



DIVISIÓN DE CIENCIAS Y ARTES PARA EL DISEÑO
Especialización, Maestría y Doctorado en Diseño

**LAS PATOLOGÍAS DE LOS
RECUBRIMIENTOS EN MUROS
Y SU REPERCUSIÓN EN LA SALUD
RESPIRATORIA DE LOS USUARIOS**

María del Rosario Tovar Alcázar

Tesis para optar por el grado de Doctora en Diseño
Posgrado en Diseño Bioclimático

Miembros del Jurado:

Dr. José Roberto García Chávez
Director de la Tesis

Dra. Cecilia Bañuelos Barrón
Dr. Luis Fernando Guerrero Baca
Dr. Miguel Galván Ruíz
Dr. José de Jesús Márquez Ortiz

Ciudad de México
Septiembre de 2023

Dedico esta investigación a todo y a todos,
los que directa o indirectamente,
han sido parte de ella.

Doy gracias a:

Dios, por lo que me permite ser, pensar, sentir y hacer, a través de su luz y su guía. Pero, sobre todo, por darme la oportunidad de estar aquí y ahora.

A mis papás, por haber sido los grandes maestros que necesitaba mi alma para su evolución en esta vida. Además, por ser la fuente de energía y de amor que me impulsa no sólo a estudiar, sino a desafiar todas mis limitaciones.

A mis hermanas: Iliana y Lupita, por ser mis compañeras de aventura y de destino. Simplemente, por ser el motivo de mi existencia.

A LA y a UHM, por coincidir en el camino.

A mis ancestros, por ser el origen.

A mis tíos, primos, amigos, jefes, profesores, compañeros y alumnos, por las valiosas experiencias compartidas conmigo.

Al Dr. José Roberto García Chávez, por su interés en el tema, su gentileza y por ser -nuevamente- mi asesor.

Al Mtro. Roberto Barnard Amosurrutia, por la aceptación del tema y su orientación.

A los doctores -integrantes del grupo de protocolo-, por su paciencia, comprensión y objetividad al momento de revisar esta tesis.

Al Ing. Luis Legorreta Hernández, por la confianza depositada en mí y en cada uno de los proyectos encomendados.

Al Ing. Salvador Lee Godínez, por sus consejos y enseñanzas.

A Grupo Calidra, a la ANFACAL, al FOCCAL y a todas las personas involucradas en la industria calera, por el apoyo y motivación constantes.

A la cal, por ser una de mis pasiones y el principio o fin de este esfuerzo.

*Cuando te sientas inspirado por un gran propósito
todo empezará a ir bien.
Por eso, la inspiración constituye una parte
tan importante de la realización
de la intención de vivir con un propósito.*

Wayne W. Dyer

Resumen

El nivel de calidad del aire interior (CAI) tiene incidencia directa en la salud humana, por eso, es objeto de estudio del diseño bioclimático, toda vez que éste promueve el aprovechamiento de los factores ambientales para la creación y acondicionamiento de espacios en los que los usuarios experimenten confort y bienestar. Además, de impulsar la construcción con sentido común, en donde prevalezca el uso racional de los recursos y una baja dependencia energética.

En la presente tesis se pudieron identificar las propiedades de los materiales más comunes que conforman los recubrimientos de muros (cal, cemento, mortero de cemento y yeso) para reconocer los que mejor se adaptan al clima en la Cd. de México, mismos que según se pudo constatar, contribuyen en el control de algunos factores de riesgo (físico:humedad, químico:tóxicos y biológico:microbios) relacionados con una baja calidad del aire al interior de las viviendas. Tal función mitiga o reduce la aparición de algunos de los padecimientos respiratorios más frecuentes en los usuarios como: alergias, asma, rinitis, gripe y sinusitis.

Los análisis a los que fueron sometidos los recubrimientos de cuatro materiales ligantes, permitieron evaluar su desempeño ante factores ambientales semi-controlados (temperatura, humedad relativa y concentración de dióxido de carbono) inherentes al funcionamiento del propio espacio interior y al lugar de emplazamiento del mismo. Obviamente, todos los recubrimientos reaccionaron de forma distinta y acorde con las propiedades físicas y químicas de los materiales presentes en cada uno de ellos. Siendo las variaciones más representativas y satisfactorias, las relacionadas con la permeabilidad y el efecto biocida de los recubrimientos hechos con mezcla de cal.

Las patologías que mostraron algunos recubrimientos a lo largo del periodo de monitoreo, debido a la insuficiente gestión de la humedad, al alto desarrollo microbiano y a la naturaleza química del material ligante, fueron criptoeflorescencias, moho, bacterias y desprendimiento/diseminación de partículas; mismas que se consideraron definitorias para establecer que al igual que los seres vivos, los materiales de construcción necesitan rangos higrotérmicos específicos, que permitan su óptimo estado de operación.

En apego a lo anteriormente citado, es que se considera conveniente concientizar a la población en temas tan importantes para el bienestar social, como la selección de materiales y -consecuente- conservación de los recubrimientos de muros, no sólo para disminuir los costos de ejecución y mantenimiento, sino para aprovechar sus propiedades, ya que tienen una incidencia directa en lo relacionado con el control de las condiciones ambientales básicas, la regulación de la calidad del aire interior y por ende, en la salud de los usuarios. Dicha labor puede iniciar en la etapa formativa de los profesionales de la construcción, con la intención de normalizar el estudio o correcta selección de los sistemas constructivos en función del clima, pero también identificando la función de cada espacio; para garantizar así, que las propuestas de diseño responderán -satisfactoriamente- a los requerimientos de regulación de la humedad, mediante su absorción, transpiración y/o evaporación.

Palabras clave: muro, recubrimientos, patologías, salud.

Abstract

The level of indoor air quality (IAQ) has a direct incidence on the human health, therefore, is the object of study of bioclimatic design, since it promotes the harnessing environmental factors for the creation and conditioning of spaces in which users experience comfort and well-being. In addition, to encourage construction with common sense, where the rational use of resources and low energy dependence prevail.

In this thesis it has been identified the properties of the materials that make up the most common wall coverings (hydrated lime, cement, cement mortar and gypsum) for recognizing those that best adapt to the weather in Mexico City, as it could be verified, they contribute to the control of some risk factors (physical:moisture, chemical:toxics and biological:microbes) related with a low indoor air quality at dwellings. This function mitigates or reduces the appearance of some of the most frequent respiratory ailments in users such as: allergies, asthma, rhinitis, flu and sinusitis.

The analyses to which the coatings of four binding materials were subjected, allowed to evaluate their performance in the face of semi-controlled environmental factors (temperature, relative humidity, and carbon dioxide concentration) inherent to the operation of the interior space itself and the place of its location. Obviously, all the coatings reacted differently and according with the physical and chemical properties of the materials in each of them. Being the most representative and satisfactory variations, those related to the permeability and biocidal effect of coatings made with hydrated lime mixture.

The pathologies that some coatings showed throughout the monitoring period, due to insufficient moisture management, the high microbial development, and the chemical nature of the binding material, were cryptoefflorescences, mold, bacteria and particle shedding/dissemination; they were defining to establish that in similar way to living beings, building materials need specific hygrothermal ranges, to let them works in an optimal state.

According with the above, it is considered convenient to raise awareness among the population on issues as important for social welfare, such as the selection of materials and -consequently- conservation of wall coverings, not only to reduce the costs of execution and maintenance, but to take advantage of their properties, since they have a direct incidence in all related with the control of basic environmental conditions, the regulation of indoor air quality and therefore, in users' health. This work can begin in the formative stage of construction professionals, with the intention of standardizing the study or correct selection of construction systems depending on the weather, but also identifying the function of each space; to guarantee that the design proposals will respond -satisfactorily- to the requirements of humidity regulation, through its absorption, transpiration and/or evaporation.

Keywords: wall, coating, pathologies, health

Índice general

I. INTRODUCCIÓN	17
• Antecedentes	17
• Planteamiento del problema	19
• Objetivo general	21
• Hipótesis	21
• Motivación para elaborar la investigación	22
II. MARCO TEÓRICO	23
• Estado del arte	23
• Marco conceptual	32
III. MARCO METODOLÓGICO	35
• Objetivos	35
• Hipótesis	35
• Preguntas de investigación	36
Capítulo 1. Recubrimientos de muros	37
1.1 Funciones	37
1.2 Materiales y capas	39
1.2.1 Soporte	43
1.2.2 Recubrimiento Inicial [RI]	43
1.2.3 Recubrimiento Final [RF]	45
1.2.4 Recubrimiento Extra [RE]	46
1.3 Propiedades de los materiales para la mitigación de la toxicidad, la inhibición del desarrollo microbiano y la gestión de humedad	46
1.3.1 Quelación	47
1.3.2 Alcalinidad	47

1.3.3 Higroscopia	48
1.3.4 Transpirabilidad	48
Capítulo 2. Calidad del aire interior (CAI)	49
2.1 El aire	50
2.1.1 Parámetros de la calidad del aire interior	55
2.1.2 Estrategias para mejorar la calidad del aire interior	58
2.1.3 Normatividad	62
2.2 Condiciones en recubrimientos de muros que afectan la (CAI) y la salud de los usuarios	73
2.2.1 Toxicidad	76
2.2.1.1 Agentes tóxicos	80
2.2.1.2 Exposición (dosis, frecuencia y tiempo)	83
2.2.2 Desarrollo microbiano	84
2.2.2.1 Clasificación	88
2.2.2.2 Factores intrínsecos y extrínsecos	90
2.2.3 Humedad	93
2.2.3.1 Origen (filtración, capilaridad y condensación)	94
2.2.3.2 Patologías (acumulación / manchas y fisuras, aparición de moho, disolución de sales minerales / eflorescencias y criptoeflo- rescencias, desprendimiento parcial o total de materiales)	101
Capítulo 3. Evaluación de las condiciones de toxicidad, desarrollo microbiano y humedad en diversos recubrimientos de muros	112
3.1 Metodología experimental	112
3.1.1 Toxicidad	112
3.1.2 Desarrollo microbiano	114
3.1.3 Humedad	118
3.2 Interpretación de resultados	143
3.2.1 Toxicidad	143

3.2.2 Desarrollo microbiano	144
3.2.3 Humedad	151
3.3 Conclusiones generales	156
Capítulo 4. Salud respiratoria de los usuarios	162
4.1 La importancia de la respiración	165
4.2 Enfermedades respiratorias	169
4.2.1 Clasificación	172
4.2.2 Etiología	175
4.2.3 Reporte de la OMS sobre las principales enfermedades respiratorias propiciadas por la baja calidad del aire interior (CAI)	178
4.3 Canales de recepción y percepción del ser humano	181
4.3.1 Físicos (ósmosis, respiración e ingesta)	182
4.3.2 Energéticos (transmisión)	185
4.4 Diagnóstico – Encuesta a usuarios de vivienda en la Cd. de México	186
Capítulo 5. Diseño bioclimático	191
5.1 Definición y consideraciones	191
5.2 Estrategias de diseño bioclimático para disminuir la incidencia de los padecimientos respiratorios propiciados por una baja calidad del aire interior (CAI)	194
5.2.1 Humidificación por enfriamiento evaporativo	197
5.2.2 Deshumidificación por condensación del aire	198
5.2.3 Ventilación para deshumidificación	200
5.2.4 Asoleamiento	202
5.3 Bienestar y confort de los usuarios	204
5.3.1 Parámetros de confort higrotérmico para la Cd. de México	205
5.4 Vinculación de los recubrimientos en muros, el espacio interior y el clima	212
5.5 La vivienda saludable	215
5.6 Normatividad referente a vivienda	220

IV. CONCLUSIONES, PROPUESTAS, RECOMENDACIONES Y APORTACIÓN	222
V. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS Y BIBLIOGRAFÍA	229
VI. ANEXOS A Y B	242
VII. CURRÍCULUM VITAE	251

Índice de figuras

Figura 1. Libro casa saludable	26
Figura 2. Factores de exposición del exposoma	29
Figura 3. Muro verde interior	31
Figura 4. Instalación de monitores	32
Figura 5. Materiales de construcción	34
Figura 6. Recubrimientos de muro con distintas mezclas de albañilería	37
Figura 7. Recubrimiento en muros	38
Figura 8. Materiales de construcción para recubrimientos	39
Figura 9. Pulmones con afección respiratoria	40
Figura 10. Ocultamiento de patologías en muros	41
Figura 11. Diagrama de recubrimientos de muro	42
Figura 12. Captura de sustancias tóxicas	47
Figura 13. Alcalinidad	47
Figura 14. Higroscopia	48
Figura 15. Transpirabilidad	48
Figura 16. Componentes del aire seco	51
Figura 17. Niveles de CO ₂ recomendados	64
Figura 18. Índice de ventilación	69
Figura 19. Morfología de las baterías	89
Figura 20. Humedad por capilaridad	96

Figura 21. Humedad por filtración	98
Figura 22. Humedad por condensación	100
Figura 23. Diferencia entre grieta y fisura	104
Figura 24. Eflorescencias	106
Figura 25. Criptoflorescencias	109
Figura 26. Comportamiento de criptoflorescencias	110
Figura 27. Metodología experimental	112
Figura 28. Rata Wistar	113
Figura 29. Pastillas de muestreo	115
Figura 30. Cámara de ambiente controlado	115
Figura 31. Pastillas en el primer día	116
Figura 32. Características de los módulos a simular	117
Figura 33. Proporción de mezclas para recubrimientos	119
Figura 34. HOBO® MX1102A Data Logger	120
Figura 35. Prototipo de estudio	122
Figura 36. Diagrama de prototipo	122
Figura 37. Monitoreo a 1 hora	123
Figura 38. Monitoreo a 6 horas	123
Figura 39. Monitoreo a 12 horas	123
Figura 40. Monitoreo a 72 horas	124
Figura 41. Monitoreo a 1 hora	124
Figura 42. Monitoreo a 6 horas	125
Figura 43. Monitoreo a 12 horas	125
Figura 44. Monitoreo a 72 horas	125
Figura 45. Monitoreo a 7 días	126
Figura 46. Monitoreo a 10 días	126
Figura 47. Monitoreo a 12 días	126
Figura 48. Monitoreo a 1 hora	127
Figura 49. Monitoreo a 6 horas	127
Figura 50. Monitoreo a 12 horas	128

Figura 51. Monitoreo a 72 horas -----	128
Figura 52. Monitoreo a 14 días -----	128
Figura 53. Monitoreo a 17 días -----	129
Figura 54. Monitoreo a 19 días -----	129
Figura 55. Prototipo de testeo -----	133
Figura 56. Prototipo de testeo de recubrimiento -----	135
Figura 57. Patrón físico de absorción de agua -----	137
Figura 58. Flujo de 1 litro de agua en ambos prototipos -----	137
Figura 59. Absorción de agua en recubrimiento con cal en 96 horas -----	138
Figura 60. Absorción de agua en recubrimiento con mortero en 96 horas -----	139
Figura 61. Comparativa de absorción de agua en 96 horas -----	140
Figura 62. Absorción de agua en recubrimientos por 120 horas -----	141
Figura 63. Humedad relativa durante la gestión de agua a lo largo de 28 días ----	141
Figura 64. Temperatura durante la gestión de agua a lo largo de 28 días -----	142
Figura 65. Concentración de CO ₂ durante la gestión de agua a 28 días -----	142
Figura 66. Pastillas en el séptimo día -----	145
Figura 67. Proliferación de microorganismos en función de la humedad relativa -	147
Figura 68. Humedad relativa mínima en el mes más seco en Cd. de México -----	147
Figura 69. Humedad relativa máxima en el mes más húmedo en Cd. de Mx -----	148
Figura 70. Temperaturas mín y máx en febrero y junio en Cd. de México -----	148
Figura 71. Humedad relativa mínima en el mes más seco en Mérida -----	149
Figura 72. Humedad relativa máxima en el mes más húmedo en Mérida -----	149
Figura 73. Temperaturas mín y máx en marzo y septiembre en Mérida -----	150
Figura 74. Calidad biótica -----	162
Figura 75. Variedad de factores -----	164
Figura 76. Electricidad y electrostática -----	185
Figura 77. Relación entre variables -----	187
Figura 78. Relación entre variables -----	188
Figura 79. Relación entre variables -----	188
Figura 80. Relación entre variables -----	189

Figura 81. Relación entre variables	189
Figura 82. Estrategias básicas de diseño	195
Figura 83. Trayectoria solar	202
Figura 84. Tipos de clima en la Cd. de México	206
Figura 85. Precipitación pluvial en la Cd. de México	207
Figura 86. Temperaturas en la Cd. de México	208
Figura 87. Objetivos de Desarrollo Sostenible	220

Índice de figuras. Anexos A y B

Figura 1A. Muros con mezclas [A] [cal] y [B] [cemento]. HR	242
Figura 2A. Muros con mezclas [A] [cal] y [B] [cemento]. T	242
Figura 3A. Muros con mezclas [A] [cal] y [B] [cemento]. CO ₂	243
Figura 4A. Muros con mezclas [A] [cal] y [C] [mortero]. HR	244
Figura 5A. Muros con mezclas [A] [cal] y [C] [mortero]. T	244
Figura 6A. Muros con mezclas [A] [cal] y [C] [mortero]. CO ₂	245
Figura 7A. Muros con mezclas [A] [cal] y [D] [yeso]. HR	246
Figura 8A. Muros con mezclas [A] [cal] y [D] [yeso]. T	246
Figura 9A. Muros con mezclas [A] [cal] y [D] [yeso]. CO ₂	247
Figura 1B. Carta psicrométrica - muro con mezcla [A] [cal]. 1er. Periodo	248
Figura 2B. Carta psicrométrica - muro con mezcla [B] [cemento]. 1er. Periodo	248
Figura 3B. Carta psicrométrica - muro con mezcla [A] [cal]. 2do. Periodo	249
Figura 4B. Carta psicrométrica - muro con mezcla [C] [mortero]. 2do. Periodo	249
Figura 5B. Carta psicrométrica - muro con mezcla [A] [cal]. 3er. Periodo	250
Figura 6B. Carta psicrométrica - muro con mezcla [D] [yeso]. 3er. Periodo	250

Índice de tablas

Tabla 1. Factores de riesgo para el usuario al interior de los espacios -----	24
Tabla 2. Variedad de materiales para recubrimientos de muro -----	43
Tabla 3. Descripción de componentes de un recubrimiento inicial – RI -----	44
Tabla 4. Descripción de componentes de un recubrimiento final RF y extra RE ---	46
Tabla 5. Valores de los componentes del aire seco -----	51
Tabla 6. Contaminantes del aire interior -----	57
Tabla 7. Medidas de control de la calidad del aire en interiores y sus efectos -----	60
Tabla 8. Valores de los contaminantes (más comunes), legislados por la Unión Europea en comparación con las Directrices de la OMS -----	62
Tabla 9. Unidades olf en función de una actividad física -----	68
Tabla 10. Cambios de aire -por hora- en cada tipo de edificación -----	69
Tabla 11. Cambios de aire mínimos -----	70
Tabla 12. Indicadores de contaminantes -----	71
Tabla 13. Factores de riesgo al interior de la vivienda -----	74
Tabla 14. Materiales que despiden formaldehído -----	81
Tabla 15. Emisión de compuestos orgánicos volátiles (COV) -----	82
Tabla 16. Rangos de humedad para el desarrollo de microorganismos -----	90
Tabla 17. Temperaturas de desarrollo de microorganismos -----	91
Tabla 18. Límites de pH para el desarrollo de microorganismos -----	92
Tabla 19. Requerimiento de oxígeno para el desarrollo de microorganismos -----	92
Tabla 20. Humedad requerida para afectar diversos materiales -----	102
Tabla 21. Causas de patologías en muros -----	102
Tabla 22. Componentes de las eflorescencias -----	107
Tabla 23. Descripción de las condiciones de simulación -----	118
Tabla 24. Descripción del registrador HOBO® MX1102A Data Logger -----	121
Tabla 25. Cantidad de agua absorbida por hora -----	140
Tabla 26. Síntomas observados en los ratones objeto del estudio -----	143
Tabla 27. Resultados del análisis microbiológico -----	145

Tabla 28. Condiciones ambientales controladas	146
Tabla 29. Factores de riesgo para la salud	164
Tabla 30. Vínculo de padecimientos respiratorios y los factores de riesgo en espacios interiores	170
Tabla 31. Clasificación de enfermedades según la SS	177

I. INTRODUCCIÓN

Antecedentes

Las viviendas y edificios -en general- son el entorno inmediato de la mayoría de las personas, ya que éstas expenden entre el 75 y el 90% de su tiempo al interior de los espacios (Meijer, et al. 1989). El Estudio sobre la Calidad del Aire Interior en Viviendas, realizado en el 2022 por el Consejo General de la Arquitectura Técnica de España en colaboración con la Universidad Politécnica de Madrid, indica un porcentaje muy similar (80 y 90%); esto implica que se está expuesto durante mucho tiempo a los estímulos emitidos por fuentes de distinta categoría, mismos que representan una alteración sustancial del ambiente y de la calidad del aire que se respira.

Sosa, R. (1991) cita que los contaminantes presentes en el aire interior, tienen 3 tipos de procedencia:

- La combustión
- Los materiales de construcción y mobiliario
- Los seres humanos y sus actividades

Pese a que la calidad del aire es de gran relevancia, fue hasta las últimas décadas que se comenzó a correlacionar al ambiente interior con el deterioro de la salud humana, lo que exhibe la necesidad de procurar la calidad biótica¹ de las viviendas y los centros de trabajo, ya que la fatiga, la falta de concentración y el estrés, son síntomas ineludibles de que existe algún trastorno vinculado con el espacio en el que se permanece.

Bueno, M. / Silvestre, E. (2009), enuncian que estos padecimientos se han generalizado y se ha aprendido a vivir con ellos, pero que podrían ser evitados, mediante el uso de materiales saludables y un diseño arquitectónico eficiente.

Culturas de antaño implementaron medidas para la conservación de la salud, mediante el emplazamiento estratégico de las construcciones, la integración a la naturaleza y la adaptación de las actividades a las múltiples funciones biológicas que cumple el ser

¹ Se refiere a los seres vivos y a sus características.

humano; prerrogativas² que el diseño bioclimático retoma satisfactoriamente, por considerar que el vínculo entre los seres vivos y el entorno, es esencial para una convivencia en armonía y balance.

Por otro lado, la conexión entre ciertos padecimientos de salud y el tiempo que las personas pasan en sus hogares o sitios de trabajo es un tema que se ha documentado científicamente, partiendo de que en el año 1982, la Organización Mundial de la Salud (OMS), hizo pública la posibilidad de que las edificaciones representaran algún tipo de riesgo para los ocupantes, acuñando así, la definición del Síndrome del Edificio Enfermo (SEE)³; concepto que décadas más tarde, sigue vigente bajo el estandarte de la construcción saludable.

“Si hiciéramos una valoración de las técnicas constructivas y de los materiales de construcción empleados en los últimos cien años, veríamos que se han producido cambios importantes. De edificios contruidos con piedra, tierra, arcilla, yeso, madera o cal, se ha pasado a utilizar de forma prioritaria hormigón armado, hierro, PVC, aluminio, suelos y acabados, en general, sintéticos; de espacios con ventilación preferentemente natural a cerramientos herméticos, sistemas de calefacción y refrigeración centralizados o sistemas de recirculado de aire (lo que conlleva una deficiente renovación y calidad del aire).” Bueno, M. / Silvestre, E. (2009:27-28)

El análisis del aire al interior de las viviendas es, sin duda una tarea que diversas instancias han considerado como prioritaria. Tal, es el caso de la Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos (EPA), que ha reconocido más de 400 compuestos químicos en diversas muestras de aire procedente de hogares. También, en 2003, la Universidad de Exeter en Reino Unido, analizó para *Greenpeace* el polvo de muchas

² Atributos de excelencia.

³ Traducción del concepto *Sick Building Syndrome* (SBS). Según Bueno, M. / Silvestre, E. (2009), en realidad se debería llamar: Síndrome del edificio que enferma a sus moradores.

viviendas en Europa, encontrando alquilfenoles⁴, ftalatos⁵, parafinas cloradas⁶, insecticidas y repelentes, todas ellas consideradas sustancias que se asocian con diversos trastornos nerviosos, inmunológicos y hasta hormonales. En el caso de los Compuestos Orgánicos Volátiles (COV), la EPA ha determinado que son causantes de daños hepáticos, nerviosos, renales y multiorgánicos como el cáncer.

Es importante decir, que la mayoría de estas sustancias se desprenden de los materiales de construcción, mobiliario y productos de limpieza empleados.

Por esa razón, es que se ha establecido la pertinencia de evaluar el desempeño de los materiales de construcción, antes de replicar su uso de forma indiscriminada.

Planteamiento del problema

“Muchos problemas permanecen sin resolver, porque la gente busca soluciones y no nuevas formas de ver los problemas.” César de la Parra.

Para la ONU-Habitat México, el material predominante en los muros está relacionado con la seguridad y protección que una vivienda brinda a sus ocupantes, lo que está determinado por su resistencia, durabilidad y capacidad de aislamiento; en consecuencia, si se estudian los materiales, se puede estimar el rezago habitacional y conocer la habitabilidad de los espacios en términos de bienestar y salud respiratoria.

Según el Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI), en el 2020, la Cd. de México tenía 2 millones 756 mil 319 viviendas, de las cuales, el 99.2% poseía muros hechos a base de tabique, ladrillo, block, piedra, cemento o concreto, materiales que necesitan ser mamposteados o unidos y recubiertos mediante una mezcla de

⁴ Sustancias químicas utilizados como herbicidas, en la fabricación de PVC y poliestireno modificado. Tiene alto potencial de contaminación ambiental.

⁵ Sustancias utilizadas en diversos productos que demandan alto rendimiento, larga duración y resistencia. Se utilizan para suavizar o plastificar el vinilo.

⁶ Se usan como plastificante. Añaden flexibilidad al cloruro de polivinilo (PVC) de tuberías y accesorios. También se utilizan como aditivos en pavimentos hechos a base de materiales plásticos y como forro para los cables. Son plastificante para pinturas y adhesivos.

albañilería, lo que los hace susceptibles de presentar algún tipo de desgaste o daño causado por distintos factores (temperatura-humedad). Este deterioro impide que las viviendas sean consideradas como habitables y saludables, toda vez que, los materiales de construcción experimentan patologías muy particulares; cuando esto se convierte en una constante fuente de alteración de la calidad del aire al interior, se tienen como repercusión, diversos padecimientos en los usuarios -principalmente- de tipo respiratorio, como alergias, gripe, asma y tuberculosis.

La Dirección de Epidemiología y Medicina Preventiva de la Secretaría de Salud de la Cd. de México, ha indicado que en el 2020, 1 millón 245 mil 466 personas -afiliadas al sector salud-, tuvieron alguna enfermedad respiratoria, de tipo infeccioso o no transmisible y relacionada con la baja calidad del aire interior.

Tomando como referencia los resultados de diversos estudios, como por ejemplo el realizado por el Consejo General de la Arquitectura Técnica de España con la colaboración de la Universidad Politécnica de Madrid (2022:7), que dice:

“Se ha observado que los edificios de más antigüedad, con envolventes permeables, tenían capacidad para poder ventilar las estancias ocupadas en condiciones normales. Sin embargo, al tratar de mejorar energéticamente estos edificios existentes, una de las actuaciones más eficaces ha sido la mejora de la envolvente, consiguiendo grados de hermeticidad muy altos que limitan las pérdidas energéticas al exterior, pero que, a su vez, reducen en gran medida la ventilación que se producía por discontinuidades en la misma. [...] Al hermetizar la vivienda, se reducen las renovaciones de aire y se crean ambientes con valores de contaminantes por encima de los niveles saludables propuestos por la OMS [...]”

Concluyendo que, es muy importante construir o rehabilitar edificios, siguiendo criterios saludables que antepongan el bienestar de los usuarios.

En una encuesta del 2021, el INEGI determinó que el principal problema estructural que tiene el 44.2% de las viviendas en México, son la humedad y las filtraciones de agua, siendo éstos, aún más graves que las grietas o cuarteaduras presentes en el 40.8% de las viviendas; ambas condiciones se dan en muros y losas.

Fue así, que se identificó la posibilidad de abatir el deterioro de los recubrimientos de muros y -en gran medida- evitar algunos de los padecimientos respiratorios entre la población, simplemente con hacer una selección de los materiales involucrados, fundamentada en propiedades como la quelación, la alcalinidad, la higroscopia y la transpirabilidad; mismas que permitirán -en mayor o menor grado- la mitigación de la toxicidad, la inhibición del desarrollo microbiano y la gestión de humedad al interior de los espacios.

Objetivo general

Demostrar que los recubrimientos en muros modifican la calidad del aire interior, condición que se identificará mediante la evaluación de su desempeño en relación con la toxicidad, el desarrollo microbiano y la gestión de humedad en un clima estandarizado (Cd. de México); para motivar a la elección del que presente menor número de patologías y con ello, reducir la incidencia de algunos padecimientos respiratorios en los usuarios.

Se propone la investigación documental, un análisis microbiológico especializado y finalmente, una fase experimental que consista en la construcción de diversos prototipos de muro en los que la variable principal, sea el tipo de mezcla que conforma su recubrimiento; de esta forma, se podrán identificar sus similitudes o diferencias.

Hipótesis

Los recubrimientos en muros condicionan la toxicidad, el desarrollo microbiano y la gestión de humedad al interior de los espacios, por lo que la salud de los usuarios se ve afectada en menor o mayor grado, dependiendo de los materiales cementantes involucrados, el clima y la calidad del aire interior. Porque éstos poseen características

físicas y químicas muy peculiares, que al reaccionar con el entorno, potencian o reducen su desempeño óptimo y grado de conservación al paso del tiempo.

Motivación para elaborar la investigación

La vocación del diseñador debe ser orientada al servicio de la sociedad y al respeto por el ambiente; es decir, a través de la investigación y la generación de propuestas de diseño bioclimático, el profesional puede contribuir al bienestar del ser humano, procurando entornos ambientalmente sustentables y a la transformación de su conducta tanto en el ámbito social, como en el individual.

Se pretende aportar conocimiento en el campo de la Medicina, específicamente en la conformación de la etiología y diagnóstico de padecimientos respiratorios, al plantearse el análisis de aquellos factores ambientales con los que el usuario de los espacios tiene interacción; esto con el afán de visualizar un panorama de sanación holístico, que vaya más allá de los tratamientos que defiende la alopática⁷.

Incluso, se ha pensado en fortalecer el concepto de la medicina del hábitat, una tendencia poco explorada, pero que ancestralmente, ha sido empleada en muchas culturas.

Por eso, se propuso el estudio de los recubrimientos para muros con mayor demanda en la Cd. de México, ya que se pretende demostrar la forma en que éstos tienen singulares características como la quelación, la alcalinidad, la higroscopia y la transpirabilidad; propiedades que -bajo ciertas circunstancias- pueden contribuir a la mitigación de la toxicidad, la inhibición del desarrollo microbiano y la gestión de humedad, para ayudar a que las viviendas posean condiciones de habitabilidad que preserven la salud respiratoria de los usuarios. Es pertinente indicar que cuando se habla de usuarios se hace referencia -incluso- a nosotros mismos, esta es la verdadera motivación o justificación del tema elegido, contribuir a mejorar la salud de todos.

⁷ Medicina clásica occidental, que emplea medicamentos y tratamientos contrarios a la causa de la enfermedad.

II. MARCO TEÓRICO

Estado del arte

La calidad del aire interior (CAI) tiene un impacto directo en la salud, bienestar, confort, productividad y capacidad de aprendizaje de los usuarios. Cuando el aire es aceptable al interior de los espacios, se obtienen beneficios sociales y económicos, tanto a nivel público como familiar. El documento de Posicionamiento de la ASHRAE⁸ sobre Calidad del Aire Interior (CAI) publicado en el año 2020, indica que esta condición es primordial y básica de las construcciones.

El aire al interior de los espacios es la principal fuente de exposición a agentes contaminantes, dada la permanencia de los usuarios; por eso, es de vital importancia que su calidad sea considerada durante el diseño, construcción, operación o funcionamiento y mantenimiento de las viviendas.

Resulta pertinente revisar los sistemas constructivos y los materiales involucrados, para entender la aparición de ciertas patologías en las construcciones y su relación con los malestares en los usuarios. Previamente, se ponderaba el uso de materiales de origen natural, mientras que de forma posterior, se optó por el uso de materiales altamente industrializados como el concreto, el acero y los derivados del petróleo. Por otro lado, el uso de sistemas pasivos para la ventilación y la iluminación eran una constante, ahora, la renovación de aire se consigue mediante sistemas mecanizados que crean gran dependencia energética cada vez mayor.

Es así, como el cambio en la práctica constructiva se ha hecho evidente, pero al mismo tiempo se ha confirmado que los espacios actuales pueden ser desfavorables para la salud y consecuente preservación de la especie humana y es que, la calidad de vida de las personas ha incrementado en un sentido, pero disminuido en otro. Padecimientos en ojos, nariz, piel, vías respiratorias y digestivas, así como la alteración del estado de ánimo, tienen un efecto negativo en la esperanza de vida de la población, predisposición

⁸ American Society of Heating, Refrigerating y Air Conditioning Engineers.

que se atribuye en la mayor parte de los casos, al Síndrome del Edificio Enfermo (SEE), tal como lo mencionan Bueno, M. / Silvestre, E. (2009).

Bajo esta modalidad, se consideran las afecciones de salud que padecen entre el 20 y el 30% de las personas que coinciden en un espacio. Y un cálculo somero del número de edificios que posee la peculiaridad de enfermar a sus usuarios, ronda el 30%.

Es por eso, que la evaluación de los edificios se concentra en la calidad biótica⁹ de los espacios interiores, para así determinar los factores que -eventualmente- puedan representar algún riesgo para los usuarios (Tabla 1).

Tabla 1. Factores de riesgo para el usuario al interior de los espacios.

Fuente: Bueno, M. / Silvestre, E. (2009:37)

<i>Tipo de factor</i>	<i>Factores de riesgo ambientales</i>
<i>Biológico</i>	Ácaros, hongos, bacterias, esporas, microorganismos, etc.
<i>Químico</i>	Compuestos Orgánicos Volátiles, polvo, fibras, formaldehídos, CO y CO ₂
<i>Físico</i>	Radiaciones, calidad del aire, ruido, luz, temperatura, humedad, etc.
<i>Psicosociales</i>	Relaciones, satisfacción, organización, etc.

Bueno, M. / Silvestre, E. (2009) exponen que la OMS ha identificado dos tipos de edificio enfermo, el primero, es el que ha sufrido una remodelación y la factibilidad de propiciar afecciones en los usuarios es temporal (un año); el segundo tipo es aquel cuya capacidad de enfermar a los usuarios es permanente (años).

Se debe aclarar que este concepto aplica a los edificios -principalmente- de oficinas, pero eso no excluye a las viviendas. Existen registros médicos que certifican la problemática de salud inherente a la casa-habitación y que podría ser denominada como el síndrome de la casa enferma.

⁹ Factibilidad para el desarrollo de microorganismos patógenos.

El Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo de España, ha señalado en su documento divulgativo denominado, *El Síndrome del Edificio Enfermo*. Metodología de Investigación, que:

“Esta problemática se ha visto potenciada con el diseño de edificios más herméticos y con un mayor grado de recirculación del aire con objeto de asegurar un ahorro energético, admitiéndose que aquellos que no disponen de ventilación natural, ser áreas de exposición a contaminantes. [...] La calidad del aire en el interior de un edificio es función de una serie de variables que incluyen la calidad del aire exterior, el diseño del sistema de ventilación/climatización de aire, las condiciones en que este sistema trabaja y se revisa, la compartimentación del edificio y la presencia de fuentes contaminantes interiores y su magnitud. Entre estas últimas cabe citar: las diferentes actividades que se realizan, el mobiliario, los materiales de construcción, los recubrimientos de superficies y los tratamientos del aire.” (1994:3-4)

Asimismo, Bueno, M. / Silvestre, E. (2009) reportan que es a partir de estudios de geobiología y bio-habitabilidad que se ha demostrado que la exposición de los usuarios a ciertos factores como las sustancias tóxicas, la electricidad estática, la contaminación electromagnética y la radioactividad presentes en los materiales de construcción o en los elementos naturales como la tierra y el agua, puede desencadenar severos problemas de salud.

En los cursos y talleres que imparte, así como en los libros (Fig. 1) en los que aborda la temática ecológica y saludable, Mariano Bueno¹⁰ indica que el ser humano interactúa - directamente- y se constituye tanto por el ambiente natural como por el construido, esto debido a que la materia sufre transformaciones de gran relevancia a lo largo de su vida útil y en el caso de las construcciones, lo que hoy es una capa de pintura, mañana puede ser una película plástica, cuyas partículas estén en estado de dispersión.

El comparte un dicho: *“Dime donde vives y te diré de qué padeces...”*

¹⁰ Experto y divulgador de la Agricultura Ecológica, la Geobiología y la Bioconstrucción.

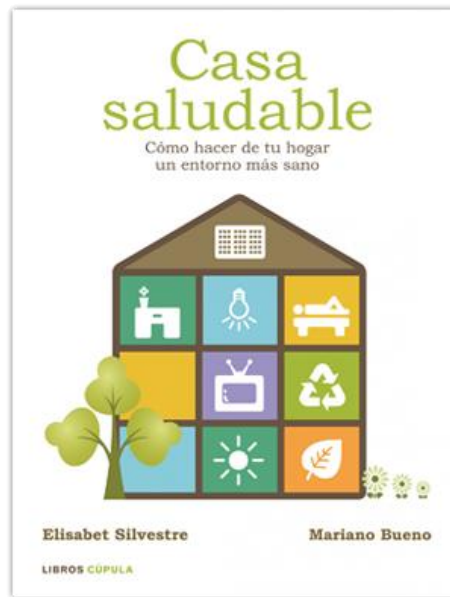


Figura 1. Libro Casa Saludable.

Fuente: <http://www.mariano-bueno.com/libros/casa-saludable/>

Baubiologie

Hace más o menos 4 décadas, surgió una corriente constructiva en Alemania, de nombre *Baubiologie*, que significa: Biología de la Construcción o Bioconstrucción, como se conoce en México. Su principal argumento, son los sistemas constructivos alternativos, es decir, aquellos que promueven el uso eficiente de los recursos, la adaptación al entorno y la disminución del consumo energético, todo esto con la intención de no afectar al ambiente de forma considerable. La Sustentabilidad y la salud, son dos temas prioritarios por el alto impacto que tienen, sobre todo para las generaciones futuras.

Según comentan Bueno, M. / Silvestre, E. (2009), en 1976 se creó el Instituto Alemán de Biología y Ecología de la Construcción con la idea de encauzar sus esfuerzos hacia la investigación, documentación y formación en todo lo relacionado con el fomento de la vida y las funciones vitales del ser humano, dentro del espacio construido.

Es bajo esta dinámica, que se propone que todos los elementos involucrados en la construcción de las viviendas deben actuar como coberturas protectoras del espacio

interior y -al mismo tiempo- del usuario. Desde la perspectiva de un intercambio natural, se asume que la absorción, transpiración, evaporación y regulación higrotérmica, son funciones que el espacio puede y debe desempeñar para crear armonía, bienestar y salud en las personas. La construcción se visualiza como una práctica integral en donde se ponderan las necesidades básicas del ser humano, en apego y observancia de las 25 pautas de bioconstrucción, que tienen como premisa que la naturaleza es y será siempre la referencia. Siendo las categorías más representativas, las relacionadas con los materiales de construcción e insonorización, el ambiente interior, el medio ambiente, energía y agua, interiorismo y aspectos solares, según lo resumido en el sitio web de *Oreka Bioarkitektura*.

Obviamente, en ellas, se resaltan las siguientes líneas por tener una incidencia directa en los recubrimientos de muro:

- Materiales naturales y no contaminados
- Materiales inodoros que no emitan tóxicos
- Regulación de la humedad mediante el uso de materiales higroscópicos
- Minimización y disipación de la humedad en las construcciones
- Reducción de hongos, bacterias, polvo y alérgenos

De hecho, existen un par de filiales del Instituto y en uno de sus sitios web <https://www.baubiologie.es/> comparten:

“La primera actividad es la asistencia objetiva al consumo, así como el estudio y la formación sobre el eje de la globalidad, la ecología y la baubiologie [...]. Nuestra prioridad es la formación para llegar a ser “especialista en bioconstrucción IBN”. El Instituto es económica y políticamente independiente y neutro.”

Durante mucho tiempo, el origen ambiental de las enfermedades se atribuyó, única y exclusivamente a los agentes contaminantes procedentes del aire y del agua. Sin embargo, en años recientes, se ha determinado que los químicos tóxicos entran en el

cuerpo humano tanto de manera exógena (por aire, agua, dieta, drogas y radiación) como endógena, a través de la inflamación, el estrés, las infecciones y otras condiciones propias del organismo.

Estudios en salud ocupacional dirigidos por el Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo de España, sugieren que el 90% de los padecimientos respiratorios están ligados con factores no genéticos, por lo que es recomendable determinar cuáles son los factores ambientales que interactúan entre sí y a los que las personas están expuestas en sus viviendas o centros de trabajo; aspecto que no sólo contribuye a la detección temprana de padecimientos, sino que -incluso-, podría evitar su aparición.

Es por eso, que en esta tesis se explica cómo es que el aire al interior de los espacios es modificado por distintos factores y esto a su vez, tiene una repercusión directa en los usuarios.

Exposoma humano

Se tiene como referencia al *Exposoma* (Fig. 2), que en términos de toxicología / epidemiología ambiental y definido por el epidemiólogo molecular Christopher P. Wild, director de la Agencia Internacional para la investigación del Cáncer, es el conjunto de exposiciones que recibe cada individuo, desde la concepción hasta la muerte, dicho con otras palabras, agrupa a todos los factores ambientales a los que el ser humano está expuesto a lo largo de su vida. Este indicador ha sido de gran utilidad para identificar condiciones de riesgo en enfermedades propiciadas por una influencia específica dentro de un espacio o bien, fuera de éste.

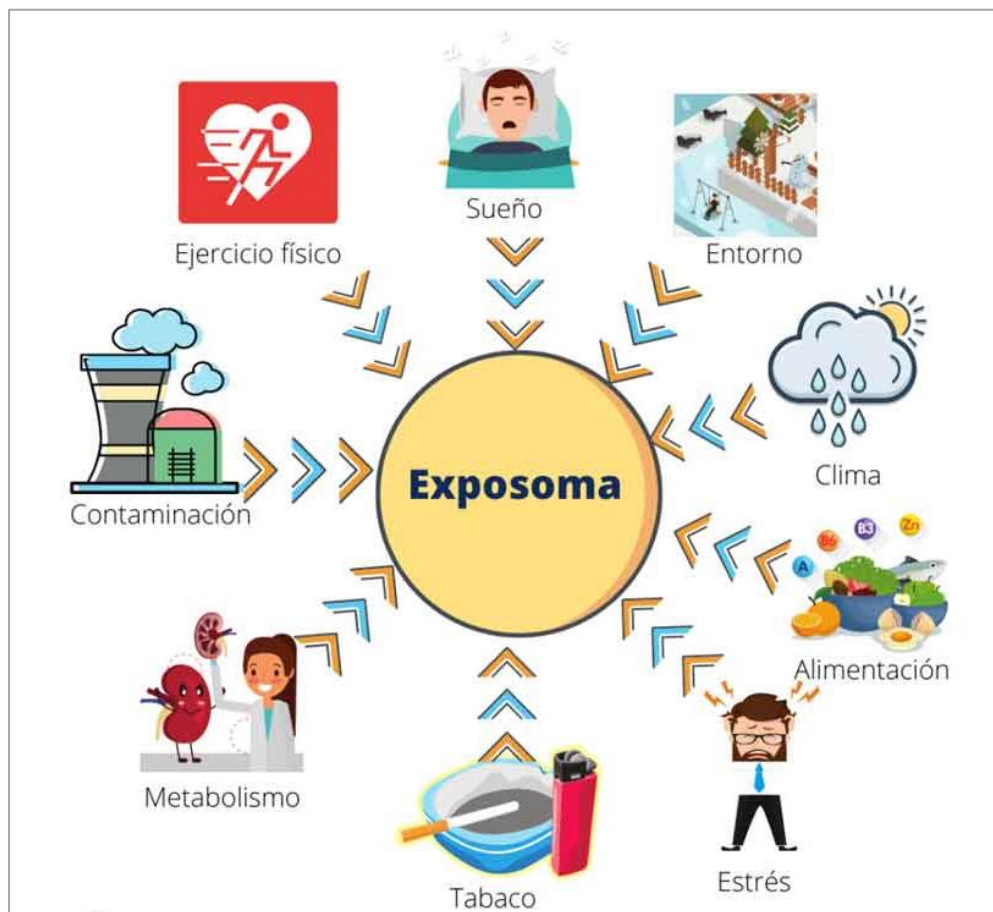


Figura 2. Factores de exposición del exposoma.

Fuente: <https://www.vidasostenible.org/que-es-el-exposoma/>

Por ejemplo, un estudio de la Academia Española de Dermatología y Venereología llamado, *El exposoma: los factores que influyen en el envejecimiento de la piel* (2017:01) señala:

“La importancia de este concepto radica en que se ha postulado que el exposoma puede ser el responsable de múltiples enfermedades crónicas. Recientemente, se ha identificado y se está estudiando el exposoma de la piel en lo que se refiere al envejecimiento de esta, y se han definido 7 factores de exposoma externos y modificables que afectan al envejecimiento de la piel: radiación solar, contaminación, tabaco, temperatura, nutrición, estrés, falta de sueño y uso de cosméticos.”

Por eso, el exposoma es básicamente un planteamiento médico ambiental, fundamental y decisivo para comprender la importancia de conocer las características de los espacios y el efecto que pueden tener los materiales presentes en las viviendas o centros de trabajo en la salud de los usuarios, porque aunque no sean algo perceptible visualmente, las partículas y sustancias procedentes del mobiliario o de los recubrimientos se disipan; llegando hasta la nariz, los pulmones e incluso la piel, ocasionando diversos padecimientos.

Áreas verdes confinadas

Una investigación del Centro Europeo para el Medio Ambiente y la Salud Humana, de la Universidad de Exeter en Reino Unido, hace referencia a que los enfermos que están en contacto con la vegetación o plantas, que pasan tiempo en jardines o áreas verdes confinadas (Fig. 3), reducen de manera considerable sus padecimientos; esto motivado por la naturaleza, pero también porque las plantas (en mayor o menor medida) purifican el ambiente y reducen el número de partículas contaminantes alrededor.

“Cuando inspiramos, nuestras células toman O_2 y producen CO_2 , agua y energía. Cuando los árboles, las plantas y las flores inspiran, hacen exactamente lo contrario: absorben el CO_2 que nosotros espiramos, así como agua y energía solar, para producir el O_2 que nosotros inspiraremos con nuestro próximo aliento. Nuestro sistema respiratorio no solo está dentro de nosotros, sino que nos rodea por todas partes y está conectado estrechamente con la naturaleza.” Bostock, R. (2021:70)

Este tipo de estrategias de diseño, al igual que determinado tipo de materiales de construcción o decoración, son de gran ayuda para mejorar la calidad del aire interior, porque mitigan la eventual presencia de sustancias tóxicas en los espacios. Existen especies vegetales que son capaces de neutralizar los agentes contaminantes, sus características son determinantes para tal función, de ahí que no todas, puedan sobrevivir en ambientes cerrados, oscuros y mal ventilados. Además, es bien conocido, que algunas

plantas no son aptas para determinado clima y es justamente este punto, el que permitió establecer la necesidad de conocer los materiales cementantes para recubrimientos de muro, en función de sus capacidades auto-gestivas de aire y agua.

Además, de que la tendencia actual, de colocar especies vegetales sobre muros, expone un requerimiento -aún mayor- para la aplicación de un recubrimiento adecuado y eficaz que facilite la regulación higrotérmica al interior de los espacios.



Figura 3. Muro verde interior.

Fuente: <https://architectureboard.wordpress.com/2018/08/19/muros-verdes-en-oficinas/>

HOMEChem

En 2018 el proyecto denominado *HOMEChem*¹¹ *Observaciones de la química microbiana y ambiental en casa*, auspiciado por veinte grupos de trece universidades en Estados Unidos, se fundamenta en el hecho de que el usuario está expuesto a una serie de elementos y condiciones ambientales al interior de las construcciones que altera y afecta su estado de salud física y mental. Así que, mediante el monitoreo especializado (Fig. 4) de sustancias y partículas dispersas en el aire, los investigadores determinan cómo es que una familia puede presentar padecimientos de diversa índole, -simplemente- por estar expuesta a una fuente constante de contaminación física, química, microbiana y hasta energética.

¹¹ *House Observations of Microbial and Environmental Chemistry.*

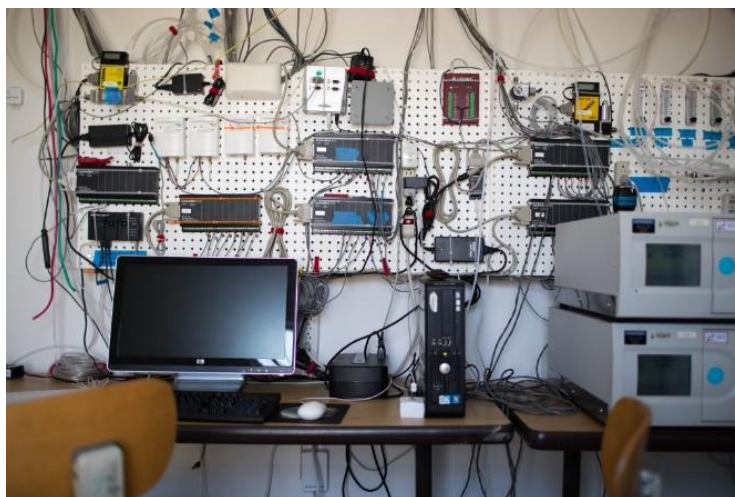


Figura 4. Instalación de monitores.

Fuente: <https://indoorchem.org/projects/homechem/>

Comprendiendo lo expuesto previamente, es que se pensó en estudiar los recubrimientos de muros y su -eventual- comportamiento bajo tres factores de riesgo (físico, químico y biológico), creando argumentos relacionados con la conveniencia de utilizar uno u otro, en función no sólo del clima, sino también del tipo de construcción y del espacio en cuestión.

Marco conceptual

El Instituto Español de Baubiologie indica que para crear un espacio interior confortable y saludable, se necesita de la correcta interacción entre la temperatura, la humedad, el aire y el electro-clima. De igual forma, sugiere que la ventilación adecuada es un requisito indispensable para la salud de los usuarios, el aire de calidad aceptable es el recurso vital para garantizar la vida, misma que merma principalmente en las construcciones o viviendas herméticas, es decir, en aquellos espacios que carecen de las condiciones necesarias para la circulación de aire al interior (número/tipo de las ventanas y dirección/intensidad/velocidad de los vientos).

“[...] Piensa que tu nariz es como un aparato de aire acondicionado que filtra el aire que inspiras, lo calienta y lo humidifica antes de que llegue a tus pulmones. La respiración nasal aumenta la entrega de oxígeno a las células, mantiene el equilibrio de los niveles de dióxido de carbono en la sangre y hasta puede mejorar la capacidad general de los pulmones. [...]

La respiración nasal también ayuda a producir óxido nítrico, un gas importante que, con sus propiedades antivíricas y antibacterianas, contribuye a destruir los virus y los parásitos de las vías respiratorias y de los pulmones.” Bostock, R. (2021:46)

Por otro lado, la Guía para el Control de la Humedad en el Diseño, Construcción y Mantenimiento de Edificaciones, realizado por la *U.S. Environmental Protection Agency*, el Comité para Espacios Interiores con Exceso de Humedad y la Salud, indica que partiendo de pruebas epidemiológicas realizadas con anterioridad, concluye que existe un vínculo directo entre las construcciones y la salud de los usuarios. De ahí, la pertinencia de atender los parámetros susceptibles de ser modificados desde el momento del diseño de las viviendas, para contribuir a que la calidad del aire interior sea mayor, una vez, que éstas se construyan y operen.

En la presente tesis, se propuso estudiar el desempeño que tienen los recubrimientos de muros, por considerar que estas superficies, son estratégicas para conservar e -incluso- mejorar la calidad del aire interior.

Se analizaron los diversos materiales involucrados, para identificar, mediante la interpretación de resultados, cuáles son las mejores opciones de recubrimiento, para determinado clima y espacio.

No es lo mismo, recubrir muros en un dormitorio que en una cocina, porque en ambos espacios se desarrollan actividades distintas y la generación de sustancias/vapores cambia. Obviamente, aspectos como la ventilación y la incidencia de los rayos solares son elementales para determinar la eficiencia de los recubrimientos. Sin embargo, el conocimiento de ciertos detalles y características de los materiales, tanto del soporte del muro como de los revestimientos, permite dilucidar y predecir el deterioro o patologías

que tarde o temprano presentarán; condición que ayudará a la mitigación anticipada de sus efectos adversos e -incluso- la programación de acciones de mantenimiento menor, con las cuales se puede prolongar su durabilidad, sin menoscabo de la salud de los usuarios.



Como indica Rodríguez-Mora, O. (et al.) (2004) los recubrimientos de muros están hechos con materiales vivos (Fig. 5) que van modificando su morfología desde el momento en que se preparan las mezclas de albañilería, se aplican y se ponen en operación; sencillamente, porque sus componentes interactúan entre sí y experimentan diversos procesos.

Figura. 5. Materiales de construcción.

Fuente: <https://villalaminados.com/materiales-del-futuro/>

Se puede decir, que, bajo este patrón, los recubrimientos de muros están involucrados en dos de las funciones más complejas que desempeña un espacio habitable, primordialmente y de manera equiparable a la piel humana, otorgan protección a los elementos constructivos, pero también son los filtros superficiales que están en contacto directo con el ambiente y el usuario; por eso, del estado de conservación y eficiencia operacional de éstos, depende -en parte- la calidad del aire interior (CAI) y de manera consecuente, el nivel de salud de los usuarios.

III. MARCO METODOLÓGICO

Objetivos

- Comprobar que la toxicidad, el desarrollo microbiano y la humedad al interior de los espacios dependen -en cierta medida- del tipo de recubrimientos en muros.
- Identificar cómo la toxicidad, el desarrollo microbiano y la humedad son factores que disminuyen la calidad del aire interior y repercuten en la aparición de padecimientos respiratorios en los usuarios.
- Demostrar que los materiales conglomerantes de los recubrimientos tienen distintos niveles de toxicidad, desarrollo microbiano y gestión de humedad; motivo por el cual, es importante elegir el que mejor se adapte al clima y el que menor repercusión adversa tenga en la salud de los usuarios.

Hipótesis

- La toxicidad, el desarrollo microbiano y la humedad en los recubrimientos de muros, son condiciones que disminuyen la calidad del aire interior.
- La toxicidad, el desarrollo microbiano y la humedad en los recubrimientos superficiales de muros, pueden desencadenar padecimientos respiratorios en los usuarios.
- Los materiales conglomerantes utilizados, determinan el desempeño y el grado de conservación de los recubrimientos de muros.

Preguntas de investigación

1. La conservación de los muros, ¿depende del tipo de recubrimiento que tenga?
2. La regulación de los factores ambientales al interior de los espacios, ¿puede atribuirse a los recubrimientos de muros?
3. Un desempeño deficiente de los recubrimientos superficiales en muros, ¿puede afectar la calidad del aire interior e incrementar los padecimientos respiratorios de los usuarios?
4. Las características físicas/químicas de los materiales conglomerantes, ¿pueden detonar la aparición de patologías y reducir el tiempo de vida útil de los recubrimientos de muros?

Capítulo 1. Recubrimientos de muros

Dentro del hábitat humano, los recubrimientos que se aplican sobre los muros son de gran relevancia, puesto que conforman “la piel” de éstos y de otros elementos constructivos. Es necesario decir que, se realizan con diversos materiales, espesores, texturas y colores (Fig. 6). Sin embargo, su trascendencia va más allá de lo que se puede observar, puesto que cumplen diversas funciones que permiten modificar ciertas condiciones ambientales al interior de los espacios, tal como lo veremos en el desarrollo del presente estudio.



Figura 6. Recubrimientos de muro con distintas mezclas de albañilería.

Fuente: Macías, E. (2009:70)

1.1 Funciones

La principal función de los recubrimientos se centra en la capacidad de brindar algún tipo de protección a los elementos que conforman al muro, ante el efecto del clima, la contaminación y otros elementos naturales como la flora y la fauna. En segundo lugar, los recubrimientos están concebidos para revestir a las superficies con diversas texturas y colores, lo que tendría una intención meramente estética, pero también psicológica, según lo han citado algunos autores.

“La atmósfera esterilizada de los hospitales es un contexto en el que el color blanco suscita asociaciones negativas. Automáticamente, nos imaginamos a un enfermo grave dentro de una cama con ropas blancas. Para hacer más agradable la atmósfera de los hospitales, se pintan sus habitaciones de amarillo claro o rosa pálido.”

(Heller, E. 2005:163)

Otra de las funciones que se les confiere a los recubrimientos es el de la asepsia e incluso, el del aislamiento térmico o higroscópico, tal como lo indican la NOM-020-SENER-2011 "Eficiencia energética en edificaciones.- Envoltente de edificios para uso habitacional" y la Guía para el Control de la Humedad en el Diseño, Construcción y Mantenimiento de Edificaciones (2016)¹².

De ahí, que sea de vital importancia la elección de los recubrimientos para muros con un desempeño acorde al clima y a las demás condiciones ambientales, imperantes en el sitio de emplazamiento de la construcción (Fig. 7), para evitar -en la medida de lo posible- un deterioro acelerado o bien, el uso de aditivos para mejorar sus propiedades.



Figura 7. Recubrimiento en muros.

Fuente: <https://www.cemix.com/aplanado-vs-recubrimiento-cemento-cal/>

¹² U.S. Environmental Protection Agency. USA.

1.2 Materiales y capas

La variedad de materiales susceptibles de ser utilizados en la realización de los recubrimientos de muros, está dividida en dos grupos: los que tienen un origen natural y los que se obtienen mediante un proceso industrializado (Fig. 8). Por obvias razones, los primeros tienen un ciclo de vida mucho menos agresivo con el ambiente y los segundos, se caracterizan por contener diversas sustancias que -tarde o temprano- reaccionarán entre sí, generando -en la mayoría de las veces- daños ambientales y en la salud de los usuarios.

Es importante decir, que no todos los materiales tienen la misma función y eficiencia, sus propiedades físicas y químicas van acotando o robusteciendo sus posibilidades de uso.



Figura 8. Materiales de construcción para recubrimientos.

Fuente: Macías, E. (2009:72)

Es así como Minke, G. (2005) indica que la tierra tiene un buen desempeño en lo relativo a la regulación térmica, pero no así en lo concerniente a la humedad; este hecho condiciona a su vez, el que los recubrimientos a base de tierra no sean considerados en regiones en dónde hay una precipitación pluvial constante. Toda vez que, su conservación estaría comprometida y el estado de los muros se vería de igual forma, alterado. En contraposición, se pueden citar a las pastas (formuladas con resinas acrílicas) que son impermeables y utilizadas en sitios en dónde la humedad es intensa, pero que resultan ser ambivalentes porque lo mismo evitan la entrada de agua que su salida, provocando afectaciones en el soporte de los muros. Como suele decirse entre

los constructores, no hay inconveniente en que el agua entre a los elementos constructivos, el problema real es que permanezca atrapada en su interior.

Otras características trascendentales de los recubrimientos son la toxicidad de sus componentes y la factibilidad del desarrollo microbiano, aunque ambos aspectos sean poco visibles, generan condiciones de riesgo en los usuarios. Y es que quién podría imaginar que una pintura comercial posee compuestos orgánicos volátiles¹³ (COV) o químicos que perjudican -directamente- a las vías respiratorias. Que el moho¹⁴ presente en el cuarto de baño produce alergen¹⁵ y micotoxinas¹⁶, que pueden causar congestión nasal, irritación en la garganta y los ojos o infecciones severas en los pulmones, tal como lo indica la EPA¹⁷. Por otro lado, según el Instituto de Medicina¹⁸ (IOM) (2004), existe evidencia de que la exposición al moho está relacionada con los síntomas de afecciones graves en el aparato respiratorio superior, así como con el asma y la neumonitis por hipersensibilidad (Fig. 9).



Figura 9. Pulmones con afección respiratoria.

Fuente: <https://www.istockphoto.com/es/v%C3%ADdeos/lungs>

¹³ Los COV son liberados frecuentemente por disolventes, pinturas y otros productos de uso común dentro de los espacios.

¹⁴ Es el nombre que se le da a los hongos de tamaño pequeño que crecen en la superficie de diversos materiales, -principalmente- en condiciones de humedad o descomposición; formando una capa de color blanco, negro o verde.

¹⁵ Son sustancias que causan reacciones alérgicas en los usuarios.

¹⁶ Son sustancias -posiblemente- tóxicas para los usuarios.

¹⁷ U.S. Environmental Protection Agency (2011). *Una breve Guía para el moho, la humedad y su hogar.* USA.

¹⁸ Ahora llamado Academia Nacional de Medicina (NAM) USA.

Definitivamente, los materiales de construcción deben elegirse, considerando un sinnúmero de variables como apariencia, dimensiones, calidad, eficiencia, disponibilidad y costo, pero las más importantes son las relacionadas con su composición y durabilidad, porque éstas, condicionan su degradación y en consecuencia, la calidad del aire al interior de los espacios.

En pleno S-XXI, es vasta la oferta de aditivos o productos químicos para la modificación o mejoramiento del desempeño de los recubrimientos, ante la presencia del exceso de humedad o moho. Sin embargo, antes de pensar en su uso, se deben considerar dos aspectos básicos, el económico que -por obvias razones- tiene un impacto en el presupuesto de la construcción y el concerniente al desprendimiento de sustancias dañinas; cabe mencionar que, en este último punto, por lo regular, pasan desapercibidos sus efectos en la salud de los usuarios, porque se presta atención al daño del muro y la “intervención” inmediata, se centra en evitar la concentración de agua o la aparición de manchas fúngicas.

Bajo esta misma línea, una vez que las patologías en muros, se hacen evidentes, es común buscar su mitigación y camuflaje, mediante algún producto meramente superficial, pero que termina siendo una medida paliativa que permite reducir la visibilidad del daño, sin tratar o eliminar la fuente que lo originó (Fig. 10).



Figura 10. Ocultamiento de patologías en muros.

Fuente: Macías, E. (2009:71)

Los recubrimientos de muros suelen estar constituidos por diversas capas (Fig. 11), se piensa que mientras mayor sea el número de éstas, mayor durabilidad tendrá al paso del tiempo, sin embargo, la falta de compatibilidad y adherencia entre estas capas, suele provocar anomalías que aceleran su desprendimiento y por ende, el inminente requerimiento de reparación o sustitución; un recubrimiento dañado es sinónimo de segregación, desprendimiento y dispersión de sus componentes.

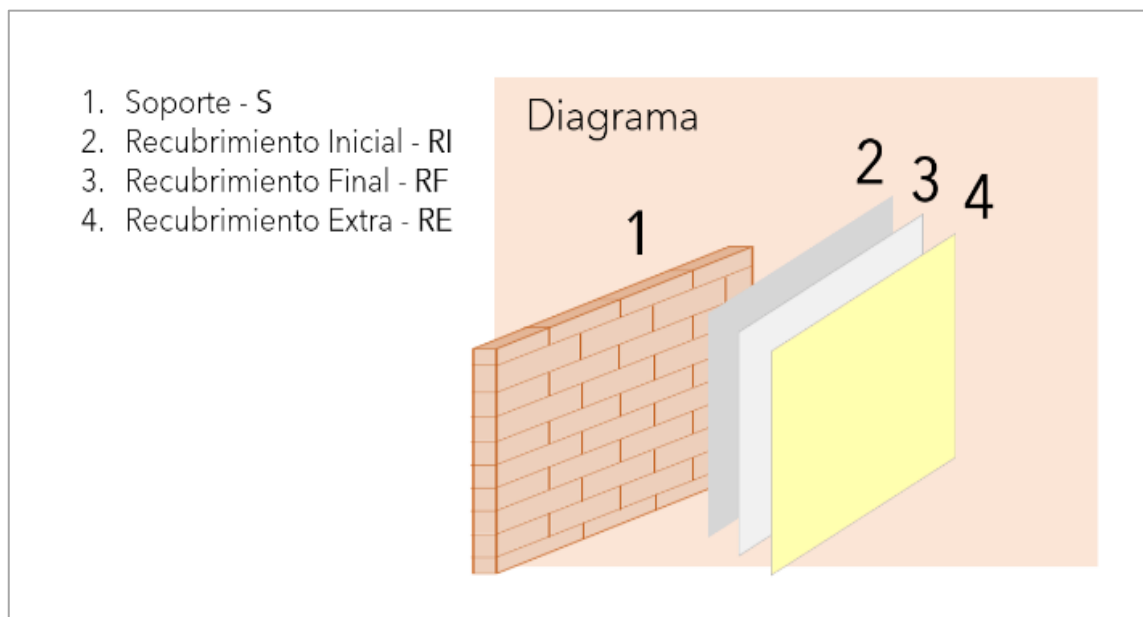


Figura 11. Diagrama de recubrimientos de muro.
Fuente: Elaboración propia.

