

Medición de la eficiencia eléctrica para centros de datos

White Paper 154

Revisión 2

Por Neil Rasmussen

> Resumen Ejecutivo

La eficiencia eléctrica de un centro de datos rara vez se planifica o administra. Desafortunadamente, esto hace que la mayoría de los centros de datos desperdicien cantidades considerables de electricidad. En la actualidad, planificar, medir y mejorar la eficiencia del centro de datos no solo es posible, sino también una decisión prudente. Además de reducir el consumo de energía eléctrica, las mejoras en los niveles de eficiencia pueden brindar a los usuarios una densidad de alimentación de los equipos informáticos más alta y la posibilidad de instalar más equipos informáticos en una instalación determinada. En este informe se explica cómo medir, evaluar y modelar la eficiencia eléctrica de los centros de datos y se comparan los beneficios de las evaluaciones periódicas con el monitoreo continuo.

Contenido

haga clic en una sección para saltar a ella

Introducción	2
Una descripción detallada de los centros de datos	3
Factores que influyen en la eficiencia	7
Elaboración de modelos de eficiencia de los centros de datos	10
Preparación de un plan de medición de eficiencia	13
Instrumentación para la medición de eficiencia	16
Conclusión	20
Recursos	22

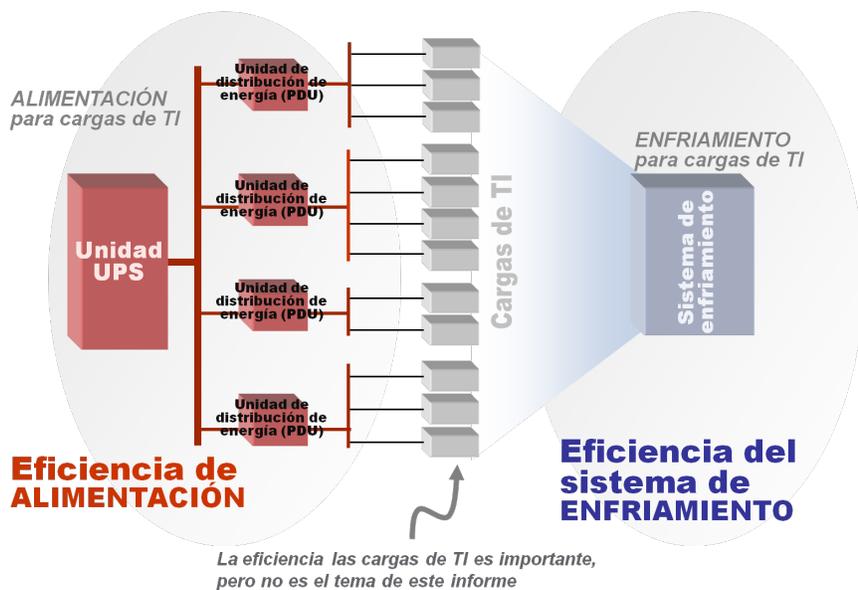
Introducción

En el entorno actual, es buena política pública y buena práctica de negocios considerar las distintas opciones para controlar el consumo de energía del centro de datos. Un centro de datos de alta disponibilidad de 1 MW puede consumir US\$20.000.000 en electricidad durante su vida útil. Los últimos artículos sugieren que, para algunos clientes, el costo de electricidad es mayor que el costo del hardware. Varias empresas están empezando a considerar el consumo de carbono de sus operaciones en curso y a darse cuenta de que los centros de datos contribuyen significativamente al impacto ambiental negativo del negocio y de la industria. Las investigaciones realizadas por Schneider Electric, entre otros, demuestran que la eficiencia varía en gran medida entre centros de datos similares, y lo que es más significativo aún, las eficiencias reales de las instalaciones existentes están muy por debajo de los mejores valores prácticos alcanzables.

En este informe, nos concentraremos en el consumo de energía y la eficiencia de la infraestructura de alimentación y enfriamiento del centro de datos, que consume el 50% o más de la energía eléctrica de una instalación típica. Si bien el consumo de energía y la eficiencia de los equipos informáticos reales que reciben suministro de la infraestructura de alimentación y enfriamiento son aspectos de suma importancia para el uso general de energía, escapan al tema central de este informe (**Figura 1**).

Figura 1

La eficiencia de alimentación y enfriamiento es el tema de este informe



No se puede controlar lo que no se puede medir. El primer problema que enfrentan los usuarios es que no cuentan con datos relativos al rendimiento de sus establecimientos. Además, incluso si cuentan con estos datos, no saben cómo evaluarlos. No saben cómo comparar su rendimiento con la eficiencia de otros establecimientos similares o qué parámetros tomar. Ni siquiera saben cómo comparar los datos reales con el rendimiento de diseño que deberían tener sus establecimientos.

La mayoría de los operadores de centros de datos no tienen datos sobre la eficiencia, y aún cuando si los tuviesen, no sabrían cómo actuar en consecuencia. Para solucionar estos problemas, se necesita:

- Un lenguaje estándar para **describir** la eficiencia del centro de datos
- Un método estándar para **medir** la eficiencia del centro de datos
- Un método estándar para **especificar** la eficiencia del centro de datos

- Un método estándar para **analizar** la eficiencia del centro de datos y determinar qué factores contribuyen a la ineficiencia
- **Datos de referencia** relacionados con la eficiencia
- **Herramientas** de modelado de la eficiencia para evaluar mejoras propuestas o diseños alternativos

Por suerte, no existen limitaciones prácticas o técnicas fundamentales para cumplir con estos objetivos. De hecho, en este informe se afirma que los operadores de centros de datos nuevos y existentes deben considerar la administración de la eficiencia como una de sus mayores prioridades. Este informe aborda todos los puntos anteriores excepto el tercero, **especificación** de la eficiencia de los centros de datos.

Una descripción detallada de los centros de datos

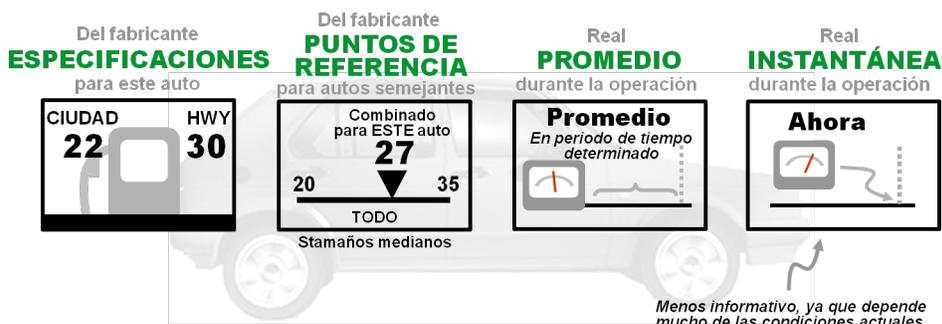
Para comprender este concepto, resulta útil comparar la eficiencia eléctrica de un centro de datos con el consumo de combustible de un automóvil (millas por galón o kilómetros por litro). Cuando hablamos del consumo de combustible de un automóvil en particular, nos referimos a cuatro conceptos básicos (**Figura 2**):

- La **especificación** del consumo de combustible del automóvil que establece el fabricante (por ejemplo, “30 Millas por Galón en ruta / 22 Millas por Galón en ciudad”);
- Los **parámetros** del consumo de combustible de vehículos similares
- El consumo **promedio** de combustible que tendríamos al conducir
- El consumo de combustible **instantáneo** que tenemos en este preciso momento

Estos mismos cuatro conceptos clave relacionados con la eficiencia se aplican también a los centros de datos, y es muy importante articularlos y desglosarlos en nuestra exposición.

