

Guía de Diseño Técnico para Calentamiento Avanzado de Agua para Servicios de Alimentación

Mejorando el Rendimiento Operativo de Sistemas de Agua Caliente en Cocinas Comerciales



El Calentamiento Avanzado de Agua para Servicios de Alimentación le ayudará a lograr un rendimiento óptimo, así como eficiencia en el uso de agua y energía en el sistema de agua caliente de su cocina comercial. También le ayudará a identificar las mejores prácticas para la construcción de cocinas comerciales de energía neta cero. La información presentada es aplicable tanto a construcciones nuevas como, en algunos casos, a remodelaciones.

Esta guía de diseño está destinada a complementar la información completa de diseño publicada en guías de diseño anteriores, así como en la guía de diseño para la ventilación de la sala de lavado. También puede revisar la Guía del Operador para obtener información sobre cómo los propietarios y usuarios de cocinas comerciales pueden optimizar el uso del equipo a través de necesidades de puesta en marcha, mejores prácticas operativas y planes de mantenimiento.

Introducción	3
Antecedentes	3
Ruta para Ahorros	5
Equipos y Accesorios	6
Sistemas de Distribución	13
Controles de Recirculación de Agua	19
Calentadores de Agua	22
Ejemplos de Diseño	34
Conclusiones Clave	50

Notas y Agradecimientos

Financiamiento - Edición Original (2010)

CEC Pier Project administered by Pacific Gas and Electric Company
P.O. Box 770000 MCN6G
San Francisco, CA 94177
www.pge.com

Financiamiento - Segunda Edición (2022)

Southern California Gas Company
555 West 5th Street Los Angeles, CA 90013
www.socalgas.com

Financiamiento - Tercera Edición (2023)

CalNEXT Program administered by Southern California Edison
2244 Walnut Grove
Rosemead, CA 91770
www.sce.com

EQUIPO DE INVESTIGACIÓN

TRC Companies

Research and Consulting Group
436 14th Street, Suite 1020
Oakland, CA 94612
(916) 962-7001
www.trccompanies.com

Frontier Energy, Inc.

Food Service Technology Center
1075 Serpentine Ln, Suite B, Pleasanton, CA
(925) 866-2844
www.frontierenergy.com

Aviso Legal

La edición original de esta guía de diseño fue preparada como resultado del trabajo patrocinado por la Comisión de Energía de California. No necesariamente representa las opiniones de la Comisión, sus empleados ni del Estado de California. La Comisión, el Estado de California, sus empleados, contratistas y subcontratistas no ofrecen garantía, expresa o implícita, y no asumen responsabilidad legal alguna por la información en esta guía; tampoco ninguna parte asegura que el uso de esta información no infrinja derechos de propiedad privada. Esta guía no ha sido aprobada ni desaprobada por la Comisión, ni la Comisión ha evaluado la precisión o adecuación de la información en esta guía.

Ni Frontier Energy, Inc. ni el Food Service Technology Center ni ninguno de sus empleados ofrece garantía, expresa o implícita, o asume responsabilidad legal por la exactitud, integridad o utilidad de cualquier dato, información, método, producto o proceso revelado en este documento, ni representa que su uso no infringirá derechos de propiedad privada, incluyendo, entre otros, patentes, marcas comerciales o derechos de autor. La mención de productos o fabricantes específicos no constituye un respaldo de ese producto o fabricante por parte de Frontier Energy, inc. o del Food Service Technology Center. La retención de esta firma de consultoría por SoCalGas® para desarrollar esta guía no constituye un respaldo por parte de SoCalGas® para cualquier trabajo realizado que no esté especificado en el alcance de este proyecto.

Frontier Energy, Inc., San Ramon, CA, y TRC, Oakland, CA, prepararon esta guía de diseño y se reservan el derecho de actualizar el documento.

© Todos los derechos reservados. Queda prohibido copiar, publicar o distribuir estos materiales sin el permiso expreso por escrito del autor.

Introducción

Esta guía de diseño aborda estrategias para implementar un sistema avanzado de agua caliente para servicios de alimentación comercial que cumpla con los requisitos de saneamiento de agua caliente del departamento de salud de la instalación, al tiempo que optimiza el rendimiento del equipo, la eficiencia del agua, la eficiencia energética y la descarbonización. Los sistemas de agua caliente pueden representar hasta un tercio del uso de energía de una instalación de servicios de alimentación comercial, así como la mayor parte de su consumo de agua, por lo que un diseño adecuado del sistema de agua caliente es fundamental para cumplir con los requisitos de rendimiento y mantener los costos operativos gestionables para cualquier instalación. Un diseño eficiente del sistema de agua caliente también es esencial para alcanzar objetivos de energía neta cero, ya que cada oportunidad de eficiencia nos acerca a respaldar una instalación de energía neta cero. Esta guía se basa en guías de diseño anteriores y agrega información y lecciones aprendidas de investigaciones de laboratorio y campo, incluyendo proyectos sobre sistemas de distribución de agua caliente en edificios comerciales, demostraciones de calentadores de agua con bomba de calor (HPWH) y demostraciones de calentadores de agua híbridos de condensación. Para obtener información sobre cómo las cocinas comerciales pueden utilizar y mantener el equipo de manera eficiente, consulte la Guía del Operador.

Antecedentes

El agua caliente es el alma de los restaurantes. El sistema de agua caliente proporciona el servicio de agua caliente para lavar las manos, lavar platos y equipo, y cocinar alimentos. Por razones de seguridad alimentaria, no se permite que las instalaciones de servicios de alimentos operen sin un suministro adecuado de agua caliente para el saneamiento. Por lo tanto, es esencial diseñar el sistema de calentamiento de agua para satisfacer las necesidades de los equipos que utilizan agua caliente durante la operación máxima. Los sistemas de agua caliente para servicios de alimentos se componen de tres grupos fundamentales de componentes: calentador(es) de agua con o sin almacenamiento, tuberías de distribución y una variedad de equipos y accesorios que utilizan agua caliente. La mayoría de los calentadores de agua instalados en restaurantes son unidades de tipo tanque diseñadas para mantener el agua a una temperatura preestablecida hasta que sea necesaria. Un número pequeño y decreciente de instalaciones de servicios de alimentos más grandes utilizan una caldera con un tanque de almacenamiento externo. Un número creciente de operaciones, especialmente restaurantes de servicio rápido utilizan calentadores de agua sin tanque. La fuente de energía dominante para calentar agua en las instalaciones de servicios de alimentos en California es el gas natural, seguido de manera distante por la resistencia eléctrica y el propano.

La segunda parte fundamental de un sistema de calentamiento de agua es el sistema de distribución, que consta de una red de tuberías envuelta en aislamiento para reducir la pérdida de calor. En sistemas de tamaño moderado a grande, como los que se encuentran comúnmente en restaurantes de servicio completo, generalmente se instala un bucle de recirculación y una bomba para mantener agua caliente en las líneas de suministro y lograr una entrega más rápida de agua caliente a equipos y accesorios. De lo contrario, puede llevar minutos que el agua caliente alcance su temperatura prevista en lugares importantes como lavabos para manos y máquinas lavaplatos, poniendo en peligro la correcta higiene. En servicios de alimentación, el sistema de agua caliente está diseñado para suministrar agua a temperaturas que generalmente oscilan entre 120°F y 140°F a grifos y equipos. Una excepción son los lavabos para manos, donde la temperatura del agua puede atemperarse a 100°F. El tercer componente del sistema de agua caliente son los equipos y accesorios que utilizan agua caliente. Los equipos que utilizan agua

caliente incluyen máquinas lavaplatos y equipos de cocina, como mesas de vapor o cocedores de vapor. Los accesorios de agua caliente incluyen grifos de manguera, equipos de prelavado y grifos de lavabos para manos y lavabos de preparación. El uso de equipos y accesorios varía durante el día de servicio, pero generalmente alcanza su punto máximo durante el almuerzo y la cena. La limpieza al final del día de la instalación y el uso asociado de un fregadero de trapeador para llenar cubos o conectar una manguera para lavado también pueden representar un importante consumo de agua caliente.

Las cocinas comerciales son altamente intensivas en energía. Según la modelación energética publicada en el informe de Caracterización del Mercado Comercial de Energía Neta Cero (TRC 2019), los restaurantes tienen un Índice de Uso de Energía (EUI) mucho más alto que otros tipos de edificios comerciales. Gran parte de esa intensidad energética se debe al uso de agua caliente, que generalmente se calienta mediante calentadores de agua a gas natural. Según el informe “Potencial de Eficiencia Energética de Equipos de Calentamiento de Agua Comercial a Gas en Instalaciones de Servicios de Alimentación” (Delagah y Fisher 2009), el calentamiento de agua para aplicaciones de servicios de alimentación representa 340 millones de termias de consumo de gas anualmente en California, lo que representa el 16 por ciento del uso de gas comercial en todo el estado. Dado que muchas cocinas dependen del gas natural para calentar agua caliente, se deben realizar cambios importantes en el diseño para respaldar que estas instalaciones alcancen la energía neta cero para 2030, según lo establecido por los objetivos de descarbonización del estado. Sin embargo, simplemente hacer la transición de calentadores de gas a eléctricos no es rentable, por lo que evaluar el diseño completo y encontrar eficiencias energéticas en todo el sistema de calentadores de agua es un paso crucial hacia la descarbonización de restaurantes de servicio completo.

Para comprender mejor cómo las eficiencias energéticas y de agua impactan en la rentabilidad de las cocinas comerciales, primero es necesario comprender cuánta energía y agua utilizan los sistemas de agua caliente. La Tabla 1 presenta los costos típicos del sistema de agua caliente para diseños convencionales de restaurantes de servicio rápido (QSR) y restaurantes de servicio completo (FSR). Estos diseños siguen estándares de principios del siglo XX, utilizando un sistema de recirculación continua alimentado por un calentador de agua tipo tanque de eficiencia estándar, operan sus sistemas de agua caliente a 140 °F, tienen máquinas lavaplatos tipo puerta o bajo mostrador (ya sea modelos de enjuague de alta o baja temperatura) y suministran agua caliente a puntos de uso alejados, como lavabos. Estos costos consideran el uso de agua y gas del sistema de agua caliente en el calentador de agua y el uso de electricidad de una máquina lavaplatos de alta temperatura con un calentador eléctrico auxiliar. Ambos restaurantes tienen algunos accesorios comunes, como fregaderos para trapeadores, compartimentos y lavabos para manos. La diferencia es que un QSR utiliza recipientes y cubiertos desechables para el área de comedor y un fregadero de tres compartimentos para lavar utensilios de cocina, mientras que un FSR utiliza utensilios reutilizables para el comedor y tiene dos máquinas lavaplatos (un bajo mostrador en la barra y una tipo puerta en la zona de lavado).

Tabla 1. Uso Típico del Sistema de Agua Caliente y Costos de Servicios Públicos para Restaurantes.

	Uso de Agua (gal/d)	Uso de Gas Natural (termias/año)	Uso de Electricidad (kWh/año)	Costo de Agua y Alcantarillado	Costo de Gas Natural	Costo de Electricidad	Costo Anual de Servicios Públicos*
Restaurante de Servicio Rápido	500	1,600	-	\$3,400	\$2,900	-	\$6,300
Restaurante de Servicio Completo	2,000	8,400	73,340	\$13,700	\$15,100	\$23,600	\$52,400

*Basado en \$14.13/HCF, \$1.80/termia, \$0.32/kWh.

El potencial de ahorro para un diseño de sistema de agua caliente de vanguardia es sustancial. Las tecnologías de vanguardia incluyen máquinas lavaplatos con recuperación de calor, boquillas de prelavado de bajo flujo, calentadores de agua híbridos de condensación, controladores de recirculación por demanda y generación de calor distribuida a través de calentadores de uso puntual. Además de ahorrar energía, muchas tecnologías de vanguardia también ahorran agua. La Tabla 2 detalla los costos de servicios públicos para sistemas de vanguardia, así como sus ahorros en comparación con los sistemas convencionales de la Tabla 1. Dado que la mayoría de los sistemas de agua caliente para servicios de alimentación se instalan una vez y se mantienen en su lugar durante décadas, los ahorros a lo largo de la vida útil para sistemas de vanguardia pueden ser de decenas a cientos de miles de dólares.

Tabla 2. Potencial de Ahorro del Sistema de Agua Caliente de Vanguardia.

	Uso de Agua (gal/d)	Uso de Gas Natural (termias/año)	Uso de Electricidad (kWh/año)	Costo de Agua y Alcantarillado	Costo de Gas Natural	Costo de Electricidad	Costo Anual de Servicios Públicos*	Ahorro Anual sobre lo Convencional
Restaurante de Servicio Rápido de Vanguardia	400	1,000	-	\$2,700	\$1,800	-	\$4,500	\$1,800
Restaurante de Servicio Completo de Vanguardia	1,600	5,500	63,870	\$11,000	\$9,900	\$20,600	\$41,500	\$10,900

*Basado en \$14.13/HCF, \$1.80/termia, \$0.32/kWh.

Diseño del Camino para Ahorros: Una Perspectiva de Sistemas

Especificar el sistema de agua caliente en sentido inverso, comenzando por los equipos que utilizan agua caliente y retrocediendo hacia el calentador de agua, es un proceso efectivo para lograr una alta eficiencia y rendimiento del sistema. Reducir el consumo de agua caliente no solo resulta en costos más bajos de agua y alcantarillado, sino que también es la forma más efectiva de reducir la energía de calentamiento de agua y respaldar prácticas de edificios de energía neta cero.

- 1. Especificar Equipos Eficientes que Utilicen Agua Caliente** - Comience seleccionando equipos y accesorios eficientes y de alto rendimiento. El lugar óptimo en una cocina comercial para lograr ahorros es la zona de lavado, donde se utiliza la mayor parte del agua caliente. Reducir el uso de agua caliente en el equipo de prelavado y la máquina lavaplatos es la base de un sistema optimizado. Considere especificar calentadores de uso puntual para accesorios lejanos, como lavabos y/o lavabos de bar, así como una máquina lavaplatos con recuperación de calor integrada, de modo que estos accesorios puedan funcionar de manera independiente con solo conexiones de suministro de agua fría. Estas elecciones de equipos reducirían el tamaño del calentador de agua principal y del sistema de distribución, aumentando la eficiencia general del sistema.
- 2. Construir un Sistema de Distribución Eficiente** - Incorpore un esquema de distribución eficiente para minimizar el tiempo de entrega de agua caliente. Factores clave para la eficiencia y el rendimiento del sistema de distribución son la ubicación de fregaderos y equipos en relación con el calentador de agua, el tamaño y diseño de la tubería de distribución, la instalación de aislamiento continuo en la tubería y el uso de las mejores prácticas de instalación de aislamiento, así como la instalación adecuada de colgadores de tubería. Considere la generación distribuida para bares remotos y otros accesorios lejanos de la sala mecánica.

3. Optimizar el Control del Bucle de Recirculación desde Ambos Extremos - Los edificios más grandes requieren que el agua caliente se bombee en un bucle de distribución alrededor del edificio, conocido como el bucle de recirculación, para asegurar que haya agua caliente disponible cerca de todos los accesorios que utilizan agua caliente. Es importante instalar una válvula mezcladora principal (MMV) al inicio del sistema de distribución para controlar precisamente la temperatura de suministro. Las MMV ofrecen una operación más eficiente del calentador de agua debido a una mejor estratificación de la temperatura del agua en el tanque, ahorro de pérdidas de calor en la tubería del bucle de distribución y la capacidad de aumentar de manera segura la capacidad de calentamiento de almacenamiento. En el extremo del sistema de recirculación se encuentra la bomba de recirculación y los controles. Especifique una bomba ECM de velocidad variable de tamaño adecuado con controles de temperatura constante que operen a niveles de potencia mucho más bajos mientras mantienen una temperatura de retorno de recirculación precisa para el ahorro de energía.

4. Especificar Calentador(es) de Agua de Alta Eficiencia - Para optimizar completamente el diseño del sistema de calentamiento de agua, especifique calentadores de agua de condensación de alta eficiencia o calentadores de agua con bomba de calor. Antes de finalizar el diseño del sistema de agua caliente, considere integrar otras tecnologías de precalentamiento, como la recuperación de calor del refrigerante, la recuperación de calor del agua de desagüe o el precalentamiento solar. Para descarbonizar instalaciones existentes, considere calentadores de agua híbridos con bomba de calor de resistencia eléctrica para aplicaciones de baja carga de agua caliente, como restaurantes de servicio rápido, y asistencia de bomba de calor para maximizar los beneficios del calentamiento de agua a gas y con bomba de calor para cargas más grandes. Varias configuraciones de calentadores de agua con controles también pueden ayudar a las instalaciones a gestionar cuándo utiliza el sistema de calentamiento de agua y a aumentar la temperatura del tanque de almacenamiento cuando la energía renovable es abundante y económica, y luego poder contar con esa energía almacenada para ayudar a limitar el uso durante los períodos pico. Estos controles son especialmente importantes para los calentadores de agua de resistencia eléctrica.



5. Comisionar y Desarrollar un Plan de Mantenimiento - La instalación adecuada y el monitoreo sencillo del equipo pueden ayudar a maximizar las eficiencias del sistema de agua caliente. Consulte la Guía del Operador para recomendaciones de puesta en marcha y mantenimiento.

1. Aparatos y luminarias

Como se describe en el Camino de Diseño para Ahorros, especificar equipos y accesorios que conserven agua caliente es crucial para un sistema de agua caliente optimizado en instalaciones de servicios de alimentación. Estas son las únicas partes del sistema que interfieren regularmente con el personal y son las más fáciles de quitar y reemplazar, es decir, la máquina lavaplatos, la válvula de rociado de prelavado y los aireadores en los grifos de los lavabos. Equipos o accesorios eficientes, siempre y cuando ofrezcan un rendimiento igual o mejor que los modelos convencionales, se traducirán en ahorros a largo plazo.

Esta sección presenta pautas para seleccionar los siguientes componentes clave de equipos de cocina: equipos de prelavado, máquinas lavaplatos, accesorios de saneamiento utilitario y bares y accesorios auxiliares.

EQUIPO DE PRELAVADO (PRO)

La pieza más importante y común de equipo de prelavado es la válvula de rociado de prelavado (PRSV). La válvula de rociado de prelavado es un dispositivo portátil diseñado para su uso con equipos comerciales de lavado de platos y lavabos de varios compartimentos para eliminar los residuos de alimentos de platos y cubiertos. Las válvulas de rociado de prelavado de bajo flujo y alto rendimiento son el único equipo más rentable para el ahorro de agua y energía en cocinas comerciales. Dado que las válvulas de rociado eficientes tienen un rendimiento equivalente a los modelos ineficientes o convencionales de mayor flujo, el gobierno federal aprobó leyes limitando su tasa de flujo.

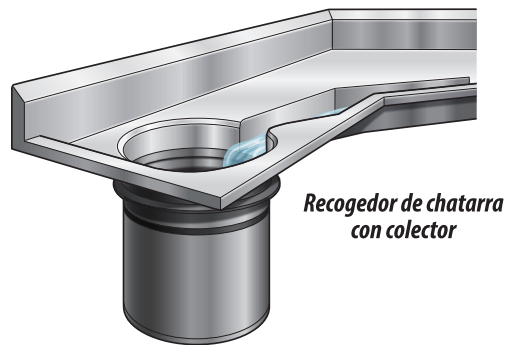
Las válvulas de rociado de prelavado eficientes predominantes (con flujos en el rango de 1 a 1.2 gpm) se han probado en una amplia variedad de aplicaciones de cocina, lo que ha animado a los fabricantes a desarrollar modelos avanzados que utilizan menos de un galón por minuto. Un restaurante de servicio completo ocupado puede registrar tres horas de uso total de prelavado por día de servicio. Con solo una hora de uso por día, una válvula de rociado de 0.65 gpm de mejor calidad puede ahorrar 70 termias y \$260 anuales en comparación con una válvula de rociado de 1.2 gpm regulada por el gobierno federal.

La válvula de rociado de prelavado suele ser la única pieza de equipo de prelavado instalada en la mayoría de los restaurantes de servicio rápido y de servicio completo, pero no cuenta toda la historia para las salas de lavado de platos grandes estilo cafetería. Campus corporativos, hoteles y instalaciones educativas pueden usar raspadores, trituradores y canaletas que pueden contribuir significativamente al consumo de agua caliente de una operación. Las siguientes piezas de equipo suelen ser adecuadas solo para operaciones con un gran

volumen, como una cafetería que necesita atender a muchas personas en el comedor al mismo tiempo. Los recolectores de desechos o "raspadores" tienen una bomba de recirculación que opera en una cascada de 8 a 30 gpm. Los raspadores utilizan entre 1 y 2 gpm de agua caliente fresca. Cuando se colocan platos bajo la corriente de la cascada, los raspadores recogen residuos sólidos en una cesta de malla, que se retira periódicamente y se vacía en un contenedor de residuos. Los modelos estándar fluyen a una velocidad constante durante las horas de operación del lavadero de platos, independientemente de si alguien está raspando activamente platos. Los modelos avanzados tienen temporizadores y sensores de ocupación diseñados para apagar el raspador cuando no está en uso, ahorrando agua.

Los trituradores comerciales utilizan entre 3 y 10 gpm de agua fresca y funcionan básicamente como un triturador de basura agrandado con una cuchilla giratoria en su interior para moler los restos de alimentos que van por el desagüe. A diferencia de un triturador residencial, el agua se inyecta automáticamente en la cavidad de molienda durante el proceso. Los trituradores suelen tener duraciones de operación bajas porque el agua fluye solo cuando se presiona el botón de trituración, lo que resulta en un consumo total de agua menor que los raspadores y otros equipos PRO.

Un canal es similar a un raspador, pero permite un canal más grande para que los operadores depositen platos en él. El agua recirculada desde el canal lava los platos con sus residuos fluyendo hacia el raspador en su extremo. El canal suele tener dos o tres boquillas y permite que varios miembros del personal trabajen simultáneamente. Estas boquillas utilizan entre 2 y 3 gpm de agua fresca cada una. Para todos los tipos de equipos PRO, las unidades de recirculación continua pueden consumir más del 90 por ciento de agua y energía que las unidades de ciclismo intermitente o aquellas equipadas con sensores de



ocupación. Como resultado, se recomienda especificar equipos PRO accionados siempre que sea posible.

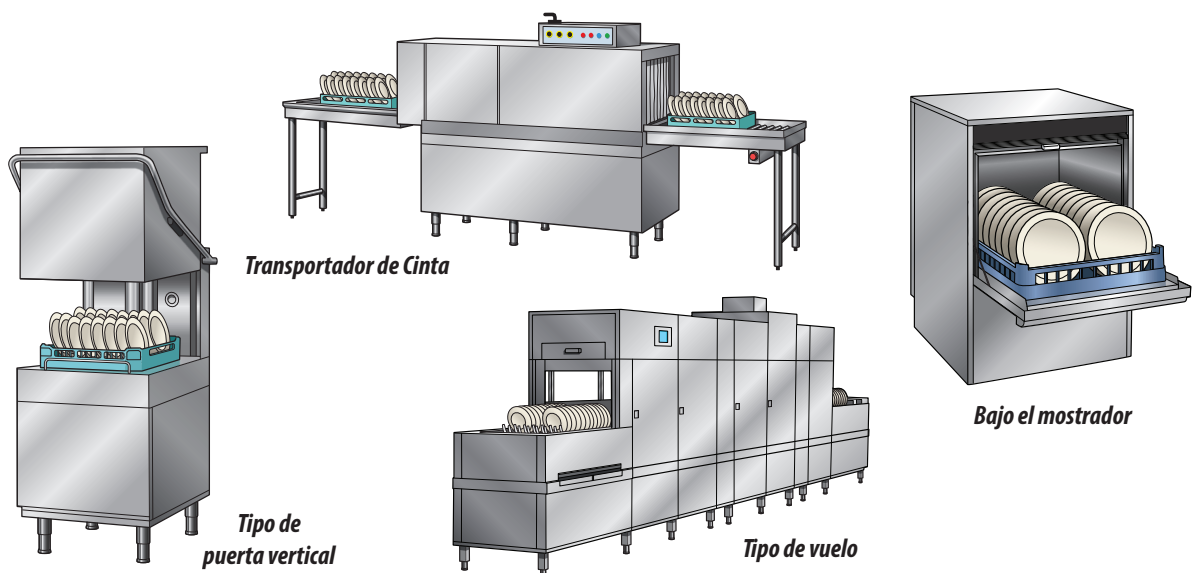
Una evaluación de campo de 15 sitios con PRO (Delagah y Karas 2018) ha demostrado que los métodos más eficientes en agua y energía son el uso de raspado en seco y válvulas de rociado de prelavado de forma independiente o en combinación. Los segundos mejores métodos son el uso de raspado en seco o válvula de rociado de prelavado con triturador operado manualmente. Las pruebas de campo han demostrado que estos métodos utilizan de 0 a 200 HCF de agua y de 0 a 1,000 termias de gas natural para calentar agua anualmente. Los raspadores y recolectores de canaletas de flujo continuo y las mangueras de rociado de piso, tal como están instalados y operados, son mucho más derrochadores y utilizan de 800 a 1,800 HCF y de 4,000 a 8,000 termias anualmente.

