



# Documento Técnico

IIAR Natural Refrigeration Conference  
& Heavy Equipment Expo

2-5 de marzo del 2025  
Phoenix, Arizona

## RECONOCIMIENTOS

El éxito de la Conferencia Anual del IIAR se debe a la calidad de los documentos técnicos en este volumen y al trabajo de sus autores. El IIAR expresa su profundo agradecimiento a los autores, revisores y editores por sus contribuciones a la industria de la refrigeración con refrigerantes naturales.

## SOBRE ESTE VOLUMEN

Los documentos técnicos del IIAR están sujetos a una rigurosa revisión técnica por expertos en la industria. Las opiniones y puntos de vista expresadas en los artículos de este volumen son estrictamente las de los autores; mas no las del IIAR. Dichas opiniones no son parte de la política oficial del Instituto, y no están respaldadas oficialmente.

International Institute of Ammonia Refrigeration  
1001 North Fairfax Street, Suite 503  
Alexandria, VA 22314

703-312-4200 • [info@iiar.org](mailto:info@iiar.org) • [www.iiar.org](http://www.iiar.org)



## Documento técnico #1

# Encontrando el balance entre consumo energético y de agua en condensadores y torres de enfriamiento

Karel Ortiz,  
Maestro en Ingeniería en Gestión de Operaciones,  
Ingeniero de aplicaciones y ventas Sr  
Güntner de México

### **Abstracto**

*Hoy en día, debido a las crecientes crisis de escases de agua, la preocupación de las personas y las empresas por tener una correcta gestión de este recurso ha crecido cada vez más, por otro lado, los participantes en diseño de equipos y sistemas para la industria de la refrigeración juegan un papel importante para fungir como agentes de cambio para lograr implementar proyectos sustentables los cuales empaten con las necesidades y objetivos de la industria.*

*El presente artículo tiene como objetivo mencionar las bases para realizar un correcto análisis de tecnologías en el momento de la toma de decisiones sobre condensadores y torres de enfriamiento. Busca analizar los factores y variables que hay que tomar en cuenta cuando se analiza la implementación de nuevas tecnologías que ayuden a lograr los objetivos sustentables de las empresas. Asimismo, busca dar herramientas básicas para que los ingenieros de proyecto puedan decidir entre tecnologías en función de las condiciones climáticas, cargas de productos y recursos disponibles, buscando siempre un balance adecuado.*



## Introducción

En la industria moderna, los sistemas de refrigeración han tomado peculiar importancia ya que son componentes claves para el funcionamiento eficiente dentro de la cadena de frío, incluyendo una amplia gama de procesos productivos, desde la fabricación y conservación y distribución de alimentos hasta la química y la farmacéutica. De acuerdo al artículo de la consultora Ernst & Young publicado durante la pandemia de Covid-19, “*Panorama de la cadena de frío en México: Retos y Oportunidades*”, se estima que de 2021 a 2024 la demanda de la cadena de frío en Norteamérica crecería en 76%, asimismo, en México se proyecta que la población crecerá hasta los 155.2 millones de habitantes, es decir; un crecimiento de 33.3 millones de personas. Este crecimiento exige mayor demanda a los usuarios de la cadena de frío. Por otro lado, de acuerdo con la consultora estadounidense EMR, se estima que de 2020 a 2030 la industria de la refrigeración y HVAC crecerá aproximadamente en un 6% anual. Este crecimiento en el uso de sistemas de refrigeración conlleva desafíos importantes en términos de uso de agua y consumo energético, ya que un correcto manejo de estos recursos es crítico para lograr sostenibilidad y mantener y mejorar la competitividad económica.

Hoy en día, la reducción de la Huella Ambiental ha tomado importancia en las empresas que se jactan de ser socialmente responsables, por lo que estas industrias han impulsado de manera importante la implementación de soluciones y tecnologías que ayuden a optimizar la gestión de recursos energéticos e hídricos. Además, las recientes crisis por escasez de agua y los costos asociados al uso de esta, así como el precio general de la adquisición de energía ha generado una necesidad de diseñar sistemas de refrigeración más sustentables, los cuales logren maximizar su rendimiento sin comprometer los objetivos ambientales de las empresas ni sus ambiciones económicas.

El presente documento expone la importancia de explorar diversas soluciones que permitan alcanzar un balance del uso de agua y energía, así como sus costos de operación, al momento de diseñar un sistema de refrigeración ya sea nuevo, expansión o sustitución de tecnología existente.

