

Estudio de un sistema de humidificación adiabática para control de temperatura

Efren Alejandro Ruelas Lopez¹, Jose Armando Rangel Morales², Isa Pereyra³ y Miguel Ángel González López³
Posgrado CIATEQ A.C.¹, CONAHCYT-Centro de Tecnología Avanzada (CIATEQ)³
Zapopan, Jal.^{1,2}; San Luis Potosí, S.L.P.³; México
eruelas18@outlook.com, mangel.gonzalez@ciateq.mx

Abstract— This article presents the result of a test to verify how the adiabatic humidification system using atomization works in reducing the temperature in a small, closed space. Previous studies have analyzed and compared these types of systems to reduce temperature. A test is carried out with pressurized water atomizing equipment in a small, closed space, where thermohygrometers were placed around it to measure the behavior of the air and analyze the reduction in temperature when the relative humidity increases. It is shown that the behavior of this type of systems depends mainly on meteorological conditions. Given the results, it is proposed to subsequently carry out a software simulation to apply this type of systems in larger closed spaces.

Keyword— *air conditioning, evaporative cooling, adiabatic humidification, pressurized water.*

Resumen— Este artículo presenta el resultado de una prueba para verificar cómo funciona el sistema de humidificación adiabática mediante atomización en la reducción de la temperatura en un pequeño espacio cerrado. Estudios anteriores han analizado y comparado este tipo de sistemas para reducir la temperatura. Se realiza una prueba con un equipo atomizador de agua presurizada en un espacio confinado, donde se colocaron termohigrómetros alrededor para lograr medir el comportamiento del aire y analizar la reducción de la temperatura cuando la humedad relativa aumenta. Se muestra que el comportamiento de este tipo de sistemas depende principalmente de las condiciones meteorológicas. Dados los resultados, se propone realizar posteriormente una simulación por software para aplicar este tipo de sistemas en grandes espacios cerrados.

Palabras claves— *aire acondicionado, enfriamiento evaporativo, humidificación adiabática, agua presurizada.*

I. INTRODUCCIÓN

El mayor consumo de energía en una edificación ocurre durante su funcionamiento. Sin embargo, el patrón de uso final de la energía en un edificio se verá condicionado a distintos factores como el tipo de uso, la zona climática donde se ubica, entre otros. Un estudio realizado por Romero y colaboradores buscó demostrar el uso final de la energía en edificios residenciales y comerciales en distintos países, y concluyó que el mayor consumo registrado en casi la totalidad de los países consultados corresponde a la climatización de los espacios construidos (calefacción, ventilación y aire acondicionado o HVAC por sus siglas en inglés).

El calentamiento global está impulsando un incremento de energía para enfriar edificaciones, se prevé un aumento del 72% en la demanda de climatización para el año 2100. Este dato subraya la importancia de investigar con mayor profundidad las estrategias de climatización eficientes en edificaciones como elemento fundamental para reducir el consumo de energía (Lorenzo, 2015).

El calentamiento global inducido por el hombre ha aumentado desde la época preindustrial y a partir de 2017 el aumento ha sido acelerado. El alarmante aumento en la temperatura global del planeta demanda mínimamente limitar el aumento de ésta, por lo que es necesario a corto plazo la reducción gradual de las emisiones antropogénicas no naturales netas de CO₂ a partir del año 2020 y llegar a cero alrededor del año 2050 (Arroyo y Ramírez-Monroy, 2020).

El consumo global de energía ha incrementado en un rango exponencial donde los sectores de edificios residenciales y comerciales consumen cerca del 55% de la energía en el mundo y alrededor del 40% corresponde a aplicaciones de aire acondicionado (Hussain et al., 2022).

Actualmente, los sistemas de enfriamiento de aire comúnmente utilizan sistemas auxiliares ya sea con agua helada, la cual se genera con equipos que utilizan sistemas de refrigeración por compresión enfriados con aire o con agua, o sistemas de refrigeración por compresión conectados directamente con evaporadores a los sistemas de enfriamiento de aire.

En Mexicali, México, conocida por su extremoso clima cálido, los sistemas de refrigeración por compresión, que consumen grandes cantidades de energía eran predominantes en 2010. Sin embargo, en 1995, una tercera parte de la población ya utilizaba sistemas de enfriamiento evaporativo, una alternativa más eficiente (Gallegos et al., 2010).

El enfriamiento evaporativo es un fenómeno físico en el cual la evaporación de un líquido, generalmente en el aire circundante, enfría un objeto o un líquido en contacto con él (Ial Basediya et al., 2013). Es un proceso de transferencia de calor y masa que utiliza la evaporación del agua para reducir la temperatura del aire, en el que se transfiere una gran cantidad de calor del aire al agua, y en consecuencia la temperatura disminuye (Amer et al., 2014).

El método de enfriamiento evaporativo, así como el método por atomización, son parte de los sistemas de humidificación adiabática (Jo et al., 2017) que se muestran en la Tabla I. Para el caso de la evaporación se realiza a través de medios humedecidos mientras que para la atomización se encuentran el ultrasónico, centrífugo, agua presurizada y con aire comprimido.

