

**Estudio de Desempeño Energético de
Difusor Therma-Fuser de Acutherm**

12 de agosto de 2024

Point Energy Innovations
220 Montgomery St. Ste 321
San Francisco, CA 94104

Jose Diaz &
Rami Moussa, PE
Managing Principal
rami@pointenergyinnovations.com
617-599-0909



Resumen Ejecutivo

En este estudio se compara el desempeño energético modelado de un sistema de volumen de aire variable (VAV) de Therma-Fuser que utiliza conceptos de diseño según las mejores prácticas con un sistema de recalentamiento VAV convencional. La aplicación del diseño según las mejores prácticas de los sistemas de Therma-Fuser proporciona distribución y equipos de baja fricción, carga parcial del caudal de aire mínimo espacio por espacio y control térmicamente sensible del caudal de aire entre espacios. Por lo general, esto generará ahorros de energía y mejoras en el confort térmico si se compara con los sistemas de recalentamiento VAV convencionales.

Para el método de modelado energético se utilizó un edificio de oficinas de 52.200 pies cuadrados según la geometría del prototipo de oficina mediana del Departamento de Energía (DOE) de los EE. UU. y se simuló para un año de operación en una variedad de zonas climáticas con cada tipo de sistema. Los sistemas mecánicos del prototipo del DOE se ajustaron para reflejar un edificio de oficinas típico donde se utiliza una única AHU para todo el edificio. La zonificación también se ajustó para incluir variaciones de tipo y uso de espacios dentro del edificio (área de servicio o “*back of house*”, sala de reuniones y oficina abierta/cerrada). Las entradas y el desempeño de los equipos para ambos sistemas se modelaron según las directrices que se indican en la ASHRAE 90.1-2022, excepto las variables independientes que se ajustan como parte de este estudio para representar la opción de diseño de Therma-Fuser según las mejores prácticas. Cada sistema se simuló para una ciudad típica en cada zona climática de la ASHRAE.

En general, el estudio arrojó una reducción del 15 al 32 % en el costo de energía anual general entre el sistema VAV convencional y el sistema de Therma-Fuser, además de una reducción del 18 al 36 % en el uso de energía anual general. En las ciudades donde el clima es más extremo (muy caluroso húmedo y subártico) los mayores ahorros se generaron cuando se utilizó el diseño de Therma-Fuser según las mejores prácticas.

El mayor impacto energético del sistema de Therma-Fuser es la reducción en el uso de energía para calefacción. Como tal, el enfoque de este sistema puede reducir de forma efectiva el consumo de combustibles fósiles en edificios que utilizan combustibles mixtos y reducir el costo de los sistemas de calefacción central en los edificios completamente eléctricos. En definitiva, estos son los factores que hacen que un sistema de Therma-Fuser diseñado con las mejores prácticas sea una herramienta que facilita la operación descarbonizada de un edificio.

Tabla A3.3 Emisiones de Carbono de la Electricidad y el Gas Natural por Ciudad con Fuente de Datos

Zona climática	Tipo de clima	Ciudad	Estado (País)	Factor de emisiones de carbono de la electricidad (LBS/MWh)	Fuente	Factor de emisiones de carbono del gas natural (LBS. por 1 MBTU)	Fuente
1A	Muy caluroso húmedo	Miami	FL	829	Administración de Información Energética de EE. UU. Perfil de Electricidad de EE. UU. 2022	116,65	Administración de Información Energética de EE. UU. Coeficientes de emisiones de dióxido de carbono
2B	Caluroso seco	Phoenix	AZ	692	Administración de Información Energética de EE. UU. Perfil de Electricidad de EE. UU. 2022	116,65	Administración de Información Energética de EE. UU. Coeficientes de emisiones de dióxido de carbono
3C	Oceánico templado	San Francisco	CA	481	Administración de Información Energética de EE. UU. Perfil de Electricidad de EE. UU. 2022	116,65	Administración de Información Energética de EE. UU. Coeficientes de emisiones de dióxido de carbono
4B	Seco mixto	Albuquerque	NM	975	Administración de Información Energética de EE. UU. Perfil de Electricidad de EE. UU. 2022	116,65	Administración de Información Energética de EE. UU. Coeficientes de emisiones de dióxido de carbono
5A	Fresco húmedo	Chicago	IL	639	Administración de Información Energética de EE. UU. Perfil de Electricidad de EE. UU. 2022	116,65	Administración de Información Energética de EE. UU. Coeficientes de emisiones de dióxido de carbono
6A	Frío húmedo	Burlington	VT	13	Administración de Información Energética de EE. UU. Perfil de Electricidad de EE. UU. 2022	116,65	Administración de Información Energética de EE. UU. Coeficientes de emisiones de dióxido de carbono
7	Muy frío	Duluth	MN	833	Administración de Información Energética de EE. UU. Perfil de Electricidad de EE. UU. 2022	116,65	Administración de Información Energética de EE. UU. Coeficientes de emisiones de dióxido de carbono
8	Subártico	Fairbanks	AK	1180	Administración de Información Energética de EE. UU. Perfil de Electricidad de EE. UU. 2022	116,65	Administración de Información Energética de EE. UU. Coeficientes de emisiones de dióxido de carbono
0A	Extremo caluroso húmedo	Singapur	(SGP)	900	Autoridad de mercado de Energía de Singapur (EMA). Factores de emisiones de la red 2021	116,65	Administración de Información Energética de EE. UU. Coeficientes de emisiones de dióxido de carbono
1A	Muy caluroso húmedo	Bangalore	(IND)	1573	Transparencia climática (Informe 2022), Factores de emisiones de la red 2021	116,65	Administración de Información Energética de EE. UU. Coeficientes de emisiones de dióxido de carbono
3A	Templado húmedo	Sídney	(AUS)	1499	Gobierno australiano 2020, Factores de emisiones de la red 2023	116,65	Administración de Información Energética de EE. UU. Coeficientes de emisiones de dióxido de carbono
4A	Húmedo mixto	Seúl	(KOR)	907	Transparencia climática (Informe 2022), Factores de emisiones de la red 2021	116,65	Administración de Información Energética de EE. UU. Coeficientes de emisiones de dióxido de carbono