Figura 2

Cuatro mediciones de eficiencia con el consumo de combustible de un automóvil como ejemplo



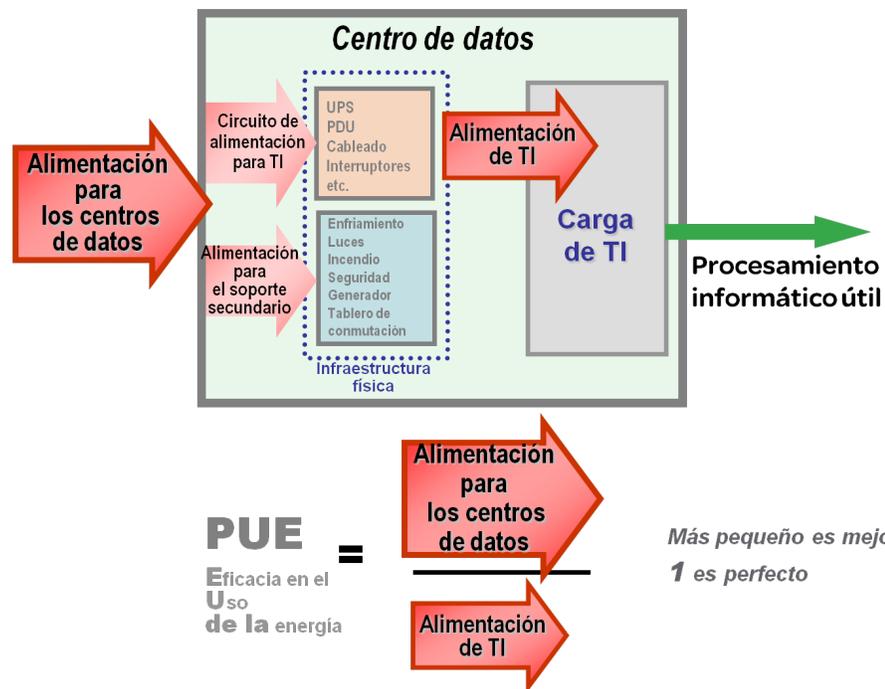
De todas las medidas de consumo de combustible del automóvil, el consumo instantáneo de combustible que tenemos en este preciso momento es la cifra de menos utilidad, ya que depende en gran medida de las condiciones actuales en las que se está conduciendo (cuesta arriba o cuesta abajo, acelerando, detenido en una señal de tránsito, desplazándose en punto muerto, acarreando un remolque, etc.). De la misma manera, tomar una única medición de eficiencia de un centro de datos es una descripción insuficiente de la eficiencia del centro de datos. **Es de suma importancia comprender que, sin información adicional, la simple “medición” de la eficiencia de un centro de datos específico no nos permite llegar a ninguna conclusión ni tomar ninguna medida.**

La analogía del automóvil sirve para entender que las mediciones de eficiencia adquieren sentido solo cuando se interpretan dentro de un marco de especificaciones previstas, parámetros de la industria, condiciones operativas definidas y promedios de tiempo.

La métrica PUE

En este documento, usaremos la eficacia en el uso de la energía (PUE) como métrica para eficiencia de infraestructura física del centro de datos. PUE se expresa como proporción de la potencia de entrada del centro de datos total con la potencia de carga informática. PUE menor significa que se consume menos energía “en general” al brindar potencia a la carga de TI, lo cual significa mayor eficiencia para el centro de datos. Un PUE de 1 indica la ausencia de “sobrecarga” de energía y eficiencia perfecta, lo cual significa que solo la energía necesaria para *sostener* la carga de TI es realmente *consumida* por la carga de TI.

Si el centro de datos tuviera una eficiencia perfecta, toda la potencia suministrada al centro de datos llegaría a las cargas informáticas; este es el caso ideal. En la realidad, la energía eléctrica se consume de diversas formas además de las cargas informáticas: por ejemplo, transformadores, unidades UPS, cableados de distribución, ventiladores, equipos de aire acondicionado, bombas, humidificadores y dispositivos de iluminación. Algunos de estos dispositivos, como los sistemas UPS y los transformadores, están en el circuito de alimentación que brinda alimentación a las cargas de TI. Otros dispositivos, como los de enfriamiento e iluminación, brindan soporte y protección secundaria, pero no suministran energía a las cargas de TI. (Figura 3).



Enlace al **White Paper 113**
 Elaboración de modelos de eficiencia eléctrica de los centros de datos

Cabe mencionar que, en la **Figura 3**, la única energía que “importa”, en lo que concierne a la eficiencia PUE, es la que alimenta a las cargas informáticas. Toda la demás energía, considerada desperdicio, o “pérdida”, en este análisis, incluye el calor proveniente de la ineficiencia de los dispositivos en el circuito de alimentación, más TODA la energía consumida por la infraestructura secundaria, áreas válidas donde mejorar la eficiencia, ya sea a partir de mejoras en el diseño de dispositivos, como de tecnologías completamente nuevas como el enfoque “free cooling” (aprovechamiento de aire exterior). Para obtener más información sobre esta distinción entre energía “útil” y otra “energía” (desperdicio) consulte el Informe técnico n.º 113, *Elaboración de modelos de eficiencia eléctrica de los centros de datos*.

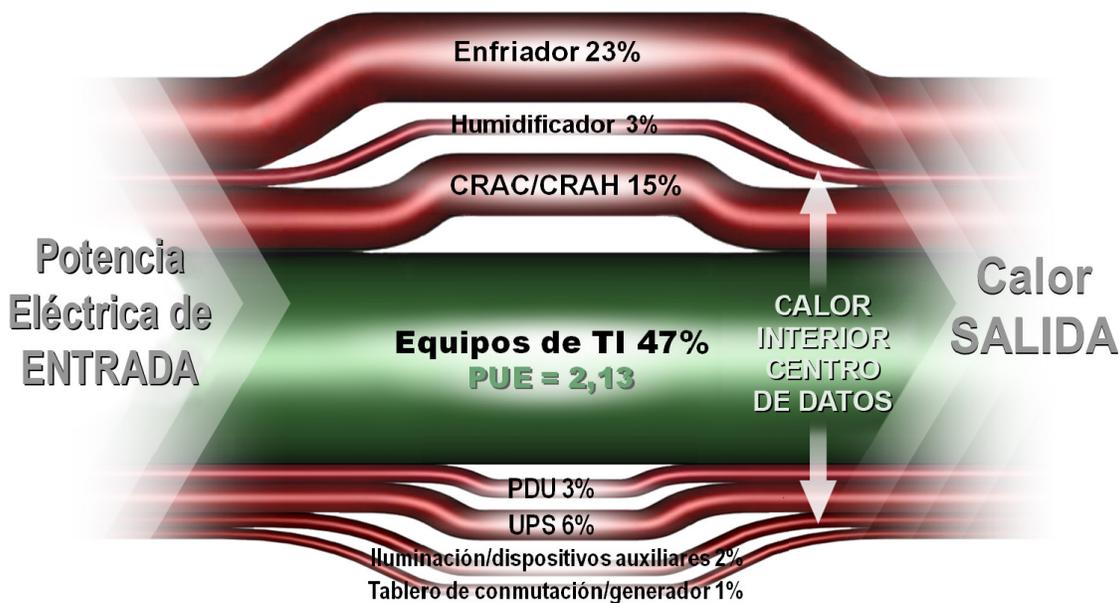
¿Adónde va la “otra” energía?

Si la energía “útil” del centro de datos (el denominador en el PUE) es la energía que alimenta las cargas informáticas, ¿dónde va el resto de la energía? En la **Figura 4** se muestra por dónde circula la energía en un centro de datos típico. Cabe destacar que casi toda la energía eléctrica que alimenta el centro de datos termina convirtiéndose en calor.

El centro de datos representado en esta figura es un típico centro de datos de circuito doble y alta disponibilidad con unidades CRAC con redundancia N+1, que funcionan con una carga típica del 30% de la capacidad proyectada.

Figura 4

Flujo de energía en un centro de datos típico



> ¿Y la eficiencia de las cargas informáticas?

El suministro de alimentación y enfriamiento a las cargas de TI es el “trabajo” de la infraestructura física del centro de datos, el éxito se mide de acuerdo con la cantidad mínima de energía que se utiliza en el proceso de suministro de esa alimentación y ese enfriamiento, esto es lo que mide el PUE.

La eficiencia **general** de todo el centro de datos también dependerá de la eficiencia de las cargas informáticas para cumplir con su PROPIO trabajo útil, con un consumo mínimo de energía y una generación mínima de calor (pérdida). La eficiencia del centro de datos general será una combinación de eficiencia de infraestructura física (el tema de este informe) y la eficiencia de TI (procesamiento útil por vatio de TI consumido).

Las mejoras de la administración de alimentación de los dispositivos informáticos, además de las mejoras de eficiencia del software como la virtualización, son elementos clave para aumentar el trabajo útil generado por cada vatio consumido en los equipos informáticos. Estas mejoras importantes complementan y multiplican cualquier mejora del PUE, pero no son tema de este informe.

Cualquier estrategia para reducir el impacto ambiental de los centros de datos debe centrarse en mejorar la eficiencia PUE y de la TI.

Tenga en cuenta que menos de la mitad de la energía eléctrica que alimenta este centro de datos se dirige a las cargas de TI. Con el 47% de la alimentación de entrada suministrada a la carga de TI, el centro de datos de la **Figura 4** opera en un PUE de 2.13.

