

Alimentación y Refrigeración para Aplicaciones de Telefonía IP y VoIP

Informe interno N° 69



Resumen Ejecutivo

Los despliegues de tecnología de Voz con soporte IP (VoIP) pueden generar requisitos de refrigeración y alimentación inesperados o imprevistos en gabinetes y salas de cableado. La mayoría de las salas de cableado no disponen de alimentación ininterrumpida ni cuentan con la ventilación ni la refrigeración necesarias para que no se sobrecalienten los equipos. Una buena comprensión de las necesidades exclusivas de alimentación y refrigeración de los equipos de VoIP permite planificar despliegues de tecnología VoIP de manera rentable y satisfactoria.

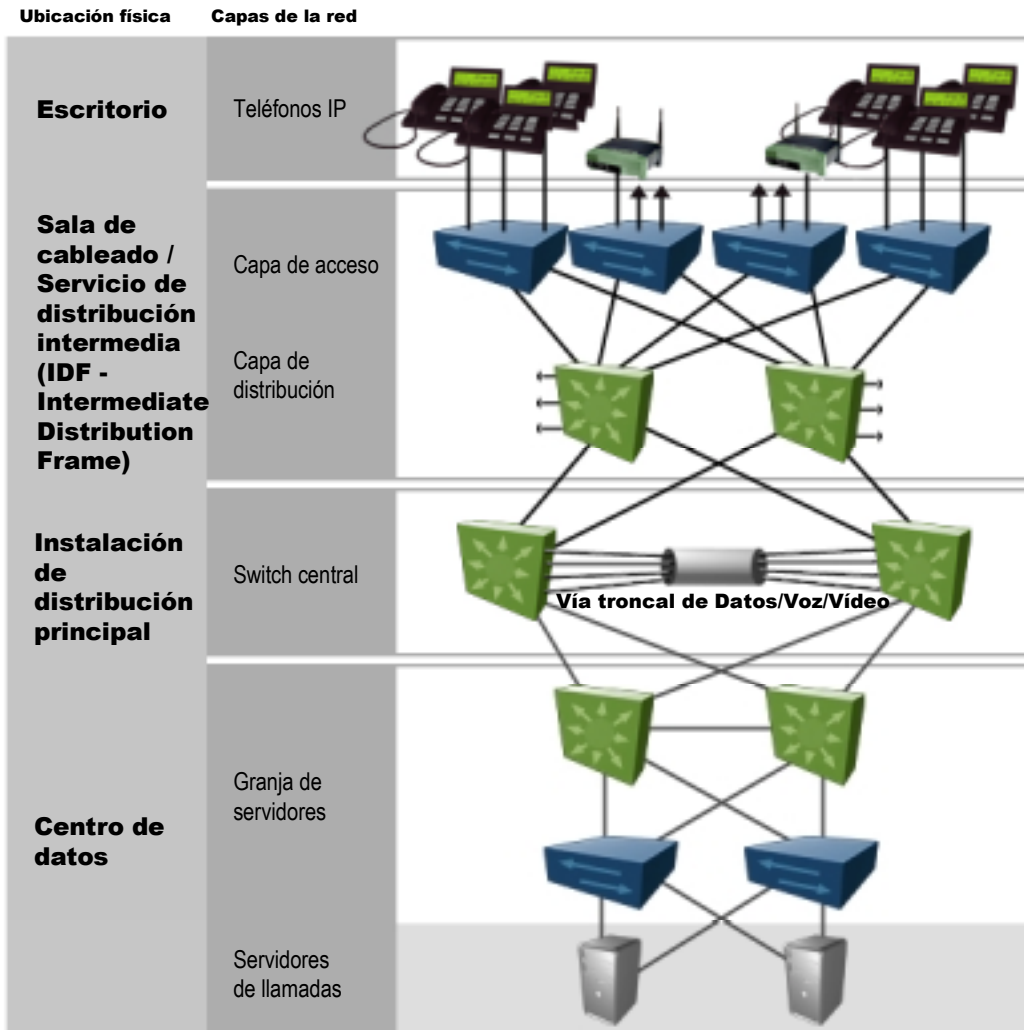
En este documento se explica cómo planificar las necesidades de alimentación y refrigeración para un despliegue VoIP, y se describen estrategias simples, rápidas, confiables y rentables para actualizar la infraestructura existente o construir infraestructuras nuevas.

Introducción

Para reemplazar los sistemas de telefonía PBX y de telecomunicaciones legados, la infraestructura de telefonía IP y VoIP deberá brindar una disponibilidad similar o superior. Una de las razones principales por las cuales el sistema PBX legado ofrece gran disponibilidad es el respaldo de baterías incorporado y de gran autonomía que alimenta al teléfono a través de la red. Para brindar la disponibilidad esperada, la infraestructura de telefonía IP tendrá que explotar el concepto de suministro conjunto de alimentación eléctrica y señal; la eficacia de este concepto ha sido demostrada a lo largo del tiempo. Por lo tanto, en la sala de cableado legada, que se utilizaba para alojar dispositivos pasivos como paneles de patches y hubs, ahora deberán colocarse routers, sistemas UPS y switches de alta potencia que tengan gran autonomía. La refrigeración y la circulación de aire en estas salas de cableado son fundamentales para garantizar el funcionamiento continuo.

Las redes de telefonía IP típicas se construyen en capas, y cada capa está formada por componentes que residen en una de las cuatro ubicaciones físicas (Figura 1). Los requisitos de alimentación y refrigeración de estas cuatro ubicaciones varían según se describe en las secciones siguientes.

Figura 1 – Capas y ubicaciones de una red de telefonía IP típica



Dispositivos de comunicación

Los dispositivos/puntos finales de comunicación típicos son los teléfonos IP (Figura 2a), hubs inalámbricos (Figura 2b), además de las computadoras portátiles con software telefónico que ofrece funciones de telefonía estándares. Los teléfonos IP suelen consumir entre 6 y 7 vatios, pero algunos dispositivos pueden llegar a tener un consumo mayor. Un nuevo proyecto reglamentario, la norma IEEE 802.3af, restringe el promedio de corriente que dichos dispositivos pueden tomar de los cables de categoría 5 a un máximo de 350 mA y especifica los pines mediante los cuales puede transmitirse la energía. Las redes que cumplan con esta nueva norma suministrarán alrededor de 15 W de potencia hasta una distancia de 100 m (328 pies). Si se precisa un mayor consumo de energía, los dispositivos de telecomunicación deberán recurrir a otras fuentes de energía externas, tales como adaptadores accesorios.

Figura 2a – Teléfono IP



Figura 2b – Hub inalámbrico



Entorno

Estos dispositivos de comunicación se hallan en escritorios, a veces se montan en la pared, y se utilizan en oficinas. En el caso de redes recientemente desplegadas o actualizadas, probablemente la alimentación se realice a través de las líneas de datos. Sin embargo, en algunos casos, se realizará mediante tomacorrientes de pared.

Problemas

En general, se necesita que los teléfonos IP ofrezcan el mismo grado de disponibilidad que los teléfonos PBX legados que reemplazan. En este caso, el mayor desafío será garantizar el funcionamiento continuo, incluso durante un corte de corriente prolongado.

Mejores prácticas

La mejor manera de resolver este problema es alimentando los teléfonos mediante la línea de datos (esta modalidad se denomina “alimentación en la línea”. De este modo, se elimina el problema de garantizar el suministro de energía al escritorio. Así, el teléfono se alimenta mediante un switch de red ubicado en la sala de cableado, que cuenta con el respaldo de un sistema de UPS de gran autonomía. Para los dispositivos de comunicación alimentados mediante tomacorrientes de pared (sin alimentación en la línea), se puede proveer un sistema UPS con tiempo prolongado de respaldo de baterías (cuatro, seis, ocho horas o más).