Tabla I. Métodos de humidificación del sistema de humidificación adiabática.

| Humidificación adiabática | |
|----------------------------------|-----------------------------|
| <i>Atomización</i> | Atomizador ultrasónico |
| | Atomizador centrífugo |
| | Atomizador agua presurizada |
| | Atomizador aire comprimido |
| <i>Evaporación</i> | Medios humedecidos |

Un sistema de humidificación adiabática se define por medio de distintos procesos y se describe por medio de la carta psicrométrica mostrado en la Figura 1.

En la Figura 1 se muestra el proceso A-B, donde se presenta el calentamiento de la masa de aire dado por el cambio de condiciones climáticas de la ubicación; mientras que en el proceso B-C, se lleva a cabo la humidificación por medio de agua a través de un medio humedecido o de aspersores para conseguir las condiciones de saturación de la masa de aire, logrando así, la disminución de la temperatura del aire y aumentando su humedad relativa.

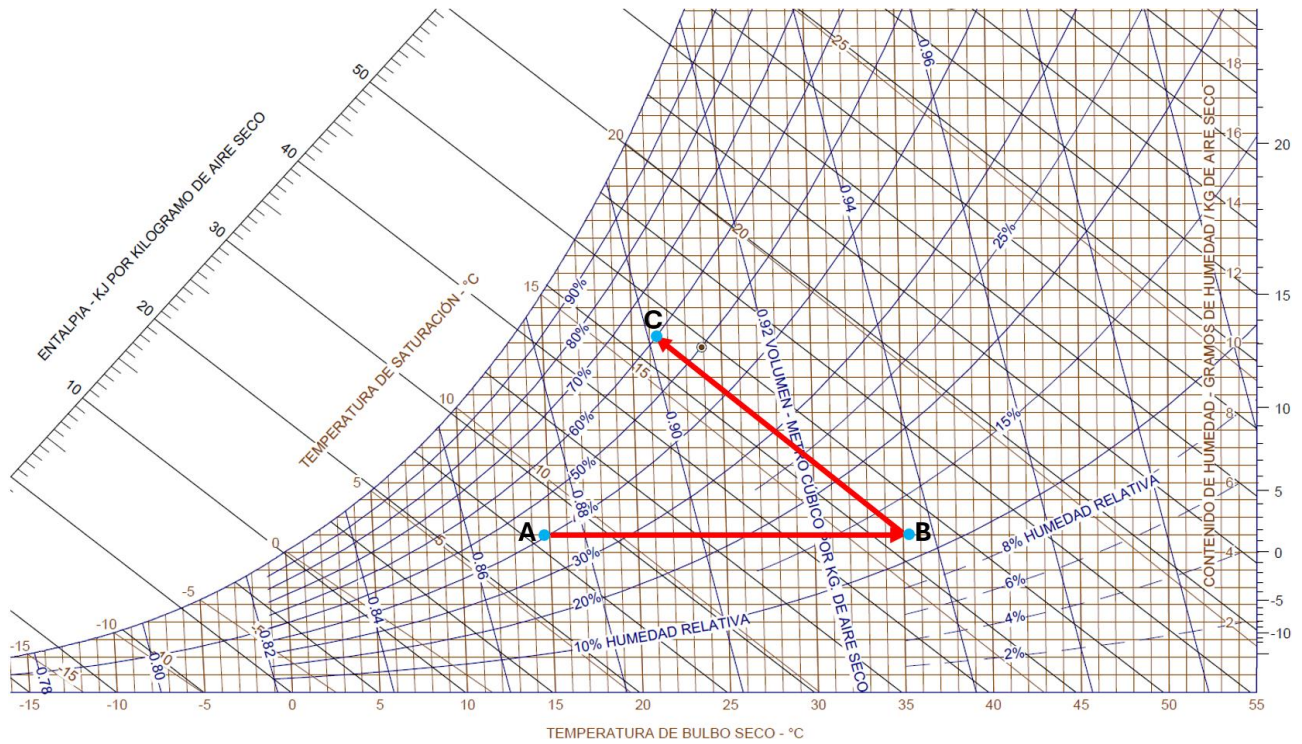


Figura 1. Carta psicrométrica con proceso de calentamiento y humidificación adiabática.

Cabe mencionar que para obtener el proceso B-C el agua inyectada al ambiente se encuentra a la temperatura de saturación del aire (temperatura de bulbo húmedo) y la línea de este proceso es conocida como línea de saturación adiabática o línea de entalpía constante (Pilatowsky, 2002) y se describe por medio de la siguiente ecuación (1):

$$H_s - H = C_s / \lambda (t - t_s) \quad (1)$$

Donde:

H_s = humedad de saturación

H = humedad absoluta

C_s = calor húmedo, para fines ingenieriles $C_s = 0.24 + 0.45H$

λ = calor latente de evaporación

t = temperatura de la mezcla aire-vapor de agua

t_s = temperatura de saturación

El sistema de humidificación adiabática ya ha sido comparado y evaluado contra otros sistemas de humidificación y en aplicaciones para reducir la temperatura como se puede ver en la Tabla II., mostrando principalmente el ahorro de energía que ofrece.

