

# Comparación cuantitativa de sistemas de distribución de energía CA vs. CC de alta eficiencia para centros de datos

Neil Rasmussen  
y James Spitaels

Informe interno N° 127

**APC**<sup>®</sup>  
by Schneider Electric

Incluye herramienta  
interactiva



## Resumen ejecutivo

Este informe presenta una comparación detallada y cuantitativa de los métodos de distribución de CC y CA más eficientes e incluye un análisis de los efectos de la eficiencia de la distribución de energía sobre los requisitos de alimentación para el enfriamiento y sobre el consumo total de energía eléctrica. Está demostrado que las últimas arquitecturas de distribución de CC y CA de alta eficiencia tienen prácticamente la misma eficiencia, lo que sugiere que no se justifica realizar la conversión a una arquitectura basada en CC para aumentar la eficiencia.

**Este informe toma información extraída de los siguientes informes internos de APC:**

*(Haga clic en los iconos para abrir los informes)*



**Distribución de energía CA vs. CC para centros de datos**



**Elaboración de modelos de eficiencia eléctrica para centros de datos**

# Introducción

La búsqueda de una mayor eficiencia para los centros de datos ha impulsado un espíritu de innovación en tecnologías de alimentación y enfriamiento de los centros de datos. Una propuesta sobre la eficiencia energética que ha sido estudiada exhaustivamente es la conversión de la arquitectura de alimentación existente de los centros de datos de CA a CC. En numerosos artículos de medios gráficos masivos y revistas técnicas, se argumentó en favor de las ventajas de CC, y algunas empresas, tales como Intel, APC y Sun Microsystems participaron de proyectos de demostración de la tecnología.

Existen cinco métodos de distribución de energía que efectivamente pueden usarse en los centros de datos, entre ellos, dos tipos básicos de distribución de CA y tres tipos básicos de distribución de CC. Estos cinco tipos se explican y analizan en el Informe interno N° 63 de APC, [\*Distribución de energía CA vs. CC para centros de datos\*](#). Una de las conclusiones clave de este informe, que cuenta con el aval general de los textos publicados, es que dos de estos cinco métodos de distribución, uno de CA y otro de CC, ofrecen una eficiencia eléctrica superior. Este informe se centra en la comparación únicamente de estos dos métodos de distribución de mayor eficiencia. **Salvo que se produzca algún cambio importante en la tecnología de alimentación de los centros de datos, es muy probable que, en el futuro, uno de estos dos métodos se convierta en el método preferido de distribución de energía de los centros de datos.**

Los valores de rendimiento en términos de eficiencia del sistema de distribución de CA descrito en este informe están disponibles en forma inmediata, basados en los equipos reales que pueden adquirirse en la actualidad. Hoy en día, no hay sistemas de distribución de CC a la venta, por lo que los valores de eficiencia del sistema de distribución de CC se basan en los últimos datos de muestra, estimaciones y cálculos disponibles. Se brindan las citas y las referencias correspondientes a todos los valores de eficiencia utilizados en este informe, de modo que las conclusiones puedan evaluarse y verificarse en forma independiente.

Los cambios en la eficiencia de la distribución de energía afectan el consumo total de energía eléctrica del centro de datos. Sin embargo, la cuantificación de su impacto es matemáticamente compleja debido a dos factores:

1. las variaciones en la eficiencia de la distribución de energía eléctrica afectan la carga de calor y, en consecuencia, el consumo de energía de los equipos de aire acondicionado;
2. hay cargas de energía significativas dentro del centro de datos que no reciben alimentación mediante el sistema de distribución de energía en estudio.

Este informe explica estos efectos en detalle y demuestra cómo las mejoras en la eficiencia de la distribución de energía eléctrica se traducen en una disminución cuantitativa del consumo total de energía eléctrica.

## Información de referencia

Es cierto que en la actualidad existen instalaciones de centros de datos que tienen diseños deficientes y tecnología de distribución de energía más antigua y operan con una eficiencia muy baja. APC detectó sistemas de alimentación con eficiencias del 30% e incluso menores en centros de datos en funcionamiento (sin considerar el sistema de enfriamiento), lo cual representa un desperdicio considerable de energía eléctrica, ya que una gran parte de esta ineficiencia es evitable. Las ineficiencias observadas se deben principalmente a los siguientes factores:

- fuentes de alimentación ineficientes para dispositivos informáticos;
- unidades de distribución de energía (PDU) ineficientes con transformadores;
- sistemas UPS ineficientes;
- funcionamiento con cargas muy por debajo del valor nominal de diseño del sistema, lo que aumenta todas las pérdidas ya detalladas.

Durante los últimos tres años, surgieron grandes mejoras de la eficiencia de los sistemas UPS y de las fuentes de alimentación de los dispositivos informáticos. Este avance significa que un sistema de distribución de CA instalado hoy en día suele ser mucho más eficiente que otro instalado hace cinco años. Además, los sistemas UPS modulares y escalables simplifican el adecuado dimensionamiento de la unidad UPS para la carga requerida, lo que evita la ineficiencia eléctrica debida a una subutilización considerable del sistema, tal como se solía observar en el pasado. Las unidades PDU con transformadores siguen siendo una fuente significativa de pérdida en muchas instalaciones de América del Norte, pero no están presentes fuera de esta región. El sistema de CA analizado en este informe se basa en el estándar europeo de distribución de 400/230 V. El Informe interno N° 128 de APC, [\*Cómo aumentar la eficiencia de un centro de datos utilizando una distribución mejorada de energía de alta densidad\*](#), expone en detalle la aplicación de la distribución de CA de 400/230 V en América del Norte.

La distribución de CC se propone como una forma de aumentar la eficiencia a partir de las siguientes tres premisas:

1. Sería posible construir una unidad UPS de CC con una mayor eficiencia que una UPS de CA.
2. La eliminación de los transformadores de las unidades de distribución de energía (PDU) reduce las pérdidas eléctricas.
3. Se podría mejorar la eficiencia de la fuente de alimentación de los equipos informáticos en sí, más allá de las mejoras posibles de un diseño con entrada de CA.

Este informe evalúa y cuantifica todos estos conceptos y llega a las siguientes conclusiones:

- La última generación de sistemas UPS de CA generan una pérdida de hasta cinco veces menor que las generaciones anteriores de sistemas UPS de CA, y ya no hay pruebas que afirmen la posibilidad de crear una UPS de CC con mayor eficiencia.
- Los transformadores de las unidades PDU son una fuente significativa de ineficiencia, pero sólo se utilizan en América del Norte, y la nueva arquitectura de distribución de CA de alta eficiencia ya no incluye transformadores.
- Se está demostrando que las mejoras en la eficiencia de las fuentes de alimentación de los equipos informáticos derivadas de la conversión a un sistema con entrada de CC son mucho menores en la práctica que lo que se suponía originariamente.

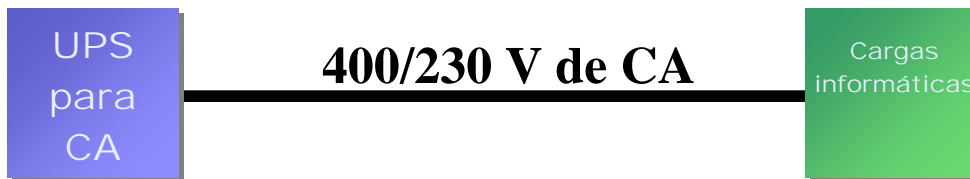
Muchos artículos publicados consignan mejoras de eficiencia esperadas para los sistemas de CC en el orden del 10% al 30% con respecto a los de CA. Sin embargo, así como nadie compararía el rendimiento de una nueva tecnología de servidores con el rendimiento de un servidor fabricado hace diez años, es igualmente inadecuado comparar la eficiencia hipotética de la distribución de CC con la eficiencia de los antiguos sistemas de distribución de CA legados. Lo importante no es comparar las alternativas del *pasado* con las del futuro, sino las *actuales* con las del futuro.

Los datos de este informe demuestran que los mejores sistemas de distribución de CA de la actualidad ya obtienen en esencia la misma eficiencia que los futuros sistemas hipotéticos de CC y que la mayoría de los aumentos de eficiencia citados en los medios gráficos masivos son engañosos, imprecisos o falsos. Y a diferencia de la gran mayoría de los artículos e informes sobre el tema, este informe incluye citas y referencias sobre todos los datos cuantitativos.

## Las dos opciones de distribución de energía de alta eficiencia

En la introducción se explicó el surgimiento de dos sistemas alternativos de distribución de energía como candidatos para la fabricación futura de centros de datos de alta eficiencia. Uno de ellos se basa en el sistema existente de distribución de CA de 400/230 V predominante, que hoy en día se utiliza en prácticamente todos los centros de datos fuera de América del Norte y Japón. El otro se basa en un sistema de distribución conceptual de 380 V de CC que alimenta a los equipos informáticos modificados para admitir energía CC. Las **Figuras 1 y 2** presentan diagramas de estos sistemas.

*Figura 1 – Distribución de CA de alta eficiencia (de uso común fuera de América del Norte)*



La **Figura 1** representa el primer sistema propuesto como candidato. Es el sistema común de distribución de CA utilizado fuera de América del Norte y Japón. Cabe mencionar que, en el actual sistema de distribución de energía estándar de América del Norte, la tensión del sistema UPS sería de 480 V de CA, y habría un cuadro adicional en el diagrama que represente el transformador del sistema PDU para convertir 480 V a 208/120 V de CA. En esta figura, se elimina el transformador de la unidad PDU y las pérdidas asociadas porque no hay necesidad de reducir la tensión de salida del sistema UPS antes de alimentar las cargas informáticas a 230 V.

*Figura 2 – Distribución de CC de alta eficiencia (hipotética)*



La **Figura 2** representa el segundo sistema propuesto como candidato. Este es un enfoque hipotético en el que se distribuyen 380 V de CC. Para que este sistema pueda aplicarse, deberían existir dispositivos informáticos diseñados para operar con 380 V de CC. Distintas publicaciones han propuesto este sistema con diferentes tensiones de alimentación de CC, tales como 300, 380, 400 y 575 V. Sin embargo, estas publicaciones coincidieron en que unos 380 V es el valor estándar preferido, y el análisis de este informe se basa en este sistema de 380 V de CC. Cabe señalar que hablar de 380 V de CC y 400 V de CC es, en esencia, llamar con dos nombres distintos a un mismo sistema.

## Resumen del análisis

A continuación, se presentan la estructura general del modelo y los datos que deben cuantificarse para sustentarlo.

