



UNIVERSITAT
POLITÀCNICA
DE VALÈNCIA



ESCOLA TÈCNICA
SUPERIOR
D'ARQUITECTURA

HUMEDADES EN EDIFICACIÓN. ESTUDIO DESDE SU ORIGEN HASTA LA ACTUALIDAD, Y APLICACIONES CONTEMPORÁNEAS

Grado en Fundamentos de Arquitectura

Trabajo Fin de Grado

Curso 2016 - 2017



Autor: Pipiraite, Toma

Tutor: Llinares Millán, Jaime

ÍNDICE

0. RESUMEN	3
1. OBJETIVOS Y MOTIVACIÓN	4
2. INTRODUCCIÓN	5
2.1. HUMEDADES. ORIGEN.....	5
2.1.1. Humedad.....	5
2.1.2. Agua.....	5
2.1.3. Humedades en la edificación y su evolución	6
2.2. PATOLOGÍA DERIVADA.....	9
2.2.1. Patología. Significado	9
2.2.2. Tipos y sus efectos.....	9
2.3. LA SALUD HUMANA.....	12
2.3.1. Aportaciones científicas generales.....	12
2.3.2. Tipos de Moho y sus efectos	12
3. TIPOS DE HUMEDADES.....	14
3.1. Humedad de obra y de los materiales	14
3.1.1. Definición	14
3.1.2. Cantidad de agua necesaria en la obra	14
3.1.3. El comportamiento de los materiales frente al agua.....	15
3.1.4. Humedad, control de la absorción y su equilibrio en los materiales	17
3.2. Humedad exterior debida a la acción de la lluvia y del viento como agentes de humedades de absorción y penetración.....	19
3.2.1. Definición	19
3.2.2. Naturaleza del lugar y los factores influyentes.....	20
3.2.3. La humedad de absorción propia de los cerramientos.....	22
3.2.4. Lesiones en la fachada. Eflorescencias.....	23
3.2.5. Lesiones en la fachada. Líquenes	24
3.3. Humedad de condensación.....	24
3.3.1. Definición	24
3.3.2. Importancia de la temperatura y de la humedad	25
3.3.3. Exigencias de confort interior	26
3.3.4. Zonas de condensación o puentes térmicos.....	27
3.3.5. Síntomas.....	28
3.4. Humedad ascendente	28
3.4.1. Definición	28
3.4.2. Capilaridad y tensión superficial del material.....	28

3.4.3. Síntomas y su desarrollo	30
3.5. Humedad accidental	31
4. Estado del arte	32
4.1. Primeros estudios de la humedad.....	32
4.1.1. Antecedentes	32
4.1.2. Estudios de las humedades	33
4.2. Estudios actuales.....	38
4.3. Nuevas líneas de investigación	43
5. Aplicaciones.....	45
5.1. Diagnóstico, conjunto de métodos y técnicas para definir, conocer y catalogar las humedades.....	45
5.1.1. Técnicas no destructivas	45
5.1.2. Técnicas destructivas	49
5.2. Reparación. Distintos tipos de soluciones en el mercado.....	51
5.2.1. Humedad de Fachada.....	51
5.2.2. Humedades de Condensación.....	53
5.2.3. Humedad Ascendente	55
6. Conclusiones.....	62
7. Índice de imágenes.....	63
8. Bibliografía	68

O. RESUMEN

Esta investigación pretende estudiar y determinar los diferentes tipos de humedades y su influencia tanto en las construcciones arquitectónicas como en la salud de sus usuarios. Así mismo, se incluye un recorrido a través de las diferentes técnicas utilizadas a lo largo del tiempo, desde las primeras prácticas de reconocimiento y tratamiento de humedades hasta los tratamientos empleados en la actualidad. De esta forma se pretende mostrar la evolución de éstos y reflexionar acerca de cómo las últimas innovaciones tecnológicas pueden contribuir a su mejora, tanto en sus propiedades como en su aplicación.

Por último, se estudiarán las aplicaciones contemporáneas para la catalogación de las humedades y cómo actuar para realizar las respectivas reparaciones.

Palabras clave: humedades, capilaridad, ensayos no destructivos, patología en edificación

RESUM

Aquesta investigació pretén estudiar i determinar els diferents tipus d'humitats i la seua influència tant a les construccions arquitectòniques com a la salut dels seus usuaris. Així, s'inclou un recorregut a través de les diferents tècniques emprades al llarg del temps, des les primeres pràctiques de reconeixement i tractament d'humitats fins als tractaments emprats a l'actualitat. D'aquesta forma, es pretén mostrar l'evolució d'aquests i reflexionar sobre com les últimes innovacions tecnològiques poden contribuir al seu millorament, tant en les seues propietats com en la seua aplicació.

Per últim, s'estudiaran les aplicacions contemporànies per a la catalogació de les humitats i com actuar per realitzar les respectives reparacions.

Paraules clau: humitats, capilaritat, assajos no destructius, patologia en edificació

SUMMARY

This research aims to study and determine the different types of humidity pathologies and their influence, both in architectural constructions and in their users' health. In the same way, the study will cover the different techniques which have been used in the time being to fix the said issues, from the first recognition practices and inspections, to the treatment of humidity building diseases which can be used nowadays. This way the research aims to show the evolution on these techniques and reflect over how the last technological innovations can improve both the physical properties and the applications of these repairs.

Last but not least, there will be a brief study about the contemporary applications for cataloguing the humidity diseases and how to proceed against them.

Keywords: humidities, capillarity, nondestructive Testing, building pathology

1. OBJETIVOS Y MOTIVACIÓN

El principal objetivo de este trabajo es dar a conocer el grado de importancia que tiene la humedad en todo tipo de edificación. Tanto en el confort de los usuarios de una vivienda como en la seguridad de un edificio con valor patrimonial. La patología de la humedad se puede evitar si se realiza una correcta ejecución de la obra, y si se trata de edificios más antiguos o históricos se realiza un exhaustivo diagnóstico para conocer el origen y determinar que tipo de tratamiento es el más adecuado. Por lo tanto, esta investigación trata de aclarar todos estos aspectos relacionados con las humedades y servir como un documento de consulta para cualquier que tenga interés en ello.

Por ello el trabajo se estructura en tres grandes apartados que comienzan desde la definición del agua hasta las reparaciones específicas de cada humedad en cualquier elemento del edificio que tenga humedades.

El primero apartado trata de introducir el concepto de agua y de la patología. Se explica sus características, que tipo de efectos nocivos puede provocar y como lo ha ido evolucionando el problema a lo largo del tiempo y que importancia se le ha dado a la humedad durante el este tiempo.

En el siguiente apartado, se exponen con detalle los tipos de humedades que se pueden encontrar en una edificación. Se habla de su posible origen, de los componentes que intervienen para su aparición, ensayos que se realizan y cuál podría ser el tratamiento adecuado para combatirla.

Y, por último, los dos últimos apartados tratan de los estudios realizados a lo largo del tiempo, para conocer mejor como se originan las humedades y como diagnosticarlas. También se exponen los grandes genios que han influido mucho en esos estudios y dio origen a ellos. Aparte se hablan de las técnicas que se existen en la actualidad que ayudan en el estudio de las humedades, y las reparaciones, remedios y soluciones que proponen las empresas actuales que son especializadas en el tratamiento de las humedades.

La motivación de realizar este trabajo surgió por la inquietud y la curiosidad de una patología tan compleja y que atrae bastantes problemas. También fueron las ganas de conocer bien posibles patologías de un edificio para saber cómo tratarlas y poder volver darle vida a una edificación que no tenía uso o lo había perdido.

2. INTRODUCCIÓN

2.1. HUMEDADES. ORIGEN

2.1.1. Humedad

Según el Diccionario de Real Academia Española (2016):

"HUMEDAD:

Haplogología del lat. tardío humiditas, -ātis.

1. f. Cualidad de húmedo.

2. f. Agua de que está impregnado un cuerpo o que, vaporizada, se mezcla con el aire.

3. f. Mancha producida en la pared por impregnación de agua."

Como se puede observar, humedad es un estado de agua, por lo que es un elemento muy importante en todos los aspectos de la vida humana. El agua hace posible la vida animal o vegetal en nuestro planeta.

Si hacemos un recorrido a lo largo de la historia del hombre, podemos contemplar como el ser humano ha estado luchando contra la acción del agua. Los materiales que quedaban expuestos a ella se estropeaban reduciendo su durabilidad y su resistencia, lo cual hacía que el refugio del hombre no se mantuviera tanto tiempo como debería. El agua fue el elemento alrededor del cual se creaba la vida, pero obligaba al hombre buscar, regularmente un nuevo cobijo, para refugiarse de la acción del agua, lo que implicaba una decadencia en las exigencias humanas tanto a nivel de durabilidad como de confort.¹

En consecuencia, el hombre al darse cuenta de que no se podía prescindir del agua, logro convivir con ello, y comprendió que solo se puede salir ganando si se aplica el conocimiento, para adaptarse a la acción del agua.¹

2.1.2. Agua

Según el Diccionario de Real Academia Española (2016):

"AGUA:

Del lat. aqua.

1. f. Líquido transparente, incoloro, inodoro e insípido en estado puro, cuyas moléculas están formadas por dos átomos de hidrógeno y uno de oxígeno, y que constituye el componente más abundante de la superficie terrestre y el mayoritario de todos los organismos vivos. (Fórm. H₂O).

2. f. Líquido que se obtiene por infusión, disolución o emulsión de flores, plantas o frutos, empleado como refresco o en medicina y perfumería. Agua de azahar, de cebada, de limón."

Como ya habíamos mencionado antes, el agua en nuestro planeta hace posible la vida animal y vegetal. A parte de eso, nosotros mismo contenemos un alto porcentaje del agua en nuestros cuerpos, por ejemplo, los hombres tienen un 73% y las mujeres un 66% (Francisco Ortega, 1994).

¹ Información sacada del libro "Humedades en la edificación" de Francisco Ortega Andrade (pág. 21).

Y si observamos las plantas, también contiene un alto porcentaje de agua y aunque menos que los elementos rocosos.²

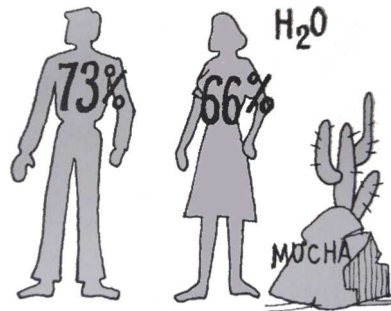


FIGURA 1: Cantidad de agua en diferentes cuerpos. (F.Ortega. 1994)

Según Francisco Ortega Andrade, en su libro de "Humedades en la edificación" (1994), expone cuatro propiedades peculiares del agua que son interesante para el estudio de las humedades. La primera es que el agua tiene una facilidad de cambiar de estado a temperaturas asequibles; La segunda, cuando se solidifica aumenta su volumen y eso hace que disminuya su densidad, por lo que tiene la capacidad de flotar sobre su estado líquido, actuando como un material aislante. La tercera, gracias a su carácter polar y su estructura química de la que se compone, se puede llamar al agua, como disolvente universal. Y la última característica, es la tensión superficial que posee. Mediante esta característica el agua es capaz de mojar o bañar superficie, y al modificar su viscosidad puede disolver sales y transportarlas y depositarlas en otro sitio en condiciones totalmente opuestas.³

Al ser un elemento que tiene facilidad de modificar su volumen, puede causar deterioro o hasta incluso destrucción de varios materiales, ya sea por heladicidad o por su capacidad disolvente, que puede provocar un lavado de cualquier superficie del material. De esta manera el material queda al descubierto a los componentes atmosféricos que, junto con agua, pueden originar reacciones químicas entre ellos y las partículas del material. Los daños no son únicamente superficiales, sino que, cuando el agua está en su estado líquido puede penetrar cualquier superficie deteriorando así el material o un elemento constructivo, por dentro, como, por ejemplo, el hormigón armado.⁴

2.1.3. Humedades en la edificación y su evolución

El objetivo de la evolución de la humanidad es mejorar la vida humana en todos los aspectos, resolver problemas que se hayan originado en épocas anteriores, pero eso también conlleva a que se generen otro tipo de problemas. En algunos campos, como la tecnología, se ha podido observar un gran progreso desde hace 50 años, sin embargo, otros campos igual se han quedado un poco atrás.

² Información sacada del libro "Humedades en la edificación" de Francisco Ortega Andrade (Página 16).

³ - ⁴ Información sacada del libro "Humedades en la edificación" de Francisco Ortega Andrade (Página 16 - 17).

Lo referente a la construcción, ha habido épocas que según las cuales se han ido utilizando un tipo u otro tipo de materiales para construir edificios. En cada una de ellas, se ha tenido que resolver diferentes tipos de problemas relacionados con los tipos de construcciones.

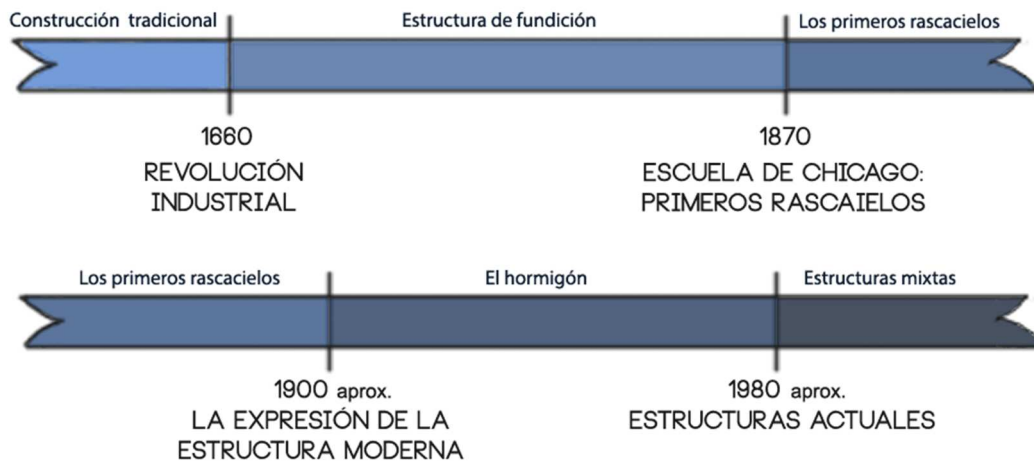


FIGURA 2: Línea cronológica de la evolución de los sistemas de construcción. (Elaboración del propio autor)

Hasta la mitad del siglo XVII, se empleaban materiales como ladrillo, piedra, mármol, muros de tapia, etc. para la elaboración de los edificios. Las construcciones con este tipo de elementos actualmente se llaman "Construcciones tradicionales". Los edificios con estos materiales que hayan llegado a nuestros tiempos están muy bien conservados, por lo que se puede observar que con los conocimientos que tenían, habían resuelto muy bien los problemas constructivos.

A partir de finales del siglo XVII, en Gran Bretaña surgió la "Revolución Industrial" que dio paso a un nuevo material constructivo, el hierro, que resultó ser todo un éxito, ya que era más fácil de elaborar que los anteriores. En la mitad del siglo XVIII se expandió por el resto de Europa. Había tres tipos de hierro que se utilizaban: fundido, forjado y laminado, y el acero. Desde este momento, aparecen ingenieros que de formaban de manera más práctica que técnica, como en caso de los arquitectos, por lo que había más errores a la hora de construir. Las primeras construcciones con hierro fueron los puentes. El primer puente metálico fue el de Tomas Telford en Inglaterra. Luego se utilizaban para construir todo tipo de edificios, un ejemplo podría ser "Cristal Palace" de Joseph Paxton, en Inglaterra.

En aproximadamente 1870, después del incendio en la ciudad de Chicago, al dejar un espacio muy grande para construir, se decidió construir edificios en altura para aprovechar el máximo suelo posible. Esta nueva posibilidad de construcción se debía fundamentalmente a la existencia del ascensor y por la aparición de columnas de fundición. En principio los edificios alto se construían de manera que tenían un muro exterior de ladrillo y dentro contenía los pilares de fundición, pero en más adelante fueron eliminando los muros de ladrillo, ya que se buscaba más luz natural, más huecos en las fachadas. El primer hombre empezó a trabajar en este tipo de edificios fue William Lebaron Jenney.

Pocos años después de la construcción de los primeros rascacielos, en 1867, Joseph Monier que fue un jardinero, que creó una patente para el hormigón armado. A parte de ser un material de fácil manejo, sus principales ventajas fueron, su valor económico y su resistencia al fuego. En los aspectos mecánicos, tenía buena capacidad de soportar los esfuerzos cortantes y los momentos. La adición de hierro al hormigón fue porque el coeficiente de dilatación de ambos materiales es

muy parecido, y porque los ingenieros de entonces no sabían dónde poner el hierro. Desde este suceso, las construcciones con hormigón armado empezaron a crecer, y el primer ingeniero que introdujo el hormigón armado en la vivienda, combinado con un entramado de madera, fue François Hennebique. Luego surgieron diferentes modificaciones del sistema, como fue "La plana sustentante", obra de Robert Maillart, que es un elemento prefabricado, parecido a una losa. Este mismo ingeniero inventó otro tipo de sistema llamado "Champiñón" que fue bastante importante ya que se construía sin necesidad de encofrados. Esa fue la principal razón por la que se extendió su uso.

A partir de esta patente se publicaron otros documentos sobre el hormigón, su teoría y sus aplicaciones. Le Corbusier tradujo una de estas obras al francés, con lo cual eso le influyó en su propuesta de esquema de domo. Con este esquema se consiguió una planta libre de muros y unas ventanas corridas en la fachada para aprovechar la luz natural.

Como se puede observar, a lo largo del tiempo se han ido utilizando diferentes materiales para la construcción, ha habido diferentes soluciones para resolver los puntos más conflictivos de la obra. Actualmente, se utilizan estructuras mixtas y materiales innovadores en la construcción como, por ejemplo, paneles fenólicos, suelo de resina, tejas muy resistentes con captación solar incorporada, etc. Respecto a las estructuras, se utilizan estructuras metálicas con hormigón armado, cerchas de madera, etc. y en algunos países también podemos ver construcciones con materiales reciclados como latas, botellas de plástico, neumáticos, etc.

Ahora mismo se vive en tiempos de innovación y desarrollo, por lo que el problema de las humedades en nuevas construcciones no es difícil de solucionar, en cambio, donde aparece más dificultad en resolverlo son en las obras históricas. El conflicto surge cuando se necesita rehabilitar un edificio que tiene cientos de años, en el cual se tienen que conservar los materiales, por lo que hay que tener mucho cuidado con las incompatibilidades químicas de cada elemento. Y lo más común en estos monumentos suelen ser la humedad, ya que los materiales se deterioran con el tiempo y pierden resistencia. Así que a la hora de solucionar los problemas de humedades hay que conocer bien qué tipo es, de dónde se origina y conocer la compatibilidad entre los elementos para que la solución no se convierta en un problema más grave y perjudique al edificio.

2.2. PATOLOGÍA DERIVADA

2.2.1. Patología. Significado

Según el Diccionario de Real Academia Española (2016):

"PATOLOGÍA:

De pato- y -logía.

1. f. Med. Parte de la medicina que estudia las enfermedades.

2. f. Med. Conjunto de síntomas de una enfermedad. U. t. en sent. fig. Patología social."

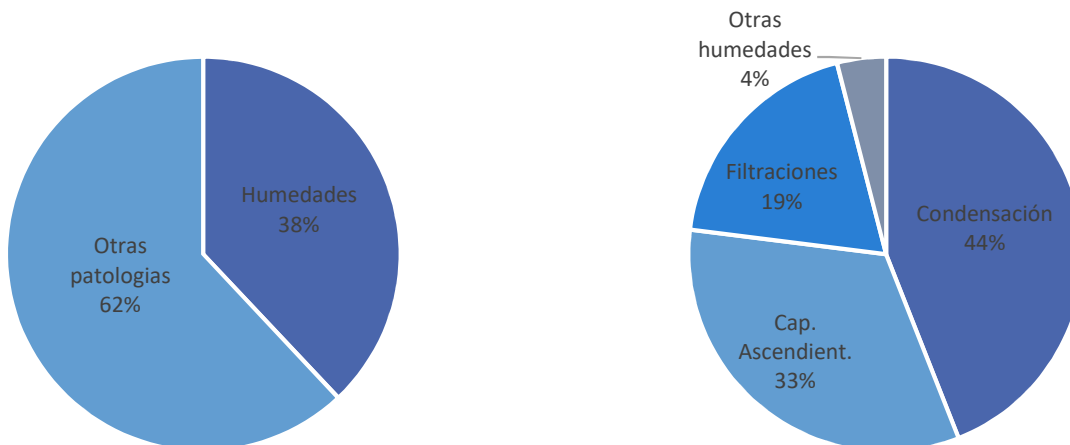


FIGURA 3: Porcentajes de la patología. (F.Ortega. 1994)

La humedad puede ocasionar diferentes lesiones en la edificación, desde las más inofensivas como podrían ser manchas en los materiales hasta las más dañinas como los hongos que pueden derivar a problemas más graves tanto estructurales como de salud.

Esta preocupación de los arquitectos de la antigüedad, se puede percibir **en** el libro de **Marco Lucio Vitruvio: "Los diez libros de arquitectura"** un arquitecto romano del siglo I a.C. que se preocupaba por crear edificios sanos, en su libro dice: *"La Medicina es necesaria al arquitecto para conocer 'climas', las condiciones del aire en cada lugar; qué parajes son nocivos, y cuáles saludables, y qué propiedades tienen sus aguas, porque sin el conocimiento de estas circunstancias no es posible construir edificios sanos."* En este escrito del primero libro, le dedica un capítulo entero *"Capítulo IV: De la elección de lugares sanos"* a la selección de los lugares con condiciones climáticas favorables para evitar cualquier lesión.

Así pues, podemos decir que los edificios que padecen alguna patología son como personas cuando están enfermas, y los arquitectos son los médicos que debemos, estudiar los síntomas de enfermedad que puede padecer una construcción. Por lo que es muy importante saber qué tipo de patología es provocada por la humedad para conocer el tratamiento adecuado.

2.2.2. Tipos y sus efectos

La humedad en la edificación es el origen y consecuencia de distintos tipos de patología, que disminuyen el confort y la salud de los usuarios al mismo tiempo que comprometen el estado del edificio. Por lo tanto, dependiendo de tipo de humedad tendremos diferentes tipos de lesiones como: desconchamientos de enlucidos y revestimientos, fisuraciones, desgastes, depósitos y roturas a causa de ciclo de hielo – deshielo.

SINTOMAS	FENÓMENO	MANIFESTACIÓN
FISURACIÓN	Discontinuidad de la estructura en forma plana	MICROFISURAS FISURAS GRIETAS
ALTERACIONES	Combinación de fenómenos físicos, químicos y biológicos	MODIFICACIONES CROMATICAS PATINAS COSTRAS
DESGASTES	Acción físico – química combinada con agentes meteorológicos	PULVURULENCIA ARENIZACIÓN ESCAMACIONES EXFOLIACIONES
DEPÓSITOS	Fenómeno opuesto al anterior	ACUMULACIONES INCUSTRACIONES EFLORESCENCIAS CRIPTOFLORESCENCIAS
FRACTURAS	Ciclos de hielo - deshielo	ESQUINAS REDONDEADAS ARENIZACIÓN EXFOLIACIONES

FIGURA 4: Causa – Efecto de la distinta patología. (G. Lozano Apolo.1993)

Como se puede observar en la gráfica de Geronimo Lozano, los distintos síntomas producen diferentes manifestaciones en nuestro edificio, que unas pueden derivar a algo más importante y otras tan apenas influye en él. Por ejemplo, la fisuración se puede producir cuando el material pierde su resistencia y cede a los movimientos de la estructura, o en el proceso de secado al producirse una reacción ligera del material. Las posibles fisuras o grietas que se puedan originar, su efecto sobre el material es perjudicial cuando ésta va a más y puede llegar a arruinar el edificio. De otra manera, si se mantiene o crece muy lentamente no hay ningún tipo de peligro.⁵

En el caso de la alteración de la superficie de la fachada que se genera por la combinación de diferentes acciones físicas, químicas o biológicas, dan resultado a manchas, cambios cromáticos, pátinas y costras de diferentes composiciones, como puede ser moho, hongos, costra negra, etc. En este caso, lo más nocivo en el edificio serían las alteraciones producidas por la acción de los seres vivos, que pueden crear un ambiente dañino a los usuarios, llegando a causarles efectos nocivos para la salud como asma, sinusitis, constipados, etc. En caso de crecimiento de vegetales en las cubiertas o partes del edificio con vegetación indeseada pueden llegar a penetrar en los materiales y destruirlos. Pero en cambio, la formación de la pátina en una fachada es beneficiosa, ya que ayuda a proteger la superficie de los ataques futuros.¹

Por lo tanto, es muy importante una vez detectado la lesión, averiguar el origen de la misma para solucionar el problema desde la raíz. Para combatir el problema habrá que estudiar el tratamiento que mejor convenga para ese tipo de lesión y asegurar que no se vuelva a producir. Así pues, hay que realizar un diagnóstico correcto y en casos necesarios exhaustivo, para determinar bien el origen de la patología ya que, en una misma obra pueden aparecer varios tipos de humedades, y eso dificulta la determinación de la causa.

⁵ Información sacada del libro: "Cursos: tipología, patología y terapéutica de las humedades" de Geronimo Lozano Apolo (Página 23).

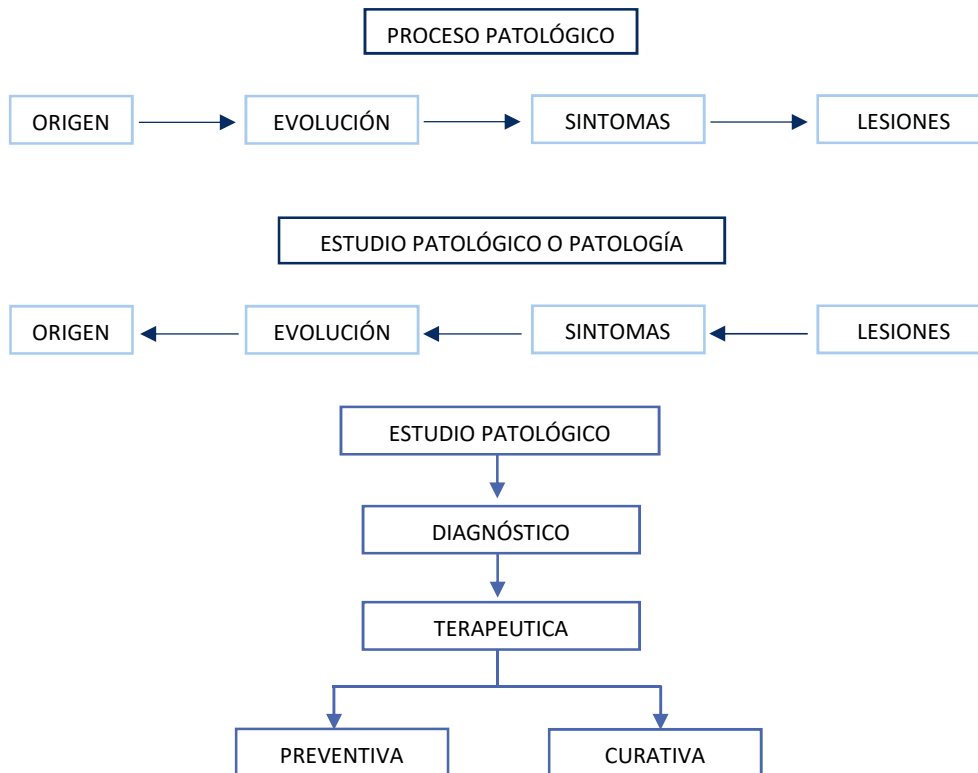


FIGURA 5: Proceso y estudio patológico. (G. Lozano Apolo.1993)

En el edificio o en un ser vivo, la enfermedad que padecen sigue un proceso, que se genera a partir de un mal, evoluciona y si no se resuelve a tiempo puede causar daños. Este proceso se denomina “Proceso patológico”. En cuando se detecta una lesión, inmediatamente se debe aplicar el “Estudio patológico”, que sigue un desarrollo contrario al de la enfermedad. Una vez conocidos los motivos de la misma, se elabora un diagnóstico para conocer la gravedad. El siguiente paso es proporcionar un tratamiento, ya sea para rehabilitar la parte afectada del edificio o para tratar de prevenir las lesiones que se puedan producirse.⁶

⁶ Información sacada del libro: “Cursos: tipología, patología y terapéutica de las humedades” de Geronimo Lozano Apolo (Página 27 - 28).