## Diseño de sistemas de refrigeración y selección de equipos

### *Bases para el diseño.*

Al momento de diseñar un sistema de refrigeración es importante tener en cuenta diversos factores que pueden afectar la toma de decisiones, estos van desde análisis básico de costos de inversión, consumo energético y de agua puntuales, hasta análisis de costo de inversión con la variable de operación, y consumos energéticos y de agua con la variable del comportamiento anual de la zona.

Como se menciona anteriormente, una manera justa de evaluar un sistema de refrigeración es realizar predicciones con variables como el comportamiento anual, que como lo muestra la figura 1, es como se mueve la temperatura de bulbo seco a lo largo de un año dependiendo de la zona de instalación, esto afecta de manera importante al performance de los equipos de refrigeración.

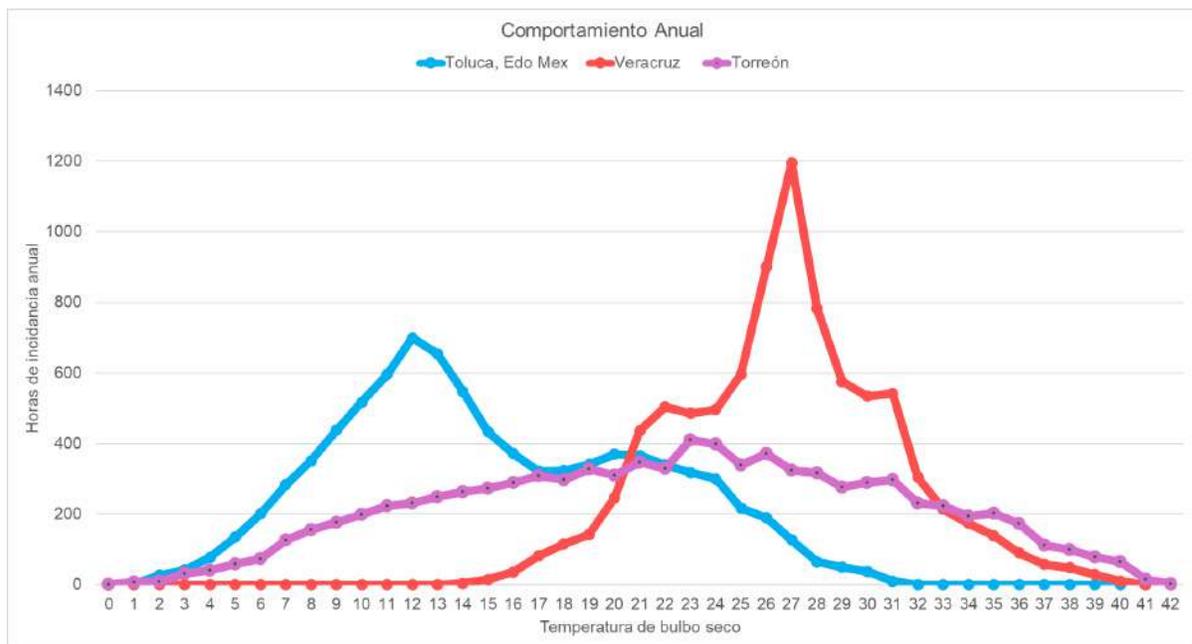


Figura 1. Comportamiento anual en diferentes zonas.

Esta variación en la temperatura es clave para poder determinar cuanto provecho podemos sacarle a nuestro sistema de refrigeración, por lo que es importante tenerlo en cuenta en la etapa de diseño, ya que, regularmente la temperatura de operación anual de los equipos es inferior a la temperatura de diseño de la zona. Como se muestra en la Figura 2, donde la temperatura de bulbo seco es de 40.0°C y de bulbo húmedo de 25.0°C y el comportamiento anual la mayoría del tiempo está por debajo de estos valores.

