



# **Memoria Técnica para la Sustitución de SAI como Medida de Eficiencia Energética**



Este documento se ha realizado por el Departamento de Ingeniería Eléctrica, Electrónica, Control, Telemática y Química Aplicada a la Ingeniería (DIEECTQAI), de la Universidad Nacional de Educación a Distancia (UNED), dentro del programa de desarrollo tecnológico de mejora de la eficiencia energética de los equipos de alimentación electrónica industriales, como apoyo a la mejora energética y económica de los equipos actualmente existentes.

Madrid, Febrero de 2018



## Contenido

1.	Introducción .....	5
2.	Reseña histórica de los SAI .....	7
3.	Componentes principales de los SAI .....	9
3.1	Rectificador .....	9
3.2	Inversor .....	10
3.3	Batería .....	10
3.4	Bypass automático .....	13
3.5	Electrónica de control .....	14
4.	Topologías de SAI .....	15
4.1	Rectificador a tiristores .....	15
4.2	Rectificadores a IGBT .....	18
4.3	Inversores a tiristores.....	19
4.4	Inversores a transistores .....	22
4.5	Inversores a IGBT.....	23
4.6	Inversores a transistores CoolMos .....	24
4.7	SAI sin transformador.....	24
4.8	SAI modulares .....	25
5.	Instalaciones paralelo redundante.....	27
6.	Aplicaciones de los SAI .....	31
7.	Mejoras técnicas introducidas por los nuevos SAI con mayor eficiencia .....	33
8.	Rendimientos de los SAI anteriores .....	35
9.	Mejoras de rendimiento de los nuevos SAI .....	37
10.	Normativa aplicable .....	41
11.	Tipos de SAI instalados por sectores.....	43
11.1	EJEMPLO 1: SAI de 10 kVA.....	44
11.2	EJEMPLO 2: SAIs de 7,5kVAs para 3 QUIRÓFANOS .....	46
11.3	EJEMPLO 3: SUSTITUCIÓN de SAIs en CPD.....	48



## 1. Introducción

Aunque las compañías eléctricas realizan grandes esfuerzos e inversiones para proporcionar un suministro eléctrico de la máxima calidad, existen factores externos que no pueden ser controlados por éstas que dificultan esta labor. Factores ambientales, accidentes en las líneas de transporte, perturbaciones provocadas por usuarios, etc., afectan a la calidad del suministro. Por ello, la calidad y continuidad del suministro eléctrico no siempre puede ser garantizada.

Proporcionar un suministro de la máxima calidad sería demasiado costoso y no todas las cargas requieren las mismas tolerancias, si bien una alimentación de calidad contribuye a aumentar la vida media de los equipos.

Por lo general, todos los usuarios utilizan cargas con diferentes exigencias en cuanto a su alimentación, sin embargo, el número de equipos, instalaciones, procesos, edificios, etc., que necesitan de una alimentación fiable y de calidad crece constantemente. En muchos casos la interrupción en el suministro eléctrico puede suponer elevados costes para la explotación de estas instalaciones, mientras que en otros la continuidad del servicio de la instalación es esencial o incluso vital en nuestros días. Todas ellas, en mayor o menor grado, son conocidas como cargas críticas.

Así, procesos informáticos, telecomunicaciones, control de tráfico aéreo, control de procesos industriales, equipamiento hospitalario, etc., requieren una alimentación de calidad que garantice su continuidad aún ante un corte del suministro eléctrico.

Aunque existen soluciones que pueden paliar algunas de las perturbaciones presentes en la red eléctrica, los Sistemas de Alimentación Ininterrumpida (SAI) permiten suministrar una energía de calidad, continua y fiable a cargas críticas.



## 2. Reseña histórica de los SAI

La necesidad de garantizar la continuidad en el suministro eléctrico es consustancial a la existencia de procesos automáticos continuos, por lo que pronto surgió la necesidad de diseñar dispositivos capaces de generar una alimentación más fiable y, sobre todo, continua.

Con la aparición del tiristor en 1956 se dispuso de un semiconductor capaz de realizar conmutación de alta potencia. A partir de su comercialización en 1958 y gracias a los avances de la electrónica se pudieron desarrollar nuevas técnicas para la conversión de la energía eléctrica. Así se desarrollaron rectificadores e inversores basados en este componente.

Su utilización en rectificadores controlados supuso una gran simplificación y robustez de estos, siendo ampliamente utilizados hasta nuestros días. También fueron utilizados en inversores, pero su característica de apagado impone una serie de restricciones que no permitía obtener rendimientos elevados.

A finales de los 80 se comenzaron a utilizar transistores de potencia de tipo MOSFET en inversores, con los que no se llegó a cubrir potencias importantes pero que, al tratarse de transistores y no necesitar el circuito de apagado del tiristor, permitieron trabajar a frecuencias mayores y obtener una tensión de salida más aproximada a una onda senoidal.

Fue con la aparición del IGBT que, uniendo las características de disparo de los transistores y las mayores potencias manejadas con bajo requerimiento energético de disparo, se pudieron desarrollar SAI con potencias que alcanzan los 800 kVA. En la actualidad los IGBT son ampliamente utilizados tanto en rectificadores como inversores.

Con posterioridad a la aparición de los IGBT se ha desarrollado una segunda generación de transistores MOSFET de potencia, denominados CoolMos. Este tipo de transistores reducen las pérdidas de conducción (5 veces menores que en un MOSFET tradicional) y conmutación y son capaces de manejar entre 2 y 3 veces la potencia de un MOSFET.

Por otra parte, la constante evolución de la electrónica, la introducción del Procesamiento Digital de Señal (DSP) y la incorporación de microprocesadores a la electrónica de control ha permitido reducir las dimensiones y aumentar la capacidad y fiabilidad de estos equipos.

Todas estas mejoras en conjunto han permitido aplicar nuevas técnicas de modulación que permiten generar una tensión de salida más eficaz.



### 3. Componentes principales de los SAI

Los SAI se componen de una serie de elementos para llevar a cabo su función. Las partes más importantes de un SAI se muestran en la Figura 1.

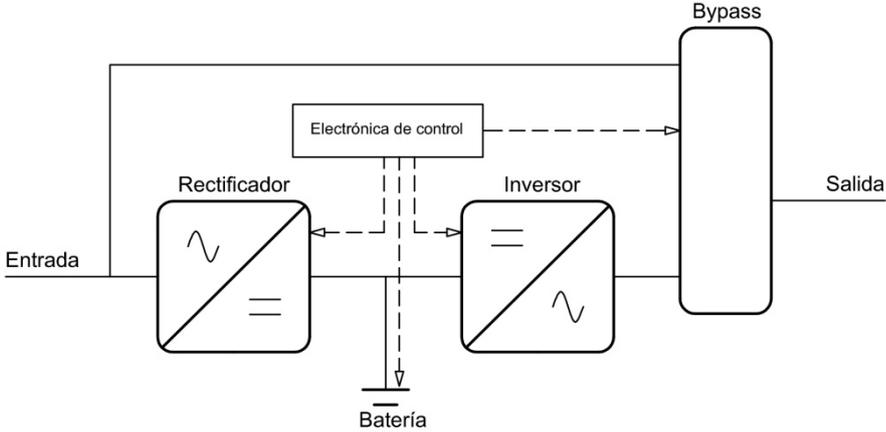


Figura 1: Diagrama de bloques de un SAI.

#### 3.1 Rectificador

El rectificador o puente rectificador realiza la conversión de la tensión alterna de entrada a tensión continua, proceso llamado rectificación. A partir de esta tensión continua se mantiene la carga de la batería y se alimenta al inversor, bien directamente o mediante otros circuitos específicos, dependiendo de la configuración utilizada. Hay que tener en cuenta que la forma más simple de almacenar energía es en corriente continua. Por lo general, si el rectificador es controlado permite que el inversor se alimente desde un mismo punto común (rectificador o baterías), generalmente denominado bus de continua.

Dependiendo de las potencias manejadas, los rectificadores pueden estar implementados con diodos (potencias inferiores a 40 kVA), tiristores (Figura 2), combinación de diodos y tiristores, IGBT o CoolMos. En el caso de que se utilicen diodos (normalmente en potencias bajas) se necesitan circuitos adicionales para la recarga de la batería y alimentar al inversor.

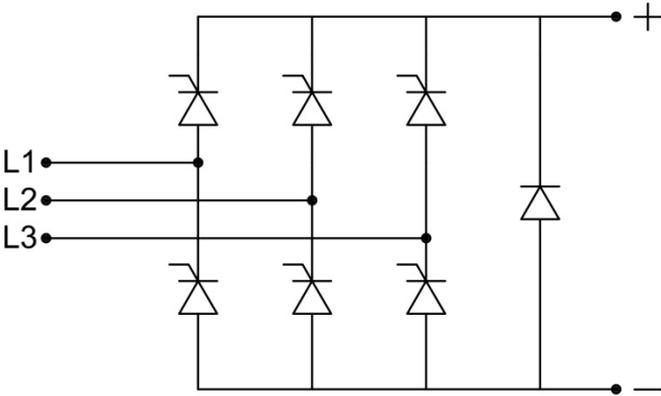


Figura 2: Diagrama de un puente rectificador a tiristores.

### 3.2 Inversor

El puente inversor u ondulador realiza una segunda conversión de la energía de continua a alterna, invirtiendo el proceso realizado por el rectificador, generando una onda senoidal similar a la red eléctrica, de ahí su denominación, (Figura 3).

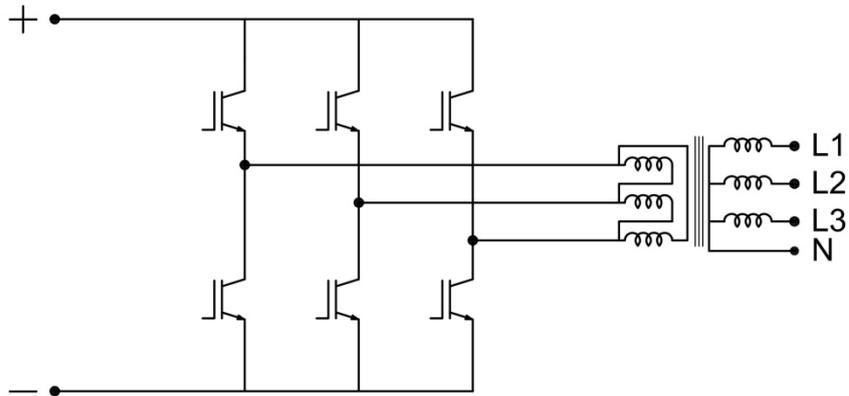


Figura 3: Diagrama de un inversor a IGBT con transformador de salida.

Su principio de funcionamiento se basa en el llamado puente en H, (Fig. 4). Los elementos T1 y T4 son excitados mediante un tren de impulsos que permite que circule una corriente entre el positivo y negativo de continua a través del primario del transformador de salida L. Mediante la adecuada combinación de impulsos se genera una onda de aspecto similar a un semiciclo senoidal. Posteriormente se excitan los elementos contrarios T2 y T3, de forma que la corriente por el primario del transformador de salida circula en sentido contrario, generándose un semiciclo de signo contrario al anterior. Una vez filtrada la tensión inducida, en el secundario se obtiene una tensión alterna.

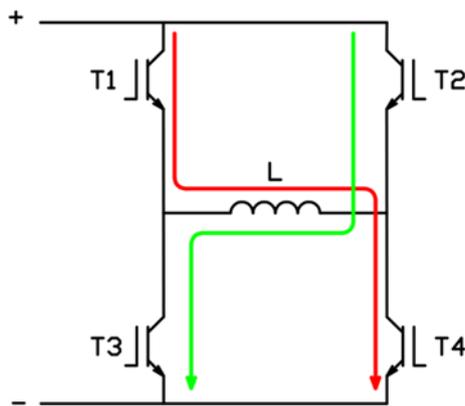


Figura 4: Puente en H.