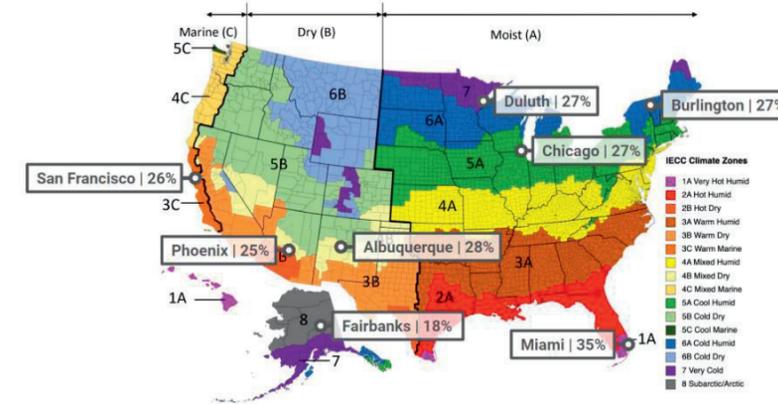


Figura 0.1 Ahorros totales en uso de energía en edificios para los sistemas de Therma-Fuser que utilizan mejores prácticas versus el sistema VAV convencional

Tabla 0.1 Resumen de ahorros del sistema de Therma-Fuser que utiliza mejores prácticas versus el desempeño del sistema de recalentamiento VAV convencional por ciudad

Zona climática	Tipo de clima	Ciudad	Ahorros de energía (%)	Ahorros en costo de energía (%)	Ahorros de emisiones de carbono (%)
1A	Muy caluroso húmedo	Miami, Florida	35 %	17 %	28 %
2B	Caluroso seco	Fénix, Arizona	25 %	12 %	21 %
3C	Oceánico templado	San Francisco, California	26 %	10 %	25 %
4B	Seco mixto	Albuquerque, Nuevo México	28 %	14 %	22 %
5A	Fresco húmedo	Chicago, Illinois	27 %	16 %	25 %
6A	Frío húmedo	Burlington, Vermont	27 %	16 %	32 %
7	Muy frío	Duluth, Minnesota	27 %	21 %	26 %
8	Subártico	Fairbanks, Alaska	18 %	15 %	17 %
0A	Extremo caluroso húmedo	Singapur	22 %	15 %	18 %
1A	Muy caluroso húmedo	Bangalore, India	35 %	20 %	25 %
3A	Templado húmedo	Sídney, Australia	36 %	20 %	26 %
4A	Húmedo mixto	Seúl, Corea del Sur	27 %	17 %	24 %

Descargo de Responsabilidad

Este informe y nuestro análisis del uso de energía, costos de energía y tasa de emisión solo corresponden a aproximaciones y estimaciones. A pesar de que en este estudio se han utilizado herramientas de modelado de energía y software de análisis de clase mundial, Point Energy Innovations no garantiza que estas cifras sean representaciones exactas del uso de energía real una vez que se construyen y operan los sistemas. Además, los patrones climáticos varían año a año lo que impacta la energía que se utiliza para calefacción y enfriamiento. Los modelos energéticos utilizan los datos de energía de un año típico que entrega el Departamento de Energía de los Estados Unidos.

Tabla A3.2 Tarifas de Electricidad y Gas Natural por Ciudad con Fuente de Datos

Zona climática	Tipo de clima	Ciudad	Estado (País)	Tarifa de electricidad (¢ US/KWH)	Fuente	Tarifa de gas natural (¢ US/1000 pies cúbicos)	Fuente
1A	Muy caluroso húmedo	Miami	FL	12,51	Administración de Información Energética de EE. UU. Perfil de Electricidad de EE. UU. 2022	5,91	Administración de Información Energética de EE. UU. Resumen de gas natural
2B	Caluroso seco	Phoenix	AZ	11,31	Administración de Información Energética de EE. UU. Perfil de Electricidad de EE. UU. 2022	13,2	Administración de Información Energética de EE. UU. Resumen de gas natural
3C	Oceánico templado	San Francisco	CA	22,33	Administración de Información Energética de EE. UU. Perfil de Electricidad de EE. UU. 2022	6,89	Administración de Información Energética de EE. UU. Resumen de gas natural
4B	Seco mixto	Albuquerque	NM	10,2	Administración de Información Energética de EE. UU. Perfil de Electricidad de EE. UU. 2022	6,89	Administración de Información Energética de EE. UU. Resumen de gas natural
5A	Fresco húmedo	Chicago	IL	11,94	Administración de Información Energética de EE. UU. Perfil de Electricidad de EE. UU. 2022	5,04	Administración de Información Energética de EE. UU. Resumen de gas natural
6A	Frío húmedo	Burlington	VT	16,99	Administración de Información Energética de EE. UU. Perfil de Electricidad de EE. UU. 2022	5,06	Administración de Información Energética de EE. UU. Resumen de gas natural
7	Muy frío	Duluth	MN	12,04	Administración de Información Energética de EE. UU. Perfil de Electricidad de EE. UU. 2022	5,14	Administración de Información Energética de EE. UU. Resumen de gas natural
8	Subártico	Fairbanks	AK	20,73	Administración de Información Energética de EE. UU. Perfil de Electricidad de EE. UU. 2022	6,96	Administración de Información Energética de EE. UU. Resumen de gas natural
0A	Extremo caluroso húmedo	Singapur	(SGP)	24,1	SP Group, Información de tarifas 2024	5,54	SP Group, Información de tarifas 2024
1A	Muy caluroso húmedo	Bangalore	(IND)	12,8	Global Petrol Prices, Precios de la electricidad en India 2023	1,99	Global Petrol Prices, India Precios de la electricidad en India 2023
3A	Templado húmedo	Sídney	(AUS)	22,9	Canstar Blue Australia, Electricidad vs. Gas en Australia 2024	2,51	Canstar Blue Australia, Electricidad vs. Gas en Australia 2024
4A	Húmedo mixto	Seúl	(KOR)	11,5	Global Petrol Prices, Precios de la electricidad en Corea del Sur 2023	1,85	Global Petrol Prices, Precios de la electricidad en Corea del Sur 2023

Anexo 3: Métodos de Cálculo

A3.1 Costo de la Energía y Carbono y Métodos de Cálculo

El uso de energía total de la electricidad y del gas natural se multiplicó por las tarifas planas que se muestran en la Tabla A3.2. Los cambios en la estructura de las tarifas pueden influir en los ahorros resultantes en el costo de la energía. Las fuentes de información para los factores de emisiones de carbono se muestran en la Tabla A3.3.

Las tarifas planas internacionales se obtuvieron a partir de las fuentes mencionadas anteriormente en monedas locales. Luego, se utilizaron tasas de conversión, como se resume más abajo, para convertir estas unidades en sus unidades finales. Para las tarifas de electricidad, se utilizaron unidades finales en \$/kWh, mientras que, para las tarifas de gas natural, se utilizó \$/Ccf. Estas tasas de conversión se muestran en la tabla a continuación y corresponden a las tarifas al 23 de julio de 2024.