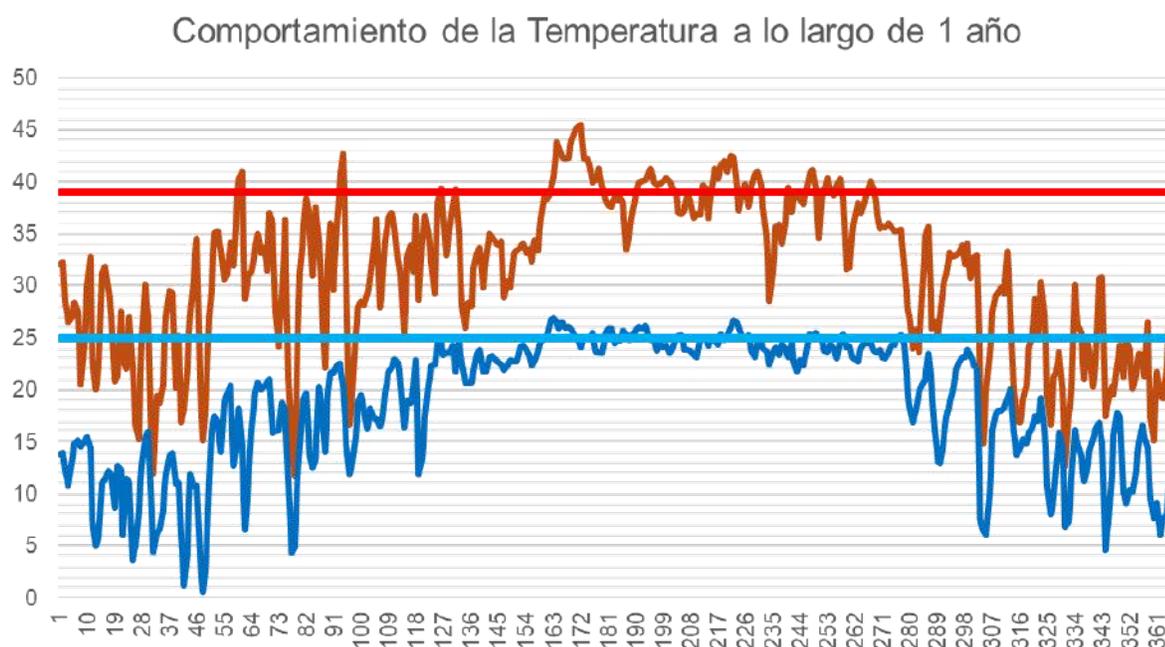


Figura 2. Temperatura de diseño.

### *¿Cómo aprovechar las variaciones de condiciones ambientales?*

Como se menciona anteriormente, las condiciones de diseño están dadas normalmente por las condiciones extremas máximas en las que se puede operar un sistema, esto afecta tanto al cálculo de carga térmica, pero en mayor medida a las condiciones en las que opera un condensador evaporativo o una torre de enfriamiento. En estos últimos es donde tendremos mayor área de oportunidad ya que, por un lado, normalmente para

lograr un gran performance energético se opta por seleccionar condensadores de tipo evaporativos, los cuales, implican un alto consumo de agua. Por lo que, al considerar la variable de consumo de agua, ya no son tan atractivos, Así pues, lo más lógico es considerar un condensador seco, el cual es bastante conveniente para atacar la problemática de la falta de agua ya que no utilizan esta, además de que tienen un costo asociado al uso de agua de cero, pero tienen el principal inconveniente que obligan al compresor a condensar más alto comparado con un condensador evaporativo, lo que conlleva un alto consumo energético. Así pues, existen escenarios donde es posible evaluar el uso de nuevas tecnologías adiabáticas, las cuales aprovechan las ventajas otorgadas por los condensadores evaporativos y los operados por aire, es decir; aprovechando las condiciones climáticas anuales buscan operar la mayor parte del tiempo con aire y solo cambian a modo húmedo cuando la temperatura ambiente supera cierta temperatura de bulbo seco o la carga térmica lo demande, esto permite un diseño eficiente y adaptable a diferentes climas. Además, los condensadores adiabáticos se distinguen por no permitir el contacto directo entre el serpentín y el agua de enfriamiento, esto significa que la evaporación no se produce por intercambio directo de calor sino solo por saturación adiabática que no involucra la extracción o adición de calor sino que la evaporación del agua enfría y humidifica el aire.

	Evaporativa	Aire	Adiabático
Consumo de agua			
Consumo eléctrico			
Mantenimiento			
Costo inicial			
Costo operativo			
Aplicación climática ideal	Secos	Frios o templados	Climas variables

Figura 3. Comparativa de condensadores.

