedad en los muros. Estos están insertados en los muros en perforaciones de 3cm de diámetro y 10cm de profundidad, conectados a un ordenador que registra los datos que recoge cada sonda cada cierto tiempo. Estos sensores se constituyen como electrodos de control a base de condensadores capacitivos al modo de los medidores de humedad capacitivos descritos en el Cap. 3.8.3. A la vez registra también la temperatura y humedad relativa del aire con 2 termohigrómetros: 1 para la medida de la temperatura del aire y 1 para la medida de la %Hr del aire.

Conclusiones:

- Su planteamiento de partida ha sido adoptar procedimientos de diagnóstico y dispositivos que reducen al mínimo el daño, al objeto de permitir la repetitividad del análisis de las muestras de forma casi idéntica, en el sentido galileano de la investigación "científica".
- El uso de los aparatos en la primera fase, como termohigrómetros de pelo y papel y el kit Protimeter digital, reconoce que tiene grandes limitaciones como es la imposibilidad de medir a la vez temperatura y humedad de muros y en el ambiente, porque el ambiente lo mide con el termohigrógrafo y en los muros con el Protimeter. Otra dificultad fue la falta de continuidad en las medidas tomadas por las dificultades prácticas en la introducción de los valores obtenidos en un software en orden de elaborarlo posteriormente (esto es debido a que hay que tener en cuenta que, por las fechas de ejecución de estos ensayos y la tecnología empleada, la información se recogía en papel, p.ej. en los termohigrómetros de pelo utilizados).
- Como se puede comprobar en la Fig. 4.16, los datos obtenidos de cantidad de humedad tomados con el Protimeter están referenciados en un plano en el que se grafía en el alzado una sola superficie que engloba toda la humedad. Después de una valoración "a vista"⁴⁶ indica que tipo de humedad es: capilaridad ascensional, filtración lateral (no posibilita la existencia de una humedad capilar lateral), condensación, goteras... pero no indica si es de saturación, si está tomada por puntos, ni de qué manera están plasmados los datos tomados, ni cómo se obtienen las curvas, etc. Como ya se referenció en la investigación descrita por el Prof. Salemi: el grafiado de las curvas de humedad tomando como único valor el superior, considerado éste como el de máxima altura alcanzada por la humedad capilar y a

⁴⁶ (Romanelli, 2001), pág 19.

partir de ahí hacia abajo la humedad tomamos que toda la humedad es la misma, es muy avezada e incierta pues pueden existir valores intermedios de contenido de humedad, incluso zonas de mayor contenido de humedad debido a concentraciones de sales, que en este caso es obvia por la existencia de yesos en los revestimientos y pinturas al fresco sobre ellos.

- El procedimiento, en la segunda fase, de toma de valores de temperatura y humedad en los puntos de control, recuerda a los utilizados por B.H. Vos en su análisis en la Catedral de St. Bavo (Haarlem, Ámsterdam, Holanda) (Boekwijt & Vos, 1970). Los dispositivos condensadores electrónicos de control mantienen el mismo principio que en aquel, así como el procedimiento de instalación y toma de datos es muy similar.

4.9. Study of rising dampness problem in housing area in Klang Valley, Malaysia (Hanif, Othuman Mydin, & Utaberta, 2015).

Study of rising dampness problem in housing area in Klang Valley, Malaysia, es una investigación de los Prof. Muhamad Hanif Hassan, Md Azree Othuman Mydin y Nangkula Utraberta⁴⁷, sobre los problemas de humedad existentes en viviendas de tipo residencial sitas en una zona concreta del Valle Klang, valle que incluye el distrito de Kuala Lumpur, sus suburbios y las pequeñas poblaciones limítrofes. Pertenece al estado de Selangor (Malasia).

Un ambiente caliente y húmedo como el de Malasia hace que el problema de la humedad en las viviendas sea importante. Con estas características atmosféricas el que aparezca el problema de la humedad de condensación parece ser el más previsible. Sin embargo, estos investigadores se centran en los problemas de humedad de capilaridad y sus consecuencias. En este análisis de su trabajo me centraré en lo concerniente a la representación para la identificación de la humedad que realizan.

Procedimiento de trabajo:

- Inspección visual: revisión de toda la vivienda por el interior y exterior de ella, detección de zonas húmedas y prediagnóstico de las causas de las humedades existentes sobre la base de los síntomas detectados: desconchados de pinturas, manchas, abombamientos en la pintura y existencia de hongos y moho.

⁴⁷ Mr. Muhamad Hanif Hassan y Md Azree Othuman Mydin, son profesores de la School of Housing, Building and Planning, Universiti Sains Malaysia (11800 Penang, Malaysia) y Mr. Nangkula Utraberta es profesor en el Architecture Department, Faculty of Design and Architecture, Universiti Putra Malaysia, Malaysia.

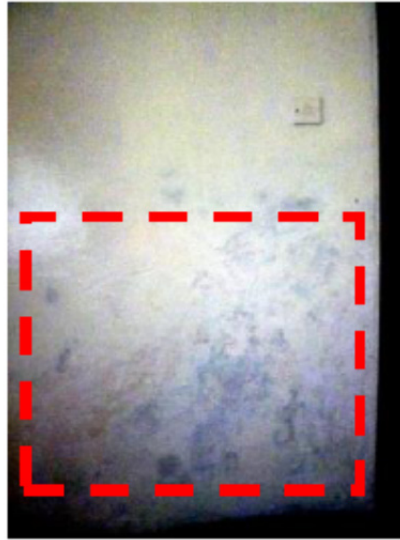


Fig.4.17. Zona de control definida por su aspecto. (Hanif, Othuman Mydin, & Utaberta, 2015)

- Prueba no destructiva: detectadas las zonas húmedas en paredes, realizan el control de contenido de humedad mediante el uso de un dispositivo medidor de humedad TRAMEX Concrete Encounter CME4⁴⁸, y el control de la temperatura superficial también en el punto de control mediante un medidor láser de temperatura superficial.



Fig. 4.18. Medición de control de temperatura y humedad superficial por puntos. (Hanif, Othuman Mydin, & Utaberta, 2015)

- Análisis de los datos: La investigación se realizó en nueve viviendas en la zona del Valle Klang. Los datos de humedad eran recopilados usando una cuadrícula de 200x300mm alrededor de la zona afectada y controlada con el medidor de humedad y el termómetro.

⁴⁸ Este dispositivo TRAMEX Concrete Encounter CME4 es un medidor capacitativo que da el contenido en humedad en el punto tomado. Al igual que los dispositivos descritos en el Cap. 3.8.3. dispone de una escala numérica y otra escala en colores: rojo, amarillo y verde, tarada a la escala numérica.

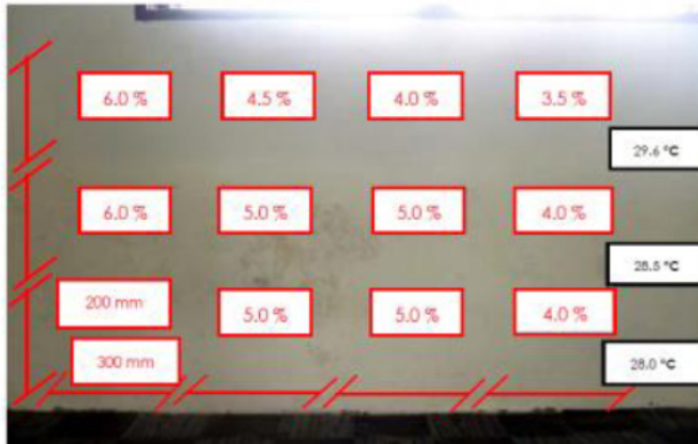


Fig.4.19. Mapeo realizado en zona de control. (Hanif, Othuman Mydin, & Utaberta, 2015)

Conclusiones:

- Al no extraer muestras los datos mostrados no están contrastados con valores reales obtenidos de muestras analizadas. Esta era una premisa inicial: no realizar ensayos destructivos, sin embargo la validez del ensayo puede estar en entredicho porque los datos obtenidos pueden proceder de una contaminación por sales, aunque podría dudarse esto último ya que el medidor utilizado es capacitativo y al realizar lecturas a 20mm hacia el interior, los datos pueden proceder de zona no tan contaminada de sales porque la mayor concentración de sales se encuentra en el primer centímetro más exterior del revestimiento dañado (Fernández París, 1978).
- No están contrastados en Europa los valores de % de humedad entregados por el dispositivo medidor, aunque el fabricante norteamericano (EE.UU) garantiza que efectúa la medición hasta 12,5mm de profundidad y que cumple la norma ASTM F2659. Se corresponde con un medidor capacitativo.
El mapeo realizado está limitado a una pequeña zona concreta en la cual al elegirla por los daños que muestra es muy factible que tenga exceso de humedad, luego constataremos que es humedad en exceso pero no constataremos la causa, porque no permite contrastar otra información que pueda denotar las variaciones de contenido de humedad de la pared que, en definitiva, pueda aportarnos algún indicio del origen de esta humedad.

4.10. CONCLUSIONES GENERALES.

- Los trabajos expuestos coinciden todos ellos en que es necesario realizar controles para determinar la existencia de humedad en muros y el tipo de humedad que es, que son una ayuda imprescindible para realizar un mejor y más acertado diagnóstico para la intervención posterior.
- Algunos se centran en realizar controles determinativos en puntos concretos sin necesidad de hacer un estudio completo del lienzo de muro a observar. Esto es suficiente para ellos porque determinando la existencia o no de humedad capilar

ascensional, ya tienen elementos bastantes para tomar una decisión para intervenir y solucionar el problema de humedad existente en todo el muro aunque el problema lo hayan detectado en zonas concretas: lo generalizan a todo el muro.

- Otros realizan controles en paños completos de fachadas pero no diferencian los distintos contenidos existentes de humedad por zonas, donde, si diferenciáramos zonas con distinta cantidad de humedad, se podría discernir la existencia de mayor o menor humedad debido o a la higroscopicidad del material (por lo que se podrían descubrir zonas de concentración o de existencia de sales) o debido simplemente a la existencia de un mayor contenido de humedad por su mayor porosidad. Por tanto considero necesario determinar los distintos contenidos de humedad en los elementos a analizar plasmándolos gráficamente.
- Todos consideran que las sales son un elemento que interviene y modifica los resultados de control de contenido de humedad en las tomas y en las muestras extraídas, pero participo de la opinión del Prof. Oxley de que el hecho de la existencia de estas sales es una realidad indicativa del problema y que no por ello se debe de eliminar o despreciar el dato obtenido por ese contenido de sales, hay que considerarlo.
- En cuanto al análisis de pavimentos, suelos o soleras, nadie lo considera a excepción de G. Massari, aunque solo considera su contenido por zonas puntuales no lo trata en general, por lo que, en mi opinión, sería aplicable lo expuesto anteriormente en estas conclusiones para muros. Considero necesario el análisis de humedades en suelos fundamentalmente cuando estemos analizando lienzos de muro al interior del edificio, pues su comportamiento tiene consecuencias en el comportamiento hídrico del muro perimetral o contiguo a él.

5. PROCEDIMIENTO. METODOLOGÍA

5.1. Justificación y descripción del método.

Como ya se ha indicado, muchos daños en monumentos encuentran su origen en la presencia de humedad en cubiertas, soleras, pilares y muros. Las reacciones químicas y procesos bio-químicos son activados por el agua, el cual es un catalizador de las reacciones químicas. Por lo tanto la restauración de edificios y monumentos siempre es atendida mediante la adopción de medidas para evitar la penetración del agua en los elementos constructivos. El origen del agua, sin embargo, debe determinarse, pues es obvio que la humedad puede provenir de diferentes fuentes: condensación, agua de lluvia, succión de agua del terreno o la humedad higroscópica, y requiere diferentes medidas. Se puede aprender mucho si tenemos una idea de la distribución de la humedad y los cambios en el contenido de humedad en los edificios.

La medición del contenido de humedad y especialmente la distribución de la humedad puede ser de gran importancia. De los resultados de estas mediciones, pueden resultar acciones para prevenir el acceso de la humedad y por lo tanto evitar la destrucción de monumentos. Cabe señalar, sin embargo, que en muchos casos se encuentra la humedad debida no a un único aporte sino que puede proceder de varias fuentes, por lo que puede tener diferentes orígenes. Una buena interpretación de los resultados obtenidos de las mediciones es a menudo muy difícil. En esta investigación se describe una técnica de medición que permite al investigador obtener una idea de la distribución de la humedad y los cambios posibles en las estructuras murarias y suelos. Se discuten algunos resultados de las investigaciones.

La medición del contenido de humedad in situ, sin incurrir en algún daño a la estructura, no es fácil de conseguir. Se pueden obtener resultados precisos mediante la perforación y extracción de muestras para medir el contenido de agua mediante el proceso de la pesada y el secado, llamado sistema ponderal⁴⁹. El problema es, sin embargo, que este tipo de procedimientos de medición no es renovable y, además, en ocasiones, la humedad puede evaporarse de la muestra durante el proceso de perforación. Otros métodos también tienen desventajas, tales como la medición de la resistencia al calor de la estructura con los medidores de flujo de calor o con un dispositivo como la caja descrita en Cap. 3.7.2.: Tramex Hygrohood.

Durante los últimos 25 años se han desarrollado un número elevado de métodos no destructivos de medición de contenido de humedad. Algunos de ellos se basan, como ya se describió en el Cap. 3.8.3., en un cambio de la constante dieléctrica de los materiales como consecuencia de los cambios en el contenido de humedad. Otros métodos hacen uso de la absorción de partículas radioactivas o de radiación electromagnética.

⁴⁹ Norma UNI 11085:2003 Beni Culturali - Materiali lapidei naturali ed artificiali - Determinazione del contenuto d'acqua: Metodo ponderale.

Todos estos métodos dan más o menos cuenta confiable de la cantidad de humedad presente en la estructura. Sin embargo, no hacen con detalle la distribución de esta humedad en la estructura, ni tampoco en lo general se prestan para la medición continuada. Por estas razones, se intentó encontrar un método que careciese de estos inconvenientes.

En la práctica todavía hay otro problema; por ejemplo, si el sol está bañando una pared, los cambios de temperatura pueden ocurrir en la pared en similar magnitud a los de la medición. Para obtener una visión de la condición de humedad de un edificio o monumento, se debe utilizar entonces un gran número de sondas (Boekwijt & Vos, 1970) .

Hemos hecho un repaso a las técnicas de investigación existentes para cuantificar estas humedades según los trabajos realizados por investigadores reconocidos. Sin embargo todos ellos adolecen de que ninguno establece una relación entre los datos relativos de contenidos de humedad tomados en cada punto de control y la humedad real en peso en cada punto (que correspondería al valor de su contenido de agua en peso); se quedan solamente con el valor que le indica el instrumento de control, por lo que para interpretar estos datos, se obligan a realizar una abstracción de los valores obtenidos de tal manera que los deben de referenciar entre sí, a partir de un valor mínimo que corresponde a seco, el cual lo establece el mismo dispositivo medidor y que debemos de aceptar como válido. Por tanto, la interpretación es subjetiva del investigador y no es objetiva por no tomar valores reales: cuantitativos, sino relativos: cualitativos.

Otro inconveniente es la variación que puede aportar en estas mediciones el contenido de sales que se puedan contener en los puntos de control. Algunos discriminan estos datos invalidando esos valores por la variación en humedad que aporta la higroscopicidad de las sales. Sin embargo Oxley (Oxley & Gobert, 1994), aún reconociendo su importancia, no desprecia esos valores.

Además aquellos investigadores que sí realizan gráficas completas sobre muros (Romanelli, 2001) (Salemi, 2000), muestran valores englobados diferenciando únicamente zona húmeda y zona seca, sin graficar en la zona húmeda los distintos valores intermedios que pudieran existir.

Sería deseable establecer una relación entre los valores cualitativos obtenidos por un dispositivo medidor (a ser posible de bolsillo, manejable, de uso sencillo y coste asequible, p.ej. un medidor eléctrico por resistencia eléctrica o capacitancia), y el valor real del contenido de humedad.

De esto se trata esta investigación:

- Se diseña una red virtual de dimensiones 25x25cm. Cada punto de intersección corresponde a un punto de toma de valor de humedad.
- Se toman valores de contenido relativo de humedad con el humidímetro Protimeter.
- Se realiza una toma de muestras físicas, se analizan en el laboratorio y se calculan los valores de contenido real de humedad en % en peso (MC) y su valor de humedad higroscópica (HMC) y de equilibrio (EMC).
- Se formula una relación matemática expresa para ese muro o suelo, que refiere los valores cuantitativos de humedad real y humedad de equilibrio a los valores cualitativos del humidímetro. Se obtiene así un valor de MC y HMC real por cada punto de toma con el humidímetro, trasladando cada valor a su punto de control.

- Mediante procedimientos informáticos se trata la información para obtener las curvas que unen todos los puntos con igual valor de humedad conformándose las curvas isohídricas.

5.2. Toma de datos: proceso.

La toma de datos se realiza de la siguiente manera:

PASO 1: Toma de contacto con el elemento a analizar:

- Recopilación de información histórica, gráfica, documental y constructiva del edificio y, sobre todo, del muro o suelo a analizar. Análisis previo de su patología.
- Revisar la zona a controlar por ambas caras si fuera posible.
- Elección de la zona de control.
- Considerar el día, mes y estación anual meteorológica. Si la temperatura está por debajo de 5° C, puede que el agua contenida esté congelada, puede afectar a los datos y estos pueden variar, además se debe considerar si esta temperatura afecta al calibrado de los dispositivos de control.
- Determinar la orientación del muro. Dependiendo de su orientación, la afectación de la humedad varía.
- Establecer la hora de inicio del control, considerando la hora de salida del sol y la posible afectación al muro o suelo
- La zona de control deberá ser de medidas suficientes que permita realizar la mayor cantidad de tomas en el menor tiempo posible. De esta manera se evitan cambios en la Hr y la temperatura ambiental que puedan afectar a la superficie de control.
- Deberá considerarse si el sol va a afectar a esa superficie. El calentamiento de la superficie por zonas distintas afectadas por el sol, puede influir en los resultados. Si fuera así es conveniente elegir un día nublado.

PASO 2: Toma de datos

- Reportaje fotográfico necesario para realizar una posible posterior restitución fotográfica. Se archivan como referencia de contraste a las gráficas que se obtengan como resultado.
- Toma de datos gráficos en un croquis para realizar un plano de alzado con el máximo de detalle posible, reflejando todos los elementos existentes propios e impropios: puertas, ventanas, zócalos, cornisas, columnas, huecos, señales de circulación, placas de indicación de calle, farolas, cables, decoraciones (azulejos, letreros de locales), etc.
- Anotación de la fecha de actuación, hora, temperatura ambiental y Hr al comenzar la toma de datos.

- Toma de datos con el humidímetro, organizando un recorrido congruente sobre la malla virtual, que permita la ordenación, almacenamiento y tratamiento posterior de los datos tomados.
- Al finalizar la toma de datos: debe anotarse la hora, temperatura ambiental y Hr final.

PASO 3: Extracción de muestras.

- Observación y análisis de los datos obtenidos.
- Selección de los puntos de extracción. Aquí debemos ser exquisitos en la decisión y en la forma de extracción. La decisión de los puntos de extracción se debe corresponder con puntos de bajo valor, valor intermedio y valor alto de contenido de humedad. Cada valor elegido debemos de asegurarnos que se corresponde lo máximo posible con el valor tomado, evitando errores por aproximación, eligiendo aquellos valores donde perimetralmente a él los valores tengan un valor similar, así nos aseguraremos de la certeza en el valor. La muestra nunca se manipulará con las manos ni con ningún elemento que pueda variar su valor.
- Marcado de la zona del punto de extracción formando un cuadrado de máx. 5 x 5 cm, con un elemento cortante (cutter) que atraviese el revestimiento de pintura, si existe. Se procede a la retirada de la capa de pintura, así como aquellos compuestos que, visualmente, se entienda que puedan contaminar la muestra o no fueran deseables. La zona de extracción no excederá de la zona marcada. La profundidad será, preferiblemente, la correspondiente al revestimiento.
- Extracción de la muestra mediante procedimientos rotativos: broca de widia (esto es importante para que rompa lo máximo posible con el menor esfuerzo, así el efecto calor que aporta la broca en su acción será menor) de 8-10mm de diámetro y máquina taladradora en posición de rotación (no percusión). Esta máquina debe ser regulable, es decir que desde su gatillo se comande la velocidad de rotación (r.p.m.). Cantidades a tomar por muestra min. 30 g: 20g para el ensayo con carburo de calcio, 5-10 g para ensayo en laboratorio.
- Recogida directa de la muestra en recipiente estanco o en otro distinto para después verterlo directamente en el recipiente estanco para su correcto almacenamiento hasta su utilización en el laboratorio. Marcado y etiquetado de las muestras con referencia de obra, fecha, lugar, hora de extracción y posición en la malla virtual marcada según ejes x,y.

PASO 4: Análisis de las muestras in situ.

- De las muestras tomadas, una cantidad se reservará para su análisis en el laboratorio y la otra cantidad se empleará en el análisis in situ por el procedimiento del carburo de calcio (Cap. 3.8.2), de acuerdo con lo establecido en la norma UNI 11121:2004. Este proceso debe ser lo más cercano posible en el

tiempo a la extracción de la muestra para evitar pérdidas de contenido de humedad.

PASO 5: Análisis de muestras en laboratorio.

- Desecado de las muestras, de acuerdo con el procedimiento ponderal o de las pesadas, hasta masa constante, según UNI 11085:2003. (Cap. 3.8.1). Utilizaremos para yeso máx. 40°C y para el resto de materiales 105°C.
- Obtención de la EMC y la HMC mediante el proceso descrito en la norma UNI 11086:2003.

PASO 6: Cálculo de la relación matemática y obtención de los datos finales.

- Los datos de contenido de humedad obtenidos en el laboratorio y mediante el procedimiento del carburo de calcio, se procesan informáticamente para obtener una correlación matemática que relacione los valores de humedad de las muestras con el resto de valores situados en la malla virtual. Aplicando esta relación a cada uno de los valores obtenidos en la malla virtual, se obtendrá un nuevo valor, con relación a aquel, que corresponderá al % de agua contenida con respecto a su peso.

PASO 7: Tratamiento informático de los datos finales. Representación de las curvas isohídricas.

- Los datos así obtenidos se plasman en la misma malla virtual inicial y mediante tratamiento informático uniendo los puntos de igual contenido de humedad se forman las curvas isohídricas.
- Si se dispone de levantamiento gráfico o una fotografía restituída del elemento a analizar, se puede superponer la gráfica de las curvas isohídricas, siendo más relevante y aparente.

5.3. Instrumentación utilizada. Procedimiento de toma de datos.

EJECUCIÓN DE LA MALLA DE CONTROL Y TOMA DE DATOS

Para facilitar la toma de datos se ha utilizado una malla que compartimenta y divide el muro o suelo a analizar en un espacio organizado donde se puede establecer un eje de coordenadas situado siempre con el origen en el punto más a la izquierda y más abajo según se observa de frente el objeto a analizar. Así de esta manera la longitud la limita la longitud del elemento a analizar y el número de tomas a realizar. Si el número de tomas es tal que el tiempo empleado en la toma de valores es suficiente como para que se produzca un cambio sustancial en la temperatura y Hr ambiental estando las primeras y últimas tomas en distintas condiciones ambientales, y esto pueda influir en la variabilidad de los resultados, deberá ajustarse la zona de actuación al tiempo necesario. Este tiempo vendrá determinado por la pericia y rapidez en la toma de los datos del operador por lo que, desde aquí y a priori, no puede determinarse, solo y nada más que por el operador.

La altura de la malla la limita la zona de afección⁵⁰. Es conveniente tomar como zona de acción la zona afectada más una zona superior no afectada como referente a seco.

Para situar físicamente la malla podemos realizarla de tres maneras:

- 1. Dibujándola sobre el muro utilizándolo como un lienzo de forma efímera (para que sea así deberá utilizarse, azulete, carbón, etc, que luego pueda eliminarse fácilmente sin huellas posteriores), ayudados por un tiralíneas y marcando con azulete tal como realicé en el estudio de humedades de la Iglesia de San Pablo de los Jesuitas en Valencia, descrito en el Cap. 9.3. tanto en el suelo como en los muros. La limitación de ello, está en que sea posible y se permita.

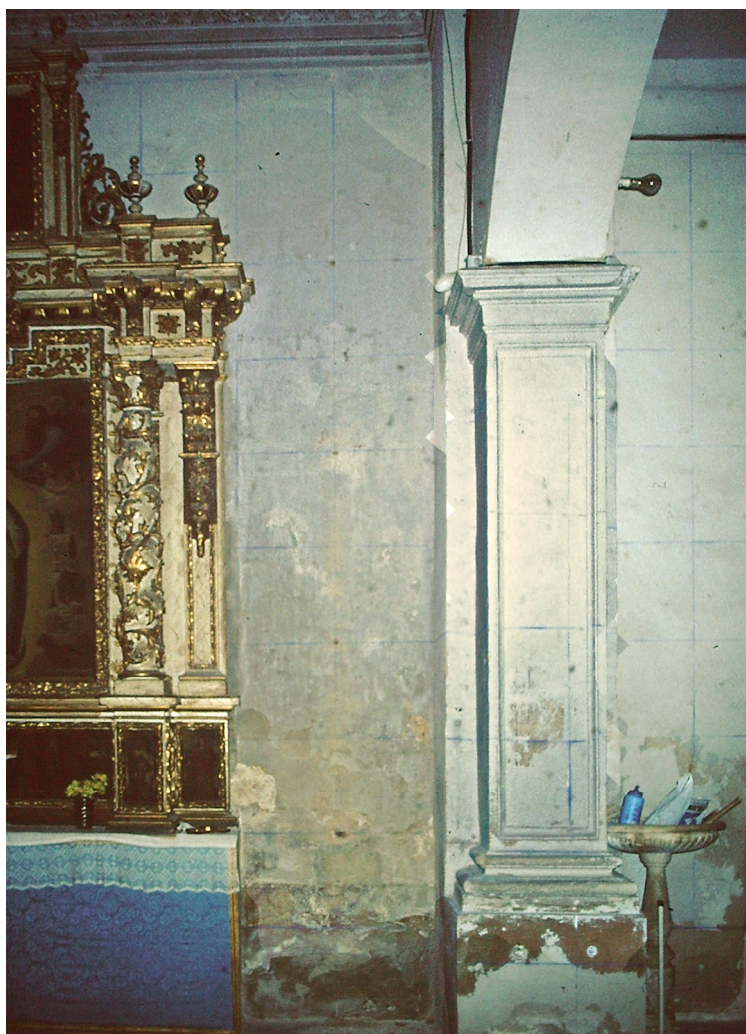


Fig. 5.1.: Muro Iglesia de San Pablo de los Jesuitas. I.N.E.M. Luis Vives. Valencia. Investigación realizada con este procedimiento. Malla dibujada con tiralíneas y azulete. Fuentes propias.

⁵⁰ Los regles de obra que existen a la venta actualmente tienen dos metros de longitud, esa altura puede ser la aconsejable ya que las humedades de capilaridad normalmente están por debajo de esa altura. Si no fuera así, se resuelve tan fácil como elevar el regle tomando como referencia cero alguna de las marcas intermedias del regle. Si la altura de control es de 1 m o menor se puede utilizar un nivel de agua, actualmente disponible en almacenes de construcción, que miden 1 m.



Fig. 5.2.: Suelo Iglesia de San Pablo de los Jesuitas. I.N.E.M. Luis Vives. Valencia. Investigación realizada con este procedimiento. Malla dibujada con tiralíneas y azulete. No se pudieron utilizar las juntas del pavimento como malla por encontrarse colocado girado 45°. Fuentes propias.

- 2. Utilizando lienzas tensadas sobre clavos colocados en las verticales y horizontales perimetrales al muro o suelo a analizar, formando una malla física efímera de lienzas entrelazadas (por ser desmontable y recuperable). El punto de toma se corresponde en el cruce vertical/horizontal de la malla formada por la lienza.

La lienza utilizada es continua sin interrupción de tal manera que se coloca recorriendo en vertical y en zigzag los clavos colocados en horizontal en la línea superior e inferior y al finalizar continúa en zigzag en horizontal recorriendo los clavos dispuestos en vertical en los extremos a derecha e izquierda del muro. De esta manera la lienza es de una pieza y es recuperable, pudiendo llegar a alcanzar los 150-200 m de longitud, disminuyendo así el coste de intervención.

Inconveniente: deja marcas de las perforaciones de los clavos por lo que si es un edificio protegido o en el que no se va a intervenir, no se puede realizar; en el caso de que se pueda realizar y el muro y su revestimiento están meteorizados o con desconchamientos o abombamientos, los clavos son difíciles de sujetar y, entonces esto no es operativo pues si se soltara o desajustara alguno de los clavos, la lienza se destensa y se transforma en inmanejable e inutilizable. Otro inconveniente radica en que si no es liso el muro, en cada cambio de plano se tiene que colocar otra línea de clavos para facilitar el giro de la lienza y el marcado de la malla, por lo que se puede multiplicar el número de clavos a utilizar.



Fig. 5.3.: Muro de la Cartuja Ara Christi, El Puig, Valencia. Investigación realizada con este procedimiento. Malla formada con lienzas tensadas en clavos colocados perimetralmente. Fuentes propias.

- 3. Se forma una malla virtual donde no se marcan los puntos de cruce en su totalidad, sino que conforme se va avanzando en el control se va formando la malla de control y a su vez desaparece. El proceso es el siguiente:
 - o En primer lugar se crea la referencia superior de la malla, marcando una línea horizontal utilizando un regle y un nivel (usualmente el tipo de burbuja utilizado en obra). Esta horizontal se corresponderá con la línea más alta de la malla de control, en la cual marcaremos, a modo de línea discontinua, unos pequeños trazos que se corresponden con el punto de cruce de las verticales que marcaremos a continuación, p.ej. cada 25cm. Así queda una línea discontinua marcada cuyos trazos se corresponderán con el trazo de la marca vertical que se intersecciona con él.



Fig. 5.4.: Muro de fachada Bodegas Torre Oria, Requena, Valencia. Investigación realizada con este procedimiento. Malla virtual tomada con regle aplomado y grafiado con el paso de la malla. Actuando marcando la horizontal con el regle y el nivel. Fuentes propias.

- Hasta aquí tenemos marcada la horizontal pero falta la referencia vertical. A la vez que se marca la horizontal podemos marcar la vertical utilizando el mismo regle pero ya subdividido con el ancho de la malla. Se marcan las verticales⁵¹ en esa horizontal mencionada anteriormente, que se corresponde con la altura en que se quiere arrancar la toma, es decir la línea más alta de la malla⁵². El marcado comienza de izquierda a derecha en horizontal desde el punto del eje de coordenadas (x,y) que nos hemos imaginado, igual a x, y (siendo y la altura total de malla), a modo de cruz. De esta forma tenemos referenciada la vertical en el punto superior. A continuación la toma de datos se realiza utilizando el regle marcado en toda su longitud con las separaciones de la malla que vamos a formar, p.ej. cada 25 cm. Todos los puntos de cruce de la malla vendrán indicados por:
 - la vertical: colocando a línea el regle sobre el punto marcado con la cruz en la horizontal superior y aplomado con el nivel de burbuja imantado sujeto al regle.
 - su horizontal: por la marca en el regle,



Fig. 5.5.: Muro medianero en planta baja, C/ Acequia nº 49, Pedralba, Valencia. Investigación realizada con este procedimiento. Malla virtual tomada con regle aplomado y grafiado con el paso de la malla. Fuentes propias.

⁵¹ Se puede marcar con un simple lápiz que luego se puede eliminar con una sencilla goma de borrar escolar.

⁵² Línea hipotética en este caso porque no la vamos a marcar en toda su longitud, simplemente una línea menuda de marca realizada a trazos

El procedimiento de toma de datos es el siguiente:

Se toma el regle marcado con las subdivisiones de la malla, el cual hemos utilizado anteriormente para situar las marcas/separaciones horizontales, y colocándole adherido un nivel metálico imantado y quedando este sujeto a él (por esta razón el regle debe ser metálico) podemos colocar el regle vertical y aplomado. Así en todo momento el regle debemos tenerlo aplomado y fijo, sujetándolo con una sola mano y con la otra tomaremos el humidímetro para tomar el valor de humedad. De esta manera solo nos queda colocar el regle en cada marca superior horizontal, aplomarlo y en cada marca vertical del regle tomar el dato.



Fig. 5.6.: Muro Iglesia Ntra. Sra. de la Encarnación de Náquera, Valencia. Investigación realizada con este procedimiento. Malla virtual tomada con regle aplomado y grafiado con el paso de la malla. Fuentes propias.

De los tres sistemas descritos, este último es, en definitiva, el más sencillo y rápido de utilizar (no necesita montajes y desmontajes previos). En los otros dos casos puede ser necesario un marcado previo al control, incluso realizarlo el día anterior. Además las marcas se pueden eliminar fácilmente sin dejar huella y no son llamativas, por lo que pueden permanecer durante un largo tiempo pudiendo reutilizarse en una monitorización del objeto en el tiempo, tal como se ha ejecutado en el estudio de investigación en la Iglesia de Ntra. Sra. de la Encarnación de Náquera (Valencia) (Cap. 9.1).

Condiciones de ejecución de la malla virtual:

- Dimensión de la malla: la dimensión de la malla es función de la patología existente: será menor cuanto mayor sea el valor cultural o arquitectónico del objeto, ya que de esta manera cuanto más pequeña es la dimensión de la malla, a la que denominaremos paso de la malla (largo x ancho), más exactitud conseguiremos. Las medidas más recurrentes son 50x50cm⁵³, 25 x 25 cm⁵⁴.
- Cuando nos encontremos con elementos que sobresalen: pilastras, molduras, cornisas, etc., esta malla se puede realizar continuando el marcado del espacio de la malla siguiendo el contorno de estas piezas o salvándolas, realizándola en este caso en proyección ortogonal⁵⁵. En el primer caso las ondulaciones obtenidas con las isohídricas son continuas y en el segundo caso, estas curvas pueden manifestar discontinuidades. Se recomienda utilizar la primera porque en caso de solo querer representar la proyección ortogonal se puede realizar eliminando/ocultando lo concerniente a entrantes y salientes pero, sin embargo, sí tendremos disponible en cualquier momento todo el conjunto para el mejor análisis del problema.



Fig. 5.7.: Muro Iglesia de San Pablo de los Jesuitas. I.N.E.M. Luis Vives. Valencia. Investigación realizada con este procedimiento. Malla dibujada perimetralmente a las piezas que sobresalen, con tiralíneas y azulete. Ver Cap. 9.3. Fuentes propias.

⁵³ Paso de malla utilizada en la investigación realizada en la Iglesia de San Pablo de los Jesuitas de Valencia. Ver Cap. 9.3.

⁵⁴ Paso de malla utilizado en el resto de edificios investigados. Elección sobrevenida por ser más cómoda de acoplar al objeto a analizar, ya que el cuarto de metro (25 cm) como unidad, es submúltiplo de casi cualquier medida de longitud de obra en construcción.

⁵⁵ Iglesia de San Pablo de los Jesuitas de Valencia. Ver Cap. 9.3.

- La malla dibujada (tipo 1) y la malla virtual (tipo 3) se puede realizar salvando elementos que no permiten el control en el objeto porque lo ocultan o están por delante de él y no es accesible el muro situado detrás de él por ser imposible su desmontaje o traslado, tal como ventanas, puertas, altares, elementos decorativos, cuadros no desmontables, ambones, púlpitos, etc. Ejecutar la malla tipo 2 para salvar elementos de este tipo, reviste mucha complejidad: debería clavetearse el contorno y rodearlo.

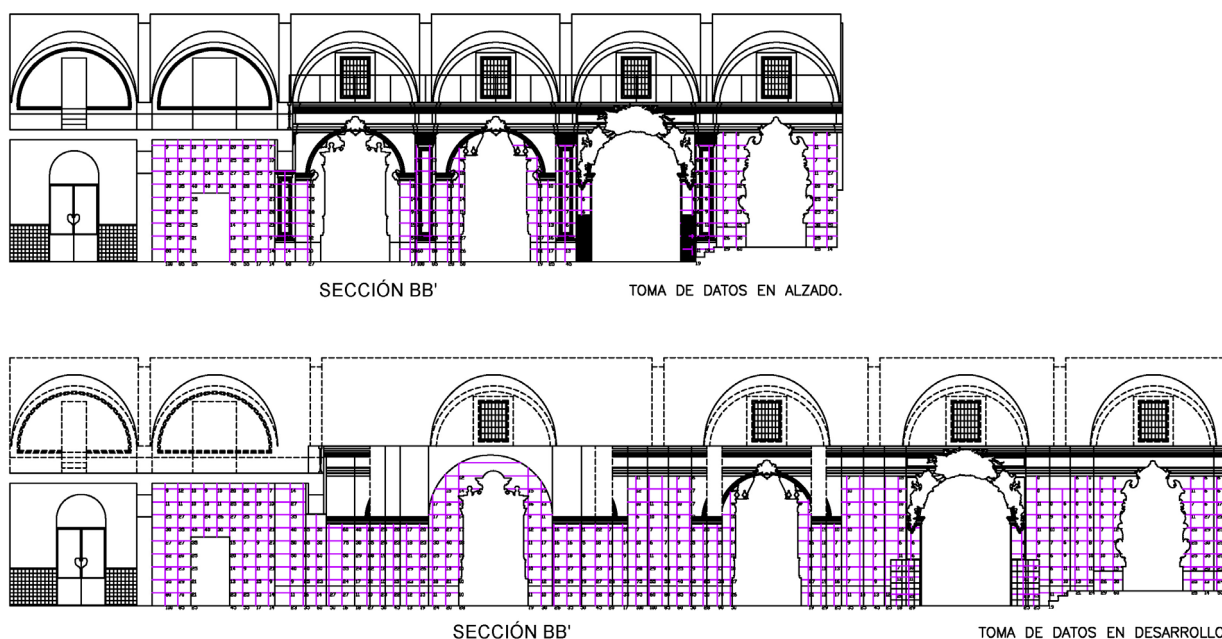


Fig. 5.8.: Muro Iglesia de San Pablo de los Jesuitas. I.N.E.M. Luis Vives. Valencia. En este caso corresponde al muro de la Capilla Honda. Investigación realizada con este procedimiento. Malla dibujada perimetralmente a las piezas que sobresalen, con tiralíneas y azulete, en continuidad sobre los elementos fijos como son los altares no desmontados. El plano muestra la malla en alzado y en alzado desplegada: en desarrollo. Este último es un alzado ortogonal al que se le han añadido las superficies perpendiculares a él, que en un alzado ortogonal no se ven. Ver Cap. 9.3. Fuentes propias.

- En el caso de encontrarnos con un elemento a analizar donde la base sobre la que se toman los datos de control es inclinada la malla podrá crearse horizontal situada con niveles de burbuja o agua, aumentando hacia arriba o hacia abajo según la pendiente. Así mismo ocurrirá si nos encontramos con una escalera. La forma de ejecutarse esta malla en estos casos, tanto si el desnivel es ascendente o descendente (rampas, escaleras, etc.) la malla se estructura a nivel tomando el punto de origen O de los ejes x,y, en el punto más alto de la rampa, escalera o desnivel, de tal manera que la malla se extiende por encima y por debajo de las abscisas, tomando valores (x,y), los que les correspondan (positivos en las x, algunos negativos en las y). Esta posición negativa en los ejes no influye en los valores de humedad tomados ya que son simplemente una referencia de su situación en el objeto. En este caso si el punto más alto para tomar como origen O del eje de coordenadas no está a la izquierda sino que está a la derecha,

éste se puede tomar como tal. Otra forma de ejecutarse es que las horizontales de la malla tomen la pendiente o forma de la base. Esto debe tenerse en cuenta para cuando se procesen informáticamente estos datos, pues hay que considerar que la malla en esos puntos no es ortogonal; circunstancia que no genera dificultades pues en el proceso informático simplemente se traspasan los valores de la situación en coordenadas (x,y) de los puntos de toma de control.



Fig. 5.9: Fachada Iglesia de la Inmaculada, Arcos de las Salinas, Teruel. Investigación realizada con este procedimiento. Malla dibujada perimetralmente a las piezas que sobresalen, sobre base no horizontal la malla gira hacia abajo según la pendiente de la base. Fuentes propias.

- Si el objeto a analizar no es recto sino que en su continuidad tiene quiebros, muros que lo atraviesa o interrumpe y/o cambios de plano⁵⁶, la malla puede ser continua o interrumpirse formando mallas por planos verticales completos diferenciados (muros) u horizontales (suelos).

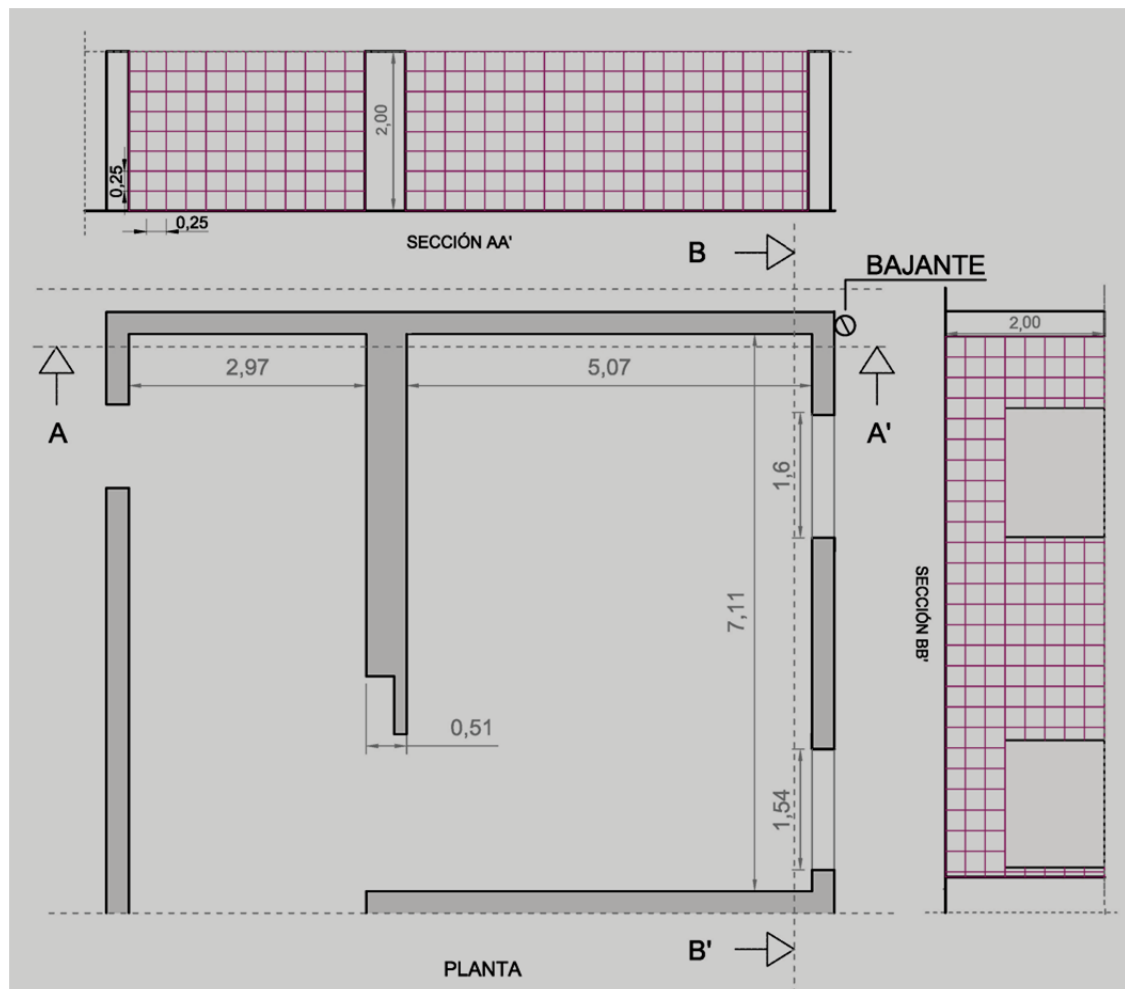


Fig. 5.10.: Muros del local comercial en planta baja en Rinconada Federico García Sánchez nº 3 y 5. Valencia. Investigación realizada con este procedimiento. Malla virtual creada independientemente en cada muro a analizar por encontrarse un muro que lo interrumpe y un giro en una esquina. En este caso se optó porque la malla fuera continua en la esquina para que las isohídricas también lo fueran. Pero en la zona de muro a la izquierda separado por un muro intermedio se entendió que no era necesaria la continuidad de la malla. Ver Cap. 9.4. Fuentes propias.

⁵⁶ Investigación en el bajo comercial de Rinconada García Sánchez nº 3 y 5, Valencia. Ver Cap. 9.4.

- En un suelo, la malla es muy fácil de representar: simplemente tomando como módulo una pieza o un conjunto de piezas de pavimento, ya tenemos la malla configurada. Aquí si es necesario tener en cuenta que dependiendo del tipo de equipo medidor a utilizar puede que, para marcar el punto de control, se necesite hacer coincidir un punto de cruce de la malla con una junta entre baldosas, para, p.ej., poder hincar los pins⁵⁷ del humidímetro.

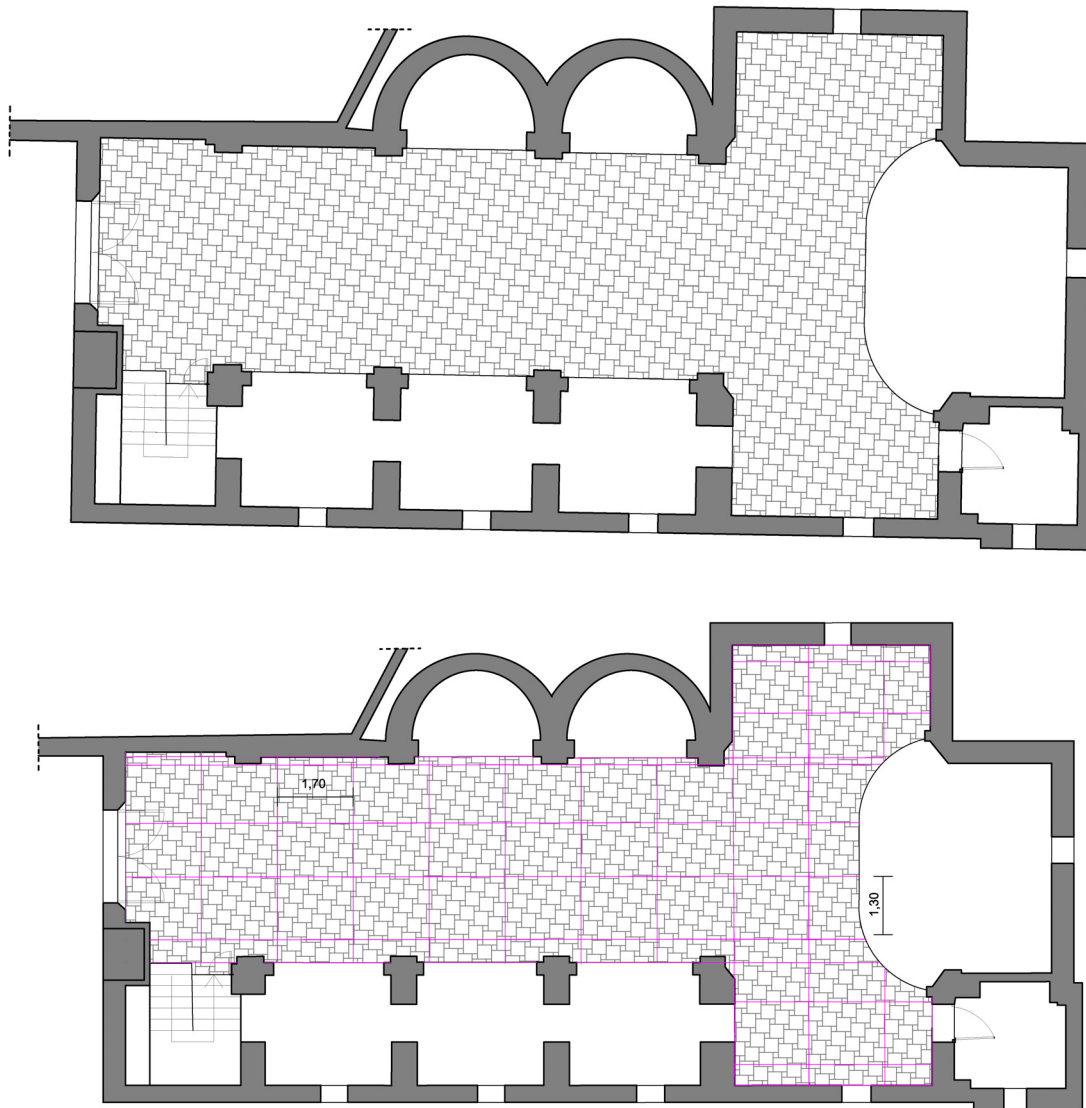


Fig. 5.11: Malla virtual realizada en el pavimento de la Ermita de Vera, Valencia. Investigación realizada con este procedimiento. El pavimento es de gres cerámico de 31x31 cm, con junta a hueso, formando un dibujo con un taco cerámico de 8x8 cm situado entre las piezas de gres. Se estableció una malla rectangular de 170x130cm para encajar un módulo del pavimento que pudiera facilitar la toma de datos en junta con un humidímetro por resistividad, al obligarnos la opacidad del pavimento a “pinchar “ en las juntas con los pins del humidímetro. Fuentes propias.

⁵⁷ Los pins son los electrodos en forma de aguja puntiaguda, en número de dos, utilizados en los humidímetros para la toma de humedad.

5.4. Dispositivos, máquinas a utilizar.

Los medidores utilizados en esta investigación son los existentes en el mercado: los dos tipos de medidores más utilizados son medidores de resistencia y de capacitancia, utilizados de acuerdo a las instrucciones de la norma británica BS 5325:2001⁵⁸ y la norma americana ASTM F2659-10 (2015)⁵⁹. Son del tipo Multifuncional ya que cuentan con una función de resistencia, una función de capacitancia, un sensor de humedad ambiental (Hr), un termómetro de ambiente, un termómetro de superficie, y la sonda de profundidad instalada en una sola unidad.

El modo de uso en los trabajos de esta investigación es el siguiente:

Medición en modo resistencia:

- Se utilizan los pins (dos agujas metálicas de 2cm de longitud afiladas en punta) presionando sobre la pared, clavándolos, de esta manera se cierra el circuito eléctrico existente en el medidor y se mide la resistencia eléctrica que opone la pared a que sea atravesada por esa pequeña corriente eléctrica generada. Así de esta manera esa resistencia es interpretada por la máquina mostrada por un cambio de luces de verde hacia amarillo hasta llegar a rojo de acuerdo con la menor o mayor conductividad del material, respectivamente, lo que se corresponde con
 - o SEGURO: más seco (verde), en equilibrio,
 - o RIESGO: zona de riesgo (amarillo),
 - o HUMEDAD: saturado de humedad (rojo)⁶⁰.

En este caso de “rojo”, la indicación de rojo o más rojo se interpreta indiferentemente de más mojado a mucho más mojado, lo cual al observador no le debe influenciar en su

⁵⁸ En esta norma las instrucciones que da, aunque son instrucciones para controlar la humedad en bases de pavimentos antes de colocar pavimentos textiles (moquetas de tanto uso allí en GB), estas son válidas y, por tanto, se utilizan allí en GB, para determinar el proceso de inspección y diagnóstico de las condiciones de la humedad contenida. BS 5325: 2001, *Code of practice for installation of textile floor coverings*. En EE.UU. la norma ASTM F2659-10 (2015), incluso describe el procedimiento de uso de los humidímetros de resistencia y capacitancia.

⁵⁹ En EE.UU. la norma ASTM F2659-10 (2015): *Preliminary evaluation of comparative moisture condition of concrete, gypsum cement and other floor slabs and screeds. Using a non destructive electronic moisture meter*, describe el procedimiento de uso de los humidímetros de resistencia y capacitancia.

⁶⁰ Es necesario añadir que estos valores corresponden a la equivalencia de la humedad en la madera %WME (Wood Moisture Content). Explicaremos esto según Thomas A. Oxley y E. G. Gobert (Hon. Life President, Protimeter plc, Marlow. Actualmente empresa en propiedad de GE):

En casi todo tipo de madera, los valores de humedad relativa ambiental comprendidos entre el 75 y el 85%, facilitan su deterioro por el desarrollo de hongos, mohos e insectos xilófagos, así ocurre también en el desarrollo de la vida humana en su relación con los materiales de construcción dentro de una vivienda. Así pues esta cantidad de humedad relativa favorece el desarrollo también de hongos, mohos y ácaros, que pueden afectar a la salud (*ver Cap. 2 de este Trabajo*), por lo que es razonable que se tome como límite aceptable estos valores de HR ambiental. Para la madera su humedad entre estos límites se sitúa entre el 18 al 20% de contenido de humedad por lo que aquella que se encuentre por debajo del valor 18% de humedad estará seca y por encima de 20% estará húmeda y entre estos valores se encontrará estacionaria, posiblemente en equilibrio. Estos valores no son aleatorios según Oxley & Gobert, 1994, son valores extraídos desde el análisis en laboratorio de cantidad de muestras de distintas maderas analizadas mediante el procedimiento ponderado de secado y control de humedad. Así pues si estos valores corresponden a valores considerados como seco y húmedo es conveniente entender que debe corresponderse con valores de humedad en materiales de construcción para controlar su humedad para evitar que se puedan desarrollar estos organismos indeseables.

interpretación pues al entrar en zona húmeda (rojo), esté más o menos rojo (más arriba o más abajo en la escala del rojo) es indicativo de que está en el umbral de húmedo, luego más o menos rojo ya no será muy indicativo. Esta información del humidímetro, va acompañada de un zumbido intermitente en el caso de estar por encima de seco y un zumbido continuo muy impertinente si está en zona húmeda (rojo). Por tanto cuanto mayor sea la lectura (esté en la zona más alta de la escala del dispositivo), es probable que haya más humedad en la zona del material bajo investigación. Es importante entender que se debe controlar que no exista en la zona de medición posibilidad de contacto con elementos metálicos inmersos en el material a analizar y valorar la existencia de sales o materiales carbonosos que pueden falsear el resultado por ser conductivos. La lectura en leds de colores descrito va acompañada por una pantalla digital en la que se muestran unas cifras que se corresponden con seco-riesgo/equilibrio-húmedo (ver descripción siguiente).

Este modo de resistencia se rechazó al inicio en las primeras pruebas, pues las lecturas variaban mucho debido a las concentraciones de sales en los revestimientos y, también, por la marca que dejaban en el revestimiento al clavar las puntas.

Medición en modo capacitativo (modo citado como “búsqueda” en el manual del dispositivo):

- Este modo, como ya se ha descrito, consiste en poner el medidor a tomar datos a través de una placa metálica dispuesta en la parte trasera del dispositivo. La medición se realiza por contacto con la pared de esta pieza situada detrás de la carcasa del dispositivo. Los datos obtenidos se reflejan de la misma manera y en las mismas escalas que las comentadas anteriormente en modo resistencia. La lectura tomada así no la realiza en superficie sino que opera en un espesor del material hasta 2cm, lo que indica que la lectura ya no corresponde al material situado más al exterior (revestimientos posiblemente higroscópicos o con contenido de sales que pudieran falsear el resultado) sino que las lecturas así realizadas se corresponderán con el material existente hasta esa profundidad. Esto puede ser una ventaja cuando se trata de revestimientos cargados de sales⁶¹. La medición deberá ejecutarse apoyando toda la zona de la placa del medidor en la superficie. Superficies de contacto rugosas pueden dar resultados no aceptables por falta de contacto total de la placa. Se dispone del valor de la lectura en las mismas condiciones que en el medidor de resistencia.

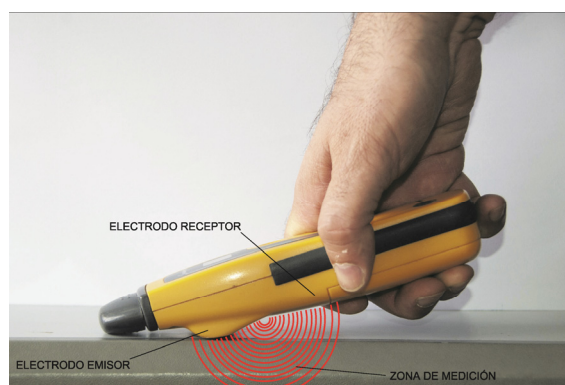


Fig. 5.12.: Humidímetro empleado en esta investigación, en posición búsqueda, función de escaneo, modo capacitativo. Propiedad de este investigador, marca PROTIMETER modelo Surveymaster BLD5, nº de serie 01-30661, nº certificado de calibrado 18381. Fuentes propias.

Otra cuestión a valorar fue esa escala de seco a húmedo qué valor y significado tiene; y porqué está establecida en los valores numéricos y de color siguientes:

- De 0% a 17%: Seco, contenido de humedad en el material analizado por debajo de la humedad de equilibrio del material. **VERDE**.
- De 17.01% a 20%: riesgo de que contenga humedad en el material analizado por encima de la humedad de equilibrio del material. **AMARILLO**.
- Mayor de 20.01%: húmedo. Contenido de humedad en el material analizado por encima de la humedad de equilibrio del material. **ROJO**.

Si contrastamos estos valores en distintos autores, algunos establecen este límite en 15 (Coleman, 2015), otros en 17 (GE) y (Burkinshaw., 2002), y otros en 18 (Oxley & Gobert, 1994). Sin embargo para establecer el límite superior en 20, están todos de acuerdo. Así pues Coleman establece que: *“El dispositivo medidor, mientras que proporciona un verdadero contenido de humedad cuantitativa para la madera, no lo hace en sustratos de mampostería/albañilería. Las lecturas obtenidas de las superficies de mampostería/albañilería deben leerse como ‘% en la escala completa de desviación’ de la aguja del medidor o ‘% equivalente de humedad en madera’ dependiendo del tipo de escala proporcionada (SE REFIERE A DISPOSITIVOS DE CONTROL DE HUMEDAD TIPO PROTIMETER QUE LLEVAN DOS ESCALAS: %WME Y UNA ESCALA DE HUMEDAD PARALELA EN EQUIVALENCIA A OTROS MATERIALES: MORTEROS, YESOS...; Fig. 3.26 y Fig. 5.13). Una cifra por encima del 15% de desviación en la escala de desviación fsd (full scale deflection) o el 20% (%WME) es considerado sin importancia por los fabricantes.(Traducción libre propia).*



Fig. 5.13: Humidímetros con escala paralela de conversión: fsd (full scale deflection). Izquierda: Dispone de tres escalas de equivalencia: yeso, mortero, hormigón, cada una con su equivalencia a rojo amarillo y verde. Destacar la subdivisión en los mismos colores pero más claros, a modo indicativo de zona de riesgo en la misma zona. Dispositivo del autor de esta investigación que data de 1985. Derecha: con una escala numérica indicativa de % WME y escala equivalente a materiales de construcción en rojo, amarillo y verde. Foto fuentes propias.

Así pues para esta investigación el medidor elegido se corresponde:

- Con un humidímetro capacitativo, por su capacidad de leer hasta una profundidad de 15-20 mm, con una baja influencia de las sales existentes en los datos obtenidos en el objeto de control. Así los datos no merecen discusión.
- Simplemente es un elemento calibrado que es independiente de los valores que se obtiene en los análisis finales. Con esto se quiere indicar que si se hubiera tomado otro dispositivo con otra tara y otro calibrado, los datos finales de humedad real contenida serían los mismos que con los datos obtenidos con el otro dispositivo, ya que los datos del medidor son utilizados en este procedimiento simplemente como valores numéricos que guardan una relación entre sí. La única condición es que el dispositivo a utilizar en una toma sea el mismo para todas de principio a fin. En el caso de una monitorización debe ser siempre realizado con el mismo aparato medidor para evitar discrepancias entre las diferentes tomas realizadas en el tiempo.



Fig. 5.14: Humidímetro marca GE Protimeter mod. Surveymaster MMS-2 BLD-8800, nº serie y calibrado del humidímetro: 8800003126, long. onda: 625-680 nm., nº serie y calibrado de la sonda de humedad incorporada: 620268., utilizado en esta investigación, con higrómetro, termómetro ambiental y de superficie. Almacena datos. Propiedad de este investigador. Foto fuentes propias.

5.5. Proceso de extracción de muestras

¿CÓMO SE DEBE REALIZAR LA EXTRACCIÓN DE MUESTRAS?

PROCEDIMIENTO, INCONVENIENTES Y VARIABLES A LIMITAR EN EL PROCESO DE EXTRACCIÓN DE MUESTRAS

- La máquina de taladrar con la que se extraerán las muestras deberá ser de gatillo regulable que permita variar la velocidad (r.p.m.) y así poder ajustarla a la velocidad conveniente, con el fin de evitar la aportación de calor a la muestra haciendo variar su contenido de humedad.
- Si se realiza la extracción de varias muestras se deberá tener en cuenta el calor producido en la broca en la extracción de la anterior muestra. Para evitar este caso se deberán organizar las tareas de manera que no existan tiempos muertos para que las distancias en el tiempo de extracción entre muestras sean las mínimas. Es buena práctica disponer y utilizar varias brocas iguales.
- Extraída ya la muestra debe evitarse la pérdida de humedad de la muestra producida por un incorrecto envasado. Para evitarlo deberá recogerse en un envase con doble cierre hermético: funda plástica ajustable y tapa ajustable o enroscable, intentando así que sea lo más hermético posible.

- El excesivo tiempo transcurrido desde la extracción hasta el análisis en obra o en laboratorio puede ser también causa de variación del contenido de humedad de la muestra. Para evitarlo se deberán organizar los tiempos de extracción de muestras, desplazamiento hasta el laboratorio, previsión del uso del laboratorio, etc, para que el tiempo transcurrido entre la extracción de la muestra y su análisis sea el menor posible.

5.6. Traspaso de datos a la malla.

Obtenidos los datos de MC, EMC y HMC mediante los procedimientos del carburo de calcio y según los procedimientos descritos en las normas italianas mencionadas, se realiza un cálculo matemático apoyado en procedimientos informáticos que aportan una ley (fórmula) de equivalencia que referencia los datos de las muestras con todo el resto de valores de la malla, asignando a cada valor de la malla un valor de humedad real contenida MC.

Para la consecución de la transformación de los datos obtenidos con el humidímetro con los correspondientes al contenido de humedad real del elemento analizado, es necesario realizar un estudio matemático que permita establecer una relación matemática mediante una fórmula de conversión de los datos del humidímetro a la humedad real contenida. Debemos tener en cuenta que el número de tomas con el humidímetro dependerá de las dimensiones del elemento a estudiar ya que cuanto más grande sea el elemento constructivo a analizar, más grande será la malla y, por tanto, nos dará mayor número de datos. Así pues y como que no sería posible ni rentable la realización de un ensayo por punto de toma, deberíamos conseguir determinar una fórmula que matemáticamente nos permita trasladar los valores del humidímetro a los valores de humedad real.

Para ello en primer lugar pensemos que si de cada punto de toma con el humidímetro extrajéramos una muestra física y la analizáramos para obtener, por los procedimientos normativos especificados, su valor de humedad real en peso en %:

- 1.- Al ser la malla de 25x25cm el número de tomas sería alto y el trabajo podría ser excesivamente traumático incluso destructivo para el elemento a analizar.
- 2.- La imposibilidad sería evidente pues podría implicar la destrucción del elemento.
- 3.- Se elimina la inmediatez o rapidez de consecución de los valores resultado, de acuerdo con lo planteado en esta investigación.

En segundo lugar, valorando las consecuencias de lo que significa querer alcanzar el objetivo del análisis sin considerar las consecuencias del procedimiento a utilizar, nos lleva a considerar que es necesario realizar un número (en nuestro caso sería deseable que fuera mínimo) de extracciones que fueran suficientemente representativas del todo a analizar.

Así pues ahí radica la primera providencia a establecer: número de tomas con extracción física.

Para esto debemos estudiar y analizar la cuestión, y para ello nos haremos las siguientes preguntas:

- ¿El fenómeno de la humedad es aleatorio?
- El valor de la humedad como valor existente, ¿implica fenómenos aleatorios?
- ¿La humedad está determinada por factores predictibles?
- ¿La humedad existente responde a un cálculo predictivo, que permita prever de antemano su valor?