Por último, si la instalación es lo suficientemente grande, considere especificar espacio para raspar platos en seco y varias válvulas de rociado de prelavado en el área PRO que permitan que más trabajadores raspen platos al mismo tiempo. Esto reducirá el mal uso de equipos no PRO como las mangueras de piso, que pueden conducir a grandes ineficiencias en el consumo de agua.

LAVAVAJILLAS COMERCIALES

La pieza más importante de equipo en una instalación comercial de servicios de alimentación es la máquina lavaplatos. La máquina lavaplatos probablemente consume más agua caliente que cualquier otro electrodoméstico en el edificio. Cada parte de una operación comercial de servicios de alimentación depende de que la máquina lavaplatos funcione correctamente. Además, los departamentos de salud regulan el funcionamiento de las máquinas lavaplatos (temperaturas de enjuague objetivo) y pueden cerrar restaurantes por hacer funcionar una máquina defectuosa. Los lavavajillas también son importantes desde una perspectiva de energía y agua. Además de utilizar entre el 25 por ciento y el 75 por ciento del agua caliente de una instalación, las máquinas lavaplatos con calentadores eléctricos auxiliares y calentadores de tanque pueden rivalizar con líneas de cocción enteras en términos de consumo de energía eléctrica. Esto es especialmente cierto para las clases más grandes de máquinas lavaplatos. Las máquinas lavaplatos se dividen en seis clases principales: bajo mostrador, lavavasos, de puerta vertical, de ollas y sartenes, de transporte de rejilla y de transporte sin rejilla (transportador sin rejilla).

Las unidades bajo mostrador y de puerta vertical típicamente lavan y enjuagan un rack a la vez, funcionando en una operación de "tipo por lotes". Las máquinas lavaplatos de transporte de rejilla lavan continuamente utensilios colocados en un rack sobre una cinta transportadora, mientras que los



transportadores tipo vuelo tienen clavijas integradas para colocar utensilios directamente en la cinta transportadora. Otros tipos especializados de máquinas lavaplatos comerciales incluyen lavavasos que pueden usarse en el bar y máquinas lavaplatos de ollas y sartenes que son versiones más altas y a veces de doble ancho de las máquinas lavaplatos de puerta vertical que son adecuadas para manipular utensilios de panadería y cocina pesada. Para explorar las eficiencias de estos modelos, esta sección presenta primero información sobre máquinas lavaplatos convencionales alimentadas con agua caliente y luego presenta información sobre máquinas lavaplatos con recuperación de calor.

LAVAVAJILLAS CONVENCIONALES

Tradicionalmente, existen dos tipos de máquinas lavaplatos comerciales basadas en métodos de saneamiento: las de baja temperatura con saneamiento químico y las de alta temperatura. Las máquinas de baja temperatura (o “baja temp”) con saneamiento químico lavan a 120-140°F y realizan el enjuague final a 140°F con la ayuda de agentes químicos de saneamiento. Una máquina de baja temperatura utiliza tres productos químicos: un agente de lavado, un agente de enjuague y un desinfectante. Normalmente, no se requiere instalar máquinas de baja temperatura bajo una campana de ventilación (verifique con su autoridad local competente). Las máquinas de alta temperatura (o “alta temp”) lavan la vajilla a 150-160°F con un enjuague final a 180°F, que es una temperatura lo suficientemente alta como para desinfectar los utensilios sin necesidad de saneamiento químico. Las máquinas de alta temperatura solo utilizan un agente de lavado y un agente de enjuague. La alta temperatura de enjuague se logra mediante un calentador de refuerzo interno o externo que “aumenta” la temperatura del suministro de agua entrante de 140°F desde el calentador de agua principal de la instalación para alcanzar la temperatura mínima de enjuague de 180°F. Debido a la generación de calor intensa, las máquinas lavaplatos de alta temperatura deben ser ventiladas directamente o instaladas bajo una campana de ventilación. Esta guía se centrará en las máquinas de alta temperatura, ya que ofrecen un mejor rendimiento de lavado y un menor uso de agua y productos químicos que los modelos de baja temperatura. La mayoría de las máquinas transportadoras solo se pueden especificar en una configuración de alta temperatura, mientras que los modelos de baja temperatura se ven a menudo en configuraciones bajo mostrador y de puerta vertical. Especificar una máquina lavaplatos de alta temperatura de alto rendimiento desde el principio o modernizar una antigua máquina lavaplatos de baja temperatura con una nueva máquina lavaplatos de alta temperatura es una de las formas más rápidas de garantizar ahorros de agua y energía en el sistema de agua caliente de una instalación de servicios de alimentación. Los mayores inconvenientes de las máquinas de alta temperatura son la mayor capacidad de amperios requerida para el calentador de refuerzo, el precio de compra inicial más alto de la máquina y la ventilación dedicada requerida. El consumo de energía en la máquina también es más alto; sin embargo, esto se puede mitigar especificando una máquina lavaplatos con recuperación de calor que reduce los costos de calentamiento de agua y puede instalarse sin campana en algunas áreas. Datos de campo sobre 20 máquinas han demostrado que las unidades de alta temperatura consumen aproximadamente un 20 por ciento menos de agua y energía en el calentador de agua que sus contrapartes de baja temperatura. El Food Service Technology Center (FSTC) validó las características de ahorro de agua y energía de las máquinas lavaplatos en pruebas de laboratorio controladas y en el campo. Históricamente, los fabricantes con diseños impulsados por la eficiencia se han centrado en reducir el uso de agua de enjuague para cumplir con los requisitos del programa ENERGY STAR®. Recientemente, los fabricantes están introduciendo tecnologías innovadoras que pueden diferenciar sus productos en un mercado saturado. El uso de agua y energía por rack para las categorías de máquinas lavaplatos convencionales, ENERGY STAR® y mejor en su clase, bajo mostrador y de puerta vertical se muestra en: Rack Conveyor, Flight-Type, Undercounter, Upright Door-Type

Tabla 3. Clasificación versus uso de agua y energía en el mundo real por estante para lavavajillas de alta temperatura de tipo discontinuo.

Tipo	Convencional	ENERGY STAR®	Mejor de su clase
Bajo el mostrador (nominal)	0.8 gal/estante	0.7 gal/estante	0.6 gal/estante
Bajo el mostrador (real)	2.5 gal/estante 4,750 Btu/estante	1.1 gal/estante 3,000 Btu/estante	0.7 gal/estante 1,370 Btu/estante
Tipo Puerta (nominal)	1.0 gal/estante	0.7 gal/estante	0.6 gal/estante
Tipo Puerta (real)	1.4 gal/estante 3,800 Btu/estante	0.95 gal/estante 2,600 Btu/estante	0.75 gal/estante 2,000 Btu/estante

*incluye rellenos de lavavajillas de control superior y de relleno.

En la Tabla 4 a continuación se presentan datos similares basados en galones por hora de enjuague nominal y real de operaciones para máquinas de platos transportadores. Estos datos se basan en el monitoreo de campo de 16 racks y nueve tipos de vuelo.

Tabla 4. Clasificación versus uso de agua y energía por hora en el mundo real para maquinas lavavajillas de alta temperatura de cinta transportadora.

Tipo	Convencional	ENERGY STAR®	Mejor de su clase
Transportadora de Cinta (nominal)	260 gal/h	130 gal/h	80 gal/h
Transportadora de Cinta (real)*	660 gal/h 960,000 Btu/h	300 gal/h 590,000 Btu/h	130 gal/h 350,000 Btu/h
Tipo Vuelo (nominal)	280 gal/h	85 gal/h	85 gal/h
Tipo Vuelo (real)*	1,100 gal/h 1,800,000 Btu/h	280 gal/h 685,000 Btu/h	140 gal/h 395,000 Btu/h

*incluye rellenos de lavavajillas de control superior y de relleno.

Existe una clara diferencia entre los lavavajillas convencionales, ENERGY STAR® y los mejores de su clase basados en sobre el uso del agua en el mundo real. Todas las categorías demostraron un gran beneficio al especificar las mejores unidades de su clase que utilizan tecnologías de recuperación de calor y otras características para reducir el uso y los costos operativos también además de permitir reducir el tamaño y simplificar el diseño del sistema de agua caliente para lograr ahorros adicionales. El argumento más importante a favor de las mejores lavavajillas de su clase, independientemente del tamaño, es que estas máquinas tienden a funcionar mucho más cercanas a las especificaciones del fabricante en el mundo real que las máquinas convencionales. Esto es porque las máquinas tipo puerta utilizan operaciones de enjuague por bombeo y las máquinas tipo cinta transportadora utilizan operaciones avanzadas. Sistemas de comunicación y monitoreo, tecnología avanzada de filtración de tanques para reducir el llenado y el llenado del consumo de agua, así como operación de enjuague por bombeo. El mejor transportador de recuperación de calor del aire de escape de su clase también minimiza la contaminación del intercambiador de calor a través de un ciclo de limpieza especializado y gestión flujo de aire limpio a través de la unidad.

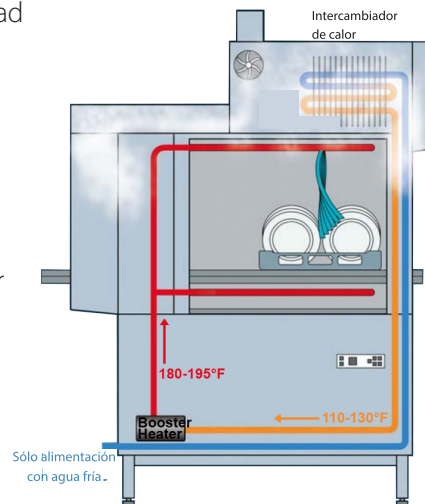
LAVAVAJILLAS CON RECUPERACIÓN DE CALOR

Al aprovechar el calor residual para precalentar el agua caliente entrante, los sistemas de recuperación de energía reducen tanto el consumo de agua como el de energía. Cargas de calefacción y ventilación asociadas con el funcionamiento del lavavajillas. Los fabricantes ofrecen recuperación de energía para modelos de todos los tipos y tamaños de máquinas de alta temperatura (la recuperación de calor no es una opción rentable en una máquina de baja temperatura debido a una menor diferencia entre las temperaturas del agua fría entrante y del agua de enjuague). Las máquinas de recuperación de energía suelen costar aproximadamente un 25 por ciento más por adelantado que una unidad ENERGY STAR® de la misma categoría de tamaño, pero pueden utilizar tan sólo la mitad de la energía total (en el calentador de agua y en la máquina) de una máquina estándar.

La tecnología de recuperación de energía más común para lavavajillas es recuperación de calor del aire de escape (figura siguiente) donde el agua fría entrante se precalienta mediante el calor capturado y el vapor producido en condiciones normales. Se recomienda que el lavavajillas especificado con sistema de recuperación de calor del aire de escape emplee un lavado automático con agua caliente del intercambiador de calor para minimizar la suciedad y mantener la función adecuada de intercambio de calor. Generalmente se encuentra en máquinas transportadoras más grandes, otras máquinas de recuperación de calor utilizan una bomba de calor como tecnología para capturar el calor y el vapor de escape operativo y conviértalo en energía utilizable para calentar el agua de lavado y enjuague. Aunque las máquinas de recuperación de energía reducen el uso de energía en el agua significativamente, la compensación es una mayor carga en el lavavajillas calentador de refuerzo. Mientras que un calentador de refuerzo para una máquina estándar puede acomodar un aumento de temperatura de 40°F, el calentador de refuerzo para una máquina de recuperación debe adaptarse a un aumento de 50 a 70 °F.

Durante el funcionamiento normal, una máquina de recuperación de energía correctamente puesta en funcionamiento utilizará únicamente agua fría, eliminando eficazmente la carga en el sistema de agua caliente del edificio. En comparación con los diseños convencionales, este significa que el sistema de agua caliente se puede reducir de 140°F a 125°F y el tamaño del calentador de agua, lo cual es beneficioso desde la perspectiva del costo inicial y del costo operativo. Para obtener más información sobre las tecnologías de recuperación de calor de los lavavajillas y las implicaciones de HVAC, consulte la guía de diseño de dimensionamiento de ventilación para salas de platos.

La Tabla 5 compara tres lavavajillas instalados en un restaurante del norte de California. La máquina base es una lavavajilla de alta temperatura ENERGY STAR® de siete años de antigüedad monitoreado para determinar el uso de agua y energía. Esta unidad se reemplazó con un lavavajillas ENERGY STAR® actual y luego se reemplazó nuevamente con un lavavajillas con calentador de aire de escape de recuperación. De las tres máquinas, el lavavajillas con recuperación de calor del aire de escape tuvo el mejor desempeño, usó la menor cantidad de agua por estante y exhibió el costo total de operación más bajo.



Máquina transportadora de platos con recuperación de calor del aire de escape
(Fuente: Winterhalter)

Tabla 5. Comparación de campo de lavavajillas tipo puerta de alta temperatura.

Maquina	Presión de Enjuague	Estantes por día	Consumo de agua (gal/estante)	Costo por estante*	Costo operacional Anual*†
De Base (alimentada por agua del calentador)	Est. 20 psi	227	1.40	\$0.28	\$22,800
Lavavajillas ENERGY STAR	12	247	0.95	\$0.23	\$18,500
Lavavajillas de recuperación de calor de aire de escape	Pumped Rinse	201	0.75	\$0.20	\$16,600

*Basado en \$14,13/HCF, \$1,80/termia, \$0,32/kWh.

†Costos operativos anuales basados en un promedio de 225 bastidores por día

INSTALACIONES SANITARIAS

El equipo de desinfección de suelos puede incluir fregaderos, escobas de agua y/o mangueras de suelo. Los fregaderos y las mangueras suelen alimentarse directamente del sistema de agua caliente, sin regulación de caudal ni de presión. Las mangueras de suelo suelen consumir mucha más agua (con caudales de hasta 10 galones por minuto) que los fregaderos porque el personal tiende a utilizar más agua que los 10 a 15 galones necesarios para llenar un cubo de fregona. Este elevado caudal tiene muchas implicaciones para los sistemas de agua caliente, durante la limpieza estos accesorios sanitarios pueden provocar demanda concentrada de agua caliente que puede agotar rápidamente un depósito de agua caliente o sobrecargar un calentador de agua sin depósito y dejar sin agua a otros procesos finales, como fregaderos de mano y equipo de vajilla. Si el agua caliente se suministra mediante un calentador de agua con o sin depósito, esta situación puede provocar tiempos de espera más largos y descensos en las temperaturas de suministro, lo que afecta a la salubridad del edificio.

Una escoba de agua, que es un dispositivo que utiliza una manguera de alta presión unida a un cabezal de escoba para higienizar los suelos, puede resolver el problema del caudal, ya que suelen funcionar con aproximadamente la mitad del caudal de una manguera de suelo o de fregadero, mientras que a veces aumentan la presión de enjuagado para limpiar el vertido. Esto reduce la carga total e instantánea de agua caliente y puede sustituir potencialmente a un fregadero de trapeador de piso. Basándose en una hora de uso al día, una escoba de agua puede reducir la demanda total de agua caliente en 50 galones al día en comparación con una manguera de suelo.

BARRAS Y ACCESORIOS AUXILIARES

Se debe de tener en cuenta los restaurantes con instalaciones auxiliares de agua caliente en la parte delantera del local, como las zonas de bar. Los bares requieren el uso de un fregadero de tres compartimentos y un lavamanos para la higiene, y pueden incluir un lavavajillas de bajo encimera y un fregadero de servicio para apoyar las funciones de camareros. Otros dispositivos de limpieza auxiliares que pueden utilizarse son los enjuagadores de vasos de pinta y los fregaderos de jarras. Estos aparatos deben dimensionarse adecuadamente antes de decidir el tipo de sistema de distribución o especificar el calentador de agua, ya que pueden representar una carga sustancial para el sistema de agua caliente. Tenga en cuenta las necesidades de lavado de cristalería y vajilla de servicio del bar; por lo general, será necesario lavar un estante de vajilla por cada 15 a 20 bebidas que se sirvan en el bar. Para superar los olores químicos, el calor y el vapor que se vierten en la zona de servicio del bar, especifique lavavajillas bajo encimera que contengan recuperación de calor del aire con escape para reducir la carga del sistema general de agua caliente y aumentar la comodidad de los clientes.

FREGADEROS DE PREPARACIÓN

Los fregaderos de preparación suelen requerir caudales más elevados y pueden instalarse sin aireadores. Los fregaderos de preparación deben instalarse relativamente cerca de las zonas de preparación y cocción de alimentos de la cocina y no suelen consumir mucha agua caliente.

FREGADEROS DE MANO

El Título 24 de California exige que todos los lavamanos estén equipados con aireadores para controlar su caudal máximo. Los aireadores reducen el volumen del flujo de agua de los grifos y aumentan la velocidad del chorro de salida, ahorrando agua y creando una mejor experiencia de lavado de manos. El caudal estándar en el Código de plomería de California (IAPMO 2022) para aireadores es de 0,5 galones por minuto. Los sistemas nuevos necesitan usar aireadores clasificados a 0.5 galones por minuto para cumplir con el código. El requisito de utilizar aireadores de bajo caudal puede prolongar el tiempo necesario para eliminar los “pozos fríos” de agua de la tubería de derivación y/o ramal antes de que se pueda suministrar agua caliente al grifo.

Las figuras de la derecha muestran los efectos del tamaño de las tuberías en la reducción del tiempo de suministro de agua caliente. Una estrategia para mejorar el suministro consiste en reducir el diámetro de las tuberías de derivación o ramales que van desde la línea principal hasta los lavamanos. Para simplificar la estimación del tiempo de espera, se supone que la parte de la tubería que va desde la válvula de cierre hasta el aireador del grifo tiene una capacidad de 0.024 galones de agua, lo que equivale al uso de 2 pies de ½ pulgada de diámetro y corresponde a 3 segundos de tiempo de espera adicional.

Una práctica común es especificar tuberías de derivación de ¾ de pulgada de diámetro para dos o más lavabos.

Con 10 pies de tubería derivada de ¾ de pulgada de diámetro y un aireador de 0.5 galones por minuto instalado, el tiempo de espera sería de 33 segundos antes de que se purguen 0.28 galones de agua y el agua caliente llegue al grifo.

Para un mejor rendimiento de suministro, las tuberías derivadas de ½ pulgada servirán eficazmente hasta cuatro lavabos que tengan un caudal total máximo de 2 galones por minuto.

Las tuberías derivadas de ¾ de pulgada deben utilizarse para dar servicio a cinco o más lavabos. Las tuberías derivadas de ¾ de pulgada proporcionarían el mejor rendimiento de suministro si se combinaran con un aireador de fregadero manual de 0.5 galones por minuto; sin embargo, los códigos actuales de plomería no permiten la especificación de tuberías o conductos de 3/8 de pulgada de diámetro para su uso con sistemas comerciales de agua caliente potable. En este caso, el departamento de edificación local tendría que conceder una autorización con variación para su uso con la aprobación de un ingeniero profesional.

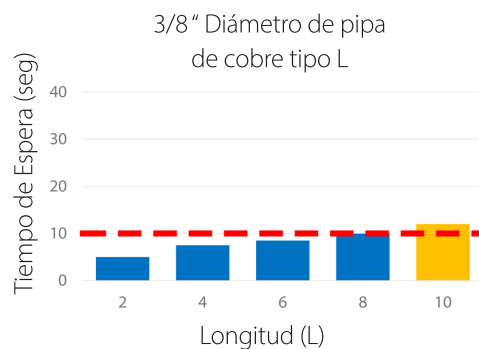
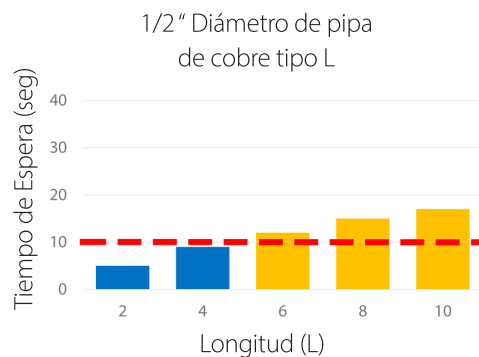
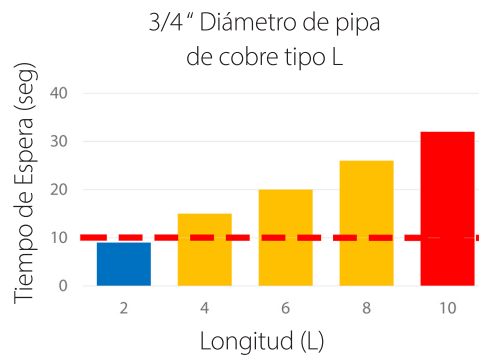
La otra forma de reducir los retrasos en el suministro de agua caliente a los lavamanos es utilizar un calentador POU (punto de uso) instalado con una tubería de un pie o menos desde el grifo (es decir, debajo del fregadero). Este método es especialmente útil cuando los lavamanos están situados lejos del calentador de agua principal.

Tiempo de espera del agua caliente

Inaceptable 31+ seg

Marginal 11-30 seg

Aceptable 1-10 seg



2. Sistemas de distribución

El sistema de distribución de agua caliente suele pasarse por alto como componente del sistema de agua caliente que afecta tanto al consumo de agua como al de energía. En muchos casos, la forma del sistema de distribución viene dictada por el plano del edificio. El sistema de agua caliente suele ser uno de los últimos sistemas energéticos que se especifican en el proceso de diseño del edificio, y ya existen muchas limitaciones. Por ejemplo, la ubicación del lavavajillas, la de los principales usos auxiliares del agua (como un bar) y el de los de los aseos o baños. Esta es una de las principales razones por las que los diseños de sistemas de agua caliente con recirculación continua suelen estar sobredimensionados.

Un método para optimizar el diseño de un sistema de recirculación de agua caliente consiste en situar todas las instalaciones lo más cerca posible unas de otras y del cuarto de servicio (calentador de agua).

Este enfoque requiere que la especificación del agua caliente se realice en una fase más temprana del proceso de diseño del edificio de lo que es habitual en la actualidad. Las siguientes recomendaciones sobre planos ayudarán a diseñar un sistema de agua caliente más pequeño y eficiente:

- Diseñe los baños de hombres y mujeres reflejando el uno a otro.
- Sitúe el lavavajillas en una pared opuesta a la de la entrada y coloque los accesorios auxiliares del bar o los aseos al otro lado de la pared del lavavajillas.
- Sitúe el lavadero en el centro, cerca de los principales puntos de uso.

A la hora de pensar en los sistemas de distribución, hay dos consideraciones principales: el diseño de la distribución y el aislamiento de las tuberías. Esta sección presenta en primer lugar información sobre la el sistema de distribución del diseños , y después identifica las consideraciones para el aislamiento de las tuberías.

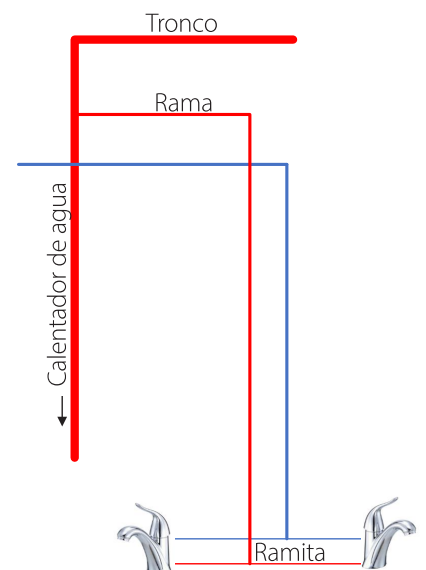
SISTEMAS DE DISTRIBUCIÓN DE DISEÑOS

Existen cuatro tipos principales de sistemas de distribución que pueden utilizarse en un servicio de restauración comercial, cada uno de los cuales se explica en esta sección:

1. **Distribución simple:** tuberías de suministro sin bucle de retorno.
2. **Distribución continua:** tuberías de suministro con bucle de retorno y bomba.
3. **Circulación a demanda:** bomba, controlador y sensores con bucle de retorno.
4. **Generación distribuida:** bucle de distribución primaria y calefacción en el punto de uso.

Sistemas de distribución sencillos

Un sistema de distribución simple utiliza una configuración de tronco, ramal y ramita para llevar el agua desde el calentador hasta los puntos de uso. La ventaja de este sistema es que es sencillo, fiable y compatible con todos los calentadores de agua. El inconveniente es el tiempo de espera potencialmente largo para obtener agua caliente, especialmente en el primer uso tras largos periodos en los que el agua de las tuberías se ha enfriado. Aumentar la longitud o el diámetro de la tubería de distribución incrementa los tiempos de espera en las instalaciones más alejadas, porque hay que purgar un mayor volumen de agua fría antes de que llegue el agua caliente. Los sistemas de distribución sencillos se utilizan normalmente en pequeños restaurantes de servicio rápido y tiendas especializadas donde las líneas de distribución miden menos de 60 pies. Los dos configuraciones más populares incluyen (1) un sistema de distribución de una sola línea que alimenta todos los fregaderos y equipos, y (2) un sistema de distribución de doble línea que suministra agua caliente (normalmente a 140 °F) a los fregaderos sanitarios y al lavavajillas, mientras que una segunda línea templada suministra agua templada a los lavamanos para evitar quemaduras.