## Los tres segmentos del circuito de alimentación

La **Figura 3** muestra el circuito básico de alimentación en un centro de datos típico cuando se utiliza una distribución de energía de alta eficiencia. Cabe mencionar que no se utilizan unidades PDU, ya que no son necesarias en ninguno de los dos métodos de distribución de energía en estudio. El circuito de alimentación está dividido en tres segmentos:

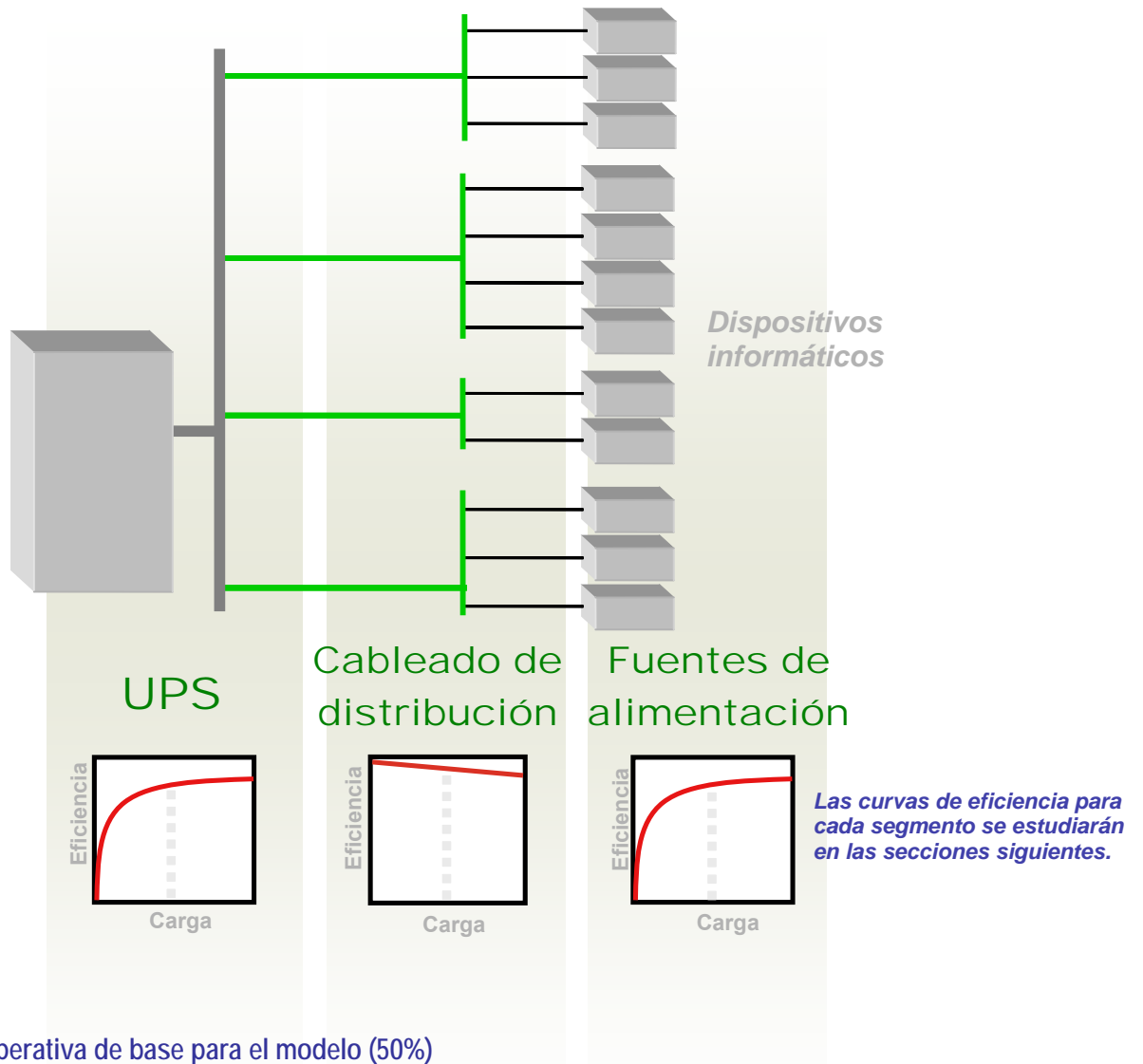
- unidades UPS;
- cableado de distribución;
- fuentes de alimentación (PSU) de los dispositivos informáticos.

## Datos de eficiencia para el modelo

Las secciones siguientes de este informe estudian y cuantifican los datos de eficiencia para cada uno de los tres segmentos del circuito de alimentación. El objetivo es establecer datos de eficiencia en función de la carga, lo que dará como resultado una curva de eficiencia para cada segmento, similar a las diagramadas en la parte inferior de la **Figura 3**. Estos datos de eficiencia se incorporarán luego a un modelo que puede utilizarse para comparar la eficiencia de las configuraciones de alimentación existentes e hipotéticas.

El punto correspondiente a una carga del 50% está marcado en las curvas de eficiencia porque el caso de base del modelo tomará valores de eficiencia al 50% de la carga.

Figura 3 – Circuito de alimentación del centro de datos: tres segmentos, tres curvas de eficiencia



### Carga operativa de base para el modelo (50%)

Los datos muestran claramente que las eficiencias de los dispositivos en un sistema de distribución de energía no son valores fijos, sino que dependen de la carga aplicada; esa es la razón por la que la representación correcta de la eficiencia es una *curva de eficiencia* y no un único valor. Por lo tanto, cualquier cálculo de la eficiencia de la distribución de energía no está completo si no se considera la carga operativa real para cada segmento del circuito de alimentación.

La mayoría de los trabajos ya realizados sobre la eficiencia de la distribución de energía no brinda información sobre el efecto de la variación de la carga, que puede ser significativo. En este informe, seleccionamos una carga de base que es representativa de las instalaciones típicas y luego explicamos cómo varía la eficiencia de acuerdo con la carga. La selección de una determinada carga operativa de base simplifica el debate inicial, ya que brinda

un punto de referencia para la comparación de los sistemas de CA y CC, pero *no limita el propio modelo*, en el que se considera que la eficiencia es una *curva* que varía en función de la carga; en instalaciones reales, la carga operativa (fracción de la capacidad) es diferente para cada uno de los tres segmentos del circuito de alimentación y puede tener variaciones dinámicas en el modelo interactivo (ver **Figura 9**).

A efectos de la siguiente presentación y comparación de distribuciones de CA y CC, se seleccionó una carga de base del 50%, valor dentro de los límites operativos de los tres segmentos del centro de datos (**Figura 3**, ya presentada). A continuación se detalla cómo se relaciona el valor de carga del 50% con cada uno de los tres segmentos del centro de datos:

- **Unidad UPS**

En un sistema no redundante (1N), el 50% es el punto de carga operativa típico. En un sistema redundante (2N), el 50% es el punto máximo de carga operativa (es decir, 2 unidades UPS comparten la carga total).

- **Cableado de distribución**

Como ocurre en la carga de las unidades UPS, el 50% es una carga operativa razonable para cableados no redundantes (1N).

En un sistema redundante de doble circuito (2N) con cableado, el 50% es el valor máximo que puede lograrse en cualquiera de los dos circuitos de alimentación. (En realidad, el código eléctrico de los Estados Unidos limita la carga al 80%, lo que efectivamente restringe la carga por circuito al 40%.) En cualquier caso, es preciso tener en cuenta que la carga operativa en el cableado de distribución no incide demasiado en la eficiencia general dado que la eficiencia del cableado se encuentra alrededor del 99 al 100%, un espectro muy acotado y elevado.

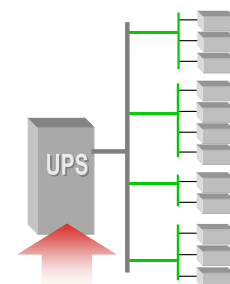
- **Fuentes de alimentación de los dispositivos informáticos**

Los equipos informáticos tienen una o dos fuentes internas de alimentación. Con una fuente de alimentación única, la carga operativa del 50% se encuentra en la mitad del espectro (y es típica de las cargas “inactivas”, estado en el que se encuentran los servidores durante la mayor parte del tiempo), y en el caso de servidores con fuentes de alimentación doble, el 50% representa el punto máximo de carga operativa (es decir, las dos fuentes de alimentación comparten la carga total).

Como se demostrará más adelante mediante las curvas de eficiencia reales para estos tres segmentos, no hay una gran diferencia en cuanto a la eficiencia para las cargas operativas cercanas al punto del 50%; por lo tanto, la ubicación exacta de este punto no es muy significativa.

## Eficiencia de la unidad UPS

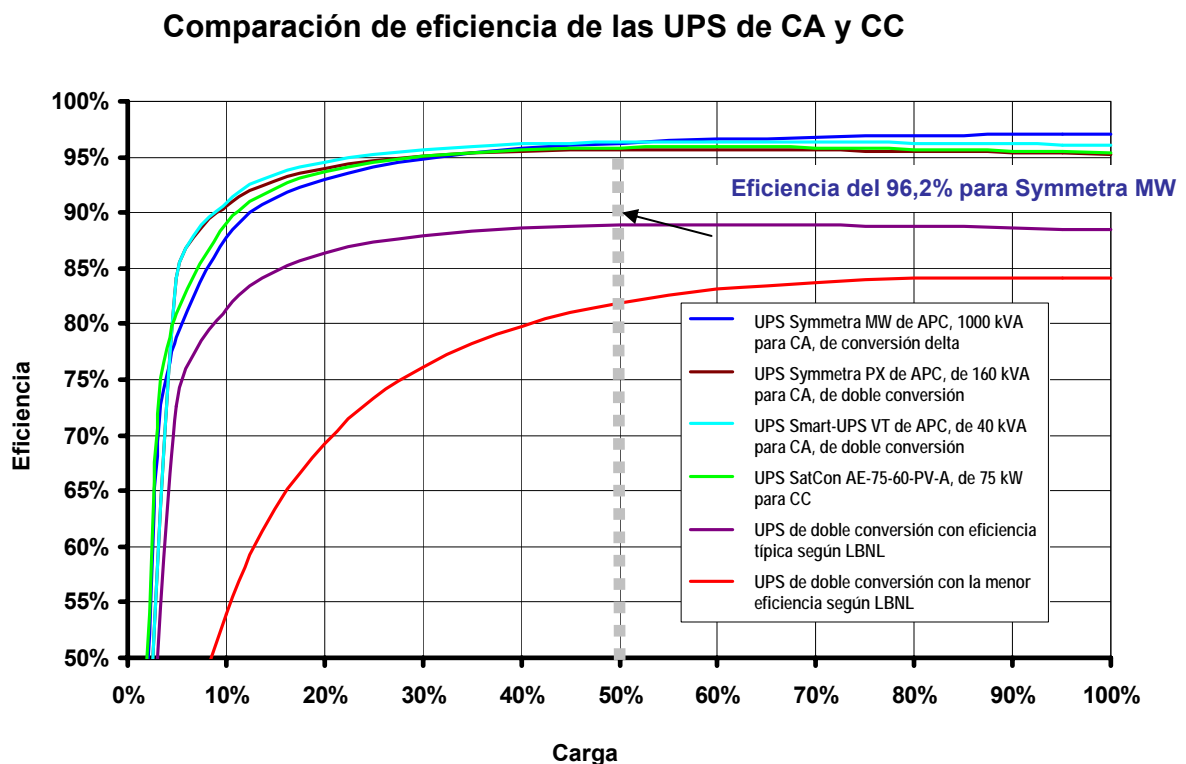
La arquitectura de distribución de CA comienza con una unidad UPS para crear el bus de distribución de CA; en la arquitectura de distribución de CC, una unidad UPS de CC –a veces llamada rectificador de CC– crea el bus de distribución de CC.



