

El mundo después de París:
construyendo el futuro

17-21 OCTUBRE 2016



6^{to} Congreso Nacional
de Investigación en
Cambio Climático

LA VENTILACIÓN NATURAL COMO ALTERNATIVA PARA
LA CLIMATIZACIÓN DE VIVIENDAS EN CLIMAS CÁLIDOS
SUBHÚMEDOS. CASO DE ESTUDIO: TORRE DE VIENTO

Arq. Adalid Roman Vargas, Dr. Jorge Armando Ojeda Sánchez

Sede Centro Occidente

20 de Octubre del 2016



INTRODUCCIÓN



-El IDEA de España sugiere que la causa del cambio climático es antropogénica, por lo que es necesario un cambio en el modo de vida y los patrones de conducta.

-Como resultado del intento por encontrar un estado de confort a través de dispositivos mecánicos de enfriamiento y calentamiento en los edificios, el requerimiento de energía ha crecido hasta 6.7% del total del consumo en todo el mundo. Estudios han demostrado que los sistemas pasivos de enfriamiento pueden reducir el consumo de energía en un 2.35%. (Aflaki, Mahyuddin, Mahmoud, & Baharum, 2015, p. 154)

-*“La arquitectura, desde que se la considera bajo el ángulo bioclimático exige a su vez un tratamiento específico de los elementos meteorológicos. El viento es un factor climático que no se puede ignorar”.* (Izard & Guyot, 1983, págs. 19,27)

INTRODUCCIÓN



-Las ventajas de la ventilación natural pueden ser resumidas en las siguientes: reducción de costos, incremento del grado de confort térmico y mejorar la calidad del aire. (Aflaki, Mahyuddin, Mahmoud, & Baharum, 2015, p. 154)

-En Colima la ventilación por medio de efecto termosifón tiene poca efectividad, debido a que no existe una diferencia significativa entre la temperatura exterior e interior, ocasionando poco diferencial de presión.

-González Trevizo demostró que la torre de viento genera 122% mayores velocidades de viento y tres veces más cambios de aire por hora que una chimenea solar. (González Trevizo, 2011, págs. 84-86)

-Las viviendas de interés social carecen de condiciones que permitan al habitante desarrollarse, la expresión de los valores culturales y tensan las relaciones, debido a sus dimensiones, materiales y hermeticidad. (Calderón Mafud, 2008, págs. 164-180)

COMPORTAMIENTO DEL VIENTO



-El flujo de aire es causado por un diferencial de presión, siempre moviéndose de una zona con mayor presión a una zona con menor presión (Szokolay, 2008, págs. 15-16).

-La ventilación en un inmueble ocurre cuando las ventanas o vanos en los puntos expuestos se presentan diferentes presiones, y tal grado de presión puede ser generado por dos fuerzas (Givoni, 1998):

-Diferencial de temperatura entre el interior y el exterior. (efecto de termosifón)

-El viento que golpea contra el edificio (presión de fuerza de viento)

-Los cambios de aire por hora (CAH) pueden definirse como el número de veces que el aire de un espacio es reciclado en una hora. (Khanal & Lei, 2011, p. 1813).

-De acuerdo con Givoni la cantidad mínima de cambios de aire por hora para mantener un nivel saludable en una vivienda de poca densidad de población es de 0.5. (Givoni, 1998)

LA VENTILACIÓN COMO ESTRATEGIA DE CLIMATIZACIÓN



-Estudios han confirmado que la ventilación natural como estrategia pierde efectividad en climas cálidos húmedos. (Aflaki, Mahyuddin, Mahmoud, & Baharum, 2015, pp. 156-157).

-La ventilación natural bajo las condiciones adecuadas es una manera efectiva para alcanzar el confort térmico manteniendo un bajo consumo de energía en los edificios. (Oropeza-Perez & Ostergaard, 2014, págs. 20-21).

- De igual manera el uso de estos dispositivos incrementa la emisión de gases de efecto invernadero.

-La reducción de generación de combustible fósil para climatización puede reducir en 2.89 m³ de CO₂ por año.

EXPERIMENTACIÓN POR SIMULACIÓN NUMÉRICA



-El modelado CFD (Computer Fluid Dynamics) del programa Design Builder® es empleado como un proceso de diseño y resultados efectivos en exactitud y ahorro en el costo del experimento.

-El CFD resuelve numéricamente una serie de ecuaciones diferenciales parciales para la conservación de masa, momento y energía y los resultados pueden generar la presión de aire, los cambios de aire por hora, temperatura del aire, humedad relativa, temperatura del interior y exterior de un inmueble.

-Existen diferentes modelos primarios de turbulencia que pueden ser utilizados para la simulación del comportamiento del aire al interior. El modelo **Estándar $k-\epsilon$** y RNG $k-\epsilon$ son los más efectivos. (Chen, 1995, págs. 353-369)

-Energy Plus es un programa que tiene la finalidad de predecir por medio de simulación la energía, el desempeño de la envolvente, el balance de calor y masa. (Baharvand, Bin Ahmad, Sakifhani, & Abdul Majid, 2013, págs. 182-184)

CRITERIOS GEOMÉTRICOS DE LA TORRE DE VIENTO



-Como ya se explicó anteriormente, existen diferentes factores, tanto del contexto como características geométricas, que afectan el comportamiento y funcionamiento de la torre de viento.

Para fines de esta investigación se retoman los que se consideran los más significativos para poder acelerar la velocidad del viento y por consecuencia aumentar los CAH. A continuación se presentan tres variables que se consideraron para este estudio:

-Tamaño de abertura.

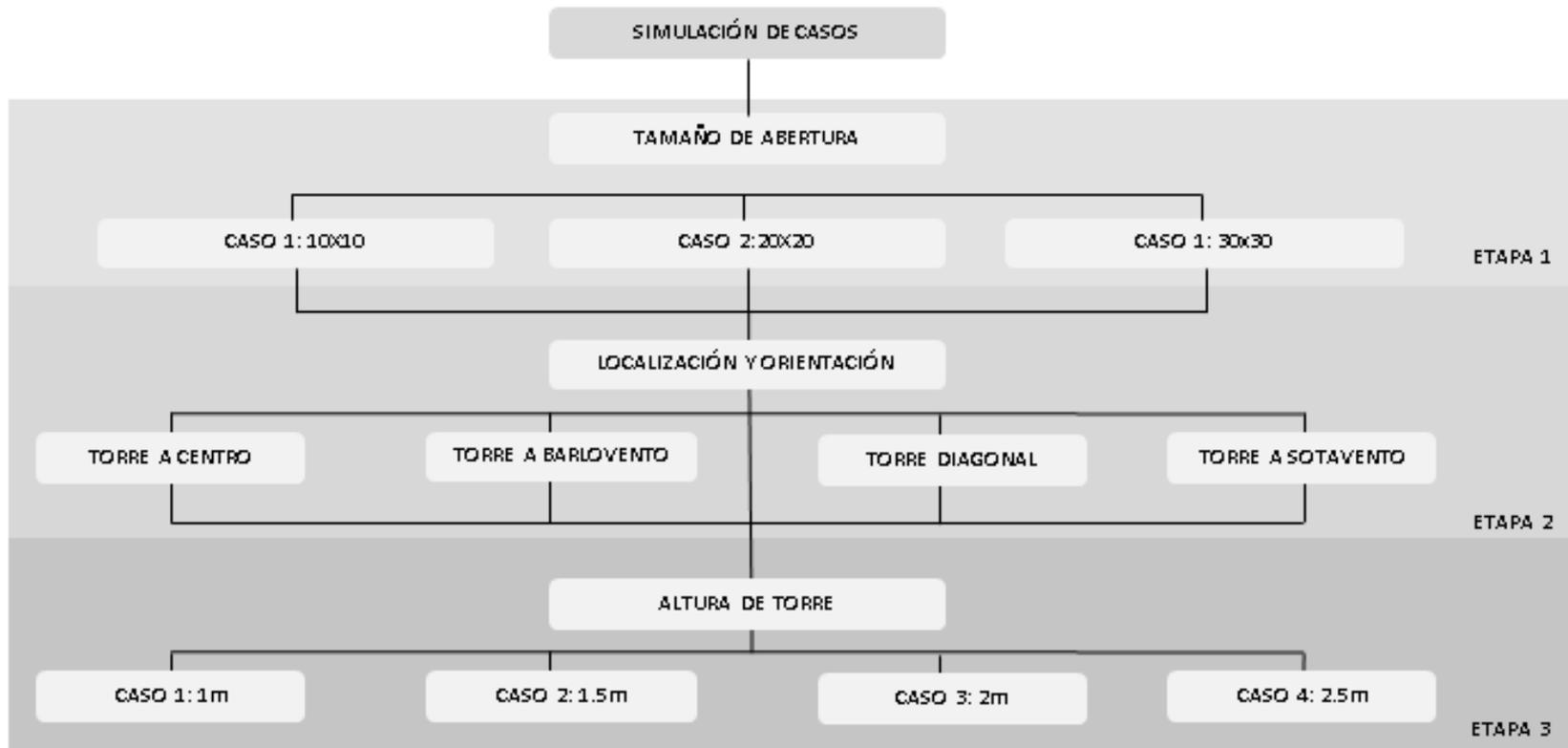
-Localización y orientación de la torre.