Tabla II. Estudios sobre el sistema de humidificación adiabática para reducción de temperatura y ahorro energético.

| Referencia | Nombre de artículo | Resumen |
|-------------------|--|---|
| Jo et al., 2017 | Energy-Saving Benefits of Adiabatic Humidification in the Air Conditioning Systems of Semiconductor Cleanrooms | Evalúan la aplicabilidad de la humidificación adiabática en los sistemas HVAC. Se demuestran los potenciales ahorros energéticos comparados contra un sistema de humidificación por vapor. |
| Noor et al., 2020 | Evaporative Cooling Options for Building Air-Conditioning: A Comprehensive Study for Climatic Conditions of Multan (Pakistan) | Comparan diversos modelos de enfriamiento en combinación con los sistemas de humidificación adiabática por enfriamiento evaporativo. Sus resultados muestran la disminución del consumo de energía eléctrica con la ayuda del enfriamiento evaporativo. |
| Meng et al., 2022 | A comprehensive review on the spray cooling system employed to improve the summer thermal environment: Application efficiency, impact factors, and performance improvement | Muestran como el enfriamiento evaporativo por aspersión se utiliza en diferentes aplicaciones. Concluyen que este sistema podría reducir la temperatura, aumentando el rango de humedad relativa y que las condiciones ambientales afectan la sensibilidad del sistema. |
| Ulpiani, 2019 | Water mist spray for outdoor cooling: A systematic review of technologies, methods and impacts | Revisa y examina diversa literatura sobre el uso de sistemas de pulverización de agua nebulizada. Los datos recopilados califican a este sistema como rentable, versátil y de alto impacto. |

Los métodos de enfriamiento evaporativo y atomización del sistema de humidificación adiabática se destacan por su eficiencia energética y sostenibilidad, ofreciendo soluciones clave en industrias y edificaciones frente al cambio climático. Su aplicación va desde mejorar la calidad del aire en espacios habitables, conservar alimentos en el sector agrícola, hasta optimizar el ambiente en centros de datos, donde la gestión térmica es crítica. Estos sistemas no solo reducen el consumo energético y las emisiones de carbono, sino que también promueven un entorno más saludable y productivo. Con base en lo anterior, en este trabajo se estudia el comportamiento del sistema humidificación adiabática dentro de la carta psicrométrica y se realiza una prueba para verificar el comportamiento del sistema de humidificación adiabática por el método de atomización para la reducción de la temperatura en el aire dentro de un pequeño espacio cerrado.

II. MATERIALES Y MÉTODOS

Los humidificadores adiabáticos utilizan una variedad de tecnologías para introducir agua en el aire, ya sea dispersando gotas de agua o permitiendo que el agua se evapore de un medio húmedo, lo que hace que los niveles de humedad relativa (RH) aumenten y la temperatura del aire (bulbo seco) disminuya (Wasner y Schwaller, 2011).

Al diseñar un sistema adiabático, se debe considerar cuidadosamente las condiciones de temperatura y humedad del aire entrante. Dado que el proceso ocurre a una entalpía casi constante, el aire debe estar lo suficientemente caliente como para absorber suficiente humedad para lograr la humedad relativa deseada del espacio. Por lo tanto, normalmente es necesario precalentar el aire entrante antes de la humidificación, especialmente en climas más fríos y en sistemas con grandes cantidades de aire exterior (Fonseca y Cuevas, 2010). Estos sistemas deshumidificación adiabática por atomización (spray) han sido utilizados con éxito en climas áridos en países como España e Israel (Farnham et al., 2011).

En este trabajo, se utilizó un sistema de humidificación adiabática por atomización con agua presurizada (bomba de alta presión) mostrado en la Figura 2, que alcanza una presión de hasta 1000 PSI (libra por pulgada cuadrada), el cual estaba acompañado de un ventilador debajo de las boquillas.



Figura 2. Humidificador de aire directo y alta presión ML Princess (CONDAIR, 2024).

En este método de atomización, el agua es suministrada por una bomba de alta presión, en algunos sistemas utilizan presiones de varios cientos de PSI lo que da como resultado partículas de niebla de menor tamaño (Morton, 2015) como se muestra en la Figura 3.



Figura 3. Niebla formada por el método de atomización con agua presurizada (CONDAIR, 2024).

Las condiciones ambientales fueron medidas con termohigrómetros (HOBO) que registran y almacenan la información, éstos se instalaron a una distancia de 3 m del centro de las boquillas y a una altura de 1.8 m del suelo como se muestra en la Figura 4. Los termohigrómetros utilizados tienen un rango de medición de temperatura de $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ hasta $70\text{ }^{\circ}\text{C}$ con una exactitud de $+0.21\text{ }^{\circ}\text{C}$, y un rango de humedad relativa de 1% hasta 95% (sin condensación) con una exactitud de $+2.5\%$. Estos fueron programados para registrar la información cada 5 min.