Servicio de distribución intermedia

Los IDF o salas de cableado abarcan la segunda capa, los switches de distribución y acceso de la tercera capa, hubs, routers, paneles de patches, sistema UPS con respaldo de batería, así como todo otro equipo de telecomunicaciones de cualquier tipo, montado en un rack de dos ejes (Figuras 3a y 3b). Muchos switches nuevos tienen incorporada la capacidad de suministrar energía mediante las líneas de datos (modalidad de alimentación denominada *end-span*) para alimentar los dispositivos de comunicación. En el caso de switches

que no cuentan con esta capacidad, para brindar alimentación en la línea se utiliza la modalidad de alimentación externa *mid-span* dimensionada de manera adecuada.

Figura 3a – IDF (sala de cableado)

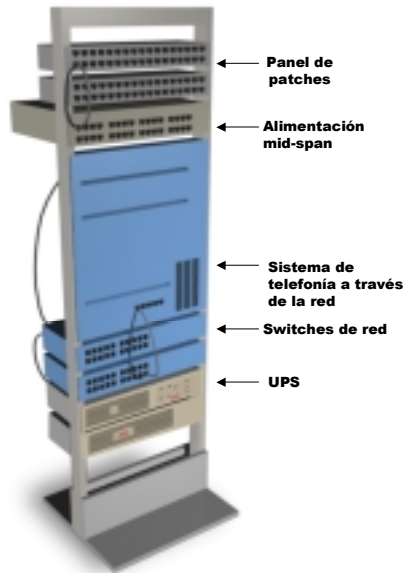
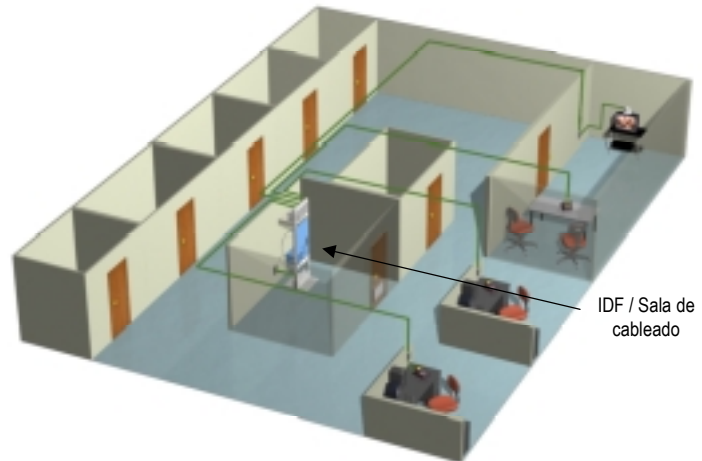


Figura 3b – Distribución típica de un IDF



Entorno

Estos IDF o salas de cableado suelen estar ocultos en algún lugar remoto del edificio con poca o ninguna ventilación e iluminación. A menos que el cliente se mude a otro edificio, lo más probable es que quieran reutilizar esas salas de cableado. En general, las redes de telecomunicaciones legadas usan las salas de cableado principalmente para paneles de cableado (punchdown blocks), paneles de parches y algunos hubs o switches pequeños y apilables; pero la mayor parte de los equipos de telefonía IP nuevos utilizan y disipan bastante más energía. Por lo general, los nuevos switches de telefonía IP son de montaje en rack de 19" y presentan distintos patrones de circulación de aire según el fabricante, por ejemplo: de un lateral al otro, desde el frente hacia atrás, etcétera. Los IDF típicos albergan equipos en entre 1 y 3 racks, y consumen entre 500 W y 4000 W con una conexión monofásica de CA.

Problemas

Cuando se despliegan sistemas de telefonía IP y VoIP, debe prestarse mucha atención a los IDF en términos de alimentación y refrigeración. El consumo de potencia de éstos oscila entre los 500 W y los 4000 W con una conexión monofásica de 120 o 208 VCA, según la arquitectura de la red y el tipo de switch empleado. Es todo un desafío garantizar la provisión del tipo de tomacorriente adecuado (por ejemplo, L5-20, L5-30, L6-20, L6-30) y la cantidad de energía adecuada con un disyuntor que proteja adecuadamente todos los equipos de la red, el sistema UPS y la unidad de distribución de energía (PDU – *Power Distribution Unit*) de la sala de cableado. En estas salas de cableado, muchas veces, la refrigeración y la circulación de aire constituyen un problema mayor que se pasa por alto.

Mejores prácticas

Todos los equipos del IDF deben protegerse mediante un sistema UPS. La elección del sistema UPS se basa en:

- La potencia total necesaria, medida en vatios
- La autonomía necesaria, medida en minutos
- El nivel deseado de redundancia o tolerancia a las fallas
- Las tensiones y tomacorrientes necesarios

El sistema UPS se dimensiona según la suma de las potencias de las cargas, medidas en vatios. Un sistema UPS común, de montaje en rack, como la unidad Smart-UPS de APC (Figura 4a) proporcionará alrededor de cuatro nueves (99,99%) de disponibilidad de energía, mientras que un sistema UPS con redundancia N+1 y bypass incorporado, como la unidad Symmetra RM de APC (Figura 4b), con una hora de autonomía proporcionará alrededor de cinco nueves (99,999%); este nivel de disponibilidad puede resultar suficiente para la mayoría de las aplicaciones. Si desea conocer los detalles del análisis de disponibilidad, consulte el Apéndice.

Figura 4a – Smart-UPS de APC



Figura 4b – Symmetra RM de APC



Es posible adquirir los productos UPS con paquetes de baterías para contar con distintos tiempos de autonomía. Existen paquetes de batería optativos para los productos de los tipos ilustrados en las figuras 4a y 4b, que permiten extender la autonomía hasta un máximo de 24 horas.

Algunas aplicaciones críticas, como el servicio 911 (en los EE.UU., servicio de atención a emergencias), podrían requerir mayores niveles de disponibilidad, por ejemplo, seis o siete nueves. Para cumplir dichos requisitos, es necesario disponer de switches de red duales con cables de alimentación duales, sistemas UPS duales y arquitecturas eléctricas de mantenimiento simultáneo con respaldo mediante generadores. American Power Conversion Corporation, como muchas otras empresas, dispone de un servicio de consultoría especial en el área de la disponibilidad que evalúa y recomienda infraestructuras de alta disponibilidad para redes críticas como la descrita.

Por último, identifique las fichas y los tomacorrientes necesarios para todos los equipos, incluido el sistema UPS de la sala de cableado. Lo ideal es que todos los equipos se conecten directamente a la parte trasera del

sistema UPS o transformador, y se evite el uso de bloques de tomacorrientes o unidades PDU adicionales en el rack. Sin embargo, si se cuenta con muchos equipos, esta alternativa puede no ser viable y deberá usarse un bloque PDU en el rack. En ese caso, deberá utilizarse una unidad PDU de alta calidad para montaje en rack, específicamente diseñada para tal fin. La unidad PDU debe contar con suficientes tomacorrientes para conectar todos los equipos existentes y algunos extra para contemplar futuras necesidades. Es preferible el uso de unidades PDU con instrumentación que indique el consumo de corriente, ya que reducen los errores humanos, como la sobrecarga accidental y las consecuentes caídas de la carga.

El proceso de selección del modelo de sistema UPS que brinde los niveles de potencia, redundancia, tensión y autonomía requeridos se simplifica utilizando un selector de sistemas UPS, como el UPS Selector de APC, <http://www.apcc.com/template/size/apc/>. Este sistema incluye datos energéticos para todos los switches, servidores y dispositivos de almacenamiento más conocidos, lo cual evita la necesidad de recabarlos. Los sistemas como éste brindan varias opciones en materia de tomacorrientes para configurar un sistema UPS.