Y también, por tanto:

- Será necesario establecer el número mínimo de tomas para que sea representativo de los valores existentes.
- Estas tomas deberán de representar a la totalidad de los valores existentes por lo tanto los valores a elegir para analizar deberán estar dentro de las tres franjas que muestra el humidímetro: ROJO, AMARILLO, VERDE, abarcando así todas las variables de: húmedo, equilibrio, seco (ver apartado anterior).
- Todo esto nos lleva a una definición matemática de “normalidad” (que sea “normal”) o no normalidad (que no sea “normal”), estadísticamente hablando.
- La probabilidad de que exista humedad, o más o menos cantidad de humedad es NO DETERMINISTA⁶², por lo que se aplica a fenómenos aleatorios⁶³ no determinados, la humedad está determinada por factores no previsible. No es aleatorio (experimento del cual no se conoce el resultado pero se conocen los posibles resultados).
- Ciertamente que si existe un contenido de humedad o agua en el terreno del cual tenemos constancia directa de que existe, la posibilidad de que el elemento constructivo existente en contacto y/o sobre este terreno contenga una humedad por encima de lo deseable, es elevada, pero no puede ser determinada a priori porque existen otras variables no determinadas como son:
 - o sus características físicas (porosidad accesible, compacidad, coeficiente de adsorción, coeficiente de absorción capilar), no constante en el elemento,
 - o sus características químicas (determinadas por su composición, higroscopicidad) que pueden variar en cada punto del elemento,
 - o sus características como consecuencia de su evolución en el tiempo (desarrollo o formación de nuevos compuestos químicos por reacción con el agua: yesos, cales, cementos),
 - o sus características como consecuencia de la afección de agentes externos (extrínsecos: CO_x , SO_x , NO_x , etc) y agentes internos (intrínsecos: propios de su composición y estructura)
 - o sus características derivadas de su puesta en obra: así mismo con un mismo elemento constructivo fabricado con los mismos materiales incluso por el mismo personal laborante y en el mismo lugar y fecha, puede variar incluso por zonas la unidad de obra analizada en sí misma debido a variables como el viento, soleamiento, orientación. Con respecto al personal ejecutor del elemento en el momento de su construcción puede influir su estado físico y emocional.

Por tanto, parece que existen infinidad de variables que pueden influir en el resultado y que a priori no son previsible ni se pueden determinar pues para que fueran previsible y poderlas determinar exigiría el análisis de la totalidad del elemento y en ese caso terminaríamos por no disponer del

⁶² Un sistema determinista, con referencia a las Matemáticas, es aquel en que el azar no está implicado en el desarrollo de los estados del sistema. Un modelo determinista producirá siempre la misma salida siempre y cuando se cumplan las mismas condiciones iniciales o de partida. Cada estado futuro del sistema está determinado por el previo en tanto en cuanto se desprende de cómo queda afectado dadas las variables de entorno y el previsto comportamiento ante los cambios en ese ambiente. (Darling, 2015)

⁶³ En un sistema aleatorio el estado futuro no está determinado por el estado inicial. (Prof. James Meiss, 2015) I.

elemento al haberlo destruido en el proceso de análisis por utilizarlo en su totalidad. Por lo que queda demostrado que el proceso no es aleatorio.

Con la extracción y análisis de un bajo número de muestras el resultado final al extrapolar datos según el procedimiento definido en esta Tesis, no varía de forma singular o significativa que si el número de muestras fuera mayor.

ANÁLISIS ESTADÍSTICO.

Se ha realizado un análisis estadístico a partir de la premisa inicial con un test con chi cuadrado (χ^2) estudio que solo es fiable cuando las muestras son mayores de 40 ud. Como nuestra muestra es pequeña: <40, el coeficiente de correlación no es fiable pues se hicieron los cálculos con un intervalo de confianza que requería la normalidad de los datos y como los datos no corresponden a una relación "normal" de acuerdo con lo justificado anteriormente, estos resultados no serían aplicables.

A continuación se añade el estudio matemático realizado para el caso de que la distribución de los datos fuera "normal".

Obtención del nº de muestras "n" para un intervalo de confianza del 80-90% para el cálculo del % de humedad real de un muro de un edificio de patrimonio histórico.

Introducción.

Dada la toma de datos del % de humedad sobre una malla virtual de cuadrícula 0,25 x 0,25 m en un muro, se pretende realizar la correlación del % humedad real que contiene con un número "n" de muestras extraídas del mismo muro con un intervalo de confianza del 80-90%, para desarrollar un mapeado del muro.

Para ello debemos realizar los siguientes pasos:

1. Comprobar que la distribución de los datos, obtenidos de la malla virtual sobre el muro, sea Normal.
2. Cálculo de la probabilidad de los sucesos.
3. Determinar el número "n" de muestras y el intervalo de confianza.

1.- Comprobación de la distribución.

Si X es una variable aleatoria (% de humedad) que sigue una distribución $N(\mu, \sigma)$, entonces la variable aleatoria:

$$Z = \frac{X - \mu}{\sigma}$$

sigue una distribución normal de parámetros $\mu = 0$ y $\sigma = 1$. Denotada por $N(0, 1)$, denominada variable normal estándar. (σ : desviación típica, μ : media)

En caso de no cumplirse de ser una distribución Normal denotaremos la variable aleatoria ($\text{Log } X$).

2.- Cálculo de la probabilidad de los sucesos.

Continuando con el paso anterior, calcularemos la probabilidad $P(X \leq x)$, relativa a la distribución normal estándar.

$$P(X \leq x) = P\left(\frac{X - \mu}{\sigma} \leq \frac{x - \mu}{\sigma}\right) = P(Z \leq z)$$

3.- Determinación de nº de muestras “n” e intervalo de confianza.

Los pasos generales para construir un intervalo de confianza se resumen en:

- A. Se construye un pivote adecuado, Q
- B. Se fija el nivel de significación α .
- C. Se calculan los extremos de confianza a partir de la distribución muestral de Q de manera que:

$$P(L \leq Q(Xn, \theta) \leq U) \leq 1 - \alpha$$

Pero pueden existir múltiples constantes L, U que cumplen, habitualmente se siguen dos criterios:

- 3.1. Criterio de menor longitud del intervalo. Es decir elegir L y U de manera que la longitud del intervalo de confianza sea mínima.
- 3.2. Criterio de igualdad de colas, de manera que las probabilidades de los intervalos situados a derecha e izquierda del intervalo de confianza sean iguales. Es decir:

$$P(Q(Xn, \theta) \leq L) = P(Q(Xn, \theta) \geq U) = \frac{\alpha}{2}$$

- 3.3. Una vez establecidos L y U Se despeja θ en ambas desigualdades, obteniéndose:

$$P(L(Xn) \leq \theta \leq U(Xn)) \leq 1 - \alpha$$

Al utilizar μ_M para estimar μ el error cometido es:

$$E = |\mu_M - \mu|$$

Por consiguiente puede tenerse una confianza del 90 o 80 (1- α) % de que el error no excederá una cantidad especificada E , si el tamaño de la muestra es el número entero más próximo por exceso a:

$$\left(\frac{z_{\alpha/2}\sigma}{E}\right)^2 \text{ o } \left(\frac{t_{\alpha}^{n-1}\sigma_M}{E}\right)^2$$

según el caso de varianza conocida o desconocida, que en este caso en particular será desconocida.

4.- Conclusiones.

Dada la imposibilidad de extraer un gran número de muestras de cada muro, debido a la protección de los edificios históricos, para la obtención de un intervalo de confianza deberemos utilizar: Si p_M es la proporción de observaciones de una muestra aleatoria de tamaño n que pertenecen a una clase de interés, entonces un intervalo de confianza del 80 o 90(1- α)% para la proporción p viene dado para muestras más pequeñas:

$$p_M - z_{\alpha/2} \sqrt{\frac{p'_M(1-p'_M)}{n}} \leq p \leq p'_M + z_{\alpha/2} \sqrt{\frac{p'_M(1-p'_M)}{n}}$$

Donde p'_M es la derivada de p_M .

5.7.-Trazado de las curvas isohídricas. Modo de representación. Tratamiento de la imagen.

Estableciendo la correlación matemática entre los datos de humedad real obtenidos en los ensayos de laboratorio, con sus correspondientes datos tomados directamente en el muro o suelo con el dispositivo medidor, obtenemos la curva de tendencia y con ella una ecuación logarítmica para poder extrapolar los valores obtenidos con el medidor en la toma de datos, con los valores de humedad real del objeto analizado.

A continuación estos valores se exportarán a un programa informático de tratamiento de superficies, donde introduciremos los datos de la malla donde cada punto está identificado por:

- sus coordenadas (x,y,),
- por un tercer valor que será la tercera coordenada: el valor z, que se corresponde con su valor MC.

Así pues, el programa realizará unas gráficas donde unirá aquellos puntos que tienen el mismo valor Z (MC), formando las curvas con el mismo valor de contenido de humedad real MC, designándolas como curvas isohídricas. La duda que puede surgir después de realizada esta acción informática es que ¿como puedo leer esto si se pueden entrelazar curvas y, por tanto, entrelazar mediciones de valores?. Esto se resuelve disponiendo de un programa informático que permita ordenarle a ese programa que marque las isohídricas en unos intervalos premeditados de contenido de MC.

Esta posibilidad ha permitido poder realizar las gráficas de acuerdo a los valores preestablecidos de rojo, amarillo y verde de los humidímetros (elaborándose con los valores relacionados con este dispositivo y que corresponden a los tomados antes de su correlación a MC), y así poder comparar estas gráficas con las gráficas de MC obtenidas.

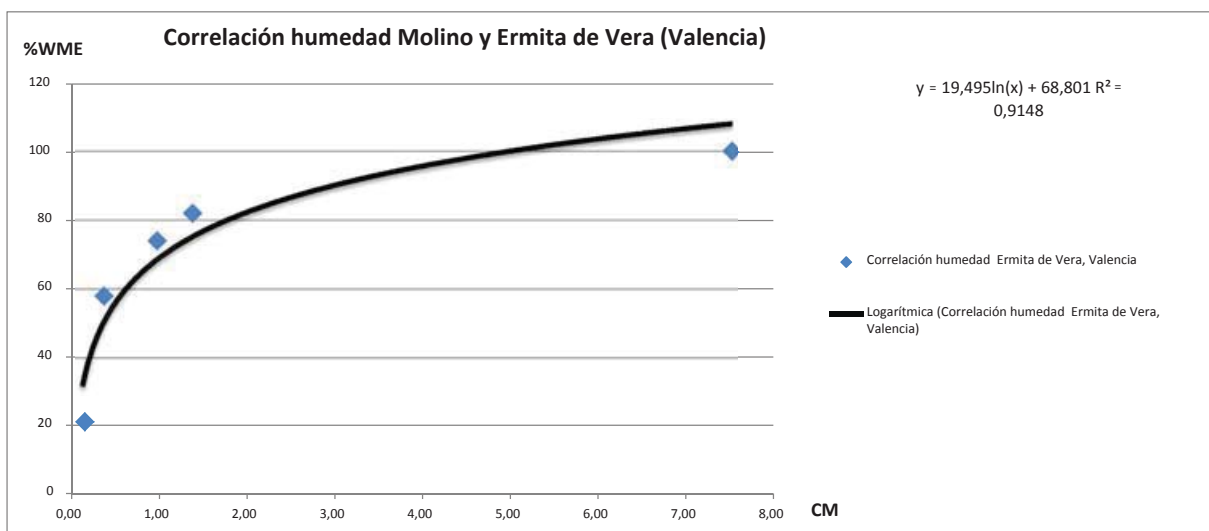


Fig. 5.15: Gráfica de correlación calculada con los valores de MC obtenidos con los ensayos de carburo de calcio CM y su valor asociado que dio el humidímetro en la toma de valores. Dato obtenido en la investigación realizada en las fachadas del Agromuseo y Ermita de Vera. Valencia. Ver Cap. 9.2. Fuentes propias.

Si analizamos esta gráfica como ejemplo (ver el detalle y más análisis realizados en Cap. 9), en este caso la correlación se realiza con 5 valores que corresponden a:

- 5 puntos de control distintos,
- los 5 puntos tienen distintos valores dados por el humidímetro,
- los 5 valores se corresponden, cada uno de ellos, con un valor distinto de MC,
- la relación entre ellos se establece a partir de una ecuación logarítmica, “como una ley” que cumplen todos ellos,
- esa ecuación se aplica a los demás valores en el resto de puntos de control de la malla y se obtiene un valor de MC para cada uno de los valores,
- se aplica en la malla cada nuevo valor que sustituye al valor de %WME del humidímetro,
- se aplica al programa informático dando este valor como valor z, y las coordenadas de su posición en la malla como (x,y),
- se trazan las curvas isohídricas con intervalos que estén por encima y por debajo de la humedad de equilibrio, porque de esa manera aquellas curvas que estén por encima del valor de EMC, se corresponderán con zonas húmedas y aquellas que estén por debajo de ese valor se corresponderán con zonas no afectadas por humedad, serán zonas secas.
- Para ayudar a su interpretación se pueden colorear las zonas comprendidas entre isohídricas, usando la gama de azules, acusando la humedad cuanto más oscuro es el color.

Y de esta forma conseguimos:

EJEMPLO 1

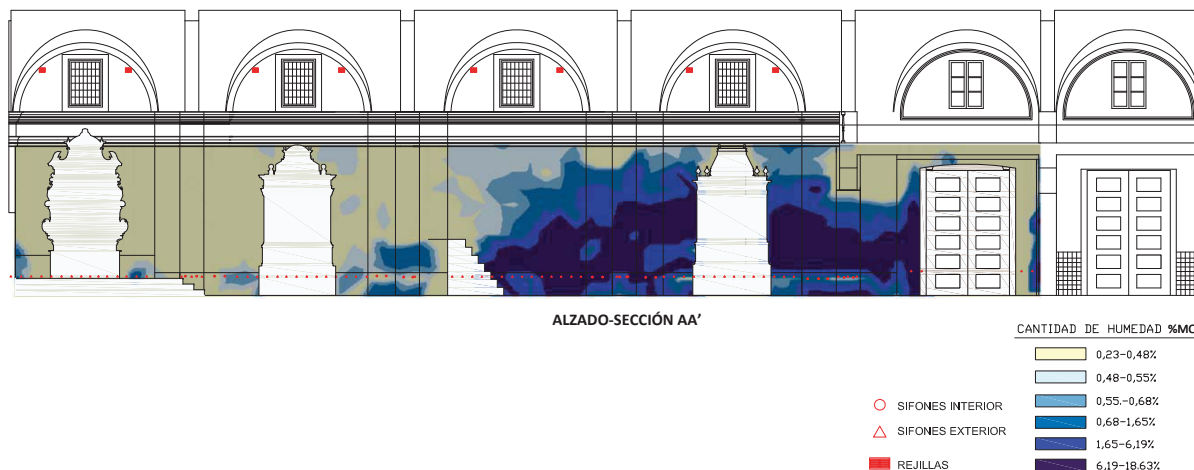


Fig. 5.16: Muro fachada norte por su cara interior, C/ Cobertizo San Pablo, Iglesia de San Pablo de los Jesuitas, I.N.E.M. Luis Vives, Valencia. Ver desarrollo completo de esta investigación en Cap. 9.3. Fuentes propias.

Este grafismo de las humedades en la fachada que representa la Fig. 5.16., permitió orientar las indagaciones hacia las razones del porqué se concentraba la humedad en forma piramidal y en esta zona fundamentalmente en esta fachada en su cara interior. Se pensó inicialmente que podía corresponder a una rotura de la tubería bajante de recogida de aguas de cubierta y que se empotra en la acera, bañando el muro en ese punto. Sin embargo al revisar dicha tubería se comprobó que estaba en perfecto estado así como su empotramiento a una arqueta colocada en su base. El mal radicó en que la tubería horizontal que transportaba esta agua no existía y vertía libremente a un

huevo en el terreno al interior de la Iglesia, posiblemente un antiguo aljibe romano, el cual perdía agua e inundaba la cripta y el subsuelo del interior de esta Iglesia. Así, de esta manera, se cumple uno de los objetivos de esta Tesis: determinar qué tipo de humedad es (capilaridad ascendente) y cuál es la razón de la acción del agua (incorrecta recogida y transporte de aguas).

EJEMPLO 2

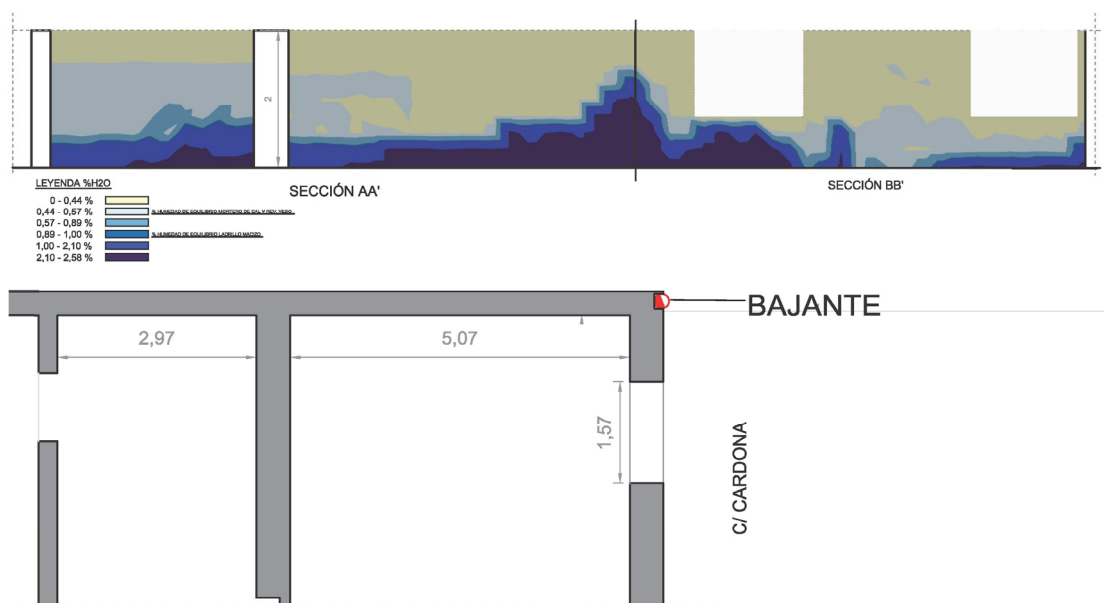


Fig. 5. 17: Investigación de afección de humedad en un local comercial en planta baja en C/ Rinconada Federico García Sánchez nº 3 y 5, Valencia.

Este caso es parecido al anterior. Aquí se requiere averiguar porque el bajo comercial tenía un olor nauseabundo y rancio a humedad que impedía poder utilizarlo, ni siquiera alquilarlo. Las paredes y el suelo no estaban muy deteriorados y apenas mostraban síntomas visuales que pudiera indicar que existe una gran humedad proveniente del subsuelo. Por ello la posibilidad de que fuera humedad de condensación no era descartable. Realizadas tomas de control de %WME con humidímetros y de temperatura y Hr ambiental, se descartó la existencia de condensaciones tales que pudieran generar la situación ante la que nos encontramos.

Aplicando el procedimiento expuesto en esta Tesis y realizados los controles, obtenidos los valores de CM in situ, HMC y EMC en laboratorio, se confeccionaron las gráficas de los muros afectados obteniendo lo mostrado en la Fig. 5.17. Si la analizamos, observamos, desplegando las gráficas de los muros que hacen esquina y colocándolas una a continuación de la otra, que se centra la humedad en la esquina y conforme nos alejamos de ella descenden los valores de humedad, quedando en valores bajos en las zonas más alejadas. También se aprecia que bajo la primera ventana la humedad remonta de nuevo.

Después de inspeccionar el interior y comprobar que no existían tuberías verticales, pozos conocidos, etc, se sospecha de la tubería de recogida de aguas de cubierta que está encastrada en fachada, pues es de fundición. Al inspeccionarla nos encontramos que en su base por su parte trasera no está en buen estado y, es posible que parte del agua que recoge la vierta directamente al muro o en una

zona cercana a él, afectándole. Se recomendó sustituirla en el tramo más bajo, revisar su entronque en la base y la conducción horizontal. En cuanto al remonte en la zona de la ventana se recomendó que se sellara la carpintería de madera, en mal estado.

Se vuelven a cumplir los objetivos planteados en esta Tesis.

5.8.- Validación del procedimiento.

Con lo expuesto anteriormente se obtiene que si con los valores tomados con el humidímetro (valores cualitativos) construimos la gráfica con los valores de rojo, amarillo y verde indicados por este dispositivo y lo comparamos con nuestro grafismo podemos observar que son muy parecidos, aunque hay mayor definición en el grafismo de este procedimiento que en los valores del humidímetro, debido a que es más exacto el grafismo del procedimiento y, además, se puede subdividir en valores intermedios.

Luego si nuestro procedimiento es correcto los valores cualitativos del humidímetro que dan una gráfica muy similar, también serían válidos, no tanto en cuanto a los valores de: cuánto hay de humedad sino a que: sí hay humedad y a que: cuánta es la diferencia entre sus valores cualitativamente.

Por tanto los valores cualitativos obtenidos con estos aparatos medidores (Protimeter), como muy bien defienden Oxley, Burkinshaw, Massari, Trotman y otros, son correctos e indicativos, luego la imagen visual formada con estos valores puede ser muy válida y puede ayudar mucho a determinar el origen del problema.

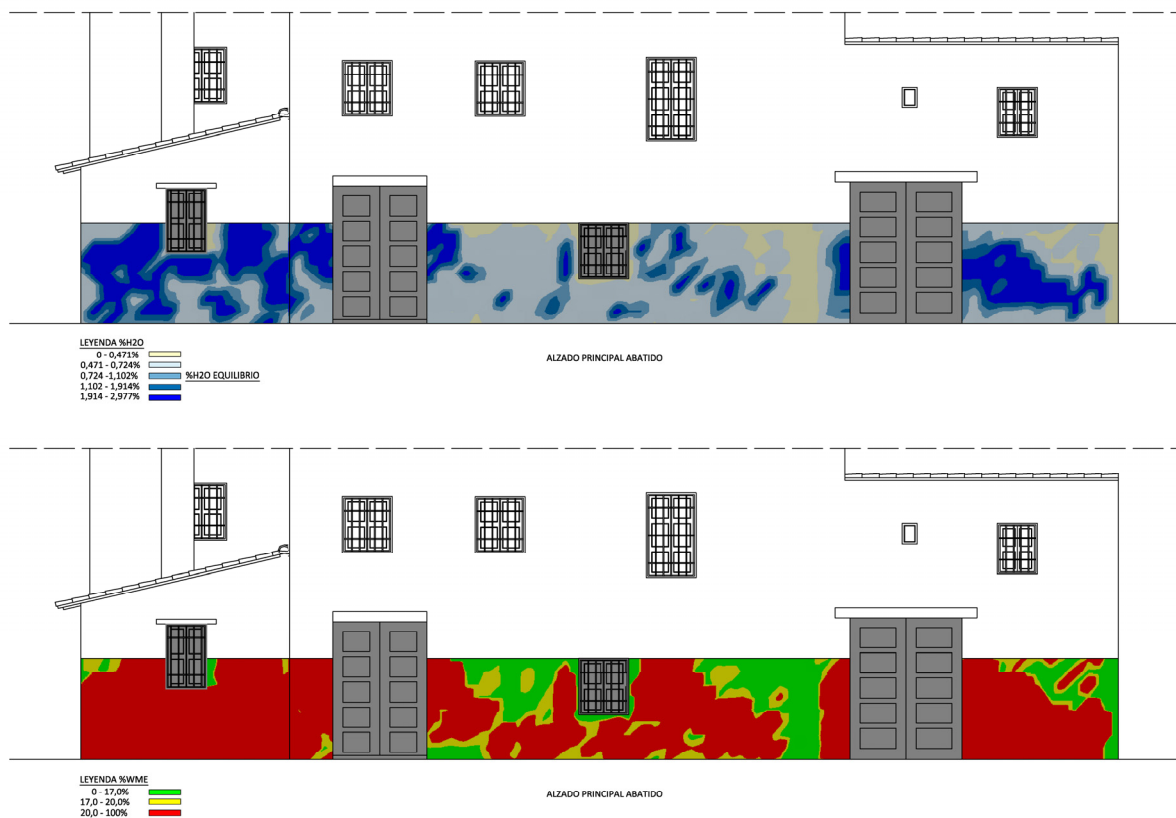


Fig. 5.18: Investigación sobre la afección de humedades a muros. Alquería de Ricós, Valencia. L'Alquería Centro de Educación Infantil de 0 a 6años. Universidad Católica de Valencia San Vicente Mártir.

Como se puede observar en la Fig. 5.18, las zonas azules de valor de equilibrio, son la zona límite húmedo-seco, por tanto coinciden con el rojo del humidímetro. La coincidencia es muy alta. Los valores del azul más oscuro estarían englobados en la gráfica del humidímetro en el rojo. Valórense estos conceptos en los trabajos de investigación aportados en esta Tesis en el Cap. 9.

Así mismo si comparamos las gráficas obtenidas en la investigación del Agromuseo y Ermita de Vera de Valencia (Cap. 9.2) y las comparamos con las imágenes obtenidas con la cámara térmica, y si las superponemos la coincidencia es mayor del 90%, luego se puede dar por válido el procedimiento propuesto. En este mismo edificio se realiza un control con georradar y se contrasta con los gráficos obtenidos: las coincidencias en los puntos de existencia de agua del radargrama son totales.

A continuación se exponen ejemplos gráficos de esta afirmación en distintos controles realizados en esta investigación, Así como en el Cap. 9, se aporta la información tomada, calculada y tratada de acuerdo a lo establecido en el PROCEDIMIENTO objeto de esta Tesis Doctoral.

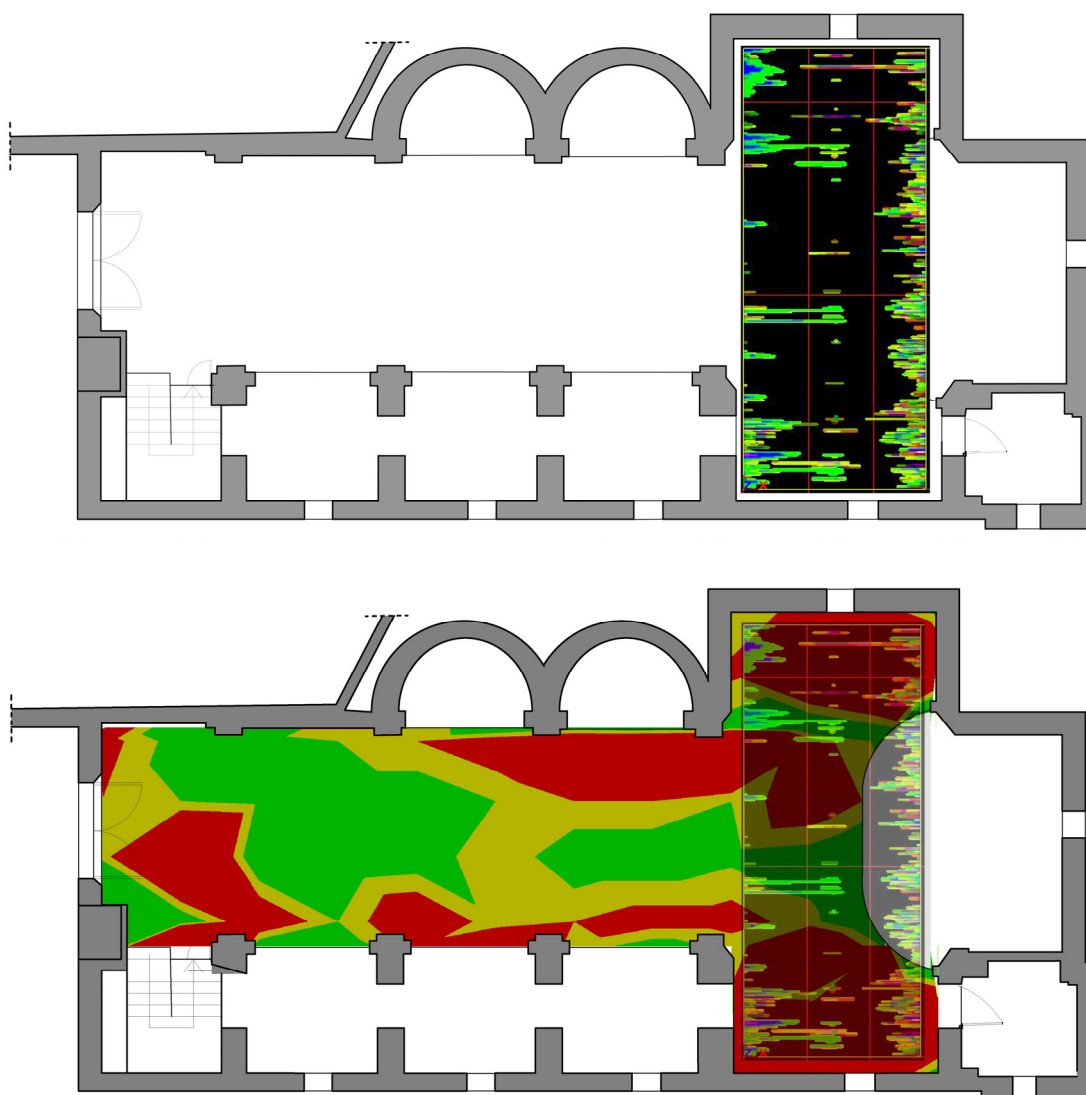


Fig. 5.19: Gráficos de isohídricas y radargramas del suelo de la Ermita de Vera, Valencia. Investigación realizada con este Procedimiento. Ver Cap. 9.2. Fuentes propias.

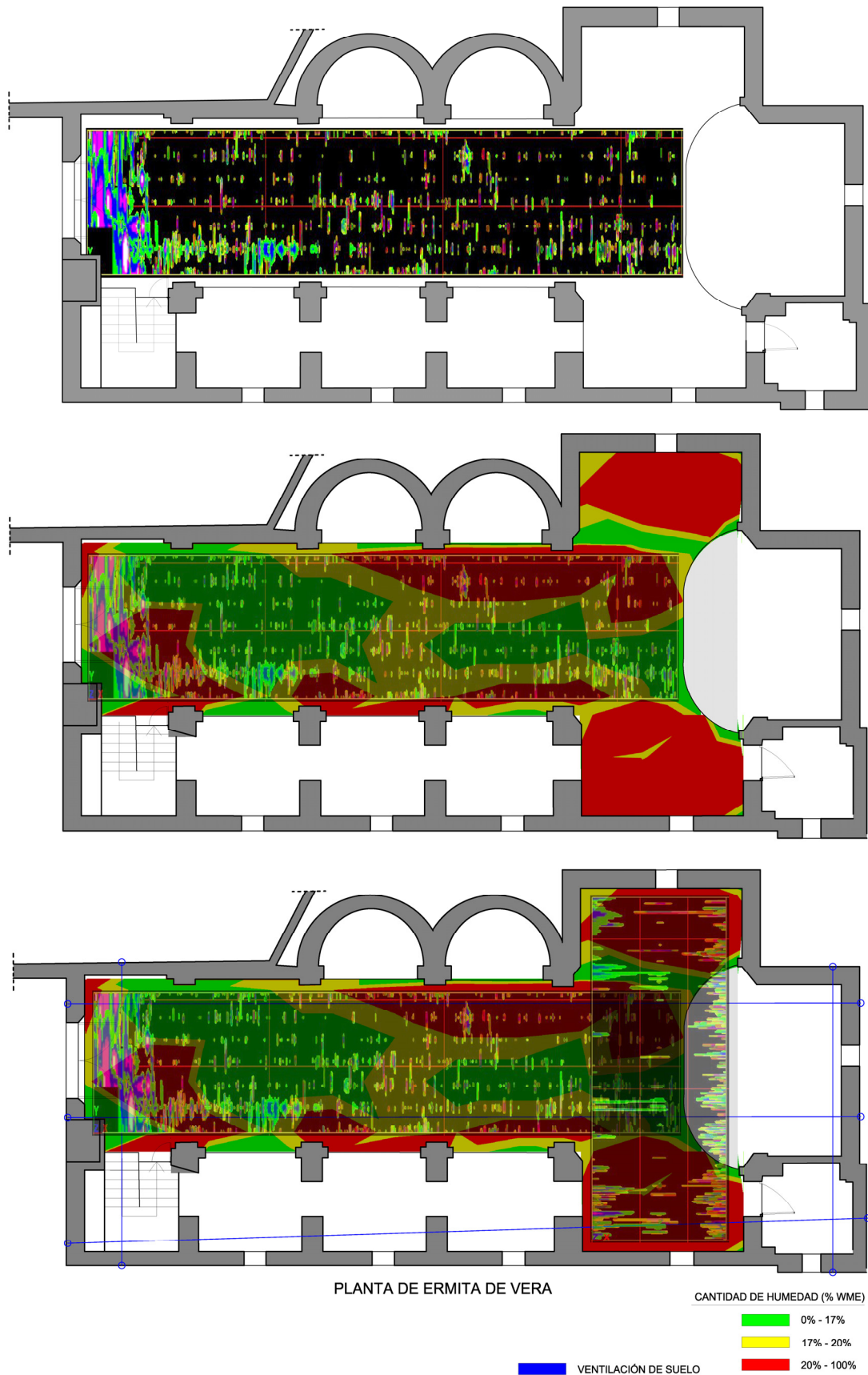


Fig. 5.20: Gráficos de isohídricas y radargramas del suelo de la Ermita de Vera, Valencia. Investigación realizada con este Procedimiento. Ver Cap. 9.2. Fuentes propias.

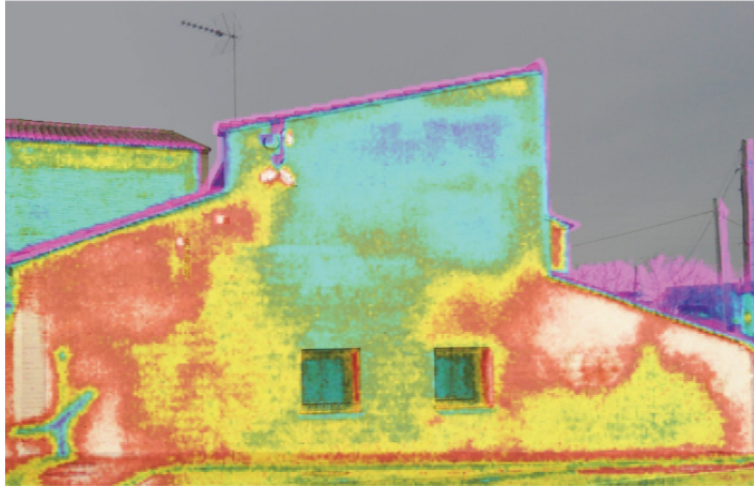
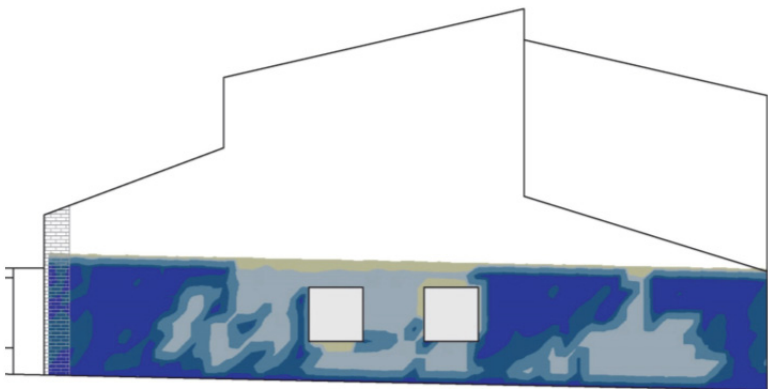
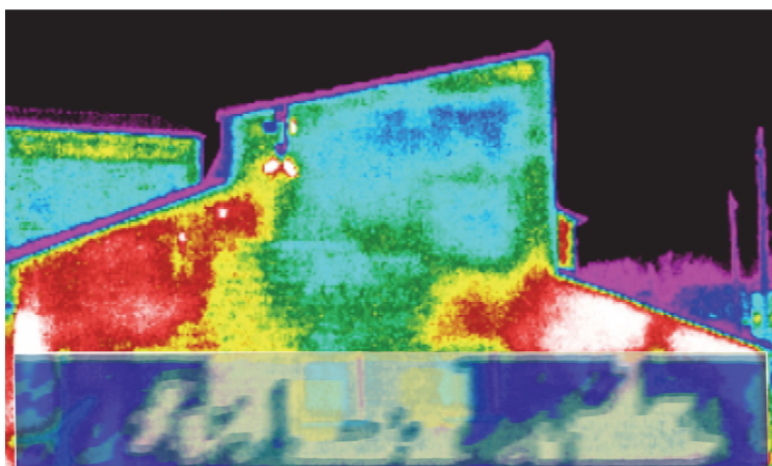


Fig.5.21: Fachada Oeste, Agromuseo y Ermita de Vera, Valencia. Ver Cap.9.2.

Imagen térmica rectificada ópticamente.



Gráficas de contenidos de humedad en % (MC) en zona de fachada hasta 2m de altura. Obsérvese las formas generadas y compárese con las zonas coloreadas en amarillo y verde de la imagen superior.



Superposición de la imagen térmica y las gráficas obtenidas. La coincidencia es alta.

5.9. Ventajas e inconvenientes del procedimiento. Sus limitaciones.

Ya se ha hablado largamente sobre las bondades de este Procedimiento para la obtención de las humedades reales en muros y suelos. Pero abundando en ello debo indicar que este Procedimiento permite también realizar una valoración de eficacia en el tiempo de tratamientos realizados en edificios para la erradicación de la humedad de capilaridad. Tan fácil como repetir el mismo proceso de control en el tiempo y comparar las gráficas obtenidas con las nuevas curvas isohídricas.

Así también podemos hablar de la facilidad de versatilidad de este Procedimiento, acoplándose al objeto a analizar ya tenga entrantes o salientes, elementos muebles que oculten el muro, muros que giran, muros que lo interceptan, de base horizontal, de base inclinada ascendente o descendente, molduras, rotos, huecos de puertas y ventanas.

En cuanto a las limitaciones o inconvenientes de este Procedimiento debemos hacer notar las dificultades en su ejecución, p.ej. para poder alcanzar las zonas de medición y colocar los elementos

de medición (zonas estrechas, incómodas de acceso, dimensiones reducidas, fuera de escala de los regles que disponemos, etc).

Otra de las limitaciones radica en que se debe limitar el tamaño de la cuadrícula de control a la cantidad de puntos de toma de acuerdo con un tiempo que no exceda aquel tiempo tal que los datos de temperatura y humedad puedan variar en demasía y produzcan una variación en los resultados. La solución a este inconveniente sería subdividir el espacio de control, no duplicar el número de personas actuando a la vez en dos mallas distintas, lo que implicaría un sobrecosto en inversión de equipos.

Otras limitaciones serán las correspondientes a los datos ambientales: temperatura y Hr del aire, así como el soleamiento o la posibilidad de ser afectado por el sol en su movimiento, arrojado de sombras de otro edificio cercano y todas aquellas circunstancias que puedan influir en los valores a



Fig. 5.22: Dificultad de movimientos en una toma de datos, utilizando el regle de control subdividido y como complemento un nivel de burbuja de 1m grafiado con escala numérica. Investigación realizada con este procedimiento. Puerta de acceso desde la Iglesia a la Casa Abadía. Iglesia de Ntra. Sra. de la Encarnación de Náquera. Valencia. Ver Cap. 9.1. Fuentes propias.

tomar. Se recomienda se realice una visita previa en días anteriores para detectar estas situaciones, así como consultar el tiempo previsible. Los días más deseables son los nublados y sobre las 7 a.m. de la mañana, al amanecer, pues en estos días y a esas horas las variaciones térmicas son menores en las horas inmediatas siguientes a la hora citada. Antes de esa hora, antes del alba, no es conveniente, pues sobre esa hora es cuando se produce un cambio de temperatura y Hr.

En muros orientados al este o sur se debe tener en cuenta esta orientación por el bañado ascendente de la superficie producida por el sol, sobre todo en época estival, pues puede producir cambios de temperatura en el objeto a analizar, falseando resultados. En cambio temperaturas por debajo de 5° C producen la cristalización del agua y pueden paralizar el proceso de captación de agua por el muro o suelo, variando los resultados. Incluso los dispositivos de control pueden verse afectados en su funcionamiento, se debe prever esta situación comprobando sus características o consultando esta situación con el fabricante del dispositivo.

6. DISCUSIÓN DE RESULTADOS Y CONCLUSIONES

Con respecto a lo que otros investigadores realizan sobre este tipo de investigaciones sobre humedades de capilaridad tengo que añadir que las diferencias con mi Procedimiento son las siguientes:

- Este Procedimiento está concebido para determinar la existencia de humedad en muros y el tipo de humedad que es, y es una ayuda para realizar un mejor y más acertado diagnóstico para realizar una intervención posterior.
- A diferencia de lo que realizan los demás en este procedimiento se realizan los controles en toda la superficie a analizar, obteniendo un todo de su situación hídrica. Se hacen controles determinativos en puntos concretos junto con un estudio completo del lienzo del muro a observar. De esta manera se determina la existencia o no de humedad capilar ascensional concretizándolo en toda la zona estudiada.
- Con este procedimiento se consigue diferenciar dentro de las zonas húmedas los distintos contenidos de humedad. Podríamos hablar de zonas seca, en equilibrio, húmedas o más húmedas, estableciendo escalas del % de humedad real contenida. Otros realizan controles en paños completos de fachadas pero no diferencian los distintos contenidos existentes de humedad por zonas.
- Todos consideran que las sales son un elemento que interviene y modifica los resultados de control de contenido de humedad en las tomas y en las muestras extraídas, pero participo de la opinión del Prof. Oxley y de E. G. Gobert con respecto a que el contenido de humedad higroscópica no es la misma para distintos materiales, sin embargo puede generalizarse estos valores para distintos materiales que están situados conjuntamente, aceptando esos valores como comunes. Esto se ha demostrado en la comparativa con otros procedimientos como la imagen térmica y el georradar.
- En cuanto al análisis de pavimentos, suelos o soleras, nadie lo considera a excepción de G. Massari, aunque solo estima su contenido por zonas puntuales no lo trata en general, sin embargo este procedimiento es aplicable a suelos, losas o soleras.

La investigación desarrollada se finaliza con una exposición de las conclusiones a partir de los objetivos planteados inicialmente.

Se ha justificado la necesidad de disponer de elementos que permitan efectuar un adecuado, correcto y efectivo diagnóstico de las humedades de capilaridad, tanto a nivel de implicación física de las personas como a nivel constructivo. En definitiva esta afección siempre implica molestias: físicas, estéticas, económicas.

Se ha analizado la humedad capilar en su idiosincrasia y en su comportamiento a través de los materiales de construcción. Se han examinado e investigado los procesos y métodos más relevantes empleados y se ha desarrollado un procedimiento de control de estas humedades.

Con respecto al último objetivo propuesto el cual era demostrar que los datos proporcionados por los dispositivos medidores de humedad (Protimeter), son aceptables cualitativamente, se demuestra que es eficaz; es decir, que los datos obtenidos son correlativos con los obtenidos mediante mi método, y que se corresponden con la humedad real contenida (ver Cap. 5.8).

Según Burkinshaw (Burkinshaw., 2002), Protimeter⁶⁴ establece que los materiales medidos con este dispositivo deberían mostrar la misma lectura sobre la escala del medidor a pesar de que los materiales integrantes del punto de control tienen distintas características físicas. Abundo en ello y, hay que decir que creo que ha quedado suficientemente demostrado, que aunque científicamente no es totalmente demostrable esa afirmación, ese parangón entre los datos obtenidos con el humidímetro y los datos obtenidos de humedad real SE CUMPLE.

El razonamiento que aduce la empresa fabricante PROTIMETER corresponde con el que diferentes materiales pueden tener la misma humedad de equilibrio incluso aún siendo sus contenidos de humedad distintos. Esto se puede corresponder con mi premisa inicial de cálculo de valores de humedad de equilibrio, de tal manera que si obtengo la humedad de equilibrio para unas muestras determinadas extraídas, puedo hacerla extensiva al resto de los puntos, siendo válida, aunque no cierta. Así pues en esta investigación se demuestra que el higrómetro Protimeter proporciona datos que no son cuantitativos, pero sí cualitativos pues coinciden con los valores cuantitativos obtenidos y cualitativos confrontados con el método de infrarrojos y que su planteamiento inicial descrito anteriormente, coincide con el planteamiento de unidad de valores de humedad de equilibrio para distintos materiales conjuntos establecida en esta investigación.

De esta manera las lecturas dadas por el Protimeter, serán lecturas relativas válidas en cuanto a su valor cualitativo, no cuantitativo. Esto lo hace suficiente para aportar información relevante de la patología de humedad que pueda afectar a muros o suelos.

En cuanto al método descrito para la representación de las curvas isohídricas, objetivo principal de esta investigación, se han descrito pormenorizadamente los procesos paso a paso para ejecutarlo. Se ha demostrado su realismo y eficacia en cuanto a la veracidad de lo que muestra es humedad real al confeccionar las curvas isohídricas + el tratamiento de la imagen obtenida para su mejor comprensión visual. Para ello, se han cotejado las informaciones obtenidas mediante este procedimiento con imágenes térmicas y con imágenes proporcionadas con georradar y se ha realizado más de una docena de estudios y controles, algunos de ellos comprobados con una monitorización de más de un año, para poder llegar a su especificación y conclusión.

Faltaría apuntar, que en cada intervención donde se aplique este procedimiento, sería necesario añadir el conocimiento, la intuición y la experiencia en la construcción de aquél que aplique este

⁶⁴ GE Protimeter plc. (www.protimeter.com).

procedimiento, pues cada edificio, cada muro, cada lugar, es distinto de los demás y necesita su tratamiento individualizado por lo que entiendo que este procedimiento no es estático sino que se le puede aplicar dinamismo y por tanto variarlo y mejorarlo, aplicándolo de manera particular de acuerdo a sus necesidades a cada muro, suelo, etc

De los ejemplos expuestos, el cuarto (local comercial en planta baja en Rinconada Federico García Sánchez nº 3 y 5 de Valencia, Cap. 9.4) es el más sencillo y se muestra aquí para demostrar que se puede realizar una investigación de control y detección de humedades en un edificio que forma parte del Patrimonio Arquitectónico de mucho valor intrínseco y también en un simple muro medianero de un edificio de viviendas.



Fig. 6.1: Equipo completo de control utilizado en esta investigación: humidímetro, regle grafiado, niveles de burbuja, cámara térmica, taladro, maletín de dispositivo de carburo de calcio, higrómetro, termómetro ambiental y de superficie, maza, cincel, recipientes para tomas, cepillo, lienza, clavos acerados, detector de sales, herramientas varias, etc.. Foto tomada durante la investigación realizada en el edificio de las Bodegas Torre Oria en Requena, Valencia. Fuentes propias.

Este investigador siente una gran satisfacción cuando al finalizar cada muro investigado aparece, como en un fluir, aquello que se ocultaba a los ojos y que sostiene los razonamientos, la aplicación de experiencias en situaciones similares e intuiciones desarrolladas por la práctica.

Esta Tesis Doctoral desde el principio planteó aportar un instrumento para el diagnóstico patológico de la humedad de capilaridad, para poner a disposición de la Edificación una herramienta útil, práctica y eficaz.



Fig. 6.2: Superposición virtual de la humedad real en la fachada de la Iglesia de Ntra. Sra. de la Encarnación de Nàquera, Valencia. Investigación realizada con este Procedimiento. Ver Cap. 9.1. Fuentes propias.

7. LÍNEAS FUTURAS DE INVESTIGACIÓN

Las líneas futuras de investigación pasarían por:

- Encontrar la fórmula para poder analizar las humedades higroscópicas y poder extrapolar sus valores a zonas completas afectadas de sales. Esto reduciría la cantidad de extracciones de muestras y facilitaría la interpretación de la humedad plasmada en los gráficos.
- En cuanto a la valoración de la humedad ambiental calculándola por capas en altura de acuerdo a lo planteado en este Procedimiento, sería deseable añadir una ampliación de este Procedimiento que permita relacionar los valores obtenidos en los gráficos de humedad en horizontal en el ambiente con los gráficos de humedad grafiados en los muros, con el objetivo de alcanzar razones comprobando si la aportación o no de humedad al ambiente por los muros tiene una influencia determinante la higroscopicidad de los revestimientos en el ambiente, que sí la tendrá pero a través de ello se pueden alcanzar nuevas razones o situaciones que aporten nuevas luces a la patología analizada, por ejemplo valorar la participación en la generación por parte de los revestimientos higroscópicos en la evaporación, condensación, o mezcla de distintas masas de aire en el interior del edificio objeto de análisis.
- Trabajar conjuntamente con la técnica del georradar, que puede aportar una nueva información que complementa la obtenida con las técnicas descritas en este Procedimiento, evitando la toma de muestras a más profundidad, proporcionando mayor exactitud del alcance de los contenidos de humedad , así de esta manera, en masa. Actualmente este investigador está trabajando en esta dirección conjuntamente con otros investigadores en la U.P.V.

8. BIBLIOGRAFÍA

BIBLIOGRAFÍA CITADA:

- Aznar Mollá, J. B. (1995). Humedades de ascensión capilar. *Tribuna de la Construcción*.
- Boekwijt, W, & Vos, B. (1970). Measuring Method for determining Moisture Content and Moisture Distribution in Monuments. *Studies in Conservation*, 81-93.
- Burkinshaw., R. (2002). What is the moisture meter trying to tell us? *Structural Survey Journal*, 20(5).
- Camuffo, D. (2001). En *Microclimate for Cultural Heritage* (págs. Chapter 2, 42 a 89). Amsterdam: Elsevier Science B.V.
- Compare, V., Cozzolino, M., Di Giovanni, E., & Mauriello, P. (9-10 de Diciembre de 2010). EXAMPLES OF DIAGNOSTIC FOR CULTURAL HERITAGE. Roma, Italia.
- Fernández París, J. M. (1978). Influencia del medio ambiente en los materiales de construcción III. Dinámica salina. (CSIC, Ed.) *Materiales de Construcción*, 28(170).
- Fornés y Gurrea, M. (1841). *Práctica del Arte de Edificar*. Valencia: París-Valencia, edición facsímil, 1999.
- Franchini, F. (1991). En *Il fenomeno dell'umidità. Aspetti teorici e operativi. Prima Parte*. Rimini (Italia): Bruno Ghigi Editore.
- GE, G. E. (s.f.). Measurement and Control Solutions. *How to Measure Moisture in Buildings*.
- Hall, C., & Hoff, W. D. (8 de agosto de 2007). *rspa.royalsocietypublishing.org*.
- Hanif, M., Othuman Mydin, M. A., & Utaberta, N. (1 de Julio de 2015). Study of rising dampness problem in housing area in Klang Valley, Malaysia. *Jurnal Teknologi*, 75:5 (2015) 113-119.
- Health, N. I. (1997). *Criterios para el Diagnóstico y Tratamiento del Asma*. National Heart, Lung and Blood Institute, Recomendaciones del II Informe del Grupo de Expertos, U.S.A.
- (1988). *Informe*. O.C.G. Adan Université D'Eindhoven, Países Bajos, Sociedad Francesa de Alergología, Jornadas Nacionales, Strasbourg.
- Massari, G., & Massari, I. (1985). *Risanamento Igienico dei Locali Umidi*. Milano: Ulrico Hoepli Editore, S.p.A.
- Ortega Andrade, F. (1994). *Humedades en la Edificación*. Sevilla: EDITAN,S.A.
- Oxley, T. A., & Gobert, E. (1994). *The Professionals and Home Owners Guide To Dampness in Buildings: Diagnosis, Treatment, Instruments* (Second ed.). (J. A. Mollá, Trad.) Oxford OX2 8DP, England: Butterworth-Heinemann Ltd.

- Park, S. C. (1990). Rising Damp in Historic Buildings II: Case Studies. (N. P. Service, Ed.) *CRM Bulletin*, 23 a 27.
- Park, S. C. (1990). Rising Damp in Historic Buildings: Diagnosis and Treatment. (N. P. Service, Ed.) *CRM Bulletin*, 13(2), 7 a 11.
- Pinto Guerra, E. (Marzo 2008). Risanamento di mure umide e degradate: manuale, guida progettuale, soluzioni. Palermo (Italia): Dario Flaccovio Editore.
- Romanelli, F. (2001). *L'Origine dell'umidità nella Basilica di San Vitale a Roma*. (U. d. Facoltà di Architettura, Ed.) Roma, Italia: Gangemi Editore.
- Salemi, A. (2000). *Il recupero e la conservazione delle fabbriche tradizionali. Le patologie da umidità*. Catania, Italia: Gangemi Editore.
- Tabata, M., Koh, E., & Kamada, E. (1976). Measurement of moisture content by electric resistance method. *Annual Meeting AIJ*, (págs. 117-118). Tokai, Japan.
- Tada, S., & Kazumasa, W. (1998). An overview of Principles and Techniques of Moisture Properties Measurement for Building Materials and Components. En B. R. Japan (Ed.), (pág. 27). Tsukuba, Japan.
- Torraca. (1982). Giorgio. En *Materiaux de Construction Poreux, science de materiaux pour la conservation architecturale*. Roma (Italia): ICCROM.
- Trotman, P. (2007). *DG 245, 2007 Edition*. British Research Digest. Watford, England: BRE publications.
- Trotman, P., & Parret, M. (2004). *Diagnosing Damp* (2010 ed.). (R. B. Limited, Ed.) Coventry, United Kingdom.
- Vos, B. (1971). Suction of groundwater. . London: *Studies in Conservation*, 16 (4).

BIBLIOGRAFÍA ESPECÍFICA:

- Alonso Rodríguez Fco. Javier, Ruiz Balbas Aitor, Carrillo Vigil Leonor, Delgado Cabriada Salvador, Franco Ochoa Belén, García Fernández Belén, et al. *Jornadas de Caracterización de Materiales Pétreos en Arquitectura, Escultura y Restauración. Tomo I: Rocas, morteros y ladrillos: Caracterización y Patologías*. Zaragoza: Fundación Uncastillo Dpto. geología Universidad de Zaragoza, Equipo Arbotante, 2009. ISBN: 84-600-9795-1.
- Bermejo Latre José Luis, Cebrian Alonso Enriqueta, Franco Ochoa Belén, Gisbert Aguilar Josep, Gómez González M^a Luisa, García Esteban M^a Pilar, et al. *Jornadas de Caracterización de Materiales Pétreos en Arquitectura, Escultura y Restauración. Tomo II: Legislación y criterios técnicos e histórico-artísticos en restauración de materiales pétreos. Métodos y criterios de actuación*. Zaragoza: Fundación Uncastillo Dpto. geología Universidad de Zaragoza, Equipo Arbotante, 2009. ISBN: 84-600-9796-X.
- Bosia, Daniela. *Risanamento igienico edilizio. Effetti dell'umidità, degrado dei materiali da costruzione, criteri di scelta interventi, tecniche di risanamento*. Roma, Italia: EPC Libri, 2005. ISBN: 88-8184-374-1.
- Burkinshaw, Ralph y J.Parrett, Michael. *Diagnosing Damp*. Nordwich, Reino Unido: RICS, 2010. ISBN: 1-84219-097-0
- Camuffo, Dario. *Microclimate for Cultural Heritage*. III Edición. Amsterdam, Holanda: Elsevier Science B.V.,2001. ISBN. 0-444-82925-3. ISSN:0167-5117.
- Chadderton, David V. *Building Services Engineering*. V Edición. Londres, Reino unido; New York, EE.UU. : Taylor&Francis Group, 2007. ISBN 97804154133558
- Cigni, Giuseppe y Codacci-Pisanelli, Biancaneve. *Umidità e degrado negli edifici. Diagnosi e rimedi*. Roma, Italia: Edizioni Kappa, 1987.
- De Federico, Jesús. *Alumbramiento de aguas (Cómo se descubre el agua subterránea sin necesidad de aparatos-Con 35 láminas)*. II Edición. Valladolid: Ediciones Ibéricas, 1950.
- D' Ambrosio FR., Imperato M. y Riccio G. *Il Risanamento delle pareti afette da umidità ascendente: Tecnologie e Prodotti*. Nápoles, Italia: Cuen, 2001. ISBN: 88-7146-590-3.
- D'Orazio, Marco. *Gli intonaci e l'umidità-Guida ai sistemi per difendersi*. II Edición. Milán, Italia: BE-MA Editrice, 2000. ISBN: 88-7143-213-4.
- Esbert, Rosa M.; Ordaz, Jorge; Alonso, Fco. Javier; Montoto, Modesto. *Manual de diagnosis y tratamiento de materiales pétreos y cerámicos*. Barcelona, España: Col-Legi Oficial d' Aparelladors i Arquitectes Tecnicos de Barcelona, 1997. ISBN: 84-87104-29-0.
- Fernández Navarro, Lucas. *Investigación y Alumbramiento de aguas subterráneas*. Barcelona: Sucesores de Manuel Soler-Editores, 1909.
- Franchini, Francesca. *Il Fenomeno dell'umidità nell'edilizia. Aspetti teorici e operativi. Prima parte*. Rimini, Italia: Bruno Ghigi Editore, 1991.

- Franco Lamanna, Luigi y Bellichi, AnnaLaura. *L'umidità nelle murature. Analisi, tecniche e materiali per il risamento*. Roma, Italia: Carocci editore, 1998. ISBN: 88-430-1236-3.
- Gratwick, R.T. *La humedad en la construcción. Sus causas y remedios*. Barcelona: Editores técnicos asociados S.A, 1976. ISBN:-
- Heritage Alison, Heritage Adrian y Zezza Fulvio. *Desalination of Historic Buildings, Stone and Wall Paintings*. Londres, Reino Unido: Archetype Publications, 2013. ISBN: 978-1-904982-89-0
- Hetreed, Jonathan. *The Damp House*. Marlborough, Wiltshire, Reino Unido: Crowood, 2014. ISBN: 978-1-86126966-9.
- Lefèvre, Roger-Alexandre. *La pietra dei monumento in ambiente físico e culturale*. Bari, Italia: Edipuglia, 1997. ISBN: 88-7228-175-X.
- Lefèvre, Roger-Alexandre. *The materials of cultural heritage in their environment*. Bari, Italia: Edipuglia, 2007. ISBN (10) 88-7228-447-3, (13) 978-88-7228-447-6.
- Lefèvre, Roger-Alexandre. *La pietra dei monumento nel suo ambiente físico*. Roma, Italia: Istituto Poligrafico e Zecca dello Stato, 1995. ISBN: 88-240-3922-7.
- Massari, Giovanni e Ippolito. *Risanamento igienico dei local umidi*. V Edición. Milán, Italia: Hoepli, 1998. ISBN: 88-203-1231-X.
- Montagna, Fabrizio. *Termografia edile. Con 23 schede di ispezioni termografiche svolte. Progettazione Tecniche & Materiali*. Santarcangelo di Romagna, Italia: Maggioli editore, 2012. ISBN: 978-88-387-7490-0.
- Mundula, Isabella y Tubi, Norberto. *Umidità e risanamento negli edifici in muratura. Progettazione Tecniche & Materiali*. IV Edición. Santarcangelo di Romagna, Italia: Maggioli Editore, 2006. ISBN: 88-387-3096-2
- Ortega Andrade, Francisco. *Humedades en la edificación*. II Edición. Sevilla, España: Editan S.A., 1994. ISBN: 84-87005-01-2.
- Oxley T.A. y Gobert E.G. *Dampness in Building. Diagnosis-Treatment-Instruments*. 2ª edición. Reino Unido: Butterworth-Heinemann Ltd, 1994. ISBN: 0-7506-2059-5.
- Pinto Guerra, Edgardo. *Risanamento di murature umide e degradate. Manuale-Guida Progettuale-Soluzioni*. Palermo, Italia: Dario Flaccovio Editore, 2008. ISBN: 978-88-7756-791-6.
- Roche Guido. *La termografia per l'edilizia e l'industria. Manuale operativo per le verifiche termografiche*. Santarcangelo di Romagna, Italia: Maggioli Editore, 2012. ISBN: 978-88-387-6887-0.
- Romanelli, Francesco. *L' Origine dell'Umidità nella Basilica di San Vitale a Roma. Analisi degli scambi termoigrometrici tra muratura e ambiente*. Roma, Italia: Gangemi Editore, 2001. ISBN: 88-492-0190-7.

Salemi, Angelo. *Il recupero e la conservazione delle fabbriche tradizionali. Le patologie da umidità*. 2ª edición. Roma, Italia: Gangemi Editore, 2001. ISBN: 88-492-0097-8

Trotman, Peter; Sanders, Chris et al. *Understanding dampness*. Garston, Watford, Reino Unido: BRE Bookshop, 2004. ISBN: 1-86081-686-X.

Guías Técnicas

Drive, George C. y Moor Clifton. *How to measure moisture in buildings*. York, Reino Unido: York Survey Supply, 2013.

Flir Commercial Systems B.V. *Guía sobre termografía para aplicaciones en edificios y energía renovable*. Países Bajos: Flir Commercial Systems B.V., 2011.

Fluke Corporation and Shell Group. *Introducción a los principios de la termografía*. Países Bajos: American Technical Publishers Inc, 2009. ISBN: 978-0-8269-1535-1.

Lloyd, Huw y Singh, Jagjit. *Environmental monitoring: inspection, investigative monitoring techniques for historic buildings and case studies - brief paper*. Milton Keynes, Reino Unido: Environmental Building Solutions Ltd. (EBS), 2013.

Maclennan, Ian. *Lime Plaster & Plaster Lath for damp Buildings*. Reino Unido: LSE Presevation, 2012.

Property Care Association (PCA). *The use of Moisture Meters to establish the presence of Rising Damp*. DP1/1107. Huntingdon, Reino Unido: PCA, 2007.

Property Care Association (PCA). *Recognition an Causes of Condesation*. DP3/1107. Huntingdon, Reino Unido: PCA, 2007.

Testo AG. *Humedad en la Edificación. Guía de bolsillo*. Lenzkirch, Alemania: Testo AG(ed.), 2011.

Young, David y Dr. Ellsmore, Donald. *Salt attack and rising damp. A guide to salt damp in historic and older buildings*. Mailand, Australia: Heritage Council of NSW, 2008. ISBN: 987-0-9805126-4-9.

Tesis doctorales

García Morales, Soledad (Ed.). *Metodología de diagnóstico de humedades de capilaridad ascendente y condensación higroscópica, en edificios históricos*. Madrid, España: 1995. ISBN:-

Moncó Gayo, Elena (Ed.). *La humedad como causa de patologías en monumentos: desarrollo de nuevas técnicas de análisis no destructivo basadas en termografía infrarroja*. Madrid, España: 2002. ISBN: 978-84-669-0407-0.

Proyectos Final de Carrera, Proyectos Final de Grado.

Jiménez de Pablo, Estela (Ed.). *Determinación Experimental de Tensión Superficial del agua en cámara micro-reológica*. Madrid, España: Universidad Carlos III de Madrid, 2012.