2.3. LA SALUD HUMANA

Como se ha mencionado en el apartado anterior, las lesiones que puedan producir los diferentes tipos de humedades pueden ser nocivos o no para la salud. En este punto se explicará cómo afecta a la salud humana las lesiones como mohos.

2.3.1. Aportaciones científicas generales

Según las investigaciones realizadas por diferentes científicos, agrupando las personas por edad, ámbito de vida, algunas enfermedades que pueda tener, etc., y reunidas en el artículo de *"Dampness in Buildings and Health: Nordic Interdisciplinary Review of the Scientific Evidence on Associations between Exposure to "Dampness" in Buildings and Health Effects (NORDDAMP)"* llegaron a la conclusión, si se vive o se trabaja en edificio húmedos existe alta probabilidad de sufrir problemas de salud, principalmente respiratorios, pudiendo ser resfriado, irritación de garganta o asma. También puede provocar dolores de cabeza o cansancio general, pero en menor grado. Por lo tanto, la relación entre la humedad y la calidad de la salud humana es fuerte y hay que procurar ambiente no húmedos y, en caso de tener humedades en el edificio aplicar el tratamiento adecuado.⁷

2.3.2. Tipos de Moho y sus efectos

Hay muchos tipos de mohos que generan diferentes problemas y tienen distintas apariencias. Pueden aparecer en diversos lugares del edificio y desprender olores a humedad desagradables. Cada tipo de moho tiene tratamiento adecuado para eliminarlo y es importante conocerlo bien para saber qué solución dar a ello.

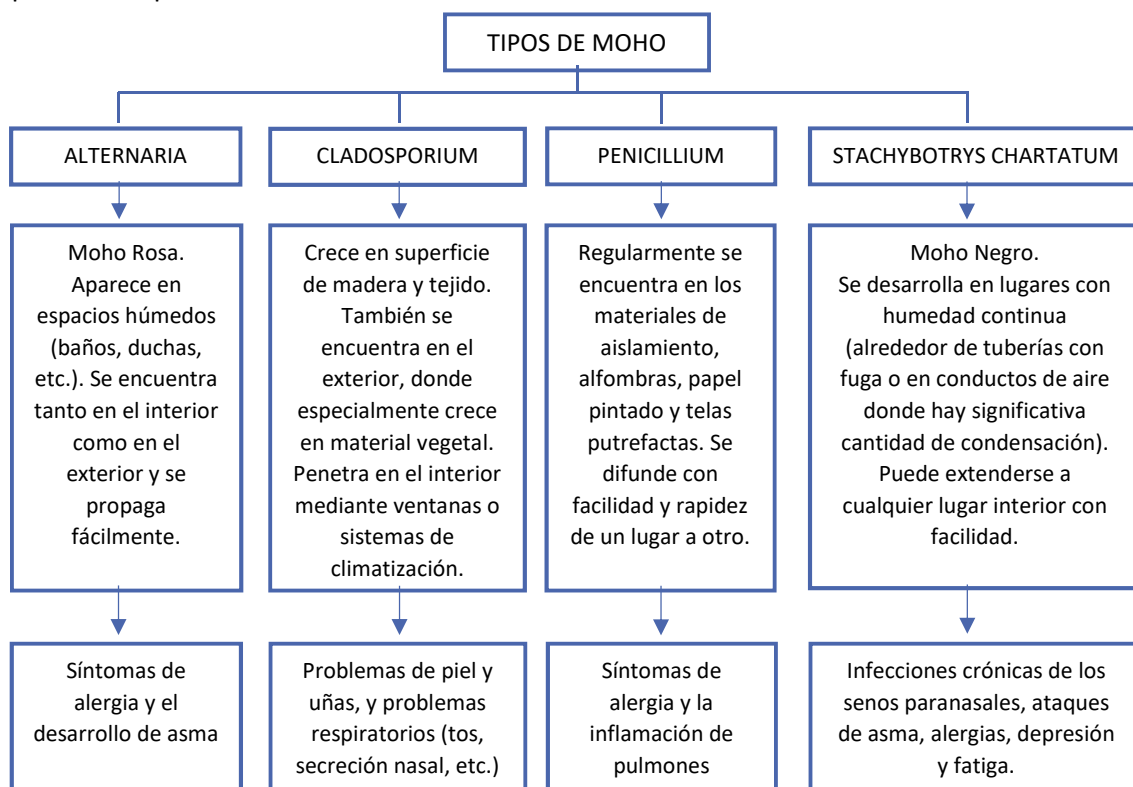


FIGURA 6: Tipos de Moho. (Elaboración propia del autor)

⁷ Información resumida del artículo de investigación de: "Dampness in Buildings and Health: Nordic Interdisciplinary Review of the Scientific Evidence on Associations between Exposure to "Dampness" in Buildings and Health Effects (NORDDAMP)"

Como se puede observar en la gráfica anterior, dependiendo del tipo de moho que pueda aparecer en el edificio, afectará más o menos la salud humana. Por lo tanto, no se trata solo de un problema estético que muchos puedan pensar si no que puede derivar a un asunto más complejo y peligroso.

El desarrollo y propagación de moho es constante en ambientes húmedos, con mucha condensación y mala ventilación del lugar. Aunque no necesariamente se necesita presencia de agua, ya que en condiciones de humedad mayor del 72%, los micelios presentes en el aire pueden llegar a desarrollarse. Por lo tanto, los hongos junto con otras bacterias pueden llegar a causar importantes problemas como la dermatitis.⁸

El efecto más nocivo en la salud humana que puede llegar a darse por lesiones de humedad es Aspergilosis. Es debido al moho negro, como indica la gráfica anterior, que es el más dañino para el ser humano, y por ello es muy importante detectarlo pronto para que no se propague más y no transforme una vivienda saludable a una perjudicial para la salud.

⁸ Información resumida a partir del contenido proporcionado de la página web: "www.humedadcontrolada.com"

3. TIPOS DE HUMEDADES

En este apartado se hablará sobre los diferentes tipos de humedades que se pueden encontrar en una obra, ya sea, obra nueva, obra de rehabilitación o si se trata de un edificio antiguo. También se expondrán que factores influyen en cada uno de ellos y que tratamiento y prevenciones son las más adecuadas, aparte de conocer la patología producida por cada uno.

3.1. Humedad de obra y de los materiales

3.1.1. Definición

Es el agua que se encuentra en los elementos del edificio, en forma de humedad, a lo largo del proceso constructivo. Debido a la presencia de este componente, se ven afectadas las características físicas de los materiales de construcción y puede producir unos cambios negativos en ellos hasta llegar a su destrucción.

Por lo que se puede clasificar según la manera en la que está contenida el agua en los materiales, que sería la siguiente:

- Químicamente combinada. Es el agua necesaria para preparar los diferentes materiales constructivos o estructurales como podría ser el hormigón, mortero de cemento, yeso, etc.
- Agua absorbida. Los elementos tienen la tendencia a aspirar el agua. Esta humedad la pueden absorber hasta el entumecimiento máximo de los mismos.
- Agua capilar. Es el agua que se filtra por la estructura porosa del material, cuanto más poroso y permeable es, mayor es el contenido del agua. Todo lo contrario, a un material poco poroso e impermeable.
- Agua adherida. Es el agua que se puede eliminar del material con dejarla escurrir o con procedimientos de secado.

Después de haber visto las diferentes maneras en las que se puede encontrar el agua en los materiales, al respecto se debe tener en cuenta las siguientes cuestiones:

- Antes de la ejecución de la obra: Recibir los materiales en su humedad de equilibrio.
- En la ejecución de la obra: Controlar la cantidad del agua, para no excederse y proporcionar los tiempos adecuados del secado y su facilidad.
- En una obra nueva o rehabilitada: Comprobar que el ambiente tenga una humedad correcta para el confort e higiene del interior.
- En edificios antiguos: Realizar la adecuada desecación tanto de los muros como de los espacios interiores.

3.1.2. Cantidad de agua necesaria en la obra

Haciendo una comparación entre la construcción tradicional y la industrial, se puede observar que una de las grandes diferencias es la cantidad de agua empleada en cada una. La construcción industrializada, al producirse en un taller controlando su curado y secado, no necesita más agua a parte de la que se utiliza en las uniones al pie de la obra. En cambio, en la construcción tradicional, la obra permanece un mayor tiempo humedecida y el secado es muy difícil de controlar y el tiempo de secado dependerá de la velocidad de ejecución de la obra.

Si se analiza la cantidad de agua requerida por diferentes materiales, se puede observar que son cifras bastante elevadas. Por ejemplo, para la elaboración de un metro cúbico del hormigón son necesarios 200 litros de agua, de los cuales 80 litros se quedan retenidos como parte del hormigón al finalizar el periodo de endurecimiento. La cantidad restante se elimina por

evaporación dependiendo de las condiciones ambientales, de la forma de curado y de lo rápido que se finalice la obra, cubriendo el hormigón con los acabados previstos. También hay que tener en cuenta que, en la fabricación del hormigón, el curado del mismo requiere agua de regado sobre todo los primeros días de su endurecimiento. Se puede estimar que en la primera semana del proceso de endurecimiento del hormigón se utilizan aproximadamente de entre 7 y 9 litros de agua, con el objetivo de aumentar la calidad del hormigón posponiendo la evaporación y manteniendo su agua de fabricación y controlando su tiempo de secado.

Otro tipo de construcción que necesita cantidad importante de agua es fábrica de ladrillo. Se observa que, para un paño de fábrica de ladrillo macizo de medio pie de espesor, compuesto aproximadamente por 46 piezas (según espesores) y teniendo en cuenta que se fabrica utilizando 20 litros de mortero por metro cuadrado de muro, son necesarios alrededor de 16 litros de agua.

Se ha de suponer que la gran parte de la cantidad de agua mencionada anteriormente se evapora y se elimina cada día a lo largo del proceso de construcción. Tanto el agua combinada químicamente como la que se evapora después de finalizar la obra, necesitan un tiempo de secado que depende del grado de ventilación y de la velocidad de ejecución del edificio, que cuanto más se tarda en finalizar la obra mayor será el proceso de secado.

Es lo que sucede en los edificios antiguos, ya que antiguamente se construía con tiempos mucho más pausados que hoy en día, por lo que la velocidad del secado era mayor y no se encontraban con los problemas de humedad debidas a los materiales de construcción.

AGUA REQUERIDA PARA ELABORACIÓN	
UNIDAD	AGUA (M ³)
M. ³ HORMIGÓN.....	0.200
M. ² FÁBRICA, 1 PIE, L. MACIZO.....	0.035
M. ² FÁBRICA, 1/2 PIE, L. MACIZO.....	0.018
M. ² FÁBRICA, 1/2 PIE, L. HUECO.....	0.013
M. ² FÁBRICA, 1 PIE, L. TABIQUE.....	0.010
M. ² ENFOSCADO, M-40 (1:6).....	0.003
M. ² GUARNECIDO, YESO GRUESO.....	0.009
M. ² ENLUCIDO, YESO FINO.....	0.004
M. ³ MORTERO, M-40 (1:6).....	0.160

FIGURA 7: Tabla de agua requerida para ejecución de los materiales. (F. Ortega. 1994)

Con lo expuesto anteriormente, y debido a la acción de la gravedad, cuando se finaliza una obra el agua que queda en el interior de los cerramientos y por los que debe evacuar, tiende a bajar causando manchas de humedad en la parte inferior de la envolvente, por lo que puede llevar a la confusión de que se trata de humedades procedentes del suelo. También suele haber una concentración de humedad en la zona de forjados y alfeizares, que no son debidas a las humedades de condensación.

3.1.3. El comportamiento de los materiales frente al agua

Existen ciertos factores que influyen en cómo y cuánto puede llegar a penetrar el agua en un material. Lo primero de todo, se tiene que saber que tipo de material es, pudiendo ser no coherente como son las arenas y las gravas o cohesivo como son las arcillas y los limos. En los dos tipos, uno de los factores que influye es su estructura porosa, que los hacen más o menos permeables. En las arenas y las gravas podemos encontrar una estructura porosa abierta e interconectada, lo que significa que tiene facilidad de absorber y expulsar el agua rápidamente,

en cambio en las arcillas y los limos este fenómeno se produce con mucha más lentitud, ya que tienen una estructura porosa cerrada y no interconectada.

Otro factor que influye bastante en que un material sea más penetrable por el agua o no, es la calidad de su superficie. Por lo que hay materiales que son muy fáciles de humedecer como lo podría ser el hormigón y se puede observar que su superficie se vuelve más oscura. Y también hay materiales que son prácticamente impenetrables por el agua como lo son el mármol o el vidrio. Este comportamiento de los materiales se debe principalmente por la llamada tensión superficial, que según las palabras de Francisco Ortega Andrade se define como: *" (...) la fuerza que se ejerce tangencialmente sobre la superficie de separación entre un líquido y un sólido. A ello se debe el hecho de que la superficie de un líquido se comporta como una membrana tensa y podemos observar cómo un insecto puede caminar por encima de la superficie del agua."*

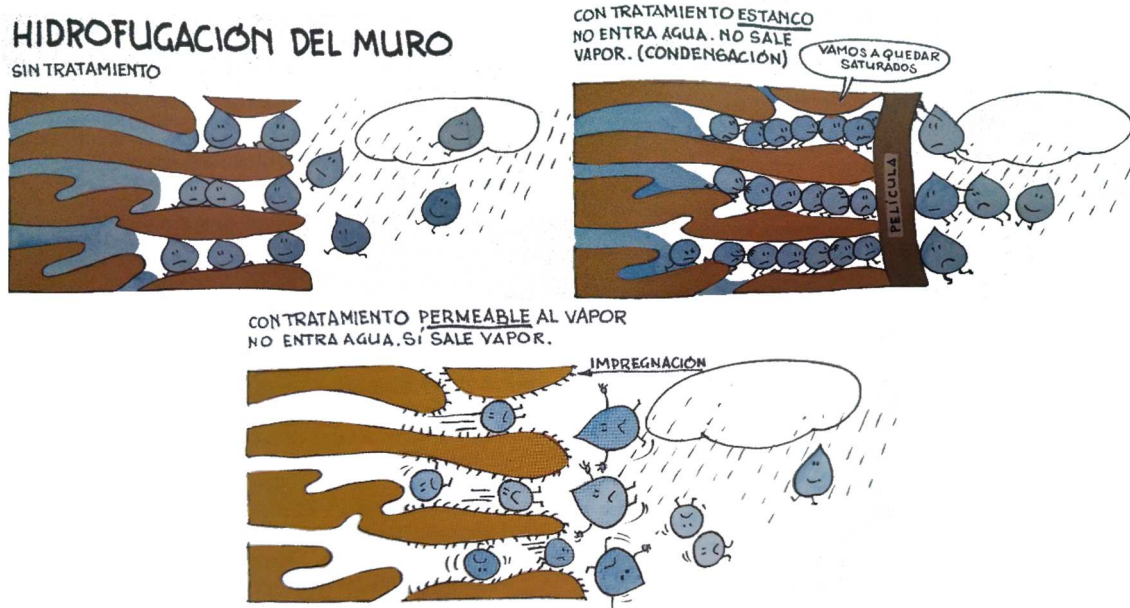


FIGURA 8: Hidrofugación del muro. (Manuel Carbonell. 1993)

Sabiendo lo anteriormente expuesto, se puede modificar la tensión superficial de un material con un tratamiento diferente para lo que se quiera conseguir. Por lo que se puede por un lado agregar una sustancia para reducir en gran medida la tensión superficial del y por otro lado se puede la disminución de la tensión superficial de líquido, dando un tratamiento superficial al material consiguiendo que sea impermeable al agua. Por ello, se debe saber que tipo de superficie queremos conseguir para darle un tratamiento adecuado.



FIGURA 9: La protección frena la respiración. (Manuel Carbonell. 1993)

3.1.4. Humedad, control de la absorción y su equilibrio en los materiales

Dado que todos los materiales tienen un cierto grado de higroscopia, es decir, tienen la capacidad de intercambiar la humedad con el entorno en el que están. En consecuencia, aparece un concepto llamado humedad de equilibrio que se trata de la humedad de cada material cuando la velocidad de transferencia del agua del mismo es nula, y su nivel de agua llega al equilibrio con la que hay en el ambiente.

Así pues, si un material se encuentra en un ambiente muy seco (con una humedad relativa por debajo de 50%), su agua se evapora con mucha rapidez, hasta llegar al equilibrio. Por el caso contrario, si el material se encuentra en un ambiente saturado (con humedad relativa mayor de 87%), este absorberá agua con la misma velocidad. Por lo que, se podría decir que tanto en un caso como en el otro tenemos transferencia de humedad con el fin de que el material se adopte al ambiente en el que está. Sin embargo, la transferencia puede ser positiva cuando se produce evaporación del agua del material y gracias a ello contribuye al secado del mismo, y, por otra parte, puede ser negativa y nociva para el material, cuando este absorbe la humedad del entorno.

Por lo tanto, la humedad de equilibrio dependerá del entorno en el que se encuentra y las propiedades que tenga el material. Para controlar esta transferencia se utilizan instrumentos fabricados con madera, ya que es un material que mantiene mayor estabilidad de la transferencia de la humedad nula.

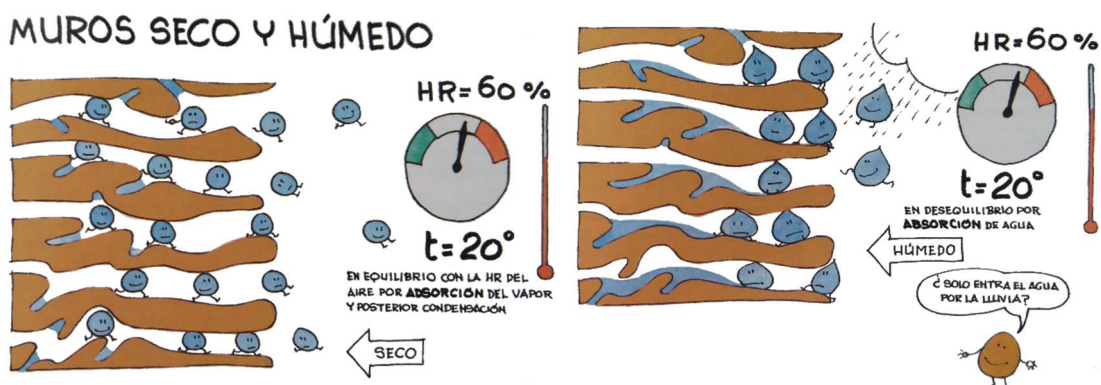


FIGURA 10: Muro seco y húmedo. (Manuel Carbonell. 1993)

Para controlar la absorción de la humedad en los materiales, existen diferentes ensayos que se pueden realizar previamente a la ejecución de la obra, con materiales extraídos de una obra acabada o para ver el estado de los materiales de una obra antigua. Los ensayos citados a continuación son los que regularmente se hacen cuando llega a la obra el material de construcción, pero también se pueden utilizar en los casos citados.

Ensayo por ciclos de pesado y secado: Consiste en tres ciclos de secado y pesado la muestra del material que se haya exterior del edificio ya construido o con el que se va ejecutar la obra. Una vez envuelta la pieza por una lámina plástica (polietileno) hasta tres capas de recubrimiento, la pieza se somete el primer ciclo a una temperatura de 105 °C que es constante durante todo el proceso, durante dos horas y luego se pesa. En el segundo la muestra se vuelve a secar en el horno, pero esta vez durante cuatro horas, y en el último, la pieza después de pesarla se vuelve a introducir al horno, pero con un periodo de 22 horas. Este ensayo solo se puede realizar en un laboratorio, no vale para ensayar a pie de la obra.

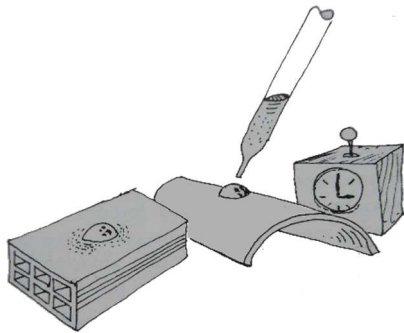


FIGURA 11: Ensayo de succión. (F. Ortega. 1994)

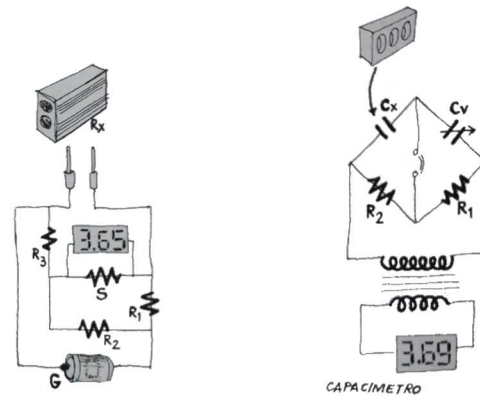


FIGURA 12: Los medidores eléctricos de contenido de humedad. (F. Ortega. 1994)

Ensayo de succión: Se trata de un ensayo de absorción sin presión. Consiste en aplica una pequeña cantidad de agua, por ejemplo, con una pipeta, sobre una superficie de rotura del material, sin ningún tratamiento o recubrimiento. Se cronometra el tiempo que tarda en ser absorbida el agua por el material, que se suele medir en segundos ya que no suele necesitar más de media hora. Sin embargo, para algunos materiales se requiere hasta una hora. Se da por finalizado el ensayo cuando el material recupera su color inicial y no se observa la zona humedecida por el agua.

Los medidores eléctricos de contenido de humedad: Este es el sistema más alanzado y el más cómodo para medir la humedad en los materiales con el simple hecho de pinchar el material con un conjunto de agujas y obtener todos los datos del porcentaje de humedad que contiene ese material. Es el sistema más oportuno de medir el grado de humedad en los edificios antiguos sin necesidad de extraer ningún tipo de muestra, y adquirir todas las medidas necesarias en un momento. También se pueden utilizar con materiales que llegan a la obra.



FIGURA 13: Ensayo por gas acetileno. (F. Ortega. 1994)

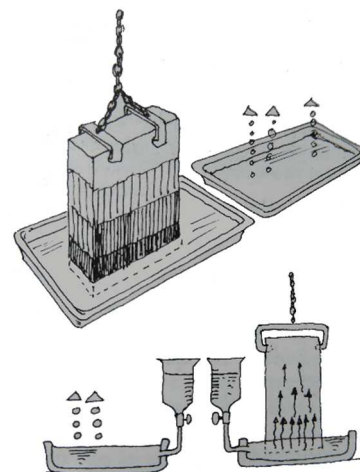


FIGURA 14: Control de absorción por inmersión de la base. (F. Ortega. 1994)

Ensayo por gas acetileno: Es un ensayo químico, que se puede realizar tanto a pie de obra como en un laboratorio. Consiste en triturar en polvo la muestra inalterada obtenida del material que se quiere ensayar. Esa muestra se coloca en un cilindro metálico y a continuación se vierte una cantidad determinada de carburo cálcico. Seguramente se tapa con la capucha manométrica y se agita. Al reaccionar el carburo con el agua de la muestra se produce gas de acetileno, que genera una presión en el recipiente que es proporcional a la cantidad de agua de la muestra.

Este es un ensayo que tiene muchas desventajas respecto a los demás ensayos o los medidores eléctricos, por lo que este tipo de ensayo se utiliza muchísimo menos.

Control de absorción por inmersión de la base: Este ensayo consiste en la comparación entre los materiales iguales. Es un ensayo propio de materiales cuando estos llegan a la obra. En dos cubetas idénticas con la misma cantidad de agua, donde en una se coloca la muestra a estudiar, de modo que no toque el fondo de la cubeta si no que se mantenga suspendida. Esta probeta se mantiene suspendida durante todo el tiempo que dure el ensayo. La segunda cubeta tiene la función de conocer y corregir los errores que puedan producirse por evaporación. En este ensayo se obtienen datos como: gramos de agua absorbida por el material, absorción de agua por la muestra y la distribución del grado de la humedad dependiendo de la altura de cada punto de la probeta.

3.2. Humedad exterior debida a la acción de la lluvia y del viento como agentes de humedades de absorción y penetración

3.2.1. Definición

Se puede decir que la humedad exterior se subdivide en tres tipos de humedades que son las de absorción, de infiltración y de penetración. Las tres humedades tienen un origen diferente, pero aparece el mismo causante, que es el agua.

Las humedades de absorción se producen cuando se genera transferencia de vapor entre la atmosfera exterior y los poros de los materiales que componen el cerramiento, cuando estos están en el proceso de alcanzar la humedad de equilibrio.

Las humedades de infiltración se originan a partir de la filtración de agua a través de las fisuras o grietas existentes en la fachada, con la acción combinada o individualmente de la lluvia, el viento y la succión capilar. Se suelen manifestar en forma de manchas tanto exteriormente como en el interior.

Las humedades de penetración son el resultado del mal mantenimiento del edificio, que permite que el agua entre libremente por huecos sin cerrar, juntas abiertas, etc. lo que causa muchas veces inundaciones en el interior del edificio y provocan graves daños materiales. Pero no suelen ser frecuentes ya que con un buen mantenimiento y buena ejecución se evitan sin gran esfuerzo.

HUMEDADES	CAUSAS	MANIFESTACIONES
ABSORCIÓN	TRANSFERENCIAS DE VAPOR ENTRE CERRAMIENTOS Y ATMOSFERA EN EL RESTABLECIMIENTO DEL EQUILIBRIO HIGROMETRICO	MANCHAD DE HUMEDAD MANCHAS DE SALES DISGREGACIONES DE MAMPUESTOS DESCONCHADOS
INFILTRACIÓN	ENTRADAS DE AGUA A TREVÉS DE FISURAS E INTERSTICIOS POR ACCIÓN CONJUNTA DE LA LLUVIA, VIENTO Y SUCCIÓN CAPILAR	MANCHAS EN PARAMENTO MANCHAS EN ENCUESTROS
PENETRACIÓN	ENTRADAS FRANCAS A TRAVES DE HUECOS, JUNTAS Y LUCERNARIOS FALTA DE MANTENIMIENTO Y ABANDONO	INUNDACIONES

FIGURA 15: Causas y manifestaciones de las humedades. (G. Lozano Apolo.1993)

Por lo tanto, el responsable de todas estas humedades es el agua de la lluvia que, combinada con el viento y la succión capilar, pueden llevar al deterioro a la envolvente del edificio. La parte que conlleva más dificultades de ejecutar, visto desde el punto de la impermeabilización, es la fachada, dado que no es posible su inclinación como por ejemplo en la cubierta, que también forma parte de la envolvente del edificio. Por ello se tienen que tener en cuenta el entorno y sus condiciones.

3.2.2. Naturaleza del lugar y los factores influyentes

La existencia de diversos climas nos lleva que existan diferentes maneras de construcción adaptadas para cada zona climática, ya que en cada una de ellas se encuentran distintas condiciones de entorno, por lo que, para conseguir el confort en el interior del edificio, sus elementos se tendrán que acondicionar a las exigencias del lugar.

Por ejemplos, en una zona tropical, se encuentran unas temperaturas elevadas, con aire seco y muchas precipitaciones, y en cambio por la noche, se produce un descenso de temperaturas y fuertes tormentas. Por lo que, en este clima, la radiación solar es la que tiene mayor influencia a la hora de ejecutar un edificio. De modo que las construcciones que se realizan en esta zona son de materiales que provienen del mismo sitio que suelen ser la tierra, el adobe y la piedra. Estos materiales funcionan de tal modo que almacenan el calor para que durante la noche mantenga la edificación caliente para soportar el descenso de las temperaturas.