Para asegurarse de que los equipos de la sala de cableado funcionen las 24 horas, los 365 días del año, deben identificarse y solucionarse los problemas de refrigeración y circulación de aire. Debe calcularse la disipación de energía en la sala de cableado para decidir una manera rentable de solucionar el problema (véase Cuadro 1). Lo más importante para tener en cuenta es que muchos switches de red consumen mucha energía; sin embargo, no significa que disipen toda esa energía en la sala de cableado. Por ejemplo, un switch de la segunda capa puede llegar a consumir 1800 W de potencia, pero tal vez disipe sólo entre 200 y 500 W en la sala. El resto de la energía alimenta, a través de la red, los distintos teléfonos IP distribuidos y dispersados por toda el área de oficinas.

Cuadro 1 – Ficha para el cálculo de la producción de calor en salas de cableado VoIP

Ítem	Datos necesarios	Cálculo de producción de calor	Subtotal de producción de calor
Switches sin alimentación en la línea, otros equipos de IT (excepto unidades de alimentación mid-span)	Suma de la potencia nominal de entrada, medida en vatios	Igual al total de la potencia de la carga de IT, medida en vatios	_____ vatios
Switch con capacidad de alimentación en la línea	Potencia nominal de entrada, medida en vatios	0,6 x potencia nominal de entrada	_____ vatios
Unidades de alimentación mid-span	Potencia nominal de entrada, medida en vatios	0,4 x potencia nominal de entrada	_____ vatios
Iluminación	Potencia de salida de todos los dispositivos de iluminación que estén encendidos constantemente, medida en vatios	Potencia de salida	_____ vatios
Sistema UPS	Potencia de salida del sistema UPS (no la carga), medida en vatios	0,09 x potencia de salida del sistema de UPS	_____ vatios
Total	Subtotales anteriores	Suma de los subtotales de producción de calor anteriores	_____ vatios

Una vez calculada la energía disipada en la sala de cableado, siga las pautas generales que se detallan en el Cuadro 2.

Cuadro 2 – Ficha para soluciones de refrigeración para salas de cableado VoIP

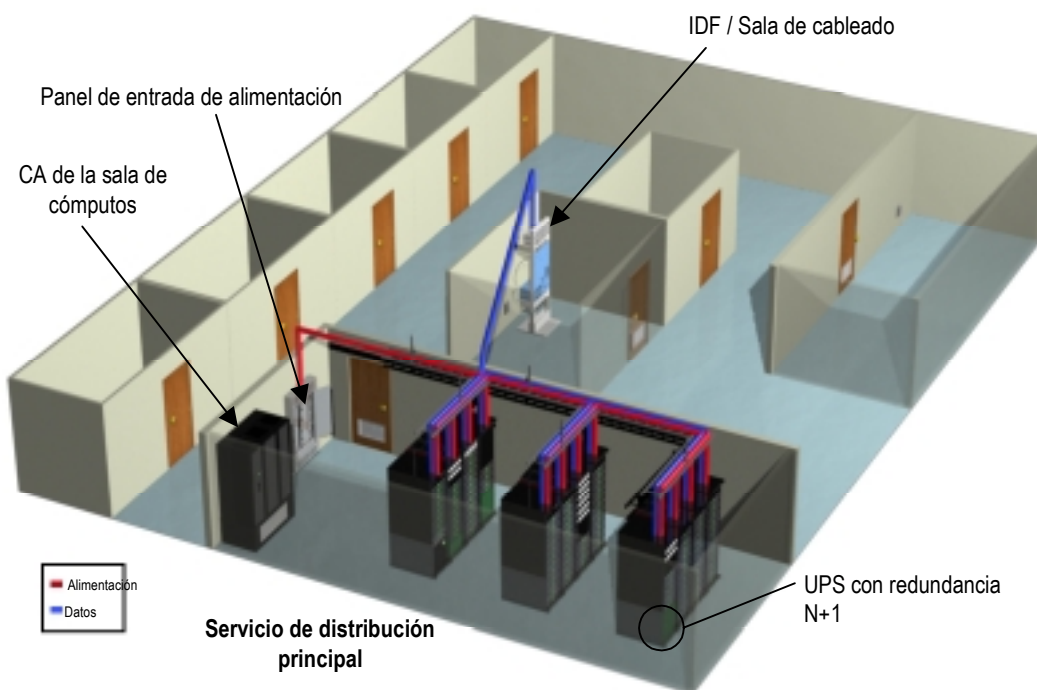
Carga de calor total en la sala	Condiciones	Análisis	Acción
< 100 W	El balance térmico refleja un ambiente climatizado.	La conducción e infiltración por la pared será suficiente.	Ninguna
< 100 W	El balance térmico refleja un ambiente hostil. No cuenta con sistema HVAC (calefacción, ventilación y refrigeración).	El aire fresco proveniente del exterior de la sala no puede considerarse seguro debido a la temperatura o contaminantes.	Instalar un acondicionador de aire independiente para computadoras en la sala adyacente a los equipos.
100 – 500 W	Existe un sistema HVAC (instalación en altura) con falso cielorraso. El balance térmico refleja un ambiente climatizado.	El ingreso de aire fresco proveniente del exterior de la sala será suficiente, pero la puerta podría bloquear el aire. Haga que el aire ingrese a través de la puerta y se expulse por el retorno del sistema HVAC.	Colocar una rejilla de retorno en el sistema de ventilación de instalación en altura, en la parte superior de la sala, y un respiradero en la mitad inferior de la puerta de la sala.
100 – 500 W	Desde la sala, no hay acceso a ningún sistema HVAC. El balance térmico refleja un ambiente climatizado.	El ingreso de aire fresco proveniente del exterior de la sala será suficiente, pero la puerta podría bloquear el aire. Haga que el aire ingrese por la parte inferior de la puerta y se expulse por la parte superior de la puerta.	En la puerta de la sala, colocar una rejilla de escape en la parte superior y una toma de ventilación en la mitad inferior.
500 – 1000 W	Existe un sistema HVAC (instalación en altura) con falso cielorraso. El balance térmico refleja un ambiente climatizado.	El ingreso de aire fresco proveniente del exterior de la sala será suficiente si es constante, pero la puerta podría bloquear el aire y el funcionamiento permanente del ventilador, requisito necesario, no quedará garantizado.	Colocar una rejilla de retorno ayudada por un ventilador en la parte superior de la sala y una rejilla de ventilación en la parte inferior de la puerta de la sala.
500 – 1000W	Desde la sala, no hay acceso a ningún sistema HVAC. El balance térmico refleja un ambiente climatizado.	El ingreso constante de aire fresco proveniente del exterior de la sala será suficiente, pero no hay vía de acceso para el aire.	Colocar una rejilla de retorno ayudada por un ventilador en la parte superior de la puerta y una rejilla de ventilación en la parte inferior de la puerta de la sala.
> 1000 W	Existe un sistema HVAC (instalación en altura) con falso cielorraso al que se tiene acceso. El balance térmico refleja un ambiente climatizado.	El ingreso de aire fresco proveniente del exterior de la sala será suficiente si se lo dirige directamente hacia los equipos y no se produce la recirculación de aire caliente que sale de los equipos a la toma de aire de éstos.	Colocar los equipos en un rack de estructura cerrada con un sistema de extracción de aire caliente y ubicar una rejilla de ventilación en la parte inferior de la puerta de la sala.
> 1000 W	No se tiene acceso al sistema HVAC. El balance térmico refleja un ambiente climatizado.	El aire que pasa por la puerta no es suficiente. Se necesita refrigerar localmente el aire caliente que expulsan los equipos.	Instalar un acondicionador de aire independiente para computadoras en la sala adyacente a los equipos.