Datos sobre la eficiencia de los dispositivos

Los fabricantes proporcionan datos sobre la eficiencia de los equipos de potencia y enfriamiento. Para los equipos de alimentación, la eficiencia suele estar expresada en porcentaje. La eficiencia de los equipos de enfriamiento está expresada de diversas formas, por lo general como coeficiente de rendimiento (COP) para las bombas de calor, es decir, la proporción entre el calor extraído (en kW) y el consumo de energía eléctrica (en kW); en KW/ton para los enfriadores; y como factor de eficiencia energética (EER) para los sistemas de montaje externo. Estas métricas para enfriamiento son muy similares y pueden convertirse de una a otra. Sin embargo, no brindan datos completos sobre la eficiencia porque sus valores publicados se calculan a partir de un único punto de temperatura y humedad estándar. La eficiencia real del equipo variará según el valor publicado debido a las condiciones experimentadas durante el año. Más adelante, este informe estudia en mayor detalle el efecto que tienen las condiciones del exterior sobre la eficiencia.

La alimentación de la iluminación se expresa como una pérdida constante simple: si se considera la eficiencia del centro de datos, una lámpara de 60 vatios tiene una eficiencia del 0% porque genera 60 vatios de calor y no brinda alimentación a la carga informática.

Promedio de mediciones de eficiencia

Muchos dispositivos relacionados con el enfriamiento de los centros de datos tienen ciclos de encendido y apagado durante el transcurso del tiempo, como por ejemplo los humidificadores, algunos tipos de unidades CRAC, las bombas de condensado, algunos tipos de plantas de agua helada (chillers), los ventiladores de dry-coolers y los ventiladores de aire fresco. Esto provoca que varíen las mediciones instantáneas del **consumo de energía** del centro de datos, incluso cuando la carga informática es constante. Por lo tanto, este comportamiento cíclico ocasiona que la **eficiencia** instantánea varíe con el transcurso del tiempo.

El consumo de energía de un centro de datos durante cierto período se calcula a partir del **promedio** de la eficiencia del centro de datos en ese período. Por consiguiente, cuando hablamos de la eficiencia de la infraestructura física de centros de datos, o PUE, en realidad nos interesa la eficiencia promedio durante un determinado período. La duración de los ciclos de la mayoría de los dispositivos del centro de datos que tienen un comportamiento cíclico suele ser de alrededor de diez minutos, de modo que el período más corto utilizado para sacar el promedio que aporta información útil es el de aproximadamente una hora. **En este informe, cuando hablamos de eficiencia PUE instantánea, en realidad nos referimos al valor promedio basado en un período de una hora de funcionamiento.**

Existen buenas razones para considerar también otros períodos para sacar el promedio para PUE. Por ejemplo, debido a distintas variaciones estacionales de la eficiencia, el *valor promedio anual* es útil para calcular el costo de energía. Para distintas aplicaciones, los promedios diario, semanal y mensual también son de utilidad. Nos referiremos a estos promedios como valores PUE diarios, semanales, mensuales y anuales. Las publicaciones más conocidas sobre la eficiencia de centros de datos, ya sea que utilicen el valor PUE o alguna otra medición, no identifican ni cuantifican el período para calcular el promedio. Esto genera una ambigüedad importante. El análisis del uso común de las mediciones de eficiencia sugiere que la eficiencia PUE anual es la métrica deseada porque es la más fácil de relacionar con el consumo de energía promedio durante la vida útil del centro de datos.

Desafortunadamente, la mayoría de las veces, la eficiencia PUE instantánea NO es igual al valor PUE anual, y en realidad tampoco es igual al PUE diario, semanal ni mensual. En cualquier momento, un centro de datos tiene un único valor como medición de eficiencia instantánea, el cual es el resultado de las características inherentes al consumo de energía de los sistemas de alimentación, enfriamiento e iluminación y el valor de la carga informática de ese momento. Sin embargo, la eficiencia variará con el transcurso del tiempo porque la carga informática y las condiciones del exterior también varían con el tiempo y, asimismo, el modo de enfriamiento del centro de datos también puede cambiar con el transcurso del tiempo. Todos estos factores afectan la eficiencia del centro de datos y, como resultado, esta se ve modificada constantemente. Cualquier medición particular de la eficiencia del centro de datos en un momento dado es tan solo una “foto instantánea” y no puede utilizarse para predecir el rendimiento futuro. **Las mediciones individuales de la eficiencia del centro de datos son, en esencia, imprecisas y no es posible usarlas para establecer parámetros ni administrar la eficiencia.**

“ Las publicaciones más conocidas sobre la eficiencia de centros de datos no identifican ni cuantifican el período para calcular el promedio.”

Para determinar cómo medir la eficiencia del centro de datos, es preciso entender cómo las condiciones generales afectan la eficiencia.

Factores que influyen en la eficiencia

Diversas variables en el entorno del centro de datos tienen un impacto significativo en la eficiencia. Estas variables incluyen el efecto de la carga de TI, las condiciones exteriores y la configuración del usuario y la configuración del equipo.

Efecto de la carga informática sobre la eficiencia

El hecho de que las condiciones del centro de datos cambien con el transcurso del tiempo hace que cambie también su eficiencia. Una de las condiciones más importantes que varía con el tiempo es la carga informática. Las características de administración de energía de los equipos informáticos de las últimas generaciones pueden modificar la carga informática momento a momento, mientras que, cuando el operador del centro de datos extrae y agrega equipos informáticos, se provocan cambios sobre la carga informática a plazos más largos.

La **Figura 5** muestra cómo la eficiencia de un centro de datos típico varía con la carga informática.

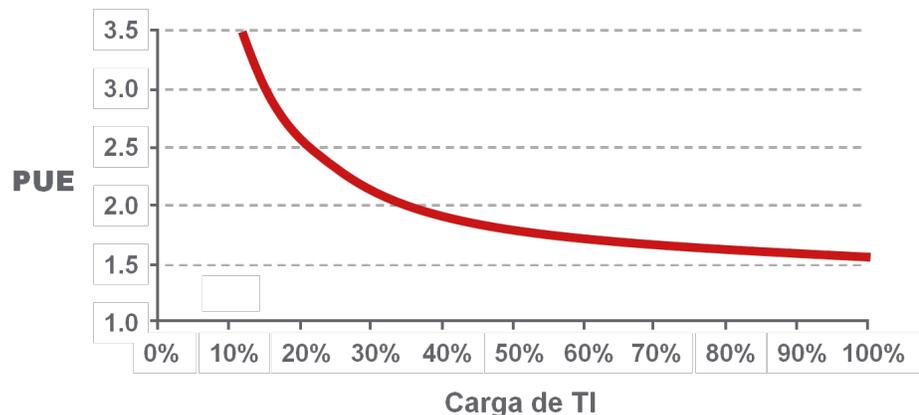


Figura 5

PUE siempre es una función de carga de TI, la eficiencia se reduce a menores cargas

Una instalación fija de equipos de alimentación y enfriamiento de un centro de datos tiene una curva PUE con la forma que se muestra en la **Figura 5** con menor eficiencia a menores cargas. A partir de esta curva, podemos decir que la eficiencia varía considerablemente con la carga.

Si la carga informática varía en el curso del día debido a cambios en la carga de trabajo de procesamiento de datos, del gráfico se desprende que podemos esperar una variación de la eficiencia PUE instantánea durante el curso del día. Esto significa que la eficiencia PUE instantánea no sería igual a la eficiencia PUE diaria. Si las cargas de trabajo de TI durante el fin de semana son diferentes a las cargas de trabajo de TI de los días laborables, entonces obtendríamos mediciones de eficiencia PUE diaria por lo general distintas a la eficiencia PUE semanal. Estas variaciones tienen consecuencias importantes sobre la forma en que se mide la eficiencia y se interpretan las mediciones, tal como se verá más adelante.

La variación de la eficiencia PUE de acuerdo con la carga tiene otro efecto importante en la interpretación de los datos sobre la eficiencia. Comparemos dos centros de datos. Suponga que el centro de datos **A** tiene una medición PUE de 2.0, mientras que el centro de datos **B** tiene una medición de 1.7. El centro de datos B parece tener la mejor medición de eficiencia, de modo que parece razonable suponer que es un centro de datos más ecológico, con un diseño fundamentalmente superior. Ahora bien, consideremos una visión más detallada de los dos centros de datos, tal como lo muestra la **Figura 6**.