Tabla A3.1 Tasas de conversión	
Moneda de origen	Equivalente en USD
1 SGD	0,74
1 AUD	0,66
1 INR	0,012
1 KRW	0,00072

Resumen Ejecutivo	1
1 Introducción	5
2.1 Geometría del Edificio y Configuración del Modelo	6
2.2 Modelado del Sistema de Recalentamiento VAV vs. del Sistema de Therma-Fuser	7
2.3 Análisis de Desempeño Regional	9
3 Resultados y Discusión	10
3.1 Intensidad del Uso de Energía	10
Anexo 1: Análisis de Sensibilidad	17
A1.1 San Francisco – Resultados del Análisis de Sensibilidad	17
A1.2 Miami - Resultados del Análisis de Sensibilidad	18
Anexo 2: Entradas para el Modelado	19
A2.1 Norma ASHRAE 90.1 y Cumplimiento	19
A2.2 Envolvente	19
A2.3 Entradas de Espacio	19
A2.4 Programas Detallados de Entradas de Horario	21
Anexo 3: Métodos de Cálculo	22
A3.1 Costo de la Energía y Carbono y Métodos de Cálculo	22

1 Introducción

En este estudio, se simuló y comparó el consumo de energía de edificios en 12 ciudades diferentes para edificios que utilizan un sistema de recalentamiento VAV convencional versus aquellos que utilizan un diseño de sistema de Therma-Fuser con mejores prácticas.

Algunos de los problemas más comunes que se tienen con los sistemas de recalentamiento VAV convencionales en los edificios de oficina incluyen:

1. pérdidas de presión más altas de lo necesario en la distribución de ductos y los equipos,
2. unidades terminales con velocidades de flujo mínimo altas lo que a menudo se debe a una falta de controles según la demanda en todos los espacios del edificio y
3. condiciones de confort térmico mal controladas (sobre calefaccionado o sobre enfriado) debido a factores como la sobre ventilación, malas prácticas de zonificación térmica, control de temperatura del aire de suministro sin calibrar, etc.

Las prácticas de diseño del sistema de Therma-Fuser que utiliza mejores prácticas resuelven estos problemas mediante el uso de:

1. distribución y equipos de baja fricción para proporcionar el control de presión más confiable y la operación más silenciosa,
2. reducción de caudal mínimo de aire espacio por espacio con una baja fracción de carga parcial mientras se mantiene la velocidad de descarga necesaria para el mezclado,
3. control térmicamente sensible del caudal de aire espacio por espacio para alcanzar de manera exacta el punto de operación.

Los modelos de energía se desarrollaron para representar el desempeño del sistema de recalentamiento VAV convencional y se manipularon las entradas clave para representar características de diseño factibles del sistema de Therma-Fuser. Las prácticas de modelado y los criterios de desempeño se basaron en las directrices descritas en la norma ASHRAE 90.1-2022 Norma Energética para Edificios Excepto para Edificios Residenciales de Baja Altura. Nótese que esta referencia directa a la ASHRAE 90.1 usa un sistema de calefacción básico alimentado con gas natural. Aunque los resultados de este análisis corresponderán a edificios que usan combustible mixto, la índole de los ahorros logrados (por ejemplo: impacto de los usos finales de la energía) será similar para los edificios completamente eléctricos. Mediante este análisis energético, en este estudio se comparan las aproximaciones de consumo de energía, costo de operación y ahorros en emisiones de carbono entre los dos sistemas utilizando tarifas de costo e intensidades de emisiones de carbono promedio locales documentados.

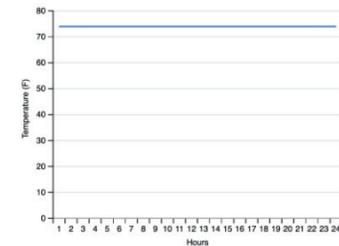


Figura A2.4.7 Punto de operación normal de enfriamiento (74°F)

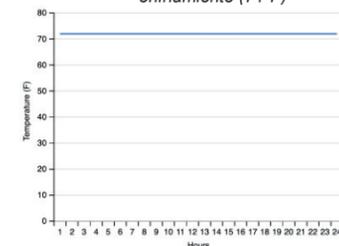


Figura A2.4.9 Punto de operación de enfriamiento demasiado frío (72°F)

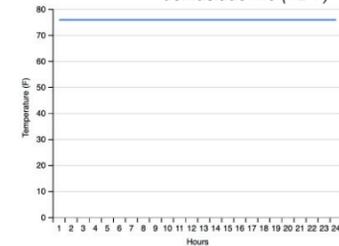


Figura A2.4.11 Punto de operación de enfriamiento demasiado caliente (76°F)

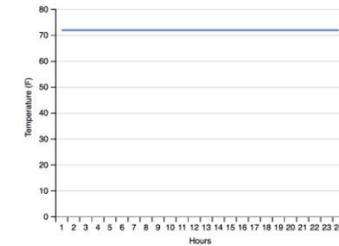


Figura A2.4.8 Punto de operación normal de calefacción (72°F)

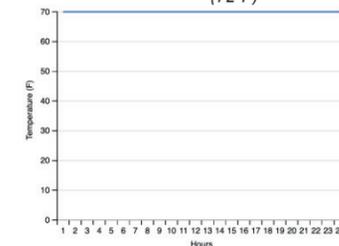


Figura A2.4.10 Punto de operación de calefacción demasiado fría (70°F)

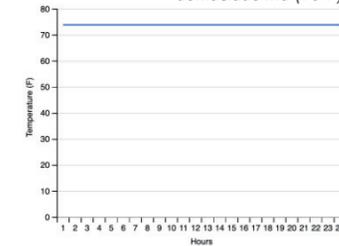


Figura A2.4.12 Punto de operación de calefacción demasiado caliente (74°F)

A2.4 Programas Detallados de Entradas de Horario

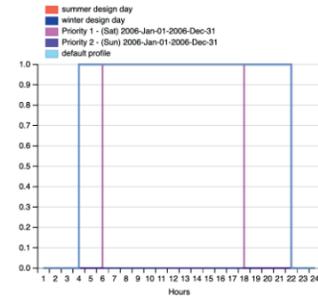


Figura A2.4.1 Disponibilidad de horario de HVAC (Encendido-Apagado)