En el caso de la unidad UPS de CA, actualmente existen en el mercado productos con un rendimiento verificable: o se publicaron especificaciones de eficiencia, o bien es posible medir su rendimiento. Desafortunadamente, APC halló que muchas de las especificaciones publicadas son imprecisas y no representan el rendimiento del dispositivo en el mundo real. A efectos de este análisis, utilizaremos los datos de eficiencia de las únicas unidades UPS conocidas con regímenes de eficiencia certificados y medidos por laboratorios independientes.

En la **Figura 4** se muestra la eficiencia de diversos sistemas UPS de CA y de CC disponibles en el mercado.

*Figura 4 – Eficiencia de varios sistemas UPS para CA y CC disponibles en el mercado*



Para la conveniencia del lector, la **Tabla 1** resume el gráfico anterior.

Tabla 1 – Resumen de los datos de eficiencia de las unidades UPS de la Figura 4

UPS	Carga			
	25%	50%	75%	100%
<b>Symmetra MW de APC</b> (para CA, de conversión delta)	94,1%	96,2%	96,9%	97,0%
<b>Symmetra PX de APC</b> (para CA, de doble conversión)	94,7%	95,7%	95,6%	95,3%
<b>Smart-UPS de APC</b> (para CA, de doble conversión)	95,3%	96,3%	96,3%	96,0%
<b>SatCon AE-75-60-PV-A</b> (para CC)	94,5%	95,8%	95,6%	95,4%
<b>Eficiencia típica según LBNL</b> (para CA, de doble conversión)	87,3%	88,8%	88,8%	88,4%
<b>Eficiencia más baja según LBNL</b> (para CA, de doble conversión)	73,3%	81,9%	84,0%	84,1%

### Valor de eficiencia de las unidades UPS de CA para el modelo

La unidad UPS Symmetra MW de APC, de 1.000 kVA y conversión delta, tiene un régimen de eficiencia del 96,2% con un 50% de la carga; la unidad UPS Symmetra PX, de 160 kVA y doble conversión, tiene un régimen de eficiencia del 95,7% con un 50% de la carga; y la unidad UPS Smart-UPS VT de APC, de 40 kVA y doble conversión, tiene un régimen de eficiencia del 96,3% con un 50% de la carga. Todos estos valores fueron certificados por los laboratorios de evaluación de TÜV.<sup>1</sup> Estos valores nominales no se corresponden con el modo económico o de bypass, sino con una tensión de salida regenerada y acondicionada por el inversor de salida en línea, con aislamiento completo entre entrada y salida. Este análisis utiliza la UPS Symmetra MW de CA, con una eficiencia del 96,2% y un 50% de la carga.

El inversor SatCon de 75 kW tiene un régimen de eficiencia del 95,8%, según lo certifica la Comisión de Energía de California (*California Energy Commission*).<sup>2</sup> (Muchos inversores, incluso éste, también pueden funcionar como rectificadores, y deberían tener eficiencias similares en cualquiera de los dos modos de operación, de modo que este dispositivo también puede considerarse una UPS de CC.)

Las dos curvas restantes muestran la eficiencia legada de sistemas UPS de doble conversión, de acuerdo con las mediciones publicadas en un estudio del LBNL realizado en 2005.<sup>3</sup>

### Valor de eficiencia de las unidades UPS de CC para el modelo

En el caso de las UPS de CC, no existen productos comerciales disponibles que cumplan con los requisitos de un sistema de distribución de 380 V de CC con respaldo de baterías. Un desafío técnico significativo todavía no resuelto en su totalidad es la conexión de una batería con una tensión variable en los terminales al bus de

distribución de 380 V regulado. Sin embargo, Intel trabajó conjuntamente con algunos fabricantes de fuentes de alimentación de CC y publicó propuestas de diseños, con un valor de eficiencia esperado del 97%.<sup>4</sup> El fabricante Netpower Labs desarrolló una unidad UPS de 350 V de CC y publicó un valor de eficiencia del 96%.<sup>5</sup> LBNL consignó mediciones de un prototipo de una unidad UPS de CC con una eficiencia del 94%.<sup>6</sup> De estas tres eficiencias señaladas –94%, 96% y 97%–, seleccionamos la intermedia para llevar a cabo este análisis. Cabe mencionar que es probable que la eficiencia del 96% de la unidad UPS de CC de Netpower Labs sea el valor ideal, dado que la fuente no especifica un porcentaje de carga. Con un 50% de la carga, probablemente la eficiencia sea menor al 96%.

Resultado del análisis

### Valores de base para el modelo Eficiencia al 50% de la carga

AC UPS 96,2%  
DC UPS 96,0%

## Eficiencia del cableado de distribución

El cableado entre la unidad UPS de CA o CC y las cargas informáticas tiene pérdidas eléctricas. Estas pérdidas dependen de la corriente operativa, las dimensiones del cableado y la longitud del cable. En un centro de datos se utilizan cientos, e incluso miles, de cables diferentes, y las pérdidas de cada cable deben sumarse para cuantificar la pérdida total.

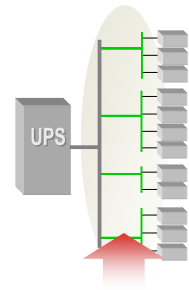
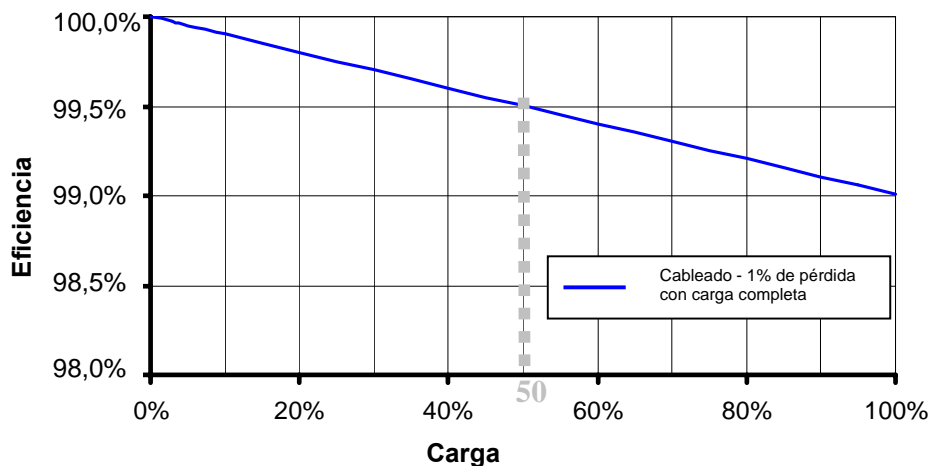


Figura 5 – Curva de eficiencia para cableados de distribución

### Eficiencia del cableado de distribución



Es posible calcular la pérdida del cableado para una instalación típica. Las dimensiones de los cables están determinadas por los valores nominales de capacidad del circuito, y por lo general se conoce la longitud promedio de los cables. Un valor de diseño para la pérdida del cableado suele ser el 1% de la potencia de carga, a plena carga. Las pérdidas en el cableado de distribución varían de acuerdo con el cuadrado de la carga. Si la carga se reduce a la mitad, las pérdidas del cableado son cuatro veces más bajas. Para un centro de datos que funciona con el 50% de la carga, la eficiencia del cableado sería del 99,5%. Por eso, las pérdidas del cableado son insignificantes en la mayoría de los centros de datos.

Cabe señalar que las pérdidas del cableado son iguales para las instalaciones de CA que para las de CC. Puede existir una ligera diferencia en la cantidad de cobre utilizado, pero la eficiencia es la misma. Las pérdidas del cableado no conllevan ninguna diferencia de eficiencia entre los sistemas de CA y los de CC.

**Resultado del análisis**

**Valores de base para el modelo**  
Eficiencia al 50% de la carga

**Cableado de distribución para CA 99,5%**

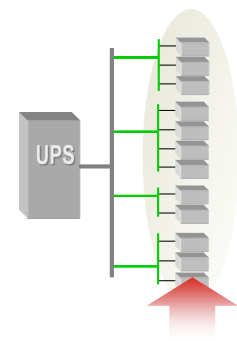
**Cableado de distribución para DC 99,5%**

## Eficiencia de la fuente de alimentación de los equipos informáticos

Los equipos informáticos modernos cuentan con una o más fuentes de alimentación (PSU) internas que convierten la CA de entrada a un bus de 12 V de CC, que alimenta cada placa o subsistema en el chasis correspondiente.\* Estas unidades PSU representan una oportunidad para mejorar la eficiencia.

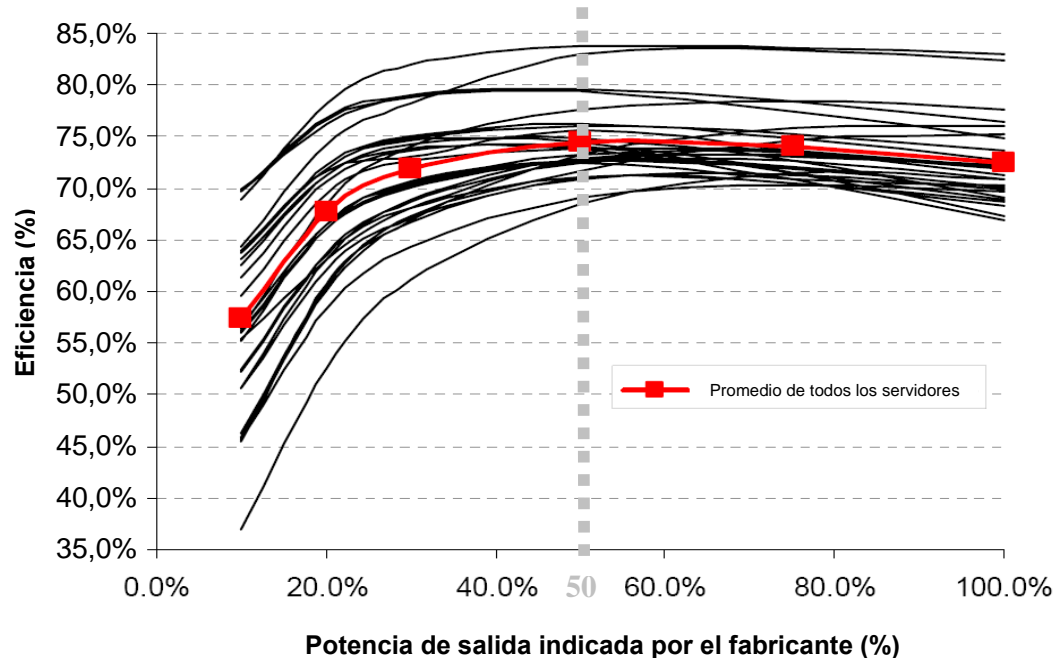
Para los servidores de generaciones anteriores, la eficiencia de las fuentes de alimentación era aproximadamente del 75% al 50% de la carga (ver **Figura 6**).