Un dato a considerar es que los recubrimientos de muros están -íntimamente- ligados con el tipo de mezclas de albañilería¹⁹, pastas²⁰ y pinturas²¹ utilizadas (Tabla 2). Además, es válido decir que sus aglomerantes²² y conglomerantes²³ son los elementos clave, ya que de ellos dependen, tanto el desempeño como las propiedades físico-químicas de los recubrimientos, antes y después de ser aplicados.

¹⁹ También conocidas como argamasas o morteros; que son el producto de la combinación de un material árido y uno o más cementantes como la cal, el cemento y el mortero de cemento, además del agua, que es el vehículo de integración de los materiales citados

²⁰ Material de recubrimiento hecho con ligantes, pigmentos y agregados pétreos de granulometría controlada.

²¹ Sustancia pigmentada y de consistencia fluida, que da color a las superficies.

²² Son materiales que para unir, sufren una reacción física.

²³ Son materiales que para unir, sufren una reacción química.

Tabla 2. Variedad de materiales para recubrimientos de muros.

Fuente: Hornbostel, C. (2005:249)

Soporte	Recubrimiento Inicial - RI	Recubrimiento Final - RF	Recubrimiento Extra - RE
Tabique	Cal-arena	Cal-cero fino	Pintura natural
Tabicón	Cemento-arena	Yeso	Pintura comercial
Block	Mortero-arena	Pasta texturizada	Ninguno
Piedra	Yeso	Pintura comercial	
Concreto	Pasta texturizada	Pintura natural	
Tierra	Ninguno	Ninguno	

1.2.1 Soporte [S]

Existen materiales aptos para la construcción de muros, en México los más comunes son: tabique, tabicón, block, piedra, concreto y tierra. Cada uno de ellos, tiene características peculiares que van delimitando su uso a casos muy puntuales. Tal como se indicó en algún apartado previo, es necesario considerar una serie de factores antes de elegir el más adecuado al proyecto. Sin embargo, además de la resistencia a la compresión, un elemento fundamental será el clima, ya que estos materiales poseen distinto comportamiento higrotérmico²⁴.

La elección de los recubrimientos superficiales posteriores, debería estar supeditada al material soporte del muro y es que los materiales industrializados -difícilmente- tendrán afinidad con los materiales naturales; siendo probable, que tampoco se adapten al entorno geográfico y/o climático. Por eso, se necesita analizar el comportamiento de los materiales involucrados en cada recubrimiento.

1.2.2 Recubrimiento Inicial [RI]

El recubrimiento inicial es la base sobre la que se colocarán los recubrimientos subsecuentes, en caso de que los haya. Su principal función es la de generar una capa de protección para el material soporte del muro; por esa razón, suele tener un espesor

²⁴ Relativo a la combinación de temperatura y humedad en el ambiente. Formado por las voces griegas *υγρος* (*hygrós* "húmedo") y *θερμος* (*termós* "temperatura").

grueso y lo conforman -generalmente- mezclas de albañilería diseñadas con distintos cementantes y áridos (Tabla 3). Al ser esta capa la que tiene contacto directo con los materiales que componen al soporte del muro, poseen la facultad de modificar de manera directa su desempeño higrotérmico. Además, su funcionamiento óptimo y el de las demás capas, dependerán de la cohesión entre sus componentes, de la mínima retracción²⁵, de su porosidad y hasta de su adherencia al soporte. Es a este tipo de recubrimiento, al que se hace referencia en esta tesis.

Tabla 3. Descripción de componentes de un recubrimiento inicial - RI.

Fuente: Tovar, R. (2018:17)

Componente	Descripción	Materias primas	Usos
Arena	La arena es producto de la desintegración natural o artificial de rocas o minerales. Se obtiene de depósitos glaciares, de río, lago, mar, de residuos y por acción del viento. Se diferencia del aluvión por el tamaño de partículas. Su composición varía según el tipo de depósito o banco.	feldespatos óxido de hierro arcilla roca caliza mica granate circonio turmalina	Su uso es común como agregado tanto para mezclas de albañilería como para concretos. Además, se emplea para rellenos y creación de pavimentos.
Cal	La cal viva es un material de origen natural, compuesto por Óxido de Calcio, aunque normalmente contiene impurezas como óxidos de aluminio, hierro, silicio y magnesio. Al tratarla con agua, reacciona y desprende gran cantidad de calor, formando el Hidróxido de Calcio el cual se comercializa como un polvo blanco denominado cal hidratada.	roca caliza	En la industria se emplea como modificador de mezclas asfálticas, como fundente en la metalurgia y en la refinación del azúcar, para la neutralización de los suelos ácidos en la agricultura y en el tratamiento de aguas. La cal se usa para estabilizar suelos arcillosos, además, como material de construcción se utiliza en la elaboración de mezclas para mamposterías y aplanados, pintura, impermeabilizante y en concretos ligeros.
	Es un sulfato deshidratado de Calcio de origen natural. Por lo regular, se presenta combinado con óxidos de	sulfato de calcio monohidratado	Es útil para hacer recubrimientos de base y pastas para acabados, pastas acústicas, repellados a prueba de fuego y otras pastas especiales, paneles de

²⁵ Pérdida de humedad y aparición de fisuras.

Yeso	hierro y aluminio, con carbonatos de Calcio y magnesio, entre otros.		pasta, bloques para construcción y molduras de pasta reforzada. Se utiliza como retardador para el cemento y para regular el fraguado del concreto.
Mortero de cemento	También llamado cemento de albañilería, es un cemento de baja resistencia, mezclado con materiales inertes finamente molidos.	cemento cal agregados	Utilizado para hacer plantillas, superficies de contacto, acabados y repellados. Este tipo de cemento no debe usarse para concretos estructurales. El mortero está diseñado para trabajos donde no se requieren resistencias elevadas a la compresión, sino sólo las propiedades ligantes.
Cemento	Es una combinación química de materiales arcillosos estrictamente controlada (sílice-alúmina) y materiales calcáreos con óxido de hierro y pequeñas cantidades de otros elementos, a la cual se agrega yeso en el proceso final de molienda para regular el tiempo de fraguado.	roca caliza arcilla yeso	Se utiliza en todo tipo de elementos de concreto. Materiales prefabricados de concreto. En mezclas para mampostería y aplanados. En productos de fibra-cemento, terrazo, piedra artificial, blocks y como base de pinturas para concreto.
Agua	Sustancia líquida sin olor, color ni sabor que se encuentra en la naturaleza en estado más o menos puro.	hidrógeno oxígeno	Dentro de la construcción, el agua es indispensable para la limpieza, la preparación de mezclas, concretos, pinturas, impermeabilizantes y para la operación de la propia edificación.

1.2.3 Recubrimiento Final [RF]

Este recubrimiento, como su nombre lo indica es el último -en ciertos casos- y tiene la intención de brindar una superficie con textura y color específicos. Su espesor es fino y los materiales involucrados pueden ser -nuevamente- las mezclas de albañilería. Sin embargo, también es común utilizar pastas y pinturas, siendo éstas, las encargadas de brindar una superficie uniforme, pulida o bien, rugosa, según sea el requerimiento.

Los materiales de esta capa y de la siguiente (Recubrimiento Extra - RE) (Tabla 4) son los que permanecen en contacto directo con los usuarios y -muchas veces- su estado de conservación revela el estado que guarda el soporte del muro.

Tabla 4. Descripción de componentes de un recubrimiento final - RF y extra – RE.

Fuente: Tovar, R. (2018:80)

<i>Componentes</i>	<i>Descripción</i>	<i>Materias primas</i>	<i>Usos</i>
<i>Cero fino</i>	Polvo producto de la molienda de mármol	Mármol	Formulación de mezclas de albañilería
<i>Pasta texturizada</i>	Pasta de consistencia espesa utilizada para dar protección o textura a los muros y plafones	Resina Granillo Cero fino Carbonato de calcio	Realización de acabados superficiales Decoración de elementos arquitectónicos
<i>Pintura natural</i>	Sustancia espesa compuesta por aglutinante, disolvente y pigmento orgánico o inorgánico	Tierra / arcilla Cal Pigmento Caseína	Recubrimiento de protección y decoración de superficies
<i>Pintura comercial</i>	Sustancia vinílica, acrílica o aceitosa con pigmento sintético	Resina vinílica Resina acrílica Aceite Pigmento	Recubrimiento de protección y decoración de superficies

1.2.4 Recubrimiento Extra [RE]

Por lo regular, el recubrimiento extra es meramente opcional y se realiza, sólo si la capa previa carece de uniformidad o color; de ahí, que se consideren las pinturas o tintes como materiales a emplear. Del tipo, eficiencia y deterioro de este recubrimiento, se podrá inferir el nivel de calidad del aire al interior de los espacios.

1.3 Propiedades de los materiales para la mitigación de la toxicidad, la inhibición del desarrollo microbiano y la gestión de humedad

Aunque sería posible considerar bajo este rubro algunas propiedades más especializadas, se aclara que para efectos del presente texto -simplemente- se hará referencia a las cuatro características de los materiales que tienen relación directa con la calidad del aire al interior de los espacios.

1.3.1 Quelación

El término proviene de la palabra griega *chele*, que significa garra – lo que implica agarrar y capturar/secuestrar sustancias extrañas o tóxicas para eliminarlas (Fig. 12). En el contexto químico es considerada como la formación de enlaces para evitar la toxicidad de metales pesados como el plomo y el mercurio.



Figura 12. Captura de sustancias tóxicas.
Fuente: <https://www.flaticon.com/free-icons/air>

1.3.2 Alcalinidad

Lo que es lo mismo a un incremento significativo en el pH²⁶ (Fig. 13) de las sustancias o materiales, con la consecuente inhibición de la aparición de microbios y demás agentes nocivos o perjudiciales para el ser humano.

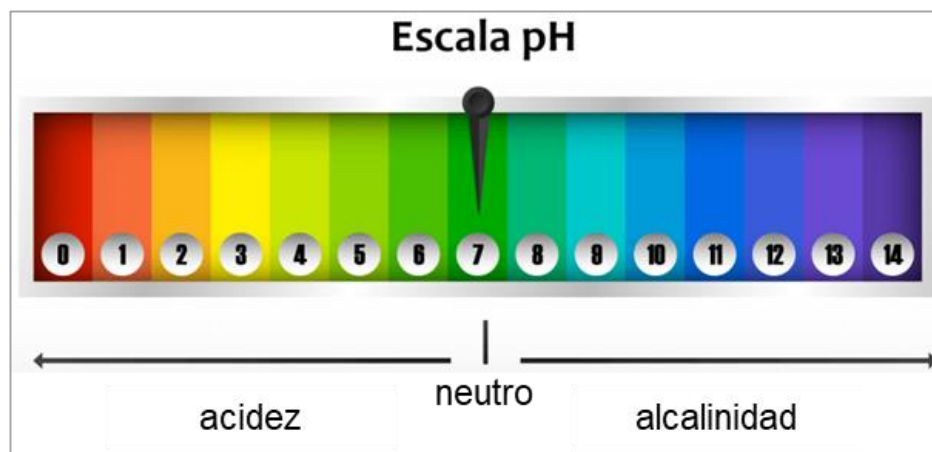


Figura 13. Alcalinidad.
Fuente: <https://www.vecteezy.com/vector-art/589313-the-ph-scale-diagram>

²⁶ Representa el Índice logarítmico del grado de acidez o alcalinidad de una solución.

1.3.3 Higroscopia

Está determinada por la afinidad o afección de agua y con ello, la correspondiente canalización y expulsión de la misma, a través de los intersticios o poros de los materiales (Fig. 14).

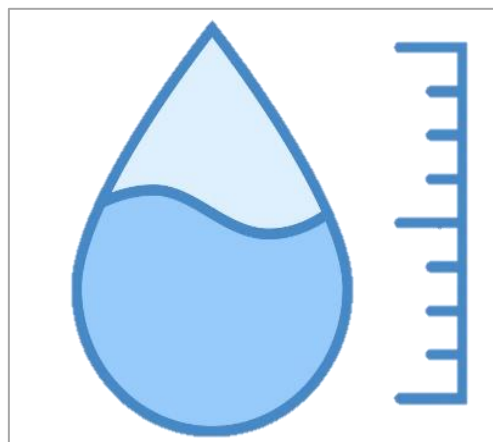


Figura 14. Higroscopia.

Fuente: <https://es.dreamstime.com/vector-del-nivel-de-la-humedad-image134996173>

1.3.4 Transpirabilidad

Esta capacidad de los materiales está condicionada por la porosidad de las superficies y la disipación del vapor de agua, para evitar su acumulación al interior de los elementos constructivos o bien, de los espacios (Fig. 15).

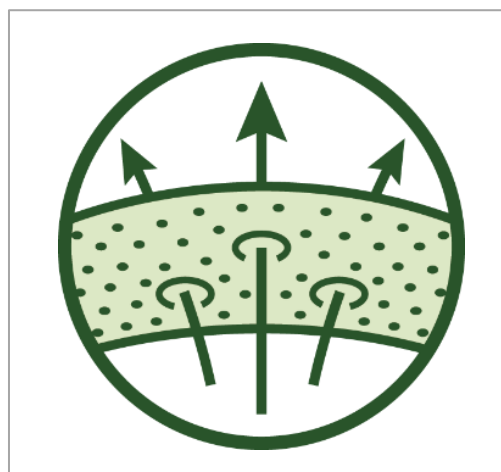


Figura 15. Transpirabilidad.

Fuente: <https://swileet.pl/en>

Estas propiedades en los materiales que conforman los recubrimientos de muro, hacen que sean elementos constructivos más funcionales de lo que se podría pensar. Porque en realidad, son filtros superficiales que están en contacto directo con el ambiente y el usuario; por eso, para este estudio, se propone que del estado de conservación y eficiencia operacional de los recubrimientos de muros, dependen -en cierta medida- la calidad del aire interior (CAI) y de manera inherente, el nivel de salud de los usuarios.

Capítulo 2. Calidad del aire interior (CAI)

“El viento es una forma de energía solar, es de gran importancia para el hombre. Todos los seres vivos necesitamos de aire para subsistir. La naturaleza lo ha propiciado limpio, puro y gratuito durante miles de años. El aire limpio, rico en oxígeno para respirar, es la necesidad ambiental más urgente para la vida humana.

Históricamente, el viento significa para el hombre la satisfacción de su necesidad vital para subsistir y una herramienta natural de extraordinaria utilidad.”

García, J. R. / Fuentes, V. (2005:11)

La calidad del aire interior o CAI como se abrevia, es un término -relativamente- reciente que hace referencia a las características que posee el aire al interior de los espacios. La mayoría de las personas asume que la contaminación del aire se aprecia -exclusivamente- en su tonalidad. Se omiten parámetros de singular relevancia como los olores y los vapores, esos gases que sin ser vistos porque no tienen un color específico, sí representan un riesgo para la salud humana, incluso para el buen estado de conservación de la fauna, la flora y los cuerpos de agua.

La calidad del aire interior está determinada por la ausencia de agentes nocivos para el usuario de los espacios o construcciones y estos contaminantes, no se limitan a los gases tóxicos como el monóxido de carbono (producto de la combustión) sino que también, las partículas de polvo e -incluso- productos de limpieza como el cloro o los suavizantes de telas, llegan a representar una fuente causal de diversos padecimientos respiratorios.

La calidad del aire interior de los espacios es indispensable para garantizar -no sólo- el bienestar de los usuarios, sino también su salud; como se ha mencionado en varios documentos relacionados, el aire es el alimento vital de todo ser vivo, dada su composición química y las funciones que realiza.

Para Frontczak, M. / Wargocki, P. (2011) la calidad del aire implica que el aire esté libre de concentraciones que dañen al organismo y además, que un 80% de los usuarios que estén en contacto con el, no sientan afectaciones o incomodidad.

De igual forma, establecen que la baja calidad del aire en ambientes interiores es un problema que aqueja a la sociedad en general; sencillamente, porque se ha calculado que los usuarios pasan del 75 al 90% del tiempo en espacios cerrados, en donde la circulación del aire es casi nula. También, al paso de los años, se ha optado por construir habitaciones herméticas en los que la recirculación del aire es común y la ventilación natural limitada.

2.1 El aire

El aire es una mezcla de diversos gases que recubre la Tierra y es primordial para preservar la vida en ella, en el planeta predominan el nitrógeno y el oxígeno.

Según lo establecido por Littlejohn, C. / Meenagham, G. (1959), el aire seco (Fig. 16) está compuesto de:

- 78% *nitrógeno*.- gas sin color, ni sabor, de gran abundancia en la corteza terrestre y presente en todos los seres vivos.
- 21% *oxígeno*.- gas reactivo, considerado como un elemento esencial para la combustión y la respiración de la mayoría de las células vivas.
- 0.94% *argón*.- gas presente en la atmósfera terrestre y en las emanaciones volcánicas.
- 0.04% *dióxido de carbono*.- gas inodoro y no inflamable, relacionado con el efecto invernadero. Es el producto resultante del metabolismo de los seres vivos y la descomposición de los frutos.
- 0.01% *hidrógeno*.- es el más ligero de todos los gases y por ello, poco abundante en la atmósfera de la Tierra. Es inflamable e insoluble en agua.
- 0.01% otros gases.

Con los siguientes valores de referencia (Tabla 5).



Figura 16. Componentes del aire seco.
Fuente: Soler & Palau. (2016:2)

Tabla 5. Valores de los componentes del aire seco.
Fuente: Soler & Palau. (2016:3)

<i>Componentes del aire seco (1,2928 kg/m³ a 0 °C 760 mm)</i>					
	Símbolo	En volumen %	En peso %	Contenido en el aire (g/m³)	Peso específico (kg/m³)
Nitrógeno	N ₂	78,084	75,518	976,30	1,2504
Oxígeno	O ₂	20,946	23,128	299,00	1,428
Argón	Ar	0,934	1,287	16,65	1,7826
Anh. Carbónico	CO ₂	0,035	0,4 10-6	0,62	1,964
Otros		0,001	0,0178	0,23	

Es importante señalar que la cantidad de oxígeno presente en el aire disminuye - proporcionalmente- con la altitud²⁷ y también, se ve influenciada por la temperatura y la humedad de la localidad, tal como lo comenta Jordan, M. (2012).

Se hace énfasis en la cantidad de oxígeno que alberga el aire, porque de este componente depende -en gran medida- la salud de los usuarios.

²⁷ Elevación o altura sobre el nivel del mar.

“Todas las células sanas del cuerpo son alimentadas con oxígeno [...]. La travesía entera dura 1 minuto aproximadamente.” Nestor, J. (2021:100)

La deficiencia de oxígeno en la sangre junto con la presencia de sustancias anómalas para el organismo, propicia malestares de diversa índole y fatiga generalizada.

Lamentablemente, se asume que el aire siempre contiene oxígeno en la proporción idónea para que el usuario experimente confort al interior de los espacios y esto, no es así, porque como se verá más adelante, el aire se vicia o contamina con mayor frecuencia de la que se puede sospechar.

“La cantidad de oxígeno que tenemos en la sangre se llama saturación de oxígeno (SpO_2), cifra que denota el % de moléculas de hemoglobina de la sangre que contienen oxígeno. Un individuo sano tendría una SpO_2 de entre 97 y 98%. Como el oxígeno se está difundiendo constantemente de la sangre a las células para generar energía, una SpO_2 del 100% podría indicar que la entrega de oxígeno de la sangre a los tejidos no es la óptima, lo cual es una señal característica de respiración excesiva.”

Bostock, R. (2021:54)

El célebre Albert Szent-Györgyi²⁸ indicaba que los seres vivos son hojas del mismo árbol y sus funciones biológicas son -simplemente- manifestaciones de la materia viva. Se dice, que quería entender cómo es que el aire que se respira tiene interacción directa con todos los órganos del cuerpo, en pocas palabras, le inquietaba saber cómo es que la vida obtiene energía del propio aire.

Todo esto, fundamentado en el hecho de que cuanto más oxígeno consume la vida, más activa y sana se mantiene la materia.

²⁸ Fisiólogo húngaro, ganador del Premio Nobel de Fisiología o Medicina en el año de 1937. Sus trabajos de investigación estuvieron relacionados con la química de la respiración.

Se afirma que la respiración, no sólo suministra oxígeno a los seres vivos, sino que además, otorga lo que se conoce como *prana*²⁹ o *ch'i*, denominada así a la energía vital que se encarga de mantener los sistemas físicos y energéticos operando óptimamente; si su flujo sufre algún bloqueo, el cuerpo terminará por presentar fallas o enfermedades. De ahí que, en los humanos, se promueva la respiración profunda, para llenar y vaciar los pulmones por completo; promoviendo de esta forma, la limpieza y liberación de aire estancado o rezagado.

Por eso, Nestor, J. (2021) indica que la mejor forma de mantener la salud es la imitación de las reacciones de la vida aeróbica en la Tierra, inundando los cuerpos de oxígeno. Lo que se logra, respirando por la nariz, de forma lenta y menos frecuente, para crear un balance entre los gases respiratorios y enviar así, la máxima cantidad de oxígeno a las células.

Asimismo, comparte que los 13.5 kilogramos de aire que pasan por los pulmones, -diariamente- y los -poco menos de- 800 gramos de oxígeno que consumen las células del cuerpo, son tan esenciales como los alimentos que se ingieren o el ejercicio que se realiza para mantener/recuperar la salud.

Pero, ¿por qué es tan importante el aire que se respira?

Como lo expresa Villaamil, R. (2016), el aire es el principal alimento del cuerpo porque por medio de la respiración se:

- Vitaliza la sangre (oxigenación)
- Liberan dióxido de carbono y otros residuos tóxicos (purificación)
- Incrementa la energía vital del organismo (regeneración)

Las tres son funciones bioquímicas esenciales del ser humano.

²⁹ Concepto acuñado hace más de 3000 años, tanto en China como en India, manifiesta que mientras más energía/*prana* se tenga, más vida habrá y que cuando el *prana* se agota, la muerte es segura. Los griegos lo llamaban (*pneuma*), los iroqueses (*orenda*), los hebreos (*ruah*), los japoneses (*ki*) y los pueblos originarios de Latinoamérica (*tonalli*).

Se debe comprender “[...] cómo los miles de millones de moléculas que aspiramos con cada bocanada han construido nuestros huesos, recubrimientos de músculos, sangre, cerebro y órganos, y repasa la ciencia emergente de cómo estos pedacitos microscópicos influenciarán nuestra salud y felicidad mañana, la semana que viene, el próximo mes, el año que viene y las décadas por venir.” Nestor, J. (2021:20)

Para que el aire sea considerado como puro, debe estar:

- En continuo movimiento (no permanecer estático)
- Libre de tóxicos
- Ionizado (partículas cargadas eléctricamente que repelen contaminantes)

Es necesario que el aire que se respire sea lo más limpio/puro posible porque la salud de los usuarios está estrechamente ligada con el nivel de calidad que éste posee. El aire es un insumo imprescindible para la existencia humana, está presente a cada instante y en cada rincón. De hecho, el consumo de aire diario, es sorprendentemente alto, pero dadas las condiciones de baja calidad del mismo, diversos estudios han determinado que lo mejor es limitar el volumen que se inhala.

“Lo que se considera médicamente normal hoy en día es cualquier valor entre una docena y veinte respiraciones por minuto, con una ingesta media de cerca de medio litro de aire por respiración.

[...] La solución es sencilla: hay que respirar menos. [...]

[...] Respirar menos no es lo mismo que respirar lento. Unos pulmones adultos normales pueden acoger aproximadamente entre 4 y 6 litros de aire. Esto significa que, aunque practiquemos la respiración lenta a 5.5 respiraciones por minuto, aún podríamos estar tomando el doble del aire que necesitamos.” Nestor, J. (2021:112)

Obviamente, el aire -por sí mismo- implica una serie de consideraciones que por el momento no serán retomadas. Sin embargo, sí era conveniente vincularlo con las funciones que éste desempeña en el ámbito de la salud y del bienestar de los usuarios de los espacios construidos.

2.1.1 Parámetros de la calidad del aire interior

La incidencia de enfermedades respiratorias/alérgicas por una baja calidad del aire, antes de la pandemia del COVID-19³⁰, era un tema que motivaba al uso de la ventilación constante al interior de los espacios. Por lo que, se determinó que la evaluación de la calidad del aire interior debía medir la concentración de contaminantes y la velocidad de su disipación -justamente- mediante la ventilación. Entre estos contaminantes, se destacaban:

- monóxido de carbono
- dióxido de carbono
- compuestos orgánicos volátiles (COV)
- partículas en suspensión (SP)

Para tal medición, existen diversos valores y/o criterios integrados en las Directrices para la Calidad del Aire Interior, desarrolladas por la Organización Mundial de la Salud (OMS) y en las normas emitidas por la Sociedad Americana de Ingenieros de Calefacción, Refrigeración y Acondicionamiento del Aire (ASHRAE).

De igual forma, algunas referencias sobre la calidad del aire fueron creadas por el Centro Europeo para el Medio Ambiente y la Salud, -aunque- no son jurídicamente obligatorias, son un instrumento legislativo para orientar políticas que sean determinantes en el establecimiento del vínculo entre los agentes contaminantes y la salud; mediante la propuesta de nuevos niveles de calidad del aire que permitan reducir la contaminación y -por ende- la morbilidad³¹ inherente a ésta.

Los niveles de calidad del aire recomendables son para los contaminantes clásicos como las partículas en suspensión (PM), el ozono (O₃), el dióxido de nitrógeno (NO₂), el dióxido de azufre (SO₂) y el monóxido de carbono (CO).

³⁰ Enfermedad infecciosa causada por el virus SARS-CoV-2.

³¹ Proporción de personas que enferman en un sitio y tiempo determinado.

Asimismo, se han identificado los riesgos para la salud de los usuarios, relacionados con las partículas en suspensión con un diámetro igual o menor a 10 (PM₁₀) y 2.5 micras (µm) (PM_{2.5}), ya que éstas son capaces de penetrar directamente en los pulmones, incluso se dice que las PM_{2.5} son susceptibles de incorporarse al torrente sanguíneo. Las PM provienen -principalmente- de la combustión, razón por la que es probable que el usuario esté expuesto a ellas, lo mismo en sus viviendas, que en los centros de trabajo.

En las directrices citadas, se incluyen prácticas de gestión de diversas partículas en suspensión, que carecen de pruebas y/o referencias cuantitativas para determinar los niveles relativos a la calidad del aire, pero que -definitivamente- son de gran relevancia por la presencia de éstas, tanto en ambientes exteriores como en interiores.

El director regional de la OMS para Europa, el Dr. Hans Henri P. Kluge³², ha indicado que se estima que anualmente, se tienen millones de muertes por los efectos de la contaminación del aire, por enfermedades no transmisibles, en su mayoría.

En el año 2019 se registró, que más del 90% de la población en el mundo, estuvo expuesta a concentraciones prolongadas de PM_{2.5} superiores al nivel establecido por la OMS.

Se sabe que los dos principales componentes del aire a nivel del mar (aire puro) son el nitrógeno (78%) y el oxígeno (21%), el vapor de agua es una constante, aunque mínima y variable (1%); sin embargo, al interior de los espacios, los compuestos del aire que son de interés para controlar su calidad, contemplan productos químicos, material particulado y microorganismos. Tal como se muestra en la Tabla 6 y a lo largo de esta investigación.

³² Médico belga, experto en salud pública con más de 25 años de experiencia en medicina general, cirugía y obstetricia.

Tabla 6. Contaminantes del aire interior.
Fuente: WHO (2009:35)

Componente	Categoría detallada
Químicos	Orgánicos (volátiles y semi-volátiles) Inorgánicos
Partículas definidas por el tamaño	Total de partículas suspendidas <100 µm Partículas suspendidas respirables <10 µm Partículas finas <2.5 µm
Aerosoles biológicos	Hongos, moho Bacterias Virus Polen

Gran parte de los contaminantes del aire interior se encuentran en concentraciones -relativamente- insignificantes. Aún y las cifras de los compuestos químicos como el formaldehído y el monóxido de carbono, no suelen ser grandes, pero sí graves; toda vez que los humanos tienen la capacidad para identificarlos. Por esa razón, se necesitan métodos de medición muy sensibles para detectarlos y cuantificarlos.

La variación entre las concentraciones de contaminantes al exterior e interior, es considerable debido -entre otras cosas- a las tasas de emisión, la ubicación, pero sobre todo, a la distribución del aire. El tipo de contaminantes, de igual forma, es diverso.

En ocasiones, puede ser posible que el monitoreo de éstos, concluya que la calidad del aire no sea del todo baja, pero que los usuarios tengan síntomas de malestar o fatiga.

La calidad del aire interior considera las concentraciones de los contaminantes que -eventualmente- pueden alterar la salud, el bienestar o el confort de los usuarios. Estos agentes contaminantes incluyen partículas sólidas, tanto biológicas como no biológicas (agentes patógenos o alérgenos) y gases orgánicos como el ozono, el monóxido y dióxido de carbono, óxidos de nitrógeno. Otros factores a medir son los olores penetrantes y el vapor de agua; la presencia de éstos, está condicionada -por un lado- al ambiente exterior, dadas la ventilación e infiltración, pero también por las emisiones y fuentes procedentes del interior.

Otros parámetros a tomar en consideración son los relacionados con la temperatura y humedad relativa al interior de los espacios.

Estos factores tienen injerencia, no sólo en la emisión de contaminantes, sino también en el desarrollo microbiano y la atracción de partículas de polvo doméstico.

2.1.2 Estrategias para mejorar la calidad del aire interior

Las estrategias para mejorar la calidad del aire, se pueden catalogar en dos grandes grupos, las relacionadas con la fuente de contaminación y las que tienen como objetivo al ambiente o espacio interior.

Las primeras corresponden a la eliminación, sustitución, aislamiento, confinamiento y sellado de la fuente. Las segundas, consideran la ventilación del espacio, ya sea general o por dilución³³; lo cual, no sólo sirve para renovar el aire, sino que además, regula la humedad y filtra los contaminantes.

Según la Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos (EPA), la Organización Internacional del Trabajo (OTI), el Ministerio del Trabajo y Economía Social de España, mediante el Instituto Nacional de Seguridad y Salud en el Trabajo (INSST), se tienen identificadas tres estrategias para garantizar la calidad del aire interior (CAI).

Primera. El control de la fuente.- mediante la eliminación -en la medida de lo posible- de las fuentes específicas.

Segunda. La óptima ventilación.- incrementando el intercambio de aire entre el exterior e interior para la reducción de contaminantes.

Tercera. Limpieza del aire.- a través de la recolección de contaminantes o bien, de su filtrado.

La calidad del aire al interior de los espacios se debe incrementar, para evitar enfermedades de las vías respiratorias mediante:

³³ Reducción de concentración.

- La constante ventilación, la renovación del aire -por lo menos- una vez en el caso de viviendas y tres veces en oficinas, cada hora.
- La generación de corrientes de aire, mediante estrategias de diseño pasivo que promuevan su movimiento constante, porque -definitivamente- el aire es perezoso.
- La inhibición de moho nocivo y la contaminación microbiana, lo que se evita -fácilmente- (como se pudo determinar a lo largo de la presente investigación), con recubrimientos de pisos, muros y plafones hechos a base de materiales ligantes que sean:
 - Naturales
 - Biocidas (elevan el pH)
 - Higroscópicos
 - Micro-porosos
 - Hidrófugos (promueven la evapo-transpiración)
 - Susceptibles de absorber dióxido de carbono

También es posible que se ionice el aire con aparatos que lo filtran y retiran las partículas de fibras, así como de las sustancias que se utilizan para la limpieza de los espacios; el único inconveniente, es que éste es un sistema activo, dado el consumo energético que demanda. Pese a ello, se ha identificado y demostrado que los filtros reducen la concentración de partículas en el aire, de forma conveniente. Por otro lado, los purificadores de aire, disminuyen los contaminantes gaseosos, sustancialmente.

En ocasiones, es necesario discernir entre los costos a corto y largo plazo, de éste y otros tipos de mecanismos. Hay casos, en que los sistemas pasivos o de bajo consumo energético no son suficientes para tener aire interior de calidad.

La cantidad de aire proveniente del exterior requerido para elevar la calidad del aire al interior de los espacios se ha incrementado en la normativa; sin embargo, sigue siendo insuficiente para controlar las fuentes de contaminación y esto, se debe a que las medidas propuestas, se basan en la ocupación de los espacios, pero no toman en consideración

otros factores importantes, como los materiales de construcción o del mobiliario y la propia calidad del aire exterior.

De esta forma, los valores cuantitativos y cualitativos de la ventilación como medida de renovación del aire interior, se deben asentar en:

- La calidad del aire que se necesita
- La calidad del aire exterior
- La carga total de contaminación del espacio interior, sujeto de ventilación

De estas consideraciones, parten los estudios y aportaciones del Dr. Povl Ole Fanger³⁴, que buscan el restablecimiento de normas que integren la calidad del aire y el confort de los usuarios (Tabla 7).

Tabla 7. Medidas de control de la calidad del aire en interiores y sus efectos.
Fuente: WHO (2014:15)

<i>Acción</i>	<i>Efecto</i>
<i>Ambiente térmico</i>	
Aumento del volumen de aire fresco	Aumento de las corrientes de aire
Reducción de la humedad relativa HR, para evitar el desarrollo de microorganismos de agentes microbiológicos	Humedad relativa HR insuficiente

Porque una de las funciones de los espacios interiores, es el brindar un ambiente saludable y habitable. De ahí, que la calidad del aire interior dependa del diseño, mantenimiento y funcionamiento de los sistemas de ventilación y/o climatización; ya sean pasivos o activos.

La inquietud de que el confort y bienestar de los usuarios, al interior de las construcciones demanda de una alta calidad del aire, se ha expresado desde hace mucho tiempo. El famoso Benjamín Franklin³⁵ decía que, mientras más se ventile una habitación, mediante

³⁴ Incursionó en el tema del confort térmico y en la percepción de los espacios interiores y cerrados. Demostró que la baja calidad del aire interior puede propiciar asma y disminuir la productividad.

³⁵ Político, científico e inventor estadounidense, considerado como uno de los padres fundadores de los EE. UU.

la apertura de ventanas, el aire será más sano. Así que, la idea de abrir ventanas y promover la entrada de aire constante, fue retomada para evitar los contagios de tuberculosis en pleno S-XIX.

En estudios posteriores, se estableció que para diluir o disipar los fluidos humanos y evitar su concentración o consecuente percepción olfativa, eran necesarios entre 17 y 30 m³ de aire exterior, por hora y por usuario.

Villaamil, R. (2016), recomienda que se le dé la misma importancia a la comida que se come y al aire que se respira, aspecto que se torna crucial al momento de diseñar y construir. Se puede decir que lo importante, es evitar -al máximo posible- las intervenciones correctivas en un proyecto o vivienda, por eso, se deben considerar algunos factores, como lo propone la Enciclopedia de Salud y Seguridad en el Trabajo en su capítulo 45, siendo estos:

- El diseño arquitectónico
- La selección de materiales
- El tipo de suelo y sus componentes
- Los sistemas de ventilación/aire acondicionado

El nivel de concentración de los contaminantes del aire interior -por lo regular- está determinado por el equilibrio que se da entre la generación de esta y la velocidad con la que se elimina; es decir, que mientras más tiempo permanezca activa la fuente de emisión, mayor será el daño que se propicie a los usuarios del espacio.

Resulta indispensable enunciar que las fuentes de contaminación pueden ser tanto internas como externas. Dentro de las internas se encuentran los:

1. Sistemas de ventilación y aire acondicionado
2. Materiales de construcción
3. Ocupantes del espacio interior

En esta tesis se hizo énfasis en el estudio y entendimiento de las fuentes relacionadas con los materiales de construcción, por tener éstas, una relación directa con el diseño bioclimático.

Las fuentes externas de contaminación son principalmente:

1. La contaminación atmosférica producida por combustión
2. Emanaciones de suelos contaminados
3. Fugas de combustibles
4. Material particulado
5. Polvo

2.1.3 Normatividad

Dada la gran relevancia de los efectos de la calidad del aire interior (CAI) en la salud de los usuarios, tal como se ha mencionado en el apartado previo, la OMS integró lo que se conoce como las Directrices sobre la calidad del aire, en el año de 1987, mismas que han sido actualizadas y/o revisadas de forma posterior en los años 1997, 2005 y recientemente, en el 2021. Por obvias razones, de este contenido surgieron las políticas relativas a los límites permisibles de contaminantes (Tabla 8).

Tabla 8. Valores de los contaminantes (más comunes), legislados por la Unión Europea en comparación con las Directrices de la OMS.
Fuente: ATE (2022:6)

<i>Contaminante</i>	<i>Valor legislado UE</i>	<i>Valor guía OMS</i>
PM_{2.5} (diario)	-	25 µg/m ³ (> 3 veces/año)
PM_{2.5} (anual)	25 µg/m ³	10 µg/m ³
PM₁₀ (diario)	50 µg/m ³ (> 35 veces/año)	50 µg/m ³ (> 3 veces/año)
PM₁₀ (anual)	40 µg/m ³	20 µg/m ³
O₃ (Máx. diario 8h)	120 µg/m ³	100 µg/m ³
NO₂ (horario)	200 µg/m ³ (> 18 veces/año)	200 µg/m ³
NO₂ (anual)	40 µg/m ³	40 µg/m ³

Si se tiene como base el estado que guarda la calidad del aire interior hoy en día y sus efectos adversos en la salud integral del ser humano, la Agencia de Protección Ambiental de EE. UU. (EPA) ha concluido que la concentración de contaminantes al interior de los espacios es entre 5 y 8 veces mayor que al exterior. Esto hace alusión a la necesidad de implementar medidas que contribuyan a mejorar la calidad del aire interior, mediante la realización de investigaciones. Es así como se ha podido constatar que la mejor forma para evaluar la capacidad de ventilación al interior de los espacios, es la presencia de CO₂.

Por eso, éste es el criterio de evaluación más popular en el ámbito internacional; incluso, tanto la norma UNE 100011:1991 como la UNE_EN 16798-1:2020, tienen como indicador de la CAI al CO₂. Proponen el registro del promedio de las concentraciones de este gas y se vinculan con diversas variables, como las características propias del espacio/vivienda y las actividades de los usuarios.

Tal vez, no se había reparado en ello, pero la OMS ha revelado que la baja calidad del aire es la causante de poco más de la décima parte de las defunciones en todo el mundo. Se dice que cada año se registran -poco menos- de 3 millones de muertes relacionadas con la exposición a agentes contaminantes presentes en el aire exterior, sin embargo, se estima que el aire interior contaminado, se asocia a una cifra mayor de defunciones (4.3 millones).

Mientras mayor sea la calidad del aire, menores serán los casos de enfermedades cardiovasculares y respiratorias entre la población.

De hecho, la OMS y la Coalición del Clima y Aire Limpio, han lanzado -conjuntamente- la campaña "*Respira la vida*" que tiene como principal objetivo el concientizar a la sociedad sobre los efectos que tiene la contaminación del aire en la salud humana y la conservación del planeta; por lo que integra diversas ideas para ponerlas en práctica a nivel local y conseguir así, un cambio global.

Se ha proyectado que con la reducción de la contaminación con partículas (PM₁₀) de 70 a 20 microgramos por metro cúbico (µg/m³) se pueden disminuir en un 15% las defunciones atribuibles a la baja calidad del aire.

La Norma # 62 de la ASHRAE, ha tenido múltiples actualizaciones, la del año 1989 establece un flujo mínimo de 25.5 m³ por hora, por usuario al interior de espacios, pero indica que esta cifra debe aumentar si se detectan fuentes contaminantes constantes. Además, promueve la pertinencia de que sean 8.5 m³ por hora, por usuario para evitar que la acumulación de CO₂ sea superior a las 2 500 ppm³⁶ que es la mitad de límite establecido para los espacios industrializados (Fig. 17).

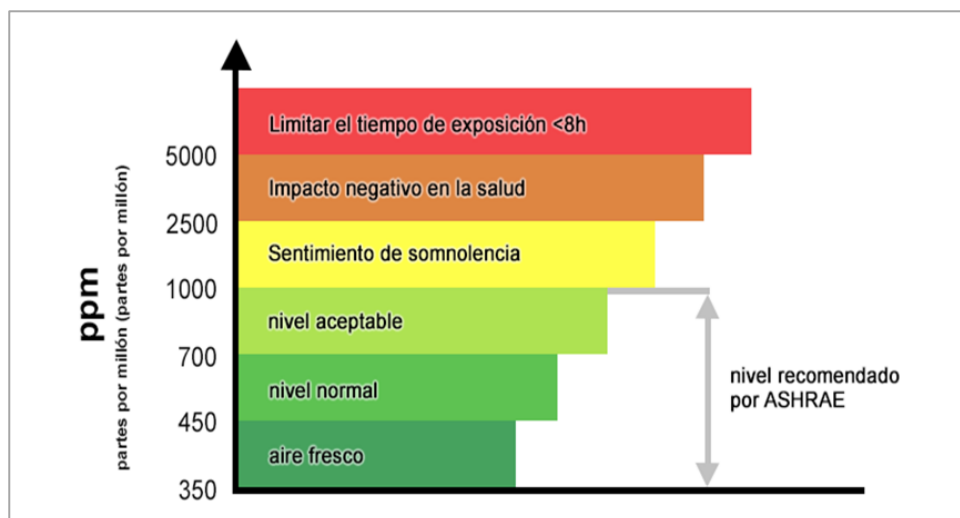


Figura 17. Niveles de CO₂ recomendados.

Fuente: <https://spain-ashrae.org/estandar-ansi-ashrae-62-1>

En 1992, la Comisión de las Comunidades Europeas modificó las Directrices de la OMS para calcular las necesidades de ventilación en edificios, en ese documento no se incluyeron los volúmenes de ventilación previstos para cada espacio, lo que se hizo fue orientar el cálculo del aire interior requerido en función de la calidad.

Se debe acotar, que las normas existentes indican un volumen de ventilación en función del usuario. Sin embargo, las tendencias al respecto hacen evidente que los cálculos de aire, no garantizan una buena calidad del aire interior porque:

³⁶ Partes por millón, unidad de medida de concentración que hace referencia al número de unidades de sustancia, presentes en un millón de unidades del conjunto. Por ejemplo, los miligramos (mg) que hay en un kilogramo (kg) de una sustancia.

1. Asumen que los usuarios son la única fuente de contaminación y es necesario considerar a los materiales de construcción, el mobiliario, las tapicerías y el sistema de ventilación
2. Recomiendan la misma cantidad de aire exterior, sin importar su calidad
3. No definen la calidad del aire exterior

Esto ha motivado a que la normativa correspondiente se base en:

- Definir una categoría para la calidad/cantidad de aire con el que se va a ventilar el espacio interior
- Retomar la carga total de contaminantes en el espacio interior
- Conocer la calidad del aire exterior disponible

La calidad del aire interior se define como el grado de satisfacción de las necesidades del usuario. Las exigencias del ser humano en relación a este tema son:

1. Percibirlo como aire fresco; no viciado y no estancado
2. Tener la certeza de que ese aire, no causará graves afectaciones a su salud o bienestar

Se suele pensar que la calidad del aire interior, depende en mayor grado de sus componentes que de los usuarios del espacio y que si se analizan éstos, se conocerá la calidad del aire. Pero esto, es factible sólo en el sector industrial porque existen -por lo regular- equipos de medición y criterios de referencia para evaluar las concentraciones. Esta condición no aplica para viviendas porque, aunque son espacios que pueden albergar gran cantidad de agentes contaminantes, sus concentraciones son -prácticamente- imperceptibles y su análisis independiente podría arrojar valores falsos. Algo adicional a este punto, es que aún se desconoce el efecto de todas estas sustancias juntas en el organismo humano.

Según, Sosa, R. (1991) no existe una metodología para el estudio de la calidad del aire interior en viviendas, pero existen procedimientos que avalan diversos organismos internacionales; mismos que indican la relevancia de:

- Conocer la percepción del usuario
- Diagnosticar el espacio
- Monitorear el aire
- Analizar los resultados

A la conclusión que se llega, es que las metodologías de análisis de calidad del aire interior no han sido adaptadas para tal fin y la opción que se propone, es la de realizar monitoreos/evaluaciones con los propios usuarios; toda vez que son quienes perciben el aire, mediante dos sentidos que son:

- *Olfativo*: localizado en la cavidad nasal
- *Químico*: localizado en las membranas mucosas de la nariz y ojos

Está identificado que la fusión de ambos registros, determinará la percepción del aire al interior de los espacios, estableciendo así, si ésta es aceptable o no.

Es imperativo citar que existen sustancias tipificadas como peligrosas, que no son reconocidas por los sentidos y que, en diversos casos, los efectos sensoriales de los agentes contaminantes, tienen nula relación con su nivel de toxicidad o afectación en el usuario.

Si bien, se ha hecho mención de que la normatividad vigente en materia de ventilación omite la gran diversidad de fuentes de contaminación, se debe reiterar que, no sólo los usuarios de los espacios y sus correspondientes actividades son los responsables de que calidad del aire sea deficiente. La carga de contaminación del aire interior está supeditada a la combinación de todas las fuentes, de ahí que deba expresarse de distinta forma, mediante una clasificación sencilla, basada en el origen de la contaminación; pudiendo ser ésta, química o sensorial.

La primera, está vinculada con la emanación de agentes tóxicos que realiza un material en específico y puede expresarse como una tasa de emisión de cada sustancia química.

La carga total de contaminación se obtiene de la sumatoria de todos los componentes emitidos por cada material y se expresa en microgramos por segundo. El gran inconveniente es que este cálculo se torna demasiado complejo dado que, no se disponen de suficientes datos referentes a las tasas de contaminación de los materiales de construcción y decoración que se emplean con regularidad.

La realidad, es que el presente trabajo de tesis pretende expresar la necesidad de implementar pruebas de laboratorio que arrojen información al respecto, creando una base de datos que permita evaluar la calidad del aire interior, basándose en métodos de análisis estandarizados y confiables.

La segunda carga, denominada sensorial, se fundamenta en la percepción de los usuarios, a través de los sentidos; es decir, el valor de esta carga de contaminantes en un espacio interior, se calcula sumando los “olf³⁷”. Al igual que la carga química, no se disponen de datos sobre los olf por m² de la mayoría de los materiales que se consideran dañinos o de composición peligrosa para los usuarios. En la Tabla 9 se indican las unidades olf reportadas por los usuarios de una edificación, en función a determinada actividad y a la producción de distintos compuestos como el dióxido de carbono (CO₂), el monóxido de carbono (CO) y el vapor de agua.

³⁷ Unidad de medición de la fuerza de una fuente de contaminación. Deriva del latín “*olfactus*” que significa “olido”.

Tabla 9. Unidades olf en función de una actividad física.

Fuente: CCE (1992:53)

	<i>Carga sensorial olf / ocupante</i>	<i>CO₂ [l/(h x ocupante)]</i>	<i>CO [l/(h x ocupante)]</i>	<i>Vapor de agua [g/(h x ocupante)]</i>
Sedentarios, 1-1,2 met				
<i>0% de fumadores</i>	1	19		50
<i>20% de fumadores</i>	2	19	11x10 ⁻³	50
<i>40% de fumadores</i>	3	19	21x10 ⁻³	50
<i>100% de fumadores</i>	6	19	53x10 ⁻³	50
Ejercicio físico				
<i>Bajo, 3 met</i>	4	50		200
<i>Medio, 6 met</i>	10	100		430
<i>Alto, 10 met</i>	20	170		750

- 1 met es la tasa metabólica de una persona sedentaria en reposo (1 met=58 W/m² de superficie cutánea)
- Consumo medio de 1.2 cigarrillos/hora por fumador. Tasa de emisión media de 44 ml de CO por cigarrillo.
- CO del humo del tabaco.
- Vapor de agua aplicable a personas cercanas a la neutralidad térmica.

De igual forma, la ASHRAE indica las tasas mínimas de ventilación de aire exterior requerido para espacios interiores en las directrices *ANSI/ASHRAE Standard 62.1* y *62.2*. En ellas, se prescribe la cantidad de aire que debe inyectarse en un espacio cada hora, tomando como base el número de personas y el tamaño de la habitación.

La norma ASHRAE 62.1 – *Ventilación y calidad aceptable del aire interior en edificios residenciales*, recomienda que las viviendas reciban por lo menos 0.35 cambios de aire - por hora- para garantizar así, una calidad del aire óptima para el usuario.

Para otros espacios como oficinas, tiendas y escuelas, la misma norma, no otorga una cifra fija. Por lo que se debe hacer un cálculo de tasas de flujo de aire, basadas en el tamaño del espacio y el número de usuarios al interior. En la Tabla 10 se incluyen los cambios de aire -por hora- en cada tipo de edificación. Cabe señalar que los datos están en función del tamaño estándar del espacio y de la tasa de ocupación correspondiente.

Tabla 10. Cambios de aire -por hora- en cada tipo de edificación.

Fuente: <https://spain-ashrae.org/estandar-ansi-ashrae-62-1->

Tipo de edificación	Tasa sugerida de ventilación (cambios de aire por hora)
<i>Vivienda</i>	0.35 – 1
<i>Hotel</i>	1 – 2
<i>Oficinas</i>	2 – 3
<i>Tiendas</i>	2 – 3
<i>Escuelas</i>	5 – 6
<i>Gimnasios</i>	4 – 8
<i>Restaurantes</i>	6 – 8

Se debe decir que el índice de ventilación y los consecuentes cambios de aire, se calculan por persona (Fig. 18). Así que, si el número de usuarios se incrementa, estos datos también lo harán, en la misma proporción.

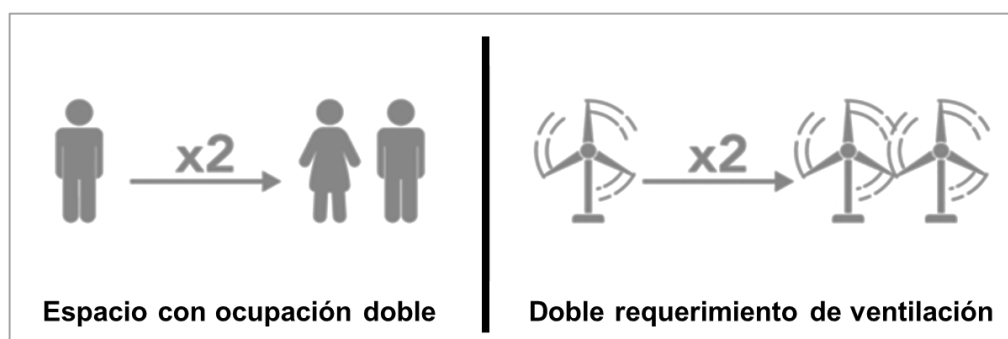


Figura 18. Índice de ventilación.

Fuente: <https://smartairfilters.com/en/clean-air-blog/>

De esta forma, si se omite el número de personas, un espacio con 100 m² de superficie, requerirá el doble de aire exterior que una habitación de la mitad de tamaño.

La norma de la ASHRAE es un referente útil para la ventilación y las tasas de intercambio de aire al interior de los espacios, pero pueden existir condiciones que impidan que sus consideraciones sean aplicables, tal es el caso de:

- Las áreas para fumadores
- Las áreas con altos niveles de contaminantes

Por otro lado, tomando como punto de partida la pandemia del COVID-19, esta normatividad -aunque- busca mantener un ambiente saludable y confortable para los usuarios al interior de los espacios, la realidad es que no incluye espacios con alta concentración de virus o agentes patógenos; porque para estos casos extremos, se debe tomar como guía, la Norma 170-2017 de ANSI/ASHRAE/ASHE o las Directrices de los CDC³⁸, ya que éstas establecen recomendaciones para el cambio de aire interior -por hora- y el número de cambios de aire, varía de 6 a 12 dependiendo de la ubicación del centro hospitalario (Tabla 11).

Tabla 11. Cambios de aire mínimos.

Fuente: <https://spain-ashrae.org/estandar-ansi-ashrae-62-1->

Área del hospital	Cambios de aire exterior (min) x hora	Cambios de aire (min) x hora
<i>Cuidados críticos e intensivos</i>	2	6
<i>Sala de aislamiento de infecciones transmitidas por el aire</i>	2	12
<i>Sala de exploración</i>	2	6

Las tasas de ventilación de los CDC para viviendas, escuelas, oficinas, tiendas y restaurantes oscilan entre el 0.35 y los 8 cambios de aire por hora, pero si se trata de espacios con eventual presencia de virus, los cambios se elevan a 6-12.

De forma adicional, la OMS ha publicado las directrices para promover viviendas saludables. Se trata de una guía que hace remembranza de que la baja calidad del aire al interior, es detonante de una serie de afectaciones en la salud de los usuarios, citando que éstas, no se constriñen al sistema respiratorio, sino que de igual forma los problemas pueden ser cardiovasculares, gastrointestinales y -hasta- mentales.

La OMS dice que la vivienda, es cada vez más importante para la salud pública, debido a los cambios tanto en la demografía, como en el clima global.

³⁸ Centros de Control de Enfermedades EE. UU.

Mejores condiciones en la vivienda, pueden prevenir padecimientos, reducir la pobreza y las defunciones, así como mejorar la calidad de vida de los usuarios. Existe evidencia científica de que factores de riesgo para el ser humano, asociados a la vivienda son: la temperatura y humedad -fuera de rango-, el hacinamiento, la falta de aseo y de accesibilidad para personas con alguna discapacidad. Esta guía oficial, compila pautas relacionadas con la calidad del aire y del agua, así como con la presencia de ruido en exceso, plomo, radón y humo de tabaco.

“Los principios fundamentales que deben cumplir los diferentes métodos para la medición de contaminantes atmosféricos en interiores, son los mismos que se deben cumplir para el caso de las mediciones en el exterior.” Sosa, R. (1991:14)

En México, la Secretaría de Salud es el órgano responsable de evaluar el impacto de la contaminación atmosférica en la salud; asimismo, establece los límites permisibles de concentración de los contaminantes en la atmósfera. La Tabla 12 resume los indicadores para el cumplimiento de las normas, con respecto a cada uno de los contaminantes registrados.

Tabla 12. Indicadores de contaminantes.

Fuente: <https://www.gob.mx/salud/documentos/boletin>

Contaminante	Referencia para la evaluación	Exposición	Frecuencia tolerada	Valor límite Indicador para evaluación	Norma Oficial Mexicana
Partículas PM ₁₀	Promedio 24 horas	Aguda	No se permite	75 µg/m ³ Máximo	<u>NOM-025-SSA1-2014</u>
		Crónica	--	40 µg/m ³	
Partículas PM _{2.5}	Promedio 24 horas	Aguda	No se permite	Promedio anual 45 µg/m ³ Máximo	
		Crónica	--	12 µg/m ³	
Ozono (O ₃)	Dato horario	Aguda	No se permite	Promedio anual 0.095 ppm Máximo	<u>NOM-020-SSA1-2014</u>
			No se permite	0.070 ppm Máximo	
Dióxido de azufre (SO ₂)	Promedio móvil de 8 horas	Aguda	1 vez al año	0.200 ppm	<u>NOM-022-SSA1-2010</u>
	Promedio de 8 horas			Segundo máximo	

<i>Dióxido de nitrógeno (NO₂)</i> <i>Monóxido de carbono (CO)</i> <i>Plomo (Pb)</i>	Promedio de 24 horas	Aguda	No se permite	0.110 ppm Máximo	
	Dato horario	Crónica	--	0.025 ppm Promedio anual	
	Dato horario	Aguda	1 vez al año	0.210 ppm Segundo máximo	<u>NOM-023-SSA1-1993</u>
	Promedio móvil de 8 horas	Aguda	1 vez al año	11 ppm Segundo máximo	<u>NOM-021-SSA1-1993</u>
	Promedio aritmético de 3 meses	Crónica	No se permite	1.5 µg/m ³	<u>NOM-026-SSA1-1993</u>

Por otro lado, se describen las normas que tienen algún tipo de incidencia en la calidad del aire interior (CAI).

Norma Oficial Mexicana NOM-116-STPS-2009

- Seguridad – Equipo de protección personal-Respiradores purificadores de aire de presión negativa contra partículas nocivas – Especificaciones y métodos de prueba.

Norma Oficial Mexicana NOM-020-SSA1-1993

- Salud Ambiental. Criterio para evaluar el valor límite permisible para la concentración de ozono (O₃) de la calidad del aire ambiente. Criterio para evaluar la calidad del aire.

Norma Oficial Mexicana NOM-021-SSA1-1993

- Salud ambiental. Criterio para evaluar la calidad del aire ambiente con respecto al monóxido de carbono (CO). Valor permisible para la concentración del monóxido de carbono (CO) en el aire ambiente como medida de protección a la salud de la población.

Norma Oficial Mexicana NOM-022-SSA1-2010

- Salud ambiental. Criterio para evaluar la calidad del aire ambiente, con respecto al bióxido de azufre (SO₂). Valor normado para la concentración de bióxido de azufre (SO₂) en el aire ambiente, como medida de protección a la salud de la población.

Norma Oficial Mexicana NOM-023-SSA1-1993

- Salud ambiental. Criterio para evaluar la calidad del aire ambiente con respecto al bióxido de nitrógeno (NO₂). Valor normado para la concentración de bióxido de nitrógeno (NO₂) en el aire ambiente como medida de protección a la salud de la población.

Norma Oficial Mexicana NOM-025-SSA1-1993

- Salud Ambiental. Criterios para evaluar el valor límite permisible para la concentración de material particulado. Valor límite permisible para la concentración de partículas suspendidas totales PST, partículas menores de 10 micrómetros PM₁₀ y partículas menores de 2.5 micrómetros PM_{2.5} de la calidad del aire ambiente. Criterios para evaluar la calidad del aire.

Norma Oficial Mexicana NOM-026-SSA1-1993

- Salud ambiental. Criterio para evaluar la calidad del aire ambiente con respecto al plomo (Pb). Valor normado para la concentración de plomo (Pb) en el ambiente como medida de protección a la salud de la población.

Norma Oficial Mexicana NOM-045-SSA2-2005

- Para la vigilancia epidemiológica, prevención y control de las infecciones nosocomiales

2.2 Condiciones en recubrimientos de muros que afectan la (CAI) y la salud de los usuarios

Como se ha indicado previamente, la calidad del aire interior (CAI) está supeditada a las partículas y compuestos químicos que, dependiendo de su concentración son considerados como perjudiciales para la salud o no (Tabla 13). Diversos estudios revelan que algunas enfermedades respiratorias como el asma, las alergias e -incluso- el cáncer de pulmón, además de padecimientos como el insomnio, la cefalea y la conjuntivitis, son atribuibles a la baja calidad del aire interior.

Tabla 13. Factores de riesgo al interior de la vivienda.

Fuente: Elaboración propia.

<i>Ámbito</i>	<i>Factor de riesgo en vivienda que disminuye la calidad de aire interior</i>	<i>Función del recubrimiento en muros</i>
<i>Biológico</i>	Hongos, bacterias, esporas	Inhibición del desarrollo microbiano
<i>Químico</i>	Compuestos orgánicos volátiles, polvo, monóxido y dióxido de carbono, tóxicos	Mitigación de la toxicidad
<i>Físico</i>	Luz, ruido, temperatura, humedad	Gestión de humedad

El problema se agrava porque además de las actividades que se desarrollan al interior de los espacios, los materiales y sustancias de la propia construcción son factores decisivos para hablar de una alta o baja calidad del aire. Como se ha mencionado, previamente, distintas fuentes tienen como parámetro que la concentración de agentes contaminantes al interior de los espacios, es entre cinco y ocho veces mayor que en el exterior, pero esto se torna realmente peligroso, al calcular el tiempo en el que se está expuesto. Por eso, la importancia de conocer los niveles de:

- **Compuestos Orgánicos Volátiles (COV).** Sustancias químicas dañinas, que se propagan fácilmente, los más comunes al interior de las viviendas son el metano, propano, tolueno, etileno, etano y benceno. Se diferencian por su origen:
 - Seres vivos
 - Materiales de construcción y mobiliario
 - Productos para limpieza

Aunque no existe una referencia en los códigos de edificación, la OMS indica que un nivel aceptable de concentración va de 50 a 325 ppb (partes por mil millones).

- **Micropartículas de polvo fino (PM_{2.5}).** Son partículas que por su tamaño -tan-pequeño, permanecen suspendidas en el aire y tienen acceso directo a los pulmones. La OMS establece que a partir de 10 µg/m³ se compromete la salud de los usuarios.

Si bien, ventilar es la acción más efectiva para mejorar la calidad del aire interior y básicamente se consigue, mediante la apertura de ventanas o puertas, así como por el eventual uso de la ventilación mecánica; es de suma importancia, tomar en consideración que la selección responsable de los sistemas constructivos y materiales involucrados, garantiza que las viviendas tengan un desempeño acorde a los factores ambientales imperantes en el sitio y se mantengan en óptimas condiciones de operación, por un tiempo considerable.

Tal y como se ha manifestado en esta investigación, los muros son elementos constructivos de gran relevancia para cualquier edificación, dada la función que desempeñan y la cantidad de m² que representan.

Los muros son elementos constructivos que, por sus características, necesitan tener uno o varios recubrimientos para promover su conservación y evitar su deterioro por la incidencia de patologías, propiciadas -no sólo- por la temperatura y la humedad, sino también, por la eventual acción de los usuarios y la presencia de microorganismos.

Los materiales que los conforman, al igual que muchos otros componentes físicos y químicos de índole diversa, tienen un tiempo de vida útil que se ve prolongado o reducido por las variables climáticas y el uso del espacio que delimitan. Los muros son de gran utilidad porque sirven como confinamiento y protección del espacio interior; debido a esto, resultan ser vulnerables en muchos aspectos, pero los usuarios de la vivienda, difícilmente les darán el peso y valor que tienen, tanto para la convivencia como para la preservación de la salud, en términos generales.

Los muros separan y marcan el espacio exterior e interior, -respectivamente- siendo esta función fundamental, la que propicia que sus superficies reciban toda clase de impactos, tanto físicos como químicos y hasta biológicos. De ahí, que sea necesario que los materiales que los conforman, sean lo suficientemente aptos para resistir y cumplir con las funciones que se conciben como necesarias.

Se ha hablado de éstas en el capítulo previo, pero es importante decir que los muros son el escudo que permite tener bajo control, muchos aspectos al interior de las

construcciones o viviendas. Los recubrimientos de muros serían algo así, como los refuerzos requeridos para que el escudo se mantenga firme y sin deformaciones o cavidades.

2.2.1 Toxicidad

La toxicidad³⁹ está definida -sencillamente- como el grado de efectividad de una sustancia (natural o artificial) catalogada como tóxica, esto hace referencia a la producción de efectos adversos en los seres vivos o en sistemas biológicos, al entrar en contacto con ellos. Depende de tres aspectos:

- Características químicas (composición, efecto tóxico y gravedad del mismo)
- Dosis mínima para causar daño
- Características del ser vivo

Asimismo, la toxicidad se ve condicionada por factores como:

- la vía de administración (cutánea, ingestión, inhalación o inyección)
- la duración de la exposición (eventual o crónica)
- el número de exposiciones (única o múltiples)
- la magnitud de la exposición (aguda o leve)
- la presentación del tóxico (gas, líquido o sólido)
- la salud de las personas con las que entra en contacto (enfermedad preexistente)

Para saber el grado de toxicidad de una sustancia (patógeno, tóxico, medicamento, radiación), se debe matar al ser vivo con el que se esté experimentando. Una forma común de obtener este dato es mediante la prueba de Dosis Letal Media (LD₅₀) que significa que el 50% o la mitad de la población utilizada para tal fin, murió después de someterse a la exposición de la sustancia evaluada. Cuanto menor es la cantidad reportada, más tóxica es la sustancia.

³⁹ Proviene del latín *toxicus* y el sustantivo *tósigo* que significa veneno.

De esta forma, se detecta que varias de las sustancias presentes en los materiales de construcción, así como en el mobiliario y demás objetos, tanto de decoración como de líquidos para el aseo o limpieza de los espacios, tienen un grado de toxicidad que si bien, no causa la muerte, sí es copartícipe en el desencadenamiento de padecimientos o en la complicación de enfermedades existentes en los usuarios.

El verdadero riesgo de los materiales tóxicos, como lo comenta Bueno, M. (2006) es el desconocimiento de los usuarios. Porque cuando se sabe que alguna sustancia u objeto es dañino, basta con evitar entrar en contacto con el, mediante el uso de equipo de protección. Sin embargo, cuando existe una sustancia dañina para el organismo que no se ve, ni se percibe, es poco probable que se tomen medidas de seguridad al respecto. Tal es el caso, de múltiples materiales asociados a las construcciones.

Por ejemplo, las pinturas son una fuente inequívoca de sustancias químicas dañinas, no sólo para los seres vivos, sino también para el planeta. Obviamente, nadie alerta sobre esta situación porque no conviene a ciertos intereses económicos, pero algunas pinturas están hechas a base de aditivos, conservadores, disolventes, resinas, estabilizantes y por supuesto, pigmentos que resultan ser una amenaza para la salud de los usuarios.