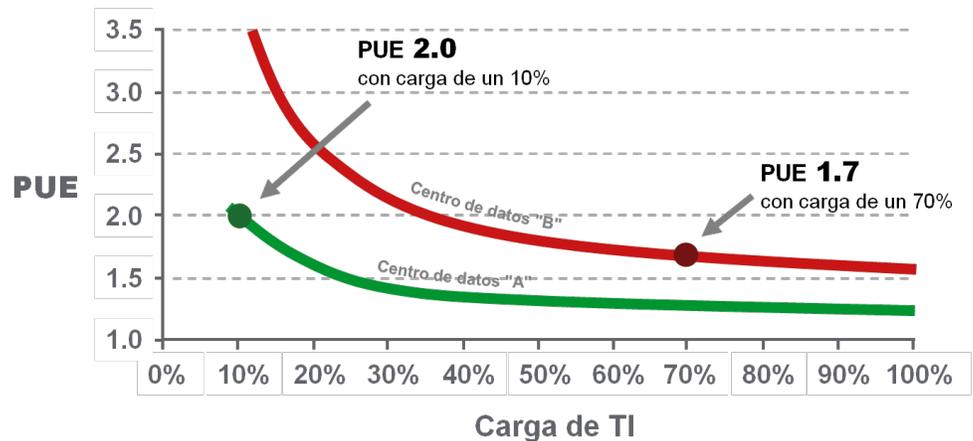
La **Figura 6** muestra que el centro de datos **A**, si bien tiene una eficiencia menor en el momento de medición, tiene una curva de eficiencia general superior que la del centro de

datos **B**. Desde el punto de vista de la especificación, es probable que el centro de datos **A** utilice equipos de alimentación y enfriamiento de una eficiencia mucho más alta y un diseño de circulación de aire optimizado. De todos modos, como su porcentaje de carga informática es menor que el del centro de datos **B**, opera en un punto de mayor ineficiencia en su curva de eficiencia.

De los dos diseños de la **Figura 6**, ¿cuál es el mejor? Un ingeniero diría que la eficiencia de diseño inherente del centro de datos "A" lo hace superior. Sin embargo, un empresario diría que la planificación del dimensionamiento del centro de datos fue deficiente, lo que invalida todas las ventajas técnicas de eficiencia. La determinación de qué "diseño" es el mejor depende de la decisión de incluir o no al dimensionamiento adecuado como parte del diseño.

Figura 6

Comparación de las curvas PUE para dos centros de datos diferentes



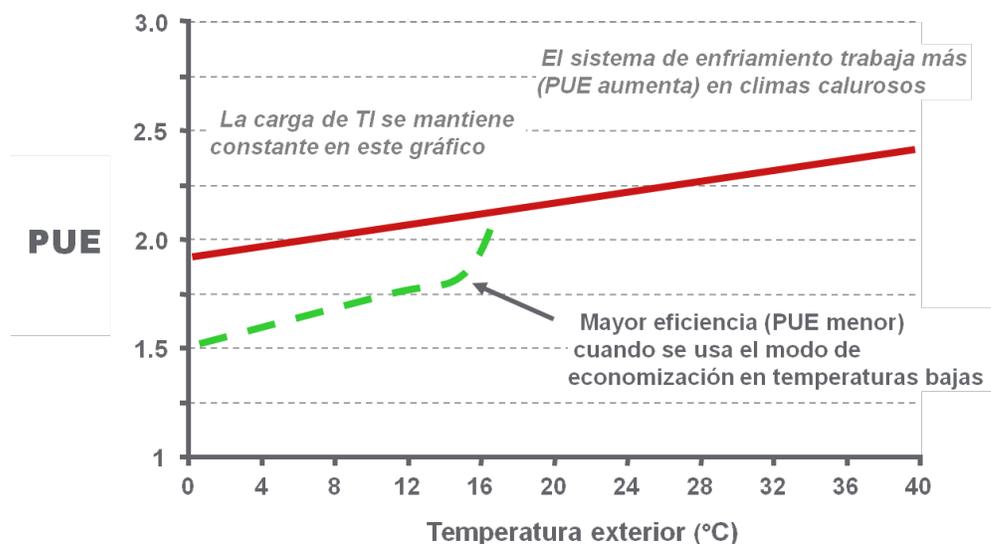
Efecto de las condiciones del exterior sobre la eficiencia

Las condiciones del exterior es otro factor que varía con el tiempo y afecta la eficiencia del centro de datos. Si bien diversos factores, como la luz solar, la humedad y la velocidad del viento, pueden afectar la eficiencia, la variable más importante es la temperatura exterior. La **Figura 7** expone cómo la eficiencia de un centro de datos típico varía de acuerdo con la temperatura exterior.¹

¹ Cabe mencionar que la opción adecuada para el eje x puede ser la llamada temperatura de "bulbo húmedo" o "temperatura del punto de condensación", en vez de la temperatura ambiente, dependiendo del tipo de sistema de eliminación de calor utilizado.

Figura 7

PUE como función de temperatura exterior



La eficiencia de un centro de datos típico disminuye en la medida que aumenta la temperatura porque los sistemas de eliminación de calor consumen más energía al procesar el calor del centro de datos, y porque la infiltración del calor exterior hacia el centro de datos es una carga de calor adicional que debe procesarse. La curva punteada de la **Figura 7** muestra el modo en que podría mejorarse la eficiencia a menores temperaturas si el sistema de enfriamiento tiene un modo de funcionamiento de “economización”. Es evidente que la eficiencia varía con la temperatura exterior, en particular si el centro de datos está equipado con sistemas de enfriamiento con modos de economización.

Efecto de la configuración y las preferencias del usuario sobre la eficiencia

Los usuarios pueden tomar diversas medidas para modificar la eficiencia PUE. Pueden modificar los puntos de referencia de la temperatura o la humedad, trasladar o agregar losas perforadas, no limpiar los filtros de aire, etc. Estos efectos son altamente variables y dependen del diseño exacto de los sistemas de alimentación y enfriamiento. A los fines del análisis de este informe, estas “preferencias” modificables por el usuario se tratarán como atributos del diseño del centro de datos y no, como condiciones variables, tal como lo son la carga informática y las condiciones climáticas. Cuando el usuario cambia estas “configuraciones” –por ejemplo, cuando traslada una losa perforada, cambia un filtro o cambia un punto de referencia de la temperatura–, se dice que el diseño del centro de datos ha sido modificado y que son necesarias nuevas mediciones.

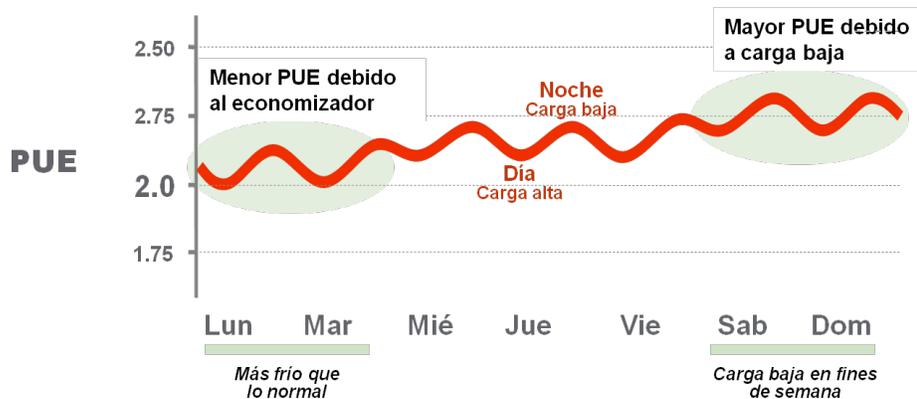
Efecto combinado de las variaciones de condiciones

Ya hemos explicado que en un centro de datos real la eficiencia cambia a medida que cambia la carga informática y la temperatura. En la **Figura 8** se puede observar cómo la eficiencia de un centro de datos podría variar durante una semana como resultado de tres efectos diferentes:

- variación diaria causada por las fluctuaciones diarias de la carga informática y la temperatura exterior;
- variación día a día causada por condiciones climáticas; y
- reducción de la carga informática durante los fines de semana.

Figura 8

Variación de PUE instantáneo durante el curso de una semana



Si bien la variación día a día no es significativa, esta afecta seriamente la utilidad de una medición específica y particular de la eficiencia PUE. Aun cuando se toma una medición específica de eficiencia con la mayor precisión, resulta deficiente la exactitud de la predicción del gasto en energía eléctrica, la medición del efecto de las actividades para mejorar la eficiencia y el análisis de tendencias, debido a la variación esperada de la eficiencia día a día. El uso de una única medición instantánea de la eficiencia PUE, como la que se toma para las auditorías, no es eficaz a la hora de determinar parámetros ni tendencias, ni tampoco brinda la suficiente información sobre oportunidades de mejora de eficiencia como para tomar las decisiones o medidas correspondientes. Afortunadamente, hay una forma de utilizar las mediciones para lograr todos estos objetivos, pero requiere un nuevo modo de pensar sobre el propósito de las mediciones.