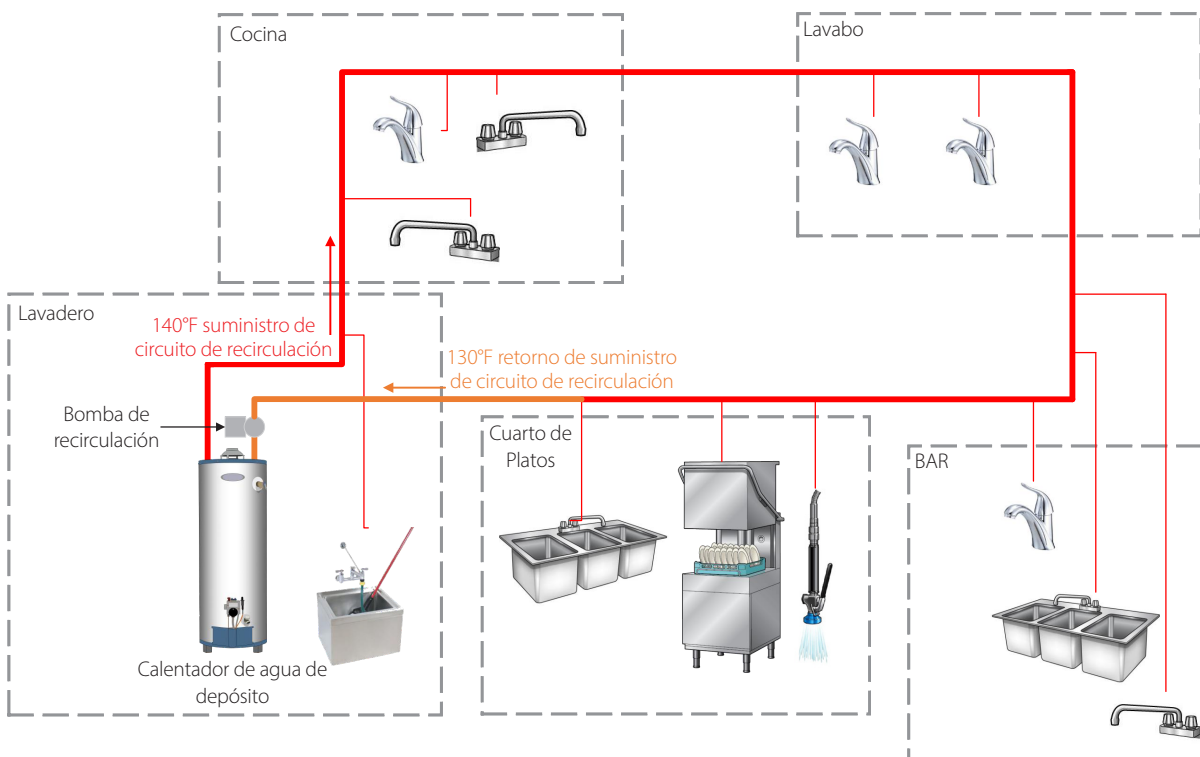


Distribución simple con configuración Tronco, Rama y Ramita.

Sistemas de Recirculación Continua

La circulación continua de agua caliente a través de la línea de distribución principal y de vuelta al calentador garantiza que haya agua caliente cerca del punto de ajuste de temperatura del sistema en la línea troncal en todo momento, lo que en esencia acerca el calentador de agua a los puntos de uso. Sin embargo, dependiendo del tamaño de las tuberías de derivación y ramales (es decir, el volumen de agua en las tuberías entre la línea troncal y el punto de uso) y de los caudales de las instalaciones, esta configuración no siempre garantiza el suministro inmediato de agua caliente al grifo. Esto ocurre especialmente cuando se han instalado aireadores de bajo caudal. Independientemente de lo bien que funcione la estrategia, el agua circula a 140°F (o más), perdiendo calor continuamente hacia el entorno y siendo recalentada por el calentador de agua. Cuanto más caliente esté el agua en las tuberías y peor sea el aislamiento, mayor será la pérdida de calor y la energía consumida por el calentador de agua.

Para los restaurantes de California, las pautas de salud ambiental establecen: "Cuando los accesorios estén situados a más de sesenta pies del calentador de agua, debe instalarse una bomba de recirculación para garantizar que el agua llegue al accesorio a una temperatura de al menos 120 °F". Aunque es posible diseñar sin recirculación, se requiere la cooperación del verificador de planes del condado para permitir una desviación de esta norma (basada en un diseño de ingeniería de una estrategia de distribución alternativa e igualmente eficaz). El Título 24 de California establece que los bucles de recirculación deben disponer de válvulas de purga de aire o instalación de bombas verticales, que debe haber prevención del reflujo, equipo para el cebado de bombas, válvulas de aislamiento y prevención del reflujo del suministro de agua fría, lo que esencialmente significa que debe haber válvulas antirretorno instaladas en el suministro de agua fría y en el retorno de recirculación. El Título 24 también especifica que los tanques de almacenamiento de los calentadores de agua necesitan un aislamiento externo con un valor R de al menos R-12 o un aislamiento interno y externo con un valor R combinado de al menos R-16. El Título 24 exige un aislamiento con un valor $R \geq 3$ en todas las tuberías de agua caliente de los edificios comerciales.

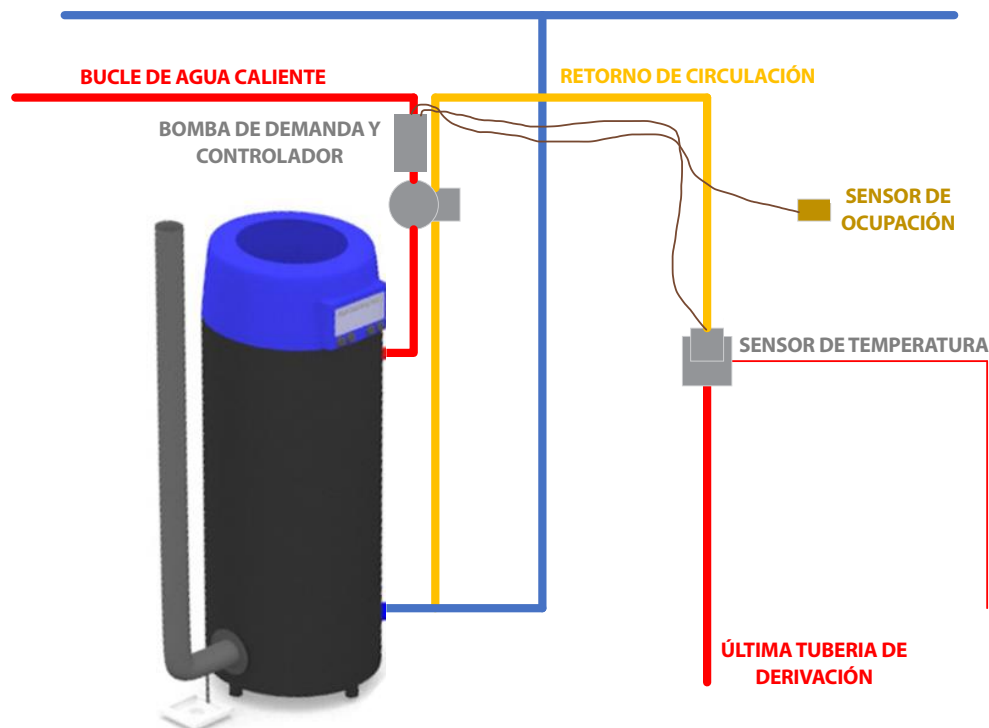


Sistema convencional de recirculación continua de agua caliente

Sistemas de circulación de demanda

Un sistema de circulación a demanda incorpora un controlador y sensores que hacen funcionar la bomba sólo cuando hay necesidad de agua caliente. Tras un periodo de inactividad, la bomba purga el agua a temperatura ambiente o ligeramente elevada (70°F o 90°F) de la línea de suministro de agua caliente y la transfiere de nuevo al calentador de agua a través de la línea de retorno de circulación de agua caliente. El sistema funciona colocando un sensor de ocupación en una zona común de la cocina. El sensor hace que el controlador de la bomba compruebe el sensor de temperatura colocado al principio de la línea de retorno, después de la última tubería de derivación. Si detecta que el agua del conducto se ha enfriado y que hay gente en la instalación, activa la bomba hasta que se observa un aumento de la temperatura. Cuando el sensor de temperatura mide un aumento de la temperatura del agua, este supone que el agua caliente (120 °F o 140 °F) está a punto de llegar. El controlador entonces apaga la bomba, garantizando que el agua caliente está cerca de cada aparato en la línea de suministro de agua caliente, pero evitando que el agua caliente se bombee a la línea de retorno. Cada vez que se activa el sensor de ocupación, el controlador comprueba primero la temperatura del agua. Si detecta que el agua de la tubería aún está caliente, no activa la bomba. La figura siguiente muestra un ejemplo de esquema de instalación. En el diagrama, el sensor de ocupación y el sensor de temperatura están instalados en la última tubería de derivación.

Los sistemas de recirculación a demanda garantizan un suministro rápido de agua caliente a los aparatos (similar al de un sistema de recirculación continua), pero sólo devuelven agua tibia al calentador de agua. Además, la bomba sólo funciona cuando es necesario, con lo que se ahorra el 95% del gas utilizado para mantener un sistema de recirculación continua en funcionamiento las 24 horas del día. El tiempo de funcionamiento de la bomba se reduce de 24 horas a 30 minutos al día, ahorrando electricidad. Además, los calentadores de acumulación de gas pueden funcionar con mayor eficiencia ya que se mantiene la estratificación de la temperatura del tanque. Los sistemas de demanda pueden diseñarse fácilmente en instalaciones nuevas y reequiparse en sistemas de agua caliente existentes que dispongan de un sistema de recirculación continua.

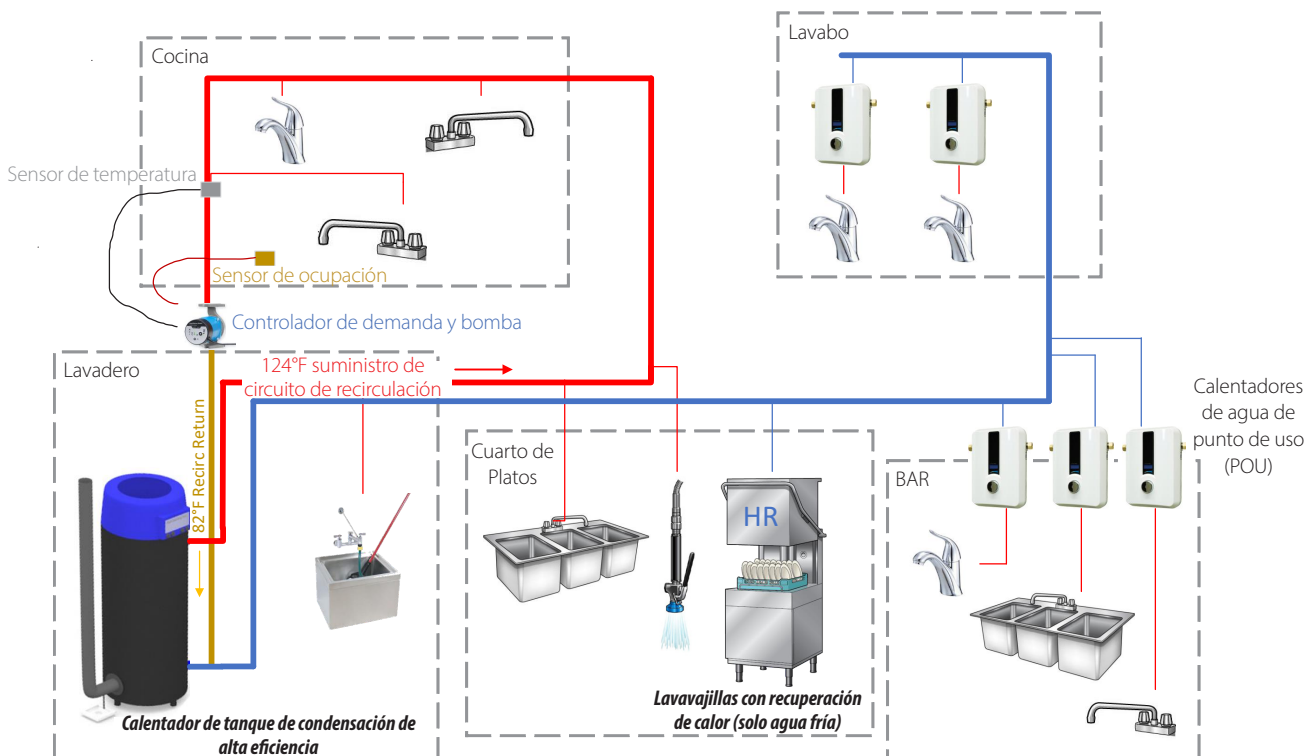


Sistema de recirculación de agua caliente a demanda con controlador, bomba, sensor de ocupación y sensor de temperatura.

Sistemas de Generación Distribuida

La generación distribuida puede comprender un sistema 100% distribuido (es decir, múltiples sistemas de distribución simple) que utilicen calentadores de agua de punto de uso como los que podrían encontrarse en una pequeña cafetería o tienda de conveniencia, o un sistema híbrido de agua caliente que combine un calentador de agua central (de tipo almacenamiento o sin tanque) con calentadores "POU" (punto de uso). En la configuración híbrida ilustrada en la siguiente figura, un sencillo sistema de distribución suministra agua caliente a los equipos sanitarios y a los fregaderos de cocina agrupados cerca del calentador de agua primario, y los calentadores POU se colocan estratégicamente cerca de los accesorios remotos en lavabos o bares. Los calentadores POU de tamaño adecuado para el caudal de uso final y el aumento de temperatura pueden conectarse a la línea de agua fría, eliminando así la necesidad de una línea de agua caliente separada para estas zonas. El uso de calentadores POU eléctricos distribuidos para los lavamanos es una opción rentable, especialmente cuando se especifican los "mejores de su clase" como con un aireador de 0.38 galones por minuto para un grifo de lavabo público en combinación con calentadores de punto de uso, los cuales tienen una tasa de activación de 0.2 galones por minuto, la más baja del sector. Muchos fabricantes ofrecen modelos que funcionan con 120 V y un consumo de amperios inferior a 15 A. Este enfoque minimiza el consumo de agua y energía, al tiempo que mejora la experiencia del cliente al reducir los tiempos de espera para obtener agua caliente.

Especifique un grifo de doble mando para obtener los mejores resultados con un calentador POU. De este modo se garantiza que el usuario no elija pasivamente la posición neutra de la maneta de un solo grifo, 50% de agua caliente/50% de agua fría, lo que podría producir una extracción de agua caliente (~0,19 gpm) el cual es inferior a la velocidad de activación del calentador POU. Cuando se utiliza un grifo monomando, el aireador debe tener un caudal de al menos 0.5 gpm para garantizar una extracción suficiente cuando el mando se utiliza en la posición neutra.



El mejor sistema híbrido de generación distribuida de agua caliente de su clase.

Aislamiento de tuberías

Los requisitos de aislamiento de tuberías para sistemas de ACS comerciales se encuentran en las normas de eficiencia energética de edificios del Título 24, Parte 6, Sección 120.3. Las tuberías de los sistemas de agua caliente sanitaria deberán aislarse para cumplir los requisitos de espesor de aislamiento de tuberías de la tabla 120.3-A, que se muestran en la tabla 6.

Tabla 6. Requisitos de espesor de aislamiento de tuberías.

TEMPERATURA PARA EL FUNCIONAMIENTO DEL FLUIDO (°F)	CONDUCTIVIDAD DEL AISLAMIENTO			DIÁMETRO NOMINAL DE LA TUBERÍA (en pulgadas)				
	Conductividad (in.BTU- in/h-ft2-°F)	Temperatura media nominal (°F)		< 1	1 to <1.5	1.5 to < 4	4 to < 8	8 y mayores
Sistemas de Calefacción y agua caliente			Aislamiento mínimo de tuberías requerido (espesor en pulgadas o valor R)					
141—200	0.25—0.29	125	Pulgadas	1.5	1.5	2.0	2.0	2.0
			Valor R	R11.5	R11	R14	R11	R10
105—140	0.22—0.28	100	Pulgadas	1.0	1.5	1.5	1.5	1.5
			Valor R	R7.7	R12.5	R11	R9	R8

El código energético de la construcción no aclara si los requisitos se extienden al aislamiento de las tuberías conectadas a los calentadores de agua o depósitos de almacenamiento, y a los accesorios en serie con las tuberías de agua caliente. Sin embargo, la intención es que el aislamiento de las tuberías sea continuo en todo el sistema, desde el calentador de agua, el depósito de almacenamiento, el sistema de distribución y hasta cada pieza del equipo. Las ventajas de aislar las tuberías son el ahorro de energía y de costes, la necesidad de un mantenimiento mínimo o nulo y la mejora del rendimiento del suministro de agua caliente. Las viñetas siguientes proporcionan una lista de las especificaciones de las mejores prácticas de aislamiento que el diseñador del sistema de plomería debe incluir en los planos de plomería para garantizar que el calor de las tuberías se minimicen. Las tuberías de agua caliente incluyen el tubo o la tubería y los accesorios (codos, tes, acoplamientos, etc.). Los accesorios de plomería incluyen todos los elementos que están en serie con las tuberías de agua caliente, como: bridas, bombas, válvulas (de aislamiento, mezclado, equilibrado, retención, etc.), filtros, grifos para mangueras, contadores, sensores, intercambiadores de calor y separadores de aire.

Especificaciones de buenas prácticas de aislamiento:

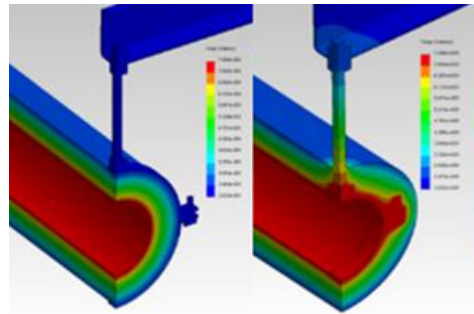
- Aísle las tuberías de entrada de agua fría desde el tanque de expansión hasta el tanque de almacenamiento o calentador de almacenamiento.
- Aísle continuamente las tuberías y los accesorios.
- Para evitar los puentes térmicos, fije los soportes de tuberías, los colgadores y las abrazaderas de tuberías en el exterior del aislamiento rígido de las tuberías para evitar que el calor se transfiera al conjunto de soportes de tuberías por conducción.
- Selle todas las costuras del aislamiento de tuberías.
- Instale aislamiento para los codos de tubería que estén cortados a inglete, preformados o fabricados in situ con cubiertas de PVC.
- Instale aislamiento en las tes con muescas, preformadas o fabricadas in situ con cubiertas de PVC.
- Instale válvulas de aislamiento de vástago extendido.
- Cumpla los siguientes requisitos de aislamiento en todos los accesorios de plomería de las tuberías desde la fuente de calor hasta los depósitos de almacenamiento, las tuberías conectadas a los tanques y las tuberías de todo el sistema de distribución:
 - » Cuando el diámetro exterior del accesorio sea inferior al diámetro exterior del tubo aislado a la que está unido, aísle el accesorio a ras del aislamiento que rodea la tubería.
 - » Cuando el diámetro exterior del accesorio sea mayor que el diámetro exterior de la tubería aislada a la que está unido aísle el accesorio con un espesor mínimo de 1".
 - » Permita que el aislamiento sea desmontable y reinstalable para garantizar que se puedan llevar a cabo los servicios de mantenimiento o sustitución.
 - » Asegúrese de que el aislamiento no impide la funcionalidad de la válvula (por ejemplo, abrir y cerrar una válvula de aislamiento).



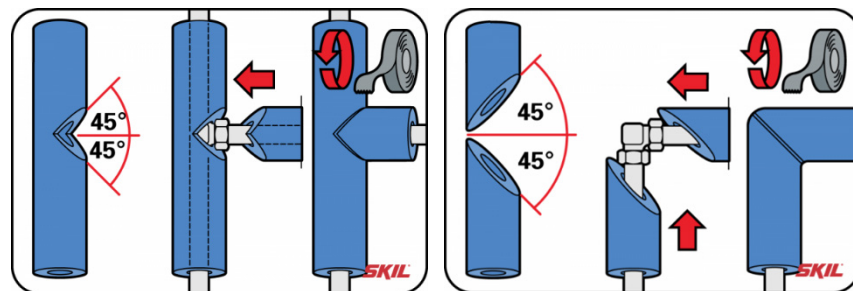
Aislamiento de tuberías de agua fría de retorno al tanque de expansión. (TRC 2023)



Aislamiento continuo de tuberías con soportes externos. (Ecotope 2021)



(Izquierda) Sin puente térmico con colgador y abrazadera en el exterior del aislamiento de la tubería. (Derecha) Puente térmico con colgador y abrazadera en el interior del aislamiento. (Walraven 2023)



Ejemplos de T con muesca y codo en inglete. (SKIL 2023)

3. Controles de recirculación de agua

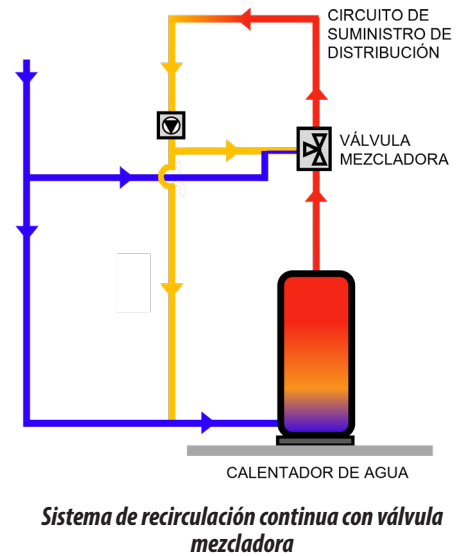
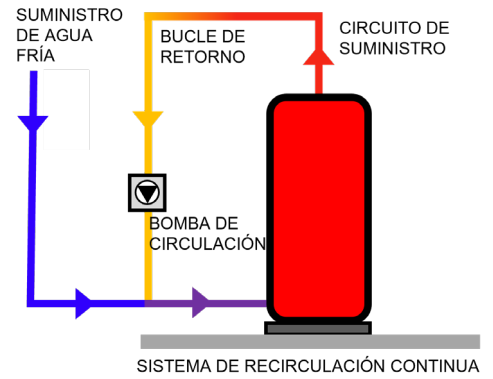
Una vez especificado el tipo de sistema de distribución, el siguiente paso es considerar el rendimiento del suministro de agua caliente a las instalaciones en sistemas de DHW (agua caliente sanitaria) más grandes. Hay tres formas de controlar el circuito de recirculación para ahorrar energía y evitar quemaduras y patógenos, y para minimizar la erosión a largo plazo en las tuberías. El diseñador tiene la opción de controlar la temperatura de suministro y retorno en el bucle de recirculación, el caudal de agua y el uso de agua continua bombeo o intermitente. Optimizar el control del sistema de recirculación controlando con precisión la temperatura de suministro al inicio del sistema de recirculación y controlando el caudal y el funcionamiento de la bomba al final del bucle de distribución son las opciones más viables.

Las válvulas mezcladoras maestras y las bombas de recirculación con motor de conmutación eléctrica (ECM) y/o controladores de demanda son tecnologías útiles para maximizar el rendimiento del sistema de agua caliente. Las válvulas mezcladoras maestras lo consiguen aumentando la capacidad de almacenamiento, y estas tecnologías ahorran pérdidas de calor en las tuberías de distribución y aumentan la estratificación del agua caliente en el depósito de almacenamiento. Cada una de ellas se describe en esta sección.

VÁLVULAS MEZCLADORAS MAESTRAS

Las grandes cocinas requieren sistemas de recirculación continua para garantizar que el agua caliente esté disponible cerca de los puntos de uso a las temperaturas especificadas, normalmente 120 °F y 140 °F. Las válvulas mezcladoras maestras (MMV) mecánicas y digitales son tipos de válvulas mezcladoras termostáticas que se definen por su capacidad para detectar la temperatura de salida del calentador de agua o del depósito de almacenamiento y mezclar activamente la proporción adecuada de agua caliente y fría entrante para mantener la temperatura de salida deseada. La válvula mezcladora termostática debe instalarse en el colector de salida de agua caliente del calentador central o del tanque de almacenamiento que conduce a las tuberías de distribución de agua caliente. Los MMV no se instalan tradicionalmente en restaurantes, pero se instalan para mitigar patógenos y escaldaduras en hostelería, sanidad, multifamiliares y otros segmentos de la construcción.