Bueno, M. / Silvestre, E. (2009) indican que el olor característico de los sitios recién pintados obedece a la presencia o emisión de formaldehídos y otras sustancias volátiles como: estireno, tolueno, xileno, clorobenceno, benceno. La exposición a estos compuestos, está -directamente- relacionada con diversos padecimientos respiratorios, oculares y cutáneos.

Por otro lado, la presencia de metales pesados como el plomo, zinc, el cobre o el titanio, también es común y por lo tanto, peligroso para la salud.

Se sabe que, durante el proceso de aplicación, secado y remoción de las pinturas, es cuando estos compuestos tienden a dispersarse en el aire al interior de los espacios, siendo viable también, su impregnación en los tejidos o telas de muebles, cortinas o demás recubrimientos superficiales.

“Los disolventes son sustancias petroquímicas fluidas de moléculas pequeñas que disuelven los diversos ingredientes plásticos para que puedan reaccionar entre sí, y que se evaporan en su mayoría cuando la estructura polimérica se forma.[...]”

Los disolventes volátiles se han vuelto indispensables para el dominio de otros muchos materiales. [...] Así nuestro aire en interiores, [...] está ahora aromatizado por una miasma de sustancias orgánicas fósiles procedentes de materiales sintéticos o mixtos. En los espacios recién contruidos o amueblados, esa miasma puede contribuir al síndrome del edificio enfermo, que hace que las personas que los habitan se sientan enfermas.”
McGee, H. (2021:521-523)

La permanencia de estas sustancias es indefinida, toda vez que pueden durar impregnadas por años. De ahí, que la ventilación y renovación del aire interior sea fundamental y muy recomendable para evitar o mitigar sus efectos.

De igual forma, se hace hincapié en el uso de pinturas o materiales naturales, amigables con el ambiente tanto interior, como exterior.

Es importante recordar que la calidad del aire interior, está íntimamente ligada con el grado de conservación que presentan los materiales de construcción que conforman tanto las viviendas, como los espacios en los que se realizan otro tipo de actividades, ya sean laborales o de esparcimiento. El estado óptimo de operación de una construcción estará condicionada a su capacidad para adaptarse a los factores ambientales, pero también para autorregularse, aspectos que -sin duda-, se podrán conseguir si posee los materiales adecuados tanto climática, como socialmente y es que, en ocasiones, son las actividades que se realizan al interior de las viviendas, las que detonan la presencia de ciertas partículas o fluidos. Es el caso del espacio destinado a cocinar, dependiendo del tipo de platillos que se preparé, será la cantidad y diversidad de vapores o sustancias que se desprendan; no es lo mismo cocinar con una olla presurizada, que en ollas tradicionales, no sólo por el material que se calienta, sino por la modificación de temperaturas en el propio espacio.

Las principales fuentes de compuestos orgánicos volátiles COV están vinculadas con el petróleo y sus derivados; es decir, con la combustión incompleta de éstos (parafinas, aromáticos y olefinas), pinturas, lacas, tintas, esmaltes, aglomerados, productos para limpieza, adhesivos, aerosoles, plásticos, fibras y alfombras. Además, del polvo de papel, la fibra de vidrio, el asbesto, la suciedad en general y la descomposición gradual de los materiales de construcción. Mientras que los COV biogénicos provienen de los tejidos vegetales y sus diversos procesos fisiológicos de estabilización/descomposición.

“Los adhesivos o pegamentos son materiales pegajosos que se usan para unir materiales distintos en combinaciones más versátiles. En su tiempo, se fabricaban a partir de gelatinas animales, proteínas de leche y almidón vegetal, pero ahora son en su mayoría mezclas de disolventes y polímeros petroquímicos que al principio fluyen, y luego se endurecen al evaporarse los disolventes. Podemos oler los adhesivos directamente cuando aplicamos pegamento o desarrollamos la cinta adhesiva, pero sus rastros están siempre en el aire en casi cualquier espacio interior, emanando de la madera contrachapada, del aglomerado, de la chapa de madera, de casi todos los materiales de construcción y de acabado y de los muebles.”

McGee, H. (2021:522)

Según la OMS, los COV están asociados a una gran cantidad de problemas de salud global. Muchos compuestos, son altamente tóxicos y con potencial carcinógeno. También, forman ozono troposférico y son responsables en parte, de la lluvia ácida. Algunos COV son -incluso- gases de efecto invernadero que contribuyen al cambio climático, porque provocan ozono (O₃) entre otros contaminantes atmosféricos. Diversos autores relacionan la calidad del aire a factores como la temperatura y -justamente- la emisión de COV tanto antroposféricos⁴⁰ como biogénicos.

⁴⁰ Procedentes del medio geográfico o social, en el que se desarrollan las actividades humanas.

2.2.1.1 Agentes tóxicos

Los compuestos orgánicos volátiles COV⁴¹ son sustancias a las que se está expuesto de forma constante y por eso, pueden ser nocivas para el usuario, de ahí que se deba poner especial atención a los materiales de construcción. Los COV son sustancias altamente volátiles, que contienen carbono, además de algunos de los siguientes elementos: oxígeno, nitrógeno, hidrógeno, silicio, fósforo, azufre, cloro, flúor o halógenos. Por lo regular, son emitidos tanto de manera natural (biogénico) como por acción humana (antropogénico), razón por la que se extienden tanto al interior como exterior de los espacios. Según la OMS, se pueden clasificar según su composición química en:

- Hidrocarburos formados por hidrógeno y carbono, tales como alcanos (metano, etano, hexano), alquenos (eteno, propeno, isopreno), aromáticos (benceno, tolueno),
- Acetatos/aldehídos (acroleína, formaldehído, acetaldehído)
- Ácidos libres (fórmico, acético)
- Alcoholes (metanol)
- Éteres / ésteres
- Terpenos
- Cetonas (acetona)

Algunas de las afectaciones más comunes que estos compuestos provocan son:

- Mareos
- Náuseas
- Irritación en garganta, nariz, piel y ojos.
- Complicaciones en las vías respiratorias inferiores (pulmones)

El benceno, el dicloruro de etileno y el cloruro de vinilo son tóxicos para la salud, por ser considerados como cancerígenos.

⁴¹ *Volatile Organic Compounds (VOC)*

El 87% de las emisiones totales de COV provienen de una fuente natural y el isopreno⁴² es el principal compuesto, así como los hidrocarburos oxigenados, mismos que están supeditados a la temperatura y radiación solar.

La disipación de COV procedentes de los materiales de construcción y mobiliario, tienen diversas fuentes, como por ejemplo, la madera comprimida/aglomerada que tiene resina de formaldehído ureico (FU) y los aislantes; con ellos, la calidad del aire interior disminuye -considerablemente-. En la Tabla 14, se incluyen algunos materiales que despiden formaldehído al interior de los espacios.

Tabla 14. Materiales que despiden formaldehído.

Fuente: <https://datumarquitectura.com/componentes-organicos-volatiles-cov-que-son-y-como-construir-casas-sanas>

<i>Material</i>	<i>Rango de tasas de emisión de formaldehído ($\mu\text{g}/\text{m}^2/\text{día}$)</i>
<i>Paneles de fibras de densidad media</i>	17 600 – 55 000
<i>Paneles de pared de contrachapado de madera dura</i>	1 500 – 34 000
<i>Agglomerado</i>	2 000 – 25 000
<i>Aislamiento de espuma</i>	1 200 – 19 200
<i>Contrachapado de madera blanda</i>	240 – 720
<i>Productos de papel</i>	260 – 680
<i>Productos de fibra de vidrio</i>	400 – 470
<i>Telas</i>	35 – 570
<i>Suelo flexible</i>	< 240
<i>Alfombras</i>	0 – 65
<i>Tapicería</i>	0 – 7

El formaldehído que se libera de estos materiales, es el que queda como residuo durante el proceso de fabricación de la resina. Por eso, mientras más nuevo sea el producto, mayor será la cantidad de formaldehído. La Tabla 15, demuestra las tasas de emisión de COV totales para algunos materiales de construcción.

⁴² Hidrocarburo que se origina a partir de las especies caducifolias.

Tabla 15. Emisión de compuestos orgánicos volátiles (COV).

Fuente: <https://datumarquitectura.com/componentes-organicos-volatiles-cov-que-son-y-como-construir-casas-sanas>

<i>Tipo de material</i>	<i>Concentraciones (mg/m³)</i>	<i>Tasa de emisión (mg/m²h)</i>
Papel de pared		
<i>Vinilo y papel</i>	0.95	0.04
<i>Vinilo y fibra de vidrio</i>	7.18	0.30
<i>Papel pintado</i>	0.74	0.03
Recubrimiento de pared		
<i>Hessian / yute</i>	0.09	0.005
<i>PVC</i>	2.43	0.10
<i>Textil</i>	39.60	1.60
<i>Textil</i>	1.98	0.08
Revestimiento		
<i>Latex acrílico</i>	2.00	0.43
<i>Barniz, epoxi</i>	5.45	1.30
<i>Barniz, poliuretano</i>	28.90	4.70
<i>Barniz, endurecido</i>	3.50	0.83

Si bien, algunos COV resultan ser inocuos, otros son -realmente- tóxicos y causan severas afectaciones a los usuarios. La complejidad de los COV al interior de los espacios radica en la concentración o disipación de los COV totales, por eso, existe una recomendación para limitarla a menos de 300 mg/m³. Lo que resta hacer, es garantizar la renovación de aire de forma constante y promover el uso de materiales como las pinturas y barnices base agua, aislantes térmicos con bajas o nulas emisiones de COV como el corcho, cáñamo, celulosa y lana, madera con bajo contenido de formaldehído o tratadas con aceites/ceras naturales, además, de materiales cerámicos con arcillas, concretos con cáñamo y cal.

Finalmente, las micropartículas de polvo fino (PM_{2.5}) resultan ser tóxicas, porque su procedencia se vincula con los contaminantes producto de la combustión como el monóxido y dióxido de carbono, así como el dióxido de nitrógeno, mismos que se liberan del consumo de tabaco y del uso de hornos o calentadores con alguna falla.

2.2.1.2 Exposición (dosis, frecuencia y tiempo)

Por más que se quisieran establecer la dosis y la frecuencia o tiempo requerido para ver la aparición de los primeros daños en el organismo, por la exposición a ciertos materiales o tóxicos, no sería posible y es que si bien la cantidad de éstos es -relativamente- baja, lo cierto es que es conforme pasa el tiempo, que se eleva el riesgo de tener algún padecimiento de tipo respiratorio e incluso renal. Esto depende en gran medida de las condiciones predisponentes del usuario y de cualquier enfermedad previa o comorbilidad⁴³.

De manera adicional a los agentes tóxicos, se tiene determinada la letalidad de algunas sales minerales que poseen los materiales o que se desprenden de los elementos constructivos, por algún tipo de patología provocada por la humedad excesiva. Como se ha indicado con antelación, el tiempo de exposición y la frecuencia, son aspectos que no han sido identificados, pero que tienen una relación directa con la predisposición y vulnerabilidad del usuario.

Como decía Paracelso⁴⁴: *“La dosis hace el veneno. [...] las sustancias que son tóxicas en gran cantidad pueden ser terapéuticas en dosis bajas.”*

El libro de la Medicina (2021:58)

Se integran algunas de las sales que conforman tanto las eflorescencias⁴⁵, como las criptoeflorescencias⁴⁶ y sus dosis letales:

- Sulfato de calcio (CaSO_4) – DL 50 rata > 10.000 mg/kg
- Sulfato de sodio (Na_2SO_4) – DL 50 rata > 2.000 mg/kg
- Sulfato de potasio (K_2SO_4) – DL 50 rata | 6.600 mg/kg
- Sulfato de magnesio (MgSO_4) – DL 50 rata | > 2.000 mg/kg

⁴³ Coexistencia de -por lo menos- dos enfermedades asociadas en un solo paciente.

⁴⁴ Médico suizo autor de *“El Gran Libro de Cirugía”*.

⁴⁵ Exposición bidimensional o mancha de una sal mineral.

⁴⁶ Exposición volumétrica o expulsión de una sal mineral.

- Silicato de sodio (Na_2SiO_3) – DL 50 rata | > 2.000 mg/kg
- Carbonato de sodio (Na_2CO_3) – DL 50 conejo | 2.000 mg/kg
- Carbonato de calcio (CaCO_3) – DL 50 rata | > 2.000 mg/kg
- Bicarbonato de sodio (NaHCO_3) – DL 50 rata | 4.220 mg/kg
- Cloruro de sodio (NaCl) – DL 50 rata | 3.000 mg/kg
- Nitrato de sodio (NaNO_3) – DL 50 rata | 1.267 mg/kg

Según se puede observar, muchas de las sales enunciadas, son componentes directos de algunos materiales e incluso, de elementos de la naturaleza como las rocas, la tierra y el agua. Por eso, no es de sorprender que al paso del tiempo, broten de las superficies.

2.2.2 Desarrollo microbiano

El desarrollo microbiano hace referencia a la proliferación, crecimiento y reproducción de agentes patógenos o microorganismos. Esto sucede gracias a su potencial genético y a las condiciones físicas-químicas del medio que las alberga.

La curva de crecimiento de un microbio tiene cuatro fases:

- Latencia⁴⁷
- Adaptación
- Multiplicación
- Muerte

“Los principales agentes de la descomposición son miembros de un reino distinto: los hongos, el reino de los mohos, las setas y las levaduras, cuyos antepasados más antiguos podrían haber colonizado las húmedas orillas mucho antes que las plantas verdes. Junto con las bacterias extrañas que los emulan, los hongos aportan su propio conjunto característico de moléculas volátiles a nuestra vida cotidiana.”

McGee, H. (2021:419)

⁴⁷ Tiempo transcurrido entre un estímulo y la respuesta que éste produce.

Si bien, los hongos pueden ser comestibles, medicinales, venenosos, alucinógenos o tan sencillos como los mohos, es importante mantenerlos bajo control.

Simplemente, se calcula la existencia de alrededor de 100 billones de bacterias, hongos, virus y demás seres unicelulares en continua disputa por comida y espacio, al interior del tracto digestivo humano, considerado éste como el sistema de órganos que consume alimento, digiere nutrientes y elimina residuos.

Son parte de la naturaleza, están en todos lados, en el aire, el agua, la tierra, hasta en el cuerpo humano y en consecuencia, el reino fungi es el que tiene mayor número de especies importantes y cruciales para la vida, como el suministro de nutrientes a las especies vegetales, la desintoxicación del suelo, la purificación del agua y la descomposición de la materia orgánica muerta, pero esto no implica que no sean dañinos bajo ciertos escenarios.

“Junto con las plantas y los animales, los hongos representan el tercer reino de formas de vida complejas que dominan nuestra experiencia del día a día. Y sus moléculas volátiles y olores les son profundamente propios.

La palabra latina fungus significaba en primer lugar “esponja” y más tarde se aplicó a las setas, que son esponjosas y liberan una impresionante cantidad de agua cuando se calientan.” McGee, H. (2021:420)

Los microorganismos degradan el ambiente, manchan los elementos constructivos, causan olores desagradables y deterioran los materiales.

“Aparte de su función como productores de suelo, los hongos son unos virtuosos de la química cuyas creaciones nos complacen, nos intoxican y nos curan. Muchos hongos tratan de limitar el oportunismo de sus vecinos con armas químicas para repelerlos, inhibirlos o matarlos. Aunque algunas de estas moléculas son tóxicas para nosotros, otras han resultado ser útiles.” McGee, H. (2021:422)

En las viviendas se pueden encontrar diversos hongos:

- *Aspergillus spp*⁴⁸
- *Alternaria spp*
- *Acremonium spp*
- *Cladosporium spp*
- *Epicoccum spp*
- *Penicillium spp*
- *Stachybotrys spp*

“Normalmente percibimos los olores genéricos de los hongos cuando entramos en un espacio reducido lo bastante húmedo para favorecer su crecimiento. El mildiu y otros mohos medran en cuartos de baño, sótanos y trasteros, incluso con una nutrición tan mínima como la suciedad que queda en los rincones, los restos de jabón en las juntas de las baldosas y la pintura. Los olores mohosos intensos pueden hacer que uno se sienta enfermo y las esporas aerotransportadas que los acompañan pueden provocar enfermedades reales.” McGee, H. (2021:431)

Obviamente, El 60% del moho es invisible al ojo humano. Por lo que, si el espacio huele a humedad, es casi una certeza que hay moho vivo al interior. Además, de por la nariz, el moho puede entrar a través de heridas y pueden ocasionar infecciones graves.

Según la Guía de la EPA y la OSHA⁴⁹ de nombre, Administración de Seguridad y Salud Ocupacional de nombre Moho: *Guía del trabajador y empleador de riesgos y controles recomendados*. El moho estará presente siempre que haya alimento y humedad disponible, su crecimiento excesivo se puede dar por la acumulación de ésta en los materiales de construcción, así como en los conductos de aire acondicionado y calefacción. También las construcciones afectadas por un desastre como derrumbes o inundaciones pueden facilitar la proliferación de moho.

⁴⁸ Especies.

⁴⁹ Agencia del Departamento de Trabajo de los Estados Unidos.

“Los hongos que causan enfermedades pueden ser un enemigo temible. Conocer los mecanismos con los que atacan y la forma en que éstos han evolucionado, nos ayudará a enfrentarlos más eficientemente”. Manzo, G. (et al.) (2005:71)

El *National Institute of Occupational Safety and Health* (NIOSH) en EE.UU. publicó que niveles de humedad relativa superiores al 65% son dañinas para los usuarios, pero esto se debe a la eventual presencia de microorganismos. Algunos de éstos son los ácaros y mohos; los primeros son seres microscópicos, considerados como artrópodos que se desarrollan en espacios con temperatura templada y humedad relativa alta (70-80%). Sus cadáveres y excretas provocan alergias los mismo en personas, que en animales.

Por su parte, los mohos pertenecen al reino fungi y crecen en forma de filamentos, se reproducen por esporas. Prefieren los espacios sin luz y con alta humedad relativa. Provocan alergias y crisis de asma.

El Instituto de Medicina de los EE. UU. después de diversas investigaciones, ha concluido que la presencia de moho y bacterias al interior de las viviendas, es responsable del incremento en un 50% de los efectos en el asma, la tos y otros padecimientos en las vías respiratorias superiores.

Asimismo, la *Guía sobre la Calidad del Aire Interior: humedad y moho*, de la OMS indica que existe una relación directa entre la presencia de humedad relativa alta al interior de los espacios y algunas infecciones del sistema respiratorio como la rinitis alérgica, el asma y la bronquitis.

Es por eso, que esta organización sugiere mantener los niveles de humedad bajos para de esta forma, evitar el deterioro de las construcciones, prolongar su durabilidad y sostenibilidad, así como garantizar la calidad del aire interior, la salud y confort de los usuarios, al mismo tiempo que se contribuye a la eficiencia energética. Hace mención de que el yeso y el vinilo (resina plastificada) son vulnerables ante la humedad y proclives a la formación de moho; por eso, la ASHRAE hace la observación de que estos materiales no deben ser utilizados en exceso y que evitarlos, realmente es un beneficio tanto para la vivienda como para los usuarios.

2.2.2.1 Clasificación

De acuerdo a su organización celular, los microbiólogos han establecido cinco grandes grupos de microorganismos:

1. Bacterias
2. Algas
3. Hongos/moho
4. Protozoarios
5. Virus

Procariotas.- Son pequeñas y con una pequeña estructura, no disponen de organelos internos: bacterias, arqueobacterias y cianobacterias.

Eucariotas o protistas.- Tienen estructuras internas definidas, por lo que sus organelos están rodeados de membranas: hongos, algas y protozoarios.

Es así, como las bacterias tienen una pared celular que las separa del medio externo y su tamaño depende de la especie. Las bacterias pueden ser aerobias⁵⁰/anaerobias⁵¹, móviles/inmóviles, patógenas⁵²/saprofitas⁵³/parasitarias⁵⁴.

Por otro lado, los hongos o mohos son heterótrofos, no tienen clorofila y se alimentan de materia inerte o viva; tienen una pared celular rígida y se desarrollan en ambientes ácidos. Todos los mohos son aerobios, razón por la que proliferan mejor si abunda oxígeno en el ambiente, son muy adaptables tanto a la temperatura alta como a la baja.

Finalmente, los virus⁵⁵ son organismos más pequeños que no poseen organelos. No se multiplican de forma autónoma, por lo que necesitan un hospedero que los albergue para reproducirse.

⁵⁰ Necesitan del aire.

⁵¹ No necesitan del aire.

⁵² Provocan enfermedades.

⁵³ Se nutren de materia orgánica e inorgánica.

⁵⁴ Se alimentan de materia viva en donde habitan.

⁵⁵ Veneno en latín.

Las bacterias (Fig. 19) suelen dividirse y formar cadenas específicas, que permiten diferenciarlas en:

- *Cocos*
- *Diplococos*
- *Estreptococos*
- *Estafilococos*
- *Sarcinas*
- *Bacilos*
- *Diplobacilos*
- *Estreptobacilos*

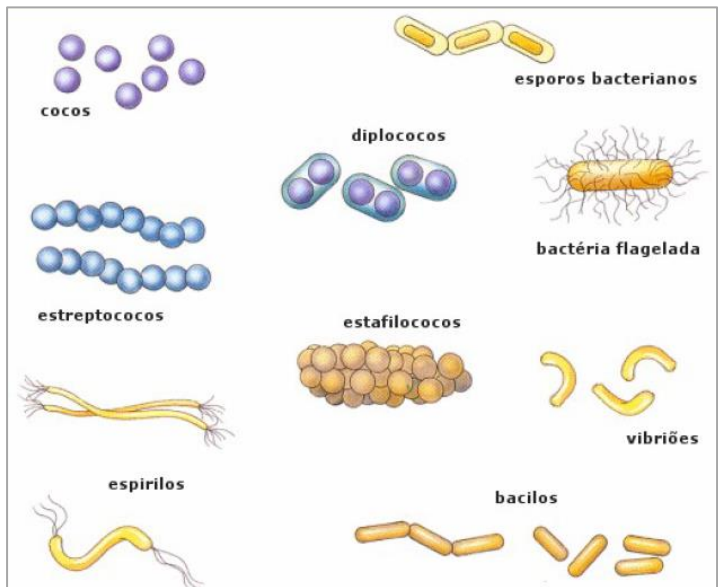


Figura 19. Morfología de las bacterias.

Fuente: <https://definicion.com.mx/bacteria.html>

Los virus se clasifican dependiendo del organismo al que afectan en:

- Fitófagos: plantas
- Zoófagos: animales
 - Dermatropos/piel: herpes, viruela y sarampión.
 - Neurotropos/vías respiratorias: gripe y neumonitis.
 - Viscerotropos/vísceras: hepatitis.
- Bacteriófagos: cultivos de bacterias

A su vez, los hongos se dividen según su:

- Crecimiento: levaduras, dimórficos, filamentosos.
- Reproducción: asexuales y sexuales.
- Estructura y morfología: filamentosos, levaduriformes.

2.2.2.2 Factores intrínsecos y extrínsecos

Existen algunos factores que son determinantes para el crecimiento de microbios y pueden ser:

- *Intrínsecos*.- pH, estructura biológica, agentes antimicrobianos y composición de la superficie que los contenga o genere.
- *Extrínsecos*.- cantidad de oxígeno, temperatura, humedad relativa, luz y tiempo de reproducción.

Obviamente, existen factores que se destacan por tener una relación directa con los materiales de construcción, específicamente con el tema central de esta investigación, que son los recubrimientos en muros:

- *La humedad*.- El agua siempre propiciará el desarrollo de la vida, así que si existe agua, vapor o humedad en las viviendas, el desarrollo microbiano está asegurado. El agua disponible es fundamental para que los microorganismos realicen sus funciones metabólicas (Tabla 16).

Tabla 16. Rangos de humedad para el desarrollo de microorganismos.
Fuente: EPA (2011:21)

Porcentaje de humedad requerido para el crecimiento de microorganismos en materiales de construcción, recubrimientos y mobiliario		
ALTO	INTERMEDIO	BAJO
>90%	80-90%	<80%
<i>Alternaria alternata</i>		
<i>Aspergillus fumigatus</i>		
<i>Epicoccum spp.</i>		
<i>Exophiala spp.</i>	<i>Aspergillus flavus</i>	<i>Aspergillus flavus</i>
<i>Fusarium moniliforme</i>	<i>Aspergillus versicolora</i>	<i>Aspergillus versicolora</i>
<i>Mucor plumbeus</i>	<i>Cladosporium</i>	<i>Cladosporium</i>
<i>Phialophora spp.</i>	<i>cladosporioides</i>	<i>cladosporioides</i>
<i>Phoma herbarum</i>	<i>Cladosporium herbarum</i>	<i>Cladosporium herbarum</i>
<i>Rhizopus spp.</i>	<i>Cladosporium</i>	<i>Cladosporium</i>
<i>Rhodotorula spp.</i>	<i>sphaerospermum</i>	<i>sphaerospermum</i>
<i>Sporobolomyces spp.</i>	<i>Mucor circinelloides</i>	<i>Mucor circinelloides</i>
<i>Stachybotrys chartarum</i>	<i>Rhizopus oryzae</i>	<i>Rhizopus oryzae</i>
<i>(S. atra)</i>		
<i>Trichoderma spp.</i>		
<i>Ulocladium consortiale</i>		

- *Fuentes de energía.* - Además del agua, se necesita de una fuente de energía que funja como alimento para los microorganismos; algunos de éstos se alimentan de minerales y los materiales de construcción son proveedores de ellos.
- *Temperatura.* - Todos los microorganismos tienen temperaturas que promueven su crecimiento, ya que éstas pueden acelerar o retardar su actividad enzimática, lo que repercute en su metabolismo. Un exceso de temperatura, también puede ser detonante para su desaparición, ya sea por calcinación o bien, por desnaturalización (Tabla 17).

Tabla 17. Temperaturas de desarrollo de microorganismos.

Fuente: Sachin, B. (et al.) (2017:15)

Bacteria	Temperaturas de desarrollo en °C		
	<i>Mínimo</i>	<i>Óptimo</i>	<i>Máximo</i>
<i>Pseudomonas fluorescens</i>	4	25-30	40
<i>Staphylococcus aureus</i>	6.5	30-37	46
<i>Acidithiobacillus thiooxidans</i>	10	28-30	37
<i>Micrococcus luteus</i>	10	30	45
<i>Lactobacillus plantarum</i>	15	30-35	45
<i>Corynebacterium diphtheriae</i>	15	37	40
<i>Streptococcus thermophilus</i>	20	40-45	50
<i>Thermoactinomyces vulgaris</i>	27-30	60	65-70
<i>Neisseria gonorrhoeae</i>	30	35-36	38.5
<i>Thermus aquaticus</i>	40	70-72	79

- *El pH.* - La acidez o alcalinidad está -directamente- ligada con la función celular, porque la actividad enzimática es vulnerable ante las variaciones de pH del ambiente circundante. Incluso, se piensa que este indicador puede afectar la velocidad de reacción desnaturalizante de las moléculas de proteína que conforman a algunos microorganismos, debilitándolos y hasta desintegrándolos (Tabla 18).

Tabla 18. Límites de pH para el desarrollo de microorganismos.

Fuente: Larrea, E. (et al.) (1995:6)

<i>microorganismos</i>	<i>sobrevivencia rangos min y máx de pH</i>
bacterias (*)	0 a 10
hongos (*)	3 a 10
virus (**)	- a 11
nemátodos (***)	5 a 9
(*) Piatkin, K., Krnoshein, Y., (1980) Microbiología, Ed. Mir. Moscú, URSS	
(**) Mattheus, R.R.F., (1970) Plant Virology, Academic Press New York, USA	
(***) Sosa-Moss, C. Información persona. Co. Posgraduados. Montecillos, México.	

- *El oxígeno.*- La presencia de oxígeno también es relevante para el desarrollo microbiológico, ya sea porque es indispensable para la respiración o porque resulta ser tóxico (Tabla 19).

Tabla 19. Requerimiento de oxígeno para el desarrollo de microorganismos.

Fuente: Sachin, B. (et al.) (2017:17)

<i>Grupo de microorganismos</i>	<i>Requerimiento de oxígeno</i>	<i>Metabolismo</i>	<i>Ejemplo</i>
AEROBIOS			
Obligados	Si	Aeróbico	<i>Micrococcus luteus</i>
Facultativos	Si / No	Facultativo (oxid/ferm)	<i>Escherichia coli</i>
Microaerófilos	Sí, bajo	Aeróbico	<i>Streptococcus volutans</i>
ANAEROBIOS			
Aerotolerantes	No	Fermentación	<i>Streptococcus pyogenes</i>
Estrictos	Letal	Fermentación	<i>Methanobacterium formicicum</i>
Estrictos	Letal	Anaeróbico	<i>Thermococcus aquaticus</i>

De igual forma se han identificado diversas vías de contaminación microbiológica, entre las que se destacan la:

- Aérea
- Terrestre
- Acuática
- Vectorial⁵⁶

⁵⁶ A través de vectores, organismos o insectos que adquieren los microbios de un animal y lo transmiten a una persona o superficie.

Estas vías que facilitan el desarrollo microbiano en un espacio, pueden ser controladas o -incluso- evitadas, mediante diversas estrategias de diseño o por el empleo de ciertos materiales de construcción, que impidan la creación de ambientes propicios para la proliferación de microorganismos.

La *Air-Conditioning, Heating & Refrigeration Institute* (AHRI), indica que los seres humanos emiten sus microbios a los espacios y los espacios emiten sus microbios a los seres humanos.

2.2.3 Humedad

Fuentes, V. (2004) describe a la humedad como la cantidad de vapor de agua contenido en el aire, ésta varía a través del tiempo y el espacio.

Asimismo, indica que el vapor contenido en la atmósfera es de gran importancia porque es la acumulación de energía en forma de calor latente de condensación, por lo tanto, es un intercambio de materia y energía.

La humedad es un tema que -por sí mismo- se torna contradictorio, por un lado, es necesaria para garantizar la conservación de la mayoría de los sistemas biológicos, pero por otro, es responsable de un sinnúmero de afectaciones para los seres vivos y las construcciones. Como lo indica la Guía para el control de la humedad en el diseño, construcción y mantenimiento de edificaciones, realizada por la *U.S. Environmental Protection Agency* (EPA), gran parte del deterioro que experimentan los materiales de construcción, mobiliario y decoración al interior de los espacios, se da por la presencia de agua/humedad/vapor como sea su estado o denominación.

De hecho, la humedad tiene sus propias consideraciones, es así como puede ser:

- *Absoluta (HA)*. - Que es la cantidad de vapor de agua (en gramos) contenida en un metro cúbico de aire.
- *Específica (HE)*. - También es la cantidad de vapor de agua (en gramos) contenida en un kilogramo de aire seco.

- *Relativa (HR).* - Es la relación que existe entre la cantidad de vapor de agua y el % de saturación del aire a una determinada temperatura y presión. Por lo que, si cambia la temperatura del aire, la humedad relativa también, así que este porcentaje no ayuda a predecir la condensación, de ningún modo.

De igual forma, esta Guía para el control de la humedad explica que las personas piensan en humedad relativa cuando se habla de humedad, más allá del punto de condensación. Pero es oportuno indicar que la humedad relativa es un dato relativo y no hace referencia a la cantidad de vapor de agua en el aire.

La *Air-Conditioning, Heating & Refrigeration Institute* (AHRI), remarca que la máxima humedad contenida en el aire depende de la temperatura del aire.

En el documento *Humidity, Health and Wellbeing*, la empresa suiza *Condair AG* menciona que la humedad relativa óptima para el cuerpo humano y el sistema inmune está entre el 40 y el 60%, además señala que mantener este nivel de humedad es una forma efectiva de reducir las infecciones o contagios por partículas suspendidas.

2.2.3.1 Origen (filtración, capilaridad y condensación)

Para una correcta intervención de la humedad en los espacios interiores, es inminentemente necesario un diagnóstico previo.

La humedad, en el ámbito de la construcción tiene procedencia distinta, dependiendo de ésta será la magnitud de los daños que puede causar a los elementos constructivos y en consecuencia, a los usuarios del espacio interior. Como se ha descrito en otros temas, la calidad de aire, en cierta medida está supeditada al estado de conservación que presentan los materiales de construcción, especialmente, los que se encuentran expuestos en la superficie; por eso, se optó por estudiar los recubrimientos de muros, toda vez, que los metros cuadrados que recubren son considerables, en comparación con los de cualquier otro elemento presente en las viviendas (sobre todo). Una baja

humedad extrae la humedad del entorno, provocando sequedad en los materiales y superficies, mientras que el opuesto, es decir, una humedad alta se encarga de transferirse a éstos, provocando humedecimientos innecesarios.

Humedades prolongadas pueden desencadenar el crecimiento de bacterias, moho e insectos como las termitas y hormigas. Eso sin mencionar, los cambios físicos y reacciones químicas en los materiales de construcción como el desgaste, corrosión, pérdida de adhesión, disolución, dilatación, pudrición, manchas, deposición de sales y reducción del aislamiento. Se debe recordar que el agua es el disolvente universal y tiene la capacidad de interactuar con diversas sustancias, tendiendo puentes de hidrógeno. El agua es polar y en su atracción eléctrica modifica a los minerales polares, hasta disolverlos; de hecho, éste es el origen de la capilaridad.

“El agua es un buen disolvente: es capaz de diluir muchos elementos y moléculas, cosa que ha hecho durante largo tiempo con la corteza sólida de la Tierra, la lava fundida y los gases propulsados a través de ellas por el intenso calor interior. Y no sólo en los lechos oceánicos: cuando el agua se evapora del océano, forma nubes constituidas por gotitas de agua que absorben las emisiones volcánicas y otros gases, crecen y se combinan entre sí y, finalmente, caen de nuevo a la superficie terrestre en forma de lluvia y nieve.”
McGee, H. (2021:457)

Humedad por capilaridad.- Esta humedad se caracteriza por la aparición de manchas oscuras en los elementos constructivos, que al secar dejan un sedimento blanco en los bordes, producto de la evaporación del agua y la solidificación de las sales minerales contenidas en ésta y en los materiales que conforman el soporte del muro. La palabra capilaridad, hace referencia al fenómeno físico que experimentan los líquidos para subir o bajar a través de un tubo capilar de diámetro ínfimo, esto estará en función de la tensión superficial que exista entre el fluido y las paredes internas del conducto y del grado de porosidad del material; ya que, a mayor porosidad, mayor succión capilar. El grado de

severidad del daño, depende del nivel que alcance la “absorción” de agua el muro o elemento constructivo de que se trate, pudiendo ser éste, de -incluso- metros.

Obviamente, esta altura estará condicionada a diversos factores como:

- La temperatura
- La presencia de depósitos de agua en el subsuelo
- Niveles freáticos altos
- Cantidad de sales minerales, que contiene el agua
- Tipo y grado de solidificación de sales
- El diámetro de los poros tanto del material que conforma el soporte del muro, como del recubrimiento que éste posee
- El tipo de pintura o composición del recubrimiento que tiene el muro

Esta humedad tiene mayor incidencia durante la época de lluvias, dada la cantidad de agua que se acumula y la reducción de la capacidad evaporativa.

La ubicación de las manchas obedece más a la cercanía de los elementos constructivos con el suelo, del cual obtienen el agua, razón por la que es necesario, evitar la concentración de agua en la construcción, porque esto implica que la humedad relativa al interior de los espacios se incremente de forma considerable (Fig. 20).



Figura 20. Humedad por capilaridad.

Fuente: <https://www.lastraarquitectos.es/humedades-por-capilaridad/>

Humedad por filtración.- Esta humedad es la más crítica, porque cuando se presenta, tiene alta probabilidad de proceder de alguna falla estructural de la losa o bien, de algún tramo de tubería hidro-sanitaria dañada. Por filtración, se entiende al movimiento de agua en su estado líquido. La palabra deriva del latín *filtrum* que hace referencia a un material poroso que permite la eliminación de impurezas o en este caso, de una sustancia. Este tipo de patología demanda de una intervención inmediata y correctiva, dada la posibilidad de afectar severamente otros componentes de la vivienda, ya que se dan - literalmente- escurrimientos de agua en gotas o chorros.

En la Guía para el control de la humedad en el diseño, construcción y mantenimiento de edificaciones, realizada por la *U.S. Environmental Protection Agency*, se compartieron los resultados de la Encuesta de Evaluación y Valoración de Edificaciones [*Building Assessment Survey and Evaluation* (BASE)] que se realizó entre los años 1994 y 1998; el estudio obtuvo datos sobre la calidad del aire interior en cien edificios de oficinas públicas y privadas en las diez zonas climáticas de los Estados Unidos, encontrando que el 85% de éstos habían sido dañados por agua en algún momento y que el 45% tenía fugas o goteras. Esto denota que este tipo de humedad es más común de lo que se pueda pensar (Fig. 21).

De acuerdo con la Guía para la Calidad del Aire Interior, desarrollada por la *American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, The American Institute of Architects, Building Owners and Managers Association International, Sheet Metal and Air Conditioning Contractors' National Association, U.S. Environmental Protection Agency* y *U.S. Green Building Council*, se debe limitar la penetración del agua líquida a las construcciones, mediante la protección de la envolvente.



Figura 21. Humedad por filtración.

Fuente: <https://prohucon.es/>

Humedad de condensación.- Según Szokolay, la condensación se presenta cuando el aire húmedo se enfría o tiene contacto con una superficie por debajo del DPT⁵⁷ o temperatura de punto de rocío, que está identificado según Fuentes, V. (2004) como la temperatura en la que el aire se satura durante un proceso de enfriamiento.

Se debe reiterar que la humedad tiene una relación directa con la temperatura; el aire se expande cuando se calienta y esto repercute en el aumento de la cantidad de vapor de agua que puede contener, de igual forma, si el aire se enfría se contrae y en consecuencia, la humedad de saturación decrece.

Este aspecto se puede apreciar al interior del baño, del cuarto de lavado o de la cocina, cuando las ventanas albergan una capa de vaporcito, esta es una condensación superficial; sin embargo, se puede experimentar una condensación intersticial, es decir, al interior de los poros de los recubrimientos de muros, pisos y losas, causada por una temperatura en o por debajo de la temperatura de rocío, provocando el cambio de estado del vapor. Una vez, convertido en agua, puede llenar los poros de los materiales y dañarlos de forma permanente. Por eso, es muy importante elegir los que mejor se adaptan al clima y al tipo de actividades que se realizan en cada espacio de la vivienda, -especialmente- cuando las temperaturas son bajas; se dice que cada usuario exhala

⁵⁷ Dew Point Temperature.

50 g de vapor de agua por hora, en estado de reposo y que cocinar, secar ropa o bañarse puede desprender grandes cantidades de vapor, superiores a los 200 g.

Es imperativo poner especial atención en las uniones entre los muros y las losas, toda vez que los puentes térmicos pueden crear un efecto adverso para mantener la temperatura cálida al interior de las viviendas, en especial en aquellas en donde no existe un sistema de calefacción mecanizado.

La condensación se puede presentar por diversas causas, siendo las más comunes:

- Exceso o alta concentración de humedad en el aire
- Falta de ventilación o renovación de aire
- Aislamiento deficiente
- Calefacción inadecuada
- Puentes térmicos
- Superficies frías

La Guía para el control de la humedad en el diseño, construcción y mantenimiento de edificaciones, realizada por la *U.S. Environmental Protection Agency* (EPA) establece que tanto el aire interior como el exterior poseen vapor de agua y que a donde vaya el aire, irá el vapor de agua, por lo que si el aire húmedo entra en contacto con una superficie fría, el vapor de agua se condensará. Entre más alto es el punto de condensación, mayor será el grado de condensación en superficies frías; este punto depende de la cantidad de vapor de agua que contiene el aire, por lo que si el aire es seco su punto de condensación es bajo y a la inversa si el aire es húmedo, el punto de condensación es alto. Curiosamente, la condensación (Fig. 22) se puede prevenir asegurando que el punto de condensación del aire sea más bajo que la temperatura de las superficies.

En comparación con la humedad relativa, el punto de condensación no se modifica con la temperatura del aire. Por ejemplo, si el punto de condensación es más alto que la temperatura de la superficie de los muros, el vapor de agua se condensará y provocará humedad intersticial. Si el punto de condensación es más bajo que el de la temperatura de la superficie del muro, el vapor no se condensará.

El punto de condensación al interior de los espacios debe ser un balance entre la adición y la extracción del vapor de agua en el aire. Una construcción tiene la posibilidad de incrementar el vapor de agua tanto por fuentes internas como externas; sin embargo, debe tener -a través- de sus elementos, la capacidad de gestionar y remover la humedad para mantener el punto de condensación en los límites permisibles.

Este punto, es uno de los que respalda la hipótesis planteada en esta investigación, toda vez que es a través de los recubrimientos de muros, que se puede considerar la regulación de los niveles de humedad al interior de los espacios.



Figura 22. Humedad por condensación.

Fuente: <http://sinhumedades.com/services/humedad-condensacion/>

Los cuatro elementos clave para entender el comportamiento de la humedad según la Guía para el control de la humedad en el diseño, construcción y mantenimiento de edificaciones, realizada por la *U.S. Environmental Protection Agency* (EPA) son:

1. Síntomas de problemas con la humedad
2. Fuentes de humedad
3. Mecanismos de transporte de la humedad
4. Fallas en el control de la humedad en elementos y sistemas constructivos

Asimismo, recomienda los tres principios de control de humedad para conseguir una buena calidad del aire al interior y la prolongación de la vida útil de las construcciones:

1. Controlar el agua en estado líquido
2. Prevenir la humedad en exceso, la conducción de vapor de agua y la difusión de aire para reducir la condensación/absorción de éstos, en las superficies de los elementos constructivos
3. Seleccionar materiales resistentes a la humedad

Para este último punto es decisivo considerar la norma ASTM D3273-12, *Standard Test Method for Resistance to Growth of Mold on the Surface of Interior Coatings in an Environmental Chamber*, lo que es lo mismo al Método de Prueba Estandarizado para Evaluar la Resistencia al Desarrollo de Moho en la Superficie de Revestimientos Interiores en una Cámara Ambiental.

Auras, M. (2008) en su estudio sobre las cataplasmas en muros, realizado para el Instituto de Conservación de Piedra, ubicado en Alemania, menciona que si la cantidad de humedad en los muros es bajo, éstos pueden mantener una superficie intacta durante mucho tiempo, lo cual es totalmente deseable no sólo en términos técnicos y económicos, sino también en el aspecto de bienestar/salud de los usuarios. Explica que las construcciones y monumentos históricos que tienen piedra o tabique de barro, a menudo presentan deterioro causado por las sales solubles que posee el agua y esto, se debe a que cuando el agua se introduce en los poros de los materiales, se transportan las sales solubles disponibles, creando severas afectaciones.

2.2.3.2 Patologías (acumulación / manchas y fisuras, aparición de moho, disolución de sales minerales / eflorescencias y criptoflorescencias, desprendimiento parcial o total de materiales)

¿Qué son las patologías?

Según la RAE⁵⁸ y en el campo de la medicina, una patología es un conjunto de síntomas de una enfermedad; sin embargo, en el ámbito de la construcción también es considerada

⁵⁸ Real Academia Española.

como el estudio de los defectos y problemas que presentan los elementos constructivos a causa de diversos factores tanto internos como externos. Cuando se habla de las patologías en los muros -específicamente- se hace referencia a las afectaciones que éstos pueden tener por efecto de la temperatura, la humedad relativa, pero también por el tipo y calidad de los materiales que se utilizan para su conformación (Tabla 20). Como se comentó en el primer capítulo, el muro tiene capas y son éstas las que llegan a experimentar deterioro a causa del ambiente circundante, pero también por agentes contaminantes propios de los materiales pétreos y sintéticos con los que se hacen los recubrimientos.

Tabla 20. Humedad requerida para afectar diversos materiales.

Fuente: Johansson (et al.) (2005:11)

<i>Humedad Relativa - HR critica para diversos grupos de materiales</i>	
<i>Grupo de materiales</i>	<i>% de Humedad Relativa</i>
<i>Madera y materiales maderables</i>	75-80
<i>Papel o cartón</i>	80-85
<i>Aislamiento mineral</i>	90-95
<i>Poliestireno extruido y expandido</i>	90-95
<i>Concreto</i>	90-95

Para tener una mayor noción de las patologías que llegan a experimentar los muros y sus recubrimientos -de forma consecuente-, se deben clasificar a éstas en función de su causa (Tabla 21).

Tabla 21. Causas de patologías en muros.

Fuente: Elaboración propia.

<i>Causa</i>	<i>Efecto</i>
<i>Humedad por capilaridad, condensación y filtración</i>	Acumulación de agua
<i>Humedad por condensación</i>	Manchas
<i>Humedad por filtración</i>	Fisuras
<i>Humedad/temperatura</i>	Moho
<i>Temperatura</i>	Disolución de sales minerales
<i>Humedad por capilaridad y condensación</i>	Eflorescencias
<i>Temperatura/humedad por capilaridad y condensación</i>	Criptoflorescencias
<i>Humedad por filtración y condensación</i>	Desprendimiento parcial o total de materiales

Las patologías deben identificarse de forma eficaz para favorecer la selección de un tratamiento preventivo/correctivo que permita mitigarlas o evitarlas; partiendo del conocimiento anticipado de las condiciones ambientales que prevalecen en el sitio de emplazamiento de las construcciones.

Acumulación de humedad.- Concentración o anegación de agua y vapor, derivado de alguna anomalía funcional de los elementos constructivos, los recubrimientos de éstos o de los materiales involucrados; condición que puede impedir la gestión, disipación o drenaje de la humedad.

Origen: Lluvia, agua y vapor de agua.

Solución: Optar por recubrimientos naturales. Propiciar incidencia solar, ventilación e impermeabilidad al interior de los espacios. Usar materiales higroscópicos y difusores de vapor.

Manchas de humedad.- Estas manchas están relacionadas con la absorción de agua y su consecuente evaporación, dependiendo del tipo de sales minerales disueltas en los materiales del soporte del muro o en la propia agua, será el color que deje la mancha en el muro o recubrimiento; pudiendo ser estas blancas, grises o verdes.

Origen: Materiales pétreos, agua.

Solución: Usar materiales de poro fino, recubrimientos hidrófugos⁵⁹, barreras antihumedad para evitar absorción de humedad del suelo.

Fisuras en el recubrimiento.- Las fisuras están -primeramente- supeditadas a una dimensión que es la característica que las clasifica. La fisura es una pequeña incisión en el muro que no pasa de 1 mm de ancho, a diferencia de una grieta que supera esta dimensión. Por otro lado, las fisuras son superficiales y su profundidad no es superior a los 5 mm, las grietas son más profundas y se localizan más allá de los recubrimientos,

⁵⁹ Que evitan la humedad o las filtraciones de agua, permitiendo -únicamente- el paso de vapor de agua.

como se puede apreciar en la Fig. 23. Es importante estar conscientes de que mientras más ancha y profunda sea esta patología mayor es el riesgo de falla o colapso del muro. Origen: Movimientos o desplazamientos de la construcción, dilatación y contracción de los materiales, reblandecimiento de las capas superficiales del recubrimiento y presencia de criptoeflorescencias.

Solución: Evitar la reacción entre los materiales soporte del muro y las mezclas de albañilería, humedeciendo las piezas previamente a su colocación.

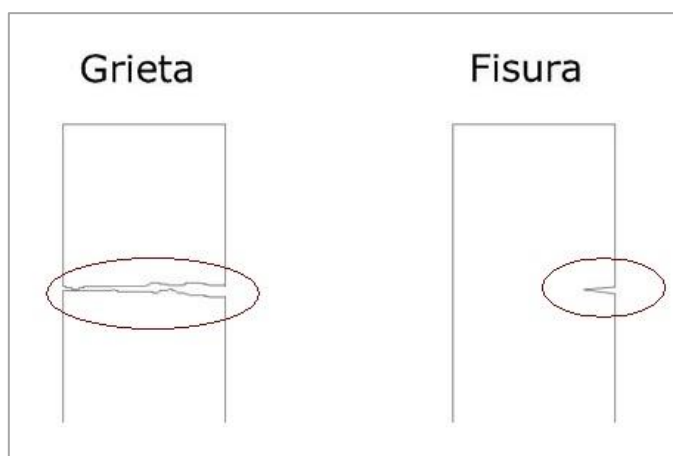


Figura 23. Diferencia entre grieta y fisura.

Fuente: <http://garayyasociados.blogspot.com/2013/02/grietas-y-fisuras-en-mi-casa-debo.html>

Moho.- Según la breve Guía para el Moho, la Humedad y su Hogar, editada por la U.S. *Environmental Protection Agency* (EPA), es un hongo microscópico, -comúnmente- presente en espacios en donde el calor, la humedad y la oscuridad predominan. Existe gran variedad de especies, los CDC⁶⁰ estiman que puede haber decenas de miles o quizá más de trescientas mil; los principales al interior de las viviendas son:

- *Cladosporium*
- *Penicillium*
- *Alternaria*
- *Aspergillus*
- *Mucor*

⁶⁰ Centers for Disease Control and Prevention of Department of Health and Human Services. USA.

Crece como filamentos uni o pluricelulares, se reproducen y diseminan a través de esporas y éstas pueden sobrevivir en diversos ambientes; lo mismo en condiciones secas, que húmedas, pese a que estas últimas favorecen su crecimiento. Por eso, la clave para evitar la presencia de moho, es el control de la humedad.

El moho tiene la posibilidad de destruir los materiales sobre los que crece.

Es necesario recordar las condiciones óptimas para su crecimiento, porque el moho tarda entre 24 y 48 horas en surgir. Payam Fallah⁶¹, ha expresado que las esporas de moho comienzan a germinar sumamente rápido; formando estructuras microscópicas en apenas 3 días, prolongándose hasta los 12 y su visualización se da hasta después de los 18 días. Estos datos varían, dependiendo del tipo de moho, del tipo y material de las superficies afectadas, así como de la temperatura y humedad relativa del espacio.

Dado que no se han establecido límites mínimos por la División de la EPA para Medio Ambientes Interiores (*EPA Indoor Environments Division*), en relación a la presencia de moho o de sus esporas, no se pueden hacer muestreos aleatorios. Pero hacer muestreos bajo estándares o métodos analíticos recomendados por la AIHA (*American Industrial Hygiene Association* – Asociación Estadounidense de Higiene Industrial) y la ACGIH (*American Conference of Governmental Industrial Hygienists* – Conferencia Estadounidense de Higienistas Industriales Gubernamentales), u otras organizaciones profesionales, siempre será conveniente.

Origen: humedad relativa alta, falta de iluminación, temperatura cálida.

Solución: Preferir recubrimientos biocidas⁶². Buscar asoleamiento periódico y ventilación constante.

⁶¹ Es un micólogo doctorado y director en el Laboratorio IDEH (Laboratorio de Higiene Ambiental de Interiores). Cuenta con más de 20 años de experiencia en fitopatología.

⁶² Agente químico antimicrobiano cuyo objetivo es la aniquilación o inhibición del efecto nocivo de microorganismos.

Disolución de sales minerales.- Dicha condición se da justo por la evaporación del agua, ya sea por la acción del viento o el incremento en la temperatura de las superficies que han sido humedecidas, por el efecto de la lluvia o alguna condición ajena al clima.

Origen: Agua en estado líquido y gaseoso.

Solución: Regular la capacidad evaporativa de las superficies, mediante recubrimientos autogestivos⁶³ de temperatura y humedad. Usar agua sin contaminantes.

Eflorescencias.- Comúnmente llamadas salitre (Fig. 24). Son consideradas como depósitos superficiales de sales solubles cristalizadas, lucen como manchas blancas sobre ladrillos, tabiques o recubrimientos, a causa de la evaporación del agua de lluvia o procedente de la propia mezcla de albañilería. Por lo regular, esto sucede por una red capilar eficiente en el recubrimiento, una cantidad de agua suficiente como para transportar las sales y una evaporación que se da, de forma controlada.



Figura 24. Eflorescencias.

Fuente: <https://www.esecon.es/patologias/patologias-en-las-fabricas-de-ladrillo/>

No es extraño que se diga que estas manchas son de cal, dado su color y eventual pulverización; sin embargo, en análisis de laboratorios, se han encontrado los componentes de la Tabla 22:

⁶³ Hacer por sí mismo, la acción que se propone.

Tabla 22. Componentes de las eflorescencias.

Fuente: Documento interno - Grupo Calidra (2009:3)

<i>Sal</i>	<i>Descripción</i>	<i>Solubilidad (gr/100 ml)</i>	<i>Peligrosidad</i>
Carbonato de calcio CaCO₃	Velo blanco, producto de la carbonatación del agua de cal	0.0014	no
Carbonato de potasio K₂CO₃	Se presentan por la carbonatación de los álcalis del cemento	112.0	no
Carbonato de sodio Na₂CO₃	Se presentan por la carbonatación de los álcalis del cemento	7.1	no
Sulfato de calcio CaSO₄	Susceptible de expandir su tamaño dada su interacción con los aluminatos del cemento	0.209	si
Sulfato de sodio Na₂SO₄	Se cristaliza y expande con facilidad	19.5	si
Sulfato de potasio K₂SO₄	De fácil cristalización y alta solubilidad	12.0	si
Sulfato de magnesio MgSO₄	Se solubiliza y cristaliza de forma rápida. Los sulfatos libres pueden formar ettringita ⁶⁴	26.0	si
Nitrato de sodio NaNO₃	Constituye al salitre, es soluble y cristizable. Proviene de materia orgánica en proceso de descomposición	97.0	no
Nitrato de potasio KNO₃	Constituye al salitre, es soluble y cristizable. Proviene de materia orgánica en proceso de descomposición	155.0	no
Cloruro de sodio NaCl	Soluble y cristizable, procede de los suelos o ambientes marinos	35.7	no
Cloruro de calcio CaCl₂	Soluble y delicuescente ⁶⁵ . Proviene de aditivos. Agresivo con los pigmentos y favorece la conformación de mohos.	59.5	si
Carbonato de bario BaCO₃	Poco soluble	2.2x10 ⁻³	no
Sulfato de bario BaSO₄	Poco soluble	2.2x10 ⁻⁵	no

⁶⁴ Mineral incoloro o amarillo que cristaliza y en presencia de agua se torna de color blanco.⁶⁵ Que absorbe humedad del aire y forma soluciones acuosas.

De igual forma, se han identificado cloruros o nitratos, así como sales de vanadio, cromo y molibdeno.

En la mayoría de las eflorescencias analizadas, se ha podido detectar la presencia de sulfato de sodio y sulfato de potasio, con excepción de algunos casos, en los que el carbonato de sodio ha sido el predominante.

Estos datos se confirman en el estudio denominado “*Canadian Study of Brick Masonry Efflorescence*”, mismo que revela que la eflorescencia de mayor daño es la que se crea por la presencia de sulfato de sodio en cantidades mayores al 50%.

Las eflorescencias son estacionales, apareciendo con mayor frecuencia en otoño e invierno, se intensifican en la época de lluvias. Con el calor, algunas desaparecen porque la humedad se evapora más rápido y se queda a nivel del soporte del muro, sin llegar a ser visible en las superficies. Con el frío, la evaporación es más lenta y da oportunidad a que el agua transporte las sales hasta la superficie de los recubrimientos.

Investigaciones demuestran la relación que hay entre las eflorescencias y la composición de las mezclas de albañilería. Se ha observado que el predominio de sales sódicas y potásicas, -regularmente- sulfatos, sugiere que es el cemento Portland el que posee los componentes idóneos para facilitar la formación del salitre.

Pese a que las mezclas de albañilería son determinantes para la aparición de sales minerales en los muros, es necesario decir que no son la única causa, tal como se ha expuesto en párrafos anteriores. Por ejemplo, la cimentación de las construcciones son medios de transmisión de sales, a través del efecto de capilaridad.

Otro factor es la humedad prolongada, ya sea producto de la lluvia, de fallas en el drenaje o de la infiltración de agua por gravedad.

Origen: Piezas de mampostería de origen pétreo, agregados pétreos, cementantes, agua y aditivos. Baja temperatura y humedad relativa alta, evaporación acelerada propiciada por el asoleamiento e incidencia de viento. Presencia de anhídrido sulfuroso / dióxido de azufre (SO_2) y contaminación atmosférica alta. Alta concentración de sales minerales.

Solución: Verificar que las piezas de mampostería no contengan grandes cantidades de sulfatos solubles (Mg, K, Na). Evitar que las piezas de mampostería sean humedecidas de forma exagerada al momento de construir. Impedir la contaminación de los materiales mediante el agua, el suelo y los residuos. Impermeabilizar las superficies tanto verticales como horizontales, que tengan contacto con el suelo. Cepillar los muros, lavarlos con agua pura.

Preparar solución de jabón sódico al 1% y rociarla sobre la superficie afectada.

Impregnar diluciones de ácidos débiles. Tratar con soluciones de siliconas que funjan como impermeabilizantes.

Preparar y aplicar solución diluida de carbonato de cobre con amoníaco.

Criptoflorescencias.- Son depósitos de sales minerales en el interior de los poros de los materiales de construcción, que tienden a aumentar su volumen, creando tensiones y rupturas en las superficies, permitiendo que el agua ingrese y las expanda aún más (Fig. 25).



Figura 25. Criptoflorescencias.

Fuente: Elaboración propia.

Surgen -principalmente- por una red capilar deficiente al interior de los recubrimientos superficiales, porque la cantidad de agua es insuficiente para el transporte y disolución de las sales o porque la evaporación de éstas se da bruscamente; por eso, la

precipitación de las sales se da más allá de la superficie, de tal forma que los sedimentos presionan la capa superficial y provocan abombamientos, que en la mayoría de los casos llegan a desprender los materiales propios del recubrimiento (Fig. 26).

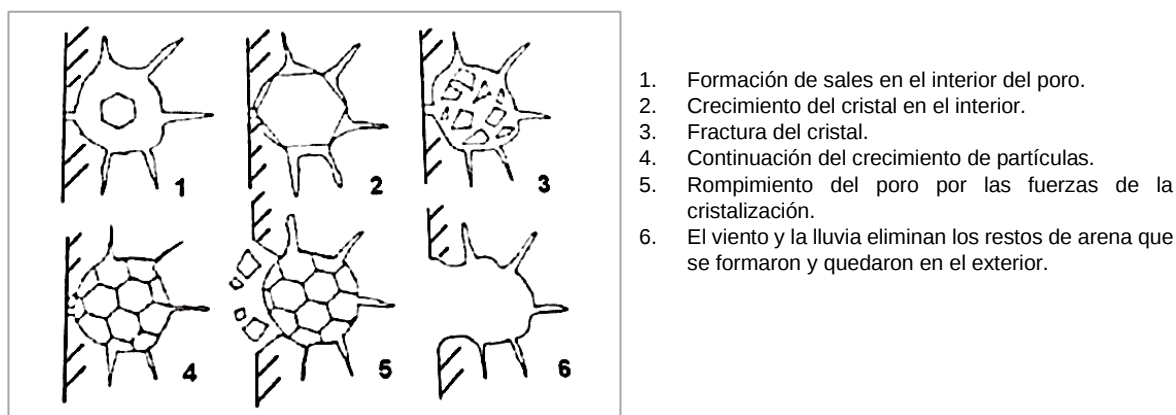


Figura 26. Comportamiento de criptoflorescencias.

Fuente: Documento interno - Grupo Calidra (2009:5)

Origen: arcilla, ladrillo, agregados pétreos, cemento, aditivos químicos y suelo.

Solución: Retirar el repellado, impermeabilizar y colocar un recubrimiento sustituto.

Usar cal, materiales cementantes y cementos de baja alcalinidad para reducir la probabilidad de aparición de sales.

Cuidar o proteger los materiales de construcción antes y durante el proceso constructivo.

Colocar una barrera impermeable en la cimentación para evitar la humedad por capilaridad.

Usar silicones puede ser contraproducente en algunos casos, ya que se genera la acumulación de los cristales, justo por debajo de la capa de silicones y éstos, terminan por desprender los recubrimientos y hasta el material soporte del muro.

No existen métodos estandarizados para determinar la incidencia de patologías como las eflorescencias y criptoflorescencias, pero algunas desaparecen tras ciclos de humectación-secado-raspado con cepillo duro metálico, además de limpieza con agua libre de contaminantes.

La disolución de ácido clorhídrico al 10% y lavado posterior, también funciona, así como la humectación constante en los meses en donde la evaporación es intensa y rápida.

En otros casos, es viable la preparación de una pasta de citrato de sodio, agua tibia, glicerina y creta⁶⁶, así como su remoción final. Por otro lado, la aplicación de una solución de sosa cáustica [Na(OH)] de 350 g/l que actúe durante 2-3 días, será útil, aunque esto implique una remoción total, posterior.

El lavado y aplicación de solución de ácido acético, peróxido de hidrógeno y agua, diluida 2-3 veces, suele ser empleada con cierta regularidad, sin embargo, debe retirarse con sosa cáustica y esto genera condiciones de vulnerabilidad.

Desprendimiento parcial o total de materiales.- La pérdida o desprendimiento de los recubrimientos de muro o de cualquier otro elemento constructivo, se da por la falta de cohesión entre las partículas de los materiales. Esto sucede de manera inicial, por la falta de un buen material ligante o cementante, pero posteriormente, por la transformación física de los componentes. De igual forma, el agua tiene una participación relevante, dada la posibilidad de conformar cristales o promover reacciones químicas que llevan implícita la conformación de sustancias o compuestos que -en ocasiones-, resultan ser perjudiciales para la construcción y los usuarios.

Origen: Falta de cohesión y adherencia.

Solución: Emplear materiales compatibles entre sí y con alto nivel de adherencia.

⁶⁶ Carbonato de calcio molido.

Capítulo 3. Evaluación de las condiciones de toxicidad, desarrollo microbiano y humedad en diversos recubrimientos de muros

3.1 Metodología experimental

El proceso experimental de la presente tesis, abarcó tres grandes temas, tal como lo muestra la Fig. 27.

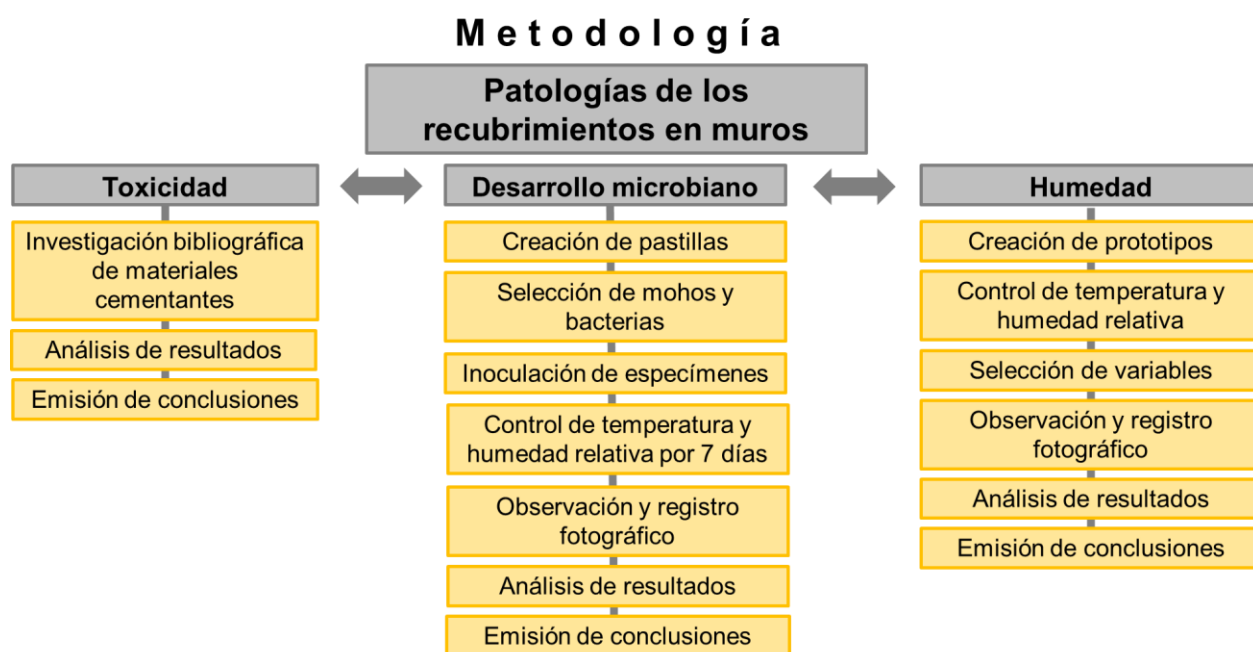


Figura 27. Metodología experimental.

Fuente: Elaboración propia.

3.1.1 Toxicidad

En lo relacionado con la toxicidad de los materiales cementantes, utilizados para la realización de mezclas de albañilería. Se tomó como referencia directa el estudio organoléptico⁶⁷: “Toxicidad sub-crónica de la cal, cemento, yeso y mortero de cemento en Ratas Wistar” realizado en la Facultad de Ciencias Químicas de la Universidad

⁶⁷ Que se percibe a través de los sentidos, a diferencia de otros estudios en donde se analizan las propiedades químicas de los materiales.

