



María Yazmín Pinacho Gonzaga

ORCID 0000-0002-6079-5779

*Modelado numérico, dimensionamiento
para la predicción térmica de los muros de
agua*

Capítulo 5

pp. 51-60

De los métodos y las maneras Número 7

Coordinador de la obra

Gustavo Iván Garmendia Ramírez

Compilación y Diseño editorial

Sandra Rodríguez Mondragón

Diseño de portada

Martín Lucas Flores Carapia

México

Universidad Autónoma Metropolitana

Unidad Azcapotzalco

*Coordinación de Posgrado de
Ciencias y Artes para el Diseño*

Primera edición impresa: **febrero 2022**

Primera edición electrónica en pdf: **febrero 2022**

ISBN de la colección en versión impresa: **978-607-28-1322-9**

ISBN de la colección en versión electrónica: **978-607-28-1326-7**

<http://hdl.handle.net/11191/8545>

ISBN No. 7 versión impresa: **978-607-28-2453-9**

ISBN No. 7 versión electrónica: **978-607-28-2459-1**



Attribution-NonCommercial-NoDerivatives 4.0 International (CC BY-NC-ND 4.0)



<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>

2022:

Universidad Autónoma Metropolitana, unidad Azcapotzalco, Coordinación de Posgrado de Ciencias y Artes para el Diseño.

Se autoriza la consulta, descarga y reproducción con fines académicos y no comerciales o de lucro, siempre y cuando se cite la fuente completa y su dirección electrónica. Para usos con otros fines se requiere autorización expresa de la institución.

**Universidad
Autónoma
Metropolitana**



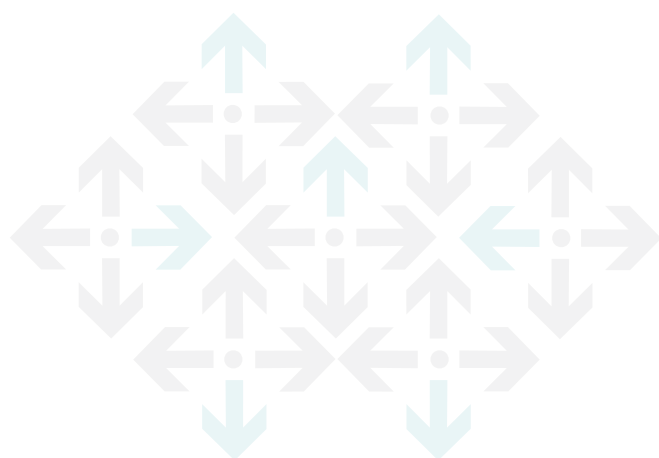
Casa abierta al tiempo **Azcapotzalco**



Ciencias y Artes para el Diseño

**Cordinación de
Posgrado CyAD**

<http://cyadposgrados.azc.uam.mx/>



Modelado numérico, dimensionamiento para la predicción térmica de los muros de agua

MARÍA YAZMÍN PINACHO GONZAGA

yazmin.ing.ambiental@gmail.com

Resumen

La tecnología de la energía solar en México y su uso en las edificaciones en forma de almacenamiento térmico se presenta como alternativa para disminuir el consumo energético, el uso de materiales como hormigón, ladrillo y agua se han utilizado como masa térmica con el fin de moderar la temperatura de los espacios internos y reducir la necesidad de aire acondicionado en verano y calefacción en invierno.

En el presente artículo se ha desarrollado un modelo informático basado en el análisis transitorio de un sistema de muro de agua. El modelo predice la temperatura interior, la temperatura del agua de almacenamiento y el efecto de almacenamiento de energía térmica de una masa de agua en todo el sistema.

Se han realizado cálculos numéricos en días típicos para la semana más fría del año del 12 al 18 de enero de 2018 en Azcapotzalco. I) Se observó que existe

un efecto significativo del almacenamiento de energía térmica del agua sobre las temperaturas interiores, II) Se encontró que el aumento del espesor del sistema de muro de agua aumenta el porcentaje de rango de confort en el espacio de estudio.

Por consiguiente, este artículo pretende despertar el interés en el uso de agua y resaltar sus características físicas y térmicas, así como su alta capacidad volumétrica y conductora, incentivando la información técnica que promueva el uso de este tipo de sistemas y posibilitando su utilización.

Palabras clave:

masa térmica/inercia térmica,
sistemas de calefacción pasiva,
confort térmico,
almacenamiento de energía térmica,
modelado de balance de calor.

Introducción

Las paredes de almacenamiento térmico a base de agua cuentan con cinco elementos que se pueden identificar como acristalamiento, capa de aire entre el cristal y la pared, la pared o muro de almacenamiento, rejillas de ventilación y sistemas de control de calor (Wilson, 1979). Para el caso de estudio se considera el sistema de almacenamiento térmico sin ventilación y sin un sistema de control en primera instancia.