La válvula garantiza que la mayor parte del agua caliente regrese al lado frío del MMV y eluda el acumulador, lo que favorece la estratificación de la temperatura del agua en los sistemas de acumuladores indirectos o calentadores de agua integrados alimentados por gas o basados en bombas de calor, lo que se traduce en un funcionamiento más eficiente. El MMV proporciona ahorros en la pérdida de calor de la tubería del bucle de distribución al controlar mejor la temperatura de salida



del calentador de agua. Las temperaturas de salida suelen tener una banda muerta de ± 5 a 10°F para la activación y desactivación del calentador, lo que puede variar la temperatura de salida al sistema de distribución. Los MMV pueden aumentar de forma segura la capacidad de energía almacenada elevando la temperatura del tanque de almacenamiento sin elevar la temperatura del sistema de distribución. Las pruebas de laboratorio realizadas para imitar el funcionamiento de un sistema DHW en un edificio multifamiliar en el Laboratorio de Sistemas de Agua Caliente de los Servicios de Tecnología Aplicada de PG&E mostraron una reducción del 10 por ciento en el consumo de energía cuando se instaló un MMV en una línea de suministro de salida de agua caliente de un calentador de agua con bomba de calor (HPWH) en comparación cuando la mezcla se producía manualmente en los accesorios, como fregaderos u otros equipos. En el caso de los calentadores de agua de gas que también se basan en la estratificación del depósito para mejorar la eficiencia térmica del calentador, existe un ahorro significativo, especialmente en los modelos de condensación, pero este ahorro no se ha investigado en el laboratorio en el momento de redactar esta guía.

El rendimiento de los MMV puede variar incluso con las normas de rendimiento establecidas. Las MMV deben instalarse y ponerse en servicio de acuerdo con las instrucciones del fabricante. Aunque los MMV mecánicos existen desde 1911, a partir de 2005 se introdujeron productos más innovadores en la categoría de MMV digitales (Contractor 2010) que se adaptan mejor a los sistemas de recirculación de agua caliente por bombeo y ofrecen características modernas como control remoto y capacidades de supervisión.

Los MMV digitales requieren menos mantenimiento y ofrecen mayor precisión, rendimiento y versatilidad. Además, son más sensibles a las fluctuaciones de temperatura y a los cambios de presión en el sistema de agua caliente. Las MMV digitales mantienen con mayor precisión la temperatura de consigna de ± 1 a 3°F , y están diseñadas para funcionar con sistemas modernos de DHW con recirculación y amplia variación en las extracciones de agua. Los MMV digitales también ofrecen un ahorro energético para las bombas de los sistemas debido a la reducción de las caídas de presión, la disminución de la fluctuación de la temperatura entre los periodos de demanda baja y alta, y una mayor capacidad para mantener las temperaturas del bucle durante los periodos de demanda mínima (Ali Rahmatmand 2020).

En comparación con las MMV mecánicas, minimizan el derroche de energía al limitar la intrusión de agua fría en el circuito de distribución durante las extracciones (Ali Rahmatmand 2019). Además, las MMV digitales pueden dirigir hasta el 100 % del flujo de retorno de vuelta al sistema de distribución cerrando completamente el puerto de entrada caliente para evitar el aumento de la temperatura, reduciendo así el riesgo de quemaduras y la pérdida de calor de la tubería. La mayoría de las MMV digitales reducen el mantenimiento rutinario mediante funciones de ejercicio diario de la válvula para minimizar la acumulación de incrustaciones. También garantizan un funcionamiento sin problemas en comparación con las MMV mecánicas que se ven afectadas por el agua con depósitos duros, los cuales afectan la precisión y funcionamiento de la mezcla. Con el avance de los sistemas HPWH centrales, el uso de MMV digitales de respuesta más rápida ofrece una mayor capacidad de cambio de carga y mejora la fiabilidad de las bombas de calor de un solo paso en determinadas configuraciones de diseño de retorno de recirculación a depósito primario.

BOMBAS DE RECIRCULACIÓN

Los circuladores de agua caliente sanitaria son simplemente bombas de agua que se utilizan en muchas aplicaciones de servicios alimentarios, como restaurantes, cafeterías y otros edificios en los que el calentador de agua está a más de 60 pies del último equipo o fregadero que utiliza agua caliente. Las bombas en línea convencionales, accionadas por motores de inducción estándar que funcionan a velocidad constante, se encuentran en el 90% de las instalaciones de campo y suelen estar sobredimensionadas. En la tabla 7 se comparan los costos de funcionamiento de las bombas estándar con los de las bombas avanzadas con motor de conmutación eléctrica (ECM).



Bomba ECM con modo de control de temperatura constante. (Grundfos 2023)

Tabla 7. Comparación de costos de funcionamiento de bombas de recirculación.

	Potencia media (W)	Altura máxima (pies)	Consumo anual de energía (kWh)	Costo de la bomba	Costo de instalación	Costo de operaciones del primer año	Costo anual de mantenimiento	Costo del 1º año	Costo del 15º año
Bomba de 3 velocidades de 1/6 CV (baja velocidad)	150	24	1314	\$700	\$450	\$420	\$1001	\$1,700	\$10,600
Bomba ECM de 1/8 CV en modo temp constante	12	20	88	\$1,770	\$750	\$30	\$0 ¹	\$2,600	\$3,100
Bomba de 1/6 CV con control de demanda	150	24	99	\$1,100	\$750	\$30	\$100	\$2,000	\$3,900

¹ Costos de mantenimiento para bombas estándar y ECM referenciados del informe NREL (GSA 2018).

Una bomba ECM ofrece motores más eficientes y un control de velocidad inteligente que ajusta su potencia a los cambios de la demanda. El cambio de una bomba convencional a una bomba ECM que funcione a velocidad fija puede proporcionar un ahorro aproximado del 20%. La instalación de una bomba ECM de acero inoxidable con modo de control de temperatura constante utiliza un sensor de temperatura interno en la bomba para mantener automáticamente una temperatura de retorno constante, lo que resulta ideal para aplicaciones de retorno de recirculación de ACS. Este punto de consigna se ajusta normalmente a 10°F por debajo de la temperatura de suministro de distribución. Con bombas ECM avanzadas en modo de temperatura constante, el ahorro es mucho mayor, superior al 90% (Dean 2018) (GSA 2018). Las bombas de recirculación suelen funcionar las 24 horas del día para garantizar que haya agua caliente disponible durante la preparación, las horas de funcionamiento y la limpieza fuera de horario. Las bombas ECM avanzadas para aplicaciones en restaurantes tienen periodos de amortización inferiores a tres años y pueden ofrecer un ahorro de \$7,500 dólares en sus 15 años de vida útil efectiva (Putnam 2017) sin tener en cuenta el ahorro adicional derivado de la mejora de la estratificación de la temperatura del agua en el depósito.

El funcionamiento de una bomba convencional con un controlador de demanda configurado para activar la bomba en caso de caudal y desactivarla cuando el sensor de temperatura de retorno de recirculación detecta agua caliente también es una opción rentable en términos de costos de la bomba. Reduce significativamente el tiempo de funcionamiento de la bomba a unas 1.8 horas al día.

4. Calentadores de agua

Una vez diseñado el sistema de distribución, el último paso consiste en diseñar el equipo de calentamiento de agua y el almacenamiento de agua caliente. En esta sección se explica cómo seleccionar y dimensionar los calentadores de agua para distintas aplicaciones, de acuerdo con las directrices de dimensionamiento del Departamento de Salud Pública de California. Comienza caracterizando las principales tecnologías de calentadores de agua. A continuación, compara estas tecnologías entre sí, revisa las pautas de dimensionamiento para cada tecnología y explora los requisitos de costo y espacio de los tipos de calentadores. Por último, considera el almacenamiento de agua caliente para ayudar a gestionar los picos de demanda.

TECNOLOGÍAS DE CALENTADORES DE AGUA PRIMARIOS

El tipo de calentador de agua más común en los restaurantes son los calentadores de gas, seguidos de los calentadores sin tanque de gas. Estas dos tecnologías comprenden el 90% de los calentadores de agua instalados en California (Delagah y Fisher 2009) y se analizarán en profundidad en lo que respecta a la tecnología y las pautas de dimensionamiento. A continuación, los calentadores de agua de tipo tanque de resistencia eléctrica se encuentran comúnmente en instalaciones más pequeñas, como cafeterías, tiendas de sándwiches o restaurantes de servicio rápido en todos los centros comerciales eléctricos. Algunos restaurantes pequeños, entre los que se incluye una importante cadena de bocadillerías, eligen utilizar un modelo de generación distribuida que utilice un pequeño calentador de almacenamiento para los fregaderos de compartimentos y fregaderos de trapeador y calentadores eléctricos sin tanque en el POU o mini calentadores en los fregaderos de manos y lavabos de la cocina. La última tecnología que se encuentra en su fase inicial en el segmento de la restauración comercial son los calentadores de agua de alta presión eléctricos o de gas. En la actualidad, no existe ninguna pauta establecida por el departamento de sanidad para el dimensionamiento de los calentadores de agua de alta presión, por lo que su especificación requiere la aprobación del departamento de sanidad del condado local en función de cada caso. Los HPWH eléctricos están más disponibles en el mercado y apoyan los objetivos de descarbonización de las comunidades locales y de California. A continuación, se describe cada uno de estos tipos de calentadores de agua.

CALENTADORES DE AGUA CONVENCIONALES DE GAS DE TIPO TANQUE

Los diseños de estos calentadores de agua son relativamente sencillos, con un quemador montado debajo de un depósito de agua cuyo conducto de humos atraviesa el centro del tanque. Los calentadores con depósito de gas tienen una eficiencia térmica del 80% o inferior y una vida útil de unos cinco años en cocinas comerciales.

El costo depende directamente del tamaño del tanque y del quemador, pero la mayoría de los calentadores de agua comerciales convencionales pueden adquirirse por entre \$2,000 y \$9,000 dólares. Los precios han subido para el mercado de California, ya que los quemadores tienen que diseñarse especialmente para cumplir las pautas de los departamentos regionales de calidad de aire para emisiones ultra bajas de NOx (monóxido de nitrógeno y dióxido de nitrógeno) (HD Supply 2023). Algunos calentadores de agua convencionales vienen equipados con compuertas activas diseñadas para cerrar el conducto de humos cuando el quemador no está en marcha. De este modo, el calor queda atrapado en la chimenea y, con el tiempo, se reabsorbe en el



Calentador de Agua Tipo Tanque de Gas Estándar

agua del depósito en lugar de evacuarse. Las compuertas de humos automáticas pueden aumentar la eficiencia de estos calentadores de agua hasta un 5 por ciento, dependiendo de la frecuencia con la que se encienda y apague el quemador del calentador de agua.

Un calentador de agua de tanque puede quedarse sin agua caliente durante un uso intensivo si no está dimensionado para el volumen de agua o la velocidad de entrada del quemador, lo que constituye un problema sanitario en los servicios de restauración. Además, vaciar un depósito entero de agua caliente en una caldera en un corto tiempo, el cual es una posibilidad durante los lavados intensos, puede provocar un choque térmico de los componentes internos debido a la entrada de agua fría. Esto puede contribuir a un fallo prematuro del tanque. Los precios de los calentadores de agua de tanque de gas se basan en el volumen de ventas, por lo que un calentador de agua de almacenamiento integrado de 100 galones con quemador de 200,000 BTU por hora, que es la unidad que se compra con más frecuencia, tendrá el costo por BTU por hora más bajo, y probablemente costará lo mismo que un calentador de 150,000 BTU por hora. Por lo general, los calentadores de agua de gas de tanque tienen unos índices de entrada elevados en comparación con los volúmenes de almacenamiento y calientan el agua rápidamente en comparación con los calentadores de eléctricos. Los costos de ventilación de los calefactores de eficiencia estándar pueden ser más elevados porque utilizan tuberías metálicas galvanizadas para soportar las temperaturas de escape más elevadas.



Calentador de agua híbrido tipo tanque de condensación

(Fuente: A.O. Smith)

CALENTADORES DE AGUA DE CONDENSACIÓN

Los calentadores de agua de condensación de alta eficiencia alcanzan su eficiencia nominal condensando el vapor de agua contenido en los gases de escape, lo que produce condensado líquido como subproducto. Para condensar, la temperatura del agua del depósito debe estratificarse de modo que el agua más fría del fondo del depósito entre en contacto con los gases de escape más calientes que se desplazan por el intercambiador de calor y ascienden por el conducto de humos. Debe conectarse una tubería desde la base de la salida del humo para conducir el condensado a un desagüe próximo al calentador. Alternativamente, se puede utilizar una bomba de condensados para descargar el líquido a un desagüe remoto. Los calentadores de agua de condensación a gas suelen tener una eficiencia térmica de entre el 90 y el 95 por ciento. Una advertencia importante es que la eficiencia de funcionamiento depende de la temperatura del retorno de recirculación, del caudal de retorno de recirculación al depósito y del volumen de uso de agua caliente.

Para que un calentador de agua de condensación alcance una mayor eficiencia de funcionamiento, la tubería de retorno de recirculación deberá controlarse en cuanto a temperatura y/o caudal de retorno al calentador de agua. Dos métodos para mantener el funcionamiento de condensación incluyen el control de recirculación a demanda para reducir la recirculación de retorno y el uso de válvulas mezcladoras maestras para reducir el caudal de retorno nominalmente en un 75% al calentador de agua. En los sistemas de recirculación continua con elevados caudales de recirculación, el operador ha pagado efectivamente por un calentador de agua más eficiente que, en la práctica, funciona con un rendimiento estándar porque la condensación no puede producirse en el conducto de humos debido a la elevada temperatura de retorno. Los costos iniciales típicos de los calentadores de agua de condensación varían según el fabricante, pero los especificadores pueden esperar pagar aproximadamente un 20% más que el costo inicial de un calentador de agua de eficiencia estándar.

Los calentadores de acumulación de condensación de alta eficiencia instalados en nuevas instalaciones

o como unidades de sustitución en restaurantes existentes reflejan una amortización de un año o menos cuando se les permite utilizar plenamente su función de condensación. En instalaciones nuevas, aunque los calentadores de agua de condensación son más caros de adquirir que los calentadores de eficiencia estándar, pueden ser menos caros de instalar, presentando una amortización inmediata. Incluso para un cambio voluntario en un restaurante de servicio completo, el periodo de amortización oscila entre cuatro y seis años. Hay buenas razones para cambiar un calentador de agua ineficiente lo antes posible, ya que cambiar el calentador de agua en caso de emergencia puede aumentar significativamente el coste de sustitución. Los restaurantes de servicio rápido tienen una amortización más larga porque suelen utilizar mucha menos agua caliente que los restaurantes de servicio completo. Si se tiene en cuenta la menor responsabilidad de un cambio voluntario o planificado, un periodo de amortización más largo puede considerarse más favorable. No obstante, se recomienda especificar calentadores de agua de condensación en lugar de sus homólogos convencionales, cuando proceda.

Los costos de ventilación (materiales e instalación) de los calentadores de agua de condensación en instalaciones nuevas suelen ser menos elevados debido a las opciones de ventilación horizontal que pueden ser más cortas y debido a la menor temperatura de escape (por ejemplo, 120 °F) que permite el uso de tuberías de PVC menos costosas en determinadas aplicaciones.

CALENTADORES DE AGUA SIN TANQUE DE GAS

Un calentador sin tanque es una opción atractiva por su bajo coste de adquisición y su capacidad para colgarse de la pared, lo que ahorra espacio. Se pueden instalar varios calentadores en paralelo para satisfacer los requisitos de caudal y ofrecer redundancia, de modo que el restaurante pudiera seguir funcionando en el caso de que uno de los calentadores dejara de funcionar. Se ofrece en modelos de eficiencia estándar y de condensación de alta eficiencia.

Los calentadores de agua sin tanque se han vuelto más populares para los servicios de comida más pequeños debido a sus ventajas de ahorro de espacio, pero aparte de las instalaciones muy pequeñas, tales como pequeños QSR, tiendas de sándwiches y cafés, son abrumadoramente propensos a causar problemas de suministro de agua caliente en la mayoría de los escenarios y por lo general no se debe utilizar en los restaurantes más grandes a menos que la instalación de un tanque de almacenamiento no es posible.

Los calentadores sin tanque tienen limitaciones cuando se utilizan en cocinas comerciales más grandes. El principal reto asociado a los calentadores sin tanque es el dimensionamiento adecuado para dar cabida a un suministro suficiente de agua caliente a todos los accesorios durante un escenario de máxima demanda, como la limpieza al final del turno. Si una sala de vajilla comercial se alimentara únicamente con calentadores de agua sin tanque, los calentadores tendrían que suministrar agua caliente para un ciclo de llenado de una máquina de lavavajilla al mismo tiempo que los fregaderos de los compartimentos y los fregaderos de trapeador funcionan a sus caudales máximos. Si los calentadores están sub dimensionados, el caudal se estrangulará para mantener la temperatura de suministro de agua caliente y privará al sistema de agua caliente. Esta reducción del caudal y la pérdida de presión del agua pueden tener un impacto devastador en la capacidad de un lavavajillas para proporcionar el agua caliente necesaria para el aclarado de desinfección, así como alentar el flujo de agua a otros accesorios, como los lavamanos, lo que provoca importantes problemas de rendimiento.

La integración de un calentador sin tanque con un sistema de recirculación generalmente requiere una inversión en un sistema más complejo. Otras limitaciones de un calentador sin tanque son que después de una toma inicial de agua caliente, una toma posterior puede suministrar un chorro de agua fría en la línea de distribución cuando el calentador se está "despertando" para iniciar la secuencia del quemador. Esto provoca un fenómeno de sándwich de agua fría entre dos tomas de agua caliente.

Además, la secuencia de arranque inherente a los calentadores sin depósito crea un retraso adicional en el suministro de agua caliente, que requiere un par de segundos antes del encendido para pasar por la secuencia de seguridad y una media de 15 segundos antes de que el agua calentada se acerque a la temperatura requerida. Los problemas de sándwich de agua fría y de retardo del agua caliente crean una incompatibilidad especialmente con los lavavajillas de puerta y bajo encimera y su necesidad de agua caliente inmediata en poco tiempo.

Se debe tener cuidado al especificar calentador(es) sin tanque para nuevas instalaciones que requieren aireadores de 0.5 galones por minuto en lavamanos públicos, porque en muchos casos, el calentador sin tanque no encenderá el quemador para suministrar agua caliente a un caudal tan bajo.

Esto también ocurre cuando se instalan aireadores de 0.5 galones por minuto (con un caudal nominal de 60 psi) y funcionan en sistemas con una presión inferior a 60 psi, o cuando el grifo esté sólo parcialmente abierto, porque el caudal será aún menor. En este caso, el calentador permitirá que el agua que no ha sido calen pase y entre en la línea de distribución de agua caliente.

Otras consideraciones son que la ventilación de acero debe utilizarse con calentadores sin tanque de eficiencia estándar. Con los calentadores de condensación sin depósito se pueden utilizar tuberías de PVC menos costosas. Las tuberías de gas de los calentadores sin depósito son más costosas que las de un calentador de acumulación comparable, ya que deben especificarse tamaños de tubería más grandes para acomodar los aumentos de tres a cuatro veces en el flujo de gas.

CALENTADORES DE AGUA INDIRECTOS DE GAS

Los calentadores de agua indirectos suelen instalarse en restaurantes y cafeterías de capacidades grandes y tienen una bomba de agua para hacer circular el agua por el intercambiador de calor del calentador y tuberías de suministro y retorno conectadas a un depósito de almacenamiento. Ofrecen un periodo de funcionamiento prolongado y redundancia, ya que suelen utilizar varios conjuntos de quemadores por unidad y están separados del depósito de almacenamiento. Su adquisición e instalación son caras y ocupan más espacio.

CALENTADORES DE AGUA DE RESISTENCIA ELÉCTRICA (ERWH)

Aunque todavía se utilizan, la discusión sobre los calentadores de agua de emergencia integrados en tanques centralizados será limitado debido a sus caros costos de funcionamiento en los restaurantes, ya que son aproximadamente de tres a cinco veces superiores a los de las alternativas de bomba de calor eléctrica o de gas. Por lo general, los calentadores de agua de retorno sólo se utilizan en instalaciones que no disponen de gas natural y/o en instalaciones de bajo consumo (300 galones/día), como pequeñas tiendas especializadas o cafeterías, donde el ahorro de espacio e instalación de los calentadores eléctricos compensa el posible aumento de los costos de funcionamiento. Desde un punto de vista medioambiental, la comparación de la energía de la fuente a la instalación muestra una huella energética significativamente mayor del calentador de resistencia eléctrica primario centralizado frente a los otros sistemas de calefacción. A medida que los primeros costos y las barreras normativas del departamento de sanidad para la instalación de bombas de calor eléctricas disminuyan en los próximos años, Es casi seguro que ERWH perderá cuota de mercado porque las HPWH divididas y las WH híbridas con elemento de resistencia y bombas de calor integradas en un depósito ofrecerán costos de funcionamiento mucho más bajos.

CALENTADORES DE AGUA SIN DEPÓSITO DE RESISTENCIA ELÉCTRICA

Los calentadores eléctricos sin tanque centralizados requieren cables de mayor amperaje y sub paneles más grandes en comparación con los calentadores eléctricos tipo tanque. Pueden requerir un panel

de servicio de mayor amperaje, lo que suele conllevar una tarifa elevada por parte de la compañía eléctrica. Tras la instalación, también aumentan los cargos por picos de demanda en la factura mensual. El único uso viable de esta tecnología es como fuente de calefacción de reserva cuando se utilizan refrigerantes convencionales para un sistema de DHW basado en una bomba de calor durante los periodos invernales en los que la temperatura desciende por debajo de los 40°F y la HP no puede funcionar o cuando la unidad falla.

CALENTADORES DE AGUA CON BOMBA DE CALOR (HPWH)

Disponibles tanto en versión de gas como eléctrica, estos calentadores de agua emplean la tecnología de bomba de calor para extraer calor del ambiente y transferirlo al agua. En esta guía sólo se discutirán las bombas de calor aerotérmicas que extraen calor del aire exterior o interior. Estas unidades tienen eficiencias térmicas efectivas superiores al 100 por cien, es decir, coeficientes de rendimiento (COP) superiores a uno.

La eficiencia y la capacidad de una HPWH dependen de la demanda de agua caliente y de la temperatura ambiente del entorno en el que se coloca la unidad de bomba de calor. Cuando la temperatura ambiente alrededor del evaporador es baja, o cuando la demanda de agua caliente es baja, el sistema tendrá una menor eficiencia de funcionamiento. Las ubicaciones exteriores de la unidad de bomba de calor se recomiendan para climas más templados. Los lugares con inviernos fríos y veranos calurosos pueden tener el evaporador canalizado hacia el exterior con una compuerta que pueda cerrarse durante los meses de invierno. Otra consideración relativa a la eficiencia es que el HPWH tiene una tasa de recuperación limitada en comparación con un calentador de agua convencional. Esto requiere un ajuste del tamaño al especificar los HPWH para garantizar que la mayor demanda de agua caliente durante el día pueda gestionarse sin agotar el depósito o depósitos. Cuanto mayor sea el volumen de almacenamiento, mayor será también la eficiencia de funcionamiento, ya que se reducirán al mínimo los ciclos de calentamiento y se podrá calentar un mayor volumen de agua a baja temperatura en función de la ubicación del sensor de temperatura y del valor de consigna.

Lamentablemente, el dimensionamiento de los HPWH es similar al de los calentadores de agua de gas indirectos y al de los calentadores de agua de tanque convencionales en función de su tasa de recuperación horaria. Las pautas actuales de dimensionamiento del departamento de sanidad no dependen del volumen de almacenamiento, por lo que el dimensionamiento con tamaños de tanque más pequeños (cuando el espacio es limitado) para aplicaciones de alta demanda puede requerir calefacción auxiliar.

El dimensionamiento de los HPWH presenta retos adicionales. Si el HPWH está muy sub dimensionado con el uso de un calentador de apoyo convencional, el ahorro de energía será limitado en comparación con un calentador de agua convencional; si el HPWH está sobredimensionado para la velocidad de calentamiento, este funcionará principalmente a carga parcial, limitando el rendimiento, ya que no se puede alcanzar el COP total. El COP disminuye a carga parcial debido a los ciclos del compresor. Cada vez que el compresor se enciende por primera vez después de estar apagado, el refrigerante aún no ha absorbido el calor del entorno y el sistema tarda un tiempo en precalentar eficazmente el agua entrante.

Con un dimensionamiento y una planificación precisos, es posible optimizar el tamaño y la capacidad de almacenamiento de agua del HPWH para la carga y lograr el máximo beneficio. El costo inicial de los HPWH aumenta con el tamaño. Como resultado, el enfoque más rentable es optimizar el uso final con equipos eficientes para acomodar un calentador de agua de menor capacidad. La investigación realizada en un estudio reciente de la CEC sugiere que el dimensionamiento del HPWH para satisfacer

entre el 30 y el 60 por ciento de la carga máxima puede ser óptimo para la mayoría de los restaurantes de servicio completo. Al tratarse de una tecnología emergente, los HPWH tienen actualmente un costo inicial aproximadamente dos veces superior al de los calentadores de agua convencionales. Sin embargo, se prevé que la diferencia de costo incremental de los HPWH se reducirá a medida que la tecnología cobre impulso debido a la combinación de la disminución de los costos de fabricación y el aumento de la demanda.