Por último, es altamente recomendable contar con un sistema de monitoreo ambiental (por ejemplo, de temperatura y humedad) en las salas de cableado, ya que dicho sistema ayuda a advertir cualquier condición anormal y permite contar con tiempo para tomar medidas proactivas y evitar así la inactividad.

Servicio de distribución principal

Los servicios de distribución principal (MDF – *Main Distribution Frame*), también denominados “salas de equipamiento principal” (MER – *main equipment rooms*) o “salas de punto de presencia o rastreador de paquetes de Internet (POP – *point of ping or presence*), alojan la mayor parte de los equipos de telefonía IP y VoIP más críticos, como routers, switches y una variedad de equipos de IT, conexión en red y telecomunicaciones de la tercera capa (Figura 5). Las líneas T1 y T3 típicas terminan en servicios MDF y suministran conectividad al eje central de Internet.

Figura 5 – Servicio de distribución principal



Entorno

Los servicios MDF suelen encontrarse en el sótano o en el primer piso y permiten el acceso de los servicios al edificio. Los MDF típicos pueden tener equipos ubicados en entre 4 y 12 racks y consumir entre 4 kW y 40 kW con una conexión monofásica o trifásica de 208 VCA. Es posible que algunos equipos requieran –48 voltios de CC. La mayoría de los racks ubicados en los MDF son racks de 2 ejes con estructura abierta y se utilizan para montar una variedad de equipos de telefonía IP y de IT. Estos equipos pueden presentar distintos patrones de circulación de aire, por ejemplo, de un lateral al otro, desde el frente hacia atrás, etcétera, y ser de montaje en racks de entre 19” y 23”. Sin embargo, la mayoría de los equipos de telefonía IP y de IT nuevos son de montaje en racks de 19”.

Problemas

Algunas salas de MDF no cuentan con sistemas UPS; muchas no tienen un sistema de respaldo de baterías adecuado que garantice el tiempo de autonomía necesario y, en varias ocasiones, no cuentan con sistemas de refrigeración de precisión dedicados.

Mejores prácticas

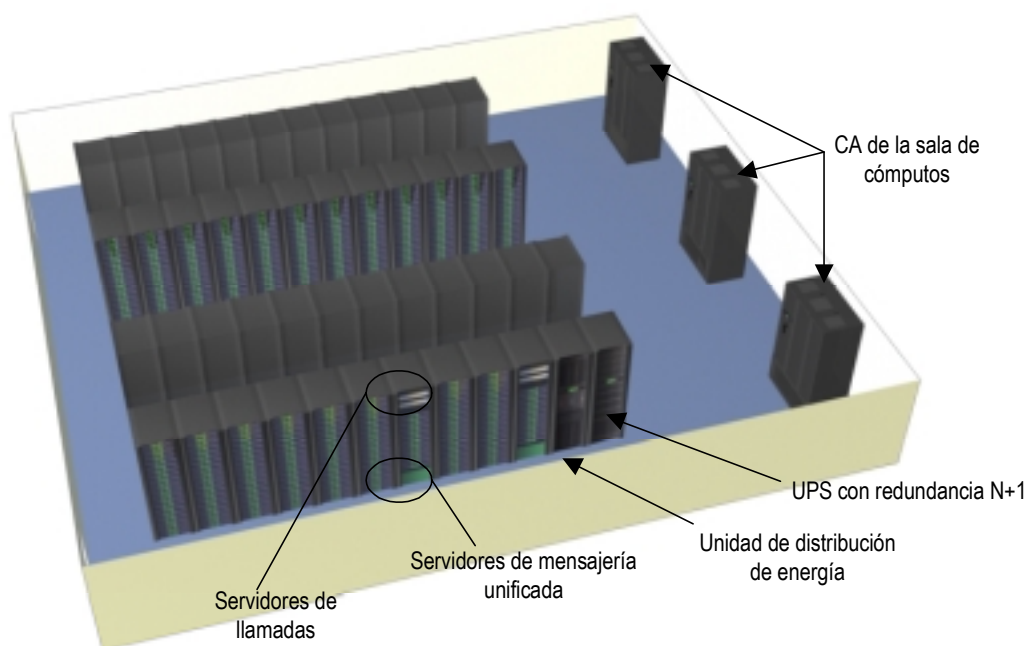
Dado que los MDF albergan una gran variedad de equipos de conexión en red, IT y telefonía críticos, debería dárseles el tratamiento de un centro de datos o sala de cómputos pequeña. Para obtener aproximadamente cinco nueves de disponibilidad de energía, la sala de MDF debe estar protegida por un sistema UPS modular, redundante, con bypass interno y, por lo menos, un respaldo con treinta minutos de autonomía. Si se quiere obtener mayores niveles de autonomía y, consecuentemente, mayores niveles de disponibilidad, por ejemplo seis o siete nueves, es necesario disponer de switches duales con cables de alimentación duales, un sistema UPS dual, y arquitecturas eléctricas de mantenimiento simultáneo con respaldo a través de generadores. American Power Conversion Corporation, como muchas otras empresas, dispone de un servicio de consultoría especial en el área de la disponibilidad que evalúa y recomienda arquitecturas de alta disponibilidad para infraestructuras de redes críticas como la descrita.

Los MDF deberían tener sus propias unidades de aire acondicionado de precisión con monitoreo ambiental. Para aplicaciones críticas que necesiten mayor disponibilidad, deberían contemplarse unidades de aire acondicionado redundantes. En el caso de racks con alta densidad de potencia (>3 kW/rack), deberían utilizarse unidades adicionales de distribución de aire y extracción de aire para evitar la concentración de calor. A diferencia de los servidores y dispositivos de almacenamiento, muchos switches utilizan circulación de aire de un lateral a otro, lo cual ocasiona ciertos problemas cuando se hace una instalación en un entorno que utiliza racks con estructura cerrada. Estos problemas se tratan en detalle en el Informe interno N° 50 de APC, Cooling Solutions for Rack Equipment with Side-to-Side Airflow (Soluciones de refrigeración para equipos en racks con circulación de aire de un lateral a otro).

Centro de datos o granja de servidores

El centro de datos o granja de servidores (Figura 6) aloja todos los servidores para aplicaciones de telefonía IP con su correspondiente software, por ejemplo, administradores de llamadas, mensajería unificada, etcétera. Además, de acuerdo con la arquitectura de la red y el tamaño de la organización, puede albergar switches básicos (tercera capa) y switches de distribución (segunda capa). Según el tamaño (pequeño, mediano o grande), una granja de servidores o centro de datos típico puede alojar entre decenas y centenas de racks, cargados con decenas o centenas de servidores y una variedad de sistemas de IT, conexión en red y cómputos que ejecutan aplicaciones críticas para los negocios, tales como planificación de recursos (ERP), gestión de clientes (CRM) y otros servicios basados en la web.

Figura 6 – Granja de servidores o centro de datos típico



Entorno

Los centros de datos suelen estar ubicados en las oficinas corporativas y consumen 10 kW con una conexión monofásica o trifásica de 208 VCA en el límite inferior, hasta cientos de kilovatios con una conexión trifásica de 480 VCA en el límite superior. Puede haber algunos requisitos de menor potencia, –48 voltios de CC, para algunas cargas de telecomunicaciones aunque, en su mayoría, se trata de cargas de CA. La mayor parte de los centros de datos cuentan con un sistema UPS con respaldo de batería, generador y unidades de aire acondicionado de precisión.