El sistema de muro de agua está representado por un conjunto de variables físicas y térmicas de los elementos que lo componen: área, espesor, altura, volumen, conductividad térmica, densidad, calor específico, temperatura, coeficiente de expansión volumétrica, coeficiente de convección, viscosidad dinámica, flujo de calor, tiempo, difusividad térmica, aceleración gravitatoria. El sistema de muro de agua, así descrito se identificó para entender los factores que influyen en la simulación numérica (Pinacho, 2020).

Varios investigadores han realizado estudios para comprender el comportamiento térmico del muro de agua (Zhao et al., 2016) (Nayak, 1987). En este estudio un modelo de computadora basado en un análisis transitorio se ha desarrollado incorporando el efecto del agua como masa térmica. Se han realizado esfuerzos para simular el rendimiento térmico del sistema en espacios interiores tanto en condiciones estacionarias como transitorias (Gupta y Tiwari, 2002) (Din et al., 2003). Con este tipo de sistemas se pueden lograr temperaturas confortables ya que es una tecnología que almacena la energía térmica (calor) en un periodo particular de tiempo y libera la energía almacenada en un momento posterior para utilizarla cuando es necesario, tiene un gran potencial para reducir el consumo de energía en los edificios (Basecq et al., 2013). Uno de esos materiales es el agua, varios autores han realizado estudios para predecir el efecto del agua como material de almacenamiento de energía sobre la temperatura del aire interior y un aumento significativo de varios grados en la temperatura interior (Adams et al., 2010 y Yadav y Tiwari, 1988).

Una visión general de las metodologías para la investigación del muro de agua

En general existen tres tipos de enfoques adoptados en la investigación de la pared de agua, que son el modelado experimental, el modelado numérico basado en la dinámica de fluidos computacional y el enfoque analítico basado en el modelo de balance de calor que es parte de la metodología en la que se centra la presente investigación.

El modelado experimental es una forma directa y eficaz de investigar el comportamiento térmico de los sistemas de muro de agua. El modelado experimental en condiciones climáticas reales tiene muchas ventajas: se recopilan datos de rendimiento en tiempo real bajo condiciones climáticas realistas que incluyen todos los aspectos, por ejemplo, radiación solar, ángulo solar, temperatura ambiente, dirección y velocidad del viento, entre otras. La mayoría de los estudios se han centrado en este tipo de condiciones, mientras que unos pocos estudios se han realizado en laboratorio bajo condiciones controladas (Wu y Chengwang, 2016)

El modelado de Dinámica de Fluidos Computacional (CFD por sus siglas en inglés) es un método numérico de gran alcance que ha sido ampliamente utilizado para resolver una gama muy variada de problemas científicos y de ingeniería. Existen muchos ejemplos de la utilización de esta herramienta para investigar los sistemas solares pasivos (Hussain y Oosthuizen, 2013), sin embargo, pocos trabajos han informado el modelado para sistemas de muro de agua.

El Modelo de Balance de Calor (HBM por sus siglas en inglés) es un tipo de enfoque que se ha adoptado en la investigación del muro de agua y es un concepto que combina el concepto de conservación de energía que establece el equilibrio de energía asociado por conducción, convección y transferencia de calor por radiación con el fin de obtener la temperatura del aire ambiente y la temperatura del agua, este enfoque incorpora cinco supuestos principalmente (Pedersen, 1997): flujo uniforme del aire o agua, temperatura de la superficie uniforme, superficies radiantes de color gris, superficies radiantes, y conducción de calor unidimensional a través de las superficies de interés.

Planteamiento del problema

Las temperaturas bajas del clima de la Ciudad de México influyen en las temperaturas interiores de las edificaciones, el consumo energético es elevado sobre todo cuando se trata de climatizar un espacio, generalmente en las viviendas de interés social es donde el diseño y los sistemas constructivos han dejado en segundo plano al confort térmico. Los sistemas convencionales de calefacción tienen un alto consumo energético, por lo que el uso de sistemas de calefacción pasiva puede ser utilizados en las edificaciones como reguladores térmicos y ser parte de la solución para generar ambientes interiores confortables.

Justificación

Los sistemas de almacenamiento térmico a base de agua son parte de las técnicas bioclimáticas para proveer confort en el interior de las edificaciones. La investigación y aplicación de este tipo de sistemas se ha desarrollado en otros países, sin embargo, para su aplicación se requieren dimensiones mayores a las que requieren los sistemas constructivos actualmente utilizados, se relaciona directamente el volumen de agua almacenada y su influencia directa con su masa y peso, sin olvidar que el agua se encuentra estancada, este tipo de desventajas aunado al desconocimiento de un adecuado dimensionamiento y el escaso desarrollo de investigación en nuestro país ha desmotivado su uso a pesar de las ventajas reportadas en la literatura, su estudio se ha limitado a un número de lugares y por lo tanto vale la pena considerar la aplicación de este tipo de sistemas de muro de agua en nuestro país.