Artículos

- Ahmad, Ghafar y Fadzilag, Harris. *Treatment of Salt Attack and Rising Damp in the Heritage Buildings in Penang, Malaysia*. Malasia: Universiti Sains Malaysia Press (USM), 2010. *Journal of Construction in Developing Countries*, vol. 15(1), 93-113, 2010.
- Bornehag, C.G.; Blomquist, G.; Gyntelberg, F; Järholm, B; Malmberg, P; Nordvall, L ; et al. *Dampness in buildings and Health. Nordic Interdisciplinary Review of the Scientific Evidence on Associations between Exposure to “Dampness” in Buildings and Health Effects (NORDDAMP)*. Dinamarca: Indoor Air, 2001. (<http://journals.munksgaard.dk/indoorair>). ISSN: 0905-6947
- Coleman, Graham Roy. *Use of electrical moisture meters. Remedial Technical Services*. Reino Unido: Building Persevation, 2014. www.buildingpersevation.com.
- Coleman, Graham Roy. *Electrical moisture meters -v- carbide moisture meters. Remedial Technical Services*. Reino Unido: Building Persevation, 2014. www.buildingpersevation.com.
- Coleman, Graham Roy. *Equilibrium Relative Humidity (ERH) - the pitfalls. Remedial Technical Services*. Reino Unido: Building Persevation, 2014. www.buildingpersevation.com.
- Coleman, Graham Roy. *How damp is damp?. Remedial Technical Services*. Reino Unido: Building Persevation, 2014. www.buildingpersevation.com.
- Coleman, Graham Roy. *BRE Digest 245 'Rising damp in Walls: diagnosis and treatment' - A Guide or a Specification?. Remedial Technical Services*. Reino Unido: Building Persevation, 2014. www.buildingpersevation.com.
- Coleman, Graham Roy. *Sampling for Moisture and Soluble Salt 'Profiles'. Remedial Technical Services*. Reino Unido: Building Persevation, 2014. www.buildingpersevation.com.
- Coleman, Graham Roy. *Site diagnosis for dampness - the correct approach. Remedial Technical Services*. Reino Unido: Building Persevation, 2014. www.buildingpersevation.com.
- Coleman, Graham Roy. *The Truth about Rising Damp. Remedial Technical Services*. Reino Unido: Building Persevation, 2014. www.buildingpersevation.com.
- Coleman, Graham Roy. *Distribution of Moisture and Soluble Salts in Masonry*. Reino Unido: Building Persevation, 2014. www.buildingpersevation.com.
- Coleman, Graham Roy. *A review and opinion of performance data relating to an environmentally controlled damp-proofing system*. Reino Unido: Building Persevation, 2014. www.buildingpersevation.com.
- Coleman, Graham Roy. *Rising Damp – The truth, not the “Myth”*. Reino Unido: Peter McDonald, Building Preservation Consultant art. Nº6, 2014. <http://www.dampdecay.co.uk>
- Compare, Vincenzo; Cozzolino, Marilena; Di Giovanni, Elisa; Mauriello, Paolo. *Examples of diagnostic for cultural Heritage. Conference Diagnosis for the conservation and valorization of cultural heritage*. Italia: Universidad de Molise, 2010. ISSN: 0865-478973.

- Hall, Christofer and Hoff, William D. *Rising damp: Capillary rise dynamics in walls*. Reino Unido: Proceedings of the Royal Society, 2007 (<http://rspa.royalsocietypublishing.org/content/463/2084/1871.full.html#ref-list-1>). DOI: 10.1098/rspa.2007.1855.
- Parrett, Mike. *Rubbing salt in the wound. The presence of chloride and nitrate salts in a building may not be caused by rising damp, says Mike Parrett, but may come from any number of other sources – from soot and detergents to animal urine and fertilisers. Pathology-Investigation damp*. Reino Unido: BS Journal, 2011.
- Roels, Staf; Carmelirt, Jan; Hens; Hugo; Adan, Olaf; Brocken, Harold et al. *A comparison of Different Techniques to Quantify Moisture Content Profiles in Porous Building Materials*. Journal of Thermal Envelope and Building Science, 2004 (<http://jen.sagepub.com/content/27/4/261>). DOI: 10.1177/1097196304042117.
- Reeves, Paul C. y Celia, Michael A. *A functional relationship between capillary pressure, saturation, and interfacial area as revealed by a pore-scale network model*. Princeton, New Jersey, EE.UU.: Water resources research, 1996. Vol.32, No 8, páginas 2345-2358.
- Sturgeon, Ralph E.; Lam, Joseph W.; Windust, Anthony; Grimberg, Patricia; Zeisler, Rolf; Oflaz, Rick L. et al. *Determination of moisture content of single-wall carbon nanotubes*. Londres, Reino Unido: Springer-Verlag, 2011. Anal Bioanal Chem (2012) 402:429–438. DOI 10.1007/s00216-011-5509-y.

Normativa citada y específica, comentada.

13/30259340 DC BS EN ISO 6761 Performance of buildings. Detection of heat, air and moisture irregularities in buildings by infrared methods. Part 3. Qualifications of Equipment Operators, Data Analysts and Report Writer.

Actuación en los edificios. Detección de irregularidades en el calor, el aire y la humedad en los edificios por métodos infrarrojos. Parte 3. Requisitos de los Operadores de Equipos, Analistas de Datos y Redactores de Informes.

Este borrador de norma, (Draft International Standard: ISO/DIS 6781-3) está basado en discusiones a nivel europeo donde, en éstas, predomina la actividad de GB. El hecho es que no aparece como norma UNE, ni UNI, pero sí como norma EN. Por tanto debemos tratarla como una norma en lo que es: no activa, tan solo informativa.

Este borrador de norma define los requisitos y los niveles de competencia de los operadores, analistas y redactores de informes para poder realizar un estudio termográfico en un edificio. Lo importante de este borrador no es en concreto lo que expresa, sino en general la filosofía que hay detrás de ella de la cual quiero hacerme cargo y se corresponde con la seriedad en la ejecución en cuanto a la exactitud y criterio establecido previo a la intervención en la ejecución del análisis, la importancia en la preparación personal y el conocimiento de la materia. Deseamos aparezcan pronto las partes 1 y 2 de este mismo borrador (Parte 1: Procedimientos generales, Parte 2: Equipos necesarios) y aporten claridad a los procesos de ejecución en termografía. Esta norma hace indicaciones de cómo deben realizarse los ensayos con termografía. Sus instrucciones e indicaciones se utilizan en el análisis realizado en la Ermita de Vera (Valencia), análisis referenciado en el Anexo, Cap. 8.3.

ASTM D4263-83 (2012). Standard Test Method for Indicating Moisture in Concrete by the Plastic Sheet Method. Método de prueba estándar para indicar la humedad en el hormigón por el Método de la Hoja de Plástico.

Significado y uso: La humedad capilar en el hormigón puede ser perjudicial para el rendimiento de determinados sistemas de revestimiento que no pueden tolerar la humedad sobre o dentro del límite de superficie.

Este método de ensayo se utiliza antes de la aplicación de revestimientos sobre hormigón.

Alcance: Este método de ensayo se utiliza para indicar la presencia de humedad capilar en el hormigón.

Independientemente de este uso recomendado en el hormigón, diversos autores recomiendan su aplicación para determinar el contenido de humedad de equilibrio.

ASTM F2420-05 (2011) Standard Test Method for Determining Relative Humidity on the Surface of Concrete Floor Slabs Using Relative Humidity Probe Measurement and Insulated Hood (Withdrawn 2014). Norma derogada en 2014.

Método de prueba estándar, denominado Test de la Cúpula, para determinar la Humedad Relativa en la superficie de las losas de piso de hormigón con sonda de Medición de Humedad Relativa y el método de aislamiento de la capucha (Norma retirada en 2014).

Este método de ensayo cubre la determinación cuantitativa de la humedad relativa en %, de la superficie de las losas de piso de hormigón para pruebas de campo o de laboratorio.

Comentario en esta Norma realizado por el Normalizador justificando su derogación: *“Antiguamente bajo la jurisdicción del Comité F06 sobre revestimientos para suelos resilientes, este método de ensayo se retiró en diciembre de 2014. Esta norma está siendo retirada sin reemplazo porque se llevaron a cabo ensayos de control y confirmación desde el 26 de diciembre de 2013 hasta el 3 de marzo de 2014 por miembros de ASTM. Cuando se sometió a más de una losa de hormigón con la superficie preparada y sellada la prueba como se describe en el último borrador aprobado F2420, los resultados mostraron que cada capucha/sonda utilizada necesitó cerca de 49 días para conseguir una diferencia de aproximadamente del 2% de la última lectura tomada después de 70 días de ensayo. Dicho esto, a los 70 días, los seis conjuntos diferentes de campana/sonda utilizados tenían una diferencia del 9% entre ellos. Estos resultados muestran claramente que, incluso después de 70 días no sería aceptado por los fabricantes de suelos como un método de prueba para la instalación de suelos flexibles. Además, se muestra que para ser concluyentes, como método de prueba para la investigación de errores de instalación, se necesitan 70 días, por lo que no tiene ningún valor real para la industria. El que este método sea un método de ensayo ASTM es una de las razones para que otros países lo utilicen a pesar de que nunca han realizado ellos mismos ensayos de confirmación. El retirar este documento parece razonable ya que parece tener poco valor para la industria” (traducción propia del autor)*”.

A mi entender esta norma entra en conflicto con la norma británica BS 5325:2001 puesto que describe el mismo sistema. Cuando habla de otros países se referirá por similitud, entiende este investigador, a GB, puesto que todavía mantiene vigente este mismo ensayo descrito en la norma BS 5325:2001.

BS 5325:2001 Installation of textile floor coverings. Code of practice. (Instalación de pavimentos textiles. Código de Prácticas).

Esta norma británica ofrece recomendaciones para la instalación de pavimentos textiles en edificios nuevos o existentes. En él se detallan los métodos adecuados de diseño e instalación y asesora en la selección de los materiales necesarios para su ejecución. Detalla en el Anexo A las condiciones de humedad ambiental y del soporte, en el que establece el procedimiento para la realización de pruebas para determinar el contenido de humedad en una losa o solera de hormigón mediante el método de la caja (*insulated impermeable box*).

Establece el método llamado de la “capucha” o “test de la cúpula”: *Insulated impermeable box* (ver método descrito en Cap. 3.7.2), proceso muy similar a lo establecido en la norma americana ASTM F2420-05 (2011). El BRE e investigadores tales como Coleman y Salemi, ni siquiera nombran este procedimiento, no lo consideran al estudiar la humedad de capilaridad. Algunos lo mencionan como deseable (Oxley & Gobert, 1994), pero improbable de utilización por lo laborioso en su proceso ya que este procedimiento exige muchas horas en su realización: puede llevar este ensayo a la utilización desde un mínimo de 72 horas

hasta semanas. Se pierde la inmediatez del ensayo y sería dudable su referencia a otros ensayos⁶⁵ tomados en el mismo muro, debido a la distancia en el tiempo.

BS 6576:2015 +A1:2012, Code of practice for diagnosis of rising damp in walls of buildings and installation of chemical damp-proof courses.

Código de prácticas para el diagnóstico de la humedad ascendente en las paredes de los edificios y la instalación de barreras químicas antihumedad de capilaridad.

En esta norma se explica como diagnosticar y tratar la humedad ascendente, y como instalar una barrera antihumedad mediante sistemas de protección, sistemas de construcción, la protección contra el agua procedente del subsuelo, inyectado de barreras, tratamiento de superficies, acabados, tratamientos en paredes de doble tabique. Para ello describe un análisis para determinar la afección por humedad capilar a través de un primer contacto visual con el elemento a analizar por sus dos caras: exterior e interior y un segundo control utilizando dispositivos eléctricos de medida, abundando en ellos como elemento de cuantificación de la humedad cualitativa, referenciando la necesidad de confirmar la existencia y cuantificación cuantitativa con extracción y análisis de muestras físicas. Se hace hincapié en la importancia y necesidad de diferenciar entre la humedad capilar y otras causas de humedad. Da recomendaciones para el tratamiento químico de la humedad ascendente en los edificios existentes con paredes macizas, paredes de doble hoja y con las cámaras rellenas. También se indican las precauciones y procedimientos esenciales para la instalación de barreras químicas para evitar la humedad capilar ascendente.

Esta norma es muy interesante pues aprueba y establece como válido el uso de los sistemas eléctricos de control y detección de humedad capilar descritos en el Cap.3.8.3, limitada esta utilidad a su certeza, estableciendo la necesidad de realizar una comparación con valores obtenidos en muestras físicas analizadas en laboratorio.

EN 13187:2000 Thermal performance of buildings. Qualitative detection of thermal irregularities in building envelopes. Comportamiento térmico de edificios. Detección cualitativa de irregularidades térmicas en obras de construcción - Método de infrarrojos.

Esta norma especifica un método cualitativo, mediante el examen termográfico, para detectar irregularidades térmicas en la envolvente de un edificio. El método se utiliza inicialmente para identificar variaciones en las propiedades térmicas, incluyendo la hermeticidad al aire de los componentes que constituyen la envolvente exterior de

⁶⁵ Si se realizan tomas de datos de humedad cualitativa por puntos en un muro, p.ej. con un humidímetro, si se tiene que valorar la humedad de equilibrio con una extracción física de muestras y analizándolas después en laboratorio, no se pierde la relación de los datos obtenidos con su humedad de equilibrio obtenida con esa extracción. Sin embargo, si se instala un dispositivo detector de humedad de equilibrio tipo insulated impermeable box, tal como especifica esta Norma, al necesitar más tiempo para alcanzar la humedad de equilibrio tomada a las horas, días, o semanas después de realizar la toma de datos, podría no corresponderse ese valor de humedad de equilibrio con los valores iniciales tomados en los puntos de control. Ver más en abundancia sobre esto en la norma derogada: ASTM F2420-05 (2011)

los edificios. Describe los tres defectos que se pueden localizar durante una inspección termográfica: la infiltración de aire, el aislamiento no uniforme, humedad y filtración. Todas a la vez, estas propiedades térmicas tienen mucho que ver con la impermeabilidad o no de los elementos envolventes por lo que los gráficos y termogramas dispuestos a modo de ejemplos en sus anexos A, B y C, son una clara ayuda y claros ejemplos indicativos de la patología objeto de esta investigación, por lo que es de consideración por mi parte.

En esta norma se definen distintos tipos de pruebas, entre ellas se determina como realizar una toma de datos para obtener la distribución de la temperatura superficial reflejada. Facilita información sobre la interpretación de los gráficos obtenidos mediante este procedimiento, por lo que se ha tomado en cuenta para realizar la interpretación de los valores de humedad en el análisis realizado en la Ermita de Vera (Valencia), análisis referenciado en el Cap. 9.2.

ISO 24353:2008 Ed 1 Comportamiento higratérmico de los materiales de construcción- Determinación de la humedad de adsorción/desorción, propiedades en respuesta a la variación de la humedad.

Especifica un método de ensayo para la determinación de la humedad de adsorción/desorción de los materiales de construcción en respuesta a la variación de humedad. También define la eficiencia de adsorción/desorción de los materiales de construcción, medida como el cambio en la masa de una muestra que se mueve de un espacio determinado a otro, de humedad relativa diferente a temperatura constante.

Las propiedades de la humedad de adsorción/desorción de los materiales se miden bajo condiciones de un solo ciclo y varios ciclos. Esta norma se tiene en cuenta en la investigación realizada en la Iglesia de San Pablo de los Jesuitas (Anexo Cap. 12.3) en cuanto al análisis de la humedad ambiental referenciada a la humedad existente en los muros

UNE EN 1925: 2007 Métodos de ensayo para piedra natural. Determinación del coeficiente de absorción de agua por capilaridad.

Especifica un método para determinar el coeficiente de absorción de agua por capilaridad de la piedra natural. Son necesarias para realizar los ensayos descritos en esta norma, probetas de 70x70mm o 50x50mm, cilíndricas o prismáticas. Este ensayo no es utilizable en este estudio por no necesitar calcular este valor de absorción de agua por capilaridad, pero si es de aplicación el sistema de desecado de muestras necesario previo al cálculo de la humedad de equilibrio y la humedad higroscópica. Corresponde al proceso denominado "proceso ponderal" o de "las pesadas", que también se describe en la UNE EN 15801:2010, UNI 11121: 2004, UNI 11085: 2003.

UNE EN 15801:2010 Conservación del patrimonio cultural. Métodos de ensayo. Determinación de la absorción de agua por capilaridad.

Sustituye a UNI 11121:2004.

Esta norma europea especifica un método para determinar la absorción de agua por capilaridad (succión) de los materiales inorgánicos porosos utilizados en el patrimonio cultural y que constituyen bienes culturales, tales como: piedra natural, mortero, ladrillo, yeso y otros. En esta norma las probetas deben tener forma regular: cubos o cilindros de dimensión mínima 100x100mm, con un mínimo de tres probetas. Este método puede aplicarse tanto a los materiales inorgánicos porosos no tratados como a los sometidos a cualquier tratamiento o a envejecimiento.

Lo que nos interesa de esta norma es el proceso que describe de desecado hasta masa constante que, aunque corresponde a probetas no pulverizadas, el proceso se puede aplicar a nuestro proceso objeto de esta investigación.

UNE EN 16242:2012 Conservación del Patrimonio Cultural. Procedimientos e instrumentos para medir la humedad en el aire y los cambios de humedad entre el aire y los bienes culturales.

Ofrece una orientación y especifica procedimientos e instrumentos para la medición de la humedad relativa (HR) en el aire, en ambientes exteriores e interiores. Indica cómo se puede medir directamente la HR o como se puede calcular la temperatura del aire, la temperatura de bulbo húmedo y la temperatura de punto de rocío. Contiene recomendaciones para una medición precisa de las condiciones de ambiente y del intercambio de humedad entre el aire y los bienes del patrimonio cultural. Está dirigida a todos los que se encargan del diagnóstico ambiental, conservación y mantenimiento de edificios, colecciones o bienes individuales. Define las magnitudes que caracterizan la humedad del aire, describe unas consideraciones y recomendaciones relacionadas con los métodos y aparatos de medición de los parámetros del aire en el interior de un local y define las fórmulas correspondientes para calcular los datos correspondientes al clima en el interior/exterior de un local. Se aplica en el ejemplo descrito en el Anexo de la Iglesia de San Pablo de los Jesuitas (Cap. 9.3).

UNE EN ISO 12571: 2015 Prestaciones higrotérmicas de los productos y materiales para edificación. Determinación de las propiedades de sorción higroscópica.

Especifica dos métodos alternativos para la determinación de las propiedades higroscópicas de los materiales y productos porosos en la edificación, para cuantificar el contenido de humedad de una muestra en equilibrio con el aire a una temperatura y humedad dadas.

Se refiere a materiales porosos compactos no disgregados, exige medidas mínimas de probetas de medidas mínimas 100x100mm, con un mínimo de tres probetas. Este procedimiento en un principio no es utilizable en esta investigación pues las probetas que obtenemos son pulverizadas. Sin embargo, se ha estudiado y analizado lo especificado en

esta norma correspondiente a la determinación de la humedad de equilibrio de una muestra y admite triturar en tamaños pequeños la muestra para disminuir el tiempo de su puesta en equilibrio, por lo que podríamos utilizar el procedimiento que describe para calcular esa humedad. El procedimiento tiene mucho en común con el procedimiento descrito en la norma UNI 11085:2003. Se utiliza en el proceso de trabajo descrito en esta investigación.

UNI 11085:2003 Beni culturali - Materiali lapidei naturali ed artificiali - Determinazione del contenuto d'acqua: Metodo ponderale.

Materiales pétreos naturales y artificiales. Determinación del contenido de agua: método ponderado. La norma describe los procedimientos para la determinación, con el método de las pesadas (método ponderal), el contenido de agua en una muestra de material pétreo natural o artificial. El método es aplicable a muestras de masa entre 2 g y 50 g.

Esta norma con antecedentes en las normas NORMAL 40/93 y NORMAL 41/93, a las cuales sustituye, utiliza el procedimiento para obtener en % el peso del agua contenida en la muestra a partir de la diferencia entre la masa húmeda y la masa de la muestra desecada con respecto a la masa desecada hasta masa constante. Este proceso es utilizado por las normas UNE para distintos tipos de análisis en materiales de construcción: coeficiente de absorción en pétreos naturales (UNE EN 22.172-85, UNE EN 22.172-85) y artificiales, ladrillos, etc.; así como en los mismos materiales anteriores para calcular absorción de agua por capilaridad, cálculo de curvas de adsorción y desorción, transferencia de vapor de agua, etc. Se utiliza esta norma en el proceso de trabajo descrito en esta investigación.

UNI 11086:2003 Beni culturali - Materiali lapidei naturali ed artificiali - Determinazione del contenuto d'acqua di equilibrio.

Materiales pétreos naturales y artificiales. Determinación del contenido de agua de equilibrio.

Esta norma refiere el procedimiento de ensayo para determinar la cantidad de humedad de equilibrio y la humedad higroscópica en muestras de material pétreo pulverizado.

Esta norma es específica para nuestro estudio pues determina un procedimiento muy sencillo de cálculo de la humedad de equilibrio EMC y de la humedad higroscópica HMC de una muestra de piedra, ladrillo, yeso o mortero pulverizada. Se utiliza en el proceso de trabajo descrito en esta investigación.

UNI 11121:2004 Beni culturali - Materiali lapidei naturali ed artificiali - Determinazione del contenuto d'acqua con il método al carburo de calcio.

Materiales pétreos naturales y artificiales. Determinación del contenido de agua con el método del carburo de calcio.

Esta norma define el método para la determinación “in situ” donde se extrajo la muestra, del contenido de agua de una muestra pulverizada, mediante el denominado método del carburo de calcio.

Expresa que ese método es válido para mortero, ladrillo, producto cerámico, estuco, etc.

Esta norma es exclusivamente italiana y no tiene equivalente en las normas EN europeas, ni españolas, lo cual es sorprendente, aunque a nivel europeo y español sí existe normativa que describe este procedimiento pero solo para suelos en firmes de carreteras, no existe específicamente para muestras pulverizadas extraídas de muros en edificación. Esta norma se utiliza en el proceso de trabajo descrito en esta investigación.

Conclusiones:

De acuerdo con todas las normas analizadas y consultadas, se alcanza la conclusión de que es necesario tomar la referencia de que el proceso de análisis debe corresponder a una

- toma de muestras por extracción mecánica rotativa,
- análisis de las muestras extraídas in situ mediante el método del carburo de calcio
- análisis de muestras en laboratorio para cálculo de la humedad de equilibrio y humedad higroscópica.

Como consecuencia de lo aportado por la normativa:

- No existe un método universal para el análisis y cuantificación del contenido de humedad de capilaridad en un muro, suelo o pared (Hundt & Buschmann, 1971)⁶⁶.
- Actualmente se están desarrollando métodos en laboratorios de investigación (Tada & Kazumasa, 1998) para cuantificar el transporte por capilaridad y medir los coeficientes relevantes. Por el momento, sin embargo, estos métodos implican técnicas de medición sofisticadas tales como rayos gamma y absorción de neutrones o espectroscopia de Resonancia Magnética Nuclear junto con métodos matemáticos complejos para analizar los resultados: comparaciones entre laboratorios han mostrado que son necesarios trabajos adicionales para desarrollar técnicas normalizadas. Por tanto, pasarán algunos años antes de que sea posible normalizar tales métodos.

⁶⁶ Especifican en este artículo que, después de realizar una encuesta realizada por RILEM para obtener una visión generalizada sobre las experiencias adquiridas en distintos organismos investigadores en la aplicación de distintos métodos de control y después de comprobar la disparidad en el uso de criterios y en el uso de distintos procedimientos, llegan a la conclusión de que todavía no se dispone de un método universal para la medida del contenido de humedad. Esto es con respecto a la humedad del hormigón, teniendo en cuenta que hasta no hace mucho tiempo este tipo de investigación tenía más relevancia en el estudio del hormigón que en otros materiales se habían dejado de lado el control exhaustivo de la humedad en otros materiales.



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA

DEPARTAMENTO DE CONSTRUCCIONES ARQUITECTÓNICAS

TESIS DOCTORAL

El diagnóstico de las humedades de capilaridad en muros y suelos.
Determinación de sus causas y origen mediante una metodología
basada en la representación y análisis de curvas isohídricas.



TOMO II

CAPÍTULO 9.- ANEXO

DOCTORANDO:

JUAN BAUTISTA AZNAR MOLLÁ

DIRECTOR: DR. D. JAVIER BENLLOCH MARCO

CATEDRÁTICO DE UNIVERSIDAD

UNIVERSIDAD POLITÈCNICA DE VALÈNCIA.

CO-DIRECTOR: DR. D. FRANCISCO JAVIER MEDINA RAMÓN.

PROFESOR TITULAR DE UNIVERSIDAD.

UNIVERSIDAD POLITÈCNICA DE VALÈNCIA.

PROGRAMA DOCTORADO: ARQUITECTURA, EDIFICACIÓN, URBANÍSTICA Y PAISAJE

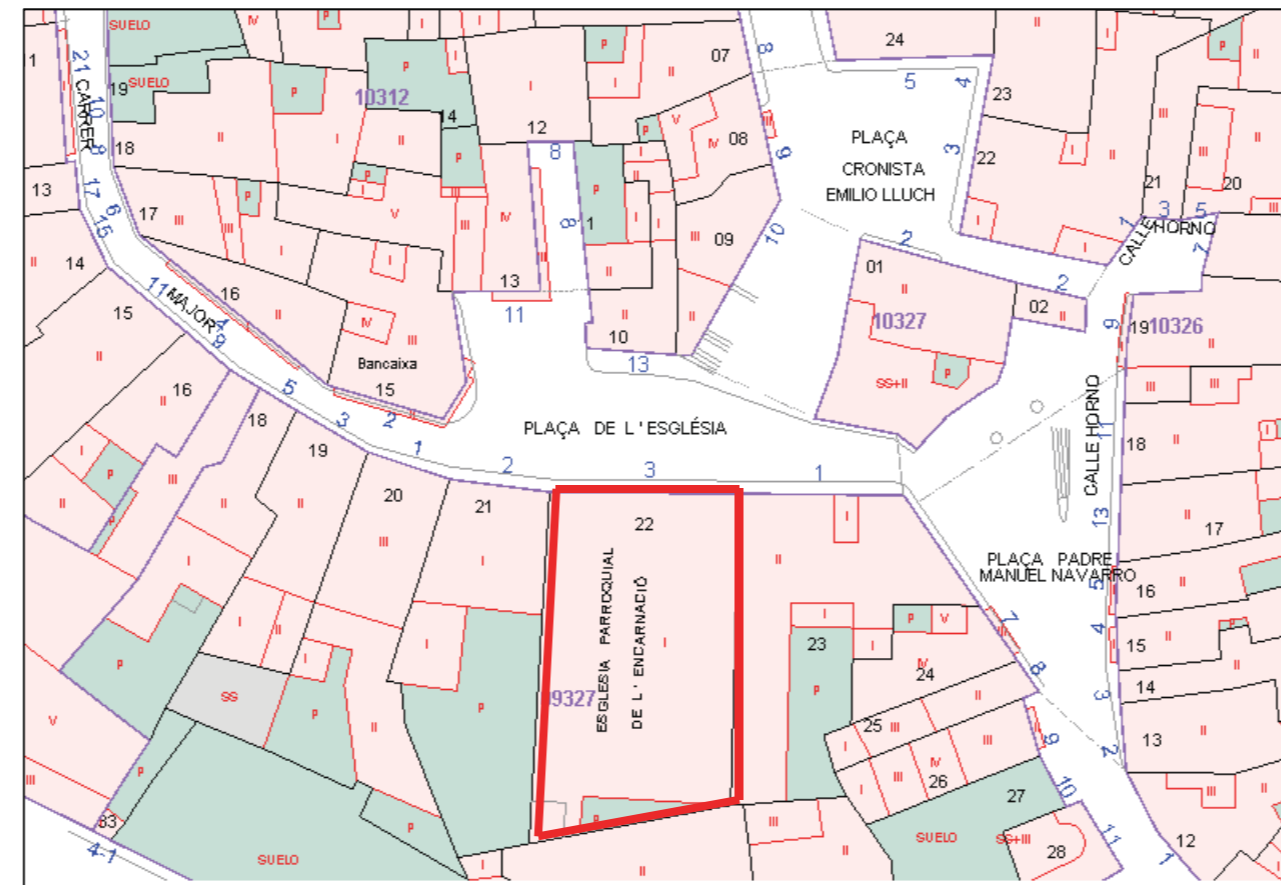
DEPARTAMENTO DE CONSTRUCCIONES ARQUITECTÓNICAS

9.1 IGLESIA DE NTRA. SRA. DE LA ENCARNACIÓN. NÁQUERA, VALENCIA.

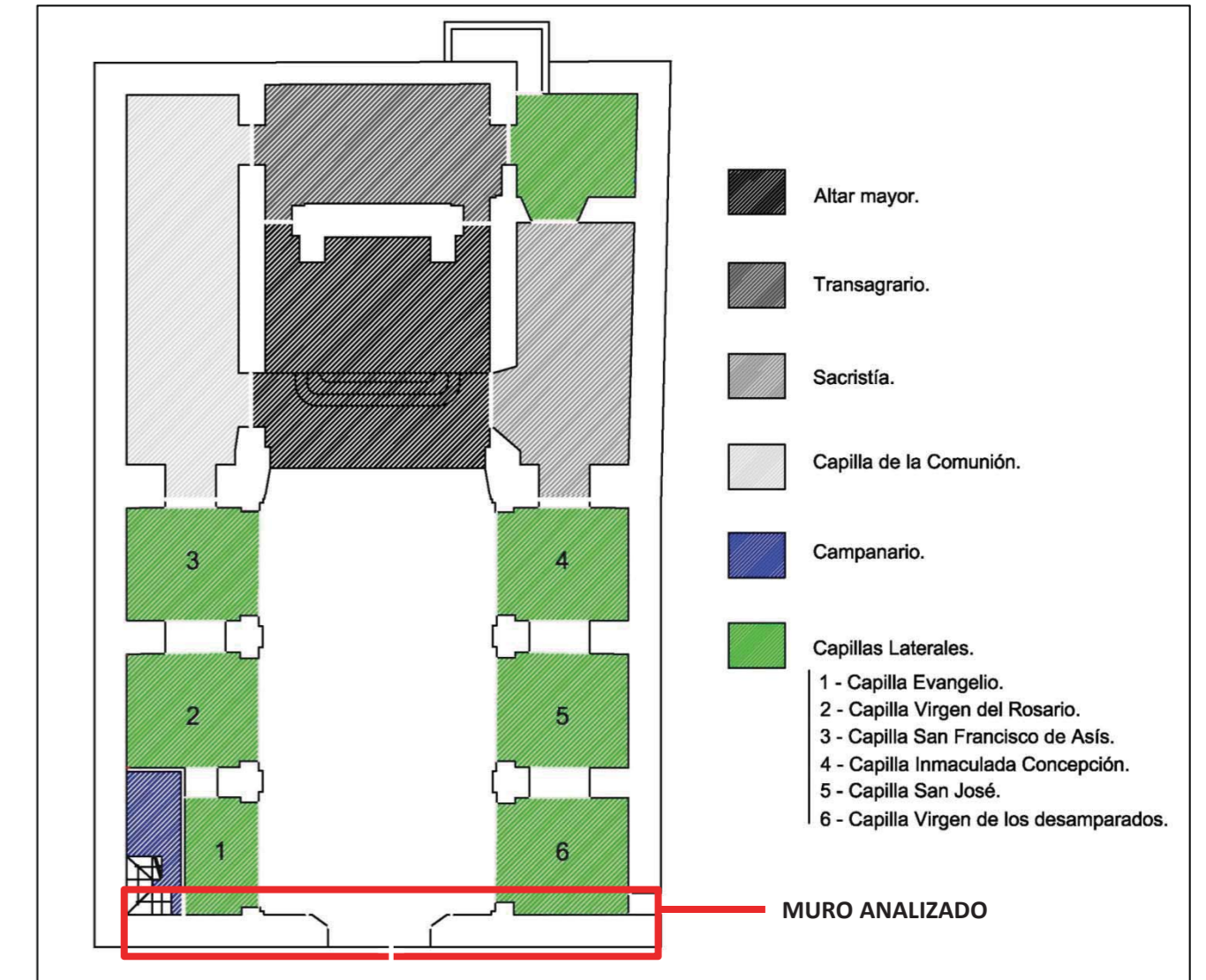
ANTECEDENTES

IGLESIA DE NTRA. SRA. DE LA ENCARNACIÓN. NÁQUERA, VALENCIA.

Situación y emplazamiento:



Planta del edificio:



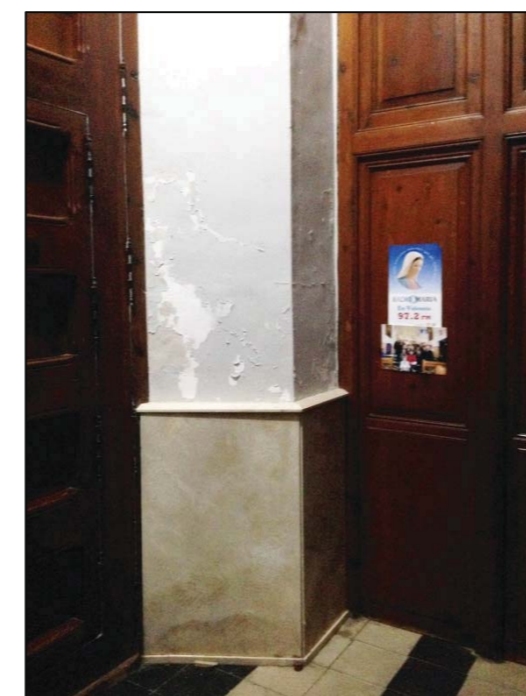
Fotografías del edificio:



Exterior general-Vista fachada de la iglesia



Interior -Vista de muro izquierdo de fachada junto a entrada.



Interior -Vista de muro derecho en vestíbulo de entrada



Interior -Vista de muro izquierdo en vestíbulo de entrada



Interior -Vista de muro izquierdo de fachada junto a entrada.

Reseña histórica y constructiva:

La Iglesia parroquial de Nuestra Señora de la Encarnación, comenzó a construirse en el año 1754 acabándose las obras 4 años después en 1758. Destaca principalmente a nivel local, correspondiéndose con la tipología típica de la iglesia valenciana de la época. El edificio está considerado como Bien de Relevancia Singular en las normas del municipio y está situada en la Plaza de La Iglesia teniendo acceso desde la misma.

Se encuentra en el casco antiguo de la ciudad y las edificaciones colindantes datan de 1970. Sus dimensiones exteriores son 15,40 metros de longitud por 11,16 metros de anchura, con una superficie de 171,86 metros cuadrados. La nave central mide 19,13 metros de largo por 6,50 metros de ancho.

Las características del terreno son: la época geológica del terreno es del Triásico, no existe ninguna falla, el terreno es a base de areniscas, arcillas y calizas.

La cimentación consiste en una base al doble del espesor del muro y rellena de mampostería, piedra reble y morteros.

Los muros están ejecutados con una mampostería ordinaria con verdugadas de ladrillo, elaborada con calizas blancas y rojas de la zona (piedras costras), sólo perceptible en los puntos del interior y exterior que carecen de enlucido, de espesor 0,90 m. Las verdugadas de ladrillo están elaboradas con ladrillos de tejar, tosco, de dimensiones 30,5 x 15 x 8 cm., tomados con morteros de tierra y cal.

Se encuentra un zócalo dispuesto a lo largo de toda la Iglesia exceptuando en el Transagrario, el coro y la capilla junto a la sacristía, compuesto por placas de mármol crema marfil. Este zócalo fue colocado recientemente para ocultar los daños por humedad capilar. Tiene un espesor de 2,5 cm y está colocado sobre el revestimiento original con peyotes de escayola.

El pavimento es de baldosas hidráulicas de 25x25cm en color negro y blanco.

La Iglesia de Nuestra Señora de la Encarnación posee un sistema estructural basado en muros de carga de gran espesor que trabajan conjuntamente con las bóvedas de cañón.

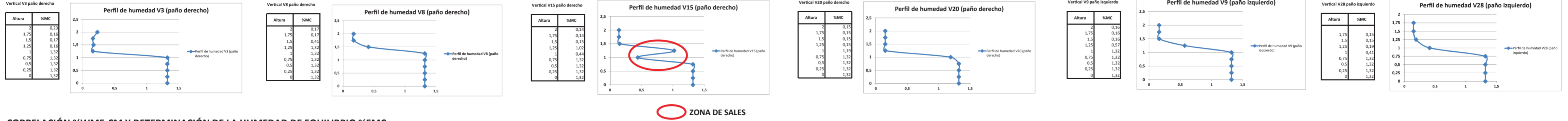
Paño 1 derecha	"todo desde zocalo como cota 0"																													
3																														
2,75																														
2,5																														
2,25																														
2	18	21	34	17	18	26	25	21	18	18	17	10	14	19	15	17	20	16	16	16	16	19	17,2	16	17	17	15			
1,75	24	55	20	17	19	50	21	21	22	19	13	13	18	15	17	19	17	16	17	16	17	100	100	26	17	17	12			
1,5	23	21	21	20	20	24	58	55	99	80	20	24	13	16	18	18	18	17	18	100	100	100	75	17	23					
1,25	16	18	20	20	18	23	96	100	100	100	61	14	20	25	90	98	92	24	20	18	93	100	100	98	100	100				
1	100	100	100	100	21	100	100	100	100	100	100	100	24	60	58	96	100	100	100	96	100	100	100	100	100	100				
0,75	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100				
0,5	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100				
0,25	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100				
0	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100				
Verticales puerta	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26				

✓-Muestra aceptada
✗-Muestra rechazada

Paño 2 Izquierda	"todo desde zocalo como cota 0"																													
3,25																														
3																														
2,75																														
2,5																														
2,25																														
2	20	17	21	18	18	20	18	20	19	16	17	16	15	14	17	17	18	21	21	21	19	20	20	20	18	100 moldura	dinetel			
1,75	21	19	19	17	18	19	17	17	16	20	17	17	15	15	17	18	18	20	20	24	19	21	21	19	19	20	16	21	17	
1,5	20	18	17	17	18	18	18	20	16	17	17	17	15	18	24	21	21	24	21	21	20	23	21	20	20	16	15	19		
1,25	18,5	17	17	18	17	19	17	21	68	21	20	18	17	17	23	58	24	22	21	21	21	21	21	21	21	19	17	25	53	83
1	21	20	17	21	17	16	17	21	100	100	21	100	100	100	86	94	21	21	21	100	20	21	19	18	20	16	55	97	95	
0,75	100	100	100	100	100	20	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	85	26	22	18	19	20	100	70	
0,5	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	
0,25	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	
0	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	
Verticales puerta	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30



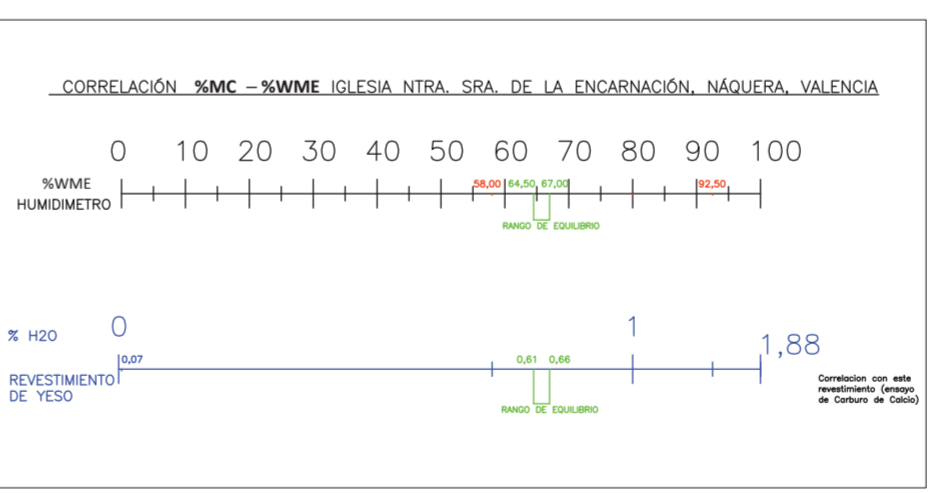
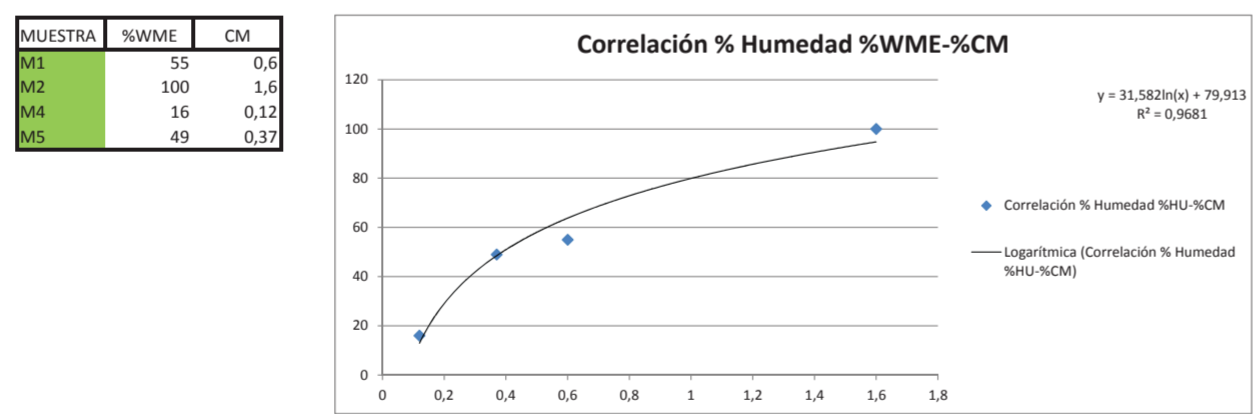
PERFILES DE HUMEDAD:



CORRELACIÓN %WME-CM Y DETERMINACIÓN DE LA HUMEDAD DE EQUILIBRIO %EMC:

ESTADILLO ENSAYO DE DESECACIÓN EN HORNO A 40 °C										ENSAYO HUMEDAD DE EQ. (UNI 11086)												
FECHA DE PESO DE LAS MUESTRAS: 20/06/2013					DE LA INTRODUCCIÓN EN EL HORNO DE LAS MUESTRAS: 19																	
MUESTRA	TIPO	REFERENCIA	T ^o	HR %	%WME.	CrV	MCrH	MHI	MH	%MC	%WME	Muestras	P. DESECADO	MIS	MPH	PM 24H	MPE	PM 48h	%HMC	%EMC	%WME	CM
A(M1)	YESO	IG.Náquera	24,80	27,10	55	13,3391	23,3174	9,9783	0,0392	0,39	55	A	23,2782	9,9391	23,3820	10,0429	23,3734	10,0343	0,445911	0,408966	55	0,60
B(M2)	YESO	IG.Náquera			100	8,733	19,3553	10,6223	0,1478	1,39	100	B	19,2075	10,4745	19,5311	10,7981	19,5296	10,7966	1,684759	1,676949	100	1,60
C(M3) roto	YESO + ARENA	IG.Náquera			75	8,695	18,2305	9,5355	0,0234	0,25	75	C	18,2071	9,5121	18,2547	9,5597	18,2529	9,5579	0,261436	0,25155	75	0,20
D(M4)	YESO	IG.Náquera			16	8,1859	17,0826	8,8967	0,0141	0,16	16	D	17,0685	8,8826	17,0946	8,9087	17,093	8,9071	0,152913	0,143539	16	0,12
F(M5)	YESO	IG.Náquera			49	8,6591	17,8423	9,1832	0,0286	0,31	49	E	17,8137	9,1546	18,8758	10,2167	17,8712	9,2121	5,962265	0,322785	49	0,37
E(M6)	YESO	IG.Náquera			22	8,8615	16,6997	7,8382	0,0402	0,51	22	F	16,6595	7,798	16,7484	7,8869	16,7426	7,8811	0,533629	0,498814	22	0,65

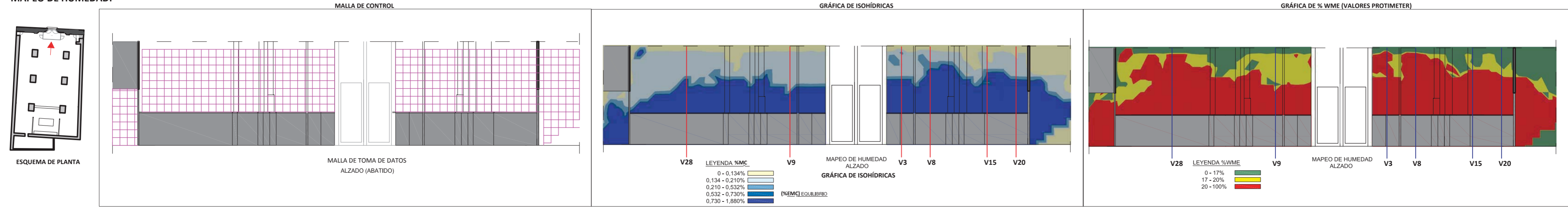
T ^o	Temperatura ambiente
HR %	Humedad relativa del ambiente, en %
%WME	Valor del humidímetro, contenido de humedad referente a madera
CrV	Peso del vaso de cristal vacío desecado
MCrH	Peso del envase de cristal con muestra humeda
MHI	Peso de la muestra con humedad inicial (MCH-CrV)
MP1	Pesada a las 4 horas de la muestra con el embase de cristal
PM4H	Peso de la muestra a las 4 horas (MP1-CrV)
DIF%1	Diferencia entre pesadas consecutivas expresada en % (DIF% = ((MHI-MP1)/MHI)*100)
MP2	Pesada a las 8 horas de la muestra con el embase de cristal
PM8H	Peso de la muestra a las 8 horas (MP2-CrV)
DIF%2	Diferencia entre pesadas consecutivas expresada en % (DIF% = ((MP1-MP2)/MP1)*100)
MP3	Pesada a las 12 horas de la muestra con el embase de cristal
PM12H	Peso de la muestra a las 12 horas (MP3-CrV)
DIF%3	Diferencia entre pesadas consecutivas expresada en % (DIF% = ((MP2-MP3)/MP2)*100)
MH	Masa humeda de la muestra (MH= MHI-Mpconst.)
%MCM	Contenido de humedad de la muestra expresado en % (%MCM = (MH/MHI)*100)
%HMC	Contenido de humedad higroscópica de la muestra expresado en % (UNI 11086)
%EMC	Contenido de humedad de equilibrio de la muestra expresado en % (UNI 11086)
CM	Contenido de humedad de la muestra según ensayo de Carburo de calcio



CONCLUSIONES:

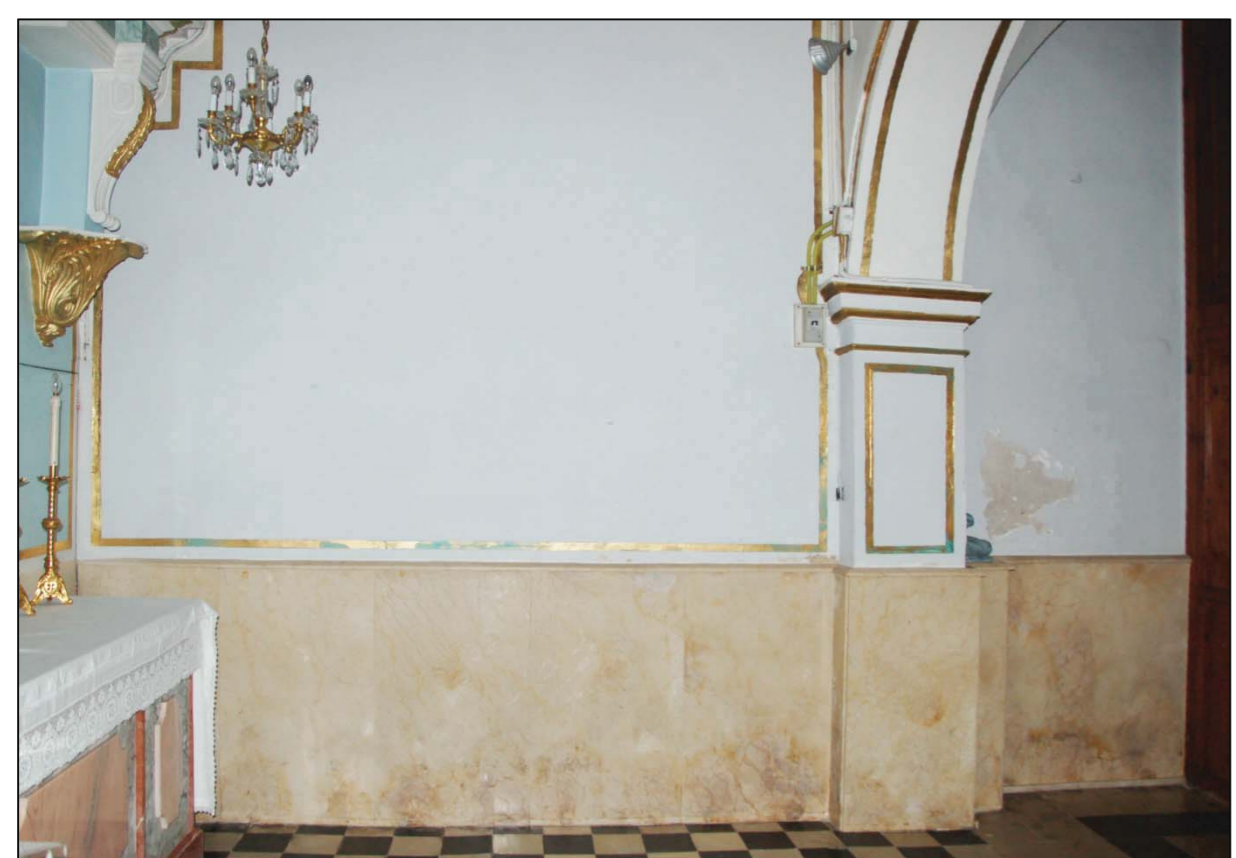
- Las verticales representadas de 0-0,75 m se corresponde con el revestimiento de aplacado de mármol en el zócalo de este muro. La gráfica del perfil, en todas ellas, son indicativos de humedad de capilaridad, pues la tendencia es a disminuir conforme se toma altura.
- No existe gran cantidad de concentración de sales, a excepción da la zona del perfil V15, donde a 1-1,5m aparece una alta concentración.

MAPEO DE HUMEDAD:

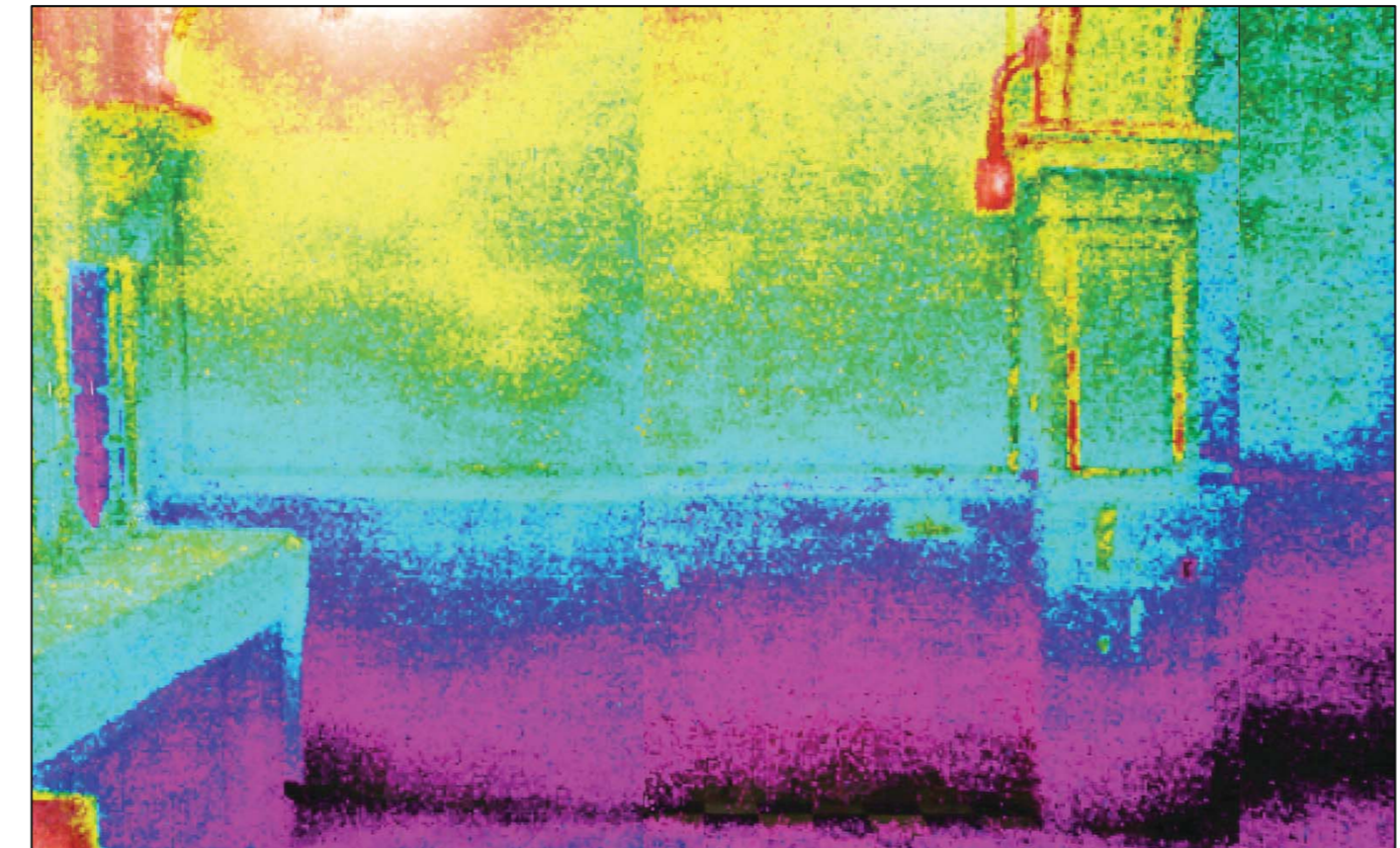


COMPARATIVO (IGLESIA DE NTRA. SRA. DE LA ENCARNACIÓN. NÁQUERA, VALENCIA).

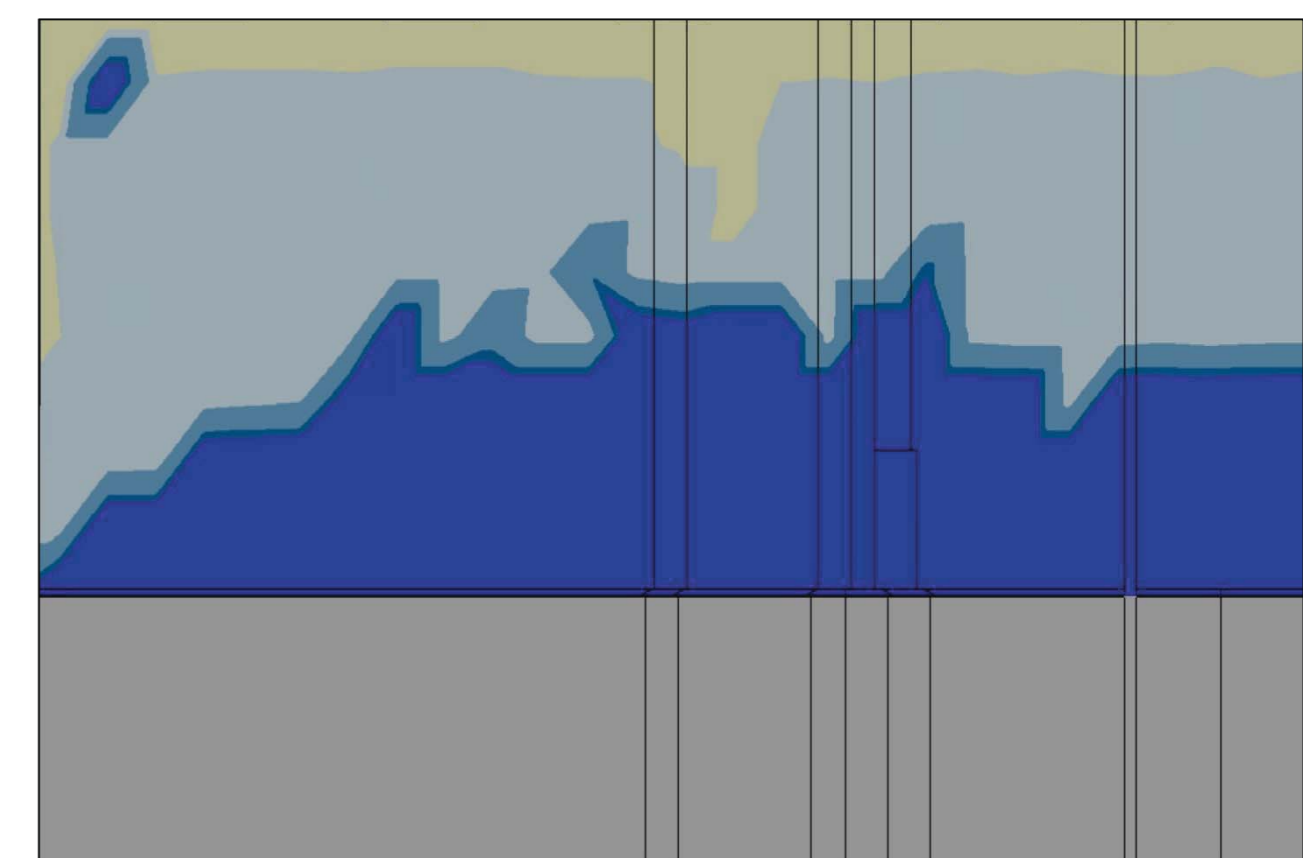
(PAÑO IZQUIERDO)



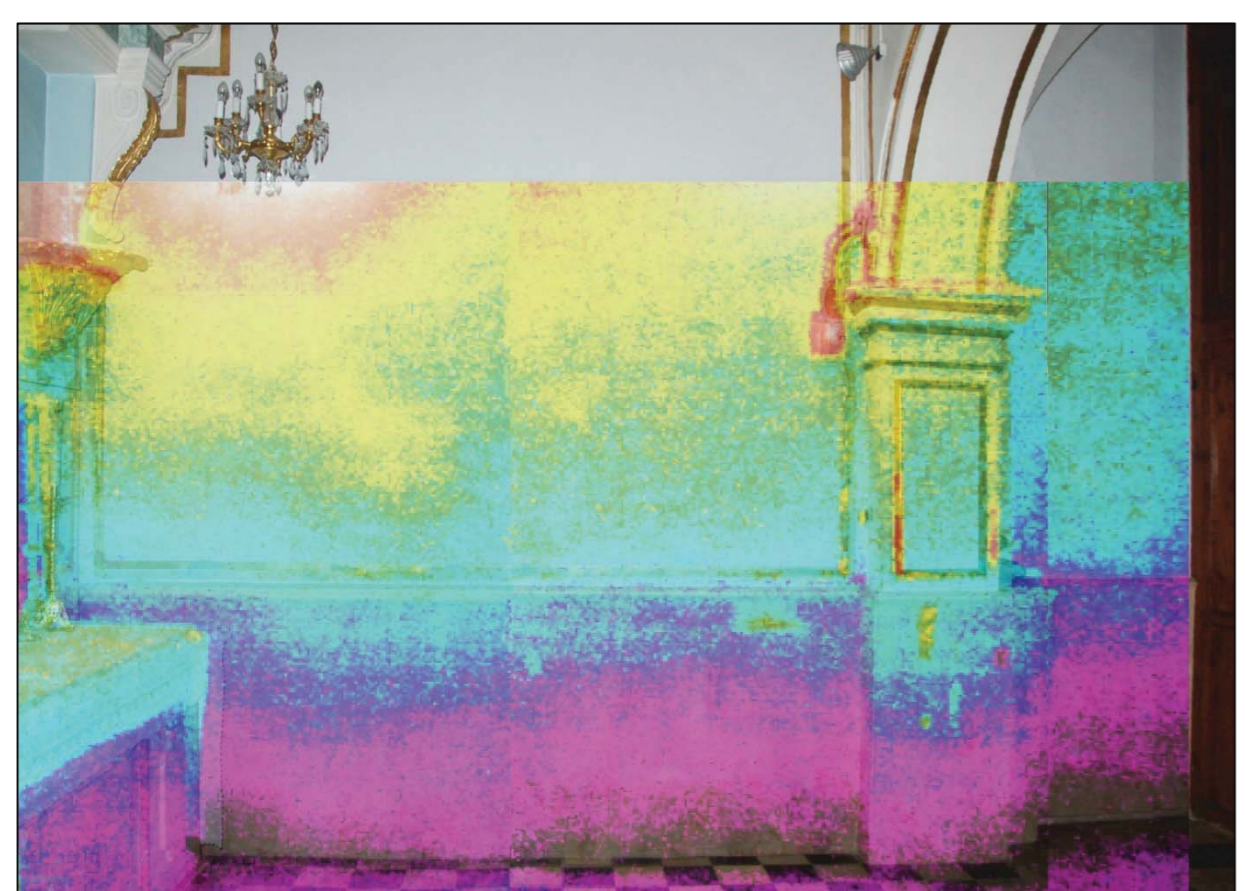
FOTOGRAFÍA DIGITAL



FOTOGRAFÍA TÉRMICA



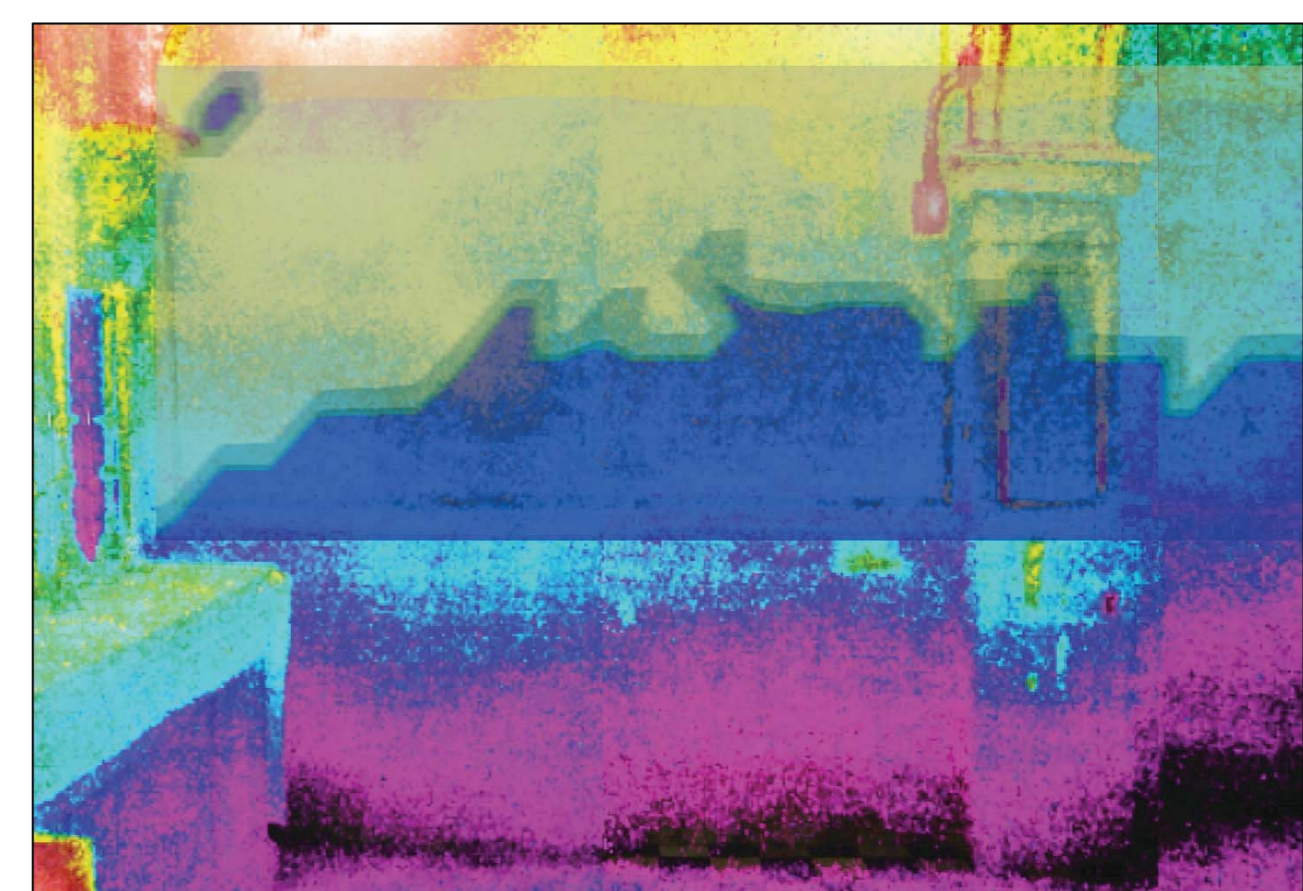
MAPEO



FOTOGRAFÍA DIGITAL + F. TÉRMICA



FOTOGRAFÍA DIGITAL + MAPEO



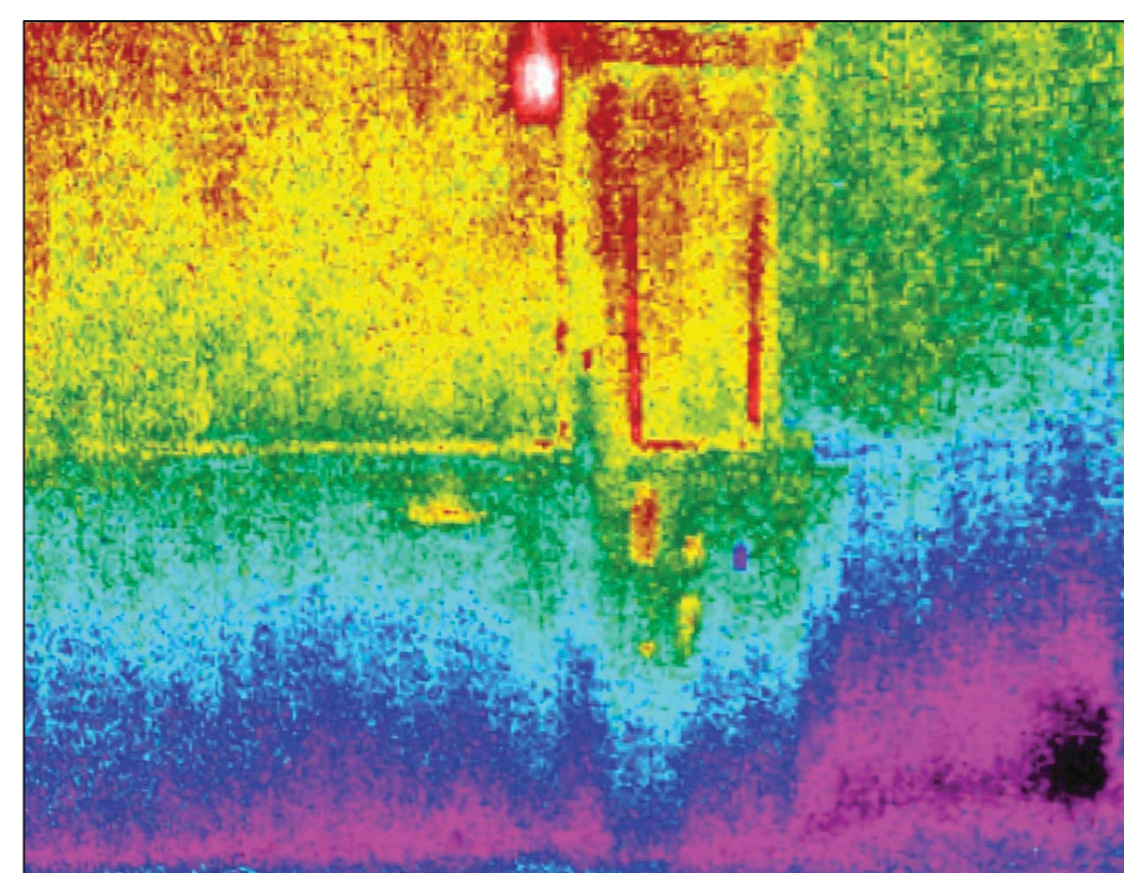
FOTOGRAFÍA TÉRMICA + MAPEO

COMPARATIVO (IGLESIA DE NTRA. SRA. DE LA ENCARNACIÓN. NÁQUERA, VALENCIA).