En caso contrario, en las zonas de norte, el clima es mucho más frío y hay poca radiación solar, por lo que el calor se debe de generar desde el interior del edificio y mantenerse. En este caso, los materiales de construcción son diferentes, que pueden ser madera, hormigón, ladrillo, siempre y cuando tengan un adecuado aislamiento térmico y ningún puente térmico para mantener el calor en el interior. La cubierta en este clima debe tener una gran pendiente y un caparazón grueso para evacuar rápidamente las precipitaciones o la nieve. Por lo que en esta zona el determinante para la ejecución del edificio es el frío, por ellos se debe evitar a toda costa la humedad.

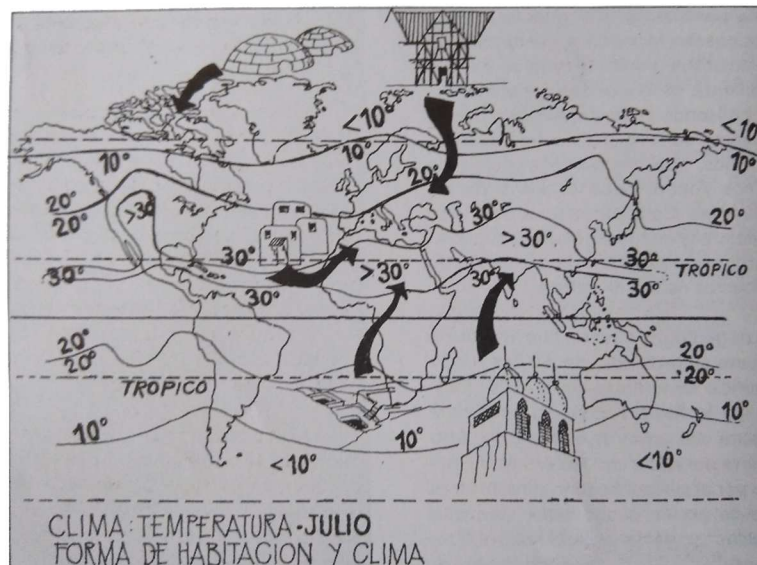


FIGURA 16: Forma de habitación y clima. (F. Ortega. 1994)

Se puede decir que la fachada es el elemento que está más expuesto a la acción de la lluvia junto con la acción del viento y la succión capilar, ya que su plano es vertical y es prácticamente imposible conferirle ningún tipo de inclinación para favorecer la evacuación de la lluvia. Por ello, se debe de estudiar ciertos elementos que influyen en el factor mojado de fachada, como actúa la lluvia y como puede afectar el viento. Por lo tanto, se pueden definir como componentes principales, los siguientes:

- **Factor de orientación:** Define la cantidad de precipitaciones y la fuerza del viento. Para conocer estos datos en la localidad deseada se puede consultar mapas de distribución de las precipitaciones, tanto a nivel mundial como nacional. Aparte de estos mapas, el Instituto Nacional de Climatología publica su "Calendario meteorológico" en el que se

puede consultar todo tipo de datos curiosos como el crecimiento de una vegetación específica, de los movimientos de las aves, las temperaturas máximas y mínimas por provincias, la velocidad del viento y su dirección, etc.

Estos son datos aproximados, por lo que si se quisiera conocer la precipitación de una localidad en especial se tendría que hacer un estudio individualizado para ello, con los datos correspondientes. En nuestra península, con respecto a la posición que tiene, las fachadas que se orientan al Suroeste son las que sufren mayores daños por la acción de la lluvia y el viento.

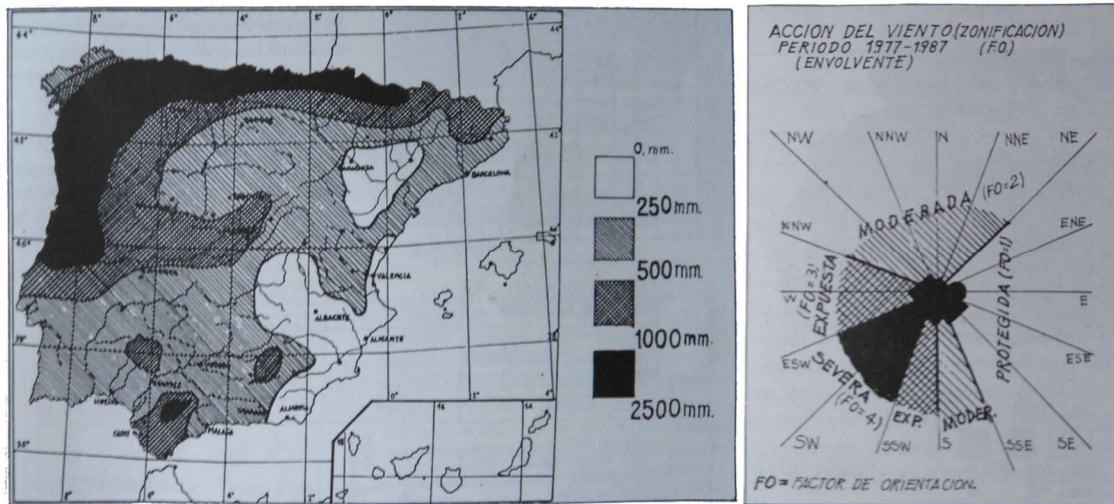


FIGURA 17: Mapa de precipitaciones y gráfica de factor de orientación del viento. (F. Ortega. 1994)

- **Factor de exposición:** Este factor engloba dos factores, el primero es el factor de la altura topográfica, es el que tienen en cuenta a que altura se ubica el edificio respecta al nivel del mar. Esta distinción es debida principalmente porque por el tamaño de las gotas de la lluvia, entre otros como la temperatura o el movimiento del aire. El segundo factor es el factor de altura de edificación, que tiene en cuenta la posición de la envolvente respecto a la cota cero del edificio. Este factor se tiene en cuenta por la acción conjunta de lluvia y viento que es función de la altura y el efecto pantalla que impone un edificio sobre otro.

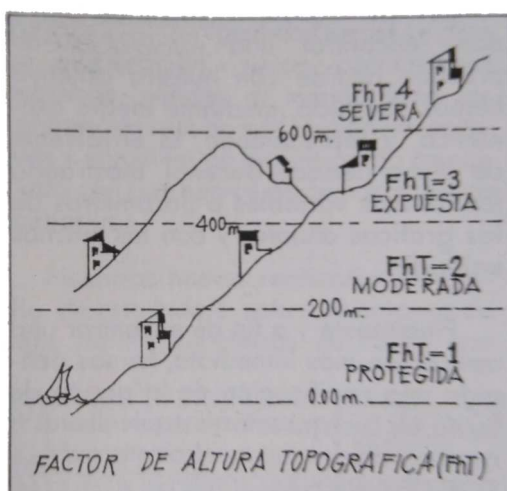


FIGURA 18: Factor de altura topográfica. (F. Ortega. 1994)

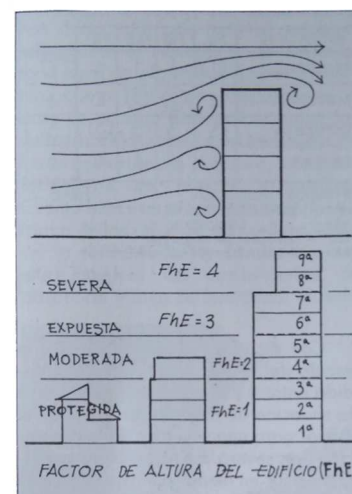


FIGURA 19: Factor de altura del edificio. (F. Ortega. 1994)

- **Factor de ángulo de incidencia:** Define el ángulo con el que incurre la lluvia en el plano de la fachada que, dependiendo de su ubicación en la calle, la altura del mismo y lo que pueda influir el viento, tendremos diferentes ángulos de incidencia que pueden afectar al plano de la fachada.

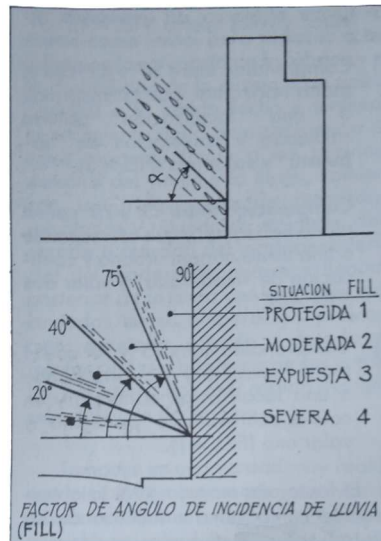


FIGURA 20: Factor de ángulo de incidencia. (F. Ortega. 1994)

Se puede observar que el factor principal que influye en la determinación del factor mojado de la fachada es el viento, por lo tanto, se tiene que tener en cuenta en las diferentes obras desde la primera fase del proyecto, ya sea de obra nueva, de rehabilitación, etc.

3.2.3. La humedad de absorción propia de los cerramientos

La humedad de absorción se produce dependiendo de la diferencia del potencial, de la porosidad y de los componentes del muro, que condicionan la velocidad de transferencia de vapor entre la humedad ambiental y el de cerramiento, y la cantidad de agua absorbida. En el invierno, los días húmedos el cerramiento absorbe agua, mientras que, en verano en los días secos el proceso es el contrario, el cerramiento transfiere vapor al ambiente exterior.

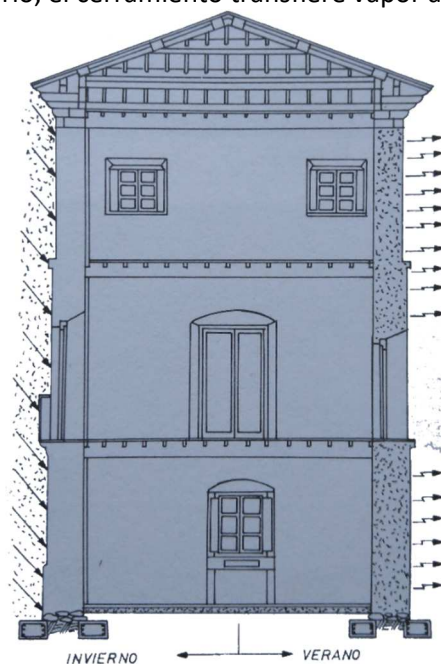


FIGURA 21: Proceso de transferencia de vapor. (G. Lozano Apolo. 1993)

Por eso este fenómeno es característico de la envolvente y el más singular de los edificios antiguos. Aunque los signos de esta humedad son más visibles cuando los materiales de construcción tienen más años y empiezan a deteriorarse. Con el paso del tiempo los materiales, y en especial, el mortero se va descomponiendo y con los lavados que produce el agua de la lluvia, aparecen más poros, en los que gracias al agua se forman sales recristalizadas que generan una estructura de poros abiertos.

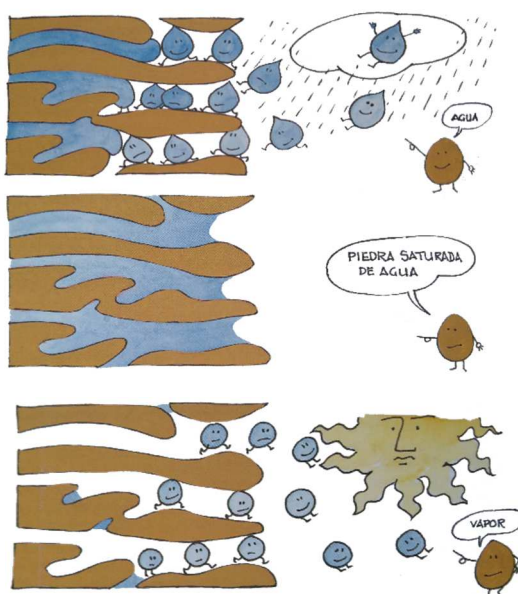
En consecuencia, el agua consigue un camino libre a lo largo del muro por el que circular y especialmente entre el soporte y el revestimiento, donde controla el sentido del flujo de presión de vapor. A causa de las sales que se disuelven, quedan sales anhidras que capturan la humedad sin ninguna actividad mecánica. Por lo que cuando se satura el material, estas lo mantienen frío durante ese periodo y así disminuye su coeficiente de aislamiento térmico, originando sobre todo condensaciones y la patología que conlleva eso. También pueden provocar otro tipo de patología como, por ejemplo, desprendimientos, abombadas o fisuraciones en el revestimiento de la envolvente.

3.2.4. Lesiones en la fachada. Eflorescencias

Probablemente la patología más visible y más frecuente en los cerramientos son las eflorescencias que pueden derivar a lesiones más graves. Por ello es importante saber su origen y su proceso de desarrollo, así como prevenirlas y tratarlas de manera correcta, ya que, al ser un proceso químico, su estudio se vuelve más complejo.

Las manchas blanquecinas que son el síntoma de las eflorescencias, las provoca el proceso de cristalización que consiste en la evaporación del agua de las sales que se encuentran disueltas en el material y que al disgregarse del líquido generan sustancias sólidas en forma de cristales. Estos cristales, que también llamados hidratos, pueden llegar a perder más agua hasta convertirse en polvo, que realmente se transforman en sal anhidra. Aunque puede darse el caso donde la sal anhidra pueda absorber agua y convertirse en hidratos.

LLUVIA EN MURO SIN SALES



LLUVIA EN MURO CON SALES

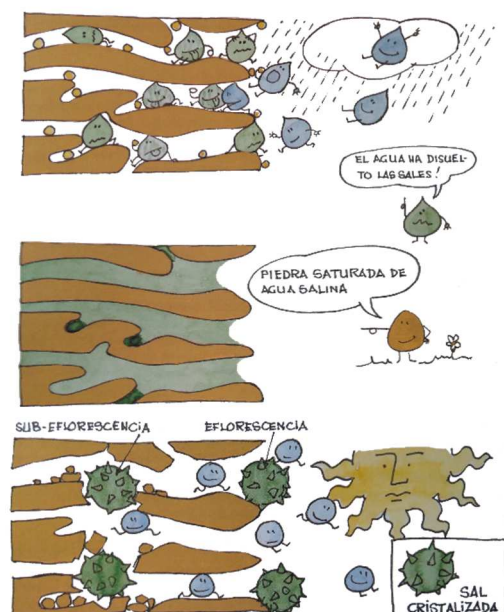


FIGURA 22: Lluvia en los muros sin sales y con sales. (Manuel Carbonell. 1993).

En general, en todos los materiales de construcción de origen mineral se puede encontrar diversos componentes solubles, los que pueden sufrir el proceso de hidratación y provocar

eflorescencias. Las sales o los hidratos se componen mayormente de sulfatos alcalinos y de magnesio, nitratos y carbonatos, por lo que todo material mineral que contenga alguno de estos elementos puede dar lugar a la hidratación. Este fenómeno condiciona mucho a la durabilidad y seguridad de los materiales de construcción, por ello se debe de prestar mucha atención en su correcta ejecución y protección.

Sin embargo, si no se da un cambio en el contenido de agua de los componentes mencionados, no se producirá el proceso de cristalización. Por lo tanto, se puede decir que el agua es el elemento responsable de producir esas manchas blancas en la envolvente del edificio. Este cambio de humedad en los materiales puede darse en forma de agua de cantera, agua de lluvia, agua de obra, agua en forma de vapor o agua capilar del suelo. Por ello es importante saber la procedencia del agua y controlar sus componentes, ya que puede contener elementos contaminantes activos y ser la causa principal de las eflorescencias y no actuar solo como componente con poder disolutivo. Otro origen de las eflorescencias, pueden ser los compuestos que llevan las piezas cerámicas, a causa de los combustibles utilizados en su cocción.

Por otra parte, otras causas pueden provocar otro tipo de patologías, como por ejemplo criptoflorescencias, que consiste en la cristalización de las sales, pero en vez de producirse en los poros interiores del material se producen en los poros más cercano a la superficie. Por lo que provoca disgregación del material ante la lluvia y el viento. También es culpable de los desprendimientos del revestimiento, así como su abombamiento. Otro tipo de procesos que comprometen a la seguridad y la durabilidad de materiales son la heladicidad, la dilatación térmica, los sulfatos y los caliches.

3.2.5. Lesiones en la fachada. Líquenes

Otra patología que se puede observar regularmente en edificios antiguos, no tanto en obra nueva, son los líquenes. Son elementos compuestos por algas y hongos, donde cada uno tiene una función que hace posible el desarrollo de especies vegetales. Las algas generan la fotosíntesis con lo que aportan los hidratos de carbono necesarios, y los hongos suministra los elementos minerales para producir una base para la vida vegetal.

Por lo que los líquenes son los culpables dar lugar a la vegetación en la envolvente del edificio. Se pueden encontrar todo tipo de especies, con una colorización muy variada y policromía mezclada, por lo que su clasificación es muy extensa.

3.3. Humedad de condensación

3.3.1. Definición

Estas humedades se originan a partir de la licuación del vapor de agua sobre o en el interior del cerramiento, que se genera en algún punto del interior de la vivienda. Normalmente se manifiestan en ambientes interiores que tienen insuficiente aislamiento térmico y tampoco disponen de ningún tipo de calefacción por lo que para mantener el calor interior no se produce ventilación.

El desarrollo de estas humedades de condensación comienza cuando la temperatura interior es mayor que la exterior, y junto con eso si la presión de vapor de agua originada en el interior es mayor que en el exterior, el vapor de agua no puede evaporarse hacia el exterior por lo que acaba licuando en el interior del ambiente en un punto que recibe menos luz natural.

Este fenómeno se hace visible a corto plazo mediante diferentes maneras como: se observan condensación de vapor de agua en superficies acristaladas o pulidas. Y a largo plazo se puede

apreciar síntomas como: desgaste de los enlucidos y revocos en la parte inferior, manchas negras que se desarrollan en hongos en las partes del interior menos ventiladas y sin luz, y también se pueden manifestar en el interior del cerramiento, debilitando el aislamiento térmico y disminuyendo su vida útil.

3.3.2. Importancia de la temperatura y de la humedad

Antes de definir cuál debe de ser el ambiente interior adecuado de una vivienda para evitar las humedades de condensación y sus respectivas manifestaciones, se debería de conocer los dos conceptos fundamentales de este fenómeno, que son la temperatura y la humedad.

Estos dos conceptos son los principales para entender cómo se produce la condensación y como combatirla o evitarla. Dependiendo de lo que se quiera saber, tanto la humedad como la temperatura recibe diferentes denominaciones. En el caso de la humedad se pueden destacar dos tipos de ellas.

La primera se denominaría "Humedad absoluta" que según Francisco Ortega Andrade significa: "*(...) es el valor de la masa de agua contenida, en forma de vapor, en un metro cúbico de aire y expresada en gramos. (...)*". Se puede decir que para un técnico de edificación el valor de una humedad absoluta no le aporta básicamente nada cuando se trata de acondicionar una vivienda. La segunda humedad que se puede definir es "Humedad relativa" que según Francisco Ortega Andrade se trata de: "*(...) la relación entre la presión de vapor de la mezcla de agua – aire y la presión de vapor de la mezcla saturada. Ambos, a la misma temperatura. (...)*". Al ser este un concepto que relaciona un aire determinado con los tres factores importantes que influyen en la condensación que son, su humedad, temperatura y su presión de vapor, este será el valor que se utilizará para acondicionar adecuadamente una vivienda.

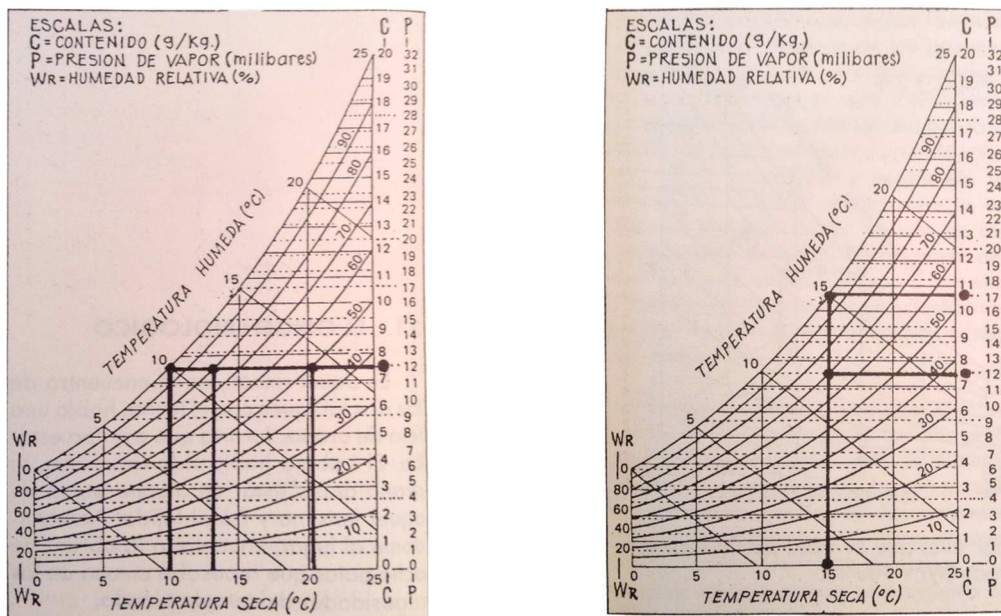


FIGURA 23: Diagrama psicrométrico: Humedad absoluta (izquierda) y Humedad relativa (derecha). (F. Ortega. 1994)

La herramienta que se utiliza para relacionar tanto la humedad como la temperatura es el diagrama psicrométrico, en el que se pueden comprobar los dos valores de humedades y ver sus aportaciones. También se puede observar que es lo que pasa cuando se varia la temperatura de un espacio o se modifica su contenido de vapor de agua. Esta herramienta es la que ayuda a combatir los problemas de condensación y acondicionar un local.

Como se ha dicho, el otro concepto es la temperatura, que dependiendo de donde se mida o en que condiciones, se obtendrá un valor u otro. Por ejemplo, la temperatura que puede medir cualquier persona en un termómetro normal, en el cual el aire está en contacto con el bulbo, se define como "Temperatura seca". Otro tipo de temperatura que podemos medir es la "Temperatura húmeda" que consiste en medir la temperatura con un termómetro en el que su bulbo está cubierto con un fieltro mojado (en condiciones saturadas), se denomina termómetro húmedo. El valor que se obtiene es de una temperatura en un aire saturado y en movimiento, con lo que se acerca a una temperatura se sensación, pero subjetiva.

El parámetro con el que realmente se define la sensación térmica del cuerpo humano, y permite establecer un ambiente de confort teniendo en cuenta la humedad relativa, la temperatura seca, y la velocidad del aire ambiente se denomina como "Temperatura efectiva corregida".

Para obtener el valor exacto de todas estas temperaturas y teniendo en cuenta la humedad relativa se utilizan otro tipo de ábacos, en los que se relacionan todos estos conceptos y ayudan en el acondicionamiento correcto de un local para así evitar las humedades de condensación.

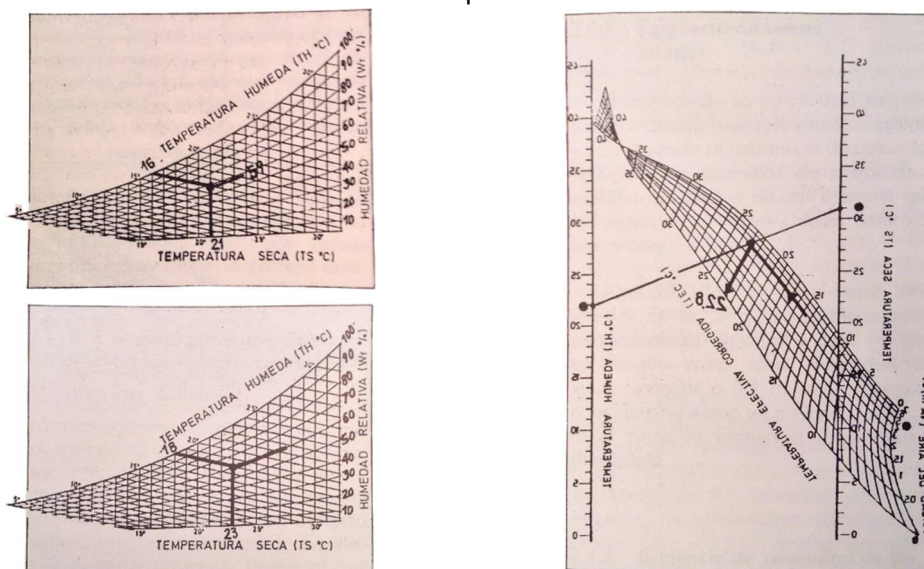


FIGURA 24: Ábacos de temperaturas seca (Izquierda superior), húmeda (Izquierda Inferior) y efectivas (derecha). (F. Ortega. 1994)

3.3.3. Exigencias de confort interior

El objetivo que se persigue con el estudio de estos conceptos no es solo de conseguir espacios sanos, sino que también generar espacios de confort en el que su ocupante se sienta cómodo. El ambiente de confort se rige mediante el porcentaje de humedad relativa que, si se lleva al extremo, con valores inferiores al 35% se crea un ambiente en la que se generan dificultades respiratorias. Y si se supera el 85% se produce un ambiente que puede causar enfermedades pulmonares.

Por lo tanto, las condiciones de confort se establecen entre el 35% y el 85% de humedad relativa, pero se tienen que tener en cuenta otros factores, ya que con estos valores de humedad pueden desequilibrar el ambiente de confort. Esos factores aparte de la propia temperatura interior y la humedad relativa, influye también la denominada dispersión metabólica, que consiste en un flujo calorífico que produce el cuerpo humano al realizar cualquier actividad.

Así pues, a la hora de acondicionar un local se debe tener en cuenta la actividad que se vaya a desarrollar en él, ya que se puede producir mayor o menor flujo térmico dependiendo de la

actividad. Para que un espacio este bien acondicionado, el cuerpo humano debe tener una determinada sensación térmica con la se sienta a gusto. En ello influyen parámetros como la posición del mismo respecto a las ventanas o huecos exteriores, la velocidad del aire entre valores como 0,1 m/s que se considera el aire quieto que es el perfecto para el desarrollo de cualquier actividad, y hasta valores de 2 m/s que serían desfavorables para el confort.

Otra condición para cumplir con un ambiente de confort es la sequedad de los elementos, excepto en los que se prevé la recepción del agua en vapor, estancias como la cocina o el baño. Por lo que estos elementos deben ser proyectados de tal manera que el agua que pueda humedecerlos no se transmita a otros espacios o elementos del interior. Además de estas condiciones también se debe cumplir la condición de aire limpio, ya que la combinación de las temperaturas y la humedad pueden dar lugar a hongos u otros microorganismos que producen un olor desagradable. De la misma manera el polvo puede crear un ambiente que irrite las vías respiratorias, por lo que no es bueno para el confort.

3.3.4. Zonas de condensación o puentes térmicos

Los cerramientos que se constituyan de diferentes elementos constructivos, cada uno tiene un valor de radiación de frío – calor. Esto hace que los cerramientos tengan influencia en el nivel térmico del local, por tanto, es muy importante realizar correctamente su ejecución.

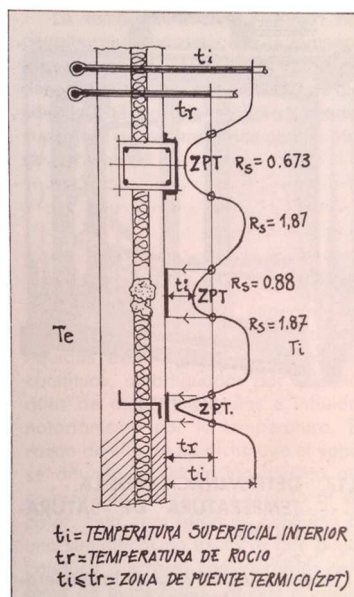


FIGURA 25: Zonas de condensación.
(F. Ortega. 1994)

Los puentes térmicos se definen como los puntos térmicamente frágiles, ya que se trata de un conjunto de puntos del interior del elemento que mantiene su temperatura superficial por debajo del resto de la superficie. Si esta temperatura es inferior al valor del punto de rocío del aire interior habrá condensación del vapor de agua en aquellos puntos.