-Altura de la torre.

METODOLOGÍA



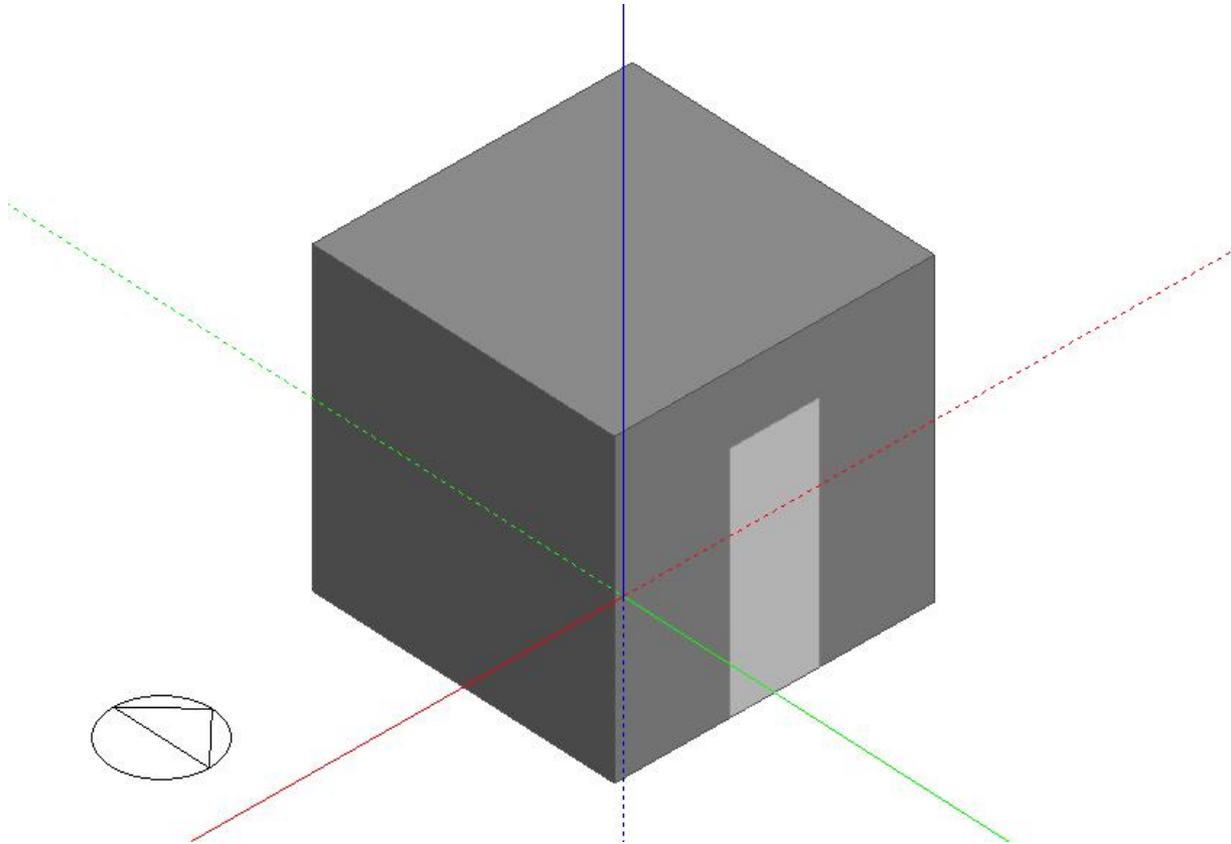
El proceso de esta investigación se estructuró en tres etapas. Durante cada una de las etapas se simuló una variable, de tal manera que conforme avanzó el estudio se descartaban las dimensiones, de cada una de las variables, con menor desempeño.



DESCRIPCIÓN DEL MÓDULO EXPERIMENTAL



El módulo mide 2.7 x 2.7 x 2.7. Los materiales del módulo están propuestos como una solución constructiva común para las viviendas de interés social; con muros de 18cm de grosor, de ladrillo rojo recocido con enjarre de mortero, losa llena de 10cm de concreto reforzado.

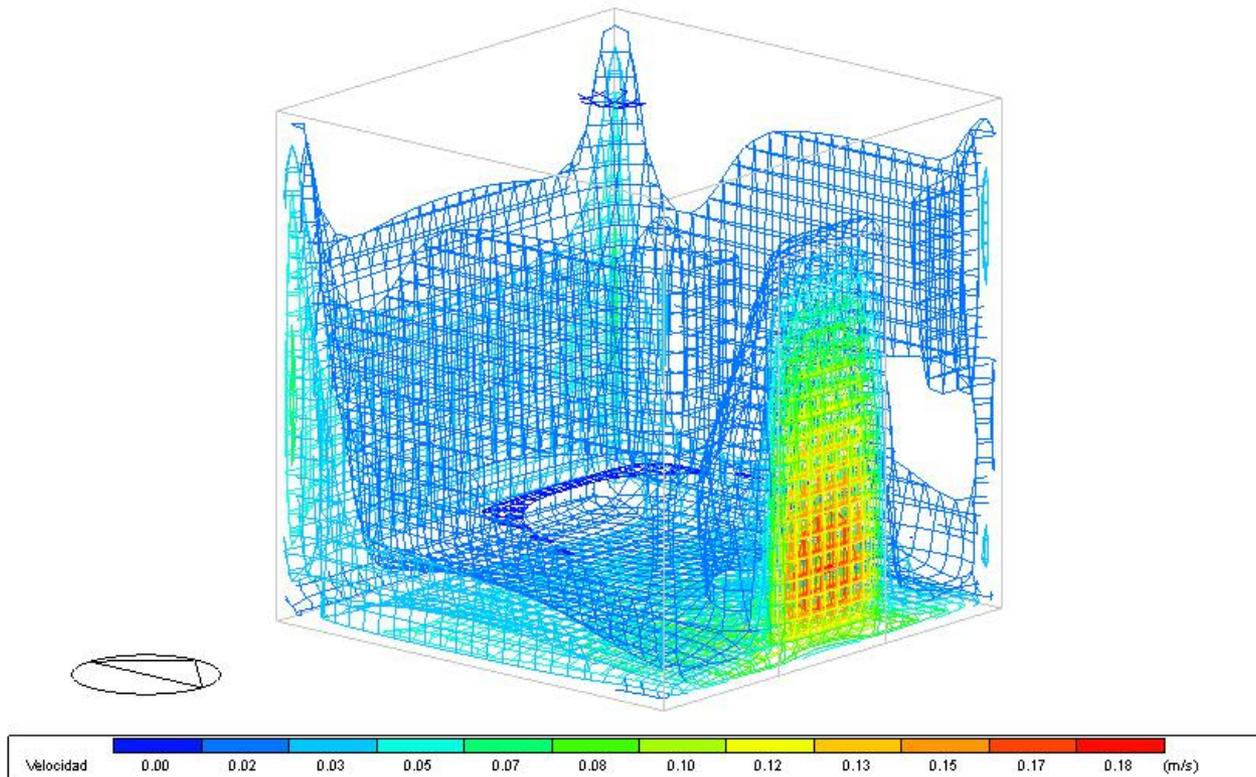


RESULTADOS: ETAPA 1



CASO 1: MÓDULO SIN TORRE

El caso 1 consiste en la simulación del módulo experimental sin torre de viento, ventilando el espacio solamente por el vano en la fachada este.