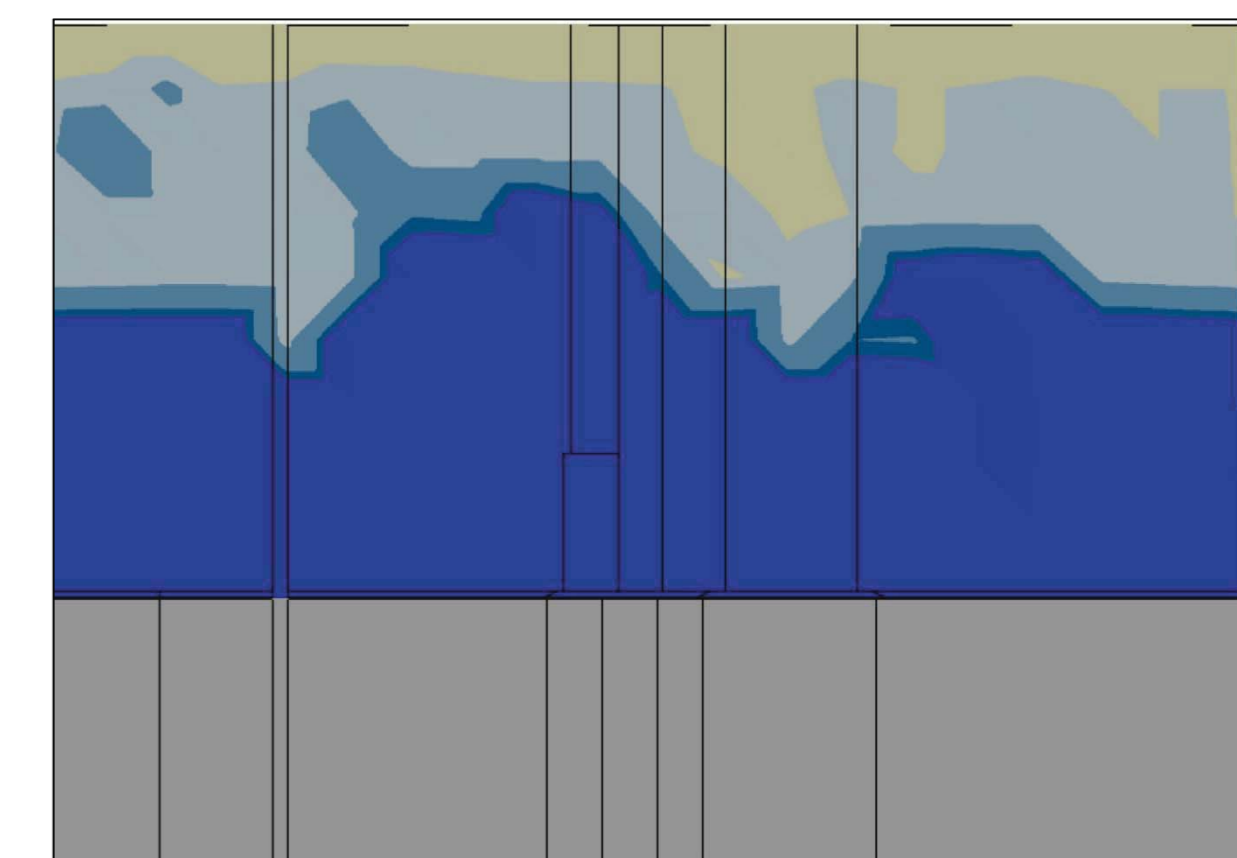
(PAÑO DERECHO)



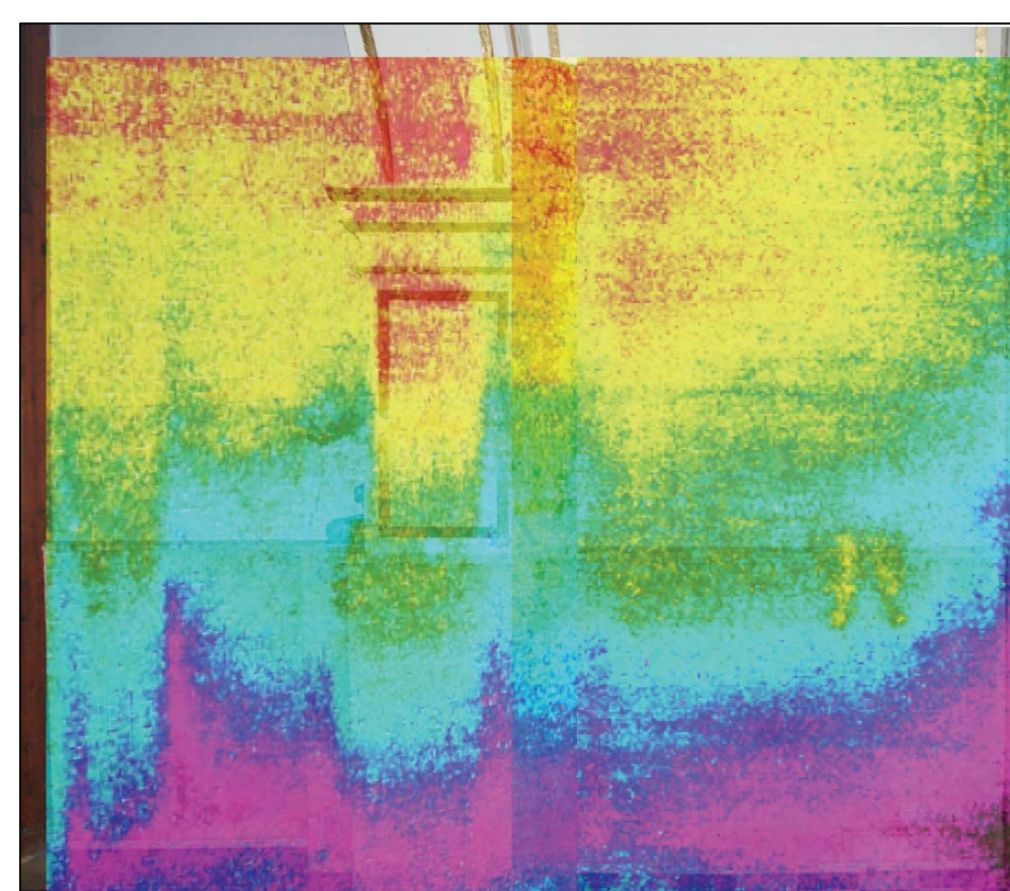
FOTOGRAFÍA DIGITAL



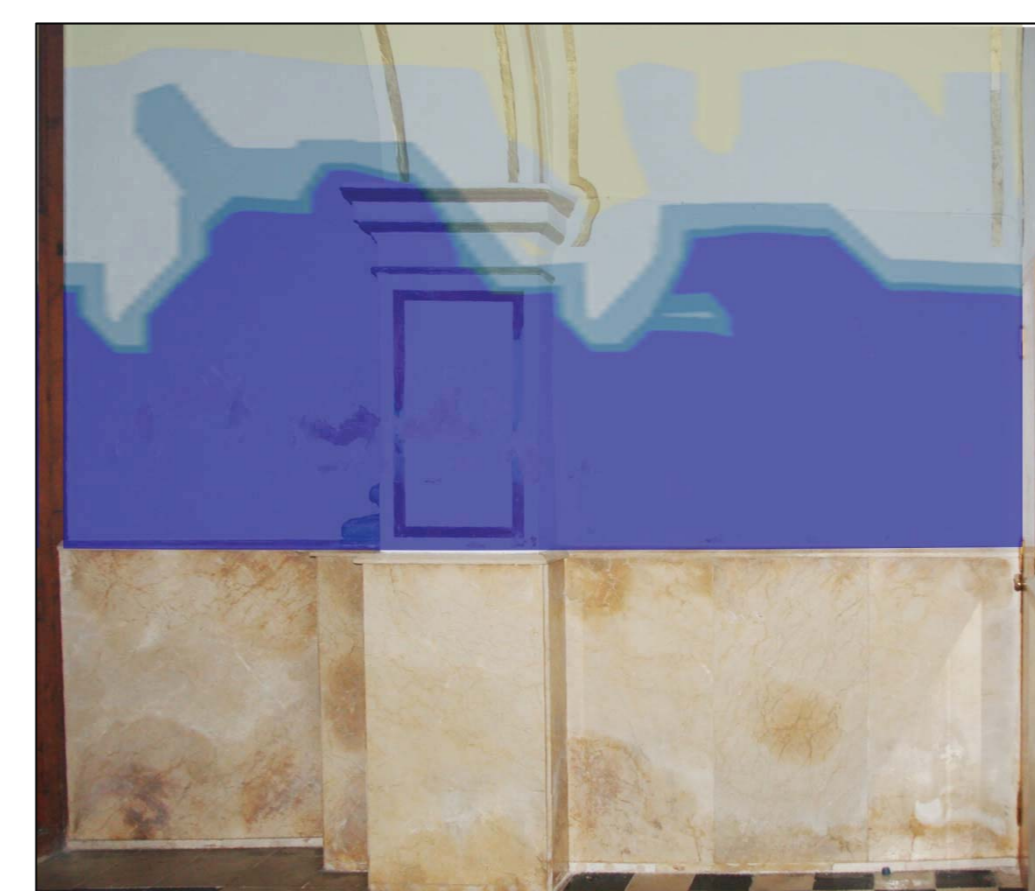
FOTOGRAFÍA TÉRMICA



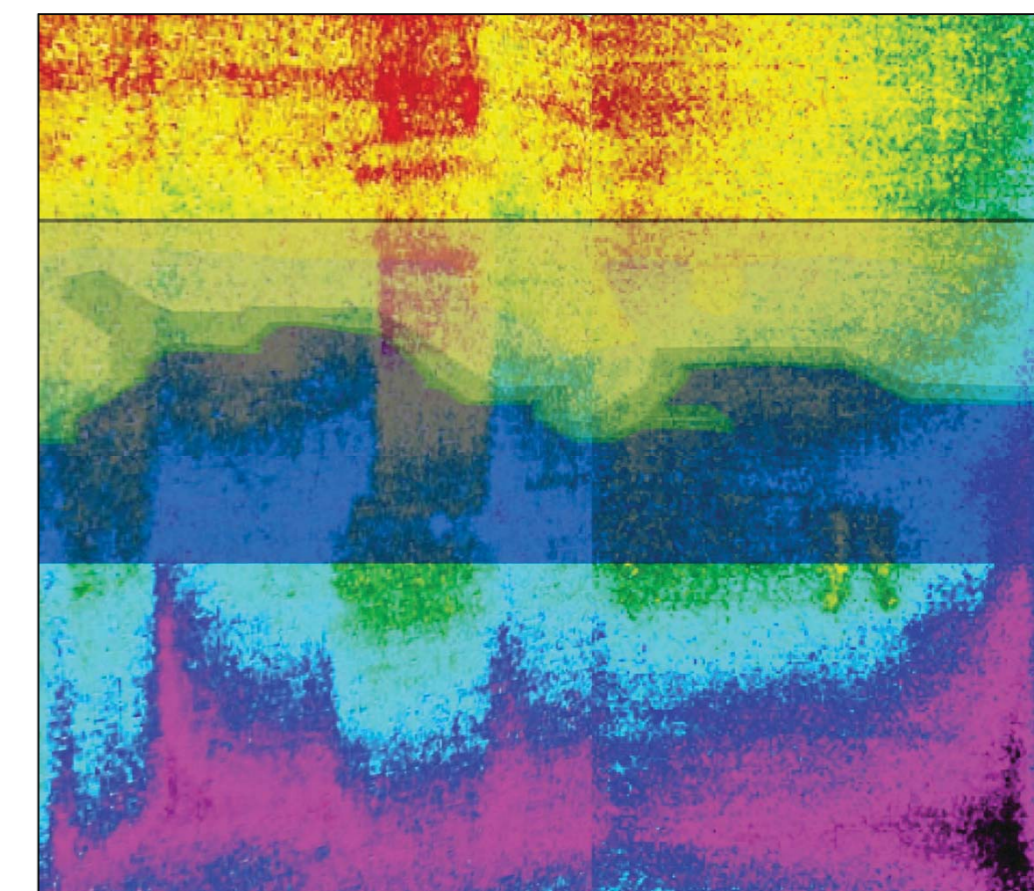
MAPEO



FOTOGRAFÍA DIGITAL + F. TÉRMICA



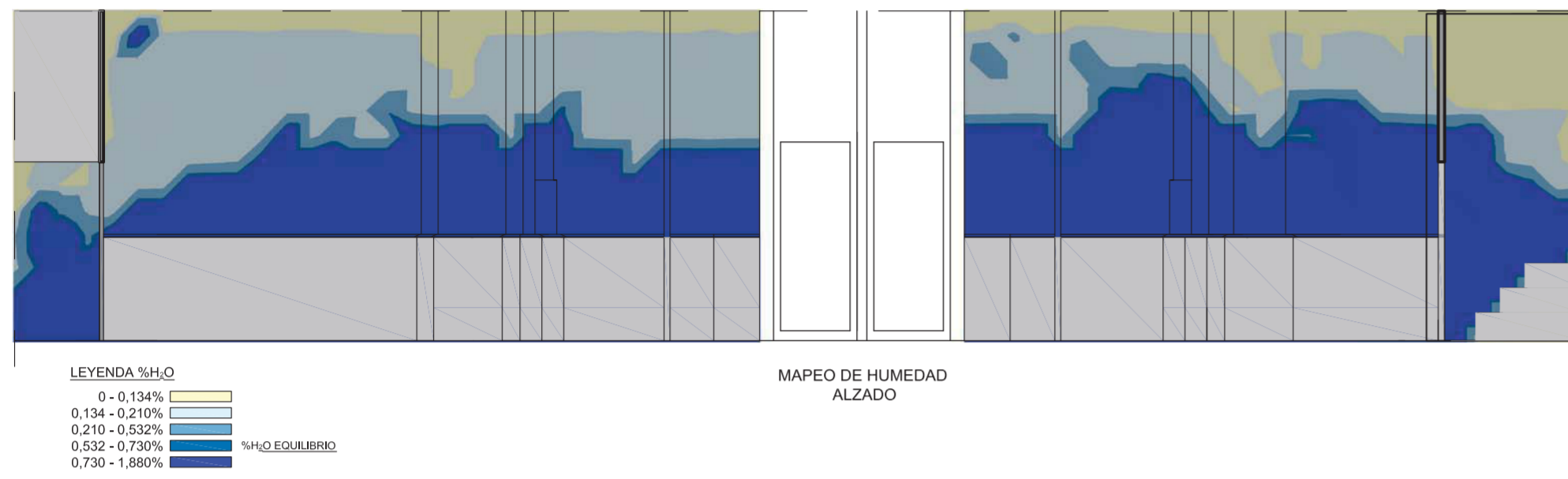
FOTOGRAFÍA DIGITAL + MAPEO



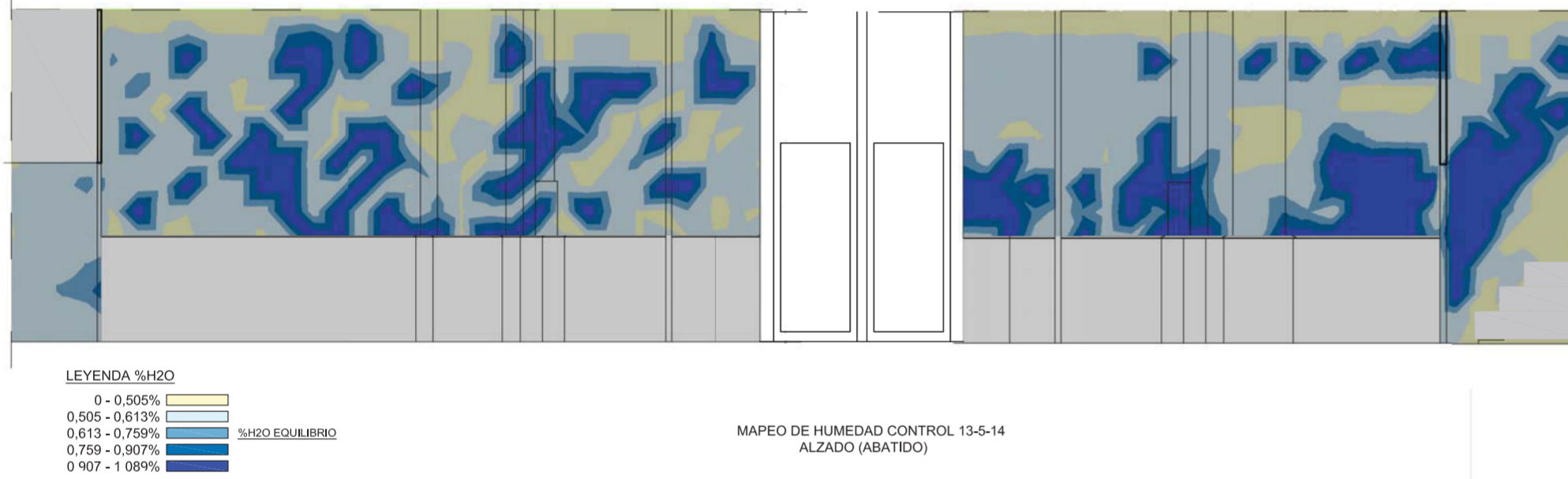
FOTOGRAFÍA TÉRMICA + MAPEO

MONITORIZACIÓN:

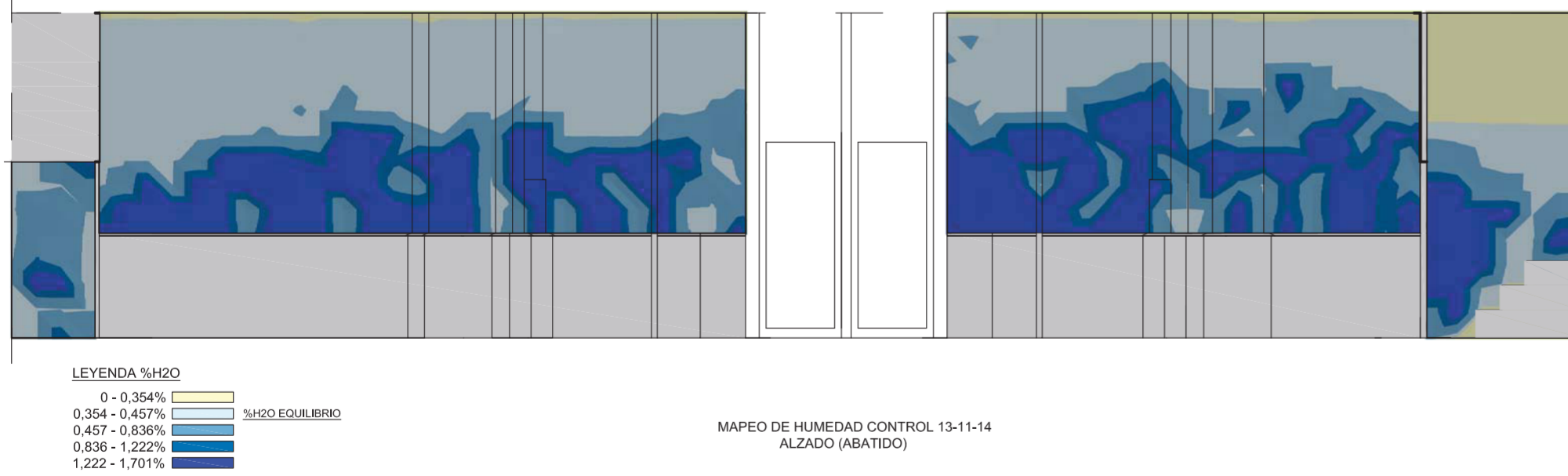
ESTUDIO INICIAL (05-09-13):



1ER. CONTROL TRAS OCHO MESES DESDE EL ESTUDIO INICIAL (13-05-14):



2DO. CONTROL TRAS UN AÑO Y DOS MESES DESDE EL ESTUDIO INICIAL (13-11-14):



9.2 AGROMUSEO Y ERMITA DE VERA. VALENCIA

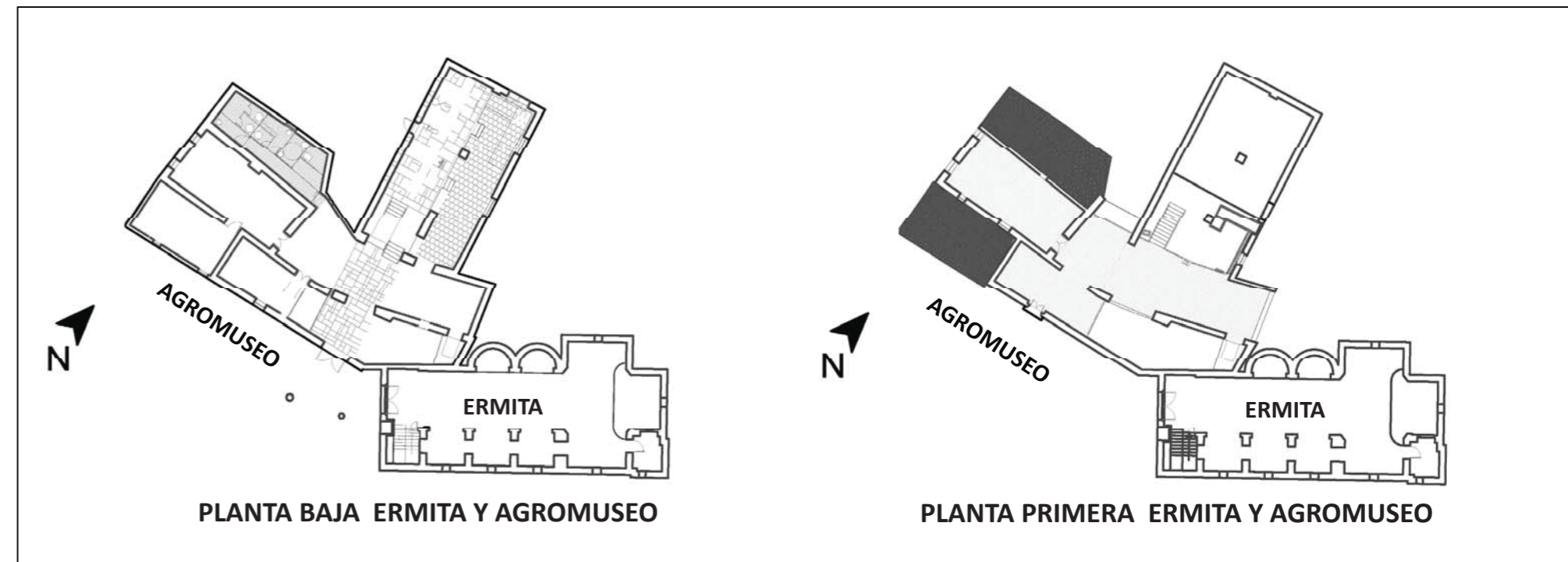
ANTECEDENTES

AGROMUSEO Y ERMITA DE VERA, VALENCIA.

Situación y emplazamiento:



Planta del edificio:



Fotografías del edificio:



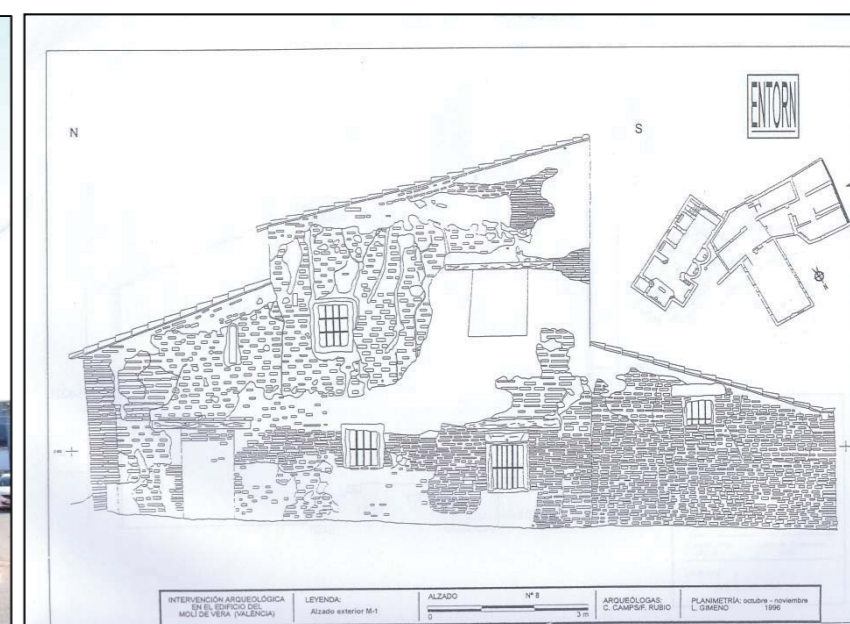
Exterior general-Vista entrada al Agromuseo y a la Ermita.



Exterior Agromuseo de Vera-Vista de fachada principal.



Exterior Agromuseo de Vera-Vista de fachada oeste.



Exterior Agromuseo de Vera-Plano de fachada oeste. Fuente : C.Camps, F. Rubio, 1997



Exterior Ermita de Vera-Vista de fachada sur-este.



Interior Ermita de Vera-Vista de nave central y altar.



Interior Ermita de Vera-Vista capilla lateral.



Interior Ermita de Vera-Vista de muro lateral afectado por humedad capilar.

Reseña histórica y constructiva:

Este Molino denominado actualmente Agromuseo, y la Ermita se encuentran situados en la partida de Vera, en el término municipal de Valencia, junto a la acequia de Vera, en su margen derecha.

Estos edificios se construyeron en el Siglo XVIII y se encuentran rodeados por tierras de labor, formando éstas parte de la "Huerta de Valencia", así como por su lado norte linda el Molino (Agromuseo) con la Acequia de Vera, que facilita el riego a la zona. Singularmente este Molino tiene en su parte inferior un manantial de agua, denominado "Clot", el cual fluye inoperadamente, manipulando desde el Molino su caudal vertiendo el caudal excedente a la citada Acequia de Vera.

Todo esto forma un Conjunto protegido por el Catálogo de Protecciones del Plan General de Ordenación Urbana con un nivel 2 de Protección (protección estructural básica), el cual preserva los elementos definitorios de su estructura arquitectónica y elementos constructivos singulares de valor intrínseco.

En el Molino se promovieron actuaciones de rehabilitación en 1987 y 1988 por parte del Ayuntamiento de Valencia. En 1991, se realizan trabajos de apeo y consolidación de huecos. Posteriormente se realizó una intervención integral promovida por la Conselleria de Agricultura, Pesca y Alimentación durante el año 2003. Durante esos años se encajonó con hormigón la Acequia de Vera y se cegó o rellenó el "Clot" (manantial de agua), "...y sus efectos se observan en un aumento del nivel freático de la zona, que ha hecho aumentar considerablemente el agua por capilaridad de los muros del conjunto arquitectónico..."

Según el estudio arqueológico realizado en 1997 por las arqueólogas Concha Camps y Francisca Rubio se indica: "El reconocimiento de las estructuras emergentes ha consistido en un estudio tipológico de la totalidad del edificio con el fin de identificar diferentes tipos de fábrica. Estos muestreos nos han permitido individualizar 5 grandes grupos:

1. Muro de tapia de mortero y verdugadas de ladrillo con núcleo de tierra (sic). La traba se compone de arena, cal muy poco triturada, gravas y una gran proporción de tierra arcillosa.
2. Muros de tapia y verdugadas de ladrillo con núcleo de tierra (sic). La traba, de color beige, está compuesta por arena/tierra, cal (muy triturada), gravas y materia vegetal.
3. Muros de ladrillo y mortero (sic). La traba de color blanquecino, se compone de arena, gravas y cal bien depurada.
4. Muros de ladrillo y mortero (sic). La traba de color blanquecino, se compone de cal, arena y gravas de tamaño muy pequeño. (Sic). Con más proporción de ladrillos que en los muros anteriores.
5. Muros de ladrillo y mortero (sic). La traba se compone de mortero de un color blanquecino, con arena/tierra, cal y gravas con una textura suelta. (Sic). Con más proporción de ladrillos que en los muros anteriores.

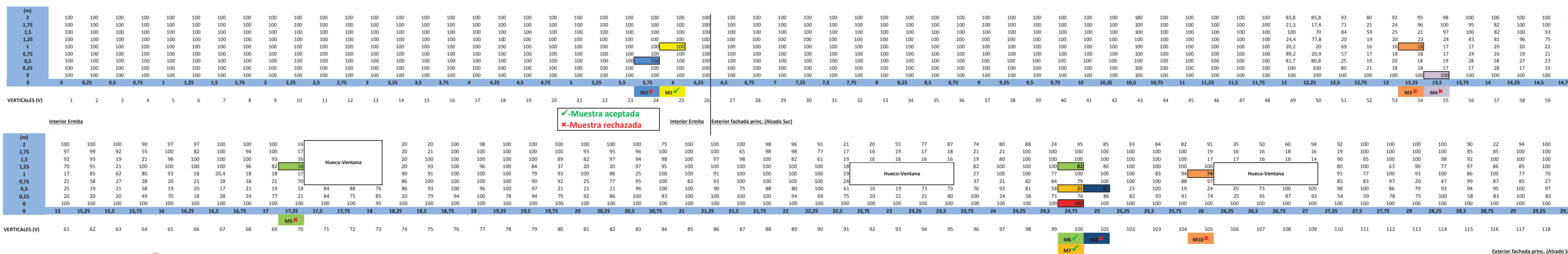
Estos muros son estructurales y constituyen sus fachadas envolventes y cerramientos interiores, paralelos y perpendiculares a éstos. Espesor de los muros perimetrales: 32-55cm.

En el caso de la Ermita la distribución de los muros también es perimetral a ella, recogiendo los esfuerzos de la bóveda central y la cúpula.

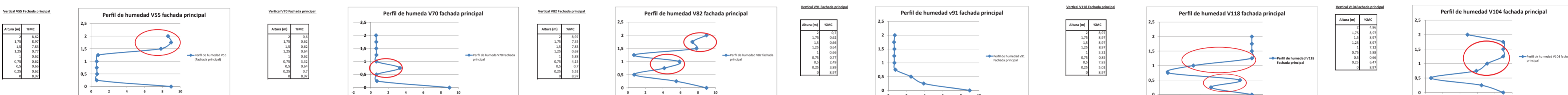
Los revestimientos en exteriores datan de la última intervención de 2003 y corresponde a un mortero bastardo de cemento y cal aérea, revestido con varios tipos de pinturas, ya que por tareas de mantenimiento se han realizado varias intervenciones en el tiempo, inicialmente de pintura pétreo para exteriores y en algunas zonas sobrevenidas con pintura plástica de exterior.

ERMITA Y MOLINO DE VERA (FACHADA PRINCIPAL)

TOMA DE DATOS:



PERFILES DE HUMEDAD:

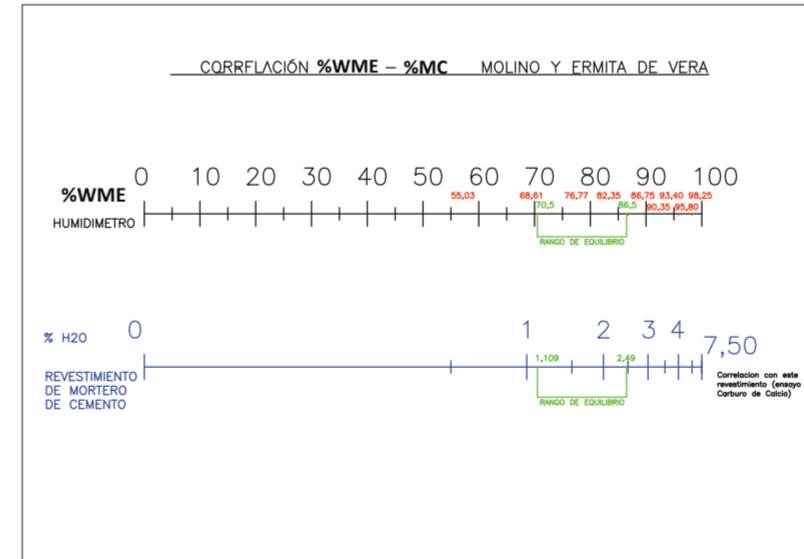
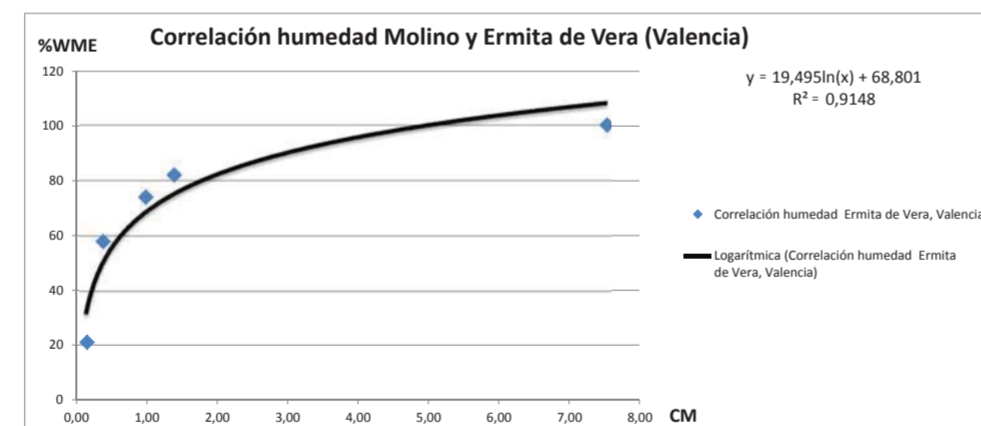


CORRELACIÓN %WME-CM Y DETERMINACIÓN DE LA HUMEDAD DE EQUILIBRIO (%EMC) Y DE LA HUMEDAD HIGROSCÓPICA (%HMC):

ESTADILLO ENSAYO DE DESECCACIÓN EN ESTUFA A 105 °C												ENSAYO HUMEDAD DE EQ. (UNI 11086)																			
FECHA DE PESO DE LAS MUESTRAS: 20/06/2013												HORA DE LA INTRODUCCIÓN EN EL HORNO DE LAS MUESTRAS: 13:45(A)																			
MUESTRA	TIPO	REFERENCIA	Tª	HR %	CrV	McrH	MHI	MP1	MP2	PM4H	DIF%2	MP3	PM96H	DIF%3	MH	%MC	%WME	Muestras	P. DESECADO	MIS	MPH	PM24H	MPE	PM48h	MUE	%HMC	%EMC	%WME	CM		
M1	Mortero	Ermita de Vera	23,80	35,70	13,338	22,0700	8,7320	21,289	21,29131	7,95331	-0,0291	21,2871	7,9491	0,0529	0,7829	8,97	100	A	21,2871	7,9491	21,4226	8,0846	21,4413	8,1033	0,1542	1,7046	1,9398	100	7,50		
M2	Mortero	Ermita de Vera			8,7324	16,7800	8,0476	16,4233	16,4242	16,4242	7,6909	4,4324	-0,0117	16,417	7,6846	0,0936	0,3630	4,51	100	B	16,417	7,6846	16,564	7,8316	16,5816	7,8492	0,1646	1,9129	2,1419	100	4,20
M3	Mortero	Ermita de Vera			8,6941	16,1786	7,4845	16,1115	16,1119	16,1119	7,4174	0,8965	-0,0054	16,1053	7,4178	0,0890	0,0733	0,98	18	C	16,1053	7,4112	16,168	7,4739	16,167	7,4729	0,0617	0,8460	0,8325	18	0,40
M4	Mortero	Ermita de Vera			9,1848	12,5261	3,3413	12,4747	12,4749	12,4749	3,2899	1,5383	-0,0061	12,4719	3,2871	0,0912	0,0542	1,62	100	D	12,4719	3,2871	12,5418	3,357	12,5466	3,3618	0,0747	2,1265	2,2725	100	1,15
M5	Mortero	Ermita de Vera			8,658	10,1691	1,5111	10,1586	10,1583	10,1583	1,5003	0,6949	0,0200	10,1563	1,4983	0,1333	0,0128	0,85	18	E	10,1563	1,4983	10,165	1,507	10,1652	1,5072	0,0089	0,5807	0,5940	18	0,15
M6	Mortero	Ermita de Vera			8,8605	15,5986	6,7381	15,446	15,4466	15,4466	6,5855	2,2647	-0,0091	15,4415	6,5861	0,0774	0,1571	2,33	82	F	15,4415	6,581	15,7376	6,8771	15,772	6,9115	0,3305	4,4993	5,0220	82	1,40
M7	Mortero/Ladrillo	Ermita de Vera			11,9546	23,5344	11,5798	23,4202	23,4217	23,4217	11,4656	0,9862	-0,0131	23,4111	11,4565	0,0924	0,1233	1,06	21	G	23,4111	11,4565	23,5328	11,5782	23,5373	11,5827	0,1262	1,0623	1,1016	21	0,15
M8	Mortero	Ermita de Vera			12,5375	19,6625	7,1250	19,6007	19,6007	19,6007	7,0632	0,8674	0,0099	19,5967	7,0625	0,0467	0,0658	0,92	87	H	19,5967	7,0592	19,6836	7,1461	19,6884	7,1509	0,0917	1,2310	1,2990	87	0,40
M9	Mortero	Ermita de Vera			12,3486	19,6525	7,3039	19,6001	19,6005	19,6005	7,2515	0,7174	-0,0055	19,5961	7,2475	0,0607	0,0564	0,77	100	I	19,5961	7,2475	19,6658	7,3172	19,666	7,3174	0,0699	0,9617	0,9645	100	0,30
M10	Mortero	Ermita de Vera			12,4738	20,5343	8,0605	20,4092	20,4092	20,4092	7,9354	1,5520	0,0000	20,403	7,9354	0,0781	0,1313	1,63	74	J	20,403	7,9292	20,6566	8,1828	20,6682	8,1944	0,2652	3,1983	3,3446	74	1,00
M11	Mortero	Ermita de Vera			8,7112	18,3190	9,6078	18,2436	18,244	18,244	9,5324	0,7848	-0,0042	18,2377	9,5265	0,0661	0,0813	0,85	58	K	18,2377	9,5265	18,4001	9,6889	18,4056	9,6944	0,1679	1,7047	1,7625	58	0,40

Tª	Temperatura ambiente
HR %	Humedad relativa del ambiente, en %
%WME	Valor del humidímetro, contenido de humedad referente a madera
CrV:	Peso del vaso de cristal vacío desecado
MCrH:	Peso del envase de cristal con muestra húmeda
MHI:	Peso de la muestra con humedad inicial (MCrH-CrV)
MP1	Pesada a las 4 horas de la muestra con el embase de cristal
PM4H	Peso de la muestra a las 4 horas (MP1-CrV)
DIF%1	Diferencia entre pesadas consecutivas expresada en % (DIF%1= ((MH-MP1)/(MH))*100)
MP2	Pesada a las 8 horas de la muestra con el embase de cristal
PM8H	Peso de la muestra a las 8 horas (MP2-CrV)
DIF%2	Diferencia entre pesadas consecutivas expresada en % (DIF%2= ((MP1-MP2)/(MP1))*100)
MP3	Pesada a las 12 horas de la muestra con el embase de cristal
PM12H	Peso de la muestra a las 12 horas (MP3-CrV)
DIF%3	Diferencia entre pesadas consecutivas expresada en % (DIF%3= ((MP2-MP3)/(MP2))*100)
MH	Nasa húmeda de la muestra (MH-MHI-Pincost.)
%MC	Contenido de humedad de la muestra expresado en % (%MC= (MH/(MH))*100)
%HMC	Contenido de humedad higroscópica de la muestra expresado en % (UNI 11086)
%EMC	Contenido de humedad de equilibrio de la muestra expresado en % (UNI 11086)
CM	Contenido de humedad de la muestra según ensayo de Carburo de calcio

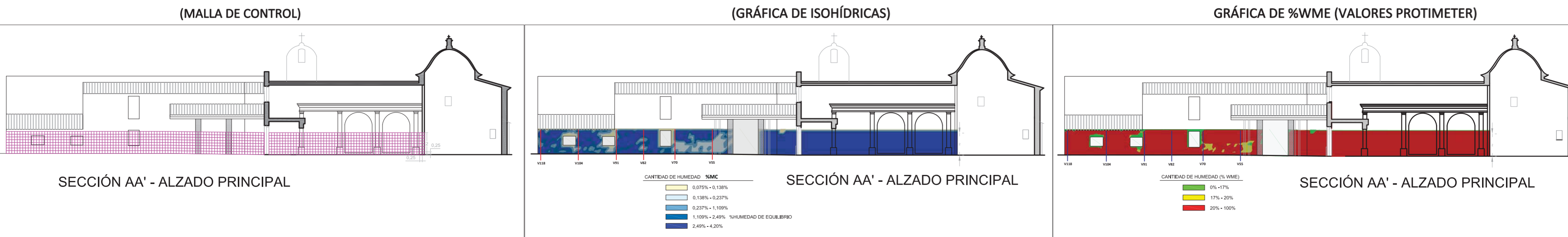
MUESTRA	%WME	CM
G(M7)	21	0,15
K(11)	58	0,40
J(10)	74	1,00
F(M6)	82	1,40
A(M1)	100	7,50



DESCRIPCIÓN DEL PROCESO DE CONTROL:

- Tomas de control de contenido de humedad:
 - o Se han realizado 1.502 tomas directas de contenidos de humedad con humidímetros en la fachada Sur (fachada 1) y Oeste (fachada 2).
 - o Se han realizado 11 tomas físicas de muestras de revestimientos y muros.
 - o Se han obtenido los contenidos de humedad real (%HR) en las 11 muestras tomadas, mediante el procedimiento del Carburo de Calcio, según la norma UNI 11121: Determinación in situ del contenido de agua con el método al carburo de calcio.
 - o Se han sometido en laboratorio las muestras obtenidas a ensayo para la obtención de la humedad de equilibrio (%HE), según la norma UNI 11086: Determinación del contenido de agua de equilibrio.
 - o Realización de fotos térmicas detalladas por fachadas a distintas horas del día. Se determinó la necesidad de realizarlas a las 6,00h, 9,00h, 14,00h, 19,00h y 21,00h, para su comparación.
 - o Instalación de sondas de control de temperatura y humedad ambiental, ubicadas según se detalla en Plano 3, dispuestas estratégicamente para toma de datos higrotérmicos en el interior del Molino y Ermita, con una sonda colocada al exterior para su contraste (sonda nº 4).
- Trabajo de gabinete:
 - o Cálculo de la relación matemática que relaciona las medidas obtenidas con el humidímetro y las obtenidas con el método del carburo de calcio.
 - o confección de los mapeos de humedad en las fachadas Sur (fachada 1) y Oeste (fachada 2).
 - o Coteado y correlación del mapeo de humedad con las fotos térmicas realizadas para determinar, identificando en las fotos térmicas, el estado real de las fachadas.
 - o Estudio y análisis de las fachadas a través de los datos aportados por las fotos térmicas, de acuerdo a la identificación aportada por la correlación con los mapeos de humedad.

MAPEO DE HUMEDAD:



TOMA DE DATOS:

Table with columns for height (m) and vertical measurements (VERTICALES (V)) from 120 to 175. It includes data for 'Hueco-Ventana' and 'Muestra aceptada/rechazada'.

PERFILES DE HUMEDAD: ZONA DE SALES

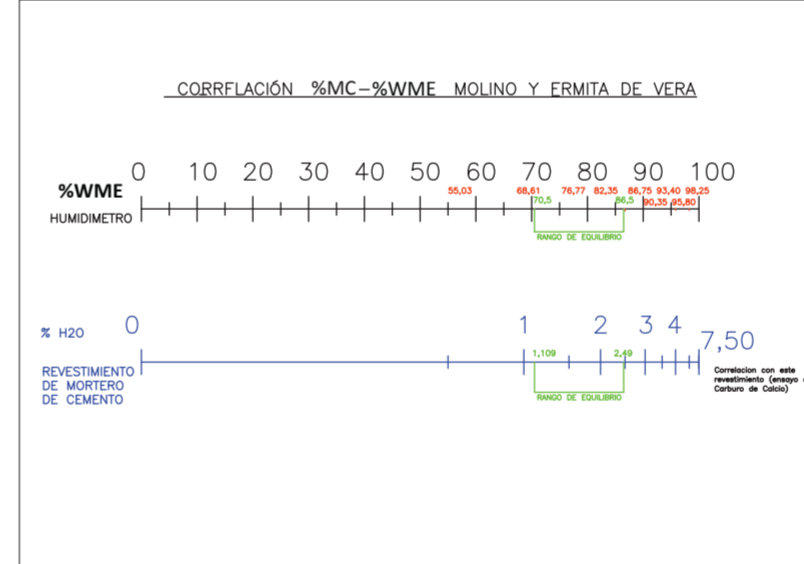
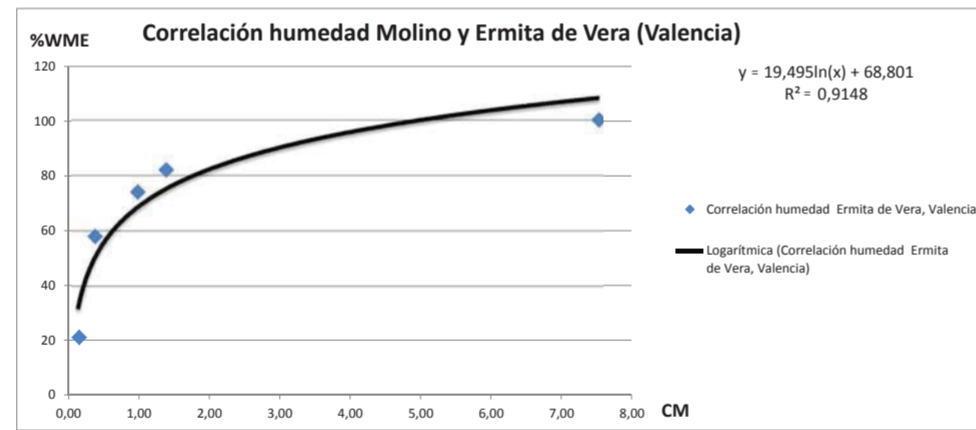


CORRELACIÓN %WME-CM Y DETERMINACIÓN DE LA HUMEDAD DE EQUILIBRIO (%EMC) Y DE LA HUMEDAD HIGROSCÓPICA (%HMC):

ESTADILLO ENSAYO DE DESECCACIÓN EN ESTUFA A 105 °C. Table with columns for sample type, weight, and various moisture measurements (%WME, %HMC, %EMC, etc.).

Table with columns for parameters like Tª, HR %, %WME, CrV, MCH, MHI, MP1, PM4H, DIF%1, MP2, PM8H, DIF%2, MP3, PM12H, DIF%3, MH, %MC, %HMC, %EMC, and CM.

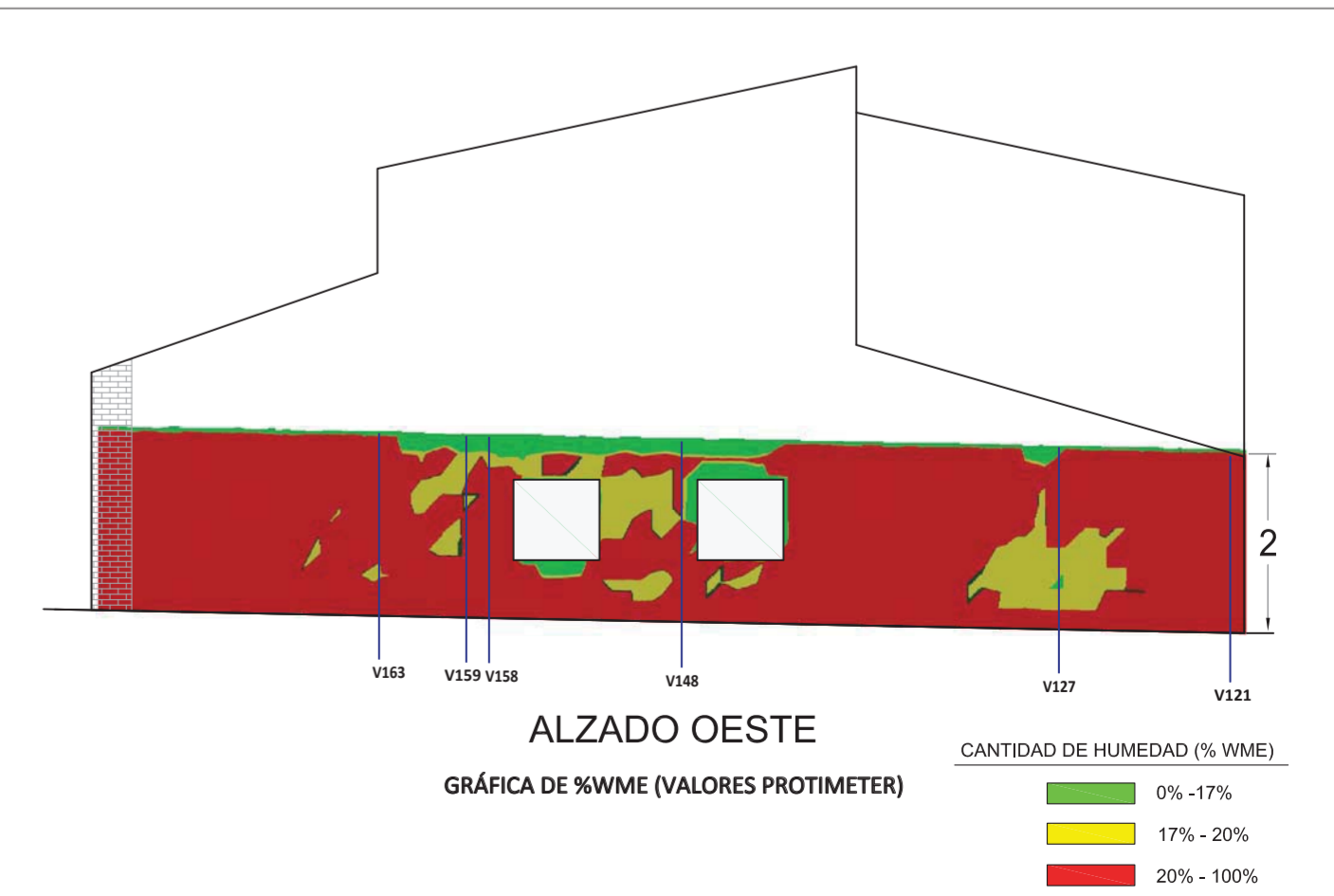
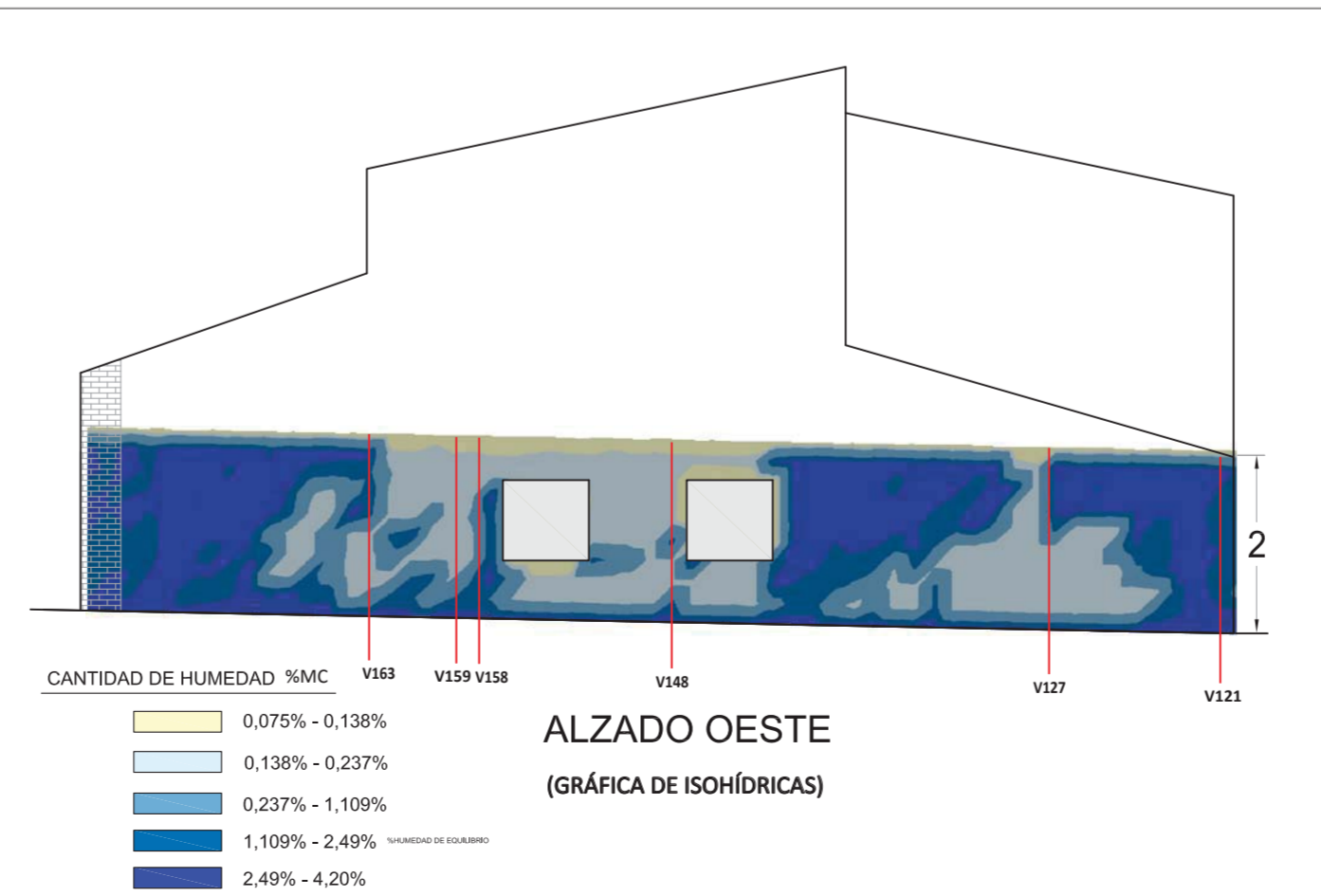
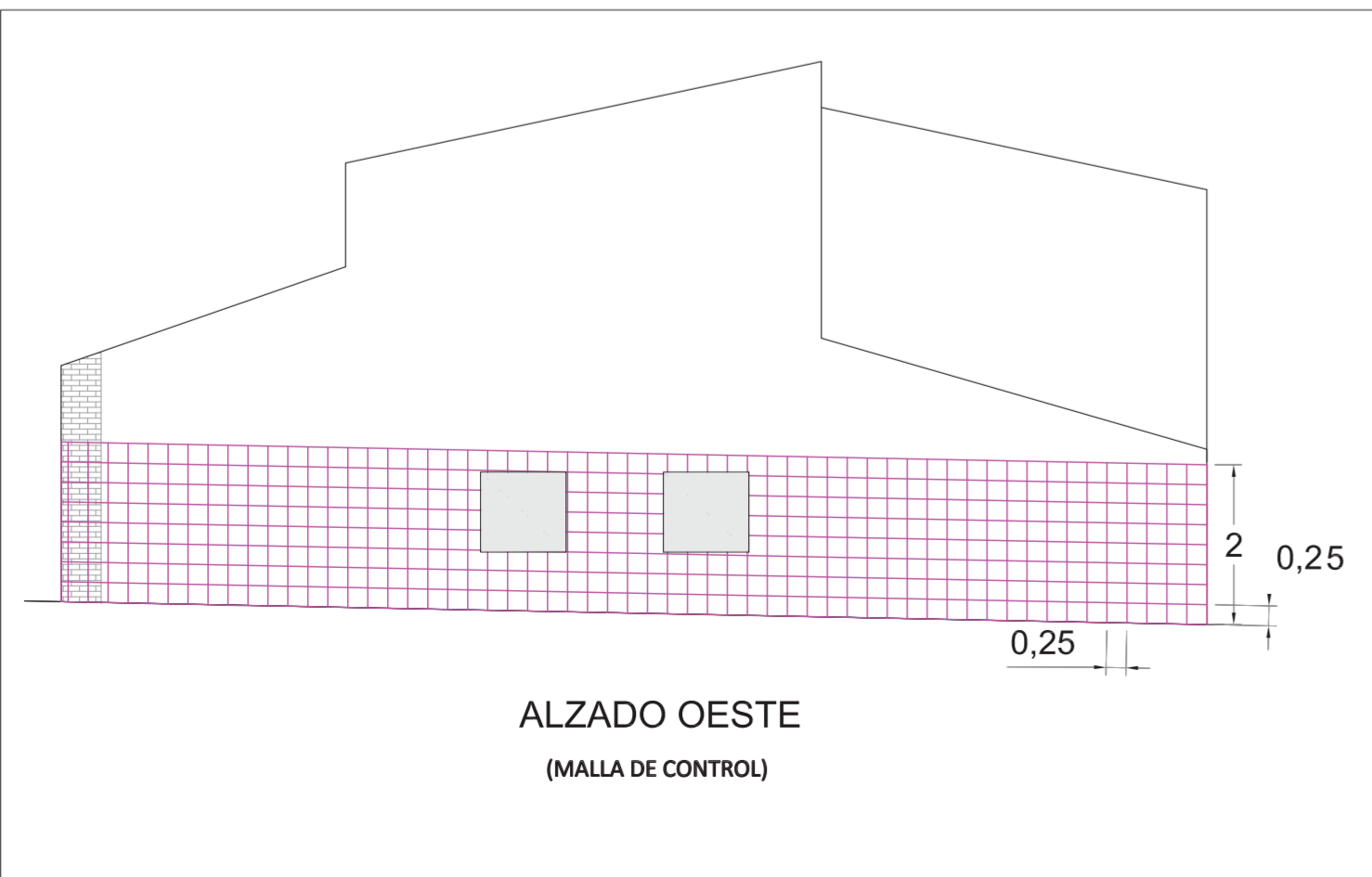
Small table with columns: MUESTRA, %WME, CM. Rows include G(M7), K(11), J(10), F(M6), and A(M1).



CONCLUSIONES:

- La humedad existente es de capilaridad por su disminución al tomar altura en el muro.
- La existencia de sales es alta y se hallan por encima de los sifones Knapien existentes.
- Las zonas de mayor contenido de humedad, pese a la restauración realizada, son coincidentes con el plano de alzado de las arqueólogas, previo a la última intervención, por lo que nos indica que el problema de la humedad capilar no está resuelto y que los daños por afección de sales provienen del interior del muro, no del revestimiento.