Por lo tanto, las zonas frecuentes en las que aparecen puentes térmicos son en los puntos donde se interrumpe la cámara de aire o material aislante por la posición de los pilares, los forjados u otros elementos estructurales. Esto se debe a que se exponen en mayor superficie exterior de la fachada y por ello tienen que soportar mayores ataques del frío.

Otro elemento que es todo un puente térmico es el vidrio de la ventana, pero al tener una superficie no absorbente, se seca sin dejar ninguna mancha. Pero existen otros elementos del hueco como las mochetas o los laterales de los huecos de

ventanas o los alfeizares que son puentes térmicos con mayor dificultad a resolver, si no se hace una ventilación correcta se producirá condensación por debajo de los elementos mencionados.

También se pueden encontrar manchas en el centro de los cerramientos, aislados y en zonas que no cercanas a los rincones o lugares escondidos, eso se debe a que en la cámara de aire puede haber elementos alojados que ponen en contacto todas las capas del cerramiento.

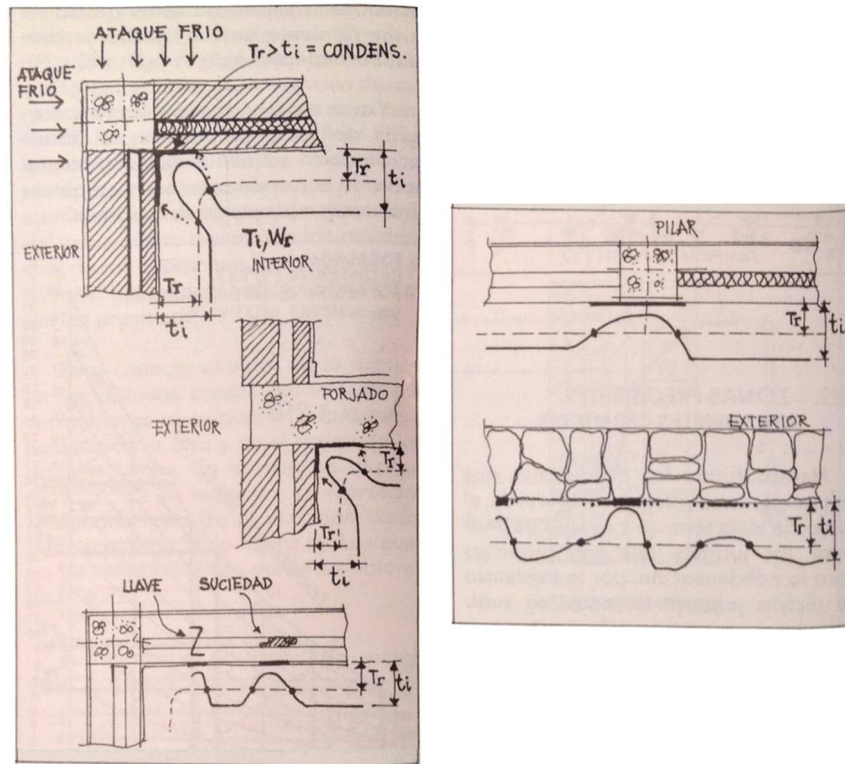


FIGURA 26: Ejemplos de puentes térmicos. (F. Ortega. 1994)

3.3.5. Síntomas

Los síntomas que provocan estas humedades de condensación son difíciles de distinguir ya que son con las que más familiarizados están los técnicos. Se tratan de manchas superficiales que de normal se encuentran en lugares oscuros y sin ventilación, que con el paso del tiempo pasa de un color pardo oscuro a un negro intenso, es cuando se desarrolla el hongo que desprende un olor muy desagradable.

3.4. Humedad ascendente

3.4.1. Definición

Se trata de una humedad que es provocada por el agua del terreno que sube a causa del fenómeno de capilaridad por el medio de los materiales hasta una cierta altura, que suele ser por encima de la rasante, por los laterales del muro donde se exponen a la vista y provocan el deterioro de los materiales.

Esta humedad se relaciona con la mayoría de las obras con más de 50 años de antigüedad, en las que no solo se hace presente el problema de salubridad, sino que también el problema de la durabilidad de los materiales a largo plazo.

3.4.2. Capilaridad y tensión superficial del material

Las principales causas de esta humedad son el fenómeno de la capilaridad y la tensión superficial, que hacen posible que el agua del suelo se filtre en la cimentación del edificio y fluya hacia otros materiales para causando su deterioro.

Por tanto, es importante conocer cómo funciona la capilaridad y la tensión superficial, para poder prevenir y evitar el deterioro de los materiales. Así pues, se puede definir la capilaridad como la característica que poseen los fluidos de difundirse a través de la estructura porosa de los materiales, desde el terreno hasta una altura variable de los mismos. Esta propiedad de los

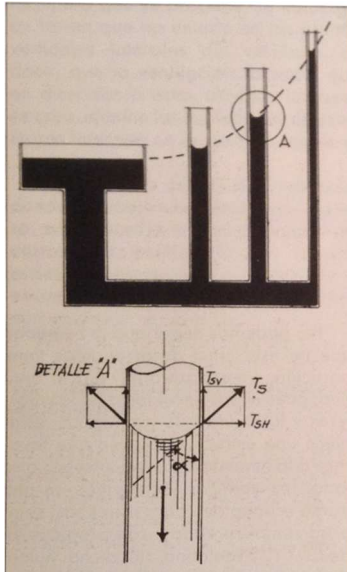


FIGURA 27: El fenómeno de la capilaridad. (F. Ortega. 1994)

fluidos dependerá de las características intrínsecas de cada material, que condicionan el descenso y el ascenso capilar, por ejemplo, la superficie del material y su estructura porosa, si es más ancha, el recorrido del agua será más corto, y si es más estrecha el agua adquirirá una altura mayor.

La ley de Jurin, relaciona la altura capilar con la tensión superficial del material, por lo permite conocer datos importantes respecto a cómo funciona la capilaridad. Lo primero, es que la altura capilar, a través de la tensión superficial y la densidad, se relaciona con la temperatura, donde la densidad depende de la viscosidad del fluido. Y lo segundo que la altura capilar no depende de la cantidad de agua que puede haber debajo del edificio, por lo tanto, modificando e volumen de agua no modificaremos la altura capilar.

Otro hecho importante es que como la Ley de Jurin se basa en estudios realizados en un laboratorio, en la práctica más concretamente en los edificios, la humedad ascendente no es la misma para todas las caras de los edificios si no que la orientación de los muros influye bastante, y ese hecho no se determina en los laboratorios. Por lo que, las fachadas que estén orientadas al norte padecerán de más cantidad de humedad ascendente de las que están orientadas al Sur.

Como se ha podido observar la tensión superficial tiene un papel fundamental en el fenómeno de la capilaridad. Por lo tanto, se puede definir como la capacidad energética necesaria para incrementar la superficie de un líquido por unidad de área. Según Francisco Ortega Andrade esta capacidad energética: “ (...) se desarrolla generando un sistema espacial de fuerzas tangenciales en la interfase superficial de un líquido con cualquier otro medio. (...)” .

Gracias a la tensión superficial el líquido adquiere una resistencia.

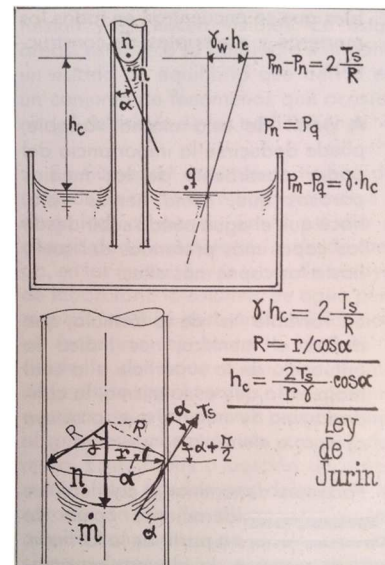


FIGURA 28: La Ley de Jurin. (F. Ortega. 1994)

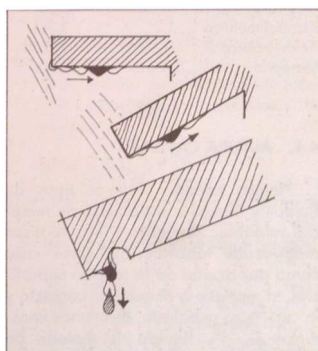


FIGURA 29: La tensión superficial. (F. Ortega. 1994)

El comportamiento de la tensión superficial un elemento sólido depende mucho de la calidad de la superficie sobre la que actúa, ya que si la superficie de este medio sólido tiene un cierto tratamiento que lo deja impermeable, obviamente la adherencia entre la tensión superficial del líquido y la superficie será nula. También, dependerá de la superficie propia del material sobre el que actúa, cuanto más poroso sea más adherente será la conexión entre ambos elementos.

3.4.3. Síntomas y su desarrollo

El síntoma más evidente de la humedad ascendente es la presencia de una banda oscura que se ubica en las zonas bajas de la edificación, en forma de un zócalo húmedo. Aparte de este peculiar signo, también aparecen lesiones como el deterioro de los materiales, desprendimiento de los revestimientos, roturas alveolares, que son efectos causados por las eflorescencias.

Como se ha visto en el apartado de la humedad de condensación, aparecían eflorescencias de las sales reorganizadas, pero en ese caso eran superficiales. Estas humedades presentan la misma patología, pero con una diferencia y es que la humedad no es superficial por lo que el contenido de sales que se ponen en contacto con el agua no solo son superficiales, sino que también afecta las que pueden encontrarse en el núcleo del muro. Por ello, la franja húmeda que se puede ver en la edificación tiene en su coronación una línea de color blanquecino que es debido a las sales que arrastra el agua que proviene del suelo.

Estas eflorescencias aparte de tener un efecto negativo estético sobre el edificio también afectan mecánicamente a la estructura porosa de los materiales del muro. Esto se produce por la distribución de sales que genera el agua. Por ello es importante conocer de que tipos de sales se trata, si son propias de los materiales o provienen del agua del suelo, ya que estas últimas suelen ser de procedencia orgánica.

Así mismo, es importante saber si esta franja húmeda en la edificación se debe a un problema puntual, de carácter accidental como podría ser, la rotura de una tubería, arqueta, de redes de abastecimiento cercanas al edificio. O, por el contrario, si se debe a un problema permanente, por las características del suelo, pudiendo ser una acequia, acuífero, etc.

La extensión de estas superficies húmedas que se manifiestan por agua procedente de subsuelo, que realmente son planos de evaporación, están forzadas por el equilibrio del flujo, donde los factores principales que influyen en su desarrollo son:

- La orientación de las fachadas de la edificación
- La temperatura ambiental
- Las propiedades intrínsecas de los materiales de la construcción
- Los cambios estacionales

Se puede observar que las fachadas de los edificios orientadas al Norte, la banda húmeda tiene mucha mayor altura que en las demás fachadas que no lo están. Eso se debe a que la evaporación en la cara Norte es mucho menor, ya que es la parte más sombría y menos aireada.

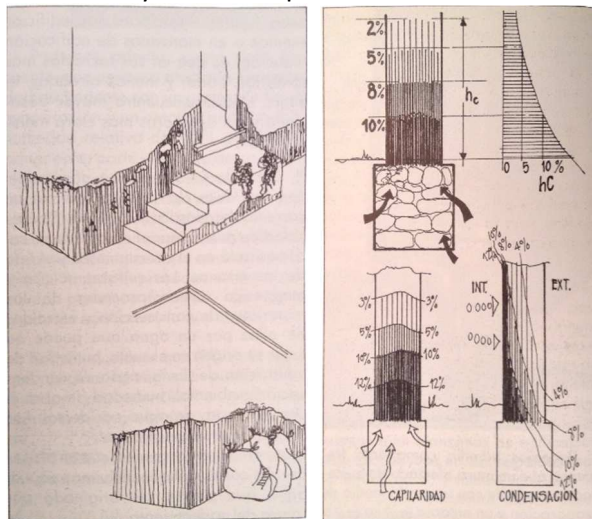


FIGURA 30: La altura capilar. (F. Ortega. 1994)

También influye mucho el cambio estacional, ya que con las temperaturas más altas y el ambiente más seco, el agua del suelo puede perder su saturación y generar succión en los muros que producirían la extracción del agua de los materiales y acelerarían la evaporación de las superficies, lo que causaría un descenso de la altura capilar.

Muchas veces para ocultar la franja húmeda, se recubre esa zona con azulejos o cualquier otro material, u obstáculos como podrían ser algunos peldaños u obstáculos de cualquier tipo. Esto es un grave error ya que, al tapar la superficie de evaporación, se produce una alteración del equilibrio del fluido y para reponerlo el agua deberá incrementar la altura capilar para equilibrarse. De modo que, con el aumento de altura capilar, el agua puede llegar a otros elementos que antes no llegaba y producir lesiones en los mismos.

3.5. Humedad accidental

Se trata de humedades que no se hayan expuesto en los apartados anteriores, a parte de las que se producen a causa de rotura de red de abastecimiento propio del edificio o de edificación colindante, por falta de mantenimiento, por regado de zonas ajardinadas, etc.

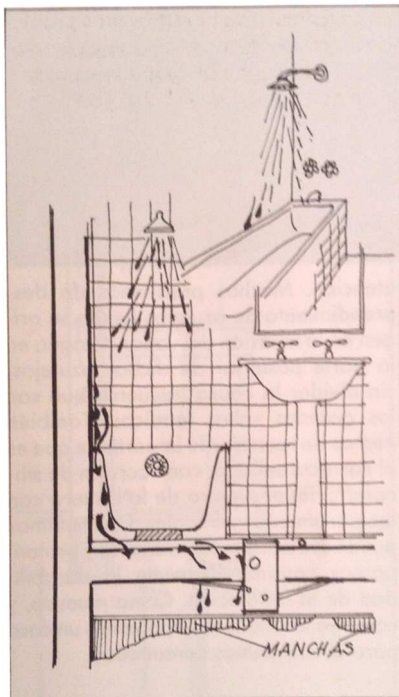


FIGURA 31: *Ejemplo de humedad accidental en zonas húmedas. (F. Ortega. 1994)*

Pueden darse diferentes casos en los que las humedades causadas por accidentes que confunden respecto a su procedencia, por lo que es importante saber el origen y las causas exactas de estas humedades para aplicar el tratamiento debido. Por ejemplo, si al vecino de arriba se le rompe alguna tubería en la zona del baño, el que esté viviendo en el piso de abajo le aparecerán manchas de humedades en la parte superior de las paredes, u otro ejemplo podría ser cuando se rompe una red de saneamiento, pueden llegar a afectar seriamente a la cimentación del edificio, sobre todo en los edificios que estén cimentados en arcillas expansivas.

En conclusión, este tipo de humedades son fáciles de evitar con un buen mantenimiento y ejecución de la edificación y sus respectivas redes de abastecimiento.

4. Estado del arte

Este es el punto en el que se realiza un viaje por la historia para conocer en que momento han empezado las investigaciones y los estudios sobre las humedades que afectan a los materiales de construcción y edificaciones ya construidas.

Aquí se desarrollarán los diferentes puntos, empezando por el pasado y los orígenes, pasando por el presente para exponer las diagnosis y los estudios que proponen los grandes comerciales y al final, una visión futura y presentación de las diferentes investigaciones recientes que se están llevando a cabo en diferentes instituciones españolas.

4.1. Primeros estudios de la humedad

4.1.1. Antecedentes

El pasado forma una parte muy importante de la existencia del ser humano. Gracias a ello la humanidad ha podido crecer y evolucionar, y ahora con las herramientas que se disponen, se pueden descubrir más cosas del pasado para aprender de los errores cometidos y mejorar.

Al ser humano desde los inicios de su vida lo que le ha diferenciado de otros seres vivos es la razón, la cual le llevo a descubrir la creatividad y utilizar la razón para ello. La cita de Le Corbusier⁹ que dice: *"No hay hombre primitivo, hay medios primitivos. La idea es constante y está en potencia desde comienzo."* en su libro de: *"Hacia una Arquitectura"* donde hace una reflexión de todos los aspectos relacionados con el arte de construir, claramente destaca que la potencia que tiene un ser humano de crear no depende del mismo si no de los medios de los que dispone. Por ello la humanidad en los últimos años ha evolucionado a velocidad de vértigo en prácticamente todos los aspectos relacionados con el ser humano.

Ahora bien, en el campo de la patología de las humedades, ha habido diferentes investigaciones que han podido realizarse gracias a los medios y estudios aportados del pasado por los genios de física y química, sobre todo.

Desde la prehistoria en Grecia aparecieron matemáticos como Pitágoras (569 a.C. – 475 a.C.) o Arquímedes (287 a.C. – 212 a.C.) que arrojaron luz sobre conocimientos físicos hasta entonces no descubiertos. Aparte de ser matemáticos fueron filósofos, físicos y desempañaban otras labores. Aproximadamente en el siglo XVI, aparecieron otras figuras importantes en la ciencia como Galileo Galilei (1564 – 1642), que creó las bases de hidrodinámica, que posteriormente fueron desarrolladas por su discípulo Evangelista Torricelli (1608 – 1647) que inventó el barómetro, el cual permitió a Pascal (1623 – 1662) determinar la presión atmosférica, lo que es bastante útil en el estudio de las humedades. En el siglo XVII, se descubrió el campo de la química por Robert Boyle (1672 – 1691) que se considera el primer químico moderno, que gracias al cual hoy en día se pueden utilizar sus descubrimientos para estudiar el comportamiento entre diferentes materiales.

En este mismo siglo, el científico Isaac Newton (1642 – 1727) apporto diferentes estudios y formulaciones físicas en muchos campos de la ciencia, igual que John Dalton (1766 – 1844) en el siglo XVIII, que estableció leyes que permiten en la actualidad relacionar las causas que provoca el agua en los edificios debidos a diferentes factores como absorción, gravedad. Una de estas leyes se llama *"Ley de las presiones parciales"*. Después de ellos han ido apareciendo otros

⁹ La cita de Le Corbusier mencionada en el dossier: " Técnicas de intervención en el patrimonio arquitectónico" de Profesor Manuel Jesús Ramírez Blanco.

científicos importantes en nuestra historia como Albert Einstein (1879 – 1955), Henry Darcy (1803 – 1858) Georg Simon Ohm (1789 – 1854), etc.

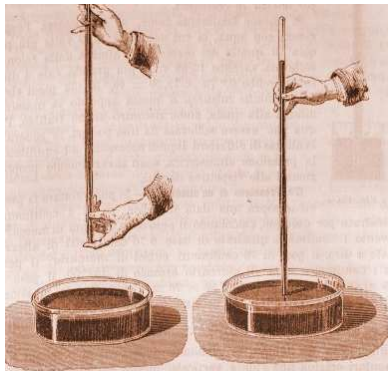


FIGURA 32: Barómetro de Torricelli

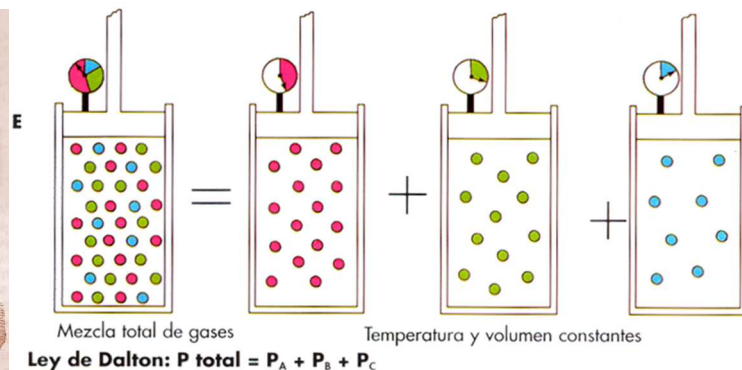


FIGURA 33: Ley de Dalton. Presiones parciales

4.1.2. Estudios de las humedades

Llega un momento en la historia en que los arquitectos o los ingenieros que se encargaban de las construcciones empezaba a darse cuenta de que los edificios más antiguos con el tiempo manifestaban lesiones que antes no tenían. Por lo que, empezaron a dar más importancia a las causantes de estas lesiones, que los más problemáticas eran las causadas por la humedad.

Es entonces cuando empezaron los estudios de como los tipos de humedades que podrían causar esas lesiones, cómo y con que técnicas se podían diagnosticar y sobre todo como hacer frente a los daños producidos sin tener que empeorar el estado del propio edificio. Estas investigaciones se han centrado sobre todo en humedades ascendentes (agua procedente del terreno) y humedades por capilaridad, ya que son las que más dificultad tiene en determinar su origen. Una de las leyes más importantes para este estudio de humedades, es la Ley de Jurin y el ensayo que realizó con tubos de diferente diámetro para demostrar que la altura que puede alcanzar el fluido en los diferentes tubos capilares es proporcional a tensión superficial del material y al ángulo de capilaridad.

Para prevenir esta humedad ascendente en los edificios de nueva construcción, a partir del año 1875 se impusieron las primeras obligaciones de disponer una capa estanca en la parte baja de los muros del edificio para evitar que el agua del subsuelo pudiera ascender por la estructura porosa de los materiales de construcción y provocar daños a los mismos. Por este motivo empezaron a surgir estudios e investigaciones al respecto estas humedades para elaborar diagnósticos con el fin de conocer el origen verdadero de las humedades de un edificio.

Así pues, en 1921 aproximadamente se fundó British Research Establishment (BRE), este organismo desde entonces se dedica a investigación, análisis, consultoría, innovación, sostenibilidad y formación en todo el campo de la construcción. Por lo que establece un procedimiento en el que realizando un control se puede determinar si se trata de humedad capilar o higroscópica, mediante un mapeo de verticales solo en zonas que se determinan como zonas de control.

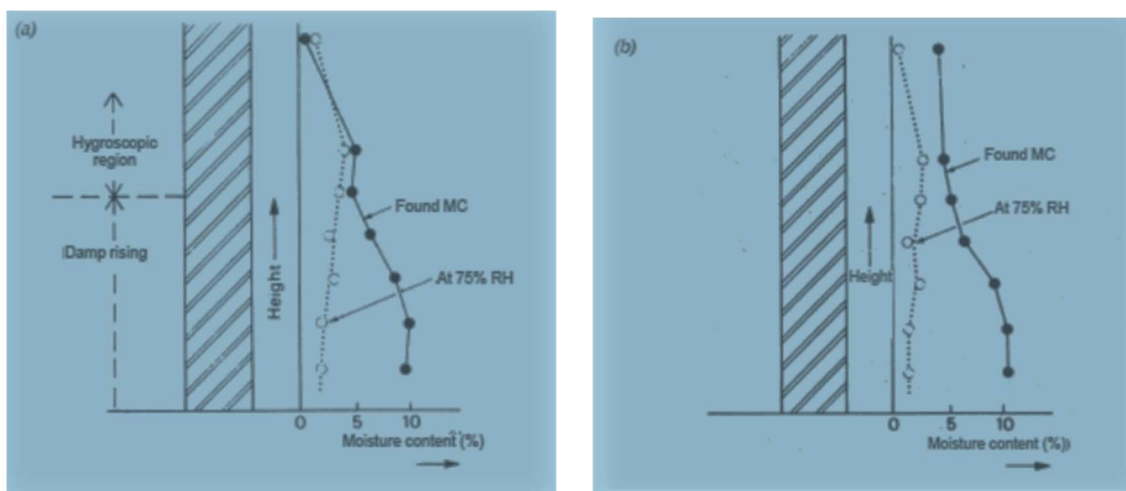


FIGURA 34: Proceso de control establecido por BRE. (BRE DG245. Juan Aznar. 2016)

El procedimiento de este control consiste en determinar una zona que se quiera inspeccionar y tomar muestras de cada 25 cm en vertical de esa zona y de 2,5 a 5 cm de profundidad en cada punto de la extracción de la muestra. Estas muestras se toman con una broca de 9 a 12 mm y se guardan en recipientes estancos para que lleguen al laboratorio sin contaminar. En el laboratorio se realizan diferentes análisis para determinar el contenido total de humedad y el contenido de humedad higroscópica de cada muestra. El resultado de la cantidad de las humedades se obtiene mediante diferentes métodos como el método ponderado o método de carburo cálcico para el caso del contenido total de humedad (MC) y otros métodos para obtener valores de humedad higroscópica (HMC), descritos en diferentes normas UNE, ISO y UNI. Una vez se obtienen todos los valores de humedad se representan en gráficas como muestra la figura 39. Para determinar si se trata de humedad ascendente o higroscópica se realiza una interpretación de los resultados, sabiendo que si el contenido de humedad existente (MC) es mayor que el de la humedad higroscópica (HMC), se trata de humedad procedente de agua del terreno, por el contrario, si la cantidad de la humedad higroscópica (HMC) es mayor que de la humedad existente (MC), significa que la humedad que absorben los materiales procede del aire o alguna otra fuente que no sea el suelo.

En conclusión, se trata de un procedimiento que si existieran sales en el material no sería válido, y, por otro lado, el muro está compuesto por diferentes materiales por lo que hay que considerar el valor de humedad más alto de todos ellos. Lo que lleva a este control un proceso impreciso para determinar y clasificar realmente el origen de las humedades, aparte de que solo se aplica a una parte del muro, por lo que no se puede aplicar al conjunto del edificio y la determinación de las causas puede ser equivocado.

Antes del año 1983, Profesor Thomas A. Oxley (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."*, realizó otro tipo de estudios relacionados con la determinación de las humedades. El procedimiento que realiza lo denomina *"Pinpointing the damp" (señalando la humedad)*¹⁰, que consiste en delimitar los límites de la humedad indicando el grado de la humedad existentes. Utiliza medidores de

¹⁰ Nombre referenciado en la tesis: "El diagnóstico de humedades de capilaridad en muros y suelos. Determinación de sus causas y origen mediante una metodología basada en la representación y análisis de las curvas isohédricas." de Juan Bautista Aznar Mollá, pág. 52.

humedad electrónicos, ya que según él es el único dispositivo que puede determinar los valores de la humedad. Para desarrollar correctamente este procedimiento, Profesor Thomas A. Oxley destaca que las mediciones que se vayan hacer deben realizarse con el mismo dispositivo, para evitar variaciones en los valores que pueden producir estos medidores. Estas mediciones, recomienda realizarlas a intervalos regulados en la zona afectada por la humedad, pero no especifica ni define la separación o distancias exactas. Una vez definidos los valores de humedad, se unen todos los puntos del mismo grado de humedad obteniendo así una gráfica de la zona afectada. Los valores obtenidos se corresponden a los contenidos cualitativos del contenido de humedad, por lo que no son valores intrínsecos. Aconseja también hacer fotografías y después de hacer la medición, compararla con las fotografías, para ver las zonas afectadas que existen y no aparecen a simple vista. En este estudio el Profesor T. A. Oxley es consciente de que, si la zona afectada presenta sales, el medidor presentara una variación de lectura en los resultados, por ello defiende la idea de que si no existiera agua en las sales el grado de humedad sería cero.

Este estudio del Profesor demuestra que la utilización de los medidores de humedad eléctricos es suficiente para poder interpretar los datos y determinar el problema de las humedades. Por otro lado, no es necesario realizar ensayos de laboratorio para determinar el grado de humedad del material, lo cual evita dañar al edificio a la hora de extraer muestras.

En el año 1985, Mr. Giovanni Massari y Mr. Ippolito Massari publicaron en su libro: *"Risanamento Igienico dei Locali Umidi. Milano: Ulrico Hoepli Editore, S.p.A."* un estudio en el que defienden que para conocer la humedad de un muro es necesario medir la temperatura y la humedad relativa del aire, ya que son los principales fenómenos que influyen en los valores de la humedad.