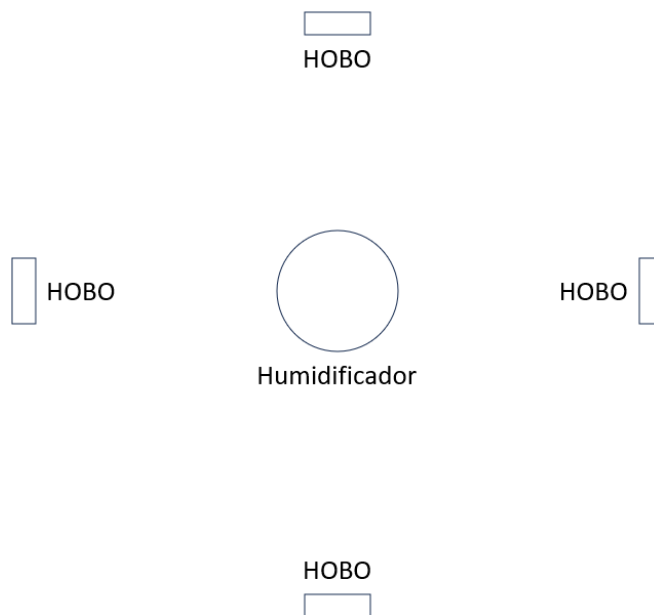


Figura 4. Ubicación de las boquillas y termohigrómetros.

Las pruebas se realizaron en un espacio confinado con medidas 5 m (largo) X 8 m (ancho) X 4 m (alto). Este espacio, al ser un área técnica de servicio donde se almacenaba agua a una temperatura promedio 75 °C, ocasionaba que la temperatura del ambiente incrementara por arriba de los 35 °C con una humedad relativa por debajo de 30%. Por tal motivo se decidió realizar la prueba en este lugar ya que la selección de un espacio confinado con condiciones específicas de alta temperatura y baja humedad relativa se fundamentó en la necesidad de simular un entorno que presentara desafíos relevantes para la aplicación de sistemas de humidificación adiabática

Cabe destacar que no se contaba con ningún tipo de sistema de enfriamiento ni ventilación ya que es un área donde el personal no ingresaba constantemente y solo contaba con una puerta de acceso desde el exterior, lo cual propicia la estabilidad de las lecturas de los termohigrómetros durante la prueba.

III. RESULTADOS Y DISCUSIONES

Se realizaron mediciones previas al inicio de las pruebas para revisar las condiciones iniciales del área con la ayuda de los termohigrómetros mencionados anteriormente y se obtuvieron la temperatura de bulbo seco y la humedad relativa mostrados en la Tabla III. El resto de los valores de la Tabla III se obtuvieron a través de la carta psicrométrica de acuerdo con La Sociedad Estadounidense de Ingenieros de Calefacción, Refrigeración y Aire Acondicionado (ASHRAE por sus siglas en inglés) con la ayuda del software HDPSyChart Versión 7.9.6, el cual trabaja con ella. Este software es un programa de análisis psicrométrico donde nos pide al menos ingresar dos parámetros de la carta psicrométrica para encontrar los restantes.

Tabla III. Condiciones meteorológicas iniciales del lugar de prueba.

| Temperatura bulbo seco (°C) | Temperatura bulbo húmedo (°C) | Humedad relativa (%) | Humedad absoluta (g/kg) | Entalpía (kJ/kg) | Punto de rocío (°C) |
|-----------------------------|-------------------------------|----------------------|-------------------------|------------------|---------------------|
| 35.5 | 17.8 | 19 | 8.3 | 57.1 | 8.4 |

Una vez ingresados los parámetros de la Tabla III en este programa, se elige el proceso de humidificación adiabática donde se fija la temperatura de bulbo húmedo con un valor igual al ingresado y posteriormente se elige el valor de temperatura de bulbo seco deseado, el cual está limitado en este caso por la capacidad del equipo de prueba. Con esto se obtuvieron los valores que se muestran en la Tabla IV.

Tabla IV. Condiciones finales calculadas para la prueba.

| Temperatura bulbo seco (°C) | Temperatura bulbo húmedo (°C) | Humedad relativa (%) | Humedad absoluta (g/kg) | Entalpía (kJ/kg) | Punto de rocío (°C) |
|-----------------------------|-------------------------------|----------------------|-------------------------|------------------|---------------------|
| 33 | 17.8 | 24.5 | 9.3 | 57.2 | 10.1 |

El tiempo de operación normal de estos sistemas dependerá del espacio donde se instalen y de las condiciones que se desean alcanzar, ya que los parámetros meteorológicos de cada espacio son afectados por cargas térmicas, ventilación, procesos, entre otros factores.

Se tomó el promedio de las condiciones ambientales registradas por los 4 termohigrómetros durante un periodo de tiempo de 90 minutos para verificar el comportamiento de este sistema, obteniendo los resultados mostrados en la Figura 5, donde se observa el decremento de la temperatura de bulbo seco, desde 35.5 °C hasta 33 °C, con un aumento de humedad relativa desde 19% hasta 27.3%, quedando una amplia sección para continuar con el enfriamiento del aire hasta llegar a una humedad relativa límite de 60% en el ambiente.