Asimismo, cuando se selecciona una torre de enfriamiento, debe de evaluarse todas las opciones que pudieran ser viables; por un lado, una torre abierta que tiene mayor eficiencia térmica puede ser una buena opción para lograr temperaturas cercanas a la temperatura de bulbo húmedo de diseño, teniendo el principal inconveniente de un alto consumo de agua y un costo de mantenimiento ya que se tienen que considerar los costos asociados al uso de agua, incluyendo los costos de mantenimiento a los equipos a los que le pudiera estar dando servicio. Por otro lado, una Torre Cerrada es ideal para dar servicio de agua a equipos o procesos que requieren que el fluido de enfriamiento debe ser limpio, o para evitar la incrustación dentro de los usuarios finales para evitar paros por mantenimiento o pérdida de capacidad, de igual forma, este equipo implica un alto consumo de agua y si bien se evita la incrustación dentro de los procesos, el tratamiento de agua en el equipo es vital para evitar pérdidas de capacidad por incrustación en el serpentín. Por último, se tiene las torres adiabáticas, las cuales se caracterizan por tener circuitos cerrados, además de tener un sistema de control especializado el cual busca la utilización de agua cuando las condiciones de agua y requerimientos térmicos lo requieran lo cual es ideal para el ahorro de agua, los costos asociados al uso de agua suelen disminuir de manera considerable debido a que no se tiene basín de almacenamiento por lo que no se requiere tratamiento de agua, asimismo, evita propagar la bacteria Legionella.

	Abierta	Cerrada	Adiabática
Consumo de agua			
Eficiencia Térmica			
Mantenimiento			
Costo inicial			
Costo operativo			

Figura 4. Comparativa de Torres adiabáticas.

Como se menciona anteriormente, es importante darle un valor monetario lo más exacto posible a los costos de operación de un sistema de refrigeración, los cuales, grosso modo, pueden ser; costo por adquisición de energía, costo por adquisición de agua, costo de mantenimiento del equipo, costo por tratamiento de agua, costo por pérdida de eficiencia, entre otros. Los cuales deben ser incluidos en el análisis de costo total de propiedad, el cual es una métrica de costos para evaluar el costo total de adquirir, operar y mantener un equipo durante su vida útil.

## Casos de Estudio

### *Centro de Distribución.*

En primer lugar, se explica el estudio del comportamiento de costos operación de un sistema de refrigeración para un centro de distribución localizado en la ciudad de Tepotzotlán, Estado de México. Este consta de tres áreas principales de temperatura; Congelación, Media Temperatura y Túnel de congelación rápida. Teniendo una carga térmica total de: 461.0 TR. De acuerdo con los siguientes datos de diseño:

- Lugar de Instalación: Tepotzotlán, Estado de México
- Temperatura de Bulbo Seco: 32.0°C
- Temperatura de Bulbo Húmedo: 17.0°C
- Altura: 2,300 msnm

Se evalúa el uso de un condensador evaporativo y un condensador adiabático, para esto, se simulará el comportamiento de las cámaras en función de la temperatura ambiente de la zona de instalación, para esto se tomó el comportamiento anual de la temperatura de bulbo seco en la zona de Tepotzotlán agrupando las horas de incidencia de acuerdo con las tablas y gráficos a continuación:

DBT	Horas Año
1.0	31.0
4.0	255.0
7.0	836.0
10.0	1552.0
13.0	1903.0
16.0	1127.0
19.0	1035.0
22.0	1024.0
25.0	707.0
28.0	242.0
31.0	48.0
<b>Hr x año</b>	<b>8760.0</b>

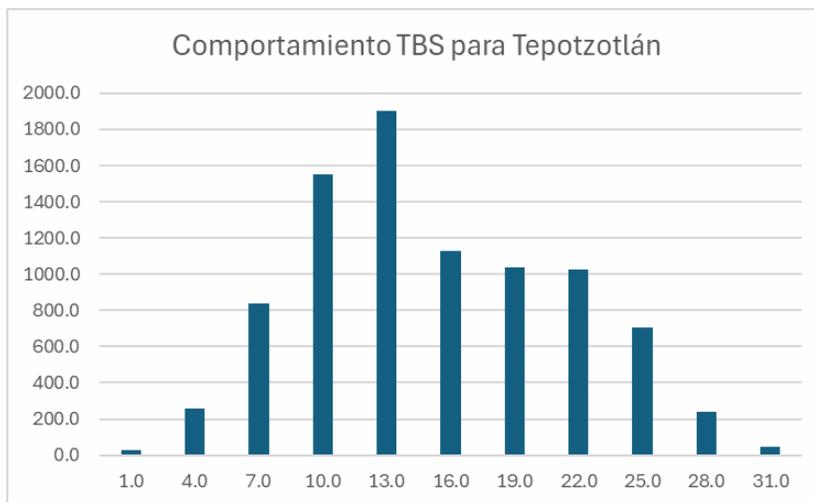


Figura 5. Comportamiento anual.