MAPEO DE HUMEDAD:



TOMA DE DATOS NAVE CENTRAL (%WME)

	0	1,7	3,4	5,1	6,8	8,5	10,2	11,9	13,6	15,3	17
0	26	12	14	19	20	13	15	14	15	12	17
0,3	22	15	16	17	20	23	27	28	40	22	16
1,3	20	17	16	14	14	17	20	20	17	24	20
2,6	18	36	12	13	14	20	14	14	16	15	12
3,9	0	13	25	17	25	18	20	22	22	18	12
4,38	0	58	14	14	21	26	19	15	18	29	16

TOMA DE DATOS CRUCERO %WME (PARTE IZQUIERDA)

	13,6	15,3	17	18,03
-3,24	21	31	42	24
-2,6	18	22	21	26
-1,3	23	16	16	-
0	15	12	17	-

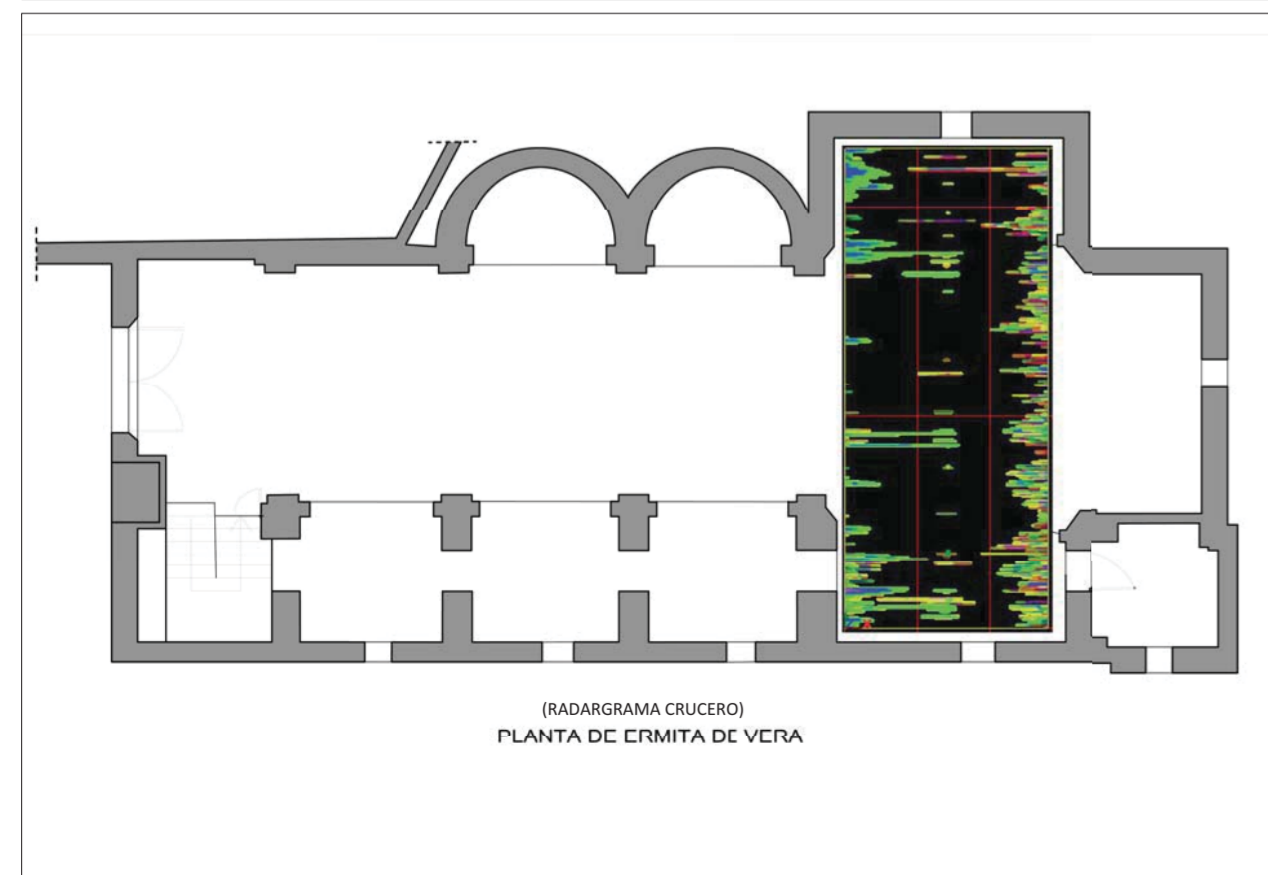
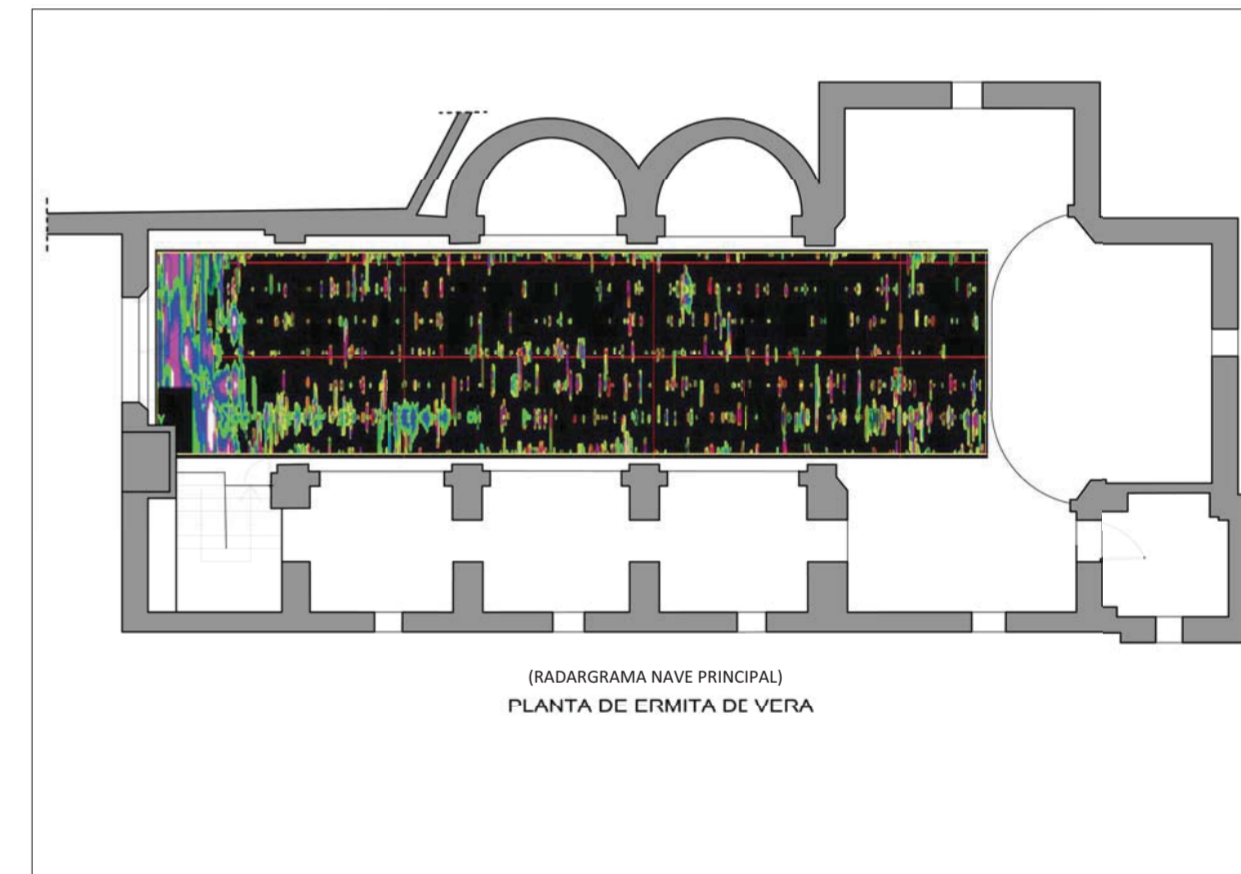
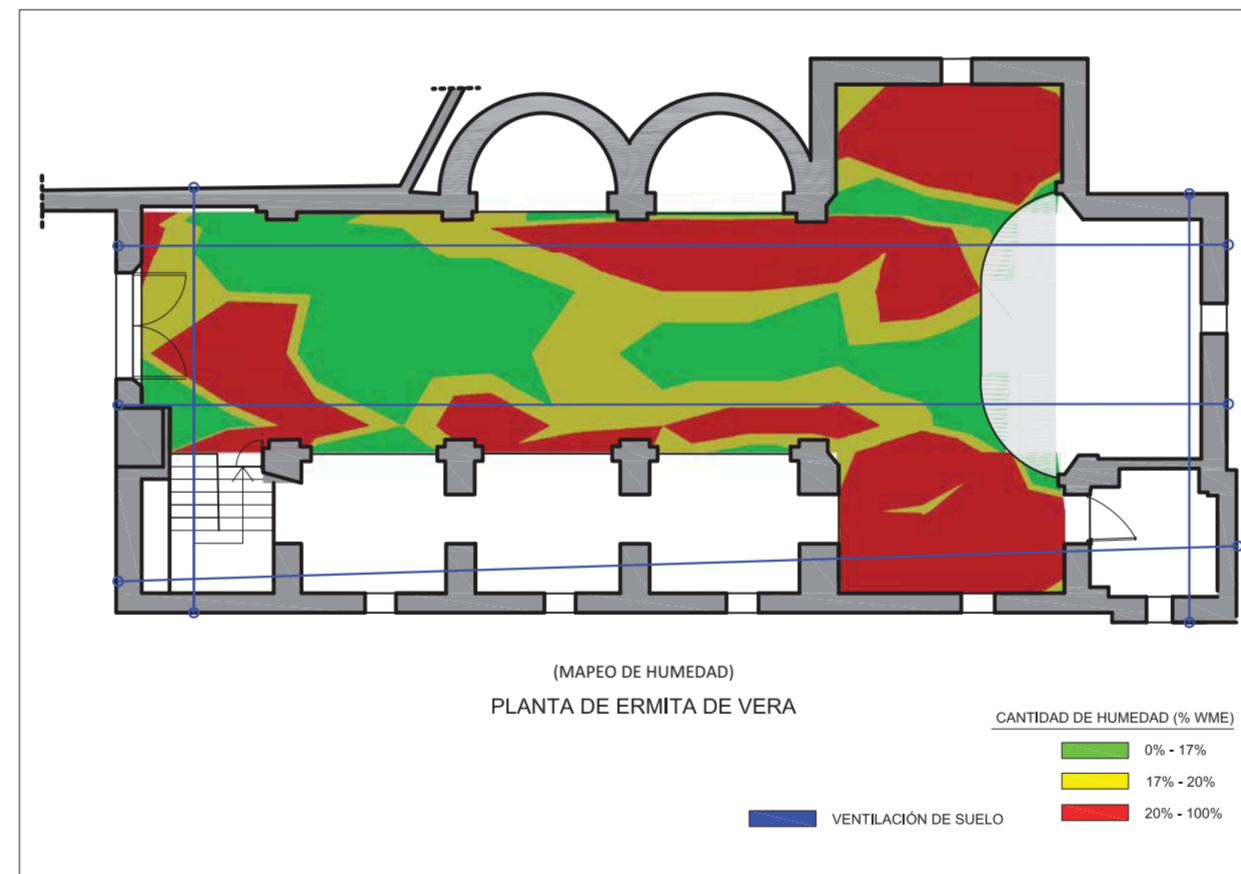
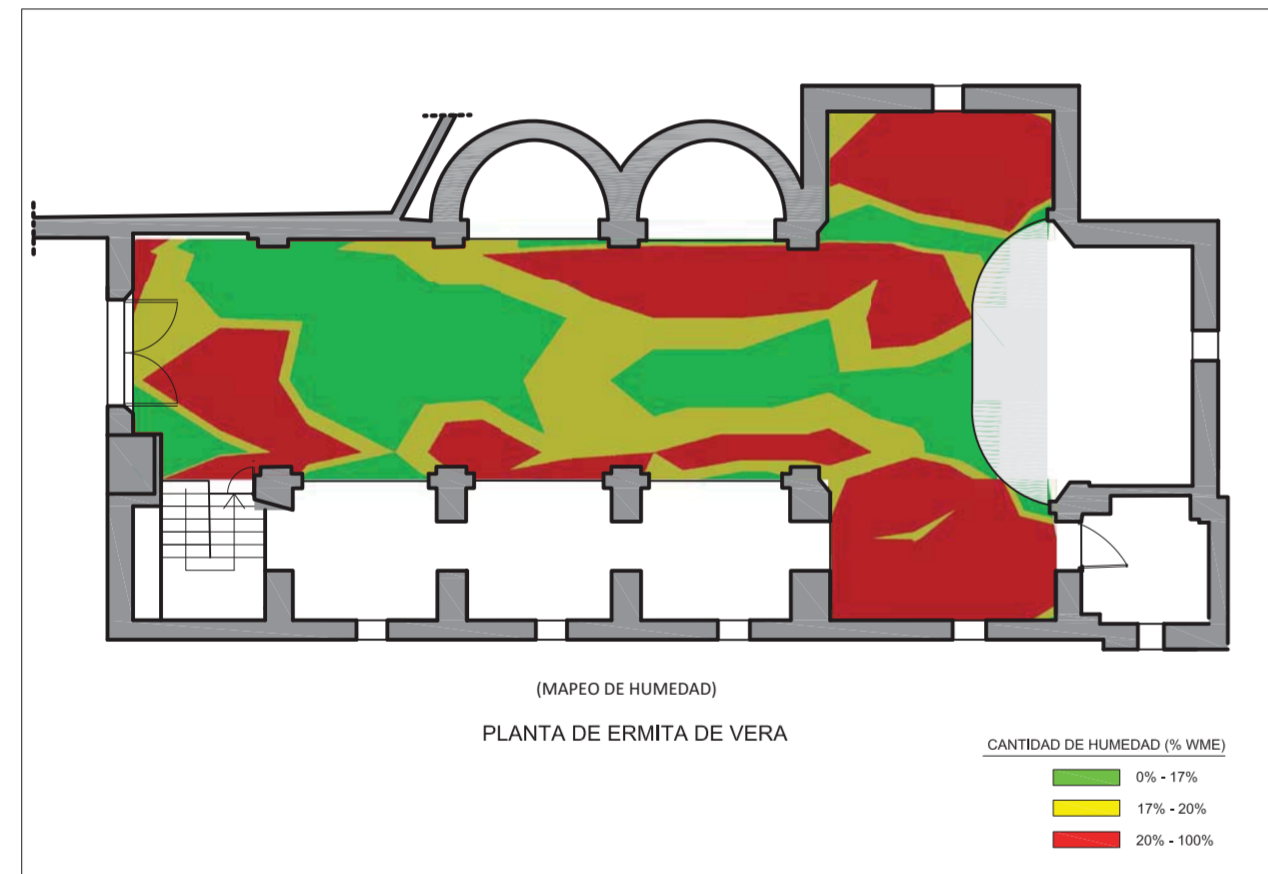
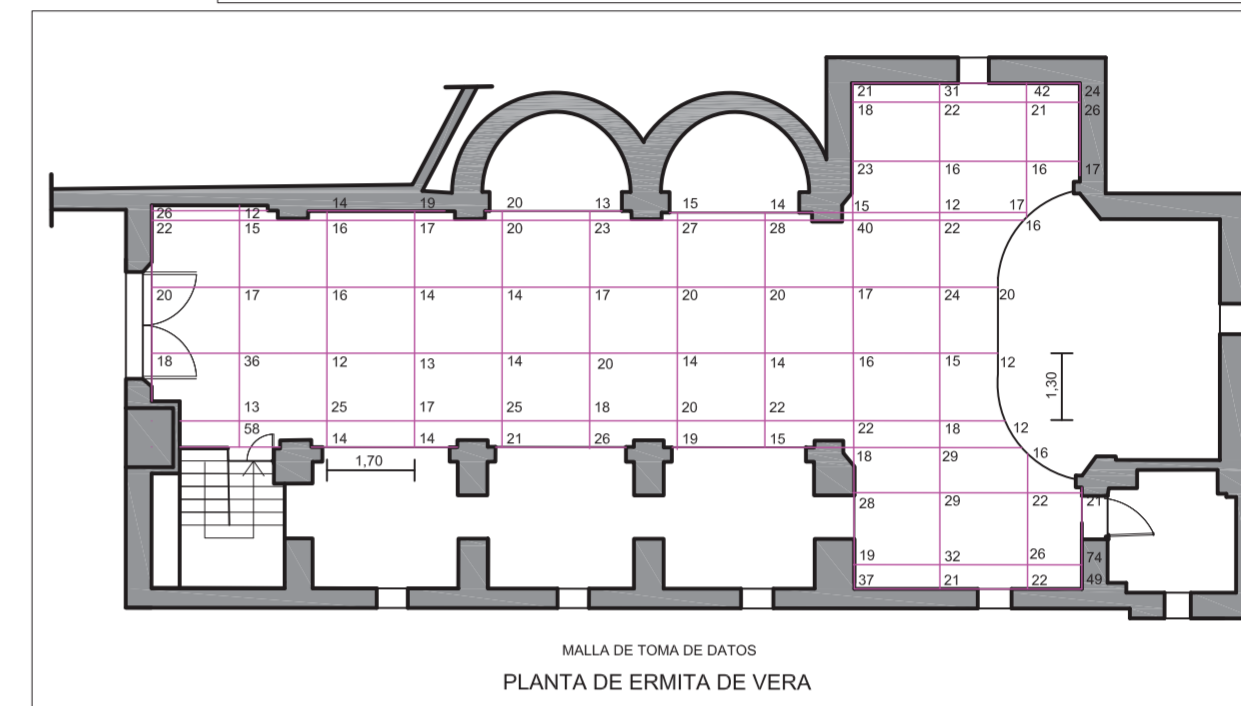
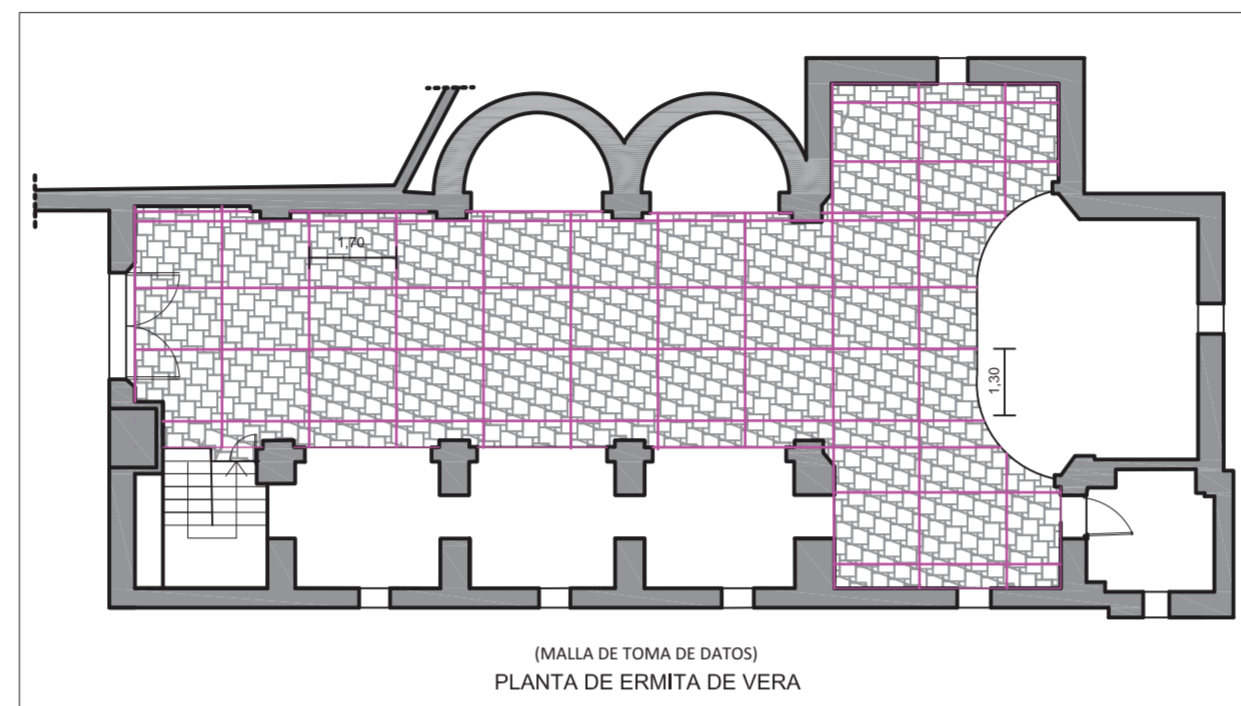
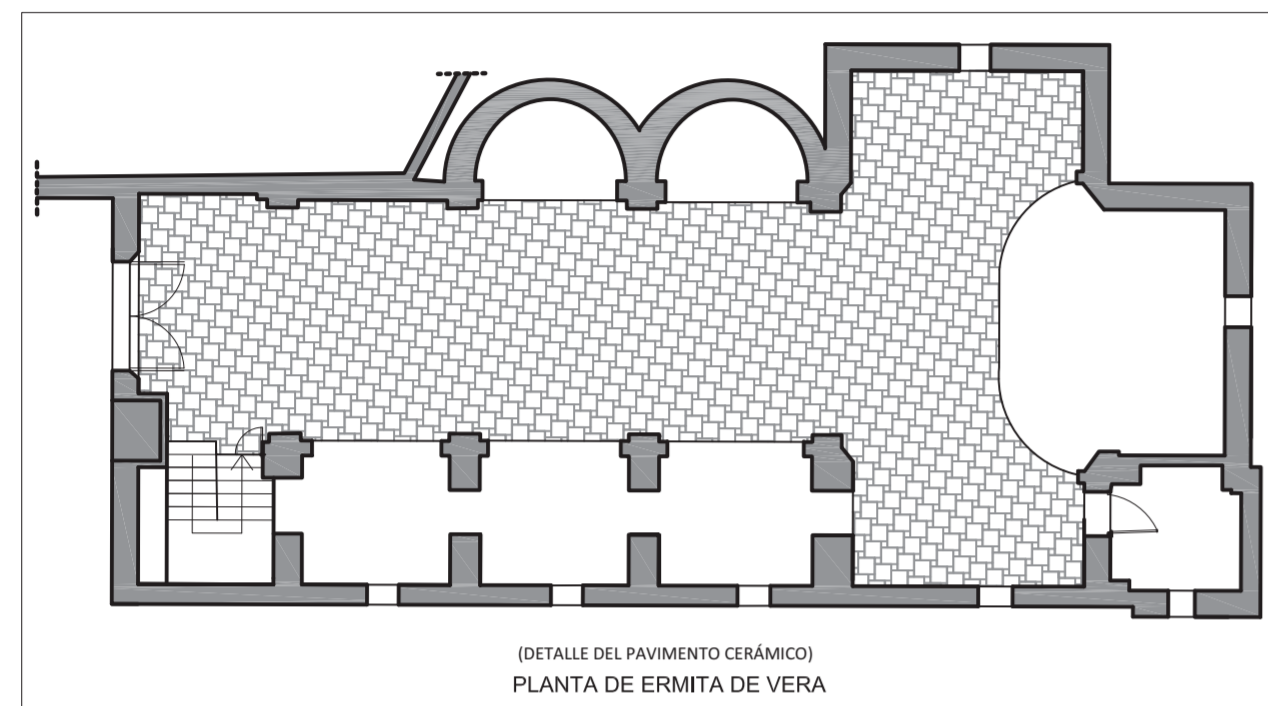
TOMA DE DATOS CRUCERO %WME (PARTE DERECHA)

	13,6	15,3	17	18,03
4,38	18	29	16	-
5,68	28	28	22	21
6,98	19	32	26	74
8,28	37	21	22	49

PREMISAS:

- La malla se definió de acuerdo con las juntas del pavimento, de tal manera que coincidiera el punto de toma con una junta. Ello se decidió debido a que el pavimento era de gres cerámico de 31x31cm de medida de baldosa con tacón decorado de 8x8cm maclado entre las piezas de gres cuadradas, colocadas a espinepez. La medida resultante de paso de la malla fue de 1,70x1,30 m.
- Las tomas se realizaron pinchando con los pins del humidímetro, por tanto los datos se tomaron con el humidímetro en posición de resistividad o resistencia eléctrica, no en posición de "búsqueda" (capacitativo), tal como se realizó en las fachadas.
- La imposibilidad de extracción de muestras obligó a cerrar el análisis tan solo con las tomas realizadas con el humidímetro y por tanto en valores %WME.
- Para suplir esta deficiencia se utilizó el georradar para confirmar los datos obtenidos con las gráficas de las isohídricas confeccionadas con los datos %WME del humidímetro.

MAPEO DE HUMEDAD:



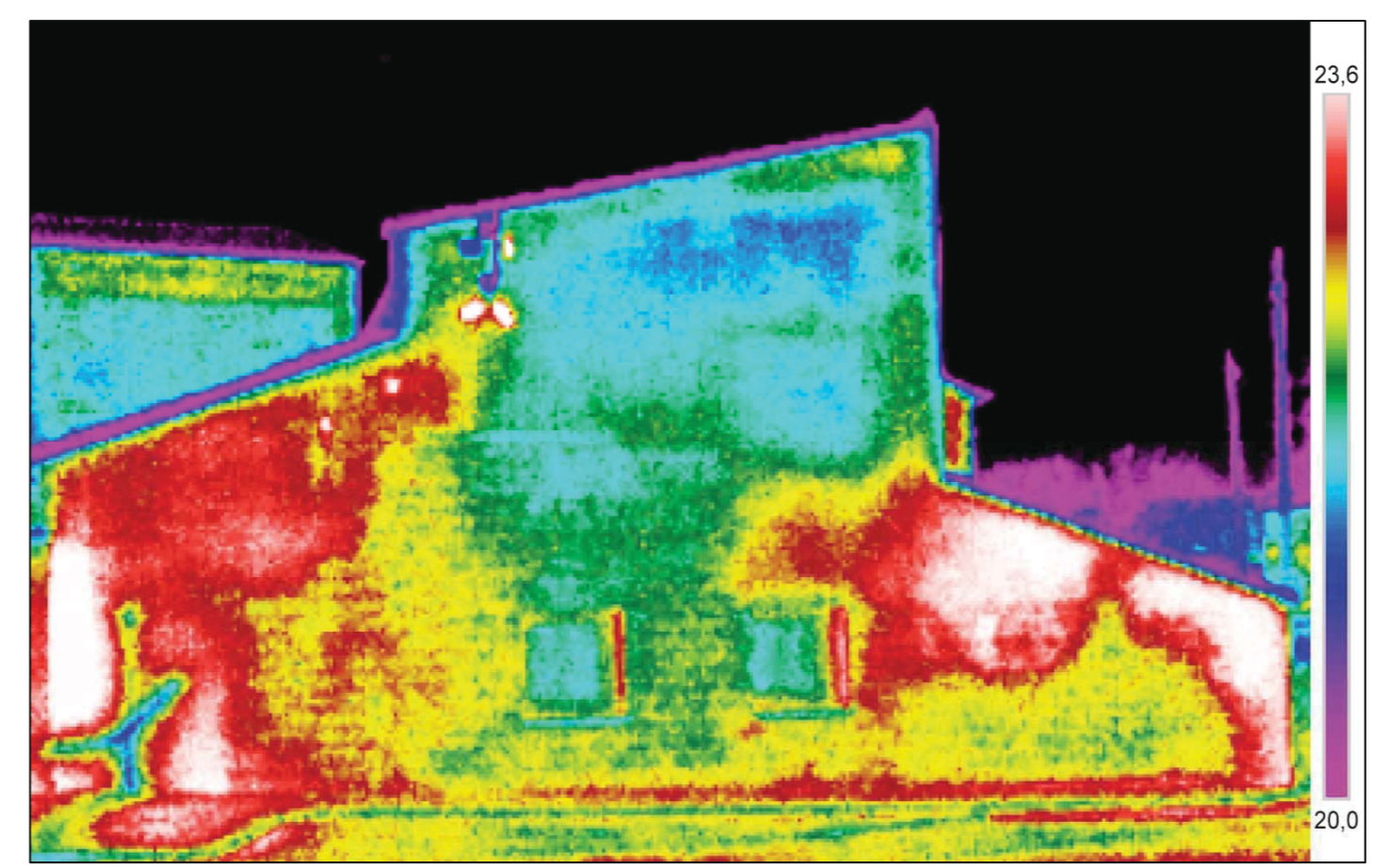
CONCLUSIONES:

- Se determinaron zonas de alto contenido de humedad en la zona cercana a la puerta de entrada a la Ermita y en el punto de intersección con el crucero a la izquierda (mirando de frente al altar). Estos puntos fueron consultados con los mayores del lugar indicando que allí siempre ha existido una emanación de agua proveniente del "Clot" de Vera, cegado antaño. Perfil del radargrama e isohídricas son coincidentes.
- Perpendicularmente a la fachada lateral derecha (según miramos de frente al altar), la línea que discurre paralela al altar muestra alta humedad en el perfil de radargrama al igual que marca zona con humedad (color rojo y amarillo) el humidímetro, son coincidentes.

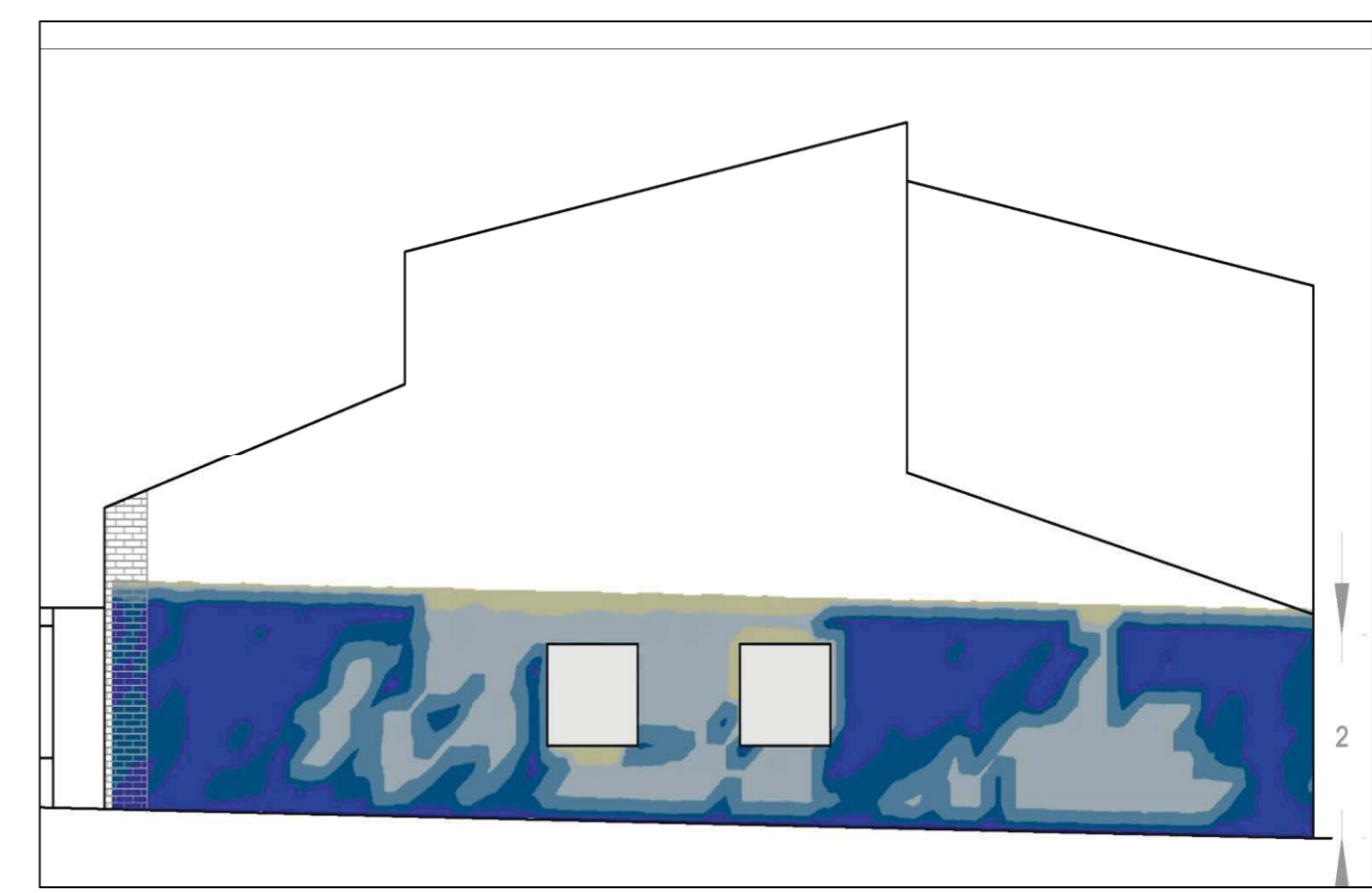
COMPARATIVO (AGROMUSEO DE VERA, VALENCIA). ALZADO OESTE



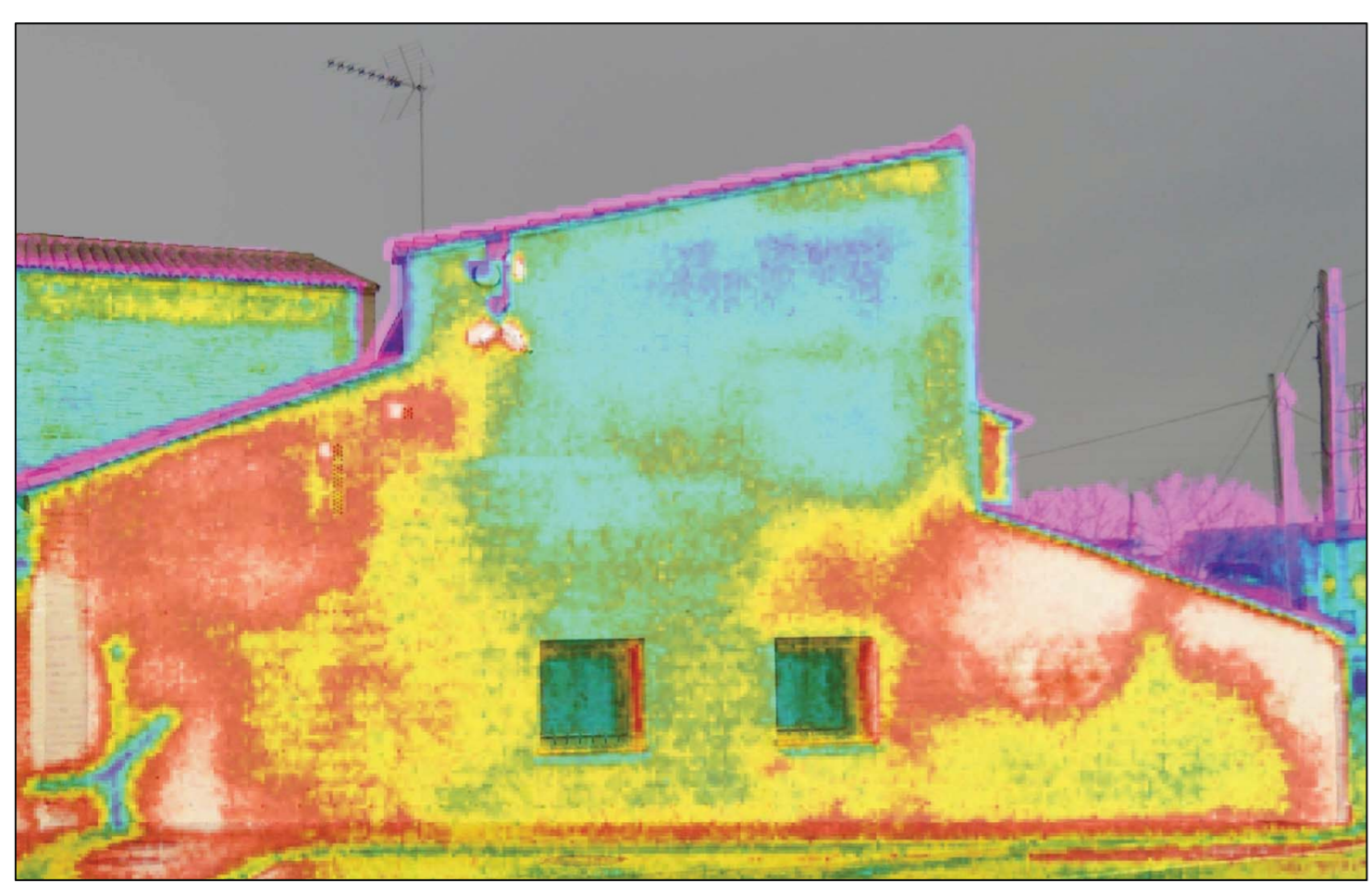
FOTOGRAFÍA DIGITAL



FOTOGRAFÍA TÉRMICA



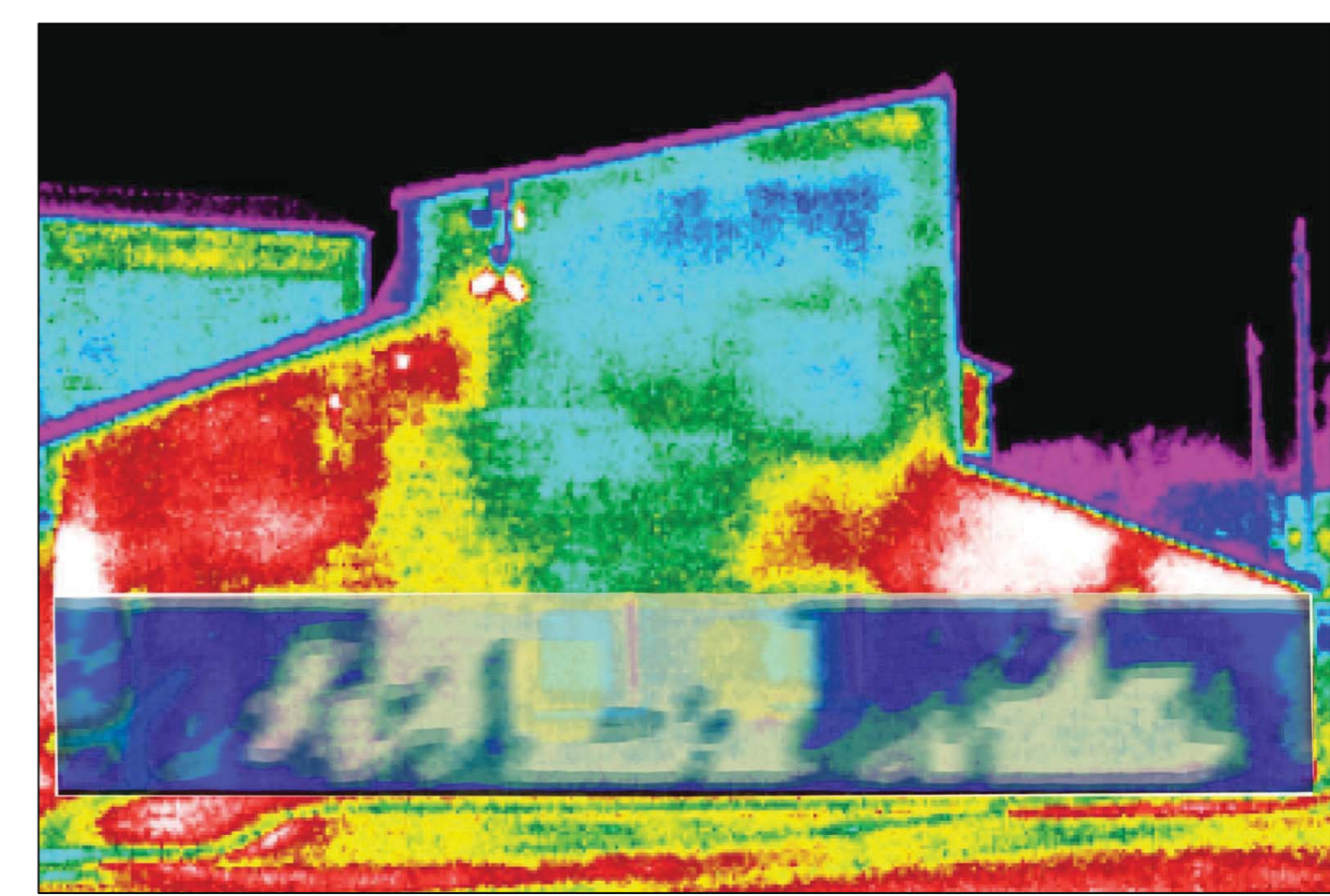
MAPEO



FOTOGRAFÍA DIGITAL + F. TÉRMICA



FOTOGRAFÍA DIGITAL + MAPEO

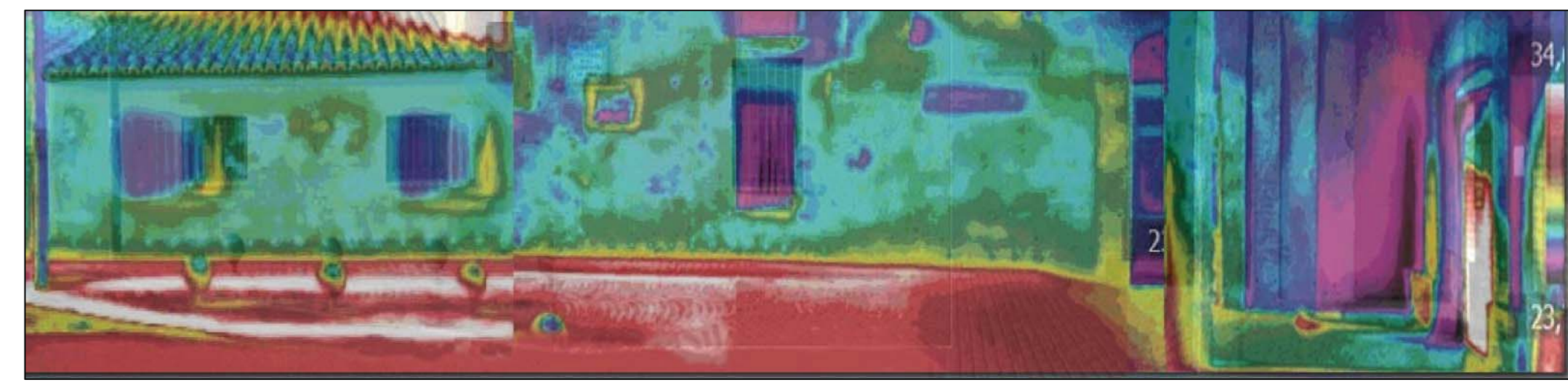


FOTOGRAFÍA TÉRMICA + MAPEO DE HUMEDADES

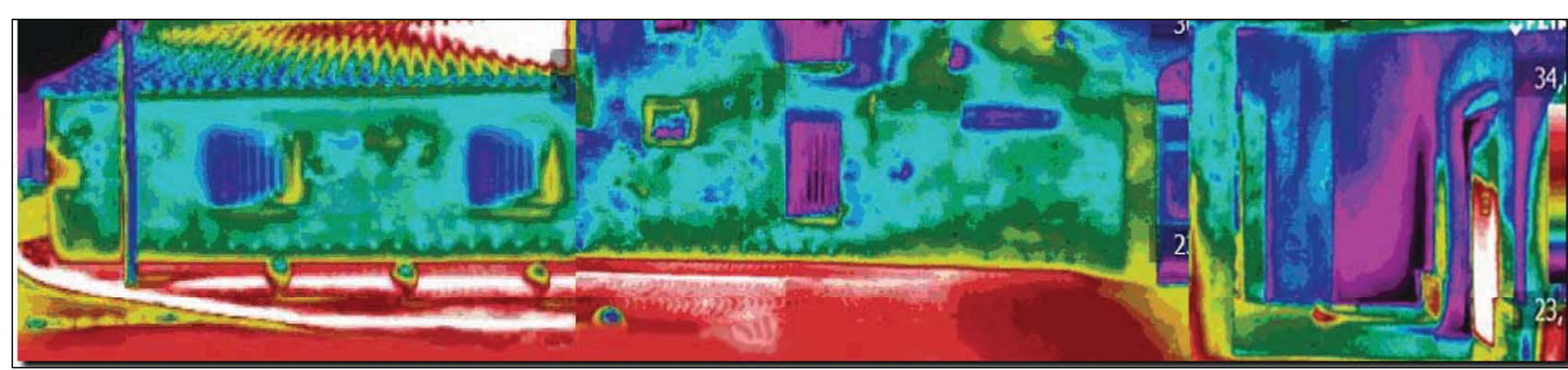
COMPARATIVO (AGROMUSEO DE VERA, VALENCIA). ALZADO PRINCIPAL SUR



FOTOGRAFÍA DIGITAL



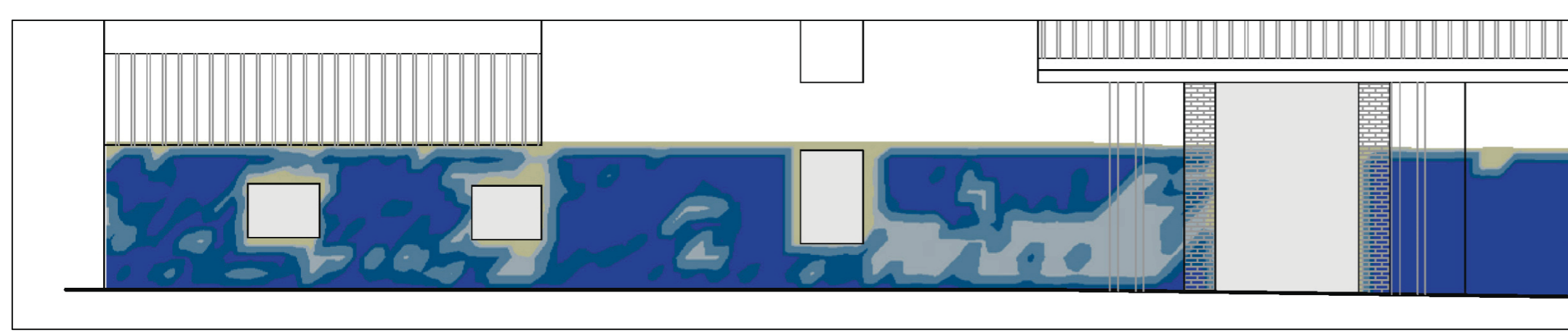
FOTOGRAFÍA DIGITAL + F. TÉRMICA



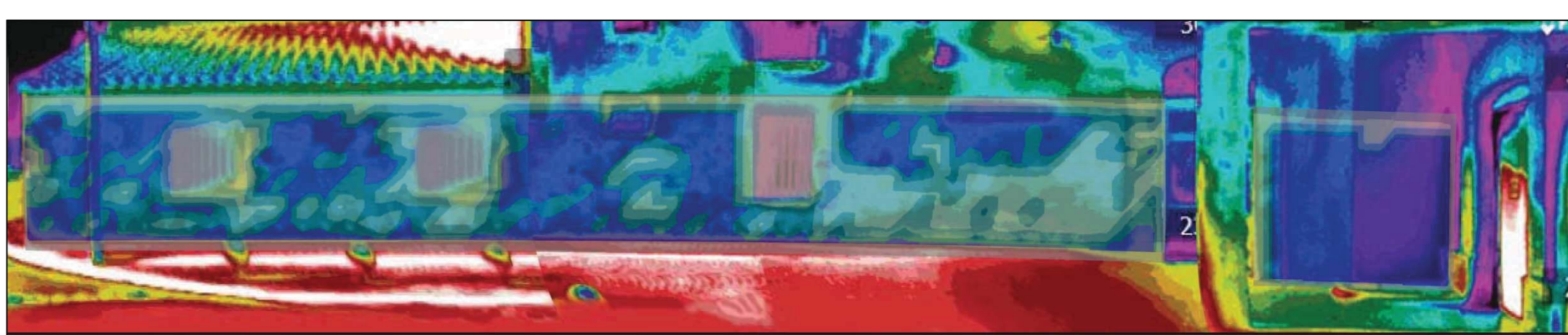
FOTOGRAFÍA TÉRMICA



FOTOGRAFÍA DIGITAL + MAPEO DE HUMEDADES



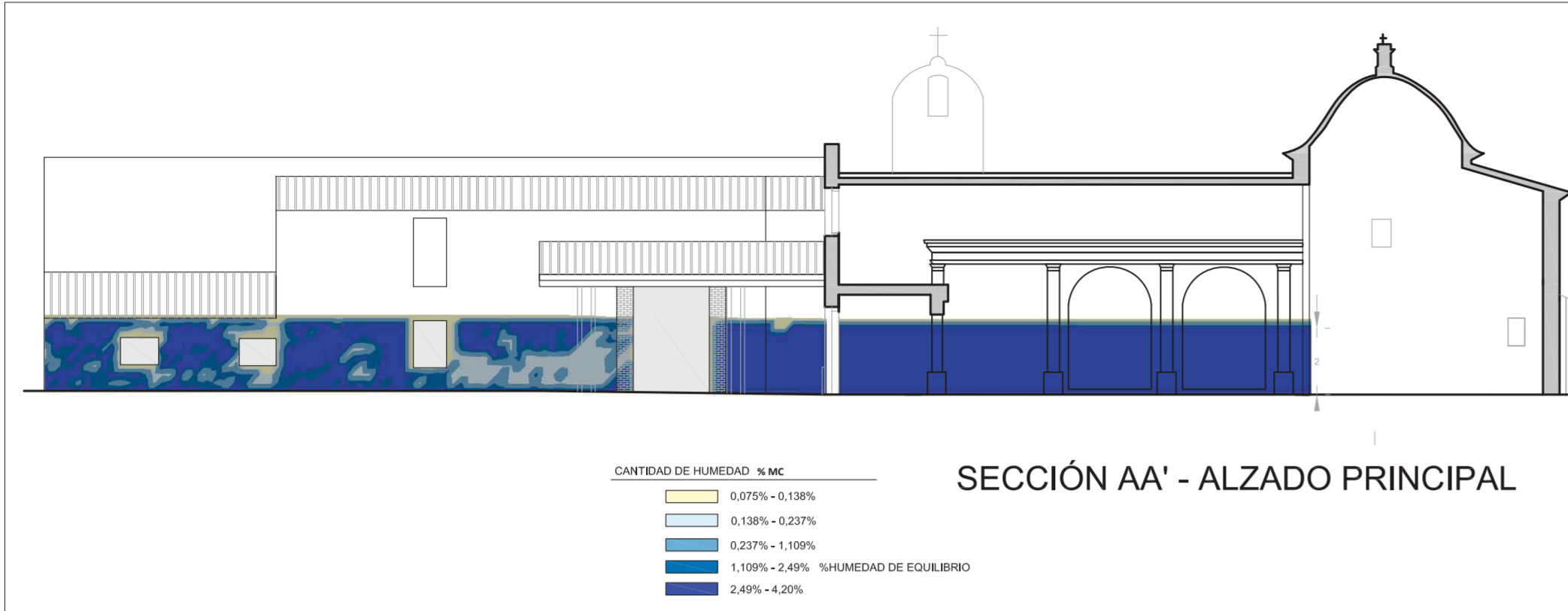
MAPEO



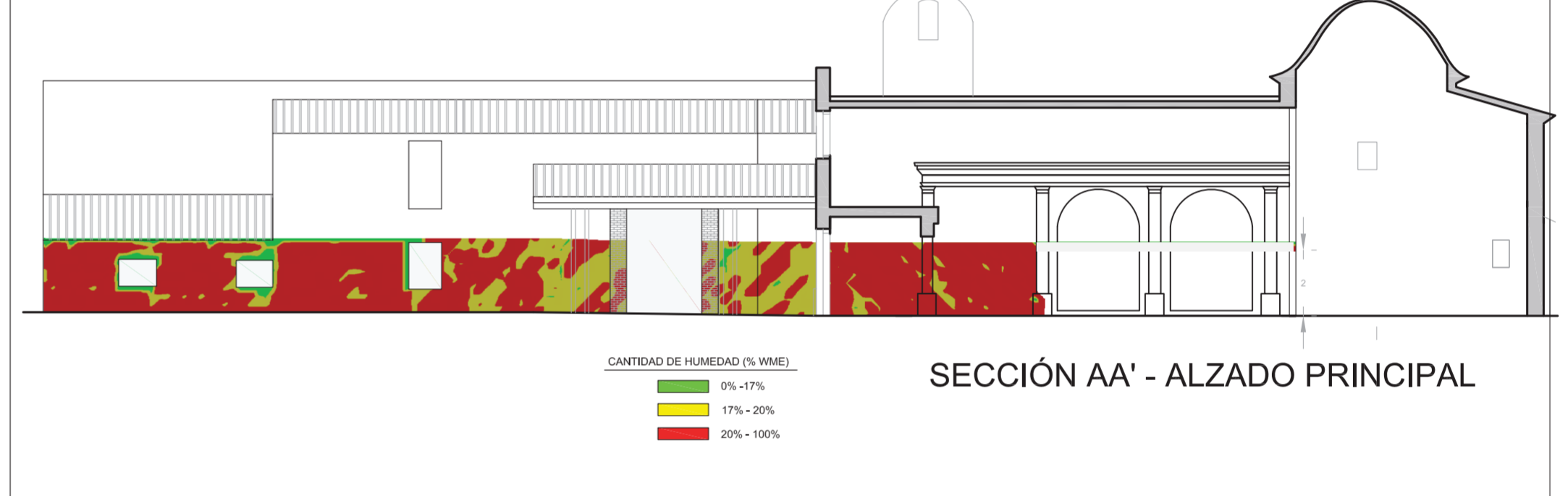
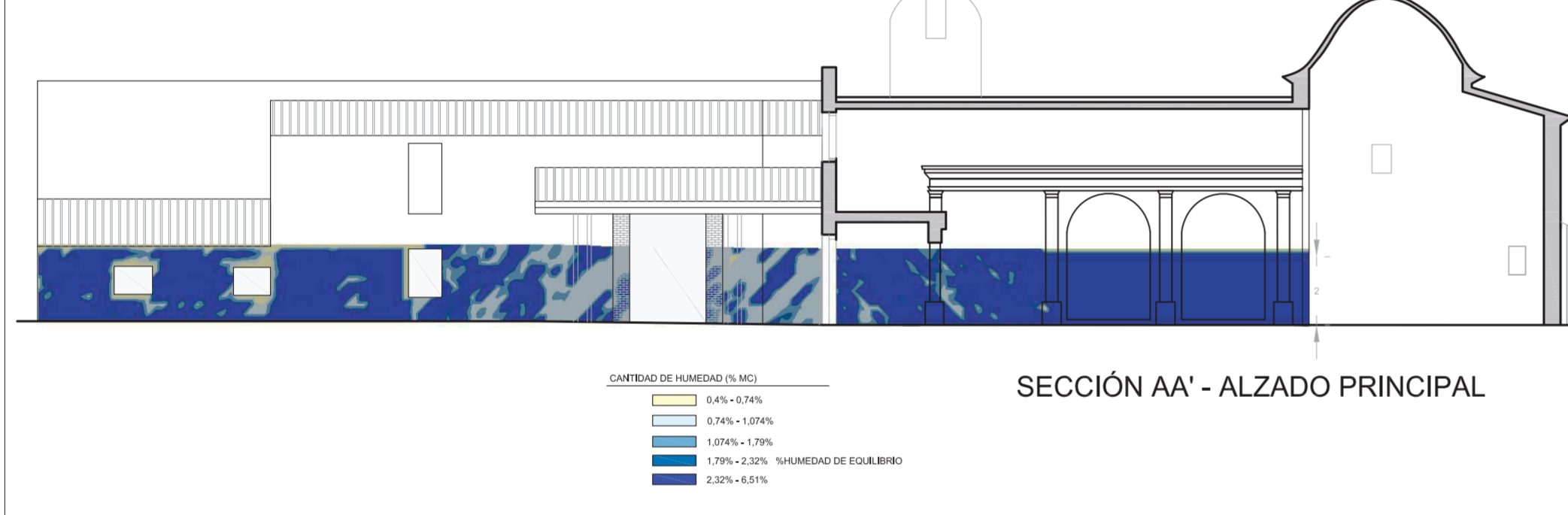
FOTOGRAFÍA TÉRMICA + MAPEO DE HUMEDADES

MONITORIZACIÓN:

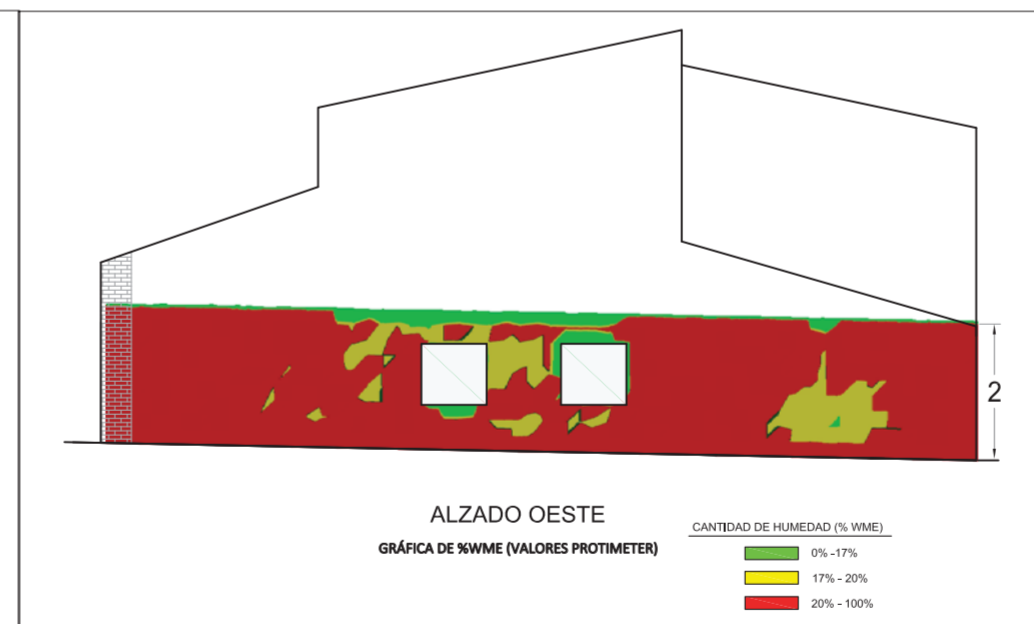
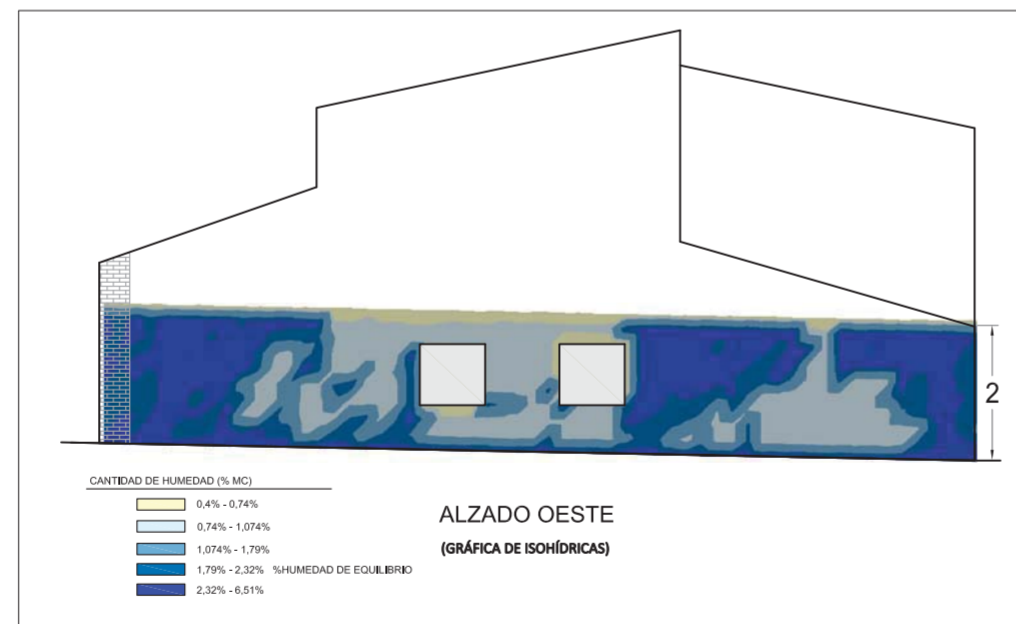
ESTUDIO INICIAL ALZADO PRINCIPAL (18-06-13):



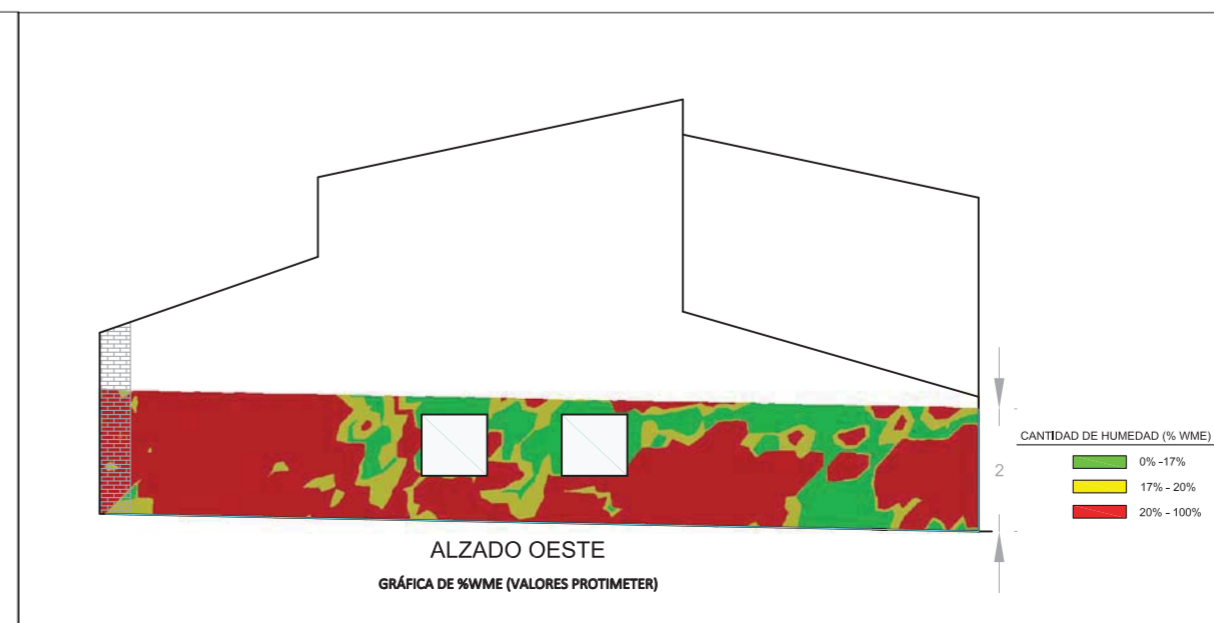
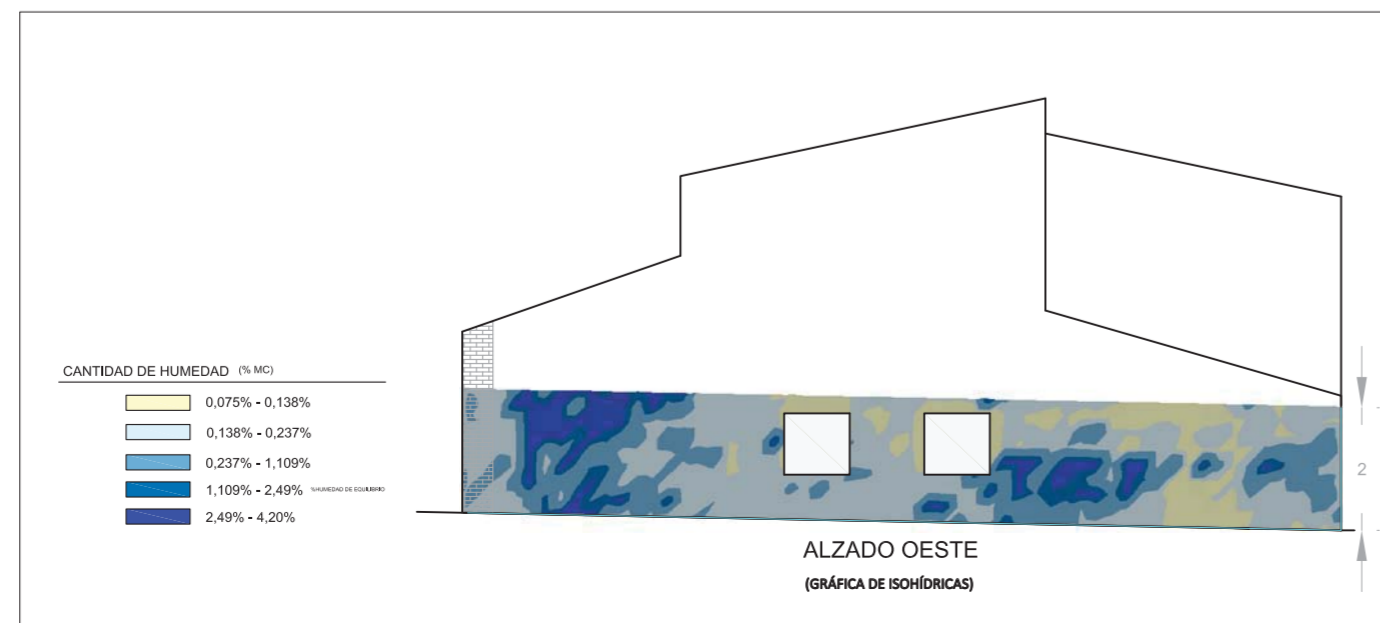
CONTROL TRAS 11 MESES DESDE EL ESTUDIO INICIAL DEL ALZADO PRINCIPAL(21-05-14):



ESTUDIO INICIAL ALZADO OESTE (18-06-13):



CONTROL TRAS 11 MESES DESDE EL ESTUDIO INICIAL DEL ALZADO OESTE(21-05-14):



9.3 IGLESIA DE SAN PABLO DE LOS JESUITAS. I.N.E.M. LUIS VIVES. VALENCIA

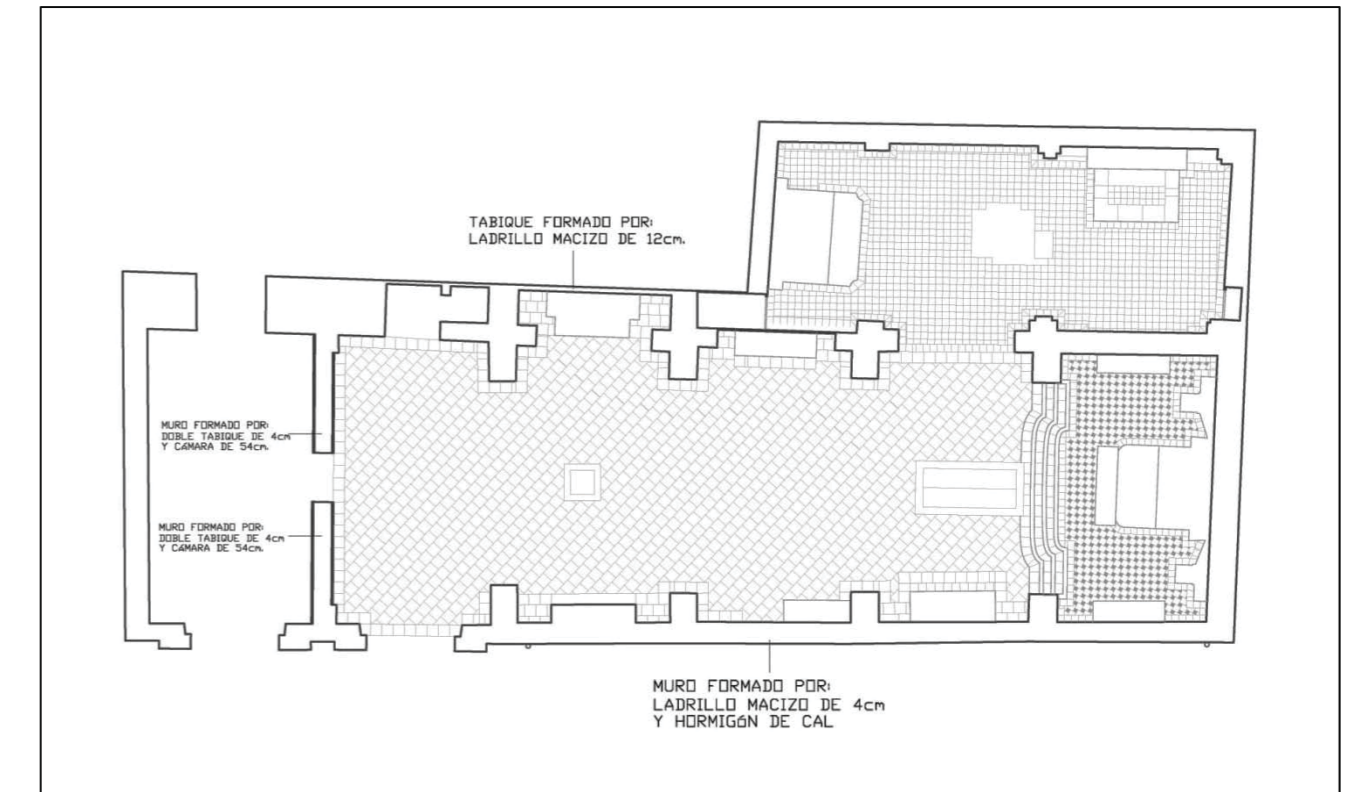
ANTECEDENTES

IGLESIA DE SAN PABLO DE LOS JESUITAS. I.N.E.M. LUIS VIVES, VALENCIA.