Sin embargo, los diseños más recientes suelen tener 90% o más de eficiencia en un amplio espectro de cargas operativas, de acuerdo con los datos sobre eficiencia de fuentes de alimentación publicados por Sun Microsystems (**Figura 7**) y Hewlett-Packard (**Figura 8**).

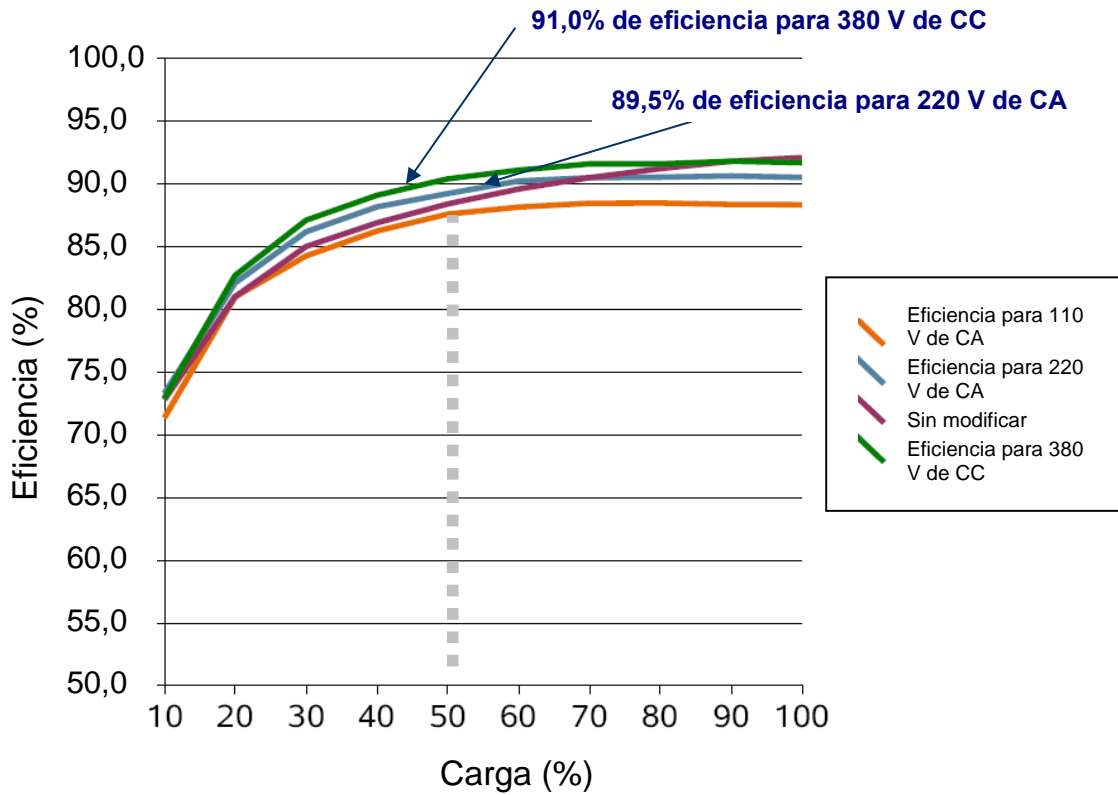


\* En esta "arquitectura distribuida del sistema de alimentación", cada placa o subsistema en particular genera sus propios requisitos locales específicos de tensión (por ejemplo, 1,1 V, 3,3 V, 5 V) desde la barra colectora de 12 V, mediante convertidores de energía integrados. La fuente de alimentación suele ser un módulo conectado al chasis y reemplazable por el usuario.

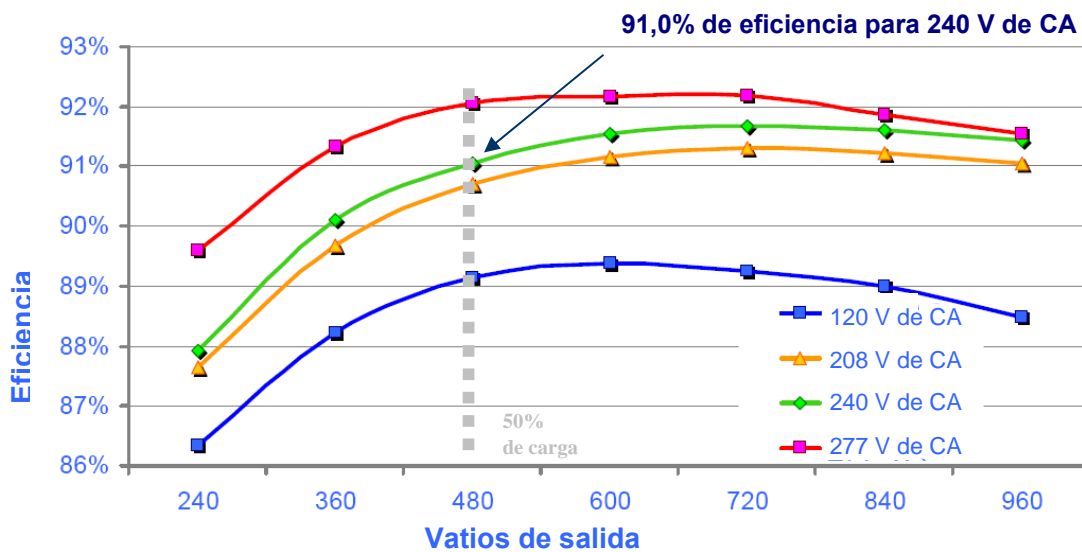
Figura 6 – Eficiencia de las fuentes de alimentación de los servidores de generaciones anteriores según el Lawrence Berkeley National Laboratory<sup>7</sup>



**Figura 7** – Eficiencia de las fuentes de alimentación de servidores de Sun Microsystems en función de la carga, que muestra el efecto de diversas tensiones de entrada sobre la eficiencia<sup>8</sup>



**Figura 8** – Eficiencia de las fuentes de alimentación de servidores de Hewlett Packard en función de la carga, donde se muestra el efecto de diversas tensiones de entrada sobre la eficiencia<sup>9</sup>



©2007-2008 American Power Conversion. Todos los derechos reservados. Queda prohibida la utilización, reproducción, fotocopiado, transmisión o almacenamiento de esta publicación en cualquier sistema de recuperación de cualquier tipo, en todo o en parte, sin el consentimiento escrito del titular del derecho de autor. [www.apc.com](http://www.apc.com)

La eficiencia de los sistemas de CA al 50% de la carga en los ejemplos presentados por Sun Microsystems es del 89,5%, y en los ejemplos de Hewlett Packard es del 91%. Si se consideran estas fuentes de alimentación representativas de futuros servidores (y se tiene en cuenta que una entrada de 400/230 V de CA hará que los servidores operen a 230 V), se utiliza, dentro del modelo, el promedio de las eficiencias de estos dos ejemplos, 90,25%, como eficiencia de base para CA de la fuente de alimentación de un servidor nuevo.

El cuadro de eficiencias de las fuentes de alimentación de Sun Microsystems expuesto en la **Figura 7** también incluye la curva de eficiencia correspondiente a una fuente de alimentación convertida para que funcione a 380 V de CC. Esta curva muestra una mejora de aproximadamente 1,5% con respecto a la curva de eficiencia correspondiente a 220V de CA al 50% de la carga. Esta mejora de los niveles de eficiencia en el orden del 1,5% se utilizó en muchos estudios y

se agregará al valor de base para CA de 90,25%, lo que da como resultado un valor calculado para CC de 91,75% para el modelo. Más adelante, este informe analizará la posible magnitud de esta mejora en mayor detalle.

**Resultado  
del análisis**

### Valores de base para el modelo Eficiencia al 50% de la carga

Fuente de alimentación de equipos informáticos para **CA 90,25%**

Fuente de alimentación de equipos informáticos para **CC 91,75%**

Se espera que las fuentes de alimentación con eficiencias aun más altas –hasta 94%– se entreguen a principios de 2008. Los datos relacionados con estas fuentes de alimentación todavía no están disponibles al público, y por lo tanto, no pueden citarse en este estudio. Suponemos que la mejora de los niveles de eficiencia que resulta de alimentar estas fuentes con 380 V de CC disminuirá a aproximadamente 1%.

## Comparación de la eficiencia general del circuito de energía

La eficiencia general del circuito de alimentación es el producto de las eficiencias de la unidad UPS, el cableado de distribución y la fuente de alimentación de los equipos informáticos, ya expuestas. Éste es un cálculo sencillo, tal como se muestra en la **Tabla 2**:

*Tabla 2 – Cálculo de la eficiencia general del sistema de distribución de energía al 50% de la carga: comparación de los métodos de distribución de alta eficiencia para CA y 360 V de CC*

	Unidad UPS		Cableado de distribución		Fuente de alimentación de los equipos informáticos		EFICIENCIA GENERAL
CC	96,0 %	X	99,5 %	X	91,75 %	=	87,64 %
CA	96,2 %	X	99,5 %	X	90,25 %	=	86,39 %

↑  
1,25%

Por lo tanto, el sistema de CC de alta eficiencia tiene una ventaja del 1,25% sobre el sistema de CA de alta eficiencia, en cuanto a la eficiencia de la distribución de energía. Este análisis está basado en una carga operativa del 50% en todos los segmentos del circuito de energía. Como puede apreciarse, dado que las curvas de eficiencia son relativamente planas alrededor del valor correspondiente al 50% de la carga, no hay una gran variación de eficiencia en el intervalo de carga cercano al 50%.

Esta diferencia de eficiencia sólo se aprecia en el sistema de distribución de energía; averiguar el efecto sobre el consumo general de energía del centro de datos requiere un análisis ulterior, tal como se explica en la siguiente sección.

## Impacto sobre el consumo general de energía del centro de datos

Todo porcentaje de aumento de eficiencia en el sistema de distribución de energía no se traslada directamente al mismo porcentaje de aumento en el ahorro general de energía del centro de datos. Las disminuciones de pérdidas relacionadas con la distribución de energía reducen el calor en el centro de datos, lo que a su vez disminuye la carga de enfriamiento. Por lo tanto, cada vatio que se ahorra en la distribución de energía genera en realidad un ahorro *mayor* que un vatio de la demanda general del centro de datos. **Sin embargo, un aumento del 1% en la eficiencia de la distribución de energía NO produce un aumento superior al 1% en la eficiencia total del centro de datos.** De hecho, un aumento del 1% en la eficiencia de la distribución de energía produce un aumento *menor* al 1% de la eficiencia general.