### 3.3 Batería

La batería es el elemento que permite almacenar energía para ser entregada al sistema ante un fallo de suministro. También puede asumir demandas instantáneas de energía desde la carga, o excesos de energía entregados por el rectificador en caso de una reducción instantánea

de la energía demandada por ésta. Este efecto amortiguador dependerá de la respuesta dinámica del rectificador y del rizado de la tensión continua suministrada por éste, parámetros que dependerán de su topología.

Su capacidad y el porcentaje de carga conectado al SAI determinarán el tiempo que el SAI podrá seguir alimentando a la carga ante un fallo de red.

Existen diversos tipos de baterías, aunque mayoritariamente se utilizan las baterías de plomo-ácido en sus distintas variantes, así como otras variaciones según la aplicación específica o coste (NiCd, etc.)

Entre las baterías de plomo-ácido existen tres tipos fundamentales, aunque se fabrican modelos con algunas variantes:

- Baterías de plomo-ácido abiertas: este modelo de batería ha sido muy utilizado en el pasado, sin embargo está en desuso debido a las necesidades especiales que se requieren para su instalación (extracción de aire, instalaciones para atmósferas explosivas, suelo protegido contra corrosión, etc.) así como por la necesidad de mantenimiento periódico. Al no ser hermética, los gases que se generan salen de la batería por lo que es necesaria su extracción y la reposición periódica del electrolito perdido. El electrolito es líquido, por lo que su disposición debe ser siempre en vertical, no siendo aptas para aplicaciones móviles.

- Baterías de plomo-ácido de válvula regulada: conocidas como baterías de tipo VRLA (*Valve-Regulated Lead-Acid*), son baterías selladas que incorporan una válvula de seguridad para la salida de los gases generados en caso de que aumente en exceso la presión en su interior. Gran parte de los gases generados se recombinan en el interior de la batería, por lo que no es necesaria su reposición. Son, por tanto, baterías sin mantenimiento. Dado que el electrolito es de tipo gel, pueden ser colocadas en diferentes posiciones, no necesitando salas especiales para su ubicación.

- Baterías de plomo-ácido herméticas: son similares al modelo anterior, si bien no incorporan válvula. Su funcionamiento se basa en la total recombinación de los gases generados durante la reacción química, por lo que no necesitan mantenimiento ni salas especiales para su ubicación.

La Tabla 1 muestra los dos tipos principales de baterías de plomo-ácido herméticas de electrolito en forma de gel (OPZV) y de electrolito absorbido (AGM), así como las características principales de las más usadas en equipos SAI

La batería puede ser el eslabón más débil en un SAI, por lo que conviene prestar especial atención a sus parámetros de funcionamiento: tensión de flotación, corriente de recarga y temperatura de trabajo.

- Tensión de flotación: es la tensión que se aplica a la batería para mantenerla en carga. Su valor varía dependiendo del modelo de batería y fabricante y suele venir expresado para una temperatura de 20 °C.
- Corriente de recarga: una vez que la batería se ha descargado hay que proceder a su recarga para que tenga energía disponible para futuros fallos de red. Durante la recarga se generan gases que, en las baterías selladas, deben ser recombinados. Esta corriente de recarga no debe superar un determinado valor, ya que de lo contrario los gases generados

aumentarían en exceso, pudiendo ser expulsados al exterior (VRLA) o aumentar peligrosamente la presión en el interior de la batería (herméticas), lo que sería contraproducente en ambos casos. Normalmente esta corriente de recarga debe estar entre el 10% y el 20% de la capacidad de la batería.

· Temperatura de funcionamiento: las baterías se basan en una reacción química y la temperatura afecta a este tipo de reacciones. Normalmente todos los fabricantes indican que deben mantenerse entre 20 °C y 25 °C, reduciéndose su vida media a la mitad si trabajan a 30 °C. Por ello resulta fundamental mantener la temperatura de la sala de baterías dentro de los márgenes especificados por el fabricante. Así mismo, para mantener la vida media de la batería resulta fundamental ajustar la tensión de flotación según la temperatura, (Fig. 5).

**Tabla 1.** Características principales en las baterías más usadas en equipos SAI.

Plomo-ácido		
	Plomo-ácido abiertas	Larga duración Elevados costes de mantenimiento Ubicación en salas especiales
	Plomo-ácido de válvula regulada (VRLA)	Sin mantenimiento Baja generación de gases Permite ubicación junto al SAI
	Plomo-ácido herméticas: -Electrolito gelificado (OPZV) -Electrolito absorbido (AGM)	Sin mantenimiento Recombinación de gases generados Permite ubicación junto al SAI
Níquel-Cadmio		Mayor vida media Coste muy elevado

En el caso de temperaturas de funcionamiento por debajo de 20 °C, la capacidad de la batería se reduce, pero sin sufrir daños. En el caso de temperaturas de funcionamiento por encima de 30 °C, la capacidad de las baterías se incrementa, pero los daños provocados en la batería son irreversibles, (Fig. 6).

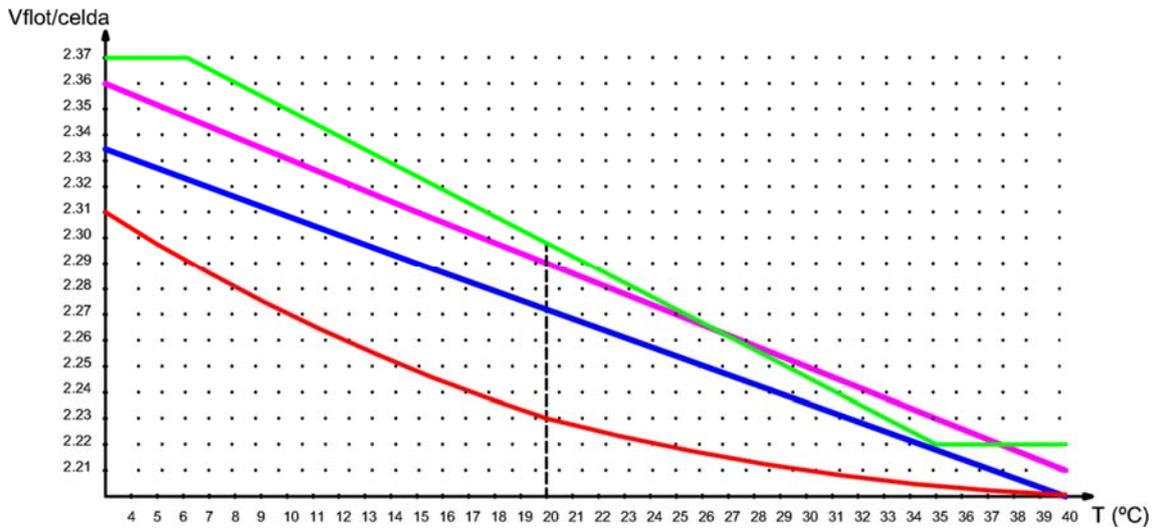


Figura 5: Varios ejemplos de corrección de la tensión de flotación en función de la temperatura.

Los SAI incorporan sensores de temperatura colocados en la batería para regular la tensión de flotación en función de ésta, pero dentro de ciertos límites.

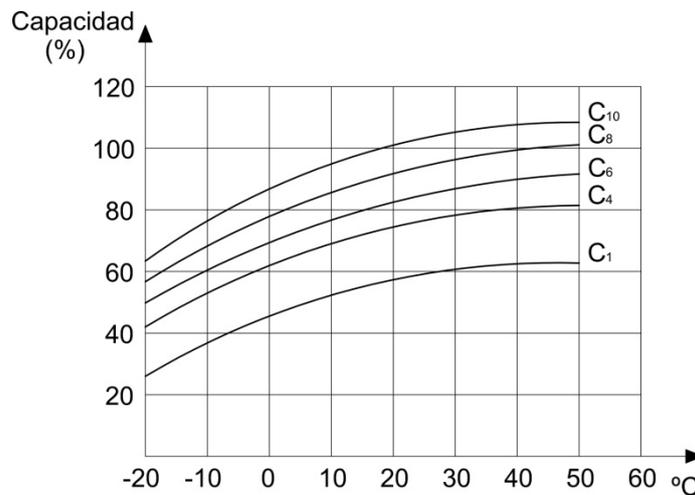


Figura 6: Variación de la capacidad de la batería con la temperatura.

### 3.4 Bypass automático

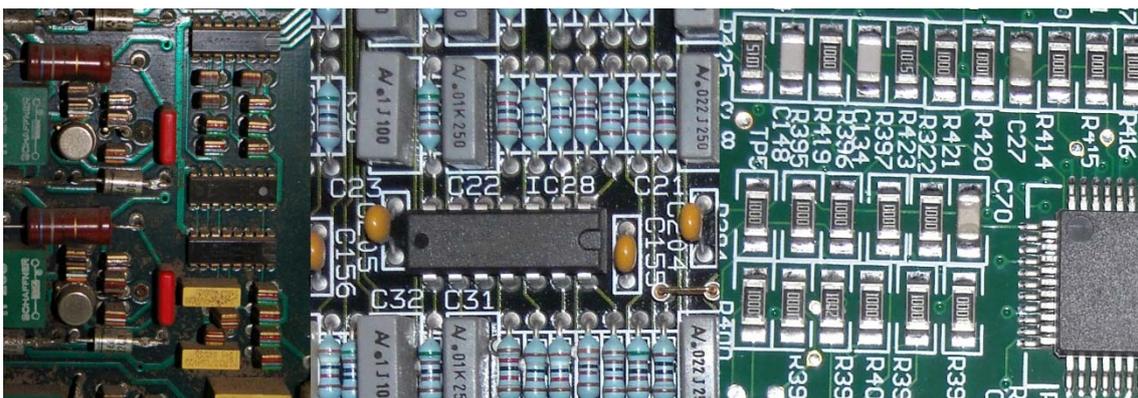
Ante cualquier anomalía que se pueda producir en el SAI es necesario disponer de un sistema automático que permita seguir alimentando a la carga directamente desde la red eléctrica. Así, si la red está dentro de unos márgenes aceptables, la carga puede seguir en funcionamiento hasta que se resuelva la anomalía en el SAI. Esta función se realiza mediante el bypass, elemento que resulta fundamental para mejorar la fiabilidad de un SAI ya que, ante un fallo del equipo, la carga pasa a estar alimentada directamente desde la red eléctrica y si es reparado antes de que se produzca un fallo en la red, la carga seguirá siendo alimentada sin interrupción.

La presencia del *bypass* automático implica la existencia de un sistema de gestión de la salida hacia la carga, tanto desde el lado de red como desde el lado de inversor que controle las conmutaciones de la carga en un sentido o en otro sin interrupción. Aunque el *bypass* es realmente el presente en el lado de red, al conjunto de todos los elementos implicados en esta gestión se le suele denominar *bypass*, incluyendo los situados en el lado de inversor.

Por lo general están formados por tiristores colocados en antiparalelo en cada fase y su activación se realiza de forma automática por la electrónica de control del SAI. Dependiendo de la potencia, se pueden utilizar los denominados relés de estado sólido SSR. El uso solo de contactores no es habitual debido al tiempo de cierre que necesitan (en torno a 12 ms), suficiente para provocar la caída de la carga.

### 3.5 Electrónica de control

Los Sistemas de Alimentación Ininterrumpida requieren de una electrónica de control que permita su funcionamiento de forma automática. Para ello se debe recurrir a prácticamente todos los campos de la electrónica: analógica, digital, comunicaciones, de potencia, microprocesadores, etc., (Fotografía 1).



**Fotografía 1:** Diferentes niveles de integración en la electrónica de control.

La electrónica utilizada ha ido evolucionando paralelamente a los avances en este campo. Desde los inicios en los que la electrónica era mayoritariamente analógica, con equipos en los que las conexiones entre tarjetas se realizaba mediante cableado (con la técnica del *wrapping*) al Procesamiento Digital de Señal, con la integración de potentes microprocesadores que permiten un mejor control, mayor capacidad de cálculo y velocidad de trabajo. Han desaparecido los potenciómetros, con una gran deriva temporal, y los ajustes se realizan mediante parámetros, invariables en el tiempo. La gran potencia de cálculo de los microprocesadores ha permitido reducir el número de tarjetas empleadas, con lo que se han reducido los fallos debido a las interconexiones, menor número de componentes, etc.