Los calentadores eléctricos de alta presión extraen energía del aire ambiente mediante un ciclo de refrigeración y la transfieren para precalentar el agua entrante. Los calentadores de agua de alta presión eléctricos pueden utilizar una resistencia eléctrica suplementaria para proporcionar el calentamiento final del agua cuando la energía de la bomba de calor es insuficiente para la carga de agua caliente o utilizar calentadores de alta presión para satisfacer la carga primaria de agua caliente y un calentador ER para satisfacer parte o toda la carga de agua caliente del sistema de recirculación procedente de las pérdidas de calor de las tuberías y garantizar el mantenimiento de temperaturas adecuadas en el bucle de recirculación.

Las HPWH eléctricas están disponibles en múltiples configuraciones, entre las que se incluyen los sistemas híbridos autónomos comerciales ligeros, los sistemas divididos residenciales diseñados a medida y los sistemas deslizantes "plug n play". Unidades comerciales ligeras autónomas de bajo coste en las que la unidad de bomba de calor es convenientemente situado encima del calentador de agua por resistencia eléctrica como una unidad integrada, puede utilizarse en una aplicación de uso ligero, como una cafetería o un pequeño restaurante de servicio rápido. La potencia de entrada típica de las unidades comerciales ligeras es de unos 13 kW, que incluyen 1 kW para el compresor de la bomba de calor y 12 kW para la resistencia eléctrica de apoyo. El COP nominal de los calefactores híbridos es de 4.0, pero el COP operativo puede oscilar entre 1.5 COP con sistemas de recirculación continua y más de 3.0 sin recirculación o con controles optimizados del sistema de recirculación. Los sistemas divididos suelen ser más eficientes, con COP de funcionamiento que oscilan entre 2 y 4, ya que pueden aprovechar el calentamiento de un solo paso y disponen de unidades condensadoras tecnológicamente avanzadas mucho más grandes. Los sistemas divididos que utilizan refrigerantes modernos un fluido de trabajo, como el 744a, más conocido como CO₂ puede funcionar a pleno rendimiento a temperaturas ambiente mucho más bajas y puede producir agua caliente a menor capacidad hasta -20 °F, que el refrigerante convencional 134a. Las unidades comerciales son generalmente sistemas diseñados con el calentador y de almacenamiento se seleccionan de forma independiente y el sistema se diseña específicamente para la instalación y puede colocarse en el interior o en el exterior.

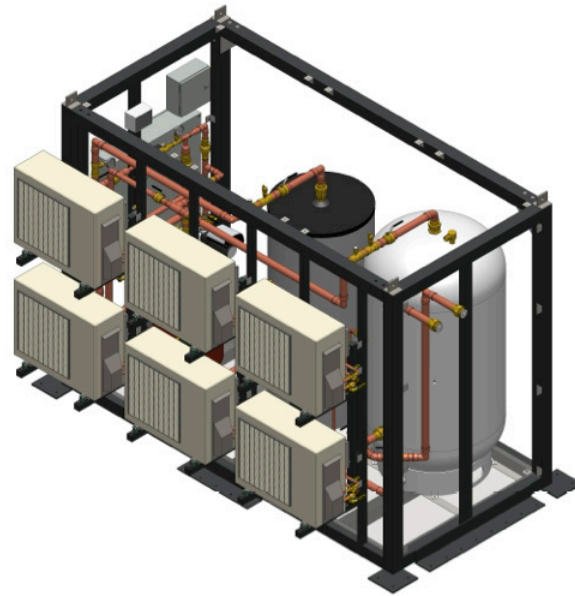


HPWH con evaporador empaquetado, Compresor y acumulador de agua caliente

Las unidades comerciales están empezando a ofrecerse como un sistema de patín "plug and play", en el que las unidades están prediseñadas, instaladas y puestas en servicio en las instalaciones del fabricante antes de su envío a la obra, lo que reduce el costo total y el tiempo de puesta en marcha.

Un HPWH de absorción de gas utiliza un ciclo de bomba de calor para transferir energía del aire ambiente para precalentar el agua entrante a un tanque de almacenamiento. El tanque de almacenamiento se calienta directamente con quemadores de gas para llevar el agua a la temperatura

final de funcionamiento del sistema. Además del ciclo de la bomba de calor, los calentadores de agua de alta presión a gas tienen un recuperador de calor integrado que capta el calor útil restante de la combustión del gas para calentar el agua. Las bombas de calor de gas siguen siendo una tecnología emergente y conllevan costos de instalación mucho más elevados con un ahorro de eficiencia limitado en comparación con las calderas de condensación, mientras que los calentadores de agua a gas pueden configurarse con un costo adicional para proporcionar beneficios auxiliares de refrigeración de espacios HVAC. Los HPWH de gas disponibles en el mercado tienen un COP operativo de entre 1,1 y 1,4 veces. Recientes estudios de campo han demostrado reducciones del consumo de gas sobre la línea de base que van desde el 18% al 50% al servir a las cargas comerciales de calentamiento de agua (ETCC 2021). En la actualidad, los calentadores de agua a gas no son económicamente viables en términos de instalación y funcionamiento, costo y huella ambiental comparado a otros productos de gas y HPWH comerciales indirectos. Además, hay barreras regulatorias que pueden frenar por completo la posible aparición de bombas de calor de gas, ya que los actuales procesos de elaboración de normas pueden prohibir los productos comerciales de calentamiento de agua por gas, con una fecha de aplicación de la Junta de Recursos del Aire de California para los calentadores de agua de emisiones cero (GEI, NOx) ha previsto para 2030 y la norma del Distrito de Gestión de la Calidad del Aire de la Bahía y la Costa Sur para la norma de emisiones cero de NOx en 2031 (SCAQMD 2023). Por último, California pretende actualmente electrificar el mayor número posible de sistemas de edificios. Por lo tanto, el resto de esta guía se centrará en principalmente en las bombas de calor eléctricas y sus aplicaciones, a excepción de los ejemplos de diseño que incluyen ejemplos de bombas de calor de gas.



Esquema de instalación del patín del sistema dividido HPWH



Sistema HPWH Colmac Dividido con instalación en tejado de almacenamiento de agua caliente

Las consideraciones relativas al HPWH en el entorno de las cocinas comerciales están relacionadas principalmente con los requisitos de espacio y capacidad eléctrica. Otras consideraciones son los conductos, el tipo de refrigerante, los requisitos de drenaje de condensados y el ruido. Una barrera clave para un HPWH en una aplicación retrofit es suficiente capacidad eléctrica disponible (panel eléctrico y/o servicio). Un HPWH puede requerir una actualización del panel en aproximadamente el 80 al 100 por ciento de las instalaciones de restauración existentes y costos adicionales de cableado y sub panel hasta la ubicación de instalación del HP. Además, el espacio físico para los disyuntores es un factor limitante secundario que va más allá de la capacidad del cuadro eléctrico. Un segundo obstáculo clave son los requisitos de espacio. El espacio para el volumen de almacenamiento adicional y las unidades de alta presión es un factor limitante, especialmente en los restaurantes de servicio rápido, que ya

cuentan con muchos equipos en la cocina y en los tejados y ofrecen una capacidad de instalación limitada en el perímetro, debido principalmente a los accesos en coche y a los asientos al aire libre.

Menos preocupante es el ruido generado por un HPWH. Las HPWH que funcionan a 60 dBA o menos para esta aplicación se consideran silenciosas. Por lo general, cuanto más grande es la bomba de calor, mayor es la clasificación dBA, y la probabilidad de que la unidad está diseñada para una aplicación exterior o en la azotea. Los interiores de los restaurantes ya son ruidosos y las zonas de comedor suelen registrar 75 dBA. Por lo tanto, las bombas de calor no son un elemento disuasorio, ya que normalmente se instalan lejos de la zona de comedor y muchas unidades funcionan a un nivel de dBA inferior a esta clasificación. Un HPWH ruidoso puede ser problemático si se instala en la cocina, ya que los períodos prolongados de cualquier sonido en o por encima de 85 dBA son más propensos a causar daños en el oído de los miembros del personal en horas extras si están trabajando junto a la unidad (A Noisy Planet 2019). La última consideración es si el restaurante tiene un patio donde la conversación normal está a 60 dBA; cualquier cosa más alta puede considerarse ruidosa. Diseñadores habría que tener en cuenta la proximidad del HPWH y la dirección del ventilador. Nota: se pueden utilizar materiales acústicos para apantallar o redirigir el ruido.

Algún día restaurantes y servicios de comida tendrán que buscar refrigerantes con menor potencial de calentamiento global (PCG) para reducir su huella de carbono y cumplir los requisitos regulatorios. Algunos ejemplos de refrigerantes de bajo GWP para aplicaciones de calentamiento de agua son el CO₂, que establece la referencia de bajo GWP a uno. Asimismo, el R-513a es un refrigerante de GWP medio con un GWP más bajo y se ha desarrollado como sustituto directo del R-134a. El propano es otro refrigerante utilizado en todo el mundo para tener en cuenta una vez que supere las pautas de inflamabilidad estadounidenses. El propano tiene un GWP bajo y los HPWH con este refrigerante son menos costosos de fabricar.

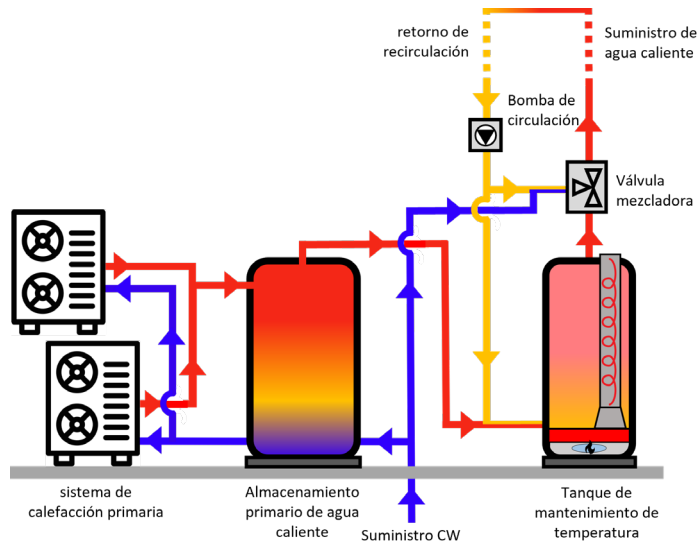
Los requisitos de ventilación son un problema en las aplicaciones de HPWH en interiores, ya que los HP comerciales tienen caudales de aire elevados que van desde los 800 CFM con HP divididos residenciales hasta los 16.000 CFM de los HP comerciales grandes. Los espacios cerrados pequeños, como los armarios de los calentadores de agua de interior, pueden no ser adecuados. Esto no es un problema en la mayoría de los restaurantes, ya que los calentadores de agua no suelen ser cerrados y hay equipos de producción de calor por todas partes para recuperar el calor, tales como equipos de cocina, lavavajillas, equipos de refrigeración y otros máquinas de hielo. Algunas unidades HP tienen opciones de canalización hacia el exterior que añadirán flexibilidad a algunas aplicaciones para interiores. Por último, las HP producen condensado que no es ácido y es más fácil de conducir a un desagüe paisajístico o sanitario mediante alimentación por gravedad o con una bomba de eliminación de condensado (NEEA 2022).

BOMBA DE CALOR AUXILIAR

Este concepto añade un HPWH aguas arriba en configuración en serie con un calentador de tanque convencional existente. Esta estrategia aísla el depósito primario para hacer funcionar con seguridad un HP de un solo paso y con un COP elevado. El pequeño HP se puede colocar en el tejado o en el exterior o elevado en la pared interior. El calentador de gas existente en esta ilustración mantiene la temperatura del bucle de recirculación y actúa como un depósito oscilante, cuya temperatura fluctúa en función del volumen y la duración del agua a mayor temperatura que recibe de el tanque de almacenamiento primario. Una válvula mezcladora principal garantizaría temperaturas seguras del agua de salida y un ahorro energético adicional.

La capacidad de salida y el volumen de almacenamiento del HPWH serían intencionadamente inferiores a los necesarios para minimizar el coste y cumplir los requisitos eléctricos y de espacio del

edificio existente. Las ventajas son que el HP puede funcionar cerca del COP nominal en esta aplicación, mientras que el calentador existente se conserva para cumplir con el tamaño del calentador de agua existente del departamento de salud. El diseño HP Assist añadiría redundancia y resistencia cuando se combinara con calentadores de gas de reserva. Dado que la bomba de calor está deliberadamente subdimensionada, puede funcionar a su COP máximo con largos periodos de inactividad.



Ciclos de trabajo de 19 horas, un uso esencialmente constante que evita la tarificación de los picos de demanda. Esta estrategia maximiza la rentabilidad y proporciona una estrategia de descarbonización para el 95 por ciento de los restaurantes que operan hoy en día con calentadores convencionales de gas y eléctricos que no tienen el espacio, la capacidad eléctrica o no pueden permitirse el lujo de completar un proyecto de sustitución de HP basado en los requisitos actuales de dimensionamiento del departamento de salud que hacen que el HP sea sobredimensionado por un factor de 3 o 4, si se permite en lo absoluto.

COMPARACIÓN DE CALENTADORES DE AGUA PRIMARIOS

Con tantas opciones de calentamiento de agua, puede ser útil comparar las características operativas clave de los calentadores. La Tabla 8 muestra de forma generalizada las características de funcionamiento de seis calentadores de agua tipo tanque viables para aplicaciones de servicio de comida comercial. Caracterización de la eficiencia del sector describe si los calentadores de agua utilizan avances tecnológicos modernos para lograr una mayor eficiencia de funcionamiento o si la unidad debe clasificarse como convencional en relación con su fuente de combustible. El calor absorbido por el agua es la carga diaria que presenta por la instalación y es coherente con las necesidades de un pequeño restaurante de servicio completo. El calor absorbido por el agua (o la potencia del calentador de agua) se ha ajustado a una constante para mostrar las diferencias de entrada entre los calentadores de agua. La eficiencia operativa diaria calculada a partir de los estudios de campo es siempre inferior a la eficiencia térmica nominal (ET) del fabricante porque incluye las pérdidas de calor de las tuberías de recirculación y las pérdidas en espera del calentador de agua.

La energía consumida (energía in situ) es la carga dividida por la eficiencia, es decir, la cantidad de energía que consume el calentador de agua después del contador de la compañía eléctrica. La relación de energía en origen es un factor de corrección que muestra cuántas unidades de energía tiene que consumir una empresa de suministro (en origen) para suministrar una unidad de energía al calentador de agua. La relación de energía en origen es mayor en el caso de la electricidad que en el del gas, debido a las pérdidas de transmisión y generación, y dependerá de la combinación de fuentes de combustible utilizadas para generar electricidad. El costo de los servicios públicos de California es la energía en origen multiplicada por la tarifa energética media del gas o la electricidad (PG&E 2023).

Tabla 8. Comparación de la energía y los costos de los calentadores de agua primarios.

Sistema de calefacción	80% TE Gas Calentador	95% TE Gas Calentador	Bomba de calor a gas COP 1,4	95% TE Resistencia eléctrica	Eléctrico híbrido integrado COP 4.2 ²	Bomba de calor eléctrica de un solo paso COP 5,5 ²
Caracterización de la eficiencia industrial	Convencional	Eficiente	Eficiente	Convencional	Eficiente	Eficiente
Calor absorbido 1,000,000 (Btu/d)	1,000,000	1,000,000	1,000,000	1,000,000	1,000,000	1,000,000
Eficiencia operativa diaria	70%	85%	1.1	90%	2.5	4.3
Energía consumida: Energía del sitio (Btu/d)	1,428,600	1,176,500	909,100	1,111,100	400,000	232,600
Relación de energía fuente-sitio	1.05	1.05	1.05	3.14	3.14	3.14
Fuente Energía (Btu/d)	1,500,000	1,235,300	954,600	3,488,900	1,256,000	730,400
Costo de los servicios públicos en California¹ (\$/d)	\$26	\$21	\$16	\$104	\$37	\$22

¹ Basado en 14,13 \$/HCF, 1,80 \$/term, 0,32 \$/kWh. ² COP calculado a una temperatura media interior de 70 °F.

Como se muestra en la Tabla 8, el calentador de agua a gas de eficiencia estándar al 80 por ciento TE es el calentador de agua a gas más caro de operar y tiene la energía de origen más alta. La unidad de condensación al 95 por ciento TE proporciona un ahorro significativo en los costos de servicios públicos y tiene un uso de energía de origen competitivo. El calentador de agua a gas con bomba de calor utiliza la menor cantidad de energía en origen para una unidad de gas y tiene el menor costo diario de suministro, lo que significa que es el más barato de utilizar según las tarifas de suministro actuales. Lamentablemente, las bombas de calor de gas son caras, no se amortizan y no están disponibles fácilmente. En el momento de redactar este documento, sólo había un fabricante importante de HPWH de gas y los primeros costos y el período de recuperación se detallan en el Ejemplo de diseño 1.

En el caso de las unidades eléctricas, el calentador de agua por resistencia eléctrica es hasta 5 veces más caro y consume hasta 5 veces más energía que el calentador de alta presión más eficiente. El uso de energía en origen del HP comercial integrado es comparable al de un calentador de condensación por gas, pero el costo energético es significativamente superior, ya que el COP de funcionamiento se resiente frente a su COP nominal al depender en parte del calentamiento por resistencia eléctrica. La mejor tecnología eléctrica de alta presión que es competitiva en costo con las calefacciones de condensación por gas es la alta presión dividida de un solo paso instalada en el interior, donde puede aprovechar las temperaturas más cálidas de la cocina durante todo el año para obtener un COP de funcionamiento elevado. El split HP también tiene el mejor uso de energía en origen de todos los calentadores de agua, y el producto está maduro en el mercado.

DIMENSIONAMIENTO DEL CALENTADOR DE AGUA

Una vez especificados los aparatos y diseñado el sistema de distribución, el siguiente paso es dimensionar el calentador de agua primario. Para ello, hay que contar el número de instalaciones, calcular el caudal o la tasa de recuperación, dependiendo de si el calentador tiene un tanque, y dimensionar el calentador en consecuencia. A continuación, se describe cada uno de estos pasos.

Necesidades de equipamiento

El primer paso consiste en contar todos los aparatos del establecimiento. La tabla 9 muestra un recuento típico de los aparatos que utilizan agua caliente en restaurantes de distintos tamaños, desde tiendas de delicatessen hasta grandes restaurantes de servicio completo.

Tabla 9. Número de aparatos para distintos tamaños de restaurante.

Equipo en el establecimiento	Deli	Restaurante de servicio rápido	Pequeño restaurante de servicio completo	Restaurante grande de servicio completo
Lavabos	1	2	2	4
Lavamanos	1	2	3	6
Fregadero de 3 compartimentos	1	1	1	1
Bar fregadero de 3 compartimentos	-	-	-	1
Máquina de platos	-	-	Tipo puerta	Transportador
Válvula de prelavado	-	-	1	1
Fregadero	1	1	1	1
Fregaderos de preparación de alimentos	-	1	1	2
Fregadero tipo pozo	-	-	-	1

Caudales de equipo y tasas de recuperación

Después de tabular los equipos que utilizan agua caliente, cada equipo debe caracterizarse por su uso máximo de agua caliente en la Tabla 10 para calcular la demanda máxima de agua caliente según las pautas de dimensionamiento de agua caliente del CCDEH de California. El número de aparatos se multiplica por el caudal de los aparatos en galones por minuto (gpm) para obtener el caudal total necesario para el dimensionamiento de los calentadores de agua sin tanque. Los calentadores de agua con tanque se dimensionan en función de su tasa de recuperación horaria, o de la rapidez con la que el calentador de agua puede rellenar su tanque con agua caliente. El tanque actúa como un amortiguador entre la fuente de calor y la instalación y permite que el calentador funcione con caudales de entrada mucho más bajos que para los calentadores de agua sin acumulador.

Tabla 10. Pautas de caudal de equipo y tasa de recuperación de la instalación.

Equipo en el establecimiento	Caudal sin tanque (gpm)	Tasa de recuperación del depósito (gal/h)
Lavamanos	0.5	5
Fregadero	0.5	5
Fregadero de 3 compartimentos (18" x 18")	4.1	42
Fregadero de 3 compartimentos (bar)	2.2	18
Lavavajillas con puerta	Ver hoja de especificaciones	Ver hoja de especificaciones
Lavavajilla con arrastre	Ver hoja de especificaciones	Ver hoja de especificaciones
Válvula de prelavado	1.2	45
Fregadero/Lavabo de basura	2	15
Fregadero para preparación de alimentos	2	5
Fregadero tipo pozo	0.5	30

¹ Dos grifos en el fregadero. ² Un grifo en el fregadero (CCDEH 2020)

El caudal y el índice de recuperación del lavavajillas se calculan en función de las especificaciones del fabricante del equipo. Para un lavavajillas de puerta que utiliza 0.74 galones de agua caliente por rejilla y tiene una operación de aclarado de 10 segundos, el caudal de aclarado se calcula tomando la especificación de galones por rejilla y dividiéndola por el tiempo de aclarado en segundos y multiplicándolo por 60 segundos por minuto. El caudal de enjuague es 4.4 gpm, que luego se utiliza para dimensionar un calentador de agua (CCDEH 2020). La misma lavavajillas lava 58 rejillas por hora y utiliza un máximo de 43 gpm si se lavan una detrás de otra.

Los requisitos de caudal en la tabla 10 se pueden utilizar para especificar los caudales de entrada de los calentadores POU sin tanque para cada aparato en función del aumento de temperatura requerido. El dimensionamiento de los calentadores POU es más sencillo que el del calentador de agua primario, ya que generalmente se utilizan para alimentar menos aparatos, y normalmente es uno solo. Una vez que se han dimensionado y especificado los calentadores POU, es una buena práctica asegurarse de que exista un suministro de energía adecuado en los lugares donde se instalarán los calentadores POU.

Dimensionamiento de los calentadores de agua tipo tanque

Para dimensionar un calentador de agua tipo tanque, hay que sumar todos los aparatos del diseño propuesto y multiplicarlo por el índice de recuperación de los aparatos para calcular el índice mínimo de recuperación del calentador tipo tanque. Se aplica un factor de descuento de 0.8 para los restaurantes de servicio rápido o cualquier instalación con utensilios de servicio único. Este factor de descuento puede variar de un municipio a otro. El siguiente paso consiste en calcular la tasa mínima de entrada de gas o electricidad basándose en dicha tasa de recuperación y redondeando al alza hasta la unidad más cercana a la clase de tasa de entrada del calentador de agua comercial. La fuente utilizada para calcular la tasa de entrada de BTU y kW es la Fórmula 1 (para calentadores de agua a gas) y la Fórmula 2 (para calentadores de agua eléctricos) del calentador de agua CCDEH. Los departamentos de salud locales pueden utilizar estas fórmulas exactas o versiones simplificadas basadas en valores fijos de eficiencia térmica y/o aumento de temperatura para calcular la tasa de entrada. La tabla 11 muestra el resultado de multiplicar las tablas 9 y 10 para calcular las tasas de recuperación, utilizando las fórmulas proporcionadas para calcular las tasas de entrada para calentadores de agua convencionales de gas y eléctricos de tipo tanque. La tabla también muestra las tasas de entrada para los HPWH eléctricos el 98% de eficiencia térmica para el calentador de resistencia eléctrica como el valor para el coeficiente de rendimiento (COP) HP basado en entrevistas con los verificadores del plan en varios departamentos de salud del condado que permiten HPWH. Además, el valor COP nominal de 2.5 utilizado normalmente por los diseñadores para representar el COP de funcionamiento de un HP se utiliza para calcular la tasa de entrada.

Tabla 11. Dimensionamiento de un calentador de agua tipo tanque para varios tipos de restaurantes

Equipo en el establecimiento	Calentador tipo tanque tasa de recuperación mínima (gal/h)			
	Pequeño restaurante de servicio rápido	Restaurante de servicio rápido mediano	Pequeño restaurante de servicio completo	Restaurante grande de servicio completo
Lavabos	5	10	10	20
Lavamanos	5	5	15	30
Fregaderos de 3 compartimentos	42	42	42	60
Máquina de platos	-	-	51	126
Válvula de prelavado	-	-	45	45
Fregadero	15	15	15	15
Fregaderos de preparación de alimentos	-	5	5	10
Fregadero tipo pozo	-	-	-	30
Velocidad mínima de recuperación (gal/h)	54 ¹	621	183	336
Tasa mínima de entrada de gas(Btu/h)	30,000	34,000	142,000	261,000
Tasa de entrada de resistencia eléctrica mínima (kW)²	6.7	7.7	31.9	58.6
Tasa mínima de entrada de HP eléctrica usando 98 por ciento TE como valor de eficiencia (kW)³	6.7	7.7	31.9	58.6
Potencia eléctrica mínima utilizando 2,5 COP como valor de eficiencia (kW)⁴	2.6	3.0	12.5	23.0

¹ Factor de descuento de la tasa de recuperación mínima del 20% para el uso de utensilios de un solo servicio. Ejemplo: Tasa de recuperación en un restaurante pequeño de servicio rápido = 67 gal/h * 0,8 = 54 gal/h.