El cálculo real para obtener la reducción en el consumo de energía eléctrica resultante de un cambio en la eficiencia de la distribución de energía es el siguiente:

$$\Delta P = P - P'$$

$$\Delta P = 1 - [(1 - \Delta\eta_{PD}) \times (IT_P + PD_P + ACP_P) + L_P + ACF_P]$$

donde **P** es el consumo de energía de base del sistema de CA, al que se le da un valor de 1; y **P'** es el consumo de energía después de un cambio en la eficiencia del sistema de distribución de energía. Los otros valores de la ecuación se definen en la **Tabla 3**, junto con sus valores típicos.

*Tabla 3 – Variables utilizadas en el cálculo de la reducción de la carga eléctrica*

Variable	Descripción	Valor típico
$\Delta\eta_{PD}$	Cambio en la eficiencia del sistema de distribución de energía	Este valor debe ingresarse
$IT_P$	Porcentaje del consumo total de energía del centro de datos que consume la carga informática	45%
$PD_P$	Porcentaje del consumo total de energía del centro de datos que consume el sistema de distribución de energía de base	5%
$ACP_P$	Porcentaje del consumo total de energía del centro de datos que se consume en pérdidas debidas a los equipos de aire acondicionado que varían con la carga	25%
$L_P$	Porcentaje del consumo total de energía del centro de datos que consume la carga de iluminación	2%
$ACF_P$	Porcentaje del consumo total de energía del centro de datos que se consume en pérdidas fijas debidas a los equipos de aire acondicionado	23%

Cuando se ingresan estos valores en la ecuación de la reducción del consumo general de energía del centro de datos ya expuesta, la modificación del consumo general resultante de un cambio en la eficiencia del sistema de distribución de energía es del 0,75 al 1%; es decir que un aumento del 1% en la eficiencia del sistema de distribución de energía da como resultado una reducción del consumo general de energía del 0,75%. El cambio en el consumo general del centro de datos es **menor** que el cambio en la eficiencia del sistema de distribución de energía. Este resultado no debería ser sorprendente, ya que se entiende que una fracción significativa del consumo de energía del centro de datos (en particular, la que alimenta el sistema de enfriamiento) no pasa por el sistema de distribución de energía, y que la reducción de las pérdidas relacionadas con la distribución de energía no afecta a los componentes *fijos* de las pérdidas debidas al enfriamiento, sino que sólo afecta al componente *proporcional* de las pérdidas debidas al enfriamiento (pérdidas que varían de acuerdo con la carga de enfriamiento).

**Cuando este cálculo se aplica al resultado de la eficiencia de los sistemas de distribución de CA y CC, tal como aparecen en la sección anterior, hallamos que la mejora del 1,25% en la eficiencia del sistema de**

**distribución de energía mediante la conversión de CA a CC reducirá el 0,94% del consumo general de energía eléctrica.**

Cabe mencionar que esta conclusión contradice directamente los datos publicados en otros estudios. Muchos análisis no muy exhaustivos sugieren que cada vatio ahorrado gracias a la conversión del sistema a 380 V de CC genera “una duplicación o cuadruplicación del impacto” sobre el consumo general de energía del centro de datos.<sup>10</sup> En realidad, la única otra fracción en la que se generan ahorros, además de la energía distribuida, es la de las pérdidas variables de acuerdo con la carga de los equipos de aire acondicionado (pérdida proporcional). En un centro de datos moderno y bien diseñado<sup>11</sup>, estas pérdidas variables están en el orden del 20% de la carga informática, por lo que cada vatio que se ahorra en el sistema de distribución de energía produce un ahorro de tan sólo 1,2 vatios en el consumo general de energía del centro de datos.

## Calculador de CA vs. CC

La herramienta interactiva TradeOff Tool™ de APC, que se muestra en la **Figura 9**, permite determinar la eficiencia del circuito de energía y el porcentaje de reducción general respecto de la potencia de entrada en cuatro casos diferentes. Esta herramienta permite analizar el efecto que tienen los cambios en las eficiencias de los diversos componentes del circuito de energía sobre la eficiencia del circuito de energía y sobre la reducción general de pérdidas respecto de la potencia de entrada.

El caso de base o caso **Legacy AC** (CA, legado) representa un centro de datos antiguo con valores de eficiencia típicos para unidades UPS de CA, unidades PDU y fuentes de alimentación de equipos informáticos, y supone que las fuentes de alimentación de los equipos informáticos operan a 208 V de CA. El caso **Best Practice AC** (CA, mejor práctica) representa un centro de datos nuevo con la última generación de unidades UPS de CA de alta eficiencia, unidades PDU y fuentes de alimentación de equipos informáticos. En el caso **400 V AC** (400 V de CA), se utilizan los mismos componentes modernos que en el caso de CA, mejor práctica, pero se eliminan las unidades PDU (y en consecuencia, las pérdidas relacionadas con los transformadores asociados) y se supone que las fuentes de alimentación de los equipos informáticos operan a 230 V de CA, lo que produce un aumento de la eficiencia del 0,5% sobre el caso anterior que operaba a 208 V de CA (la diferencia entre las curvas verde y amarilla en la **Figura 8**). En el caso **380 V DC** (380 V de CC), se emplea una unidad UPS teórica de CC, no se utilizan unidades PDU, y las fuentes de alimentación de los equipos informáticos tienen el 1,5% de aumento de eficiencia con respecto al caso de 208 V de CA, como muestra la **Figura 7**. En todos los casos, se supone la misma eficiencia para el cableado de distribución.

### Cómo utilizar la herramienta AC vs. DC Calculator

*Se ofrece acceso directo al calculador desde este informe interno.*

Se requiere Flash Player versión 7 o posterior. Haga clic [aquí](#) para averiguar qué versión tiene su equipo.

Para descargar Flash Player, haga clic [aquí](#).

Haga clic en la imagen de la **Figura 9** para acceder a la herramienta Data Center AC vs. DC Calculator.

En este calculador de eficiencia, todas las variables clave que afectan la eficiencia son ajustables arrastrando los controles deslizantes. La herramienta inicia con valores de base por defecto para todas las variables a partir de una carga del 50%, tal como se las describe en este informe.

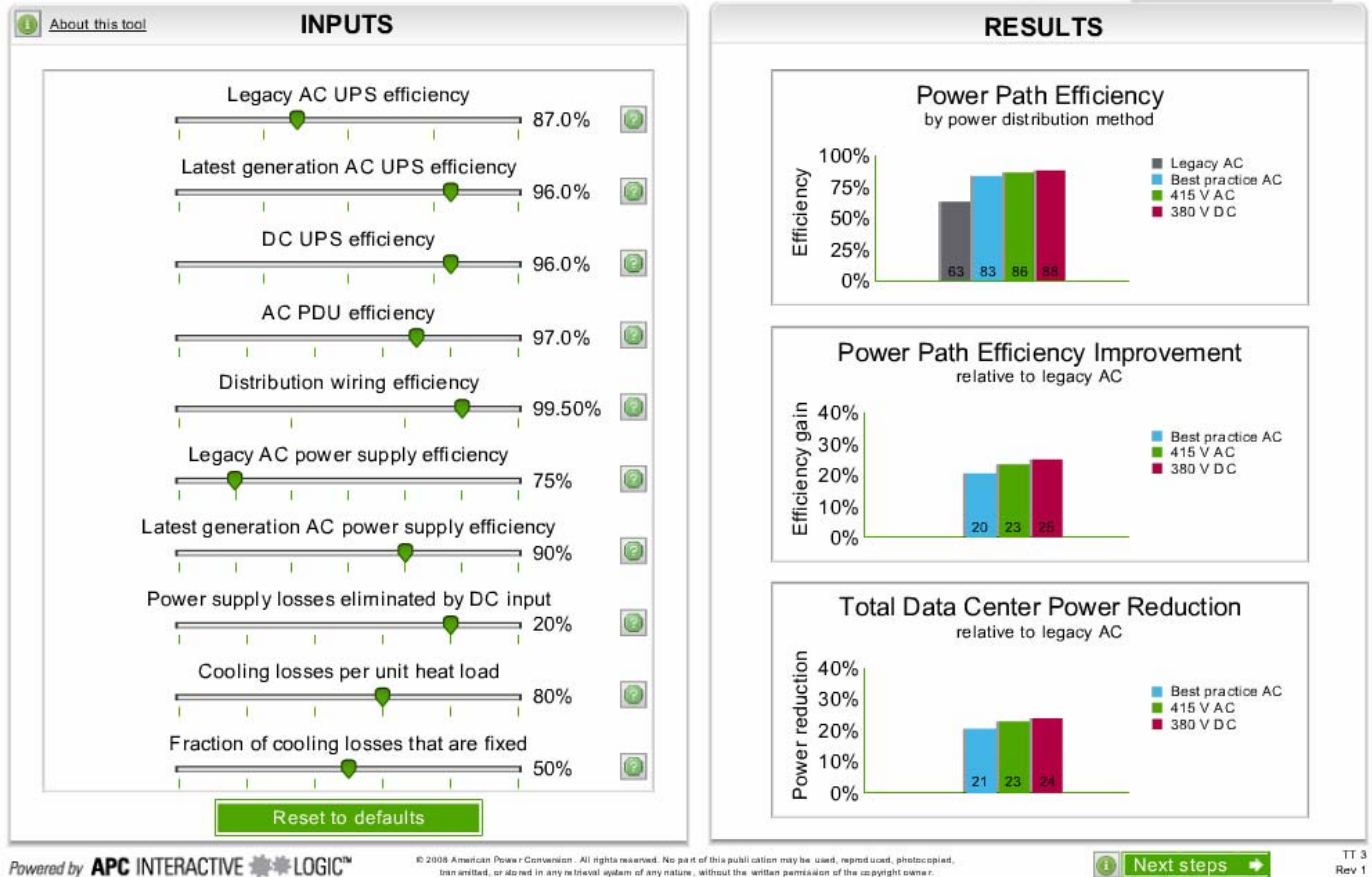
Los valores por defecto para el parámetro "*Cooling Losses Per Unit Heat Load*" (Pérdidas debidas al enfriamiento por unidad de carga de calor) que se presentan en esta herramienta de cálculo son valores típicos para una carga del 50%. Cuando en el modelo se consideran cargas operativas cercanas al 100% de la carga informática, el usuario debe reducir el valor del parámetro "*Cooling Losses Per Unit Heat Load*" manualmente para reflejar un aumento en la eficiencia del enfriamiento con una carga completa.

El modelo incluye como supuesto el 2% de carga de iluminación para el cálculo de la reducción de la potencia de entrada. Si existen cargas fijas adicionales, tales como un centro de operaciones de redes, el porcentaje de reducciones en las pérdidas de la potencia de entrada disminuirá en todos los casos.