Con los datos anteriores, y tomando en cuenta el historial de operación del usuario; es decir, se toma en cuenta un factor de utilización de acuerdo con el histórico de operación anual del usuario final, se estiman las siguientes cargas térmicas, teniendo una variación importante en la capacidad requerida a lo largo del año, teniendo importantes zonas de oportunidad para tener un balance de recursos:

T. Ambiente	Horas/ Año	Congelados TR	Refrigerados TR	Túneles TR
31.0	48.0	93.97	275.35	91.75
28.0	242.0	87.81	257.24	91.54
25.0	707.0	83.20	241.19	91.39
22.0	1024.0	78.58	225.14	91.24
19.0	1035.0	73.96	209.10	91.08
16.0	1127.0	69.34	193.05	90.93
13.0	1903.0	64.72	177.00	90.77
10.0	1552.0	60.10	177.00	90.62
7.0	836.0	55.48	144.90	90.46
4.0	255.0	50.86	128.85	90.31
1.0	31.0	46.24	112.80	90.15

Tabla 1. Variación de la carga térmica.

Como primer paso, se podría comparar la potencia instalada en ambos comparativos los cuales, para este caso son de acuerdo con la tabla siguiente:

Concepto	Unidades	NH3 Evaporativo	NH3 Adiabático
Compresión y C. Maquinas	KW	817.3	817.3
Condensadores	KW	37.3	149.8
Evaporadores	KW	218.7	218.7
Potencia Instalada	KW	1,073.3	1,185.8
	HP	1,439.3	1,590.2

Tabla 2. Potencia Instalada

Como se puede observar en la tabla dos, la potencia instalada considerando un condensador adiabático es mayor, por lo que si no se hace un análisis profundo se puede determinar, de manera errónea, que la mejor opción sería el condensador evaporativo. Pero al colocar la primera variable que es el uso de agua en conjunto con la variación de carga térmica propios de las condiciones ambientales, tendríamos las siguientes tablas:

Consumo anual estimado con condensador Evaporativo			
T. Ambiente	Horas/ Año	Potencia NH3 Kw/h	Consumo Agua m3/año
31.0	48.0	30,268.2	79.7
28.0	242.0	146,751.5	399.0
25.0	707.0	417,446.6	1,511.3
22.0	1024.0	589,500.2	3,095.0
19.0	1035.0	593,939.6	7,875.8
16.0	1127.0	612,244.9	11,850.1
13.0	1903.0	940,493.9	8,824.0
10.0	1552.0	755,870.4	8,087.7
7.0	836.0	378,176.6	4,326.1
4.0	255.0	110,197.8	1,435.6
1.0	31.0	12,911.1	206.7
<b>CONSUMO ANUAL</b>		<b>4,587,800.9</b>	<b>47,691.1</b>

Tabla 3. Potencia Instalada en condensador evaporativo

Consumo Anual estimado con Adiabático			
T. Ambiente	Horas/ Año	Potencia NH3 Kw/h	Consumo Agua m3/h
31.0	48.0	30,491.3	185.0
28.0	242.0	147,880.5	1,066.5
25.0	707.0	421,717.9	2,625.2
22.0	1024.0	598,508.0	2,656.6
19.0	1035.0	617,886.8	
16.0	1127.0	648,716.2	
13.0	1903.0	966,356.6	
10.0	1552.0	778,118.3	
7.0	836.0	389,379.0	
4.0	255.0	113,658.4	
1.0	31.0	13,395.3	
<b>CONSUMO ANUAL</b>		<b>4,726,108.3</b>	<b>6,533.4</b>

Tabla 4. Potencia Instalada en condensador adiabático.