Su estudio, se puede decir que consiste en la combinación de los dos estudios descritos anteriormente, ya que establecen dos tipos de mediciones necesarias para conocer el grado de humedad en los muros. Una de las mediciones es superficial que se realiza con dos distintos dispositivos electrónicos, uno por resistencia eléctrica y otro capacitativo. Con estas herramientas obtienen los valores superficiales de la humedad en los materiales de revestimiento, no suelen alcanzar más de 15 - 20 mm de profundidad. Y otra medición es profunda que alcanza aproximadamente 15 - 20 cm. Con esta extracción de muestra del interior

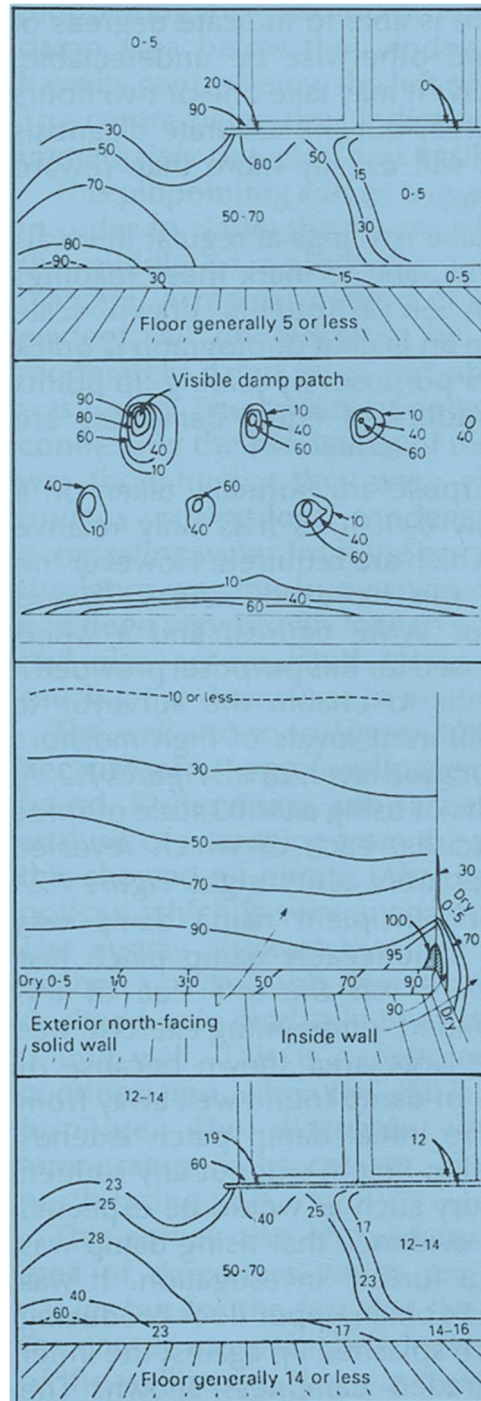


FIGURA 35: Gráficos del estudio del Profesor Thomas A. Oxley. (Oxley & Gobert. 1994)

del muro consiguen conocer el valor de la humedad en el interior donde la humedad ambiental no afecta a los materiales. Para la extracción de estas muestras se utiliza una broca hueca, donde esta pasa directa al recipiente desde el interior de la broca, para obtener mejores análisis en el laboratorio. Los métodos que suelen aplicar para estos ensayos son el de ponderación o el método de alcohol.

El modo de obtención de la muestra lo distinguen entre el edificio moderno, en el cual la humedad tiene valores constantes por lo que no es necesario sacar muchas muestras en diferentes lugares, mientras que en los edificios antiguos los puntos de obtención de las muestras están más definidos, y son necesarias más tomas para realizar un análisis correcto. También toman muestras del suelo, cosa que en los estudios anteriores se ha considerado innecesario.

Una vez obtenidos todos los resultados, Mr. Giovanni Massari y Mr. Ippolito Massari, los representan en una gráfica que denominan "*diagrama de la sección húmeda*" (*diagramma della sezione umeda*)¹¹ que puede trazarse sobre la sección vertical de un muro en una o dos de sus caras, hasta incluso se pueden dibujar los valores de humedad del suelo. Los dos hermanos tienen en cuenta el contenido de sales, pero no se preocupan por la variación que puede suponer en el grado de humedad del muro, ya que opinan lo mismo que el profesor Thomas A. Oxley, si la humedad no es nula es porque hay agua en las sales.

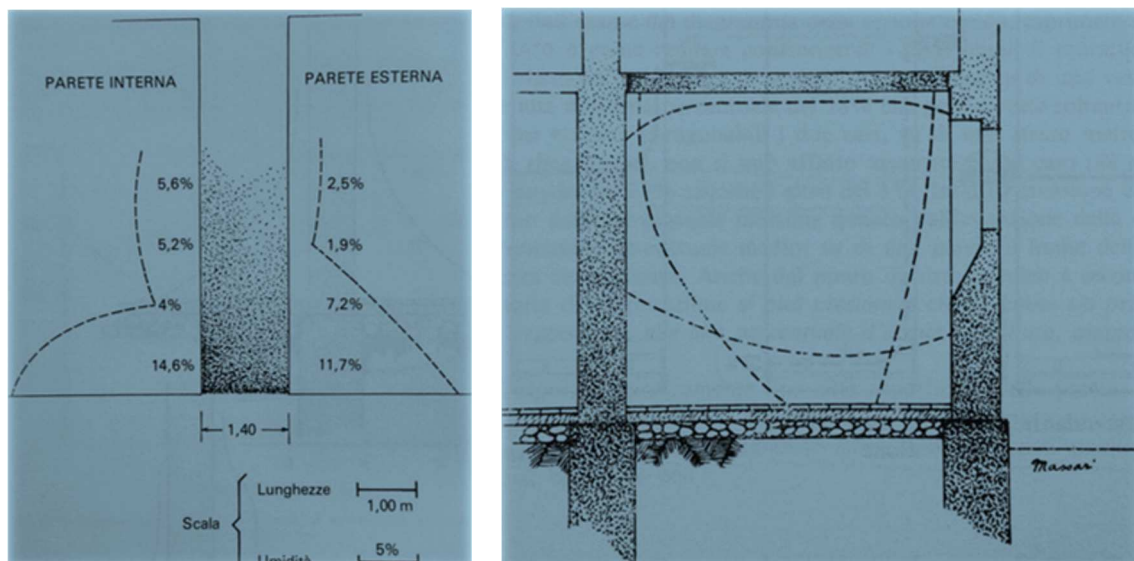


FIGURA 36: Gráficos del estudio de Mr. Giovanni Massari y Mr. Ippolito Massari. (Massari & Massari, 1985)

El profesor Angelo Salemi es ingeniero y miembro de la UNESCO, se preocupa mucho del patrimonio cultural y de su conservación, por lo que realiza varios estudios en diferentes edificios con valor patrimonial. En el año 2000, en su libro de "*Il recupero e conservazione delle fabbriche tradizionali. Le patologie da umidità*" redacta la técnica de como determinar la humedad existente en los muros.

Lo primero que se debe de hacer según él, es un estudio previo de la historia del edificio y realizar un levantamiento tanto gráfico como planimétrico para controlar mejor todas las dimensiones

¹¹ (Massari & Massari, 1985), pág. 50. Nombre referenciado en la tesis: "El diagnóstico de humedades de capilaridad en muros y suelos. Determinación de sus causas y origen mediante una metodología basada en la representación y análisis de las curvas isohídricas." de Juan Bautista Aznar Mollá, pág. 60.

y elementos de la edificación. Por lo que no es sorprendente, ya que A. Salemi cuida mucho los edificios con valores históricos y considera que este estudio previo es obligatorio.

Después de un estudio previo exhaustivo, se selecciona una zona determinada que se pretende analizar y se realiza mediciones medioambientales con la ayuda de medidores termo-higrómetros digitales para conocer las condiciones iniciales de la humedad relativa del aire en la esa zona. La medición de la humedad superficial de los muros se realiza en los puntos de la malla que elabora sobre la zona que pretende analizar. La intersección de las líneas verticales y las horizontales definen los puntos de medida. El tamaño de esta malla dependerá de las características de cada obra en la que se haga el estudio. Estas mediciones se obtienen mediante dispositivos de resistencia eléctrica. Y en los casos que sea necesario calibrar los resultados se utilizan los métodos indirectos como otro tipo de medidores y el método de ponderación.

Una vez obtenidos todos los valores en cada punto de la malla, se elabora una gráfica sobre la que se define una línea de humedad que facilita determinar el origen de la humedad existente en el muro. Profesor Angleo Salemi aconseja motorizar los resultados y realizar un control en un tiempo de un año pasado las cuatro estaciones para ver el comportamiento real del muro.

Este estudio realmente no facilita mucho la definición del origen de la humedad, ya que las mediciones son superficiales e influyen las sales que puedan contener los muros. Junto con el control de los valores durante un año, la información que realmente proporciona este estudio es el grado de degradación de los materiales.

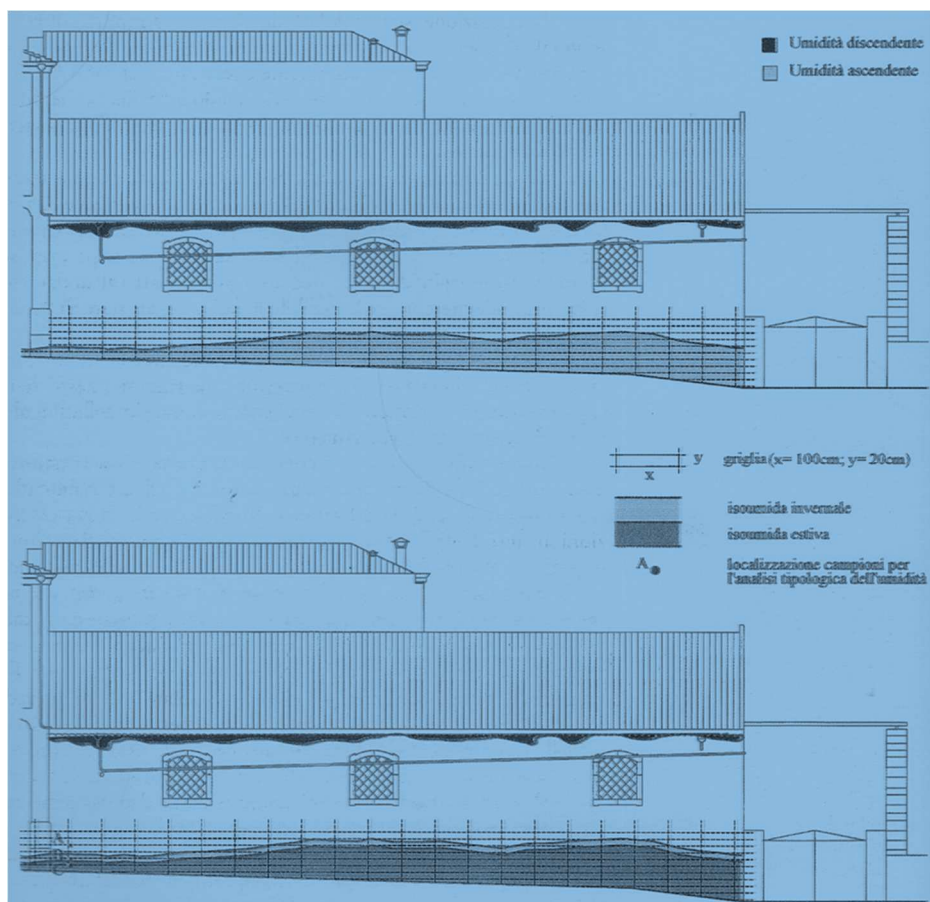


FIGURA 37: Gráficos del estudio del Profesor Angelo Salemi (2000). (Juan Aznar. 2016)

En 1994, el profesor Francisco Ortega Andrade publica el libro de: "*Humedades en la edificación*" en el que reafirma algunos conceptos expuestos anteriormente en los diferentes estudios. Uno de ellos es que reafirma que para conocer la humedad de un material se debe analizar su contenido de agua en el núcleo, y eso se realiza mediante ensayos de laboratorio. Otro concepto que determina es que los medidores capacitivos no sirven para obtener mediciones en el núcleo del muro, por lo que los dispositivos eléctricos deben ir equipados con extensiones protegidas con puntas libres para poder analizar el contenido de humedad en la parte central del muro. Otra cosa que destaca es la utilización de los "mapas" en los parámetros que se pretenden estudiar, ya que según él son de mucha ayuda y permite visualizar la proporción del problema que provocan las humedades, y ayuda a determinar mejor el tratamiento que se debe aplicar. Desde la publicación de su libro hasta ahora ha sido todo un referente en los estudios en las investigaciones realizadas a lo largo del tiempo.

4.2. Estudios actuales.

El interés de mejorar tanto el diagnóstico de las humedades como sus reparaciones ha hecho que no cesen los estudios sobre ello. Ha habido muchos estudios expuestos por diferentes arquitectos, ingenieros o especialistas sobre el tema de las humedades. En este apartado se expondrán algunos de esos estudios realizados por diferentes técnicos y profesores, demostrando cada uno su criterio de diagnóstico y representación de la patología.

Uno de los estudios es el 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. (2010)¹²". En este estudio de Sig. Vincenzo Compare, Sig.ra. Marilena Cozzolino, Sig.ra. Elisa Di Giovanni y Sig. Paolo Mauriello, que trabajan como investigadores en "Univesità degli Studi del Molise (Campobasso, Italia)" exponen los resultados que han obtenido al realizar un control de las humedades existentes en el Complejo Palacio de Belvedere en San Leucio. Las humedades se encontraban en un muro donde se sitúa una pintura al fresco de gran valor en el llamado Baño de María Carolina de Austria. Igual que en los estudios anteriormente expuestos, los investigadores destacan que la representación adecuada de la situación de conservación de un patrimonio es la clave para conocer el origen de la patología y determinar el tratamiento adecuado a esas condiciones.

Al tratarse de un edificio con valor patrimonial, el procedimiento que desarrollaron gracias a sus conocimientos y anteriores investigaciones es el uso de las técnicas geofísicas, métodos geoelectrónicos GPR no invasivos. Esta técnica permite la obtención de resultados de alta definición y se trata de un método no destructivo, por lo que respeta el edificio.

En este estudio utilizan perfiles dipolo-dipolo (DD), que se colocan tanto en horizontal como en vertical, formando una malla. Se toman los datos directamente del

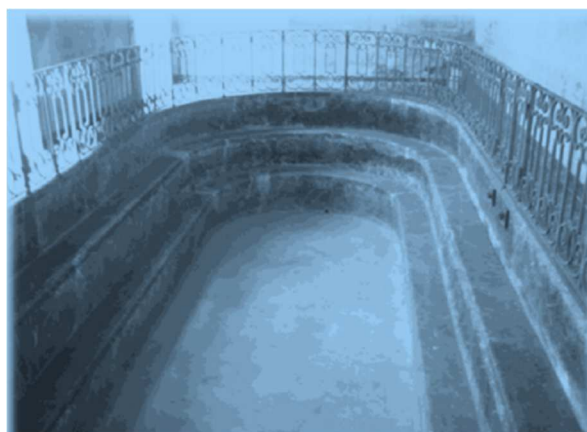


FIGURA 38: Baño de María Carolina de Austria de Apsburgo en la Residencia Real de San Leucio (Caserta, Italia). (Juan Aznar. 2016)

¹² Información del estudio consultada en la tesis: "El diagnóstico de humedades de capilaridad en muros y suelos. Determinación de sus causas y origen mediante una metodología basada en la representación y análisis de las curvas isohídricas." de Juan Bautista Aznar Mollá, pág. 66 - 70.

parámetro para así entender de porque existe esa excesiva cantidad de la humedad en el muro. Con esta técnica se obtienen pseudosecciones en 2D y se utilizó el método de tomografía geofísica para representar los resultados en 3D. Su funcionamiento consiste en la obtención de los datos de resistividad de los materiales que revelan su contenido de humedad. Los valores bajo de resistividad representan una concentración mayor de agua.

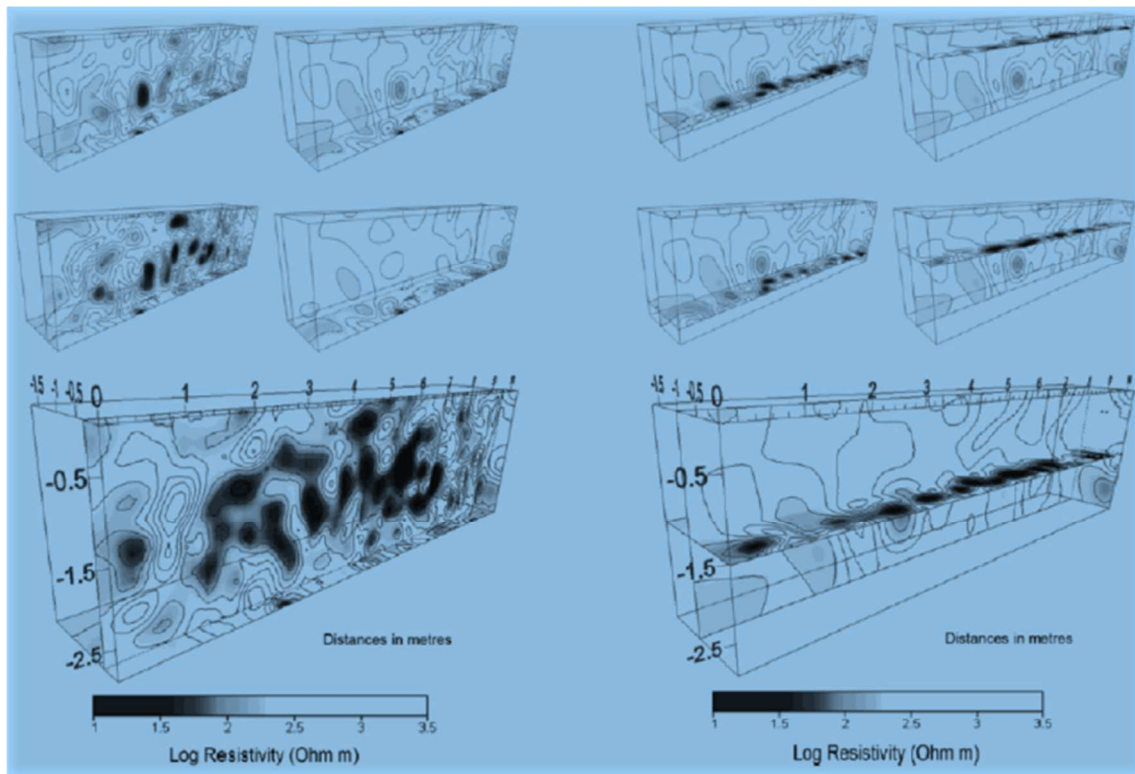


FIGURA 39: Representación en 3D de la tomografía geoelectrica. (Juan Aznar. 2016)

Toda esta malla de multielectrodos se definió en el muro en el que se quería averiguar el origen de las humedades que producían daños al fresco que había. Se estableció un sistema de referencia cartesiano, de esta manera se podía interpretar con mayor exactitud los resultados obtenidos y referenciarlos en el muro.

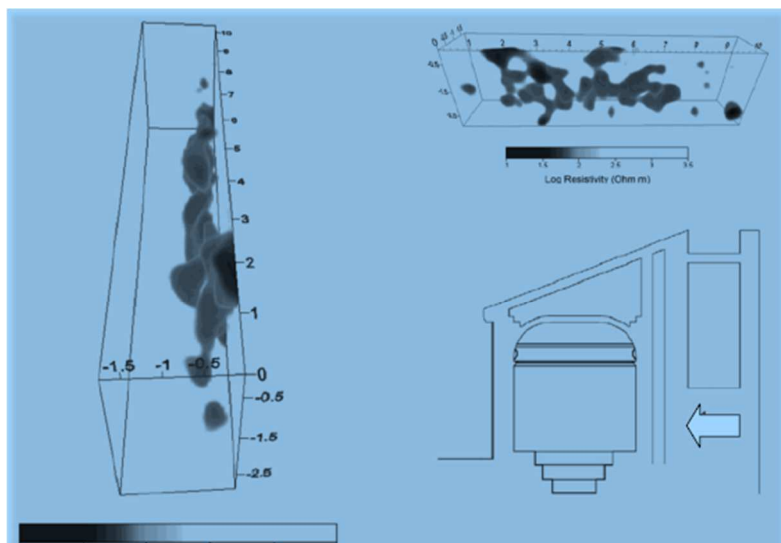


FIGURA 40: Representación de las conclusiones sacadas del estudio. (Juan Aznar. 2016)

Gracias a los resultados reflejados en 3D, que son más fáciles de interpretar visualmente, el estudio concluyó que el origen de la humedad que deterioraba el fresco del muro procedía de una zona que contenía aire (zona señalada con una flecha en la figura 45) y filtraba el agua al muro.

Otro ejemplo de estudio realizado recientemente es: *“Study of rising dampness problem in housing area in Klang Valley, Malaysia (Hanif, Othuman Mydin, & Utaberta, 2015)”* en el que se analizan los problemas de humedad en viviendas residenciales en zona de Klang Valley que pertenece al estado de Selegar (Malasia).

En Malasia al predominar un ambiente caliente y húmedo, los problemas de humedad tienen mayor importancia. Las más frecuentes a primera vista suelen ser las de condensación, por las características del clima, aunque en este estudio Mr. Muhamad Hanif Hassan y Md Azree Othuman Mydin se centran en analizar las humedades de capilaridad y sus consecuencias en diferentes viviendas residenciales.



FIGURA 41: Medidores utilizados en el estudio. (Juan Aznar. 2016)

En su procedimiento para inspeccionar e determinar el origen de la humedad primero realiza una inspección visual en busca de desperfectos como desconchados de pintura, manchas, mohos, etc. en la parte inferior de la pared tanto por el exterior como por el interior. De esta manera determina las zonas húmedas que más tarde analizará más detenidamente.

Una vez determinada el ámbito de estudio en la pared, utiliza técnicas no destructivas, concretamente dos. Una es el medidor de humedad para realizar el control de humedad en la zona definida y el otro dispositivo es un medidor laser de temperatura superficial para realizar el control de la temperatura superficial. Y, por último, realiza un análisis de los datos obtenidos con los medidores. Para que sea más visual elabora una cuadrícula alrededor de la zona húmeda situando los puntos de control. Así pues, analiza el conjunto y determina el tipo de humedad que está afectando a la vivienda y su posible origen.

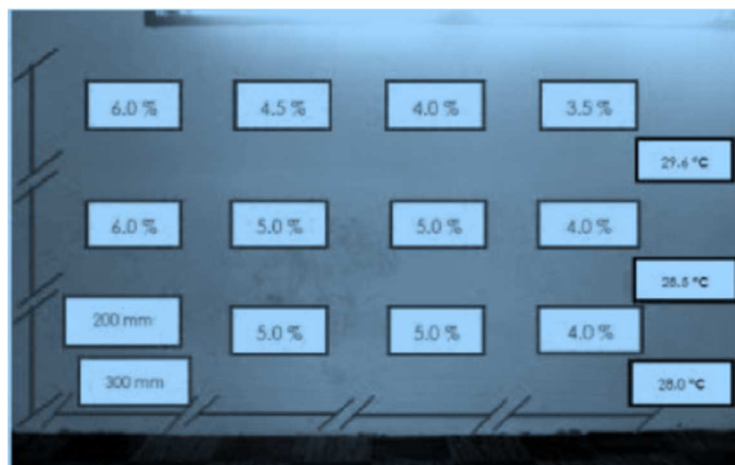


FIGURA 42: Cuadrícula realizada en la zona afectada. (Juan Aznar. 2016)

Otro estudio muy reciente desarrollado por el Profesor Juan Bautista Aznar Mollá denominado *"El diagnóstico de capilaridad en muros y suelos. Determinación de sus causas y origen mediante una metodología basada en la representación y análisis de curvas isohídricas. (2016)"*. En esta tesis doctoral el Profesor propone un tipo de procedimiento para determinar el tipo de humedad y su origen, que consiste en la combinación de varias técnicas y comparación de los resultados entre ellas.

Este procedimiento lo ha aplicado en cuatro edificios diferentes que son *"La Iglesia de Nuestra Sra. de la Encarnación de Náquera (Valencia)"*, *"Agromuseo y Ermita de Vera (Valencia)"*, *"Iglesia de San Pablo de los Jesuitas. I.N.E.M. Luis Vives (Valencia)"* y *"Local comercial en planta baja en Rinconada García Sanchis nº3 y 5 (Valencia)"*.



FIGURA 43: La iglesia de Nuestra Señora de la Encarnación de Náquera (Valencia). (Juan Aznar. 2016)



FIGURA 44: Agromuseo y Ermita de Vera (Valencia). (Juan Aznar. 2016)



FIGURA 45: Iglesia de San Pablo de los Jesuitas I.N.E.M. Luis Vives (Valencia). (Juan Aznar. 2016)



FIGURA 46: Local comercial en planta baja en Rinconada García Sanchis nº3 y 5 (Valencia). (Juan Aznar. 2016)

Lo primero que hace es realizar un estudio de los antecedentes de cada edificio, conocer su historia y lo que ha sufrido a lo largo del tiempo. Analiza información constructiva, documental, gráfica, etc. haciendo así un estudio previo a la patología de cada edificio. Antes de realizar una toma de datos selecciona una zona de control de la humedad, analiza esa área por ambos lados,

exterior e interior, y tiene en cuenta todas las posibles variables que puede influir en la obtención de los datos, como la orientación del muro a analizar, la hora y el día de toma de datos, la temperatura y la humedad relativa del momento en el que se realiza el control.



FIGURA 47: Malla dibujada en los muros de la Iglesia de San Pablo de los Jesuitas I.N.E.M. Luis Vives (Valencia). (Juan Aznar. 2016)

Una vez terminado eso procede a la toma de datos realizando un reportaje fotográfico y elaborando un croquis detallado de la zona de control incluyendo las columnas, los huecos, zócalos, ventanas, etc. Antes de empezar a medir la humedad y la temperatura del ámbito afectado anota la fecha de actuación, la hora, la temperatura ambiental y la humedad relativa. Luego procede a la toma de datos con el humidímetro por lo punto de la malla virtual que más tarde le permitirá organizar y representar los datos obtenidos.

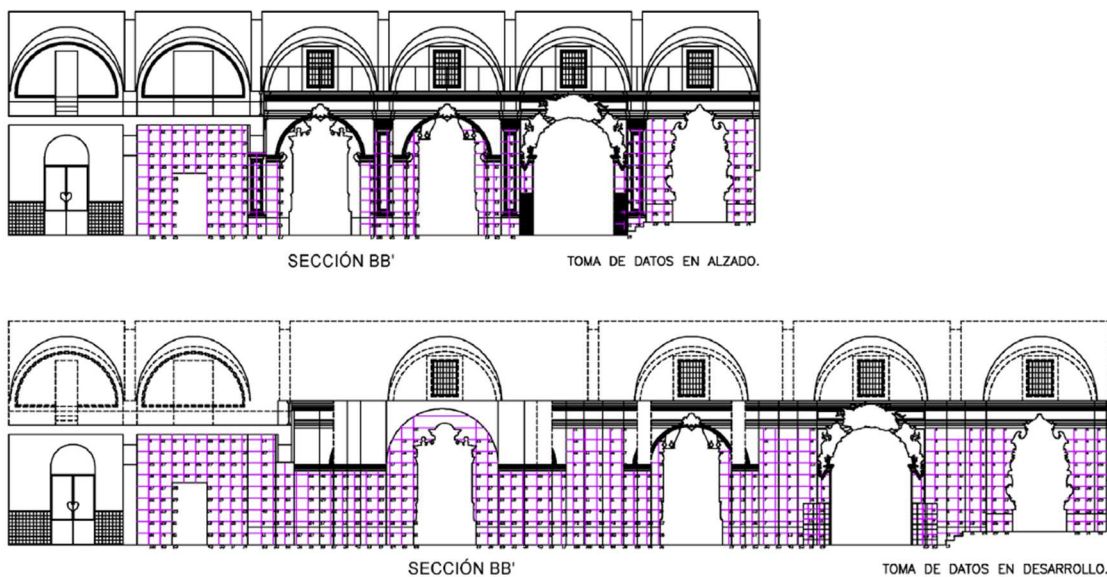


FIGURA 48: Representación gráfica de la malla en los alzados y secciones la Iglesia de San Pablo de los Jesuitas I.N.E.M. Luis Vives (Valencia). (Juan Aznar. 2016)

El siguiente paso que realiza es la extracción de las muestras en los puntos más significativos de la zona de control para poder así establecer una relación entre los resultados obtenidos. Indica que la muestra debe ser extraída mediante procesos rotativos y controlados para no modificar las características de la misma y no obtener resultados erróneos. La zona de la extracción de la muestra la define en un cuadrado máximo de 5 x 5 cm, y la cantidad de esta debe ser entre 30 g. aproximadamente para poder hacer los diferentes ensayos de laboratorio para determinar el grado de humedad.