Autónoma de San Luis Potosí, en México, en el año 2014. Esto con la intención de simplificar el análisis de resultados y evitar la duplicidad de los mismos. Además, se resalta el alto grado de especialización del experimento, realizado en un laboratorio afín. El documento, remitido como parte del trabajo realizado, indica que se utilizaron treinta ratas “Wistar” (Fig. 28) divididas en un grupo control y cuatro grupos más, expuestos por 5 horas diarias, durante 2 meses a polvo de cal [A], cemento [B], mortero de cemento [C] o yeso [D] (respectivamente).



Figura 28. Rata Wistar.

Fuente: <https://www.alphr.com/bioscience/1008952/mice-rat-tears-eavesdrop-pheromones/>

Además, se estableció como objetivo central: “[...] *Determinar la toxicidad subcrónica de cemento, cal, yeso y mortero de cemento en ratas Wistar a través de la evaluación de parámetros histológicos, oxidativos, de daño al ADN y neurológicos, con la finalidad de conocer los daños celulares que causa la exposición a aglomerantes y prevenir riesgos a la salud derivados de actividades relacionadas con la industria de la construcción.*”

Soriano, S. (et al.) (2014)

En los resultados por discutir, se denota que los animales expuestos a los diferentes polvos presentaron signos y síntomas respiratorios como:

- *Sibilancias*.- Propiciadas por la dificultad para respirar, debido a una obstrucción.
- *Estornudos*.- Originado por la irritación de las membranas mucosas, tanto de la nariz, como de la garganta.
- *Rinorrea o flujo nasal constante*.- Causado por un incremento de la mucosidad nasal.

3.1.2 Desarrollo microbiano

Para identificar el desarrollo microbiano en los distintos recubrimientos, se propuso seguir un protocolo alterno, de contratación de servicios de un laboratorio miembro del Padrón de Laboratorios Ambientales del Gobierno de la Ciudad de México, para realizar - mediante estándares rigurosos-, las pruebas correspondientes a este tema.

Se realizaron las mezclas de [A] cal-arena / [B] cemento-arena / [C] mortero de cemento-arena / [D] yeso, en cajas Petri para obtener pastillas que pudieran ser sometidas a un proceso de inoculación⁶⁸ (Fig. 29) y resguardarlas en una cámara de ambiente controlado (Fig. 30); facilitando de esta forma, el monitoreo de las condiciones de temperatura y humedad relativa.

⁶⁸ Inoculación con mesófilos. Microorganismos vegetales aerobios.



Figura 29. Pastillas de muestreo.
Fuente: Elaboración propia.



Figura 30. Cámara de ambiente controlado.
Fuente: Laboratorio Tecnoambiental.

Las pastillas se hicieron en el mes de septiembre del 2021 y al momento de ser utilizadas para la prueba experimental, (julio del 2022) contaban con 10 meses de edad; la idea, fue evaluar su comportamiento en un estado envejecido y totalmente seco, ya que se mantuvieron en aislamiento para evitar que absorbieran la humedad circundante.

Variable que se eliminó para demostrar que la proliferación de las bacterias y mohos, no está vinculada -directamente- con la presencia de humedad en los recubrimientos, sino con la humedad imperante en el espacio y con los materiales cementantes que los componen, ya que éstos son proclives -en mayor o menor medida- a presentar dicha patología.

En el laboratorio, se propuso sólo la búsqueda intencionada de los organismos de tipo patógeno (hongos y bacterias), porque lo importante era identificar los posibles daños a la salud de los usuarios.

Se listan los 3 objetivos de este análisis:

- Determinar cuantitativamente las colonias de microorganismos
- Observar el efecto de la actividad microbiana sobre los recubrimientos
- Determinar el material que tiene mayor o menor incidencia en la salud de los usuarios

El procedimiento se hizo mediante el hisopado de superficies para advertir la proliferación de bacterias aerobias (BA) (*Escherichia coli* / *Pseudomonas Aeruginosa*) y mohos (M) (*Penicillium sp.* / *Rhizopus sp.*). Las cuatro pastillas fueron inoculadas con una cantidad conocida de microorganismos (BA:120 000 y M:1 500) y se observó que el recuento final al séptimo día, tenía grandes diferencias (Fig. 31).

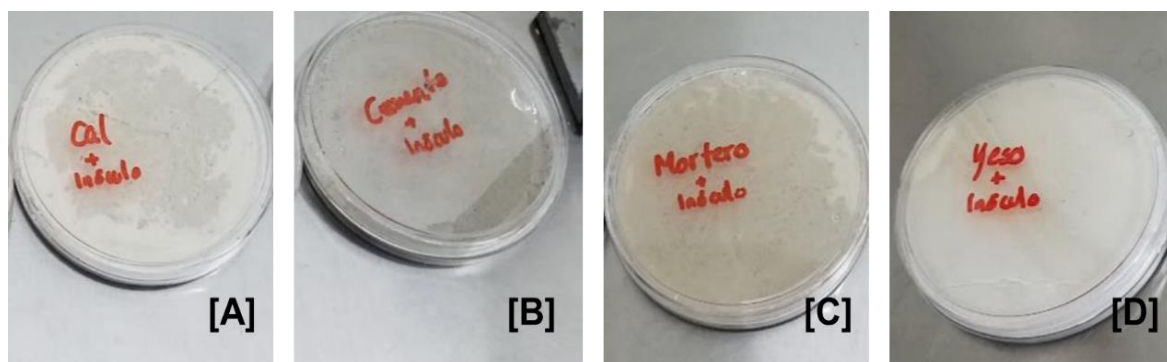


Figura 31. Pastillas en el primer día.

Fuente: Laboratorio Tecnoambiental.

Para finalizar este tema, se realizó la simulación de las condiciones ambientales que se presentarían en dos módulos de características similares, pero distinto clima y con recubrimiento interior de cal o de mortero de cemento.

Los sitios de estudio fueron la Cd. de México y Mérida en el mes más seco y el más húmedo, a lo largo del año.

Según las normales climatológicas, en el caso de la Cd. de México, son los meses de febrero y junio; mientras que en Mérida, son los meses de marzo y septiembre.

La propuesta se resume en la Fig. 32 y la Tabla 23.

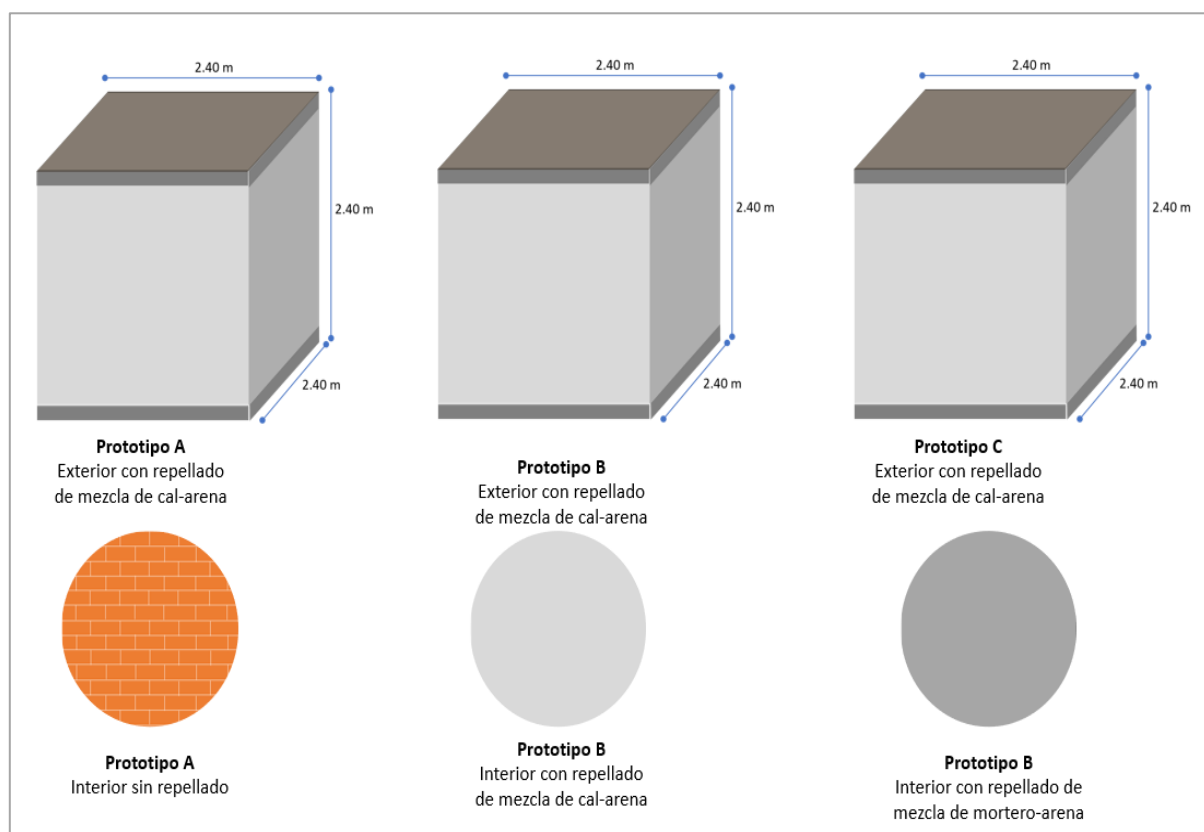


Figura 32. Características de los módulos a simular.

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 23. Descripción de las condiciones de simulación.
Fuente: Elaboración propia.

Clima	Templado		
	CDMX		
Ciudad	A	B	C
Prototipo			
Medidas	2.40 x 2.40 x 2.40 m	2.40 x 2.40 x 2.40 m	2.40 x 2.40 x 2.40 m
Muros de 15 cm de espesor	tabique rojo recocido		
Mezcla de repellado exterior	cal-arena	cal-arena	cal-arena
Mezcla de repellado interior	ninguno	cal-arena	mortero de cemento-arena
Espesor del repellado	1.5 cm	1.5 cm	1.5 cm
Losa y firme de concreto armado de 10 cm de espesor con repellado interior	ninguno	cal-arena	mortero de cemento-arena
Espesor del repellado	1.5 cm	1.5 cm	1.5 cm
Factores ambientales a considerar	temperatura y humedad relativa		
Meses	mínima y máxima mensual febrero y junio marzo y septiembre		

Clima	Cálido-húmedo		
	Mérida		
Ciudad	A	B	C
Prototipo			
Medidas	2.40 x 2.40 x 2.40 m	2.40 x 2.40 x 2.40 m	2.40 x 2.40 x 2.40 m
Muros de 15 cm de espesor	tabique rojo recocido		
Mezcla de repellado exterior	cal-arena	cal-arena	cal-arena
Mezcla de repellado interior	ninguno	cal-arena	mortero de cemento-arena
Espesor del repellado	1.5 cm	1.5 cm	1.5 cm
Losa y firme de concreto armado de 10 cm de espesor con repellado interior	ninguno	cal-arena	mortero de cemento-arena
Espesor del repellado	1.5 cm	1.5 cm	1.5 cm
Factores ambientales a considerar	temperatura y humedad relativa		
Meses	mínima y máxima mensual febrero y junio marzo y septiembre		

Los datos obtenidos en la simulación, se correlacionaron para determinar la incidencia de las condiciones higrotérmicas que propician el desarrollo microbiano, según el rango identificado por el laboratorio microbiológico y la eficiencia en la gestión del agua que presentan los materiales cementantes, utilizados en los recubrimientos de muros; así como con los rangos considerados por la ASHRAE y la OMS, para este rubro.

3.1.3 Humedad

Con el objetivo de comprobar el desempeño de los recubrimientos de muro, en relación a la gestión de humedad en muros y la regulación de humedad al interior de los espacios, se construyeron seis muros de tabique a escala con las siguientes dimensiones: 0.35 x 0.15 x 0.05 m y se les aplicó un recubrimiento de 5 mm de espesor, con una mezcla de albañilería en específico (Fig. 33):

- [A] cal-arena en proporción 1:3
- [B] cemento-arena en proporción 1:3
- [C] mortero de cemento-arena en proporción 1:3
- [D] yeso en proporción 1:1



Figura 33. Proporción de mezclas para recubrimientos.
Fuente: Elaboración propia.

Dichos prototipos fueron sometidos a diversos periodos de monitoreo, bajo confinamiento en cajas de plástico (0.60 x 0.40 x 0.35 m), lo que garantizó que las condiciones de temperatura y humedad relativa a las cuales se expusieron, fueran similares.

Los registradores para la medición de los factores ambientales, fueron configurados con los datos de la Cd. de México; así que se establecieron la fecha, hora y altitud correspondientes. La calibración del equipo fue esencial para garantizar su operación, bajo los parámetros que indica el proveedor del mismo.

Los datos obtenidos permitieron determinar diversos grados de eficiencia en relación a la higroscopía y la transpirabilidad de los recubrimientos listados.

Después de algunos intentos, se determinó que las pruebas a las que debían ser sometidos los prototipos construidos, eran la de higroscopia por ser conocida como la afinidad de los materiales con las moléculas de agua, razón por la que éstas se atraen o absorben con mayor facilidad. Y la prueba de transpirabilidad, por ser la capacidad que tienen las superficies para expeler fluidos; esto, también resultó ser de gran

trascendencia para determinar el comportamiento de los recubrimientos superficiales de muros, ante la presencia de agua y la pérdida de la misma.

Por ser complementarias, ambas pruebas se realizaron de manera simultánea, utilizando en -cada caso- como prototipo de control, un muro recubierto con la mezcla [A] y uno más con la mezcla [B] [C] y [D], respectivamente.

El monitoreo de los prototipos se realizó en tres periodos:

- Muros con mezclas [A] y [B] – del 19 de octubre al 15 de noviembre - 2020
- Muros con mezclas [A] y [C] – del 18 de noviembre al 16 de diciembre - 2020
- Muros con mezclas [A] y [D] – del 21 de diciembre al 18 de enero - 2020

Se integran los datos del registrador utilizado (Fig. 34), mismos que fueron proporcionados por el proveedor del equipo (Tabla 24).



Figura 34. HOBO® MX1102A Data Logger.
Fuente: HOBO®.

Tabla 24. Descripción del registrador HOBO® MX1102A Data Logger.

Fuente: HOBO®.

CARACTERÍSTICAS

<i>Concepto</i>	Descripción
<i>Registrador</i>	HOBO® MX1102A Data Logger
<i>Factores</i>	Temperatura humedad relativa dióxido de carbono CO ₂
TEMPERATURA	
<i>Rango</i>	0 a 50°C (32° a 122°F)
<i>Precisión</i>	±0.21°C desde 0 a 50°C (±0.38°F desde 32° a 122°F)
<i>Resolución</i>	0.024°C a 25°C (0.04°F a 77°F)
<i>Desviación</i>	<0.1°C (0.18°F) por año
HUMEDAD RELATIVA	
<i>Rango</i>	1% a 90% RH (sin condensación)
<i>Precisión</i>	±2% desde 20% a 80% típico hasta un máximo de ±4.5% incluyendo histéresis en 25°C (77°F); por debajo del 20% y por encima del 80% ±6% típico
<i>Resolución</i>	0.01%
<i>Desviación</i>	<1% por año típico
DIÓXIDO DE CARBONO	
<i>Rango</i>	0 a 5,000 ppm
<i>Precisión</i>	±50 ppm ±5% de leer en 25°C (77°F), menos del 90% RH sin condensación y 1,013 mbar
<i>Tiempo de calentamiento</i>	15 segundos
<i>Calibración</i>	Auto o manual a 400 ppm
<i>No linealidad</i>	<1% de FS
<i>Dependencia de la presión</i>	0.13% de lectura por mm Hg (corregido a través de la entrada del usuario para la elevación /altitud)
<i>Rango de presión de funcionamiento</i>	950 a 1,050 mbar (utilizar compensación de altitud por salir de este rango)
<i>Rango de presión compensada</i>	-305 a 5,486 m (-1,000 a 18,000 ft)
<i>Método de detección</i>	Infrarrojo no dispersivo (NDIR) absorción

La metodología de experimentación en cada periodo de monitoreo consistió en resguardar de manera individual, en cajas de plástico (con dos perforaciones laterales) a dos muros con distinto recubrimiento. (Figs. 35-36)

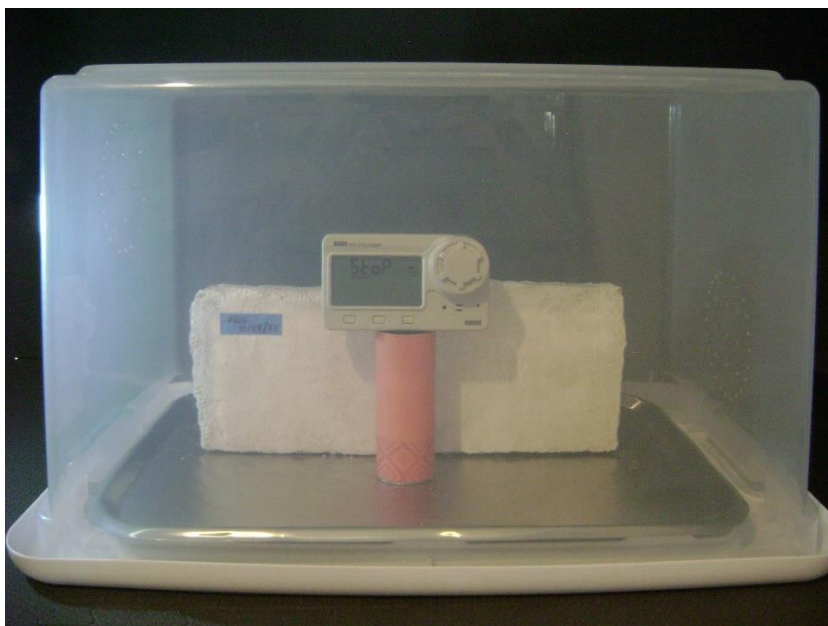


Figura 35. Prototipo de estudio.
Fuente: Elaboración propia.

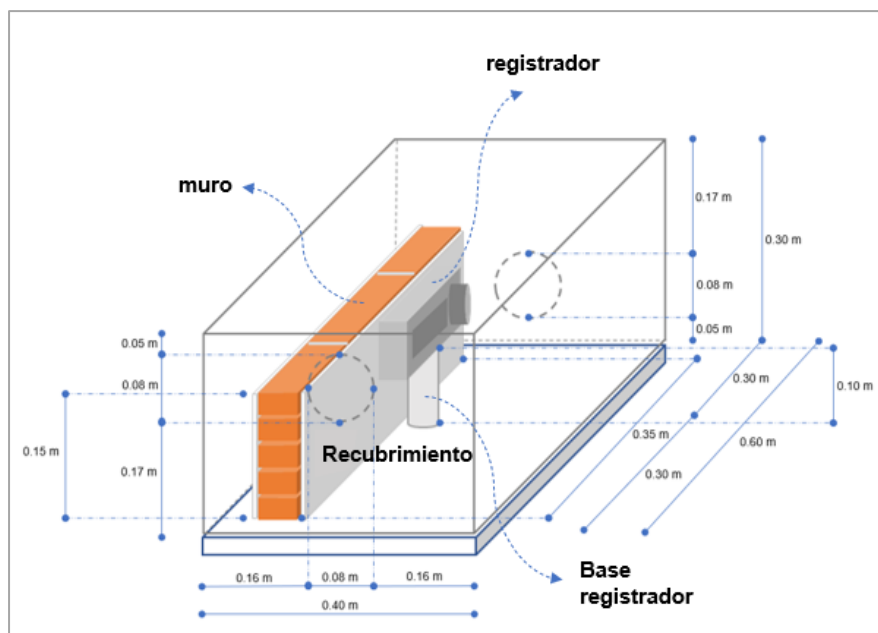


Figura 36. Diagrama de prototipo.
Fuente: Elaboración propia.

Dichos muros se colocaron sobre charolas de metal que permitieron concentrar 500 ml de agua, para así observar su consecuente absorción y disipación a través del muro.

En cada muro se midió la marca del nivel de agua absorbida en por lo menos 1 – 6 – 12 y 72 horas (Figs. 37-40)

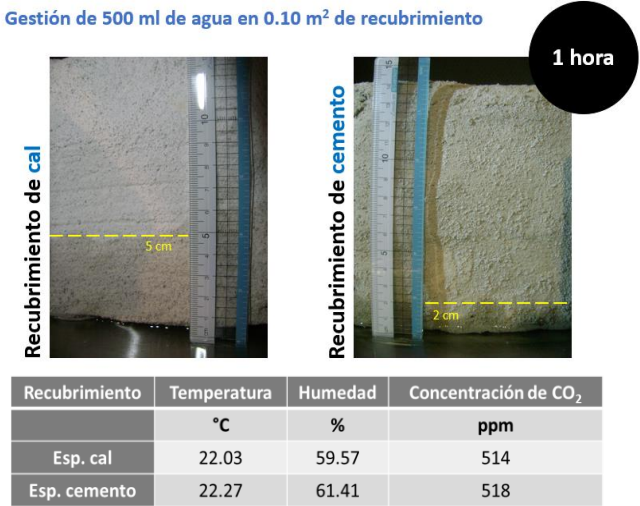


Figura 37. Monitoreo a 1 hora.
Fuente: Elaboración propia.

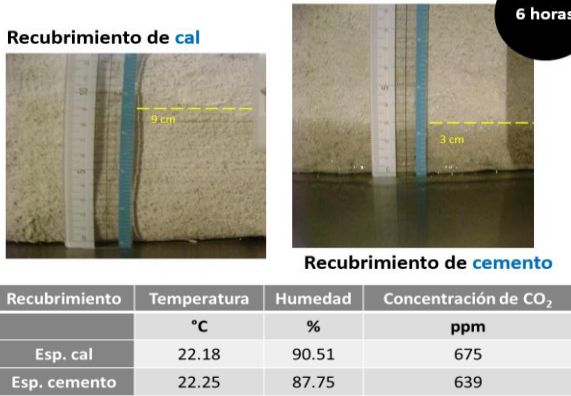


Figura 38. Monitoreo a 6 horas.
Fuente: Elaboración propia.

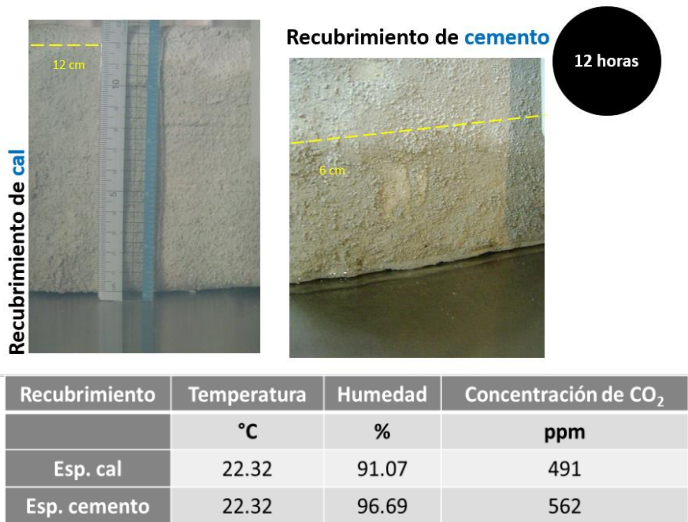
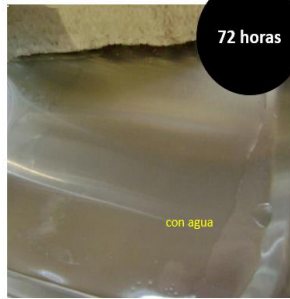


Figura 39. Monitoreo a 12 horas.
Fuente: Elaboración propia.

Recubrimiento de cal



Recubrimiento de cemento

Recubrimiento	Temperatura	Humedad	Concentración de CO ₂
	°C	%	ppm
Esp. cal	23.52	93.10	638
Esp. cemento	23.88	97.39	544

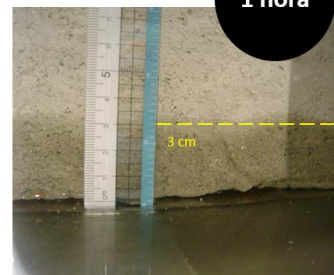
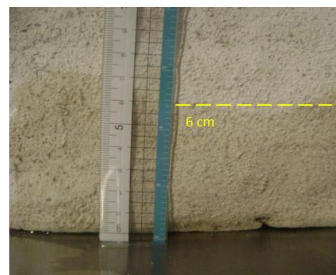
Figura 40. Monitoreo a 72 horas.

Fuente: Elaboración propia.

En el segundo periodo de monitoreo de los muros con recubrimientos hechos con mezclas [A] y [C] se hizo un suministro adicional de agua al séptimo día (500 ml), lo que ayudó a observar la gestión de humedad, con un grado de humedad preexistente en la estructura del muro. Además de las mediciones del nivel de agua indicadas para el periodo previo, se hicieron otras a 7-10 y 12 días. (Figs. 41-47)

Gestión de 500 ml de agua en 0.10 m² de recubrimiento

Recubrimiento de cal

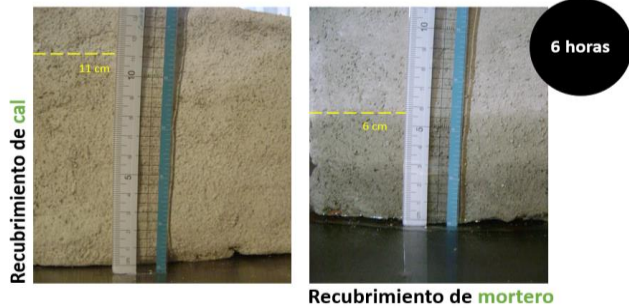


Recubrimiento de mortero

Recubrimiento	Temperatura	Humedad	Concentración de CO ₂
	°C	%	ppm
Esp. cal	20.98	62.89	655.00
Esp. mortero	21.53	61.75	634.00

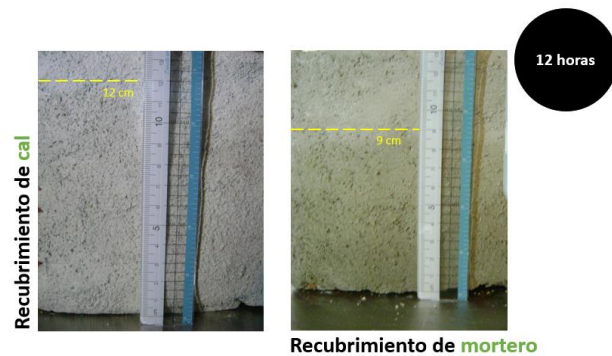
Figura 41. Monitoreo a 1 hora.

Fuente: Elaboración propia.



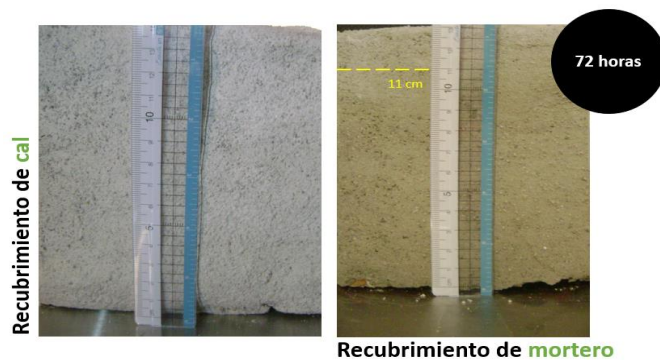
Recubrimiento	Temperatura	Humedad	Concentración de CO ₂
	°C	%	ppm
Esp. cal	20.01	92.58	441.00
Esp. mortero	20.34	90.48	488.00

Figura 42. Monitoreo a 6 horas.
Fuente: Elaboración propia.



Recubrimiento	Temperatura	Humedad	Concentración de CO ₂
	°C	%	ppm
Esp. cal	20.08	86.82	379.00
Esp. mortero	20.22	86.80	438.00

Figura 43. Monitoreo a 12 horas.
Fuente: Elaboración propia.



Recubrimiento	Temperatura	Humedad	Concentración de CO ₂
	°C	%	ppm
Esp. cal	20.82	92.71	379.00
Esp. mortero	21.37	92.97	367.00

Figura 44. Monitoreo a 72 horas.
Fuente: Elaboración propia.

Gestión de 1000 ml de agua en 0.10 m² de recubrimiento

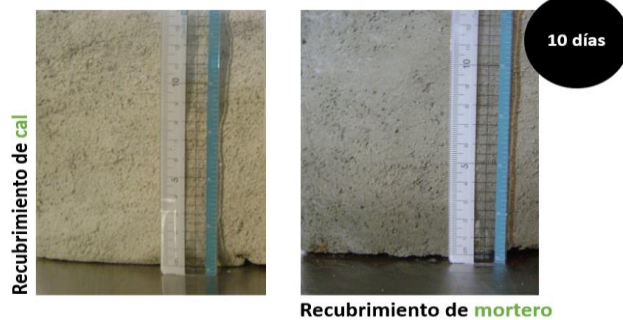


Recubrimiento de mortero

Recubrimiento	Temperatura	Humedad	Concentración de CO ₂
	°C	%	ppm
Esp. cal	20.96	100.00	416.00
Esp. mortero	21.37	100.00	413.00

Figura 45. Monitoreo a 7 días.

Fuente: Elaboración propia.



Recubrimiento de mortero

Recubrimiento	Temperatura	Humedad	Concentración de CO ₂
	°C	%	ppm
Esp. cal	20.39	94.73	550.00
Esp. mortero	20.77	97.05	501.00

Figura 46. Monitoreo a 10 días.

Fuente: Elaboración propia.



Recubrimiento de mortero

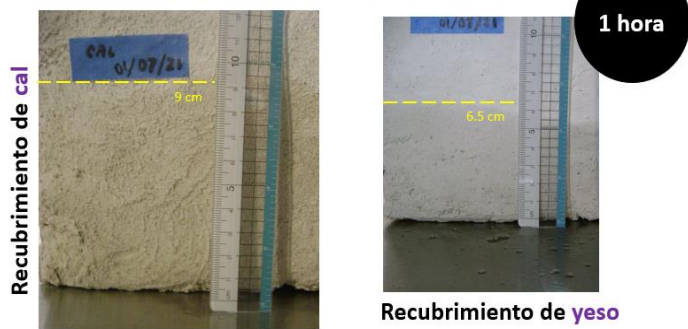
Recubrimiento	Temperatura	Humedad	Concentración de CO ₂
	°C	%	ppm
Esp. cal	19.58	98.61	601.00
Esp. mortero	19.65	100.00	621.00

Figura 47. Monitoreo a 12 días.

Fuente: Elaboración propia.

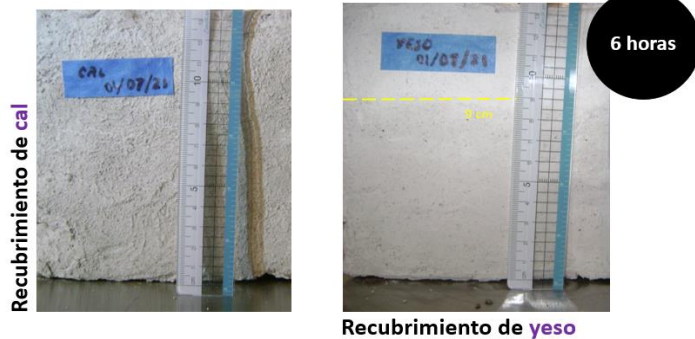
En el tercer periodo de monitoreo de muros con recubrimientos hechos con mezclas [A] y [D], también se hizo un suministro adicional de agua al décimo cuarto día (500 ml), lo que motivó -al igual que en el segundo periodo- a observar la gestión de humedad, con humedad previa, pero con una brecha mayor de tiempo que facilitó la liberación de la humedad inicial. Además de las mediciones del nivel de agua indicadas, se hicieron otras a 14-17 y 19 días (Figs. 48-54).

Gestión de 500 ml de agua en 0.10 m² de recubrimiento



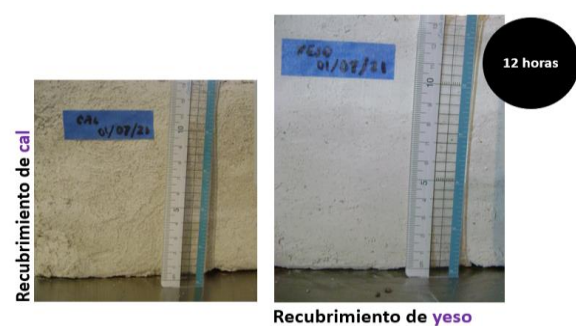
Recubrimiento	Temperatura	Humedad	Concentración de CO ₂
	°C	%	ppm
Esp. cal	18.79	72.20	552.00
Esp. yeso	18.87	75.32	500.00

Figura 48. Monitoreo a 1 hora.
Fuente: Elaboración propia.



Recubrimiento	Temperatura	Humedad	Concentración de CO ₂
	°C	%	ppm
Esp. cal	19.06	95.49	832.00
Esp. yeso	19.17	95.81	942.00

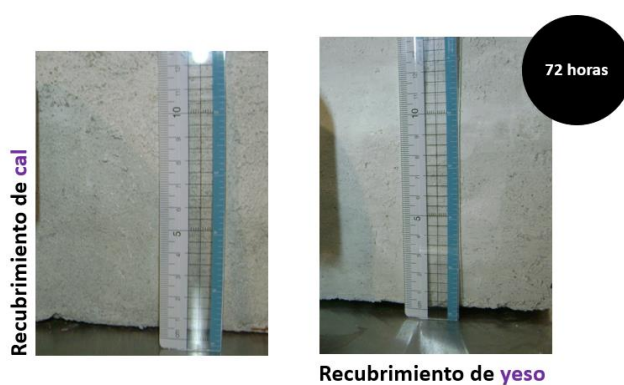
Figura 49. Monitoreo a 6 horas.
Fuente: Elaboración propia.



Recubrimiento	Temperatura	Humedad	Concentración de CO ₂
	°C	%	ppm
Esp. cal	19.03	96.39	1022.00
Esp. yeso	19.13	96.05	1170.00

Figura 50. Monitoreo a 12 horas.

Fuente: Elaboración propia.

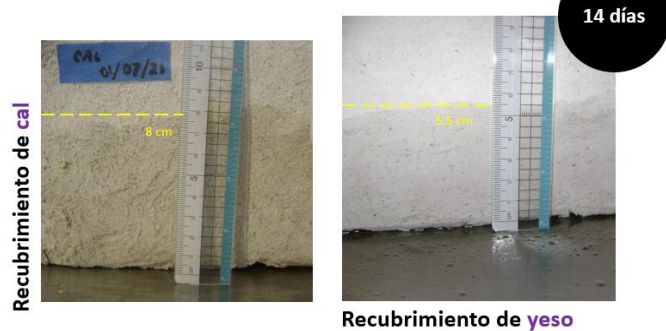


Recubrimiento	Temperatura	Humedad	Concentración de CO ₂
	°C	%	ppm
Esp. cal	17.75	96.98	395.00
Esp. yeso	17.63	93.98	493.00

Figura 51. Monitoreo a 72 horas.

Fuente: Elaboración propia.

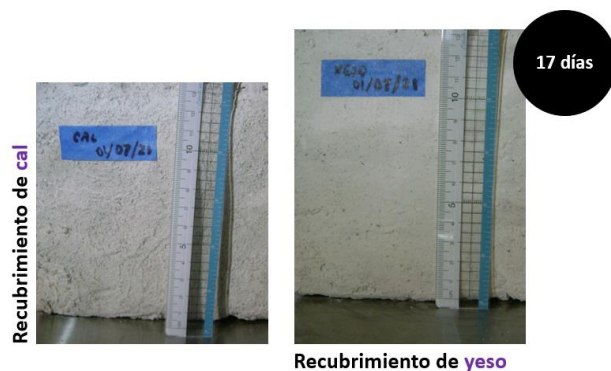
Gestión de 1000 ml de agua en 0.10 m² de recubrimiento



Recubrimiento	Temperatura	Humedad	Concentración de CO ₂
	°C	%	ppm
Esp. cal	19.53	96	705
Esp. yeso	19.73	96	671

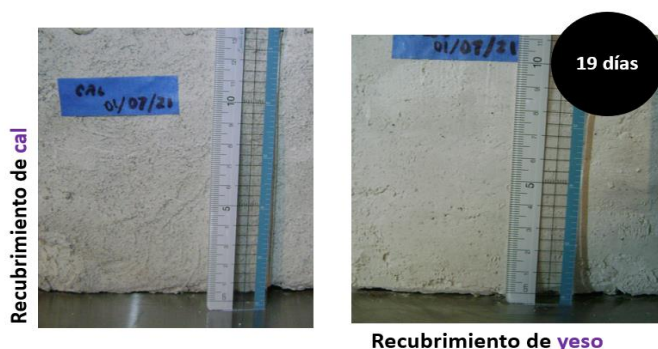
Figura 52. Monitoreo a 14 días.

Fuente: Elaboración propia.



Recubrimiento	Temperatura	Humedad	Concentración de CO ₂
	°C	%	ppm
Esp. cal	18.61	98	394
Esp. yeso	18.73	98	399

Figura 53. Monitoreo a 17 días.
Fuente: Elaboración propia.



Recubrimiento	Temperatura	Humedad	Concentración de CO ₂
	°C	%	ppm
Esp. cal	18.32	97	384
Esp. yeso	18.43	97	383

Figura 54. Monitoreo a 19 días.
Fuente: Elaboración propia.

Rodríguez, G. (et al.) (2012:5) dice que: “El aire contiene siempre cierta cantidad de vapor, mayor mientras mayor es la temperatura. Este vapor-gas es invisible, pero se hace patente en forma de agua líquida cuando se condensa. Y es el agua líquida la dañina para los materiales, no el vapor. Cuando en el exterior hace frío el riesgo de condensación aumenta especialmente sobre las superficies interiores de muros, ventanas y techos térmicamente mal aislados y que dan al exterior.”

Como las temperaturas durante los tres periodos de prueba, no rebasaron los 23°C, nunca se apreció la condensación del agua en las paredes de las cajas de confinamiento. Así que la humedad, siempre provino del efecto de capilaridad por el agua vertida en las charolas.

Al final, se hizo el debido análisis cualitativo y cuantitativo de los datos, para poder sacar conclusiones en el desempeño de cada uno de los recubrimientos evaluados tanto en su capacidad higroscópica como en la transpirable y determinar así, si tienen o no, eficiencia en la gestión de humedad.

Cabe mencionar que la cantidad de recubrimiento evaluado en cada muro fue de 0.10 m² y se aclara que, si se hicieron los experimentos citados, bajo las dimensiones y consideraciones descritas, fue con la finalidad de que los muros estuvieran en condiciones ambientales semi-controladas; pudiendo demostrar que hay una incidencia de los factores climáticos en los muros, pero de igual forma, que son los muros, los que gracias a sus recubrimientos tienen una mayor o menor gestión de la humedad, aspecto que contribuye a la modificación de la humedad relativa de los espacios interiores y -eventualmente- evita la aparición de patologías propias de la incipiente liberación de humedad (desempeño similar al del sistema constructivo tradicional).

De forma adicional, con los Data Logger's se hicieron lecturas simultáneas en los dos prototipos sometidos a evaluación, a cada 2 horas a lo largo de 28 días, es decir, se obtuvieron 336 registros por cada muro y se sacaron datos -promedio- por día para facilitar la interpretación de resultados. No sólo del % de humedad relativa (Figs. 1A, 4A, 7A) sino también de temperatura (Figs. 2A, 5A, 8A) y de concentración de CO₂ (Figs. 3A, 6A, 9A) en el espacio confinado (**Anexo A**). Aunque estos dos últimos parámetros -aparentemente- no estaban vinculados con la gestión de humedad, sí resultó ser útil la información obtenida, puesto que proporcionó indicadores de desempeño de los muros mediante sus recubrimientos y permitió, identificar cierta relación entre ellos; toda vez, que las superficies de los elementos constructivos son las que están en contacto directo tanto con el agua como con el aire, presentes en el ambiente.

Considerando que las cartas psicrométricas son una herramienta que permite definir una zona de confort y conocer las diversas estrategias de diseño -pasivo- requeridas en los espacios interiores, se optó por realizar una por cada uno de los prototipos, con la intención de obtener información complementaria (Figs. 1B - 6B) (**Anexo B**).

Cuando se obtuvieron los resultados de los cuatro periodos de monitoreo de los distintos tipos de recubrimiento de muros [A] [B] [C] [D], se determinó que otra opción para conocer el desempeño de las mezclas de albañilería en relación a la gestión de humedad, era la conformación de un contenedor transparente -básico-, que ayudara a medir la cantidad de agua que se absorbía en cada uno, por lo que éste debía albergar la *cala*⁶⁹ de muro, pero al mismo tiempo, almacenar agua y resguardar el registrador de temperatura-humedad relativa que evidenciara la variación de estos dos factores al estar en contacto, -primeramente- con el aire contenido, pero también con el agua vertida.

El diseño del experimento, se basó en la Ley de Darcy, la cual, enuncia: *“Que el caudal que atraviesa el medio poroso, es directamente proporcional a las diferencias de presión e inversamente proporcional a la distancia que debe atravesar el fluido.”*

Durán, M. (et al.) (2018:24).

Esta Ley, estudia el flujo de agua a través de medios arenosos y establece la velocidad de éste (u) en (m/s), mediante la siguiente ecuación:

$$u = \frac{Q}{A} \quad \text{———— Ecuación 1}$$

En donde:

Q = el caudal m³/s

A = el área de sección transversal (m²)

⁶⁹ Pedazo de fruta o suelo, que se corta para efecto de probarla o someterla a algún tipo de análisis.

Asimismo, Durán, M. (et al.) (2018) asumen que la velocidad es una constante en cualquier sección transversal y que la porosidad del medio por el que fluye el agua, se define por la fracción de volumen vacío de aire sobre el total del volumen. Indicando también, que la porosidad está en función de la temperatura y la cantidad de agua presente.

La descripción de su metodología de ensayo, ayudó a comprender el comportamiento de los recubrimientos de muros en relación a la gestión de humedad; partiendo de que los materiales soporte del muro y los cementantes utilizados en la práctica constructiva en México, en su mayoría, son altamente porosos y poseen una intrínseca morfología pétreo.

Se revisaron los principios del comportamiento del agua y de los cuerpos porosos, en este caso, los muros a escala, recubiertos con distintas mezclas o materiales cementantes, para determinar que lo que se requería comprobar (como parte de las hipótesis descritas en el proyecto de investigación) era el flujo de la “humedad” al interior de los muros.

De hecho, Darcy -como ingeniero hidráulico- estuvo detrás del estudio de los filtros de arenas que promueven la purificación del agua y esto, lo llevó a observar el movimiento del líquido a través de un medio poroso, por lo que diseñó lo que se conoce como permeámetro⁷⁰.

Para la realización de esta prueba experimental, se partió de un criterio básico de elegibilidad de los dos materiales cementantes cuya aplicación o uso resulta ser similar, la intención fue identificar un patrón higrotérmico específico en cada uno de ellos; es decir, entender -primeramente- la relación intrínseca entre la gestión de humedad y la regulación térmica en cada uno de los especímenes y en seguida, establecer la eficiencia que cada ligante tiene para mantener o incrementar la calidad del aire interior (CAI), al permanecer en óptimo estado de conservación, el mayor tiempo posible.

⁷⁰ Aparato que mide la permeabilidad de los materiales ante el paso de fluidos a través de ellos.

Una vez definidas estas consideraciones, se procedió a diseñar el artefacto/contenedor que permitiera probar un muro convencional y según el sistema constructivo imperante en la Cd. de México, el muro de tabique rojo recocido sigue siendo uno de los prevalecientes, -por lo menos- en el sector habitacional y en las viviendas unifamiliares. Así que, se construyeron cubos de muro de 15 x 15 x 15 cm al interior de los contenedores, partiendo de que el espesor promedio es la dimensión de referencia para tal fin. Asimismo, se realizó el recubrimiento correspondiente en cada uno de ellos, el primero con una mezcla de cal y arena en una proporción 1:3, mientras que el segundo fue con mezcla de mortero de cemento y arena en proporción 1:3. En ambos casos, el junteo de las piezas de barro se hizo con la misma mezcla con la que se recubrieron las seis caras del cubo.

Lo que se necesitaba evaluar era la absorción de agua de los muros con distinto recubrimiento, en determinado tiempo y bajo condiciones ambientales específicas. De esta forma, se llegó al diseño y creación del siguiente prototipo de permeámetro (Fig. 55).

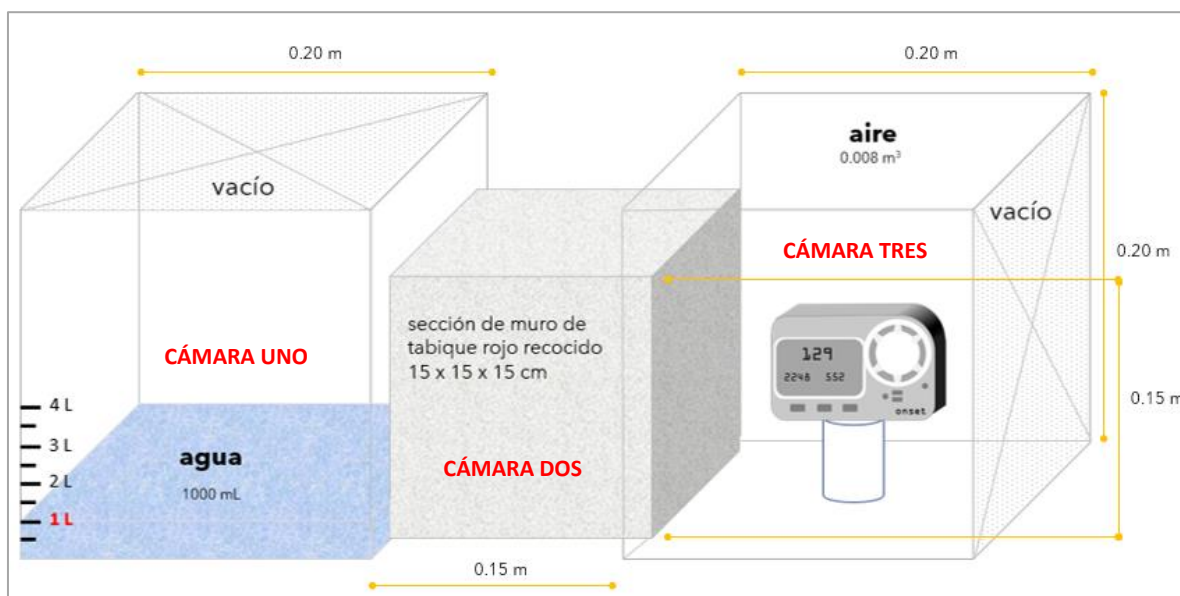


Figura 55. Prototipo de testeo.
Fuente: Elaboración propia.

Constaba de tres cámaras de acrílico transparente que permitieron medir la cantidad de agua y observar su trayectoria cuando migra de la primera de ellas, a la tercera; siendo el muro una especie de filtro tanto de agua, como de aire y simulando cómo es que la humedad del exterior modifica las condiciones ambientales al interior de los espacios.

Una vez que se vertió el agua en la sección correspondiente, se pudo apreciar en tiempo y forma, cómo es que el muro recubierto con una mezcla de albañilería, comenzó a absorber y a gestionar el agua hacia la sección en la que sólo había aire; misma que poseía un registrador de temperatura, humedad relativa y concentración de CO₂ (*HOBO® MX1102A Data Logger* - utilizado en las pruebas iniciales). Aspecto que tuvo la finalidad de conocer en un principio, la variabilidad de estos factores ambientales ante la presencia de agua y posteriormente, observar la gestión del agua a través de un muro con determinadas características y materiales cementantes distintos.

Cabe mencionar que la construcción de la cala⁷¹ de muro, se hizo al interior de la segunda cámara para garantizar la cobertura total de la misma. La idea era que la mezcla de recubrimiento cubriera cualquier recoveco de esta sección para evitar filtraciones de agua.

Una vez que se construyó la sección de muro, se dejó secar/fragar a lo largo de 5 días para que la humedad propia de la mezcla se disipara y no modificara las lecturas de humedad.

Para llevar a cabo esta medición, los registradores fueron configurados con los datos de ubicación del equipo, en este caso la Cd. de México; también, se establecieron la fecha, hora y altitud. Por otro lado, se determinó la frecuencia de la lectura de datos, a cada hora, con la intención de obtener veinticuatro lecturas diarias, durante 28 días, un total de 672 datos por cada uno de los factores ambientales indicados. Finalmente, se calibró el equipo para que operara conforme a lo establecido por el fabricante. Después, se colocó el registrador en la tercera cámara de cada recipiente.

⁷¹ Sección o rompimiento hecho en un muro para conocer su grosor y estado interior.

Tanto los prototipos, como los registradores se colocaron tomando como referencia las distancias a superficies que proporciona la norma UNE 171330-2:2014 (a 50 cm de pared interior sin ventanas y a 130 cm del suelo).

De igual forma, por normativa se evitó que el área de colocación de prototipos fuera de circulación continua y cercana a puertas o ventanas con flujo de aire e incidencia de rayos solares constantes.

Una vez que se identificó la ubicación idónea de los prototipos, se hizo el suministro de 1 litro de agua en la primera cámara, misma que fue graduada en litros -de manera previa, lo que facilitó el registro de la cantidad de mL de agua que la sección de muro absorbió cada hora.

Cuando el agua entró en contacto con el recubrimiento, se comenzó a observar la forma en que ésta, avanzaba a lo ancho de la sección de muro, tal como se indica en la Fig. 56.

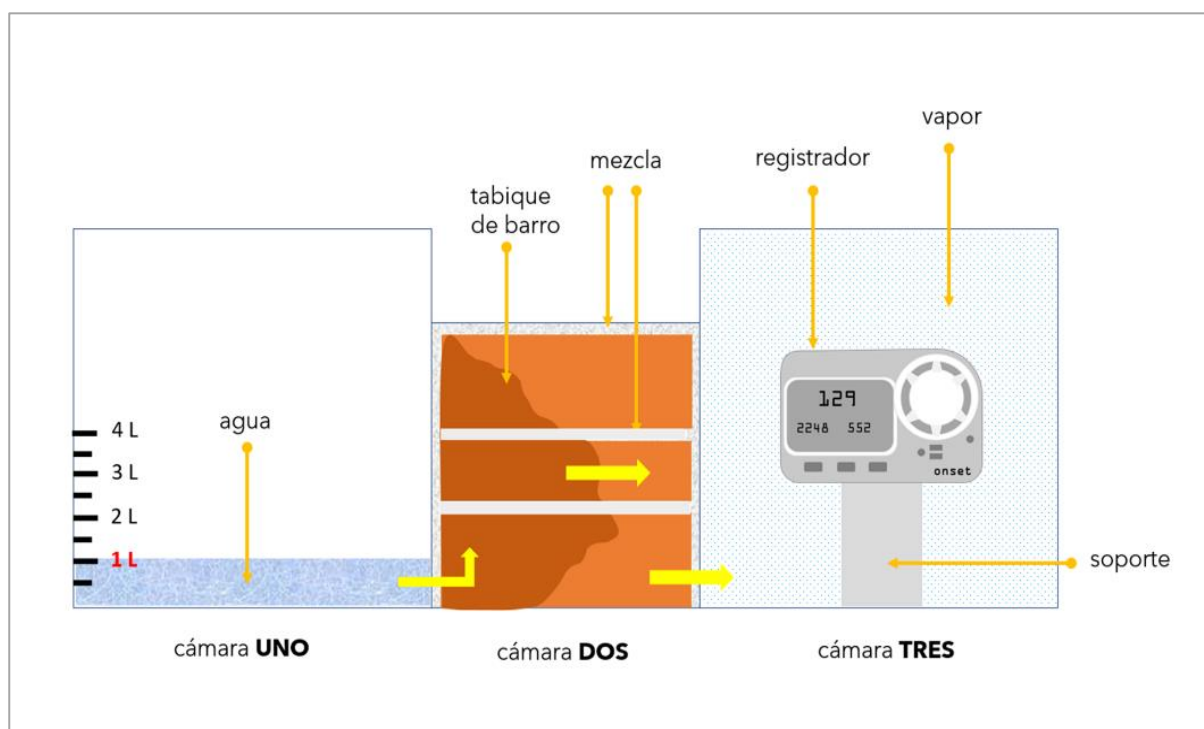


Figura 56. Prototipo de testeo de recubrimiento.

Fuente: Elaboración propia.

Se vio, cómo esta condición tuvo una repercusión directa en los factores ambientales de la tercera cámara, lo que se expone más adelante, en el apartado de análisis de resultados. Toda vez, que se hizo la interpretación de los datos recopilados por los registradores.

Antes de obtener y procesar los datos almacenados por los registradores instalados dentro de los prototipos, se determinó que los tres parámetros objetos de estudio, eran básicos para identificar el grado de desgaste de los recubrimientos superficiales en muros y en consecuencia, para inferir la calidad del aire interior; factor fundamental que garantiza el buen estado de salud de los usuarios.

Las variables específicas a identificar fueron:

- Temperatura promedio -por día- durante los 28 días de monitoreo
- Temperaturas mínima y máxima -diarias-
- Humedad relativa promedio -por día- durante los 28 días de monitoreo
- Humedad relativa mínima y máxima -diarias-
- Concentración de CO₂ promedio -por día- durante los 28 días de monitoreo

Como se indicó previamente, de manera independiente se hizo el registro fotográfico de los prototipos, desde el primer momento en que se suministró el agua. Esto facilitó la identificación del patrón físico de absorción de agua (Fig. 57), al mismo tiempo que se realizó la medición de agua que absorbió cada uno, durante 1-2-3-6-12-24-48-72-96 y 120 h, tal como se aprecia en las Figs. 58-60 y en la Tabla 25.

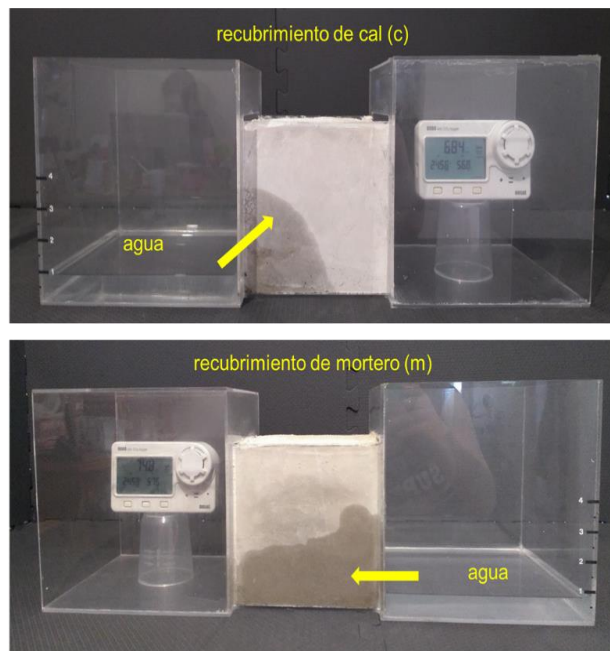


Figura 57. Patrón físico de absorción de agua.
Fuente: Elaboración propia.

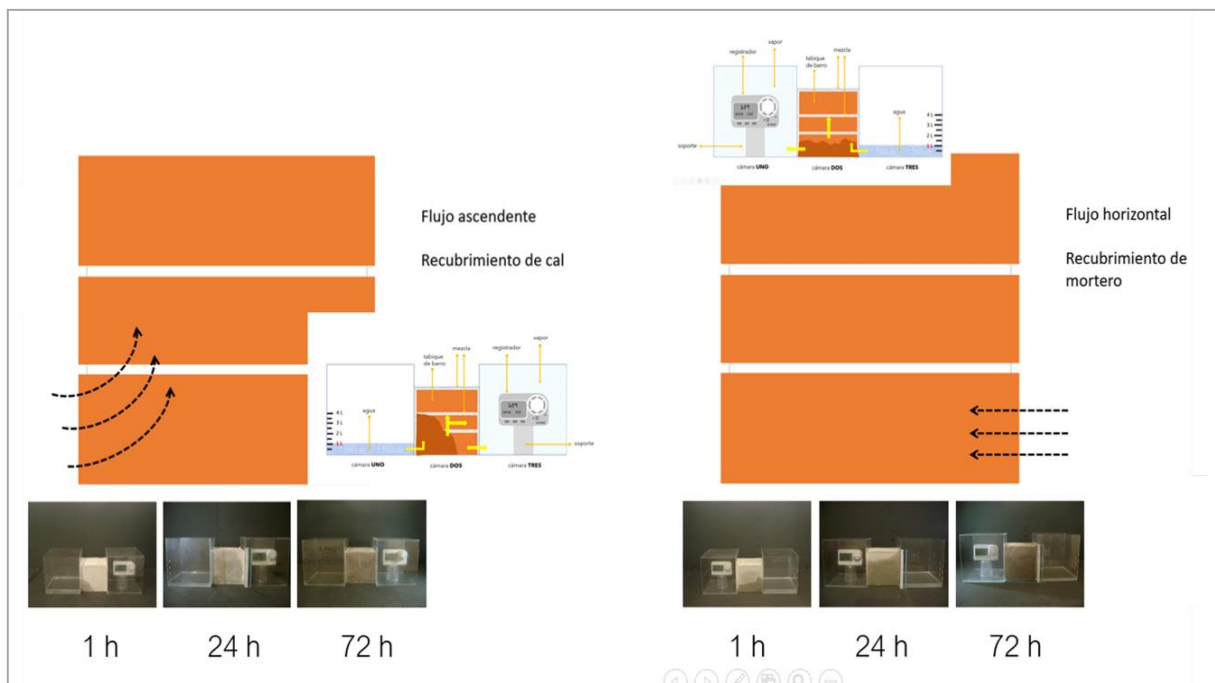


Figura 58. Flujo de 1 litro de agua en ambos prototipos.
Fuente: Elaboración propia.

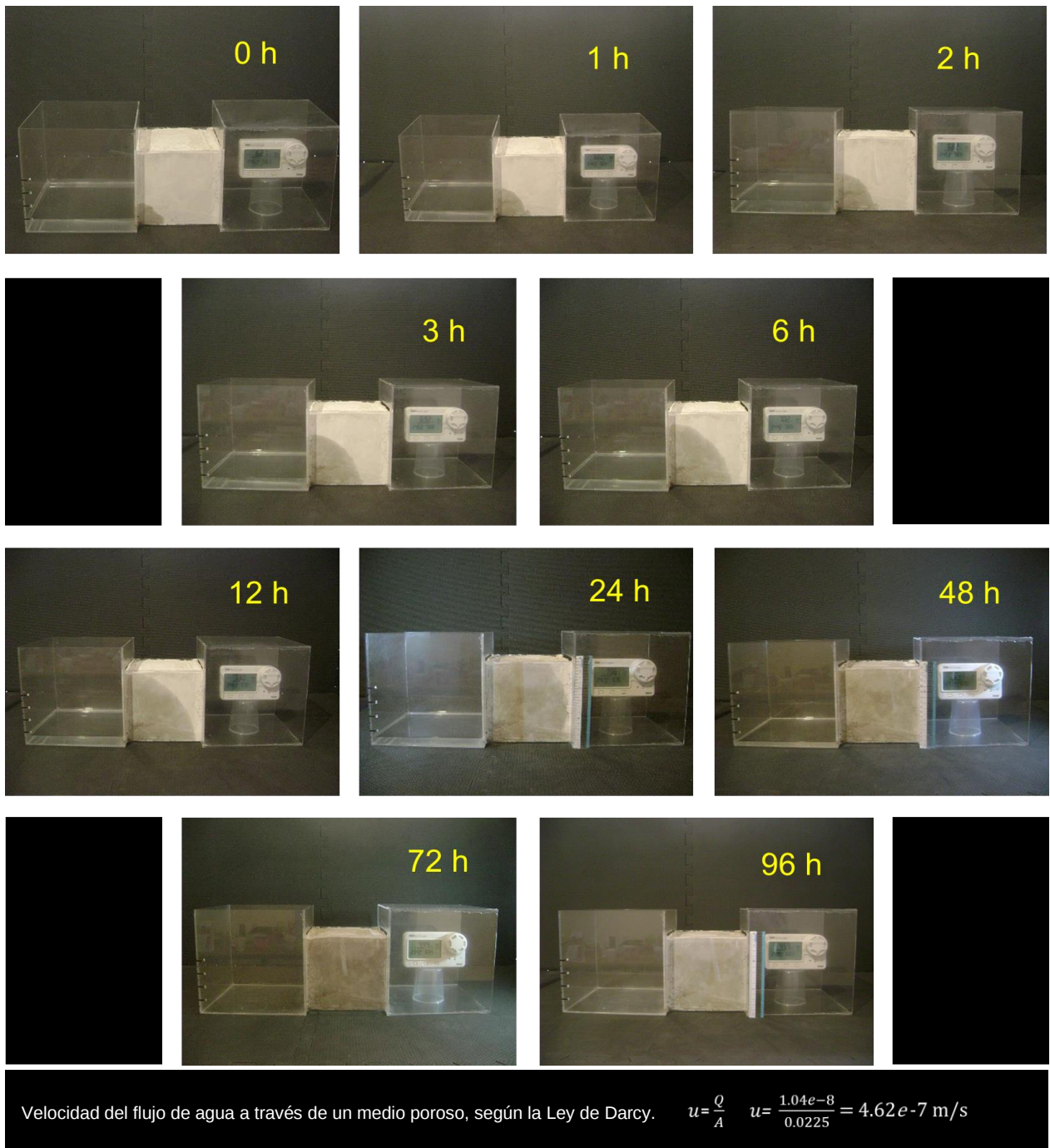
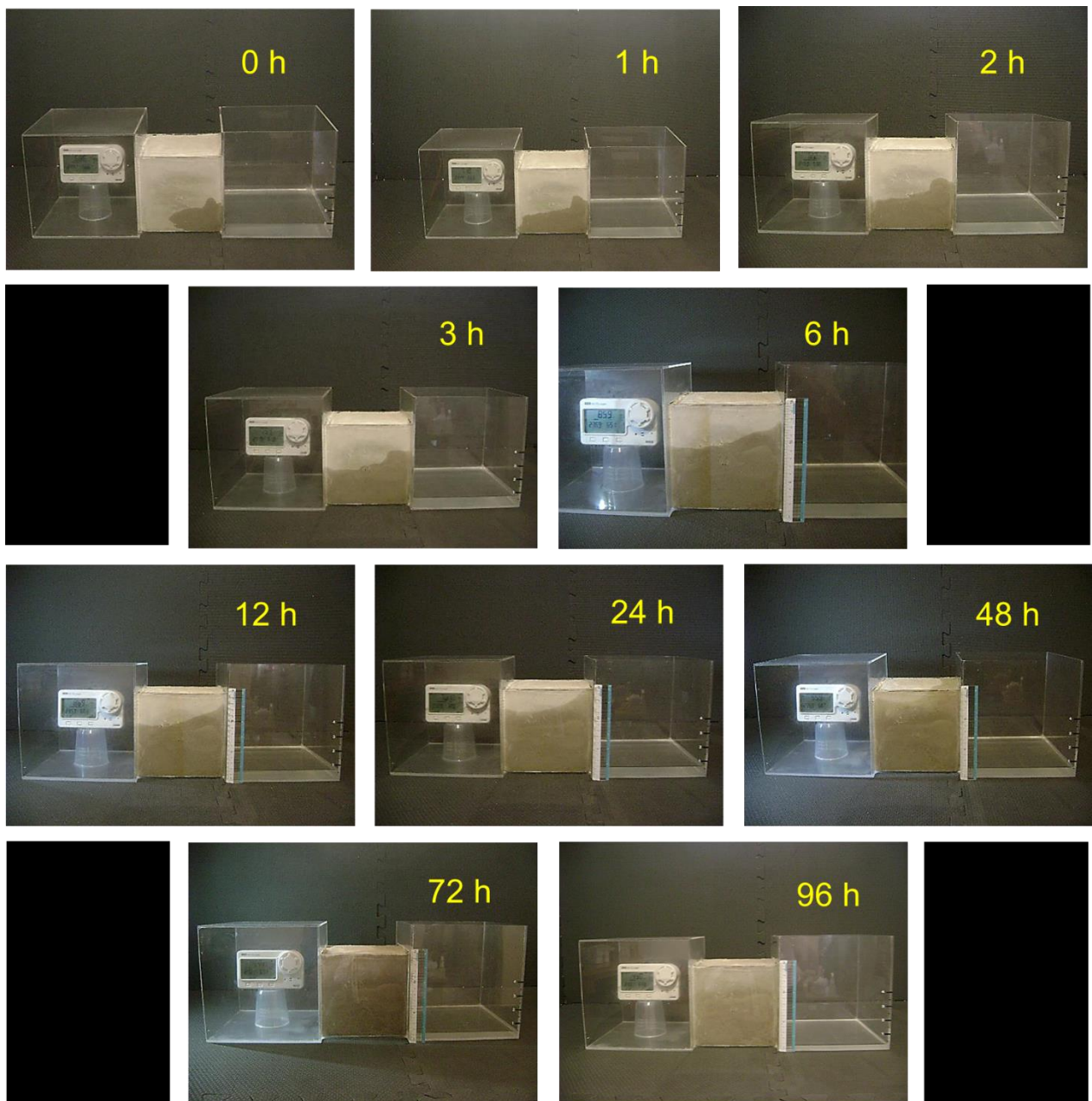


Figura 59. Absorción de agua en recubrimiento con cal en 96 horas.
Fuente: Elaboración propia.