Si comparamos la tabla 3 con la tabla 4 se tiene una diferencia importante en el consumo de agua a favor del condensador adiabático, por otro lado, se tiene un menor consumo energético estimado en el uso de condensador evaporativo, se considera que tanto el condensador adiabático como el evaporativo están equipados con motores EC con variación de frecuencia la cual adapta su velocidad a las condiciones de carga térmicas y ambientales. En este punto se puede empezar a tomar decisiones en función a la prioridad que tenga el usuario final en consumo energético o consumo de agua. Aun así, se logra llevar el estudio a una mayor profundidad se incluyó los costos del agua y de la energía, a la cual se le debe de agregar el consumo anual de la operación de los motores de los evaporadores, compresores, recirculadoras y bombas de aceite, a la ecuación, esto para estimar un costo de operación en un año, en este caso no se incluyeron los costos por tratamiento de agua:

Concepto	Unidades	NH3 Evaporativo	NH3 Adiabático
Consumo eléctrico	Kw/h por Año	5,899,651.8	6,037,959.1
Consumo de agua	m3/ año	47,691.1	6,533.4
Costo energía	USD/KW	USD 0.14	USD 0.14
Costo de agua	USD/m3	USD 4.1	USD 4.1
Costo energía	USD Año	USD 807,320.8	USD 826,247.0
Costo de agua	USD Año	USD 195,655.8	USD 26,803.7
Costo Anual	USD Año	USD 1,002,976.6	USD 853,050.8

Tabla 5. Análisis de costo anual

Al analizar la tabla de costos, se puede observar que debido a que el costo de agua representa un gasto importante en la zona, esta se vuelve fundamental en la toma de decisiones ya que se estima que al tener un ahorro de agua se logrará también tener un menor costo de operación, dejando en segundo término la sobreutilización de energía.

*Torre de enfriamiento para planta de alimentos*

Para el segundo caso de estudio, se considera evaluar la implementación de una torre de enfriamiento abierta y una torre de enfriamiento adiabática, esta será utilizada como sistema de enfriamiento de equipos de proceso, por lo que además de la temperatura requerida de proceso, se incluye en esta los costos de mantenimiento asociados con el uso de agua.

- Lugar de Instalación: Toluca, Estado de México
- Temperatura de Bulbo Seco: 31.0°C
- Temperatura de Bulbo Húmedo: 17.0°C
- Altura: 2,660 msnm

Para el caso de estudio se evalúa el comportamiento anual de la zona para estimar el consumo energético y de agua en cada caso.

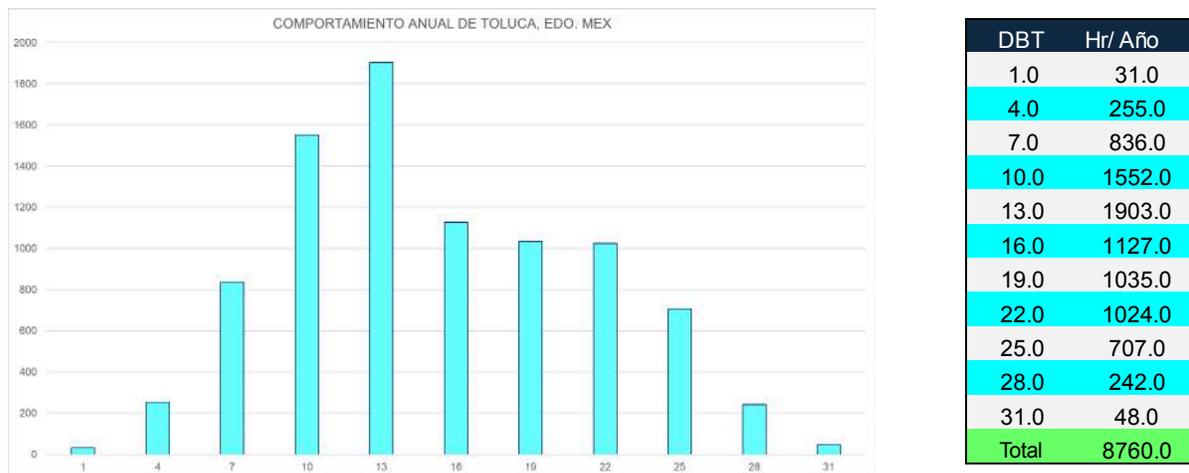


Figura 6. Comportamiento anual.

De igual forma, como primer paso se determina la potencia instalada para este caso, teniendo, de manera importante, una menor potencia instalada en la torre abierta. Estos valores son nominales de acuerdo con la ficha técnica del equipo.