Después de obtener los resultados de los ensayos de las muestras se elabora una relación matemática entre estos y los que se hayan obtenido mediante las técnicas no destructivas y de esta manera se obtienen los resultados finales. Por lo que, estos datos finales se representan en la malla virtual en la que se definen las curvas isohídricas. Después del levantamiento gráfico se superponen los resultados y se obtiene un gráfico representativo visualmente en el que se pueden observar en que parte de la zona de control se acumula más cantidad de humedad.

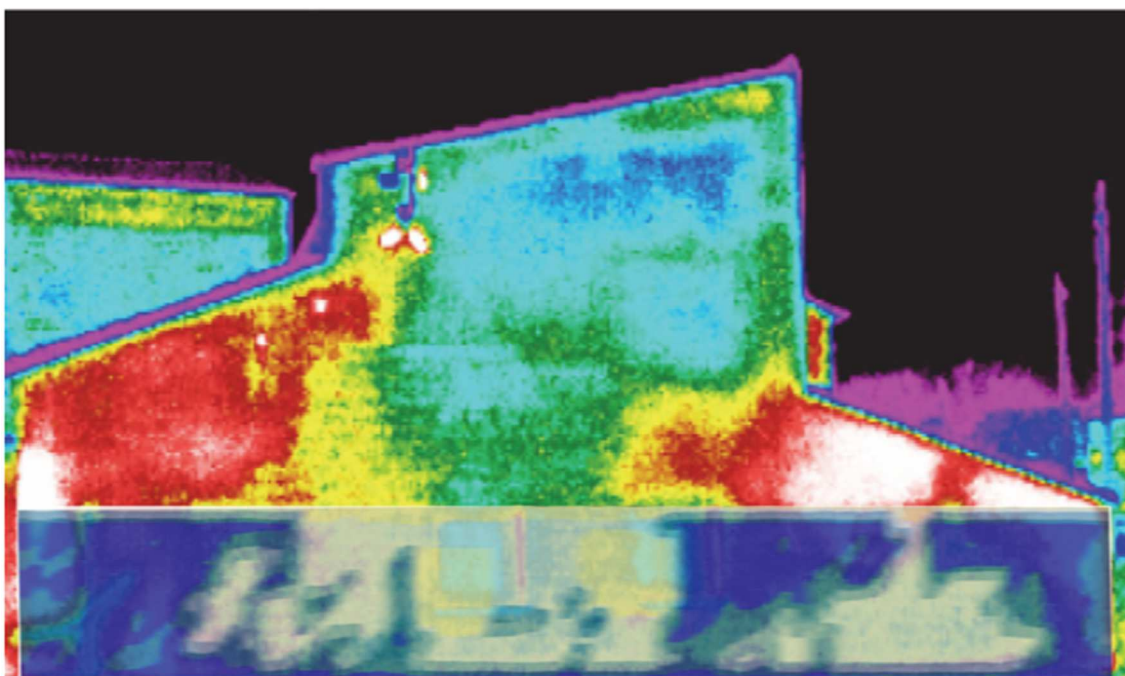


FIGURA 49: Datos finales (imagen térmica y las gráficas obtenidas) superpuestos gráficamente de la fachada oeste Agromuseo y Ermita de Vera (Valencia). (Juan Aznar. 2016)

4.3. Nuevas líneas de investigación

Al igual que avanza el tiempo, el ser humano va desarrollándose y adaptándose a las exigencias de cada época, por lo que el instinto de evolucionar y mejorar es algo innato del humano. Por ello, las investigaciones sobre cómo mejorar los métodos y técnicas de diagnóstico irán creciendo e irán descubriéndose nuevas cosas y tecnologías que ayuden en este campo de estudio.

Así pues, en este apartado se hablará de diferentes investigaciones recientes en diferentes campos relacionados con la patología de humedad y realizadas en diferentes países, ya que cada continente engloba diferentes climas por lo que la humedad en algunos casos es más perjudicial.

En 2010, Huibo Zhang y Hiroshi Yoshino, escribieron un artículo "*Analysis of indoor humidity environment in Chinese residential buildings*" en el que explican la importancia de la calidad de aire en el interior de la vivienda en China. También afirman que el problema de humedad interior no es solo la causa de insalubridad de la vivienda, sino que también generan daños

constructivos, por lo que es importante controlar la humedad en el interior de la vivienda, cosa que afirman que en China no se lo toman en serio. Por esta misma razón es más difícil determinar el tratamiento adecuado para esta patología. En este artículo cuentan el estudio realizado en nueve diferentes ciudades chinas, para obtener datos de la calidad de aire interior. El propósito de esta investigación es obtener una base de datos reales de humedad interior para conocer las condiciones globales de cada situación. Después del estudio, se dieron cuenta de que en las viviendas residenciales con calefacción central en invierno la humedad interior era muy baja y la humedad relativa se situaba por debajo del 20%. Por otro lado, en otras ciudades donde la calefacción era inadecuada y en invierno la humedad relativa en el exterior es elevada, esas viviendas contenían una humedad interior muy alta igual que la humedad relativa que se situaba por encima del 80%. Esto les ayudo a demostrar que debe haber un control de humedad interior de las viviendas urgente para conseguir viviendas con mayor confort y saludables.

Este artículo y muchos más demuestran la preocupación por la salubridad de las viviendas y la salud humana, hecho que se destacó al principio de este trabajo para concienciar que es un problema grave en la actualidad si no se resuelve adecuadamente.

En 2011, Eric Rirsch, James Macmullen y Zhongyi Zhang publicaron un artículo "*Evaluation of mortar samples obtained from UK houses treated for rising damp*" en la revista "*Construction and Building Materials*". En este artículo exponen el desarrollo de un estudio que consistió en analizar diferentes morteros hasta 400 años de antigüedad, extraído de diferentes viviendas británicas, que tuvieran problemas de humedad ascendente. Una vez examinadas las muestra en el laboratorio se dieron cuenta que la capacidad absorbente variaba mucho con morteros más viejos y lo que presentaban mayor contenido de sales. Como objetivo final consiguieron relacionar la humedad ascendente con las características de los morteros, gracias a ello se puede emplear esta relación para evaluar y disminuir los problemas causados por humedad.

En 2015, P. Szymczyk y M. Szymczyk presentaron un artículo "*Non-destructive building investigation through analysis of GPR signal by S-transform*" en la revista "*Automation in Construction*". En este artículo presentan una herramienta desarrollada por ellos mismos que permite estudiar formas de onda en diferentes frecuencias y utilizando S-transform se obtienen datos en uno, dos o tres dimensiones. Es una técnica no destructiva por lo que se puede utilizar en el diagnóstico de edificios con valor patrimonial.

Estos artículos son solo una pequeña pincelada de todas las investigaciones que se desarrollan alrededor del mundo actualmente. Tanto para la mejora de las técnicas del diagnóstico del grado de humedad de los materiales como para los remedios y eliminación de esta patología. Cada caso de la patología de la humedad es único y se debe hacer un diagnóstico correcto para poder dar una solución adecuada, ya que por el contrario puede derivar a problemas más graves. De allí se producen todas estas investigaciones para evolucionar tanto en el campo tecnológico como en el campo científico.

5. Aplicaciones

En este punto del trabajo se pretende dar a conocer las diferentes técnicas que existen en el mercado para catalogar las humedades, algunas de ellas son fáciles y prácticas y algunas pueden dañar a la edificación, pero con la ventaja de que son más precisas. Y como el punto final se expondrán diferentes tipos de reparaciones que ofrece el mercado actual para combatir las humedades.

5.1. Diagnóstico, conjunto de métodos y técnicas para definir, conocer y catalogar las humedades

Hoy en día se puede encontrar todo tipo de dispositivos, herramientas o métodos para catalogar las humedades y facilitar la determinación de su origen. Por lo que este apartado se divide en dos grandes grupos: Técnicas no destructivas (TND) y Técnicas destructivas (TD), y dentro de ellos se definirán las técnicas y los métodos correspondientes.

5.1.1. Técnicas no destructivas

Técnicas no destructivas son aquellas que no necesitan extracción de ningún tipo de muestra del material, ya que el grado de la humedad se mide con dispositivos que se aplican superficialmente sin necesidad de dañar la edificación.

Los más habituales son los medidores por resistencia eléctrica y por capacitancia, que permiten de manera económica y fácil conocer el valor de la humedad en cualquier material. La desventaja que tienen estos dispositivos es que no proporcionan valores exactos, sino que son valores aproximados. Eso se debe por las sales que pueda contener un material, estas herramientas no tienen la capacidad de determinar la existencia de las mismas, lo único que detecta es el contenido de agua en general, ya sean en las sales existentes o en el propio material.

- Medidores por capacitancia:

Su funcionamiento se basa en circuitos eléctricos convencionales y dispositivos que contienen dos electrodos condensadores, por lo que facilita la obtención de la capacidad eléctrica del material poroso. Estos medidores han existido desde hace bastante tiempo y se utilizaban para medir la humedad de materiales sueltos como gravas, granos, arena, etc.

Su aplicación sobre los materiales para obtener los valores de humedad es sencilla. Consiste básicamente en situar el instrumento sobre la superficie que se pretende medir, en ese instante se ponen en funcionamiento los dos electrodos, uno de envío y otro de recepción, que van separados del circuito eléctrico del dispositivo, y al momento el valor numérico aparece en la pantalla del dispositivo. Así pues, el principio de funcionamiento de estos medidores consiste en medir la capacidad eléctrica que tienen los materiales cuando existe humedad en ellos, ya que el agua posee un carácter polar, y mojando a los materiales les proporciona propiedades eléctricas.



FIGURA 50: Medidores por capacitancia. (TROTEC)

- Medidores por conductividad:

Estos dispositivos tienen prácticamente los mismos elementos que los medidores anteriores, la única diferencia entre ellos es que los medidores por conductividad llevan los dos electrodos no condensadores, que tienen forma de agujas metálicas. Introduciendo estas dos agujas en el material que se desea medir, se cierra el circuito eléctrico del mismo y se mide la resistencia eléctrica, con valores indicados mediante led de colores (verde, amarillo y rojo) o digitalmente con numeración del 0 a 100.

Por lo que el funcionamiento de estos dispositivos por conducción consiste en medir la resistencia a una corriente continua que se hace circular entre los dos electrodos que se incrustan en el material. Estos resultados de la resistencia pueden relacionarse con el contenido de humedad del material mediante unas curvas de calibración.

La desventaja que tienen estos medidores es que con contenidos altos de sales en los materiales las mediciones tienen poco valor, por lo que no reflejan el contenido real de la humedad en los materiales de construcción.



FIGURA 51: Medidores por conductividad. (TROTEC)

Otro tipo de técnicas no destructivas que se están desarrollando, aunque actualmente están en uso, son por ejemplo ultrasonidos, georadar, termografías y muchas más que están en estado de experimentación. Son técnicas que se llevan estudiando desde hace años y han ido perfeccionándose con el tiempo y que tienen mucha aplicación en diferentes materiales y edificios para determinar la patología de los mismos.

- Ultrasonidos:

Su historia comienza desde finales del siglo XIX, que se utilizaban para controlar a los perros, con una especie de silbato que transmitía ondas de alta frecuencia que para el oído humano es indetectable, hasta los principios del siglo XX que se desarrolló para detectar los submarinos en la Primera Guerra Mundial. En el año 1929 Profesor S. Sokolov propuso utilizar esta técnica en superficies metálicas para detectar los defectos. Hasta la actualidad esta técnica ha ido evolucionando en todos los campos como la medicina. Actualmente existen equipos de tamaño más manejable y con tecnología informática incorporada que los convierten en unos dispositivos muchas más precisos y eficaces.

Su funcionamiento se basa en el efecto piezoeléctrico, es decir, se generan unos impulsos eléctricos por el equipo que se transiten al palpador que está en contacto con la pieza a examinar, este transforma los impulsos eléctricos en impulsos mecánicos de corta duración que son transmitidos al material, donde se propagan y son recibidos por el otro palpador, donde se

transforman a impulsos eléctricos y se registra la frecuencia y la velocidad de los mismos. Por lo que se mide la velocidad de propagación de las ondas elásticas, ya que heterogeneidad del medio influye mucho en ello. De esta manera se puede obtener el grado de porosidad del material, detectar los defectos, conocer el grado de humedad, calcular la resistencia del medio.

En el caso de que el material contenga humedad, la velocidad de transmisión de la onda será mucho mayor que en un material seco ya que el agua la velocidad del sonido en el agua es mayor que en el aire.

El equipo de ultrasonidos se compone fundamentalmente de: **Generador** de impulsos eléctricos, que es el encargado de transmitir estos a los palpadores; **Palpadores**, que son los responsables de hacer la conversión de impulsos eléctricos a mecánicos y viceversa; **Amplificador**, que es el que registra los impulsos eléctricos recibidos por el palpador receptor; **Temporizador eléctrico**, que es el que mide el tiempo que tarda en transmitirse los impulsos a través del material; **Barra de calibración** que es el que nos proporciona el dato de velocidad de onda estandarizado.



FIGURA 52: Ultrasonidos. (OLYMPUS)

- Georadar:

Es una de las técnicas más contemporáneas de la actualidad, ya que relativamente tiene pocos años de desarrollo puesto que los primeros ensayos registrados fueron en las primeras décadas del siglo XX. Realmente hasta los años 70 no se realizó ninguna aplicación práctica. Más adelante el método de georadar evolucionó rápidamente llegando a la actualidad con un desarrollo que se extiende en todos los campos como la arqueología, el patrimonio, en las empresas eléctricas, el medio ambiente, etc. Hoy en día tiene múltiples aplicaciones y es manejable, lo que le da mucha ventaja respecto a los equipos que necesitan más espacio y que pesan más.

El método de georadar se basa en el principio de reflexión de ondas electromagnéticas que se propagan por el medio que se esté analizando. A partir de las ecuaciones de Maxwell, se pueden definir teóricamente la forma de propagación de estos pulsos electromagnéticos.

El funcionamiento del georadar consiste en generar una onda electromagnética con una frecuencia determinada mediante la antena emisora de la que se compone el equipo. Esa onda se transmite al material o al medio que se está analizando, en cuanto detecta una zona en la que las propiedades eléctricas son diferentes a las contiguas, la onda refleja parte de la energía electromagnética a la superficie y sigue propagándose por el resto del medio. La energía electromagnética es recogida por una antena receptora y se registra para después analizar los resultados en conjunto. Los resultados los debe de interpretar un especialista que conozca el método del georadar, ya que a simple vista parece que las gráficas o resultados obtenidos no aportan mucho.

El equipo de georadar se compone de diferentes elementos. El principal componente es la **Unidad central** que es la encargada de controlar y coordinar todos los dispositivos que se le conectan. También tiene la función de coordinar los pulsos emitidos por la antena emisora. Si se le añaden algunos accesorios de almacenamiento, también tendrá la capacidad de registrar y guardar tanto en papel como informáticamente los resultados obtenidos del análisis. Otro elemento importante del equipo son las **Antenas**, son las encargadas de emitir y recibir la señal electromagnética que se propaga por el medio. Las hay de diferentes tipos, la elección de las mismas dependerá del medio que se quiera analizar y el alcance deseado. Por ejemplo, en los análisis del suelo se cogerían antenas más potentes para que se pueda alcanzar unos 50 metros, pero para un análisis de un muro o algún elemento constructivo con una antena de menos potencia es suficiente. Y, por último, se pueden conectar al equipo diversos **Accesorios** que pueden ser para el almacenamiento de los resultados, para visualizaciones y accesorios para situar los perfiles.

Actualmente hay georadares que pueden proporcionar una imagen 3D para ayudar en la interpretación de los resultados, que siempre suele ser más visual. A pesar de los grandes avances de esta técnica, se sigue mejorando y desarrollándose para conseguir más eficacia y mejores resultados en los estudios de la edificación.



FIGURA 53: Georadar. (USRADAR INC)

- Termografía de infrarrojos:

La radiación infrarroja fue descubierta por el astrónomo Sir Frederick William Herschel en 1800. Para el ojo humano cualquier radiación electromagnética es invisible. Por lo que después de varios experimentos Sir Frederick pudo demostrar que los materiales emiten una cierta radiación térmica utilizando un prisma de cristal. Por tanto, lo que miden los equipos de termografías es la radiación de las ondas electromagnéticas que emiten los materiales, y no la temperatura del material.

El funcionamiento de una cámara termográfica consiste en registrar la intensidad de la radiación en el ámbito infrarrojo del espectro electromagnético y convertirlo en una imagen 2D, en la que se puedan interpretar fácilmente e inmediatamente los resultados obtenidos. Es una de las muchas ventajas que ofrece esta herramienta.

El método de la termografía es una técnica que está teniendo un desarrollo bastante grande, ya que actualmente se exigen que los edificios de obra nueva sean más eficientes y que tengan un

mayor ahorro energético, igual que los edificios que se deben rehabilitar por esa carencia de eficiencia.

Los equipos de termografías son de tamaño de una cámara por lo que son muy cómodos y manejables, lo que supone una ventaja muy grande. Se compone básicamente de una lente y una pantalla en la que se muestran los resultados al instante. También se comercializan termógrafos láser que indican rangos de temperaturas de -30°C hasta los 900°C.

Así pues, se trata de una herramienta muy útil y muy intuitiva que no solo se utiliza para determinar el grado de la humedad de un edificio en su conjunto, sino que también sirve para detectar los puentes térmicos, ver las fugas de los suelos radiantes sin necesidad de picar el suelo a ciegas, detectar fallos eléctricos, fugas de tuberías, etc.



FIGURA 54: Termógrafos. (FLIR)

5.1.2. Técnicas destructivas

Las técnicas destructivas (TD) consisten en analizar una muestra del material para determinar su grado de humedad, que normalmente se realiza en un laboratorio. Eso conlleva a extraer pequeños fragmentos del material, que dañan a la edificación y no siempre es posible si se trata de patrimonio histórico. Aunque estos ensayos aportan información más exacta que las Técnicas No Destructivas (TND).

Existen tres métodos característicos para determinar la humedad de un material. Estos ensayos son método gravimétrico, método de estufa y método del carburo de calcio. Cada uno tiene sus ventajas y desventajas que se expondrán a continuación. Estas técnicas combinadas con técnicas no destructivas se puede obtener un análisis muy completo tanto de un material en concretos como de lo que forma el edificio que se vaya a intervenir.

- Método de secado gravimétrico:

Este método consiste primero en obtener una muestra inalterada del material que se quiera analizar. Después esa muestra se pesa para conocer su peso inicial teniendo en cuenta su propia humedad. Una vez obtenido ese valor, la muestra se seca mediante una estufa en el laboratorio o en un equipo más directo que funciona mediante una emisión de calor a través de una lámpara halógena. Cuando se haya secado la muestra se vuelve a pesar para conocer su peso sin agua. La diferencia del peso en seco y el peso inicial se obtendrá el peso de agua que contiene la muestra, por lo que para conocer el tanto por ciento de la humedad respecto a la masa seca se realiza esta relación:

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

M_i: Masa inicial de la muestra; **M_s**: Masa seca de la muestra.

Este método tiene sus desventajas como el grado de la temperatura a la que se debe secar la muestra, ya que si se pasa de la temperatura adecuada puede eliminar el agua combinada del propio material, cosa que no interesa. Eso supondría unos resultados erróneos, y el diagnóstico no sería correcto. Para controlar el grado de la temperatura para cada material existen normas que fija una temperatura para controlar que no se elimine esa agua combinada (UNE EN 22182-85).

Otra desventaja que tiene este método es que se necesita mucho tiempo para la obtención de los resultados, aparte de que es caro comparado con otro tipo de técnicas y que al final del ensayo la muestra se destruye. A pesar de los inconvenientes, este método es el que ofrece la mayor exactitud en los ensayos y es el que se utiliza para calibrar los resultados de las demás técnicas.

Como se ha mencionado antes, existen dos tipos de equipos en los que se puede secar la muestra. Uno es la estufa del laboratorio, que evidentemente solo se puede realizar el ensayo ahí, lo que supone un problema. La muestra debe ser transportada hasta ahí para poder hacerse el ensayo. Y el otro equipo, que permite hacer el análisis in situ es el analizador halógeno de humedad que funciona según el principio termogravimétrico. Es transportable y práctico, su montaje es fácil y si se le conecta una impresora permite registrar los resultados directamente.



FIGURA 55: Analizador halógeno de humedad. (METTLER TOLEDO)



FIGURA 56: Estufa del laboratorio. (INELTEC)

- Método químico del carburo de calcio:

Este ensayo consiste en hacer reaccionar el agua de la muestra obtenida con carburo de calcio. Todo este procedimiento se realiza en un recipiente metálico, estanco y hermético llamado bomba. Lo que se produce en este, es que una vez se introduce la muestra dentro, se coloca el carburo de calcio en polvo, que está contenido en unas ampollas de cristal. Al agitar el recipiente, éste reacciona con el agua no combinada de la muestra generando un gas acetileno. Este proceso genera una presión provocada por el dicho gas, por lo que el manómetro dispuesto en el recipiente metálico indica el valor de la presión del gas, el cual es proporcional al contenido de la humedad de la muestra, no combinada. El procedimiento se puede definir mediante los símbolos químicos siguientes:

CaC₂ (carburo de calcio) + **2H₂O** (humedad de la muestra) -> **C₂H₂** (gas acetileno) + **Ca(OH)₂** (hidróxido de calcio)

Este método es mucho más directo que gravimétrico, a pesar de que la muestra se introduce directamente en el recipiente, por lo que se evitan pérdidas de la humedad de la muestra por

sellado y se analizan al momento sin ningún tipo de espera como puede suceder en los laboratorios. En este ensayo el agua que reacciona con el carburo de calcio es solamente la que contiene la muestra y no es la combinada, por lo que hay menos posibilidades de obtener resultados erróneos, al contrario de lo que pasa en el método de secado que se necesita calibrar la temperatura para cada material para no eliminar el agua combinada de la muestra.

Por lo que para poder hacer este ensayo in situ, el equipo del que se debe disponer es la bomba, el recipiente herméticamente sellado y estanco. Este debe tener el manómetro para ver los resultados, ampollas de carburo de calcio en polvo y herramientas para la extracción de la muestra deseada.



FIGURA 57: Equipo para el ensayo del carburo de calcio. (Juan Aznar. 2016)

5.2. Reparación. Distintos tipos de soluciones en el mercado

Después de describir que tipos de humedades se pueden encontrar y los medios y las técnicas para diagnosticarlos y clasificarlos, en este apartado se tratarán las soluciones que se deben de aplicar en cada caso y que tipos de reparaciones se ofrecen actualmente en el mercado.

5.2.1. Humedad de Fachada

Como se ha expuesto en el apartado 3.2. las lesiones más frecuentes que producen las humedades de absorción, que se deben a la higroscopia de los materiales, son eflorescencias, criptoflorescencias y líquenes. Para empezar los tratamientos de estas lesiones lo primero de todo se debe conocer el origen de la humedad y eliminarlo, ya que de nada servirá tratar los daños si no se elimina la fuente del agua que las produce.



FIGURA 58: Eflorescencia. (F. Vegas y C. Mileto. 2014)

Así pues, después de haber solucionado el origen de estas lesiones se debe identificar el tipo de material en el que actúan, ya que depende si es piedra o ladrillo los tratamientos deberán ser apropiados y compatibles con ese material para no provocar más daños.

Para extraer las sales del material en el que se encuentra hay varios métodos, uno de ellos es la aplicación de un material absorbente que puede ser una pasta de celulosa o una pasta absorbente compuesta de arcillas especiales finamente molidas. Este material absorbente hace que se reblandezcan las sales y salgan a la superficie. Para que la aplicación sea correcta es aconsejable conocer la composición química de las sales. Una vez aplicada la pasta se disuelve en agua destilada, de manera que se debe proteger del sol para evitar la evaporación del agua, por ello se cubre la zona de aplicación con una capa de polietileno a lo largo del proceso. Este proceso se repite hasta que no quede nada de sales en el material, por lo que si se trata de una superficie más grande puede llegar a ser un trabajo bastante laborioso.

Este método de material absorbente también se puede utilizar para eliminar costras negras que contienen sales, se añaden aditivos como bicarbonato de sodio, bicarbonato de amonio, carbonato de amonio o tales como EDTA (ácido etilendiaminotetraacético).

Otro tipo de tratamientos que se pueden utilizar son los sistemas de limpieza generales. Existen de diferentes grados, de menos agresivos a más agresivos. Estos sistemas son más prácticos y son los que se emplean habitualmente.

El tratamiento consiste en la aplicación de un cepillado en seco e intenso, aunque las sales de carácter cristalino son muy adherentes y más difíciles de eliminar. Otro tratamiento puede ser la aplicación de una baja concentración de fluorídrico en agua, fregando con un estropajo. Lo que no se debe de hacer es aplicar una limpieza con agua, ya que eso ocasionaría más eflorescencias en el cerramiento. Una vez eliminadas las eflorescencias del material se debe aplicar un material impermeabilizante o de sellado como siloxano oligomérico al 6%, para garantizar que no penetre el agua exterior pero que si permita la salida de vapor de agua.

El proceso para la eliminación de líquenes se basa en el empleo de una espátula con la que se levanta cuidadosamente la capa perteneciente al líquen sin dañar el soporte. Después esa superficie se friega con tetraclórico o diclorometano con ayuda de un cepillo y el uso de una esponja.



FIGURA 59: Muestra de limpieza de la fachada norte de un edificio afectado por líquenes. (F. Vegas y C. Mileto. 2014)



FIGURA 60: Cepillado manual. (F. Vegas y C. Mileto. 2014)

5.2.2. Humedades de Condensación

Para resolver las lesiones que producen estas humedades de condensación, realmente se tienen que solucionar problemas térmicos. Por lo que, en primer lugar, se debe poner especial atención en los puentes térmicos que pueda haber en la envolvente del local, para así garantizar una pérdida de calor nula.

En caso de edificios que no sean de obra nueva y tengan problemas de condensación, se tienen que controlar los dos principales factores de estas humedades, que es la humedad relativa y la temperatura superficial interior de los cerramientos. Uno de los elementos que afectan a la humedad relativa y a la temperatura interior es la cantidad de vapor de agua que se puede producir en el interior de una vivienda. Por lo que es fundamental por parte de los proyectistas controlar esa producción de vapor de agua o impedir su paso a otras zonas habitables de la casa que no están configuradas de recibir esa agua.

Se puede controlar esa producción de vapor del agua mediante varias opciones como por ejemplo en las cocinas disponer un cierre automático que el vapor no pase a una zona habitable, así como disponer de campanas o extractores para absorber ese vapor. En los baños que es otra zona húmeda en la que se genera vapor, se debe disponer columnas de ventilación forzadas.

Otra manera de tratar la humedad es evitar la calefacción por gas, así como los calentadores de gas u otros aparatos que en los que se utilice el gas. Estos elementos pueden sustituirse por calefacción centralizada o de uso eléctrico.

Así mismo, se debe ubicar bien el espacio de secado de ropa, preferiblemente exterior con la protección de la lluvia, con el cuidado de que el aire de secado no introduzca el vapor producido por la ropa hacia al interior del local. De ese modo, se debe proyectar de manera que se permita una ventilación desde las ventanas hacia el interior.

También existen máquinas llamadas deshumidificadores que son la manera perfecta de evitar la condensación, pero tiene muchos inconvenientes como su instalación se tiene que prever desde principio de la ejecución de la obra, su instalación tiene un gasto económico elevado, produce un ruido durante la noche y se tiene que vaciar un depósito de vapor de agua con demasiada frecuencia.