Elaboración de modelos de eficiencia de los centros de datos

“ Cuando tomamos una sola medición "instantánea", no podemos elegir: se mide basado en la carga informática actual y en los factores climáticos actuales. ”

Es posible utilizar con eficacia un modelo matemático que represente con precisión el funcionamiento de un centro de datos específico y tome como valores de entrada la carga informática, las estadísticas de las condiciones climáticas exteriores, etc., dentro un programa de administración de energía de centros de datos. A diferencia de las mediciones de un centro de datos real en funcionamiento, que solo brinda datos sobre las condiciones en el momento de la medición, un modelo puede brindar datos sobre todas las condiciones de entrada que se ingresen. Por ejemplo, un modelo podría brindar el valor esperado de la eficiencia de un centro de datos con carga completa, incluso cuando la carga de TI real es una pequeña fracción de la carga nominal. Se pueden ingresar las mismas condiciones de entrada en los modelos de dos centros de datos diferentes, lo que permite realizar comparaciones útiles. Más aún, se puede crear un modelo incluso antes de que se construya el centro de datos y así se podría predecir el rendimiento con anticipación.

En un centro de datos en funcionamiento, no es posible modificar los factores climáticos ni la carga informática para normalizar, o estandarizar, las condiciones. Cuando tomamos una sola medición "instantánea", no podemos elegir: se mide basado en la carga informática actual y los factores climáticos actuales. Un modelo eficaz permite normalizar las mediciones bajo diferentes condiciones y establecer las capacidades fundamentales del rendimiento operativo del centro de datos.

A continuación se presenta una lista de algunos de los beneficios que brinda un modelo matemático y que **no pueden obtenerse** simplemente midiendo y registrando las eficiencias del centro de datos:

- Predecir con precisión y anticipación el rendimiento de la eficiencia del diseño de un centro de datos propuesto.
- Calcular con alto grado de precisión el rendimiento de la eficiencia de un centro de datos en funcionamiento bajo condiciones poco prácticas de medir, como por ejemplo, con cargas informáticas diferentes o bajo condiciones de referencia de la industria.

- Calcular con gran precisión el rendimiento de la eficiencia de un centro de datos en situaciones en que solo se cuenta con información parcial y no es factible medir el consumo de energía de todos los circuitos.
- Calcular con alta precisión la eficiencia del centro de datos bajo diversas condiciones del exterior, y permitir calcular los promedios de eficiencia a lo largo del tiempo.
- Identificar y cuantificar los aportes que realizan a la ineficiencia del centro de datos los distintos dispositivos específicos de los sistemas de alimentación, enfriamiento e iluminación del centro de datos.
- Identificar subsistemas del centro de datos que están funcionando fuera de los parámetros de eficiencia previstos.
- Establecer parámetros y comparaciones entre los modelos de centros de datos diferentes.

Si bien una única medición de la eficiencia del centro de datos en un punto operativo aporta información relevante, no permite tomar medidas ni decisiones informadas sin las capacidades antes enumeradas. Por eso, el modelo matemático es clave para crear un proceso y un sistema de administración de la eficiencia. Es el modelo el que permite la comprensión de las causas de ineficiencia; **por lo tanto, el propósito de las mediciones de eficiencia del centro de datos es establecer los parámetros del modelo de eficiencia.**

En resumen, un objetivo clave de la medición de eficiencia del centro de datos es obtener información que contribuya a la creación de un modelo preciso para ese centro de datos. **Es el modelo el que brinda información útil para tomar medidas y decisiones informadas sobre la eficiencia del centro de datos, no la medición en sí.**

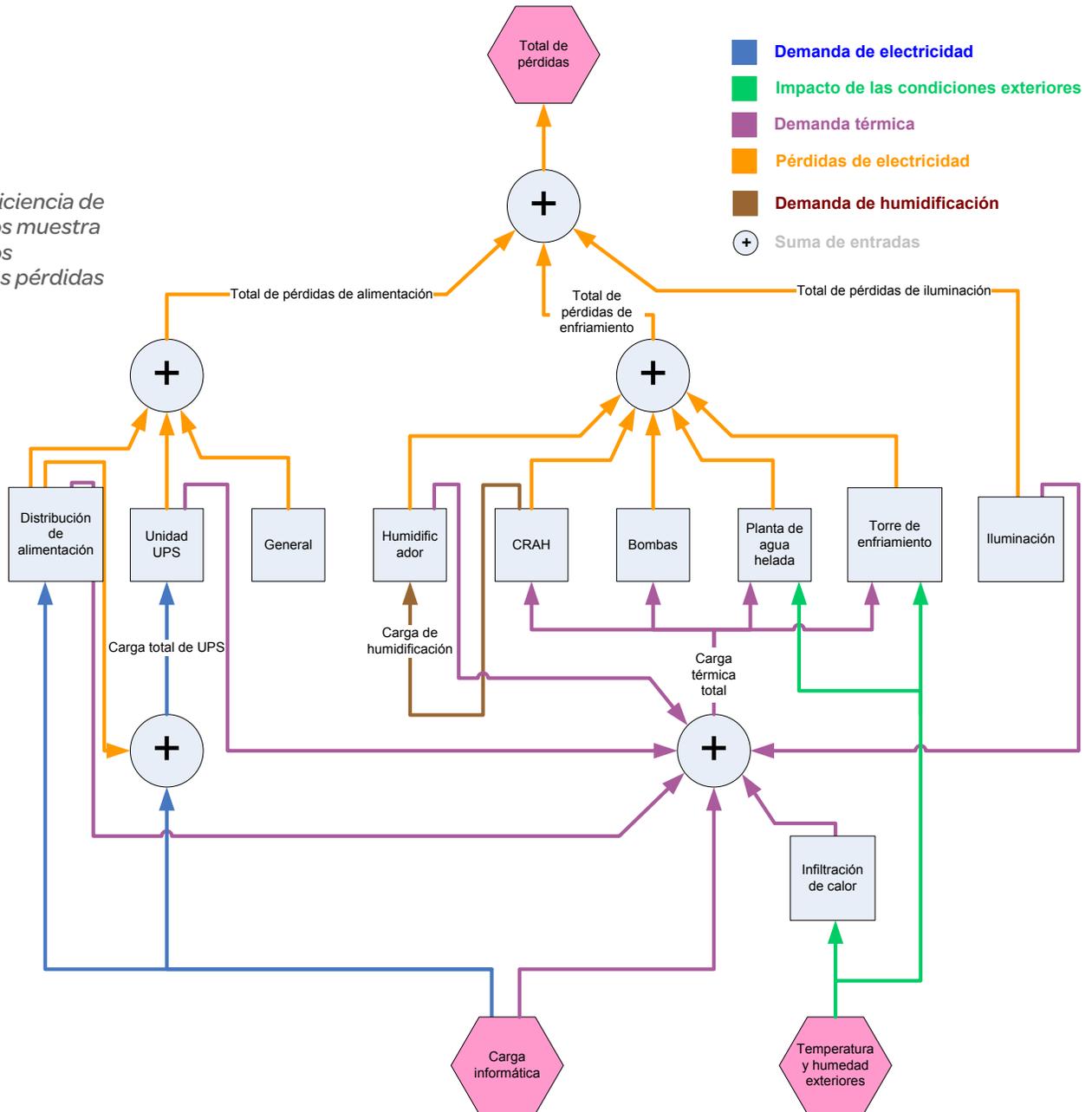
Modelos prácticos de eficiencia de centros de datos

Si bien los beneficios del modelo de eficiencia de los centros de datos son valiosos, se sigue suscitando la duda sobre si es factible y práctico el desarrollo y la realización de un modelo de eficiencia para un centro de datos específico. La respuesta a esta pregunta depende del grado de precisión que se requiera del modelo. Nuestra investigación indica que es perfectamente practicable crear y ejecutar modelos con niveles de precisión suficientes para cumplir con los objetivos de administración de eficiencia descritos en este informe. De hecho, creemos que el desarrollo y la ejecución de modelos de eficiencia será una práctica estándar en los centros de datos en un futuro cercano y que tales modelos se integrarán a las herramientas de software estándar utilizadas para administrar los centros de datos.

La **Figura 9** muestra un diagrama de demanda / pérdida como ejemplo para un modelo de eficiencia práctico de un centro de datos.

Figura 9

El modelo de eficiencia de centros de datos muestra demandas en los dispositivos y las pérdidas resultantes.