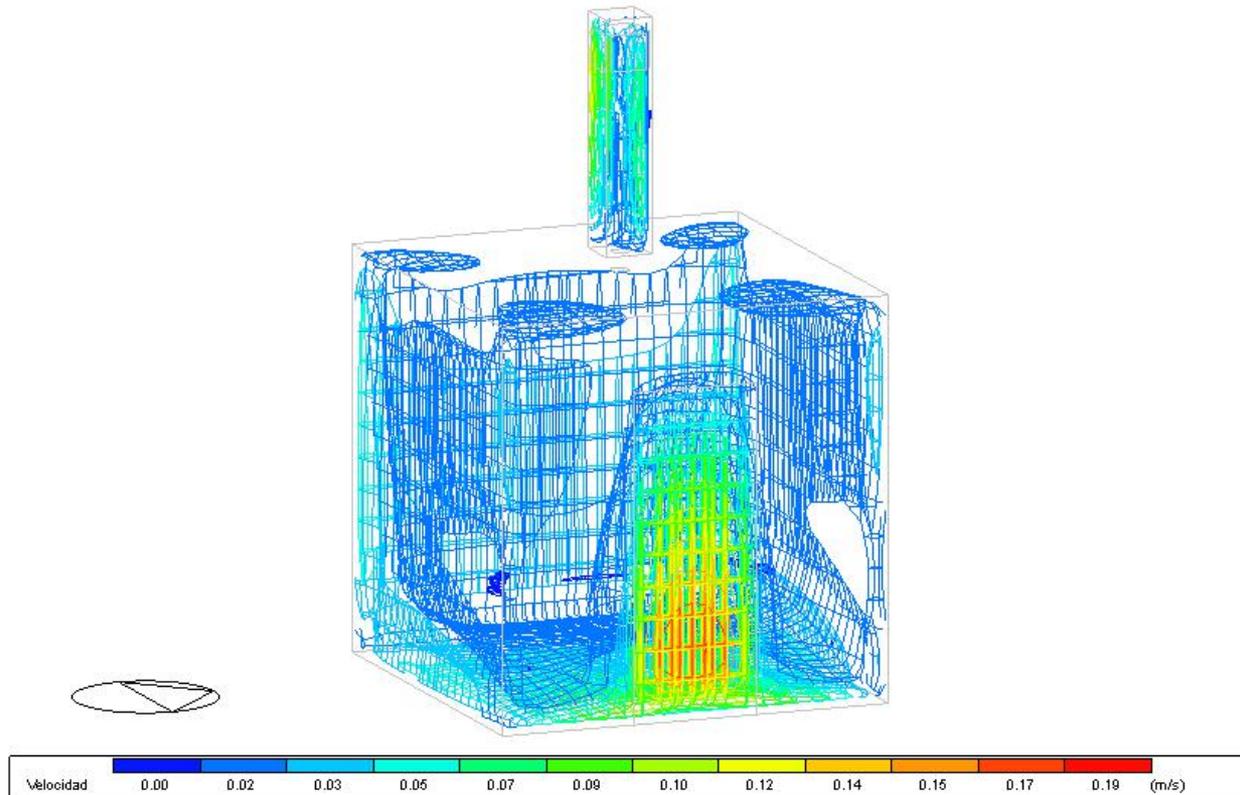


RESULTADOS: ETAPA 1



CASO 2: 0.10 x 0.10 m

Este caso consiste en la implementación de una torre de viento de cuatro caras de 1.5 m de alto conectada a un vano cuadrado en losa de 0.10x0.10 m, de tal manera que permita la entrada del viento por la torre, y circule por el espacio para ser extraído por el vano en fachada este.

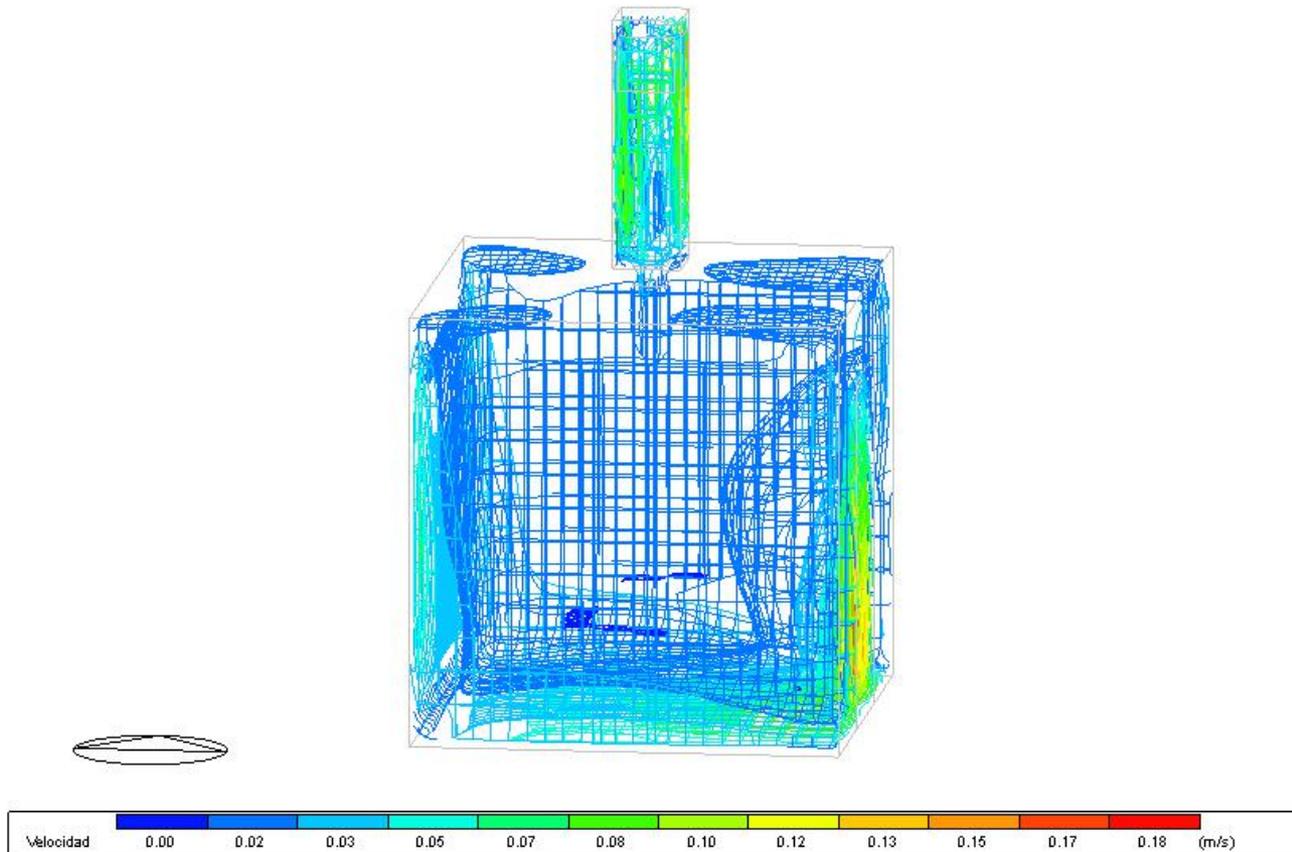


RESULTADOS: ETAPA 1



CASO 3: 0.20 x 0.20 m.