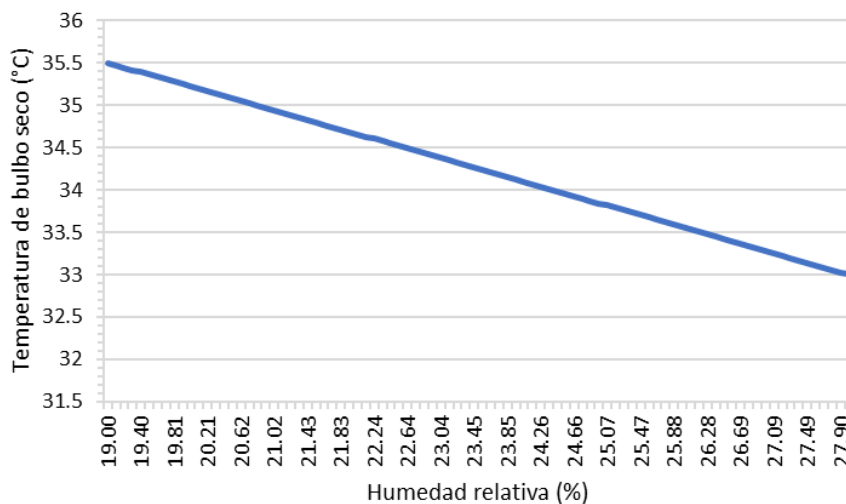


Figura 5. Temperatura de bulbo seco (°C) vs humedad relativa (%).

Una vez obtenidos estos resultados, con la ayuda del software HDPsyChart Versión 7.9.6 se seleccionó el punto en la carta psicrométrica y se obtuvieron los resultados finales de los parámetros de temperatura de bulbo húmedo, humedad absoluta, entalpía y punto de rocío.

Como se observa en la Figura 6, la temperatura de bulbo húmedo se mantiene constante, siendo esta la clave para poder determinar hasta qué punto se puede reducir la temperatura de bulbo seco con niveles aceptables de humedad relativa.

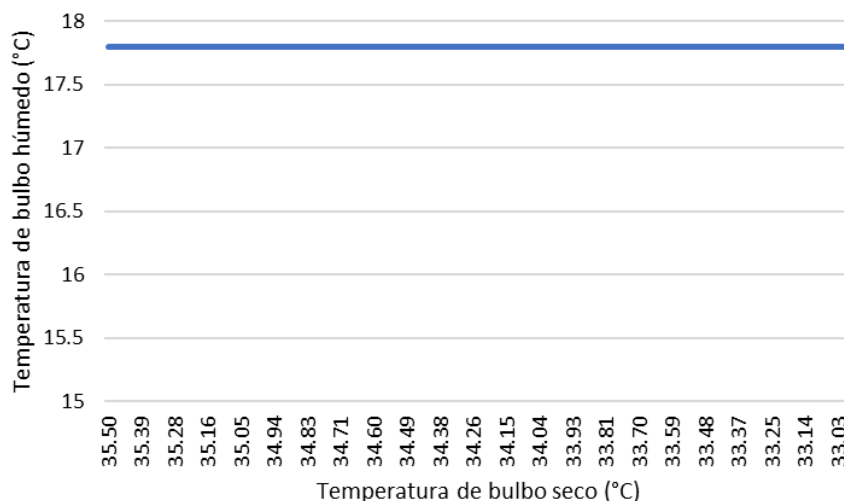


Figura 6. Temperatura de bulbo húmedo (°C) vs Temperatura de bulbo seco (°C).

De manera similar a la Figura 5, el aumento de la humedad absoluta va de acuerdo con el proceso que se lleva a cabo, aumentando gradualmente debido a la adición de agua atomizada al ambiente (Figura 7).

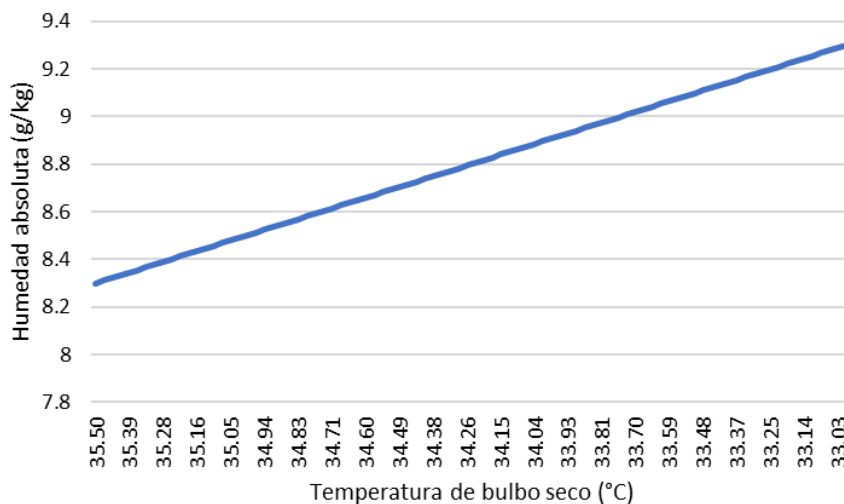


Figura 7. Humedad absoluta (g/kg) vs temperatura de bulbo seco (°C).

Por otro lado, se muestra, en la Figura 8, la entalpía que se mantuvo casi constante a lo largo del proceso, evidenciando el propósito de este sistema, debido a que no existe transferencia de calor en el sistema durante el proceso.