² Basado en los requisitos de la tasa de entrada de la resistencia eléctrica existente utilizando un valor del 98% para la eficiencia térmica.

³ Interpretación de los departamentos de sanidad de los condados locales para el dimensionamiento de los HP basada en los requisitos de la tasa de entrada de la resistencia eléctrica existente utilizando un valor del 98% para la eficiencia térmica.

⁴ Ajuste de los requisitos de dimensionamiento del CCDEH para dimensionar los HP en función de los requisitos de potencia calorífica utilizando el valor nominal de 2,5 para el COP de funcionamiento estándar de los HPWH eléctricos.

Los requisitos mínimos de caudal de entrada para los distintos calentadores de agua se utilizan para especificar el calentador de agua según el caudal de entrada nominal y el volumen de almacenamiento sugerido. La tabla 12 muestra que la carga de calentamiento de agua convencional por gas y electricidad se satisface fácilmente con un único calentador de agua comercial integrado por resistencia eléctrica o de gas. Para los ejemplos de restaurantes de servicio rápido, un calentador de almacenamiento híbrido puede superar los requisitos de tasa de entrada, pero para los restaurantes pequeños y grandes de servicio completo, sería necesario utilizar tres y seis unidades para cumplir los requisitos de tasa de recuperación utilizando un 98% de TE. Si los requisitos del departamento de sanidad para los HP se actualizan para reconocer la tasa de salida a un COP de funcionamiento nominal de 2.5, entonces sólo se necesitan dos unidades para el FSR pequeño y tres unidades híbridas para el FSR grande. El dimensionamiento es más estricto en el caso de los HPWH divididos que pueden configurarse sin ERWH. En la sección de ejemplos de diseño se incluye más información sobre el dimensionamiento de estos tipos de restaurantes.

Tabla 12. Volumen y tasa de entrada de WH tipo tanque y cantidad para satisfacer la tasa de recuperación para varios tipos de restaurantes.

Tipo de calentador de agua	Restaurante pequeño de servicio rápido	Restaurante mediano de servicio rápido	Restaurante pequeño de servicio completo	Restaurante grande de servicio completo
Almacenamiento de gas	75 Gal. 75,000 Btu/h	75 Gal. 75,000 Btu/h	81 Gal. 154,000 Btu/h	100 Gal. 275,000 Btu/h
Almacenamiento por resistencia eléctrica	80 Gal. 12.2 kW	119 Gal. 12.2 kW	120 Gal. 36 kW	120 Gal. 60 kW
Almacenamiento híbrido HP/ER eléctrico	112 Gal. 11.3 kW	112 Gal. 11.3 kW	112 Gal. 11.3 kW	112 Gal. 11.3 kW
Almacenamiento híbrido HP/ER eléctrico (0.98 Eff.)¹	1	1	3	6
Almacenamiento híbrido HP/ER eléctrico (2.5 COP)²	1	1	2	3

¹ El dimensionamiento de los CV se basa en la interpretación de las directrices de dimensionamiento del CCDEH utilizando un valor del 98% para el rendimiento térmico.

² Desviación de los requisitos de dimensionamiento del CCDEH para dimensionar los HP en función de los requisitos de velocidad de salida de la potencia calorífica utilizando el valor nominal de 2,5 COP operativo para HPWH eléctricos.

COSTO Y ESPACIO NECESARIOS

A medida que pasamos de los calentadores convencionales de gas y eléctricos a las unidades híbridas y, más adelante, a los sistemas de HPWH con un calentador y un tanque de almacenamiento independientes (ilustrados en los ejemplos de diseño), el costo y los requisitos de espacio crecen rápidamente, como se muestra en la Tabla 13. Uno de los principales obstáculos a los que se enfrentan los calentadores de agua más eficientes y los HPWH en general es que sus costos iniciales son más elevados y ocupan más espacio que los calentadores convencionales. Otro obstáculo importante es el tamaño. Es cuatro veces y medio más caro utilizar un calentador de agua eléctrico híbrido que uno de gas. Se han desarrollado herramientas de dimensionamiento para aplicaciones residenciales (Ecotope 2023) para equilibrar las características de calentamiento lento de los HP mediante la incorporación de más capacidad de almacenamiento, reduciendo así aún más el número de HP necesarios para la instalación. Actualmente no hay herramientas disponibles para dimensionar los calentadores de agua de alta presión para aplicaciones comerciales de restauración.

En la actualidad, los departamentos de sanidad exigen que las tasas de entrada de los calentadores de agua estén dimensionadas para la tasa de recuperación de la segunda hora y no tienen en cuenta el volumen de almacenamiento ni la capacidad de salida de calefacción. Esto supone un problema para los calentadores de agua de alta presión, ya que su capacidad de producción de calor es mucho mayor que su capacidad de entrada de calor y dependen del volumen de almacenamiento, puesto que calientan el agua a un ritmo más lento.

Tabla 13. Costo del calentador de agua y huella ambiental de varios calentadores tipo depósito para los cuatro tipos de restaurante.

Tipo de calentador de agua	Restaurante pequeño de servicio rápido	Restaurante mediano de servicio rápido	Restaurante pequeño de servicio completo	Restaurante grande de servicio completo
Almacenamiento de gas Costo WH	\$1.7k	\$1.7k	\$5.5k	\$7.0k
Almacenamiento por resistencia eléctrica	\$1.6k	\$1.7k	\$7.1k	\$12.4k
Costo del almacenamiento híbrido HP/ER	\$7.3k	\$7.3k	\$15k-\$22k	\$22k-\$44k
Huella de almacenamiento por resistencia eléctrica WH	Pequeño	Pequeño	Pequeño	Pequeño-Med
Electric Resistance Storage WH Footprint	Pequeño	Pequeño-Med	Pequeño-Med	Pequeño-Med
Huella de almacenamiento híbrido HP/ER	Pequeño-Med	Pequeño-Med	Med	Grande

Ejemplos de diseño

Para ayudar a ejemplificar cómo pueden aplicarse las oportunidades de eficiencia en el mundo real, esta sección presenta ejemplos de diseños para un restaurante de servicio rápido y un restaurante de servicio completo. Cada ejemplo de diseño presenta una serie de escenarios de diseño relacionados y sus impactos asociados sobre el agua, la energía y los costes. Estos ejemplos ayudan a ejemplificar cómo se pueden analizar las posibles soluciones y explora cómo los diseños de los sistemas de agua caliente pueden tener un gran impacto en los recursos y en la capacidad de las instalaciones para alcanzar los objetivos de energía neta cero.

Todos estos escenarios muestran la viabilidad de los diseños que pueden incorporar bombas de calor eléctricas, reduciendo así o incluso eliminando la necesidad de un calentador de gas. En el caso de los restaurantes de servicio completo, los ejemplos también ponen de relieve el importante ahorro de energía y costes que se consigue cuando se utiliza un sistema de agua distribuido, en lugar de depender de un sistema de calefacción para todos los aparatos. Aunque los diseños más eficientes fueron a veces menos rentables a corto plazo, tendieron a ser rentables a largo plazo y serán fundamentales para cumplir los objetivos de energía neta cero de California para las nuevas instalaciones comerciales a partir de 2030.

EJEMPLO DE DISEÑO 1: RESTAURANTE DE SERVICIO RÁPIDO

La mayoría de los restaurantes de servicio rápido utilizan vajilla desechable, por lo que el uso de un lavavajillas para platos, vasos y utensilios es nulo o limitado. Por ello, sus sistemas de agua caliente son menos complejos y no suelen tener sistemas de distribución por recirculación. Aunque existen oportunidades para instalar accesorios eficientes y aislar las tuberías de distribución, la característica de eficiencia energética más compleja de analizar para un restaurante de servicio rápido es el calentador de agua. Por lo tanto, para los fines de este ejemplo, esta sección se centra en analizar los impactos de la instalación de diferentes tipos de calentadores de agua y mantiene todas las demás variables constantes.

El análisis muestra que el sistema eléctrico dividido HP de 5,5 COP con respaldo ERWH es un calentador energéticamente eficiente y rentable para instalar en este tipo de instalaciones. Este sistema no sólo ofrece un diseño totalmente eléctrico, sino que también tiene costos comparables a los de los calentadores de agua de gas estándar a largo plazo. El resto de esta sección compara en primer lugar el consumo de agua y energía de los tipos de calentadores seleccionados y, continua el resto de comparación de costos.

Impactos: Escenarios de diseño de cocinas de servicio rápido

Para determinar el impacto de los distintos calentadores de agua en el consumo energético y los costos de los restaurantes de servicio rápido, el análisis debe definir primero el tamaño del calentador de agua que necesita el restaurante de servicio rápido. Un restaurante de servicio rápido típico utiliza 350 galones al día de agua caliente y requiere una tasa de recuperación mínima para el tamaño del calentador de agua de 54 gph. Esto equivale a una tasa de entrada mínima para equipos de gas de 36.000 Btu/h y una tasa de entrada mínima para equipos eléctricos de 7,7 kW. La tabla 14 muestra los distintos tipos de calentadores a los que se ha hecho referencia anteriormente en este informe (tabla 8), su almacenamiento asociado, el caudal de entrada, los niveles de eficiencia, el consumo de agua y el consumo de energía.

¹ El análisis no ha tenido en cuenta la repercusión de los primeros costos en el valor del dinero en los años siguientes. Los costos de los servicios públicos en los años siguientes asumen las siguientes tasas anuales de incremento: Electricidad, 3,3%; Gas, 4,5%; Agua y Aguas Residuales, 6%.

Como se muestra en la Tabla 14, todos los sistemas divididos con bomba de calor muestran un ahorro de energía en origen mucho mayor que el calentador de gas estándar, el calentador de gas de condensación o el calentador de resistencia eléctrica. Tras convertir el consumo de gas y electricidad en BTU a efectos comparativos, el calentador de resistencia eléctrica es la peor opción, con 211.000 kBtu anuales, seguido de los calentadores de agua de gas estándar y de condensación y los HP de gas, que oscilaron entre 97.700 y 79.400 kBtu, siendo las bombas de calor eléctricas las que ofrecieron la energía en origen más baja, entre 63.300 y 44.200 kBtu.

Tabla 14. Impactos en la energía y el agua de los distintos tipos de calentadores de agua en restaurantes de servicio rápido

	#1 Calentador de agua de gas estándar	#2 Calentador de agua de condensación por gas	#3 Sistema dividido ASHP de gas	#4 Calentador de Resistencia eléctrica	#5 Calentador Híbrido HP/ ER	#6 Sistema divido eléctrico HP con respaldo ERWH	#7 Sistema dividido eléctrico HP con respaldo ERWH
Volumen de almacenamiento del calentador de agua	80% TE 75-gal 75,000 Btu/h	95% TE 45-Gal 100,000 Btu/h	1.43 COP 113-Gal Depósito indirecto 54,500 Btu/h	99% TE 80 Gal. 12 kW a 208V	4.2 COP 112-Gal 11.3 kW a 208V	4.7 COP HP 0.95 kW at 208V con (2) 99% TE 80 Gal. 3.4 kW a 208V ¹	5.5 COP HP 0.95 kW at 208V con(2) 99% TE 80 Gal. 3.4 kW a 208V ¹
Tasa de entrada mínima requerida (Btu/h o kW)	36,000	36,000	36,000	7.7	7.7	7.7	7.7
TE operativo o COP	68%	84%	1.4	95%	3.2 ²	3.7 ³	4.5 ⁴
Consumo anual de agua (HCF)	170	170	170	170	170	170	170
Consumo anual de gas (termas)	930	756	465				
Consumo anual de electricidad (kWh)			490	19,694	59,08	5,064	4,122
Energía anual de la fuente (kBtu)	97,700	79,400	54,100	211,000	63,300	54,300	44,200

¹ Los Solar Booster ERWH especificados ofrecen sólo elemento calefactor superior, conexiones de alimentación y retorno de alta presión superior y lateral, y están precableados para la conexión del sensor de temperatura de montaje en superficie.

² COP calculado a una temperatura media interior de 70°F.

³ COP calculado a una temperatura media exterior de 60°F.

⁴ COP calculado a una temperatura media interior de 80°F. Basado en 14,13 \$/HCF, 1,80 \$/termas, 0,32 \$/kWh.

Escenarios de diseño de cocinas de servicio rápido: Impacto en los costos

Para comprender mejor las implicaciones de los costos, el ejemplo también calcula el costo del primer año, el periodo de amortización simple y la estimación de costos del décimo año. Como se muestra en la Tabla 15, la opción de HP más rentable es el sistema dividido eléctrico de HP con respaldo de ERWH. El costo estimado de este calefactor es de \$53,900, lo que supone la paridad de costos con un calefactor de gas estándar. Este HP tiene un periodo de amortización de 9.0 años. En este caso, el calentador de alta presión se instala en la parte alta, donde se encuentra el aire más caliente, para maximizar la eficiencia, como



**HP montado cerca del techo.
(Croton 100 2020)**

se muestra en la foto de ejemplo, encima de la máquina de hielo. El calentador de alta presión está conectado a dos calentadores de agua eléctricos de resistencia de reserva, que deben instalarse para cumplir las directrices actuales del departamento de sanidad en cuanto a la tasa mínima de kW de entrada.

Los elementos de resistencia se instalan en una posición elevada en el depósito y se ajustan a 120 °F. El dividido HP calentaría el tanque con agua a 150°F de la parte superior hacia abajo con el sensor de temperatura situado más abajo en el tanque. Las tres opciones de HP incluyen la instalación de una válvula mezcladora maestra mecánica para garantizar que la temperatura de salida se atempera a 120 °F. En esta configuración, el calentador de alta presión cubriría toda la carga de agua caliente de la instalación y los elementos de emergencia proporcionarían apoyo en los días de mayor consumo de agua, durante las horas de mayor consumo, averías, o si fuera necesario realizar tareas de mantenimiento con el HP para garantizar la disponibilidad de agua caliente. Este diseño considera una instalación en un cuarto trasero, que tendría una temperatura estimada de 80°F debido a las cargas de calor sensible y latente del fregadero con 3 compartimentos, el lavavajillas bajo encimera y las unidades condensadoras a bordo de varios equipos de refrigeración. El mayor COP de HP también se atribuye al diseño de HP de paso único y a una estratificación suficiente de la temperatura del agua en los depósitos. Esta evaluación puede subestimar el ahorro, ya que no tiene en cuenta el ahorro en refrigeración que se produciría al funcionar en una sala más fría.

Tabla 15. Impacto en los costos de diferentes tipos de calentadores de agua en restaurantes de servicio rápido.

	Calentador de agua de gas estándar	Calentador de agua de condensación por gas	Sistema dividido ASHP de gas	Calentador de Resistencia eléctrica	Calentador Híbrido HP/ ER	Sistema dividido eléctrico HP con respaldo ERWH	Sistema dividido eléctrico HP con respaldo ERWH
Costo energético del primero año¹	\$1,670	\$1,360	\$990	\$6,290	\$1,890	\$1,620	\$1,320
Costo del agua en el primer año¹	\$2,400	\$2,400	\$2,400	\$2,400	\$2,400	\$2,400	\$2,400
Costo de instalación^{2,3}	\$2,450	\$4,340	\$30,215	\$3,190	\$8,460	\$6,970	\$6,970
Costo de 1 año	\$6,520	\$8,100	\$33,605	\$11,880	\$12,750	\$10,990	\$10,690
Periodo de amortización	0.0	5.4					9.0
Costo de 10 años	\$54,700	\$52,700	\$74,000	\$108,000	\$62,100	\$57,400	\$53,900
Incremento porcentual del costo en 10 años	0.0%	-3.7%	35.3%	97.4%	13.5%	4.9%	-1.5%

¹ Basado en 14,13 \$/HCF, 1,80 \$/term, 0,32 \$/kWh.

² Los calentadores de agua con HP incluyen la adición de una válvula mezcladora principal termostática para permitir el almacenamiento seguro de agua caliente a una temperatura elevada de 140°F+. Los costos de ventilación o drenaje de condensados no se tienen en cuenta al calcular los costos de instalación.

³ Costo de mano de obra de plomería estimado en \$150/h con las siguientes horas de mano de obra estimadas con cada especificación de WH: 3h para gas estándar y resistencia eléctrica, 5h gas condensación, 6h HP/ER Híbrido, 10h dividido eléctrico HP, 16h dividido gas HP.

EJEMPLO DE DISEÑO 2: RESTAURANTE DE SERVICIO COMPLETO CON CALENTADOR DE AGUA PRIMARIO DE GAS

En la siguiente sección se presenta un ejemplo de diseño para un restaurante de servicio completo que utiliza un calentador de agua primario alimentado por gas. Dado que los restaurantes de servicio completo utilizan máquinas lavavajillas, a diferencia de los restaurantes de servicio rápido, este ejemplo explora todos los aspectos del sistema de agua caliente. Al igual que en el último ejemplo de diseño, se comparan diferentes escenarios en función de las distintas oportunidades de eficiencia. Se describe cada escenario, seguido de los impactos sobre el agua y la energía. También se destacan los costos estimados de cada escenario.

Los requisitos mínimos de la tasa de entrada y los detalles de la tasa de entrada y salida del diseño se proporcionan para mostrar el grado de sobredimensionamiento de los calentadores de agua con bomba de calor necesarios para cumplir la interpretación del departamento de salud de sus pautas existentes sobre el dimensionamiento del agua caliente, que no se diseñaron para los calentadores de agua con bomba de calor. Como se ha indicado anteriormente, la metodología de dimensionamiento de la tasa de recuperación del departamento de sanidad depende únicamente de la tasa de entrada y no tiene en cuenta la capacidad de almacenamiento de agua caliente. Sería posible reducir aún más los periodos de amortización si se dispusiera de un enfoque de diseño flexible que permitiera al diseñador equilibrar la capacidad de almacenamiento de agua y la tasa de entrada para satisfacer la carga de calentamiento de agua del día de diseño, como se ha hecho para aplicaciones residenciales utilizando el programa de software Ecosizer (Ecotope 2023).

El restaurante de servicio completo utilizado para este ejemplo de diseño, junto con los dos ejemplos de diseño siguientes, tiene un lavavajillas exclusivo con una válvula de pulverización de pre-enjuague, un lavavajillas de puerta y un fregadero de tres compartimentos, así como varios lavamanos repartidos por el establecimiento, fregaderos de uso general en la zona de preparación de alimentos y un fregadero en el lavadero. Este diseño también incluye una zona de bar separada con un fregadero de mano y un fregadero de preparación en la parte delantera de la casa. Este local se diseñó con un servicio de gas adecuado en el lavadero y un servicio eléctrico de 120 V distribuido por todo el local.

Los resultados indican que dos de los escenarios destacan por ser rentables a la vez que proporcionan ahorros de energía y agua, estos son los escenarios que implican el calentador de agua de condensación y la ayuda de la bomba de calor eléctrica. Aunque ninguno de estos escenarios proporciona una solución libre de carbono, ya que dependen de un calentador de agua de gas, muestran oportunidades para limitar el uso del calentador de agua de gas, ayudando así a apoyar las reducciones generales de carbono de los edificios.

Escenarios de diseño con un calentador de agua primario de gas para restaurantes de servicio completo

Este ejemplo de diseño presenta el impacto de seis mejoras diferentes en un calentador de agua primario alimentado por gas. La tabla 16 resume las seis mejoras, de izquierda a derecha, de menos a más eficiente. El escenario 1, a la izquierda de la tabla, es el caso base de un sistema de agua caliente convencional con un calentador de agua por acumulación de gas de 100 galones y 199.000 Btu, que funciona al 70 por ciento de TE y está ajustado a un punto de consigna de 145 °F. Este sistema incluye una bomba de recirculación continua de eficiencia estándar, aislamiento de tuberías sólo en la tubería

de distribución recta, un lavavajillas de puerta de alta temperatura ENERGY STAR® y un PRSV de 1,2 gpm.

A la derecha se encuentra el escenario 2, que puede considerarse un escenario de optimización de bajo costo para el primer año. Este escenario implica mantener fijas las especificaciones del calentador de agua y añadir un MMV digital, un PRSV de 0.8 gpm, una bomba ECM avanzada con funcionamiento a temperatura constante y añadir aislamiento de tuberías donde haya huecos en la instalación existente para

garantizar que las tuberías estén continuamente aisladas. Las mejoras en el aislamiento de las tuberías y el uso de un MMV para controlar con precisión la temperatura de salida, por sí solos, reducen la temperatura de suministro de distribución de 145 °F a 142 °F, sin afectar a la temperatura de retorno y mejora la eficiencia del sistema de eficiencia de funcionamiento del calentador de agua del 70% al 75%.

El tercer escenario implica el cambio de un calentador de agua de gas de eficiencia estándar a uno de condensación de alta eficiencia y la actualización de un lavavajillas de puerta de alta temperatura de nivel ENERGY STAR® a un modelo de recuperación de calor que sólo utiliza un suministro de agua fría, por lo que no tiene ventilación y no requiere una campana de tipo II. Estos cambios mejoran la eficiencia de funcionamiento del calentador de agua hasta el 90%, reducen la temperatura mixta de salida a la recirculación a 122 °F, y reduce a la mitad el consumo de agua del lavavajillas, que pasa de 1.4 galones por rejilla a 0.71.

El siguiente escenario comienza a explorar las implicaciones de añadir bombas de calor al diseño como fuente de calefacción suplementaria. El escenario cuatro añade dos pequeñas bombas de calor eléctricas y un depósito de almacenamiento de 119 galones de aguas en la parte de arriba para ayudar al calentador de agua de gas de condensación de 130.000 Btu y ayudar con 80 galones más al pequeño (Figura x). Los calentadores combinados cumplen los requisitos mínimos del departamento de sanidad de 136.000 Btu para la instalación. Para simplificar la contribución energética de cada calentador de agua, se supone que los HP satisfacen la carga diaria de agua caliente de 224,100 Btu a un COP de funcionamiento de 4.3 y que el calentador de gas aguas abajo satisface las necesidades de pérdida de calor de la tubería de recirculación de 237.500 Btu a un TE de funcionamiento del 80%.

El escenario número cinco presenta un ejemplo con una asistencia HP de gas. Este ejemplo se basa en un HP de gas de tamaño medio con un depósito de almacenamiento indirecto de 113 galones para el calentador de agua de condensación. Por último, el escenario seis incluye un diseño con una adaptación completa del sistema HP a gas con tres HP a gas y dos depósitos de almacenamiento indirecto.

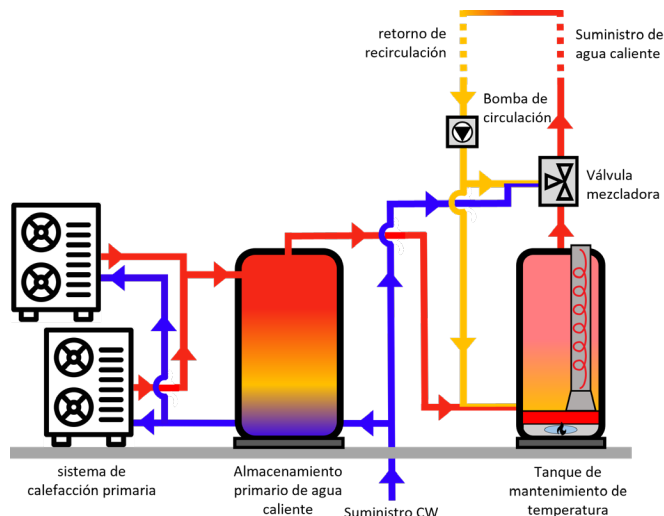


Tabla 16. Escenarios de diseño de cocinas de servicio completo con calentador primario de gas

	#1 Sistema estándar de ACS por gas	#2 Sistema estándar de ACS por gas con mejoras	#3 Sistema de ACS por gas HE con lavavajillas HR	#4 Sistema de ACS por gas HE con asistencia eléctrica de alta presión	#5 Sistema de ACS alimentado por gas HE con asistencia HP de gas	#6 Sistema de ACS a gas HP
Tipo de calentador de agua	80% TE 100-Gal WH de gas	80% TE 100 Gal WH de gas	97% TE 100-Gal WH de condensación por gas	(2) 5,5 COP Tanque eléctrico HP 119-Gal 98% TE 80-Gal Condensación WH	1,43 COP Split MP HP 113-Gal Tanque Indirecto 96% TE 100-Gal Condensación WH	(3) 1,43 COP (2) 113-Gal Depósito indirecto 54.500 Btu/h
Tasa de entrada mínima requerida (Btu/h)	176,000	176,000	136,000	136,000	136,000	136,000
Capacidad nominal de entrada y salida (Btu/h or kW)	1 gas SWH Entrada: 199,000 Producción: 160,000	1 gas SWH Entrada: 199.000 Salida: 160,000	1 gas SWH Entrada: 199.000 Salida: 193,000	1 gas SWH Entrada: 130.000 Salida: 127.000 2 eléctricos Entrada de CVs: 6,660 (1,9 kW) Out: 30.000 (9 kW)	1 gas SWH Entrada: 100,000 Salida: 96,000 1 gas HP Entrada: 54,000 Producción: 78,000	3 gas HPs Entrada: 163,500 Salida: 234,000
Eficiencia de funcionamiento del calentador de agua de gas o ER	70%	75%	90%	80%	80%	
Eficiencia de funcionamiento del calentador de agua HP				4.3	1.1	1.1
Válvula principal mezcladora	Ninguno	Digital	Digital	Digital	Digital	Digital
Temp. suministro distribución (°F)	145	142	122	122	122	122
Controles de la bomba y de la bomba de recirculación	Bomba de rendimiento	Bomba ECM avanzada en modo de temperatura constante	Bomba ECM avanzada en modo de temperatura constante	Bomba ECM avanzada en modo de temperatura constante	Bomba ECM avanzada en modo de temperatura constante	Bomba ECM avanzada en modo de temperatura constante
Aislamiento de tuberías	Parcial	Aislamiento continuo	Aislamiento continuo	Aislamiento continuo	Aislamiento continuo	Aislamiento continuo
Máquina de vajilla de alta temperatura con refuerzo eléctrico	Energy Star® con campana	Energy Star® con campana	Lavavajillas HR alimentado con agua fría	Lavavajillas HR alimentado con agua fría	Lavavajillas HR alimentado con agua fría	Lavavajillas HR alimentado con agua fría

Impacto en el agua y la energía de varios diseños de calentadores de agua primarios de gas

Cada uno de estos escenarios tiene diferentes implicaciones para el uso del agua y la energía. Como se muestra en la Tabla 17, el escenario de eficiencia a costo perdido utiliza menos ahorro de agua, sin embargo los escenarios más eficientes que incluyen un calentador de agua de condensación o una bomba de calor reducen el consumo de agua por casi a la mitad. Para comparar el ahorro de energía en los distintos escenarios, la Tabla 17 presenta la energía en origen anual (BTU). Mientras que todos los escenarios proporcionan ahorros de energía, el escenario cuatro que incluye la bomba de calor eléctrica de asistencia proporciona el mayor ahorro de energía en origen de todos los escenarios, ahorrando un 42% de energía, con 621,000 kBtu, en comparación con el escenario base convencional.