Objetivo general

Diseñar un muro de agua como sistema solar pasivo que provea niveles adecuados de confort en un espacio habitable.

Objetivos específicos

Establecer el dimensionamiento del sistema de muro de agua. Determinar el potencial de calefacción de un muro de agua para proveer condiciones confortables en un espacio teórico de una vivienda de la Zona Metropolitana de la Ciudad de México.

Hipótesis

El dimensionamiento adecuado de un muro de agua con respecto a un espacio habitable puede proveer el confort térmico requerido para una edificación.

Procedimiento metodológico

Para llegar a cumplir los objetivos de la presente investigación se obtuvo información mediante una revisión documental y un análisis de las metodologías llevadas en este ámbito, para poder implementar y encarar de otra forma la investigación de los sistemas de muro de agua. La revisión bibliográfica permitió obtener información de los sistemas solares pasivos, posteriormente se realizó una caracterización climática para la zona de estudio lo que permitió identificar las estrategias necesarias para ser implementadas en Azcapotzalco, CDMX. Entre las técnicas de calefacción pasiva hubo un interés particular por estudiar aquellas relacionadas con la ganancia solar directa con masa térmica a través de los muros térmicos de agua.

Para una primera aproximación de dimensionamiento se realiza una simulación numérica a través del software Comsol Multiphysics® aplicando el enfoque de balance de calor, con seis configuraciones, combinando varios espesores entre la capa de aire y agua, hasta encontrar los espesores más eficientes para calefaccionar el espacio de estudio.

I) Caracterización climática

Los datos climáticos se obtuvieron a través del software Meteororm 7 (Tabla 1). La ubicación geográfica con la que se alimentó al software fue la siguiente ubicación geográfica: Latitud 19.503 N, Longitud 99.184 W y Altitud 2254 msnm.

De acuerdo con el sistema de clasificación de Köppen-García (García, 1988) el clima de Azcapotzalco es Cbw2(w)(i') gw" un clima templado subhúmedo con poca oscilación térmica, clima tipo Ganges con canícula. Paralelamente se determinó la agrupación bioclimática y tiene por objeto la agrupación simplificada de localidades de acuerdo con sus requerimientos bioclimáticos, y esta corresponde al bioclima Semifrío Húme-

do, ya que la temperatura media del mes más calurosos (mayo) es de 19.3 °C y la precipitación pluvial anual es de 1045.6 mm, esta clasificación busca complementarse con la clasificación de Koppen-G.

Modelo de confort Adaptativo

El confort térmico es definido como la condición mental que expresa satisfacción con el ambiente térmico, el bienestar térmico es la situación bajo la cual el hombre expresa satisfacción con el medio ambiente higrotérmico que le rodea tomando en cuenta no solamente la temperatura y la humedad, también lo es el movimiento del aire, la actividad metabólica (MET), el nivel de arropamiento (clo) y la temperatura radiante (Auliciems y Szokolay, 2007).

Para el cálculo de la temperatura óptima de confort (temperatura neutra) se utilizó la formula original de Auliciems y Szokolay (2012): $17.6 + (0.31 \cdot T_m)$, la Zona de Confort (Z.C) se consideró simétrica con un rango de ± 2.5 °C, es decir, que se consideró una amplitud total de confort de 5 °C. La temperatura óptima para la zona de estudio es de 23 °C, la zona de confort quedo comprendida entre 20.3 °C y 25.3 °C (tabla 2).

Para la investigación se hizo uso de una herramienta de análisis bioclimático, el diagrama psicrométrico. De acuerdo con el modelo de confort Adaptative Comfort Model in Ashrae Standard 55-2010, grafica psicrométrica “Ashrae Handbook of fundamentals Comfort Model Up Throught 2005”, los porcentajes correspondientes a cada estrategia mencionan que las condiciones son confortables el 17.5% del tiempo, el 8% se requiere de protección solar, el 52% se requiere aprovechar las ganancias internas generadas en los espacios interiores, y el 23% de ganancias solar directa con masa térmica y ganancias solares directas con alta masa térmica el 15% y el 17% del tiempo se requiere de calentamiento (figura 1 y 2).