La mayor capacidad de cálculo y velocidad de trabajo ha permitido la introducción de nuevas técnicas de modulación y mejoras en la gestión de los equipos. Además ha permitido que los SAI puedan trabajar en diferentes modos, adaptándose a las necesidades requeridas por los usuarios de estos sistemas.

## 4. Topologías de SAI

Los SAI se pueden diseñar en base a diferentes topologías, según el grado de protección que ofrezcan, los componentes utilizados o su interconexión.

Dado que en el pasado existían en el mercado diferentes denominaciones para estos equipos, en 1999 se publicó la norma IEC 62040-3 y su versión europea EN62040-3, que distingue tres tipos de SAI, según dependan la tensión y frecuencia de salida de los valores de entrada. Así, en función del grado de protección que ofrece se denominan como:

- **VFD**: Tensión y frecuencia dependientes de la entrada. Anteriormente conocidos como "*off line*", estos equipos transfieren la tensión de entrada directamente a la salida, conmutando sobre inversor y generando una tensión independiente solo cuando la red está fuera de la tolerancia marcada. Esto implica que, entre la detección de un fallo de red y la conexión del inversor exista un tiempo mínimo en el que no se entrega energía a la carga. Aunque este tiempo es muy breve, determinados equipos no lo toleran. Constituyen un primer nivel de protección ante fallos en el suministro eléctrico.
- **VI**: Tensión independiente. Entre la entrada y la salida se intercala un transformador, estabilizador u otro componente con el que se atenúan algunas de las perturbaciones de la red. Ante un fallo de red el inversor suministra la energía a la carga. Aunque esta tecnología proporciona una mejor calidad de energía, para algunos equipos no es suficiente. Suponen un segundo nivel de protección ante determinadas perturbaciones de la red eléctrica y fallos en el suministro.
- **VFI**: Tensión y frecuencia independiente. También denominados "*on line*" o de doble conversión, estos equipos generan permanentemente una onda de salida de tensión y frecuencia independientes de la entrada, por lo que constituyen la protección más fiable para las cargas críticas. Con esta tecnología se pasa de la tensión alterna de entrada a tensión continua y, posteriormente, se vuelve a generar por medios electrónicos una nueva tensión de alterna para alimentar a la carga. Representan el nivel más alto de protección ya que la tensión con la que se alimenta a la carga es generada en el SAI y, por consiguiente, ajena a las perturbaciones de la red eléctrica.

En cuanto a los dispositivos utilizados se podría distinguir entre SAI con rectificador a diodos, tiristores, IGBT o CoolMos. En lo referente al inversor cabría destacar los SAI que utilizan tiristores (en desuso), transistores, IGBT o CoolMos.

Determinadas topologías pueden utilizar otros elementos como cargadores de baterías, *booster*, etc.

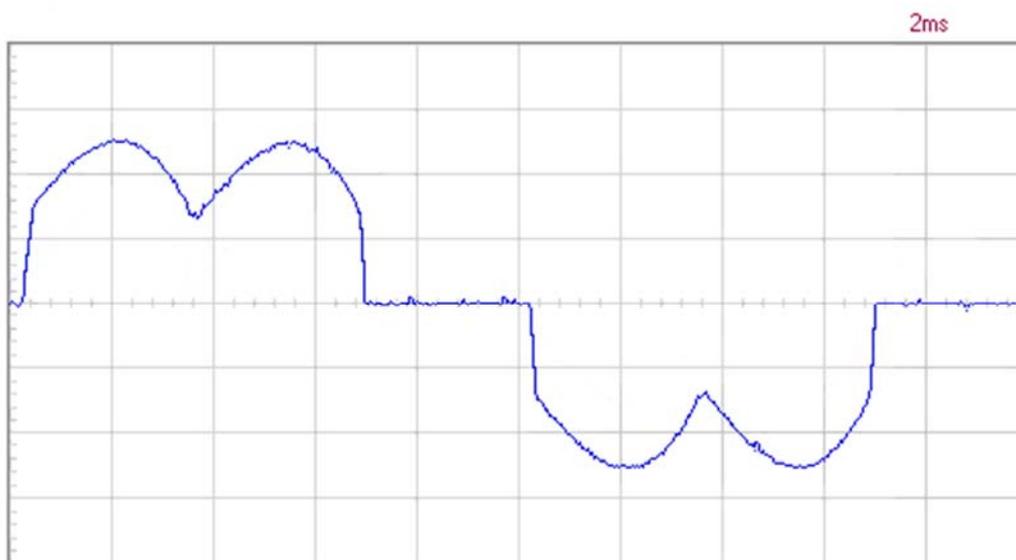
### 4.1 Rectificador a tiristores

Ha sido el tipo de rectificador más utilizado en los SAI de media y gran potencia, principalmente por su robustez. También son llamados rectificadores de 6 pulsos por el número de conducciones que realizan (dos por fase, una por semiciclo) en el caso de rectificadores trifásicos.

Su principio de funcionamiento es el siguiente: una vez disparados los tiristores mediante un impulso, la corriente circula a través de los tiristores correspondientes de dos ramas, entre las que hay aplicada una tensión alterna (trifásica); esta conducción seguirá produciéndose hasta que la tensión en sus extremos cambie de signo, lo que ocurrirá cuando se disparen los tiristores correspondientes siguientes. De este modo el circuito de control se reduce, pero limita la frecuencia de trabajo a dos conductiones por fase. A esta técnica se le denomina de bloqueo natural.

El momento de disparo de los tiristores antes del punto de apagado determinará el tiempo de conducción de éstos y, por tanto, la cantidad de energía que circulará a su través y el valor de la tensión continua de salida una vez filtrada. La frecuencia del rizado de la tensión DC de salida es seis veces la frecuencia de la red.

En la Figura 7 se aprecia cómo, para cada fase, solo hay circulación de corriente de entrada durante dos tercios del ciclo, ya que la circulación se produce entre las fases L1-L2, L2-L3 y L3-L1 sucesivamente, lo que implica que durante un tercio del ciclo en una de las fases no se está demandando energía.



**Figura 7:** Forma de onda de la corriente de entrada en un rectificador a tiristores.

La influencia de la corriente de cada armónico con respecto a la fundamental puede ser calculada teóricamente según la expresión:

$$i_h (\%) = \frac{I_h}{I_1} * 100$$

donde  $I_h$  es el valor eficaz de la corriente del armónico e  $I_1$  el valor eficaz de la corriente fundamental.

La distorsión armónica total de corriente (THDi) representa la relación entre el conjunto de los armónicos con respecto a la componente fundamental y se calcula como:

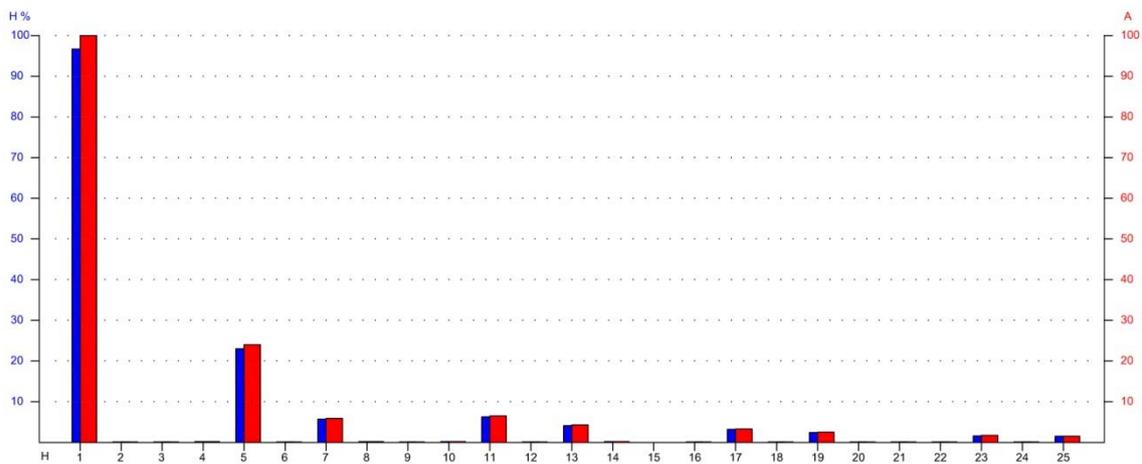
$$THDi(\%) = \frac{\sqrt{\sum_{h=1}^n I_h^2}}{I_1} 100$$

En este tipo de rectificadores la componente armónica generada será:

$$H_n = k * p \pm 1$$

donde  $H_n$  es el armónico enésimo,  $p$  el número de pulsos y  $k$  es una constante cuyos valores son 1, 2, 3, 4, etc.

Por tanto, los armónicos generados serán (Fig. 8): 5º, 7º, 11º, 13º, 17º, 19º, 23º, 25º, etc. La tasa de distorsión armónica de entrada (THDi) puede estar en torno al 25%.



**Figura 8:** Componente armónica a la entrada de un SAI de 80 kVA con rectificador a tiristores cargado al 72% e instalado en un edificio con equipamiento diverso. Se aprecia que la componente armónica es similar a la teórica.

El rectificador a tiristores ha demostrado una gran sencillez y robustez, y sigue teniendo cierto campo de aplicación en entornos industriales. Sin embargo, al realizarse solo dos conducciones por fase en cada ciclo, presentan ciertos inconvenientes:

- Ruido de conmutación: que se inyecta en las líneas de entrada y puede afectar a otros equipos.
- Inyección de armónicos: el SAI se comporta como una carga no lineal. Estos armónicos pueden afectar al resto de equipos de la instalación.
- Sobredimensionamiento de las líneas y protecciones de entrada: el sobredimensionamiento de las protecciones y líneas de entrada se debe al bajo factor de potencia de estos rectificadores.
- Sobredimensionamiento de grupos electrógenos: debido a la elevada tasa de armónicos en corriente que generan, este tipo de rectificadores provoca inestabilidad en los grupos electrógenos. Para reducir este efecto se recurre a sobredimensionarlos o utilizar grupos electrógenos con baja reactancia subtransitoria.
- Regulación lenta: dado que solo existe control sobre la activación de los tiristores, una vez disparados no se tiene ningún control sobre los mismos, por lo que el mecanismo de regulación de la tensión de salida no puede actuar ante las posibles fluctuaciones de la red eléctrica o las

variaciones de demanda de energía desde la carga hasta que llegue el momento de activar los tiristores siguientes. Esto implica una mayor necesidad de filtrado de la tensión de salida.

Para reducir algunos de estos problemas se han implementado soluciones que reducen en parte estos inconvenientes. Así, se utilizan filtros específicos para reducir un determinado armónico (generalmente el 5º, dado su mayor valor) o se construyen rectificadores de más pulsos (12, 18, 24 pulsos), si bien estas soluciones encarecen el producto y aumentan sus dimensiones.

El rectificador a 12 pulsos consta de dos rectificadores intercalados. Para intercalarlos se introduce un transformador con dos secundarios (en estrella y triángulo) que desfasan sus tensiones de salida 30º. Así, si un ciclo de red equivale a 360º, cada pulso de cada rectificador aparecerá con 60º de diferencia. Al desfasar 30º la entrada a ambos rectificadores, desde el lado de red se verán 12 pulsos (uno cada 30º).

Para el caso de un rectificador a 12 pulsos, la componente armónica presente será:

$$A_n = k * 12 \pm 1$$

por lo que los armónicos generados serán: 11º, 13º, 23º, 25º, etc. En este caso la THDi de entrada se reduce en torno al 9%.