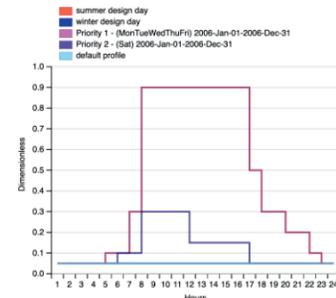


Figura A2.4.2 Fracción de carga de iluminación oficina/sala de reuniones

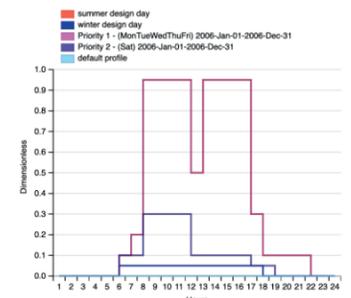


Figura A2.4.3 Fracción de ocupación de oficina

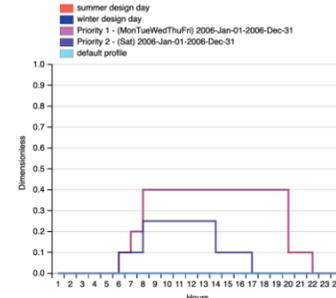


Figura A2.4.4 Fracción de ocupación de sala de reuniones

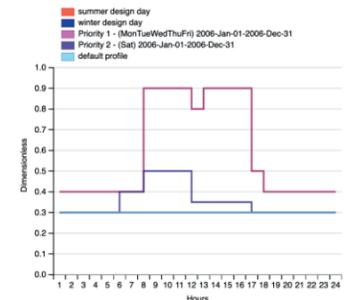


Figura A2.4.5 Fracción de carga de equipos de oficina

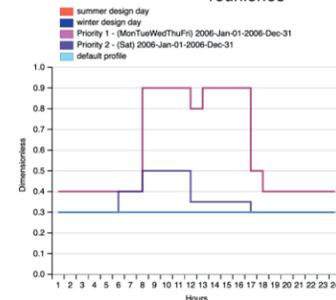


Figura A2.4.6 Fracción de carga de equipos de sala de reuniones

2 Metodología de Análisis

2.1 Geometría del Edificio y Configuración del Modelo

El análisis de desempeño del sistema se realizó en un edificio de oficinas de tres pisos y 52.200 pies cuadrados desarrollado con el modelo de edificio del prototipo de oficina mediana del Departamento de Energía. El modelo se construyó con el software de modelado energético Openstudio V3.7.1 y el motor de simulación EnergyPlus V23.2.0. El modelo se replicó en 12 ciudades diferentes con entradas dependientes del clima, tales como la aislación de la envolvente y el vidrio de las ventanas según la norma ASHRAE 90.1-2022.

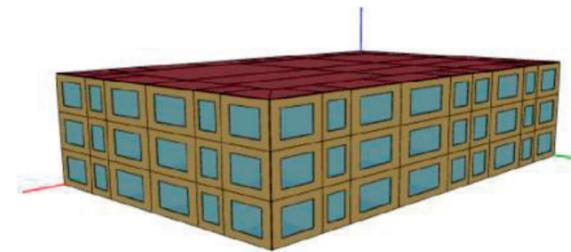


Figura 2.1 Captura de pantalla de edificio modelado

Para registrar la variación y la distribución de los tipos de espacio y los sitios dentro de un edificio de oficinas, en vez de utilizar placas de suelo homogéneas generalizadas como en los modelos del prototipo por defecto, la placa de suelo se separó en cuatro tipos diferentes de espacio. Los tipos de espacio capturan de manera general los tipos de uso más típicos en los edificios de oficinas, oficinas abiertas y cerradas, sala de reuniones y área de servicio (BOH, que también incluye los espacios con carga mínima como escaleras y ascensores). En el Anexo 2, sección «Entradas de Modelado», se muestran los supuestos de carga para cada tipo de espacio.



Figura 2.2 Placa de suelo del modelo de edificio por tipo de zona

Nombre del tipo de espacio	Superficie (pies ²)	Porcentaje de área por tipo de espacio
Sala de reuniones	13.000	25 %
BOH	10.600	20 %
Oficina abierta	14.300	27,5 %
Oficina cerrada	14.300	27,5 %

2.2 Modelado del Sistema de Recalentamiento VAV vs. del Sistema de Therma-Fuser

El sistema de recalentamiento VAV convencional se modeló según la ASHRAE 90.1 2022. Los sistemas de recalentamiento VAV convencionales y los sistemas de Therma-Fuser utilizan serpentines de precalentamiento con agua caliente en la manejadora de aire y serpentines de recalentamiento en la unidad terminal. El agua caliente la produce una caldera a gas natural sin condensación centralizada. El enfriamiento y la ventilación las proporciona una unidad de paquete de expansión directa centralizada con economizador en el lado de aire. En la Tabla 2.2 se muestran los beneficios del sistema de Therma-Fuser reflejados en la simulación del modelado energético.

	Modelo de referencia	Sistema de Therma-Fuser
Presión estática total del sistema	4,1" (según la norma ASHRAE 90.1-2022)	3"
Fracción de carga parcial de aire de suministro mínimo	La mayor entre el 30 % del enfriamiento pico o velocidad de ventilación mínima (según la norma ASHRAE 90.1-2022)	La mayor entre el 10 % del enfriamiento pico o la velocidad de ventilación mínima
Varianza de punto de operación de confort térmico	Sobreenfriamiento del 25 % de los espacios en 2°F Sobrecalentamiento del 25 % de los espacios en 2°F	Sin sobreenfriamiento/ sobrecalentamiento

Mejor Caída de Presión

Los diseños del sistema de Therma-Fuser realizados de manera apropiada limitan la presión de entrada en cada difusor. Para lograr este objetivo de diseño de forma rentable, se debería usar una distribución de ductos de baja fricción para limitar la pérdida de presión entre los reguladores de presión y los sistemas de Therma-Fuser. La distribución de baja fricción entre las manejadoras de aire y los reguladores de presión también puede reducir la cantidad de reguladores de presión necesarios. Según la ASHRAE 90.1-2022, se asume que la presión estática total del sistema de recalentamiento VAV es 4 pulgadas de columna de agua (pca). Se asume que las reducciones de presión estática en tuberías y accesorios, unidades terminales y equipos manejadores de aire agregan ahorros de 1,0 pca al sistema de Therma-Fuser, lo que equivale a una presión estática total de 3 pca¹.

Carga parcial del VAV

El sistema de Therma-Fuser permite un funcionamiento en carga parcial mejorado de la unidad terminal comparado con el dimensionamiento y diseño terminal de un VAV tradicional VAV. La carga parcial de una unidad terminal se refiere a la fracción de caudal de aire límite baja de su velocidad de caudal de diseño. La carga parcial típica de las unidades de Therma-Fuser medianas y grandes es de 10 % o menos si se

¹ Los sistemas que utilizan el difusor de Therma-Fuser pueden diseñarse para menos de 3 pca en total.