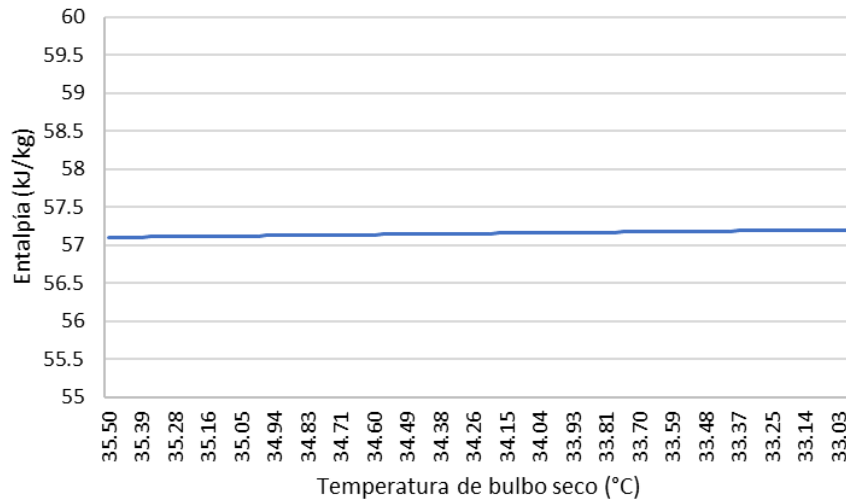


Figura 8. Entalpía (kJ/kg).vs temperatura de bulbo seco (°C).

Asimismo, en la Figura 9 se muestra el comportamiento del punto de rocío del aire, donde se observa un aumento conforme se adicionaba agua al ambiente, saturando parcialmente el ambiente del espacio.

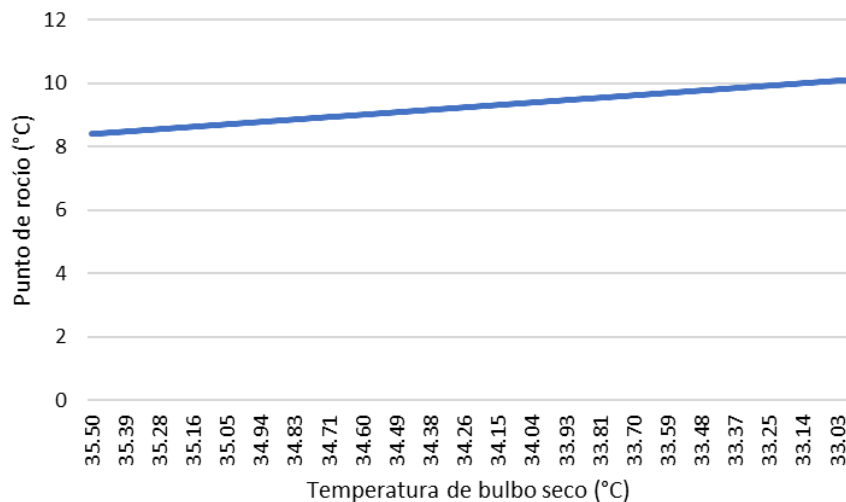


Figura 9. Punto de rocío (°C).vs temperatura de bulbo seco (°C).

En la Figura 10, se puede observar el punto máximo de reducción de la temperatura de bulbo seco que se pudiera alcanzar en la localización geográfica de la prueba con una humedad relativa de 60% y una temperatura de bulbo seco de 23.5 °C; por lo anterior, en esta aplicación, partiendo desde el punto inicial en una temperatura de bulbo seco de 35.5 °C y manteniendo constante la temperatura de bulbo húmedo, se observa una disminución teórica de 12 °C.

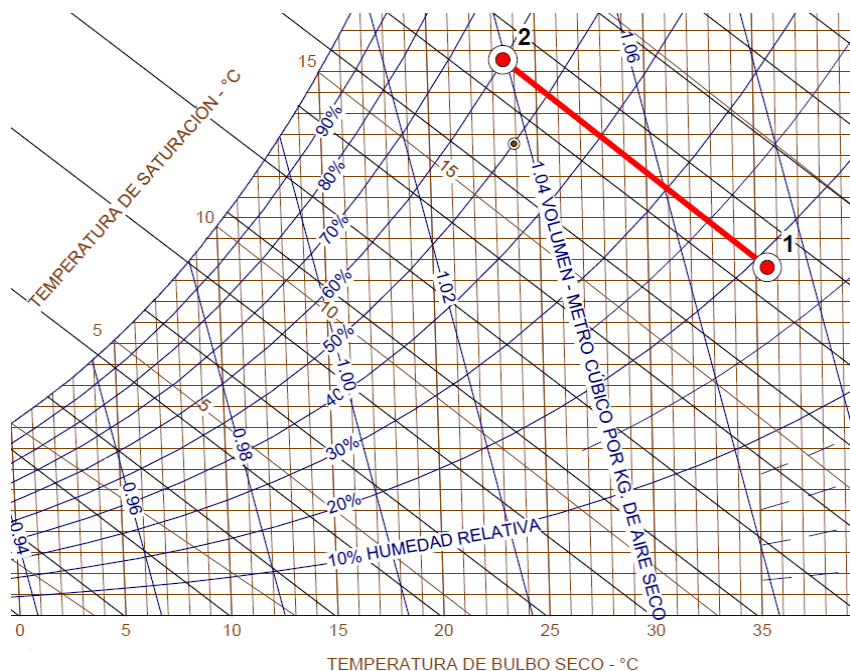


Figura 10. Punto máximo de reducción de temperatura de bulbo seco con 60% HR.