Situación y emplazamiento:



Planta del edificio:



Fotografías del edificio:



Exterior-Vista general del edificio. Fuentes propias



Interior - Vista del altar en la capilla de San Pablo antes de la restauración de 1998. fuentes propias



Interior -Vista de la capilla Honda o capilla lateral durante la restauración de 1998. Fuentes propias.



Interior -Vista de la capilla de san Pablo después de la restauración de 1998. Autor: Marcos Buigues Metola.

Reseña histórica y constructiva:

Esta Capilla forma parte del edificio donde se sitúa el Instituto Nacional de Enseñanza Media "Luis Vives" de Valencia, declarado Bien de Interés Cultural en 1983.

Fue el primer colegio construido en España por el orden de la Compañía de Jesús con destino para la formación de novicios de los jesuitas. Recibió el nombre de Colegio de San Pablo Apóstol y se construyó entre 1552 y 1556. En 1644 el Colegio se amplía para albergar el Colegio de San Pablo y el Seminario de Nobles de San Ignacio. En 1721 se construiría la cripta de la iglesia y en 1719 la Capilla Honda para uso exclusivo de los alumnos del Seminario de Nobles. La renovación parcial de la Capilla se acomete entre 1723 y 1725 y se limitó a la reparación de muros y bóvedas y a la construcción de su portada barroca hoy cegada. No obstante la gran reforma del edificio fue llevada entre 1785 y 1786 por el arquitecto Lorenzo Martínez, que cambió la orientación canónica de la iglesia, dándole el aspecto estructural que hoy vemos.

La Capilla de San Pablo es de planta rectangular, sin crucero, de una sola nave, con arcos fajones de medio punto sobre pilastras adosadas al muro y cubierta por bóveda de cañón con lunetos en los que se abren las ventanas rectangulares con ornamentación barroca. Las medidas de la iglesia, 27 metros de longitud, 16 metros de anchura junto con la Capilla Honda o lateral, 12 m en la nave central y 9.6 metros de altura. Dispone de un total de seis capillas no muy profundas entre los contrafuertes, y coro alto a los pies que ocupa todo el ancho de la iglesia. Tiene además varias criptas y el pavimento es de baldosas valencianas de barro cocido. Se fecha data de la primera mitad del siglo XVI.

A la izquierda del presbiterio encontramos la conocida como Capilla Honda o Capilla de la Comunión. Construida en 1694 como sacristía, posteriormente fue renovada en su totalidad. Presenta bóvedas vaídas en dos tramos y el tercero con bóveda de arista. Rodea la capilla un zócalo de cerámica de 1725 (siglo XVIII), con azulejos de 20 x 20 cm. y una altura desde el suelo de 1,60 metros. Los muros tienen un espesor de entre 40 cm a 62 cm y están formados por fábrica de ladrillo macizo de 12 cm de espesor.

Será en 1930 cuando el edificio pase a ser Instituto Nacional de Enseñanza Media "Luis Vives", hasta la actualidad.

PROCESO DE INVESTIGACIÓN:

La investigación en este edificio surge ante la manifestación patológica, presuntamente de humedad en los muros de esta Capilla, por lo que se estimó necesario por parte de la Consellería de Cultura de la Generalitat Valenciana y por el Arquitecto redactor, en proceso de elaboración, del proyecto de intervención para la restauración de dicha capilla, la realización de un estudio que especifica que tipo de humedad existe en los muros junto con un análisis higrométrico ambiental. Indicar que aquellos muros tenían realizado un tratamiento antihumedad capilar mediante sifones de ventilación Knapen, por lo que se deseaba saber si estos dispositivos antihumedad estaban cumpliendo o no su función. Esta información data de 1998.

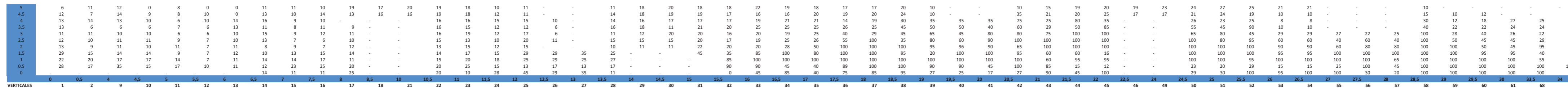
En este proceso de análisis se utilizó este procedimiento para determinar las humedades tal como se especifica en esta investigación y por esto se muestra en esta Tesis: para demostrar que el perfeccionamiento de este procedimiento para la plasmación de las humedades lo más visual posible, aunque no se profundice, al no obtener más datos, tales como la humedad de equilibrio y la humedad higroscópica no calculada en este análisis. El simple grafismo es suficiente para poder determinar si es o no humedad capilar y orientarnos sobre la posible causa de la patología de humedad existente.

Las premisas de la investigación fueron las que en aquellas fechas se dispusieron:

- Paso de malla en muros: 50x50cm. (1.400 tomas).
- Paso de malla de control en suelo: 150x150 cm. Esta malla se utilizó para la toma de datos en una malla espacial virtual que se elevaba cada metro de altura alcanzando los 5m. Así pues se tomaron datos de humedad con el humidímetro en esta malla por puntos a cota cero (rasante del pavimento) humedad con el humidímetro y a niveles 1, 2, 3, 4 y 5 m. datos de HR y temperatura con un higrómetro.
- Extracción de 15 muestras: Se utilizó un máquina de perforación con velocidad de rotación regulable, en posición de rotación con brocas de 32 mm de Ø.
- Proceso de análisis de MC: procedimiento ponderal realizado en el laboratorio de la U.P.V.
- Ensayos de control de contenido de humedad efectuado con humidímetro por verticales (19 ud.) y a distintas profundidades del muro (ver gráficas obtenidas en la página siguiente).

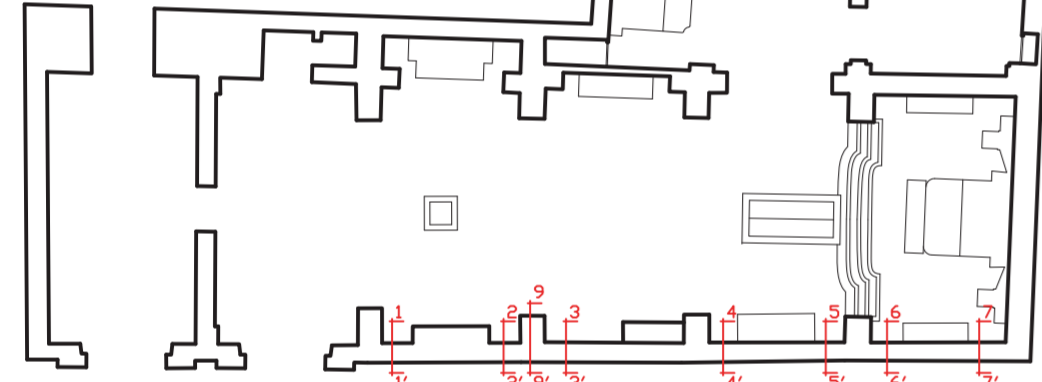
Los datos de MC se obtuvieron con el procedimiento ponderal y no se utilizó el procedimiento del carburo de calcio. Se efectuaron ensayos de control por verticales en 19 posiciones para la determinación del tipo de humedad existente. Se realizaron ensayos de control en interior de muros en 19 posiciones y a 1, 2, 3, 4 y 5 m de altura y en distintas profundidades perforando de la manera descrita en esta Tesis, a 15, 30, 40 cm, en cada sección por cada punto en cada altura. De esta forma se confeccionaron las gráficas de humedad interior conformando la típica catenaria invertida que se ha descrito en esta Tesis en el Cap. 3.6., confirmando la existencia de humedad capilar.

ALZADO-SECC.AA'



PERFILES DE HUMEDAD:

%WME	Valor del humidímetro, contenido de humedad referente a madera
%MC	Contenido de Humedad real en %



PLANTA - SITUACIÓN DE LAS SECCIONES

CONCLUSIONES:

Como conclusión de estos perfiles, se puede indicar que la zona más húmeda según la gráfica de isohídricas obtenida, corresponde a la zona comprendida entre los perfiles 1 a 3, incluido el 9. Nos encontramos con gráficas de perfiles que muestran capilaridad ascensional con un alto contenido de sales a los 2m y que alcanza una franja de 1 m de anchura y que se corresponde con la zona de mayores desperfectos en el revestimiento por acción de estas sales.

DATOS %WME Y MC DE MUESTRAS A PROFUNDIDADES 15-30-40 cm:

SECCION 1-1'

Sección 1-1'	PROFUNDIDAD					
	15 cm		30 cm		40 cm	
ALTURA	%WME	%MC	%WME	%MC	%WME	%MC
0 m	100	18.83	75	6.19	35	1.06
1 m	27	0.74	26	0.71	25	0.68
2 m	100	18.83	8	0.32	75	6.19
3 m	17	0.48	29	0.81	35	1.06
4 m	40	1.32	24	0.85	23	0.52
5 m	27	0.74	19	0.52	16	0.46

SECCION 2-2'

Sección 2-2'	PROFUNDIDAD					
	15 cm		30 cm		40 cm	
ALTURA	%WME	%MC	%WME	%MC	%WME	%MC
0 m	100	18.83	100	18.83	50	2.05
1 m	100	18.83	26	0.71	29	0.81
2 m	100	18.83	55	2.56	90	12.53
3 m	100	18.83	100	18.83	100	18.63
4 m	13	0.4	28	0.78	60	3.19
5 m	21	0.57	20	0.55	11	0.37

SECCION 3-3'

Sección 3-3'	PROFUNDIDAD					
	15 cm		30 cm		40 cm	
ALTURA	%WME	%MC	%WME	%MC	%WME	%MC
0 m	65	14.05	13	0.4	11	0.37
1 m	100	18.83	10	0.35	13	0.4
2 m	100	18.83	75	6.19	26	0.71
3 m	27	0.74	25	0.68	30	0.85
4 m	65	3.98	12	0.38	11	0.37
5 m	40	1.32	16	0.46	29	0.81

SECCION 4-4'

Sección 4-4'	PROFUNDIDAD					
	15 cm		30 cm		40 cm	
ALTURA	%WME	%MC	%WME	%MC	%WME	%MC
0 m	35	1.06	19	0.52	19	0.52
1 m	17	0.48	8	0.32	8	0.29
2 m	23	0.52	19	0.52	16	0.46
3 m	16	0.46	21	0.57	16	0.46
4 m	20	0.55	22	0.6	13	0.4
5 m	7	0.31	7	0.31	7	0.31

SECCION 5-5'

Sección 5-5'	PROFUNDIDAD					
	15 cm		30 cm		40 cm	
ALTURA	%WME	%MC	%WME	%MC	%WME	%MC
0 m	27	0.74	26	0.71	16	0.46
1 m	30	0.85	20	0.55	14	0.42
2 m	19	0.52	21	0.57	19	0.52
3 m	7	0.31	7	0.31	7	0.31
4 m	9	0.34	7	0.31	7	0.31
5 m	22	0.6	21	0.57	9	0.34

SECCION 6-6'

Sección 6-6'	PROFUNDIDAD					
	15 cm		30 cm		40 cm	
ALTURA	%WME	%MC	%WME	%MC	%WME	%MC
0 m	26	0.71	22	0.6	30	0.85
1 m	16	0.46	20	0.55	25	0.68
2 m	13	0.4	25	0.68	15	0.44
3 m	13	0.4	25	0.68	15	0.44
4 m	12	0.38	24	0.65	13	0.4
5 m	25	0.68	18	0.5	18	0.5

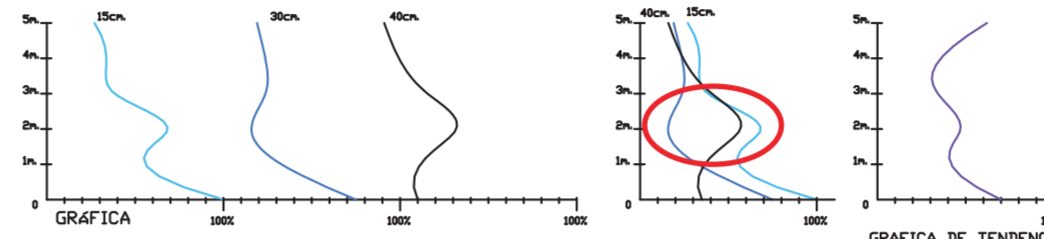
SECCION 7-7'

Sección 7-7'	PROFUNDIDAD					
	15 cm		30 cm		40 cm	
ALTURA	%WME	%MC	%WME	%MC	%WME	%MC
0 m	X	-	X	-	X	-
1 m	27	0.74	45	1.65	19	0.52
2 m	madera		madera		madera	
3 m	17	0.48	13	0.4	14	0.42
4 m	8	0.32	14	0.42	12	0.38
5 m	24	0.65	25	0.68	12	0.38

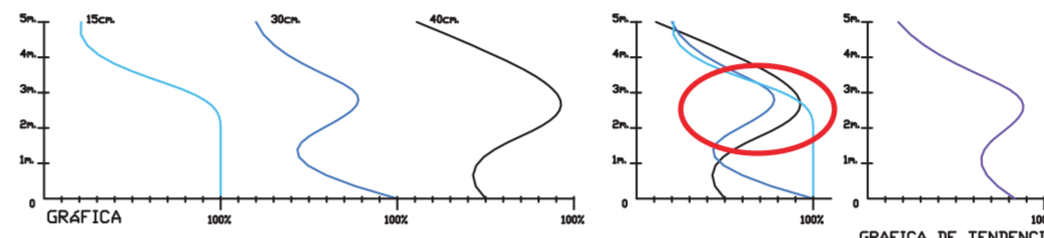
SECCION 9-9'

Sección 9-9'	PROFUNDIDAD					
	15 cm		30 cm		40 cm	
ALTURA	%WME	%MC	%WME	%MC	%WME	%MC
0 m	100	18.63	55	2.56	22	0.6
1 m	25	0.68	45	1.65	25	0.68
2 m	26	0.71	21	0.57	22	0.6
3 m	18	0.5	21	0.57	15	0.44
4 m	8	0.32	13	0.4	14	0.42
5 m	X	-	X	-	X	-

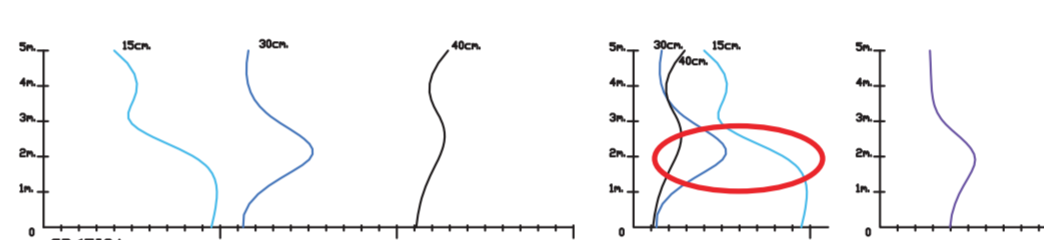
PERFILES DE CONTENIDO DE HUMEDAD EN ALTURA:



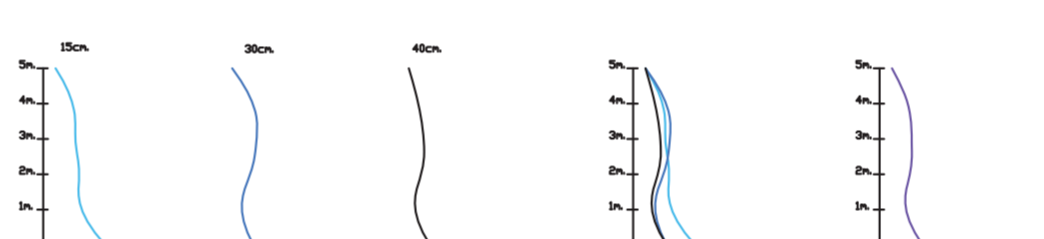
-CAPILARIDAD. A 2 m ZONA CON SALES. MAYOR EN EL INTERIOR



-CAPILARIDAD. ZONA DE SALES EXISTENTE ENTRE 2-3 m. EN EL INTERIOR



-CAPILARIDAD. ZONA DE SALES EXISTENTE A 2m. MAYOR EN EL INTERIOR



-DÉBIL CAPILARIDAD. SIN PRESENCIA DE SALES



-DÉBIL CAPILARIDAD. SIN PRESENCIA DE SALES



-DÉBIL CAPILARIDAD. SIN PRESENCIA DE SALES

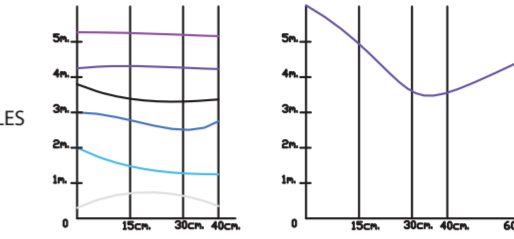


-DÉBIL CAPILARIDAD. SIN PRESENCIA DE SALES

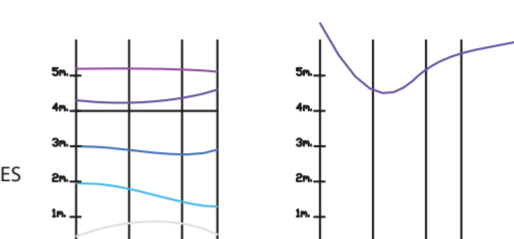


-CAPILARIDAD. SIN PRESENCIA DE SALES

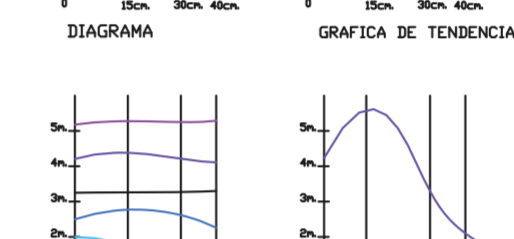
PERFILES DE CONTENIDO DE HUMEDAD EN EN ESPESOR DEL MURO:



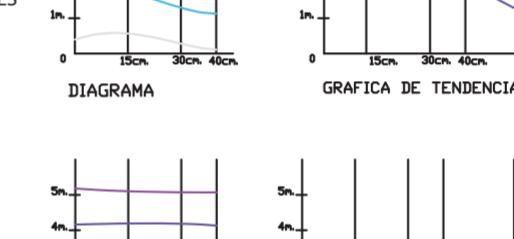
-LA CATENARIA INDICATIVA DE HUMEDAD CAPILAR SE MUESTRA MUY CLARA A 1m Y A 5m MUY BAJA, CASI PLANA



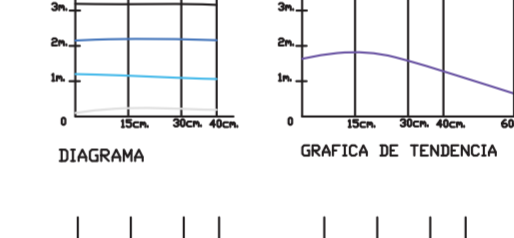
-LA CATENARIA INDICATIVA DE HUMEDAD CAPILAR SE MUESTRA MUY CLARA A 1m Y A 5m MUY BAJA, CASI PLANA



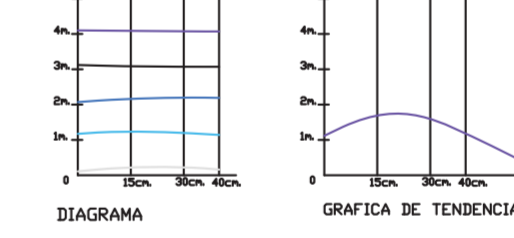
-LA CATENARIA INDICATIVA DE HUMEDAD CAPILAR SE MUESTRA MUY CLARA A 1m Y A 5m MUY BAJA, CASI PLANA



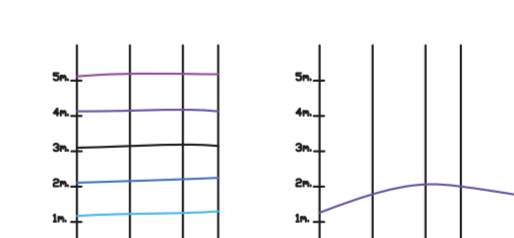
-LA CATENARIA INDICATIVA DE HUMEDAD CAPILAR SE MUESTRA MUY CLARA A 1m Y A 5m MUY BAJA, CASI PLANA



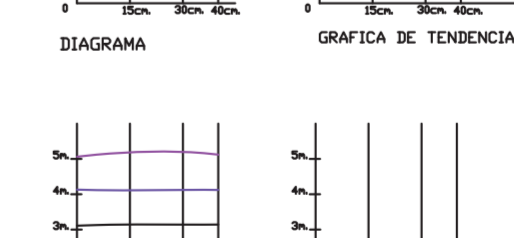
-LA CATENARIA INDICATIVA DE HUMEDAD CAPILAR SE MUESTRA MUY CLARA A 1m Y A 5m MUY BAJA, CASI PLANA



-LA CATENARIA INDICATIVA DE HUMEDAD CAPILAR SE MUESTRA MUY CLARA A 1m Y A 5m MUY BAJA, CASI PLANA

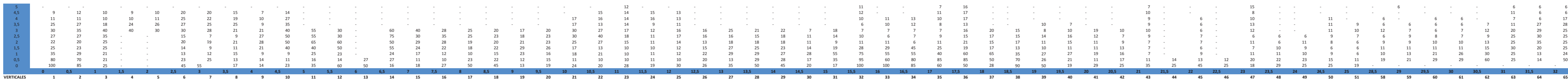


-LA CATENARIA INDICATIVA DE HUMEDAD CAPILAR SE MUESTRA MUY CLARA A 1m Y A 5m MUY BAJA, CASI PLANA



-LA CATENARIA INDICATIVA DE HUMEDAD CAPILAR SE MUESTRA MUY CLARA A 1m Y A 5m MUY BAJA, CASI PLANA

ALZADO-SECC' EN DESARROLLO



PERFILES DE HUMEDAD:

DATOS %WME Y MC DE MUESTRAS A PROFUNDIDADES 15-30-40 cm:

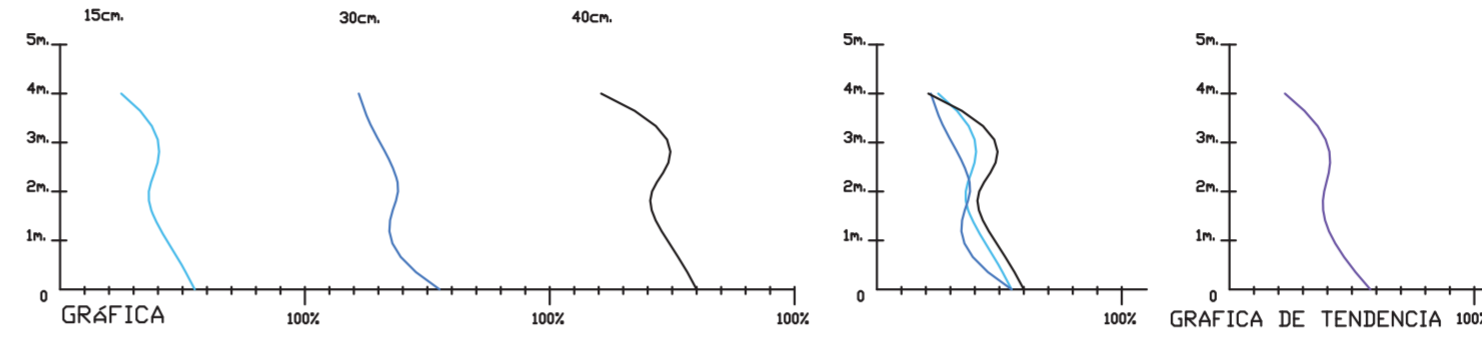
SECCION 8-8'

		PROFUNDIDAD					
Seccion 8-8'		15 cm		30 cm		40 cm	
ALTURA	%WME	%MC	%WME	%MC	%WME	%MC	
0 m	55	2,56	55	2,56	60	3,19	
1 m	45	1,65	24	1,65	50	2,05	
2 m	25	0,68	22	0,78	28	0,71	
3 m	50	2,05	28	0,78	65	3,58	
4 m	25	0,68	22	0,8	21	0,57	
5 m	X	-	X	-	X	-	

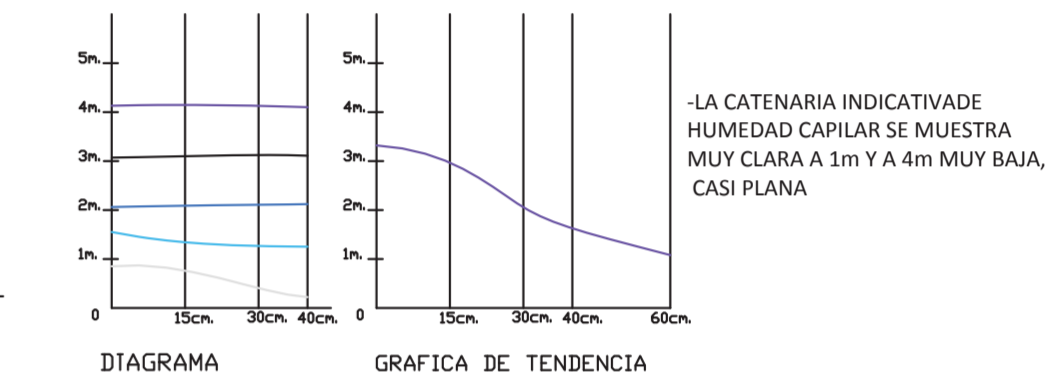
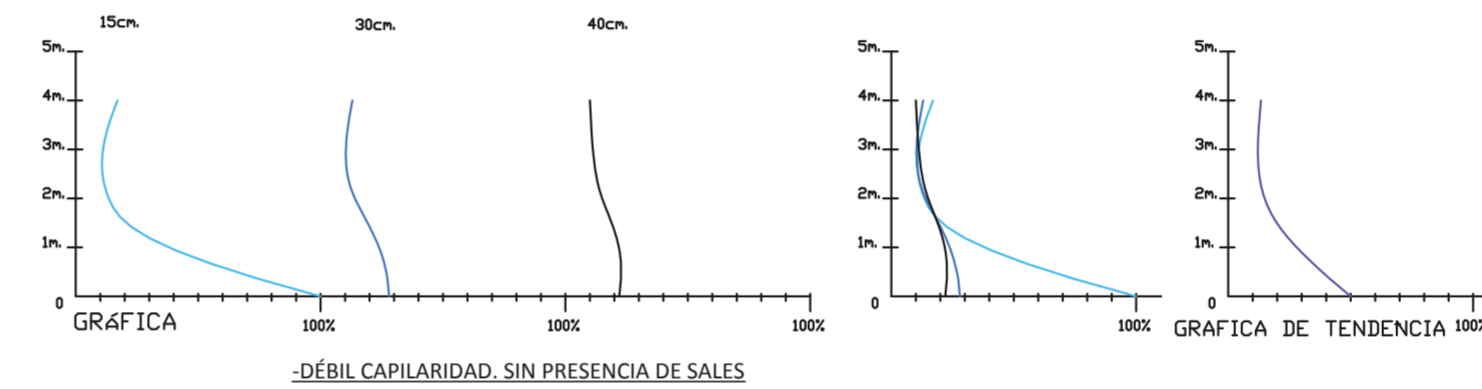
SECCION 10-10'

		PROFUNDIDAD					
Seccion 10-10'		15 cm		30 cm		40 cm	
ALTURA	%WME	%MC	%WME	%MC	%WME	%MC	
0 m	100	18,63	28	0,78	22	0,8	
1 m	25	0,68	27	0,74	25	0,68	
2 m	10	0,35	10	0,35	12	0,38	
3 m	9	0,34	15	0,44	11	0,37	
4 m	17	0,48	13	0,4	10	0,35	
5 m	X	-	X	-	X	-	

PERFILES DE CONTENIDO DE HUMEDAD EN ALTURA:



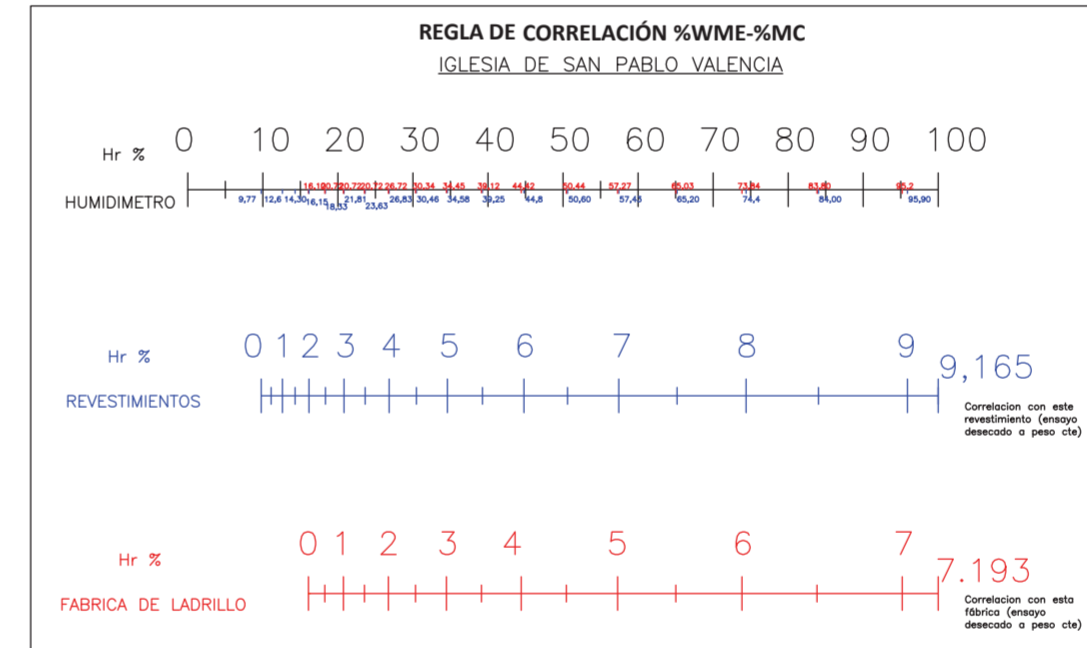
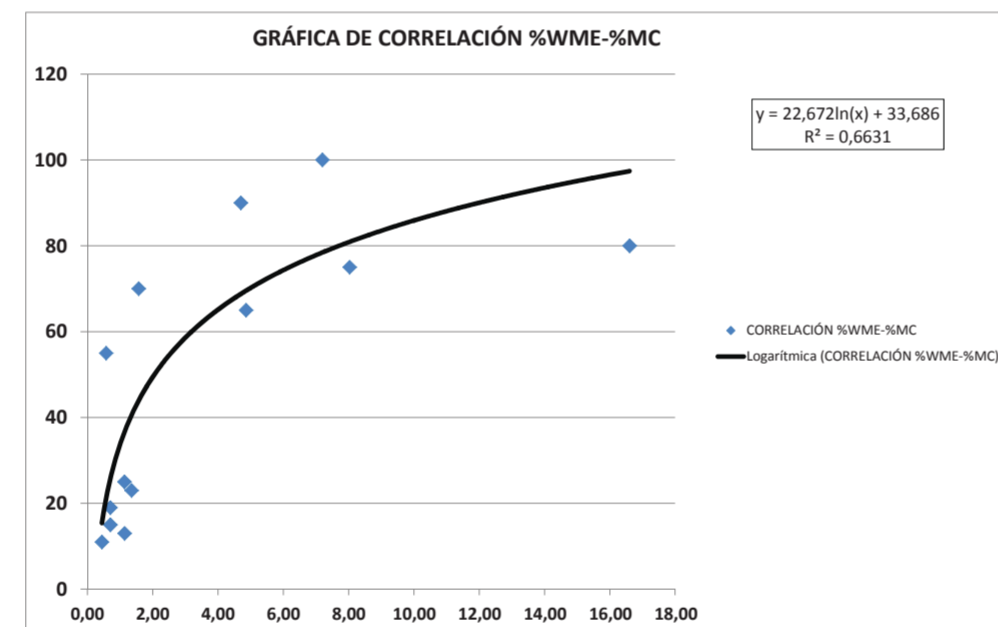
PERFILES DE CONTENIDO DE HUMEDAD EN EN ESPESOR DEL MURO:



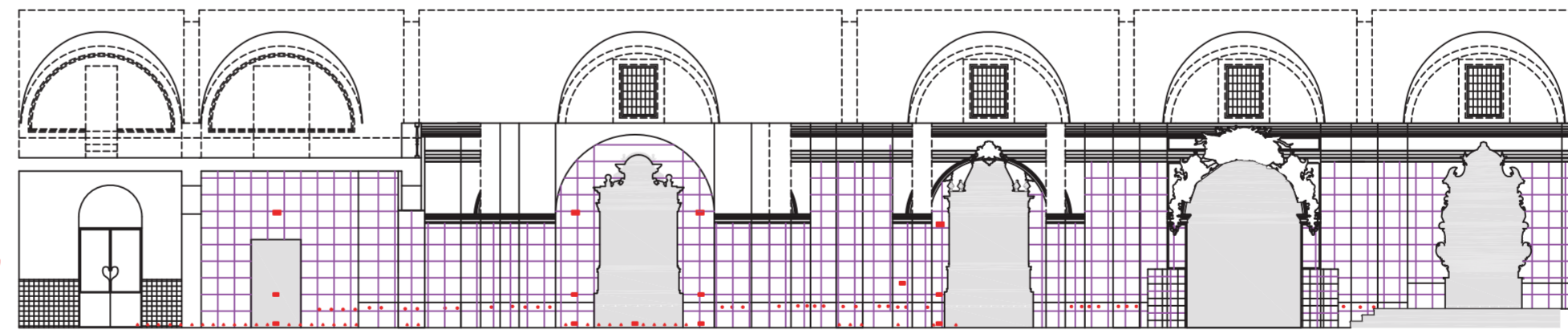
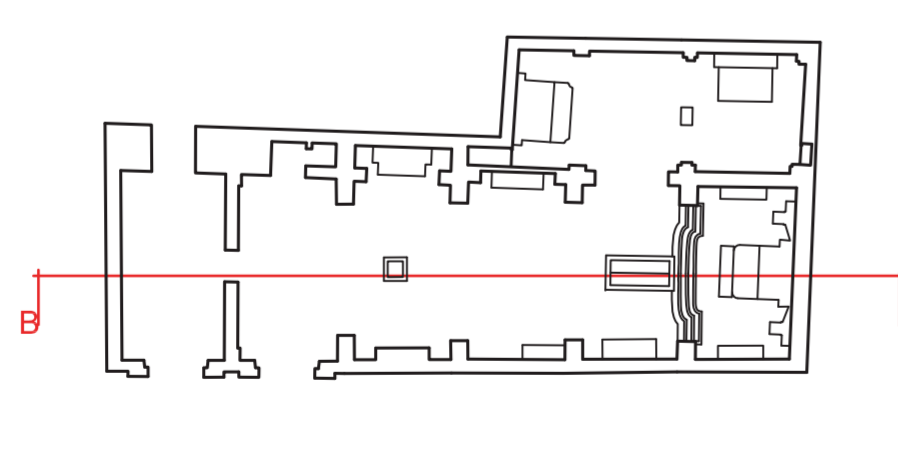
CORRELACIÓN %WME-% MC :

MUESTRA	Pe	Pem	Ps1	Ps2	% WME	%MC
1	18,52	47,23	45,18	45,11	90	4,70
2	18,51	45,97	43,84	43,84	65	4,86
3	18,64	297,45	292,97	292,84	70	1,57
4	18,43	76,92	71,40	71,20	75	8,03
5	18,41	27,52	27,22	27,21	13	1,14
6	18,73	31,50	31,36	31,36	11	0,45
7	18,56	44,26	43,92	43,95	15	0,71
8	18,50	297,00	278,08	277,06	100	7,20
9	18,45	264,81	238,57	227,10	80	16,61
10	18,53	-	-	-	80	-
11	18,41	195,49	194,38	194,37	55	0,58
12	18,44	236,40	233,24	233,24	23	1,35
13	18,49	206,76	205,28	205,31	19	0,71
14	18,53	220,47	218,11	217,99	25	1,14
15	-	3.781,24	3.598,23	3.564,40	-	6,08

%WME	Valor del humidímetro, contenido de humedad referente a madera
% MC.	Contenido de Humedad real en %



MAPEO DE HUMEDAD:

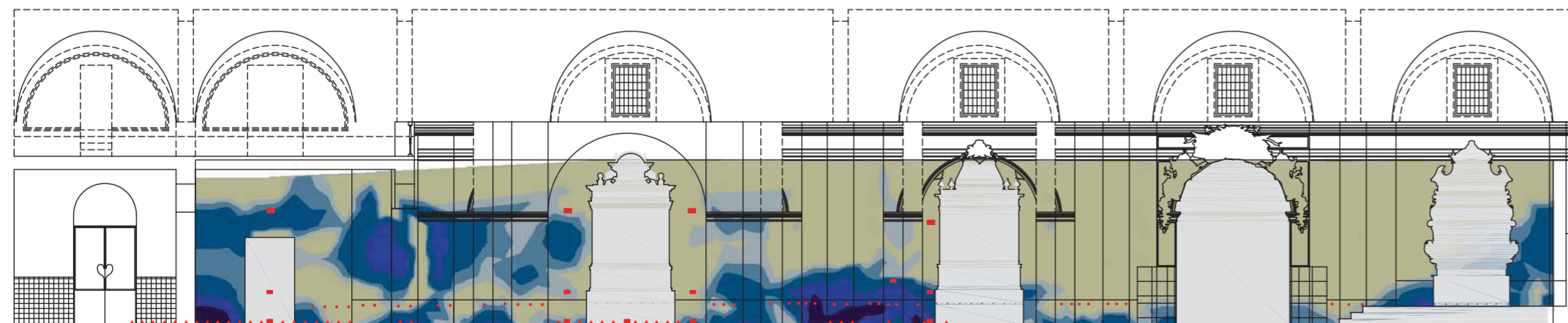


TOMA DE DATOS EN DESARROLLO.

LEYENDA %WME

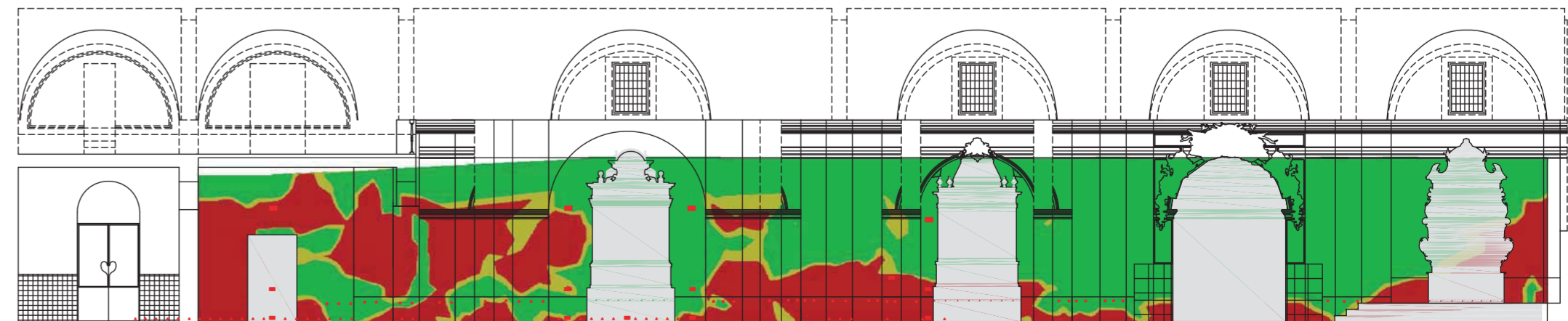
- 0 - 17%
- 17 - 20%
- 20 - 100%

○ SIFONES INTERIOR
△ SIFONES EXTERIOR
■ REJILLAS



ALZADO-SECCIÓN BB'

TOMA DE DATOS EN DESARROLLO.



ALZADO-SECCIÓN BB'

TOMA DE DATOS EN DESARROLLO.

IGLESIA DE SAN PABLO (INSTITUTO LUIS VIVES), VALENCIA (ALZADO-SECCIÓN DD')

TOMA DE DATOS:

ALZADO-SEC DD' EN DESARROLLO

VERTICALES	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	
5																							
4,5																							
4																							
3,5																							
3																							
2,5	10		6		9			6													6		25
2	17		19		19		20	19		18		20	21		25		28		30		28		25
1,5	6		20		28		35	55		40		95	11		9		7		11		14		12
1	6		10		19		27	55		40		50	11		6		9		7		11		30
0,5	23		17		12		28	50		20		14	6		11		9		10		9		6
0	11		20		25		17	20		15		14	40		13		9		9		35		20

PERFILES DE HUMEDAD:

DATOS %WME Y MC DE MUESTRAS A PROFUNDIDADES 15-30-40 cm:

SECCION 13-13'

SECCION 13-13'	PROFUNDIDAD			
	15 cm	30 cm	40 cm	
ALTIMETRIA	X	X	X	X
%WME	X	X	X	X
%MC	X	X	X	X
0 m	X			
1 m				
2 m	80	721	30	11,80
3 m	85	849	70	4,96
4 m	X	X	X	X
5 m	X	X	X	X

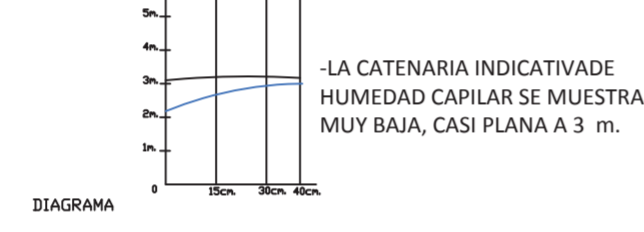
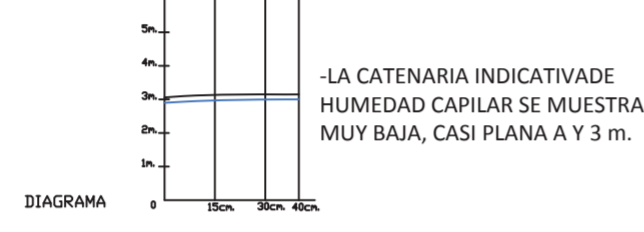
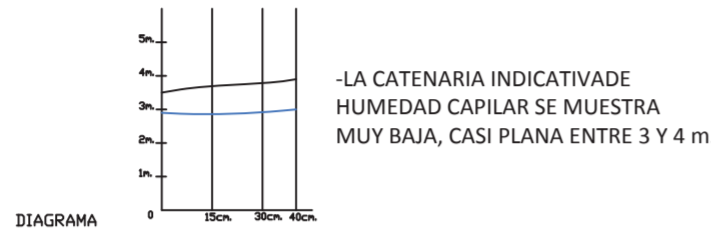
SECCION 14-14'

SECCION 14-14'	PROFUNDIDAD			
	15 cm	30 cm	40 cm	
ALTIMETRIA	X	X	X	X
%WME	X	X	X	X
%MC	X	X	X	X
0 m	X			
1 m				
2 m	100	18,63	100	18,63
3 m	18	8,5	16	8,62
4 m	X	X	X	X
5 m	X	X	X	X

SECCION 15-15'

SECCION 15-15'	PROFUNDIDAD			
	15 cm	30 cm	40 cm	
ALTIMETRIA	X	X	X	X
%WME	X	X	X	X
%MC	X	X	X	X
0 m	X			
1 m				
2 m	80	721	30	11,80
3 m	85	849	70	4,96
4 m	X	X	X	X
5 m	X	X	X	X

PERFILES DE CONTENIDO DE HUMEDAD EN EN ESPESOR DEL MURO:



DATOS %WME Y MC DE MUESTRAS A PROFUNDIDADES 15-30-40 cm:

SECCION 16-16'

SECCION 16-16'	PROFUNDIDAD			
	15 cm	30 cm	40 cm	
ALTIMETRIA	X	X	X	X
%WME	X	X	X	X
%MC	X	X	X	X
0 m	X			
1 m				
2 m	25	0,89	25	0,81
3 m	18	0,64	19	0,57
4 m	X	X	X	X
5 m	X	X	X	X

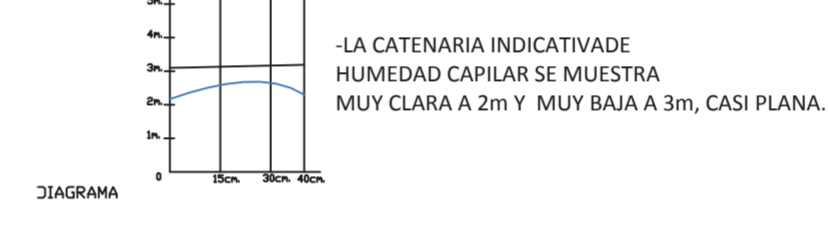
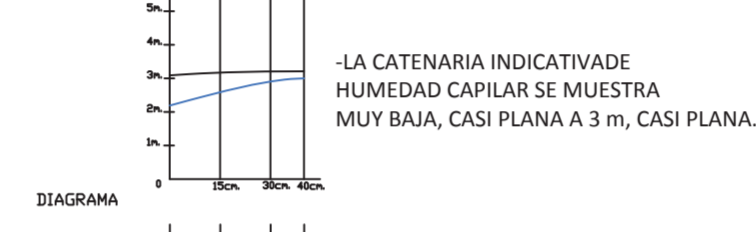
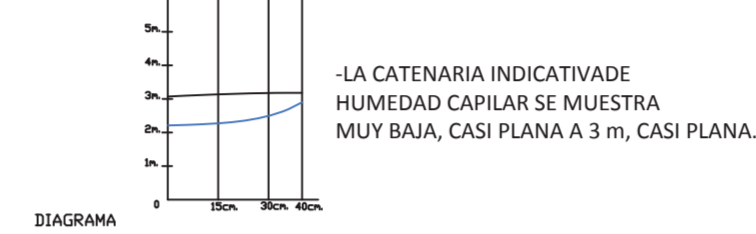
SECCION 17-17'

SECCION 17-17'	PROFUNDIDAD			
	15 cm	30 cm	40 cm	
ALTIMETRIA	X	X	X	X
%WME	X	X	X	X
%MC	X	X	X	X
0 m	X			
1 m				
2 m	80	3,19	100	18,63
3 m	20	0,65	21	0,67
4 m	X	X	X	X
5 m	X	X	X	X

SECCION 18-18'

SECCION 18-18'	PROFUNDIDAD			
	15 cm	30 cm	40 cm	
ALTIMETRIA	X	X	X	X
%WME	X	X	X	X
%MC	X	X	X	X
0 m	X			
1 m				
2 m	70	4,96	85	14,95
3 m	13	0,4	17	0,46
4 m	X	X	X	X
5 m	X	X	X	X

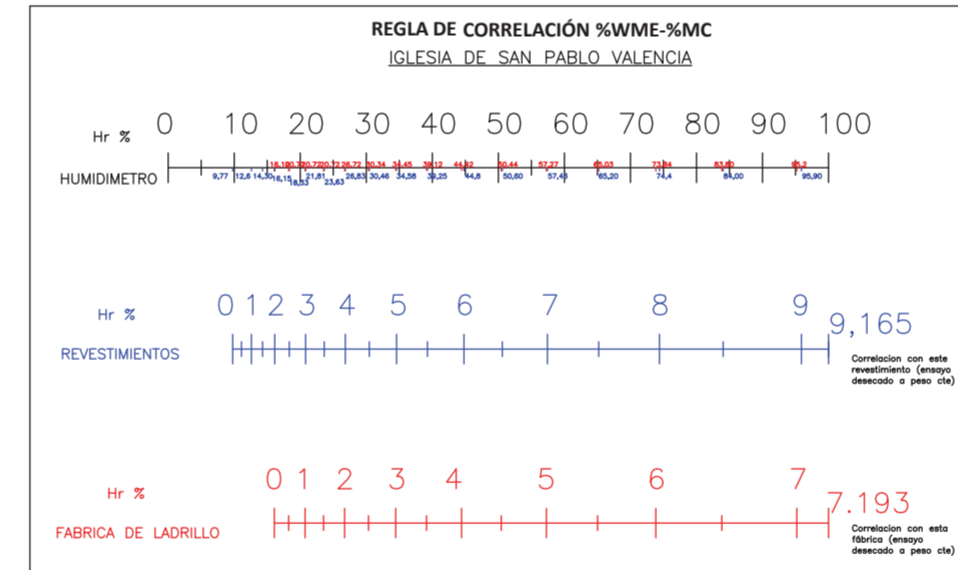
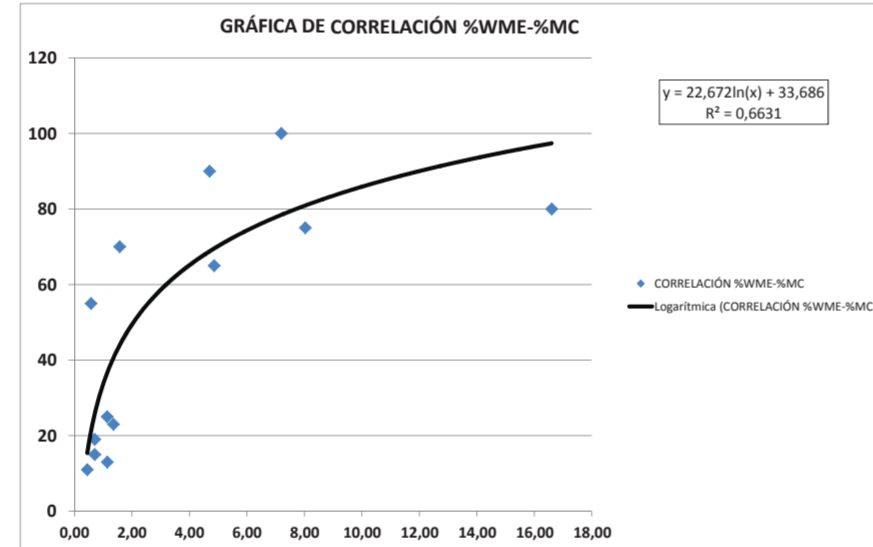
PERFILES DE CONTENIDO DE HUMEDAD EN EN ESPESOR DEL MURO:



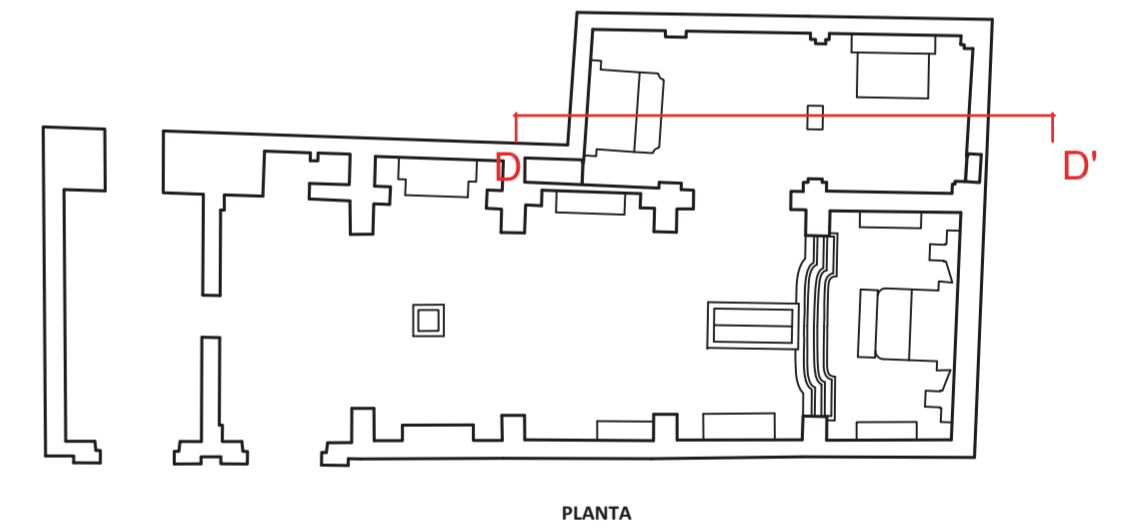
-EN ESTAS SECCIONES NO FUE POSIBLE TOMAR TODOS LOS DATOS A LAS DISTINTAS ALTURAS DEL PROCESO DE ESTUDIO, POR LO QUE NO SE PUEDE REALIZAR EL ANÁLISIS DE LOS PERFILES DE HUMEDAD Y SU TENDENCIA. PERO SI FUE POSIBLE GRAFIAR LA CATENARIA INDICATIVA DE HUMEDAD CAPILAR EN EL PUNTO ANALIZADO.

CORRELACIÓN %WME-% MC :

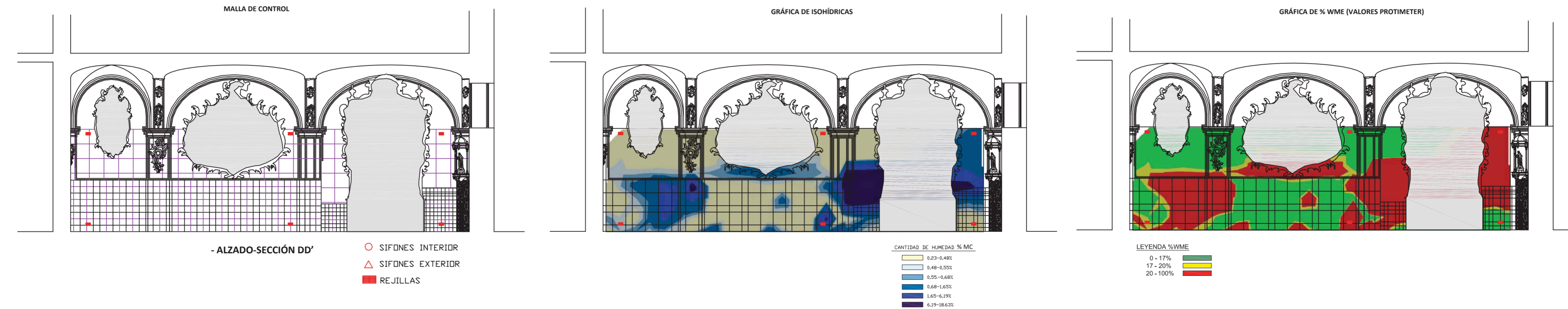
MUESTRA	Pe	Pem	Ps1	Ps2	% WME	%MC
1	18,52	47,23	45,18	45,11	90	4,70
2	18,51	45,97	43,84	43,84	65	4,86
3	18,64	297,45	292,97	292,84	70	1,57
4	18,43	76,92	71,40	71,20	75	8,03
5	18,41	27,52	27,22	27,21	13	1,14
6	18,73	31,50	31,36	31,36	11	0,45
7	18,56	44,26	43,92	43,95	15	0,71
8	18,50	297,00	278,08	277,06	100	7,20
9	18,45	264,81	238,57	227,10	80	16,61
10	18,53				80	
11	18,41	195,49	194,38	194,37	55	0,58
12	18,44	236,40	233,24	233,24	23	1,35
13	18,49	206,76	205,28	205,31	19	0,71
14	18,53	220,47	218,11	217,99	25	1,14
15	-	3,781,24	3,598,23	3,564,40	-	6,08



%WME	Valor del humidímetro, contenido de humedad referente a madera
%MC	Contenido de Humedad real en %



MAPEO DE HUMEDAD:



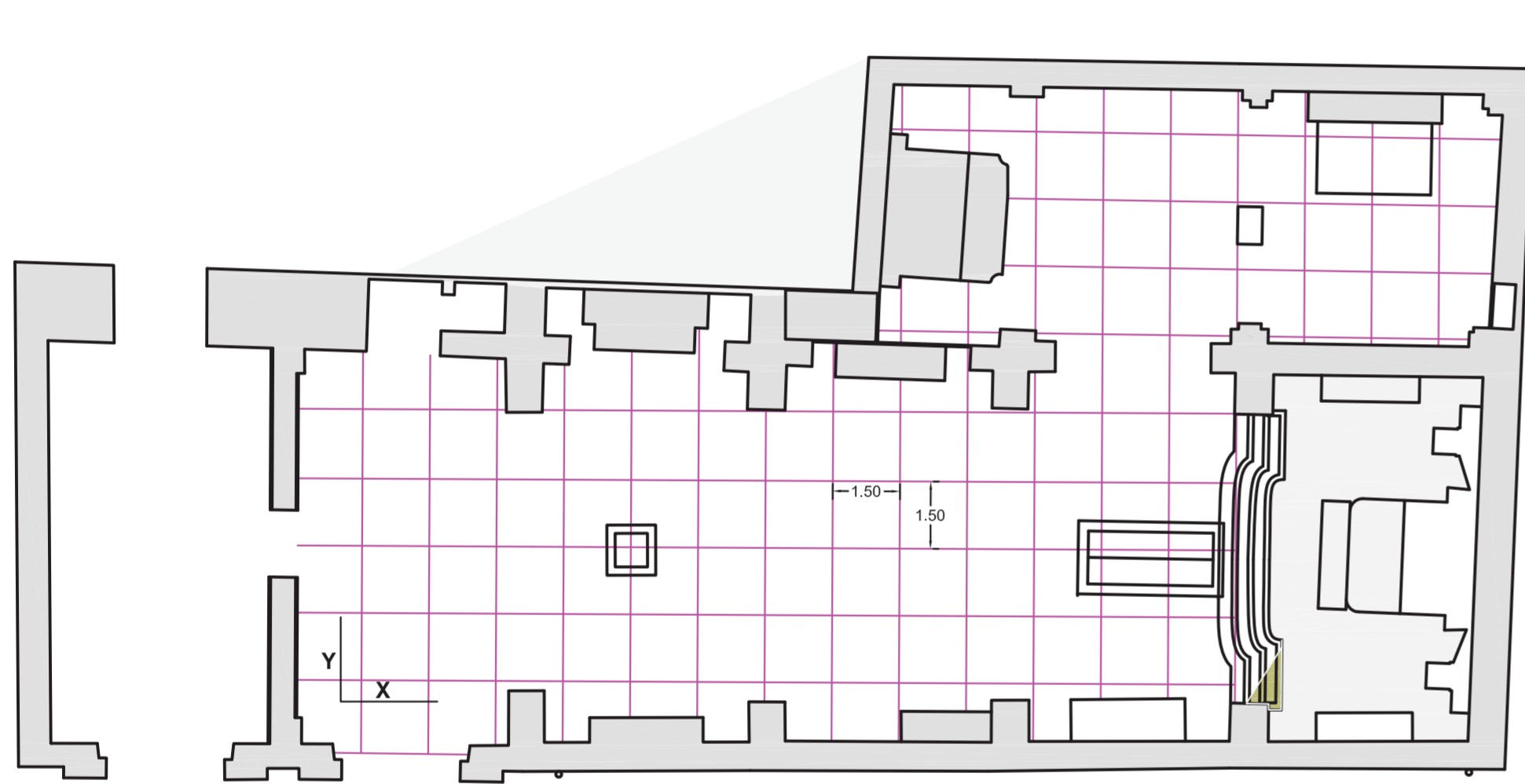
TOMA DE DATOS NIVEL 0 (h=0):

H0 Y	1,5	3	4,5	6	7,5	9	10,5	12	13,5	15	16,5	18	19,5	21	22,5	24	25,5	X
15	-	-	-	-	-	-	-	-	52	52	52	53	52	53	53	0	53	
13,5	-	-	-	-	-	-	-	-	52	52	52	52	52	53	53	52	52	
12	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	52	52	52	52	51	52	52	
10,5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	51	51	51	52	51	51	52	
9	-	-	-	-	-	-	-	-	51	51	51	51	51	-	51	51	51	
7,5	36	36	38	38	39	39	39	41	40	42	41	41	41	41	41	-	-	
6	35	37	36	39	39	39	41	40	42	41	41	41	41	41	41	-	-	
4,5	33	34	35	37	38	39	40	39	41	40	41	40	42	40	-	-	-	
3	34	37	37	38	39	39	39	40	41	40	41	40	41	40	-	-	-	
1,5	37	36	39	39	39	40	39	40	40	41	41	41	41	40	-	-	-	

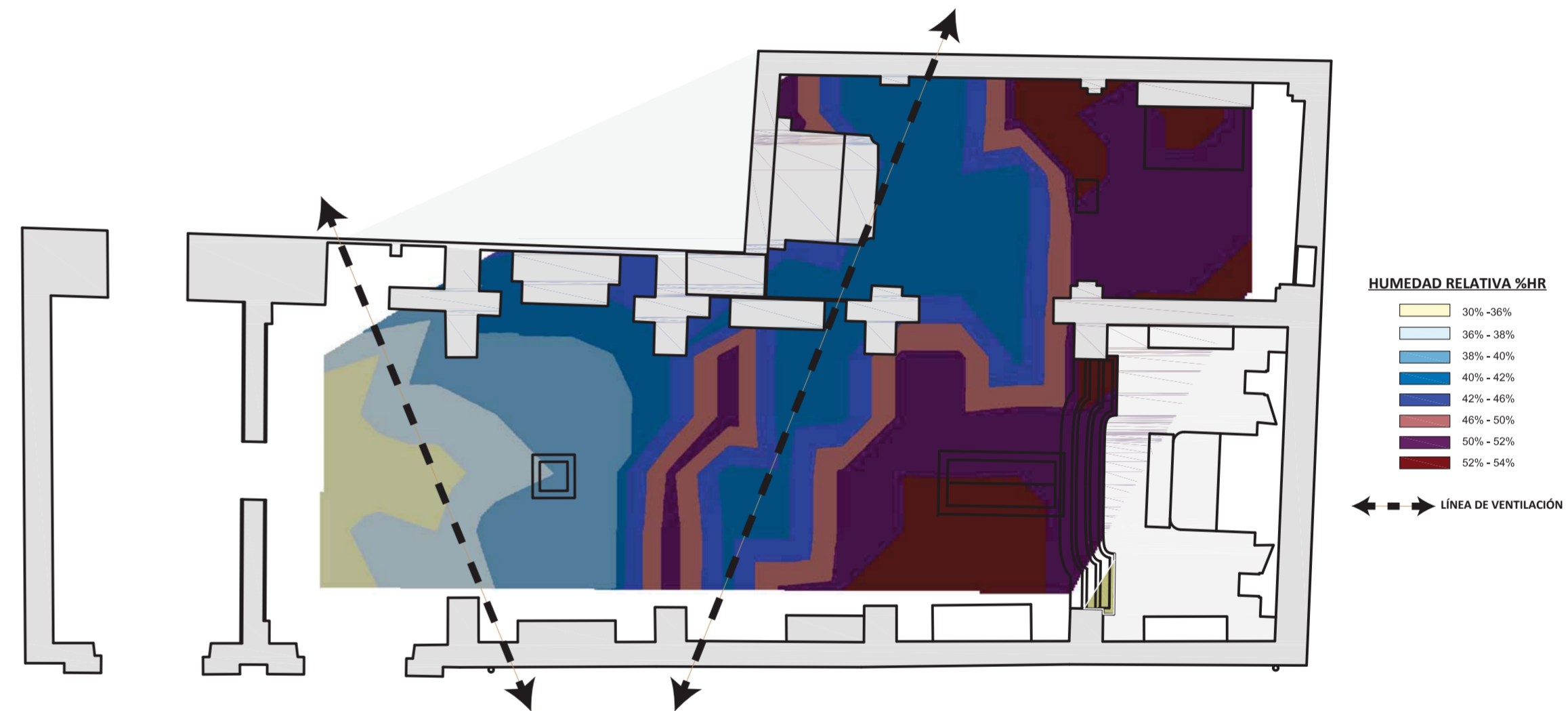
MAPEO DE %HR EN PLANTA:

MALLA DE CONTROL.