Anexo 2: Entradas del Modelado

A2.1 Norma ASHRAE 90.1 y Cumplimiento

Los modelos de Therma-Fuser y el de referencia se modelaron según la norma ASHRAE 90.1 2022 de la manera más fiel posible. Se hicieron desviaciones del estándar para representar de manera realista los sistemas convencionales y de Therma-Fuser con mejores prácticas. No se pretende que los resultados ilustrados representen la documentación de cumplimiento del código. El sistema se diferencia de la ASHRAE en que utiliza una AHU para el edificio en vez de una por pisos y en que tiene puntos de operación diferentes entre los modelos convencional (referencia) y el de Therma-Fuser (propuesto).

A2.2 Envoltura

Se definió que las propiedades de la envoltura del edificio fueran las mismas que las propuestas en la norma ASHRAE 90.1 2022 para cada zona climática.

Grupo de zona climática	Valor U de pared mínimo	Valor U de techo mínimo	Desempeño de vidrio (Valor U SHGC VLT)
0	0,124	0,039	0,50 0,22 0,242
1	0,124	0,048	0,50 0,23 0,253
2	0,084	0,039	0,45 0,25 0,275
3	0,077	0,039	0,42 0,25 0,275
4	0,064	0,032	0,36 0,36 0,396
5	0,055	0,032	0,36 0,38 0,418
6	0,049	0,032	0,34 0,38 0,418
7	0,049	0,028	0,29 0,40 0,44
8	0,037	0,028	0,26 0,40 0,44

A2.3 Entradas de Espacio

Se utilizaron las entradas de espacio que se indican en la norma ASHRAE 90.1 2022 para cada tipo de espacio como se muestra en la Tabla A2.3.

Grupo de zona climática	Área/Persona (SF)	Densidad de potencia de iluminación (W/SF)	Carga del equipo (W/SF)	Velocidad de aire exterior por persona (PCM/Persona)	Velocidad de aire exterior por área (SF)
Oficina cerrada	200	0,66	0,64	5	0,06
Oficina abierta	200	0,73	0,64	5	0,06
Sala de reuniones	20	0,88	0,37	5	0,06
BOH	N/A	0,71	0,27	N/A	0,12

A1.2 Miami- Resultados del Análisis de Sensibilidad

El análisis de sensibilidad para el clima de Miami muestra un aumento significativo en los ahorros porcentuales generados al eliminar el sobrecalentamiento/sobreenfriamiento en las zonas. Esto se debe principalmente al aumento de energía para el recalentamiento y el enfriamiento que se asocia con la deshumidificación.

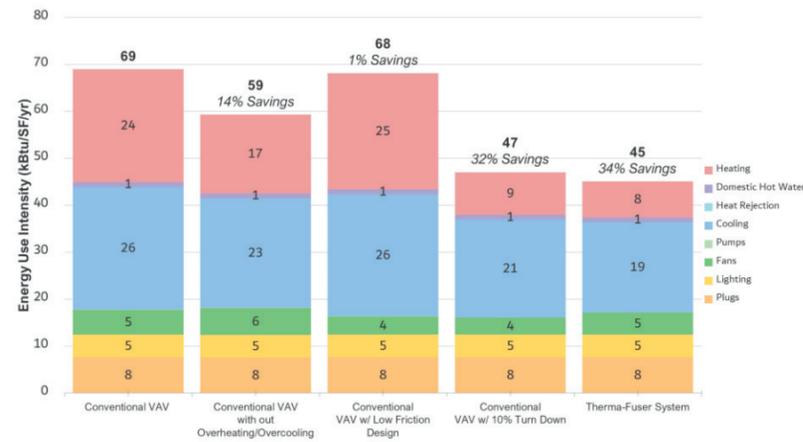


Figura A1.2 Resultados del análisis de sensibilidad para Miami

compara con el supuesto de referencia para las unidades terminales de VAV convencionales de carga parcial de 30 %. Lograr un porcentaje de carga parcial más bajo reduce el caudal constante de aire en un edificio y permite que las zonas se ajusten más a las velocidades mínimas de ventilación en los espacios, reduciendo así la tendencia a sobre ventilar las zonas. Aunque las unidades terminales del sistema de Therma-Fuser tienen una carga parcial mínima mejorada de un 10 %, los mínimos de aire de suministro siguen dependiendo del caudal de aire de ventilación mínimo requerido. La simulación energética considera esto y los mínimos de aire de suministro siempre son las velocidades de ventilación mínimas requeridas o la carga parcial mínima de la unidad terminal, lo que sea mayor.

Enfriamiento y Calefacción insuficientes

Los sistemas de recalentamiento VAV convencionales son conocidos porque comúnmente producen problemas de confort térmico por diversas razones: por ejemplo, que una zona se compense para tener un caudal mínimo mayor al requerido debido a una baja ocupación intermitente, malas prácticas de zonificación entre las zonas perimetrales y las interiores o un control de temperatura del aire de suministro sin calibrar. Para registrar el impacto de esta tendencia común en el desempeño, cada tipo de espacio se dividió en tres variantes de zonas, cada una con puntos de operación en una condición sobreenfriada, típica o sobrecalentada en los modos de operación de calefacción y enfriamiento del sistema.

Nombre de tipo de espacio	Superficie (pies²)	Porcentaje de área por tipo de espacio
Oficina cerrada	7.154	50 %
Oficina cerrada (demasiado fría)	3.576	25 %
Oficina cerrada (demasiado calurosa)	3.576	25 %
Sub Total	14.306	100 %
Sala de reunión	6.505	50 %
Sala de reunión (demasiado fría)	3.251	25 %
Sala de reunión (demasiado calurosa)	3.251	25 %
Sub Total	13.005	100 %
Oficina abierta	7.154	50 %
Oficina abierta (demasiado fría)	3.576	25 %
Oficina abierta (demasiado calurosa)	3.576	25 %
Sub Total	14.306	100 %
BOH	10.405	100 %

2.3 Análisis de Desempeño Regional

Se compararon los dos sistemas en 8 zonas climáticas diferentes de los Estados Unidos y 4 zonas climáticas internacionales para revisar los beneficios de los ahorros en diferentes lugares. Los criterios de desempeño sensibles al clima de edificios, tales como los valores R de aislación y el desempeño de ventanas, se ajustaron entre cada zona climática según la ASHRAE 90.1 2022.