Problemas

Básicamente, los switches y servidores de telefonía IP representan cargas adicionales accesorias para el centro de datos, que podrían requerir mayor tiempo de autonomía, redundancia y disponibilidad que otros equipos de IT y de conexión en red.

Mejores prácticas

Aunque el centro de datos cuente con sus propios sistemas UPS y generador, muchas veces podría convenir agregar un sistema UPS independiente y redundante con un respaldo de batería de mayor autonomía para los equipos de telefonía IP. Identifique y agrupe en un área separada, en racks separados dentro del centro de datos, todos los equipos de telefonía IP que precisan mayor autonomía y disponibilidad. Instale un sistema UPS dedicado con mayor autonomía y redundancia N+1, N+2, según la disponibilidad que se necesite. Este concepto de “disponibilidad dirigida” ayuda a aumentar la disponibilidad de los equipos de telefonía IP fundamentales para los negocios, sin necesidad de realizar un gasto importante de capital para todo el centro

de datos. Para centros de datos y redes de alta disponibilidad, pueden considerarse niveles de redundancia más elevados como los que se logran mediante cables de alimentación duales con generadores duales y sistemas UPS con redundancia N+1 duales y líneas de alimentación duales que lleguen hasta el servidor y otros equipos clave del rack.

Asegúrese de que los equipos de aire acondicionado de precisión del centro de datos tengan una buena capacidad de refrigeración para abastecer los nuevos equipos de telefonía IP adicionales. Para una mayor disponibilidad, podría considerarse la incorporación de unidades de aire acondicionado redundantes. En el caso de haber mayor densidad de potencia en los racks (> 3 kW/rack), deberían utilizarse unidades adicionales de distribución de aire y extracción de aire para evitar la concentración de calor. Los errores evitables que se cometen con frecuencia al instalar sistemas de refrigeración y racks en centros de datos o salas de gestión de redes ponen en peligro la disponibilidad e incrementan los costos. Para obtener mayor información acerca de este tema, consulte el Informe interno N° 49 de APC, Avoidable Mistakes that Compromise Cooling Performance in Data Centers and Network Rooms (Errores evitables que ponen en peligro el rendimiento de los sistemas de refrigeración en centros de datos y salas de gestión de redes).

Conclusiones

Los dispositivos de comunicación que se utilizan en las oficinas no presentan problemas. Tampoco se presentan problemas importantes en los centros de datos o granjas de servidores, ya que los equipos de telefonía IP constituyen fundamentalmente cargas adicionales accesorias. Sin embargo, es posible suministrar una “disponibilidad dirigida” a los switches y servidores de telefonía IP críticos. En el caso de los MDF, puede surgir un problema localizado con el tiempo de autonomía disponible, que puede solucionarse ya sea con un generador o un sistema UPS con respaldo de batería de mayor capacidad. Los problemas más graves en términos de alimentación y refrigeración se plantean respecto de las salas de cableado. Un pequeño sistema UPS dedicado con autonomía extendida es una solución rentable en comparación con un gran sistema UPS centralizado que alimente todas las salas de cableado. La refrigeración es un problema puntual de las salas de cableado; en muchos casos la ventilación no es suficiente por sí sola. A veces, se requiere un sistema de aire acondicionado orientado a los equipos.

Bibliografía

1. Informe interno N° 37 de APC: Cómo evitar los costos que ocasiona el sobredimensionamiento de la infraestructura de los centros de datos y las salas de gestión de redes
2. Informe interno N° 5 de APC: Imperativos de refrigeración para centros de datos y salas de gestión de redes
3. Informe interno N° 24 de APC: Efectos de las unidades UPS en la disponibilidad del sistema
4. Informe interno N° 43 de APC: Variaciones dinámicas de potencia en centros de datos y salas de gestión de redes
5. Informe interno N° 1 de APC: Distintos tipos de sistemas UPS
6. Informe interno N° 50 de APC: Soluciones de refrigeración para equipos en racks con circulación de aire de un lateral a otro
7. Informe interno N° 49 de APC: Errores evitables que ponen en peligro el rendimiento de los sistemas de refrigeración en centros de datos y salas de gestión de redes

Referencias

1. American Power Conversion Corporation
2. Avaya
3. Cisco Systems
4. Nortel Networks
5. 3COM
6. Instituto IEEE

Apéndice

Enfoque del análisis de disponibilidad

En el análisis de disponibilidad, el Centro de Estudios de Disponibilidad de APC utiliza un enfoque integrado que le permite calcular los niveles de disponibilidad. Este enfoque se basa en la combinación de un diagrama de bloques de confiabilidad (RBD) y un modelo de espacio-estado con el fin de representar el entorno que se modelará. Los RBD se utilizan para representar los subsistemas de la arquitectura, y los diagramas de espacio-estado, también denominados diagramas de Markov, sirven para representar los diferentes estados de la arquitectura eléctrica. Por ejemplo, cuando falla el servicio eléctrico, el sistema de UPS activa la alimentación a batería. Todas las fuentes de datos para el análisis pertenecen a terceros aceptados por la industria, como el instituto IEEE y el RAC (Cuadro A2). Estos niveles de disponibilidad estadísticos se fundamentan en supuestos que se validan en forma independiente.

Dra. Joanne Bechta Dugan, profesora de la Universidad de Virginia

"El análisis me resultó muy verosímil y la metodología, sólida. La combinación de diagramas de bloques de confiabilidad (RBD) y modelos de recompensas de Markov (MRM) es una excelente elección que permite que la flexibilidad y la precisión del MRM se combine con la simplicidad del RBD."

Los análisis de disponibilidad se efectúan para cuantificar el impacto de varias arquitecturas eléctricas. Se calcularon y compararon las disponibilidades de veintiséis arquitecturas distintas. Como resultado, se seleccionaron seis arquitecturas para representar una BUENA, una MEJOR y una SUPERIOR, ya sea para una sala de cableado como para un centro de datos. Las elecciones se basaron en un equilibrio entre el costo y la disponibilidad. A continuación, se exponen las seis arquitecturas junto con los respectivos resultados de disponibilidad.

Arquitecturas para salas de cableado o servicios de distribución intermedia (IDF)