El caso 3, al igual que el caso dos, consiste en una torre de viento al centro, de 1.5m de alto, variando solo la dimensión del vano en losa a 20cm x 20cm, así como el ancho de la torre de viento.

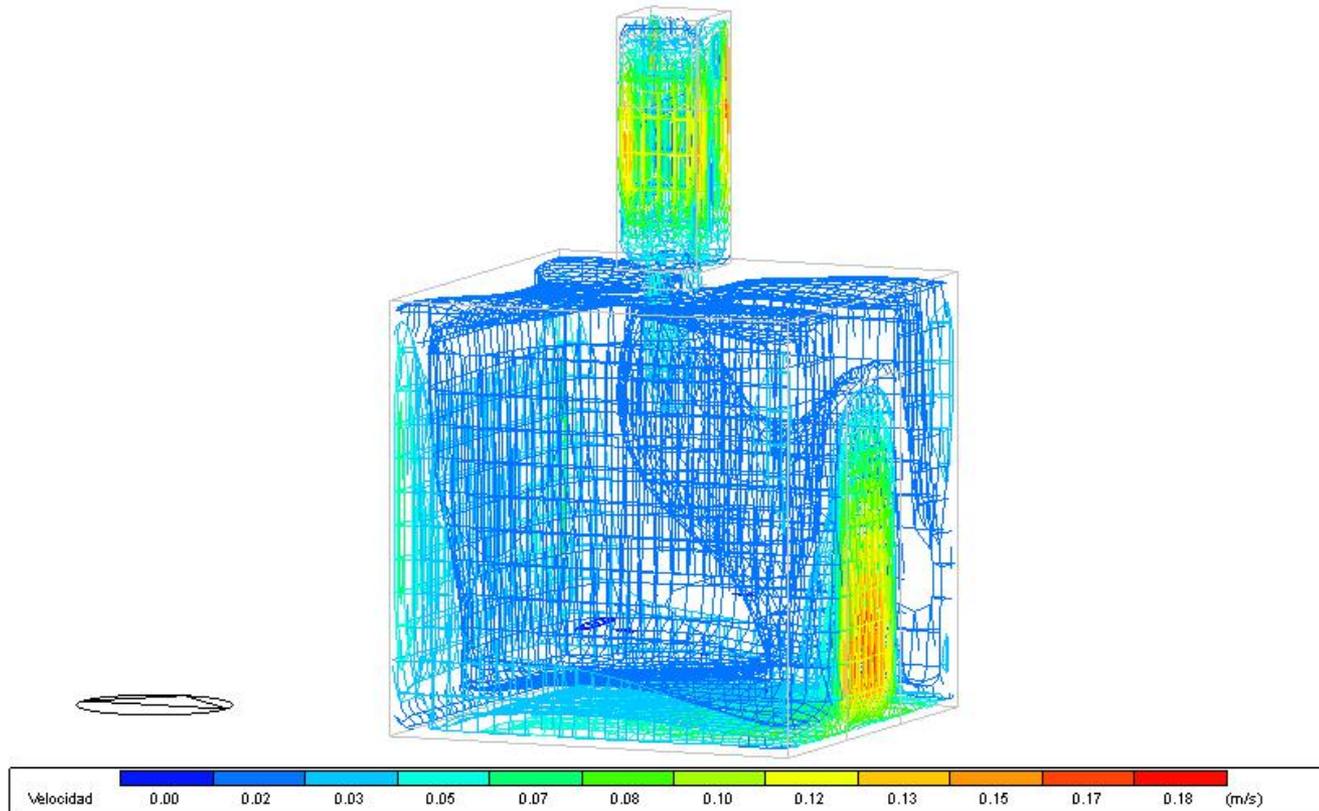


RESULTADOS: ETAPA 1



CASO 4: 0.30 x 0.30 m.

El caso 4 consiste en una torre de viento al centro, de 1.5m de alto, con una abertura en losa de 0.30 x 0.30 m.



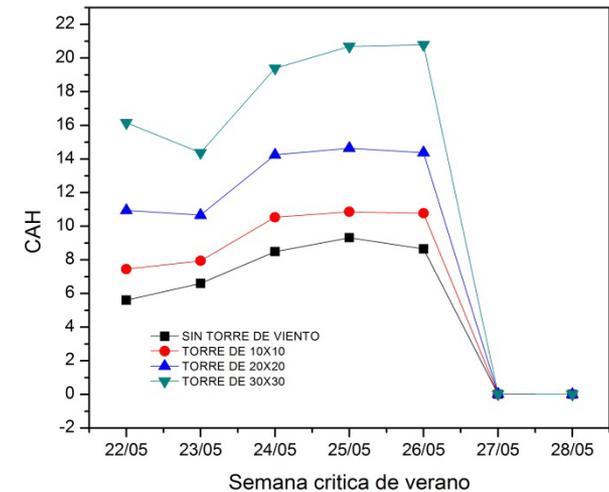
RESULTADOS: ETAPA 1



COMPARATIVO DE LA VARIABLE DE ABERTURA.

En la siguiente tabla se muestran el comportamiento térmico del interior del módulo experimental y los CAH generados en la semana crítica de verano que es del 22 al 28 de Mayo. No existe un diferencial de temperaturas significativo entre los casos, sin embargo, los CAH generados en el caso 4, en promedio, son de más del doble del caso sin torre de viento, alcanzando un máximo de 20.79 CAH, que pueden considerarse aceptables en un clima como el de la ciudad de Colima.

	TEMPERATURA				CAH			
	SIN TORRE DE VIENTO	TORRE DE 10X10	TORRE DE 20X20	TORRE DE 30X30	SIN TORRE DE VIENTO	TORRE DE 10X10	TORRE DE 20X20	TORRE DE 30X30
22/05/2002 00:00	32.07	32.01	32	32.01	5.61	7.45	10.95	16.15
23/05/2002 00:00	33.56	33.43	33.4	33.41	6.6	7.94	10.66	14.38
24/05/2002 00:00	33.79	33.65	33.6	33.59	8.49	10.54	14.25	19.39
25/05/2002 00:00	34.25	34.13	34.1	34.09	9.32	10.86	14.64	20.7
26/05/2002 00:00	33.54	33.48	33.46	33.45	8.65	10.77	14.38	20.79
27/05/2002 00:00	33.68	33.71	33.75	33.81	0.01	0.01	0.02	0.02
28/05/2002 00:00	34.83	34.82	34.86	34.92	0.01	0.01	0.01	0.01
	33.67428571	33.60428571	33.59571429	33.61142857	5.527142857	6.797142857	9.272857143	13.06285714