Velocidad del flujo de agua a través de un medio poroso, según la Ley de Darcy. $u = \frac{Q}{A}$ $u = \frac{5.78e-9}{0.0225} = 2.57e-7 \text{ m/s}$

Figura 60. Absorción de agua en recubrimiento con mortero en 96 horas.
Fuente: Elaboración propia.

Tabla 25. Cantidad de agua absorbida por hora.
Fuente: Elaboración propia.

Tiempo transcurrido en horas	mL absorbidos	
	Recubrimiento de cal	Recubrimiento de mortero
0	0	0
1	10	10
2	100	100
3	250	250
6	500	300
12	750	400
24	900	500
48	1000	600
72	0	750
96	0	900
120	0	1000

También se hizo una comparativa de absorción de agua (Fig. 61).

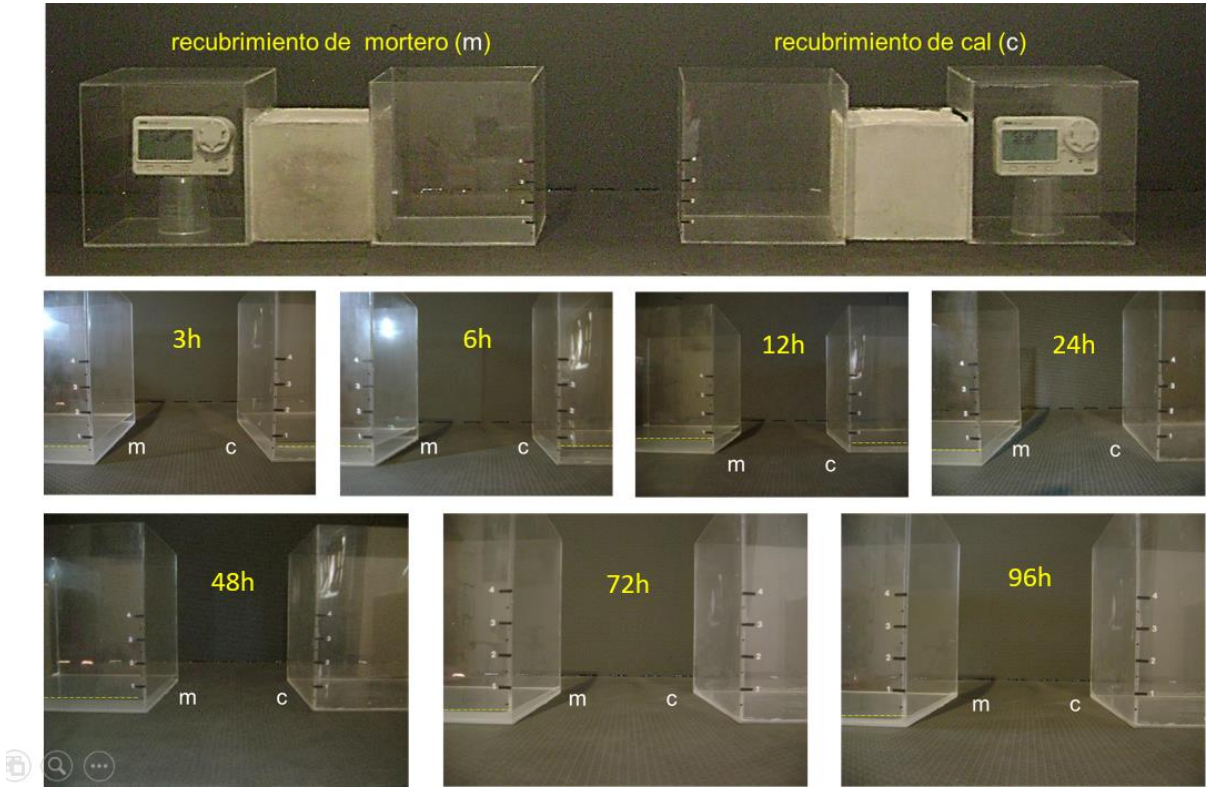


Figura 61. Comparativa de absorción de agua en 96 horas.
Fuente: Elaboración propia.

Con los datos arrojados por los registradores, se procedió a generar las cifras promedio, las mínimas y las máximas de cada factor ambiental, además, se hicieron las gráficas correspondientes y se analizó -comparativamente- el desempeño de ambos prototipos (Figs. 62-65).

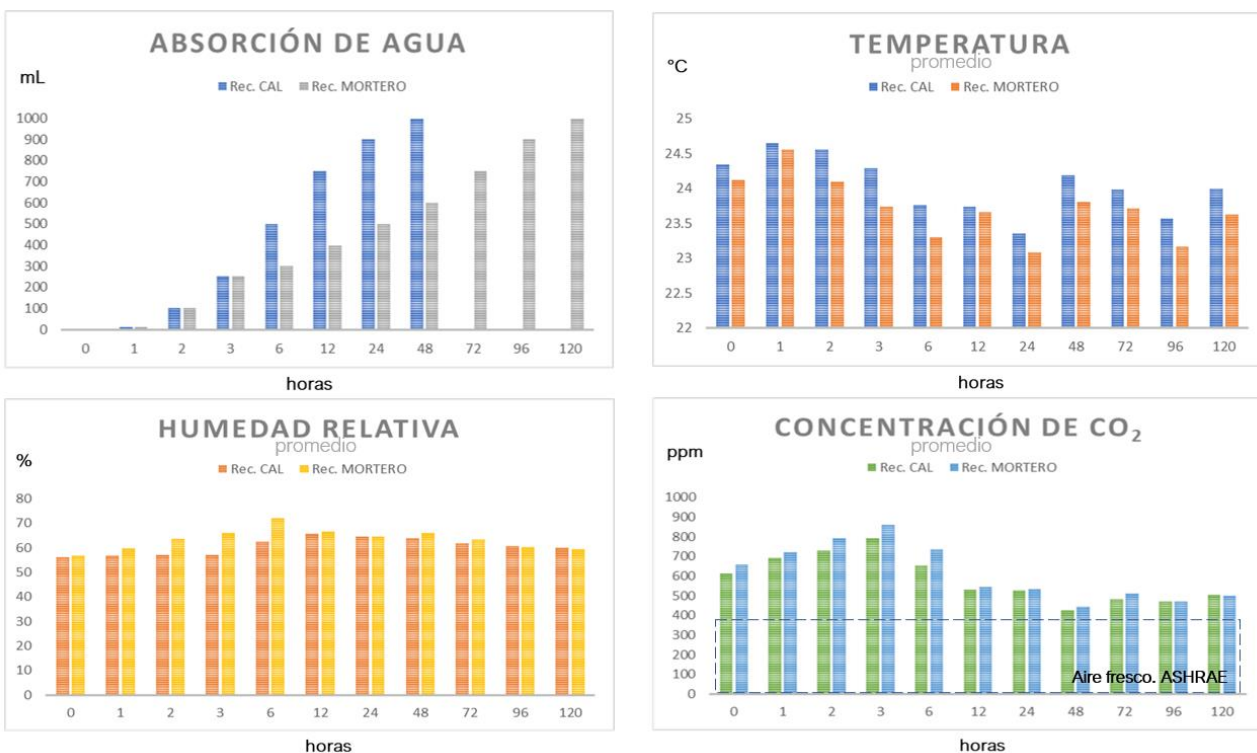


Figura 62. Absorción de agua en recubrimientos por 120 horas.
Fuente: Elaboración propia.

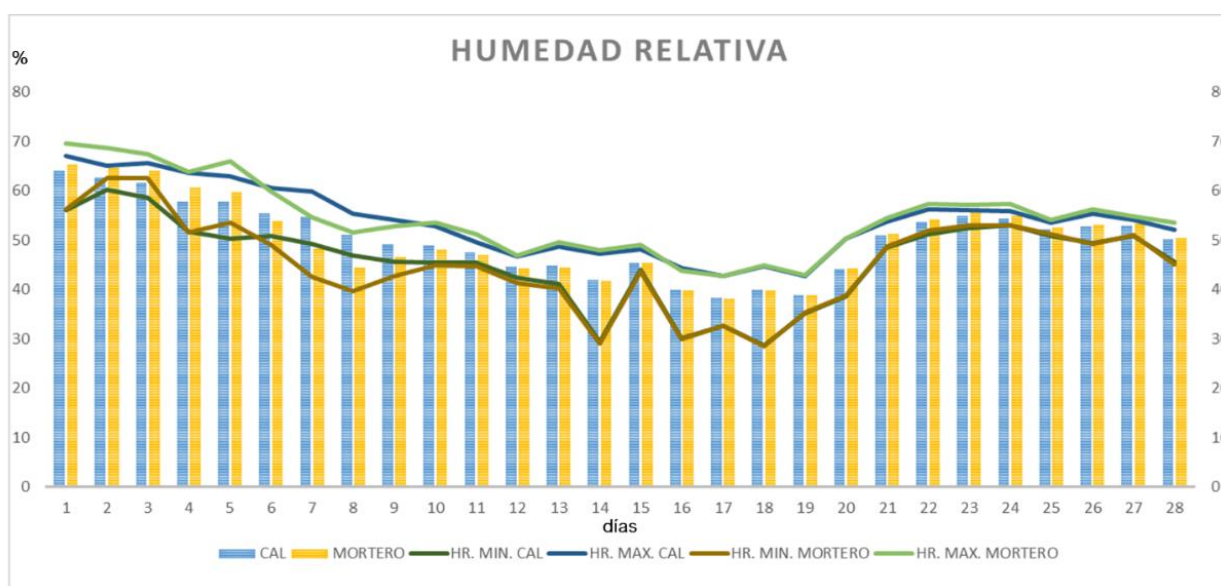


Figura 63. Humedad relativa durante la gestión de agua a lo largo de 28 días.
Fuente: Elaboración propia

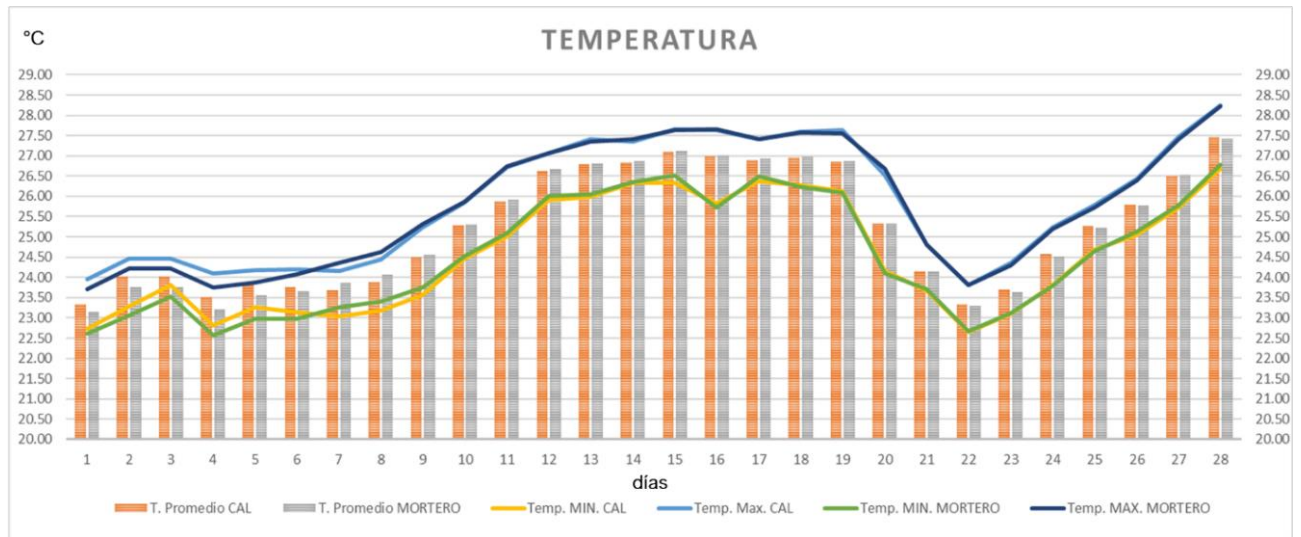


Figura 64. Temperatura durante la gestión de agua a lo largo de 28 días.
Elaboración propia.

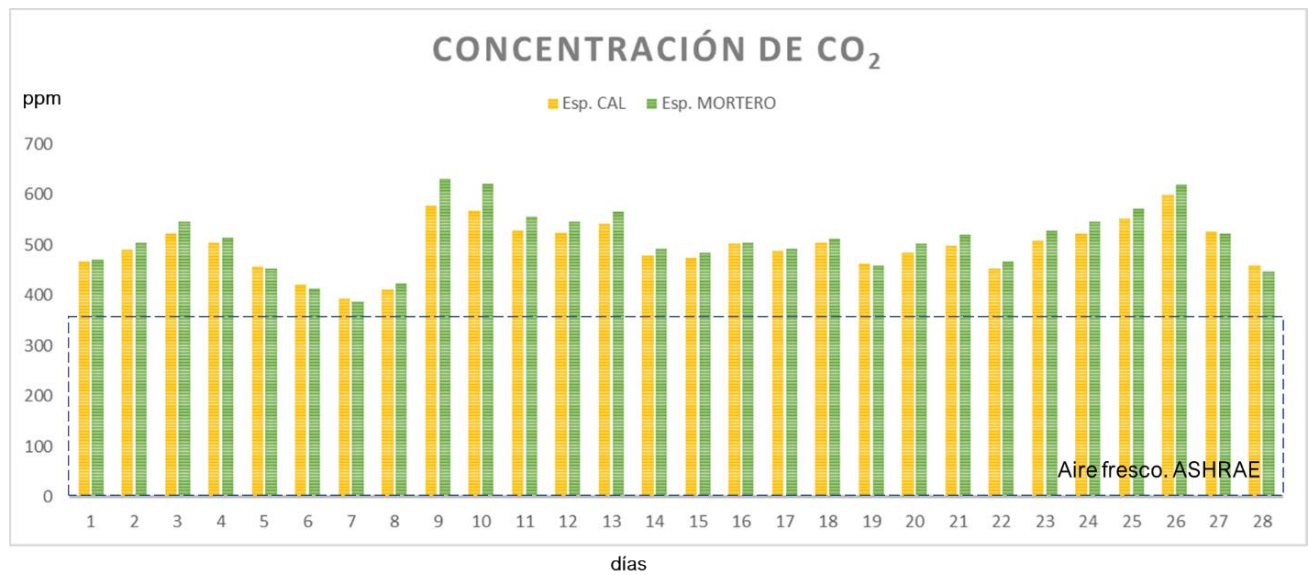


Figura 65. Concentración de CO₂ durante la gestión de agua a lo largo de 28 días.
Fuente: Elaboración propia.

3.2 Interpretación de resultados

Para facilitar la interpretación de resultados, se consideraron -por separado- los resultados obtenidos en cada uno de los temas desarrollados:

3.2.1 Toxicidad

La Tabla 26, corresponde a la integración de los resultados obtenidos en el estudio citado. Tal como se puede observar, el material que causó mayor número de estragos en los ratoncitos, fue el yeso, mismo que es utilizado en la mayoría de los recubrimientos de muro y losa, en la práctica constructiva tradicional del país.

Tabla 26. Síntomas observados en los ratones objeto del estudio.
Fuente: Facultad de Ciencias Químicas. Universidad Autónoma de San Luis Potosí.

Síntomas observados en ratones “Wistar”	
<i>Síntomas</i>	<i>Material</i>
Dificultad para respirar	Yeso
Sibilancias	Yeso
Hemorragia pulmonar severa	Yeso
Proceso alérgico	Cal
Incremento de peso	Cemento
Diabetes mellitus -eventual-	Cemento
Estrés oxidativo	Cemento, mortero de cemento y yeso
Proceso inflamatorio severo	Cemento, mortero de cemento y yeso
Hipoxia / disminución de oxígeno en la sangre	Yeso
Síndrome de insuficiencia respiratoria	Yeso
Congestión pulmonar por proceso hemorrágico severo	Cemento
Exacerbación del sistema inmunológico	Mortero de cemento
Incremento del tamaño de los nódulos pulmonares	Cal
Proceso de Neuro-inflamación	Cemento, mortero de cemento y yeso

La cantidad de malestares causados por los materiales cementantes estudiados, realmente, es digna de considerar, no sólo por los usuarios, sino también por los productores; toda vez, que se genera una gran responsabilidad al alterar el buen funcionamiento de los organismos vivos.

Se suele imaginar que las partículas de estos materiales, están en contacto con las personas, en el momento de que son aplicados. La realidad, es que al paso del tiempo, todos los materiales experimentarán cambios en su morfología, por lo que su desintegración y -eventual- disgregación, son condiciones que deben ser abordadas en foros de construcción, pero también en los relativos a la salud, sobre todo de índole respiratoria.

A lo largo de esta investigación, se mencionó la importancia de considerar la etiología de las enfermedades de forma multifactorial; sin embargo, es pertinente valorar el uso de determinados materiales o productos, ante la presencia de factores de predisposición a ciertos problemas de salud, ya sea de índole genética o bien, cronológica. Además, se debe recordar que los tiempos de exposición/dosis son determinantes para que un elemento tóxico cause daños irreparables en el organismo, algo que definitivamente es susceptible cuando se está expuesto durante largos periodos, como en el caso de vivir en espacios con algún tipo de patología.

3.2.2 Desarrollo microbiano

Los resultados emitidos por el laboratorio microbiológico, indicaron que la pastilla de mortero de cemento [C] en la cuenta total bacteriana (CTB) tuvo un incremento de bacterias -relativamente- moderado (de 120 000 a 130 000), la pastilla de yeso [D] fue la que experimentó un crecimiento exorbitante (de 120 000 a 270 000 000).

Por otro lado, la pastilla de cal [A] no sólo inhibió la proliferación de los mohos inoculados, sino que los eliminó (de 1 500 a <1). En cambio, la pastilla de mortero de cemento [C] presentó un aumento importante de mohos (de 1 500 a 940 000).

Es así, como se reportó que la pastilla de cal [A] fue la que tuvo un mayor y mejor control del desarrollo microbiano, tanto de bacterias como de mohos.

Se debe decir, que las superficies en general, tienen alta probabilidad de ser colonizadas por microorganismos en un periodo corto (horas), especialmente si éstas, ofrecen las

condiciones ideales para su supervivencia. Sin embargo, tal como se concluyó en el informe proporcionado por el laboratorio: el tipo de material “base” de los objetos o superficies puede ser concluyente para impulsar o frenar el crecimiento de ciertas especies. Incluso, se menciona, que factores de diversa índole como los ambientales, los químicos y los biológicos, son un referente para fomentar o prohibir el uso de ciertos materiales, por ser éstos aptos o no, para garantizar la integridad de los usuarios. De igual manera, este tipo de estudios, sirven para crear normatividad o proponer políticas sanitarias en distintos sectores.

Los resultados fueron -debidamente- registrados y documentados, tal como se muestra a continuación (Fig. 66) (Tabla 27).

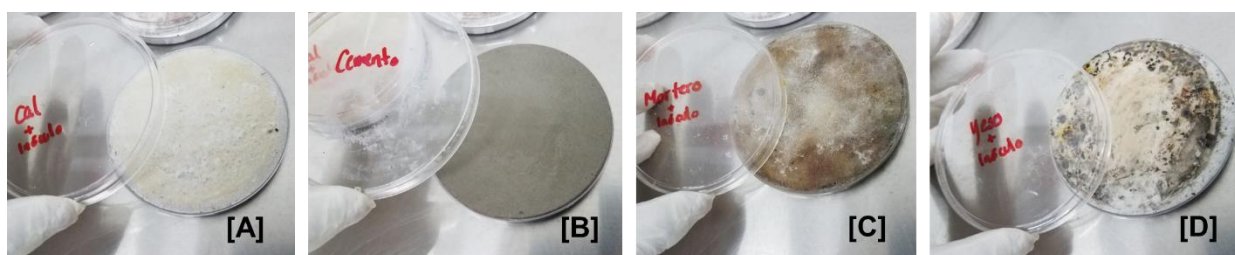


Figura 66. Pastillas en el séptimo día.

Fuente: Laboratorio Tecnoambiental.

Tabla 27. Resultados del análisis microbiológico.

Fuente: Laboratorio Tecnoambiental

	Lectura inicial (Día 0)		Lectura final (Día 7)		Tratamiento de datos					
	Cuenta Total Bacteriana - CTB	Mohos	Cuenta Total Bacteriana - CTB	Mohos						
	(UFC/SUPERFICIE MUESTREADA)		(UFC/SUPERFICIE MUESTREADA)		LOG INICIAL CTB	LOG FINAL CTB	DIFERENCIA DE LOG CTB	LOG INICIAL MOHOS	LOG FINAL MOHOS	DIFERENCIA DE LOG HONGOS
[A] Cal	< 1	<1	200 000	10	5.08	5.30	0.22	3.18	1.00	0.00
[B] Cemento	< 1	<1	560 000	22 000	5.08	5.75	0.67	3.18	4.34	1.17
[C] Mortero	< 1	<1	130 000	940 000	5.08	5.11	0.03	3.18	5.97	2.80
[D] Yeso	< 1	<1	760 000 000	29 000	5.08	8.88	3.80	3.18	4.46	1.29

UFC. Unidad formadora de colonias.

CTB. Cuenta total bacteriana

< En microbiología indica que no se detectó crecimiento: Sin Desarrollo (S.D.) o Ausente (A) o No Detectable (N.D.)

Asimismo, el análisis describió lo siguiente como parte del informe remitido:

- UFC/g o mL de mohos en placa NOM-111-SSA1-1994, siembra en Agar papa – dextrosa acidificado, incubados a 25 ± 1 °C durante 5 días.
- UFC/g o mL de bacterias aerobias en placa NOM-092-SSA1-1994, siembra en Agar Triptona extracto de levadura o Agar para cuenta estándar, incubadas a 35 ± 2 °C durante 48 horas.

Además, proporcionó las condiciones ambientales a las que estuvieron expuestas las pastillas (Tabla 28).

Tabla 28. Condiciones ambientales controladas.

Fuente: Laboratorio Tecnoambiental.

Condiciones ambientales de incubación.			
Día	Fecha	Humedad relativa (%)	Temperatura (°C)
0	28/07/2022	55	25.8
1	29/07/2022	55	25.5
2	30/07/2022	58	26
3	Domingo		
4	01/08/2022	54	26.8
5	02/08/2022	57	26.7
6	03/08/2022	51	25.8
7	04/08/2022	74	26.3

Datos que exhibieron los rangos de temperatura y humedad relativa, en los que los microorganismos se reprodujeron. De esta forma, se pudo hacer el comparativo con la referencia que la ASHRAE tiene (Fig. 67) y se pone de manifiesto, que aún y cuando la humedad relativa no sea del todo elevada, este factor -mal gestionado- al interior de los espacios, propicia que los recubrimientos de muros sean susceptibles de desarrollar microorganismos.

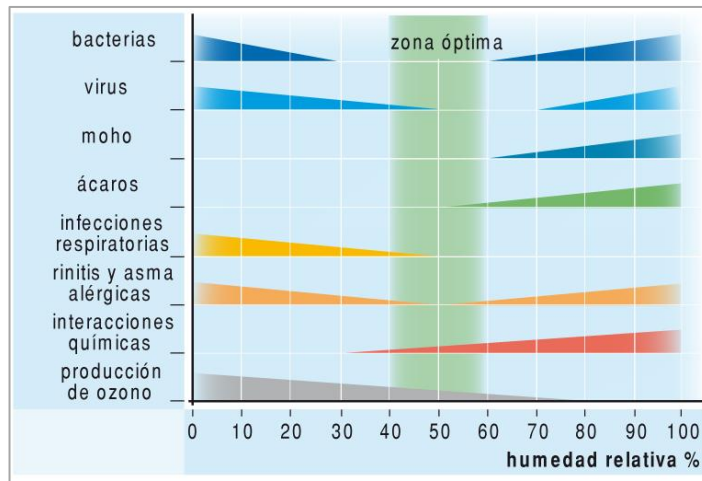


Figura 67. Proliferación de microorganismos en función de la humedad relativa.

Fuente: https://www.techstreet.com/ashrae/lists/ashrae_standards.tmpl

En relación a la simulación realizada para conocer los factores ambientales imperantes en la Cd. de México y en Mérida. Se integran los datos más representativos (Figs. 68-73) con líneas punteadas amarillas, se puede identificar el rango óptimo de humedad relativa, establecido por la ASHRAE; asimismo, el % de días en los que se está dentro de este intervalo en cada ciudad.

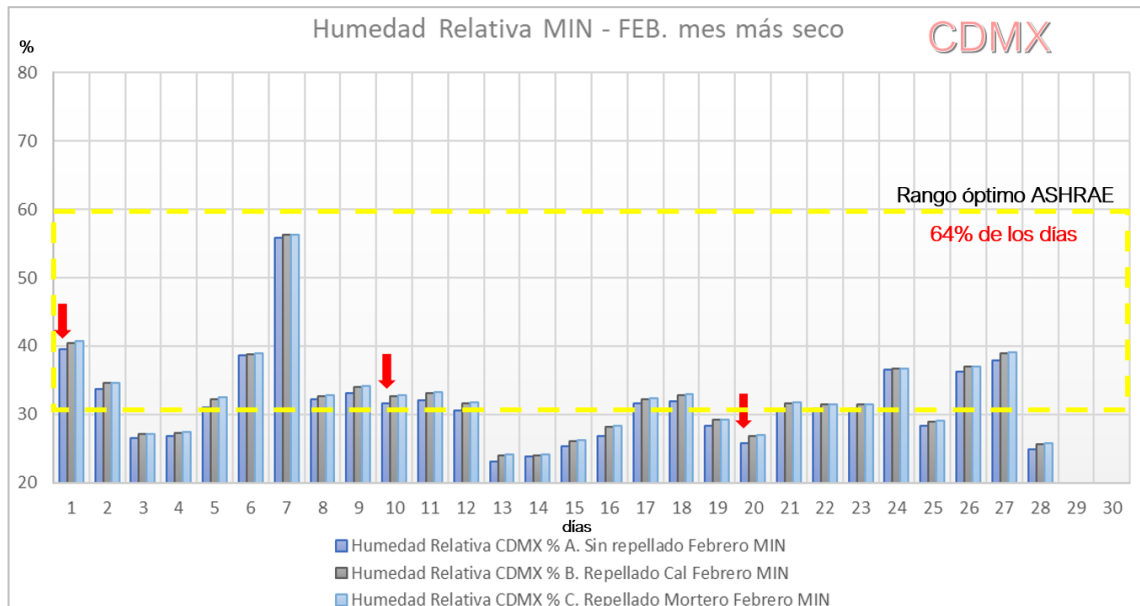


Figura 68. Humedad relativa mínima en el mes más seco en la Cd. de México.

Fuente: Elaboración propia.

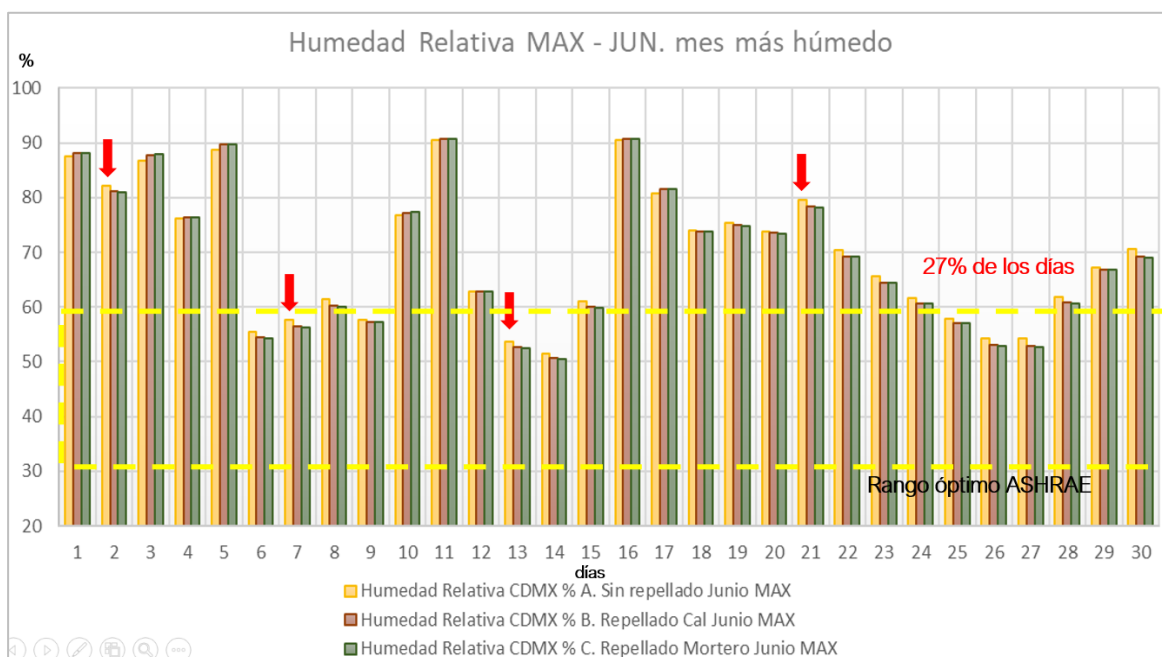


Figura 69. Humedad relativa máxima en el mes más húmedo en la Cd. de México.
Fuente: Elaboración propia

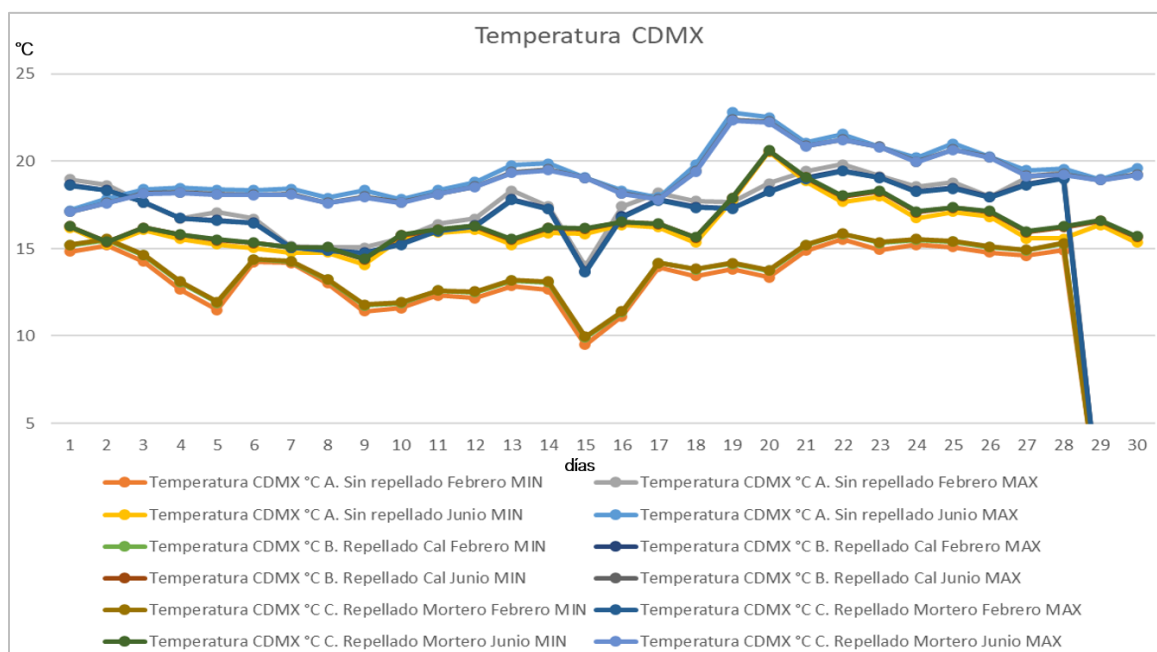


Figura 70. Temperaturas mín y máx en febrero y junio en Cd. de México.
Fuente: Elaboración propia.

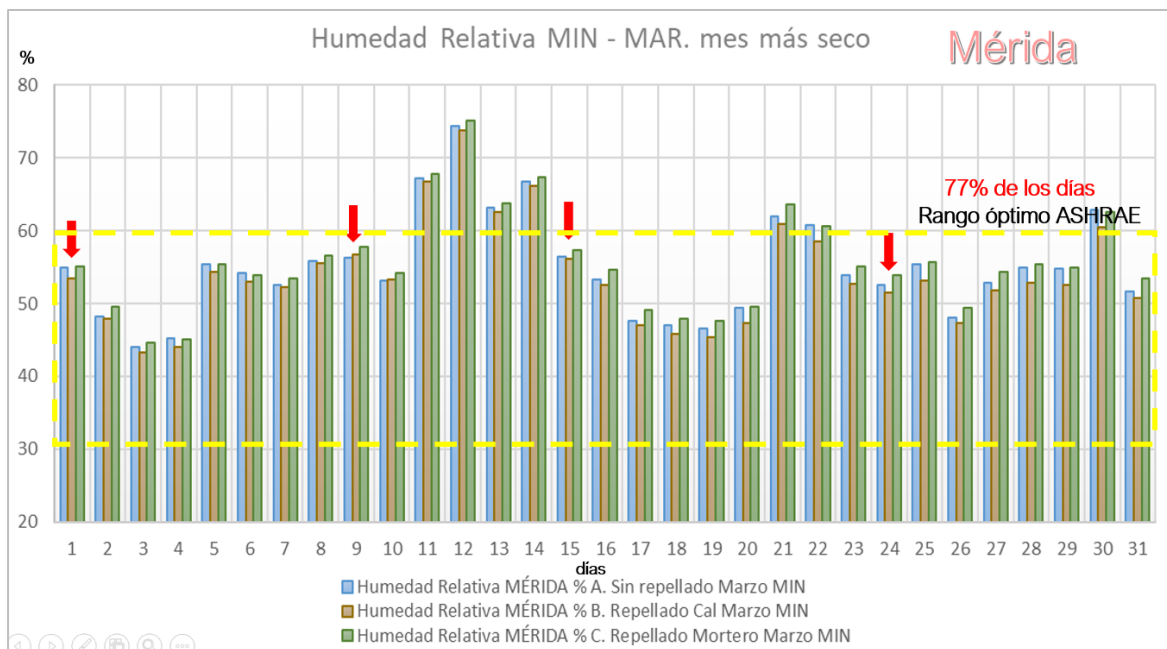


Figura 71. Humedad relativa mínima en el mes más seco en Mérida.
Fuente: Elaboración propia.

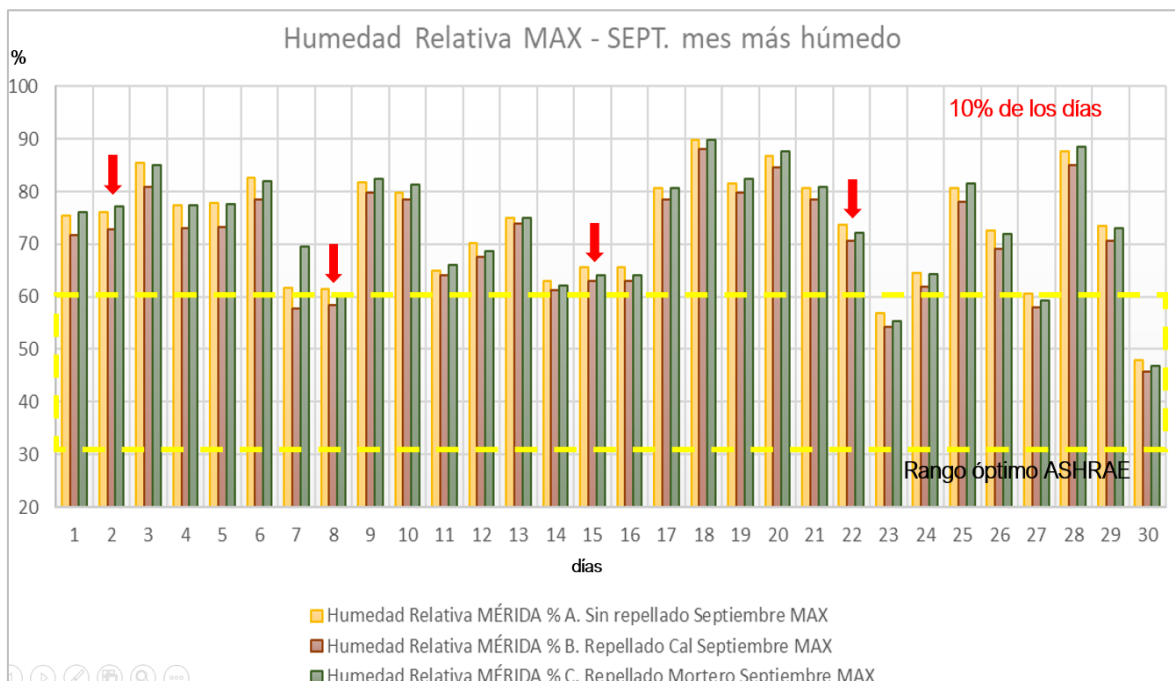


Figura 72. Humedad relativa máxima en el mes más húmedo en Mérida.
Fuente: Elaboración propia.

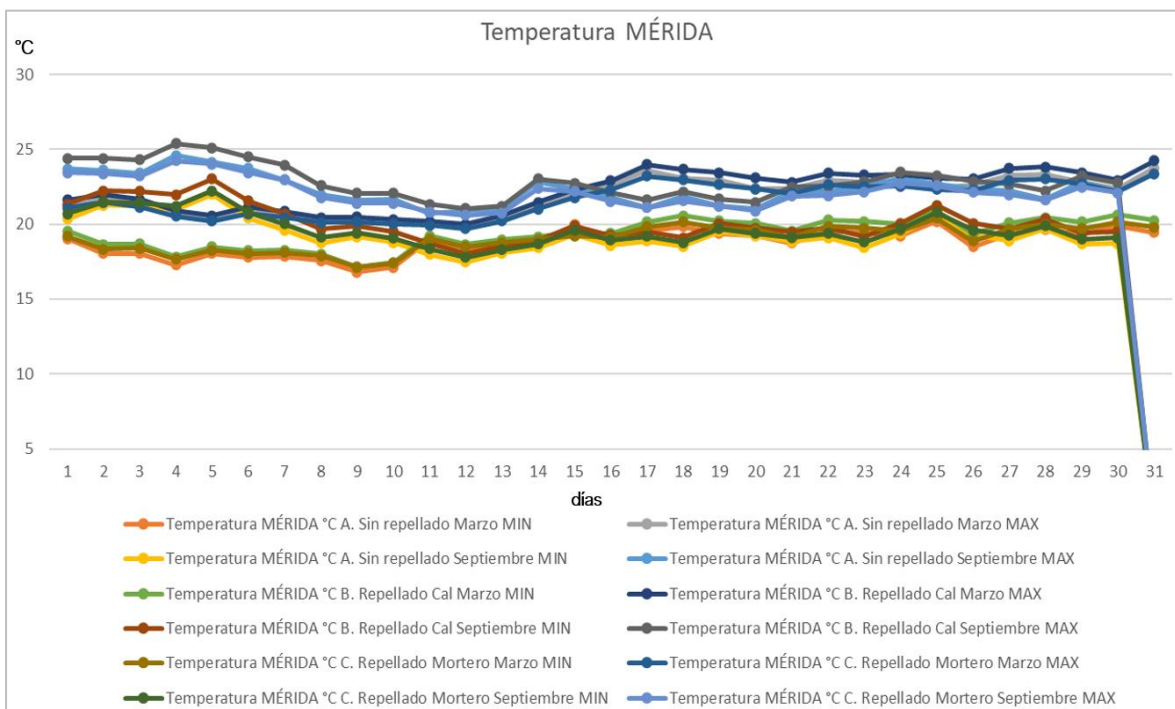


Figura 73. Temperaturas mín y máx en marzo y septiembre en Mérida.

Fuente: Elaboración propia.

Como parte de la interpretación de los resultados obtenidos, se identificó que:

- El principal factor ambiental a regular al interior de los espacios, -dado el clima predominante en la Cd. de México y en Mérida, es la humedad relativa.
- Los recubrimientos de muros, sin importar el material cementante que posean, son estratégicos para la gestión de la humedad y la consecuente regulación de la humedad relativa.
- Según la Baubiologie, el Instituto de Biología de la construcción + Sostenibilidad IBN, la temperatura y humedad relativa inciden en la velocidad y cantidad de vapor de agua que se disipa al interior del espacio; poniendo en el radar al gradiente de presión de vapor (considerando que en invierno, el aire caliente puede tener mayor humedad, ésta se desplazará del interior del espacio al exterior, siendo lo inverso en verano). Esta condición se ve favorecida por la actividad capilar de los materiales del soporte y de los recubrimientos de muros.

- La capilaridad va a permitir que los muros sean permeables al vapor de agua (evitando las condensaciones), toda vez que éste es capaz de fluir a través de los recubrimientos y llegar hasta los materiales soporte de los muros; facilitando su evaporación o secado. Por eso, en el clima cálido-húmedo de Mérida, el recubrimiento con cal presentó mayor eficiencia que en el clima templado de la Cd. de México.
- La ausencia de métodos para evaluar la difusión de vapor, deja como alternativa la simulación numérica, ya que puede brindar una referencia aproximada de los resultados de temperatura y humedad relativa en espacios y climas específicos.

3.2.3 Humedad

Finalmente, los resultados obtenidos en las múltiples pruebas realizadas para conocer el nivel de eficiencia de los recubrimientos de muros, se pudieron identificar las siguientes condiciones:

Después de hacer los experimentos y el debido registro fotográfico de los muros evaluados en los tres periodos, al paso de las primeras 72 horas de verter el agua en las charolas, se observó la tendencia de los tres muros con recubrimientos hechos con la mezcla [A] [cal], a absorber el agua rápidamente, asimismo, la disipación de la humedad se dio de forma similar; es decir, acelerada. Lo que permitió determinar que tanto la higroscopia como la transpirabilidad son características propias del cementante utilizado, en este caso, la cal. Las imágenes revelaron que la mayor absorción de agua se dio en las primeras 12 horas, mientras que las gráficas realizadas a lo largo de los 28 días de monitoreo manifestaron que la liberación de la humedad fue gradual y constante, sin llegar a la saturación de humedad relativa en el espacio; lo cual es muy conveniente desde la perspectiva regulatoria, porque demuestra que este tipo de recubrimientos [A] tiene alta eficiencia en la gestión de la humedad directa, condición que -seguramente- evitará que el muro tenga algún tipo de patología, misma que se haría evidente en el recubrimiento.

En el muro con recubrimiento [B] [cemento] la gestión de humedad fue mucho más lenta, al grado de que aún a las 72 h el espécimen tenía agua en la charola, lo que propició que el porcentaje de humedad relativa estuviera alto la mayor parte de los días, por supuesto, más alto que el registrado en el muro de control con recubrimiento [A]. Es importante decir que las lecturas de humedad relativa fueron altas, pero no por la gestión de la humedad, sino porque el agua estuvo estancada en la charola, por días.

En el segundo periodo, en ambos especímenes [A] [cal] y [C] [mortero] la gestión de la humedad fue -prácticamente- paralela durante los 28 días. Se destaca que el recubrimiento con la mezcla [C] tuvo una gestión de la humedad pausada, lenta y se podría decir que constante; como se pudo apreciar en el registro fotográfico. Por otro lado, los niveles de humedad relativa en el interior de estos especímenes se mantuvieron altos durante la mayor parte de los días monitoreados. Además, de la aparición de criptoflorescencias en el espécimen con recubrimiento [C], cabe señalar que los cristales minerales surgieron en uno de los extremos superiores del muro, esta patología se presentó a los 12 días de haber comenzado la evaluación. Motivo por el que se podría relacionar este daño con el segundo suministro de agua, que se realizó al séptimo día - como ya se indicó- y es que dicho recubrimiento, no se había liberado por completo de los primeros 500 ml de agua, según se puede inferir. Porque si la humedad relativa disminuye, el material desprende agua; si esa agua se evapora, quedan expuestos los cristales de las sales minerales.

De hecho, Del Real, J. (2013) indica que el fenómeno de la lixiviación⁷² es la responsable de esta producción de eflorescencias/criptoflorescencias, porque algunas sales solubles en agua circulan a través de los conductos capilares de los recubrimientos y cuando el agua se evapora por efecto del aire o del sol, éstas se alojan en las superficies, provocando deterioro y disipación de partículas de diversa composición.

⁷² Proceso en el que un compuesto contaminante es liberado; pasando así, de una fase sólida a una líquida.

En el tercer periodo de pruebas, el comportamiento higroscópico fue revelador en ambos especímenes, esto propiciado por un segundo suministro de agua a la mitad del monitoreo. El muro con recubrimiento [A] [cal] presentó menor humedad relativa en los primeros 13 días, en comparación con el muro con recubrimiento [D] [yeso], cuyas lecturas fueron -considerablemente- más elevadas durante 7 días. Del día 14 al 28, los porcentajes de humedad relativa en el espécimen [A] fueron un poco mayores que los registrados en el espécimen [D], lo que indica que este último comenzó a retener la humedad al interior del muro.

En la primera mitad del monitoreo, se detectó cómo la humedad relativa en ambos especímenes, fue decreciendo paulatinamente, pero al momento de suministrar agua (por segunda ocasión), la humedad relativa no disminuyó, más bien se mantuvo en un rango menos variable a lo largo de esta segunda mitad, como se puede apreciar en la gráfica correspondiente.

“Un material poroso tiene la capacidad de absorber humedad del ambiente y desorberla, ofreciendo un balance de humedad en el ambiente interior. El contenido de humedad del material depende de la temperatura y de la humedad del ambiente. La efectividad de este proceso de balance depende también de la velocidad de la absorción⁷³ y la desorción⁷⁴”.
Minke, G. (2005:20)

Se asume que es ineludible la existencia de un “equilibrio de humedad” como lo señala Gernot Minke, la humedad que existe en los materiales con gran porosidad depende de la humedad relativa del aire, así que mientras mayor humedad haya en el ambiente, mayor será la cantidad de agua susceptible de ser absorbida por el material en cuestión.

Haciendo la comparación de la temperatura ambiental en los muros con recubrimientos [A] [B] [C] y [D], las lecturas fueron muy similares, aunque en los tres periodos fue

⁷³ Atracción y retención superficial de moléculas o iones de otro cuerpo, sin experimentar cambios químicos.

⁷⁴ Cuando una sustancia se libera a través de una superficie. Acción opuesta a la sorción (adsorción o absorción).

evidente que los especímenes con mezcla [A] [cal] presentaron una temperatura inferior, lo que podría ser de gran beneficio en climas cálidos. Una observación importante, es que el monitoreo no hace referencia a una oscilación térmica significativa, durante los tres periodos de prueba.

Este concepto se integra, porque para Díaz, M. (2016) la temperatura puede alterar el comportamiento de los materiales de construcción cuando la oscilación es considerable, puesto que la contracción y dilatación de los mismos origina cambios significativos en la superficie, provocando la concentración de humedad y la presencia de microorganismos desde capas inferiores.

Dos aspectos a vincular son la frecuencia y el contraste de la variabilidad térmica, de tal forma que mientras más prolongados sean los periodos de oscilación, más graves serán las alteraciones en un recubrimiento o elemento constructivo.

Las cartas psicrométricas realizadas para el primer periodo de monitoreo, denotaron que los especímenes [A] [cal] y [B] [cemento] tuvieron días en los que la temperatura y la humedad relativa fueron confortables, sin embargo, en un buen número de días se hizo evidente la falta de ventilación natural, debido al confinamiento y a que las aberturas realizadas en las cajas no propiciaban suficiente flujo de aire. Es necesario decir que fueron más los días con requerimiento de ventilación en el caso del espécimen [B].

En lo relativo a las cartas psicrométricas de los especímenes [A] [cal] y [C] [mortero] se pudo apreciar que, en ambos, el requerimiento de ventilación natural fue inminente en – prácticamente- todos los días que duró el monitoreo; aspecto que como se ha mencionado -de manera previa-, obedece a las dimensiones de las aberturas realizadas en las cajas utilizadas. Además, se debe decir que ya para esa época del año, las temperaturas comenzaban a descender y la pérdida de humedad fue menor.

Para el tercer periodo de prueba con los especímenes [A] [cal] y [D] [yeso], las cartas psicrométricas revelaron que, en ambos casos, el requerimiento fue la ganancia solar, esto con la intención de perder humedad y aumentar la temperatura.

Finalmente, y sólo para citar los resultados obtenidos circunstancialmente, así como para compartir un par de observaciones relevantes en torno a la concentración de CO₂, es pertinente decir que se identificó que las variaciones más significativas en las lecturas durante los tres periodos, fueron derivadas de los días de la semana hábiles e inhábiles, ya que los fines de semana, no hubo presencia de personas y por lo tanto, las emisiones de este gas fueron considerablemente menores; este hecho demuestra que pese al confinamiento de los especímenes, sí hubo intercambio de aire al interior de las cajas. Sin embargo, se puede observar que los cuatro tipos de recubrimiento tuvieron una absorción de CO₂ muy parecida, debido -quizá- a que como lo indica la NTG 41050. *Norma Técnica Guatemalteca: Mortero de pega para unidades de mampostería*; al terminar su hidratación, el cemento Portland produce un 25% de su peso en Hidróxido de Calcio, mejor conocido como cal. Lo que -en parte- hace al cemento comportarse como cal, por lo menos, en cuanto a la carbonatación y solubilización se refiere. Este aspecto aplicaría de forma muy parecida a lo que pasó con el mortero. El yeso es un sulfato de calcio, lo que supondría que el elemento calcio es el que está presente en la composición química de los cuatro ligantes utilizados en las pruebas y que -probablemente- es éste el que realiza algún tipo de absorción de CO₂. Eso sin mencionar que por lo menos, la cal y el yeso requieren del aire para pasar del estado fresco al endurecido.

La segunda acotación que se hace es que, -de manera indistinta- a lo largo de los tres periodos de monitoreo, la cantidad de CO₂ acumulado disminuyó en los días en que la temperatura también lo hizo, tal vez motivado por el mismo evento -ya citado-, la eventual presencia de personas en el área circundante a los especímenes. Lo que podría revelar que las personas tienden a modificar la temperatura y la concentración de CO₂ en los espacios interiores, pero no así, la humedad relativa, al menos no de manera evidente.

Para terminar, los resultados obtenidos en la segunda fase de experimentación de la gestión de humedad; es decir, con la creación del permeámetro, se pudo observar cómo la velocidad de absorción de agua y su inherente disipación, fueron esenciales al momento de regular los factores ambientales.

Por otro lado, el tipo de material ligante modificó sustancialmente la forma y la dirección en que el agua fue captada por los muros. Siendo evidente, que en el caso del recubrimiento [C] mortero de cemento, existió gran permeabilidad y baja disipación de la humedad, toda vez que la cala de muro registró una lenta absorción del litro de agua (120 h) y la aparición de criptoflorescencias a corto plazo.

En relación al muro recubierto con la mezcla [A] cal, éste consiguió gestionar el litro de agua en menos de 48 horas, su desempeño fue similar al de una esponja tanto para la entrada del líquido como para la salida del vapor. Lo que expuso la impresionante red capilar que posee este tipo de materiales, sobre todo porque como se indicó en un párrafo previo, la regulación de la temperatura y humedad relativa, también fue evidente. Se debe recordar que lo importante, es que ambos factores ambientales estén en rango aceptable, el mayor tiempo posible, algo que es factible que suceda si se “encausa” la humedad satisfactoriamente.

Según lo evaluado y registrado, cabe reiterar que lo esencial de los recubrimientos de muros, se centra en la capacidad para autogestionarse y mantener un grado de conservación constante.

El factor agua, es sin duda uno de los retos a los que se enfrentan las construcciones, sobre todo, porque al igual que con otros sistemas -principalmente- de tipo biológico, son necesarios el equilibrio y la estabilidad de sus elementos para asegurar su preservación.

3.3 Conclusiones generales

A partir de la observación y análisis de las diversas etapas de la metodología experimental realizada, con el objetivo de identificar el patrón de comportamiento de los recubrimientos de muros ante la toxicidad, el desarrollo microbiano y la gestión de humedad, además, de su -eventual- deterioro o aparición de patologías, para inferir la disminución de la calidad del aire al interior de los espacios y en consecuencia, el detrimento de la salud respiratoria de los usuarios, se puede concluir que:

1.- Existen materiales cementantes que definitivamente deben ser sustituidos o reemplazados para evitar que haya una disipación de partículas que puedan afectar directamente a los usuarios. Por obvias razones, es importante crear conciencia acerca del uso de materiales que sean aptos para cada tipo de elemento constructivo o bien, para cada espacio.

2.- De la conservación de los recubrimientos de muro, dependerá en gran medida la absorción o respiración de sustancias que representen una alteración del bienestar y salud de los seres vivos.

3.- El desarrollo microbiano es una constante de cualquier superficie, siempre y cuando existan las condiciones ambientales idóneas para ello. Es así, que se reconoce el poder biocida y quelante del recubrimiento [A] cal, eficiente tanto para la inhibición como para el control y aniquilación de microorganismos que afectan la salud de los usuarios.

El recubrimiento con el peor desempeño en este rubro, fue el [D] yeso, aspecto que sin duda es conocido, puesto que es un sulfato de calcio hidratado, elemento que incluso sirve de alimento para cierto tipo de artrópodos⁷⁵.

4.- En los tres periodos de monitoreo, los muros de control, recubiertos con mezclas [A] [cal] tuvieron una absorción del agua más rápida que el resto, lo que indica que tienen alta higroscopia y -en consecuencia- una mayor gestión de la humedad directa.

El recubrimiento hecho con mezcla [B] [cemento] fue poco higroscópico, al grado de que a las 72 h la charola aún poseía agua.

El recubrimiento con mezcla [C] [mortero] tuvo un desempeño higroscópico parcialmente efectivo, toda vez que sí absorbió agua, pero lentamente.

El recubrimiento con mezcla [D] [yeso] tuvo mejor comportamiento ante el agua y la absorbió más rápido que el espécimen con mezcla [C] [mortero]. Aun así, no consiguió superar al muro de control con mezcla [A] [cal].

⁷⁵ Animales invertebrados con esqueleto externo, cuerpo segmentado y patas articuladas.

5.- En lo relativo a la prueba de transpirabilidad, se podría decir que todos los muros tuvieron un buen desempeño porque las lecturas promedio -por día- oscilaron entre el:

- 61 y el 100% Primer periodo
- 62 y el 100% Segundo periodo
- 85 y el 100% Tercer periodo

Esto revela una variabilidad importante entre los días con presencia de agua en la charola y los días en que ésta permaneció al interior de los muros.

Si bien, la ANSI⁷⁶ & ASHRAE indican que el rango de humedad relativa [HR] al interior de los espacios, necesario para evitar el desarrollo microbiano y la detonación de padecimientos respiratorios en los usuarios, oscila entre el 30 y el 60% es importante decir que, en las pruebas realizadas, la falta de ventilación fue un factor que limitó de manera considerable la pérdida de humedad; según lo determinaron las cartas psicrométricas de los seis muritos. Sin embargo, se debe resaltar la gran capacidad de los recubrimientos evaluados, para liberar humedad sin incrementar sustancialmente la humedad relativa; condición que mientras más controlada sea, menor requerimiento de ventilación o asoleamiento tendrá.

Cabe aclarar que no se pretende justificar una disminución de la humedad relativa al interior de los espacios, sino una regulación de la misma, porque como lo indican tanto la WHO⁷⁷ como la ASHRAE, una humedad relativa por debajo del 30% reseca las mucosas y contribuye a la generación de bacterias y virus, así como al desarrollo de infecciones respiratorias y al incremento de la producción de ozono. De igual forma, una humedad relativa por arriba del 60% detona en los usuarios alergias-asma y la interacción con agentes químicos procedentes de la descomposición de los materiales.

En cambio, una humedad relativa bajo control, entre 40-60% es benéfica porque disminuye no sólo el polvo fino del aire, sino los olores y la electricidad estática de las superficies. Según Minke, G. (2005) una humedad relativa que sobrepase el 70% reduce

⁷⁶ American National Standards Institute.

⁷⁷ World Health Organization / OMS.- Organización Mundial de la Salud.

de forma considerable la absorción de oxígeno de la sangre en climas cálido-húmedos, mientras que en climas fríos-húmedos, se acentúan los síntomas reumáticos. Por otro lado, el incremento de hongos en espacios sin ventilación con humedad relativa entre 70-80% es inminente.

Para Minke, G. (2005:19) existe una influencia del intercambio de aire en la humedad relativa. *“En climas templados y fríos cuando la temperatura exterior es mucho menor que la interior, el interior se vuelve seco como resultado del intercambio de aire fresco y puede afectar nuestra salud. Por ejemplo, si un aire exterior con una temperatura de 0°C y 60% de HR entra en un espacio y se calienta hasta 20°C su HR disminuye a menos de 20%. Aún si el aire exterior a una temperatura de 0°C tuviera 100% de humedad y se calienta a 20°C su HR disminuirá a menos de 30%. En ambos casos resulta necesario aumentar la humedad para alcanzar condiciones saludables. Esto se puede lograr con la desorción de humedad de los muros, pisos, entrepisos y muebles.”*

6.- El recubrimiento [B] cemento tuvo porcentajes de humedad relativa - considerablemente- más altos que el resto de los recubrimientos, lo que lo hace un material que debe ser restringido en zonas en dónde la humedad relativa sea alta, porque tanto la gestión como la pérdida de humedad son demasiado lentas.

El recubrimiento [C] mortero de cemento tuvo una liberación de humedad pausada que se estabilizó y de manera posterior disminuyó gradualmente, por esa razón, se recomienda para climas en los que la humedad relativa no sea alta la mayor parte del año, de lo contrario, según lo observado en la prueba, no se garantiza que haya una correcta regulación de la misma.

El recubrimiento [D] yeso, presentó una humedad relativa alta desde el principio del periodo de monitoreo porque al mismo ritmo con el que gestionó el agua del ambiente, la disipó; sin embargo, este tipo de recubrimiento no consiguió regular satisfactoriamente la humedad relativa porque al no perder la humedad del interior del muro de forma eficaz y rápida, resulta poco viable que cumpla con el ciclo hídrico citado por Fuentes, A. (2004) como la forma en que el agua se presenta en 3 estados distintos: sólido, líquido y

gaseoso. Este ciclo es requerido para regular la humedad relativa del espacio interior; por eso, es recomendable para climas cálidos en los que ésta no es alta.

Los muros con recubrimiento [A] cal, los primeros días de los tres periodos de pruebas mantuvieron los niveles de humedad relativa decrecientes; es decir, conforme absorbían agua y la gestionaban, la disipaban; regulando y manteniendo un nivel de humedad relativa constante, aspecto que puede ser benéfico en localidades en las que la precipitación pluvial es escasa o bien, en el extremo opuesto, en dónde la humedad relativa es alta, porque de esta forma se cumple con el ciclo hídrico tanto al interior del muro y como del espacio. Con este ciclo se hace referencia al cambio de estado del agua, ya que del líquido pasa al vapor mediante la evaporación y si esta humedad no se disipa y a la par se incrementa la temperatura interior, se presenta la condensación (estado líquido) que tanto afecta a los muros. De ahí, que sea tan importante que el ciclo del agua ser realice sin mayor alteración y de manera regular.

Por otro lado, según lo cita Fuentes, A. (2004) la evaporación depende de la humedad contenida en el aire. Así que la temperatura del bulbo húmedo⁷⁸ decrece hasta un punto de equilibrio o estabilización; lo que representa que la energía entre el aire y el bulbo del termómetro es equiparable a la cantidad de energía requerida para la evaporación de la humedad.

7.- En el aspecto térmico los recubrimientos con cal tuvieron una temperatura menor que el resto, en los tres periodos de prueba, lo que pone de manifiesto su uso potencial en climas cálidos.

Como indica Fuentes, A. (2004:57) *“La humedad está íntimamente relacionada con la temperatura. Al calentarse, el aire se dilata o expande y por lo tanto su capacidad para contener vapor de agua aumenta; por el contrario, si el aire se enfría, se contrae y su humedad de saturación disminuye.”*

⁷⁸ Temperatura húmeda del aire, se mide teniendo en cuenta la humedad en suspensión.

8.- El “permeámetro” permitió entender el funcionamiento interno de los muros y sus recubrimientos, no sólo en la gestión de la humedad, sino también en lo relacionado con la regulación de factores ambientales al interior de los espacios.

Obviamente, el tipo de material se vinculó con el clima y es aquí, cuando se identificó la factibilidad del uso de recubrimientos [A] cal, en sitios en donde las precipitaciones pluviales son una constante, pero también en aquellos en donde la humidificación es necesaria, ya que si fuera necesaria la generación de condiciones de humedad relativa superiores a las registradas normalmente, el uso de este tipo de materiales, facilitaría el confinamiento y disipación paulatina de los vapores generados a partir de la realización de actividades de cocción de alimentos, lavado de ropa y aseo personal.

El uso de recubrimientos [C] mortero de cemento, tiene que ser bajo un criterio de asequibilidad o disponibilidad y en apego a un requerimiento específico de impermeabilidad, toda vez que la aparición de patologías será inminente.

Capítulo 4. Salud respiratoria de los usuarios

La definición de la Organización Mundial de la Salud (OMS) indica que la salud es un estado completo de bienestar físico, psicológico y social. Es una condición que puede ser mejorada o empeorada, según los hábitos de vida y las convicciones personales que cada individuo manifieste. Y es que si bien, se ha indicado que algunas personas tienen una predisposición genética a ciertos padecimientos, la realidad es que factores externos son decisivos para mantener o perder la salud.

Tal es el caso de los espacios interiores en los que el ser humano pasa gran parte del día, ya que estos factores conforman el ambiente al que se está expuesto, por poco más de 19 horas diarias.

Bueno, M. / Silvestre, E. (2009), indican que la dinámica de construcción actual ha propiciado que los usuarios pasen los días en espacios cerrados, sintéticos y llenos de equipos tecnológicos, con luz artificial y una calidad de aire deficiente.

Aspectos que detonan una serie de síntomas graves como la fatiga crónica y el estrés constante. Eso sin mencionar, la dispersión mental o falta de concentración y la sensibilidad química múltiple, alteraciones -directamente- vinculadas con la vivienda o con los espacios en los que se desarrollan las principales actividades humanas; lo que evidencia la baja calidad biótica a la que se está expuesto (Fig. 74).



Figura 74. Calidad biótica.

Fuente: <http://rosatubes.centerblog.net/5924-thermometre>

Como se ha indicado en capítulos previos, la relación entre las viviendas y la salud de los usuarios, no es un tema nuevo. Las generaciones previas, tenían conocimiento de que los espacios habitables generan un efecto importante, no sólo en la salud del cuerpo, sino también en la del alma y la mente. Muestra de ello, son los vestigios en los que culturas milenarias eligieron puntos estratégicos, en los que la naturaleza cobraba una especial relevancia visual y funcional, con la intención de generar una conexión intrínseca entre ésta y la población. El entorno natural siempre ha sido un aliado del ser humano y su bienestar, dado que la biología integra los sistemas de forma sinigual, siendo la adaptabilidad y el respeto de las leyes de la naturaleza, aspectos cruciales para el desarrollo de la vida.

Es -justamente- en este punto, en donde prácticas sencillas y someras, han tenido una especial participación; la observación y comprensión de las reacciones de los seres vivos ante determinados estímulos ambientales, han marcado la pauta para la instauración de medidas, que han facilitado la supervivencia y evolución de las especies.

La salud respiratoria de los usuarios se centra en la principal función fisiológica de los seres vivos: la respiración y es por esa razón, que organismos internacionales y diversos gobiernos, han considerado a las afecciones respiratorias como un problema de salud pública. Han implementado medidas de mitigación de contaminantes, que buscan restituir las condiciones del aire tanto al exterior como al interior de los espacios, toda vez que de este factor depende -en gran medida- la calidad de vida de la sociedad actual y futura. Una sociedad que paradójicamente, se pasa el día en búsqueda de felicidad, confort y salud, pero que -cada vez- implementa más mecanismos de supervivencia que se alejan de la lógica de convivencia e integración de lo natural y simple.

“La salud es en definitiva un juego de equilibrio en el que intervienen una gran diversidad de factores estrechamente vinculados, que podemos sintetizar en tres grandes bloques: el factor genético, el ambiental y los derivados del estilo de vida. De hecho, con las actuales tendencias sociales, principalmente en las grandes urbes, los factores

ambientales de riesgo para la salud han ido ganando terreno, al repercutir directamente en la salud del medio ambiente y de los seres vivos.”

Bueno, M. / Silvestre, E. (2009:11) (Fig. 75)

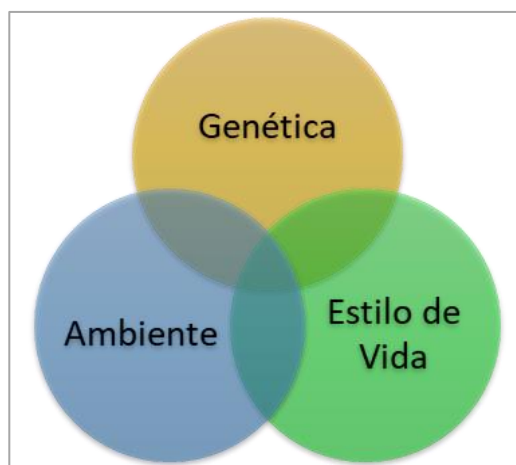


Figura 75. Variedad de factores.