Este diagrama muestra cómo el consumo de energía de la infraestructura del centro de datos (pérdidas) está determinado por la **carga de TI** y la **humedad y temperatura exteriores**, lo que genera demandas de energía dentro de los sistemas de alimentación, enfriamiento e iluminación. Cada tipo de dispositivo (UPS, CRAH, etc.) soporta ciertas demandas (por ejemplo, demandas eléctricas y térmicas) y genera consumo de energía (pérdida) de acuerdo con la configuración del dispositivo y sus características de eficiencia inherentes. Entre los elementos de configuración del *sistema* que modifican el modelo de eficiencia, se encuentran factores como los tipos de dispositivos alimentados por la unidad UPS, el tipo de planta de enfriamiento y el uso de modos de economización. El modelo incluye datos climáticos estadísticos para el sitio del cliente. Se presenta una descripción detallada de la teoría, construcción y uso de un modelo de eficiencia de centros de datos en el Informe técnico n.º 113, *Elaboración de modelos de eficiencia eléctrica de los centros de datos*.

Un modelo de eficiencia de centros de datos puede crearse para un centro de datos existente o incluso antes de que este se construya si se conocen el diseño y las

Enlace al [White Paper 113](#)

Elaboración de modelos de eficiencia eléctrica de los centros de datos

características de los dispositivos de alimentación, enfriamiento e iluminación. Si el modelo representa el diseño con precisión, los datos que brinde tendrán la misma precisión. Si bien el rendimiento eléctrico de algunos tipos de dispositivos, tales como de iluminación, unidades UPS y transformadores, es muy constante y predecible, existen muchas incertidumbres con respecto al rendimiento tal como fue diseñado de algunos dispositivos, tales como las bombas y las unidades de aire acondicionado, que disminuyen la precisión del modelo. Es aquí donde las mediciones pueden ser de utilidad.

Preparación de un plan de medición de eficiencia

Las exposiciones anteriores explican la limitada utilidad de confiar únicamente en las mediciones periódicas de la eficiencia del centro de datos, debido a la pobre repetibilidad y la falta de pautas. Sin embargo, las mediciones periódicas pueden ser parte de una estrategia de gestión general que incluye tanto las mediciones iniciales como las continuas. Estos dos tipos de mediciones tienen distintos objetivos:

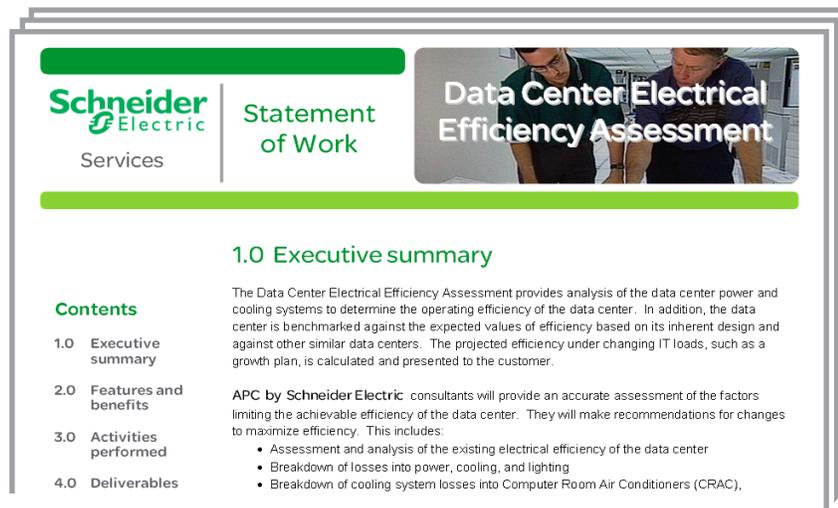
1. Las **mediciones iniciales** se realizan para calibrar el modelo de eficiencia del centro de datos, establecer el rendimiento real y el deseado e identificar oportunidades potenciales para mejorar la eficiencia. Por lo general, las mediciones iniciales requieren mediciones de los subsistemas de alimentación y enfriamiento por separado, además de una medición general de la eficiencia.
2. Las **mediciones continuas** se toman para comparar con respecto al modelo y así emitir alertas por ineficiencias inesperadas y cuantificar las mejoras. Las mediciones continuas se pueden realizar con tomas de muestras periódicas o con lecturas de instrumentación continuas.

Mediciones iniciales

Cuando se mide la eficiencia de un centro de datos por primera vez, esta medición debe formar parte de una evaluación general de eficiencia realizada por expertos. Además de medir la eficiencia, la evaluación de eficiencia del centro de datos suele brindar un análisis de la configuración tal como se construyó y diversas recomendaciones para mejorar la eficiencia. Idealmente, a partir de la evaluación debe obtenerse también, como parte del material entregado, un modelo matemático del centro de datos. En la **Figura 10** se propone un ejemplo de una exposición de alcance del trabajo para realizar una evaluación de eficiencia del centro de datos.

Figura 10

Ejemplo de una exposición de alcance del trabajo para una evaluación de eficiencia eléctrica (carátula)



Los datos recolectados durante la evaluación de eficiencia deben incluir mediciones de suficientes subsistemas como para permitir calibrar un modelo matemático de eficiencia.

Una vez calibrado el modelo del centro de datos con las mediciones de eficiencia iniciales, es posible utilizarlo de inmediato para establecer parámetros de rendimiento, tal como la eficiencia promedio esperada durante un año, o para determinar la eficiencia con otras cargas informáticas de referencia y condiciones del exterior, como las que se utilizan de parámetros comparativos en la industria.

Mediciones continuas

Una vez medida la eficiencia del centro de datos y calibrado el modelo de eficiencia, deben tomarse mediciones continuas para cuantificar toda posible mejora de eficiencia y brindar advertencias con respecto a cualquier pérdida indeseable de la eficiencia. Como ya hemos expuesto, cuando se halla que el valor de eficiencia medido ha cambiado con respecto al valor original medido, esto puede deberse a variaciones en la carga informática o en las condiciones climáticas. El modelo puede corregirse teniendo en cuenta los efectos de la carga informática y las condiciones climáticas y revelar si alguna de estas variaciones en la eficiencia son el resultado de estos efectos o son causadas por los cambios reales en la infraestructura subyacente del centro de datos.

Las mediciones de eficiencia continuas pueden realizarse periódicamente, por ejemplo dos veces al año (idealmente una vez en verano y otra vez en invierno), o puede instalarse un sistema de medición continua en tiempo real.

En las siguientes secciones de este informe se explica por qué es previsible que las mediciones en tiempo real se conviertan en una característica estándar en los nuevos centros de datos dentro de los próximos años.

Identificación de los circuitos eléctricos que se deben medir

Para medir la eficiencia del centro de datos en un punto de carga operativa en particular, es preciso medir la potencia total de entrada del centro de datos y la carga informática total. Si el establecimiento es un centro de datos dedicado, la potencia de entrada puede medirse en la conexión a la red eléctrica del edificio. Si la carga estuviera formada por un único dispositivo con una carga informática gigantesca, entonces la potencia de la carga informática se obtendría mediante una única medición de la potencia en la conexión eléctrica del dispositivo. En este caso hipotético, se necesitarían solo dos mediciones.

Desafortunadamente, esta situación ideal nunca es factible. La mayoría de los centros de datos forman parte de un edificio multiuso que tiene otras cargas además del centro de datos, y todos los centros de datos están formados por una gran cantidad de dispositivos informáticos –en ocasiones miles–, muchos con circuitos eléctricos separados.

Para asegurar una medición exacta, todos los dispositivos que se alimentan desde la red eléctrica y se agregan a la carga total del centro de datos, deben contar con medición separada de las otras cargas que no pertenecen al centro de datos, y deben sumarse sus potencias de entrada. Más aún, para obtener la carga informática total, todos los dispositivos informáticos también deben contar con medición separada y sus potencias de entrada también deben sumarse. En un centro de datos de 1 MW, esto puede significar miles de mediciones de potencia simultáneas, lo que plantea un desafío desde el punto de vista técnico y práctico. Por esta razón, algunos operadores de centros de datos llegaron a la conclusión de que la medición de la eficiencia es poco práctica. Afortunadamente, **ya no se necesitan instrumentaciones complicadas ni mediciones que impliquen demasiado tiempo** dado que es posible demostrar que una pequeña cantidad de puntos de medición