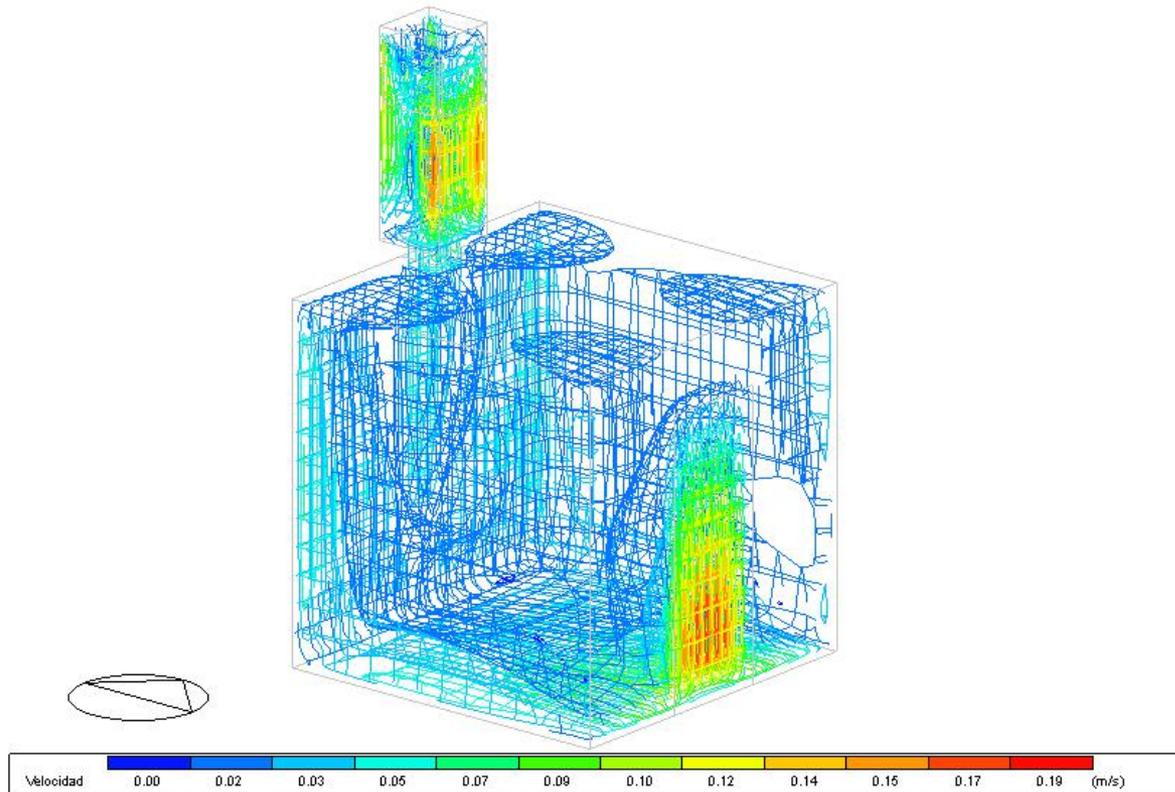


RESULTADOS: ETAPA 2



CASO 1: TORRE A BARLOVENTO

Se consideró esta localización de la torre de viento de acuerdo a lo expuesto anteriormente en el apartado 5.2. En esta localización la torre generaría un mayor diferencial de presión, incrementando la velocidad y generando un mayor CAH.

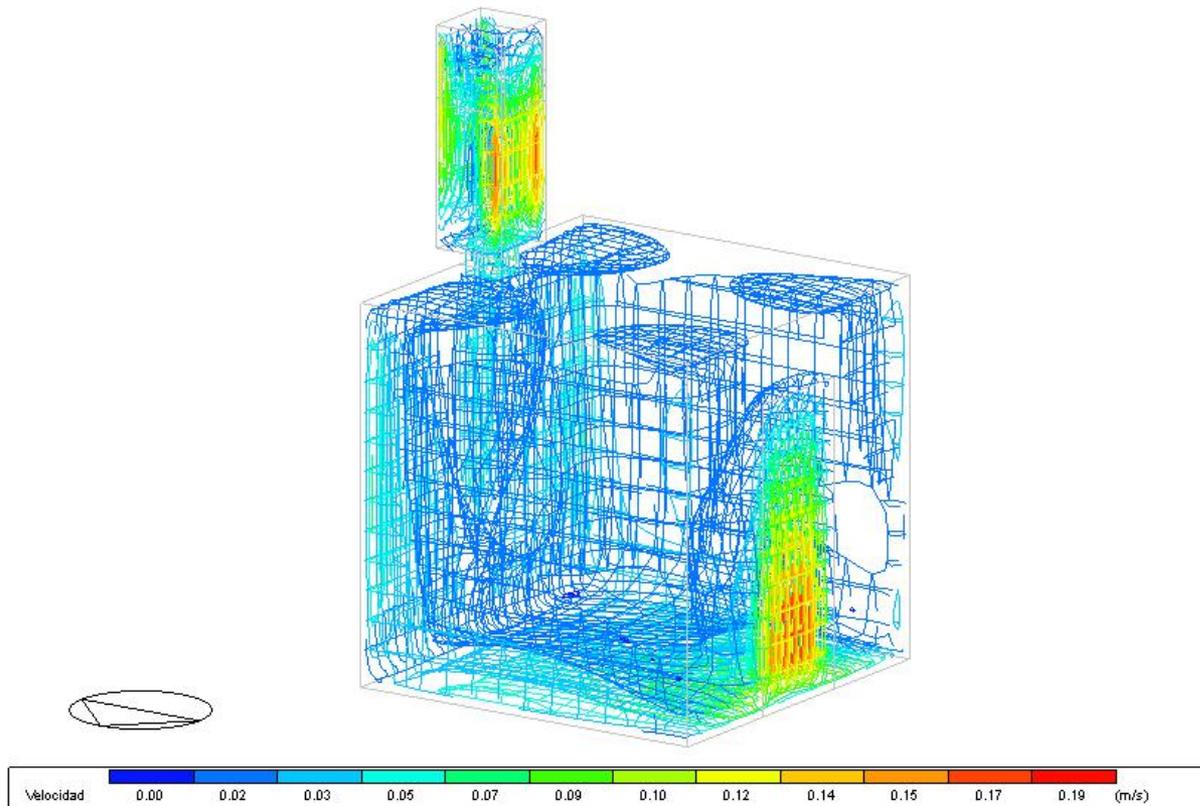


RESULTADOS: ETAPA 2



CASO 2: TORRE A SOTAVENTO

La simulación con la torre a sotavento se consideró en este estudio para determinar si la diferencia que existe con el caso 1 es significativa y pudiera bajar considerablemente el rendimiento de la torre si los vientos predominantes cambian en alguna temporada del año o etapa del día.

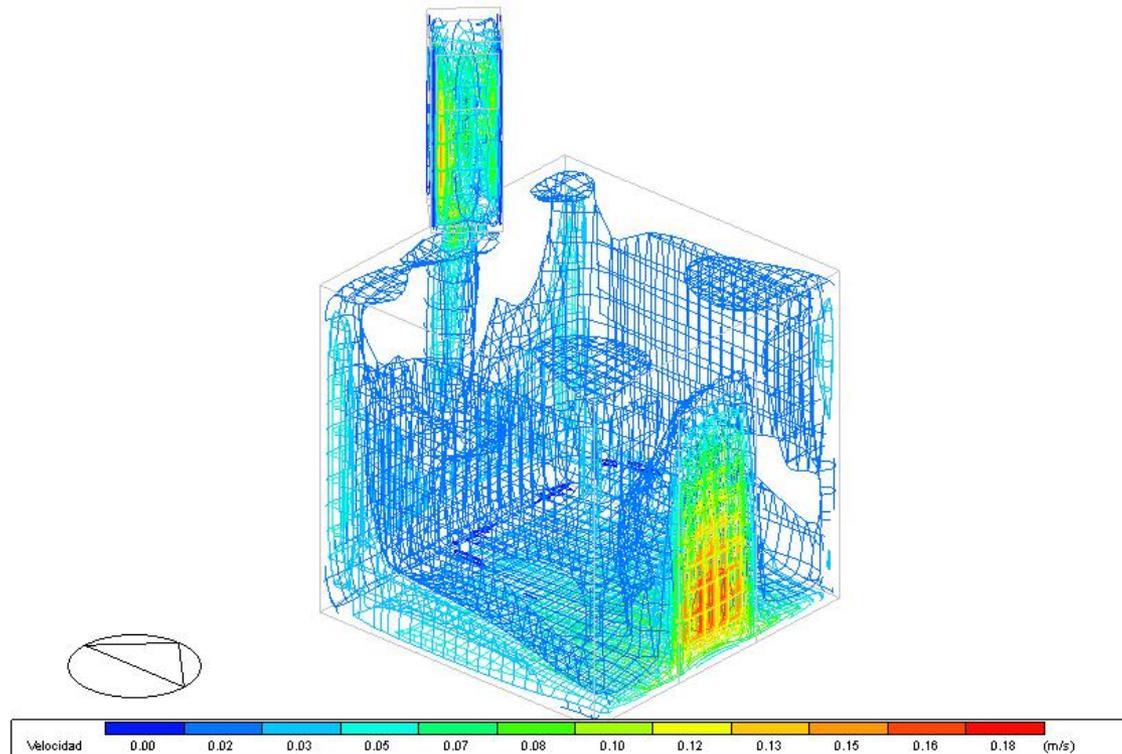


RESULTADOS: ETAPA 2



CASO 3: TORRE A 45° EN BARLOVENTO

De acuerdo con el apartado 5.2 la orientación de la torre puede afectar el comportamiento del viento. Para el caso 3 se consideró una orientación de 45° de la torre de viento, de tal manera que pueda formar parte del comparativo y permita determinar si esta variable acelera la ventilación al espacio.