Tabla 17. Escenarios de diseño de cocinas de servicio completo que utilizan un calentador primario de gas: Impacto sobre el agua y la energía

	#1 Sistema estándar de ACS por gas	#2 Sistema estándar de ACS por gas con mejoras	#3 Sistema de ACS de gas HE con lavavajillas HR	#4 Sistema de ACS por gas HE con asistencia eléctrica de alta presión	#5 Sistema de ACS a gas HE con asistencia HP de gas	#6 Sistema de ACS a gas HP
Uso del agua	Consumo de agua del lavavajillas (225 rejillas, incluidos llenados y rellenados)	339	339	176	176	176
	PRSV Consumo de agua (Gal/d) (1.5h)	108	72	72	72	72
	Lavavajillas Uso de agua fría (Gal/d)	0	0	176	176	176
	Consumo total de agua caliente (Gal/d)	847	811	472	472	472
Uso de la energía	Pérdida de calor en la tubería de recirculación (Btu/d)	589,700	412,800	237,500	237,500	237,500
	Carga de agua caliente de las tomas (Btu/d)	564,400	520,200	224,100	224,100	224,100
	Carga total de agua caliente (Btu/h)	1,154,100	933,000	461,600	461,600	461,600
	Uso de gas WH (Therms/d)	16.5	12.4	5.1	3.0	5.0
	WH Consumo eléctrico (kWh/d)	0	0	0	15.3	10.0
	Lavavajillas y campana extractora Consumo eléctrico (kWh/d)	110	110	115	115	115
	Consumo de energía de bombas y MMV (kWh/d)	3.6	0.6	0.6	0.6	0.6
	Consumo total de electricidad (kWh/d)	113	110	115	131	125
Energía anual de la fuente (kBtu)	1,069,000	904,000	644,000	621,000	678,000	696,000

Impacto en los costos de varios diseños de calentadores primarios de agua a gas

Ninguna comparación está completa sin examinar también las implicaciones económicas. Para examinar los costos, no sólo hay que tener en cuenta los costos de instalación, sino también los costos a largo plazo tras un año de uso y diez años de uso. Como se muestra en La Tabla 18, se calcula que la hipótesis de base, con un diseño convencional, tendría un costo de instalado (mano de obra y materiales) de \$49,050 dólares. Tras un año de uso, el costo total del primer año sería de \$78,950 dólares y el costo total en 10 años sería de \$413,000 dólares. Este escenario puede compararse con los escenarios eficientes para determinar la instalación más rentable. Como se muestra en la Tabla 18, el tercer escenario con el calentador de agua de condensación es el más rentable en un periodo de 10 años, con \$315,100 dólares. Sin embargo, dos de los escenarios con bomba de calor también son rentables en comparación con el escenario del caso base.

Tabla 18. Escenarios de diseño de cocinas de servicio completo que utilizan un calentador primario de gas: Impacto en los costes

	#1 Sistema estándar de ACS por gas	#2 Sistema estándar de ACS por gas con mejoras	#3 Sistema de ACS de gas HE con lavavajillas HR	#4 Sistema de ACS por gas HE con asistencia eléctrica de alta presión	#5 Sistema de ACS a gas HE con asistencia HP de gas	#6 Sistema de ACS a gas HP
Costo de operaciones del primer año	\$29,900	\$26,600	\$21,300	\$21,600	\$22,400	\$23,300
Costo de instalado WH	\$9,750	\$9,750	\$8,075	\$16,505	\$35,985	\$86,490
Costo de instalación De lavavajillas y campana	\$18,150	\$18,150	\$23,715	\$23,715	\$23,715	\$23,715
Costo total de instalación	\$49,050	\$54,420	\$58,310	\$66,740	\$86,220	\$136,725
Periodo de amortización	0.0	1.6	1.1	2.1	4.5	10.4
Costo de 1 año	\$78,950	\$81,020	\$79,610	\$88,340	\$108,620	\$160,025
Costo total de 10 años	\$413,000	\$378,400	\$315,100	\$326,800	\$355,600	\$416,500

EJEMPLO DE DISEÑO 3: RESTAURANTE DE SERVICIO COMPLETO CON CALENTADOR DE AGUA ELÉCTRICO PRIMARIO

Este ejemplo se basa en un calentador de agua primario eléctrico en lugar de un calentador de agua de gas. Los escenarios de diseño siguen basándose en la misma posición general de la cocina que en el ejemplo de diseño 2 y en la interpretación que hace el departamento de sanidad de sus pautas existentes sobre el dimensionamiento del agua caliente. La única diferencia entre el Ejemplo 2 y el 3 es que este ejemplo se basa en un calentador de agua primario eléctrico, en lugar de un calentador de agua primario de gas. Dado que este ejemplo de diseño se basa únicamente en calentadores de agua eléctricos, representa un ejemplo de cómo se pueden diseñar los restaurantes para que sean de energía neta cero, ya que elimina el uso de combustibles fósiles en el edificio. El escenario 5 también se ofrece con fines ilustrativos; sin embargo, actualmente no está permitido por la normativa vigente de California en materia de salud y seguridad en las cocinas comerciales.

Los resultados del análisis del ejemplo de diseño 3 muestran que el enfoque más rentable y eficiente es el escenario 1 o 5. Dado que el escenario 5 no está permitido actualmente en las pautas de dimensionamiento de California, se estima que el escenario 1 es la mejor opción totalmente eléctrica en el momento de la impresión de esta guía, tanto desde el punto de vista de la eficiencia como del costo. Aunque el escenario 1 de este ejemplo de diseño totalmente eléctrico utiliza un poco más de energía de origen anual (659.000 kBtu) que los calentadores de agua primarios de gas más eficientes del último ejemplo (621.000 kBtu), representa una alternativa totalmente eléctrica al calentador de agua de gas. A continuación, se describen las especificaciones del escenario 1.

Escenarios de diseño con un calentador de agua primario eléctrico para restaurantes de servicio completo

Este ejemplo de diseño examina las opciones de sistemas de ACS totalmente eléctricos. Al igual que en los ejemplos de diseño anteriores, los escenarios de la Tabla 19 se vuelven más complejos empezando de izquierda a derecha. Dado que los calentadores de agua por resistencia eléctrica, como calentador de agua primario, no son aconsejables desde el punto de vista de costo y eficiencia, todos estos ejemplos se basan en una bomba de calor eléctrica como calentador de agua primario. En el primer ejemplo se utiliza un calentador de agua comercial híbrido HP/ER de 112 galones. Para cumplir los requisitos de consumo eléctrico del departamento de sanidad, sería necesario instalar 3 unidades en paralelo en el interior. Los calentadores híbridos tienden a funcionar con COP más bajos; en este ejemplo de diseño se estima un COP de 2.5 para satisfacer tanto la demanda de agua caliente como la carga de recalentamiento por recirculación.

El siguiente escenario consiste en añadir un calentador grande de multi-paso dividido en el exterior o en el tejado que calienta dos depósitos de almacenamiento de 112 galones en paralelo a una potencia de entrada de 33 kW. El COP de funcionamiento es similar al de los calentadores híbridos, ya que se les pide que satisfagan tanto la demanda de agua caliente como la carga de recalentamiento por recirculación. En este escenario, el costo anual de funcionamiento de las HPWH multi-paso fue el mismo que el de la configuración de bomba de calor híbrida.

Los tres escenarios restantes mostrados en las columnas de la derecha de la Tabla 15 utilizan un pequeño HP dividido de un solo paso con alguna combinación de depósito(s) de almacenamiento

y ERWH para satisfacer la carga primaria o secundaria de calentamiento de agua. La opción más compacta (escenario tres) es el ERWH con HP asistido, que implica la instalación de dos pequeños HP en una posición elevada en la cocina para ahorrar espacio y maximizar la eficiencia del aire más caliente cerca del techo para un COP operativo de 4.3. Estas unidades satisfacen la carga de extracción de agua caliente de la cocina. Estas unidades satisfacen la carga de extracción de agua caliente y una ERWH de 30 kW y 112 galones, el cual satisface la carga de recalentamiento del sistema de recirculación con un TE de funcionamiento del 90%.

El cuarto escenario utiliza una configuración de depósito oscilante en la que el depósito primario de alta presión y almacenamiento está dimensionado para satisfacer el consumo de agua caliente, mientras se utiliza un calentador de agua por resistencia eléctrica aguas arriba para compensar las pérdidas de calor de la tubería del bucle de recirculación. Esta configuración también aumenta la fiabilidad, añade redundancia y mejora la eficiencia del COP operativo al HPWH primario. Esta estrategia reduce el número de HP necesarios según las pautas de

dimensionamiento existentes del departamento de sanidad, reduciendo así el costo y los requisitos de espacio frente a una configuración de recirculación de retorno a un tanque primario. Específicamente, este escenario utiliza un diseño de tanque oscilante con cuatro pequeños HP divididos de un solo paso colocados en el exterior y conectados a dos tanques de almacenamiento de 119 galones y ERWH de 30 kW y 112 galones. Los HP están modelados para satisfacer todas las cargas de extracción de agua caliente y el 50 por ciento de la carga de recalentamiento de recirculación.

El último escenario, el escenario cinco, es también un escenario de tanque oscilante, pero en lugar de utilizar las pautas de dimensionamiento existentes del departamento de salud basadas en la tasa de entrada, dimensiona los calentadores de agua utilizando la tasa de salida, que actualmente no está permitido en California, pero vale la pena revisar. En este escenario, utilizando las pautas de dimensionamiento de los ingenieros de plomería, se colocan 6 pequeños sistemas divididos en el exterior conectados a dos depósitos de almacenamiento con un calentador ERWH más pequeño de 3.4 kW que actúa como el tanque oscilante, donde se coloca el elemento calefactor en la parte superior del tanque. Este tipo de ERWH se utiliza en el mercado residencial para proporcionar calefacción de respaldo para un sistema de calentador solar. Este diseño de calentador de agua ER de reserva es muy adecuado para esta aplicación de tanque oscilante HP, ya que la unidad es rentable y permite que la temperatura del agua del ERWH oscile por encima del punto de ajuste de 125 °F durante donde el agua caliente a 150°F fluye a través de la unidad desde el tanque de almacenamiento primario. El ERWH solo se activaría durante las horas de menor actividad, cuando las extracciones de agua caliente son limitadas para mantener el bucle de recirculación, y durante los periodos prolongados del día, cuando las extracciones de agua caliente son mínimas.

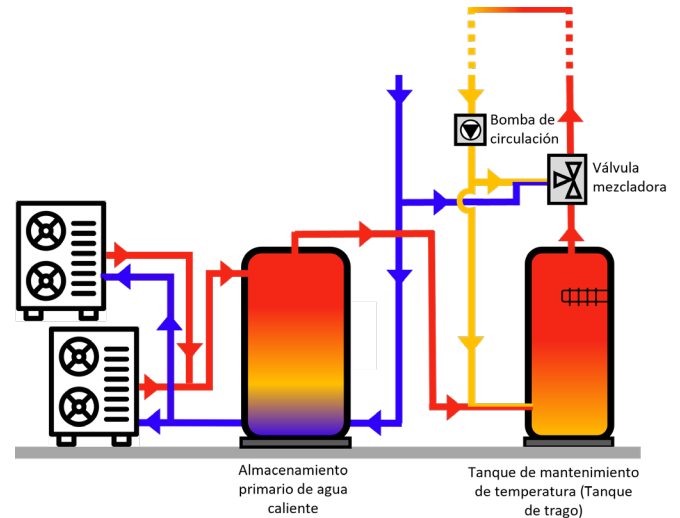


Tabla 19. Escenarios de diseño de ACS para restaurantes con calentadores primarios eléctricos

	#1 Híbrido HP/ ER WH	#2 Dividido de múltiples pasos HP con respaldo eléctrico	#3 Resistencia eléctrica WH con HP-Assist	#4 HP de paso único con depósito oscilante (dimensionamiento CCDEH)	#5 HP de Paso único HP con tanque oscilante (pautas de dimensionamiento para ingeniero de pría)
Tipo de calentador de agua	(3) 4.2 COP Híbrido HP/ER 112-Gal 11,3 kW a 208 V	3.2 COP Dividido MP HP (2) 112-Gal Depósitos con 3,4 kW a 208 V	(2) 5.5 COP Eléctrico HP Tanque Almacenamiento de 119-Gal 99% TE ERWH	(4) 4,7 COP Eléctrico HP (2) 119-Gal Almacenamiento 99% TE ERWH 112-Gal 30 kW a 208 V	(6) 4,7 COP Eléctrico HP (2) 119-Gal Tanque de almacenamiento 99% TE ERWH 112-Gal 3.4
Tasa de entrada mínima requerida (kW)	30.5	30.5	30.5	30.5	30.5
Capacidad nominal de entrada y salida	3 eléctricos HP/ER SWH Entrada: 33.9 kW Potencia: 66 kW	1 CV eléctrico Entrada: 33 kW Potencia: 105 kW 2 SWH ER Entrada: 6,8 kW Potencia: 6,8 kW	1 ER SWH Entrada: 30 kW Potencia: 30 kW 2 CV eléctricos Entrada: 1,9 kW Potencia: 9 kW	1 ER SWH Entrada: 30 kW Potencia: 30 kW 4 CV eléctricos Entrada: 3,8 kW Potencia: 18 kW	1 ER SWH Entrada: 3.4 kW Potencia en kW: 3,4 kW 6 CV eléctricos
Eficiencia de funcionamiento del calentador de agua de gas o ER			90%	90%	90%
Eficiencia de funcionamiento del calentador de agua HP	2.5	2.5	4.3	3.5	3.5
Válvula mezcladora principal	Digital	Digital	Digital	Digital	Digital
Temperatura media de suministro de distribución (°F)	122	122	122	122	122
Controles de bomba y bomba de recirculación	Bomba ECM avanzada en modo de temperatura constante	Bomba ECM avanzada en modo de temperatura constante	Bomba ECM avanzada en modo de temperatura constante	Bomba ECM avanzada en modo de temperatura constante	Bomba ECM avanzada en modo de temperatura constante
Aislamiento de tuberías	Aislamiento continuo	Aislamiento continuo	Aislamiento continuo	Aislamiento continuo	Aislamiento continuo
Lavavajillas de alta temperatura con refuerzo eléctrico	Lavavajillas HR alimentada con agua fría	Lavavajillas HR alimentada con agua fría	Lavavajillas HR alimentada con agua fría	Lavavajillas HR alimentada con agua fría	Lavavajillas HR alimentada con agua fría

Impacto en el agua y la energía de varios diseños de calentadores de agua eléctricos para restaurantes de servicio completo

Como es evidente en ejemplos anteriores, cada uno de estos escenarios tiene implicaciones para el uso del agua y la energía. Como se muestra en la Tabla 20, todos estos escenarios utilizan la misma cantidad de agua. El quinto escenario proporciona el mayor ahorro energético con 655,000 kBtu. Sin embargo, dado que este escenario no está actualmente permitido por las pautas de California, el planteamiento más eficiente permitido es el primero o el segundo, que no incluyen el pequeño divido HP de un solo paso. Ambas opciones consumen un poco más de fuente de energía anual (659,000 kBtu) como se ve en los calentadores de agua primarios a gas más eficientes del último ejemplo (621,000 kBtu), sin embargo proporcionan una alternativa totalmente eléctrica al calentador de agua a gas

Tabla 20. Escenarios de diseño de cocinas de servicio completo que utilizan un calentador primario eléctrico: Impacto sobre el agua y la energía

	#1 Híbrido HP/ER WH	#2 HP dividido multipaso con respaldo eléctrico	#3 Resistencia eléctrica WH con Asistencia HP	#4 HP de paso único con depósito oscilante (dimensionamiento CCDEH)	#5 Paso único HP con tanque oscilante (pautas de dimensionamiento del ingeniero de plomería)	
Uso de agua	PRSV Consumo de agua (Gal/d) (1,5h)	72	72	72	72	
	Lavavajillas Uso de agua fría (Gal/d)	176	176	176	176	
	Consumo total de agua caliente (Gal/d)	472	472	472	472	472
Uso de la energía	Pérdida de calor en la tubería de recirculación (Btu/d)	237,500	237,500	237,500	237,500	237,500
	Carga de agua caliente de las tomas (Btu/d)	224,100	224,100	224,100	224,100	224,100
	Carga total de agua caliente (Btu/h)	461,600	461,600	461,600	461,600	461,600
	Uso de gas WH (Therms/d)	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	WH Consumo eléctrico (kWh/d)	54.1	54.1	92.6	67.4	53.0
	Consumo eléctrico de lavavajillas y campana (kWh/d)	115	115	115	115	115
	Consumo de energía de bombas y MMV (kWh/d)	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6
	Consumo total de electricidad (kWh/d)	170	170	208	183	168
Fuente de energía anual (kBtu)	659,000	659,000	809,000	711,000	655,000	

Impacto en los costos de varios diseños de calentadores de agua eléctricos para restaurantes de servicio completo

Al igual que en los ejemplos anteriores, en este ejemplo se comparan los costos estimados de instalación y los costos a largo plazo tras un año de uso y diez años de uso. Los resultados sugieren que los costos de instalación son relativamente similares, con la excepción del escenario 2, que es casi un 74% más caro que el escenario 3, que es el menos caro. Sin embargo, al examinar los costos a diez años, las diferencias entre escenarios disminuyen. Al largo plazo, los escenarios 1 y 5 son igualmente las opciones menos costosas. Las hipótesis de calentador primario eléctrico son ligeramente más caras que las de calentador primario de gas, pero se encuentran dentro de un rango similar de costos.

Tabla 21. Escenarios de diseño de cocinas de servicio completo que utilizan un calentador primario eléctrico: Impacto en los costos

	Híbrido HP/ ER WH	HP dividido multipaso con respaldo eléctrico	Resistencia eléctrica WH con Asistencia HP	HP de paso único con depósito oscilante (dimensionamiento CCDEH)	Paso único HP con tanque oscilante (pautas de dimensionamiento del ingeniero de plomería)
Costo operacional energético del primer año	\$24,200	\$24,200	\$28,700	\$25,800	\$24,100
Costo de instalación WH	23,340	66,730	16,915	25,480	26,560
Coste de instalación de lavavajillas y campana	\$23,715	\$23,715	\$23,715	\$23,715	\$23,715
Costo total de instalación	\$73,575	\$116,965	\$67,150	\$75,715	\$76,795
Periodo de amortización	4.0	9.3	8.6	5.5	4.3
Costo del 1er año	\$97,775	\$141,165	\$95,850	\$101,515	\$100,895
Costo total de 10 años	\$364,400	\$405,800	\$408,200	\$382,500	\$364,100

EJEMPLO DE DISEÑO 4: RESTAURANTE DE SERVICIO COMPLETO CON GENERACIÓN DISTRIBUIDA

El ejemplo de diseño 4 introduce un tipo de sistema de distribución de agua caliente diferente al de los ejemplos 2 y 3. Este ejemplo pone de relieve los impactos en la eficiencia y los costes que pueden producirse al añadir calentadores POU a instalaciones remotas. Este ejemplo destaca los impactos en la eficiencia y los costos que pueden experimentarse al añadir calentadores POU a instalaciones remotas. Hacerlo puede reducir la longitud del sistema de recirculación principal y, por lo tanto, generar ahorros. Este ejemplo de diseño explica primero el diseño actualizado. Luego, destaca los impactos en el agua y la energía de un sistema de calentador de agua primario eléctrico y de gas y, por último, presenta los impactos en los costos de los sistemas de calentador de agua primario eléctrico y de gas.

Como se muestra en este ejemplo, los sistemas de generación distribuida muestran potencial, ya que ofrecen bajos costos iniciales y generan ahorros operativos con periodos de recuperación muy rápidos de menos de dos años. El desafío es lograr que los propietarios de los edificios, los diseñadores y el departamento de salud adopten esta estrategia de diseño. Algunos departamentos de salud no permiten calentadores POU. Es probable que esto se deba a los modelos residenciales de bajo costo de primera generación que tenían tasas de flujo de activación más altas y poca confiabilidad, lo que no le dio a esta tecnología una buena reputación inicial. Los calentadores POU modernos de alto rendimiento han sido probados y funcionaron de manera confiable en un estudio de caso de un restaurante de servicio completo en California (Frontier Energy 2018). Se descubrió que disminuían los tiempos de espera de agua caliente en los baños y aumentaban los niveles de saneamiento. Antes de la instalación, también pasaron la verificación del plan en el departamento de salud local sin problemas.

Escenarios de diseño de cocinas de servicio completo mediante generación distribuida

Ambos escenarios presentados en este diseño se basan en calentadores POU combinados con un calentador de agua más grande situado más cerca de la cocina y el lavavajillas. El circuito primario de recirculación alimenta los accesorios de uso intensivo, como la estación de prelavado, el fregadero de tres compartimentos y el fregadero de la fregona. La utilización de un lavavajillas de recuperación de energía avanzada permite eliminar la máquina del sistema de distribución. El lavavajillas se alimenta de agua fría y utiliza una combinación de recuperación de energía y calentadores de refuerzo integrados para proporcionar el enjuagado desinfectante a alta temperatura. La adición de un PRSV de alto rendimiento que funciona a 0.8 gpm reduce aún más la carga de agua caliente del lavavajillas. La eliminación del lavavajillas, los fregaderos de barra y los fregaderos de mano del sistema de distribución permite utilizar un calentador de agua más pequeño que el de un sistema de distribución de agua convencional.

Este sistema de recirculación a demanda funciona una media de 1.8 horas al día (en lugar de 24/7). El sistema de distribución de agua caliente resultante utilizaría una tubería más delgada y tendría un circuito de recirculación más corto, ya que muchos accesorios ya no están conectados. Esto da como resultado una pérdida de calor de tubería significativamente menor del sistema de distribución estimada en 75,700 Btu por día de pérdida de calor de tubería versus 237,500 Btu para el sistema de distribución optimizado donde solo se eliminó el lavavajillas del sistema de agua caliente centralizado. Con eso, para proporcionar agua caliente en el bar y los lavabos, se instalan 10 WH eléctricos sin tanque POU para satisfacer la carga de consumo de agua caliente de generación distribuida de 39,900 Btu por día. Este mismo diseño se aplica tanto a un sistema de agua caliente a gas como a un sistema HPWH eléctrico. Los puntos de uso en este sistema son los mismos que en el Ejemplo de diseño 3 y, por lo tanto, el uso de agua es el mismo.

Tabla 22. Ejemplos de diseño de ACS para restaurantes con generación distribuida.