Fuente: Elaboración propia.

Es importante mencionar que, para conocer y valorar el estado de salud de los usuarios, se deben medir y registrar diversos parámetros tanto de índole visible como no visible, al interior de las viviendas. Porque definitivamente esto, permitirá pronosticar los padecimientos a los que se estará enfrentando la humanidad y al mismo tiempo, se podrán reconocer los factores que contribuyen a conservar la salud y los que representan un riesgo para ésta; por eso, es de gran utilidad identificar su origen (natural o artificial) para determinar así, la viabilidad de su control o regulación (Tabla 29).

Tabla 29. Factores de riesgo para la salud.

Fuente: Bueno, M. (2006:37)

<i>Factores de riesgo para la salud</i>	
<i>origen natural</i>	<i>origen artificial</i>
Geología del suelo	Campos eléctricos alternos /electricidad estática
Orientación	Electromagnetismo
Clima	Composición química de los materiales
Radioactividad	Pesticidas

Varias investigaciones han determinado que, para la salud de los usuarios, tanto la genética como el ambiente son esenciales. Cuando se habla del cambio climático, se está haciendo referencia a las múltiples afectaciones en la tierra, el agua y -por supuesto- el aire; lo que conlleva una serie de alteraciones en los ecosistemas, que tarde o temprano tendrán un impacto en todos los seres vivos. Obviamente, la reacción de éstos ante cualquier daño, estará en función del tipo de especie, así como de su vulnerabilidad biológica, física y hasta química.

4.1 La importancia de la respiración

La respiración en su forma más simple, es la acción de inhalar y exhalar aire.

Nestor, J. (2021) señala que a pesar de que el proceso de la respiración tiene implicaciones de tipo anatómico y fisiológico, ninguna de estas dos ramas de la medicina se ha preocupado por estudiarla a fondo.

Asimismo, explica que existen dos tipos de respiración: la que considera oxígeno, mejor conocida como aeróbica, y la que no lo contempla, que se denomina anaeróbica.

La teoría indica que los seres humanos realizan -primordialmente- la respiración aeróbica y que poseen un sistema de reserva anaeróbico, que está constituido sólo por unas cuantas fibras musculares, de ahí que no sea buena idea excederse en su uso. Se promueve la respiración aeróbica porque cuando se activan las células con oxígeno, se potencializa de manera increíble la energía que se obtiene; lo que es de vital importancia para el desarrollo de las actividades diarias, incluyendo las deportivas. El inconveniente se presenta cuando no hay suficiente oxígeno en el ambiente, ya que por más que se respire de forma adecuada, la inhalación será insuficiente.

[...] Respirar es absorbernos a nosotros mismos en lo que nos rodea, aspirar pedacitos de vida, comprenderlos y devolver piezas de nosotros mismos. La respiración es en esencia, reciprocidad. La respiración, eso espero, también puede servir para restituir la salud.” Nestor, J. (2021:62)

Claro, la respiración es fundamental para la salud, siempre y cuando el aire que se respire tenga la calidad necesaria. Con esto, no se habla de forma exclusiva de la contaminación ambiental en su conjunto, sino que como se ha expresado, el aire al interior de los espacios contiene partículas diversas que, aunque no se ven, sí se respiran y tienen como destino final, los pulmones. Si se prolonga la permanencia en un espacio determinado y éste carece de aire con óptimas condiciones para el usuario, tarde o temprano, se presentarán complicaciones de salud, no sólo físicas sino mentales también.

Y es que, el no ver agentes contaminantes flotando, no quiere decir que no existan. Desafortunadamente, el mundo actual depende de un gran número de sustancias químicas para la realización de sus actividades más básicas. Si a eso se suma, la creciente tendencia de que las mascotas convivan con las personas al interior de las viviendas (cada vez más pequeñas) y que haya revestimientos de superficies o mobiliario de diversa procedencia, el universo de posibilidades para el desarrollo de alergias o problemas en las vías respiratorias altas, es enorme.

Villaamil, R. (2016), indica que respirar es vivir; como se suele decir, la vida comienza con una inhalación y termina con una exhalación.

Por si esto fuera irrelevante, la sangre se forma por la asimilación de las sustancias vitales de los alimentos que se consumen, pero se purifica y vitaliza gracias a la respiración. Además, todo apunta a que la respiración es la única función del sistema nervioso autónomo que puede ser controlada y regulada por la conciencia, es una práctica que conecta la mente y el cuerpo.

La Constitución de la Organización Mundial de la Salud establece que: *"La salud es un estado de completo bienestar físico, mental y social, y no solamente la ausencia de afecciones o enfermedades. El goce del grado máximo de salud que se pueda lograr es uno de los derechos fundamentales de todo ser humano sin distinción de raza, religión, ideología política o condición económica o social."* OMS (1946:1)

La salud depende de una correcta respiración, con todo lo que este adjetivo pueda representar. Un adulto promedio realiza dieciséis respiraciones por minuto, lo que implica 23 mil respiraciones al día y 250 millones de veces a los 30 años, esto sucede porque se ha aprendido a respirar de forma rápida, superficial y sin propósito; aspectos que redundan en una presión arterial alta, en ansiedad y depresión.

Lo que parece recomendable para gozar de bienestar, es respirar seis veces por minuto, de esta forma se promueve la relajación tanto del cuerpo, como de la mente.

“Da igual que respiremos 30 o 5 veces por minuto, un cuerpo sano siempre tendrá suficiente oxígeno. [...]”

Resulta que, al respirar a un ritmo normal, nuestros pulmones absorben solamente una cuarta parte del oxígeno disponible en el aire. La mayor parte del oxígeno vuelve a expulsarse. Realizando respiraciones más largas, hacemos que nuestros pulmones absorban más en menos respiraciones.” Nestor, J. (2021:108)

Andrew Weil⁷⁹ escribió: si tuviera que dar un consejo para gozar de una vida más sana, diría que se debe aprender a respirar de mejor forma.

Esta simple recomendación, denota que se ha centrado la atención en otros aspectos que de igual manera tienen injerencia en la salud de los usuarios, pero que sin duda, no superan en relevancia al aire que se respira, porque éste es fundamental para que la principal función del organismo se siga realizando y así, se contribuya a la preservación de la especie humana.

Un número significativo de enfermedades contagiosas se transmiten vía aérea, es decir, a través de un aerosol (gotículas) o de un contacto directo con la fuente. Muestra de ello, es la pandemia del COVID-19, una crisis sanitaria que ha cambiado -definitivamente- la forma en que se desarrollarán las actividades en espacios confinados y concurridos, alrededor del mundo.

⁷⁹ Médico naturista mundialmente conocido y reconocido por su contribución en el campo de los enteógenos: sustancias vegetales con propiedades psicotrópicas.

La clave para lograr una respiración óptima -y para conseguir todos los beneficios de salud, resistencia y longevidad que trae consigo- es practicar para hacer menos inhalaciones y exhalaciones y para inhalar un volumen menor. Respirar, pero respirar menos.” Nestor, J. (2021:112)

Betancourt, G. (2011) comparte que es importante el análisis de la interacción entre los usuarios y los sistemas de transferencia de calor, como la respiración, ya que un adulto en reposo, respira -en promedio- dieciséis veces por minuto, mientras que si está en estado activo, triplica o multiplica esta cantidad por seis. En cada expiración emite:

- Anhídrido carbónico (4%)
- Oxígeno (16.5%)
- Nitrógeno y argón (79.5%)

A lo largo de un día (24 h) un adulto habrá emitido -alrededor- de un kilogramo de anhídrido carbónico.

Por otro lado, la Escuela de Salud Pública de Harvard, realizó un estudio en el que se determinó que un espacio mal ventilado, es decir, con una baja calidad de aire, tiene una incidencia negativa en las capacidades cognitivas de las personas. Lo que se explica dado que cuando el aire tiene una buena calidad, los agentes contaminantes son menores y la cantidad de oxígeno es mayor. A mayor oxígeno, mayor vitalidad cerebral. Además, este estudio concluyó que al modificarse las cantidades de compuestos orgánicos volátiles (COV) y de dióxido de carbono (CO₂), las personas objeto de estudio, tuvieron variantes significativas en tareas básicas como la creación de estrategias, la toma de decisiones y la planeación de actividades.

Así que respirar, es una función biológica que va más allá del aspecto físico, -de igual forma-, el mental se ve beneficiado ante una buena técnica respiratoria.

En el ámbito de la mística y la espiritualidad, muchos de sus hallazgos también relacionan la paz, la longevidad y la trascendencia de este plano material hacia algo más elevado, al hecho de saber respirar; se dice que, simplemente con prestar atención a este

movimiento se permanece en el momento presente y se evade así, la depresión por el pasado o la ansiedad por el futuro.

Blanco, C. (2020) menciona que la mística es una experiencia de totalidad que se puede alcanzar por la estimulación de ciertas áreas del cerebro, al escuchar música, leer libros sobre el tema, convivir con personas sensibles, pero también por la experimentación de paz, misma que se consigue con una respiración pausada y regulada que facilita un estado de conciencia más profundo en el ser.

Aunque sea complejo cambiar la forma de respirar, es una de las acciones más recomendables para conseguir un mejor estado de salud. Otro aspecto que también puede ser atendido desde el hogar, es el tipo de recubrimientos que se tienen en los muros, ya que como se demuestra en esta tesis, los recubrimientos superficiales sufren transformaciones importantes a lo largo del año y de los años de vida útil que posean. Asimismo, se mencionó en el primer capítulo, que todos los materiales de construcción son susceptibles de modificar su composición química para convertirse en verdaderos agentes contaminantes que alteran la calidad del aire al interior de los espacios y por ende, el estado de bienestar respiratorio de los usuarios.

4.2 Enfermedades respiratorias

Para la Organización Mundial de la Salud, una enfermedad es la alteración en el estado fisiológico (funcionamiento) de alguna parte del cuerpo, por lo que presenta causas y síntomas conocidos, que permiten predecir su evolución.

En varios foros, Elisabet Silvestre⁸⁰ ha indicado que, en la actualidad, es más importante conocer el código postal que el código genético de las personas. Haciendo alusión a que el ambiente al que se está expuesto, es mucho más relevante que la carga biológica heredada por los ancestros; ya que el 80% de las enfermedades se atribuye al factor ambiental, a diferencia del genético al que se le asigna -tan sólo- el 20%.

⁸⁰ Doctora en Biología Humana que estudia la salud ambiental y el exposoma humano.

También, ha expresado que la selección de los materiales de construcción, decoración y mobiliario son decisivos para una calidad del aire interior deficiente o adecuada. Lo anterior, basado en el hecho de que mientras más sintéticos o industrializados sean los materiales presentes en las viviendas, mayor electricidad estática y atracción de polvo habrá alrededor de los usuarios, así como menor difusión de vapor, elevada concentración de sustancias químicas e insuficiente regulación de la humedad relativa. Cuando los materiales que conforman el espacio habitable son de origen natural tienen mayor afinidad biológica con los usuarios, aspecto que se traduce en una mejor calidad de aire porque éstos -en la mayoría de los casos- funcionan como filtros. Asimismo, esto redundaría en un balance más significativo de los sistemas fisiológicos u homeostasis⁸¹ y por lo tanto, en un mayor grado de bienestar o salud.

Para la presente tesis, se determinó que la calidad del aire interior, se atribuiría a tres grandes factores de riesgo, vinculados -específicamente- con los recubrimientos en muros: la toxicidad, el desarrollo microbiano y la gestión de humedad (Tabla 30).

Tabla 30. Vínculo de padecimientos respiratorios y los factores de riesgo en espacios interiores.
Fuente: Elaboración propia.

<i>Tipo de factor de riesgo en espacios interiores</i>	<i>Factor vinculado a recubrimientos de muros</i>	<i>Nivel de afectación en el espacio</i>	<i>Medida de control requerido en el espacio</i>	<i>Mecanismo de reacción en el organismo</i>	<i>Síntomas</i>	<i>Enfermedad</i>
Químico	Toxicidad	• Alto • Moderado • Bajo	Mitigación	Intoxicación	• Ardor en garganta • Dificultad para respirar • Flujo nasal • Irritación en ojos	• Hipoxemia (disminución de oxígeno en la sangre arterial) • Asma • Alergias • Faringitis • Laringitis
Físico	Humedad	• Alto • Moderado • Bajo	Gestión	Inflamación	• Tos • Irritación en ojos • Flujo nasal • Estornudos	• Asma • Rinitis • Bronquitis • Sinusitis • Infección en vías respiratorias altas (IAVAS) - Resfriado común
Biológico	Desarrollo microbiano	• Alto • Moderado • Bajo	Inhibición	Deterioro del sistema inmune	• Tos • Congestión pulmonar • Lagrimeo • Fiebre	• Infección en vías respiratorias bajas (IRAB) - Neumonía • Asma • Alergias • Sinusitis • Faringitis • Laringitis

⁸¹ Del griego *ὅμοιος* *hómoios*, 'igual', 'similar', y *στάσις* *stásis*, 'estado', 'estabilidad'. Capacidad de los organismos para mantener estabilidad en su interior, mediante la compensación o regulación de los intercambios de materia y energía con el medio exterior.

“Una de las peculiaridades con las que cursan los problemas derivados de una exposición a un factor de riesgo ambiental es que sólo remite cuando se evita el agente; cuando éste no se evita se pueden experimentar algunos momentos de mejoría gracias al efecto del tratamiento médico, pero no se consigue su remisión o una curación completa. De aquí la importancia de localizar el factor de riesgo alterador en el entorno del hábitat, a fin de poder evitarlo.” Bueno, M. / Silvestre, E. (2009:39)

También, fue importante correlacionar la temperatura, la humedad relativa y la concentración de dióxido de carbono en los espacios, con el desempeño de los recubrimientos en muros para determinar su grado de eficiencia en la mitigación de la toxicidad, la inhibición del desarrollo microbiano y la gestión de la humedad, ya que como se ha demostrado, estos factores ambientales son decisivos para la salud de los usuarios.

Para la ASHRAE, una humedad relativa baja, -por debajo del 30%- reseca la piel, los ojos, la nariz y la garganta, además de irritar las membranas mucosas, esto último, según lo afirma la *American National Standards Institute* (ANSI). De igual forma, la ASHRAE menciona que una humedad relativa por debajo del 30% y mayor al 70% incrementa -considerablemente- las probabilidades de enfermar y contraer alguna infección, eso sin mencionar que el confort higrotérmico se reduce de forma acelerada.

Asimismo, la humedad relativa baja incrementa la electricidad estática y con ello, la atracción de partículas de polvo, microorganismos y contaminantes es mayor. Aspecto que desencadena alergias, sinusitis e incluso, asma.

“Sí, la manera como respiramos realmente afecta al tamaño y al funcionamiento de nuestros pulmones. Sí, respirar nos permite penetrar en nuestro propio sistema nervioso, controlar la respuesta inmunitaria y restablecer la salud. Sí, cambiar la manera de respirar nos ayudará a vivir más años. [...] El pilar que le hace falta a la salud es la respiración. [...]” Nestor, J. (2021:20)

4.2.1 Clasificación

Según la Clasificación Internacional de Enfermedades respiratorias (CIE-10 Capítulo X), existen diez grupos, que se listan a continuación:

- 1.- Infecciones agudas de las vías respiratorias superiores.-** Faringitis aguda, amigdalitis aguda. rinofaringitis aguda, sinusitis aguda, laringitis y traqueítis.
- 2.- Gripe y neumonía.-** Ocasionadas por virus o bacterias.
- 3.- Infecciones agudas de las vías respiratorias inferiores.-** Bronquitis aguda y bronquiolitis.
- 4.- Otras enfermedades de las vías respiratorias superiores.-** Faringitis crónica, rinitis alérgica, adenoides y pólipos nasales.
- 5.- Enfermedades crónicas de las vías respiratorias inferiores.-** Enfisema pulmonar, asma, bronquiectasias, enfermedad pulmonar obstructiva crónica y bronquitis crónica.
- 6.- Enfermedades del pulmón debidas a agentes externos.-** Neumonitis por hipersensibilidad, neumoconiosis y silicosis.
- 7.- Otras enfermedades respiratorias que afectan principalmente el intersticio pulmonar⁸²**
- 8.- Afecciones supurativas⁸³ y necróticas⁸⁴ de las vías respiratorias inferiores**
- 9.- Otras enfermedades de la pleura⁸⁵**
- 10.- Otras enfermedades del sistema respiratorio**

⁸² Formado por células y fibras del tejido estructural del pulmón.

⁸³ Susceptible de supurar, el pus es un líquido espeso de color amarillo o blanco, que es secretado por un tejido infectado.

⁸⁴ Relativo a la necrosis que es la muerte patológica de células o tejido, derivada de una putrefacción.

⁸⁵ Membrana serosa que recubre los pulmones, el mediastino, el diafragma y la parte interna de la caja torácica.

Se describen las principales enfermedades respiratorias:

Vías aéreas superiores

Rinitis.- Inflamación de las fosas nasales. Su origen puede ser alérgico o infeccioso. Se caracteriza por tener congestión, flujo y picor nasal, además de estornudos. Los cambios de temperatura y humedad, así como los olores intensos y el humo de cigarro pueden ser detonantes indiscutibles.

“Todos estos invasores podrían causar infecciones e irritación si entraran en los pulmones; el moco es la primera línea de defensa del cuerpo. Está constantemente en movimiento, barriendo a un ritmo de aproximadamente 1.3 centímetros por minuto, más de 18 metros al día. Al igual que una banda transportadora gigante, recoge desechos inhalados por la nariz, luego hace bajar toda la porquería por la garganta y la lleva hasta el estómago, donde es esterilizada con ácido estomacal, es trasladada a los intestinos y es expulsada del cuerpo.” Nestor, J. (2021:69)

Faringitis.- Es la inflamación de la mucosa que recubre a la faringe, se produce por una infección de tipo viral o bacteriano.

Sinusitis.- Inflamación de los senos paranasales, debida a una infección provocada por alguna bacteria o virus.

Amigdalitis.- Infección en la amígdala palatina. Causada por una infección, genera dolor de garganta y fiebre.

Laringitis.- Inflamación de la laringe por algún agente viral, provoca tos, afonía y en casos graves, dificultad para respirar.

Traqueítis.- Es la inflamación de la tráquea debido a un cuadro infeccioso.

Pulmón y vías respiratorias inferiores

Asma bronquial.- Obstrucción reversible de las vías respiratorias aéreas. Puede ser de origen alérgico o no alérgico.

“El asma es una sensibilidad del sistema inmunitario que provoca estrechamiento y espasmos en las vías respiratorias. Los ataques pueden ser provocados por elementos contaminantes, el polvo, infecciones víricas o el aire frío, entre otras cosas. Pero el asma lo que puede causar también una respiración excesiva, lo cual es muy habitual al realizar un esfuerzo físico.

[...] una vez que empieza un ataque, las cosas van de mal en peor. Queda aire atascado en los pulmones y las vías se estrechan, lo cual dificulta expulsar el aire y volver a tomar. A continuación, se respira más, pero aumenta la sensación de falta de aliento y se incrementan el estrechamiento, el pánico y el estrés.”

Nestor, J. (2021:127)

Atelectasia.- Colapso de una sección pulmonar que impide el intercambio de aire.

Bronquitis.- Inflamación del recubrimiento de los bronquios, llega a provocar sensación de asfixia (disnea).

Bronquiolitis.- Es la inflamación de los pequeños bronquios (bronquiolos) y es causada por un virus.

Cáncer de pulmón.- Crecimiento y expansión de células cancerosas al interior del pulmón.

EPOC.- Enfermedad pulmonar obstructiva crónica⁸⁶ cuya principal causa es la inhalación del humo de tabaco.

Fibrosis pulmonar idiopática.- Enfermedad causada por la cicatrización anómala del tejido pulmonar, creándose tejido fibrótico o fibroso.

Fibrosis quística.- Enfermedad de origen genético que afecta al pulmón, provocando acumulación de moco espeso.

⁸⁶ Larga.

Neumoconiosis.- Enfermedad que daña el parénquima⁸⁷ pulmonar, se origina por la exposición y consecuente inhalación de polvos en general y de origen mineral.

Silicosis.- Provocada por exposición a partículas de sílice.

Asbestosis.- Provocada por la inhalación de fibras de asbesto .

Neumonía.- Infección de tipo respiratorio que daña los alveolos pulmonares, causada por bacterias y virus.

Neumonitis por hipersensibilidad.- Causada por la inhalación de polvo de origen orgánico.

Tuberculosis pulmonar.- Infección causada por el bacilo de Koch.

Bronquiectasia.- Dilatación irreversible en los bronquios.

4.2.2 Etiología

La palabra Etiología deriva del griego *αἰτιολογία* que significa “estudio de la causa”, en este caso, de las enfermedades. Por lo regular, se hacen diversas preguntas para indagar los síntomas o padecimientos de los pacientes, de esta forma, se tiene un panorama clínico mucho más profundo y acertado.

Tal como lo indica el Libro de la Medicina (2021:75): *“Las enfermedades deben clasificarse con precisión. Hay que registrar cuándo se da la enfermedad, pues algunos trastornos son estacionales. Hay que distinguir los síntomas específicos de la enfermedad del paciente, como la edad o la constitución.”*

Al paso de los siglos, se ha debatido si la causa de las enfermedades es uni o multifactorial. Fue hasta el siglo XX que se determinó que -efectivamente- la causa de las enfermedades tiene -por lo menos- 3 elementos que son: el agente, el huésped y el medio.

⁸⁷ Procede del griego *parénkhyma*, que significa: sustancia de los órganos.

La medicina explica que estos elementos por sí mismos, no son causal de enfermedad, que debe haber una conjunción de todos en tiempo y espacio, para que se suscite una enfermedad, como tal.

De hecho, se dice que el popular médico italiano Bernardino Ramazzini⁸⁸ recomendó a sus colegas, considerar una pregunta más dentro del diagnóstico de enfermedades: ¿Cuál es su ocupación?

La importancia de la etiología es que cuando se conoce el agente causal de una enfermedad, se facilita de forma considerable su comprensión y consecuente tratamiento. Por eso, la OMS indica que existen diversos factores que causan una enfermedad, siendo estos los:

- **Predisponentes:** edad, género, enfermedad conexas
- **Facilitadores:** pobreza, desnutrición, hacinamiento en vivienda
- **Desencadenantes:** exposición a un agente patógeno
- **Potenciadores:** exposición constante a un agente patógeno

También, se han clasificado cuatro tipos de enfermedades en función a su causa (Tabla 31):

- **Endógenas.-** Se atribuyen al propio huésped
- **Exógenas.-** Se atribuyen a la acción del agente sobre el huésped
- **Ambientales.-** Se atribuyen a la acción del agente y del medio sobre el huésped
- **Multifactoriales.-** Se atribuyen a varios factores

⁸⁸ Autor del Tratado de las enfermedades de los artesanos (1700), en el que detalla los factores que causan enfermedades en 54 ocupaciones distintas. Así, se despertó un gradual interés en la salud pública.

Tabla 31. Clasificación de enfermedades según la SS.
Fuente: Secretaría de Salud. México.

<i>Clasificación de enfermedades, según su etiología</i>			
<i>Endógenas</i>	<i>Exógenas</i>	<i>Ambientales</i>	<i>Multifactoriales</i>
Genéticas	Parasitarias	Ambientales	Neoplásicas
Congénitas	Venéreas	Profesionales	Del desarrollo
Metabólicas	Tóxicas	Mecano-posturales	Idiopáticas
Autoinmunes	Traumáticas	Causa externa	Psicosomáticas
Degenerativas	Alérgicas		
Nutricionales	Latrógenas		
Endócrinas	Infecciosas		
Inflamatorias			
Mentales			

Estas clasificaciones, han llevado a identificar la relevancia de la etiología para conocer los factores que tienen injerencia en la aparición de enfermedades de tipo respiratorio, relacionadas -principalmente- con los elementos y materiales constructivos presentes en una vivienda o espacio interior.

De esta forma, se determina que en el caso de las enfermedades causadas por una baja calidad el aire, se está hablando de la incidencia de factores:

- **facilitadores**, como sería el uso de determinados materiales para el recubrimiento de muros.
- **desencadenantes**, como sería estar en presencia de humedad, salitre, moho y polvos o material particulado.
- **potenciadores**, como sería la presencia constante o permanente a los agentes del rubro previo.

En relación a las categorías de enfermedades, el objeto de estudio de esta tesis son las que tienen una causa exógena, ambiental y multifactorial.

4.2.3 Reporte de la OMS sobre las principales enfermedades respiratorias propiciadas por la baja calidad del aire interior (CAI)

“En realidad, respirar es más que un acto meramente bioquímico o físico; es algo más que solamente mover el diafragma hacia abajo y aspirar para alimentar células hambrientas y expulsar desechos. Las decenas de miles de millones de moléculas que nos metemos en el cuerpo con cada bocanada también desempeñan un papel más sutil pero igualmente importante. Influyen en casi todos nuestros órganos internos diciéndoles cuándo encenderse y apagarse. Afectan a la frecuencia cardíaca, la digestión, el estado de ánimo y las actitudes; determinan cuándo estamos excitados y cuándo estamos mareados. Respirar es un interruptor de una amplia red llamada sistema nervioso autónomo.” Nestor, J. (2021:175)

Para la OMS, en viviendas mal ventiladas, el aire puede tener concentración de partículas finas cien veces mayor a la aceptable. Por lo que cada año, casi 4 millones de personas en todo el mundo, mueren por enfermedades provocadas por la baja calidad del aire interior, -sencillamente- porque ésta, detona enfermedades no transmisibles como la neumopatía obstructiva crónica, el cáncer de pulmón, la cardiopatía isquémica, los accidentes cerebrovasculares y la neumonía. El porcentaje de muerte por enfermedad es:

- 27% neumonía
- 27% cardiopatía isquémica
- 20% neumopatía obstructiva crónica
- 18% accidente cerebrovascular
- 8% cáncer de pulmón

Neumonía

Es un padecimiento que se caracteriza por una infección aguda de las vías respiratorias bajas y datos estadísticos de la OMS, reportan que el 28% de las personas que la

padecen, mueren a causa de la complicación derivada de una baja calidad del aire al interior de sus viviendas.

Cardiopatía isquémica

Es una afección de las arterias coronarias y la disminución de sangre oxigenada al miocardio, la OMS comparte datos que reflejan que, al año el 11% de las muertes por esta condición, se atribuyen a la baja calidad del aire interior.

Neumopatía obstructiva crónica

Enfermedad pulmonar obstructiva crónica (EPOC) se caracteriza por la obstrucción de las vías aéreas y la destrucción del tejido pulmonar; la OMS reporta que el 25% de las muertes por esta enfermedad, se debe a la contaminación del aire al interior de los espacios.

Las mujeres expuestas a una baja CAI tienen el doble de probabilidad de padecer EPOC. Mientras que los hombres, que ya tienen cierta predisposición a la EPOC por el consumo de tabaco, también duplican las probabilidades de muerte.

Accidente cerebrovascular

También denominado Ictus, es la muerte celular en el cerebro, por la deficiente irrigación sanguínea, la OMS atribuye el 12% de las muertes a la exposición diaria a un ambiente interior con baja calidad del aire.

Cáncer de pulmón

Enfermedad propiciada por el humo del tabaco, el radón⁸⁹ y el amianto⁹⁰. La OMS ha determinado que el 17% de las muertes anuales por este tipo de cáncer, tienen relación directa con la baja calidad del aire al interior de las viviendas.

⁸⁹ En los materiales de construcción, la presencia de radionúclidos del radón como son el ²³⁵Th y el ²²⁶Ra es de mayor a menor en: las piedras naturales (70 Bq/kg); los cementos (70 Bq/kg); los ladrillos (60 Bq/kg) el concreto (30 Bq/kg); y los yesos o escayolas (20 Bq/kg). Los materiales que menos radón contienen son las maderas.

⁹⁰ Mineral de asbesto, también llamado uralita.

La OMS también reporta que las partículas en suspensión y demás contaminantes dispersos en el aire interior, provocan en los usuarios -principalmente- la inflamación de las vías respiratorias superiores e inferiores. Reducen la capacidad de respuesta del sistema inmunológico y la oxigenación de la sangre. Eso, sin mencionar que existe una relación intrínseca entre la baja calidad del aire interior y la tuberculosis, las cataratas, el cáncer de faringe/laringe.

Obviamente, estas enfermedades sufren severas complicaciones en la medida en que los usuarios presentan padecimientos adicionales como la hipertensión o diabetes. Además de una alimentación poco balanceada, el sedentarismo y el consumo de tabaco o alcohol.

Por otro lado, existen 3 contaminantes presentes en el aire que causan severos problemas de salud a los usuarios:

- **Radón.-** es un gas radioactivo que emana de ciertas rocas o formaciones del suelo y -por lo tanto- de pisos, techos, paredes, del agua o gas. Puede llegar a tener grandes concentraciones al interior de las viviendas, debido a una ventilación insuficiente. Este gas llega a provocar entre el 3 y el 14% de los casos de cáncer de pulmón. Siendo la causa principal entre los no fumadores.
- **Compuestos Orgánicos Volátiles.-** se encuentran en los gases producto de la combustión y en las emisiones de ciertos materiales de construcción. Estos compuestos incluyen los formaldehídos que pueden desprenderse de pinturas, barnices, selladores, preservantes de madera, pesticidas, aerosoles, alfombras y diversos productos químicos para la limpieza en general. Estas sustancias son causal de asma, irritación de ojos, nariz, garganta, cefaleas, náuseas, pérdida de coordinación, daño en hígado y riñones, así como en el sistema nervioso central.
- **Humedad y presencia de moho.-** se pueden presentar como resultado de fallas en la construcción, un aislamiento deficiente o una ventilación insuficiente. Esta patología en los elementos constructivos produce alérgenos y componentes que irritan el organismo de los usuarios, causando a su vez, asma, alergias, irritación de ojos, piel, nariz, garganta y pulmones.

“Szent-Györgyi se refería a las enfermedades creadas por nosotros o, como las ha denominado el antropólogo Robert Corruccini, las enfermedades de la civilización. 9 de las 10 enfermedades que generan más muertes, como la diabetes, las cardiopatías y los derrames cerebrales, están causadas por los alimentos que comemos, el agua que bebemos, las casas en las que vivimos y las oficinas en las que trabajamos. Son enfermedades creadas por la humanidad.” Nestor, J. (2021:241)

4.3 Canales de recepción y percepción del ser humano

Las Directrices para la Calidad del Aire Interior emitidas por la OMS, consideran que el ser humano es susceptible de entrar en contacto con diversos contaminantes presentes en el aire, por la vía dérmica, la respiratoria y la ingesta. Indican que la exposición a contaminantes en el aire al interior de los espacios es -por mucho-, más alta que la que se puede tener al aire libre, debido a que los usuarios permanecen al interior de las construcciones por más tiempo del debido.

Bueno, M. / Silvestre, E. (2009) han expresado que, a diferencia de algunos factores biológicos, en el caso de los físicos y químicos, es bastante complejo identificar la causa-efecto de los padecimientos; debido a que la sintomatología no es inmediata después de haber estado expuesto. Los procesos del organismo se pueden ver alterados poco a poco, de tal forma que la patología queda oculta.

Asimismo, dicen que una exposición a un contaminante puntual, no suele producir síntomas evidentes, con excepción de las alergias o alta sensibilidad al agente.

Así que, existe una problemática en todo lo relativo a las exposiciones a agentes contaminantes en pequeñas dosis, porque es probable que se conjunten uno o más compuestos y estos a su vez, sufran transformaciones.

De forma similar a los factores ambientales artificiales, los naturales también pueden llegar a causar severas afectaciones no sólo en los usuarios, sino también en los elementos y/o materiales constructivos.

Por lo anteriormente descrito, lo ideal sería crear condiciones saludables al interior de los espacios, desde el momento del diseño, para evitar la aparición de patologías en las viviendas que redunden en padecimientos respiratorios en los usuarios.

En el capítulo 45 de la Enciclopedia de Salud y Seguridad en el Trabajo, se describen dos cargas contaminantes del aire interior de los espacios: la física/química y la sensorial. La primera, está directamente relacionada con la sustancia o elemento contaminante que se desprende de un material en específico, dentro de un mismo espacio, pueden encontrarse más de una fuente de contaminación y esto, dificulta la determinación de la contaminación total del aire por segundo.

La segunda, es una carga contaminante que se percibe a través de los sentidos, por lo que es una mera percepción de la calidad del aire interior, causa cierto malestar en los usuarios y es atribuible a los materiales que conforman tanto el espacio, como el mobiliario y la decoración del mismo.

4.3.1 Físicos (ósmosis, respiración e ingesta)

“Todo lo que ustedes o yo o cualquier ente que respire se haya metido en la boca, en la nariz o haya absorbido por la piel es polvo espacial de segunda mano que ha estado por ahí durante 13 800 millones de años. [...]” Nestor, J. (2021:62)

Dentro de los canales de recepción del ser humano, están los -inminentemente- identificados como físicos: la ósmosis, la respiración y la ingesta. Estos tienen que ver con la capacidad que posee el cuerpo de absorber e interactuar con la materia/energía a través de un conducto o medio palpable.

En el caso de la ósmosis, el cuerpo tiene la posibilidad de absorber/adsorber tanto sustancias líquidas como vapores mediante la piel, las uñas, el cabello y los ojos.

“La osmosis es el proceso que hace que nuestros dedos se arruguen en la bañera y que atrae la humedad a la superficie de los pepinos o de los filetes cuando los salamos. Las células vivas están rodeadas por delgadas membranas que dejan pasar las moléculas de agua. Cuando se da un desequilibrio en la concentración de materiales disueltos en el agua que hay entre los dos lados de una membrana, esta fluye de forma natural hacia un lado o hacia el otro para compensarlo. Este proceso es la ósmosis (el movimiento similar de materiales disueltos se denomina difusión).” McGee, H. (2021:461)

Un ejemplo muy drástico pero real es el que cita Heller, E. (2005), en 1814 un productor de colorantes consiguió un verde muy intenso al disolver cardenillo en arsénico, éste último, es uno de los venenos más fuertes de que se tenga conocimiento, por lo que el colorante resultaba ser perjudicial para la salud de quien lo elaboraba y lo usaba, ya que la humedad propiciaba su disolución y por ende, su vaporización.

El verde fue el color favorito de Napoleón y -paradójicamente- durante su exilio en Santa Elena, permaneció en estancias tapizadas de verde. Tiempo después, algunos químicos franceses quisieron comprobar si su muerte había sido natural, por lo que, al analizar sus restos, encontraron grandes cantidades de arsénico en sus uñas y cabello. El clima húmedo disolvió el arsénico presente en los muebles, tapetes y tapices, por lo que Napoleón murió -lentamente- intoxicado por el arsénico que lo rodeaba. Se asume que esta situación fue un común denominador en la muerte de muchas personas.

La respiración como hemos citado previamente es un intercambio de gases que genera un cúmulo de reacciones en el organismo, cada 3.3 segundos, que es el tiempo que una persona promedio tarda en hacer una inhalación/exhalación.

“El olfato es el sentido más antiguo de la vida. [...] respirar es mucho más que hacer entrar aire en nuestros cuerpos. Es la conexión más íntima con nuestro alrededor.” Nestor, J. (2021:62)

Se dice que el estudio de la fisiología de la respiración está en auge, dada la pandemia que ha sumergido al mundo entero en una incertidumbre de más de 3 años, esto por el desconocimiento de las secuelas que el COVID-19 puede dejar en las personas.

La sociedad no estaba preparada para enfrentar la propagación masiva y acelerada de una enfermedad provocada por un agente que no se ve. Si bien, el distanciamiento social, la desinfección de manos y superficies, así como el uso de mascarilla para boca y nariz han sido medidas cautelares, la realidad es que todo se reduce a la carga viral presente en el aire al interior de los espacios. La mayoría de los contagios se dio entre familiares y equipos de trabajo, dada la permanencia de las personas enfermas en sitios en donde la ventilación e intercambio de aire, no fueron suficientes.

Los fisiólogos están interesados en aspectos como la ventilación, la circulación del aire y la dinámica de la respiración, para así determinar mejores condiciones de salud en los usuarios, al interior de los espacios. Sin embargo, han perdido de vista que son los pulmones los que permiten la respiración y que si se fortalecen y entrenan, son ellos los que pueden hacer la diferencia en la salud; controlando el aire que se respira.

La pandemia evidenció la importancia de la respiración.

“Le pase lo que le pase a la nariz, afecta a lo que está ocurriendo en la boca, las vías respiratorias y los pulmones. [...] Nada de eso debería sorprendernos. Cuando llegan las alergias estacionales, se disparan los casos de apnea del sueño y de las dificultades respiratorias.” Nestor, J. (2021:52)

La ingesta de alimentos o sustancias, a través de la boca es crucial para la supervivencia de las personas, mediante esta acción se obtienen la mayoría de los nutrientes necesarios para el organismo. Sin embargo, también es por la boca que se pueden contraer enfermedades, ya sea por ser la vía directa de acceso de virus y bacterias o bien, porque la comida puede ser portadora de algún compuesto en descomposición. De hecho, gran parte de las sustancias adictivas, entran por la boca; tal es el caso del cigarrillo, que mediante una aspiración bucal absorbe la nicotina que contiene, siendo las

papilas gustativas de la lengua, las encargadas de transportar el agente activo hasta el sistema nervioso central y es así, como se consigue un efecto tranquilizante para quien fuma, aunque bastante incómodo para quien simplemente lo aspira de forma pasiva. No por nada, el dicho de que por la boca muere el pez, sigue vigente.

4.3.2 Energéticos (transmisión)

Por extraño que parezca, muchos de los padecimientos que experimentan los usuarios, al interior de sus viviendas, están vinculados con la contaminación sensorial o energética. Bueno, M. / Silvestre, E. (2009), indican que el cansancio crónico, el insomnio, la falta de concentración y el dolor de cabeza, si no están relacionados con una enfermedad declarada, es probable que exista una -eventual- exposición a contaminantes eléctricos o radiaciones provenientes del subsuelo.

En Estados Unidos, los centros para el Control y la Prevención de enfermedades (CDC) indican que otra fuente de electricidad electrostática son los plásticos presentes en infinidad de objetos y mobiliario dentro de una vivienda (Fig. 76). Asimismo, muchas de las pinturas vinílicas poseen una carga importante de estática, lo que provoca una atracción/adhesión de partículas de polvo y éstas a su vez, generen afecciones respiratorias en las vías altas. De hecho, el origen de muchas alergias son las partículas que se desprenden de los elementos constructivos y sus respectivos materiales, de ahí la importancia de elegir los que sean naturales e inocuos para los seres vivos.

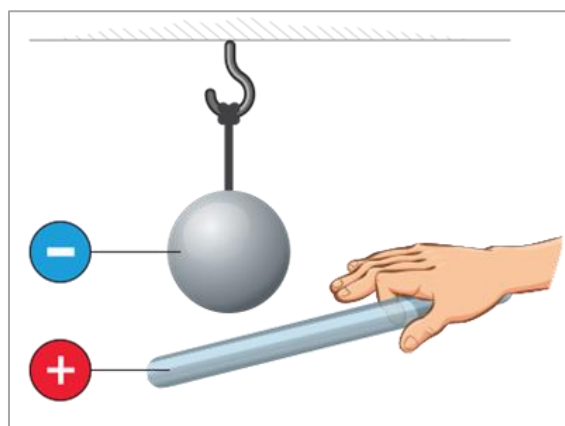


Figura 76. Electricidad y electrostática.

Fuente: <https://quimicaencasa.com/naturaleza-electrica-de-la-materia-electrizacion-por-induccion/electrizacion-por-induccion/>

4.4 Diagnóstico – Encuesta a usuarios de vivienda en la Cd. de México

De forma complementaria a la investigación bibliográfica, se realizó una encuesta a 107 personas que residen en la Cd. de México, con la intención de conocer algunas de las condiciones que imperan en sus viviendas, hábitos y la incidencia de padecimientos respiratorios recientes. Estos datos, permitieron hacer una correlación sencilla entre la habitabilidad del espacio donde viven y algunos malestares más comunes entre la población.

La encuesta se hizo a través de medios digitales del 13 al 15 de agosto de 2022.

Los resultados dieron a conocer que el 36% de las personas permanece en sus viviendas entre 7 y 12 horas. El 30% expende hasta 18 horas al interior; es decir, pasa $\frac{3}{4}$ partes del día en un espacio confinado. Tan sólo el 12% de los encuestados, pasa más tiempo al exterior.

En relación a la apertura de ventanas, el 93% indicó que lo hacen todos los días, aspecto que pone de manifiesto que puede propiciarse el intercambio de aire, de forma natural y constante.

Con respecto a la incidencia de los rayos solares al interior -de forma asidua-, el 69% dijo que sí se da, punto que ayudó a comprender que es un porcentaje bajo de viviendas (11%), el que carece de una orientación adecuada.

Uno de los datos de mayor repercusión para este tema, fue el del tipo de material con el que están recubiertos los muros y es que, según lo expresado, el 45% es de cemento y otro 45% de yeso.

Al cuestionar si han apreciado humedad/salitre en los muros, el 58% dijo que sí, algo que es bastante común, si se parte del tipo de material con el cuál están recubiertos. Y es que pese a que el clima en la Cd. de México es templado, según la clasificación del INEGI, el 87% de éste es subhúmedo y -tan sólo- el 6% de su territorio presenta lluvias torrenciales en el verano (junio-septiembre). Lo que deja como variables a considerar, la humedad por capilaridad (subsuelo) y por condensación (ventilación deficiente).

En el caso de la presencia de moho, este fue perceptible en el 21% de las viviendas.

Pasando a la sección de padecimientos, el 13% de las personas externó que a veces o de manera recurrente, siente ardor o irritación en los ojos. El 7% dijo que había experimentado alguna dificultad para respirar.

El 20% aceptó haber tenido tos en los últimos 6 meses y el 29% flujo nasal constante; cabe mencionar que estas preguntas, descartaban los síntomas propios de la COVID-19.

Finalmente, se hizo la correlación de los resultados para determinar si es que las condiciones de la vivienda y los hábitos de las personas, tienen incidencia alta o baja en sus malestares.

Como se dieron relaciones positivas débiles, entre las variables de las siguientes cuatro preguntas, se determinó que los padecimientos en cuestión, no están -del todo- determinados por el número de horas que los usuarios pasan al interior de sus viviendas, como se puede apreciar en la Fig. 77.

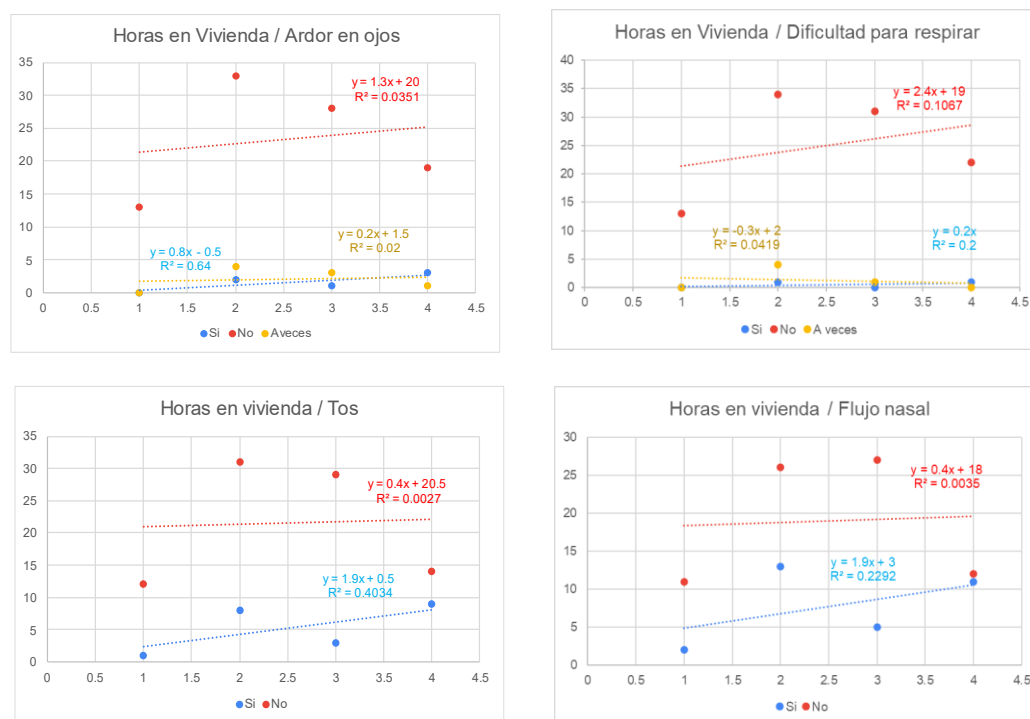


Figura 77. Relación entre variables.

Fuente: Elaboración propia.

De igual forma, se estableció que hay una relación positiva moderada entre las variables de presencia de humedad/salitre y moho, en función de la frecuencia de apertura de ventanas (Fig. 78). Por lo que este simple hábito, puede disminuir estas patologías.

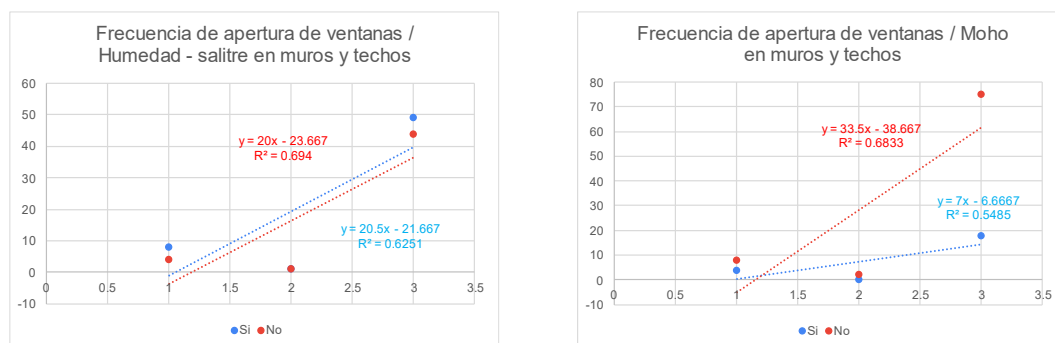


Figura 78. Relación entre variables.
Fuente: Elaboración propia.

Lo mismo sucedió con la incidencia de los rayos solares, al darse una relación negativa moderada, se establece la posibilidad de que este factor no esté vinculado con la aparición de humedad/salitre y moho (Fig. 79); es decir, todo lo contrario.

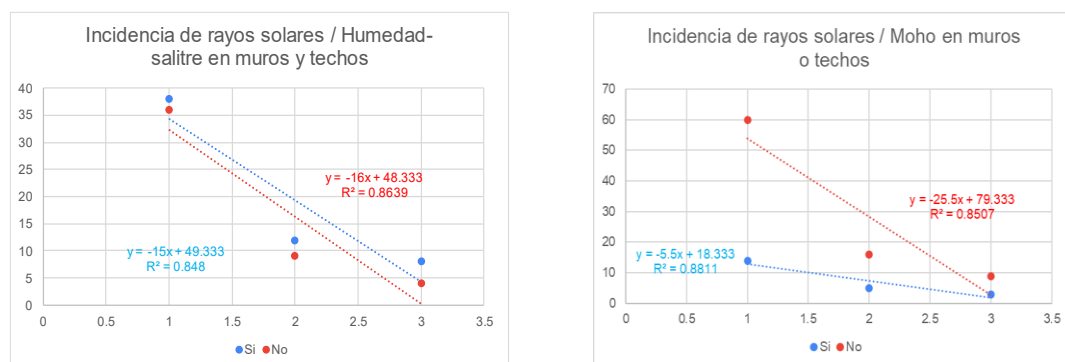


Figura 79. Relación entre variables.
Fuente: Elaboración propia.

También, se hizo la correlación de la presencia de humedad/salitre y moho, con el tipo de material que recubre los muros, característica de la vivienda que resultó tener una relación positiva débil (Fig. 80). Razón por lo que se establece, que su vínculo puede ser parcialmente relevante, para los fines que se buscan en este trabajo.

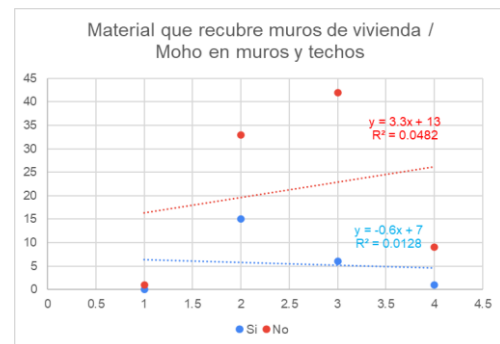
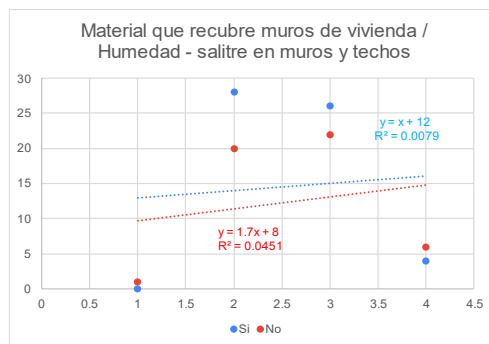


Fig. 80. Relación entre variables.
Fuente: Elaboración propia

Finalmente, se correlacionaron las variables correspondientes a los padecimientos citados (irritación en ojos, dificultad para respirar, tos, flujo nasal) con los materiales propios del recubrimiento. Los datos determinaron que hay una relación positiva pero débil, punto que evidencia que la relación se da con la presencia de patologías en muros y éstas a su vez, con el tipo de material que predomina en los elementos constructivos. Además, no se debe descartar que, en la mayoría de las viviendas, prevalece la pintura vinílica que funge como un sellador (Fig. 81).

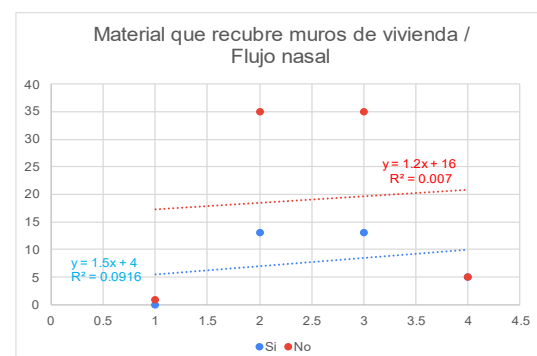
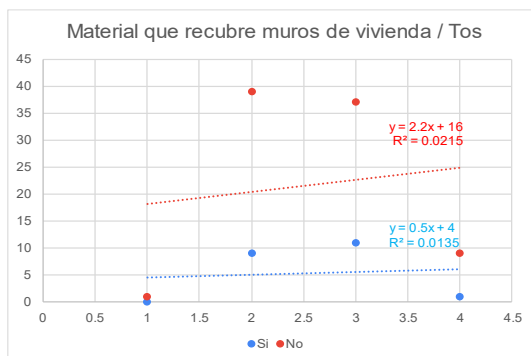
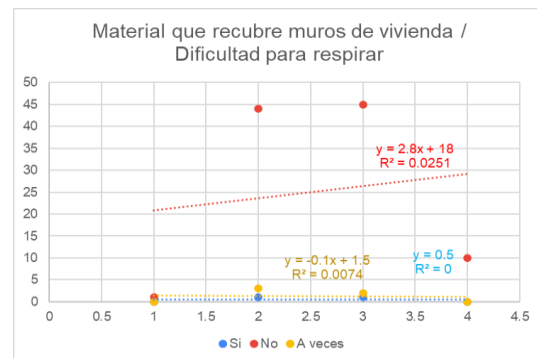
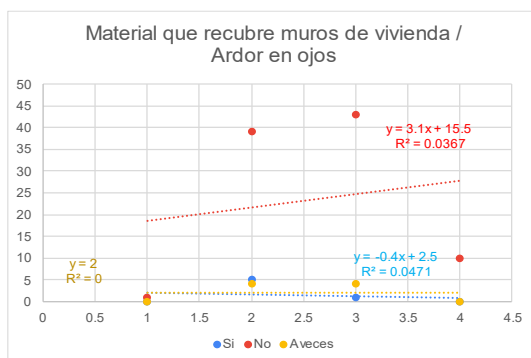


Figura 81. Relación entre variables.
Fuente: Elaboración propia.

Al término de este breve ejercicio, se identificó la necesidad de realizar de forma posterior, este tipo de encuestas con un número mayor de participantes, para no sólo conocer, sino al mismo tiempo, caracterizar lo que podrían ser detonantes ambientales - circunstanciales- de padecimientos menores; mismos, que habitualmente se atribuyen a variables de diversa índole como la biológica o cronológica. No se debe perder de vista, que el tiempo de exposición a ciertos factores o fuentes, es directamente proporcional a la magnitud del síntoma; convirtiéndose así, en un tema obligatorio en el diagnóstico e implementación de medidas de atención o tratamientos para cualquier malestar físico o incluso, mental.

Para efectos de este estudio, se optó por incluir la encuesta en el nivel básico de correlación.

Capítulo 5. Diseño bioclimático

El diseño bioclimático como proceso creativo, apoyado en el método científico, surgió de la búsqueda de nuevas opciones en la adecuación o creación de espacios saludables y confortables para los seres vivos, concibiendo su integración armónica con el ambiente circundante; al optar por el uso racional de los recursos naturales y el consumo energético eficiente.

El diseño bioclimático propone la adaptabilidad y la mitigación del efecto adverso que causan las actividades humanas, con la intención de reducir su impacto en el planeta. Porque como es sabido, la construcción es uno de los sectores que mayor afectación provoca, no sólo en el aspecto ambiental, sino también en el social, debido a que antes, durante y después de la operación de una edificación, se producen diversas alteraciones al entorno.

Según los hermanos Olgyay⁹¹, que fueron quienes acuñaron el concepto de diseño bioclimático, la arquitectura debe responder -satisfactoriamente- a los requerimientos del clima imperante; partiendo de la relación existente entre la naturaleza, el ser humano y las actividades que éste desempeña.

Al paso del tiempo, este planteamiento de diseño se ha visto influenciado por otras propuestas, sin embargo, la idea que predomina en todas, es la de la adaptación del hombre al ambiente, para aprovecharlo sí, pero también para protegerlo.

5.1 Consideraciones

Es importante decir que el diseño bioclimático tiene su más amplia referencia o inspiración en las prácticas ancestrales de pueblos originarios y de civilizaciones antiguas, que solían estudiar el entorno y sus posibilidades para establecer, no sólo los asentamientos humanos, sino también determinar las características de las

⁹¹ Profesionales de origen húngaro, pioneros del Bioclimatismo. Desarrollaron la carta bioclimática que integra a la temperatura y humedad como variantes esenciales a controlar, para el bienestar y confort de los usuarios.

construcciones en función del clima prevaleciente y de los parámetros de confort higrotérmico a lo largo del año.

En algunas comunidades, la observación y búsqueda de opciones para conseguir ganancias o pérdidas térmicas, permitieron proponer espacios que cubrían los estándares de habitabilidad al interior.

Vestigios constructivos de la antigua Grecia, revelan la adaptación al medio natural en función de la época del año. Asimismo, los romanos implementaron el uso de los espacios de forma temporal, es decir -únicamente- mientras funcionaban en determinado momento del día o del año, con el objetivo de que el usuario siempre experimentara confort.

“Al paso de los siglos y con la serie de movimientos sociales que tuvieron lugar en Europa -principalmente-, se fueron perdiendo ciertas características de habitabilidad, sin embargo, ante la presencia de problemas de salud y hacinamiento, a consecuencia de la demanda de viviendas y la falta de higiene, se cayó nuevamente en la adopción de consideraciones propias de la arquitectura de antaño, tales como la orientación y el óptimo aprovechamiento de los rayos solares.” Tovar, R. (2011:93)

Algunos autores coinciden en identificar en esta clase de construcciones un patrón de concepción con sentido común, es decir, con elementos que responden lógicamente y cabalmente a la satisfacción de una necesidad humana en específico.

Además, tal como indica Fuentes, V. (2009), este tipo de diseño tiene como principales consideraciones:

- El bienestar y confort de los usuarios.
Ambas condiciones son esenciales para preservar la vida y garantizar el desarrollo de las actividades humanas. De ahí, que sea una de las bases que soportan la propuesta bioclimática.
- El uso eficiente de la energía.
Este aspecto es primordial, no sólo por cuestiones económicas, sino también ambientales, ya que el consumo excesivo de energía representa el deterioro y

desgaste del planeta; dado que hoy en día, los combustibles fósiles continúan siendo la principal fuente de abastecimiento.

- La integración y respeto ambiental.

Cuando se promueve una integración de los proyectos al entorno, es con la clara intención de que se aprovechen los recursos naturales de la región de una forma responsable y eficiente. Esto permitirá una adaptación del ser humano y sus actividades, para que de esta manera, se mitigue el daño ambiental causado por el desarrollo de las mismas.

“[...] no se puede seguir ignorando la estrecha vinculación del hombre con la naturaleza a través de la arquitectura. Es muy importante que el hábitat sea diseñado en función de su continuo intercambio energético, para que pueda brindar a los ocupantes las condiciones de comodidad que permitan satisfacer sus necesidades psicofisiológicas. El Arquitecto actual tiene la responsabilidad de proporcionar mediante su trabajo, edificaciones que, además de hacer un uso eficiente de la energía, se integren armónicamente al entorno natural para propiciar espacios dignos, confortables y saludables para el cuerpo, la mente y el espíritu de los usuarios.”

Chávez, J. / Fuentes, V. (2000:96)

Dentro de los múltiples beneficios que ofrece el diseño bioclimático, se pueden enunciar los:

- 1.- *Sociales*.- Ya que los usuarios tienen acceso a espacios habitables porque son acordes a la región y al clima prevaleciente. Además, de experimentar confort la mayor parte del tiempo, aspecto que redundará en una mejor calidad de vida.
- 2.- *Económicos*.- El consumo energético se ve disminuido y con ello, las cuentas por pagar. La selección de materiales endémicos, propicia que haya un ajuste considerable en el presupuesto de construcción y operación de las viviendas o edificaciones.
- 3.- *Ambientales*.- Se da un uso racional de los recursos naturales y una menor dependencia al consumo energético, lo que implica que el impacto ambiental propiciado por la labor constructiva se vea mermado y en muchos casos, mitigado.

“Al día de hoy, el Diseño Bioclimático es un elemento fundamental y estratégico para la sustentabilidad del ambiente construido que requiere entre otras cosas, de ser económicamente viable, socialmente justo y ambientalmente sano.” Tovar, R. (2011:94)

5.2 Estrategias de diseño bioclimático para disminuir la incidencia de los padecimientos respiratorios propiciados por una baja calidad del aire interior

“El diseño bioclimático para poder ser aplicado, requiere de pleno conocimiento de los factores físico-geográficos del sitio en el que se contempla realizar la construcción, además de aspectos como el clima; temperatura, humedad, precipitación pluvial, radiación solar y vientos. De igual forma, son de vital relevancia, las consideraciones correspondientes a la vegetación endémica y a los materiales disponibles en la zona que se pueden emplear, ya que de la correcta selección de éstos dependerá la buena aplicación o funcionamiento de los mismos [...]” Tovar, R. (2011:95)

Por lo anteriormente citado, el diseño bioclimático necesita la implementación de estrategias y como tales, se entienden a las acciones o medidas que se implementan con la intención de conseguir un objetivo establecido; partiendo de algún parámetro o principio que permita ser acertado en las decisiones que se tomen.

A su vez, estas estrategias están supeditadas a las consideraciones descritas en el apartado previo, sin embargo, se resumen al análisis del clima para garantizar el confort del usuario y a reducir el consumo energético requerido para tal fin.

“Las estrategias básicas de climatización se relacionan con los mecanismos de transferencia de calor, es decir, con las formas en que se transfiere la energía. Los mecanismos de transferencia son: conducción, convección y radiación. Los cambios de fase (del agua), aunque no pertenecen propiamente a los mecanismos de transferencia de calor, sí involucran la absorción o desprendimiento de energía, por lo tanto, también se considera a la evaporación como parte de las formas de transferencia.”

Fuentes, V. (2004:197)

Se describen a continuación (Fig. 82):

Conducción.- Es la transferencia de calor a través de la materia sólida.

Convección.- Es la transferencia de calor que se da mediante los fluidos.

Radiación.- Se consigue por radicación solar o enfriamiento radiante.

Enfriamiento evaporativo.- Se da por el cambio de fase del agua, de estado líquido a gaseoso.

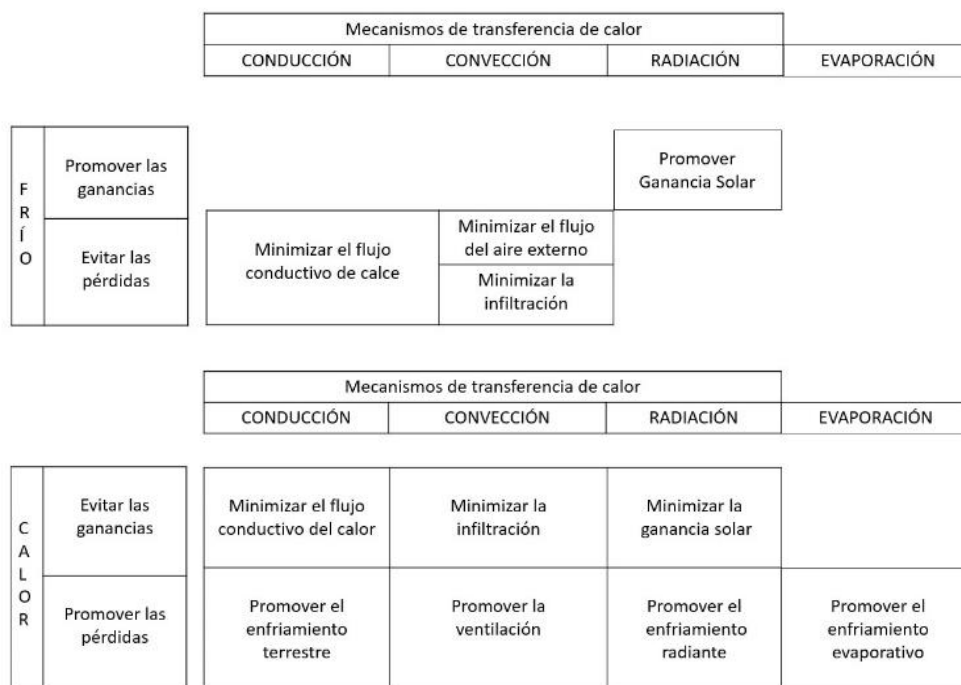


Figura 82. Estrategias básicas de diseño.

Fuente: Fuentes, V. (2004:197-198)

Fuentes, V. (2004) comparte que, para definir las estrategias de diseño requeridas en cada proyecto, es indispensable la obtención y estudio, tanto de los elementos naturales, como de las acciones a implementar para el acondicionamiento o construcción de los espacios, esto dependerá del tipo de requerimiento, pudiendo ser éste para:

- Climatización
 - Calentamiento / enfriamiento
 - Humidificación o deshumidificación
 - Inercia térmica o masividad
 - Ventilación
- Iluminación
 - Natural
 - Artificial
- Acústica
 - Acústica
 - Control de ruidos
- Control de contaminantes
 - Aire
 - Suelo
 - Agua
 - Electromagnética

“Las estrategias que el Diseño Bioclimático utiliza, son consideradas como pasivas, ya que no requieren de la energía para ser implementadas, aspecto que les otorga una especial participación en el cuidado del ambiente y en las propuestas de ahorro energético.” Tovar, R. (2011)

Aunque todas las estrategias de diseño bioclimático promueven el bienestar y salud de los usuarios, se determinó que existen algunas que ponen énfasis en la calidad del aire interior, aspecto que -sin duda- es decisivo para el fin que se persigue. Entre éstas, se incluyen las relacionados con el asoleamiento, la ventilación natural y el control de la humedad relativa al interior de los espacios, porque este último factor ambiental, afecta tanto a los seres vivos, como a los materiales de la propia construcción o mobiliario y desafortunadamente, de su mal estado de conservación, derivan muchos de los padecimientos respiratorios de que se tiene registro.

Varios autores coinciden en indicar que la humedad relativa por debajo del 40% y por arriba del 60% desencadena algunos problemas de salud. Sobre todo, porque si supera el 70% se darán condiciones para la condensación, aspecto aún más crítico.

5.2.1 Humidificación por enfriamiento evaporativo

Primeramente, se define a la humedad como la cantidad de vapor de agua que tiene el aire y ésta puede ser -como se ha mencionado en el capítulo 2- absoluta, específica o relativa.