Figure 9 – Herramienta de cálculo AC vs. DC utilizada para comparar arquitecturas de distribución de energía

## Data Center AC vs. DC Calculator

Impact on data center efficiency of various AC and DC power distribution architectures



## Consideraciones especiales para América del Norte

En general, las eficiencias de los sistemas de distribución de energía de los centros de datos de América del Norte son más bajas que en el resto del mundo, debido a la costumbre de usar unidades de distribución de energía (PDU) con transformadores. En América del Norte, la alimentación por UPS suele operar a 480/277 V de CA trifásica, tensión que los transformadores de las unidades PDU reducen a 208/120 V de CA trifásica para su distribución a las cargas informáticas. Por el contrario, la mayoría de las regiones fuera de América del Norte utilizan alimentación por UPS de 400/230 V, la cual se suministra directamente a las cargas sin que medie ningún transformador reductor. El transformador reductor representa una pérdida sustancial en la mayoría de los diseños, especialmente porque la suma total de los valores nominales de los transformadores reductores instalados suele ser mucho mayor que el valor nominal de la unidad UPS, lo cual significa que los

transformadores están desaprovechados. Más aún, en un centro de datos de alta densidad, los transformadores ocupan un espacio significativo del piso y constituyen una carga de peso considerable en el piso. Para obtener una explicación detallada de este problema y cómo puede utilizarse un sistema de distribución de 400/230 V en América del Norte, consulte el Informe interno N° 128 de APC, [Cómo aumentar la eficiencia de un centro de datos utilizando una distribución mejorada de energía de alta densidad](#).

En algunas instalaciones de América del Norte, probablemente sea necesario instalar un autotransformador para adaptar la alimentación existente de 480/277 V a la estándar de 400/230 V. El uso de un autotransformador implica que la potencia nominal del transformador en kVA es de tan sólo 17% del régimen de potencia del sistema, lo que permite que el transformador funcione con una eficiencia alta. En aquellos sistemas de América del Norte en los que se necesita un autotransformador, la eficiencia del sistema de distribución de energía se verá disminuida debido a las pérdidas asociadas a los autotransformadores. Esto reducirá la eficiencia de algunos sistemas de distribución de energía de América del Norte en aproximadamente el 1%. Sin embargo, existe una propuesta consensuada entre los fabricantes OEM para ampliar el intervalo de la tensión de entrada de las fuentes de alimentación y así incluir una tensión de 277 V de CA, ya existente en los sistemas de 480/277 V de América del Norte. Si se logra realizar la propuesta, no sólo se eliminará la necesidad de utilizar autotransformadores, sino que además, tal como lo demuestra la curva de eficiencia para las fuentes de alimentación de la **Figura 8**, habrá una mejora significativa de la eficiencia de la fuente de alimentación (la diferencia entre la curva roja y la amarilla) que permitiría que el sistema de distribución de CA tenga la misma eficiencia general o ligeramente superior que el sistema de 380 V de CC.

## Efecto de la variación de la carga informática sobre la eficiencia

En este informe, las comparaciones de las eficiencias de los circuitos de alimentación se calcularon para una carga informática del 50%. La eficiencia del sistema de distribución de energía –y por lo tanto, la eficiencia de la totalidad del centro de datos– varía en función de la carga informática. La relación entre la eficiencia y la carga informática puede modelarse con precisión, tal como se explica en el Informe interno N° 113 de APC, [Elaboración de modelos de eficiencia eléctrica para centros de datos](#).

Las comparaciones de eficiencias de este informe incluyen la eficiencia de las fuentes de alimentación (PSU) dentro de los equipos informáticos. Cuando la carga informática total varía en un centro de datos real, se debe principalmente a un cambio en la *cantidad* de equipos informáticos y no a una *variación de carga* en los equipos informáticos existentes. Por consiguiente, un cambio en la carga informática total del centro de datos se refleja en la carga de la unidad UPS y los sistemas de cableado de distribución, pero por lo general no guardan correlación con la carga operativa de cada unidad PSU. Si bien la energía fluye desde la unidad UPS, pasa por el cableado de distribución y luego por la fuente de alimentación de los equipos informáticos hasta llegar a la carga informática, esto no significa que todos estos dispositivos estén operando al mismo porcentaje de su capacidad

nominal (es decir, a la misma carga operativa). Por lo general, la potencia total fluye a través de muchos dispositivos informáticos, incluso miles.

Consideremos un centro de datos que opera al 5% de su capacidad. Sería razonable suponer que la unidad UPS funciona al 5% de su carga operativa (5% de su capacidad), pero este dato no aporta información alguna sobre la carga operativa de cada fuente de alimentación de equipos informáticos aguas abajo. Este 5% de carga en la unidad UPS puede deberse a distintos factores:

- unos pocos dispositivos informáticos operan al 100% de su potencia de entrada nominal; o
- veinte veces más dispositivos informáticos operan al 5% de su potencia de entrada nominal; o bien
- cien veces más dispositivos informáticos operan al 1% de su potencia de entrada nominal.

El 5% de la carga operativa de la unidad UPS está claramente relacionado con las cargas operativas totales de todos los dispositivos informáticos a los que alimenta, pero las cargas operativas particulares de cada dispositivo informático no se relacionan entre sí y no se vinculan en forma idéntica con el 5% de carga operativa de la unidad UPS.

Esto significa que, de los tres segmentos del circuito de alimentación del centro de datos (dado que el cableado de distribución tiene un efecto mínimo sobre la eficiencia independientemente de cuál sea la carga), es la variación de la *eficiencia de la unidad UPS* con respecto a la carga (ya sea de CA o de CC) la que ejerce la mayor influencia sobre la variación de la eficiencia general del centro de datos a medida que varía la carga informática.

Por las razones anteriores, **la variación de la carga informática tiene poco efecto sobre la eficiencia, y no hay razones para considerar que la CA o la CC es una más ventajosa que la otra a diferentes cargas informáticas operativas.**

Por lo tanto, el efecto de la variación de la carga informática sobre el análisis y las conclusiones presentados en este informe es insignificante.

## Confiabilidad de los resultados

Los razonamientos matemáticos de los cálculos utilizados para establecer la eficiencia de los sistemas de distribución de CA y CC son irrefutables. También es irrefutable la aseveración de que ninguno de los dispositivos de distribución de energía puede tener una eficiencia superior al 100%. Esto limita de inmediato los beneficios teóricamente posibles en cuanto a la eficiencia de una arquitectura de CC y los reduce a valores muy por debajo de los presentados en los medios gráficos.

Este informe demuestra que sólo hay tres valores clave que tienen un efecto significativo sobre el análisis de eficiencia, y éstos son:

1. la eficiencia de los sistemas UPS de CA;
2. la eficiencia de los sistemas UPS de CC; y
3. el aumento de eficiencia que resulta factible al convertir las fuentes de alimentación de los equipos informáticos (PSU) de modo que operen con CC.

Dado que la incertidumbre de estos tres valores afecta las conclusiones de la comparación de las eficiencias, vale la pena considerar si es probable que estos valores cambien en forma significativa como resultado de investigaciones futuras o nuevas tecnologías.

### Eficiencia de la UPS de CA

Con respecto a la eficiencia de la UPS de CA, el valor utilizado en este informe se basa en un producto real, disponible en la actualidad, con un rendimiento en términos de eficiencia certificado por terceros. En APC, somos conscientes de que existen otros productos que pronto estarán en el mercado y que probablemente tengan un rendimiento similar o ligeramente superior. Por supuesto, aún hay muchos productos UPS más antiguos en el mercado que tienen una eficiencia mucho menor, con lo cual si el objetivo es construir un centro de datos de alta eficiencia, debe garantizarse el uso de una UPS de alta eficiencia. En este momento, no prevemos aumentos considerables de eficiencia de las mejores unidades UPS de CA durante los próximos años.

### Eficiencia de la UPS de CC

Con respecto a la eficiencia de la UPS de CC, los valores utilizados en este informe se basan en las afirmaciones de un fabricante, y no existen unidades UPS con alimentación de CC conocidas para la distribución de energía en un centro de datos de mayor eficiencia. Sin embargo, vale considerar la posibilidad de construir sistemas UPS de CC de mayor eficiencia. Una UPS de CC debe convertir CA a CC, ofrecer una potencia de salida regulada y presentar una entrada con corrección de factor de potencia para el suministro de la red eléctrica. Dentro de estas restricciones, es concebible la posibilidad de crear sistemas UPS de CC con eficiencias mayores del 96%, pero no hay casos demostrados. En la actualidad, el mejor ejemplo de dispositivos comerciales reales similares a las unidades UPS de CC son los inversores fotovoltaicos interactivos con la red eléctrica, que están optimizados para lograr una mayor eficiencia y, desde el punto de vista técnico, son unidades UPS de CC que operan con un flujo de energía invertido. Una revisión de datos publicada por la Comisión de Energía de California demuestra que tales eficiencias se encuentran en un rango del 94% al 50% de la carga, con un mejor rendimiento al 96%. Esta conclusión confirma en forma significativa la validez de la eficiencia del 96% supuesta en el modelo para la UPS de CC.

De todos modos, las investigaciones realizadas por APC sugieren que es posible, en el futuro, mejorar la eficiencia de las unidades UPS de CC y superar ligeramente el 96%. Por lo tanto, consideramos que es razonable afirmar que una unidad UPS de CC optimizada puede brindar una eficiencia prácticamente tan alta

como la de las unidades UPS de CA disponibles en el mercado. Si esto se lograra, entonces los mejores sistemas de distribución de CA y CC tendrían básicamente eficiencias equivalentes; la única diferencia sería el aumento de eficiencia en la fuente de alimentación de los equipos informáticos debido a la conversión a CC, si la hubiere.

### Posible aumento de eficiencia como resultado de la conversión a CC de las fuentes de alimentación de los equipos informáticos

Hay consenso general sobre el tema: la conversión de las fuentes de alimentación de los equipos informáticos (PSU) a una tensión de entrada de 380 V de CC aumenta la eficiencia. Este informe ha demostrado que las nuevas fuentes de alimentación de CA tienen valores de eficiencia que superan el 90% con un amplio rango de carga. De hecho, algunos modelos, cuya entrega está prevista para 2008, ya están alcanzando eficiencias máximas del 94%. Esto significa que **teóricamente el aumento máximo de eficiencia de las fuentes de alimentación de CC es de tan sólo 6%** ( $100\% - 94\% = 6\%$ ) **incluso si la fuente de alimentación de energía CC tuviera una eficiencia del 100%**.