De acuerdo con Morton, 2015, el aumento de la humedad puede reducir la incidencia de infecciones respiratorias comunes y brindar alivio a los asmáticos, pero al mismo tiempo puede aumentar la prevalencia de microorganismos causantes de alergias. En la Figura 11 se observa el gráfico de barras de Sterling, donde se sugiere una zona óptima entre 40% y 60% de humedad relativa, por lo tanto, se ha establecido un límite superior de 60% HR, ya que se pudiera interpretar que estos sistemas pueden enfriar hasta alcanzar una humedad relativa teórica de 100% manteniendo constante la temperatura de bulbo húmedo.

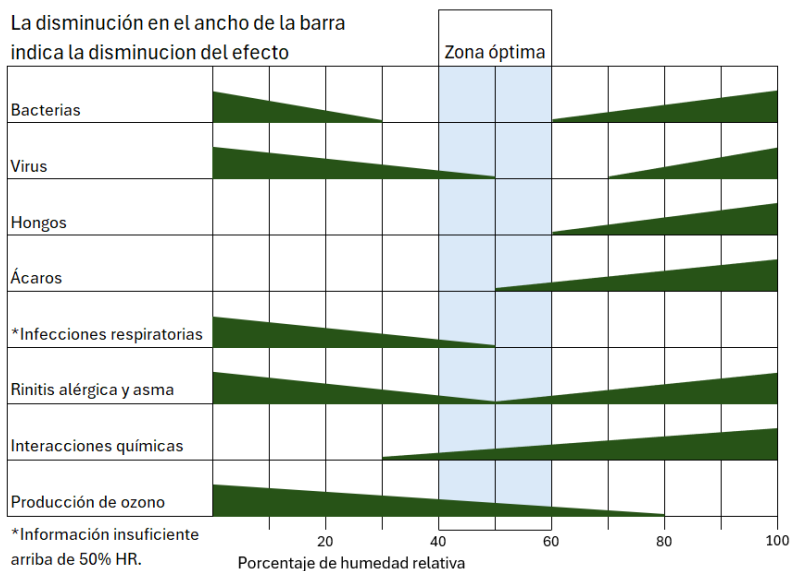


Figura 11. Efectos de la humedad sobre el crecimiento de bacterias y virus, entre otras cosas.

Las condiciones meteorológicas del lugar donde se pretende implementar este tipo de sistemas deben ser analizadas previamente ya que en lugares donde la humedad es alta, el rango de reducción de temperatura de bulbo seco es mucho menor.

Hablando de una ciudad donde las condiciones meteorológicas no favorecen la aplicación de este tipo de sistemas, por ejemplo Monterrey, con los datos obtenidos de aire de exterior (ASHRAE, 2021), se tiene que el aire de exterior para verano es de 38.2 °C de temperatura de bulbo seco y 27.2 °C de temperatura de bulbo húmedo (punto 1) por lo que se observa en la Figura 12 que es posible alcanzar, con una humedad relativa de 60%, una disminución de temperatura teórica de 4.2 °C, logrando bajar hasta tener una temperatura de bulbo seco de 34 °C.

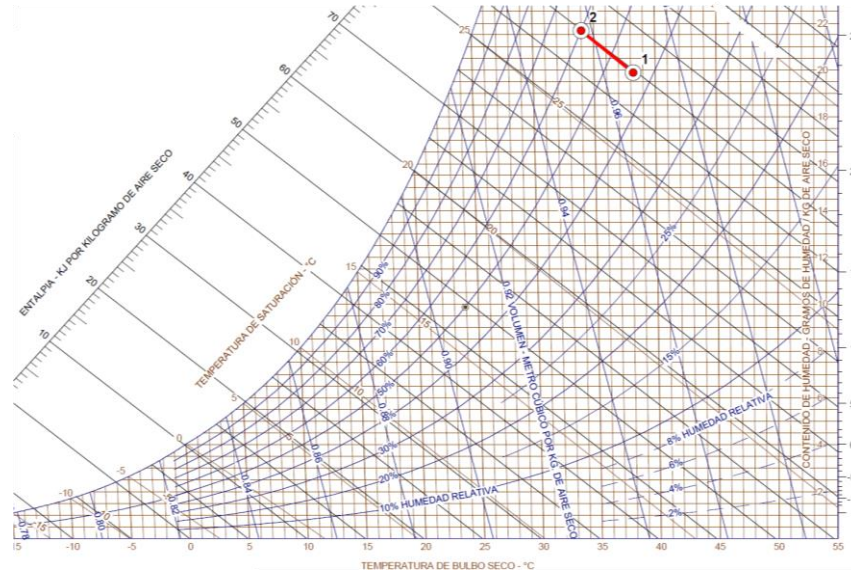


Figura 12. Punto de temperatura alcanzable para la ciudad de Monterrey con 60% HR.

IV. CONCLUSIÓN

El comportamiento de los sistemas de humidificación adiabática no solo puede ayudar a realizar aportación de humedad al aire, sino que también ayuda a enfriarlo. Dado este comportamiento, podría ser utilizado en diferentes aplicaciones para reemplazar o trabajar en conjunto con los sistemas convencionales utilizados para la reducción de temperatura y humidificación en sistemas HVAC, donde puede reemplazar los sistemas de humidificación isotérmicos, logrando de esta manera reducir los consumos de energía y por consiguiente disminuyendo las emisiones de CO₂.