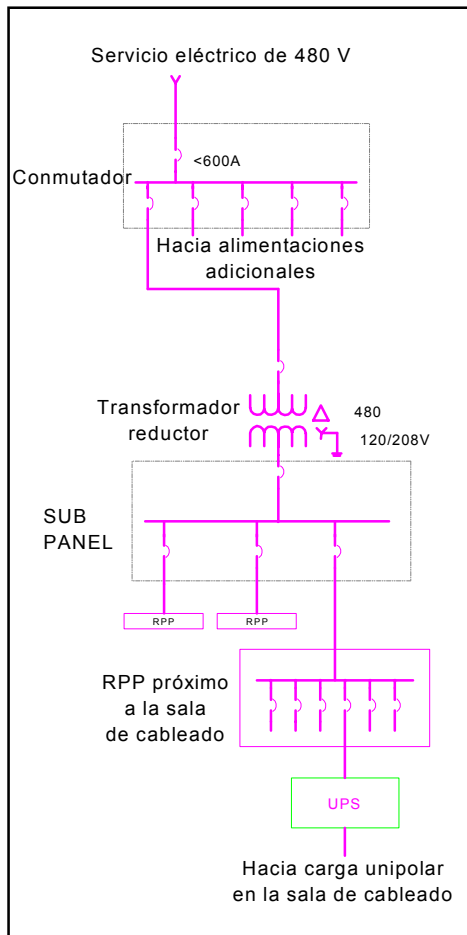
BUENA

CARGA UNIPOLAR

Autonomía de la batería = 1 hora

4-9s

99,9979872%



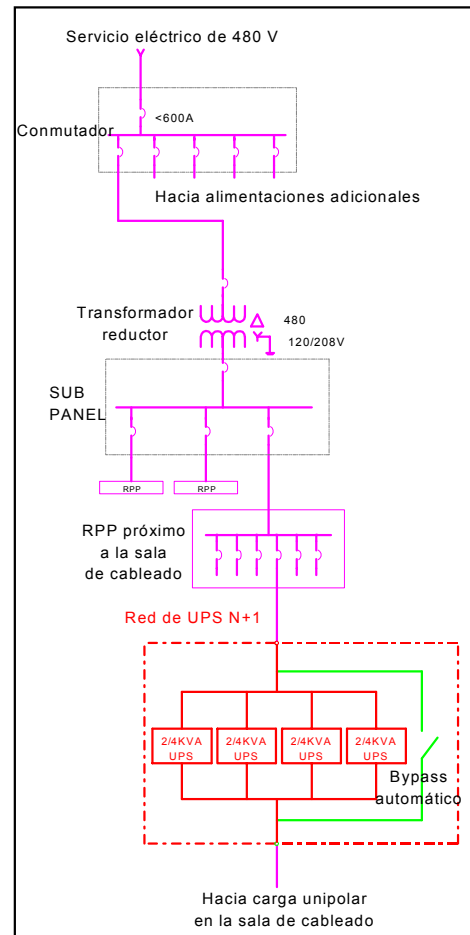
MEJOR

CARGA UNIPOLAR

Autonomía de la batería = 1 hora

5-9s

99,99938958%



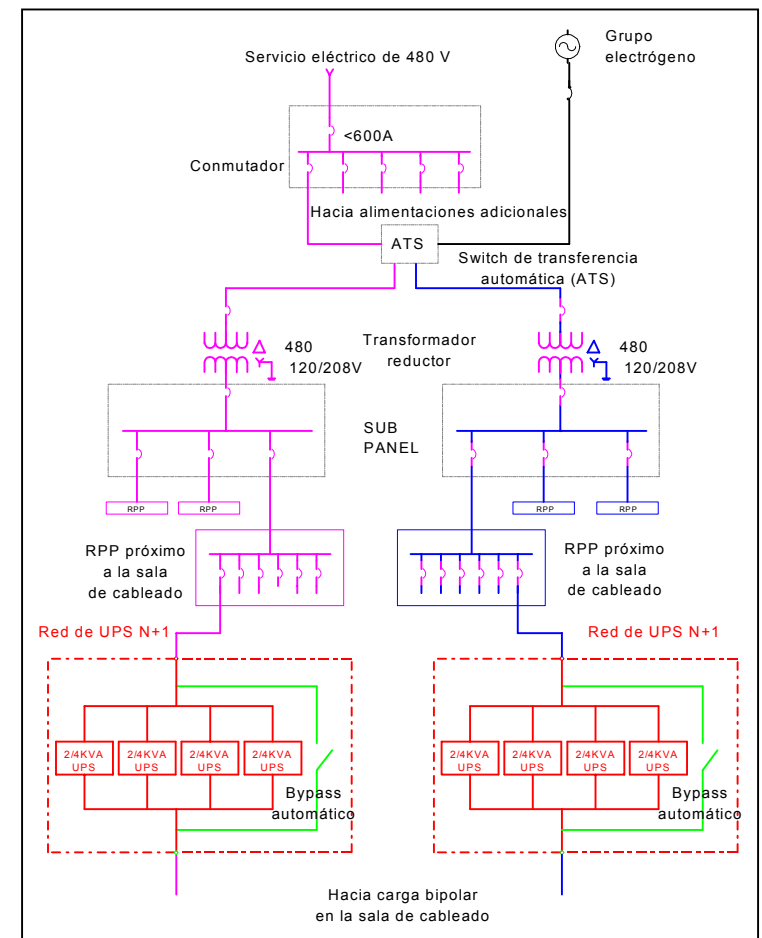
SUPERIOR

CARGA BIPOLAR

Autonomía de la batería = 1 hora

6-9s

99,99995489%



Arquitecturas para centros de datos o servicios de distribución principal (MDF)