De acuerdo con los porcentajes analizados se apreció que la principal estrategia requerida es aquella de calentamiento, lo cual puede lograrse aprovechando las ganancias internas y las ganancias solares directas e indirectas. Un menor porcentaje nos señala que es neces-

rio reducir ganancias solares en las épocas y horas más calurosas, por lo que la masa térmica auxiliada del uso de ventilación natural permitirá favorecer la renovación de aire al interior de los espacios.

II) Construcción de la simulación de energía

La solución de los problemas reales implica una combinación de la información analítica y de la parte experimental. En general, primero se aproxima la situación física real con un modelo matemático que sea lo suficientemente simple para obtener una solución (Munson et al., 1999).

Debido a que el objetivo principal del proyecto es dimensionar el sistema como primera aproximación para calcular cuanta masa de agua utilizar en el sistema y calcular el espesor de la capa de aire entre el vidrio y el tanque de agua, se decidió simular un modelo que permitiera variar los diferentes espesores del sistema. El programa de simulación utilizado fue un software de elemento finito Comsol Multiphysics basado en métodos numéricos avanzados que abarca la definición de geometrías, propiedades de materiales y la física que describe los fenómenos específicos hasta la resolución y procesamiento de datos para producir resultados precisos y confiables.

La clave para el éxito de las simulaciones de ingeniería es desarrollar modelos validados experimentalmente que reemplacen el uso de experimentos y prototipos por sí solos, y brindar una comprensión más profunda del diseño o del proceso estudiado (COMSOL, 2020)

En comparación con la ejecución de métodos experimentales o la prueba de prototipos, el modelado permite una optimización más rápida y a menudo más eficiente y precisa de procesos y dispositivos.

EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO TÉRMICO DE UN ESPACIO DE ESTUDIO

Se realizó un estudio de transferencia de calor para un espacio teórico en estado de transición, considerando un flujo de convección natural en sistemas coordenados 3D. La simulación se efectúa en forma horaria comenzando con el día más frío del año (12 de enero) y se van

Tabla 1. Parámetros climáticos de la Zona de Azcapotzalco.

Fuente elaboración propia, datos obtenidos del software Meteonorm

Parámetros	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Anual
Temperatura (°C)													
Máxima	24.8	27.5	29.7	29.5	30.7	26.7	27.5	25.2	26	26.3	25.6	25.7	30.7
Extrema													
Máxima	21.2	22.5	24.8	25.5	24.8	22.8	22.1	22.2	21.3	22.2	21.3	20.9	22.6
Media	13.8	15.5	17.6	18.9	19.1	18	17.7	17.6	17	16.6	14.6	13.9	16.7
Mínima	7.6	9	10.7	12.4	13.4	13.5	13.2	13.1	13	11.7	8.6	7.7	11.1
Extrema	3.8	5.2	5.4	7.8	9.1	10.2	10	10.6	9.5	7.7	3	3.3	3
Oscilación	13.5	13.6	14.1	13.1	11.4	9.3	8.9	9.0	8.5	10.5	12.8	13.2	11.5
Precipitación													
Media Total (Mm)	13.4	6.9	7.2	17.6	76	252	138	136	274	96	19.5	7.6	1045

Tabla 2. Temperatura neutra y zona de confort con base a la formula Aulliciems.

Fuente elaboración propia.

Z.C. (°C)	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Anua
Z.C.S	24.4	24.9	25.5	26	26	25.7	25.6	25.5	25.4	25.2	24.6	24.4	25.3
Tn	21.9	22.4	23	23.5	23.5	23.2	23.1	23	22.9	22.7	22.1	21.9	22.8
Z.C.I	19.4	19.9	20.5	21	21	20.7	20.6	20.5	20.4	20.2	19.6	19.4	20.3

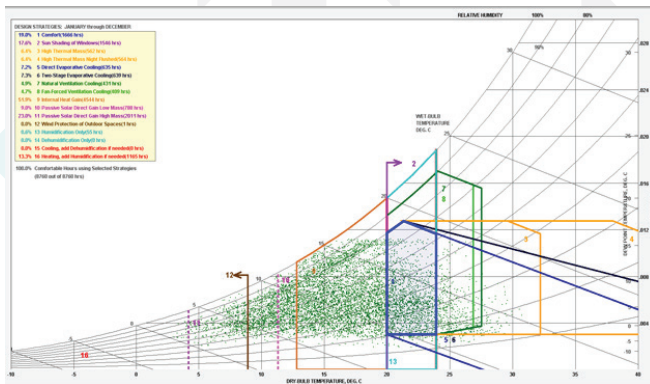


Figura 1.

Diagrama psicrométrico horario para Azcapotzalco, Fuente: elaboración propia, datos obtenidos del software meteonorm.