Tabla 2.4 Ciudades y zonas climáticas estudiadas			
Zona climática	Tipo de clima	Ciudad	Estado (país)
1A	Muy caluroso húmedo	Miami	Florida
2B	Caluroso seco	Phoenix	Arizona
3C	Oceánico templado	San Francisco	California
4B	Seco mixto	Albuquerque	Nuevo México
5A	Fresco húmedo	Chicago	Illinois
6A	Frío húmedo	Burlington	Vermont
7	Muy frío	Duluth	Minnesota
8	Subártico	Fairbanks	Arkansas
3A	Extremo caluroso húmedo	Sídney	(Australia)
1A	Muy caluroso húmedo	Bangalore	(India)
0A	Templado húmedo	Singapur	(Singapur)
4A	Húmedo mixto	Seúl	(Corea)

Anexo 1: Análisis de Sensibilidad

Al establecer los parámetros que debían modificarse para representar el diseño de Therma-Fuser con mejores prácticas, primero se realizó un análisis iterativo para aislar el beneficio de cada uno de los criterios. Se analizaron en profundidad los efectos de los beneficios del Therma-Fuser para San Francisco y Miami. Se modeló cada uno de los beneficios del sistema de Therma-Fuser (eliminación de sobreenfriamiento/ sobrecalentamiento, diseño de baja fricción y carga parcial mejorada) de manera individual para ver los impactos que producían en los ahorros energéticos.

A1.1 San Francisco – Resultados del Análisis de Sensibilidad

En la Figura A1.1 se muestra el análisis de sensibilidad para San Francisco

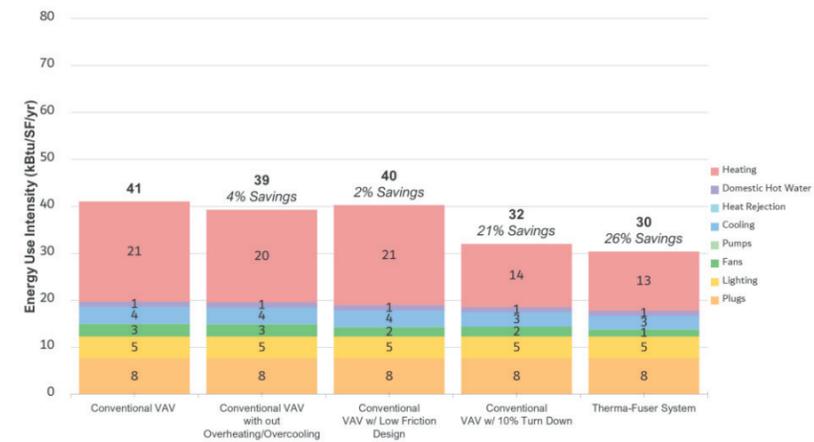


Figura A1.1 Resultados del análisis de sensibilidad para San Francisco

Los resultados para San Francisco muestran que la reducción en la fracción de carga parcial mínima del caudal de aire de enfriamiento pico o el mínimo de ventilación requerido, lo que sea más alto, genera los ahorros más altos en energía. Con una carga parcial mayor en los espacios que requieren menos caudal de aire, el caudal de aire de suministro se hace menos concentrado con el aire exterior y se requiere menos aire calentado o enfriado para ventilar un espacio. Esto disminuye la energía necesaria para la calefacción y el enfriamiento, especialmente por la deshumidificación y el recalentamiento, durante todo el año. Además, la carga parcial más baja disminuye la energía de ventilador ya que el suministro puede operar a mínimos más bajos durante el tiempo entre la temporada alta y la baja. Eliminar el sobreenfriamiento/ sobrecalentamiento tiene algo de impacto y disminuye ligeramente el uso de energía al eliminar la energía de enfriamiento y calefacción innecesaria.

Anexo

3 Resultados y Discusión

3.1 Intensidad del Uso de Energía

En la Tabla 3.1 se muestra un resumen general de los ahorros porcentuales en energía, costo y carbono entre el sistema de Therma-Fuser y el VAV convencional. En la Figura 3.1 se muestra un desglose más detallado de la Intensidad de Uso de Energía (EUI) para ambos sistemas en cada zona climática. Los beneficios para el desempeño energético anual de utilizar el enfoque del sistema de Therma-Fuser con mejores prácticas descrito se reflejan en los usos finales de energía de la calefacción, el enfriamiento y el ventilador.

La energía del ventilador del sistema manejador de aire centralizado representa una fracción más pequeña del uso de energía anual si se compara con la calefacción y el enfriamiento. Esto hace que el beneficio del sistema de baja fricción tenga menos impacto que otras mejoras en el sistema.

Sin embargo, la carga parcial del sistema tiene un inmenso impacto en los usos finales de calefacción y enfriamiento que requieren de mucha energía, en particular para zonas climáticas que experimentan condiciones de clima extremas. Esto es en gran medida un factor del menor acondicionamiento del caudal de aire de ventilación. Los climas húmedos ven una reducción significativa en las cargas de deshumidificación y recalentamiento y los climas fríos y frescos reducen de manera significativa las horas de carga de calefacción innecesarias. Las áreas con más energía de recalentamiento también ahorrarán más con la eliminación del enfriamiento y la calefacción ineficientes en los espacios. Eliminar el sobrecalentamiento reduce la energía de calefacción que se desperdicia y eliminar el sobreenfriamiento reduce la cantidad de enfriamiento desperdiciado. Al igual que ocurre con los ahorros en la carga parcial, este efecto es pronunciado en los climas extremos donde se utiliza significativamente más energía ya sea para deshumidificar el aire por confort o para hacer que el aire exterior frío alcance las temperaturas de punto de operación.

El diseño del sistema de Therma-Fuser que utiliza mejores prácticas brinda la oportunidad de generar ahorros anuales en el uso de energía de hasta 18-36 %.

3.2 Costo

En la Figura 3.2 se muestra el índice de costo total de energía, costo por pie cuadrado de edificio, para ambos sistemas. Los ahorros en costos se calcularon utilizando las tasas de energía estatales promedio informadas por la Administración de Información Energética de los EE. UU. y otras fuentes publicadas para los lugares internacionales (ver en Anexo A3.1).

Las tasas de costo de energía varían significativamente entre los lugares según factores regionales. Esto provoca una dinámica de valor única entre los ahorros en gas natural y electricidad en las distintas zonas climáticas. Con los sistemas de calefacción en base a combustión utilizados en este análisis, generalmente los porcentajes de ahorros en los costos son menores que los de los ahorros generales en energía debido al

Formatted: Line spacing: 1.5 lines

Formatted: Line spacing: 1.5 lines

menor precio del gas natural, a pesar de la predominancia de los ahorros en energía de calefacción cuando se aplica el sistema de Therma-Fuser.