Hoy en día existen diferentes dispositivos que pueden sustituir fácilmente los deshumidificadores y aportar más confort en la vivienda. Por ejemplo, uno de los dispositivos con los que comercializa la empresa "Humicontrol" se llama "PURAIR". Su funcionamiento consiste en absorber el aire exterior y filtrarlo, antes de expulsarlo al interior calienta ese aire a una temperatura deseada. Aparte se instalan una serie de elementos en las carpinterías o las paredes para permitir la expulsión del aire viciado. Se trata en general de un dispositivo silencioso, efectivo y que garantiza la eliminación de humedad de condensación que pueda generar una vivienda.



FIGURA 61: Equipo de PURAIR. HUMICONTROL.

Aparte de esta empresa existen muchas más que ofrecen el mismo sistema, pero con diferentes nombres, aunque su funcionamiento es igual que el de dispositivo descrito.

El segundo factor mencionado que se debe de controlar para evitar la humedad de condensación es la temperatura superficial de la envolvente del local. Si se tratara de un edificio en proceso de ejecución se aseguraría de colocar suficiente aislamiento térmico y de disponer una cámara de aire. Pero si se trata de un edificio en rehabilitación o un edificio construido que padece lesiones de condensación, la solución para ello será más compleja y se necesitará un estudio del cerramiento para conocer sus componentes, si dispone o no de cámara de aire, de aislamientos, saber de que tipo son los elementos exteriores y que mantenimiento ha tenido durante este periodo.

En el edificio que no tenga aislamiento térmico, pero si dispone de una cámara de aire, la solución es sencilla ya que, con inyectarle un material aislante adecuado en la misma cámara de aire, se aumenta la resistencia térmica del local. Pero en caso de que el edificio no tengo ni cámara de aire ni aislamientos, la solución que se puede proporcionar es de aumentar el espesor del cerramiento añadiéndole el aislante y la cámara de aire. El único inconveniente en esta solución es que, si el cerramiento se incrementa hacia el interior, la superficie útil de la vivienda disminuye. Y si se hace hacia el exterior, el problema que se genera que, si se trata de un bloque de viviendas, los demás propietarios deben de estar de acuerdo con el cambio de la fachada exterior y eso crea problemas.

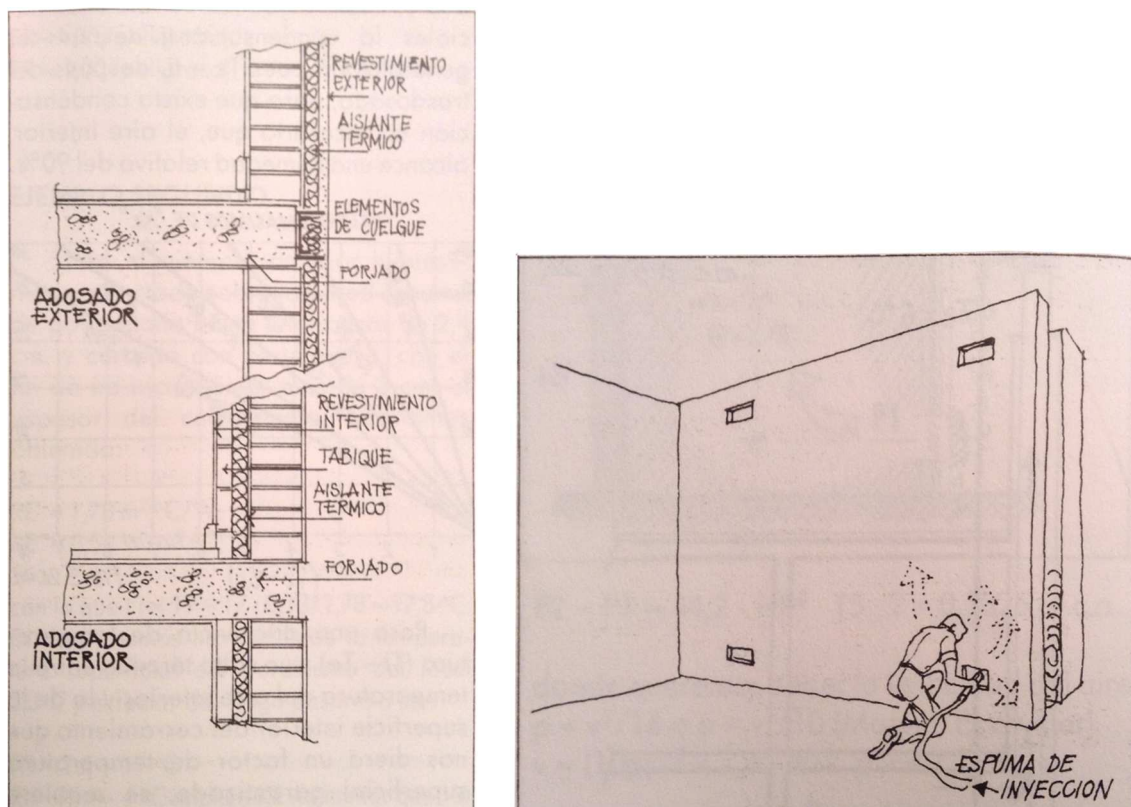


FIGURA 62: Ejemplos de solución por aislamiento térmico. (F. Ortega. 1994)

Técnicamente las dos soluciones son posible ya que no exige ningún tipo de material especial o maquinaria, por lo que hoy en día se disponen de deferentes elementos innovadores que facilitan la labor.

5.2.3. Humedad Ascendente

Para considerar el tratamiento correcto para estas humedades ascendentes, se debe distinguir entre la obra nueva y los edificios antiguos o ya construidos que presentan lesiones debidas a estas humedades.

Así pues, en una obra de nueva construcción la única manera de prevenir que el agua del subsuelo penetre en los materiales y transcurra a través de su estructura porosa es disponer una lámina anticapilar continua en la parte baja del muro, en los antepechos, debajo de los alfeizares y otros puntos singulares de la edificación. La función de esta lamina aparte de no dejar que pase agua del subsuelo a los materiales, también evita la filtración de la humedad del ambiente, fragmenta la humedad procedente de obra. La composición de esta lamina debe ser básicamente de polietileno, para hacer de barrera anticapilar y ser impermeable, por lo que puede contener un núcleo asfáltico. También se puede utilizar una sola lamina de policloruro de vinilo que posee una gran capacidad elástica.

Otra cosa importante en esta prevención en los edificios de obra nueva es el tratamiento que se le da a la lámina ya que, al situarse en el muro, se encuentra cerca del plano del cerramiento exterior. Por lo que hay que prestar atención en las dilataciones que provocan los problemas térmicos, pues pueden aparecer esfuerzos con suficiente fuerza para provocar desprendimientos de mortero del tendel.

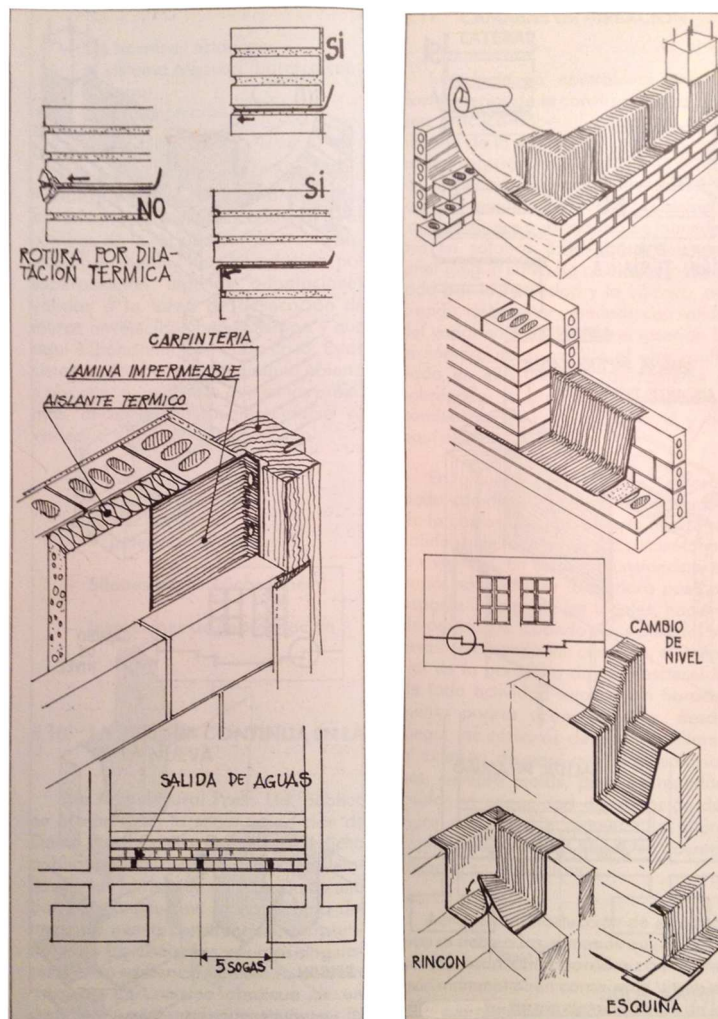


FIGURA 63: Disposición de la barrera continua en obra nueva. (F. Ortega. 1994)

Lo que respecta a los edificios antiguos o edificaciones terminadas que padecen lesiones de las humedades ascendentes, existen muchos tipos de tratamientos que se les puede aplicar. Se debe de distinguir entre sistemas antiguos y sistemas actuales o modernos.

En el grupo de los sistemas antiguos se puede encontrar tratamientos como aireación lateral, eliminación de sección activa capilar, sifones atmosféricos y barreras estancas. Estos sistemas siguen utilizándose en algunos casos, pero el desarrollo de otros sistemas más modernos, hacen que estos sean no resulten tan prácticos.

Así pues, en el grupo de aireación lateral se pueden distinguir diferentes métodos, aunque todos tienen la misma función que es crear una cámara de aire que permita que el vapor saturado ventile al exterior. Uno de los métodos que utilizaban los romanos consistía en disponer una cámara de aire interior con unos huecos hacia el exterior que permita esa ventilación del vapor. Pero a lo largo de la historia se ha comprobado que este método solo es efectivo en semisótanos, pues al disponer un cerramiento en el interior para crear la cámara de aire se anula la capacidad de aireación del muro y eso hace que la altura capilar aumente, como se ha visto en el apartado anterior.

Otros métodos que si funcionan correctamente y solucionan el problema de las humedades es la disposición de una cámara lateral exterior. Este sistema se utilizaba en iglesias y palacios de Roma, donde se creaban estas galerías en las que evaporaba el agua capilar del muro. Del mismo modo funcionaba el sistema de los patios ingleses, en los que se podía controlar la ventilación y la velocidad del aire, aparte de que separaba el subsuelo del muro.

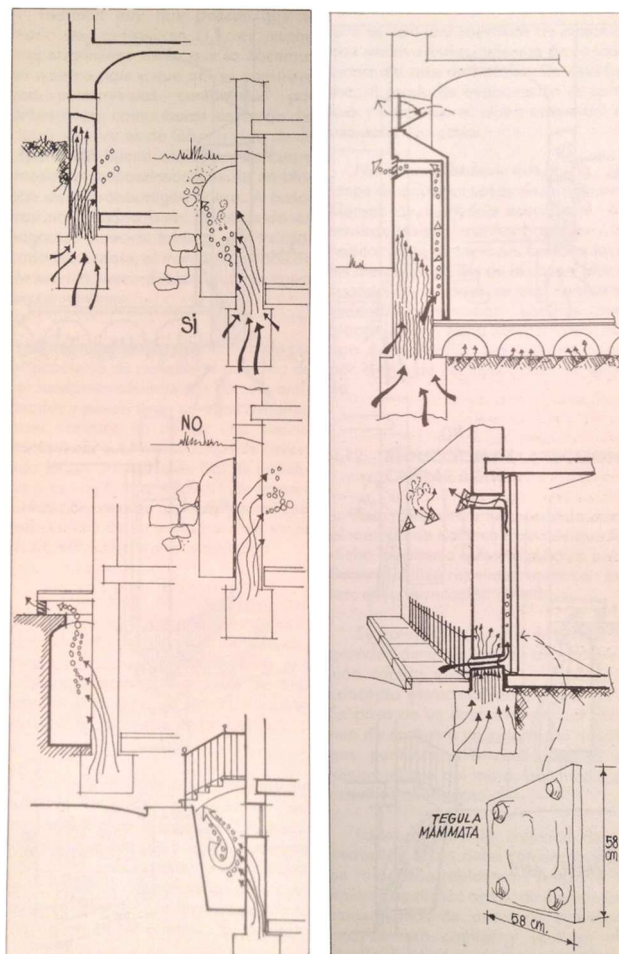


FIGURA 64: Sistemas de cámaras de aireación lateral. (F. Ortega. 1994)

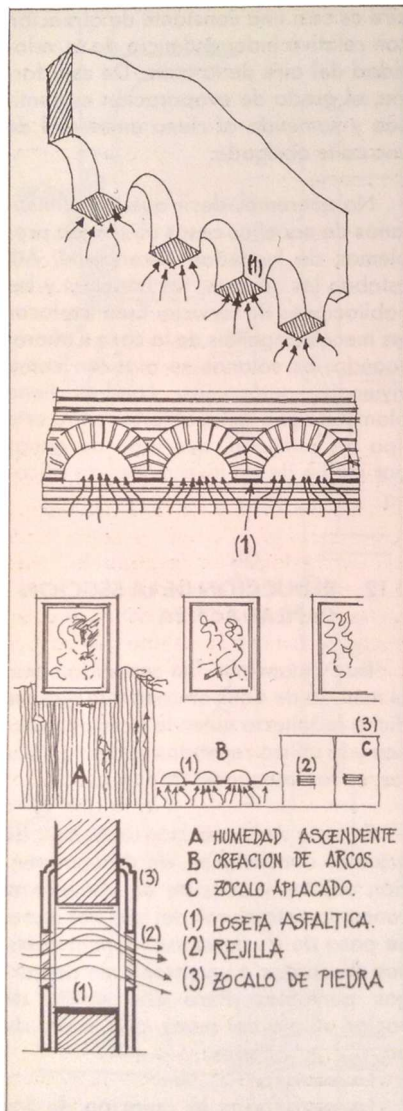


FIGURA 65: Sistemas de reducción de sección capilar activa. (F. Ortega. 1994)

El siguiente grupo de los sistemas antiguos es el de eliminación o reducción de la sección capilar activa, que consiste en sustituir el concepto estructural del pie del muro por unos apoyos puntuales consiguiendo así que haya menos superficie del muro o elementos estructural en contacto con el suelo. Estos apoyos puntuales que en su base contenían una barrera capilar, se generaban mediante la construcción de arcos pequeños en la parte baja del muro que posteriormente se tapaban con zócalos de piedra que incorporaban una rejilla para la ventilación del vapor.

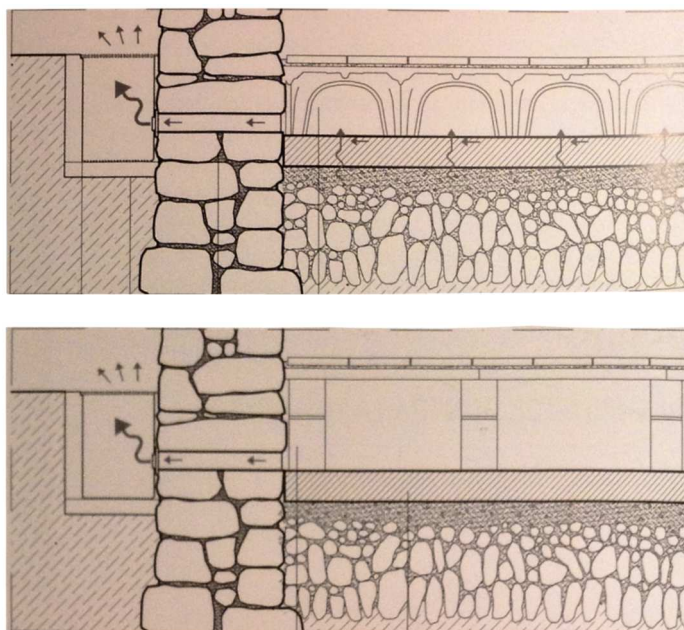


FIGURA 66: Forjado sanitario. Ventilación del plano sobre el terreno. (F. Vegas y C. Mileto. 2014)

Otro sistema antiguo que se puede aplicar es el de sifón atmosférico de Knapen, que consiste en realización de pequeños taladros alineados en la parte baja del muro exterior. Estos sifones se basan en principios como la diferencia de presión de vapor entre un aire saturado y otro con un grado de humedad menor, el flujo de agua que se produce hacia lo planos laterales de los taladros por la reducción de presión capilar, circulación del agua y del aire o saturado por la acción osmótico y por diferencia térmica, y la diferencia de densidad. Estos taladros deben tener una profundidad de hasta unos 30 centímetro con una inclinación de 15 grados.

La alternativa y mejora de estos sifones son los sifones atmosféricos de Raem, que sustituyen los principios básicos por procesos eléctricos mejorando notablemente los resultados de desecación. Su funcionamiento consiste en el efecto osmótico, que mediante la diferencia de campos eléctricos del suelo y del muro, reconducen el agua capilar al sifón, que después se expulsa al exterior.

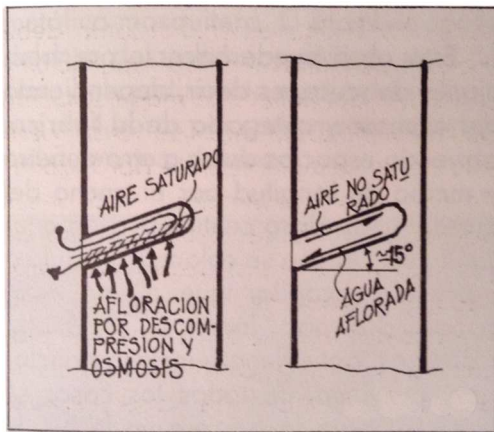


FIGURA 67: Sifones atmosféricos de Knäpen. (F. Ortega. 1994)

Y el último grupo de los sistemas antiguos son las barreras estancas. Normalmente se utilizan barreras continuas anticapilares, que su disposición en una obra de nueva construcción no tiene ninguna dificultad, mientras que en edificios antiguas la situación se complica. La puesta en obra de este método consiste en seccionar todo el espesor y la longitud del muro para posteriormente introducir una lámina anticapilar. El corte del muro se puede hacer por partes o todo continuo como se hace según el método de Massari.

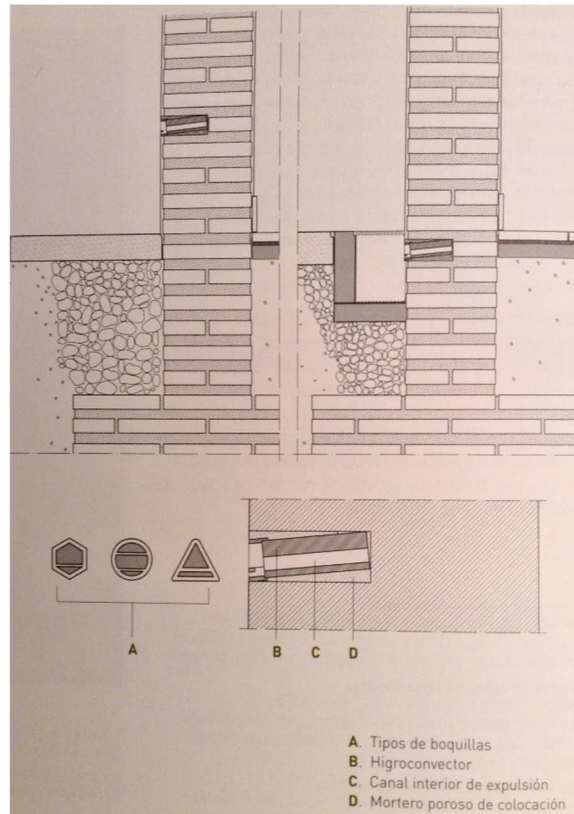


FIGURA 68: Higróectores cerámicos. (F. Vegas y C. Mileto. 2014)

Los sistemas actuales tratan de métodos que han ido evolucionando a lo largo de la historia, como los diferentes sistemas eléctricos, los sifones atmosféricos mencionados anteriormente y las inyecciones de impregnación, aparte de la gran variedad de herramientas que ofrece el mercado actualmente.

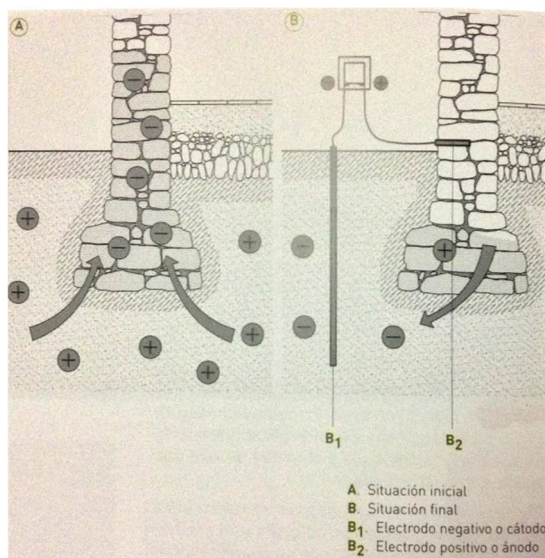


FIGURA 69: Electroósmosis activa. (F. Vegas y C. Mileto. 2014)

En el conjunto de los sistemas eléctricos podemos destacar el de electroósmosis que consiste en que, a causa de la diferencia potencial entre un suelo y un muro, los dos elementos quedan polarizados de tal manera que uno se defina como zona cargada positivamente que sería el muro y otra zona cargada negativamente que sería el suelo. Esto genera un movimiento de electrones que se impone sobre el flujo del agua. A partir de este método se crean diferentes modificaciones para mejorar el funcionamiento atendiendo a las circunstancias.

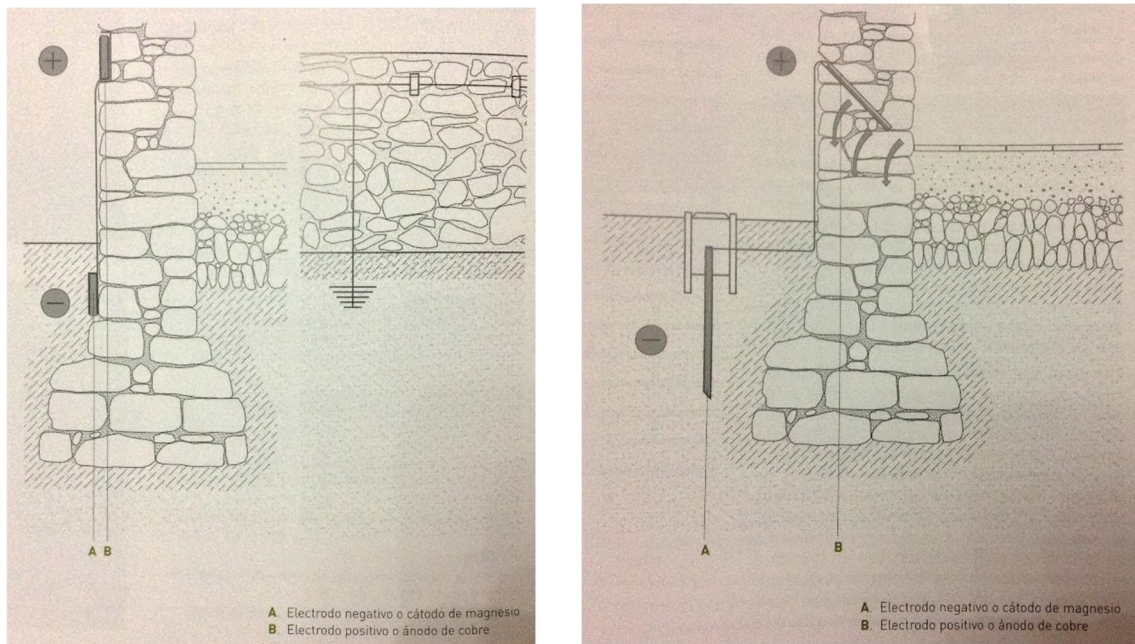


FIGURA 70: Electroósmosis pasiva (izquierda) y electroforesis (derecha). (F. Vegas y C. Mileto. 2014)

En el mercado podemos encontrar sistemas de electroósmosis más desarrollados por ejemplo “MURSEC”, que se instala con obras mínimas, funciona en todo tipo de muros sin importar el material ni el grosor del mismo. Una alternativa más evolucionada a este dispositivo es “MURSEC ECO”. Su funcionamiento se basa en la tecnología VLF, que consiste en emitir una señal pulsante de muy baja frecuencia que actúa sobre los aniones y cationes presentes en la estructura porosa del material, anulando el desarrollo de la absorción capilar y obligando que el agua descienda a través del muro al subsuelo. Se trata de un dispositivo inalámbrico, por lo que la gran ventaja de este es que no necesita ningún tipo de perforación, obteniendo el mismo resultado que el equipo descrito anteriormente.



FIGURA 71: Equipo de MURSEC. (HUMICONTROL)

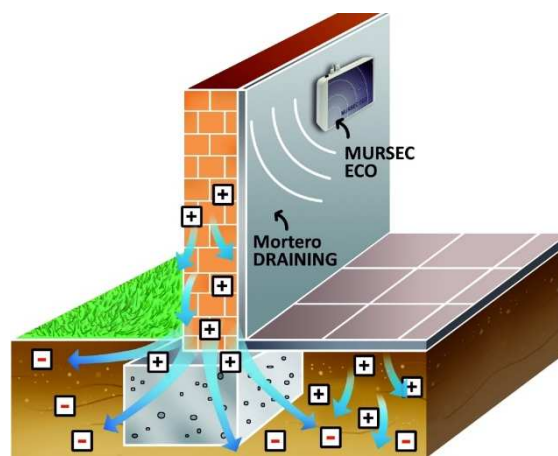


FIGURA 72: Equipo de MURSEC ECO. (HUMICONTROL)

El último método de los sistemas modernos son inyecciones en los muros, como barreras químicas, que consisten en introducir productos químicos, en una pequeña parte de la sección del pie del muro, que con el conjunto de la estructura porosa del material eviten la penetración de la humedad ascendente. El material introducido debe ser repelente al agua, pero no impermeable al vapor del agua, permitiendo así mantener la humedad de equilibrio en el material con temperaturas cercanas al rocío.

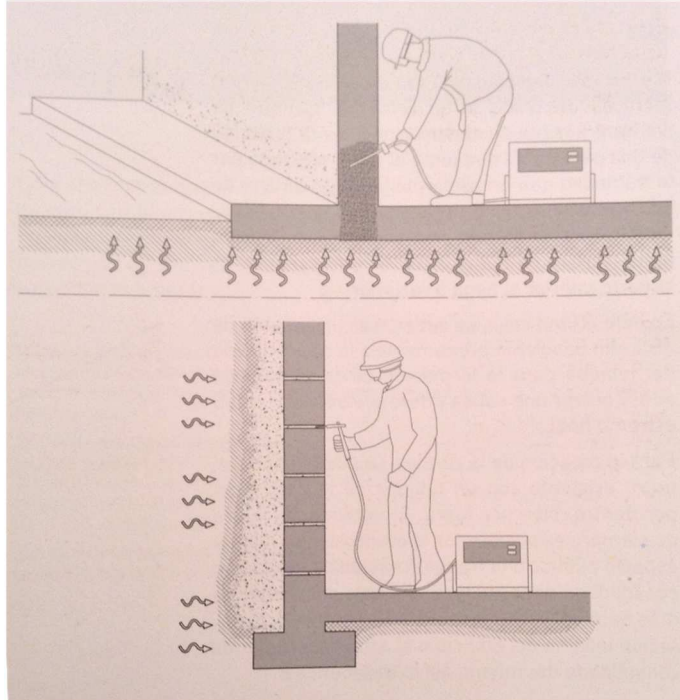


FIGURA 73: Esquemas de interceptación capilar en un muro aéreo y un muro semienterrado. (F. Vegas y C. Mileto. 2014)



FIGURA 74: Proceso de inyección con bomba. (F. Vegas y C. Mileto. 2014)

Muchas de las empresas hoy en día ofrecen un producto llamado "DRYZONE" que consiste en un gel antihumedad que, a diferencia de los materiales inyectados de hace 50 años, este contiene más d un 60% de materia activa que permite una difusión mayor y una eficacia máxima. Su puesta en obra se basa en inyectar el gel en la parte baja del muro haciendo taladros previamente. Eso permite una distribución mejor por la estructura porosa del muro, y como la inyección no es a presión evita cualquier incidente de fuga indeseada. Este material permite que el muro empiece su proceso de secado inmediatamente después de la puesta.