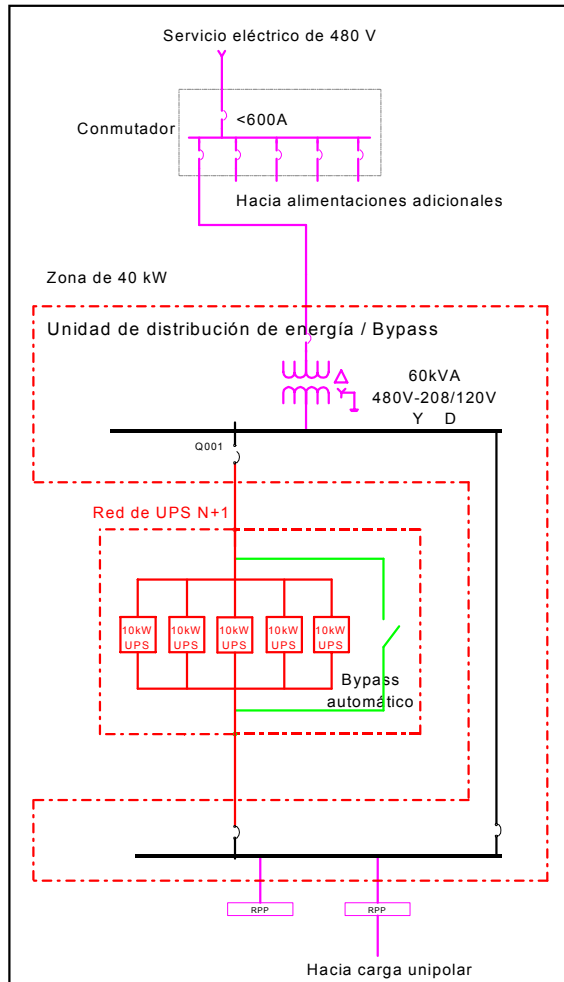
BUENA

GARGA UNIPOLAR

Autonomía de la batería = 1 a 2 horas

4-9s

99,99860878%



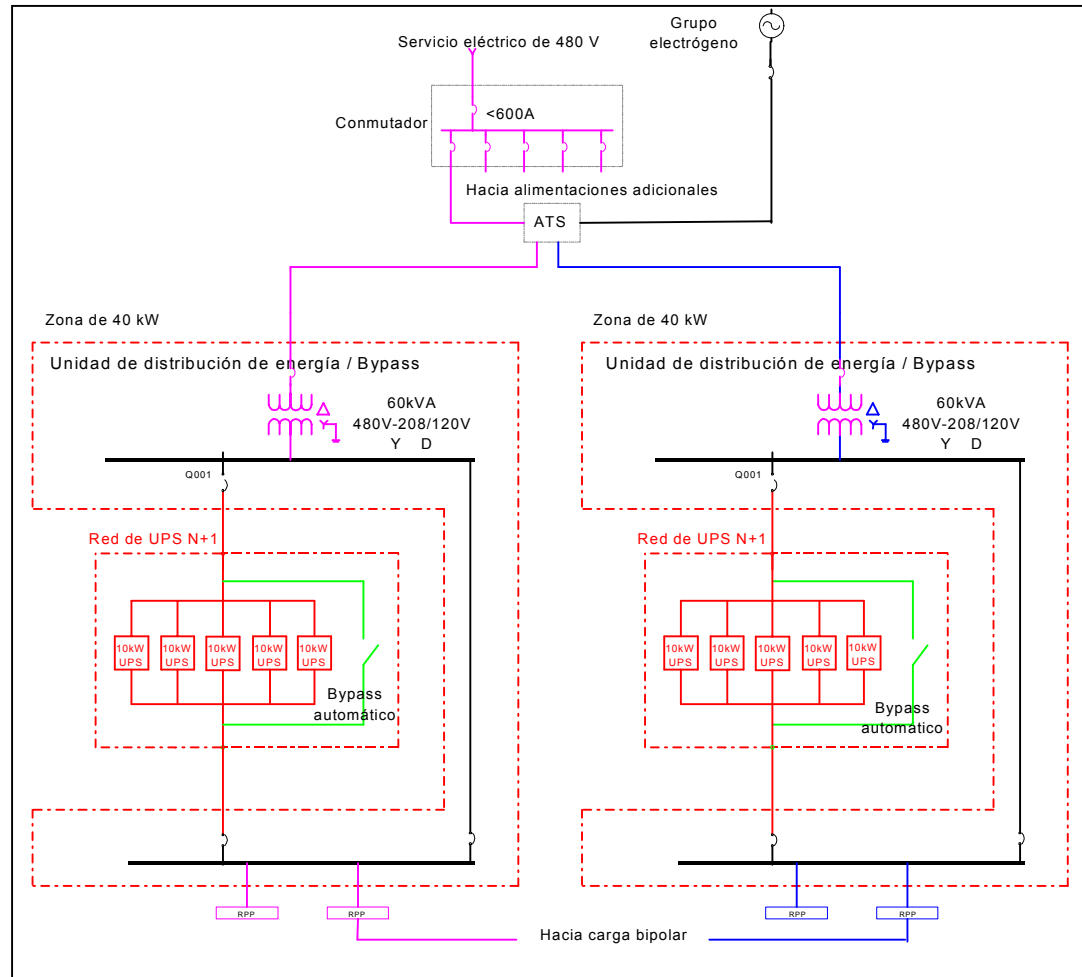
MEJOR

CARGA BIPOLAR

Autonomía de la batería = 1 a 2 horas

6-9s

99,9994652%



Arquitecturas para centros de datos o servicios de distribución principal (MDF)

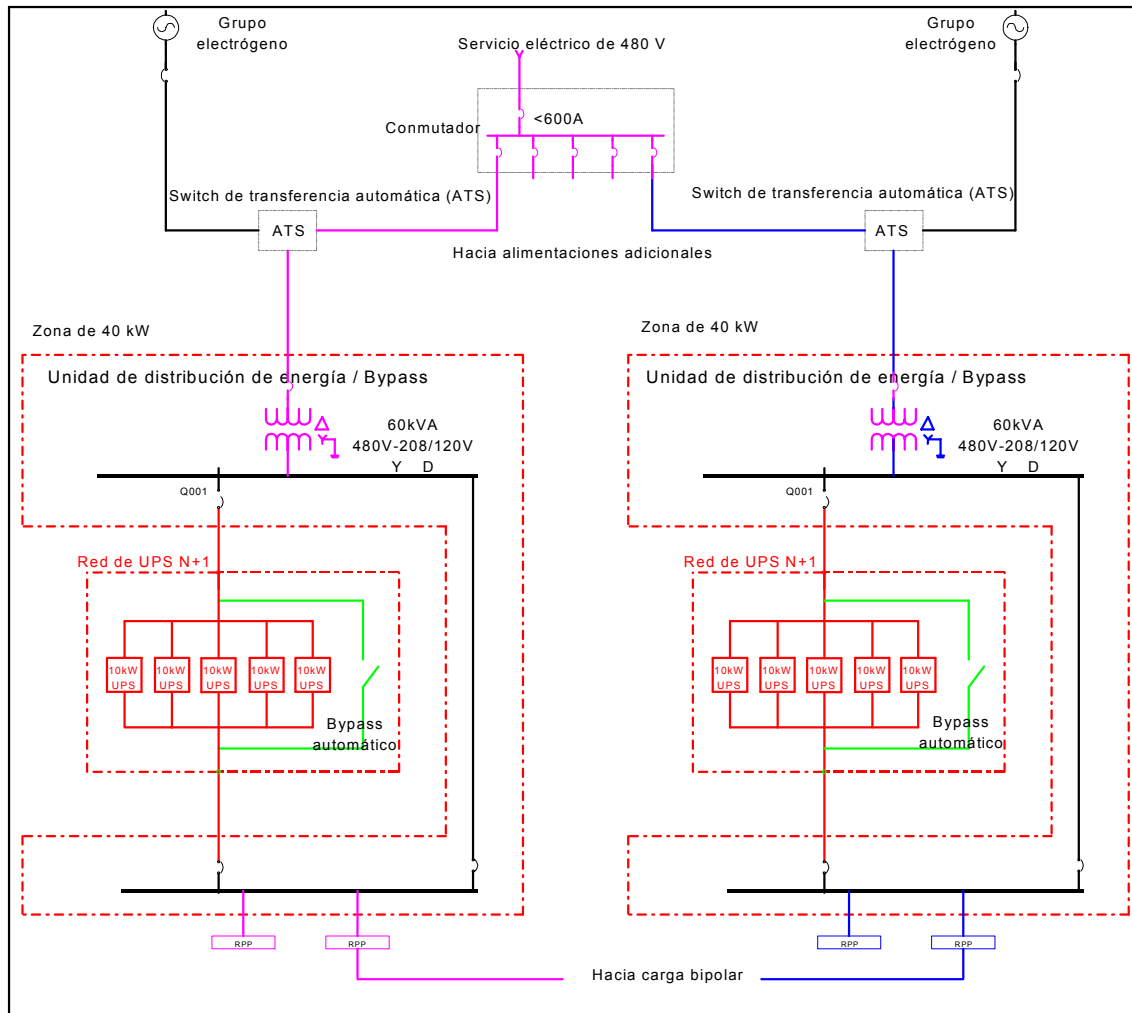
SUPERIOR

CARGA BIPOLAR

Autonomía de la batería = 1 a 2 horas

7-9s

99,99999517%



Datos utilizados en el análisis

La mayoría de los datos utilizados para el modelado de la arquitectura provienen de fuentes externas. Los datos del switch de transferencia automática Rack ATS se basan en los datos de funcionamiento concreto para el producto ATS de APC, que se encuentra disponible en el mercado desde hace aproximadamente cinco años y cuenta con una gran base de productos instalados. En este análisis se incluyen los siguientes componentes clave:

1. Regletas de terminación
2. Disyuntores
3. Sistemas de UPS
4. Unidad de distribución de energía
5. Switch de transferencia estática (STS)
6. Rack ATS
7. Generador
8. Switch de transferencia automática (ATS)

La unidad de distribución de energía se divide en tres subcomponentes básicos: los disyuntores, el transformador reductor y las regletas de terminación. El subpanel se analiza en base a un disyuntor principal, un disyuntor de una rama del circuito y todas las regletas de terminación en serie. El cuadro A2 incluye los valores y las fuentes del índice de falla $\left(\frac{1}{MTTF}\right)$ y datos sobre el índice de recuperación $\left(\frac{1}{MTTR}\right)$ de cada subcomponente, donde MTTF es la sigla de tiempo promedio entre fallas y MTTR es la sigla de tiempo promedio de recuperación.

Supuestos utilizados en el análisis

Al igual que en cualquier análisis de disponibilidad, para crear un modelo válido, deben considerarse supuestos. Dichos supuestos se detallan en el cuadro A1.