3.3 Emisiones

En la Figura 3.3 se muestra la intensidad de carbono total para el sistema VAV convencional versus el de Therma-Fuser. Las emisiones de carbono se calcularon principalmente con los valores de emisiones promedio anuales publicados por la Administración de Información Energética. En el Anexo A3 encontrará una lista completa con las fuentes.

Los lugares estudiados utilizan niveles variados de fuentes de generación de energía baja en carbono. Si la intensidad de la emisión de energía eléctrica es baja, la energía de la calefacción basada en la combustión constituye la mayor parte de las emisiones anuales. El beneficio del sistema de Therma-Fuser de reducir el uso de energía en calefacción juega un rol importante en la reducción de las emisiones anuales de cada sitio. El mayor porcentaje total de ahorros en emisiones de carbono entre los sistemas de recalentamiento VAV convencionales y de Therma-Fuser se produce cuando el factor de emisiones de carbono de la electricidad es particularmente bajo, como con Vermont. Las ciudades que dependen en gran medida de la calefacción (como Fairbanks) tendrán ahorros en emisiones de carbono que son más similares a los ahorros en el uso de energía general. Esto se debe principalmente a la relación relativamente baja de uso de electricidad y uso de energía general.

3.4 Ahorros

La Tabla 3.1 y la Figura 3.4 contienen un resumen de los ahorros en energía, costo y emisiones de carbono para cada sistema por zona climática simulada. Los factores climáticos como el calor extremo, el frío y la humedad llevan a que estos climas logren los ahorros más altos en uso de energía y costos cuando utilizan un enfoque de sistema de Therma-Fuser con mejores prácticas en vez de un sistema de recalentamiento VAV convencional. Ya que la reducción en el uso de energía para calefacción es el mayor impacto energético del sistema de Therma-Fuser, este enfoque del sistema puede reducir de manera efectiva el consumo de combustibles fósiles en edificios que utilizan combustibles mixtos y reducen el costo de los sistemas de calefacción central en los edificios que son completamente eléctricos. Estos factores, en última instancia, son los que hacen que un sistema de Therma-Fuser diseñado con las mejores prácticas sea una herramienta que facilita la operación descarbonizada de un edificio.

Formatted: Line spacing: 1.5 lines

Formatted: Line spacing: 1.5 lines

Formatted: Spanish (Latin America)

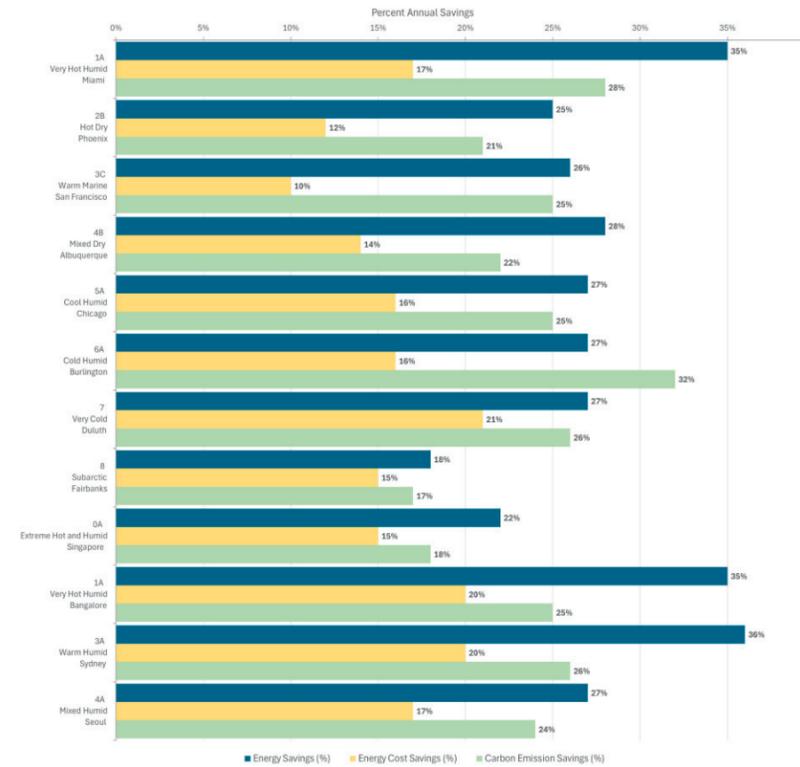


Figura 3.4 Gráfico que muestra el resumen de los ahorros entre el sistema VAV convencional y el sistema de Therma-Fuser por zona climática simulada

Formatted: Line spacing: single

Zona climática	Tipo de clima	Ciudad	Ahorros en energía (%)	Ahorros en costo de energía (%)	Ahorros en emisiones de carbono (%)
1A	Muy caluroso húmedo	Miami, Florida	35 %	17 %	28 %
2B	Caluroso seco	Phoenix, Arizona	25 %	12 %	21 %

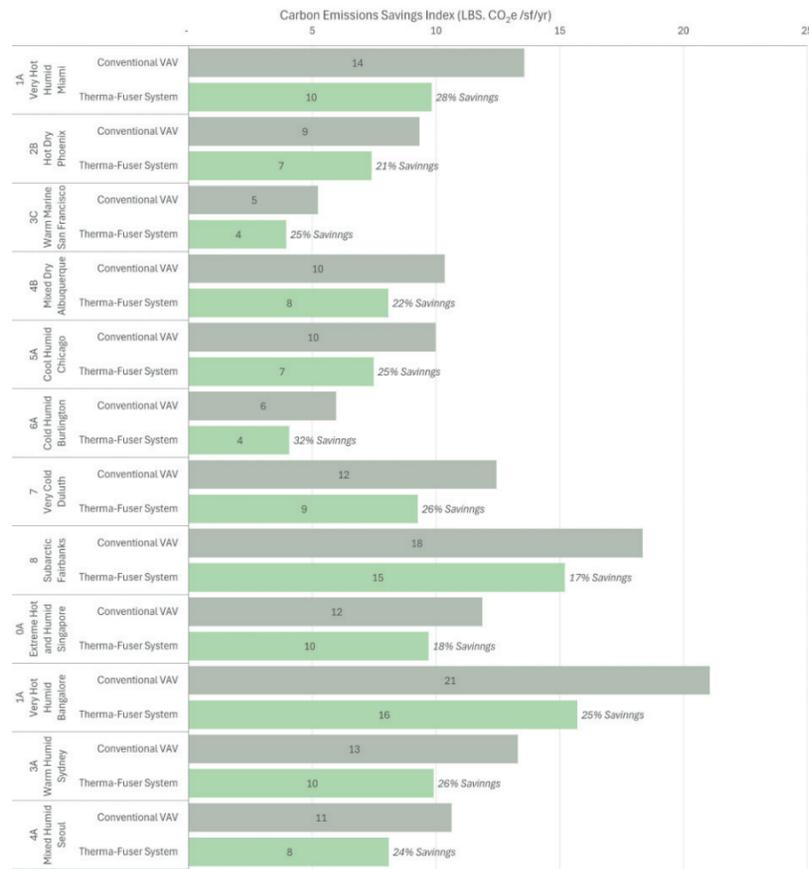


Figura 3.3 Gráfico que muestra el índice de emisiones de carbono calculado para cada sistema por zona climática simulada