Tal como se ha comentado, dada la gran robustez que han demostrado los rectificadores a tiristores, este tipo de rectificadores siguen siendo escogidos en aplicaciones en las que la robustez es requerida, como por ejemplo, en aplicaciones en entornos industriales.

## 4.2 Rectificadores a IGBT

Han sido desarrollados a partir de la aparición de los IGBT, si bien se comenzaron a implementar con posterioridad a su utilización en inversores.

En este caso, su principio de funcionamiento se basa en las cualidades de los transistores para conducir sólo cuando se les aplica una tensión de disparo. Los transistores de las ramas correspondientes son excitados mediante un tren de impulsos. Regulando este tren de impulsos y, por tanto, los periodos de conducción de los IGBT, se obtiene la tensión continua de salida requerida. Esto permite que el SAI se comporte de forma más aproximada a una carga lineal, reduciéndose enormemente los problemas habituales en los rectificadores a tiristores en cuanto a armónicos, ruido, etc.

En este tipo de rectificadores se utiliza un elevado número de pulsos, por lo que la posibilidad de regular la tensión de salida es mayor, al contrario de lo que ocurría con los rectificadores a tiristores. Esto tiene como consecuencia una tensión de salida mucho más ajustada a lo requerido y, por consiguiente, menor necesidad de filtrado incluso ante variaciones de la tensión de red. Igualmente la respuesta dinámica ante demandas de energía desde la carga es mayor.

En la Figura 9 se aprecia que, a diferencia de los rectificadores a tiristores, la corriente de entrada es prácticamente senoidal. En este caso la distorsión armónica (THDi) se reduce de una manera importante, por lo general suele ser en torno al 3%, (Fig. 10).

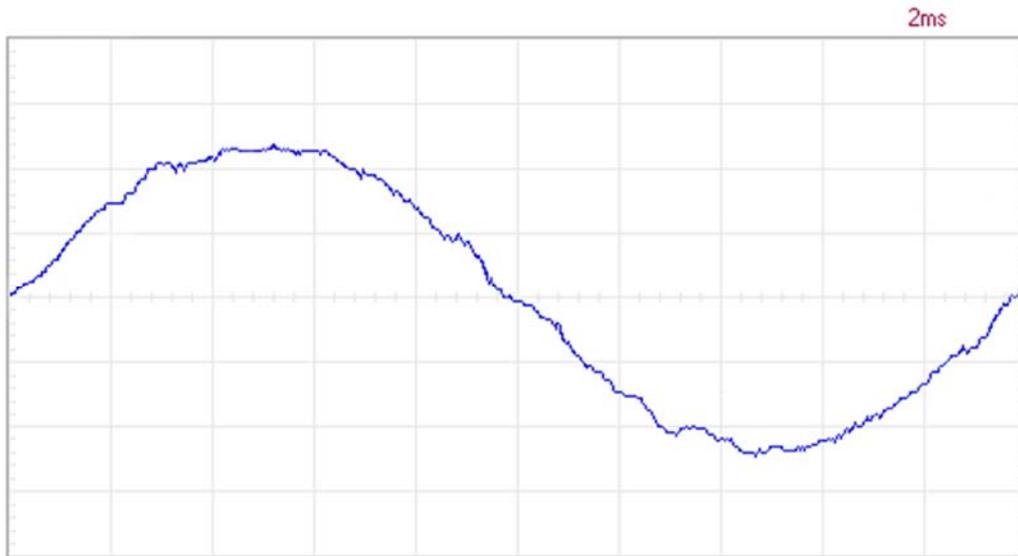


Figura 9: Forma de onda de la corriente de entrada en un rectificador a IGBT.

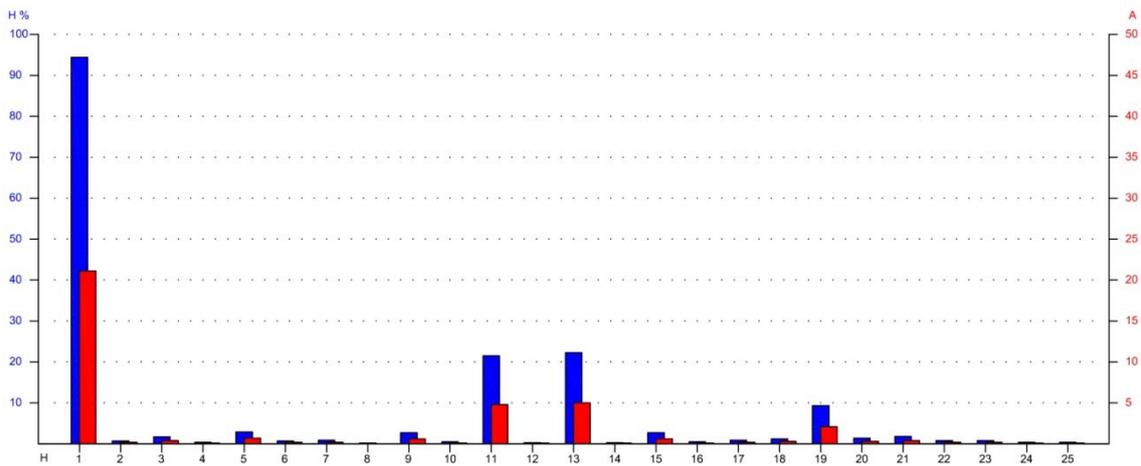
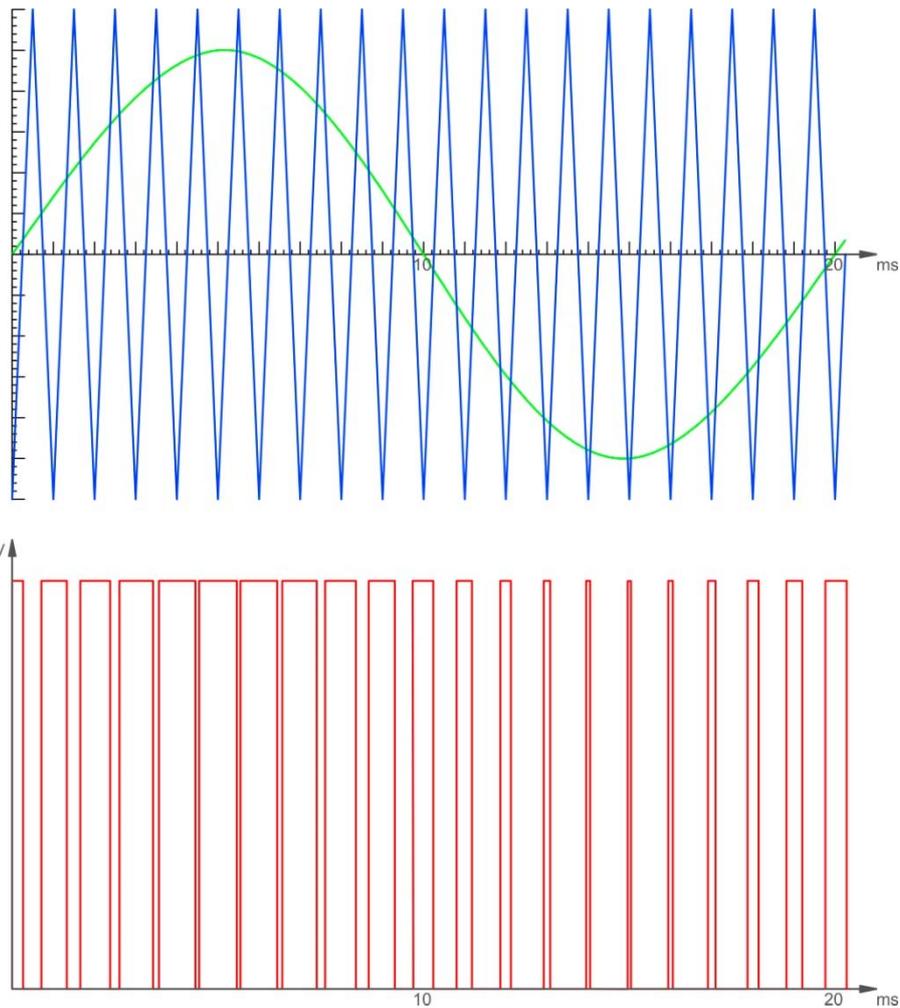


Figura 10: Componente armónica a la entrada de un SAI de 120 kVA con rectificador a IGBT cargado al 14% e instalado en un edificio de oficinas.

### 4.3 Inversores a tiristores

Los inversores a tiristores fueron la solución para desarrollar los primeros SAI, por lo que constituyeron un gran avance en la protección de las cargas críticas, sin embargo presentan importantes inconvenientes desde el punto de vista de la calidad de la onda generada, rendimiento, armónicos, etc., (Fig. 11). Hoy en día deberían haber sido reemplazados en su totalidad ya que los avances técnicos posteriores hacen que no resulten rentables desde ningún aspecto.

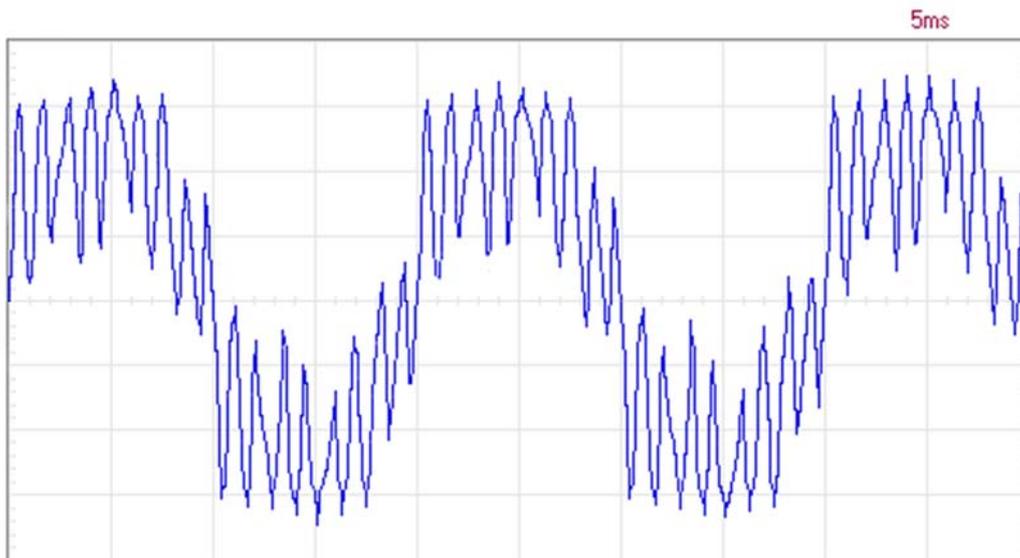




**Figura 12:** Ejemplo de generación de tren de impulsos con modulación en ancho de pulso (PWM) a partir de una señal senoidal de referencia y una señal triangular. El tiempo de apagado del tiristor limita la frecuencia máxima de trabajo.

Otro inconveniente de estos inversores está en su tamaño y el ruido generado. Al necesitarse dos elementos adicionales por cada tiristor de conducción, sus dimensiones se triplican. Dado que la frecuencia de trabajo es relativamente baja, resulta audible. Esto obliga a su instalación en salas dedicadas.

En la figura 13 se muestra la corriente que circula por un puente inversor a tiristores, en la que se aprecian las conmutaciones entre los estados de conducción y apagado de los tiristores de conducción  $T_c$ . Esta corriente circula por el primario del transformador de salida generándose en el secundario la tensión de salida del SAI.



**Figura 13:** Forma de onda de la corriente generada por un puente inversor a tiristores. Se evidencia la necesidad de un elevado filtrado.