GRAFICA DE ISOHÍDRICAS.



PLANTA NIVEL 0 (h=0m) – MALLA DE TOMA DE DATOS



PLANTA %HR NIVEL 0 (h=0)



Rejilla metálica que oculta perforaciones en muro para ventilación colocada en cara extraer de muro recayente al Claustro del Instituto.



Rejilla de ventilación/aireación Knapen colocada en la parte inferior muro a cara interior del muro.



Rejilla de ventilación/aireación Knapen colocada en la parte superior muro a cara interior del muro.

CONCLUSIONES:

- Las líneas de ventilación/ventilación todas ellas coincidentes con puntos de entrada y salida de aire a través de rejillas de ventilación/aireación colocadas en la parte inferior y superior de muros.
- La zona roja-malva (50%-54% HR) corresponde con una zona sin ventilar.

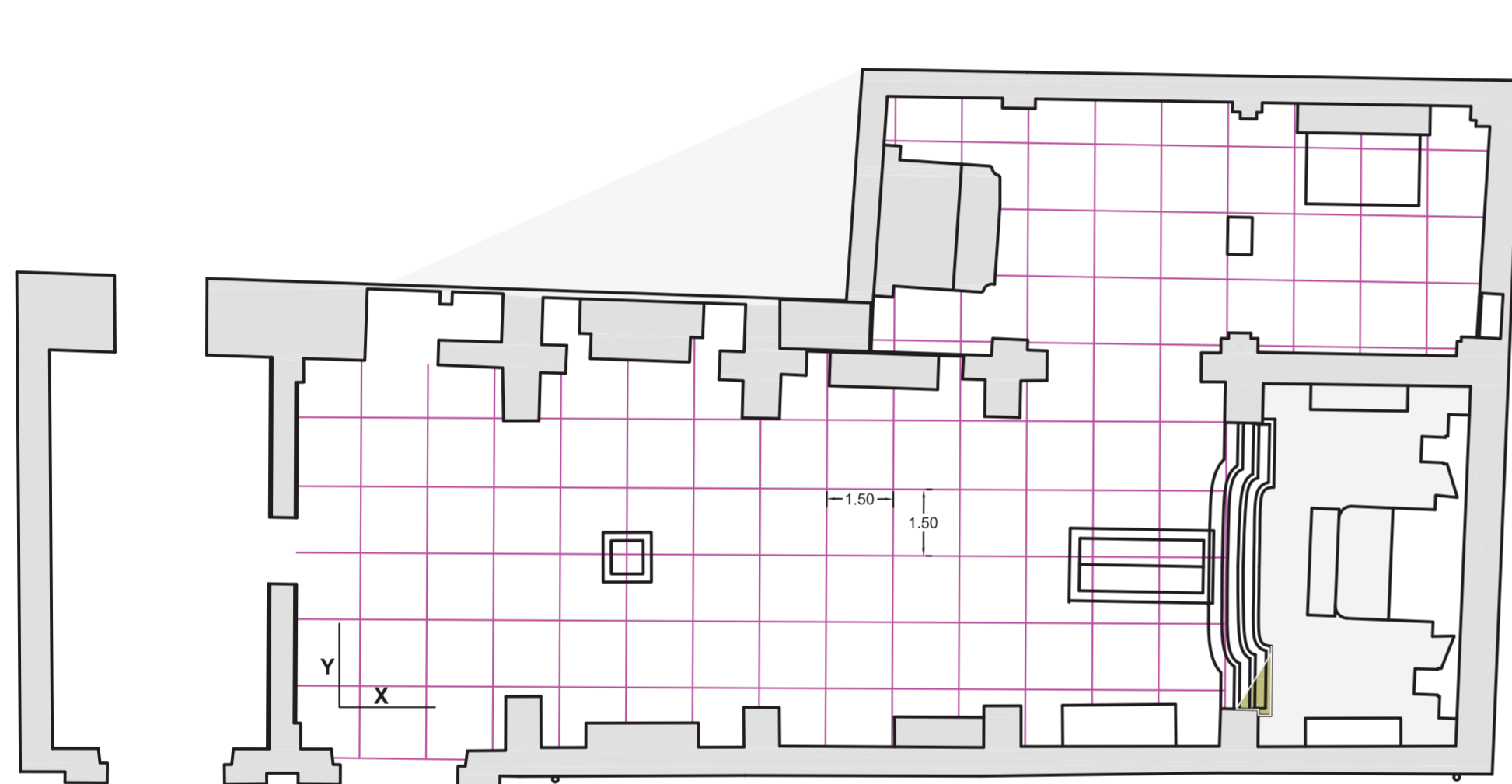
TOMA DE DATOS NIVEL 1 (h=1m):

H1	Y	HR EN PLANTA:																	X			
15	15	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	53	52	52	52	52	52	53	0	53	0
13,5	13,5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	52	53	52	52	52	52	52	52	52	1,5
12	12	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	52	52	52	52	52	52	52	3
10,5	10,5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	51	51	51	51	51	52	52	4,5
9	9	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	52	51	51	51	51	52	52	6
7,5	7,5	40	41	42	42	42	42	42	43	43	43	43	43	43	44	44	45	46	45	-	-	7,5
6	6	40	42	42	42	43	43	42	43	43	43	43	44	44	44	44	45	44	44	-	-	9
4,5	4,5	41	42	42	42	42	42	42	43	43	43	43	43	44	44	44	45	44	44	-	-	10,5
3	3	42	42	42	42	42	42	42	43	43	43	43	43	44	44	44	45	44	44	-	-	12
1,5	1,5	42	42	43	43	43	43	42	43	43	43	43	43	43	44	44	44	44	44	-	-	13,5
0	0	42	42	43	43	43	43	42	43	43	43	43	43	43	44	44	44	44	44	-	-	15
																						16,5
																						18
																						19,5
																						21
																						22,5
																						24
																						25,5

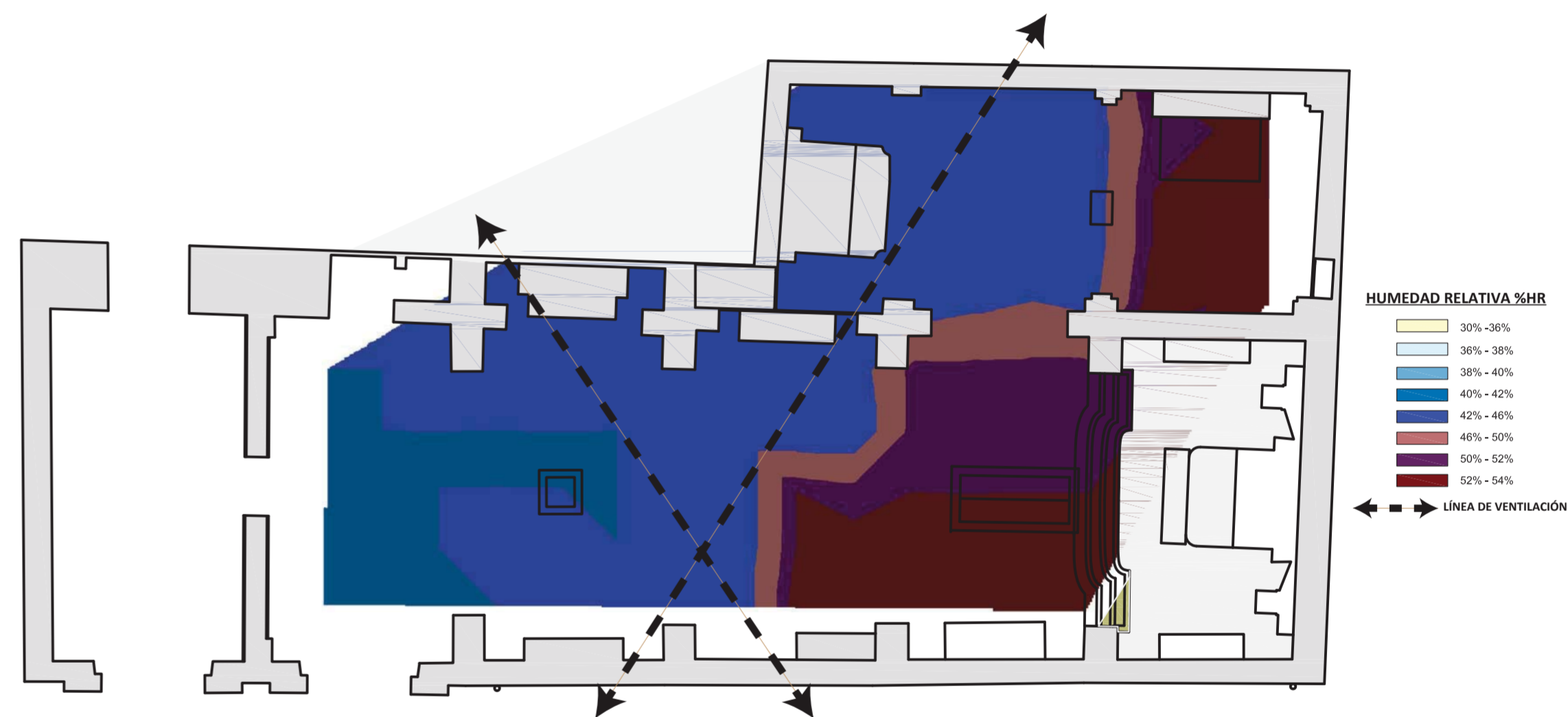
MAPEO DE %HR EN PLANTA:

MALLA DE CONTROL.

GRAFICA DE ISOHÍDRICAS.



PLANTA NIVEL 1 (h=1m) – MALLA DE TOMA DE DATOS



PLANTA %HR NIVEL 1 (h=1m)



Rejilla metálica que oculta perforaciones en muro para ventilación colocada en cara exterior de muro recayente al Claustro del Instituto.



Rejilla de ventilación/aireación Knapen colocada en la parte inferior muro a cara interior del muro.



Rejilla de ventilación/aireación Knapen colocada en la parte superior muro a cara interior del muro.

CONCLUSIONES:

- Las líneas de ventilación/ventilación todas ellas coincidentes con puntos de entrada y salida de aire a través de rejillas de ventilación/aireación colocadas en la parte inferior y superior de muros.
- La zona roja-malva (50%-54% HR) corresponde con una zona sin ventilar.

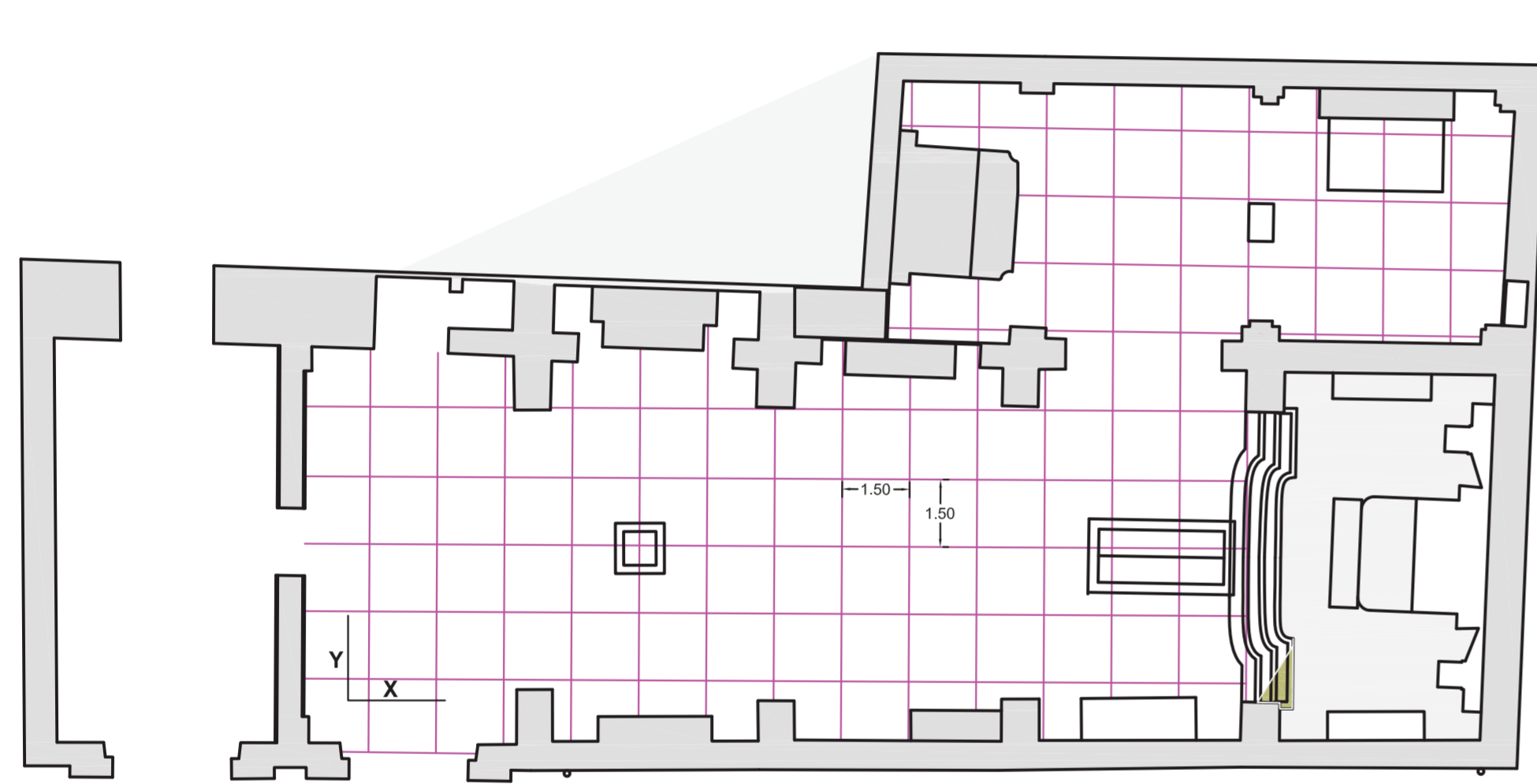
TOMA DE DATOS NIVEL 2 (h=2m):

H2																		X			
Y																					
15	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	53	53	53	53	53	52	51	0	53
13,5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	52	52	52	52	52	47	51	52	53
12	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	52	53	52	52	53	53	53
10,5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	52	52	52	53	53	53	53
9	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	52	52	53	53	52	53	53	53	53
7,5	45	44	42	42	42	41	43	43	43	43	44	44	46	48	48	47	-	-	-	-	-
6	44	43	43	43	43	42	43	43	43	43	44	43	45	45	45	45	-	-	-	-	-
4,5	44	43	42	43	43	43	43	44	43	44	43	44	45	46	44	-	-	-	-	-	-
3	44	43	42	43	42	42	42	43	43	44	43	44	45	45	45	-	-	-	-	-	-
1,5	43	44	42	43	42	42	43	43	43	44	44	44	44	44	45	-	-	-	-	-	-
0	1,5	3	4,5	6	7,5	9	10,5	12	13,5	15	16,5	18	19,5	21	22,5	24	25,5				

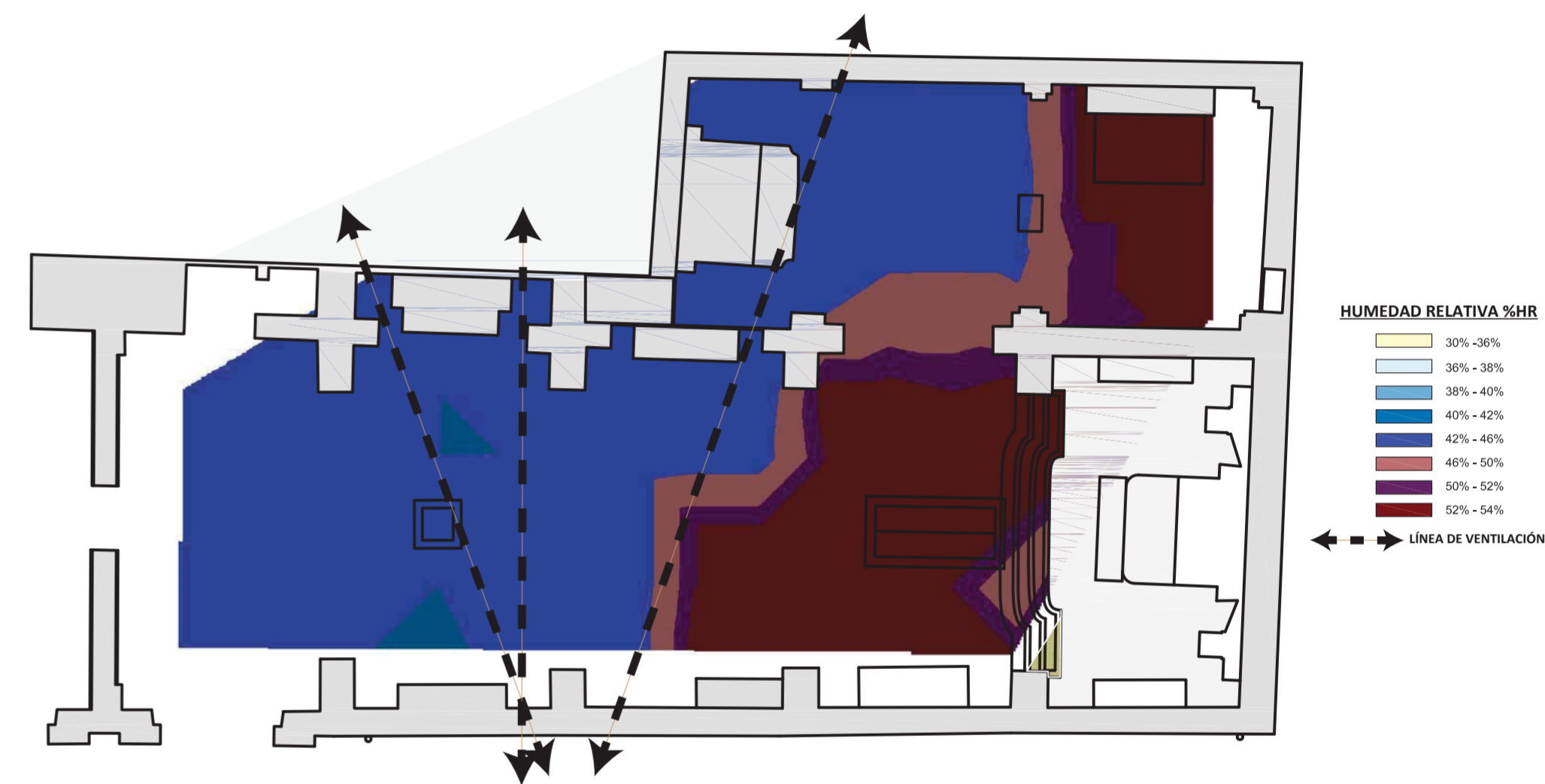
MAPEO DE %HR EN PLANTA:

MALLA DE CONTROL.

GRÁFICA DE ISOHÍGRICAS.



PLANTA NIVEL 2 (h=2m) – MALLA DE TOMA DE DATOS



PLANTA %HR NIVEL 2 (h=2m)



Rejilla metálica que oculta perforaciones en muro para ventilación colocada en cara extraer de muro recayente al Claustro del Instituto.



Rejilla de ventilación/aireación Knapen colocada en la parte inferior muro a cara interior del muro.



Rejilla de ventilación/aireación Knapen colocada en la parte superior muro a cara interior del muro.

CONCLUSIONES:

- Las líneas de ventilación/ventilación todas ellas coincidentes con puntos de entrada y salida de aire a través de rejillas de ventilación/aireación colocadas en la parte inferior y superior de muros.
- La zona roja-malva (50%-54% HR) corresponde con una zona sin ventilar.

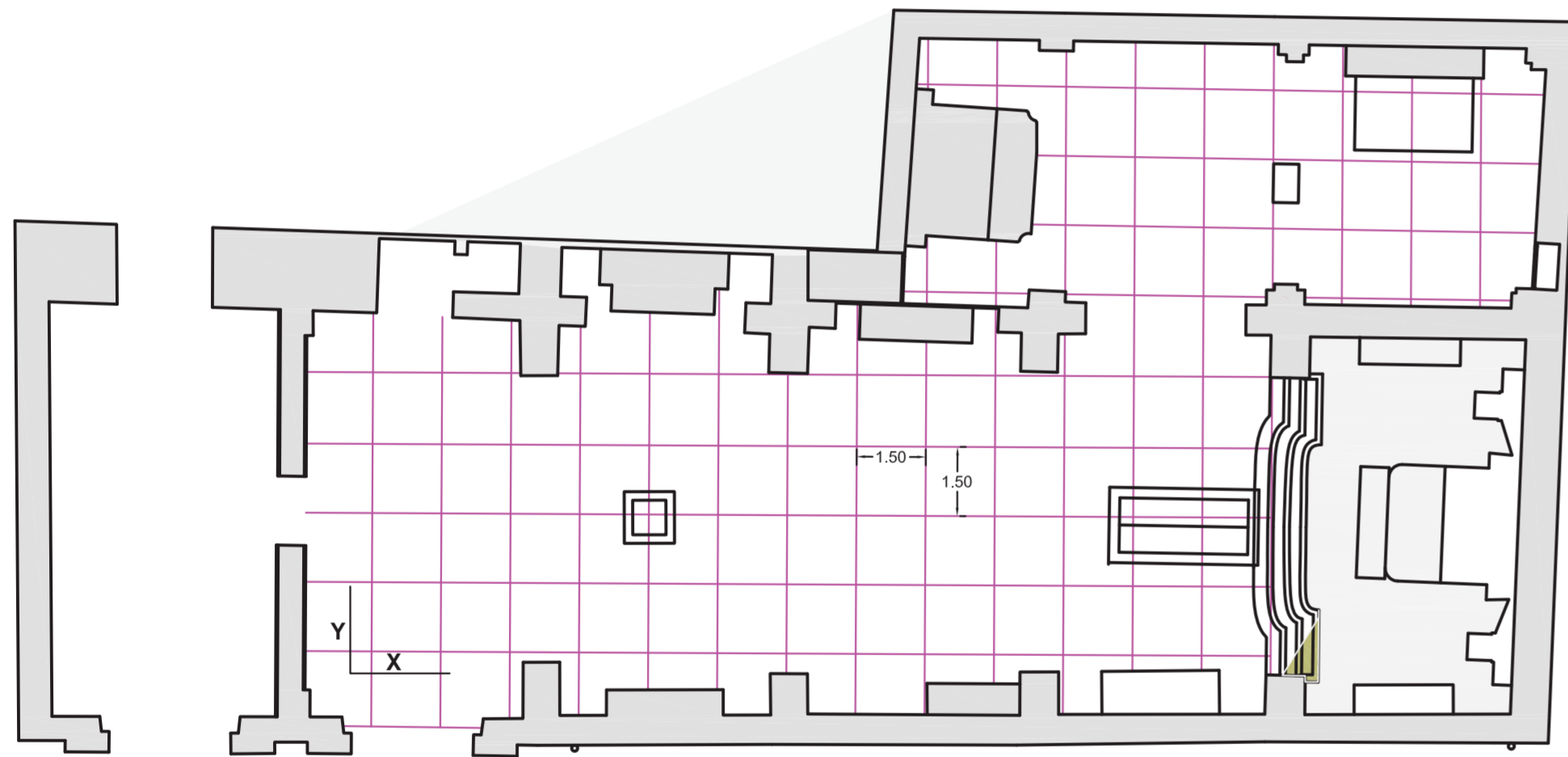
TOMA DE DATOS NIVEL 3(h=3m):

H3 Y	1,5	3	4,5	6	7,5	9	10,5	12	13,5	15	16,5	18	19,5	21	22,5	24	25,5	X
15	-	-	-	-	-	-	-	-	-	53	53	53	54	53	53	53	0	53
13,5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	52	53	52	52	52	53	56	53	53
12	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	54	52	52	52	52	52	52
10,5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	52	52	52	54	54	56	56
9	-	-	-	-	-	-	-	-	-	52	52	52	53	52	54	54	54	54
7,5	49	47	41	48	45	45	45	45	45	44	48	48	49	47	45	-	-	-
6	49	47	46	46	45	46	46	46	46	47	46	46	48	48	48	-	-	-
4,5	48	45	46	46	46	47	48	47	48	41	42	44	45	46	-	-	-	-
3	46	46	47	49	46	46	46	47	47	47	47	47	46	46	-	-	-	-
1,5	46	46	47	50	46	46	45	45	45	47	49	49	49	50	-	-	-	-

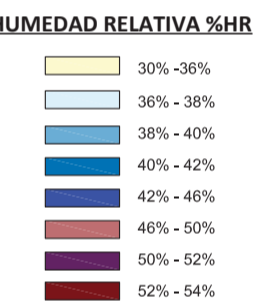
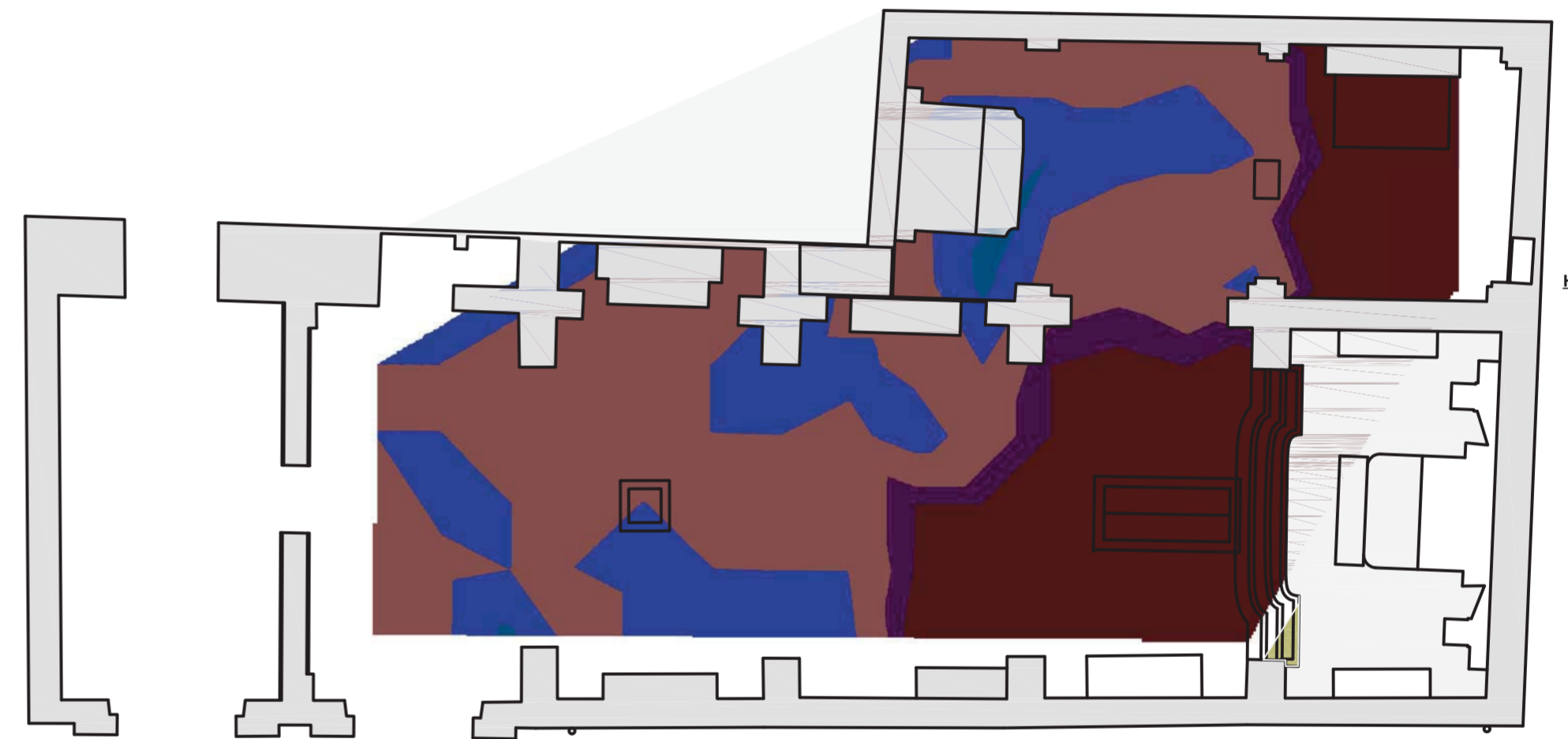
MAPEO DE %HR EN PLANTA:

MALLA DE CONTROL.

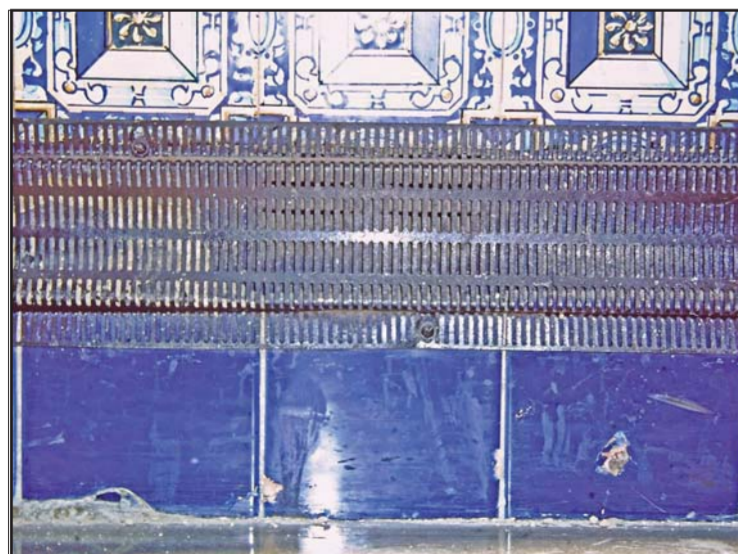
GRÁFICA DE ISOHÍDRICAS.



PLANTA NIVEL 3 (h=3m) – MALLA DE TOMA DE DATOS



PLANTA %HR NIVEL 3 (h=3m)



Rejilla metálica que oculta perforaciones en muro para ventilación colocada en cara extraer de muro recayente al Claustro del Instituto.



Rejilla de ventilación/aireación Knapen colocada en la parte inferior muro a cara interior del muro.



Rejilla de ventilación/aireación Knapen colocada en la parte superior muro a cara interior del muro.

CONCLUSIONES:

- La zona roja-malva (50%-54% HR) corresponde con una zona sin ventilar.
- Zona de aire sin movimiento. Puede ser debido a que las rejillas de los muros se en la base del muro y a 5 metros de altura. Y ocurre que la ventilación no sea horizontal, sino que sea inclinada buscando las rejillas a pie de muro y en el muro de enfrente, las rejillas colocadas en la parte alta del muro. Esto se puede intuir en el plano donde se superponen estas plantas verticalmente y en perspectiva.

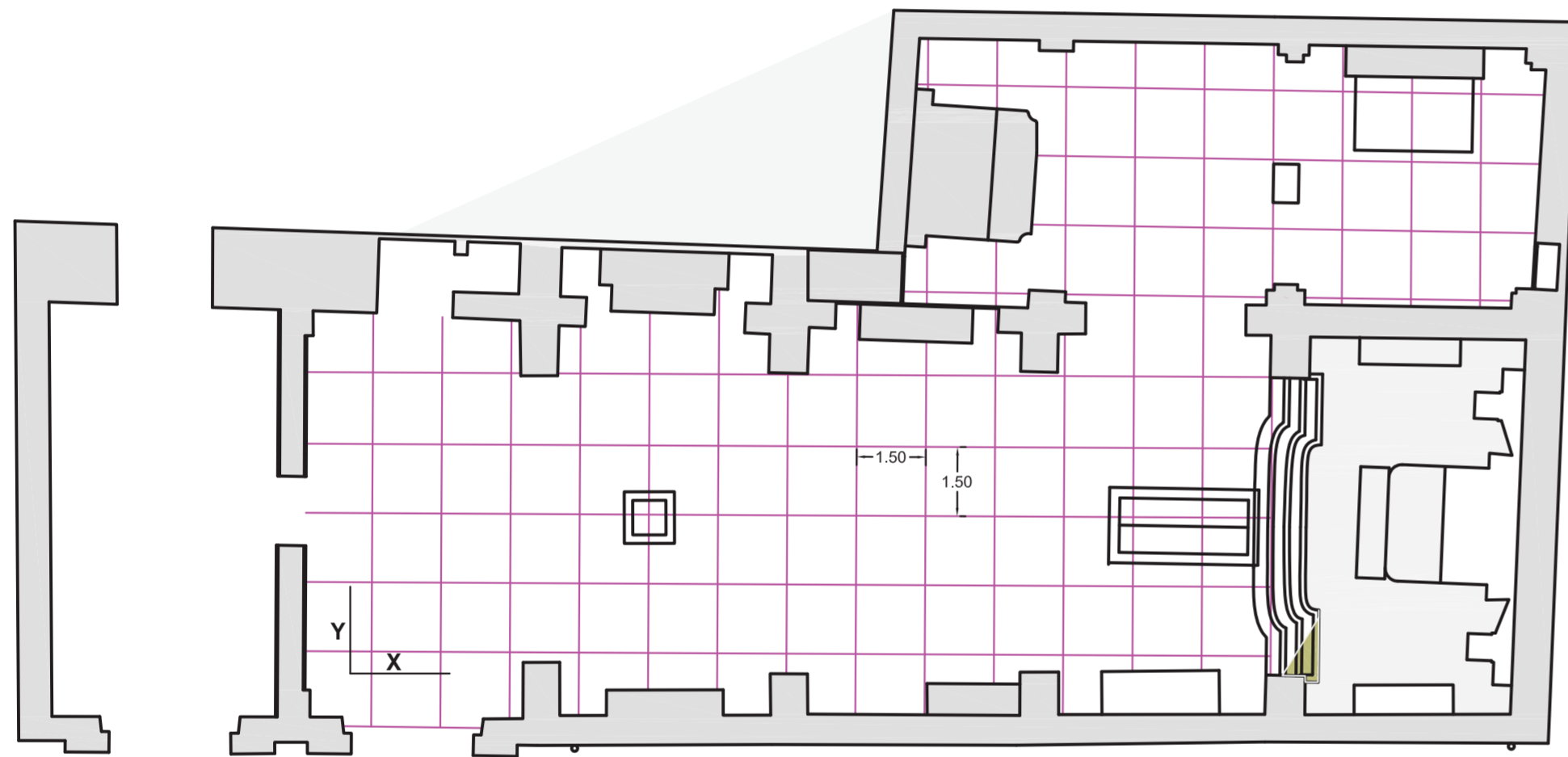
TOMA DE DATOS NIVEL 4(h=4m):

H4																			X	
Y																				
15	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	53	54	53	53	53	53	52	-	-
13,5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	53	53	54	54	54	55	52	52	54
12	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	54	54	54	52	53	53	54
10,5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	53	53	53	54	55	54	54
9	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	53	53	53	53	53	54	54	54	54
7,5		47	48	48	46	46	46	47	46	47	47	48	48	47	48	48	48	-	-	-
6		47	48	47	46	45	46	46	47	47	48	48	48	48	48	49	-	-	-	-
4,5		47	47	48	47	46	46	47	48	49	49	49	49	48	49	-	-	-	-	-
3		47	50	49	46	46	47	48	48	47	47	49	49	48	49	-	-	-	-	-
1,5		47	47	47	46	46	46	47	48	48	48	48	51	49	49	-	-	-	-	-
0	1,5	3	4,5	6	7,5	9	10,5	12	13,5	15	16,5	18	19,5	21	22,5	24	25,5			

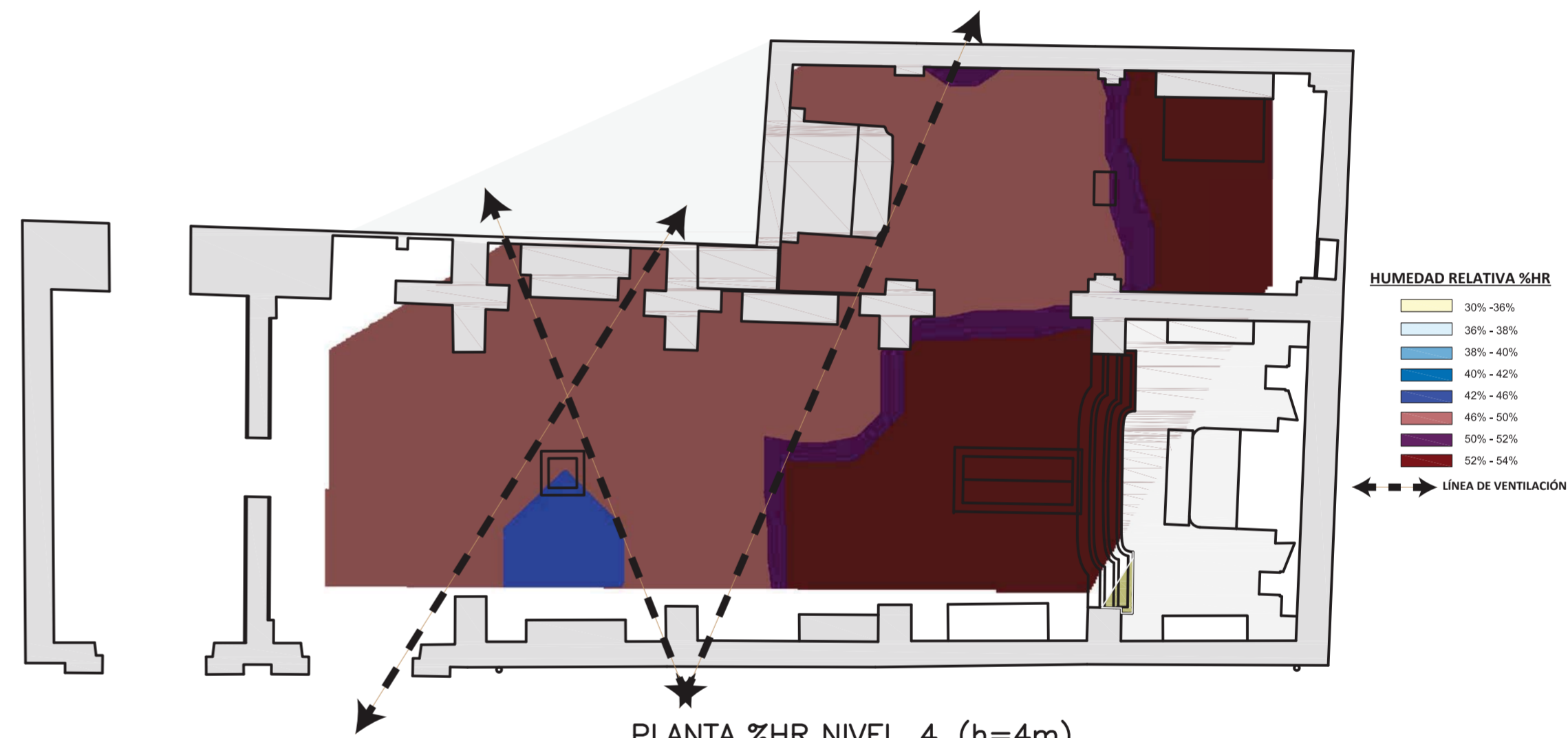
MAPEO DE %HR EN PLANTA:

MALLA DE CONTROL.

GRÁFICA DE ISOHÍDRICAS.



PLANTA NIVEL 4 (h=4m) – MALLA DE TOMA DE DATOS



PLANTA %HR NIVEL 4 (h=4m)



Rejilla metálica que oculta perforaciones en muro para ventilación colocada en cara exterior de muro recayente al Claustro del Instituto.



Rejilla de ventilación/aireación Knapen colocada en la parte inferior muro a cara interior del muro.



Rejilla de ventilación/aireación Knapen colocada en la parte superior muro a cara interior del muro.

CONCLUSIONES:

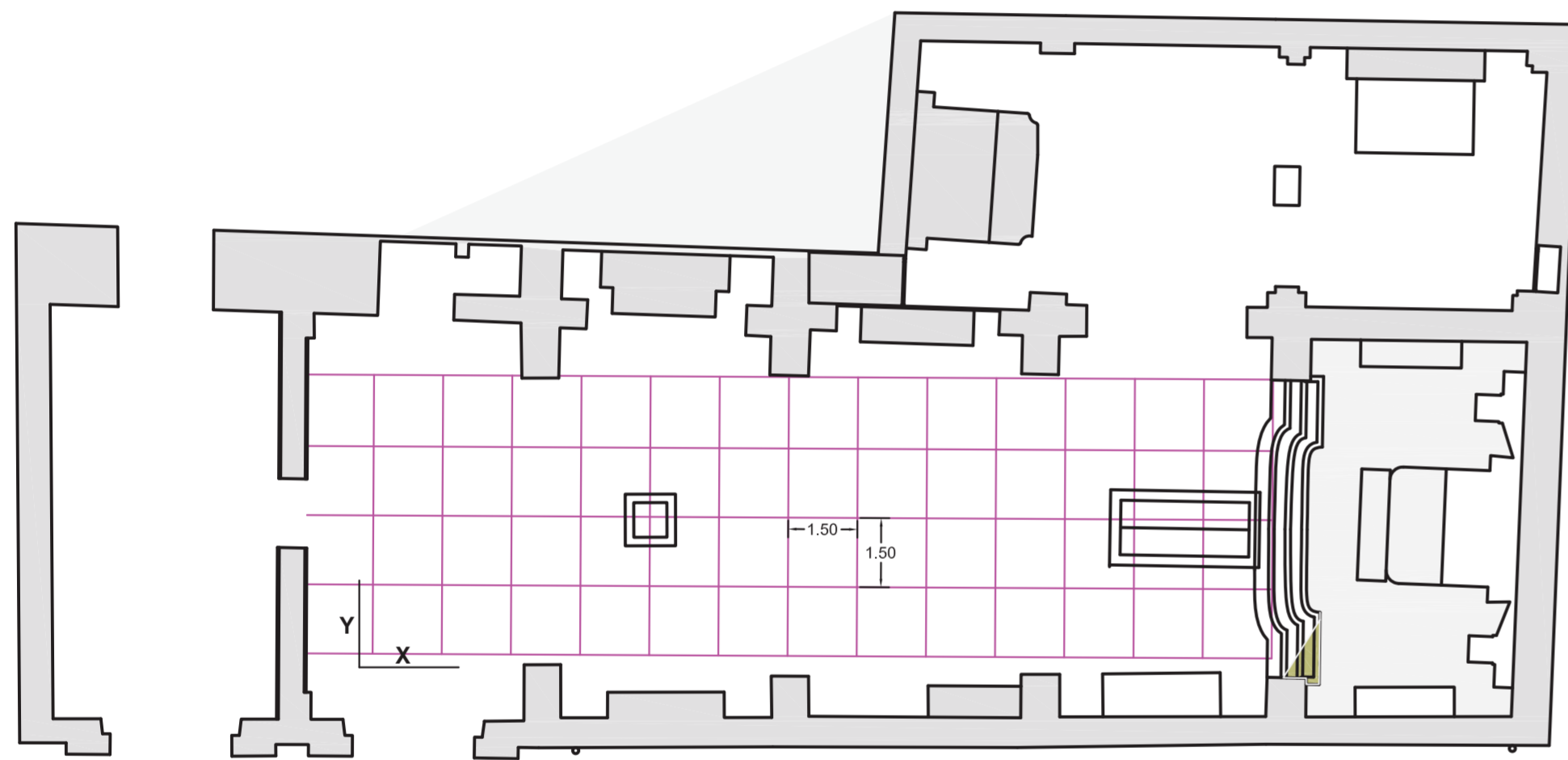
- Las líneas de ventilación/ventilación todas ellas coincidentes con puntos de entrada y salida de aire a través de rejillas de ventilación/aireación colocadas en la parte inferior y superior de muros.
- La zona roja-malva (50%-54% HR) corresponde con una zona sin ventilar.

TOMA DE DATOS NIVEL 5 (h=5m):

H5																					X
Y																					
15	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
13,5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
12	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
10,5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
9	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
7,5	50	49	50	47	46	46	47	46	47	47	48	47	48	49	48	49	48	-	-	-	
6	49	50	50	47	46	46	47	47	47	48	48	48	48	48	48	49	49	-	-	-	
4,5	50	52	49	47	46	46	46	46	47	49	48	48	49	49	49	49	-	-	-	-	
3	52	50	50	47	46	47	47	47	47	48	47	48	49	48	49	49	-	-	-	-	
1,5	48	50	49	46	47	47	47	47	47	48	49	51	50	50	50	-	-	-	-	-	
0	1,5	3	4,5	6	7,5	9	10,5	12	13,5	15	16,5	18	19,5	21	22,5	24	25,5				

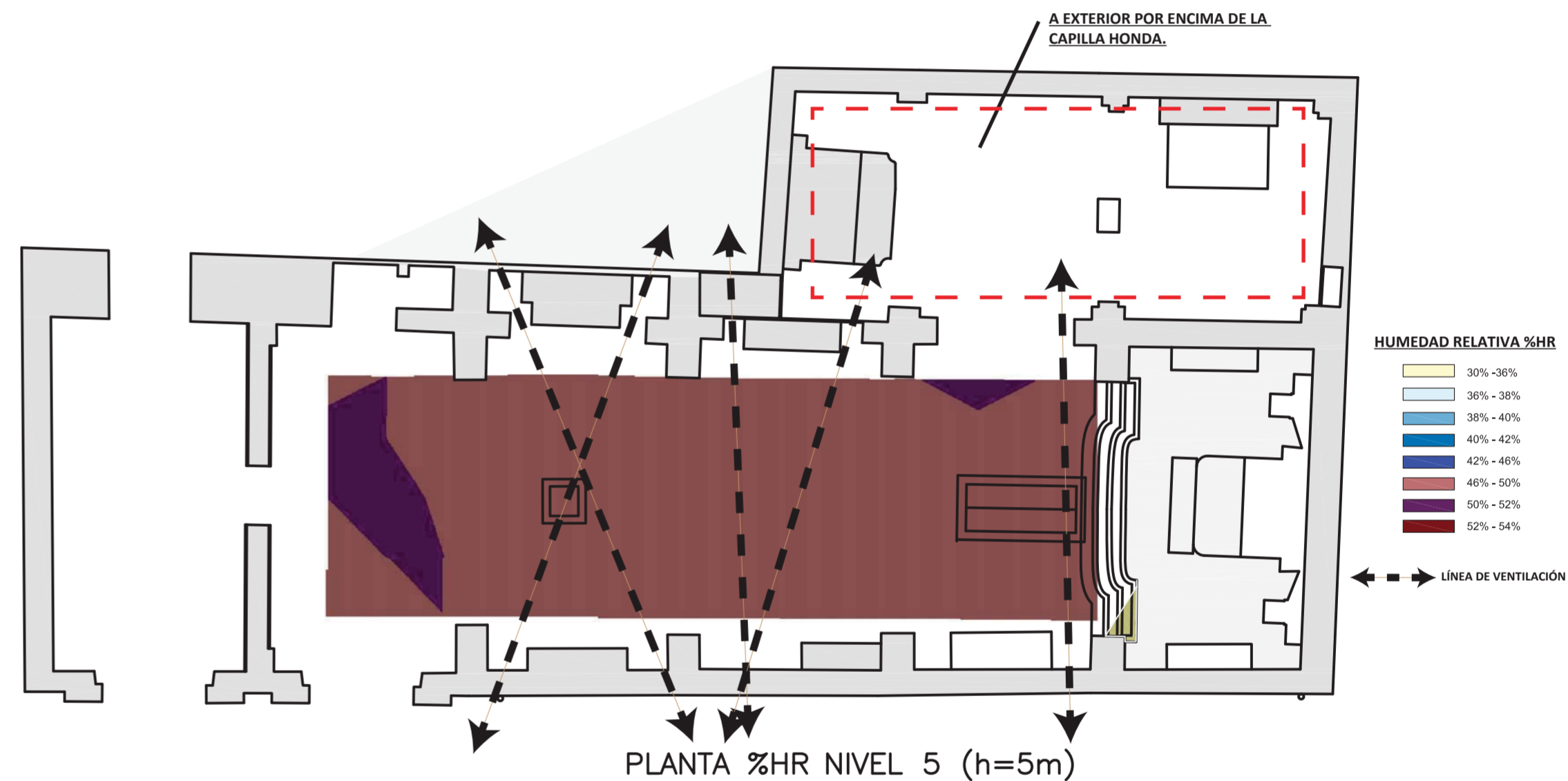
MAPEO DE %HR EN PLANTA:

MALLA DE CONTROL.



PLANTA NIVEL 5 (h=5m) – MALLA DE TOMA DE DATOS

GRÁFICA DE ISOHÍDRICAS.



PLANTA %HR NIVEL 5 (h=5m)



Rejilla metálica que oculta perforaciones en muro para ventilación colocada en cara extraer de muro recayente al Claustro del Instituto.



Rejilla de ventilación/aireación Knapen colocada en la parte inferior muro a cara interior del muro.



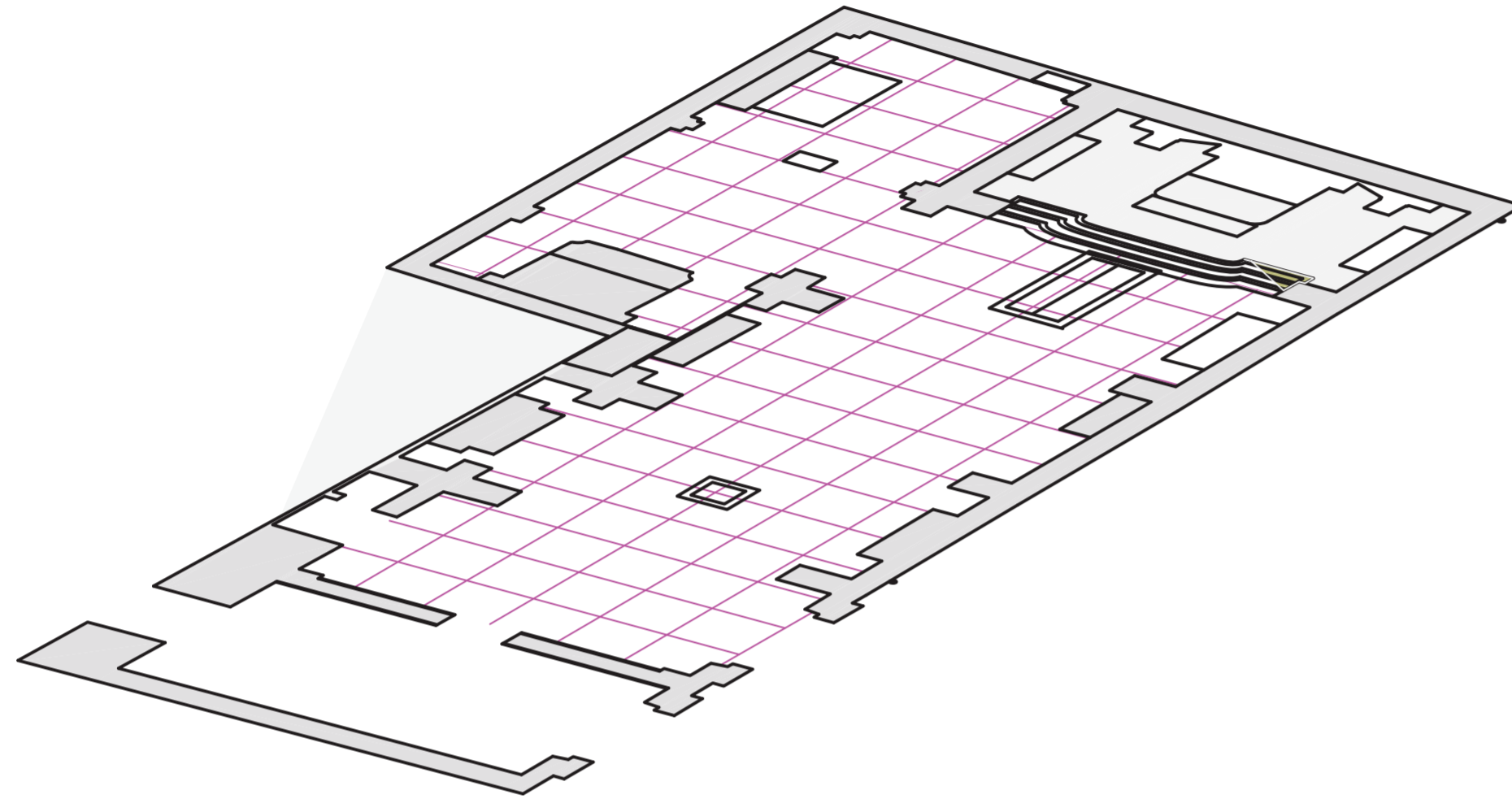
Rejilla de ventilación/aireación Knapen colocada en la parte superior muro a cara interior del muro.

CONCLUSIONES:

- Las líneas de ventilación/ventilación todas ellas coincidentes con puntos de entrada y salida de aire a través de rejillas de ventilación/aireación colocadas en la parte inferior y superior de muros.
- La zona roja-malva (50%-54% HR) corresponde con una zona sin ventilar.
- A esta altura, como existen rejillas enfrentadas a 5 metros, la ventilación es horizontal de fachada norte a fachada sur y viceversa. A tener en cuenta que en la Capilla Honda, las rejillas superiores se sitúan a 4 metros. Por ser de menor altura (ver sección CC' o EE') que la nave central.

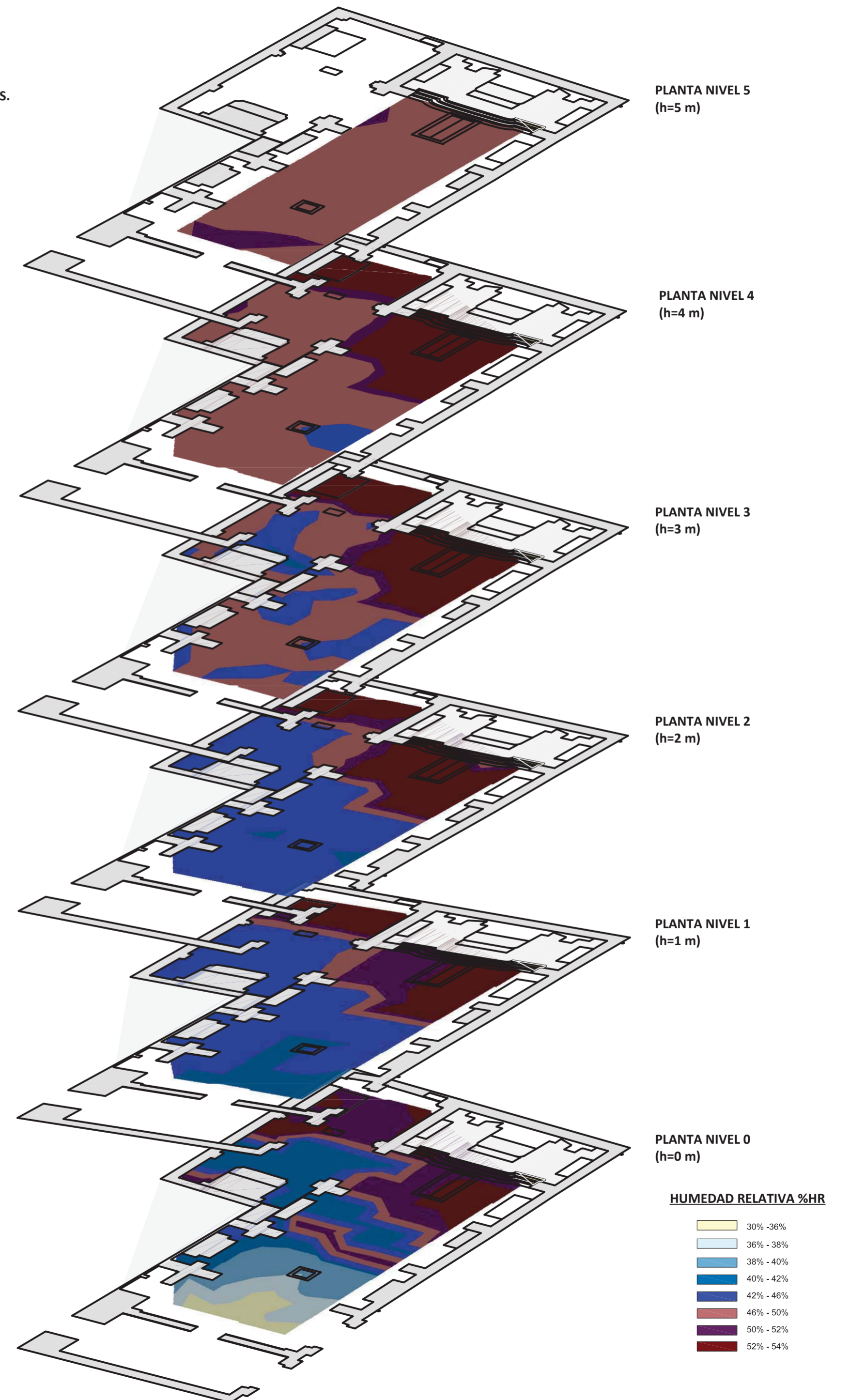
MAPEO DE %HR EN PLANTA (COMPOSICIÓN DE TODOS LOS NIVELES):

MALLA DE CONTROL.



PLANTA NIVEL 0 (h=0m) – MALLA DE TOMA DE DATOS

GRÁFICA DE ISOHÍDRICAS.



CONCLUSIONES:

Observando las plantas en esta perspectiva, podemos concluir que la ventilaciones pueden ser horizontales y también cruzadas entre rejillas enfrentadas superiores e inferiores.

A la vista de estas plantas, podemos establecer que la planta o nivel que mayor humedad relativa, se encuentra en el nivel nº 3 (h=3 m de altura).

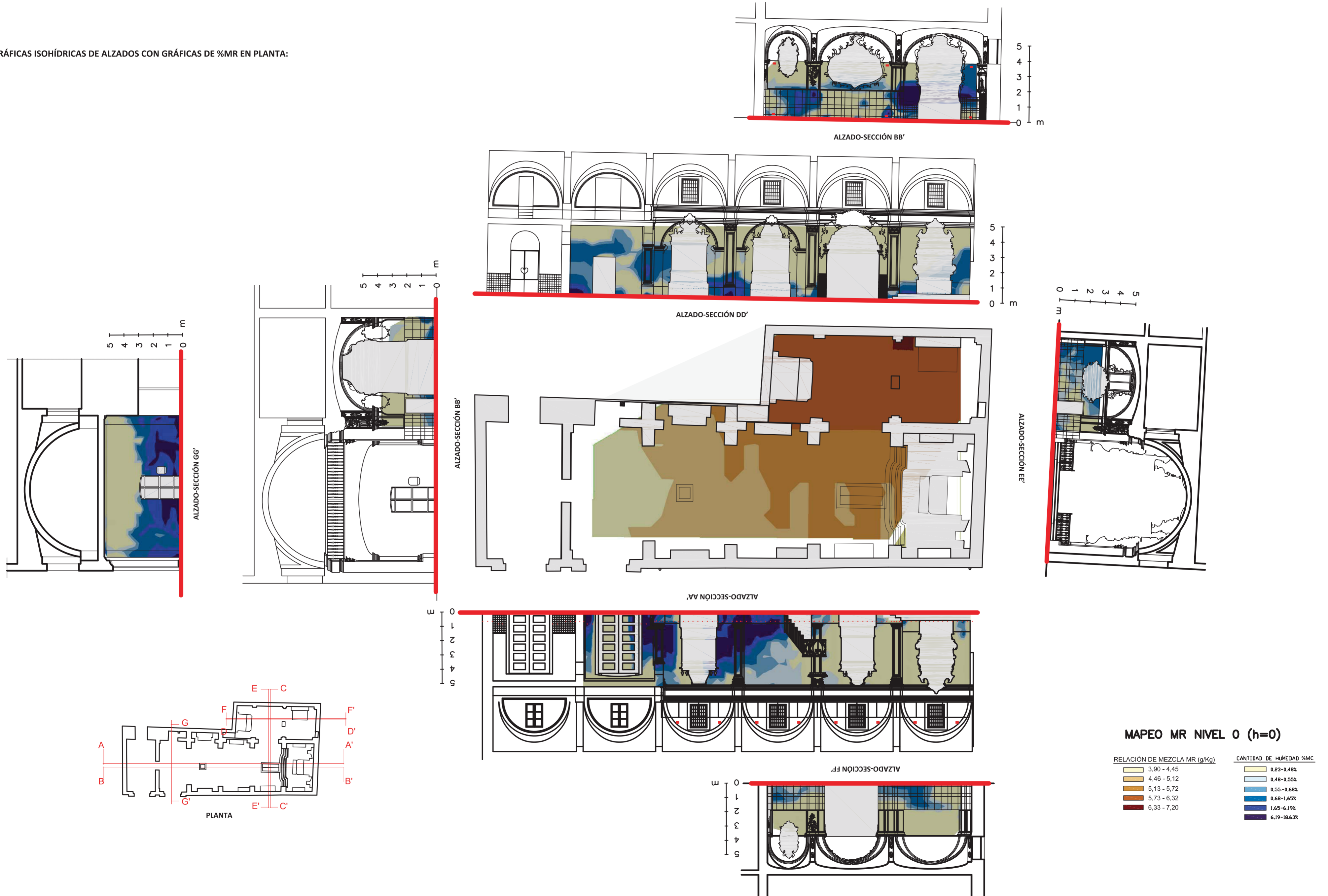
La zona roja y malva corresponden a zonas sin ventilación, donde el aire se encuentra sin movimiento y la humedad es constante en todas esas zonas.