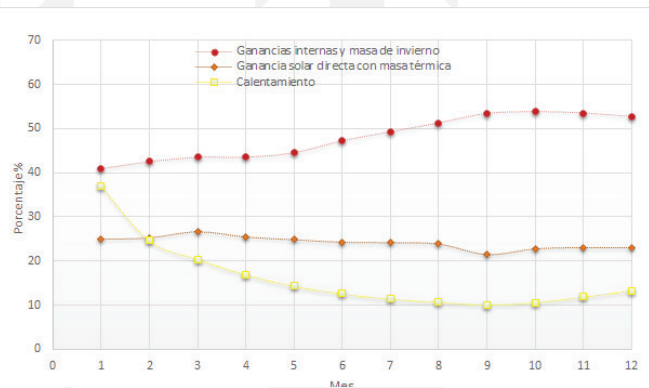


Figura 2.

Porcentajes de estrategias bioclimáticas de calentamiento. Fuente elaboración propia, datos obtenidos del software Climate Consultant.

agregando a la simulación los días posteriores, hasta cumplir con una semana de simulación. Se realizaron varias configuraciones de espesor de muro de agua: como primera aproximación se tomó un espesor de 7 cm de muro de agua y capa de aire (tabla 3). La evaluación se realizó usando datos climáticos de Azcapotzalco en específico los de temperatura y radiación horarios.

Se considera un muro de agua con superficie opaca, conectado directamente a un espacio de estudio. El muro de agua consta de una superficie acristalada y una columna de agua (figura 3)

El panel exterior es de vidrio y el muro de agua se considera como una superficie opaca que absorbe la radiación solar. El espacio de estudio E.E está lleno de aire y tiene una dimensión $X=3.6\text{m}$, $Y=2.4\text{m}$ y $Z=3\text{m}$, que se asemeja a un espacio residencial típico. La superficie entre el muro de agua y el vidrio se denomina capa de aire donde se crea un efecto invernadero. El espesor del E.E se mantiene constante, mientras que el espesor de la columna de agua (δ) y aire (δ_2) se varía en el estudio con el fin de investigar su efecto sobre el rendimiento térmico del sistema de pared de agua (figura 4). En este estudio, el dominio computacional estudia todo el modelo y considera las paredes adiabáticas, excepto aquel muro donde hay flujo de energía.

METODOLOGÍA DE SIMULACIÓN

Para resolver las ecuaciones de transferencia de calor que rige el sistema se utilizó la siguiente metodología:

- a) Se selecciona en el software el tipo de análisis, en este caso modelo en 3D.
- b) Se dibuja la geometría a analizar y se generan los elementos de frontera. En este caso la cavidad se dimensiona con 2.4 m de alto, 3.6 m de ancho y 3 m de longitud. A la cavidad se le incorpora un depósito que funge como el muro de agua. Éste se compone de lámina con 2.4 m de altura, 3.6 m de anchura y una longitud que se variará entre los 5 y 10 cm. El sistema también contempla una cámara de aire de 2.4 m de altura, 3.6 m de anchura y una longitud que también se variará entre los 5 y 10 cm. La pared vertical derecha de esta cámara es la del depósito de agua y la pared vertical izquierda está con-

formada por un vidrio transparente de 3 mm de espesor. En el sistema se generaron 14,654 elementos. Con el número de nodos y elementos propuestos se satisfacen los criterios de estabilidad y de orden de precisión para el alcance del trabajo.

- c) Se analizaron 6 combinaciones de espesores de aire y agua: 1) aire 5, agua 5 cm; 2) aire 5, agua 7 cm; 3) aire 5, agua 10 cm; 4) aire 10, agua 5 cm; 5) aire 10, agua 7 cm; 6) aire 10, agua 10 cm.
- d) Se introduce el valor de las propiedades del fluido, en este caso agua, y aire, de igual manera se introducen los valores de los elementos sólidos, del vidrio y la lámina.
- e) Se introducen los valores iniciales de temperatura en el sistema, en este caso una temperatura de 7°C .
- f) Se introducen las condiciones de frontera y se maneja para cada día de simulación la función correspondiente de temperatura y radiación, las cuales corresponden a las condiciones exteriores a la cual se somete el sistema, esto para que el software haga una variación de temperatura entre las paredes de la cavidad.
- g) Las interfaces resueltas por el programa fueron transferencia de calor por radiación, transferencia de calor en fluidos, transferencia de calor en sólidos y flujo de calor.
- h) Se crea un plano de corte en el eje (X, Y) coordenada $Z=0\text{ m}$ (figura 5), lo anterior para exportar los datos de posición al interior de la cavidad con sus respectivas temperaturas. Esto con la intención de realizar la gráfica de distribución de temperatura de flujo unidireccional en un plano bidimensional, se crea una línea de corte en $Y=1.2\text{ m}$, $Z=0$, y $0.1548 < X < 3.1549\text{ m}$ (figura 6).