	Sistema de ACS por gas HE con lavavajillas HR con circulación a demanda en la cocina	Generación totalmente distribuida c/ demanda eléctrica HPWH circ a cocina
Tipo de calentador de agua	WH de condensación a gas TE al 95 % (capacidad de calefacción de btu/h aún más reducida) + calentadores POU de 120 V en baños y bar	(2) Tanque de almacenamiento eléctrico de 5,5 COP HP y 119 galones 99% TE ERWH 115 galones, 18 kW a 480 V (10) POU sin tanque en lavabo y bar
Tasa de entrada mínima requerida (Btu/h o kW)	87,000	19.5
Capacidad nominal de entrada y salida (Btu/h o kW)	1 gas WH Entrada: 100.000 Btu/h Salida: 96.000 Btu/h 9 ER Sin tanque 4.1kW para Lavamanos 1 ER sin tanque 24 kW para Bar 3 Comp	Entrada HV: 1,9 kW Salida: 9,0 kW 1 ERWH 18 kW para calefacción de apoyo 9 ER sin tanque 4.1kW para Lavamanos 1 ER sin tanque 24 kW para Bar 3 Comp
Eficiencia de funcionamiento del calentador de agua de gas o ER	90%	90%
Eficiencia de funcionamiento del calentador de agua HP	0	4.3
Válvula mezcladora principal	Ninguno	Ninguno
Temperatura promedio de suministro de distribución (°F)	120	120
Controles de la bomba y de la bomba de recirculación	Circulación de la demanda	Circulación de la demanda
Aislamiento de tuberías	Aislamiento continuo	Aislamiento continuo
Máquina de vajilla de alta temperatura con refuerzo eléctrico	Lavavajillas HR alimentado por agua fría con refuerzo eléctrico	Lavavajillas HR alimentado por agua fría con refuerzo eléctrico

Impactos en el agua y la energía de un diseño de calentador de agua distribuido para restaurantes de servicio completo

Tanto los sistemas de gas como los eléctricos obtienen eficiencias de agua y energía al añadir un sistema de calentador de agua distribuido al diseño de agua caliente. Usando estas especificaciones, tanto el sistema centralizado de gas como el eléctrico usan 388 galones de agua por día como se muestra en la Tabla 23. Esto es considerablemente menos que el sistema de gas convencional mostrado en el Ejemplo de diseño 2, que requirió 847 galones de agua por día. Este menor uso centralizado de agua caliente se traduce directamente en ahorro de energía. También se muestra en la Tabla 23 que el sistema de gas requeriría 624 000 kBtu de fuente de energía anual y el sistema eléctrico requeriría 583 000 kBtu de fuente de energía anual. Esto equivale a una reducción en el uso de energía en comparación con el sistema de referencia de gas en un 42 por ciento y un 45 por ciento, respectivamente.

Tabla 23. Escenarios de diseño de cocinas de servicio completo utilizando un sistema distribuido: Impactos sobre el agua y la energía

		Sistema de ACS por gas HE con lavavajillas HR con circulación a demanda en la cocina	Generación totalmente distribuida con circuito de demanda HPWH eléctrico hasta la cocina
Uso del agua	PRSV Consumo de agua (Gal/d) (1,5h)	72	72
	Lavavajillas Uso de agua fría (Gal/d)	176	176
	Calentador de agua centralizado / Consumo total de agua caliente (gal/d)	388	388
Uso de la energía	Pérdida de calor en la tubería de recirculación (Btu/d)	75,700	75,700
	Carga de agua caliente central procedente de extracciones (Btu/d)	184,200	184,200
	Carga de agua caliente POU de extracciones (Btu/d)	39,900	39,900
	Carga total de agua caliente (Btu/h)	299,800	259,900
	Uso de gas WH (Therms/d)	2.9	0.0
	Consumo eléctrico WH (kWh/d)	16.7	34.4
	Consumo eléctrico de lavavajillas y campana (kWh/d)	115	115
	Consumo de energía de bombas y MMV (kWh/d)	0.6	0.6
	Consumo total de electricidad (kWh/d)	132	150
	Fuente de (kBtu)	624,000	583,000

Impacto en los costos de un diseño de calentador de agua distribuido para restaurantes de servicio completo

Como se muestra en la Tabla 24, las diferencias de costos para los sistemas distribuidos son relativamente similares entre los escenarios de gas y eléctrico, y el escenario eléctrico tiene costos ligeramente más altos. Cabe destacar que el período de recuperación del sistema eléctrico distribuido es mucho mejor que el de cualquiera de los sistemas eléctricos sin sistema distribuido (1,3 frente a un mínimo de 4,0 respectivamente). Tanto el sistema distribuido de gas como el eléctrico aportan ventajas de costes al sistema convencional de gas. El sistema distribuido a gas proporciona un ahorro a 10 años de \$83,000 en comparación con el sistema convencional a gas, mientras que el sistema distribuido eléctrico proporciona un ahorro a 10 años de \$75,270 en comparación con el sistema convencional a gas.

Estos sistemas de generación distribuida generalmente son un poco menos costosos de instalar que los sistemas de plantas de calentamiento de agua convencionales debido al costo de mano de obra asociado con la instalación de un gran circuito de recirculación, así como al costo del material de colocación de tuberías. El calentador de agua con bomba de calor todavía conlleva un costo significativo de equipo y material, pero con un COP de 5,5 tiene aproximadamente el mismo costo operativo anual que el sistema alimentado por gas. Una ventaja del sistema HPWH es que es totalmente

eléctrico. Parte de la razón por la que estos sistemas tienen una fuente de energía anual similar es que la mayor parte de la carga de agua caliente se ha colocado en el lavavajillas y en los calentadores del punto de uso. La planta principal de calentamiento de agua tiene una demanda tan pequeña que las diferencias en el uso de energía entre los dos calentadores tendrían un sistema de distribución de recirculación total. Dicho de otra manera, el consumo total de electricidad sólo difiere según el HPWH.

La generación distribuida también permite la redundancia: si el calentador de agua que alimenta el bar se estropea, el restaurante aún puede funcionar. Incluso si el calentador de agua principal se estropea, el lavavajillas aún puede funcionar y el restaurante aún puede atender a los clientes. Por el contrario, si el lavavajillas se estropea, el restaurante puede confiar en los fregaderos de sus compartimentos para garantizar el saneamiento.

Tabla 24. Escenarios de diseño de cocinas de servicio completo utilizando un sistema distribuido: Impacto en los costos

	Sistema de ACS de gas HE con lavavajillas HR con circulación a demanda en cocina	Generación totalmente distribuida con circuito de demanda de HPWH eléctrico a la cocina
Costo energético de operaciones del 1er año	\$21,700	\$21,900
Costo de instalación WH	\$17,265	\$22,575
Costo de instalación de la lavavajillas y la campana	\$23,715	\$23,715
Costo total de instalación	\$56,460	\$62,270
Periodo de amortización	1.0	1.3
Costo de 1 año	\$78,160	\$84,170
Costo total de 10 años	\$329,400	\$337,700

Es probable que estos sistemas representen el futuro de los sistemas de agua caliente comerciales para el servicio de alimentos debido a su flexibilidad. Para las nuevas construcciones, la generación distribuida y los HPWH de alto COP representan una forma rentable de diseñar un sistema de agua caliente CFS totalmente eléctrico, que se está volviendo cada vez más importante en California dada la cantidad de municipios que están prohibiendo el gas natural en los edificios nuevos. Para escenarios de modernización, la generación distribuida proporciona un camino para electrificar un sistema de agua caliente sin instalar un banco de HPWH porque puede evitar las altas pérdidas de recirculación y la gran carga del lavavajillas, lo que reduce la necesidad de plantas de calentamiento de agua de mayor tamaño. La advertencia para las modernizaciones es que muchos restaurantes tienen capacidad eléctrica disponible limitada, por lo que la instalación de cargas eléctricas importantes, como lavavajillas con recuperación de calor y calentadores de agua con bomba de calor, puede requerir la instalación de un subpanel o una mejora del servicio público. Es posible que no sea posible instalar calentadores en el punto de uso en todos los escenarios de modernización porque requeriría instalar un cable nuevo desde el subpanel más cercano, aunque los calentadores en el punto de uso generalmente funcionan con amperajes más pequeños (es decir, <10 kW), por lo que la disponibilidad de espacio eléctrico es menor. una preocupación.

Descargo de responsabilidad: Todos los ejemplos de diseño son únicamente para ilustrar conceptos de diseño. La aplicación de los conceptos a diseños particulares puede dar como resultado ahorros menores o mayores que los que se muestran en este ejemplo. Se recomienda una estrecha coordinación con los funcionarios locales, fabricantes, ingenieros y contratistas para todos los proyectos de sistemas de agua caliente de cocina.

Conclusiones Principales

- Diseñe un sistema de agua caliente para operaciones de restauración en orden inverso, desde los equipos de uso final y los fregaderos, luego los sistemas de distribución y, por último, el calentador de agua.
- Especifique válvulas de rociado de preenjuague de alto rendimiento con un caudal inferior a 0.8 gpm.
- Especifique lavavajillas con certificación ENERGY STAR® o superior con sistemas de recuperación de calor y sólo conexiones de suministro de agua fría.
- Especifique aireadores de flujo ultrabajo en los lavamanos a 0.5 gpm o menos y seleccione (si corresponde) un calentador de punto de uso de calidad comercial en los lavamanos.
- Mejorar el rendimiento del suministro de agua caliente mediante:
 - » Diseñe con ramales cortos o elimine las caídas innecesarias de tuberías a los accesorios
 - » Refleje los baños y los baños en ambas caras de la misma pared.
 - » Reducir la carga del sistema de agua caliente en la medida de lo posible mediante el diseño de un sistema de distribución eficiente a través de:
 - » Aislamiento continuo de todas las tuberías de agua caliente según los requisitos de espesor de aislamiento del código y seguimiento de las mejores prácticas de instalación de aislamiento.
 - » Instalación de una bomba ECM con control de temperatura constante para sistemas de recirculación continua
 - » Desarrollar un sistema de generación distribuida utilizando controles de recirculación de la demanda, calentadores en puntos de uso en instalaciones remotas y lavavajillas con recuperación de calor.
- Coloque el calentador de agua lo más cerca posible del lavavajillas y otros lavabos sanitat.
- Si especifica un calentador de agua a gas, especifique un calentador de agua de condensación de alta eficiencia con o sin asistencia HP.
- Si especifica un calentador de agua eléctrico, especifique un calentador de agua de almacenamiento híbrido HP/ER o un calentador primario de tanque de almacenamiento/HP dividido de un solo paso con un calentador de tanque accesorios oscilante o de respaldo ER solo con elemento superior.

Glosario

Accesorios -elementos de fontanería en serie con el bucle de recirculación, como soportes de tuberías, válvulas antirretornos, válvulas mezcladoras, válvulas de equilibrado, filtros, bridas, separadores de aire, bombas de agua y sensores de control y contadores en línea.

ASME - Sociedad Americana de Ingenieros Mecánicos.

Btu (unidad térmica británica) - Unidad de energía térmica. Se define como la energía necesaria para elevar la temperatura de 1 libra de agua 1°F.

Btu/h - Unidad de potencia. Describe la potencia o el valor nominal máximo de entrada de los calentadores de agua.

Lavavajillas de puerta - Los lavavajillas de puerta suelen tener capacidad para una rejilla y la mayoría utiliza una palanca manual que abre y cierra la cavidad del lavavajillas para cargar y lavar. Un lavavajillas de puerta estándar tiene un depósito de lavado de 10-15 galones. Las máquinas de vaciado y llenado de tipo puerta no tienen depósito de lavado y utilizan el agua de aclarado del ciclo anterior como agua de lavado para el siguiente, que se mantiene en un sumidero con una capacidad de 1-2 galones. Las lavadoras de ollas y sartenes están diseñadas específicamente para lavar artículos grandes y voluminosos y tienen una cavidad con capacidad para 1-2 rejillas.

Lavavajillas con recuperación del calor del aire de escape -diseños de lavavajillas que pueden capturar y transferir el calor y el vapor producidos en el proceso de lavado. El agua fría entrante pasa a través de una red de finos tubos de cobre mientras un ventilador extrae y empuja el vapor a través de unas placas de aluminio acopladas.El vapor se condensa en las aletas frías y el calor latente se transfiere para precalentar el agua entrante.

Lavavajillas de cinta transportadora - Estas máquinas, que se encuentran en instalaciones institucionales muy grandes, utilizan una cinta transportadora para alimentar los artículos colocados directamente sobre la cinta (sin un escurrer platos) a través de las secciones de prelavado, lavado y aclarado. Más anchas y largas que los transportadores de cestas, estas máquinas constan de varias secciones y pueden tener varios depósitos con entradas de agua individuales. Algunos tipos de cinta tienen la opción de una sección de secado con soplador calefactor que seca los productos después del aclarado final.

FSTC - Centro Tecnológico de Servicios Alimentarios.

HCF (o CCF) - Cien pies cúbicos; 1 HCF = 748 galones de agua.

Calentadores de agua con bomba de calor (HPWH) - Los calentadores de agua con bomba de calor utilizan un ciclo de bomba de calor para absorber energía de bajo grado del aire exterior (“fuente de aire”) o de un circuito de agua acoplado a tierra (“fuente de agua”) y transferir esa energía para calentar el agua entrante. Mientras que los calentadores de agua con bomba de calor eléctrica accionan un compresor de refrigerante con electricidad, los calentadores de agua con bomba de calor de absorción de gas se dividen en tres categorías principales: (1) los calentadores de agua con bomba de calor de gas accionados por motor accionan el compresor de refrigerante mecánicamente, (2) los calentadores de agua con bomba de calor de gas de sorción utilizan un fluido o material secundario (absorbente) y

aumentan la presión del refrigerante con el calor aplicado, y (3) los calentadores de agua con bomba de calor de gas de compresión térmica son una categoría emergente que emplea un motor de tipo Stirling.

kWh o kilovatio-hora - Unidad de energía, comúnmente utilizada como medida de energía eléctrica. Se expresa como el producto de la potencia en kilovatios multiplicada por el tiempo en horas.

A Calentadores de agua en el punto de uso (POU) - Un pequeño calentador de agua sin depósito que suministra agua caliente a un solo aparato. Los calentadores de agua POU suelen instalarse lo más cerca posible del aparato para proporcionar agua caliente instantánea.

Válvula de rociado de preenjuague (PRSV) - Las válvulas de rociado de preenjuague (o “boquillas”) son simples cabezales de rociado conectados a una válvula manual accionada por un miembro del personal. Los restos de comida se rocían del plato al fregadero antes de ser cargados en una máquina lavavajillas o en un fregadero de tres compartimentos. Las PRSV se caracterizan por el flujo o caudal de agua y la fuerza de pulverización; un menor flujo de agua y una mayor fuerza de pulverización se asocian a una mayor eficacia de “limpieza”. Los flujos suelen oscilar entre 0.65 y 4 galones por minuto (gpm); sin embargo, una normativa del Departamento de Energía (DOE) de 2018 limita el caudal máximo de las válvulas de rociado de preenjuague a 1,2 gpm. Las PRSV están diseñadas para proporcionar la máxima presión de limpieza minimizando el consumo de agua.

PSI - Libras por pulgada cuadrada.

Máquinas de vajilla de cinta transportadora - Máquinas que utilizan una cinta transportadora para alimentar pilas de vajilla a través de secciones separadas de lavado y aclarado. Las máquinas de cinta transportadora de 44” de longitud son el segmento más popular, mientras que las versiones de 60” añaden una sección de prelavado antes de la sección de lavado y las máquinas de 80” añaden una sección de enjuagado auxiliar. Cada sección está separada por cortinas. Los depósitos de lavado de las cintas transportadoras suelen tener entre 15 y 25 galones, mientras que las secciones de prelavado y enjuagado auxiliar añaden entre 5 y 10 galones más.

Bomba de recirculación - Dispositivo que hace circular agua caliente por todo el sistema de distribución para mantener el agua caliente fácilmente disponible en equipos y accesorios. Las bombas de recirculación deben instalarse con un controlador de demanda y sensores (temperatura, ocupación) que hagan funcionar la bomba solo cuando se necesite agua caliente.

Valor R - Medida de la resistencia térmica. Cuanto mayor sea el valor R, mayor será la eficacia del aislamiento.

Tasa de recuperación - El número de galones de agua que un calentador de agua de almacenamiento puede llevar a la temperatura por hora; es una función de aumento de la temperatura (temperatura de salida menos la temperatura de entrada).

Recogedores de restos - Una fuente de agua que se utiliza para eliminar rápidamente los restos de comida de las vajillas en un gran pozo profundo. Comúnmente conocidos como “rascadores”, los recolectores de restos suelen encontrarse en las grandes cocinas institucionales. Los platos se colocan debajo de la fuente y los restos caen por el desagüe, que puede tener una cesta perforada o un triturador/desechador. La fuente rascadora se abastece tanto de agua fresca como de agua recirculada. El suministro continuo de agua fresca suele ser de 2 gpm, mientras que el caudal de agua recirculada es de unos 18 gpm de media.

Recogedores de residuos con cubetas - Una recipiente o cubeta poco profundo a través del cual fluye agua para eliminar los residuos de la vajilla. El flujo de agua es proporcionado por múltiples boquillas con un flujo total de alrededor de 70 gpm (fresca + recirculada) cuando se combina con un rascador. La cubeta puede ser utilizada por varias personas simultáneamente, ya que los platos se colocan en la cubeta y se limpian a medida que el agua fluye sobre ellos. El canal normalmente desemboca en un recolector de residuos en su extremo.

Calentadores de agua sin tanque/deposito - También conocidos como calentadores de agua a demanda o instantáneos, los calentadores de agua sin depósito o tanque calientan el agua instantáneamente sin utilizar un depósito de almacenamiento.

Calentadores de agua tipo depósito o tanque - También llamados calentadores de agua de almacenamiento, estos calentadores almacenan agua caliente en un depósito para utilizarla en cualquier momento. El agua fría ingresa al tanque por la parte inferior, donde se calienta para reemplazar el agua caliente que se usaba anteriormente. Los calentadores de agua tipo tanque a gas cuentan con un quemador en el fondo del tanque y un conducto de humos central. Los calentadores de agua eléctricos disponen de elementos en el interior del depósito para calentar el agua.

Therm - Unidad de energía térmica que se utiliza para convertir un volumen de gas en su equivalente térmico para calcular el consumo real de energía; 1 Therm = 100.000 Btu.

Eficiencia térmica - Medida de rendimiento de un calentador de agua expresada como porcentaje de la producción de calor (energía) dividida por la entrada de calor (energía).

Fregadero de tres compartimentos - Cada uno de los tres compartimentos de estos fregaderos se utiliza para un fin distinto: (1) Lavar, (2) Enjuagar y (3) Desinfectar. Se añade un producto químico a cada compartimento para el proceso de limpieza. Estos fregaderos normalmente se operan a mano, y a menudo, se usan para remojar ollas y sartenes antes de desinfectarlas.

Rama, ramitas y tronco -componentes de las tuberías del sistema de distribución. Los ramales abastecen a una instalación de agua; las ramitas abastecen a dos o más ramales; los troncos abastecen a dos o más ramales y pueden estar conectados a una línea de retorno que vuelve al calentador de agua.

Lavavajillas bajo encimera - De tamaño similar a los lavavajillas domésticos, el lavavajillas bajo encimera se utilizan principalmente para lavar cristalería. El lavavajillas bajo encimera tienen capacidad para una cesta de vajilla. Estas máquinas tienen una capacidad de depósito de 3 a 5 galones.

Referencias

A Noisy Planet. 2019. "Noise Levels in Restaurants." US Department of Health & Human Services. 05 28. <https://www.noisyplanet.nidcd.nih.gov/have-you-heard/noise-levels-restaurants#:~:text=According%20to%20Restaurant%20Briefing%2C%20reviewers%20have%20noted%20noise,more%20difficult%20and%20put%20diners%E2%80%99%20hearing%20at%20risk.>

Ali Rahmatmand et al. 2020. "Energy and thermal comfort performance evaluation of thermostatic and electronic mixing valves used to provide domestic hot water of buildings." *Energy and Buildings Journal*. 04 01. Accessed 01 08, 2023. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0378778819332426?via%3Dihub>.

Ali Rahmatmand et al. 2019. "Flowmix Performance Compared to a TMV." *Flowmix*. 05 12. Accessed 01 07, 2023. https://flowmix.ca/wp-content/uploads/2020/12/3.Flowmix-performance-report_White-paper-UofT.pdf.

CCDEH. 2020. Guidelines for Sizing Water Heaters. 02 01. Accessed 07 17, 2023. https://www.ocohealthinfo.com/sites/hca/files/2021-06/Water_Heater_Guidelines_Updated_2-6-2020.pdf.

Contractor. 2010. Armstrong receives ASPE industry innovation award. 11 16. Accessed 07 18, 2023. <https://www.contractormag.com/bath-kitchen/lavs/article/20877716/armstrong-receives-aspe-industry-innovation-award>.

Dean, J. Honnekeri, A. Barker, G. 2018. "High-Performance Circulator Pump Demonstration." GSA. 09 01. Accessed 05 22, 2023. https://www.gsa.gov/cdnstatic/NREL_Small_Circulator_Pumps__09-2018.pdf.

Delagah, A., and D. Fisher. 2009. *Energy Efficiency Potential of Gas-Fired Commercial Water Heating Equipment in Foodservice Facilities*. Sacramento, CA: California Energy Commission.

Delagah, A., Fisher, D., 2010. *Characterizing the Energy Efficiency Potential of Gas-Fired Commercial Water Heating Equipment in Foodservice Facilities*. California Energy Commission, PIER Energy Technologies Program. CEC 500-2013-050. October. <http://www.energy.ca.gov/2013publications/CEC-500-2013-050/CEC-500-2013-050.pdf>.

Delagah, Amin, Angelo Karas. Frontier Energy, Inc. 2018. *Pre-Rinse Operations Field Evaluation Report*. Los Angeles, CA: The Metropolitan Water District of Southern California. Frontier Energy Report Number 50136-R0. <http://www.bewaterwise.com/assets/2015icp-profrierenergy.pdf>

Delagah, Amin, Angelo Karas, Slater, Michael, Eddie Huestis. Frontier Energy, Inc., 2018. *Demonstration of High-Efficiency Hot Water Systems in Commercial Foodservice*. California Energy Commission. Publication Number: CEC-PIR-14-006

Ecotope. 2023. "Ecosizer Software Program." Accessed 06 06, 2023. <https://ecosizer.ecotope.com/sizer/>.

ETCC. 2021. *Integrated Gas-Fired Heat Pumps for Homes and Buisnesses*. 06 24. Accessed 07 17, 2023. https://www.etcc-ca.com/sites/default/files/u2292/etcc_webinar_gti-cec_ghp_demo_projects_draft_2021-06-24_v2_clean_version.pdf.

Frontier Energy. 2018. *High Efficiency Hot Water Systems*. Accessed 07 18, 2023. <https://fishnick.com/>

cecwater/The_Counter_Case_Study_Final.pdf.

GSA. 2018. "SMALL CIRCULATOR PUMPS WITH AUTOMATED CONTROL." GSA. 09 01. Accessed 05 29, 2023. https://www.gsa.gov/cdnstatic/GPG_Findings_035-Small_Circulator_Pumps_with_Automated_Control.pdf.

HD Supply. 2023. NOx Emissions Standards for Water Heaters. 07 17. Accessed 07 17, 2023. https://hdsupplysolutions.com/s/water_heater_lowNOx.

IAPMO. 2022. California Plumbing Code. Assessed 12 07, 2023. <https://epubs.iapmo.org/2022/CPC/>

NEEA. 2022. HPWH Installation Best Practices Guide. Accessed 07 17, 2023. <https://hotwatersolutionsnw.org/assets/documents/uploads/hws-installation-best-practices-guide.pdf>.

PG&E. 2023. Assessed 12 07, 2023. <https://www.pge.com/tariffs/rateinfo.shtml>

Putnam, Steve. 2017. "High Performance Circulator Pump Workpaper." California Technical Forum. 02 23. Accessed 05 29, 2023. https://static1.squarespace.com/static/53c96e16e4b003bdba4f4fee/t/58ae00e6440243039be6f55f/1487798504439/Cal-TF-HPCP+Workpaper_220217.pdf.

SCAQMD. 2023. Proposed Amended Rule 1146.2 Working Group Meeting #2 Presentation. 06 02. Accessed 07 17, 2023. <http://www.aqmd.gov/home/rules-compliance/rules/scaqmd-rule-book/proposed-rules/rule-1146-2>.

SKIL. 2023. "How to Insulate Pipes." SKIL. 07 11. Accessed 07 11, 2023. <https://www.skil.hr/step-by-step/how-to-insulate-pipes.html>.

Slater, M., Delagah, A., Karas, A., Davis, R. 2017. Energy Efficient Flight Conveyor Dishwashers. San Francisco, CA: Pacific Gas and Electric Company, Emerging Technologies Program. Emerging Technologies Report Number ET16PGE1971.

96/00806 2015, ASHRAE Handbook, HVAC Applications. Service Water Heating, 2014, pp. 50.1-50.53, doi: 10.1016/0140-6701(15)86948-7.

TRC. 2023. Cold Water Pipe Insulation. Davis, 07 06.

TRC. 2019. Commercial ZNE Market Characterization - -Final Report. San Francisco: Pacific Gas and Electric Company and Joint Investor Owned Utilities. https://www.calmac.org/publications/IOU_-_TRC_Comm_ZNE_Mkt_Char_Final.pdf.

Walraven. 2023. "An overview of insulated pipes supports." Walraven. 07 11. Accessed 07 11, 2023. <https://www.walraven.com/en/technical-information/insulated-pipe-supports/>.