TOMA DE DATOS NIVEL 0 (h=0m):

NIVEL 0																																																								
Punto	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54	55	
Valor obtenido de MR en g/Kg	4,40	4,04	3,92	4,16	4,28	4,28	4,40	4,04	4,40	4,28	4,64	4,40	4,16	4,28	4,52	4,64	4,52	4,40	4,64	4,52	4,94	4,94	4,82	4,64	4,64	5,07	4,94	4,94	4,94	4,94	4,94	5,07	5,07	5,07	4,94	5,07	5,07	5,07	5,20	5,20	5,33	5,33	6,08	6,20	6,20	5,07	5,07	5,07	5,20	5,20	6,08	6,20				
TR en cada punto	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17
HR en cada punto	37	34	33	35	36	36	37	34	37	36	39	37	35	36	38	39	38	37	39	38	39	39	38	39	39	39	40	40	39	39	39	39	40	41	41	40	40	40	40	41	41	42	42	51	52	52	40	40	40	40	40	41	51	52		

NIVEL 0																																																							
Punto	56	57	58	59	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71	72	73	74	75	76	77	78	79	80	81	82	83	84	85	86	87	88	89	90	91	92	93	94	95	96	97	98	99	100	101	102	103	104	105	106	107	108	109	110
Valor obtenido de MR en g/Kg	6,20	5,20	5,20	5,20	5,20	5,20	6,08	6,08	6,20	6,20	6,20	5,20	5,07	5,07	5,20	5,20	6,08	6,08	6,20	6,20	6,32	5,20	5,20	5,33	5,20	5,20	6,08	6,08	6,20	6,20	5,07	5,07	5,07	5,20	5,20	6,20	6,20	6,32	6,32	6,08	6,08	6,08	6,32	6,32	6,08	6,08	6,20	6,20	6,08	6,20	6,20	6,32			
TR en cada punto	17	18	18	18	18	18	18	17	17	17	17	17	18	18	18	18	18	17	17	17	17	17	18	18	18	18	17	17	17	17	17	18	18	18	18	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17
HR en cada punto	52	41	41	41	41	41	51	51	52	52	52	41	40	40	41	41	51	51	52	52	53	41	41	42	41	41	51	51	52	52	40	40	40	40	41	41	52	52	53	53	51	51	51	53	53	51	51	52	52	51	52	52	52	53	

COMPOSICIÓN GRÁFICAS ISOHÍDRICAS DE ALZADOS CON GRÁFICAS DE %MR EN PLANTA:



MAPEO MR NIVEL 0 (h=0)

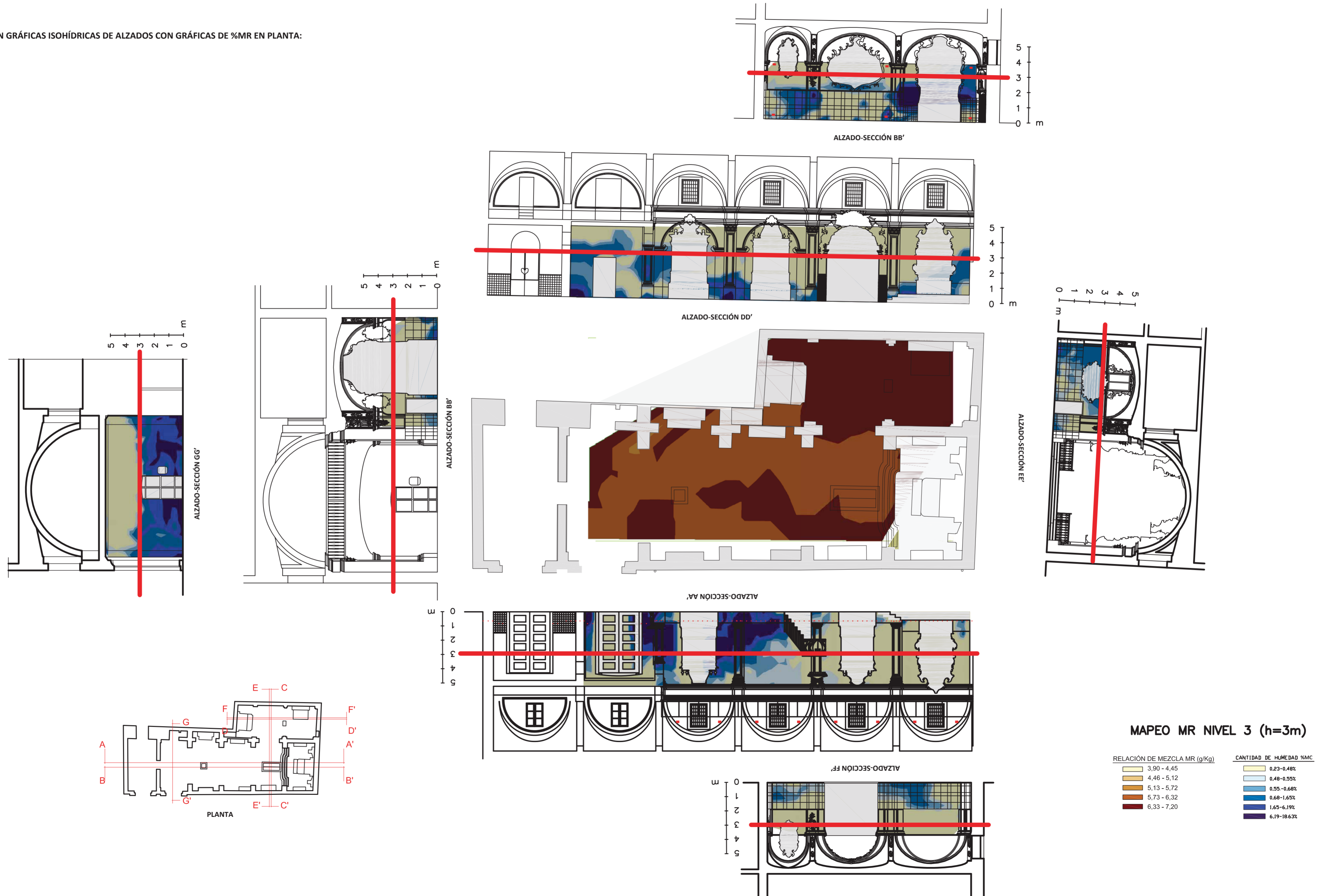
RELACIÓN DE MEZCLA MR (g/Kg)	CANTIDAD DE HUMEDAD %MC
3,90 - 4,45	0,23 - 0,48%
4,46 - 5,12	0,48 - 0,55%
5,13 - 5,72	0,55 - 0,68%
5,73 - 6,32	0,68 - 1,65%
6,33 - 7,20	1,65 - 6,19%
	6,19 - 18,63%

TOMA DE DATOS NIVEL 3 (h=3m):

NIVEL 3		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54	55	
Punto	Valor obtenido de MR en g/kg	6,22	6,22	6,49	6,63	6,63	6,22	6,22	6,04	6,36	6,36	6,36	6,36	6,22	5,54	6,77	6,63	6,22	6,22	6,49	6,22	6,22	6,22	6,08	6,08	6,22	6,22	6,36	6,22	6,08	6,08	6,22	6,49	6,22	6,08	6,08	6,36	6,36	6,22	6,08	6,08	6,36	6,49	6,36	5,95	6,20	6,61	6,32	6,36	6,27	5,84	6,10	6,20	6,24			
TI en cada punto		19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19
HR en cada punto		46	46	48	49	49	46	46	45	47	47	47	47	46	46	41	50	49	46	46	48	46	46	46	45	45	45	46	46	47	46	45	45	46	46	45	45	47	47	46	45	45	47	47	44	52	52	53	47	47	41	46	48	52	53		

NIVEL 3		56	57	58	59	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71	72	73	74	75	76	77	78	79	80	81	82	83	84	85	86	87	88	89	90	91	92	93	94	95	96	97	98	99	100	101	102	103	104	105	106	107	108	109	110			
Punto	Valor obtenido de MR en g/kg	6,32	6,63	6,36	6,04	5,84	6,10	6,61	6,61	6,44	6,61	6,32	6,63	6,36	6,33	6,10	6,22	5,74	6,61	6,61	6,61	6,44	6,61	6,22	6,08	6,10	5,97	6,61	6,61	6,61	6,61	6,32	6,77	6,22	6,22	6,10	5,71	6,87	6,87	6,61	7,18	6,32	6,87	6,87	6,61	7,12	6,74	6,87	7,12	6,61	6,74	6,87	7,12	6,61	6,74	6,74			
TI en cada punto		17	19	19	20	18	18	18	18	17	18	17	19	19	19	20	18	18	18	18	18	17	19	19	19	18	18	18	18	18	18	17	19	19	19	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18
HR en cada punto		53	49	47	42	46	48	52	52	54	52	53	49	47	44	48	49	53	52	52	52	54	49	46	45	48	47	52	52	52	52	53	50	46	46	48	45	54	54	52	53	53	54	54	52	56	53	54	56	52	53	54	56	52	53	54	56	52	53

COMPOSICIÓN GRÁFICAS ISOHÍDRICAS DE ALZADOS CON GRÁFICAS DE %MR EN PLANTA:

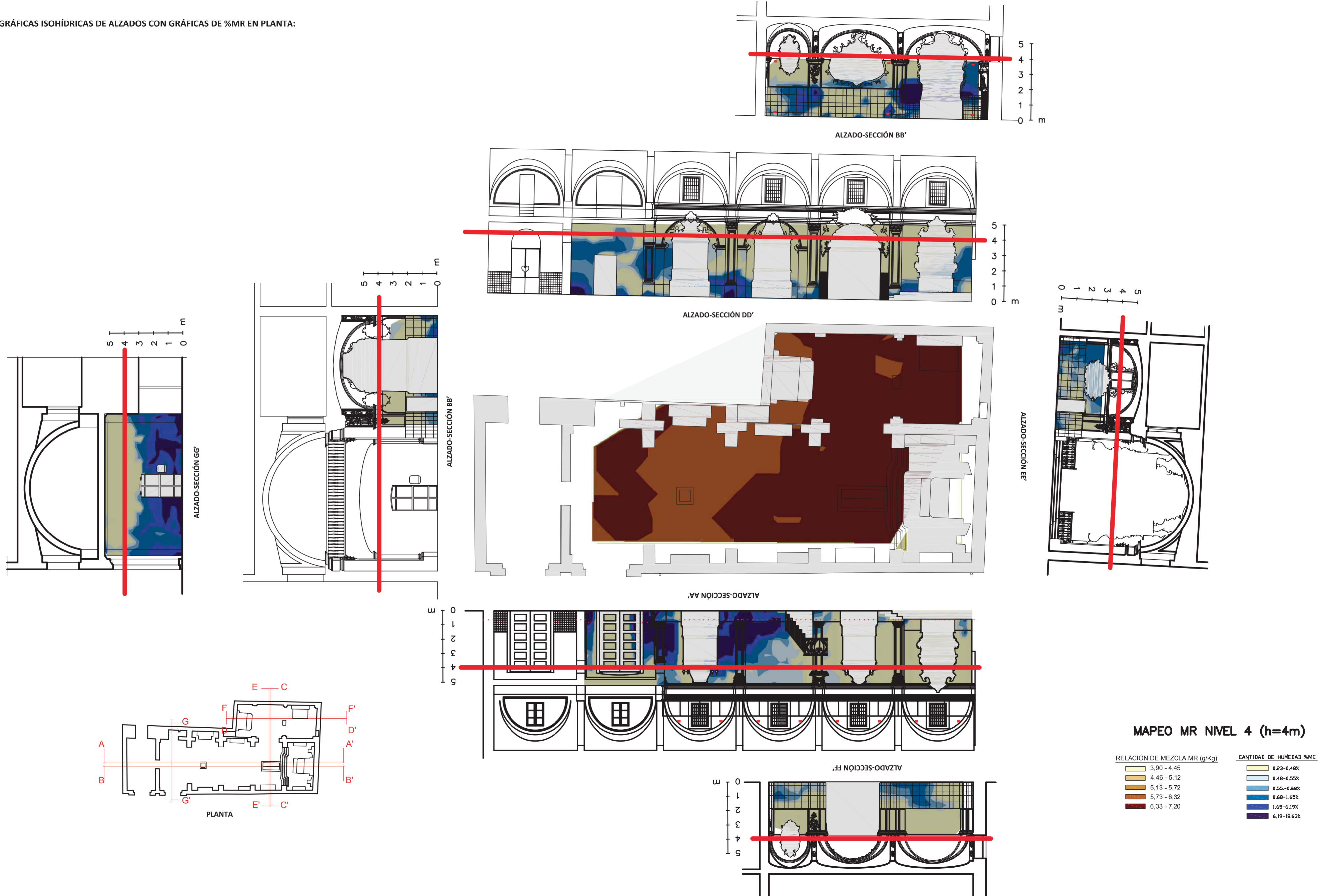


TOMA DE DATOS NIVEL 4 (h=4m):

NIVEL 4																																																								
Punto	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54	55	
Valor obtenido de MR en g/kg	6,36	6,36	6,36	6,36	6,36	6,36	6,77	6,36	6,49	6,49	6,36	6,63	6,49	6,36	6,49	6,22	6,22	6,36	6,22	6,22	6,22	6,22	6,08	6,22	6,22	6,36	6,22	6,22	6,36	6,49	6,36	6,22	6,40	6,36	6,63	6,36	6,36	6,32	6,32	6,32	6,49	6,36	6,36	6,32	6,49	6,36	6,49	6,32	6,32	6,32	6,32					
Tº en cada punto	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19
HR en cada punto	47	47	47	47	47	47	50	47	48	48	48	47	49	48	47	48	46	46	47	46	46	46	46	45	46	46	47	46	46	46	47	46	47	48	48	47	47	48	49	47	47	47	49	47	47	47	49	48	48	48	48	48	48	48	48	48

NIVEL 4																																																											
Punto	56	57	58	59	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71	72	73	74	75	76	77	78	79	80	81	82	83	84	85	86	87	88	89	90	91	92	93	94	95	96	97	98	99	100	101	102	103	104	105	106	107	108	109	110				
Valor obtenido de MR en g/kg	5,44	5,77	5,63	5,63	5,49	6,36	6,74	6,74	6,44	6,44	6,74	6,90	6,63	6,63	6,49	6,49	6,74	6,74	6,44	6,44	6,74	6,63	6,49	6,49	6,49	6,49	6,74	6,74	6,44	6,44	6,74	6,77	6,63	6,63	6,49	6,87	6,87	6,20	6,56	6,32	6,87	6,99	6,74	6,81	6,61	6,87	6,87	6,74	6,61	6,87	6,87	6,87	6,87	6,87					
Tº en cada punto	17	19	19	19	19	19	18	18	17	17	18	19	19	19	19	19	18	18	18	17	17	18	19	19	19	19	18	18	17	17	17	17	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18
HR en cada punto	54	50	49	49	48	47	53	53	54	54	53	51	49	49	48	48	48	53	53	54	54	53	50	49	49	49	48	48	52	55	53	54	55	53	54	55	53	52	52	54	54	53	52	54	54	53	52	54	54	54	54	54	54	54	54	54	54	54	54

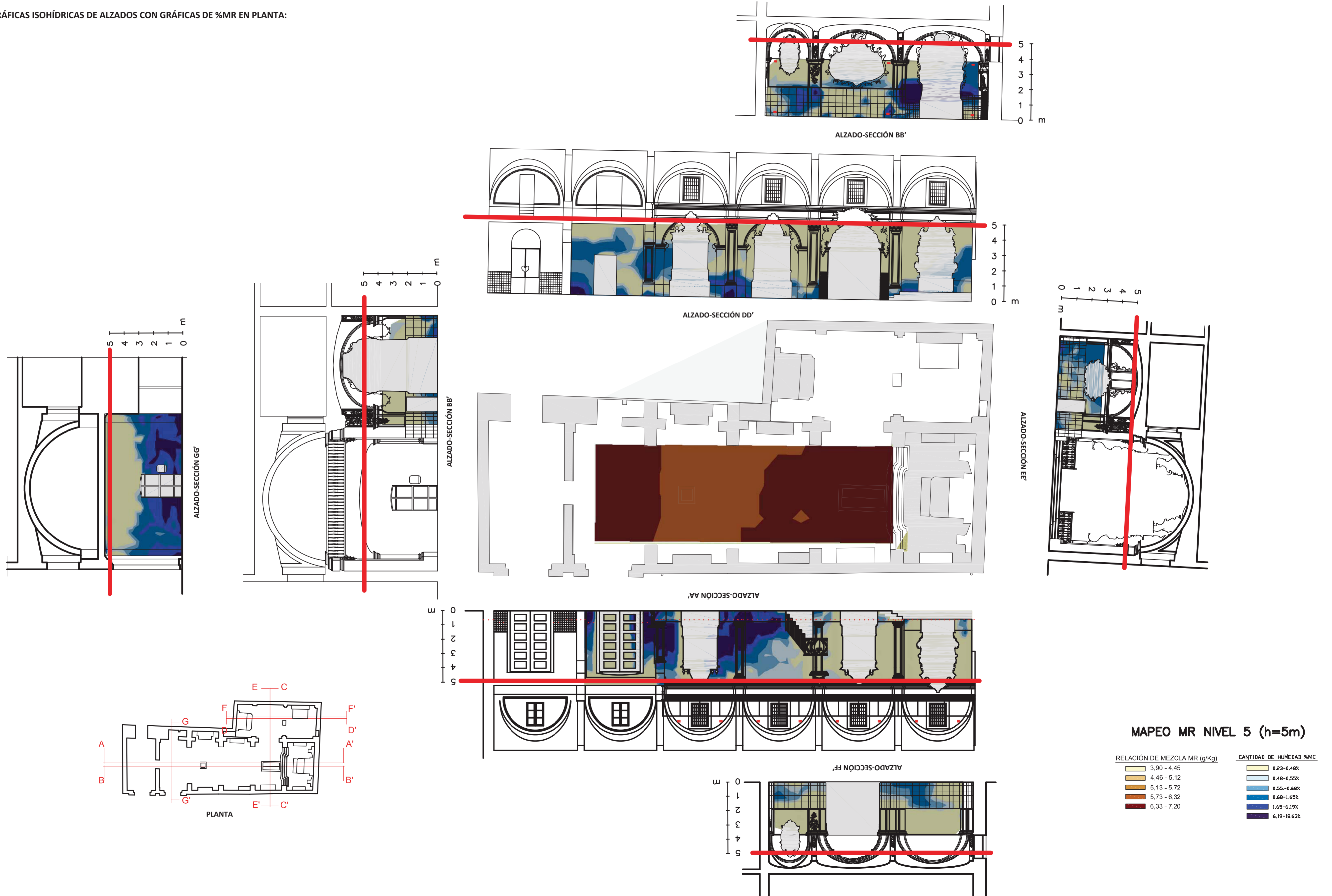
COMPOSICIÓN GRÁFICAS ISOHÉRICAS DE ALZADOS CON GRÁFICAS DE %MR EN PLANTA:



NIVEL 5																																					
Punto	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35		
Valor obtenido de MR en g/Kg	6,49	7,04	6,77	6,63	6,77	6,77	6,77	7,04	6,77	6,63	6,63	6,77	6,63	6,77	6,63	6,77	6,90	6,63	6,36	6,36	6,36	6,36	6,22	6,22	6,22	6,22	6,36	6,36	6,22	6,22	6,22	6,36	6,36	6,22	6,36	6,36	
Tº en cada punto	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19
HR en cada punto	48	52	50	49	50	50	50	52	50	49	49	50	49	50	50	46	47	47	47	47	47	46	46	46	46	47	47	46	46	46	47	47	46	47	46	47	47

NIVEL 5																																				
Punto	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	
Valor obtenido de MR en g/Kg	6,49	6,36	6,36	6,36	6,22	6,49	6,49	6,63	6,49	6,36	6,63	6,36	6,49	6,49	6,36	6,77	6,49	6,49	6,49	6,63	6,90	6,63	6,63	6,49	6,49	6,77	6,49	6,63	6,49	6,63	6,77	6,63	6,63	6,63	6,49	
Tº en cada punto	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19
HR en cada punto	48	47	47	47	46	48	48	49	48	47	49	47	48	48	48	47	50	48	48	48	49	51	49	49	48	48	50	48	49	48	49	50	49	49	49	48

COMPOSICIÓN GRÁFICAS ISOHÍDRICAS DE ALZADOS CON GRÁFICAS DE %MR EN PLANTA:

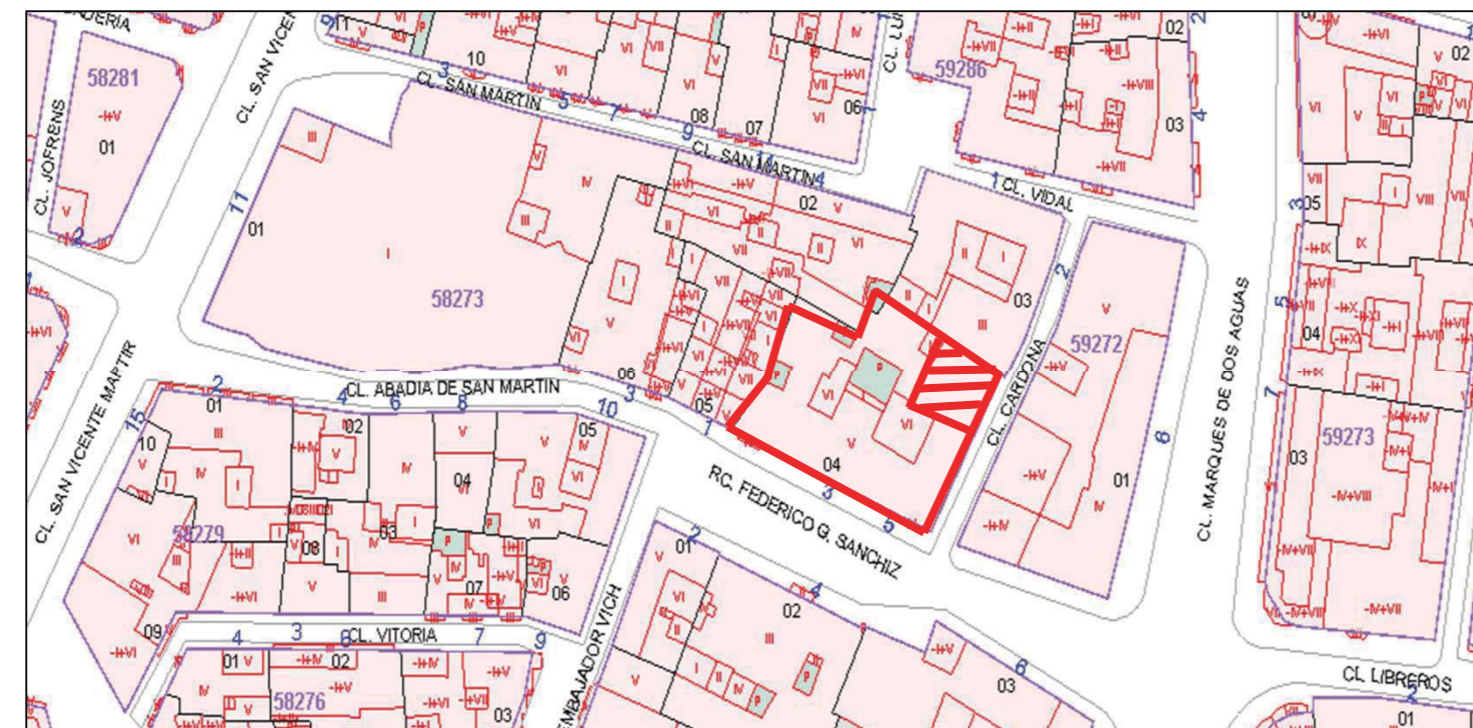


9.4 LOCAL COMERCIAL EN PLANTA BAJA. RINCONADA FEDERICO GARCÍA SANCHIZ Nº 3 Y 5. VALENCIA

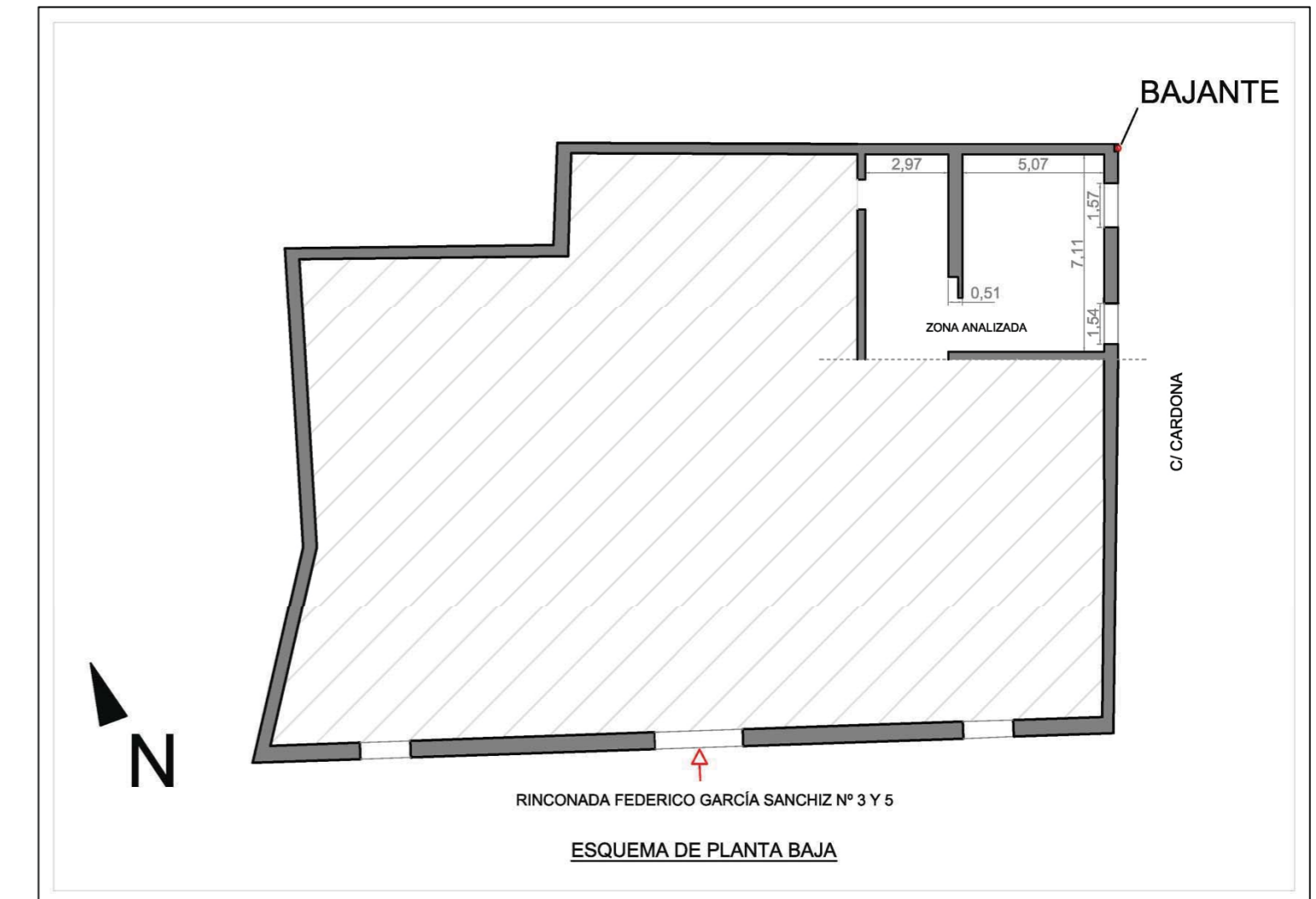
ANTECEDENTES

LOCAL COMERCIAL EN PLANTA BAJA. RINCONADA FEDERICO GARCÍA SANCHIZ Nº 3 Y 5, VALENCIA.

Situación y emplazamiento:



Planta del edificio:



Fotografías del edificio:



Exterior general-Vista entrada al edificio en Rinconada Federico García Sanchiz nº 3 y 5.

Exterior -Vista de bajante.

Interior planta baja-Vista de medianera.

Interior planta baja-Vista de medianera.

Interior planta baja-Vista de muro recayente a fachada trasera.

Reseña histórica y constructiva:

Este edificio señorial de estilo ecléctico, obra del arquitecto Antonio Martorell Trilles, data su fecha de construcción en 1908. Fecha en la que en la ciudad donde se encuentra, Valencia, la alta burguesía empieza a despuntar y se construye para sí misma edificios que más tarde se han transformado en singulares por sus características arquitectónicas, como son los existentes en la C/ de la Paz, Sorní, Grabador Esteve y en la Gran Vía Marqués del Turia (Casa Chapa, etc.). Se trata de un edificio residencial de arquitectura higienista y costumbrista donde persiste la jerarquización de plantas, estructurado en planta entresuelo, principal (planta señorial) y 2 plantas más, altas.

El tipo de construcción es el correspondiente al de la época: estructura a base de muros de ladrillo macizo de dos pies y medio de grosor, revestidos exteriormente en planta baja con zócalo de piedra caliza y enfoscado superior de mortero de cal en imitación de piedra. Interiormente están revestidos con enlucido de yeso sin zócalo, siendo éste pintado con pintura al esmalte en color oscuro.

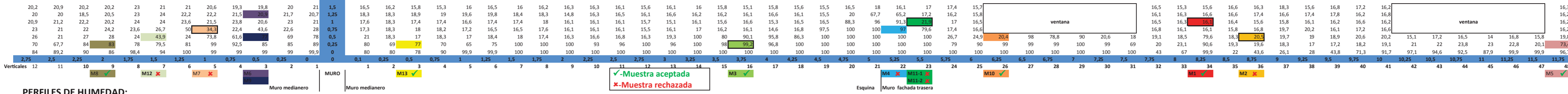
De los cuatro edificios mostrados en esta investigación, este es el más sencillo. Se requirió una investigación para determinar la causa de las humedades que afectaban fundamentalmente y de manera concreta al muro de la medianera situado en la parte trasera del edificio, lindando con la fachada lateral.

Para ello se utilizó el procedimiento de control establecido en esta Tesis, paso a paso.

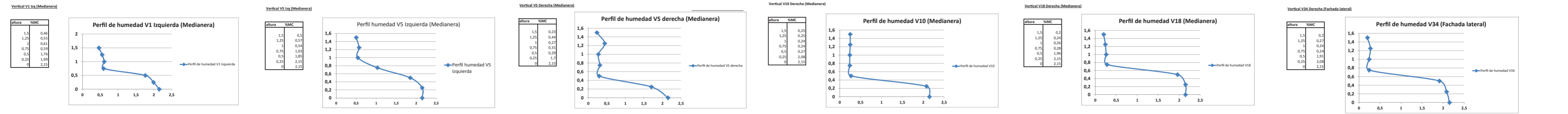
Las manchas existentes en el muro en su cara recayente al interior del local no mostraban, inicialmente, ninguna forma visual que indicara su procedencia ni su tipo de humedad, pero sí el revestimiento se encontraba húmedo al tacto y el local desprendía un olor profundo a humedad. El revestimiento exterior y la piedra del zócalo de la zona de fachada correspondiente a la zona investigada no mostraban especialmente daños muy aparentes, simplemente el revestimiento estaba en peor estado que el resto de la fachada.

Como resultado de esta investigación se obtiene que, de acuerdo con las gráficas de contenido real de humedad, la humedad está concentrada en la esquina formada entre el muro trasero y la fachada lateral del edificio por la que discurre una bajante de recogida de aguas pluviales que viene desde la cubierta y que se encuentra remetida en un recoveco que realiza el muro de fachada como encastrándose en él. Conforme nos alejamos de esta esquina la afección de humedad desciende progresivamente mostrando una forma aproximadamente triangular en ambos muros que forman dicha esquina. Revisada esta bajante de aguas limpias no se encontró ningún desperfecto en su tramo en planta baja, por lo que se interpretó que en su entrega inferior debe existir una mala conexión o un defecto en la tubería existente horizontal que transporte esta agua en un punto cercano a este entronque en su base. Se recomendó al cliente que destapara y dejara libre esa zona para revisarla y proceder a su reparación en caso necesario, de esa manera podría subsanarse o redimirse el problema.

TOMA DE DATOS:

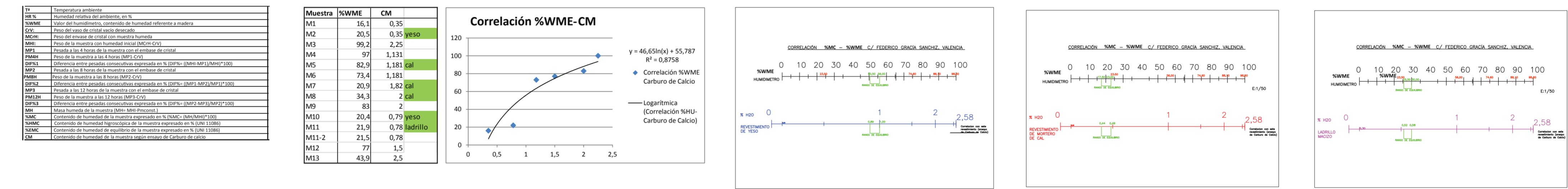


PERFILES DE HUMEDAD:

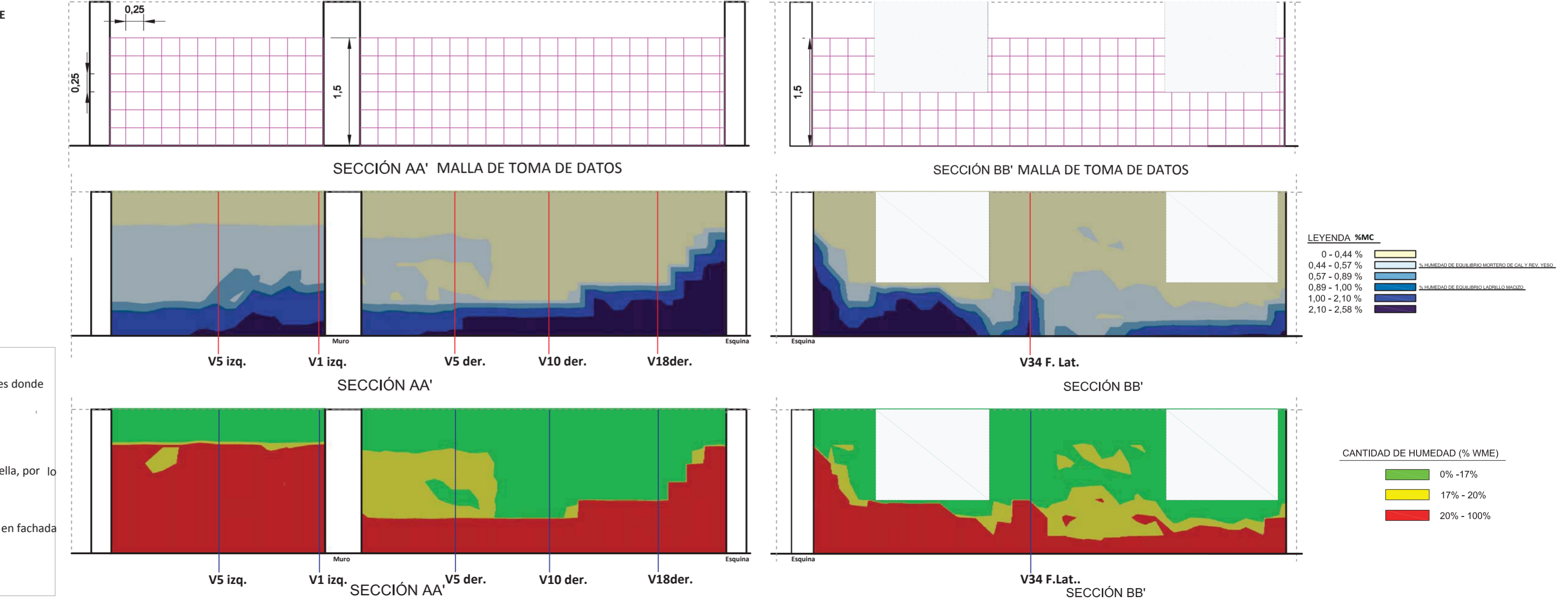
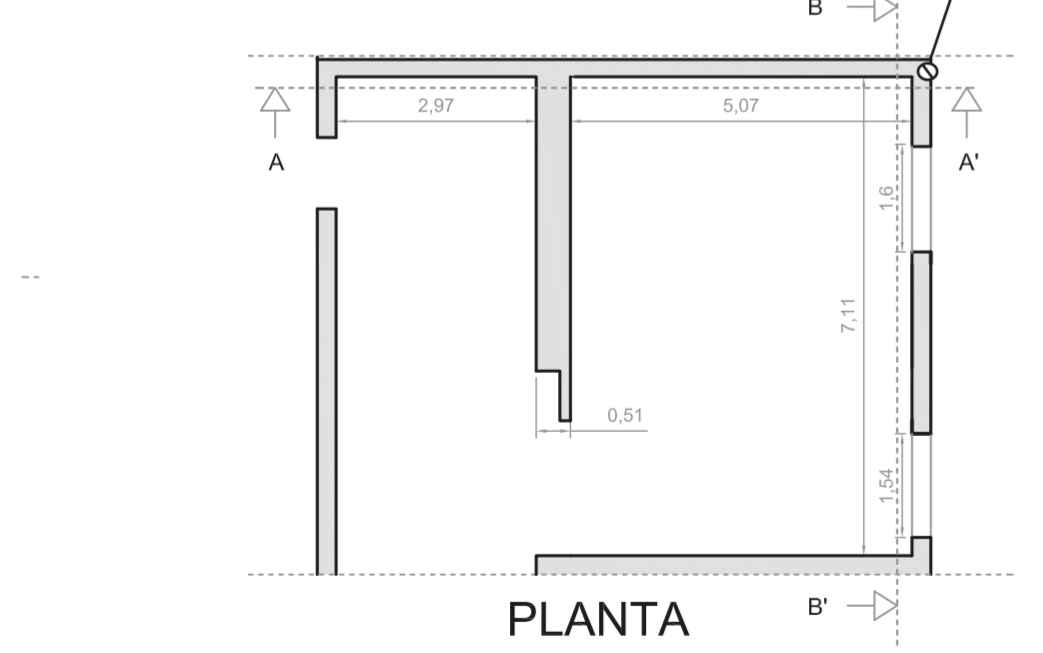


CORRELACIÓN %WME-MC Y DETERMINACIÓN DE LA HUMEDAD DE EQUILIBRIO %EMC:

ESTADILLO ENSAYO DE DESECACIÓN EN HORNO A 105 °C															ENSAYO HUMEDAD DE EQ. (UNI 11086)																					
FECHA DE PESO DE LAS MUESTRAS: 09/06/2013 18:05					HORA DE LA INTRODUCCIÓN EN EL HORNO DE LAS MUESTRAS: 18:30(A)																															
MUESTRA	TIPO	REFERENCIA	T#	HR %	%WME	CrV	McRH	MHI	MP1	PM17H	DIF%1	MP2	PM21H	DIF%2	MP3	PM36H	DIF%3	MP4	PM48H	DIF%4	MH	%MC	%WME	Muestras	P. DESECADO	MIS	MPH	PM24H	MPE	PM48h	%HMC	%EMC	%WME	CM		
D	M.CAL	R. FCO. GARC. M5	26,60	31,70	73,40	9,1847	12,7857	3,6010	12,7084	3,5237	2,1466	12,7127	3,5280	-0,1220	12,7083	3,5236	0,1247	12,7071	3,5224	0,0012	0,0786	2,1827	73,40	D	12,7071	3,5224	12,8225	3,6378	12,8314	3,6467	0,9082	0,978193	73	1,81		
E	M.CAL	R. FCO. GARC. M7			34,30	8,6579	9,5672	0,9093	9,5591	0,9012	0,8908	0,9011	0,0111	9,5593	0,9014	-0,0333	9,5585	0,9006	0,0008	0,0087	0,9568	34,30	E	9,5585	0,9006	9,5683	0,9104	9,5694	0,9115	0,1025	0,114035	34	1,02			
F	M.CAL	R. FCO. GARC. M8			83,00	8,8601	10,4141	1,5540	10,3894	1,5293	1,5894	1,5293	1,5894	10,3907	1,5306	-0,0850	10,3899	1,5298	0,0523	10,3883	1,5282	0,0016	0,0258	1,6602	83,00	F	10,3883	1,5282	10,4187	1,5586	10,4212	1,5611	0,2926	0,316702	83	2,00
G	LADRILLO. M	R. FCO. GARC. M11			21,50	11,9541	17,0422	5,0881	17,0157	5,0616	5,0208	5,0621	-0,0099	17,0161	5,0620	0,0020	17,0139	5,0598	0,0022	0,0283	0,5562	21,50	G	17,0139	5,0598	17,0374	5,0833	17,0382	5,0841	0,1381	0,142824	22	0,78			
H	LADRILLO. M	R. FCO. GARC. M13	43,90	12,5371	15,9936	3,4565	15,8683	3,3312	3,6251	15,8765	3,3394	-0,2462	15,8689	3,3318	0,2276	15,8724	3,3353	-0,0035	0,1212	3,5064	43,90	H	15,8724	3,3353	16,0149	3,4778	16,0241	3,4870	0,8978	0,955747	44	2,50				



MAPEO DE HUMEDAD:



CONCLUSIONES

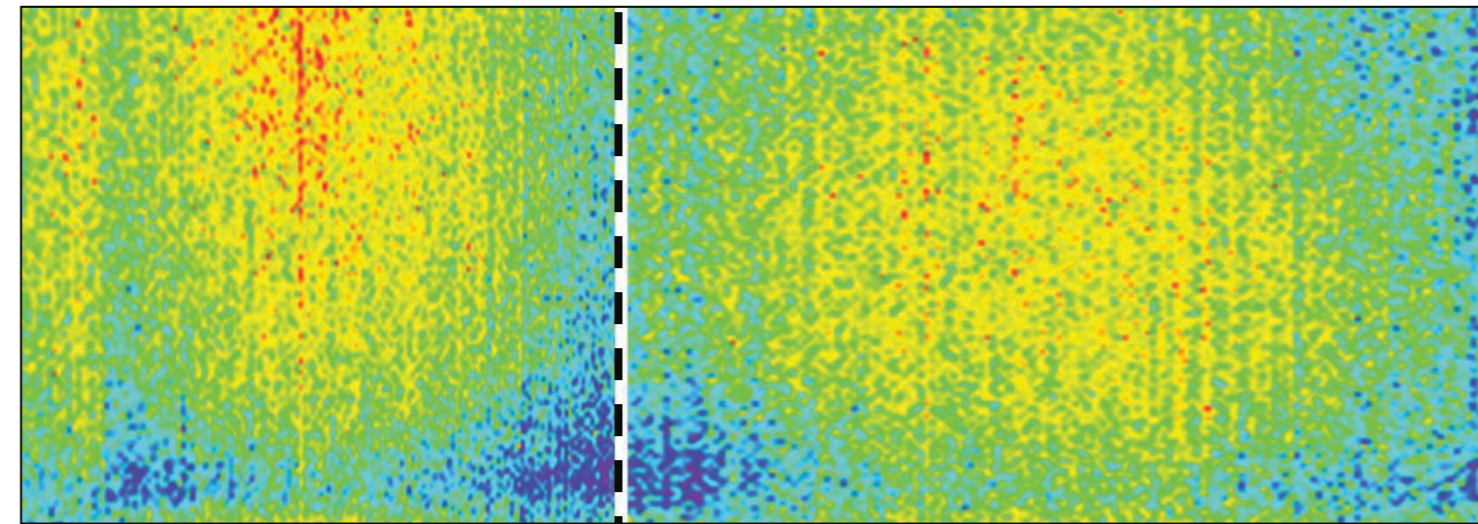
- Se confirma la existencia de humedad de capilaridad por indicación de las gráficas de los perfiles donde se muestra mayor cantidad en la base y disminuye con la altura.
- No aparecen contenidos de sales que distancien los perfiles de humedad.
- La HUMEDAD es muy alta y se concentra en la esquina y disminuye conforme nos alejamos de ella, por lo que es indicativo que existe una fuerte aportación de agua en esa zona.
- Esta zona de gran cantidad de humedad es contigua a una bajante situada pegada a este muro en fachada al exterior. Es muy posible que sea la causante de esta afección de humedad.

COMPARATIVO (LOCAL COMERCIAL EN PLANTA BAJA. RINCONADA FEDERICO GARCÍA SANCHIZ Nº 3 Y 5, VALENCIA)

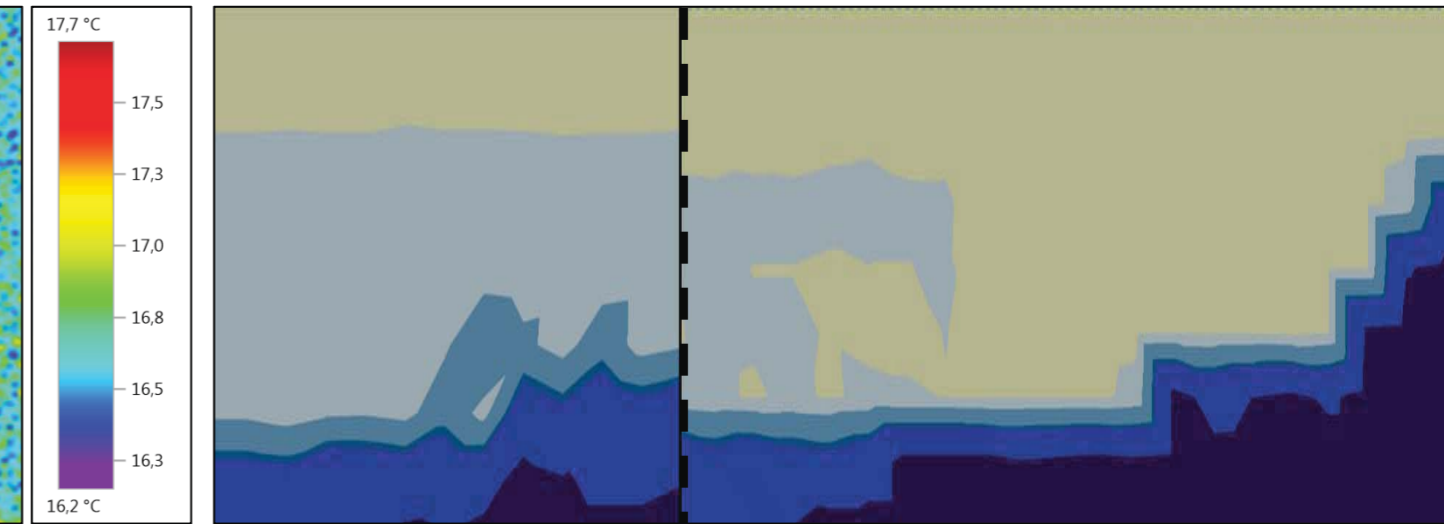
MEDIANERA.



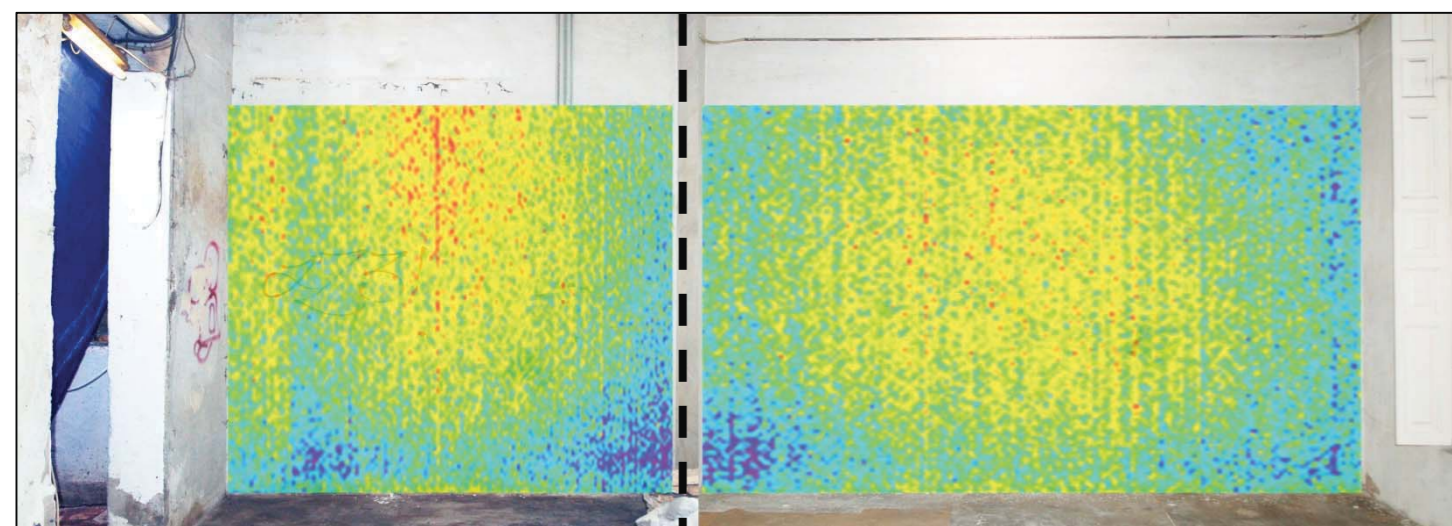
FOTOGRAFÍA DIGITAL



FOTOGRAFÍA TÉRMICA



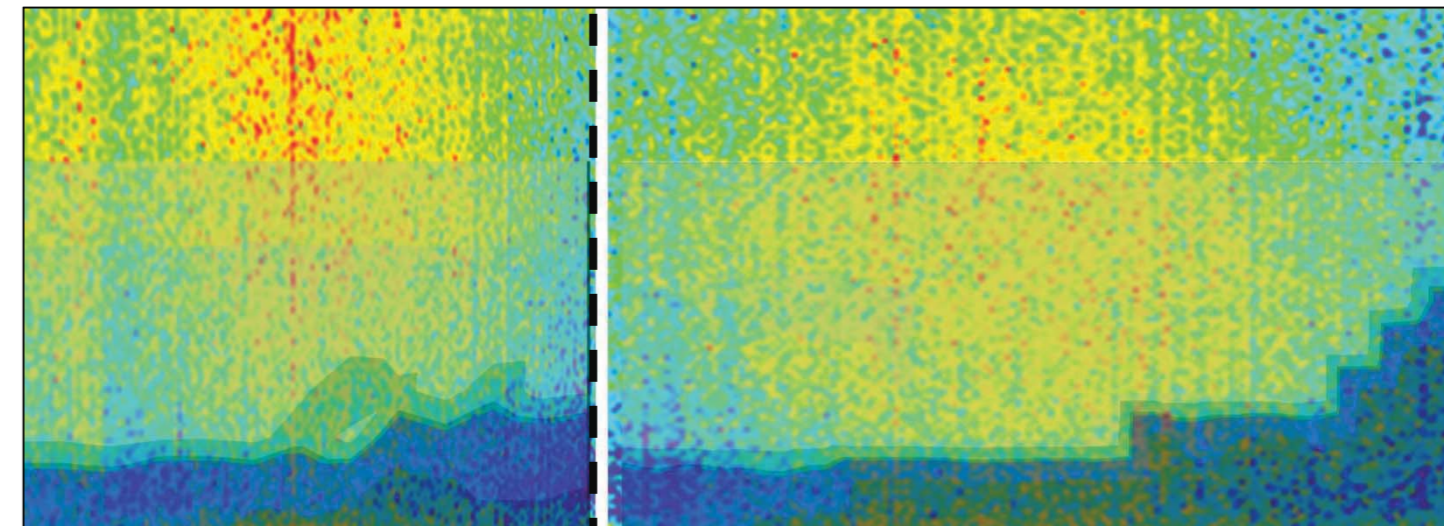
MAPEO



FOTOGRAFÍA DIGITAL + F. TÉRMICA



FOTOGRAFÍA DIGITAL + MAPEO



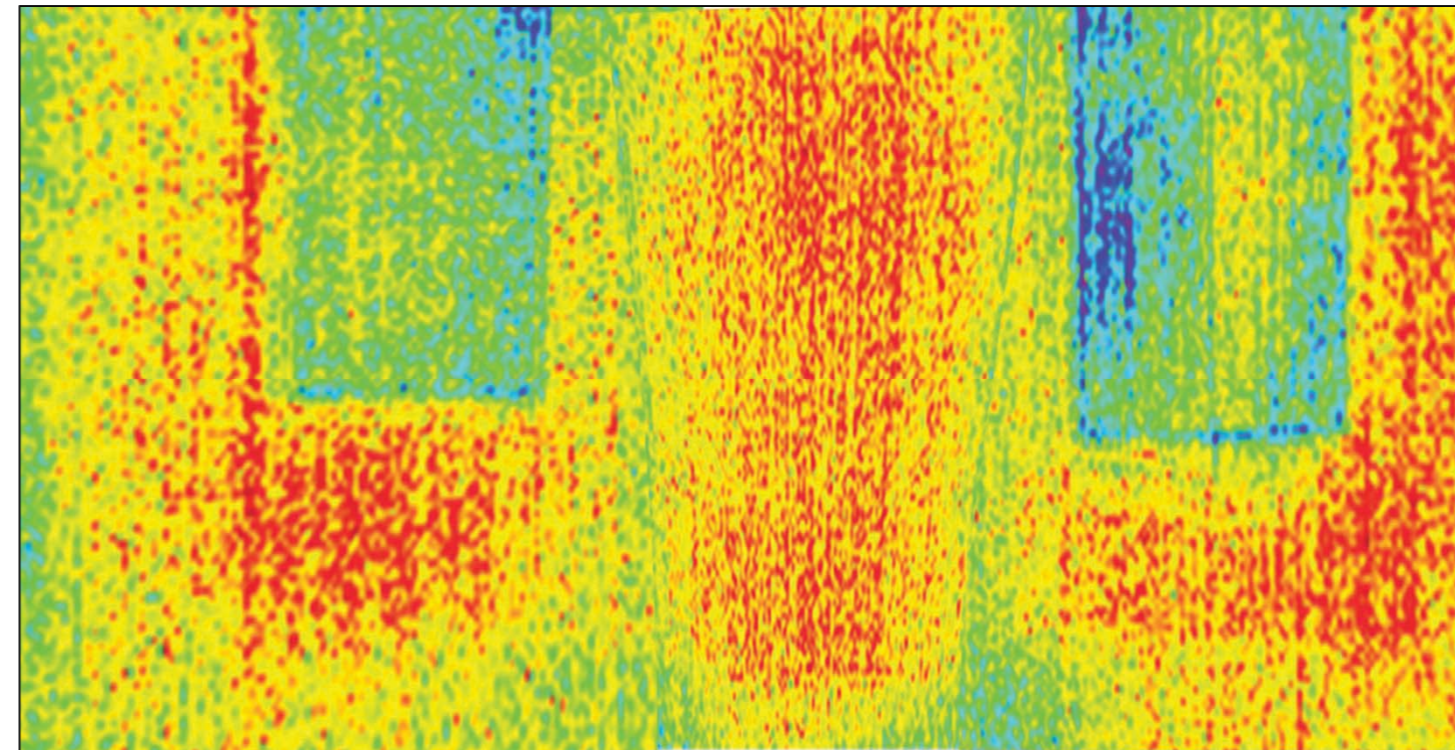
FOTOGRAFÍA TÉRMICA + MAPEO

COMPARATIVO (LOCAL COMERCIAL EN PLANTA BAJA. RINCONADA FEDERICO GARCÍA SANCHIZ Nº 3 Y 5, VALENCIA)

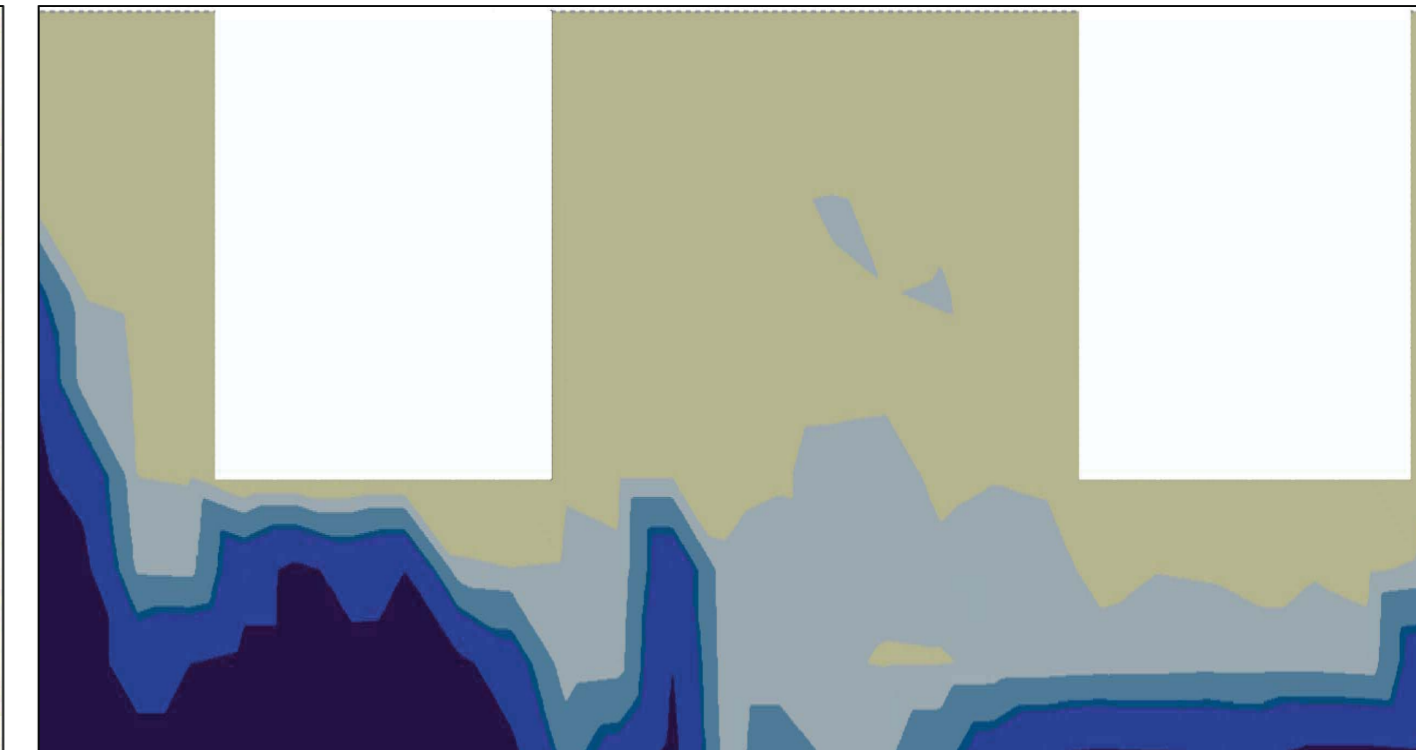
FACHADA LATERAL (C/ CARDONA).



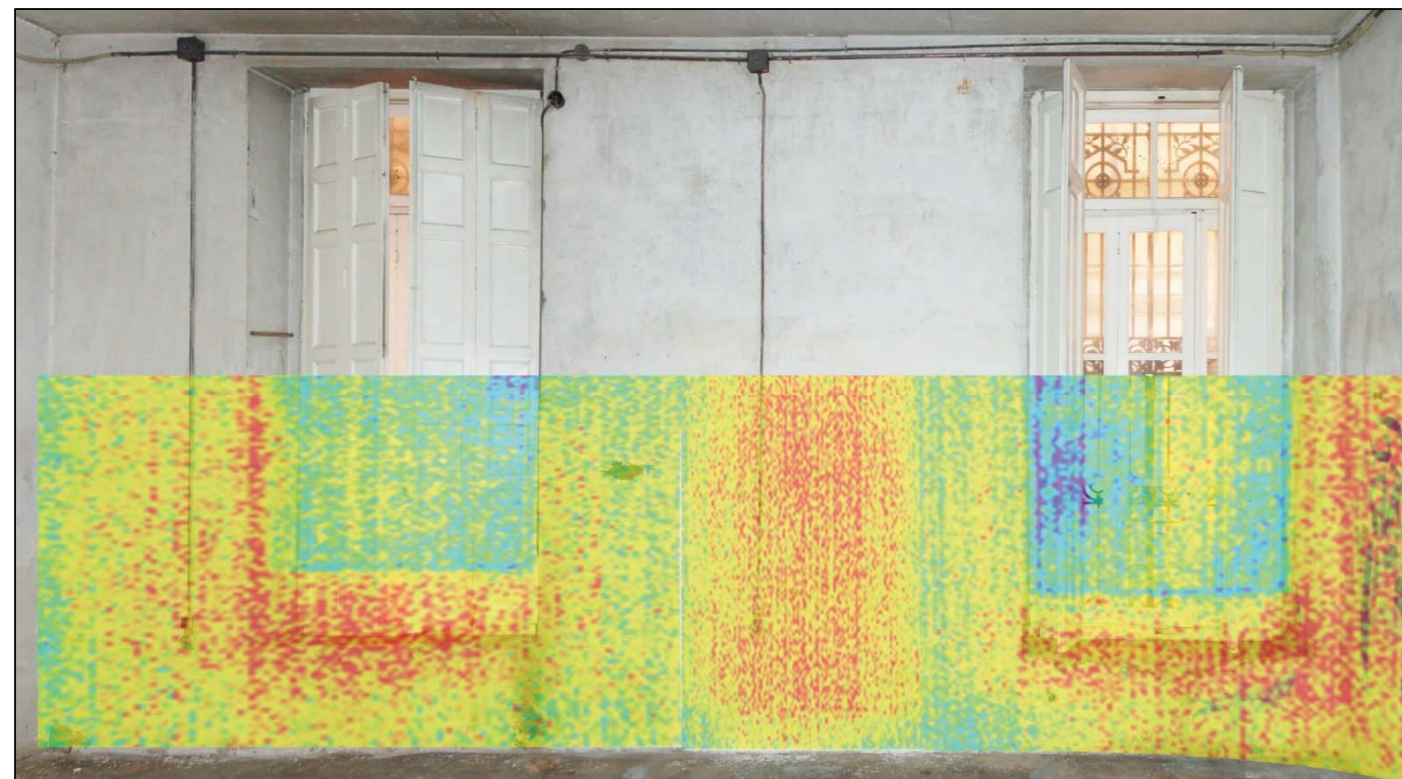
FOTOGRAFÍA DIGITAL



FOTOGRAFÍA TÉRMICA



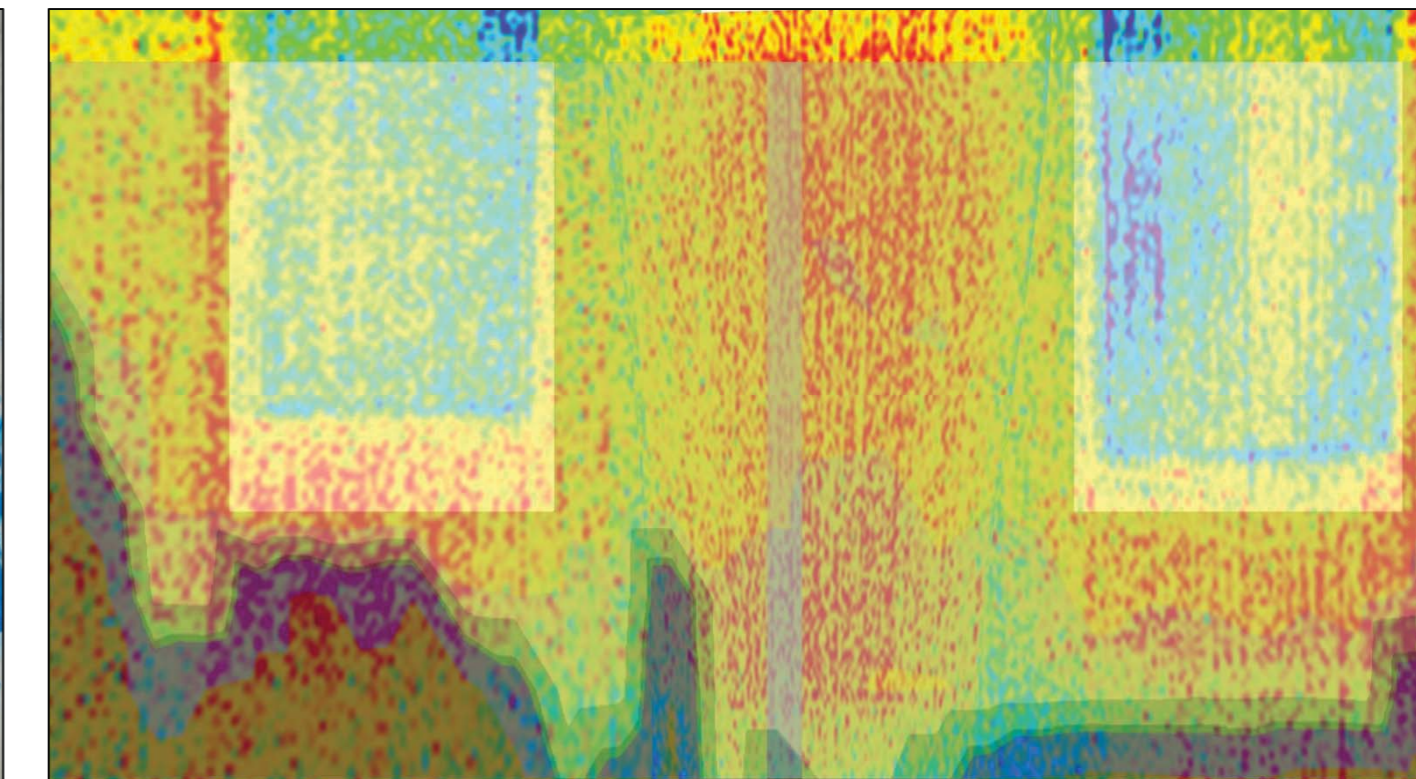
MAPEO



FOTOGRAFÍA DIGITAL + F. TÉRMICA



FOTOGRAFÍA DIGITAL + MAPEO



FOTOGRAFÍA TÉRMICA + MAPEO