Pese a que la humedad ambiental no es perceptible visualmente, los usuarios del espacio interior sí pueden sentir sus efectos; por eso, llegan a experimentar la falta de confort, debido al cambio de condiciones fisiológicas. De igual forma, las construcciones y el mobiliario pueden presentar patologías propias del aire seco, porque éste succiona la humedad de los materiales de los cuales se conforman, causándoles agrietamientos o desprendimientos irreparables, tal es el caso de las maderas, los papeles, los plásticos y los textiles.

La humidificación como tal, no es un requerimiento higrotérmico que deba contemplarse al interior de los espacios, ya que el comportamiento de la humedad relativa, está más en función de factores ambientales externos.

Lo que es necesario saber, es que la humedad relativa que oscila entre el 40% y el 60% tiende a disminuir la percepción de los olores y su intensidad.

Otro aspecto importante a considerar, es que los olores dejan de ser percibidos por los seres vivos en la medida en que se incrementa la humedad relativa de los espacios interiores, de tal forma que, cuando las viviendas son humidificadas, los olores se anulan o neutralizan; favoreciendo el estado de confort y salud de los usuarios.

Se debe considerar que, si la humedad relativa es baja, se tendrá la sensación de irritación en las membranas mucosas del cuerpo e incluso, de sequedad en la piel y cabello.

Por eso, la humidificación con cuerpos de agua y vegetación es una medida efectiva que en condiciones muy específicas puede ser empleada.

Asimismo, existen materiales de construcción que al ser higroscópicos, promueven la absorción de humedad y liberación “semi-controlada” de la misma, al interior de los espacios, lo que a su vez, se traduce en una mejor calidad del aire interior.

Por costumbre, se cierran ventanas cuando comienza a llover, algo que no debe hacerse, ya que la lluvia tiene la peculiaridad de oxigenar y purificar el aire interior. Cuando llueve, se presenta un olor característico que es ozono y sus partículas suelen realizar una limpieza general de los contaminantes. El ozono siempre está en la atmósfera, pero su concentración se incrementa en los días de tormenta, dado que los rayos ayudan a que se conforme. El agua de lluvia se lleva consigo la energía negativa, es por eso que hasta las personas se tornan más tranquilas después de este episodio meteorológico. Otro beneficio de la lluvia, es el olor procedente de la tierra, las rocas y las bacterias humedecidas, el efecto especial que provoca en los usuarios es de bienestar.

“Los suelos contribuyen al gaiaicor y sus olores son también más intensos justo después de llover. En el suelo es donde las criaturas terrestres han vivido, muerto y entrado en la otra vida al recuperar Gaia su sustancia y redistribuirla a las nuevas generaciones. El olor del suelo es el aliento directo de ese ciclo, cuando empieza a difundirse en el aire. Es dulce, no es estéril ni apestoso, cuando se eleva del dinamismo de la vida y la posvida en que se alimentan mutuamente, creando de forma activa el suelo y su fertilidad. Es el olor de un gran ciclo sin el cual la tierra no sería más que roca desnuda.”

McGee, H. (2021:418-419)

5.2.2 Deshumidificación por condensación del aire (punto de rocío)

Si bien, la humedad es benéfica en ciertos casos, también es cierto que en exceso limita la evaporación de ésta a través de los poros de la piel, lo que condiciona la pérdida de calor del cuerpo humano. La percepción de calor y bochorno, no dependen exclusivamente de la temperatura, sino que la transpiración corporal del individuo, es

crucial; toda vez que, con la evaporación del agua, el organismo inyecta el denominado “calor latente”, lo que representa una pérdida de calor y se experimenta frescura. Obviamente, para efectos de poder transpirar, tanto los seres vivos como los materiales de la propia construcción, necesitan que el ambiente admita o reciba ese vapor de agua que expelen los cuerpos. El problema radica en que -en ocasiones- el ambiente no está en condiciones de aceptar más vapor de agua, porque se encuentra saturado, así que la deshumidificación de los espacios es requerida para favorecer que los usuarios transpiren y dejen de sentir calor, en la medida de lo posible.

Por lo regular, esta situación se presenta en las épocas del año en que la precipitación pluvial es constante, de ahí que sea necesario promover la disminución de la humedad relativa al interior, mediante la evaporación; medida que se puede conseguir a través de la ganancia térmica por asoleamiento y la disipación del aire saturado por la correspondiente ventilación natural, ya sea por los mecanismos que promueven la ventilación cruzada o la diferencia de presión entre vanos (ventanas) a barlovento⁹² y sotavento⁹³, condición que regula la velocidad e incidencia del viento.

Los materiales higroscópicos -de igual forma- tienen afinidad con la humedad presente en el aire, por lo que resulta conveniente que la absorban y gestionen, aspecto que se consigue por el balance entre la humedad relativa del aire y la de los elementos constructivos que conforman.

Definitivamente, una adecuada humedad relativa al interior de los espacios mantiene en buen estado, lo mismo a los materiales constructivos, que a los del mobiliario. Cuando éstos enfrentan cambios ambientales bruscos, se acelera su envejecimiento e incluso, los formaldehídos se liberan y sus demás compuestos químicos, presentan descomposición o alteraciones que originan diversas afecciones respiratorias en los usuarios. Por eso, es importante mantener los rangos de humedad relativa recomendados por los fabricantes o proveedores de materiales.

⁹² Dirección de donde viene el viento, con respecto a un punto determinado.

⁹³ Dirección opuesta a aquella de donde viene el viento, con respecto a un punto determinado.

“La deshumidificación de la zona y la presurización del suelo pueden evitar la aparición de agentes biológicos, así como la penetración de los contaminantes químicos que pueda haber en el suelo.

Otra medida que hay que considerar es el sellado y control de las áreas cerradas del edificio más susceptibles a la humedad del aire, ya que la humedad puede dañar los materiales utilizados en los revestimientos del edificio, con lo que dichos materiales pueden convertirse en una fuente de contaminación microbiológica.” Guasch, J. (2000:4)

Por otro lado, la humedad relativa alta es idónea para que se generen colonias de hongos y ácaros.

En relación al confort olfativo de los usuarios, que necesariamente lleva implícita la condición de preservación de la salud, se ha identificado que cuando la humedad relativa en los espacios es más alta que en la materia o el entorno inmediatos, los olores desagradables se perciben con menor intensidad, ya que la asimilación de éstos está condicionada a la volatilización y/o vaporización de una parte de las sustancias o partículas que conforman a los materiales que las contienen. Es así, como se agudiza “el olor” de pinturas, barnices, tapices, rellenos y demás recubrimientos superficiales; llegando hasta la nariz de los usuarios, porque existe una humedad relativa mayor en la fuente que los emite; aspecto que -sin duda- resulta ser de gran daño para los seres vivos, ya que los padecimientos de las vías respiratorias altas se incrementan de forma significativa.

5.2.3 Ventilación para deshumidificación

“El olfato es el sentido más antiguo de la vida. Estando aquí solo, con la nariz abierta, se me ocurre que respirar es mucho más que hacer entrar aire en nuestros cuerpos. Es la conexión más íntima con nuestro alrededor.

[...] Respirar es absorbernos a nosotros mismos en lo que nos rodea, aspirar pedacitos de vida, comprenderlos y devolver piezas de nosotros mismos. La respiración es en esencia, reciprocidad.” Nestor, J. (2021:62)

El viento es uno de los elementos de la naturaleza de mayor importancia; no sólo para la subsistencia de los seres vivos aerobios, sino también para favorecer ciertas reacciones físicas y químicas de la vida, tal como se conoce.

El movimiento del aire es fundamental para la supervivencia del humano, de igual forma es una necesidad para permanecer en estado de confort; el aire ayuda a disipar el calor y a evaporar la transpiración.

En el diseño bioclimático, el control del aire es de gran relevancia para el bienestar higrotérmico al interior de los espacios, lo que beneficia no sólo a los usuarios, sino también a los materiales de construcción y del mobiliario.

El aire dentro de las viviendas tiene funciones primordiales:

- Mantener la calidad del aire dentro de los niveles permisibles, establecidos por la ASHRAE
- Proporcionar confort higrotérmico a los usuarios, toda vez que la ventilación natural promueve el enfriamiento convectivo y la disipación del calor por radiación, si la temperatura al interior es superior que la del exterior

Por obvias razones, la prioridad de éstas se basa en las condiciones climáticas diurnas y de cada estación en las distintas regiones climáticas.

El flujo de aire lo mismo puede ser benéfico que indebido, dependiendo del requerimiento de climatización. La magnitud del aire puede ser responsable del intercambio de contaminantes y de infiltraciones. Sin embargo, cuando se hace un adecuado control de las propiedades del aire, se impide la proliferación de bacterias o virus y la generación de olores desagradables.

De igual forma, se previene la condensación del agua al interior de los espacios y la producción de estática, esta última puede ocasionar la atracción de partículas de polvo o

impurezas del ambiente exterior que ocasionen en el usuario, padecimientos respiratorios como alergias y asma, por menciona los más comunes.

5.2.4 Asoleamiento

“El principal dios de los Incas fue el Inti, el Sol. Como creador, era adorado y reverenciado él en busca de favores y ayuda para resolver los problemas y aliviar las necesidades. Los incas adoraban a Inti porque creían que el Sol, mediante su energía, alimentaba a sus tierras.

La energía solar es la fuente de energía más abundante que está disponible en nuestro planeta. Para poder cuantificarlo, de una manera muy general, podría decirse que cada 15 minutos llega a la superficie de la Tierra la cantidad de luz solar suficiente para cubrir las necesidades energéticas de todo el mundo durante un año entero.”

Cámpora, C. (2015:15)

El asoleamiento está en función de la trayectoria o “ruta” del sol a lo largo del día, para proponerlo como estrategia de diseño es necesario conocer la posición del sol en determinados momentos y evaluar así, la incidencia de los rayos solares a través de las aberturas/ventanas o bien, las sombras que puedan generarse alrededor de la vivienda (Fig. 83).

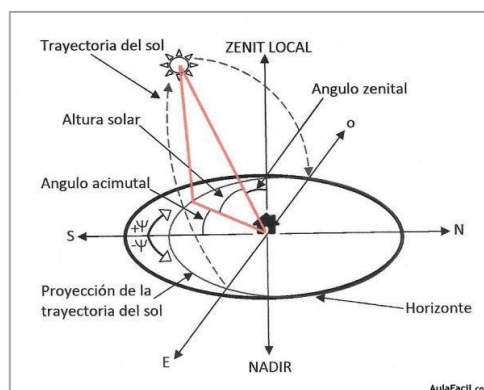


Figura 83. Trayectoria solar.

Fuente:

https://www.eoi.es/wiki/index.php/Conceptos_F%C3%ADsicos_en_Construcci%C3%B3n_sostenible_3

Lo importante de esta estrategia es anticipar las ganancias de calor, provenientes de la radiación solar, con la intención de propiciar su almacenamiento en los elementos constructivos y que el calor pueda ser disipado a lo largo del periodo nocturno, que es cuando -regularmente- las temperaturas disminuyen.

En ocasiones, es importante regular la incidencia solar y la iluminación de los espacios, porque esto puede incrementar la temperatura al interior de forma considerable. Así que, será necesaria la implementación de mecanismos de control solar, para que éstos sean manipulados dependiendo de la época del año y conseguir así, el beneficio del calentamiento -únicamente- cuando sea necesario.

De manera adicional y tal como lo ha mencionado Larrea, E. (et al.) (1995), el sol es un gran biocida⁹⁴ que tiene un efecto físico al elevar la temperatura de las paredes celulares, dañando la morfología de los microorganismos de modo irreversible. El sol calienta la capa de grasa que envuelve a los virus, al grado de provocar su desintegración. Porque los virus no mueren, sólo se aniquilan cuando se rompe su cadena de propagación. Como la gran mayoría de los virus sobreviven en ambientes oscuros, fríos y húmedos, una de las medidas para evitar la propagación de microorganismos y mejorar la calidad del aire interior, es justamente el asolamiento.

Investigadores del Instituto Nacional de Defensa Biológica Battelle en Estados Unidos, afirmaron en un estudio que -recientemente- publicaron en *The Journal of Infectious Diseases*, que la luz solar desactiva a los agentes patógenos, presentes en los espacios interiores y además, que ésta es efectiva para la desinfección de materiales no porosos que estén contaminados. Ratifican que los rayos solares son capaces de minimizar la cantidad de virus en superficies expuestas a personas con algún padecimiento viral.

⁹⁴ Elemento que permite destruir, impedir o neutralizar el efecto de cualquier organismo nocivo para el ser humano.

5.3 Bienestar y confort de los usuarios

El bienestar y confort son conceptos -íntimamente- ligados al usuario del espacio interior o de la vivienda en general: ambos parámetros, hacen referencia a un estado óptimo de existencia. Es importante decir, que se consideran seis tipos de confort:

1. Higrotérmico
2. Luminoso
3. Acústico
4. Olfativo
5. Psicológico
6. Electromagnético

Y para conocer u obtener sus rangos o límites, es conveniente utilizar herramientas de análisis como:

- La carta bioclimática
- El diagrama bioclimático
- Los triángulos de confort

Es usual pensar que, para alcanzar el confort al interior de los espacios, sólo son necesarios dos tipos de acondicionamiento, el de calentar y enfriar, dependiendo del clima y de la época del año, por supuesto. Sin embargo, una vez que se hace un estudio exhaustivo y completo sobre las condiciones climáticas de un sitio en especial, es factible determinar parámetros complementarios o -incluso- más asequibles.

La NOM-001-STPS-1999 referente a las condiciones de seguridad e higiene en edificios, locales, instalaciones y centros de trabajo (aunque no es obligatoria) indica que para experimentar confort al interior de los espacios (ámbito laboral) se debe buscar el cumplimiento de los siguientes parámetros:

- Humedad relativa entre el 20% y 60%.
- Temperatura del aire de $22^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$ para época de frío y $24.5 \pm 1.5^{\circ}\text{C}$ para época de calor.
- Velocidad media del aire que no exceda de 0.15 m/s, en época de frío y de 0.25 m/s en época de calor.
- Se recomienda que la renovación del aire, no sea inferior a 5 veces por hora.

La normativa internacional vigente establece ciertas condiciones al interior de los espacios para experimentar confort:

<i>Época</i>	<i>Temperatura (°C)</i>	<i>Humedad relativa (%)</i>
<i>Verano</i>	23-25	45-60
<i>Invierno</i>	21-23	40-50

5.3.1 Parámetros de confort higrotérmico para la Cd. de México

En este apartado se abordará única y exclusivamente el confort higrotérmico para la Cd. de México, con el objetivo de tener claridad del vínculo entre éste y la aparición de patologías en los recubrimientos que provocan afecciones respiratorias en los usuarios.

Según el Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática, la Cd. de México tiene diversos climas tal como se indica en la Fig. 84.

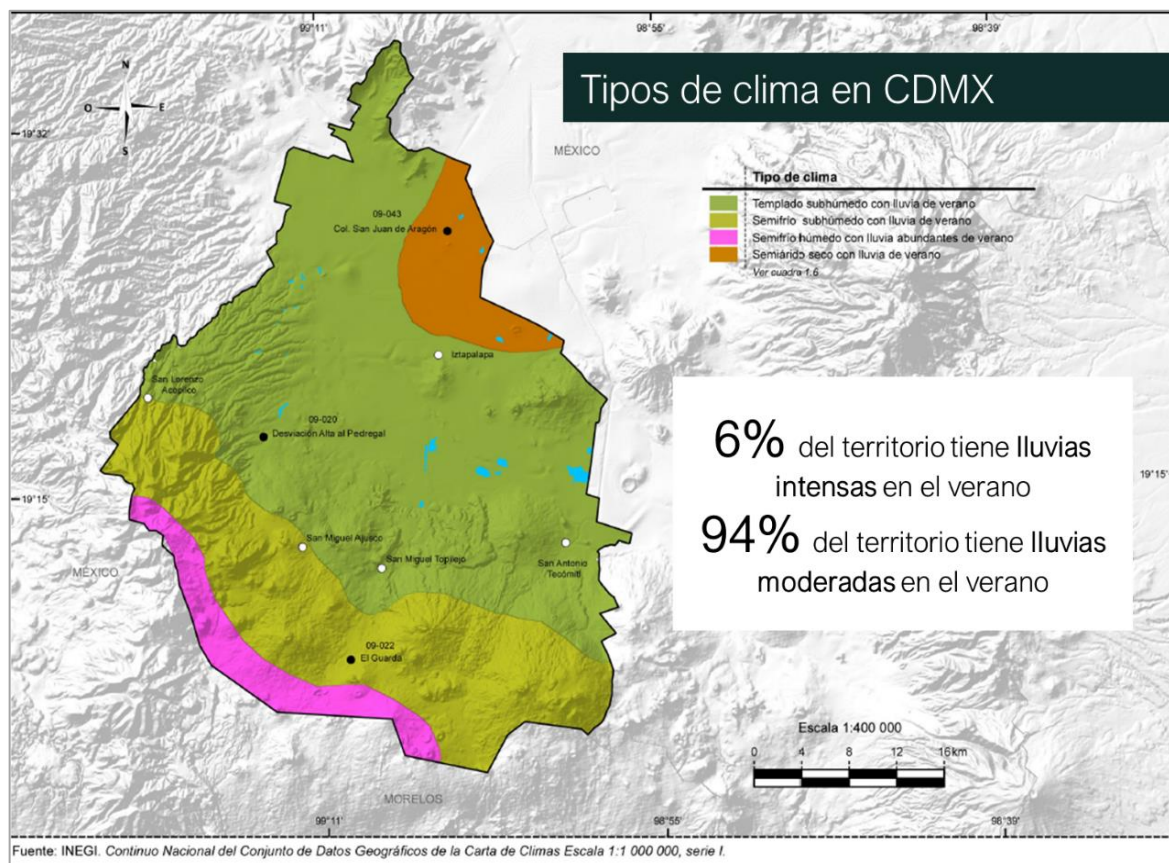


Figura 84. Tipos de clima en la Cd. de México.

Fuente: <https://www.inegi.org.mx/temas/climatologia/>

Gracias a la precipitación pluvial anual (Fig. 85) es posible establecer los criterios de humidificación o deshumidificación, según sea el caso:

- menor a 650 mm → humidificación
- mayor a 1000 mm → deshumidificación
- entre 659 y 1000 mm → estado de confort

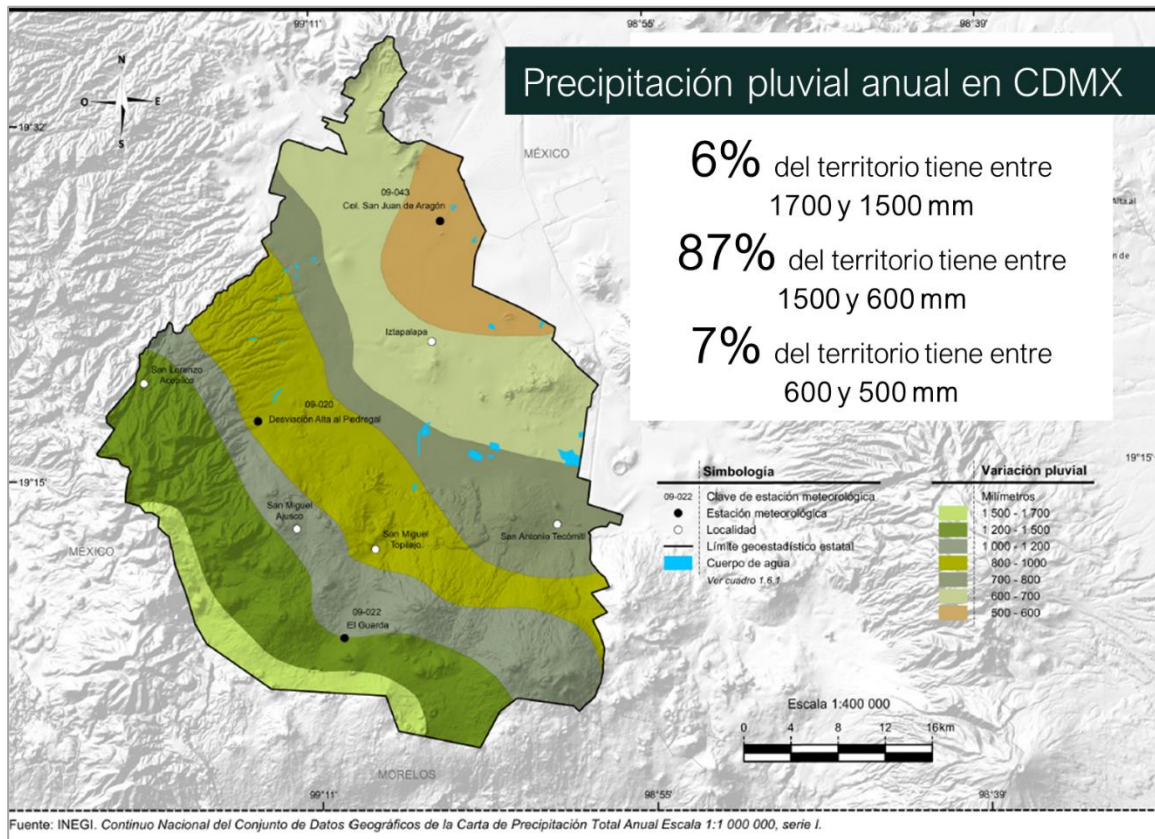


Figura 85. Precipitación pluvial en la Cd. de México.

Fuente: <https://www.inegi.org.mx/temas/climatologia/>

Debido a los rangos considerados por el INEGI, se puede inferir que, en la Cd. de México, impera el requerimiento de deshumidificar los ambientes, situación que no es difícil de intuir, si como se sabe, gran parte del territorio corresponde a un suelo lacustre; es decir, que como suele decirse, el agua es un recurso con memoria y siempre regresará a su lugar original, de ahí que la humedad sea un factor que prevalezca en la mayoría de las alcaldías que conforman la capital del país. Además de considerar las temperaturas anuales, para identificar la baja probabilidad de evaporación (Fig. 86).

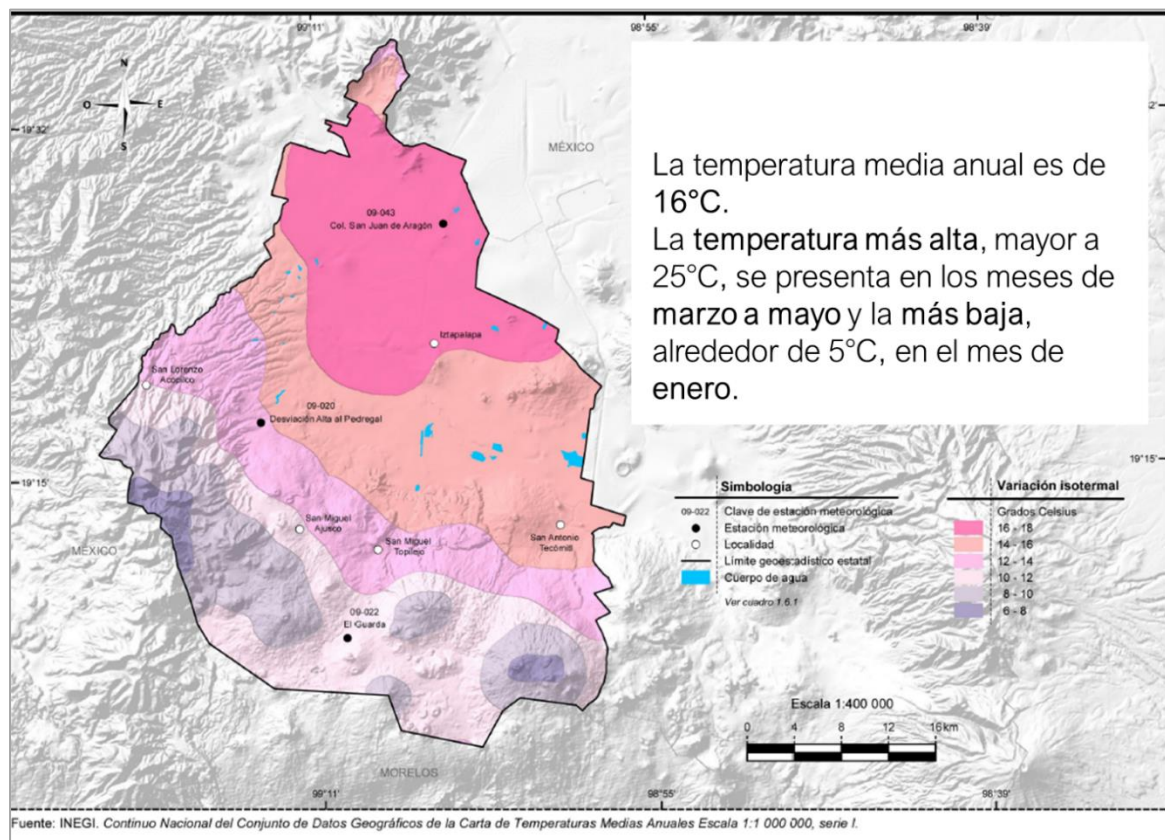


Figura 86. Temperaturas en la Cd. de México.

Fuente: <https://www.inegi.org.mx/temas/climatologia/>

Tal como describe Betancourt, G. (2011), si la transferencia de calor que tiene una interacción permanente con el cuerpo del usuario es alta, es casi seguro que se presentará una sensación de incomodidad y lo mismo sucederá con la humedad que se perciba.

Según la Norma ISO 7730, que hace referencia al confort térmico, éste es una condición mental que refleja la satisfacción del cuerpo humano ante una influencia térmica externa. Pero con la manipulación o regulación de cuatro factores clave, se puede lograr que los usuarios de un espacio experimenten confort pleno:

1. La temperatura
2. La humedad
3. El movimiento del aire
4. Las fuentes radiantes

Se sabe que el cuerpo humano genera calor y humedad, pero también los disipa en función, no sólo de sus características físicas, sino también de las actividades que realiza al interior de los espacios. De hecho, el entorno inmediato del usuario está compuesto de aire y vapor de agua, pero los seres vivos poseen un mecanismo de autorregulación que les permite mantener la temperatura y humedad requeridas para estar en equilibrio y sentirse bien, aspecto que redundará en un buen estado de salud.

De forma similar a las estrategias de diseño bioclimático para los espacios, la pérdida de temperatura producto de la combustión de los alimentos en las personas, se da mediante:

- Radiación: 43%
- Evaporación: 30%
- Conducción y convección: 25%
- El aire expirado: 2%

Esto explica por qué si la temperatura de un cuerpo se eleva considerablemente, éste comenzará a regularla a través de la evaporación, mientras que, si es lo contrario y la temperatura es baja, lo que se promoverán serán la conducción y convección.

Se ha establecido que -en términos generales- las condiciones confortables u óptimas para el ser humano son:

- Temperatura en invierno: 18° a 20° C
- Temperatura en verano: 20° a 22° C
- Humedad relativa: 40% a 60%

Es importante considerar que el aire es un factor fundamental para el confort higrotérmico, ya que el movimiento excesivo de éste, conlleva a la disminución tanto de la temperatura como de la humedad. Si el aire se mueve, aunque sea sólo un poco, habrá un desplazamiento del aire caliente y húmedo que circunda al usuario, por eso, cuando existe un exceso de temperatura y de humedad relativa, lo más conveniente es promover la ventilación o movimiento del aire.

Bien, brevemente se citarán algunas condiciones ambientales y estrategias bioclimáticas necesarias para alcanzar el confort higrotérmico en la Cd. de México, estudio que realizaron García, J.R. y Fuentes, V. (2000):

- Los meses con temperaturas más bajas son enero y diciembre; siendo las temperaturas mínimas promedio 5.8°C y 6.6°C respectivamente.
- El invierno registra condiciones de bajo calentamiento, por lo que el asoleamiento es requerido.
- La radiación solar más baja se presenta -justamente- en diciembre, mientras que la máxima concentración se da durante el día y es por la noche, cuando se presenta el mayor requerimiento de calentamiento. Se promueve el uso de la masa térmica en las construcciones, para conseguir un retardo térmico⁹⁵.
- En relación a los vientos dominantes, éstos ven modificados su velocidad y dirección debido a la urbanización que impera en la ciudad. Razón por la que, en invierno, los vientos deben ser controlados.
- Es conveniente propiciar la ventilación cruzada en épocas en donde la temperatura es más elevada, como es el caso de la primavera y el verano. Durante estos meses es importante, controlar el sobrecalentamiento por ganancias térmicas procedentes del sol, cuyos rayos tienen mayor incidencia sobre las superficies horizontales.
- Los meses más húmedos son julio, agosto y septiembre, que al mismo tiempo registran bajas temperaturas, debido al enfriamiento evaporativo del aire, bajo la radiación difusa.

Las condiciones climáticas de la Cd. de México son -realmente- benévolas para los usuarios, la mayor parte del año; por eso, el acondicionamiento de los espacios bajo el diseño bioclimático, es totalmente factible y recomendable.

⁹⁵ Inercia térmica.

“En esta ciudad se vive en estado de confort 21.8% del tiempo, mientras que sólo se requiere 77% de calentamiento.” García, J. R. / Fuentes, V. (2005:101)

Sin embargo, el calentamiento es el principal requerimiento y se puede conseguir por medio de:

- La orientación de las construcciones
- El aprovechamiento de las propiedades termo-físicas de los materiales con buena resistencia térmica
- La reducción de las ventanas para evitar la infiltración excesiva de aire frío

Por otro lado, los meses en donde el enfriamiento es necesario, se debe promover:

- La ventilación natural cruzada
- La implementación de colores blancos en las envolventes
- El uso de materiales eficientes térmicamente

Para terminar, el control de la calidad del aire tanto al exterior como al interior de los espacios, es de vital importancia para el confort y salud del usuario, así que la vegetación y (por lo expuesto en esta tesis) los recubrimientos de muros con materiales naturales, son la mejor opción.

“Es urgente y necesaria una actitud más consciente y sustentable, orientada hacia la sensata y eficiente utilización de los valiosos recursos naturales y energéticos.

En consideración a lo antes mencionado, el viento, si se utiliza sensatamente, puede proporcionar una amplia gama de satisfactores, entre los que se pueden señalar:

- *Aire fresco y puro*
- *Confort ambiental: climatización natural en diferentes climas”*

García, J. R. / Fuentes, V. (2005:11)

5.4 Vinculación de los recubrimientos superficiales en muros, el espacio interior y el clima

Como se ha mencionado en el capítulo 1, los recubrimientos de muros cumplen con diversas funciones, entre las que se destaca la de fungir como filtro de sustancias o partículas que pueden llegar a ser nocivas para el usuario. Esto se da, porque, aunque -a simple vista- no sea perceptible, los recubrimientos están compuestos por pequeñas partículas de materiales cementantes y agregados pétreos que, en contacto con el aire y el agua, desencadenan una serie de reacciones que -en la mayoría de los casos- tienen como resultado final, la segregación de los materiales y la consecuente disgregación de éstos, condición que propicia que haya un contacto directo con los usuarios.

De igual forma, se debe considerar que los recubrimientos de muros son sistemas que operan bajo parámetros muy particulares, especialmente en lo relativo al ambiente, esto, con el único propósito de que su operación sea óptima; aprovechando los cambios de estado de la materia, pero también, procesando las ganancias o pérdidas de energía.

Por eso, es que el espacio interior se ve directamente afectado con las transformaciones que sufren los materiales al paso del tiempo y bajo diversos factores como la temperatura y la humedad relativa, porque el performance que tienen los materiales de construcción depende del clima que prevalece.

“Aunque algunos de nosotros podamos tener una mayor predisposición genética a tener una enfermedad u otra, esto no significa que estemos predestinados a desarrollarla. Los genes pueden desactivarse, del mismo modo que pueden activarse. Lo que los activa son los estímulos del entorno. Mejorar la dieta, hacer ejercicio y eliminar toxinas y elementos estresantes tanto en casa como en el trabajo tiene un efecto profundo y duradero en la prevención y el tratamiento de la mayoría de las enfermedades crónicas modernas.” Nestor, J. (2021:241)

La mayoría de las construcciones tendrá un desgaste que se atribuirá -principalmente- a los años, sin embargo, ese deterioro también está supeditado a las propiedades y a la eficiencia de los materiales empleados. De ahí, que el diseño bioclimático y la

Sustentabilidad consideren que los materiales propios de la región, son los que mejor responden a los requerimientos higrotérmicos presentes a lo largo del año, porque -definitivamente- la naturaleza ha dotado a cada ser vivo de cualidades de adaptación al tiempo y al espacio. No es coincidencia que los animales, tengan un patrón de construcción sabio y en apego a las características necesarias para la subsistencia de su especie en determinado ecosistema. Lo mismo sucede con la flora, que nace, crece y permanece bajo condiciones específicas, propias de su fisiología, pero también de los recursos que predominan en su sitio de origen.

Es como si de repente se hiciera evidente que las viviendas, al igual que los seres vivos, realizan funciones que les permiten regular cada uno de los sistemas que las integran. De esta forma, es como el diseño de espacios ha cambiado a lo largo de la historia y siempre en apego a las necesidades del ser humano, el único inconveniente ha sido que ante las claras exigencias de rapidez en la ejecución, el sector inmobiliario ha optado por la simplificación de los sistemas constructivos y el empleo indiscriminado de materiales altamente industrializados, que no tienen compatibilidad con la esencia biológica de los usuarios o que no han demostrado su inocuidad, acto que -por obvias razones- lleva implícita una alteración de su salud.

Se habla del espacio interior, por ser éste en el que se realiza la mayor parte de las actividades diarias. Además, el diseño bioclimático tiene como objetivo el proveer a los usuarios de condiciones aptas para el desarrollo de la vida, buscando que el bienestar y el confort sean dos constantes, toda vez que de éstas depende la salud en sus tres variantes: física, mental y emocional.

Si bien el clima tiene gran participación en lo referente al confort y salud, es necesario decir que el clima no siempre es benéfico para los usuarios y tampoco es similar todos los días del año.

Estas dos premisas son de relevancia para determinar que una vivienda debe ser cambiante y/o adaptable para ofrecer a los usuarios condiciones óptimas para la realización de sus tareas.

La vivienda, al igual que el ser humano experimenta modificaciones y presenta patologías, cuando sus elementos o materiales se ven expuestos a factores ante los cuales reaccionan. Tal es el caso de la toxicidad ambiental o procedente de los propios materiales de construcción, el desarrollo microbiano y sobre todo, la gestión de humedad. Obviamente, existen materiales que poseen características que les permiten hacer frente a las amenazas que representan las sustancias tóxicas, los microorganismos y la humedad, esto motiva a que la selección de materiales en función del clima, sea un criterio primordial del diseño bioclimático.

“Es inminente que el Diseño Bioclimático como disciplina ejecutada por y para el ser humano, tiene un impacto social y cultural de gran relevancia para la humanidad.”

Tovar, R. (2011:112)

Ya que como se analizó a lo largo de este estudio, los factores ambientales tienen una estrecha relación con la eficiencia de los materiales, el correcto funcionamiento de los espacios y el estado de salud de los usuarios.

No es casualidad que algunos pueblos hayan implementado ciertas medidas con la intención de hacer más llevadera la existencia, en épocas en las que los sistemas constructivos eran básicos, simples y pasivos, ante la ausencia de mecanismos o tecnologías que permitieran la climatización activa, por ejemplo.

Los hititas solían recubrir sus viviendas con cal para facilitar que las superficies transpiraran, perdieran humedad y tuvieran mayor durabilidad, además de que al ser de color blanco se reflejaban los rayos solares y se evitaba el deterioro acelerado, ocasionado por la radiación ultravioleta.

Los antiguos rusos solían recubrir las tumbas con pastas de cal, para evitar enfermedades por propagación de bacterias o microorganismos producto de la descomposición de los cadáveres.

Pudieran parecer hechos aislados o insignificantes, sin embargo, está debidamente documentado que, en siglos pasados, la construcción obedecía a un aprovechamiento

racional de los recursos, es decir, el análisis y estudio de éstos, era de gran ayuda, al momento de determinar la viabilidad de su uso ante un clima u otro.

“Con lo anterior, se puede determinar que, para la aplicación de los principios del diseño bioclimático, es imprescindible aplicar aspectos del desarrollo sustentable, ya que la sociedad, la economía y el ambiente tienen una relación entre sí y son -de alguna forma- determinantes para la preservación de la especie humana.

Al día de hoy, se debe evaluar el proceder constructivo y su impacto en el ambiente, ya que se estima necesaria una corrección o ajuste de aquellas prácticas que no han sido del todo eficientes, lo que permitirá conformar una tendencia propia con implicaciones acordes a la realidad [...]; es decir, crear mediante el espacio arquitectónico, la identidad o concepto de sociedad responsable y comprometida con el entorno, que sirva como referencia para las siguientes generaciones.” Tovar, R. (2011:113-114)

Algunas consideraciones importantes que enuncian García, J.R. y Fuentes, V. (2000) son:

- Estudio de las condiciones climáticas y entorno natural circundante
- Empleo de materiales de construcción naturales o de baja intensidad energética⁹⁶
- Reducción del consumo energético
- Balance energético de la construcción o vivienda en cada una de las etapas de su vida útil
- Confort, habitabilidad y salud.

5.5 La vivienda saludable

Desde hace tres décadas, tanto para la Organización Mundial de la Salud (OMS), como para la Organización Panamericana de la Salud (OPS), la vivienda ha sido considerada como un detonador de la salud de los usuarios. Siguiendo esa directriz, definieron a la vivienda como el refugio del individuo; su hogar. Asimismo, establecieron que la vivienda

⁹⁶ Indicador de la eficiencia energética, que se calcula con la relación entre el consumo energético y el producto interno bruto de un país.

saludable es un espacio que fomenta la salud, mediante la protección de la integridad de las personas ante la presencia de riesgos procedentes del entorno social y ambiental. Este tipo de espacios debe procurar la salud física, mental y emocional de los usuarios, para que éstos vivan en armonía tanto individual como colectivamente.

La OMS indica que las condiciones de la vivienda pueden incrementar la salud o provocar la enfermedad de los usuarios, dependiendo de su grado de voluntad, de conciencia y hasta de los recursos materiales de que disponen. Por otro lado, el desarrollo físico, social y mental de las personas también está íntimamente ligado con la seguridad, la higiene, la comodidad y la privacidad que experimentan al interior de los espacios.

En 1987, la OMS, preocupada por la identificación de los factores de riesgo para la salud, asociados a la dinámica habitacional, laboral y ambiental, creó una comisión para implementar una política de *vivienda saludable*, que se basa en la estrategia de promover los espacios saludables -primeramente- en las comunidades más vulnerables y en seguida, en aquellos países donde el rezago de viviendas es aún significativo.

Es así como, en países centroamericanos se han puesto en práctica jornadas de diagnóstico en el sector habitacional, pero también de capacitación y desarrollo participativo, en donde se busca concientizar a la población en temas tan relevantes como la higiene personal y el aseo de los espacios, así como en la preservación y mantenimiento de los mismos, con la intención de que sean los propios usuarios los que puedan intervenir la vivienda con cierta periodicidad y garanticen su óptima operación.

El principal objetivo de estas iniciativas es el de elevar la calidad de vida de las personas y contrarrestar la aparición o presencia de ciertas enfermedades, principalmente las que se vinculan con la transmisión, por convivencia o permanencia en determinado espacio. Por otro lado, la OMS ha indicado que la principal causa de muerte para el 2050 serán las enfermedades de tipo viral, condición que manifiesta la necesidad de monitorear y mejorar el tipo de aire que se respira, tanto al exterior, como al interior de los espacios.

“Garantizar una vida sana y promover el bienestar de todos a todas las edades es importante para la construcción de sociedades prósperas.”

ODS. O.3. Salud y bienestar (2016:01)

Se dice que, a pesar de los esfuerzos realizados en México, específicamente en el sector habitacional, mismo en el que se destacan acciones como la construcción de viviendas y el fortalecimiento del marco legal o normativo, aún existen retos importantes en lo relativo al Desarrollo Sostenible, en donde la inclusión social, el crecimiento económico y la protección ambiental son los ejes rectores.

Así que la ONU-Habitat ha propuesto 6 estrategias para que México pueda cumplir con los compromisos adquiridos en la Agenda 2030, en materia de vivienda.

Estas, se enuncian rápidamente con la intención de identificar el papel que juega un elemento tan “simple” como lo es la vivienda:

- 1.- Impulsar la vivienda social intraurbana
- 2.- Favorecer el acceso de los grupos vulnerables a la vivienda adecuada
- 3.- Fomentar la vivienda social en renta
- 4.- Intervenir el tejido urbano deficitario
- 5.- Reducir el impacto ambiental de la vivienda e incrementar su resiliencia
- 6.- Optimizar el ciclo de vida de la vivienda

Esta última da la pauta para indicar que, en el Acuerdo de Paris, México se comprometió a reducir el 22% de las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) para el año 2030, por lo que se ha instrumentado un plan en el que el involucramiento de la industria de la construcción, -específicamente- la que atiende al sector habitacional resulta ser fundamental para alcanzar tal objetivo.

“El sector de la vivienda ofrece un campo de oportunidad para reducir emisiones contaminantes directas en todo su “ciclo de vida”, desde su producción (extracción, manufactura

y transporte de materiales o productos de construcción, así como con procesos de diseño arquitectónico, edificación y disposición de residuos) hasta su fin de vida (demolición, transporte y gestión de escombros), pasando por su uso cotidiano (consumo de energía y agua, mantenimiento y remodelación de espacios).”

ONU-Habitat / INFONAVIT. (2018:296-297).

Por ejemplo, se identificó que el cemento es el material de construcción que mayores emisiones de GEI reportó en el año 2000 un 41.8 % y en el 2015 un 46.8 % según la ONU-Habitat con datos de Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático (INECC). Este es uno de los materiales que se utiliza no sólo para la elaboración de concreto, sino también para las mezclas de albañilería empleadas en el junteo de piezas de mampostería y el recubrimiento de superficies. Paradójicamente, es uno de los cementantes que representa una afectación directa al usuario, toda vez que la gestión de la humedad y el desarrollo microbiano, así como la toxicidad son factores que tienen incidencia en la salud, tal como se pudo exponer en esta tesis.

Otro de los aspectos que representa un problema ambiental, es el relacionado con la disposición final de los materiales o construcciones y es que, tal como lo reporta la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT), en un periodo de 6 años, es decir, entre el 2006 y el 2012, los residuos de construcción por efecto de demolición y/o desechos, fueron de alrededor de 6.1 millones de toneladas, ocupando la tercera posición del total de residuos producidos a nivel nacional.

La disposición final de las construcciones y sus elementos, es algo que aún no se ha definido, lo que pone en clara desventaja a la población, porque muchos de los residuos se vierten de forma irresponsable, cerca de los asentamientos humanos y como se ha enunciado en apartados previos, los materiales de construcción son susceptibles de experimentar transformaciones físicas y químicas, lo que implica que haya una disipación de agentes contaminantes; no sólo en el aire, sino en el agua también.

Finalmente, no por ser menos importante, se destaca la huella hídrica, misma que corresponde al consumo de agua a lo largo de las fases del ciclo de construcción, desde que se conciben los sistemas de la vivienda hasta que éstos, se ponen en operación.

El abastecimiento de agua apta para el consumo humano, es un requisito para evitar la propagación de enfermedades entre la población. Eso sin mencionar, que de este recurso, dependen -en cierta medida- las tareas de limpieza y aseo personal.

“[...] Las viviendas con instalaciones adecuadas de calefacción, ventilación y espacio suficiente contribuyen de manera directa a la reducción de enfermedades (meta 3.3) y al bienestar físico y mental de sus ocupantes (meta 3.4), así como a la reducción de muertes por químicos peligrosos y por la polución y contaminación del aire, el agua y el suelo (meta 3.9).” ONU-Habitat / INFONAVIT. (2018:62)

En México, según el Programa Nacional de Vivienda 2019-2024 de la Comisión Nacional para la Vivienda (CONAVI) una vivienda habitable es la que contempla o garantiza la seguridad física de las personas y les proporciona el espacio requerido para el desarrollo de sus actividades, al mismo tiempo que les brinda protección contra el frío, la humedad, el calor, la lluvia, el viento y otros riesgos para la salud o peligros derivados de la propia construcción.

Por otro lado, dicho documento indica que, como parte de la habitabilidad, se debe considerar la vulnerabilidad física de la vivienda; es decir, una porción importante de lo que se denomina como rezago de las viviendas deriva de las condiciones estructurales y de ubicación, mismas que las hacen inadecuadas para cumplir con su función original.

Maimunah Mohd Sharif⁹⁷ expresa que en el marco internacional de los Derechos Humanos se reconoce el derecho de todos a tener, un nivel de vida acorde a sus requerimientos, aspecto que incluye -por supuesto- una vivienda digna, ya que ésta contribuye al incremento de la calidad de vida y redunda en el bienestar.

⁹⁷ Directora Ejecutiva de la ONU-Habitat.

Para la ONU-Habitat (2018), se podría decir, -incluso- que la Nueva Agenda Urbana se concibe como un facilitador de los 17 Objetivos de la Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible (Fig. 87), porque genera un eje rector fehaciente en torno a la necesidad individual de una vivienda adecuada al contexto social, económico, ambiental y cultural de cada región; justamente, encaminando este esfuerzo, a algo que va más allá de la concepción habitual de construir un cuarto con cuatro paredes y un techo.



Figura 87. Objetivos de Desarrollo Sostenible.

Fuente: <https://www.lasciudadesinteligentes.com/transformacion-digital/ods-objetivos-desarrollo-sostenible-compromiso/>

5.6 Normatividad referente a vivienda

En México, durante los últimos años, se han impulsado programas y normas que tienen como objetivo mejorar las condiciones de vivienda, tanto a nivel de operación y/o funcionamiento como de consumo energético.

Se integra una breve descripción de algunos de ellos:

- Código de Edificación de Vivienda (CEV)

Fue creado por la CONAVI en el año 2007 con la intención de regular la edificación de vivienda, para que sea habitable, segura y sostenible. Establece estándares de calidad y

de consumo energético, definiendo criterios de construcción y servicios urbanos requeridos. Es un instrumento que se ha consultado para el desarrollo de diversos reglamentos de construcción.

- Norma Mexicana NMX-AA-164-SCFI-2013 para la Edificación Sustentable

Contempla criterios y requerimientos ambientales para la construcción habitacional y no habitacional, con la finalidad de contribuir a la mitigación/reducción de los impactos ambientales y al fomento del uso racional de los recursos naturales. Cabe señalar que es una norma voluntaria, por lo que sus criterios se apegarán a la normatividad vigente y aplicable en cada caso.

- Sistema de Evaluación de la Vivienda Verde (SISEVIVE-ECOCASA)

Es una herramienta desarrollada en el 2013 por el Instituto del Fondo Nacional de la Vivienda para los Trabajadores, el Ministerio de Cooperación para el Desarrollo con sede en Reino Unido, la Agencia Alemana de Cooperación al Desarrollo (GIZ) y el Banco Interamericano de Desarrollo (BID). Busca impulsar la construcción de vivienda eficiente hídrica y energéticamente, mediante la evaluación de los elementos constructivos y tecnológicos de mayor relevancia o beneficio para los usuarios, los desarrolladores y promotores de este sector.

- Acciones Nacionales apropiadas de Mitigación (NAMA)

Son mecanismos diseñados para que los países -considerados como- emergentes, determinen sus prioridades o intereses económicos desde una perspectiva inminentemente sostenible. Promueven que los modelos de construcción se apeguen a las zonas bioclimáticas y sean eficientes en el aspecto energético, pero también que contribuyan al control de las emisiones de gases de efecto invernadero.

- Herramienta de Evaluación de Entorno de la Vivienda (HEEVI)

Es un instrumento desarrollado en 2015-2016 por Sociedad Hipotecaria Federal (SHF) y el Centro Mario Molina, que evalúa las condiciones del entorno urbano para que, en función a estas, se otorgue el financiamiento para viviendas sustentables.

- Hipoteca Verde

Programa de INFONAVIT, creado en el 2007, que promueve la eficiencia energética e hídrica en las viviendas. Funciona mediante la asignación de una cantidad de dinero adicional al crédito original, mismo que será pagado con el ahorro sustancial que se da por el menor consumo de recursos.

IV. CONCLUSIONES, PROPUESTAS, RECOMENDACIONES Y APORTACIÓN

Para concluir este estudio, se emiten los siguientes argumentos:

Efectivamente, las características físicas/químicas de los materiales conglomerantes, son capaces de detonar o controlar la aparición de patologías y reducir el tiempo de vida útil de los recubrimientos de muros.

Algunos materiales que no son tóxicos, pueden estar en contacto con el agua y no colapsar o deformarse, porque tienen la capacidad de gestionar rápida y eficientemente la humedad. También, hay materiales que carecen de nutrientes atractivos para microorganismos y que inhiben su proliferación; el conocimiento de estas propiedades, ha permitido que se sigan usando al paso del tiempo, porque son una buena opción tanto en el aspecto económico como en el social.

Se deben seleccionar materiales de distinta porosidad, dependiendo el clima en el que se emplace la obra. Esta clasificación puede ser:

- No poroso
- Semi-poroso
- Poroso

De esta condición, dependerán -básicamente- su nivel de capilaridad y su eficiencia para la gestión de la humedad, así como para la conservación de la cohesión entre las partículas y hasta para la regulación térmica. Estos aspectos redundan en un buen estado de preservación de los elementos constructivos; por ende, en la calidad del aire interior y en la salud de los usuarios. Por eso, se concluye que *la conservación de los muros, sí depende del tipo de recubrimiento que éste tenga.*

Según se constató, la cantidad de vapor de agua que se puede gestionar desde un muro es mínima, pero es suficiente para promover su evaporación y con ello, evitar la aparición de patologías en el muro, que propicien afecciones respiratorias en los usuarios.

Se determinó que es importante tomar en consideración la profilaxis⁹⁸ de los materiales, entendiéndose ésta, como la acción preventiva de las enfermedades infectocontagiosas, además del control de su propagación, toda vez que la salud de los usuarios es prioritaria. Asimismo, es conveniente buscar que los recubrimientos de muro tengan un alto coeficiente de difusividad, ya que deben permitir el paso de vapor y restringir el del agua; obviamente, esta capacidad se ve modificada por la temperatura, la presión y la naturaleza de los demás componentes de los elementos constructivos, pero de esta forma se propicia *la regulación de los factores ambientales al interior de los espacios.*

Los materiales higroscópicos tienden a mejorar la calidad del aire interior porque promueven el balance de los altos niveles de humedad en los espacios. Estudios comparativos de la *Baubiologische Baustofflehre + Bauphysik* revelan que mientras un recubrimiento con cal absorbe -aproximadamente- 1.8 kg/m² de vapor de agua, en un ambiente con humedad relativa del 50%, un recubrimiento hecho con yeso, tan sólo puede captar 0.09 kg/m².

⁹⁸ De origen griego *prophylaxis*, *pro* significa antes, *phylax* guardián y *sis* que indica acción. Por eso, se entiende como la prevención de enfermedades.

Los recubrimientos de muros, deben ser diseñados y ejecutados en función de las condiciones climáticas que prevalecen, pero también de los factores socio-económicos más relevantes para cada proyecto. Con esto, se hace referencia no sólo a las actividades que se realicen en el espacio, sino también, al consumo energético estimado o factible en cada caso.

El aspecto más vulnerable en este sentido, seguirá siendo el relacionado con la conservación de los elementos constructivos, la calidad del aire y el bienestar o confort higrotérmico que se pueda experimentar al interior de los espacios. Por eso, se resalta la necesidad de que los rangos de humedad relativa se mantengan en los niveles recomendados, tanto por la OMS como por la ASHRAE, esto con la intención de disminuir la vulnerabilidad de los usuarios ante la presencia microbiana, patológica, mineral o tóxica en los recubrimientos de muros, ya que según lo expresado en este documento, *un desempeño deficiente de los recubrimientos superficiales en muros, puede afectar la calidad del aire interior e incrementar los padecimientos respiratorios.*

Otro punto que se identificó, fue la conveniencia de inducir la transpiración, porque una vivienda que transpira, es una vivienda saludable.

Finalmente, se debe mencionar que una vez que se conocen los alcances y la función que cumplen los materiales involucrados en un recubrimiento de muro y en la construcción en general, se está en condiciones de comprender que una vivienda va más allá del espacio físico en el que se realizan actividades diarias, es una extensión del cuerpo humano y del ambiente, así que requiere de un buen estado de conservación para asegurar que los usuarios no estarán en peligro; no solamente porque ésta pueda colapsar y/o caer -como se suele pensar-, sino también porque toda la materia con la que se interactúa es susceptible de descomposición y causante de graves afectaciones. Así que lo más recomendable es procurar que el diseño de las construcciones siga patrones de acondicionamiento pasivo que promuevan la auto-regulación de los factores ambientales al interior de los espacios y al mismo tiempo, que sean un referente para revertir la dependencia energética que tanto afecta al planeta.

A manera de propuestas se integran:

1. Los recubrimientos de muros de una construcción deben tener como misión, no permitir el paso del agua y expulsar la que se haya filtrado. El vapor de agua, debe transitar libremente por ellos.
2. Con el uso de recubrimientos de muros con alto nivel de porosidad-capilaridad, se debe revisar que el agua y el vapor no queden atrapados al interior de los materiales soporte.
3. Se debe recordar que los materiales de construcción porosos gestionan la humedad, mediante la difusión del vapor de agua, pero además, -eventualmente- pueden neutralizar olores y agentes tóxicos, lo que es de vital importancia para mantener la calidad del aire interior en niveles óptimos.
4. Si se caracterizara el funcionamiento higrotérmico de los recubrimientos de muro, éste deberá integrar la velocidad de transferencia de humedad del interior al exterior; considerando además, que la permeabilidad (conductibilidad hidráulica, según la Ley de Darcy) de las capas y materiales involucrados, variará en función de la temperatura y humedad relativa del ambiente.
5. Existen materiales de bajo impacto ambiental como la tierra y la cal, que desde tiempos remotos y en distintas latitudes han sido empleados en la construcción de espacios saludables y eficientemente higrotérmicos. Ambos, son de origen natural y poseen características benéficas para la conformación de recubrimientos de muro; siendo la adherencia y trabajabilidad, condiciones que facilitan su aplicación y permanencia sobre las superficies. Además, su desempeño permite que la calidad del aire interior sea mejor, porque gracias a la conformación de una red capilar, se da el flujo permanente no sólo de aire, sino también de humedad, generando muros y entornos asépticos.
6. El diseño bioclimático debe fundamentarse en el hecho de que los seres vivos guardan una intrínseca relación con todo aquello que se adapta al funcionamiento de los ciclos biológicos, esto redundará en mejores condiciones al interior de los espacios; al promover mayor calidad del aire y en consecuencia, mayor salud o bienestar en las personas.

Como parte de las recomendaciones para reforzar la tesis desarrollada, se indica lo siguiente:

- Llevar a cabo mediciones de otro tipo de contaminantes al interior de los espacios, como el dióxido de carbono y el ozono, durante un periodo extenso (años), para ampliar el análisis estadístico e identificar una tendencia estacional. Ambos gases están presentes al interior de los espacios y es importante promover su disipación o bien, su neutralización, en caso de que la primera no sea viable. Obviamente, esto implicaría el monitoreo con ayuda de equipos especializados y al mismo tiempo, la intervención de profesionales en el área química y médica, para contar con el respaldo y la creación de vertientes -claramente- orientadas a la mejora de la calidad del aire interior y la reducción de la incidencia de padecimientos respiratorios en los usuarios, pero desde la perspectiva del uso de materiales de construcción adecuados e inocuos para los seres vivos.
- Determinar mediante mediciones complementarias, cómo la calidad del aire interior (CAI) está supeditada a la zona urbana/rural de emplazamiento, así como a las actividades antropogénicas, al número de personas que alberga el espacio, al tiempo de permanencia y exposición a las fuentes de contaminación y a la eficiencia operativa del intercambio de aire, propuesto. Porque se ha previsto, que estas variables brindarían la posibilidad de conformar un mosaico de combinaciones en las que la identificación de ciertos malestares respiratorios en los usuarios, resultaría ser, más que evidente. Como se mencionó en este estudio, es relevante el determinar el grado de incidencia de estas consideraciones en la detonación de enfermedades que se atribuyen mayoritariamente a la genética y predisposición subyacente del individuo. De igual forma, se requerirá de la conformación de un equipo interdisciplinario y de la colaboración del sector privado para financiar algunas de las etapas de mayor inversión, como la compra de equipo y la de integración de propuestas que permitan la sustitución parcial o total de todos aquellos materiales de construcción que atentan contra la salud.

La aportación de este estudio se basa en la validación de la etiología para conocer los factores que tienen injerencia en la aparición de enfermedades de tipo respiratorio, relacionadas -principalmente- con los elementos y materiales constructivos, presentes en una vivienda o espacio interior.

De esta forma, se determinó que en el caso de las enfermedades respiratorias causadas por una baja calidad del aire, se está hablando de la correlación de factores:

- *facilitadores*, como el uso de determinados materiales para el recubrimiento de muros.
- *desencadenantes*, como sería estar en presencia de humedad, salitre, moho y polvos o material particulado.
- *potenciadores*, como es la presencia constante o permanente a los agentes del rubro previo.

En función de las categorías médicas, el objeto de estudio de esta tesis fueron las enfermedades que tienen una **causa exógena, ambiental y multifactorial**.

Por lo regular, se vincula la aparición de padecimientos respiratorios con factores como la exposición constante a la contaminación ambiental, el desarrollo de alergias estacionales y el debilitamiento del sistema inmunológico. Es difícil pensar que la presencia de malestares, se debe a las actividades o permanencia de la persona en un determinado espacio interior. No se contextualiza o relaciona el origen de las enfermedades respiratorias al tipo de vivienda, origen de los materiales y características del mobiliario existente; mucho menos al diseño o distribución de las ventanas/puertas y a las deficiencias operativas de los elementos constructivos.

Para muchas personas, no existe la posibilidad de que la materia “inerte” reaccione ante factores ambientales o envejezca y falle. Este proyecto demostró, cómo los materiales y elementos constructivos pueden “enfermar”; es decir, presentar patologías que a su vez, enfermarán a los usuarios del espacio.

El ser humano, no sólo es lo que come mediante la ingesta, también es lo que respira y percibe a nivel sensorial; un tema, que da para futuras incursiones e invita a profundizar en el estudio de materiales desde enfoques con un claro sesgo social y económico, porque la responsabilidad del bienestar, es algo que involucra a los académicos e

investigadores, pero también a quienes toman decisiones, proponen normatividad, producen y también, a quienes consumen o simplemente, habitan un espacio.

Se torna conveniente que como sociedad, se asuma que la conservación de los recubrimientos de muro, es uno de los factores de mayor impacto en la calidad del aire interior y en consecuencia, del bienestar o salud de los usuarios. Por eso, la necesidad de seleccionar los materiales adecuados para la función del espacio y clima imperante; evitando así, la aparición de las patologías investigadas en la presente tesis.

La principal limitación a la que se enfrentó esta investigación fue -sin duda- la emergencia sanitaria del 2019. El aislamiento y la falta de interacción con profesionales de la construcción e investigadores complicó primeramente, la realización de prototipos de muro, de mayor dimensión y en seguida, el intercambio de opiniones para enriquecer el planteamiento inicial.

Además, cuando se cuestionó a las personas sobre padecimientos respiratorios, se tuvo que hacer énfasis en la no consideración de la sintomatología propia del contagio por COVID-19; algo que resultó ser ambiguo porque nunca hubo un criterio certero de valoración de síntomas provocados por esa enfermedad, pudiendo ser confundida por cualquier otra, de menor gravedad.

Quizá, para el estudio o análisis de condiciones de calidad del aire interior e identificación de padecimientos respiratorios, se requiera de medios de mayor confiabilidad que la mera percepción del usuario. Sin embargo, en ocasiones, ésta es crucial para determinar el grado de afectación de algún estímulo químico e incluso físico, en el ser humano.

Así que, en lo sucesivo, se deberá ponderar la incidencia o vulnerabilidad del factor a evaluar en el usuario, pero en función de la condición de mayor “peso” para la investigación de que se trate.

V. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Academia Española de Dermatología y Venereología (2017). *El exposoma: los factores que influyen en el envejecimiento de la piel*. España.
2. American Lung Association/American Medical Association (2014). *Indoor Air Pollution. An introduction for Health Professionals*. EE.UU.
3. ANSI & ASHRAE (2017). *Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy*. USA.
4. ASHRAE - American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, Inc. (2009). *Indoor Air Quality Guide. Best Practices for Design, Construction, and Commissioning*. EE.UU.
5. ASHRAE - American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers (2016). *Position Document on Limiting Indoor Mold and Dampness in Buildings*. EE.UU.
6. ASHRAE. (2009). American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers. *Handbook of Fundamentals*. Disponible en: <http://doi.org/10.1039/c1cs15219j>
7. Auras, M. (2008). *Poultices and mortars for salt contaminated masonry and stone objects*. Institute for the conservation of stone. Germany.
8. Betancourt, G. (2011). *Factores que deterioran el confort térmico en los vagones del Metro de la Ciudad de México*. Tesis para obtener el título de Ingeniero Mecánico. Facultad de Ingeniería. División de Ingeniería Mecánica e Industrial. Universidad Autónoma de México. México.
9. Blanco, C. (2020). Cerebro y mística. Ideas y Valores Vol. LXIX no. 172. Bogotá, Colombia.
10. Bostock, R. (2021). *El gran libro de la Respiración*; Gaia Ediciones. España.
11. Bueno, M. (2001). *Una década fomentando un hábitat saludable*. GEA. España.
12. Bueno, M. (2006). *El libro práctico de la casa sana*; Editorial Integral / RBA Libros, España.
13. Bueno, M. / Silvestre, E. (2009), *Casa Saludable*; Libros Cúpula-Scyla Editores, España.
14. Cámpora, C. (2015). *Rey Sol*. Revista de Investigaciones Agropecuarias. Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria. Argentina.
15. COGUANOR (2012). NTG 41050. Norma Técnica Guatemalteca. *Mortero de pega para unidades de mampostería*. Especificaciones. Guatemala.
16. Consejo General de la Arquitectura Técnica de España. (2022). *Estudio sobre la calidad del aire interior en viviendas*. Universidad Politécnica de Madrid. España.
17. Del Real, J. (2013). *Influencia del curado con CO₂ en mampostería fabricada con sistemas cementantes ternarios*. Tesis para obtener para obtener el grado de Maestro en Ciencias

- con orientación en Materiales de Construcción. Universidad Autónoma de Nuevo León. México.
18. Díaz, M. (2016). *Aditivos orgánicos e inorgánicos en morteros de cal: revisión histórica para su aplicación en intervenciones actuales*. Tesis para obtener el grado de Maestría en Arquitectura, Investigación y Restauración de Sitios y Monumentos; Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo. México.
 19. Durán, M. (et al.) (2018). *Modelado numérico y análisis experimental para flujos en un medio poroso homogéneo a través de suelos*. Universidad Francisco de Paula Santander Ocaña, ITECKNE Vol. 15. Número 1. Colombia.
 20. *El libro de la Medicina* (2021). Penguin Random House. Reino Unido.
 21. Frontczak, M. / Wargocki, P. (2011). *Literature survey on how different factors influence human comfort in indoor environments*. Building and Environment no. 46. USA.
 22. Fuentes, V. (2004). *Clima y Arquitectura*. Universidad Autónoma Metropolitana. Unidad Azcapotzalco, México.
 23. Fuentes, V. (2009). *Modelo de Análisis Climático y definición de Estrategias de Diseño Bioclimático para diferentes regiones de la República Mexicana*. Tesis para optar por el grado de Doctor en Diseño. Línea de Arquitectura Bioclimática. Universidad Autónoma Metropolitana. Unidad Azcapotzalco. México.
 24. García, J. (et al.) (2010). *Enfermedades infecciosas. Concepto. Clasificación. Aspectos generales y específicos de las infecciones. Criterios de sospecha de enfermedad infecciosa. Pruebas diagnósticas complementarias. Criterios de indicación*. Medicine. España.
 25. García, J. / Fuentes, V. (2000). *Arquitectura y Medio Ambiente en la Ciudad de México*. Universidad Autónoma Metropolitana. Unidad Azcapotzalco. México.
 26. García, J. / Fuentes, V. (2005). *Viento y Arquitectura. El viento como factor de diseño arquitectónico*. Editorial Trillas. México.
 27. Givoni, B. (1969). *Man, Climate and Architecture*. Applied Science Publishers Ltd. London. United Kingdom.
 28. Guasch, J. (2000). Cap. 45. *Control ambiental en interiores*. Enciclopedia de Salud y Seguridad en el Trabajo. Ministerio de Trabajo. España.
 29. Guasch, J. (2000). *Enciclopedia de Salud y Seguridad en el Trabajo*. Cap. 45 Control Ambiental en Interiores. España.
 30. Heller, E. (2005). *Psicología del color*; Ed. Gustavo Gili, S.A. España.