Cuadro A1 – Supuestos del análisis

Supuesto	Descripción
Confiabilidad de datos	La mayoría de los datos utilizados para el modelado de la arquitectura provienen de fuentes externas. En caso de no contar con datos disponibles, se utilizaron los supuestos elaborados por la industria. En el cuadro A2 se presenta un resumen de la confiabilidad de los datos.
Índice de falla de los componentes	En el análisis, todos los componentes presentan un índice de falla constante. Éste es el mejor supuesto, dado que el equipo se utilizará sólo durante el período de vida útil para el cual fue diseñado. Si los productos se utilizaran más allá de su vida útil, la falta de linealidad necesariamente debería ubicarse dentro del índice de falla.
Equipos de reparación	Se presume que se necesitan “x” técnicos para “x” componentes en serie.
Componentes del sistema que siguen en funcionamiento	Se presume que todos los componentes dentro del sistema siguen en funcionamiento, mientras que los componentes que presentaron alguna falla se reparan.
Independencia de fallas	Estos modelos adoptan la construcción descrita en las arquitecturas conforme a las mejores prácticas de la industria. Esto se traduce en una muy baja probabilidad de fallas comunes y propagación a causa del aislamiento físico y eléctrico.
Índice de falla en el cableado	El cableado, entre los componentes dentro de la arquitectura, no se incluye en los cálculos, ya que presenta un índice de falla muy bajo para ser previsto con certeza y relevancia estadística. Además, los trabajos anteriores han demostrado que un índice de falla tan bajo afecta mínimamente la disponibilidad total. Las regletas de terminación principales aún se siguen justificando.
Error humano	En este análisis, no se consideró el tiempo de inactividad como consecuencia de un error humano. A pesar de que constituye una razón importante de la indisponibilidad del centro de datos, estos modelos apuntan a comparar las arquitecturas de la infraestructura de energía y a identificar las debilidades físicas dentro de esas arquitecturas. Además, se registra una falta de datos relacionados con la manera en que el error humano afecta a la disponibilidad.
La disponibilidad de energía es la medida clave	Este análisis brinda información relacionada con la disponibilidad de energía. La disponibilidad del proceso comercial será generalmente inferior, ya que el rendimiento de la energía no se corresponde inmediatamente con el retorno de la disponibilidad comercial. Los sistemas de IT suelen tener un tiempo de reinicio que adicionan indisponibilidad, la cual no se tiene en cuenta para este análisis.
El aislamiento de fallas no resulta beneficioso	La falla de cualquier carga crítica es considerada una falla y equivale a la falla de todas las cargas críticas juntas. En el caso de algunos negocios, la falla de una simple carga provoca una consecuencia comercial menor que la falla de todas las cargas críticas. En este análisis sólo se evaluó una carga.

Cuadro A2 – Componentes y valores

Componente	Índice de falla	Recuperación	Fuente de datos	Observaciones
Suministro eléctrico crudo	3,887E-003	30,487	EPRI – Se recopilaron los datos de la potencia de línea y se calculó la media ponderada de todos los casos de energía distribuida.	Estos datos dependen ampliamente de la localización geográfica.
Generador diesel	1,0274E-04	0,25641	IEEE Gold Book Std 493-1997, página 406	El índice de falla se basa en las horas de funcionamiento. 0,01350 fallas por intento de arranque según lo indicado en tabla 3-4 página 44.
Switch de transferencia automática	9,7949E-06	0,17422	Encuesta de confiabilidad / disponibilidad - Informe ASHRAE N° 4489	
Regleta de terminación de 0-600 V	1,4498E-08	0,26316	IEEE Gold Book Std 493-1997, página 41	
6 regletas de terminación	8,6988E-08	0,26316	Valor calculado según el estándar IEEE Gold Book Std 493-1997, página 41	Aguas arriba del transformador, existe una regleta de terminación por conductor. Dado que hay dos grupos de regletas de terminación entre los componentes, se utiliza un total de seis regletas de terminación.
8 regletas de terminación	1,1598E-07	0,26316	Valor calculado según el estándar IEEE Gold Book Std 493-1997, página 41	Aguas abajo del transformador, existe una regleta de terminación por conductor además del neutro. Dado que hay dos grupos de regletas de terminación entre los componentes, se utiliza un total de ocho regletas de terminación.
Disyuntor	3,9954E-07	0,45455	IEEE Gold Book Std 493-1997, página 40	Fijo (incluso la carcasa), 0-600 A
Transformador reductor de unidad de distribución de energía	7,0776E-07	0,01667	El valor MTBF surge del IEEE Gold Book Std 493-1997, página 40. El valor MTTR es el promedio proporcionado por datos de Marcus Transformer y Square D.	<100 kVA
Switch de transferencia estática	4,1600E-06	0,16667	Gordon Associates, Raleigh, NC	El índice de falla incluye controles; el índice de recuperación no fue suministrado por ASHRAE para este tamaño de switch de transferencia estática. Por lo tanto, el valor utilizado corresponde a un STS de 600-1000 A.
Plano posterior de la UPS	7,0000E-07	0,25000	Cálculo aproximado basado en los datos de funcionamiento concreto de Symmetra	
UPS con bypass	4,00E-06	3,00000	El índice de falla se extrae de Power Quality Magazine, edición de febrero de 2001; el índice de reparación se basa en las estimaciones de los repuestos que se mantienen en el lugar.	Estos datos de fallas suponen un sistema de UPS modular con bypass.
UPS sin bypass	3,64E-05	3,00000	El índice de falla se extrae de Power Quality Magazine, edición de febrero de 2001; el índice de recuperación se basa en una supuesto de 4 horas para el arribo del personal técnico y 4 horas para la reparación del sistema.	UPS sin bypass. El MTBF es de 27.440 horas sin bypass según lo indicado en MGE "Guía de aplicaciones de los sistemas de energía"
Switch de transferencia automática en rack	2,00E-06	3,00000	Datos de funcionamiento concreto del switch redundante de APC	El tiempo promedio de fallas del switch de transferencia automática en rack de APC se calculó en 2 millones de horas. Se utilizó un valor conservador de 500.000 horas.

Modelos de espacio-estado

Se utilizaron seis modelos de espacio-estado para representar los distintos estados que pueden adoptar las seis arquitecturas. Además de la confiabilidad de los datos, se definieron otras variables para el uso dentro de los seis modelos de espacio-estado (Cuadro A3).

Cuadro A3 – Variables del modelo espacio-estado

Variable	Valor	Fuente de datos	Comentarios
PbypassFailSwitch	0,001	Promedio industrial	Probabilidad de que el bypass no pueda conmutarse satisfactoriamente a la línea de servicio en caso de que se produzca una falla en el sistema de UPS.
Pbatfailed	0,001	Gordon Associates -Raleigh, NC	Probabilidad de que la carga del sistema de UPS caiga al activar la alimentación a batería. Incluye controles.
Pbatfailed (UPS redundante)	0,000001	El cuadrado del valor anterior	Supone que los sistemas de baterías de ambos sistemas de UPS son completamente independientes.
Tbat	1 o ½ hora		El tiempo de autonomía de la batería depende del escenario.
Pgenfail_start	0,0135	IEEE Gold Book Std 493-1997, página 44	Probabilidad de que el generador no arranque. El índice de falla se basa en las horas de funcionamiento. 0,01350 fallas por intento de arranque por tabla 3-4 página 44. Esta probabilidad se aplica también para el switch de transferencia automática.
Pgenfail_start (UPS redundante)	0,00911	50 x el cuadrado del valor anterior	La probabilidad de que el generador no arranque se redujo a 50 con el fin de explicar las fallas comunes entre grupos electrógenos redundantes.
Tgen_start	0,05278	Promedio industrial	Demora en el arranque del generador luego de un corte del suministro eléctrico. Dicha demora equivale a 190 segundos.