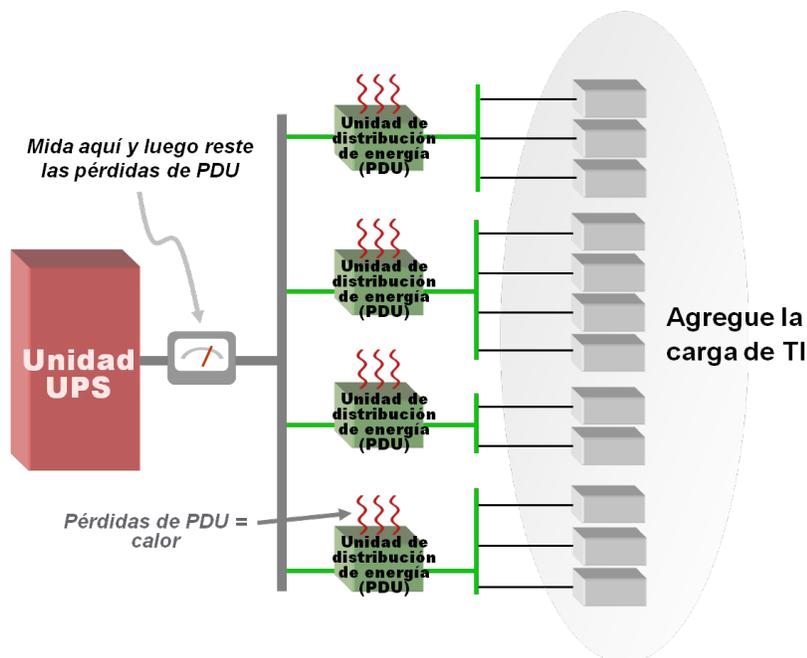
consolidados, en combinación con modelos matemáticos del sistema, brindan mediciones de eficiencia con suficiente precisión.²

Medición de la carga informática total

Como ejemplo de la forma en que la medición real puede simplificarse considerablemente con el uso del modelo, consideremos el caso de la medición de la carga informática. La **Figura 11** ilustra la situación típica en la que una gran cantidad de cargas informáticas recibe alimentación desde las unidades de distribución de energía (PDU) que a su vez reciben el suministro de una unidad UPS.

Figura 11

Medición de la carga informática total



Para calcular la carga informática real total, puede parecer necesario medir y sumar todos los circuitos secundarios que alimentan cada carga informática, con lo que harían falta miles de mediciones. Si en cambio, medimos la alimentación a la salida de la unidad UPS, habremos simplificado significativamente el problema y logrado una única medición, pero para ello introducimos un error, ya que en esta posición se mide la suma de las cargas informáticas más la energía consumida por las unidades PDU (las pérdidas en las unidades PDU). Además, en algunos centros de datos, puede haber otros dispositivos, como las manejadoras de aire, que reciben su alimentación desde la unidad UPS. El error causado por utilizar la potencia de salida de la unidad UPS como valor representativo de la carga informática real puede estar en el intervalo del 2% al 25% de acuerdo con cada centro de datos en particular, lo que es bastante significativo. Sin embargo, el modelo permite caracterizar las unidades PDU con mucha precisión y calcular las pérdidas en las unidades PDU a partir de la potencia de salida de la unidad UPS con un alto grado de precisión. El modelo puede restar las pérdidas de las unidades PDU de la potencia de salida del sistema UPS para obtener la carga informática sin ningún error significativo. De esta manera, el modelo permite reducir las miles de mediciones que se necesitarían a una única medición.

La técnica de utilizar el modelo para obtener una gran cantidad de información a partir de una pequeña cantidad de mediciones puede usarse para mediciones ocasionales y también

² La descripción completa de este enfoque escapa al alcance de este informe.

como parte de un sistema de monitoreo de eficiencia continuo y permanente, lo que reduce considerablemente el costo de monitoreos de eficiencia continuos.

Mediciones continuas vs. iniciales

La cantidad de puntos de medición de potencia para las mediciones de eficiencia continuas suele ser menor que la que se utiliza para las mediciones iniciales. Las mediciones continuas deben estar centradas en los circuitos que tienen más probabilidades de sufrir cambios con el transcurso del tiempo y que más contribuyen al consumo de energía. Por ejemplo, en el caso de algunos dispositivos como los transformadores, sería útil tomar mediciones iniciales, pero el modelo también permite calcular su contribución constante al consumo de energía con gran precisión. En general, para las mediciones continuas se necesitan aproximadamente la mitad de los puntos de medición inicial, lo cual sugiere la utilización de una estrategia de instrumentación en la que los puntos de medición continua se monitoreen mediante instrumentos de medición de potencia de instalación permanente, mientras que los puntos adicionales necesarios para las mediciones iniciales se miden con instrumentación portátil.

Determinar en qué circuitos deben tomarse las mediciones iniciales y en cuáles las continuas es un aspecto clave en la evaluación profesional de la eficiencia del centro de datos.

Instrumentación para la medición de eficiencia

La eficiencia del centro de datos está calculada a partir de las mediciones de potencia. La **Figura 12** expone ejemplos de los distintos tipos de equipos utilizados para tomar mediciones.

Figura 12

Ejemplos de instrumentos de medición



Equipo portátil de medición de potencia (Fluke 435)



Equipo de medición de potencia de instalación permanente (Power Logic PM700)



Funciones integradas de medición de potencia, de instalación permanente en los equipos de alimentación y enfriamiento (unidad UPS Symmetra de APC)

Los centros de datos pueden contar con instrumentación permanente para evaluar su eficiencia o bien esta puede auditarse periódicamente con instrumentación portátil. En cualquiera de los dos casos, los circuitos de alimentación que serán medidos deben estar identificados tal como se describe en la sección anterior. Como se explicó en este informe, no es necesario medir los flujos de potencia en todos los miles de circuitos del centro de datos. Se pueden realizar cálculos muy precisos de eficiencia midiendo el flujo de potencia en un pequeño subconjunto de circuitos de alimentación. La estrategia de medición de eficiencia consta de las siguientes etapas:

- Decidir si se toman mediciones periódicas/con instrumentos portátiles o de instalación permanente
- Identificación de los puntos de medición adecuados
- Establecer un sistema para presentar informes con los datos sobre la eficiencia

Instrumentos portátiles vs. instrumentos de instalación permanente

Los instrumentos de medición de eficiencia pueden ser de instalación permanente, o bien el personal calificado de mantenimiento puede tomar mediciones periódicas con instrumentos portátiles. La solución preferida depende de diversos factores, con beneficios para cada enfoque.

La instrumentación permanente brinda datos continuos y en tiempo real sobre la eficiencia y tiene importantes ventajas. Una ventaja importante de la instrumentación permanente, en comparación con las auditorías periódicas, es que no se necesita la presencia de personas para tomar mediciones con instrumentos portátiles en circuitos de alimentación activos: siempre que alguien intenta tomar mediciones en circuitos activos existe el riesgo de que se produzcan errores y un consiguiente tiempo de inactividad. La desventaja de la instrumentación de instalación permanente es que implica un costo inicial muy alto, en especial cuando se actualiza en instalaciones ya existentes. En la mayoría de los casos, la instrumentación permanente puede instalarse sin interrumpir la carga informática crítica.

Las auditorías periódicas con instrumentos portátiles tienen un costo inicial menor y son adecuadas particularmente para los centros de datos existentes que están por alcanzar el fin de su vida útil.

En los nuevos centros de datos, es preciso especificar una instrumentación de instalación permanente. Es posible que algunos dispositivos de alimentación y enfriamiento, como las unidades UPS, ya cuenten con capacidades integradas de medición de potencia. Si la precisión de esta capacidad integrada es suficiente, esta instrumentación ahorra la necesidad de utilizar cualquier otro instrumento de medición adicional en el circuito en cuestión. El software de administración de eficiencia debe poder capturar mediciones de potencia desde los equipos de alimentación y enfriamiento con instrumentación integrada de medición de potencia.

Identificación de los puntos de medición adecuados

Independientemente de si la instrumentación es permanente o portátil, es preciso seleccionar los puntos de medición de potencia adecuados. Tal como se expuso en este informe muy claramente, **no es necesario** medir todos los miles de circuitos del centro de datos. El objetivo es medir la menor cantidad de circuitos que brinden los datos necesarios para construir un modelo con la precisión requerida. En los centros de datos existentes, este problema puede complicarse por razones prácticas relacionadas con la forma en que se cableó el edificio. Más aún, algunos circuitos o dispositivos, como las torres de enfriamiento, pueden compartirse intencionalmente con cargas fuera del centro de datos que será objeto de las mediciones, con lo cual es imposible medir directamente el consumo relacionado con el centro de datos. Por lo tanto, puede que sea necesario personalizar la selección de los puntos de medición de la instrumentación para una instalación específica.