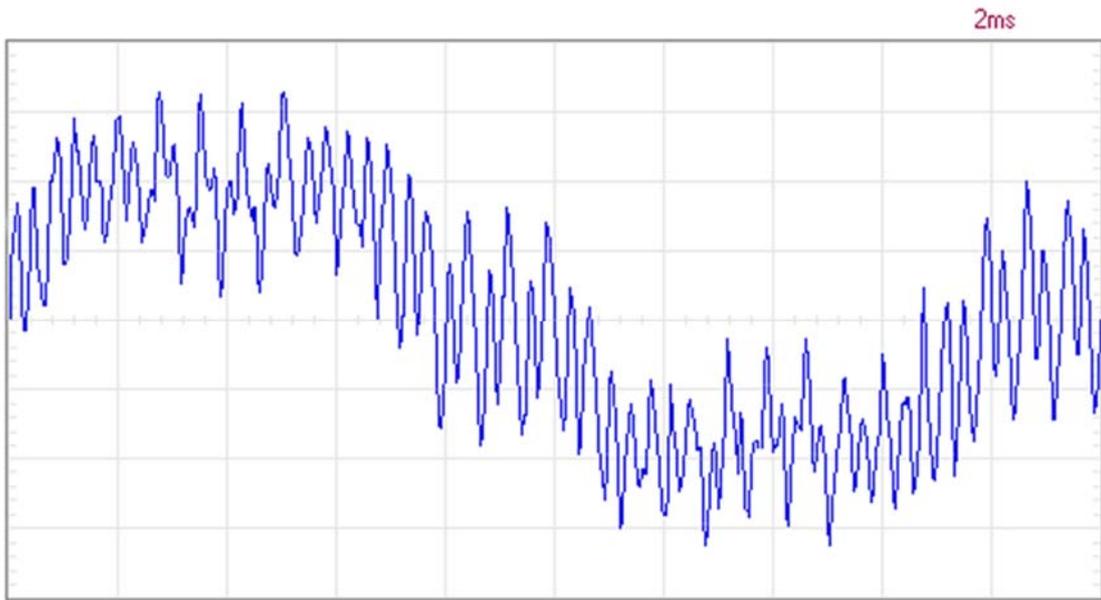
#### 4.4 Inversores a transistores

Dado que los transistores dejan de conducir al desaparecer la excitación aplicada, en este tipo de inversores no es necesario el circuito de apagado. Esto conlleva una reducción del volumen y la posibilidad de una frecuencia de trabajo mayor, lo que constituye unas importantes mejoras con respecto al inversor a tiristores. Es evidente que la tensión de salida generada resulta más aproximada a una tensión senoidal al poderse controlar de forma más precisa con el aumento de la frecuencia de trabajo, la respuesta dinámica es mayor y el nivel de filtrado necesario menor, (Fig. 14).

Sin embargo no se consiguieron dispositivos capaces de manejar potencias importantes, debiéndose utilizar conectados en paralelo para tal fin.

Otro de los inconvenientes de este tipo de inversores está en que necesitan una potencia en el circuito de disparo relativamente alta que no los hace viables en altas potencias.

Por estos motivos pronto fueron relegados a un segundo plano tras la aparición del IGBT.

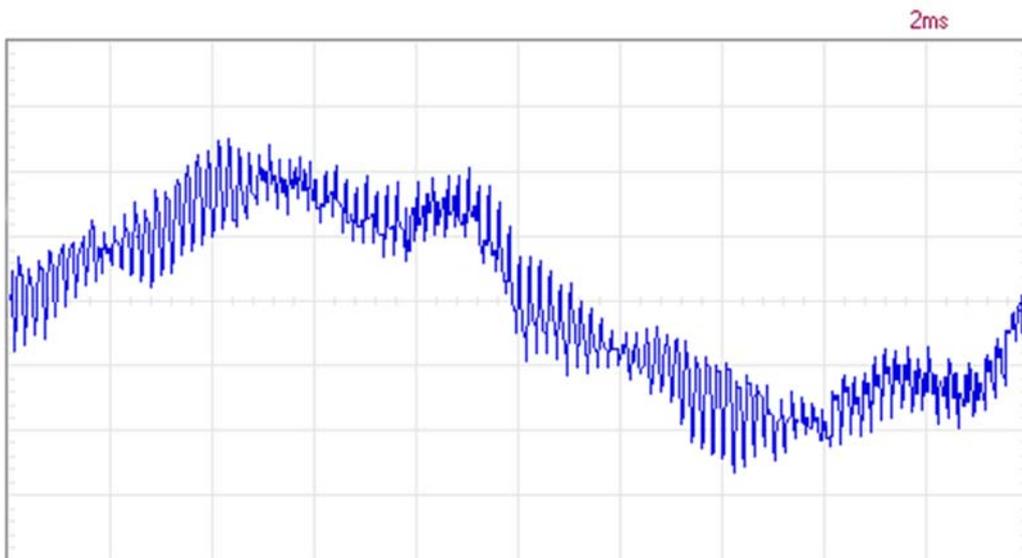


**Figura 14:** Forma de onda de la corriente generada en un puente inversor a transistores. Se observa que el número de conducciones aumenta y la necesidad de filtrado es menor que en el puente a tiristores.

#### 4.5 Inversores a IGBT

El IGBT es en la actualidad el dispositivo que más se acerca a un interruptor ideal. Con su aparición se han diseñado inversores capaces de manejar potencias más elevadas con menor demanda de energía en el circuito de disparo y, por tanto, más eficientes.

En la actualidad es el tipo de inversor utilizado en SAI. Permite implementar nuevas técnicas de modulación con las que se genera una tensión de mayor calidad.



**Figura 15:** Forma de onda de la corriente generada en un puente inversor a IGBT. Se observa que el número de conducciones aumenta y la necesidad de filtrado es menor que en los casos anteriores.

En este tipo de inversores la frecuencia de trabajo es mucho mayor por lo que la onda generada es más próxima a una senoide, reduciéndose la necesidad de filtrado, (Fig. 15). La respuesta dinámica del sistema mejora considerablemente permitiendo mantener la tensión generada dentro de unas tolerancias más estrictas ante variaciones de la carga. Los requerimientos de energía en el control de los IGBT se reducen frente a los transistores, aumentando la eficiencia de los SAI.

#### 4.6 Inversores a transistores CoolMos

Con la aparición de los nuevos CoolMos se están implementando inversores basados en estos dispositivos o bien combinados con IGBT.

Por lo general se están utilizando en inversores de tres niveles, en los que la tensión aplicada es la mitad, por lo que pueden manejar potencias mayores.

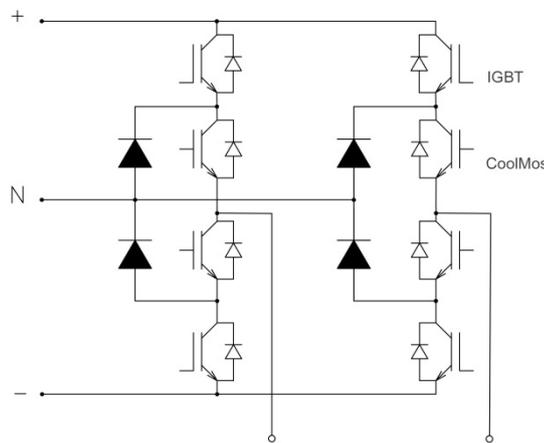


Figura 16: Diagrama de un puente inversor de tres niveles combinando IGBT y CoolMos

#### 4.7 SAI sin transformador

Otra tipología usada es el SAI sin transformador o *transformer less*. Si habitualmente se hacía circular la corriente por el primario de un transformador, en este caso no existe transformador de salida, lo que implica una reducción de peso, dimensiones y la eliminación de las pérdidas en este componente. Este tipo de SAI se ha implementado de diversos modos: algunos de ellos utilizan dos ramas de baterías para conseguir una tensión DC mayor, otros utilizan dos ramas de baterías pero añaden un booster entre el bus DC y el inversor, otros utilizan una sola rama de baterías más booster y otros utilizan el mismo número de baterías que los SAI con transformador. Esta tipología solo es posible con un inversor que presente una respuesta rápida ante variaciones en la carga.

Las características de estos equipos con respecto a la onda generada son similares a las de los equipos con transformador, si bien sus prestaciones ante variaciones de la carga o carga no balanceada se reducen con respecto a estos últimos.

## 4.8 SAI modulares

Este tipo de SAI está diseñado para trabajar en paralelo con un determinado número de SAI según la potencia deseada, normalmente integrados dentro de un mismo armario, lo que determina sus características dimensionales.

Presentan la ventaja de la escalabilidad, es decir, la posibilidad de ir añadiendo o retirando módulos según las necesidades de la carga. Se habla de tres tipos de escalabilidad.

- Escalabilidad vertical: cuando se pueden ampliar módulos dentro de un mismo armario o rack.
- Escalabilidad horizontal: cuando en una misma instalación se pueden ir añadiendo armarios en una fila.
- Escalabilidad tridimensional: consiste en añadir filas de armarios de SAI a partir de las configuraciones anteriores.

Con este tipo de conexión en paralelo se puede garantizar que el conjunto trabaja en niveles de carga próximos a la zona de rendimiento óptimo, consiguiéndose una mayor eficiencia (en torno al 95%).

Por lo general están diseñados para ser muy versátiles en cuanto a su interconexión, permitiendo compartir líneas de alimentación de entrada y salida y baterías simplemente cambiando algunos parámetros y configuraciones.

Otra de las ventajas que presentan algunos de ellos es la posibilidad de reemplazo de módulos "en caliente", por lo que se reducen costes de mantenimiento y tiempo de reparación.



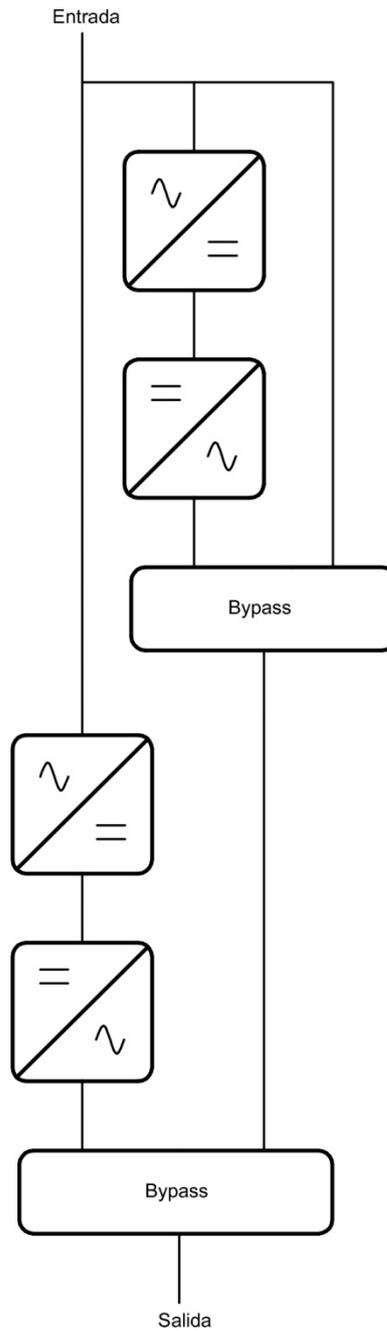
## 5. Instalaciones paralelo redundante

Pronto surgieron instalaciones cuya criticidad era mayor y a las que no les bastaba la fiabilidad proporcionada por un solo SAI.

Inicialmente la electrónica de control de los equipos no permitía la comunicación entre varios de ellos para que pudieran trabajar en paralelo, por lo que se realizaron instalaciones denominadas de "espera en caliente" (*hot standby*) que simplemente consistían en alimentar el *bypass* de un SAI desde la salida de otro así, ante un fallo del primero y la consiguiente transferencia de la carga a su *bypass*, el resultado era que la carga seguía siendo alimentada desde el otro SAI, (Fig. 17).

En la actualidad, para instalaciones cuyo nivel de criticidad es tan elevado que exige un grado de protección mayor se recurre a configuraciones de SAI conectados en paralelo redundante. Una instalación paralelo es redundante grado 1 cuando para  $n$  equipos conectados, la carga puede ser alimentada por  $n-1$  equipos en funcionamiento. De igual modo existen instalaciones paralelo redundante de grados superiores, sin embargo, en una configuración grado 1, la fiabilidad y eficiencia son dos factores que a menudo hay que sopesar para llegar a un equilibrio entre ambas.