Concepto	Unidades	Tipo de torre	
		Abierta	Adiabática
Potencia ventiladores	KW	33.57	71.00
Potencia en bomba	KW	0.00	0.00
Potencia instalada	KW	33.57	71.00
Potencia instalada	HP	45.00	95.17

Tabla 6. Potencia instalada

Al estimar el consumo anual de agua y energía podemos observar, que si bien el consumo energético es mucho menor en la torre abierta, se tiene un ahorro significativo de agua, de igual forma, se puede ya inclinar la decisión en función de los objetivos y prioridades que tenga el usuario final.

Concepto	Unidades	Tipo de torre	
		Abierta	Adiabática
Horas de uso de agua	hr/año	8,760.0	3,056.0
Consumo anual de agua	m3/año	3,960.0	1,956.0
Consumo anual de energía	KW/h año	55,525.0	103,768.0

Tabla 7. Consumo anual de agua y energía

Para complementar el caso de estudio, se procede a colocar los costos del agua y el costo de energía, adicional a los costos por el tratamiento de agua, como se puede observar, debido al alto costo de adquisición de agua por parte del usuario final, se mitiga un poco el alto consumo energético, además los costos de mantenimiento y de tratamiento de agua toman un papel importante en la toma de decisiones.

Concepto	Unidades	Tipo de torre	
		Abierta	Adiabática
Horas de uso de agua	hr/año	8,760.0	3,056.0
Consumo anual de agua	m3/año	3,960.0	1,956.0
Consumo anual de energía	KW/h año	55,525.0	103,768.0
Costo del Agua	USD/m3	USD 6.95	
Costo de la energía	USD/KWh	USD 0.12	
Costo anual del agua	USD/Año	USD 27,522.52	USD 13,594.46
Costo anual de energía	USD/Año	USD 6,412.34	USD 11,983.71
Costo anual de servicios	USD/Año	USD 33,934.86	USD 25,578.16

Concepto	Unidades	Tipo de torre	
		Abierta	Adiabática
Costo anual de servicios	USD/Año	USD 33,934.86	USD 25,578.16
Costo anual de mito	USD/Año	USD 9,033.07	USD 5,750.00
Costo tratamiento m3	USD/m3	USD 2.41	USD 0.00
Costo tratamiento de agua	USD/Año	USD 9,543.60	USD 0.00
Costo Totalizado	USD/Año	USD 52,511.53	USD 31,328.16
Retorno de inversión	Años	4.68	

Tabla 8 y 9. Análisis de costo anual

## **Conclusión**

Cuando se diseña y seleccionan los componentes de un sistema de refrigeración, es importante en primer lugar, entender las necesidades generales de los usuarios finales y no solo en las necesidades de carga térmica, es decir, si bien se debe de cumplir con las condiciones de potencia térmica y temperatura requerida, se debe de tomar en cuenta las necesidades y disponibilidad de recursos hídricos y energéticos, así como sus costos de operación.

Dicho lo anterior, un análisis completo en la selección de equipo se debe de tomar en cuenta todas las aristas, incluidas las proyecciones de comportamiento de los equipos en función de como se mueven las diferentes variables a lo largo de tiempo, como pueden ser el cambio de la temperatura de manera actual o como se mueve la carga térmica en función de la demanda de proceso. Asimismo, se debe de tomar en cuenta los periodos de alta y baja demanda para lograr impactar los indicadores asociados a la producción con el uso de energía y/o de agua.

## References

ASHRAE. (n.d.). *ASHRAE Weather Data Viewer*. <https://ashrae-meteo.info/v2.0/>.

NASA. (n.d.). *NASA Power Data Access Viewer*. <https://power.larc.nasa.gov/data-access-viewer/>.

Dossat, R. J., & Horan, T. J. (2002). *Principios de refrigeración* (4.<sup>a</sup> ed.). Pearson Educación.

Mundo HVAC&R. (2018, junio). *Una alternativa más sustentable: Condensadores adiabáticos*. <https://www.mundohvacr.com/2018/06/una-alternativa-mas-sustentable-condensadores-adiabaticos/>.

Intersam. (2024). *Perspectivas ACR 2024 para el sector de refrigeración*. Intersam. Recuperado de <https://intersam.es/perspectivas-acr-2024-sector-refrigeracion/#:~:text=No%20obstante%2C%20las%20proyecciones%20para,d%C3%B3lares%20para%20el%20a%C3%B1o%202032>.

EY. (2024). *Cadena de frío en México*. EY. Recuperado de [https://www.ey.com/es\\_mx/insights/consumer-products/cadena-de-frio-en-mexico](https://www.ey.com/es_mx/insights/consumer-products/cadena-de-frio-en-mexico).