Formatted: Line spacing: single

3C	Oceánico templado	San Francisco, California	26 %	10 %	25 %
4B	Seco mixto	Albuquerque, Nuevo México	28 %	14 %	22 %
5A	Fresco húmedo	Chicago, Illinois	27 %	16 %	25 %
6A	Frío húmedo	Burlington, Vermont	27 %	16 %	32 %
7	Muy frío	Duluth, Minnesota	27 %	21 %	26 %
8	Subártico	Fairbanks, Alaska	18 %	15 %	17 %
0A	Extremo caluroso húmedo	Singapur	22 %	15 %	18 %
1A	Muy caluroso húmedo	Bangalore, India	35 %	20 %	25 %
3A	Templado húmedo	Sídney, Australia	36 %	20 %	26 %
4A	Húmedo mixto	Seúl, Corea del Sur	27 %	17 %	24 %

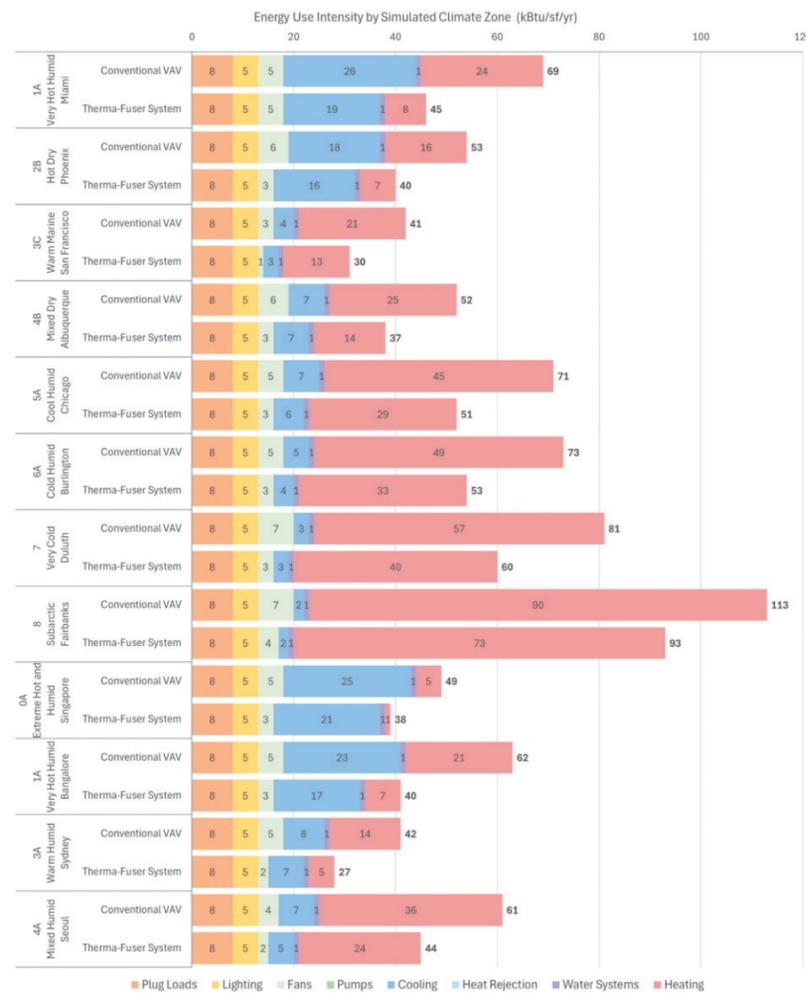


Figura 3.1 Gráfico que muestra la intensidad de uso de energía anual calculada para cada sistema por zona climática simulada

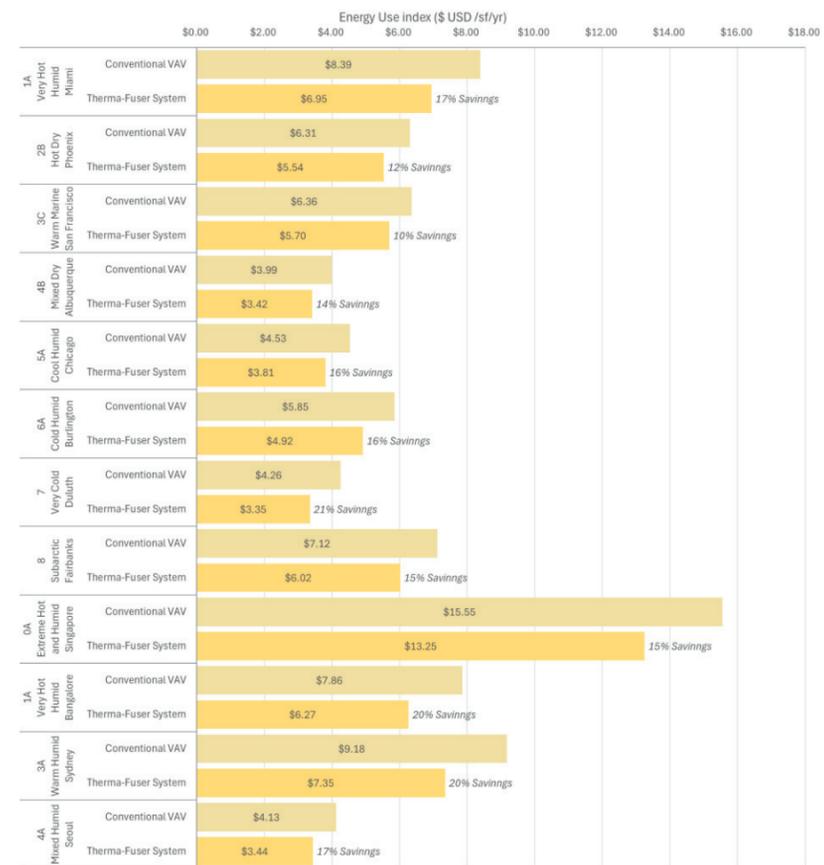


Figura 3.2 Gráfico que muestra el índice de costo de energía calculado para cada sistema por zona climática simulada.