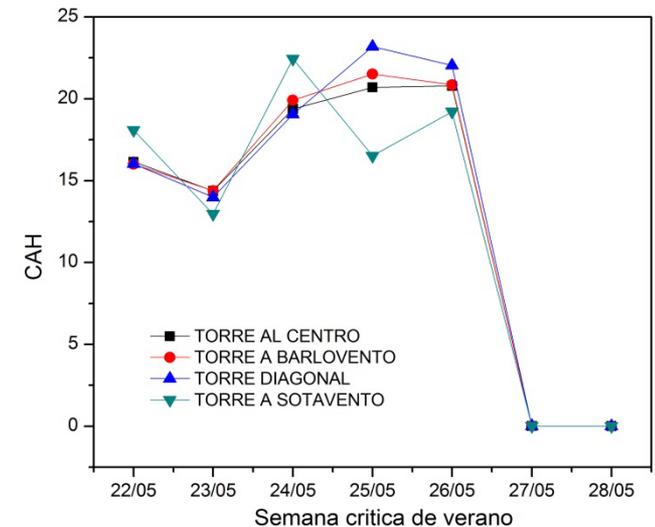
RESULTADOS: ETAPA 2



COMPARATIVO DE VARIABLE DE LOCALIZACIÓN Y ORIENTACIÓN DE LA TORRE

En la siguiente tabla se muestran el comportamiento térmico y los CAH promedio por día generados durante la semana más crítica de verano. En cuanto a las temperaturas, no presenta una diferencia significativa entre cada una de las variables. El caso 3 es el que presenta un mejor comportamiento de ventilación, generando hasta un máximo de 23.19 CAH, 1.27 más que la torre a barlovento siendo esta el segundo mejor caso.

I	TEMPERATURA				CAH			
	TORRE AL CENTRO	TORRE A BARLOVENTO	TORRE DIAGONAL	TORRE A SOTAVENTO	TORRE AL CENTRO	TORRE A BARLOVENTO	TORRE DIAGONAL	TORRE A SOTAVENTO
22/05/2002 00:00	32.01	32.01	32.02	32.05	16.15	16.01	16.03	18.09
23/05/2002 00:00	33.41	33.43	33.44	33.55	14.38	14.39	13.99	12.97
24/05/2002 00:00	33.59	33.6	33.61	33.71	19.39	19.92	19.06	22.44
25/05/2002 00:00	34.09	34.09	34.1	34.22	20.7	21.52	23.19	16.52
26/05/2002 00:00	33.45	33.45	33.45	33.52	20.79	20.86	22.04	19.22
27/05/2002 00:00	33.81	33.82	33.83	33.74	0.02	0.02	0.02	0.02
28/05/2002 00:00	34.92	34.94	34.94	34.78	0.01	0.01	0.01	0.01
	33.61142857	33.62	33.62714286	33.65285714	13.06285714	13.24714286	13.47714286	12.75285714

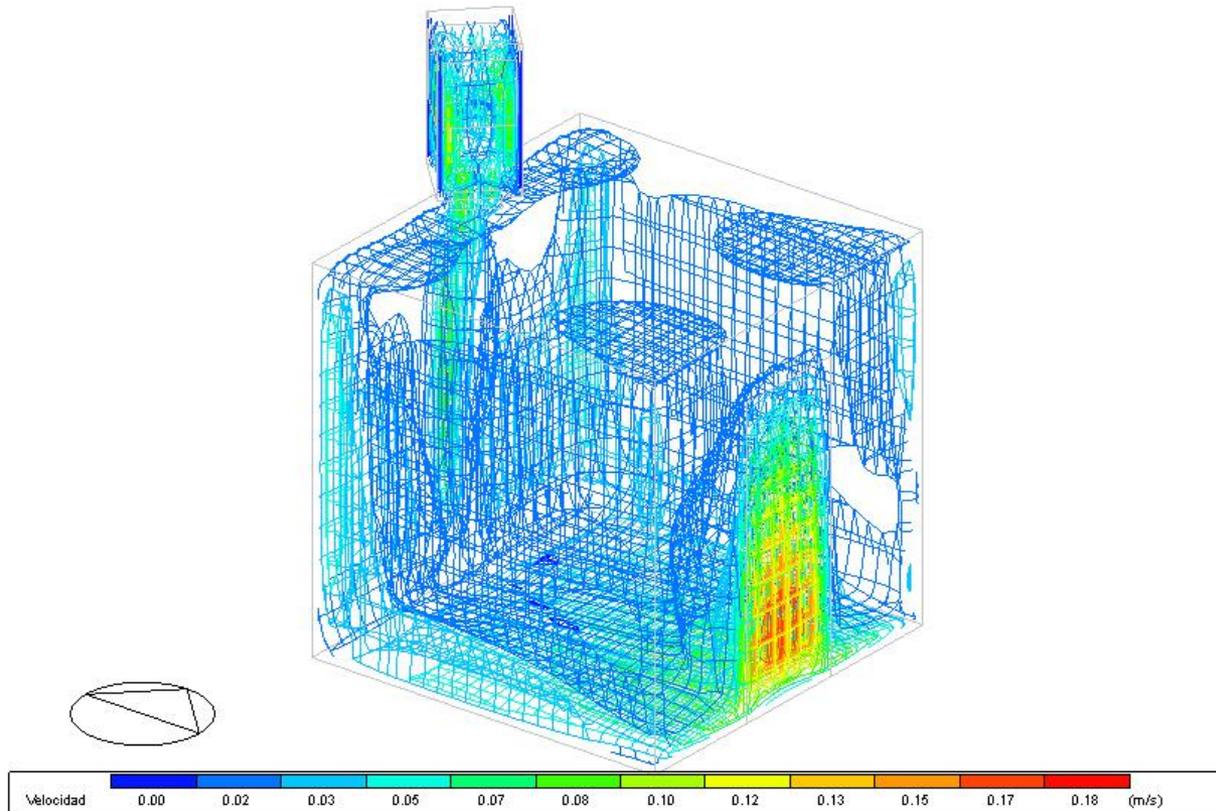


RESULTADOS: ETAPA 3



CASO 1: TORRE DE 1m

En base a lo expuesto en el apartado 5.3. la altura puede variar el comportamiento de la torre de viento. En el caso 1 se simuló una torre de viento de 1m de altura, siendo la menor dimensión de esta variable. De acuerdo a lo expuesto en apartado 5.3., entre menor sea la altura, menor será el diferencial de presión.