Existen dos configuraciones básicas de paralelo: el paralelo redundante centralizado y el descentralizado.



**Figura 17:** Configuración de equipos en "espera en caliente" o *hot stand by*.

- Paralelo redundante centralizado, (Fig. 18). En este tipo de instalación paralelo son redundantes los módulos de rectificador, inversor y batería, mientras que la gestión de la alimentación a la carga (*bypass*) es única y común a todos los módulos.

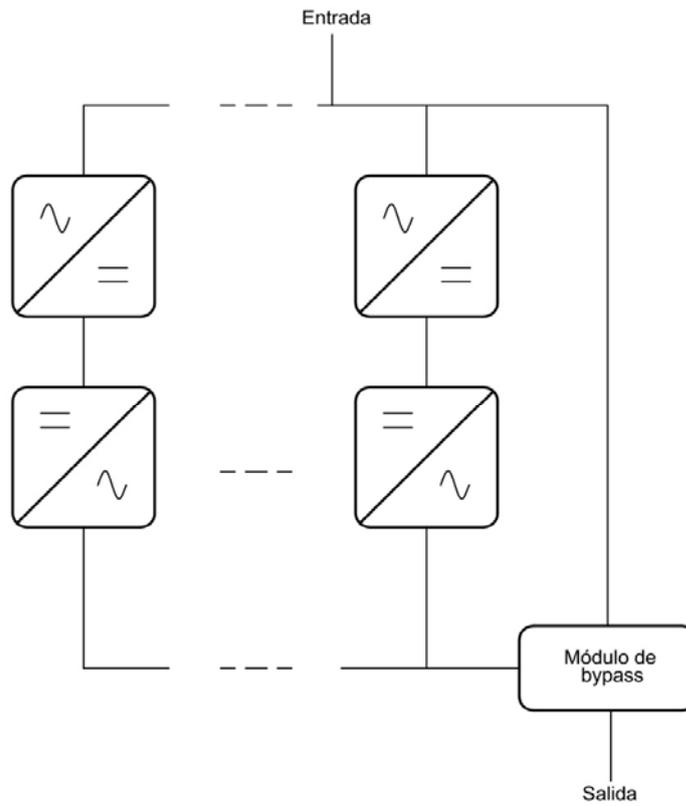


Figura 18: diagrama general de un paralelo redundante con *bypass* centralizado

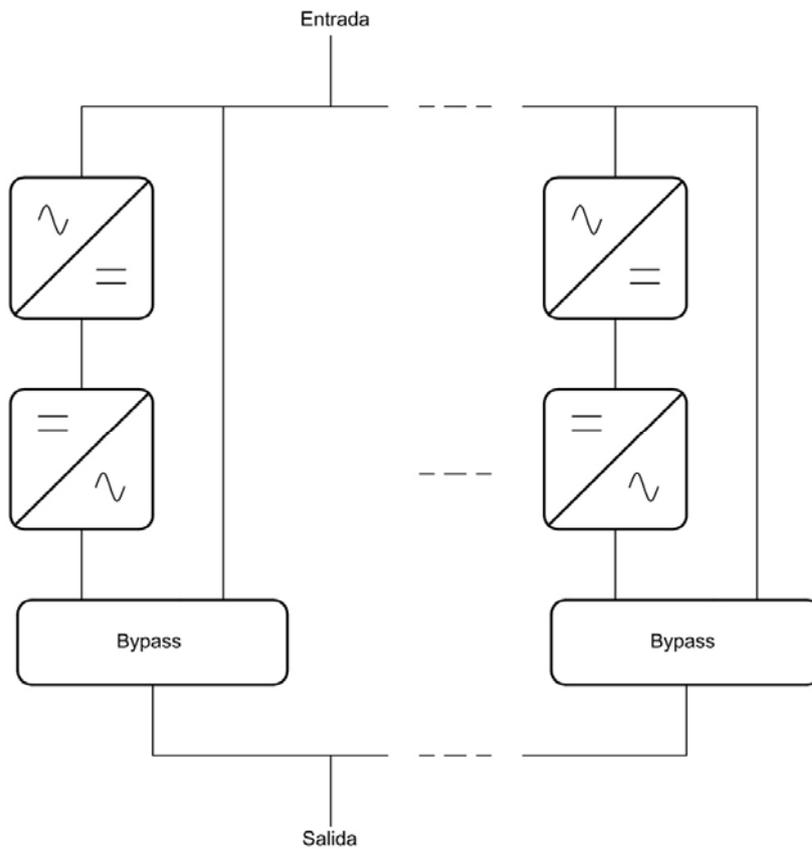


Figura 19: Diagrama general de un sistema paralelo con *bypass* descentralizado.



- Paralelo redundante descentralizado, (Fig. 19). En este tipo de configuración, cada SAI que forma el paralelo aporta todos los elementos de un SAI individual, por lo que cada uno de ellos incluye un sistema de *bypass*. De este modo, el *bypass* del paralelo también es redundante.

## 6. Aplicaciones de los SAI

A la hora de calificar la calidad del suministro eléctrico se tienen en cuenta tres factores: la continuidad de la fuente de energía, el índice de disponibilidad y la calidad de la tensión. El sistema eléctrico se ve afectado por multitud de perturbaciones generadas durante el transporte de la energía o durante su utilización. Estas perturbaciones pueden ser debidas a averías en las líneas de transporte o distribución, generadas por los propios usuarios, etc.

La norma UNE-EN-50160:2011 define la clasificación de estas perturbaciones como:

- Transitorias: impulsos en modo común y oscilaciones.
- Variaciones de la tensión de duración breve ( $t < 10$  s): microcortes, caídas y subidas breves.
- Variaciones de la tensión de duración larga ( $t > 10$  s): cortes prolongados, caídas y sobretensiones largas.
- Distorsiones de la forma de onda: desajuste de continua, armónicos e interarmónicos de tensión, ruido genérico y ruido de conmutación.
- Otras perturbaciones: parpadeo (*flicker*), variaciones de frecuencia y desequilibrios.

Los equipos pueden ser protegidos frente a gran parte de estas perturbaciones mediante el uso de otros dispositivos (filtros, estabilizadores, etc.), pero frente a las interrupciones del suministro solo pueden ser protegidos mediante SAI. Por lo tanto, todo equipo susceptible de verse afectado por cualesquiera de estas perturbaciones, no solo ante fallos en la continuidad del suministro, deberían ser alimentados desde SAI, ya que una alimentación de calidad, dentro de unas determinadas tolerancias, ayuda a prolongar la vida de los equipos alimentados.

Así son utilizados en:

- Instalaciones informáticas: en las que los daños a los equipos pueden no ser importantes pero en las que la pérdida de datos puede resultar catastrófica para sus propietarios, con potencias desde varios cientos de VA (ordenadores personales) a Centros de Proceso de Datos (CPD) de organismos, bancos, servidores web, etc., de varios MVA.
- Nodos de telecomunicaciones: donde el ruido de conmutación es elevado y la interrupción del servicio puede afectar a multitud de usuarios.
- Control de procesos industriales: en ambientes industriales la red eléctrica se ve sometida a numerosas perturbaciones que pueden afectar al funcionamiento de los equipos.
- Control de tráfico aéreo: donde un fallo en el suministro eléctrico puede poner en peligro numerosas vidas.
- Equipamiento hospitalario: en salas de atención a pacientes críticos.

Y un largo etcétera de instalaciones críticas. La decisión de cuándo una instalación es crítica o no lo determina su propietario o usuario en función de su aplicación y necesidades.



Otra de las aplicaciones de los SAI puede ser, además, trabajar como convertidor de frecuencia. No es una utilización muy frecuente ya que se limita a zonas en las que la frecuencia de trabajo de la red eléctrica es diferente a la requerida por los equipos a alimentar.

Para ello se deben utilizar solo equipos tipo VFI (doble conversión, en los que se bloquea la utilización del *bypass* de red). Efectivamente, como en los equipos de doble conversión, la tensión y frecuencias de salida son totalmente independientes de la entrada, el equipo puede alimentarse de una red eléctrica de 50 o 60 Hz y generar a su salida una tensión de otra frecuencia. El bloqueo del *bypass* es necesario debido a que en caso de fallo de red se alimentaría a la carga con una frecuencia que no sería la correcta.

## 7. Mejoras técnicas introducidas por los nuevos SAI con mayor eficiencia

Los avances tecnológicos ya indicados han permitido la implementación de numerosas mejoras técnicas en los SAI.

- Rectificadores a IGBT: con este tipo de rectificadores se ha conseguido reducir la tasa de distorsión armónica del 25% de los rectificadores a tiristores de 6 pulsos a sólo el 2%. Lo que se traduce en equipos más eficientes. Ya no son necesarias soluciones adicionales para reducir esta tasa armónica (filtros de 5º armónico, rectificadores a 12 pulsos, etc.), con lo que ha aumentado la eficiencia de las instalaciones.

- Inversores a IGBT: el aumento de la frecuencia de trabajo, la implementación de técnicas de modulación más eficientes y la eliminación del circuito de apagado para el caso de los tiristores ha sido una de las mejoras que más ha contribuido a aumentar la eficiencia de estos equipos, en torno al 10%.

Los equipos con inversores a tiristores dejaron de fabricarse a principios de los 90, permitiendo que estos equipos pudieran integrarse en salas con menos requerimientos en cuanto a ruido y climatización, ya que las pérdidas y el ruido generado se redujeron.

-Electrónica de control: la introducción del Procesamiento Digital de la Señal ha mejorado la fiabilidad de los equipos:

\* Precisión: dado que la tecnología digital resulta más inmune al ruido.

\* Estabilidad: ya que no hay valores que puedan variar en el tiempo, con la temperatura, etc.

La utilización de microprocesadores permite la incorporación de nuevas funcionalidades que no eran posibles anteriormente. Así, permiten la posibilidad de trabajar en diferentes modos: VFI, VFD y VI.

La comunicación hombre máquina ha permitido pasar de paneles de señalización basados en LED que indicaban el estado de funcionamiento de los SAI a paneles LCD que facilitan la información del estado de funcionamiento de una forma más clara para el usuario. Así la lectura de medidas, eventos, etc., resulta mucho más fácil.

La implementación de tarjetas/protocolos de comunicaciones permite la gestión de equipos de forma remota, desde cualquier parte del mundo, y en cualquier momento, a través de las redes de comunicaciones e Internet.



## 8. Rendimientos de los SAI anteriores

Dado que los SAI suelen funcionar de forma continua, su rendimiento es un factor muy importante a considerar, por el importante costo que puede suponer.

- SAI con inversor a tiristores: este tipo de SAI deberían haber sido sustituidos debido a que resultan poco eficientes en relación con los equipos actuales. Su rendimiento a plena carga estaba por debajo del 85%, por lo que las pérdidas generadas resultan importantes. No obstante, hay que decir que, con independencia de este problema, con la tecnología existente en su momento cumplieron su misión de forma eficaz.
- SAI con rectificador a tiristores e inversor a IGBT: este tipo de rectificadores constituye la gran mayoría de equipos instalados en la actualidad. Su rendimiento, dependiendo de su configuración y del fabricante, ronda el 92-93% a plena carga. La mejora en eficiencia con respecto a los inversores con tiristores resulta evidente. Sin embargo, en el caso de instalaciones que requieran de equipamiento adicional para reducir armónicos, este rendimiento se reduce considerablemente.

Lo mismo ocurre con respecto al porcentaje de carga conectado al SAI, ya que su eficiencia se reduce en aquellos equipos que no están cargados en niveles próximos al 100%, es decir, prácticamente en la totalidad de los equipos instalados. Esto no quiere decir que los SAI no estén correctamente dimensionados, simplemente el rendimiento de los SAI se reduce conforme se reduce la carga conectada.