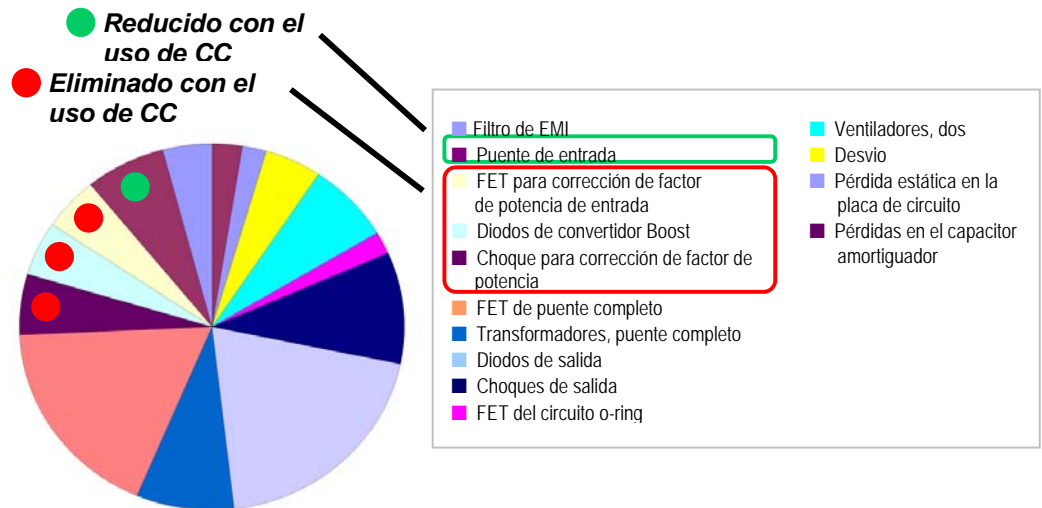
A efectos del análisis de este informe, se utilizó una mejora del 1,5% a partir de los resultados de Sun Microsystems. El hecho de que se hayan obtenido estas mejoras no responde la pregunta de si se prevé o no una mejora del 1,5% en la eficiencia, o qué mejoras podrían lograrse realmente. La siguiente explicación brinda las bases teóricas para determinar cuánto se puede aumentar la eficiencia de una fuente de alimentación al convertirla a CC.

La unidad PSU cumple dos funciones principales:

- brindar aislamiento de seguridad entre los circuitos informáticos y la fuente de potencia de entrada; y
- convertir la CA de entrada a 12 V de CC regulada.

El uso de una distribución de CC no elimina la necesidad de emplear un aislamiento de seguridad, ni tampoco la de brindar 12 V de CC regulada. Sin embargo, si se utiliza un sistema de distribución de CC, se pueden eliminar algunos de los circuitos de la unidad PSU, cuya función es la conversión de CA a CC. Una publicación reciente de Sun Microsystems brinda un análisis cuantitativo de la mejora de eficiencia que aportaría la conversión de una unidad PSU de CA para que funcione con una entrada de CC. En la **Figura 10** se muestra un desglose detallado del uso de energía eléctrica dentro de la unidad PSU de un servidor. Los elementos marcados como "Eliminados con el uso de CC" son pérdidas debidas a las partes que se eliminan definitivamente si la unidad PSU se convierte a CC. El elemento marcado como "Reducido con el uso de CC" son pérdidas que no pueden eliminarse completamente dada la necesidad de protección de respaldo, pero podrían reducirse a la mitad si la unidad PSU se convierte a CC.

*Figura 10 – Desglose de pérdidas dentro de la fuente de alimentación (PSU) de un servidor, que detalla las pérdidas que pueden eliminarse o disminuirse al convertirla a CC<sup>2</sup>*



Fuente: Sun Microsystems

De la **Figura 10**, se desprende que aproximadamente el 20% de las pérdidas de la fuente de alimentación se pueden eliminar con la conversión a CC. Para determinar en qué medida esta reducción de las pérdidas mejora la eficiencia de la fuente de alimentación, se utiliza el siguiente cálculo:

$$\begin{aligned}
 \Delta\eta &= \eta' - \eta \\
 &= (1 - \text{pérdida}') - \eta \\
 &= (1 - (1 - \eta) \times (1 - \text{PSLR})) - \eta \\
 &= (\eta + \text{PSLR} - \eta \times \text{PSLR}) - \eta \\
 &= \text{PSLR} \times (1 - \eta)
 \end{aligned}$$

donde  $\eta$  es la eficiencia de la fuente de alimentación con CA;  $\eta'$  es la eficiencia después de la conversión a CC; y PSLR es la reducción de la pérdida relativa a la fuente de alimentación debida a la conversión a CC. Dadas la mejor eficiencia posible de la fuente de alimentación (91,5%) y una reducción de las pérdidas en la fuente de alimentación del 20% tras la conversión a CC, la mejora de la eficiencia es de 1,58%.

Es importante destacar que el aumento de eficiencia se ve afectado considerablemente por la eficiencia inicial de la fuente de alimentación; por lo tanto, resulta probable que el aumento de eficiencia tras la conversión a CC sea mayor para las fuentes de alimentación con eficiencias más bajas. No obstante, debemos prever que los centros de datos de alta eficiencia del futuro contarán inevitablemente con fuentes de alimentación eficientes y que un aumento en la eficiencia de tan sólo 1,5% aproximadamente es un valor factible.

Dada la eficiencia de la unidad PSU de más del 90% para la generación actual de los equipos informáticos, los cálculos demuestran que es de esperar que el aumento de eficiencia producido por la conversión de las fuentes de alimentación de los equipos informáticos a CC sea de aproximadamente 1,6%. Esta deducción coincide con la conclusión expuesta en una presentación reciente de Sun Microsystems que afirma que “las fuentes de alimentación de CC a CC suelen ser de 1 a 3% más eficientes que las de CA a CC.”<sup>13</sup> También se corresponde con la mejora de aproximadamente 2% a la que arribaron como conclusión los autores del proyecto de demostración de centros de datos con alimentación de CC, llevado a cabo por el Lawrence Berkeley National Laboratory.<sup>14</sup>

### Resumen sobre confiabilidad

Los valores numéricos utilizados en la comparación de los sistemas de distribución de CA y CC cuentan con una confiabilidad considerable. Se prevé una diferencia de menos del 1% en los valores de eficiencia de las unidades UPS de CA y CC con respecto a los valores de eficiencia utilizados. Las pérdidas debidas al cableado son irrelevantes, dado que son ínfimas. Se espera que las eficiencias de las fuentes de alimentación mejoren en un 4% o más, lo que beneficia tanto a los sistemas de CA como de CC. Luego, está demostrado que el aumento de eficiencia producido por la conversión de CA a CC se ve limitado a aproximadamente 1,6% para fuentes de alimentación con un 90% de eficiencia y 1% para las fuentes con un 94% de eficiencia.

A partir de este análisis, es razonable pensar que los sistemas de CC pueden aumentar su eficiencia en un punto porcentual más que los sistemas de CA. Si esto se logra, elevaría el beneficio de la distribución de CC a aproximadamente el 1,5%, con una reducción correspondiente en el consumo general del centro de datos del 1,1% con respecto al caso de base de este estudio. Sin embargo, también existe la posibilidad de una conversión al estándar de suministro de energía de 277 V de CA, lo cual mejoraría la eficiencia de las instalaciones de CA de América del Norte en aproximadamente 1%. Si se consiguiera este aumento, los métodos de distribución de CA y CC estarían efectivamente a la par.

## ¿Cómo obtuvieron otras publicaciones valores tan errados?

Los resultados de este estudio difieren drásticamente de las afirmaciones expuestas en muchas publicaciones. La mayoría de los artículos que consignaron valores de aumento de eficiencia parten de una afirmación extraída del informe publicado por el Lawrence Berkley National Laboratory (LBNL).<sup>15</sup> El informe del Lawrence Berkeley National Laboratory llega a la siguiente conclusión:

*"En este caso, es posible obtener una mejora de más del 28% en un centro de datos promedio. Esto significa que el sistema de distribución de CC, tal como se ha demostrado, tendrá el potencial de utilizar 28% menos de energía que el sistema de CA típico, utilizado en los centros de datos de hoy en día. Dado que las cargas de los sistemas HVAC del centro de datos suelen ser aproximadamente las mismas que las de los equipos informáticos, una mejora del 28% en la distribución y la conversión también implica una mejora del 28% en la eficiencia general a nivel de la instalación."*

**El problema es que la afirmación anterior, ampliamente citada, lleva al lector a creer erróneamente que el uso de CC ofrecería una mejora del 28% en la eficiencia general de la instalación con respecto a una instalación nueva para CA, un valor 30 veces mayor que la mejora presentada en este informe, y cuya falsedad es demostrable.** Como se muestra en la Tabla ES3 del informe del LBNL, el porcentaje del 28% se obtiene a partir de la suposición de que las fuentes de alimentación de los dispositivos informáticos serían 19% más eficientes en una instalación de CC, lo cual definitivamente no sería el caso de las nuevas fuentes de alimentación. El mismo informe detallado del Lawrence Berkeley National Laboratory no afirma que haya un aumento de la eficiencia de la nueva fuente de alimentación superior al 2%. Este valor del 28% también presupone una unidad UPS de CA con una eficiencia del 85%, que es 11,2% menos eficiente que los sistemas UPS de CA disponibles en el mercado. Más aún, esta afirmación no contempla las cargas fijas en la planta de enfriamiento que disminuyen la mejora general de la instalación.

### Resultados contradictorios: a qué prestar atención

*En cualquier conclusión que difiera significativamente de las expuestas en este informe, debe verificarse que no existan supuestos equivocados, efectos combinados o mediciones absolutas exageradas*

#### Puntos importante que revisar:

- Eficiencia de la unidad UPS para CC mayor del 96%
- Eficiencia de la unidad UPS para CA menor del 96%
- Diferencia entre las eficiencias de las fuentes de alimentación para operar con CA y con CC mayor del 2%
- Comparación con distribución de CA diferente a la de 400/230V sin transformadores
- Datos de eficiencia que no fueron certificados por terceros
- Supuesto ahorro general de energía del centro de datos (en porcentaje) superior al ahorro en el circuito de energía (debido a la existencia de algunas cargas fijas, el porcentaje de ahorro general siempre es menor que el ahorro del circuito de alimentación)
- Diferencia significativa en las pérdidas en el cableado entre los sistemas para CA y CC (las pérdidas en el cableado son esencialmente las mismas para ambos sistemas)
- No se combinan las mejores eficiencias conocidas para cada segmento en los casos para CA y CC
- Estudios que mezclan la distribución de CC con otras mejoras en la eficiencia o métodos de reducción de la carga informática
- Ahorros expresados en valores absolutos –dólares, vatios o servidores– para instalaciones excepcionalmente grandes

Estos supuestos imprecisos y distracciones del análisis pueden llevar a conclusiones erróneas y exagerar las ventajas de la distribución de CC.

Estos supuestos desacertados representan, en su conjunto, el valor del 28% del informe del LBNL, mientras que este informe consignó un beneficio de sólo 0,94% en el consumo de energía del centro de datos. Si los cálculos del informe del LBNL se ajustan a los valores adecuados de eficiencia de las unidades UPS y las fuentes de alimentación, la conclusión del informe del LBNL coincidiría con la de este informe.