31. HOMEChem - *Observaciones de la casa de la química microbiana y ambiental*. Universidad de Colorado, Boulder. Estados Unidos.
32. Hornbostel, C. (2005). *Materiales para Construcción*. Limusa Wiley. México.
33. Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo (1994). *El Síndrome del Edificio Enfermo*. Metodología de Evaluación. España.
34. Jordan, M. (2012). *Confort respiratorio en zonas de altura. Enriquecer el aire con oxígeno biogénico*. Tesis para obtener el grado de Maestra en Diseño en la línea de Arquitectura Bioclimática. Universidad Autónoma Metropolitana. Unidad Azcapotzalco, México.
35. Larrea, E. (et al.) (1995). *Efecto biocida del Hidróxido de Calcio y la importancia de su utilización en la agricultura*; Asociación de Fabricantes de Cal A.C. México.
36. Littlejohn, C. / Meenaghham, G. (1959). *An introduction to chemical engineering*. Reinhold Publishing Corporation. USA.
37. Manzo, G. (et al.) (2005). *Hongos patógenos: enemigos versátiles*. Ciencia. Comunicaciones Libres. México.
38. McGee, H. (2021). *Aromas del mundo*. Penguin Random House, Grupo Editorial. España.
39. Meijer, W. (et al.) (1989). *Development of a Protocol for Research on Indoor Air Quality Problems*. Proceedings of the 8th World Clean Air Congress. Elsevier Science Publishers. Netherlands.
40. Minke, G. (2005). *Manual de construcción en tierra*. Ed. Fin de Siglo. Uruguay.
41. Nestor, J. (2021). *Respira*. Editorial Planeta. México.
42. ODS (2016). *Objetivos de Desarrollo Sostenible. Agenda para el Desarrollo Sostenible*. Organización de las Naciones Unidas.
43. Olgyay, V. (1963). *Design with Climate*, Princeton University. Estados Unidos.
44. OMS (1946). *Constitución de la Organización Mundial de la Salud*. Estados Unidos.
45. ONU-Habitat / INFONAVIT. (2018). *Vivienda y ODS en México*. México.
46. Organización Mundial de la Salud: Disponible en <http://www.who.int>
47. Rodríguez, G. (et al.) (2012). *Humedad por Condensación en Viviendas. Prevención y Soluciones*. Corporación de Desarrollo Tecnológico - Cámara Chilena de la Construcción. Chile.
48. Rodríguez, M. (2001), *Introducción a la Arquitectura Bioclimática*; Editorial LIMUSA-UAM, México.
49. Rodríguez-Mora, O. (2004). *Propiedades de los Morteros para Fábricas*. Asociación Nacional de Fabricantes de Mortero.- AFAM. España.

50. Sachin, B. (et al.) (2017). Exposure and Health Effects of Fungi on Humans. J Allergy Clin Immunol Pract. HHS Public Access. USA.
51. Siber Zone, S.L. Ventilación Inteligente (N/A). *La salud de los edificios: elemento clave en el bienestar y el confort*. España.
52. Soler & Palau. (2016). *Los componentes del aire*. Ventilation Group. España.
53. Soriano, S. (et al.) (2014). *Toxicidad sub-crónica de la cal, cemento, yeso y mortero de cemento en Ratas Wistar*. Facultad de Ciencias Químicas. Universidad Autónoma de San Luis Potosí. México.
54. Sosa, R. (1991). *Evaluación de la calidad del aire en el interior de un edificio en la zona metropolitana de la Ciudad de México*. Tesis como requisito para obtener el grado de maestro en Ingeniería Ambiental. Universidad Nacional Autónoma de México. México.
55. Sterling, E. (et al.) (1985). *Criteria for Human Exposure to Humidity in Occupied Buildings*. ASHRAE Transactions. Disponible en: <https://www.condairgroup.com/humidity-health-wellbeing/scientific-studies/criteria-for-human-exposure-to-humidity-in-occupied-buildings>
56. Szokolay, S.V. (2011). *Introduction to Architectural Science: the basis of sustainable design*. Elsevier/Architectural Press. United Kingdom.
57. Tovar, R. (2011). *Enseñanza de la Arquitectura Bioclimática y Sustentable, para la conformación de una sociedad más consiente y comprometida con el ambiente*. Tesis para optar por el grado de Maestra en Diseño. Universidad Autónoma Metropolitana. Unidad Azcapotzalco. México.
58. U.S. Environmental Protection Agency (2011). *Una breve Guía para el moho, la humedad y su hogar*. USA.
59. U.S. Environmental Protection Agency (2016). *Guía para el control de la humedad en el Diseño, Construcción y Mantenimiento de Edificaciones*. USA.
60. United States Environmental Protection Agency (1991). *Indoor Air Facts No. 4. Sick Building Syndrome*. EE.UU.
61. Villaamil, R. (2016). *Estar bien para vivir mejor. Guía para la serenidad y la vitalidad*. Ed. Diana. México.
62. World Health Organization (2009). *WHO guidelines for indoor air quality: dampness and mold*. Disponible en: <https://www.who.int/airpollution/guidelines/dampness-mould/en/>

BIBLIOGRAFÍA

1. AFAM.- Asociación Nacional de Fabricantes de Mortero (2004). *Morteros de albañilería / Morteros especiales*. Normas UNE; AENOR, España.
2. Alvear, J. (et al.) (2018). *Evaluación de la actividad antimicrobiana del hidróxido de calcio combinado con diferentes concentraciones de omeprazol frente al enterococcus faecalis*. Revista Salud Uninorte, vol. 34. Colombia.
3. ANCADE (2009). *Guía Práctica para los Morteros con Cal*; Asociación Nacional de Fabricantes de Cales y Derivados de España. España.
4. Arnal, L. / Betancourt M. (2020). *Reglamento de Construcciones para el Distrito Federal*. Ed. Trillas. México.
5. ASTM (2005). *Standard for Building Lime and Lime-Based Construction Applications*. USA.
6. Azconegui, F. (et al.) (1998). *Guía Práctica de la Cal y el estuco*; Editorial de los Oficios. España.
7. Barba, L. / Villaseñor, I. (2013). *La cal – historia, propiedades y usos*; UNAM. México.
8. Barquero, L. / Rodríguez, E. (2005). *Efecto antibacteriano in vitro del hidróxido de calcio*. Odovtos - International Journal of Dental Sciences, núm. 7. Costa Rica.
9. Bauer, B. (2007). *El libro de la Medicina Alternativa*; Editorial Trillas. México.
10. Beben, D. (et al.) (2020). *Study on the Restoration of a Masonry Arch Viaduct: Numerical Analysis and Lab Tests*. Faculty of Civil Engineering and Architecture, Opole University of Technology Materials. MDPI. Poland.
11. Berry, S. (2009). *50 Ideas para hacer tu casa y tu jardín más ecológicos*. BLUME. España.
12. BIOURB, (2015). *Manual práctico de soluciones constructivas bioclimáticas para la Arquitectura Contemporánea*. Junta de Castilla y León. España.
13. Boynton, R. (1980). *Chemistry and Technology of lime and limestone*; John Wiley & Sons, INC. Estados Unidos.
14. Carrillo, R. (et al.) (2017). *Adición de cal para disminuir la disponibilidad de elementos potencialmente tóxicos en un residuo de mina*. Revista Agroproductividad. México.
15. Castorena, G. (2021). *Sustentabilidad en los Edificios Religiosos del Siglo XVII y XVIII en México. Análisis comparativo por bioclima en tres casos de estudio*. Tesis para optar por el grado de doctora en Diseño Bioclimático. Universidad Autónoma Metropolitana. Unidad Azcapotzalco. México.
16. CEMEX (2012). *Manual del Constructor*. México.

17. Chen, Y. (et al.) (2018). *Effects of Environmental Factors on Concrete Carbonation Depth and Compressive Strength*. School of Civil Engineering, Central South University. Materials. MDPI. China.
18. Coloma, G. (2008). *La cal. ¡Es un reactivo químico!* De Re Metallica Ingeniería Ltda. Chile.
19. CONAVI (2009). *Código de Edificación de Vivienda*. México.
20. Dalmaso, A. (et al.) (1997). *La vegetación como indicadora de la contaminación por polvo atmosférico*. Multequina. ISSN: 0327-9375. Disponible en: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=428/42800608>
21. De la Fuente, M. (2007). *Homeostasis. Unas condiciones fisicoquímicas óptimas para el medio interno son una gran ventaja*. Universidad Nacional de Educación a Distancia. España.
22. De Prada, C. (2013). *Un hogar sin tóxicos*. Ediciones i. España. Disponible en: <https://www.lcia-ReCiPe.net>
23. E.O. (1998). *Guía Práctica de la Cal y el Estuco*; Editorial de la Oficinas. España.
24. European Lime Association - EULA. (2009). *Guía Práctica para la Desinfección con Cal. Guía Práctica sobre el uso de la cal en la prevención y control de la gripe aviar, fiebre aftosa y otras enfermedades infecciosas*. España.
25. Fernández, L. (2012). *Laboratorio de materiales de construcción y control de calidad*. Universidad Autónoma Metropolitana. México.
26. Figueroa, C. (2016). *Confort térmico en vivienda de producción en serie de la zona metropolitana del Valle de México*. Tesis para obtener el grado de Maestra en Diseño en la línea de Arquitectura Bioclimática. Universidad Autónoma Metropolitana. Unidad Azcapotzalco. México.
27. Fuentes, V. / Rodríguez M. (2004). *Ventilación Natural. Cálculos básicos para Arquitectura*. Universidad Autónoma Metropolitana. México.
28. Galván, M. (2011). *Cal, un antiguo material como una renovada opción para la construcción*. Ingeniería Investigación y Tecnología. Vol. XII, Núm. 1, 2011, 93-102. FI-UNAM. México.
29. Gárate, I. (1994). *Artes de la Cal*; Editorial de los Oficios. España.
30. García, A. (2016). *Arquitectura y Oficios Tradicionales de Construcción. Seminario Internacional*. Escuela Técnica Superior de Arquitectura de Madrid. España.
31. García, A. (2019). *Nueva Arquitectura Vernácula*. Seminario Internacional. Escuela Técnica Superior de Arquitectura de Madrid. INTBAU. España.

32. García, A. (et al.) (2018). *Maestros de la Cal*. Red Nacional de Maestros de la Cal. INTBAU-UK. United Kingdom.
33. García, A. (et al.) (2018). *Maestros del Yeso*. Red Nacional de Maestros de la Cal. INTBAU-UK. United Kingdom.
34. Giraldo, M. (et al.) (2006). *Evolución mineralógica del cemento portland durante el proceso de hidratación*. Dyna. ISSN: 0012-7353. Disponible en: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=496/49614807>
35. Golaszewska, M. (et al.) (2020). *Assessment of the Impact of Inaccuracy and Variability of Material and Selected Technological Factors on Physical and Mechanical Properties of Fresh Masonry Mortars and Plasters*. Department of Building Processes Engineering and Building Physics, Faculty of Civil Engineering, Silesian University of Technology Materials. MDPI. Poland.
36. Greatti, V. (et al.) (2017). *Antibacterial activity in vitro of calcium hydroxide paste associated to bioproducts against on ram-positive and Gram-negative strains*. U.S. Food & Drug Administration. Research Enhancing Public Health. USA.
37. Guelberth, C. (et al.) (2003). *The natural plaster book: Earth, lime and gypsum plasters for natural homes*. New Society Publishers. Canada.
38. Guerrero, L. (2007). *Tierra y cal*. Anuario de estudios de Arquitectura 2007. UAM Azcapotzalco. México.
39. Guerrero, M. (et al.) (2021). *Reflexiones sobre Diseño en la actualidad. La cal en el Diseño de Espacios post-pandemia*. Una opción saludable, asequible y socialmente conveniente. Facultad del Hábitat de la Universidad Autónoma de San Luis Potosí. México.
40. Hansen, E. (et al.) (2007). *Lime Putties & Mortars. Insights into fundamental properties*. Studies in Conservation. USA.
41. Hernández, S. (2010). *Diseño y manejo sustentable en edificación*; UAEMex: EDOMX, México.
42. Hernández, S. (2016). *Selección y Diseño Sustentable de Materiales de Construcción*; Editorial Trillas. México.
43. Herrera, D. (et al.) (2008). *Efecto antibacteriano de la asociación de hidróxido de calcio y iodoformo sobre Enterococcus faecalis y Pseudomonas aeruginosa*. Revista Estomatológica Herediana. ISSN: 1019-4355. Disponible en: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=4215/421539349002>

44. Holahan, C. (2005). *Psicología ambiental. Un enfoque general*. Ed. Limusa Editores. México.
45. Holmes, S. / Wingate, M. (2002), *Building with Lime*; ITDG Publishing, England.
46. Hou, D. (et al.) (2016). *Nanoindentation Characterization of a Ternary Clay-Based Composite Used in Ancient Chinese Construction*. State Key Laboratory of Ocean Engineering, Department of Civil Engineering. Materials. MDPI. China.
47. IMSS (1993). *Normas de Proyecto de Arquitectura*. Tomo VII. Normas Bioclimáticas. México.
48. Incón, A. / Rocha, A. (1991). *ABC de Física*. Ediciones Humancia, S.A. México.
49. Instituto Mexicano de la Propiedad Industrial (1996). *171732 - Procedimiento continuo para apagar cal en seco*. Patentes del Dominio Público. Volumen 1. Sección C. Química – Metalurgia. México.
50. Jijo, J. (et al.) (2018). *Pozzolanic benefit of fly ash and steel slag blends in the development of uniaxial compressive strength of lime stabilized soil*. Facultad de Ingeniería. ISSN: 0121-1129. Disponible en: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=4139/413958019001>
51. Jiménez, A. (et al.) (2011). *Situación de los desinfectantes de uso ambiental y en industria alimentaria registrados en España tras la publicación de la Directiva 98/8/CE*. Revista Española de Salud Pública. ISSN: 1135-5727. Disponible en: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=170/17020112006>
52. Jonaitis, B. (et al.) (2018). *Analysis of Physical and Mechanical Properties of the Mortar in the Historic Retaining Wall of the Gediminas Castle Hill (Vilnius, Lithuania)*. Department of Reinforced Concrete Structures and Geotechnics, Faculty of Civil Engineering, Vilnius. Gediminas Technical University. Materials. MDPI. Lithuania.
53. Joo, H. / Ahn, M. (2019). *Boomers' Intention to Choose Healthy Housing Materials: An Application of the Health Belief Model*. Department of Interior & Environmental Design, Pusan National University. Sustainability. Korea.
54. Kapridaki, C. (et al.) (2019). *Characterization of Photoactive Fe-TiO₂ Lime Coatings for Building Protection: The Role of Iron Content*. School of Architecture, Technical University of Crete. Materials. MDPI. Greece.
55. Ki-Won, A. (et al.) (2020). *Evaluation Method of Relative Humidity Changes in Below-Grade Concrete Structure Space Depending on Different Water proofing Material and Installation Method*. Department of Architecture, Graduate School, Seoul National University of Science & Technology. Materials. MDPI. Korea.

56. Landrou, G. (et al.) (2016). *Lime as an Anti-Plasticizer for Self-Compacting Clay Concrete*. Institute of Construction and Infrastructure Management, Chair of Sustainable Construction. Materials. MDPI. Switzerland.
57. Leis, T. (et al.) (2016). *Tadelakt*. Guía paso a paso. Erasmus + Programme of the European Union, España.
58. López, P. (et al.) (2008). *Neumoconiosis en trabajadores expuestos a polvos inorgánicos*. Revista Médica del Instituto Mexicano del Seguro Social. ISSN: 0443-5117. Disponible en: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=4577/457745520008>
59. Lorenzo, L. (2019). *Vivimos en casas cuyos materiales emiten partículas tóxicas para la salud*. Disponible en: <https://www.elcomercio.es/asturias/feria-muestras/vivimos-casas-materiales-20190817012220-ntvo.html?fbclid=IwAR2210Yd1PgKVO-4CTbn-jVn0n2pwDs-YjvSu3U91sSH1mPy-tvKL0BSXs>
60. Luque, A. (et al.) (2006). *Estudio comparado de morteros de cal en pasta y cal en polvo. Control de carbonatación*. MACLA. España.
61. Lyubomirskiy, N. (et al.) (2020). *Intensive Ways of Producing Carbonate Curing Building Materials Based on Lime Secondary Raw Materials*. Department of Civil Engineering and Materials Science, Faculty of Architecture and Civil Engineering, Academy of Civil Engineering and Architecture, V.I. Vernadsky Crimean Federal University, Prospekt. Materials. MDPI. Republic of Crimea.
62. Macias, E. (2009). *Introducción al Uso del Hidróxido de Calcio para Aplicaciones en la Construcción*; Memoria para obtener el Título de Ingeniero Químico por la Universidad Autónoma del Estado de México. México.
63. Maia, C. (et al.) (2019). *Rendering Mortars Reinforced with Natural Sheep's Wool Fibers*. Instituto Superior Técnico, University of Lisbon. Materials. MDPI. Portugal.
64. Manríquez, R. (2003). *La Arquitectura Tradicional como referencia para el Diseño Bioclimático*. Tesis para optar al grado de Maestro en Diseño. Línea de Arquitectura Bioclimática. Universidad Autónoma Metropolitana. México.
65. McDonough, W. / Braungart, M. (2007). *Cradle to cradle: Remaking the way we make things*. McGraw-Hill. España.
66. Minke, G. (2005). *Manual de construcción en tierra*; Ed. Fin de Siglo. Uruguay.
67. *Moho: Guía del Trabajador y Empleador de riesgos y controles recomendados* (2015). National Institutes of Health. USA.

68. Monte, I. (2016). *Agua, pH y equilibrio químico: Entendiendo el efecto del dióxido de carbono en la acidificación de los océanos*; Secretaría de Educación Pública. Subsecretaría de Educación Media Superior. México.
69. Montoya, D. (et al.) (2012). *Preparación de Superficies y aplicación de acabados*. Centro de Industria y Construcción. Colombia.
70. Muñoz, C. (et al.) (1995). *Efecto bactericida de la cal hidratada en solución acuosa*. Bol Oficina Sanit Panam 118 (4). Panamá.
71. National Conservation Centre (2014). *Lime Mortars in Traditional Buildings*. Historic Scotland Alba Aosmhor. United Kingdom.
72. National Institutes of Health. (2015). *Guía del Propietario y Arrendatario para la limpieza de moho después de desastres*. USA.
73. Navarro, E. (2019). *Cal de alta pureza en polvo como material alternativo en los procesos de restauración*. Tesis para obtener el Título de Maestría en Arquitectura, Investigación y Restauración de Sitios y Monumentos. Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo. Michoacán, México.
74. Nie, S. (et al.) (2019). *Effect of Portland Cement versus Sulphoaluminate Cement on the Properties of Blended Lime-Based Mortars Prepared by Carbide Slag*. College of Materials Science and Engineering, Beijing University of Technology. Materials. MDPI. China.
75. NLA (1995), *Lime. Handling, Application and Storage*; National Lime Association, Estados Unidos.
76. NMX-C-486-ONNCCE-2014. Industria de la Construcción – Mampostería – *Mortero para uso estructural* – especificaciones y métodos de ensayo.
77. NMX-SAA-14040-IMNC-2008 de Gestión Ambiental - *Análisis de ciclo de vida – Principios y marco de referencia*.
78. NMX-SAA-14044-IMNC-2008 de Gestión Ambiental - *Análisis de ciclo de vida – Requisitos y directrices*.
79. Oates, J.A.H. (1998). *Lime and Limestone Chemistry and Technology*, Production and Uses; Wiley-VCH, Germany.
80. Organización Mundial de la Salud (2016). *Reglamento Sanitario Internacional*. Suiza.
81. Ortega, J. (et al.) (2017). *Impedance Spectroscopy Study of the Effect of Environmental Conditions on the Microstructure Development of Sustainable Fly Ash Cement Mortars*. Departamento de Ingeniería Civil, Universidad de Alicante. Materials. MDPI. Spain.

82. OXICAL (2017). *La Cal de Alta Pureza en la Conservación*. México. Disponible en <https://www.oxical.mx>
83. Pardo, M. (1885). *Materiales de Construcción*. Imprenta y fundición de Manuel Tello. España.
84. Patiño, D. (et al.) (2018). *Uso de biocidas y mecanismos de respuesta bacteriana*. Revista Cubana de Investigaciones Biomédicas. Colombia.
85. Pavlík, Z. (et al.) (2019). *Mortars with Crushed Lava Granulate for Repair of Damp Historical Buildings*. Department of Materials Engineering and Chemistry, Faculty of Civil Engineering, Czech Technical. Materials. MDPI. Czech Republic.
86. Ponce, G. (et al.) (2019). *Mineralogical, Textural and Physical Characterization to Determine Deterioration Susceptibility of Irulegi Castle Lime Mortars (Navarre, Spain)*. Department of Mineralogy and Petrology, Faculty of Science and Technology, University of the Basque. Materials. MDPI. Spain.
87. ReCiPe (2016). *A life cycle impact assessment method*.
88. Recordati, G. / Bellini, T. (2004). *A definition of internal constancy and homeostasis in the context of non-equilibrium thermodynamics*. Experimental Physiology. The Physiological Society. Italia.
89. Ren, J. (et al.) (2019). *Foxp1 is critical for the maintenance of regulatory T-cell homeostasis and suppressive function*. PLOS-Biology. USA.
90. Rodríguez, C. (1998). *Manual de Autoconstrucción*. Árbol Editorial S.A. de C. V. México.
91. Rodríguez-Mora, O. (2003). *Morteros. Guía General*. Asociación Nacional de Fabricantes de Mortero.- AFAM. España.
92. Roux, R. / Espuna, J. (2012). *El Hidróxido de Calcio y los bloques de tierra comprimida, alternativa sostenible de construcción*; Nova Scientia. Universidad de La Salle Bajío León, Guanajuato, México.
93. Schulkin, J. (2003). *Rethinking Homeostasis. Allostatic Regulation in Physiology and Pathophysiology*. The MIT Press. USA.
94. Sikora, P. (et al.) (2016). *Characterization of Mechanical and Bactericidal Properties of Cement Mortars Containing Waste Glass Aggregate and Nanomaterials*. Faculty of Civil Engineering and Architecture, West Pomeranian University of Technology. Materials. MDPI. Poland.
95. Silva, Y. (et al.) (2019). *Optimización de la resistencia a la compresión usando un diseño de mezcla de vértices extremos, en concretos ternarios basados en residuo de*

mampostería y cal hidratada. Revista EIA. ISSN: 1794-1237. Disponible en:
<https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=1492/149258931008>

96. Socli (2012). *La Guía de la cal*. Italcementi Group. Francia.
97. Telfar, L. (et al.) (2017). *Measuring the Effect of Housing Quality Interventions: The Case of the New Zealand "Rental Warrant of Fitness"*. International Journal of Environmental Research and Public Health. New Zealand.
98. Tovar, R. (2018). *La Cal. Ciencia, Técnica y Arte*; Ed. Trillas. México.
99. Tovar, R. (2019). *Guía Práctica para la Construcción*. Grupo Calidra. México.
100. Tovar, R. / Chargoy, J. (2016). *El Análisis del Ciclo de Vida como herramienta para la selección de materiales de construcción*. CADIS. México.
101. Usedo, R. (2015). Proyecto final Master. *Estudio y análisis de la utilización de la cal para el patrimonio arquitectónico*. Universidad Politécnica de Valencia. España.
102. Van Lengen, J. (2002). *Manual del arquitecto descalzo*. Editorial PAX México. México.
103. Viscarra, M. (et al.) (2020). *Naturaleza en el Habitar. Tradiciones constructivas de barro y piedra*. Universidad Autónoma de México. México.
104. Vitruvio, M. (1787). *Los 10 libros de Arquitectura*. De Orden Superior en Madrid en la Imprenta Real. España.
105. YAVE. Arquitectónica. (2013). *Realización de trabajos de obra en edificios protegidos*. México.
106. Zhang, Y. (et al.) (2019). *Microstructure-Based Relative Humidity in Cementitious System Due to Self-Desiccation*. Fujian Provincial University Research Center for Advanced Civil Engineering Materials, Fuzhou University. Materials. MDPI. China.
107. Zheng, S. (et al.) (2019). *Mechanical Behavior of Brick Masonry in an Acidic Atmospheric Environment*. Department of Civil Engineering, Xi'an University of Architecture and Technology. Materials. MDPI. China.

Referencias electrónicas

1. Asesorías IEB - IEB - Instituto Español de Baubiologie | Consultado el 8 de agosto de 2023.
2. Cambios de aire por hora recomendados por ASHRAE - Smart Air | IWOFR | Consultado el 20 de julio de 2022.
3. CDC/NCID Division of Bacterial and Mycotic Diseases: Fungal Diseases [<http://www.cdc.gov/ncidod/dbmd/>] | Consultado el 3 de junio de 2022.
4. Center for Environmental Health of New York State Department of Health | Health & Environment (ny.gov) | Consultado el 23 de septiembre de 2021.
5. Centros para el Control y la Prevención de Enfermedades CDC | Consultado el 20 de julio de 2022.
6. COM-CAL | COM-CAL Materiales para la restauración, rehabilitación y bioconstrucción | Consultado el 26 de septiembre de 2021.
7. Cómo oxigenar y rejuvenecer tus células (cuerpamente.com) | Consultado el 14 de mayo de 2022.
8. Estudio británico revela que el acceso a áreas verdes es clave en la calidad de vida de las personas. | <https://www.latercera.com/noticia/estudio-britanico-revela-que-el-acceso-a-areas-verdes-es-clave-en-la-calidad-de-vida-de-las-personas/> | Consultado el 22 de enero de 2021.
9. Exposoma | ¿Qué es el exposoma? (vidasostenible.org) | Consultado de 15 de enero de 2021
10. Fungal Diseases Homepage | CDC | Consultado el 5 de septiembre de 2022.
11. HOMEChem | HOMEChem: House Observations of Microbial and Environmental Chemistry - IndoorChem (workwithtandem.com) | Consultado el 23 de septiembre de 2021.
12. http://diarioecologia.com/no-mas-miedo-soluciones-la-luz-solar-puede-ser-eficaz-contr-el-coronavirus/?fbclid=IwAR3TN1SCzUEujxymUpD6UaXIHMCW9a8jiPGvxW89ZRi_zJ9vABpkZRwAhcI | Consultado el 20 de julio de 2022.
13. Infecciones por hongos: proteja su salud | Fungal Diseases | CDC | Consultado el 22 de agosto de 2022.
14. La Contaminación en el hogar - Biow Costa Rica | Consultado el 20 de julio de 2022.
15. La humedad relativa del aire interior y su efecto sobre las personas (siberzone.es) | Consultado el 17 de junio de 2022.
16. La OMS asocia la mala calidad de la vivienda con patologías (redaccionmedica.com) | Consultado el 22 de julio de 2022.
17. Las 25 normas de la bioconstrucción - OrekaOreka | Consultado el 9 de agosto de 2023.
18. Las nuevas Directrices mundiales de la OMS sobre la calidad del aire tienen como objetivo evitar millones de muertes debidas a la contaminación del aire (who.int) | Consultado el 17 de julio de 2022.

VI. ANEXOS

ANEXO A

Se integran las Figuras 1A-9A generadas como parte del monitoreo citado.

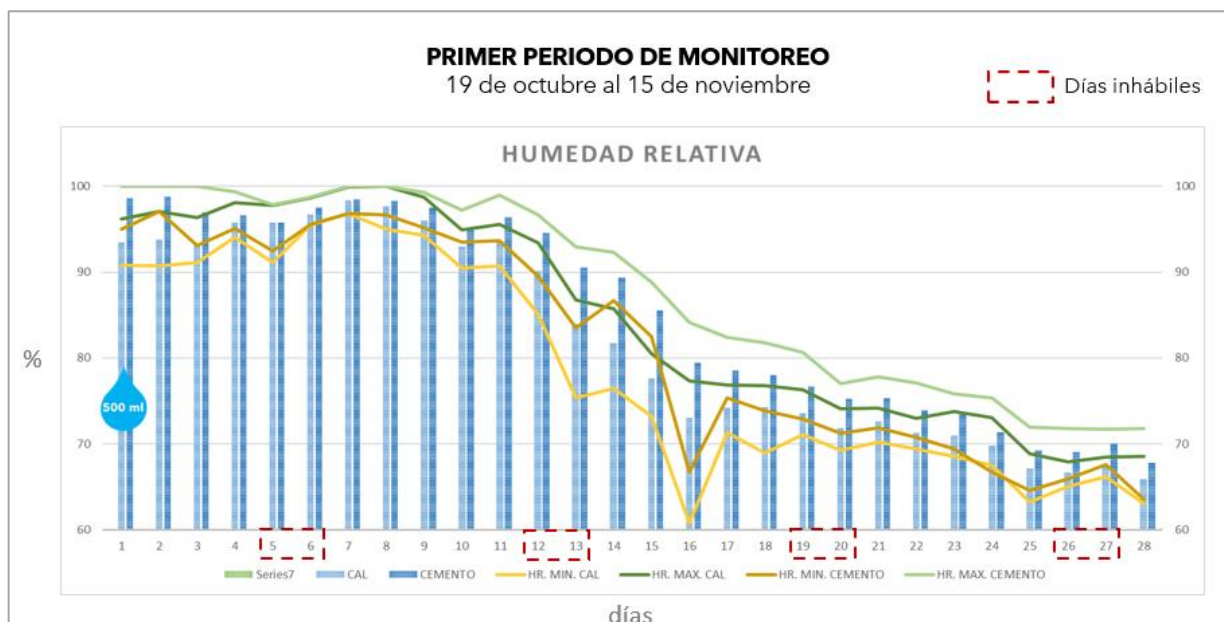


Figura 1A. Muros con mezclas [A] [cal] y [B] [cemento]. HR.

Fuente: Elaboración propia.

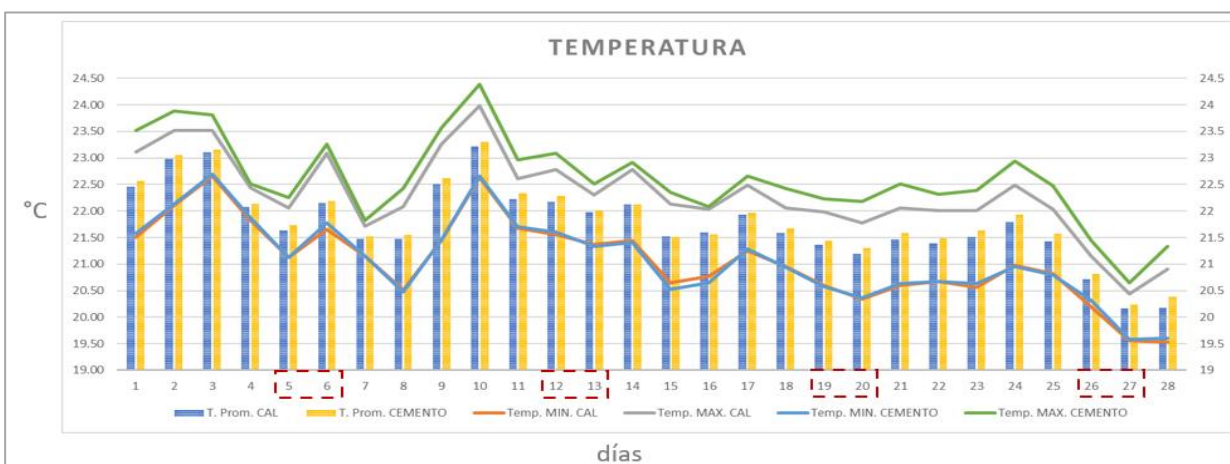


Figura 2A. Muros con mezclas [A] [cal] y [B] [cemento]. T.

Fuente: Elaboración propia.

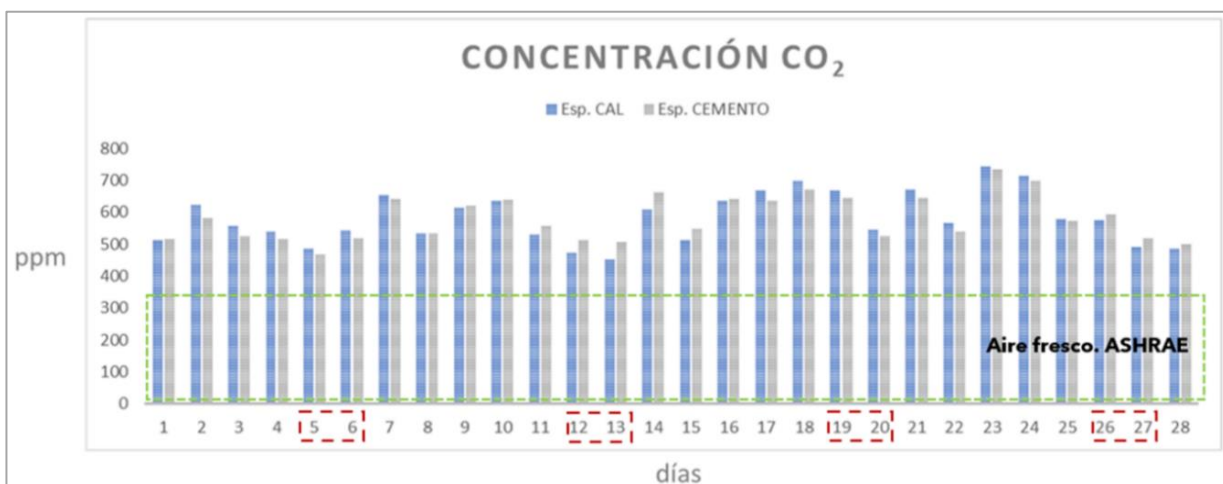


Figura 3A. Muros con mezclas [A] [cal] y [B] [cemento]. CO₂.
Fuente: Elaboración propia.

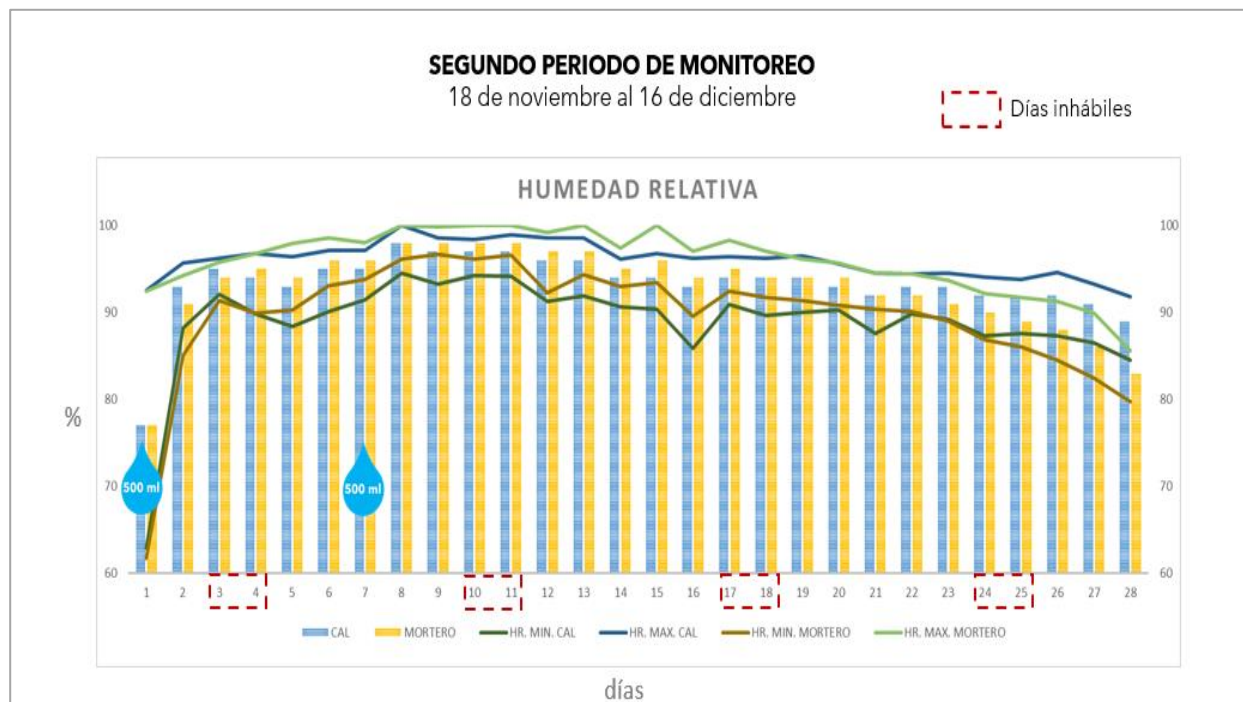


Figura 4A. Muros con mezclas [A] [cal] y [C] [mortero]. HR.
Fuente: Elaboración propia.

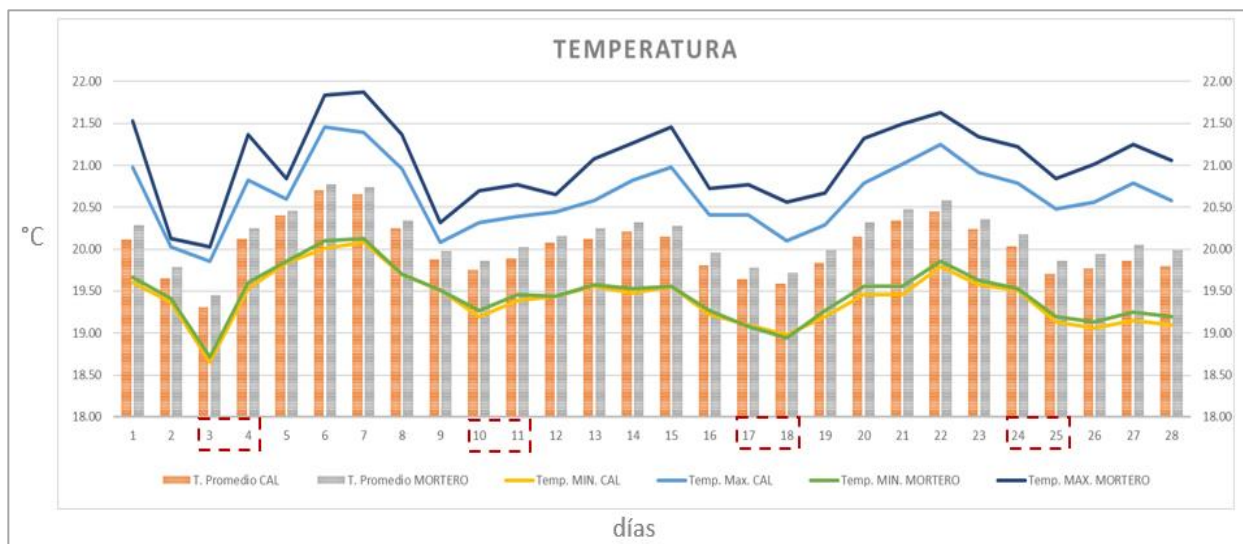


Figura 5A. Muros con mezclas [A] [cal] y [C] [mortero]. T.
Fuente: Elaboración propia.

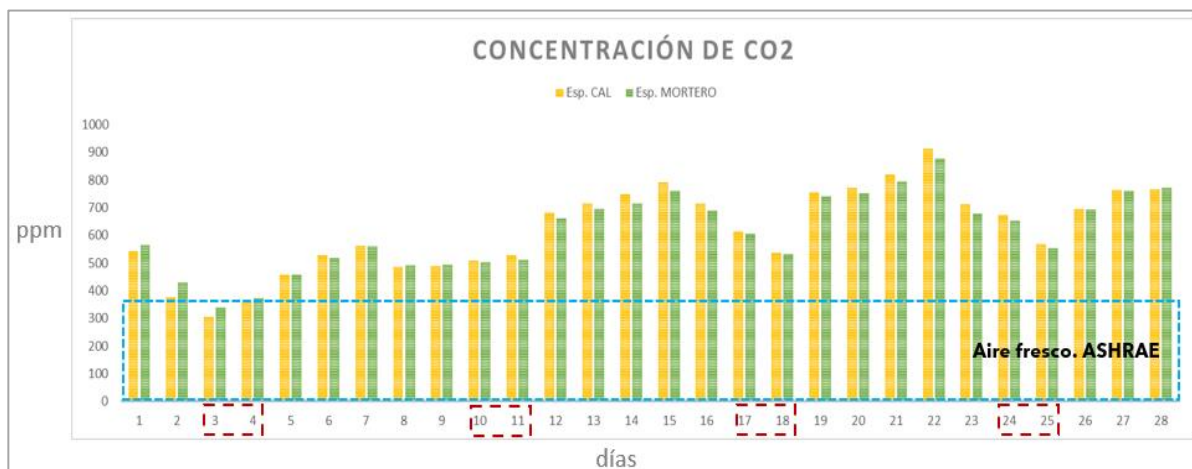


Figura 6A. Muros con mezclas [A] [cal] y [C] [mortero]. CO₂
Fuente: Elaboración propia.

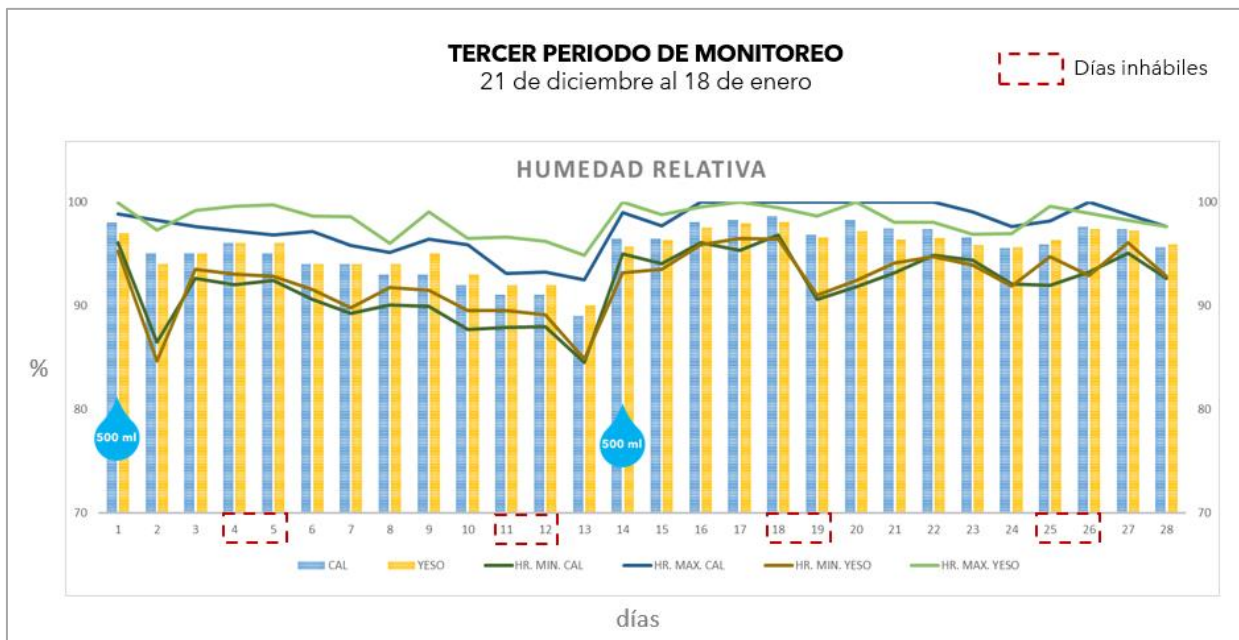


Figura 7A. Muros con mezclas [A] [cal] y [D] [yeso]. HR.
Fuente: Elaboración propia.

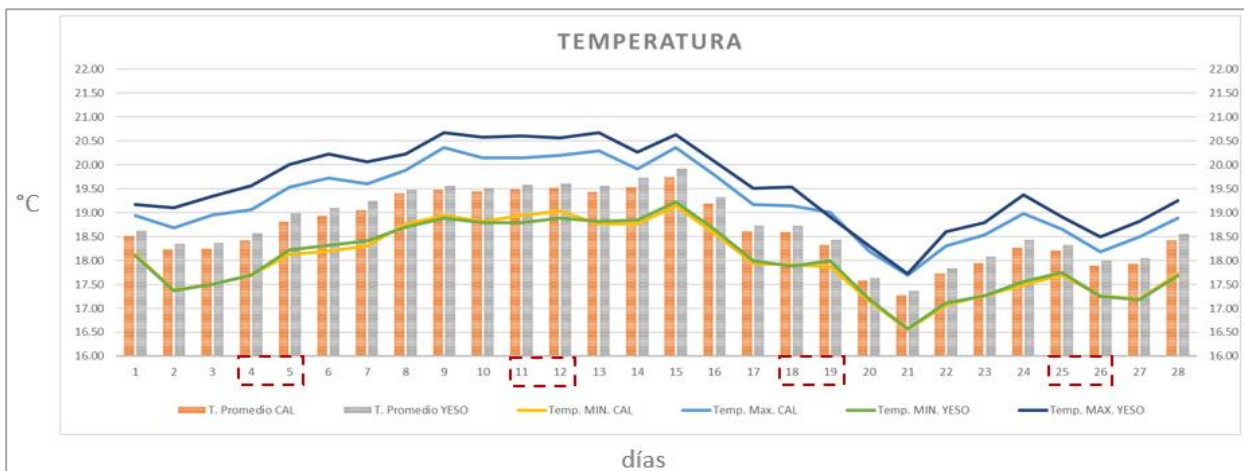


Figura 8A. Muros con mezclas [A] [cal] y [D] [yeso]. T.
Fuente: Elaboración propia.

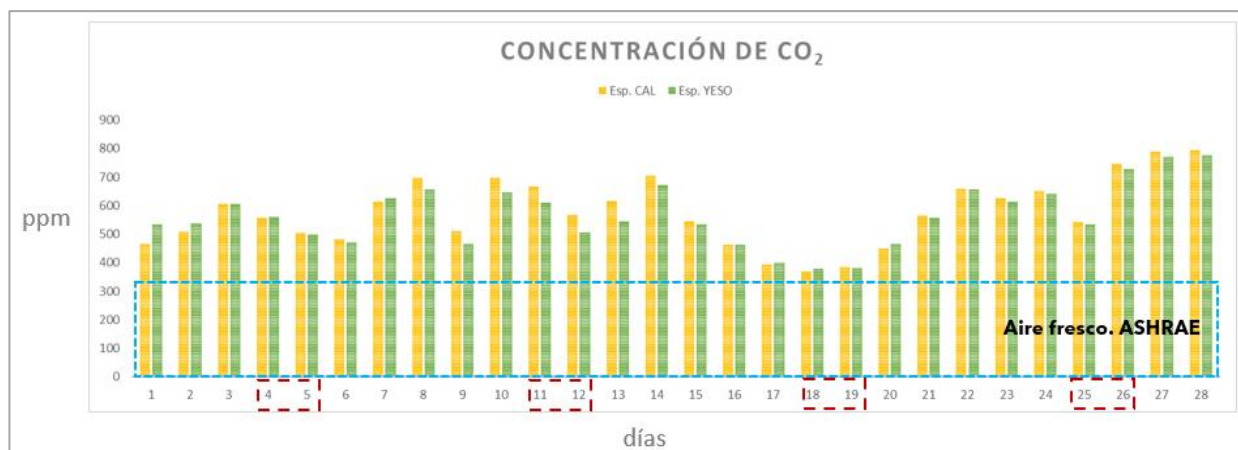


Figura 9A. Muros con mezclas [A] [cal] y [D] [yeso]. CO₂
Fuente: Elaboración propia.

ANEXO B

Se integran las Figuras 1B-6B generadas como parte del monitoreo citado.

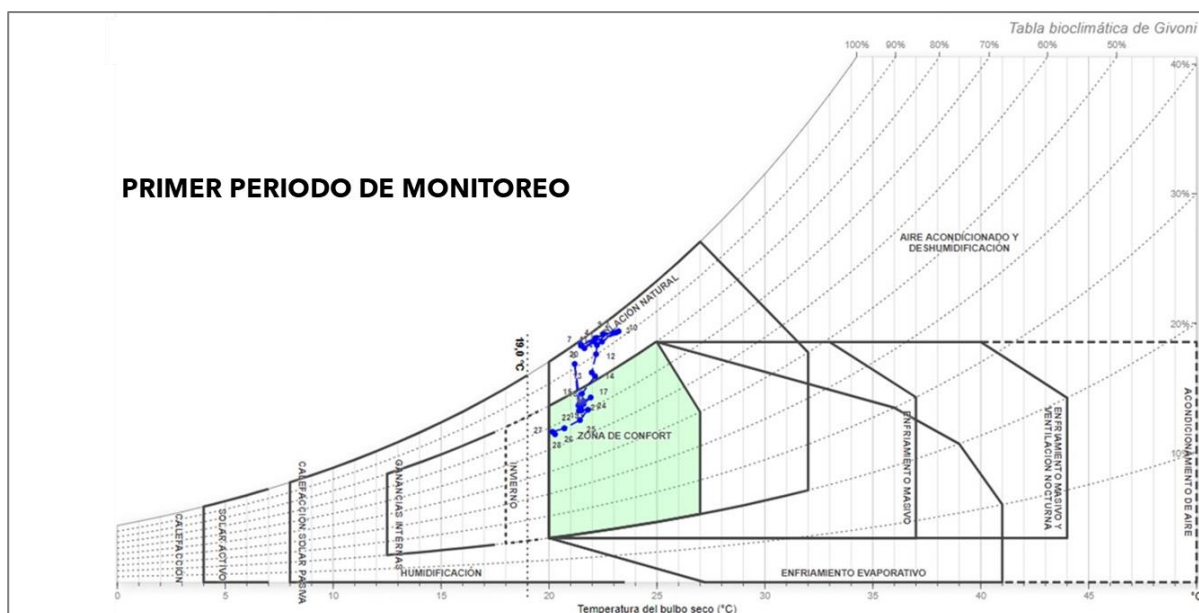


Figura 1B. Carta psicrométrica - muro con mezcla [A] [cal]. 1er. Periodo.

Fuente: Elaboración propia.

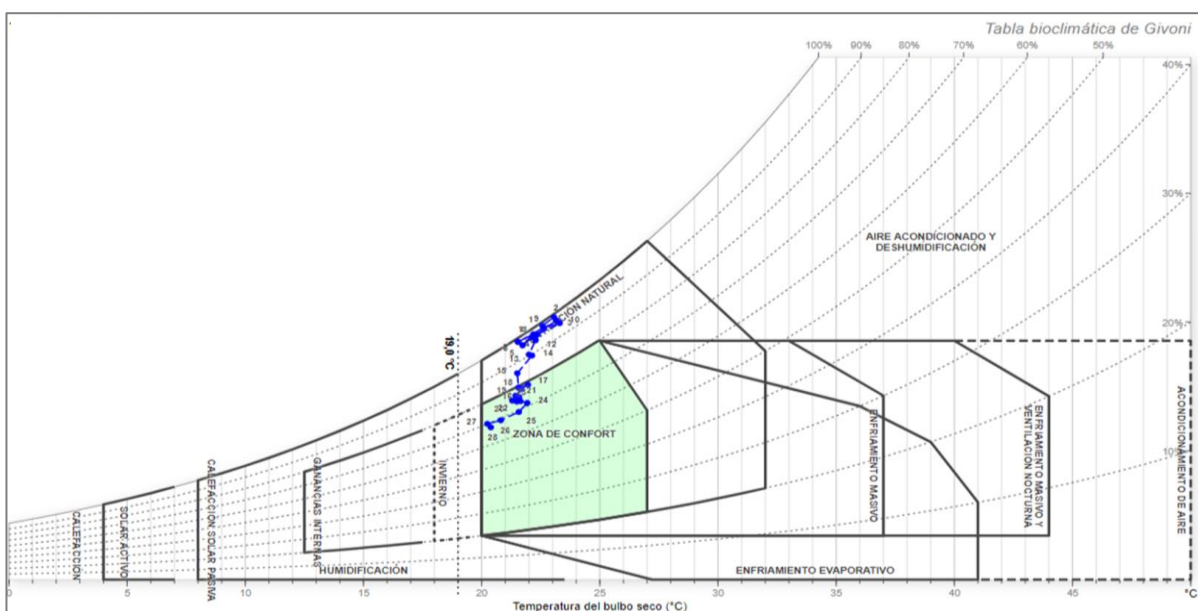


Figura 2B. Carta psicrométrica - muro con mezcla [B] [cemento]. 1er. Periodo.

Fuente: Elaboración propia.

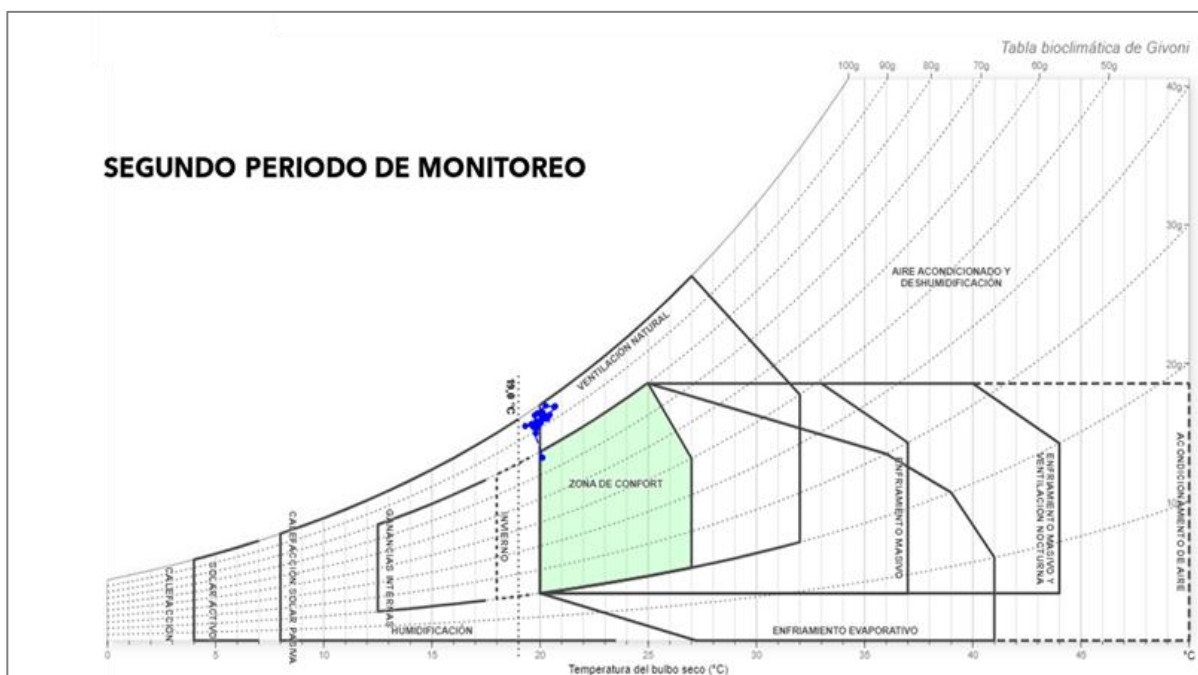


Figura 3B. Carta psicrométrica - muro con mezcla [A] [cal]. 2do. Periodo.
Fuente: Elaboración propia.

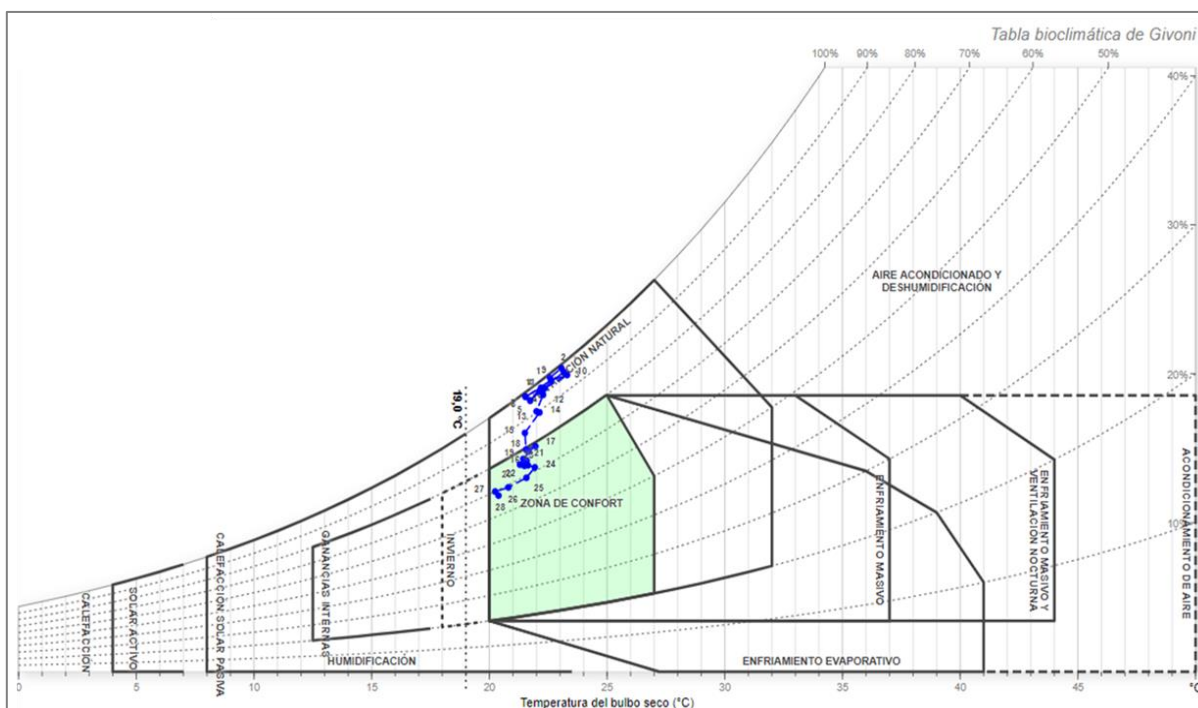


Figura 4B. Carta psicrométrica - muro con mezcla [C] [mortero]. 2do. Periodo.
Fuente: Elaboración propia.

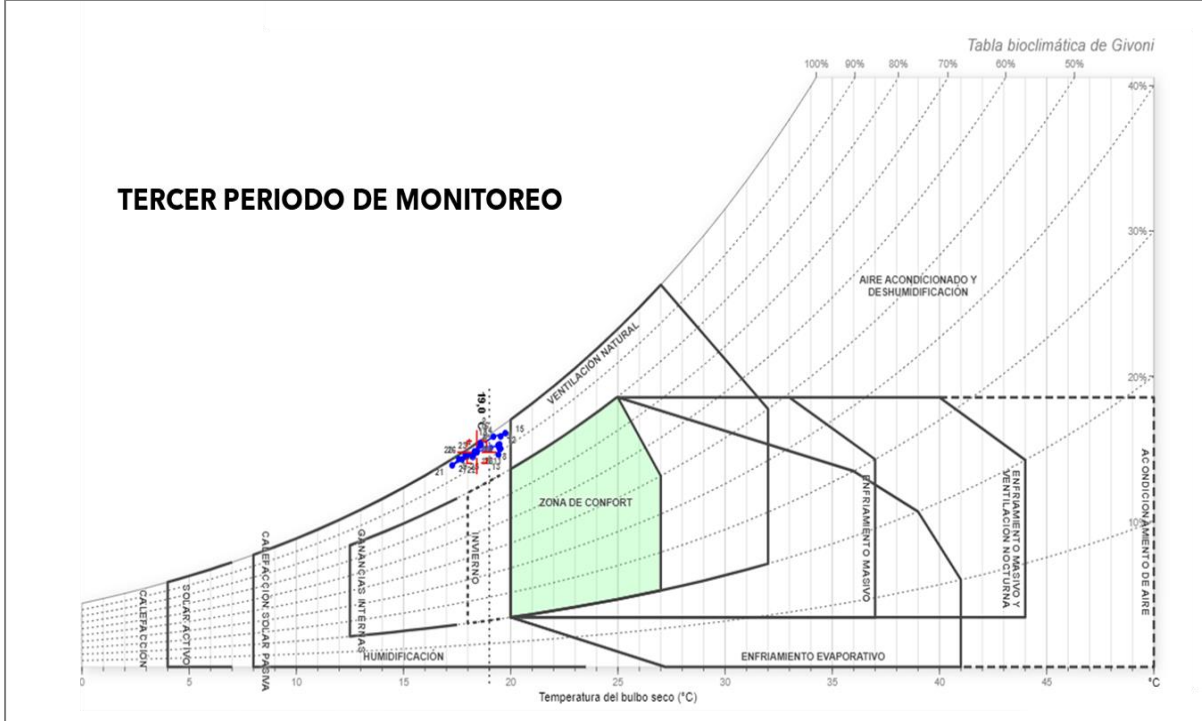


Figura 5B. Carta psicrométrica - muro con mezcla [A] [cal]. 3er. Periodo.
Fuente: Elaboración propia.

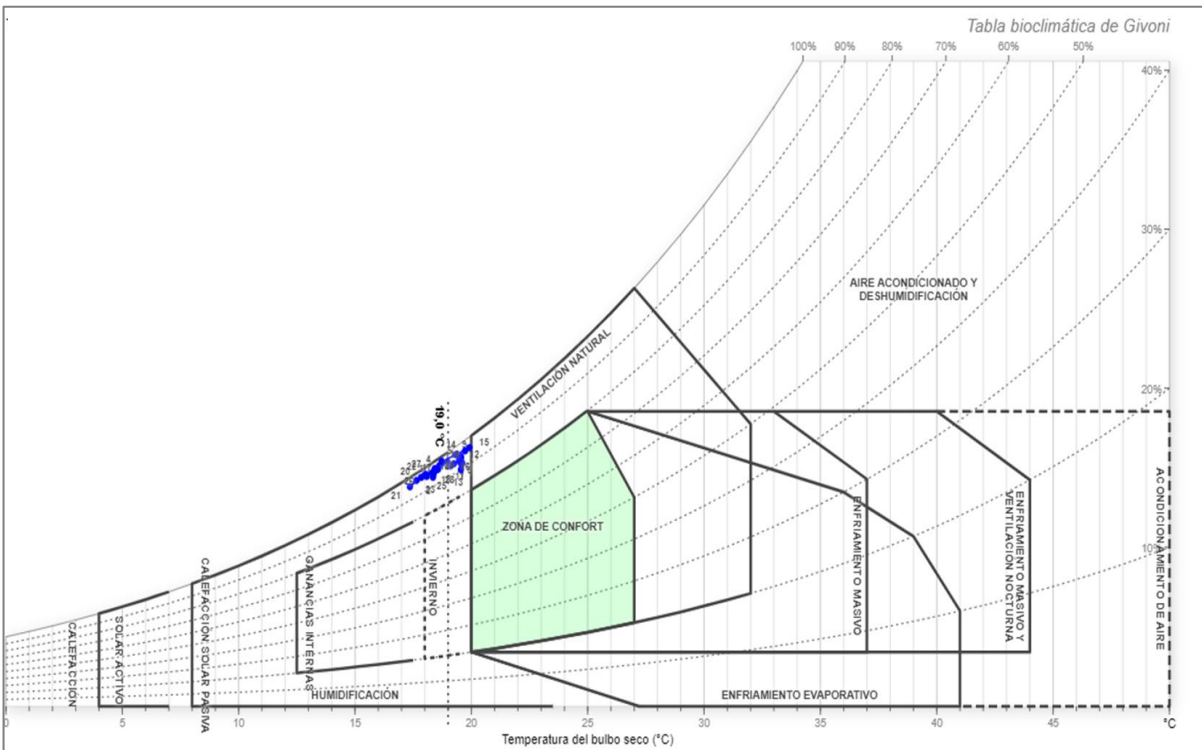


Figura 6B. Carta psicrométrica - muro con mezcla [D] [yeso]. 3er. Periodo.
Fuente: Elaboración propia.

VII. CURRÍCULUM

María del Rosario Tovar Alcázar es Maestra y Especialista en Diseño en la línea de Arquitectura Bioclimática por la Universidad Autónoma Metropolitana – Azcapotzalco, es Ingeniero Arquitecto por la Escuela Superior de Ingeniería y Arquitectura del Instituto Politécnico Nacional.

Es Diplomada en Construcción Sustentable y Eficiencia Energética por el Instituto Tecnológico de la Construcción -ITC-, Diplomada en Análisis del Ciclo de Vida de la Edificaciones y Materiales por el Centro de Análisis de Ciclo de Vida y Diseño Sustentable -CADIS-, Diplomada en Estudios de Arte por la Universidad Iberoamericana y Técnica en Construcción Arquitectónica por el Centro de Estudios Científicos y Tecnológicos “Wilfrido Massieu” del IPN.

Actualmente, es docente de asignatura en la Universidad Iberoamericana y consultora en diversos temas sobre construcción y sustentabilidad. Asimismo, dedica la mayor parte de su tiempo a investigar sobre la cal; material natural que no sólo le ha inspirado a escribir tres libros, sino que le ha permitido participar en la conformación y administración de un Foro de difusión -FOCCAL A.C.-. Desde el 2015, también es miembro del Grupo Operativo de la Asociación Nacional de Fabricantes de Cal A. C.

A finales del 2005 se integró a Grupo Calidra como Asesor Técnico, estando a cargo de la capacitación del personal y clientes en materia de construcción, así como de la generación de material técnico referente a las aplicaciones de la cal en este mismo ámbito. Publicó la Guía Práctica para la Construcción patrocinada por el Grupo.

En el 2004 comenzó a trabajar en la Contraloría General del Gobierno del Distrito Federal, como Coordinadora de los Contralor@s Ciudadan@s en Comités y Subcomités de Obra en diversas dependencias y posteriormente, como Subdirectora de Estudios y Proyectos sobre Transparencia y Rendición de Cuentas.