Los sistemas de humidificación adiabática tienen un gran potencial para ahorrar energía y proveer condiciones de temperatura y humedad óptimas para la conservación de los productos almacenados que así lo requieran.

Para conocer con mayor exactitud el punto máximo de temperatura al que podría llegarse, dependiendo la ubicación geográfica del lugar, se necesitaría realizar una simulación considerando, además de los parámetros meteorológicos, los factores por cargas térmicas, radiación de calor, materiales de construcción, entre otros.

Con base en los resultados obtenidos, se propone realizar una simulación con la ayuda de un software como TRNSYS para analizar el comportamiento del sistema de humidificación adiabática en un espacio más grande, como un almacén.

REFERENCIAS

- [1] Lorenzo, E. (2015). Climatización pasiva de edificaciones como estrategia para una arquitectura sostenible. (Tesis). Universidad Central de Venezuela, Caracas.
- [2] Arroyo, M., & Ramírez-Monroy, A. (2020). Dióxido de carbono, sus dos caras. *Anales de Química de la RSEQ*, 116(2), Article 2.
- [3] Hussain, I., Bibi, F., Bhat, S. A., Sajjad, U., Sultan, M., Ali, H. M., Azam, M. W., Kaushal, S. K., Hussain, S., & Yan, W.-M. (2022). Evaluating the parameters affecting the direct and indirect evaporative cooling systems. *Engineering Analysis with Boundary Elements*, 145, 211-223. <https://doi.org/10.1016/j.enganabound.2022.09.016>
- [4] Gallegos, R., Velázquez, N. y Luna, A. (2010). Simulación Dinámica y Estudio Comparativo de diferentes Configuraciones de Sistemas de Enfriamiento Evaporativo para Mexicali, México. *Información Tecnológica*, Vol. 21(2), 45-58. <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-07642010000200007>
- [5] Lal Basediya, A., Samuel, D. V. K., & Beera, V. (2013). Evaporative cooling system for storage of fruits and vegetables—A review. *Journal of Food Science and Technology*, 50(3), 429-442. <https://doi.org/10.1007/s13197-011-0311-6>
- [6] Amer, O., Boukhanouf, R., & Ibrahim, H. (2014). A Review of Evaporative Cooling Technologies. *International Journal of Environmental Science and Development*, Vol. 6, No. 2, 111-117. DOI: 10.7763/IJESD.2015.V6.571
- [7] Jo, M.-S., Shin, J.-H., Kim, W.-J., & Jeong, J.-W. (2017). Energy-Saving Benefits of Adiabatic Humidification in the Air Conditioning Systems of Semiconductor Cleanrooms. *Energies*, 10(11), Art. 11. <https://doi.org/10.3390/en10111774>
- [8] Pilatowsky, I. (2002). Psicrometría, metodos de humidificacion y dehumidificacion y sus aplicaciones en el diseño arquitectónico. Recuperado de https://www.researchgate.net/publication/266498059_Psicrometria_Metodos_de_humidificacion_y_dehumidificacion_y_sus_aplicaciones_en_el_diseno_arquitectonico
- [9] Noor, S., Ashraf, H., Sultan, M., & Khan, Z. M. (2020). Evaporative Cooling Options for Building Air-Conditioning: A Comprehensive Study for Climatic Conditions of Multan (Pakistan). *Energies*, 13(12), Art. 12. <https://doi.org/10.3390/en13123061>
- [10] Meng, X., Meng, L., Gao, Y., & Li, H. (2022). A comprehensive review on the spray cooling system employed to improve the summer thermal environment: Application efficiency, impact factors, and performance improvement. *Building and Environment*, 217, 109065. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2022.109065>
- [11] Ulpiani, G. (2019). Water mist spray for outdoor cooling: A systematic review of technologies, methods and impacts. *Applied Energy*, 254, 113647. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2019.113647>
- [12] Wasner, L., & Schwaller, D. (2011). Adiabatic basics: Types, applications and benefits of adiabatic humidification. DRI-STEEM Corporation. Recuperado de https://d2tsmyh31fn7w8.cloudfront.net/public-documents/docs/white-paper/HPAS_white_paper_adiabatic_basics.pdf1fn7w8.cloudfront.net
- [13] Fonseca, N., & Cuevas, C. (2010). Experimental and theoretical study of adiabatic humidification in hvac&r applications. *Ingeniare. Revista Chilena de Ingeniería*, 18(2), 243-252.
- [14] Farnham, C., Nakao, M., Nishioka, M., Nabeshima, M., & Mizuno, T. (2011). Study of mist-cooling for semi-enclosed spaces in Osaka, Japan. *Procedia Environmental Sciences*, 4, 228-238. <https://doi.org/10.1016/j.proenv.2011.03.027>
- [15] CONDAIR. (2024). Humidificador de aire directo y alta presión ML Princess. Consultado en Febrero de 2024, de <https://www.condair.mx/humidificadores-por-espreas/ml-princess-humidificador-de-aire-directo-y-alta-presion>
- [16] Morton, B. (2015). *Humidification Handbook*. Recuperado de https://www.academia.edu/31009971/humidification_handbook_Third_Edition.

[17] Ashrae. (2021). Ashrae climatic design conditions 2009/2013/2017/2021. Consultado en Febrero de 2024, de <http://ashrae-meteo.info/v2.0/>