FIGURA 75: Material de DRYZONE y su puesta. (HUMICONTROL)

En conclusión, se puede observar que con el paso del tiempo las técnicas de tratamiento han ido evolucionando a la velocidad de la luz y hoy en día hay una gran oferta de diferentes soluciones para diferentes tipos de humedades. Pero siempre existe la oportunidad de elegir entre los sistemas de reparación más habituales o los sistemas más innovadores. A pesar de ellos, siempre hay que tener claro el origen del problema y de que tipo de lesión se trata para aplicar la solución adecuada.

6. Conclusiones

En este trabajo se han estudiado las humedades en la edificación desde los puntos de vista de salubridad, aspectos técnicos y aspectos estéticos. En primer lugar, se ha realizado una introducción al tema para dar una visión global. A continuación, se han expuestos los diferentes tipos de humedades, sus lesiones y sus causas. Seguido se ha desarrollado el estado de arte, para reflejar y distinguir los aspectos científicos más importantes de las humedades, como estudios y ensayos que se hayan realizado a lo largo del tiempo para entender mejor esta patología. Finalmente, en el último apartado se han expuesto las técnicas para diagnosticar las humedades y tipos de reparaciones o soluciones que se pueden encontrar en el mercado.

Con lo expuesto en el primer apartado del trabajo, se puede concluir que el agua siempre ha sido un enemigo para el ser humano, a pesar de ser un elemento importante para vivir. Por lo que, desde hace mucho tiempo el hombre siempre ha mantenido una lucha contra el agua para asegurar su cobijo y resguardarse cuando se producían fenómenos naturales. Así pues, todo ello, ha llevado a que el agua crea problemas en las edificaciones que afectan nocivamente la salud humana, como se puede observar en muchos estudios demostrados. Estos problemas han ido evolucionando a la vez que se descubrían nuevas técnicas de construcción.

En el segundo apartado del trabajo, se ha realizado la clasificación de los tipos de humedades, y se puede contemplar la variedad que existe hoy en día. Se han expuesto las lesiones que provocan, por lo que es muy difícil de determinar el origen de cada tipo de humedad ya que sus manifestaciones a veces son diversas y pueden confundir. Por ello, la finalidad de este apartado ha sido exponer las lesiones más significativas de cada humedad para que se puede realizar un prediagnóstico más exhaustivo antes de determinar la intervención.

En el estado de arte se ha desarrollado un recorrido por algunos de los muchos estudios realizados a lo largo del tiempo. Gracias a estos ensayos e investigaciones se han podido descubrir técnicas nuevas que permiten una evolución en el diagnóstico de las humedades. Eso ha hecho que los estudios y nuevas investigaciones no cesen para mejorar el futuro. Se ha podido ver que actualmente existe muchos nuevos estudios en marcha y muchas técnicas en fase experimental que, con el conocimiento del pasado, facilita un camino hacia un futuro mejor.

Y para concluir el trabajo, en el último punto se han expuesto esas técnicas nuevas mencionadas en el apartado anterior, como funcionan y en que consisten para agilizar la determinación del origen de las humedades en la edificación. También se han expuesto las diferentes soluciones para cada tipo de humedad, ya que como se ha insistido en algunas veces a lo largo del trabajo, es muy importante hacer un diagnóstico correcto de las humedades para aplicar el tratamiento correcto, de lo contrario la lesión puede crecer.

A nivel personal, el desarrollo de este trabajo ha sido todo un descubrimiento. No ha sido fácil, pero ha merecido la pena. Me ha aportado más conocimientos técnicos y me ha enseñado otro punto de vista de la arquitectura. Eso me ha hecho reflexionar sobre los aspectos de lo que engloba la construcción de un edificio y su posterior mantenimiento.

7. Índice de imágenes

FIGURA 1: Cantidad de agua en diferentes cuerpos. Imagen extraída del libro (pág. 16) de *"Humedades en la edificación"* de Francisco Ortega Andrade (1994).

FIGURA 2: Línea cronológica de la evolución de los sistemas de construcción. Elaboración del propio autor.

FIGURA 3: Porcentajes de la patología. Gráfica extraída del libro (pág. 11) de *"Humedades en la edificación"* de Francisco Ortega Andrade (1994).

FIGURA 4: Causa – Efecto de la distinta patología. Tabla extraída del libro (pág. 25) de *"Curso de tipología, patología y terapéutica de las humedades"* de Geronimo Lozano Apolo (1993).

FIGURA 5: Proceso y estudio patológico. Gráfica extraída del libro (pág. 28): *"Curso de tipología, patología y terapéutica de las humedades"* de Geronimo Lozano Apolo (1993).

FIGURA 6: Tipos de Moho. Gráfica elaborada por el propio autor a partir de la información de la página web: *"ww.eliminarmoho.org"*

FIGURA 7: Tabla de agua requerida para ejecución de los materiales. Tabla extraída del libro (pág. 25) de *"Humedades en la edificación"* de Francisco Ortega Andrade (1994).

FIGURA 8: Hidrofugación del muro. Dibujos extraídos del libro (pág. 109) de *"Conservación y Restauración de monumentos"* de Manuel Carbonell de Masy realizados por Manuel Diaz de San Pedro (1993).

FIGURA 9: La protección frena la respiración. Dibujos extraídos del libro (pág. 105) de *"Conservación y Restauración de monumentos"* de Manuel Carbonell de Masy realizados por Manuel Diaz de San Pedro (1993).

FIGURA 10: Muro seco y húmedo. Dibujos extraídos del libro (pág. 103) de *"Conservación y Restauración de monumentos"* de Manuel Carbonell de Masy realizados por Manuel Diaz de San Pedro (1993).

FIGURA 11: Ensayo de succión. Dibujo extraído del libro (pág. 30) *"Humedades en la edificación"* de Francisco Ortega Andrade (1994).

FIGURA 12: Los medidores eléctricos de contenido de humedad. Dibujo extraído del libro (pág. 34) *"Humedades en la edificación"* de Francisco Ortega Andrade (1994).

FIGURA 13: Ensayo por gas acetileno. Dibujo extraído del libro (pág. 32) *"Humedades en la edificación"* de Francisco Ortega Andrade (1994).

FIGURA 14: Control de absorción por inmersión de la base. Dibujo extraído del libro (pág. 31) *"Humedades en la edificación"* de Francisco Ortega Andrade (1994).

FIGURA 15: Causas y manifestaciones de las humedades. Tabla extraída del libro (pág. 62) de *"Curso de tipología, patología y terapéutica de las humedades"* de Geronimo Lozano Apolo (1993).

FIGURA 16: Forma de habitación y clima. Dibujo extraído del libro (pág. 140) de *"Humedades en la edificación"* de Francisco Ortega Andrade (1994).

FIGURA 17: Mapa de precipitaciones y gráfica de factor de orientación del viento. Dibujos extraídos del libro (pág. 143 - 145) de *"Humedades en la edificación"* de Francisco Ortega Andrade (1994).

FIGURA 18: Factor de altura topográfica. Dibujo extraído del libro (pág. 146) de *"Humedades en la edificación"* de Francisco Ortega Andrade (1994).

FIGURA 19: Factor de altura del edificio. Dibujo extraído del libro (pág. 147) de *"Humedades en la edificación"* de Francisco Ortega Andrade (1994).

FIGURA 20: Factor de ángulo de incidencia. Dibujo extraído del libro (pág. 147) de *"Humedades en la edificación"* de Francisco Ortega Andrade (1994).

FIGURA 21: Proceso de transferencia de vapor. Dibujo extraído del libro (pág. 63) de *"Curso de tipología, patología y terapéutica de las humedades"* de Geronimo Lozano Apolo (1993).

FIGURA 22: Lluvia en los muros sin sales y con sales. Dibujos extraídos del libro (pág. 76 -77) de *"Conservación y Restauración de monumentos"* de Manuel Carbonell de Masy, realizados por Manuel Díaz de San Pedro (1993).

FIGURA 23: Diagrama psicométrico: Humedad absoluta y Humedad relativa. Dibujos extraídos del libro (pág. 42-43) de *"Humedades en la edificación"* de Francisco Ortega Andrade (1994).

FIGURA 24: Ábacos de temperaturas seca, húmeda y efectivas. Dibujos extraídos del libro (página 45-47) de *"Humedades en la edificación"* de Francisco Ortega Andrade (1994).

FIGURA 25: Zonas de condensación. Dibujos extraídos del libro (pág. 65) de *"Humedades en la edificación"* de Francisco Ortega Andrade (1994).

FIGURA 26: Ejemplos de puentes térmicos. Dibujos extraídos del libro (pág. 72) de *"Humedades en la edificación"* de Francisco Ortega Andrade (1994).

FIGURA 27: El fenómeno de la capilaridad. Dibujos extraídos del libro (pág. 102) de *"Humedades en la edificación"* de Francisco Ortega Andrade (1994).

FIGURA 28: La Ley de Jurin. Dibujos extraídos del libro (pág. 107) de *"Humedades en la edificación"* de Francisco Ortega Andrade (1994).

FIGURA 29: La tensión superficial. Dibujos extraídos del libro (pág. 105) de *"Humedades en la edificación"* de Francisco Ortega Andrade (1994).

FIGURA 30: La altura capilar. Dibujos extraídos del libro (pág. 113 - 116) de *"Humedades en la edificación"* de Francisco Ortega Andrade (1994).

FIGURA 31: Ejemplo de humedad accidental en zonas húmedas. Dibujo extraído del libro (pág. 230) de *"Humedades en la edificación"* de Francisco Ortega Andrade (1994).

FIGURA 32: Barómetro de Torricelli. Información extraída de la página web: <http://fisicamagica.latinforo.com/t38-barometro-de-torricelli>

FIGURA 33: Ley de Dalton. Presiones parciales. Información extraída de la página web: <http://tecnologiamedicafisiologia.blogspot.com.es/2016/03/resumen-de-la-clase-introductorio.html>

FIGURA 34: Proceso de control establecido por BRE. Imagen extraída de la tesis (página 50) de *"El diagnóstico de humedades de capilaridad en muros y suelos. Determinación de sus causas y origen mediante una metodología basada en la representación y análisis de las curvas isohédricas"* de Juan Bautista Aznar Mollá (2016).

FIGURA 35: Gráficos del estudio del Profesor Thomas A. Oxley. Imagen extraída de la tesis (página 53) de *"El diagnóstico de humedades de capilaridad en muros y suelos. Determinación de sus causas y origen mediante una metodología basada en la representación y análisis de las curvas isohédricas"* de Juan Bautista Aznar Mollá (2016).

FIGURA 36: Gráficos del estudio de Mr. Giovanni Massari y Mr. Ippolito Massari. Imagen extraída de la tesis (página 53) de *"El diagnóstico de humedades de capilaridad en muros y suelos. Determinación de sus causas y origen mediante una metodología basada en la representación y análisis de las curvas isohédricas"* de Juan Bautista Aznar Mollá (2016).

FIGURA 37: Gráficos del estudio del Profesor Angelo Salemi (2000). Imagen extraída de la tesis (página 57) de *"El diagnóstico de humedades de capilaridad en muros y suelos. Determinación de sus causas y origen mediante una metodología basada en la representación y análisis de las curvas isohédricas"* de Juan Bautista Aznar Mollá (2016).

FIGURA 38: Baño de María Carolina de Austria de Agsburgo en la Residencia Real de San Leucio (Caserta, Italia). Imagen extraída de la tesis (página 67) de *"El diagnóstico de humedades de capilaridad en muros y suelos. Determinación de sus causas y origen mediante una metodología basada en la representación y análisis de las curvas isohédricas"* de Juan Bautista Aznar Mollá (2016).

FIGURA 39: Representación en 3D de la tomografía geoelectrica. Imagen extraída de la tesis (página 69) de *"El diagnóstico de humedades de capilaridad en muros y suelos. Determinación de sus causas y origen mediante una metodología basada en la representación y análisis de las curvas isohédricas"* de Juan Bautista Aznar Mollá (2016).

FIGURA 40: Representación de las conclusiones sacadas del estudio. Imagen extraída de la tesis (página 70) de *"El diagnóstico de humedades de capilaridad en muros y suelos. Determinación de sus causas y origen mediante una metodología basada en la representación y análisis de las curvas isohédricas"* de Juan Bautista Aznar Mollá (2016).

FIGURA 41: Medidores utilizados en el estudio. Imagen extraída de la tesis (página 75) de *"El diagnóstico de humedades de capilaridad en muros y suelos. Determinación de sus causas y origen mediante una metodología basada en la representación y análisis de las curvas isohédricas"* de Juan Bautista Aznar Mollá (2016).

FIGURA 42: Cuadrícula realizada en la zona afectada. Imagen extraída de la tesis (página 76) de *"El diagnóstico de humedades de capilaridad en muros y suelos. Determinación de sus causas y origen mediante una metodología basada en la representación y análisis de las curvas isohédricas"* de Juan Bautista Aznar Mollá (2016).

FIGURA 43: La iglesia de Nuestra Señora de la Encarnación de Náquera (Valencia). Imagen extraída de la tesis (página 2 del anexo) de *"El diagnóstico de humedades de capilaridad en muros y suelos. Determinación de sus causas y origen mediante una metodología basada en la representación y análisis de las curvas isohédricas"* de Juan Bautista Aznar Mollá (2016).

FIGURA 44: Agromuseo y Ermita de Vera (Valencia). Imagen extraída de la tesis (página 8 del anexo) de *"El diagnóstico de humedades de capilaridad en muros y suelos. Determinación de sus causas y origen mediante una metodología basada en la representación y análisis de las curvas isohédricas"* de Juan Bautista Aznar Mollá (2016).

FIGURA 45: Iglesia de San Pablo de los Jesuitas I.N.E.M. Luis Vives (Valencia). Imagen extraída de la tesis (página 16 del anexo) de *"El diagnóstico de humedades de capilaridad en muros y suelos. Determinación de sus causas y origen mediante una metodología basada en la representación y análisis de las curvas isohédricas"* de Juan Bautista Aznar Mollá (2016).

FIGURA 46: Local comercial en planta baja en Rinconada García Sanchis nº3 y 5 (Valencia). Imagen extraída de la tesis (página 37 del anexo) de *"El diagnóstico de humedades de capilaridad en muros y suelos. Determinación de sus causas y origen mediante una metodología basada en la representación y análisis de las curvas isohédricas"* de Juan Bautista Aznar Mollá (2016).

FIGURA 47: Malla dibujada en los muros de la Iglesia de San Pablo de los Jesuitas I.N.E.M. Luis Vives (Valencia). Imagen extraída de la tesis (página 83) de *"El diagnóstico de humedades de capilaridad en muros y suelos. Determinación de sus causas y origen mediante una metodología basada en la representación y análisis de las curvas isohédricas"* de Juan Bautista Aznar Mollá (2016).

FIGURA 48: Representación gráfica de la malla en los alzados y secciones la Iglesia de San Pablo de los Jesuitas I.N.E.M. Luis Vives (Valencia). Imagen extraída de la tesis (página 89) de *"El diagnóstico de*

humedades de capilaridad en muros y suelos. Determinación de sus causas y origen mediante una metodología basada en la representación y análisis de las curvas isohídricas" de Juan Bautista Aznar Mollá (2016).

FIGURA 49: Datos finales superpuestos gráficamente de la fachada oeste Agromuseo y Ermita de Vera (Valencia). Imagen extraída de la tesis (página 107) de *"El diagnóstico de humedades de capilaridad en muros y suelos. Determinación de sus causas y origen mediante una metodología basada en la representación y análisis de las curvas isohídricas"* de Juan Bautista Aznar Mollá (2016).

FIGURA 50: Medidores por capacitancia. Marca TROTEC. Imagen extraída de la página web: <http://www.directindustry.es/prod/trotec-gmbh-co-kg/product-36729-1218531.html>

FIGURA 51: Medidores por conductividad. Marca TROTEC. Imagen extraída de la página web: <http://www.directindustry.es/prod/trotec-gmbh-co-kg/product-36729-1218575.html>

FIGURA 52: Ultrasonidos. Marca OLYMPUS. Imagen extraída de la página web: <http://www.directindustry.es/prod/olympus/product-17434-1708055.html>
<http://www.directindustry.es/prod/olympus/product-17434-482204.html>

FIGURA 53: Georadar. Marca USRADAR INC. Imagen extraída de la página web: <http://www.directindustry.es/prod/sub-surface-imaging-systems/product-65089-1727352.html>

FIGURA 54: Termógrafos. Marca FLIR. Imagen extraída del documento (pág. 8) de la empresa FLIR – ALAVA INGENIEROS *"Termografías para diagnóstico de edificios"*.

FIGURA 55: Analizador halógeno de humedad. Marca METTLER TOLEDO. Imagen extraída de la página web: https://www.mt.com/es/es/home/products/Laboratory_Weighing_Solutions/moisture-analyzer/entry_moistureanalyzer/HE53_230V.html

FIGURA 56: Estufa del laboratorio. Marca INELTEC. Imagen extraída de la página web: <http://www.ineltec.es/es/productos/equipos-de-simulacion/estufas-hornos/estufas-de-secado>

FIGURA 57: Equipo para el ensayo del carburo de calcio. Imagen extraída de la tesis (página 44) de *"El diagnóstico de humedades de capilaridad en muros y suelos. Determinación de sus causas y origen mediante una metodología basada en la representación y análisis de las curvas isohídricas"* de Juan Bautista Aznar Mollá (2016).

FIGURA 58: Eflorescencia. Imagen extraída del libro (página 206) de *"Aprendiendo a restaurar"* de Fernando Vegas y Camilla Mileto (2014).

FIGURA 59: Muestra de limpieza de la fachada norte de un edificio afectado por líquenes. Imagen extraída del libro (página 370) de *"Aprendiendo a restaurar"* de Fernando Vegas y Camilla Mileto (2014).

FIGURA 60: Cepillado manual. Imagen extraída del libro (página 370) de *"Aprendiendo a restaurar"* de Fernando Vegas y Camilla Mileto (2014).

FIGURA 61: Equipo de PURAIR. Marca HUMICONTROL. Imagen extraída de la página web: http://humicontrol.com/humicontrol/Humedades_condensacion/Humedades_condensacion_purair.htm

FIGURA 62: Ejemplos de solución por aislamiento térmico. Dibujos extraídos del libro (página 84 - 85) de *"Humedades en la edificación"* de Francisco Ortega Andrade (1994).

FIGURA 63: Disposición de la barrera continua en obra nueva. Dibujos extraídos del libro (página 119 - 120) de *"Humedades en la edificación"* de Francisco Ortega Andrade (1994).

FIGURA 64: Sistemas de cámaras de aireación lateral. Dibujos extraídos del libro (página 121 - 122) de *"Humedades en la edificación"* de Francisco Ortega Andrade (1994).

FIGURA 65: Sistemas de reducción de sección capilar activa. Dibujos extraídos del libro (página 124) de *"Humedades en la edificación"* de Francisco Ortega Andrade (1994).

FIGURA 66: Forjado sanitario. Ventilación del plano sobre el terreno. Imágenes extraídas del libro (página 278) de *"Aprendiendo a restaurar"* de Fernando Vegas y Camilla Mileto (2014).

FIGURA 67: Sifones atmosféricos de Knapen. Dibujos extraídos del libro (página 125) de *"Humedades en la edificación"* de Francisco Ortega Andrade (1994).

FIGURA 68: Higoconvectores cerámicos. Dibujos extraídos del libro (página 282) de *"Aprendiendo a restaurar"* de Fernando Vegas y Camilla Mileto (2014).

FIGURA 69: Electroósmosis activa. Dibujo extraído del libro (página 284) de *"Aprendiendo a restaurar"* de Fernando Vegas y Camilla Mileto (2014).

FIGURA 70: Electroósmosis pasiva y electroforesis. Dibujos extraídos del libro (página 284 - 285) de *"Aprendiendo a restaurar"* de Fernando Vegas y Camilla Mileto (2014).

FIGURA 71: Equipo de MURSEC. Marca HUMICONTROL. Imagen extraída de la página web: http://humicontrol.com/humicontrol/Humedades_capilaridad/Humedades_capilaridad_mursec.htm

FIGURA 72: Equipo de MURSEC ECO. Marca HUMICONTROL. Imagen extraída de la página web: http://humicontrol.com/humicontrol/Humedades_capilaridad/Humedades_capilaridad_mursec_eco.htm

FIGURA 73: Esquemas de interceptación capilar en un muro aéreo y un muro semienterrado. Dibujos extraídos del libro (página 287) de *"Aprendiendo a restaurar"* de Fernando Vegas y Camilla Mileto (2014).

FIGURA 74: Proceso de inyección con bomba. Imagen extraída del libro (página 287) de *"Aprendiendo a restaurar"* de Fernando Vegas y Camilla Mileto (2014).

FIGURA 75: Material de DRYZONE y su puesta. Marca HUMICONTROL. Imagen extraída de la página web: http://humicontrol.com/humicontrol/Humedades_capilaridad/Humedades_capilaridad_dryzone.htm

8. Bibliografía

Libros:

- Carbonell de Masy, Manuel. *"Conservación y restauración de monumentos"*. Vanguard Gráfico – Joan Miró. Barcelona, 1993.
- Coscollano Rodríguez, José. *"Tratamiento de las humedades en los edificios"*. International Thomson Editores Spain Paraninfo, S. A., Madrid, 2000.
- Gratwick, R. T. *"La humedad en la construcción. Sus causas y remedios"*. E. T. A., S. A., Barcelona, 1976.
- Le Corbusier. *"Hacia una arquitectura"*. Ediciones Apóstrofe, Barcelona, 1978.
- Lozano Apolo, Geronimo. *"Curso de tipología, patología y terapéutica de las humedades"*. Graficas Summa S. A. Oviedo, 1993.
- Ramírez Blanco, Manuel Jesús. *"Técnicas de intervención en el patrimonio arquitectónico"*. UPV, Valencia, 2007.
- R. Real Academia Española. *"Diccionario de la lengua española"*. Madrid, 2016.
- Ortega Andrade, Francisco. *"Humedades en la edificación"*. Editan. Sevilla, 1994.
- Ulsamer, Federico. *"Las humedades en la construcción"*. CEAC. Barcelona, 1978.
- Vegas, Fernando y Mileto, Camilla. *"Aprendiendo a restaurar"*. Conselleria de Infraestructuras, Territorio y Medio Ambiente. Valencia, 2014.
- Vitruvio, Marco Lucio. *"Los diez libros de arquitectura"*. Editorial Iberia. Barcelona, 2007.

Tesis doctorales, TFM, TFG y PFC:

- Aznar Mollá, Juan Bautista. *"El diagnóstico de humedades de capilaridad en muros y suelos. Determinación de sus causas y origen mediante una metodología basada en la representación y análisis de las curvas isohídricas"*. Valencia, 2016.
- Benítez Herreros, José Antonio. *"Estudio de la evolución de la velocidad de ultrasonidos en probetas de hormigón con distintos grados de humedad"*. Madrid, 2011.
- García Medina, Verónica. *"Ultrasonidos. Técnica no destructiva para el estudio de monumentos"*. Sevilla, 2013.
- García Morales, Soledad. *"Metodología de diagnóstico de humedades de capilaridad ascendente y condensación, higroscópica en edificios históricos"*. Madrid, 1995.
- Lerma Elvira, Carlos. *"Análisis arquitectónico y constructivo del Real Colegio de Corpus Christi de Valencia"*. Valencia, 2012.
- Marín Gila, Rubén. *"Estudio sobre técnicas de ensayo no destructivas (NDT) y semi-destructivas (SDT) con el objetivo de determinar algunas de las propiedades mecánicas de la madera"*. Barcelona, 2013.
- Monteagudo Cuevas, Miguel. *"Análisis soluciones de humedades por capilaridad"*. Valencia, 2014.
- Pellicer Llopis, Vicente. *"Ensayos no destructivos en hormigón. Georadar y ultrasonidos"*. Valencia, 2013.
- Rodríguez Abad, Isabel. *"Evaluación de la técnica no destructiva del georadar para la inspección, diagnóstico y análisis resistente de la madera"*. Valencia, 2009.

Artículos, revistas, catálogos y otros documentos:

- Alava Ingenieros. FLIR *"Termografías para el diagnóstico de edificios"*. Más información: www.termografía.es

- Bornehag, C. G., Blomquist, G., Gyntelberg, F., Järholm, B., Malmberg, P., Nordvall, L., Nielsen, A., Pershagen, G. y Sundell, J. *"Dampness in Buildings and Health"*. Nordic Interdisciplinary Review of the Scientific Evidence on Associations between Exposure to *"Dampness"* in Buildings and Health Effects (NORDDAMP). Indoor Air, 2001.
- Huete Fuertes, Ricardo, Rubio de Hita, Paloma, Rodríguez Liñán, Carmen. *"Aplicación de los métodos de ultrasonidos a la verificación de materiales de construcción"*. Revista de edificación. RE nº13. Teoría y técnicas de la edificación, marzo 1993.
- Humidity Group of the HEVAC Asociación. *"Humidity and its impact on human comfort and wellbeing in occupied buildings"*. Abril, 2016.
- Macmullen, James; Rirsch, Eric; Zhang, Zhongyi. *"Evaluation of mortar samples obtained from UK houses treated for rising damp"*. Construction and Building Materials, 2011.
- Szymczuk, P., Szymczuk, M. *"Non-destructive building investigation through analysis of GPR signal by S-transform"*. Automation in Construction, 2015.
- Zhang, Huibo; Yoshino, Hiroshi. *"Analysis of indoor humidity environment in Chinese residential buildings"*. Building and Environment, 2010.
- Apuntes de la asignatura de *"Historia de Arquitectura 2"* de Antonio Gómez Gil. Valencia, 2015.

Enlaces web:

- <https://definicion.de> (Última actualización: 24/07/2017)
- <http://blogdearquitectura-juli.blogspot.com.es> (Última actualización: 24/07/2017)
- <http://www.murprotec.es> (Última actualización: 24/07/2017)
- <http://www.humedadcontrolada.com> (Última actualización: 24/07/2017)
- <http://www.casasrestauradas.com> (Última actualización: 24/07/2017)
- <http://eliminarlahumidad.org> (Última actualización: 24/07/2017)
- <http://blog.humicontrol.com> (Última actualización: 30/07/2017)
- <http://jordimarrot.blogspot.com.es> (Última actualización: 30/07/2017)
- <https://enriquealario.com> (Última actualización: 15/08/2017)
- <http://www.pce-iberica.es/medidor-detalles-tecnicos/explicacion-metodos-medicion-humedad.htm> (Última actualización: 15/08/2017)
- <http://www.geofisica-consultores.es/es/georadar.html> (Última actualización: 15/08/2017)
- http://www.vdse.es/index.php?option=com_content&view=article&id=9&Itemid=4 (Última actualización: 15/08/2017)
- <http://www.hogarseco.com> (Última actualización: 15/08/2017)
- <http://humicontrol.com/> (Última actualización: 15/08/2017)
- <http://www.stop-humedades.com> (Última actualización: 20/08/2017)
- <http://www.directindustry.es> (Última actualización: 20/08/2017)
- <https://www.mt.com> (Última actualización: 20/08/2017)
- <http://www.ineltec.es> (Última actualización: 20/08/2017)
- <https://www.biografiasyvidas.com> (Última actualización: 18/08/2017)
- <http://tecnologiamedicafisiologia.blogspot.com.es/2016/03/resumen-de-la-clase-introductoria.html> (Última actualización: 20/08/2017)
- <http://fisicamagica.latinforo.com/t38-barometro-de-torricelli> (Última actualización: 18/08/2017)