Recolección de datos durante la medición de eficiencia

Muchos operadores de centros de datos tomarán mediciones de eficiencia o contratarán profesionales para hacerlo. En este informe se demostró que las mediciones típicas ocasionales que se toman en la actualidad no son eficaces para cumplir con los objetivos de administración de energía. Idealmente, las evaluaciones de eficiencia del centro de datos deben realizarse como parte de un programa de administración de energía y seguir los principios definidos en este informe. Sin embargo, las mediciones ocasionales pueden ser de utilidad siempre y cuando se presenten con otros datos complementarios. A fin de efectuar un análisis posterior donde se utilicen los datos de una medición ocasional, es preciso incluir la siguiente información junto con la medición de eficiencia:

- fecha de la medición;
- hora de la medición;
- intervalo utilizado para realizar el promedio,
- puntos de medición y equipos de medición utilizados en cada punto;
- valor nominal de carga total del centro de datos (carga informática máxima);
- carga operativa real en el momento de la medición (carga informática actual);
- humedad y temperatura exteriores;
- Niveles de redundancia del centro de datos
- tipo de sistema de eliminación del calor utilizado (dry cooler, torre de refrigeración, aire libre, planta de agua helada [chiller]);
- tipo de economizador instalado (si existiera); y
- estado del economizador en el momento de la medición (activado, desactivado).

De estar disponibles, estos datos permiten un análisis y modelado de eficiencia posterior que de otra manera no serían posibles. Por lo tanto, los operadores de centros de datos que deciden no contratar especialistas capacitados para tomar mediciones de eficiencia deben asegurarse siempre de que las personas que realicen las mediciones reúnan y registren la información anterior en el momento de cualquier medición de eficiencia.

Creación de un sistema de informes

En la sección anterior se demostró que la eficiencia eléctrica no se mide directamente con instrumentación y que se necesitan cálculos y análisis adicionales. Más aún, determinar la curva de eficiencia general para la infraestructura de alimentación y enfriamiento del centro de datos implica que las mediciones se utilicen en conjunto con el modelo de eficiencia para el centro de datos.

Para las auditorías periódicas, la curva de eficiencia del centro de datos se calcula con los principios descritos en este informe, y se genera un informe de auditoría que incluya este resultado.

Para la instrumentación permanente, es posible y se prefiere realizar el cálculo de eficiencia en tiempo real. Esta función debe brindarla el sistema de administración de capacidad de alimentación y enfriamiento, que ya contiene el modelo topológico para el centro de datos. Cuando se implementan adecuadamente, se pueden informar tendencias de eficiencia eléctrica y generar alertas basadas en condiciones que excedan los límites prefijados. Además, un sistema eficaz brindaría la posibilidad de diagnosticar las fuentes de ineficiencia y sugerir medidas correctivas.

Los datos sobre la eficiencia deben informarse por lo menos anualmente, pero pueden presentarse en forma continua si se implementa un sistema de administración de energía.

La siguiente es una lista de algunos de los datos clave que deben estar incluidos en un informe de eficiencia del centro de datos:

- rendimiento real anual en términos de la eficiencia PUE, medido o extrapolado a partir del modelo;
- eficiencia PUE anual esperada bajo condiciones estándar de la industria, a partir del modelo;
- valor de diseño para la eficiencia PUE anual bajo condiciones estándar de la industria, si estuviera disponible;
- carga informática promedio anual (% de la capacidad nominal);
- desglose del consumo de energía en el subsistema principal del centro de datos;
- comparación de la eficiencia PUE real anual con la de otros centros de datos de clasificación similar (peor caso, típica, mejor caso);
- comparación de la eficiencia PUE anual esperada bajo condiciones estándar de la industria con la de otros centros de datos de clasificación similar (peor caso, típica, mejor caso);
- consumo total anual de energía eléctrica (kW-hora);
- costo anual estimado de electricidad; e
- identificación de tendencias de la eficiencia PUE anual real, consumo anual de energía eléctrica y costos de electricidad.

Conclusión

La medición de la eficiencia del centro de datos tiene el objetivo de administrar el uso de la energía eléctrica. Tomar medidas para controlar el uso de la energía eléctrica requiere conocimiento de los siguientes aspectos

- fuentes de ineficiencia;
- oportunidades de mejoras; y
- beneficios esperados de las mejoras de la eficiencia.

Es interesante realizar una simple medición de la eficiencia del centro de datos, pero este tipo de medición no aporta ninguno de estos datos. Las mediciones solo sirven cuando se utilizan en conjunto con los modelos. Por eso, el modelado es un aspecto fundamental de la administración de eficiencia, y los datos que precisa el modelo establecen los requisitos para la medición de flujos de potencia dentro del centro de datos.

A fin de administrar la eficiencia del centro de datos, necesitamos tomar mediciones iniciales de potencia para establecer el modelo y las condiciones de base y luego monitorear periódica o continuamente los flujos de potencia y así brindar información sobre las tendencias de eficiencia, las condiciones ineficientes y las oportunidades de mejoras.

La analogía con el consumo de combustible de un automóvil sirve de ayuda para entender el tipo de información que necesitamos para interpretar los datos sobre la eficiencia del centro de datos, tal como se ilustra en la **Tabla 1**.

Tabla 1

Analogía entre las métricas clave para el consumo de combustible de un automóvil y la eficiencia de un centro de datos

Consumo de combustible de un automóvil		Eficiencia de la infraestructura de un centro de datos
La especificación de consumo de combustible del automóvil que declara el fabricante (por ejemplo: 11,05 km/l en ruta; 9,35 km/l en ciudad)	➔	La especificación de eficiencia que establece el diseñador del centro de datos (por ejemplo: 55% de eficiencia al 75% de carga informática y 25° C de temperatura exterior)
Los parámetros de consumo de otros vehículos similares	➔	Los parámetros de eficiencia de otros centros de datos similares
El consumo promedio de energía real que se tiene al conducir	➔	El promedio PUE que experimentamos en realidad (diaria, semanal, mensual, anual)
El consumo de combustible en tiempo real que se tiene en este preciso momento	➔	La eficiencia PUE en tiempo real que se experimenta en este preciso momento

Existen miles de flujos de potencia dentro de un centro de datos típico. El análisis demuestra que no es necesario medir todos estos flujos para calcular y administrar la eficiencia. Cuando se combinan un modelado adecuado y la información sobre los dispositivos de alimentación y enfriamiento, es posible crear un sistema de administración de eficiencia de gran precisión solo con una pequeña cantidad de mediciones.

Para administrar la eficiencia, los usuarios tienen la opción de instalar instrumentos en forma permanente en los flujos de potencia adecuados para tomar mediciones de eficiencia en tiempo real, o bien realizar auditorías periódicas de los flujos de potencia con instrumentos portátiles. En un centro de datos nuevo, es más adecuada la instrumentación de instalación

permanente. Para los centros de datos existentes, se recomienda una combinación de instrumentación permanente limitada y auditorías periódicas.



Acerca del autor

Neil Rasmussen es Vicepresidente Senior de Innovación en Schneider Electric. Orienta el destino tecnológico del mayor presupuesto mundial de Investigación y Desarrollo dedicado al tema de la infraestructura de energía, enfriamiento y racks para redes críticas.

Neil tiene 19 patentes relacionadas con infraestructura de energía y enfriamiento para centros de datos de alta eficiencia y alta densidad. Ha publicado más de 50 informes internos sobre el tema de los sistemas de energía y enfriamiento, muchos de ellos traducidos a más de 10 idiomas; últimamente, se ha dedicado al tema del aumento de la eficiencia energética. Es reconocido internacionalmente por sus conferencias sobre el tema de los centros de datos de alta eficiencia. Actualmente se dedica a desarrollar la ciencia de las soluciones de infraestructura para centros de datos escalables, de alta densidad y alta eficiencia, y es el principal diseñador del sistema InfraStruXure de APC.

Antes de fundar APC en el año 1981, Neil recibió los títulos de licenciado y máster en Ingeniería Eléctrica del MIT, donde realizó su tesis sobre el análisis de una fuente de alimentación de 200 MW para un reactor de fusión Tokamak. Desde 1979 hasta 1981 trabajó para MIT Lincoln Laboratories en sistemas de almacenamiento energético de volante y sistemas de energía eléctrica solar.



Recursos

Presione en el icono para dirigirse al recurso



Elaboración de modelos de eficiencia eléctrica de los centros de datos

White Paper 113



Examinar todos los documentos técnicos

whitepapers.apc.com



Examinar todas las herramientas

TradeOff Tools™

tools.apc.com



Contacte con nosotros.

Si tiene algún comentario o sugerencia sobre el contenido de este White paper:

Data Center Science Center
DCSC@Schneider-Electric.com

Si es cliente y tiene dudas específicas sobre su proyecto de centro de datos:

Póngase en contacto con su representante de **Schneider Electric**
www.apc.com/support/contact/index.cfm