Resultados

Se simulan 168 horas en total, estas horas representan a la semana más fría del año en la Ciudad de México. La temperatura ambiente mínima en la semana es de 3.8°C registrándose a las 7:00 h y la máxima de 22.5°C se da a las 15:00 h. La oscilación de temperatura diaria máxima es de 15.1 grados. Las temperaturas ambientales se ubican dentro de la zona de confort el 5.35 % del tiempo, lo que representa que el 95 % del tiempo para estas temperaturas se requieran técnicas bioclimáticas para proveer confort al interior de las edificaciones.

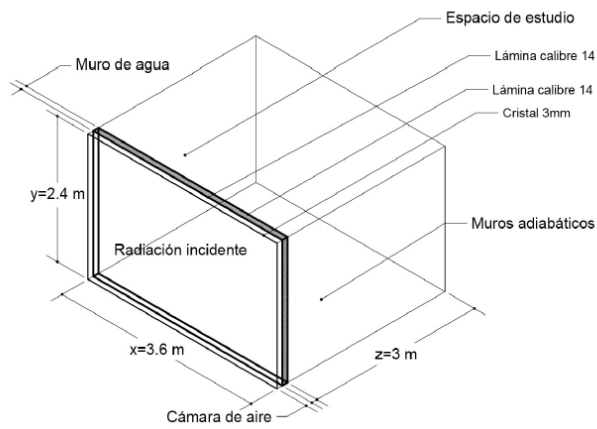


Figura 3. Modelo de muro de agua.

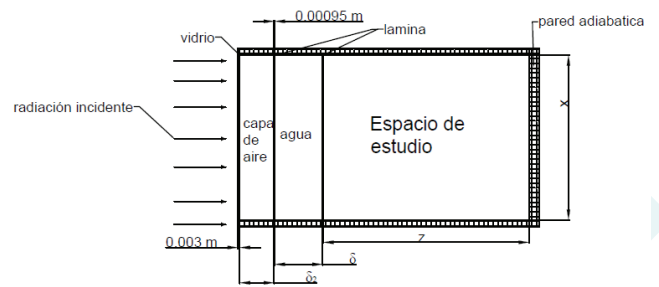


Figura 4. Esquema de muro de agua con superficie de muro de agua opaca.

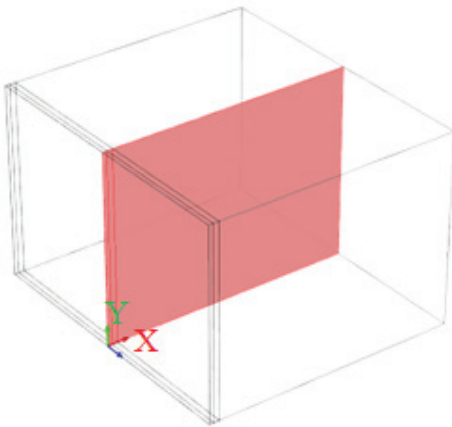


Figura 5. Plano de corte en eje x, y

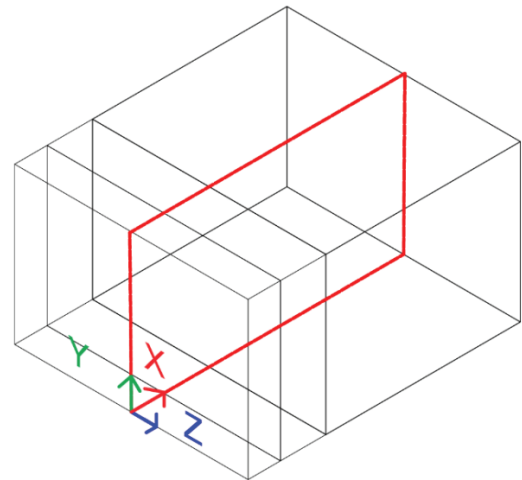


Figura 6. Ejes coordenados en el plano x,y,z.

Los seis sistemas de muro propuestos reducen hasta en 14°C la temperatura interior en comparación con la temperatura exterior.

La gráfica 7 muestra las seis combinaciones de agua y aire, las curvas horizontales en tono negro representan la zona de confort, se muestra las temperaturas al interior del sistema con estas combinaciones. La primera mantiene constante el muro de agua en 5 cm y se varía el aire en 5 y 10 cm (curva amarilla y azul cielo), en la segunda el muro de agua es de 7 cm y se varia la capa de aire en 5 y 10 cm (curva azul oscuro y morado), en la última el muro de agua es de mayor espesor 10 cm y se varía la capa de aire en 5 y 10 cm (curva verde y roja).