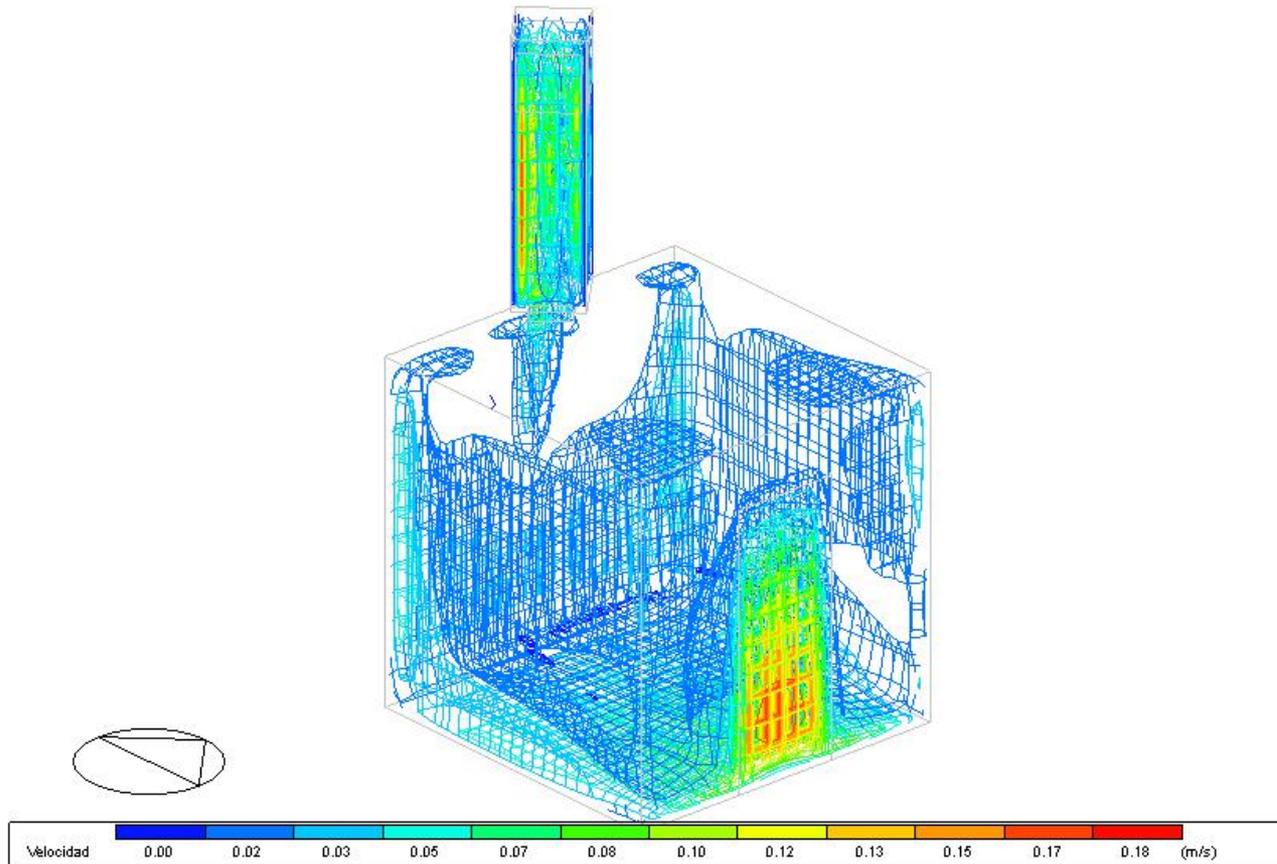


RESULTADOS: ETAPA 3



CASO 2: TORRE DE 2m

En el caso 2 se muestra el comportamiento de la ventilación por medio de una torre de viento de 2m de alto.

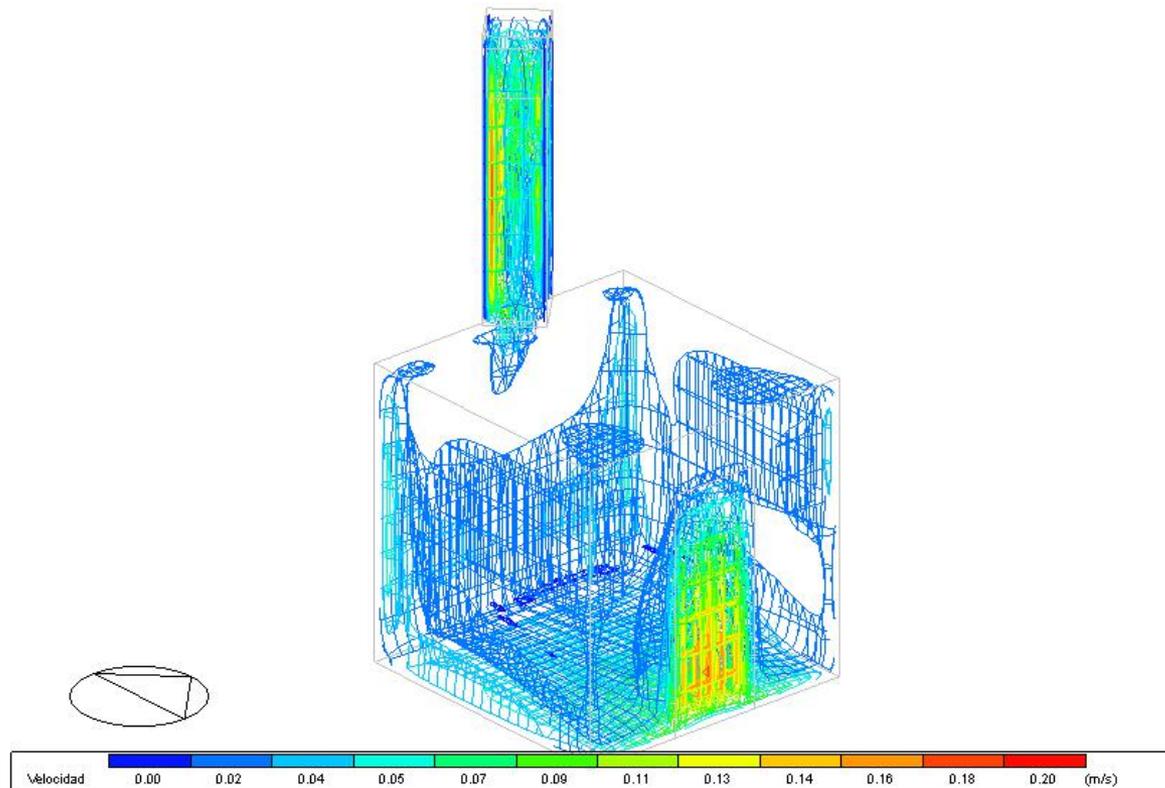


RESULTADOS: ETAPA 3



3 CASO 3: TORRE DE 2.5 m

El caso 3 muestra un comportamiento similar al anterior con la diferencia de que el flujo incorporado por el vano conectado a la torre de viento es menor. Lo anterior nos demuestra que, de acuerdo a las simulaciones generadas en este estudio, conforme la torre incrementó su altura, el flujo de viento que ingresaba al interior era menor.



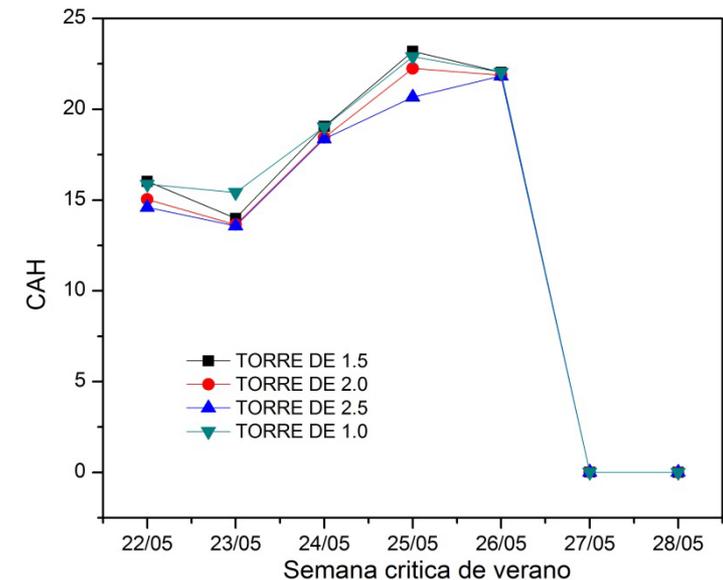
RESULTADOS: ETAPA 2



COMPARATIVO DE VARIABLE ALTURA DE TORRE

En la siguiente tabla se muestra el comportamiento térmico y los CAH promedio por día generados durante la semana crítica de verano. Al igual que en las variables anteriores, la temperatura no presenta una diferencia significativa entre cada uno de los casos. Así mismo, no existe una diferencia considerable de los CAH calculados. Debido a que el caso 1, tiene el peor comportamiento térmico pero presentó la mejor ventilación, y el caso 3 tiene un comportamiento inverso, se consideró que el caso más pertinente fue el caso base, el cual presentó los CAH más altos con un valor de 23.19 cambios por hora.