## 9. Mejoras de rendimiento de los nuevos SAI

Como se ha comentado, el rendimiento de los SAI es un parámetro fundamental a la hora de elegirlos ya que, por lo general, están funcionando las 24 horas del día durante toda su vida útil, por lo que su eficiencia cobra una gran importancia. Por ejemplo, una mejora de un punto porcentual en el rendimiento de un equipo de 100 kVA equivaldría a un ahorro anual en torno a los 7.000 kWh/año, considerando una carga con factor de potencia 0,8. A este ahorro habría que añadir el consumo del sistema de refrigeración que se necesitaría para eliminar el calor generado, lo que casi aumentaría ese ahorro hasta 1,5 veces.

- Mejoras de rendimiento por los componentes utilizados: La inclusión de los IGBT en el rectificador ha mejorado el rendimiento, alcanzándose hasta el 95-96%, dependiendo del fabricante.

- Mejoras en la electrónica de control: la mejora en los circuitos electrónicos de control ha permitido mejorar el rendimiento de los SAI al integrar nuevas técnicas de modulación de la señal de disparo de los IGBT, consiguiéndose ondas más eficaces que necesitan un menor filtrado y se adaptan mejor a las necesidades de la carga. Además, la introducción del Procesamiento Digital de la Señal (DSP) y el incremento del poder de cálculo de los microprocesadores utilizados ha permitido reducir el número de tarjetas utilizadas, reduciéndose el consumo de la electrónica de control, lo que mejora las pérdidas sin carga del SAI.

- Mejoras en la gestión: se han introducido modelos de gestión que permiten que el SAI trabaje en diferentes modos de operación, según las necesidades de la carga.

Uno de estos modos de trabajo consiste en alimentar a la carga directamente desde red o a través de algún filtro o transformador, transfiriéndose la carga a inversor cuando la red se sale de los márgenes establecidos en la configuración del SAI. De este modo se pueden alcanzar rendimientos alrededor del 98%. Existen diferentes denominaciones comerciales para estos modos de trabajo, la mayoría de ellas incluyen la denominación "eco". Este modo de funcionamiento existe desde los años 90, con los primeros SAI a transistores, sin embargo requerían que el inversor estuviera conectado, aunque sin alimentar la carga, por lo que su eficiencia era menor. En la actualidad se consigue conectar el inversor y transferir la carga sin interrupción incluso con potencias elevadas.

Algunos SAI incorporan la posibilidad de trabajar en diferentes modos de operación (VI, VFD o eficiente/eco y VFI).

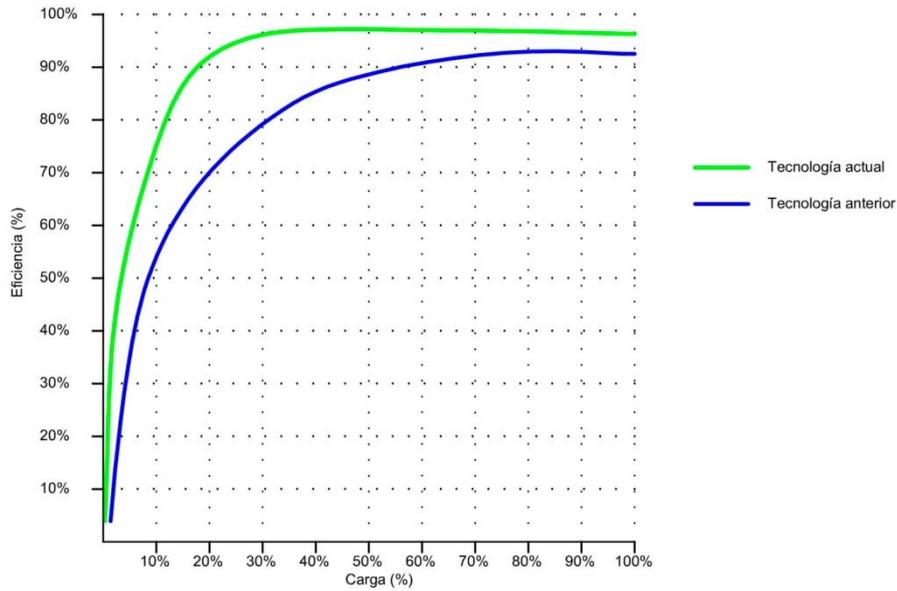
- Mejoras en la curva de eficiencia: esta es una de las mejoras más importantes implementadas en los nuevos SAI. Cuando se diseña una instalación de SAI, normalmente la carga no debe superar el 75% de la potencia de éste. Los SAI anteriores tenían un buen rendimiento en condiciones de máxima potencia, cayendo este conforme lo hacía el porcentaje de carga conectada. Por este motivo en muy pocas ocasiones los SAI trabajaban en el margen de rendimiento óptimo. En la actualidad, las nuevas técnicas de modulación y la electrónica de

control permiten que la eficiencia del SAI se mantenga próxima a la máxima para niveles de carga incluso por debajo del 50%, con lo que se obtienen buenos rendimientos prácticamente a cualquier nivel de carga, garantizándose que el SAI trabajará en una zona de rendimiento óptimo. Este aspecto es especialmente importante en las instalaciones paralelo redundante en las que, por definición, los equipos no están excesivamente cargados (en el caso de un paralelo redundante formado por dos equipos, ambos estarán por debajo del 50%). En las instalaciones críticas que deben cumplir los estándares Tier IV, mantener un buen rendimiento a niveles bajos de carga resulta fundamental.

Así, los aportes de la tecnología actual en cuanto a eficiencia energética se han producido en los siguientes aspectos:

- Eliminación del transformador de salida, eliminándose las pérdidas en este componente, gracias a los nuevos componentes y las nuevas técnicas de modulación.
- Disminución de las pérdidas en la electrónica de control, con la reducción del número de tarjetas y un mayor nivel de integración, con un menor consumo.
- Refrigeración mediante ventiladores controlados que ajustan su potencia al nivel de carga y temperatura interna del equipo.
- En los equipos modulares la activación de módulos en función del nivel real de carga, así como la rotación de módulos activos/inactivos.
- Nuevas topologías, con la introducción de los IGBT, CoolMos, inversores a tres niveles, etc.

Todas estas mejoras en la eficiencia, (Fig. 19), se traducen en importantes ahorros económicos. Para calcular estos ahorros hay que tener en cuenta que normalmente los datos de eficiencia suministrados por los fabricantes suelen referirse a valores de carga próximos al 100%, o bien directamente facilitan el mejor dato de eficiencia que proporciona el equipo, por lo que es importante conocer la curva de eficiencia del SAI a instalar para poder determinar de forma lo más aproximada posible cuál será la eficiencia en nuestra instalación en función de la carga conectada.



**Figura 19:** Curvas aproximadas de eficiencia de SAI con tecnología actual y anterior.

Por ejemplo, si se tiene un SAI de 100 kVA cargado al 70 % (70 kVA = 56 kW considerando un factor de potencia (PF) de 0,8), la mejora de eficiencia con un SAI actual puede rondar, dependiendo del fabricante, el 6%. Considerando que el rendimiento del aire acondicionado para evacuar el calor generado por el SAI, es de un EER de 2,5, se tiene que aplicando la fórmula:

donde: 
$$\Delta_{Pérdidas} = P_{Carga} \left( \frac{1}{\eta_{SAI1}} - \frac{1}{\eta_{SAI2}} \right) \left( 1 + \frac{1}{EER} \right)$$

$P_{carga}$ : Potencia activa, en kW, de la carga a la cual se comparan las pérdidas.

$\eta_{SAI1}$ : Rendimiento del SAI 1 (el de menor rendimiento de la comparativa)

$\eta_{SAI2}$ : Rendimiento del SAI 2 (el de mayor rendimiento de la comparativa)

$EER$  (Energy Efficiency Ratio): Rendimiento del aire acondicionado que debe evacuar el calor producido por el SAI: a menos pérdidas menor consumo del sistema de refrigeración.

tendríamos

$$\Delta_{Pérdidas} = P_{Carga} \left( \frac{1}{\eta_{SAI1}} - \frac{1}{\eta_{SAI2}} \right) \left( 1 + \frac{1}{EER} \right) = 56 \text{ kW} \cdot \left( \frac{1}{0,9} - \frac{1}{0,96} \right) \cdot \left( 1 + \frac{1}{2,5} \right) = 5,4 \text{ kW}$$

Considerando el precio del kWh = 0,10 €, se obtiene que el ahorro anual será:

$$\text{Ahorro/año} = 5,4 \text{ kW} \cdot 24 \text{ h} \cdot 365 \text{ días} \cdot 0,10 \text{ €/kWh} = 4.769 \text{ €/año}$$

Dado que el precio de un SAI de 100 kVA sin batería (podría ser utilizada la ya existente) puede rondar los 14.000 €, su sustitución se amortizaría en dos años y medio.

Si nuestro equipo fuera de 20 kVA, cargado igualmente al 70%, realizando los mismos cálculos se obtendría:

$$\Delta_{P\acute{e}rdidas} = P_{Carga} \left( \frac{1}{\eta_{SAI1}} - \frac{1}{\eta_{SAI2}} \right) \left( 1 + \frac{1}{EER} \right) = 14 \text{ kW} \cdot \left( \frac{1}{0,9} - \frac{1}{0,96} \right) \cdot \left( 1 + \frac{1}{2,5} \right) = 1,36 \text{ kW}$$

$$Ahorro/a\acute{n}o = 1,36 \text{ kW} \cdot 24 \text{ h} \cdot 365 \text{ d\acute{ı}as} \cdot 0,10 \text{ €/kWh} = 1.191 \text{ €/a\acute{n}o}$$

Considerando que el precio de un SAI de 20 kVA sin batería puede rondar los 6.000 €, su sustitución quedaría amortizada en 4,2 años.

En el caso de equipos paralelo, en los que los equipos suelen trabajar a porcentajes de carga por debajo del 50%, la mejora en la eficiencia de la tecnología actual resulta más evidente.

Suponiendo un equipo paralelo redundante n+1 formado por dos equipos de 100 kVA. Por definición cada SAI debe estar cargado por debajo del 50%, considerando que en este caso se encuentran cargados al 30% (30 kVA = 24 kW, PF = 0,8). En este caso, la mejora de eficiencia puede ser dependiendo del SAI instalado y el SAI utilizado para sustituirlo en torno al 10%.

$$\Delta_{P\acute{e}rdidas} = P_{Carga} \left( \frac{1}{\eta_{SAI1}} - \frac{1}{\eta_{SAI2}} \right) \left( 1 + \frac{1}{EER} \right) = 24 \text{ kW} \cdot \left( \frac{1}{0,85} - \frac{1}{0,95} \right) \cdot \left( 1 + \frac{1}{2,5} \right) = 4,161 \text{ kW}$$

El ahorro anual para cada equipo sería:

$$Ahorro/a\acute{n}o = 4,161 \text{ kW} \cdot 24 \cdot 365 \cdot 0,10\text{€/kWh} = 3.645 \text{ €/a\acute{n}o}$$

Por lo que la sustitución de dos equipos paralelo de 100 kVA cargados al 30% se amortizaría en 3,2 años.