De acuerdo con los resultados señalados, las dimensiones de capa de aire y capa de agua que aportan el mejor comportamiento de temperatura al interior son: el muro de 10 cm de agua y la combinación de la capa de aire de 10 cm.

Para establecer cuál es la dimensión más adecuada para las capas de agua y aire del muro de agua, se toman en cuenta los datos después de la hora 126. A partir de

este intervalo el comportamiento de las temperaturas interiores es cíclico, lo que permite comparar las amplitudes interiores con las exteriores. Los parámetros para calificar el buen desempeño de los muros son: tiempo dentro de la zona de confort; cercanía a la temperatura neutra; menor factor de decremento; y menor oscilación de temperatura (tabla 3).

La oscilación al interior es menor (1.82 °C) con la configuración (aire 5_muro de agua 10) y tiene un factor de decremento superficial (DFS) de 0.12, el cual mide la proporción de la amplitud de la oscilación de temperatura de la superficie interior del muro con respecto a la del exterior y entre menor sea DFS mejor será el desempeño del sistema constructivo. Sin embargo, esta configuración a pesar de poseer menor DFS solo se encuentra dentro del área de confort 12 horas en comparación con el muro de agua (aire 10_agua 10), que permanece dentro de la zona de confort las 24 horas del día y tiene un DFS de 0.17 (tabla 3).

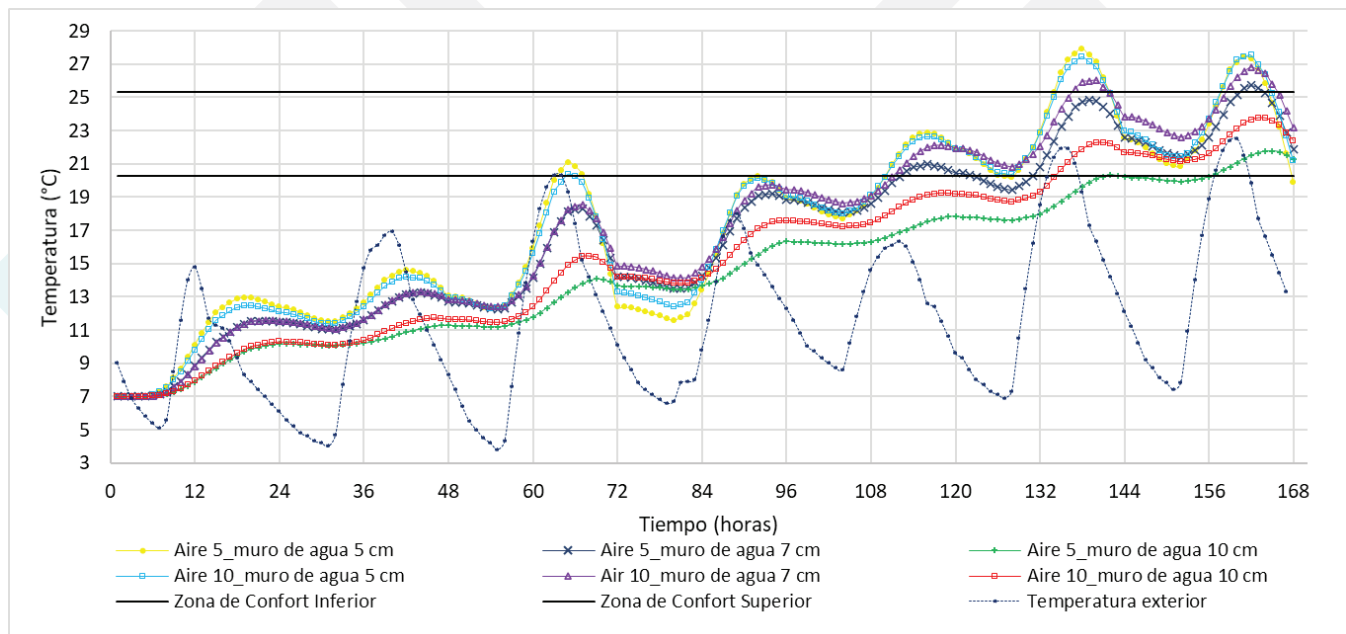


Figura 7. Comportamiento térmico de las diferentes configuraciones del sistema

Tabla 3. Comportamiento de las temperaturas al interior según sus dimensiones.