	TEMPERATURA				CAH			
	TORRE DE 1.0	TORRE DE 1.5	TORRE DE 2.0	TORRE DE 2.5	TORRE DE 1.0	TORRE DE 1.5	TORRE DE 2.0	TORRE DE 2.5
22/05/2002 00:00	32.04	32.02	32	31.98	15.87	16.03	15.04	14.6
23/05/2002 00:00	33.5	33.44	33.38	33.32	15.42	13.99	13.65	13.57
24/05/2002 00:00	33.66	33.61	33.56	33.51	19.03	19.06	18.44	18.37
25/05/2002 00:00	34.16	34.1	34.05	34.01	22.9	23.19	22.25	20.67
26/05/2002 00:00	33.47	33.45	33.43	33.4	22.05	22.04	21.88	21.83
27/05/2002 00:00	33.84	33.83	33.81	33.8	0.02	0.02	0.02	0.02
28/05/2002 00:00	34.98	34.94	34.91	34.88	0.01	0.01	0.01	0.01
	33.66428571	33.62714286	33.59142857	33.55714286	13.61428571	13.47714286	13.04142857	12.72428571



CONCLUSIÓN

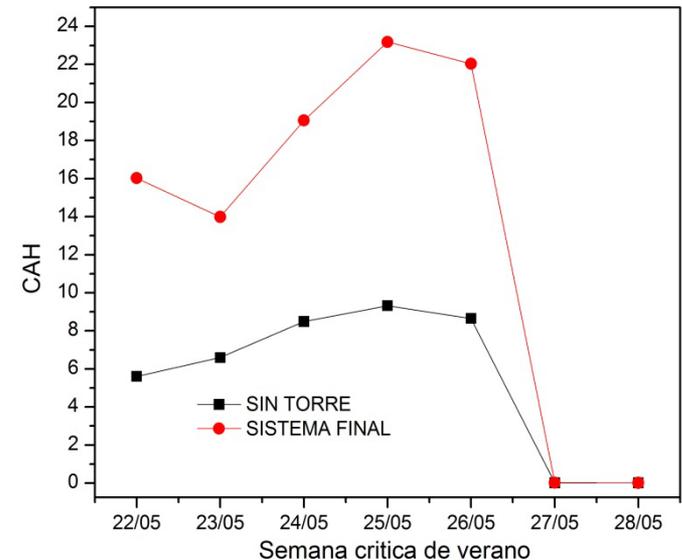


Los resultados presentados mostraron que las dimensiones que hacen más eficiente el comportamiento del viento, permitiendo un mayor número de CAH son las siguientes:

- Abertura conectada a torre de viento de 0.30m x 0.30m.
- Localización de la torre a barlovento con un ángulo de orientación de 45°.
- Altura de torre de 1.5m.

En la siguiente tabla (tabla 5) y gráfica (Fig.20) podemos apreciar que la implementación de la torre de viento con las variables antes mencionadas, aunque no baja la temperatura de manera significativamente, produce hasta 23.19 CAH y mejora la ventilación en un 143.71%.

	TEMPERATURA		CAH	
	SIN TORRE	SISTEMA FINAL	SIN TORRE	SISTEMA FINAL
22/05/2002 00:00	32.07	32.02	5.61	16.03
23/05/2002 00:00	33.56	33.44	6.6	13.99
24/05/2002 00:00	33.79	33.61	8.49	19.06
25/05/2002 00:00	34.25	34.1	9.32	23.19
26/05/2002 00:00	33.54	33.45	8.65	22.04
27/05/2002 00:00	33.68	33.83	0.01	0.02
28/05/2002 00:00	34.83	34.94	0.01	0.01
	33.67428571	33.62714286	5.527142857	13.47714286



CONCLUSIÓN



-La implementación de una torre de viento en un clima cálido subhúmedo es una estrategia óptima para mantener una ventilación adecuada al interior de una vivienda, renovando el aire, permitiendo buena calidad del aire y evitando el exceso de humedad.

-La ventaja de utilizar un software como Design Builder con Energy Plus como motor de simulación es el ahorro de tiempo y costo que llevaría implementarlo de manera física en un módulo experimental real.

-Por las limitaciones propias del software, se recomienda darle continuidad a este trabajo y realizar una medición con la aplicación del sistema final implementado en esta investigación en un modelo experimental físico y realizar un comparativo de ambos casos para validar la simulación.

REFERENCIAS



- Aflaki, A., Mahyuddin, N., Mahmoud, Z. A., & Baharum, M. R. (2015). A review on natural ventilation applications through building facade components and ventilation openings in tropical climates. *Energy Buildings*.
- Baharvand, M., Bin Ahmad, M. H., Sakifhani, T., & Abdul Majid, R. B. (2013). DesignBuilder verification and validation for indoor natural ventilation. *Journal of Basic and Applied Scientific Research*.
- Calderón Mafud, J. A. (Abril de 2008). *VIVIENDA PROGRESIVA EN LA ZONA METROPOLITANA DE COLIMA, IVECOL ACIERTOS Y ERRORES*. COQUIMATLÁN. Obtenido de http://digeset.ucol.mx/tesis_posgrado/Pdf/JUAN_ANTONIO_CALDERON_MAFUD.pdf
- Chen, Q. (1995). Comparison of different k- ϵ models for indoor air flow computations. *Numerical Heat Transfer*.
- Cheung, J. O., & Liu, C. (2011). CFD simulations of natural ventilation behaviour in high-rise buildings in regular and staggered arrangements at various spacings. *Energy and Buildings*.
- Emmerich, S. J., Dols, S. W., & Axley, J. W. (2001). Natural ventilation review and plan for design and analysis tools report. *National Institute of Standards and Technology*.
- Givoni, B. (1998). *Climate Considerations in Building and Urban Design*. Wiley.

REFERENCIAS



- González Trevizo, M. E. (2011). *Comportamiento de dos dispositivos de ventilación por extracción pasiva en un clima cálido sub-húmedo*. Coquimatlán, Colima: Universidad de Colima.
- Hughes, B. R., Calautit, J. K., & Ghani, S. A. (2011). The development of commercial wind towers for natural ventilation: A review. *Applied Energy*.
- Ilzard, J.-L., & Guyot, A. (1983). *Arquitectura Bioclimática*. México, D.F.: G. Gili, S.A.
- Jiang, Y. (2004). Validation of CFD simulations for natural ventilation. *International Journal of Ventilation*.
- Khanal, R., & Lei, C. (2011). Solar chimney: a passive strategy for natural ventilation. *Energy Buildings*.
- Montazeri, H., Montazeri, F., Azizian, R., & Mostafavi, S. (2010). Two-sided wind catcher performance evaluation using experimental, numerical and analytical modeling. *Renew Energy*.
- Oropeza Perez, I., & Ostergaard, P. A. (2014). Energy saving potential of utilizing natural ventilation under warm conditions- A case of study in Mexico. *Applied Energy*.
- Szokolay, S. V. (2008). *Introduction to Architectural Science: The Basis of Sustainable Design*. ELSEIVER.