## Conclusión

Hay pérdidas significativas en los sistemas de distribución de energía de los centros de datos existentes, y es de interés para todos los operadores de centros de datos la reducción de estas pérdidas en los nuevos centros de datos y, de ser posible, en existentes.

En la actualidad, a la hora de construir un centro de datos, no se tiene otra alternativa más que utilizar una distribución de CA, dado que aún no existen regulaciones de seguridad, dispositivos de distribución de energía ni productos informáticos que admitan una entrada de 380 V de CC. La mayoría de los clientes puede, y debe, especificar las capacidades de alta eficiencia en sus nuevos diseños de CA; en la actualidad se dispone de distintas soluciones para lograr niveles muy altos de eficiencia de distribución de energía.

En el futuro, los clientes y proveedores deben plantearse si la CC se convertirá en una alternativa razonable que reemplace la CA. Dado que, para empezar, es tan alta la eficiencia de la última generación de sistemas de distribución de CA de alta eficiencia correctamente diseñados, sencillamente no existe una gran probabilidad de que una alternativa de CC brinde una mejora considerable. A partir de los mejores datos disponibles, se llegó a una reducción en el consumo de energía del centro de datos de tan sólo el 0,94% para una arquitectura hipotética para 380 V de CC (ver **Tabla 2**).

Si el objetivo es lograr una mejora de aproximadamente el 1% en el sistema de distribución de energía, entonces, para el caso de América del Norte, una forma mucho más rápida de obtenerlo es convertir el estándar de distribución a 277 V de CA, en vez de 380 V de CC. La distribución de energía de 277 V de CA tiene la misma eficiencia que la de 380 V de CC, utiliza los equipos y estándares existentes, es más fácil de implementar en un entorno mixto y podría implementarse casi de inmediato.

Cualquier ganancia de eficiencia es beneficiosa. **Sin embargo, no parece justificable realizar modificaciones masivas en las industrias relacionadas con la informática, la ingeniería, la instalación y el suministro de energía durante un periodo de 10 años para obtener una ganancia de menos del 1%, en especial cuando es muy factible obtener ganancias aproximadamente 20 veces mayores (en el orden del 20% del consumo total de energía) si se centra la atención en realizar mejoras en los sistemas de enfriamiento de los centros de datos.** De hecho, mínimos ajustes en la configuración operativa o el diseño de los sistemas de enfriamiento producen cambios en el consumo de energía del centro de datos muy superiores a los que se obtendrían al cambiar la alimentación de los centros de datos de CA a CC.

Prácticamente todos los artículos difundidos exageran demasiado las virtudes de los sistema de CC, ya que parten de una frase desacertada y confusa, extraída del informe del Lawrence Berkley National Labs, malentendido que se ha explicado y corregido en este informe.

Es cierto que en la actualidad hay muchos centros de datos en funcionamiento –e incluso en construcción– que tienen una eficiencia general en la distribución de energía no optimizada, lo que se traducirá como el desperdicio de incluso el 10% de toda la energía que usa el centro de datos. La distribución de CC se propuso como una forma de ahorrar esa energía desperdiciada, pero su implementación podría llevar muchos años.

Afortunadamente, existen enfoques más nuevos que utilizan CA y obtienen casi los mismos aumentos de eficiencia, y pueden implementarse YA MISMO. Una revisión sistemática de los datos sugiere que la distribución de CC no es la respuesta adecuada al problema.

## Acerca de los autores

**Neil Rasmussen** es el Director de Tecnología de APC-MGE. Establece el destino tecnológico del mayor presupuesto mundial de Investigación y Desarrollo dedicado a la infraestructura de energía, enfriamiento y racks para redes críticas. En la actualidad, lidera los proyectos de APC para el desarrollo de soluciones para infraestructuras de centros de datos modulares, escalables y de 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 *Bachelor* y *Master* en Ingeniería Eléctrica del MIT, donde realizó su tesis sobre el análisis de una fuente de potencia de 200 MW para un reactor de fusión Tokamak. Desde 1979 a 1981, trabajó para MIT Lincoln Laboratories en sistemas de almacenamiento de energía de volante y sistemas de energía eléctrica solar.

**James Spitaels** es Ingeniero Consultor de APC-MGE. Recibió los títulos de *Bachelor* y *Master* en Ingeniería Eléctrica del Worcester Polytechnic Institute. Durante sus 16 años de colaboración con la empresa, desarrolló unidades UPS, productos, arquitecturas y protocolos de comunicaciones, gabinetes para equipos y productos de distribución de energía, y dirigió varios equipos de desarrollo de productos. Tiene cuatro patentes en Estados Unidos relacionadas con unidades UPS y sistemas de alimentación.

## Informes internos de APC citados

---

**Nº 63** [\*Distribución de energía CA vs. CC para centros de datos\*](#)

**Nº 113** [\*Elaboración de modelos de eficiencia eléctrica para centros de datos\*](#)

**Nº 128** [\*Cómo aumentar la eficiencia de un centro de datos utilizando una distribución mejorada de energía de alta densidad\*](#)

## Otras referencias

---

<sup>1</sup> Symmetra MW - Informe de prueba de TÜV número 21113774\_010, 26 de septiembre de 2005. Symmetra PX - Informe de prueba de TÜV IS-EGN-MUC/ed, 12 de junio de 2007. Smart-UPS VT - Informe de prueba de TÜV número 21113774\_008, 11 de noviembre de 2005.

<sup>2</sup> Datos sobre productos SatCon extraídos del informe de la California Energy Commission.  
[http://www.consumerenergycenter.org/erprebate/inverter\\_tests/summaries/Satcon-AE-75-60-PV-A.pdf](http://www.consumerenergycenter.org/erprebate/inverter_tests/summaries/Satcon-AE-75-60-PV-A.pdf)

<sup>3</sup> Informe del Lawrence Berkeley National Labs: "High Performance Buildings: Data Center – Uninterruptible Power Supplies (UPS)" (Construcciones de alto rendimiento: Centros de datos – Sistemas de energía ininterrumpible [UPS]) Diciembre de 2005, Figura 17.  
[http://hightech.lbl.gov/documents/UPS/Final\\_UPS\\_Report.pdf](http://hightech.lbl.gov/documents/UPS/Final_UPS_Report.pdf)

<sup>4</sup> A. Pratt y P. Kumar, "Evaluation of Direct Current Distribution in Data Centers to Improve Energy Efficiency" (Evaluación de la distribución de corriente continua en los centros de datos para mejorar la eficiencia eléctrica) The Data Center Journal, marzo de 2007.

<sup>5</sup> Presentación de Netpower Labs por Stefan Lidstrom, reunión de partes interesadas en centros de datos de CC, organizado por el Lawrence Berkeley National Labs, 12 de julio de 2007, PDF unificado, página 31 de 67, diapositiva 8.  
<http://hightech.lbl.gov/presentations/dc-powering/dc-stakeholders/1-Voltage.pdf>

<sup>6</sup> Lawrence Berkeley National Laboratory: Página 5 del Resumen ejecutivo "DC Power for Improved Data Center Efficiency" (Energía CC para mejorar la eficiencia del centro de datos). Enero de 2007, Tabla ES1.  
[http://hightech.lbl.gov/documents/DATA\\_CENTERS/DCDemoExecutiveSummary.pdf](http://hightech.lbl.gov/documents/DATA_CENTERS/DCDemoExecutiveSummary.pdf)

<sup>7</sup> Lawrence Berkeley National Laboratory: "High Performance Buildings: Data Centers – Server Power Supplies" (Construcciones de alto rendimiento: centros de datos – Fuentes de alimentación de los servidores). Diciembre de 2005.  
[http://hightech.lbl.gov/documents/PS/Final\\_PS\\_Report.pdf](http://hightech.lbl.gov/documents/PS/Final_PS_Report.pdf)

<sup>8</sup> Presentación de Sun Microsystems realizada por Mike Bushue, reunión de partes interesadas en centros de datos de CC, organizado por el Lawrence Berkeley National Labs, 12 de julio de 2007.  
<http://hightech.lbl.gov/presentations/dc-powering/dc-stakeholders/1-Voltage.pdf>

<sup>9</sup> Presentación de Hewlett Packard realizada por Paul Perez, Simposio del Uptime Institute, 5 de marzo de 2007.  
[http://www.uptimeinstitute.org/jsymp/index.php?option=com\\_content&task=view&id=45&Itemid=61](http://www.uptimeinstitute.org/jsymp/index.php?option=com_content&task=view&id=45&Itemid=61)

<sup>10</sup> Presentación del Intel Day de 2007, "Data Center Energy Efficiency Research @ Intel Day" (Investigación sobre eficiencia en el consumo de energía de los centros de datos en el Intel Day) realizada por Guy AllLee, Milan Milenkovic y James Song, junio de 2007.  
[http://download.intel.com/pressroom/kits/research/poster\\_Data\\_Center\\_Energy\\_Efficiency.pdf](http://download.intel.com/pressroom/kits/research/poster_Data_Center_Energy_Efficiency.pdf)

- 
- <sup>11</sup> Informe interno de Intel, "Air-Cooled High-Performance Data Centers: Case Studies and Best Methods" (Centros de datos de alto rendimiento con enfriamiento por aire: estudios de casos y mejores métodos) realizado por Doug Garday y Daniel Costello, noviembre de 2006.  
<http://www.intel.com/it/pdf/air-cooled-data-centers.pdf>
- <sup>12</sup> Presentación de Sun Microsystems realizada por Mike Bushue, reunión de partes interesadas en centros de datos de CC, organizado por el Lawrence Berkeley National Labs, 12 de julio de 2007, PDF unificado, página 19 de 67, diapositiva 9.  
<http://hightech.lbl.gov/presentations/dc-powering/dc-stakeholders/1-Voltage.pdf>
- <sup>13</sup> Presentación de Sun Microsystems realizada por Mike Bushue, reunión de partes interesadas en centros de datos de CC, organizado por el Lawrence Berkeley National Labs, 12 de julio de 2007, PDF unificado, página 19 de 67, diapositiva 9.  
<http://hightech.lbl.gov/presentations/dc-powering/dc-stakeholders/1-Voltage.pdf>
- <sup>14</sup> Lawrence Berkeley National Laboratory: Página 6 del Resumen ejecutivo "DC Power for Improved Data Center Efficiency" (CC para mejorar la eficiencia de los centros de datos). Enero de 2007.  
[http://hightech.lbl.gov/documents/DATA\\_CENTER/DCDemoExecutiveSummary.pdf](http://hightech.lbl.gov/documents/DATA_CENTER/DCDemoExecutiveSummary.pdf)
- <sup>15</sup> Lawrence Berkeley National Laboratory: Página 6 del Resumen ejecutivo "DC Power for Improved Data Center Efficiency" (CC para mejorar la eficiencia de los centros de datos). Enero de 2007.  
[http://hightech.lbl.gov/documents/DATA\\_CENTER/DCDemoExecutiveSummary.pdf](http://hightech.lbl.gov/documents/DATA_CENTER/DCDemoExecutiveSummary.pdf)