Sistema	Capa De Aire (Cm)	Muro De Agua (Cm)	Oscilación Interior (°C)	Oscilación Exterior (°C)	Factor De Decremento	Tiempo Dentro de la Z.C. (Hora)
1	5	5	7.50	15.1	0.49	16
2	5	7	4.3	15.1	0.28	20
3	5	10	1.82	15.1	0.12	12
4	10	5	6.37	15.1	0.42	17
5	10	7	4.20	15.1	0.27	17
6	10	10	2.64	15.1	0.17	24

Conclusiones

Para la ciudad de México con base en los datos meteorológicos se recomienda el uso de masa térmica en época de invierno, de acuerdo con un espacio teórico equipado con un sistema de almacenamiento térmico a base de muro de agua, las conclusiones son las siguientes:

El efecto de aire no es significativo cuando se tienen espesores de agua pequeños (5-7cm), sin embargo, al aumentar el espesor de muro hasta los 10 cm, el efecto de la capa de aire se hace más visible, llegando a permanecer más tiempo dentro de la Z.C (aire 10_muro de agua 10) y en contraparte el menor tiempo dentro de esta (aire 5_muro de agua 10).

En invierno el muro de agua puede aumentar la carga de calor requerida durante la noche y en el día regular la temperatura hasta alcanzar las condiciones de confort. El efecto de almacenamiento térmico de muro de agua para la semana más fría del año puede aumentar las temperaturas al interior, hasta 5 °C por arriba de las temperaturas ambientales máximas.

El espesor de los diferentes sistemas constructivos, y sus propiedades termofísicas de almacenamiento térmico y capacidad calorífica determinan diferentes escenarios de transferencia de calor en el interior de una edificación, y como consecuencia a generar temperaturas agradables al usuario, o en su defecto a ocasionar sobrecalentamiento o sobre enfriamiento. El diseño adecuado basado en el entendimiento del sistema y propiedades de los materiales en la edificación permitirá eliminar este tipo de desventajas al crear ambientes más cómodos y relajantes.

Sobre la base de estudio se puede concluir que el modelo descrito es muy completo respecto a la física que involucra, y es muy útil para calcular varios parámetros del muro de agua en cualquier lugar, espesores, tamaño, temperaturas ambientales y radiación directa.

REFERENCIAS

- Auliciems, A. & Szokolay S. (2007). *Thermal Comfort. Australia: PLEA University of Queensland.*
- Basecq, V., Michaux, G., Inard, C. & Blondeau, P. (2013). *Short-Term Storage Systems of Thermal Energy for Buildings: A Review.* Advances in Building Energy Research. 7 (1) 66–119.
- Munson, B. R., Young, D. F. y Okishi, T. H. (1999). *Fundamentos de Mecánica de Fluidos. México: Limusa, S.A. de C.V. Grupo Noriega Editores.*
- Comsol 2020. <https://www.comsol.com/blogs/fem-vs-fvm/> <https://es.scribd.com/doc/248604572/Introduccion-al-Modulo-de-Transferencia-de-Calor-COMSOL-Multiphysics-4-4>
- Zhao, C., You, S., Zhu, C., & Yu, W. (2016). *Experimental investigation on the thermal performance of heat storage walls coupled with active solar systems.* Heat and Mass Transfer: Wärme- Und Stoffübertragung, 52(12), 2747. <https://bidi.uam.mx:6990/10.1007/s00231-016-1783-8>
- Nayak, J.K. (1987), *Transwall Versus Trombe Wall: Relative Performance Studies, Energy Convers. Management.* 27(4). 389–393.
- Wilson, A. (1979). *Thermal Storage Wall Design Manual*, New México Solar Energy Association.
- Gupta, A., & Tiwari, G. N. (2002). *Computer model and its validation for prediction of storage effect of water mass in a greenhouse: a transient analysis.* Energy Conversion and Management, 43(18), 2625–2640. [https://bidi.uam.mx:6990/10.1016/S0196-8904\(01\)00196-0](https://bidi.uam.mx:6990/10.1016/S0196-8904(01)00196-0)
- Pinacho G. M. Y. (2020). *Evaluación térmica de los muros de agua, una alternativa bioclimática para climatizar un espacio. Tesis para obtener el título de maestra en Diseño Bioclimático.* Universidad Autónoma Metropolitana, Azcapotzalco, Ciudad de México.
- Din M., Tiwari G.N., Ghosal M.K., Srivastava N.S.L., Imran Khan M., Sodha M.S., *Effect of thermal storage on the performance of greenhouse.* Int. J. Energy Res. 27 (1).79-92
- Adams et al.,2010. *Not a dry subject: optimizing water Trombe walls*, Proceedings of the solar 2010 ASES conference.
- Yadav Y.P. y Tiwari G.N. *Analytical model of a solárium for cold climate a new approach*, Energy Convers. Manag. 28 (1). 15-20
- Wu, T. & Chengwang, L. (2016). *A Review of Research and Development on Water Wall for Building Applications*, Energy and Buildings, 112, 198–208.
- Pederson C. O., Fisher D.E., Liesen R.J. (1997). *Development of a heat balance procedure for calculating cooling loads.* Ashrae Trans. 103(2). 45