## 10. Normativa aplicable

- EN62040-3: Definición de diferentes tipos de SAI.
- EN 50091-3:1999: Especificaciones para los Sistemas de Alimentación Ininterrumpida. Requisitos de funcionamiento y métodos de ensayo.
- UNE-EN 62040-1-1: 2004: Sistemas de Alimentación Ininterrumpida Parte 1-1: Requisitos generales y de seguridad para los SAI utilizados en zonas accesibles a los operarios.
- UNE-EN 62040-1-2: 2004: Sistemas de Alimentación Ininterrumpida Parte 1-2: Requisitos generales y de seguridad para los SAI utilizados en zonas de acceso restringido.
- UNE-EN 62040-1-3: 2004: Sistemas de Alimentación Ininterrumpida Parte 1-3: Métodos para especificar las prestaciones y los requisitos de ensayo.
- IEC 60634: Sobre normas de cableado.
- IEC 60529: Grado de protección (IP20).
- IEC 60950: Aislamiento para garantizar la protección básica frente a descargas eléctricas. Equipos de tecnología de la información, partes 22 y 23.
- IEC/EN 61000 4-2: Descargas electrostáticas.
- IEC/EN 61000 4-3: Campos electrostáticos de alta frecuencia radiados.
- IEC/EN 61000 4-4: Transitorios eléctricos rápidos en ráfagas.
- IEC/EN 61000 4-5: Impulsos de alta energía u ondas de choque.
- IEC/EN 61000 4-6: Campos electromagnéticos de alta frecuencia conducidos.
- IEC 61557: Seguridad eléctrica en redes de distribución en baja tensión hasta 1.000 Vac y 1.500 Vcc. Equipos para ensayo, medida o vigilancia de las medidas de protección. Parte 5: resistencia a tierra
- IEC 61140: Protección contra los choques eléctricos. Aspectos comunes a las instalaciones y los equipos.
- EN60896-11:2003: Pilas inmóviles de plomo ácidas. Parte 11: tipo abiertas, exigencias generales y métodos de prueba.

UNE-EN ISO 14001:2004

Nota: aunque el RAE recoge el término baipás, se ha mantenido la nomenclatura inglesa *bypass* por estar más extendida.



## 11. Tipos de SAI instalados por sectores

A continuación, se presentan tres ejemplos donde se muestra el ahorro energético, y consecuentemente económico, que se puede obtener por el hecho de remplazar el Sistema de Alimentación Ininterrumpida (SAI) antiguo (más de 8 años) por un SAI de alta eficiencia con tecnología de última generación.

La eficiencia en un SAI, se define como el cociente entre la potencia activa de salida y la potencia activa de entrada al SAI.

La energía que se disipa como calor durante el funcionamiento del SAI representa naturalmente un coste extra.

Cuanto más alta sea esa disipación de calor, será necesaria una energía eléctrica adicional para acondicionar el aire de la sala (temperatura de funcionamiento recomendada 22 °C). Como dato técnico, **una sala a 30 °C implicaría que las baterías del SAI reducirían su vida a la mitad (teniendo en cuenta baterías de plomo hermético tipo AGM o GEL).**

La curva de rendimiento de un SAI es variable según el porcentaje de carga que alimenta éste. Es decir, un SAI que trabaje al 25% de su capacidad, tendrá peor rendimiento que un SAI que trabaje al 75%.

En un cálculo anual, el coste de la energía eléctrica para una carga dada, viene dado por la siguiente fórmula:

$$\text{Coste Energético (€)} = P_u \times \left( \frac{1}{h} - 1 \right) \times T \times C$$

$P_u$ : Es la potencia activa de salida (kW) suministrada a las cargas.

$h$ : Es el rendimiento del SAI para dicho nivel de carga y, por tanto, no es necesariamente el rendimiento nominal del SAI

$T$ : es el tiempo que se toma, en horas de funcionamiento al año, a ese nivel de carga.  $c$ : Coste energético kW/h.

Para los 3 ejemplos que se muestran a continuación, se consideran los siguientes parámetros/constantes:

- Coste de la energía estimado: 100 €/MWh
- kg CO2 por kWh: 0,24 kg/kWh (fuente WWF media para España año 2012)

## 11.1 EJEMPLO 1: SAI de 10 kVA

Los datos necesarios para poder llevar a cabo el cálculo teórico de ahorro energético son:

- La potencia activa máxima de salida del SAI
- El factor de potencia de entrada del SAI
- El rendimiento AC/AC del SAI

La siguiente tabla muestra los valores de cada uno de los modelos SAIs a comparar, pertenecientes a las series (SAI antiguo) y (SAI de nueva tecnología) respectivamente:

	SAI antiguo 10 kVA	SAI nuevo 10 kVA
<b>Màx. potencia activa de salida</b>	8 kW	9 kW
<b>Factor de potencia de entrada</b>	0,83	1,00
<b>Rendimiento AC/AC</b>	86%	91%

El consumo de energía de un SAI durante 24 horas al día y 365 días al año es el siguiente:

$$E = \frac{P}{\eta \times fp} \times H$$

donde,

E: Energía consumida en un año

P: Potencia activa de la carga conectada a la salida del SAI (kW)

$\eta$ : Rendimiento AC/AC del SAI

fp: factor de potencia de entrada del SAI

H: Horas de funcionamiento en un año

Así, el consumo de energía del 'SAI nuevo 10 kVA' con una carga de 8 kW es:

$$E = \frac{8}{0,86 \times 0,83} \times 24 \times 365 = 98178,76 \text{ kWh}$$

A continuación, se procede a calcular el consumo de energía del 'SAI nuevo 10 kVA'. Sin embargo, como la serie 'SAI nuevo' permite entregar más potencia activa que la serie 'SAI antiguo', para equiparar ambas energías consumidas se coge como potencia activa la menor de las dos, 8 kW:

$$E = \frac{8}{0,91 \times 1} \times 24 \times 365 = 77010,99 \text{ kWh}$$

La diferencia entre las dos energías consumidas es el ahorro energético obtenido:

$$\Delta E = E_{3MI} - E_{CUBE3+} = 98178,76 - 77010,99 = 21167,77 \text{ kWh}$$



Considerando como precio medio del kWh a 0,10 €, el ahorro económico es el siguiente:

$$Ahorro = \Delta E \times \text{€} = 21167,77 \times 0,10 = 2116,77\text{€}$$

Siguiendo el mismo procedimiento de cálculo expuesto, se indican los ahorros económicos y energéticos para diferentes porcentajes de carga.

% carga	kW	SAI antiguo			SAI nuevo			Ahorro	
		fp	$\eta$	E	fp	$\eta$	E	$\Delta E$	EUR
20	1,92	0,74	79%	22.177,22 kWh	0,99	88,00%	16.088,15 kWh	6.089,06 kWh	610€
30	2,88	0,74	81%	32.444,44 kWh	0,99	89,50%	23.727,78 kWh	8.716,66 kWh	873€
40	3,84	0,74	82,50%	42.472,73 kWh	1	90,00%	31.146,67 kWh	11.326,06 kWh	1.134€
50	4,8	0,75	85%	50.893,25 kWh	1	90,20%	38.847,01 kWh	12.046,24 kWh	1.206€
60	5,76	0,76	86%	59.625,64 kWh	1	90,50%	46.461,88 kWh	13.163,76 kWh	1.318€
70	6,72	0,77	86,30%	69.321,43 kWh	1	91,10%	53.848,52 kWh	15.472,91 kWh	1.549€
80	7,68	0,78	86,50%	78.089,00 kWh	1	91,20%	61.473,68 kWh	16.615,32 kWh	1.663€
90	8,64	0,78	86%	88.360,89 kWh	1	91,00%	69.309,89 kWh	19.051,00 kWh	1.907€
100	9,6	0,83	86%	98.178,76 kWh	1	91,00%	77.010,99 kWh	21.167,77 kWh	2.116€

Considerando la menor disipación que se produce por la sustitución de los SAI, el ahorro que se produce en el consumo del sistema de climatización (EER del equipo de 2,5) viene dado por la siguiente fórmula:

$$Ahorro_{EnC} \lim a = \Delta E / EER \times \text{€} = (21167,77 / 2,5) \times 0,10 = 846,71\text{€}$$

Este ahorro en climatización habría que sumarlo al ahorro anteriormente calculado correspondiente a la sustitución de las SAI por lo que el ahorro total sería de 2.963,4 € para el 100% de la carga.

## 11.2 EJEMPLO 2: SAIs de 7,5 kVAs para 3 quirófanos

Se parte de la base que la carga total a alimentar será de **3 quirófanos**. Para cada quirófano suponemos un consumo trifásico de 7,5 kVAs (lo marca el transformador de aislamiento de alimentación a cada quirófano). Por tanto, el consumo total a alimentar es de 22,5 kVAs. Se requiere (según reglamento) una autonomía de 120 minutos para esta carga 22,5 kVAs/18 kW.

Se va a elegir un SAI de última generación de 30 kVAs, con entrada y salida trifásica, y con la autonomía requerida a la carga especificada (22,5 kVAs). Por tanto, el SAI va a trabajar al 75% de carga.

$$\text{Coste Energético (€)} = P_u \times ((1/h) - 1) \times T \times C = 657 \text{ €/anual}$$

$$\text{Perdidas SAI} = P_u \times ((1/h) - 1) = 18 \text{ kW} \times 0,04166 = 0,75 \text{ kW}$$

$$P_u = \text{Potencia activa (Pu) a la salida del SAI} = 18 \text{ kW}$$

$$h = \text{Rendimiento SAI a la carga especificada (depende topología carga)} = \mathbf{0,96}$$

$$C = 0,1 \text{€}$$

$$T = 24 \times 365$$

**El SAI actualmente instalado, tiene un rendimiento típico del 92%.**

$$\text{Coste Energético (€)} = P_u \times ((1/h) - 1) \times T \times C = 3.963 \text{ €/anual} = 1.371 \text{ €/anual}$$

$$\text{Perdidas SAI a potencia nominal} = P_u \times ((1/h) - 1) = 18 \text{ kW} \times 0,0869 = 1,56 \text{ kW}$$

$$P_u = \text{Potencia activa (Pu) a la salida del SAI} = 18 \text{ kW}$$

$$h = \text{Rendimiento del SAI a la carga especificada (depende topología carga)} = \mathbf{0,92}$$

$$C = 0,1 \text{€}$$

$$T = 24 \times 365$$

**Ahorro energético con la propuesta de SAI de última generación:**

$$1371 \text{ €} - 657 \text{ €} = 714 \text{ €/anual}$$

Además, se ahorrara en frigorías necesarias -SISTEMA DE CLIMATIZACIÓN- gracias al menor consumo en los SAIs de nueva tecnología -> Ahorro energético. Cuanto menos calor disipado por el equipo, menos frigorías necesarias del sistema de climatización. Además, la energía de menos desperdiciada o ahorrada, supondría un ahorro en la producción de energía de unos 3.308 kg de CO<sub>2</sub>, lo que equivaldría a lo que contamina 1 coche en un año teniendo en cuenta que cada coche hace 20.000 kms y que contaminan 0,15 kg de CO<sub>2</sub> por km.

Si se tiene en cuenta que el hospital tiene 21 quirófanos, y si se adopta la misma solución planteada en el ejemplo anterior (7 SAIs de 30 kVAs), se tendría un ahorro total de: 5.000 €/anual.

Por tanto, se ve que es clave elegir una solución eficiente. Es muy importante, que el fabricante, certifique mediante un organismo oficial independiente, el rendimiento de su equipo.

También, como se ha visto, es necesario considerar el espacio ocupado por los equipos. Por lo tanto, estos SAIs de última generación, deben ocupar los mínimos m<sup>2</sup> posibles.

A parte del equipo, es muy importante analizar y elegir la mejor solución en lo que respecta a las baterías. Por este motivo es recomendable pedir al fabricante cómo realiza el cálculo de la configuración de baterías, para llegar a las 2 horas requeridas a la carga en cuestión. Además, se deben solicitar que las baterías sean de calidad: se recomienda instalar baterías AGM (plomo hermético) de una vida útil mínima de 10 años (según Guía Eurobat).

No se aconsejan soluciones con muchas ramas de baterías en paralelo para llegar a la autonomía solicitada ya que pueden producirse descompensaciones de corrientes, provocando un mal funcionamiento del sistema. A mayor número de ramas, mayor es el riesgo. Entre 2 y 4 ramas de baterías sería lo más adecuado.

Como dato técnico a recordar, una sala a 30 °C implicaría que las baterías del SAI reducirían su vida a la mitad (consideramos baterías de plomo hermético tipo AGM o GEL). Se recomienda una temperatura de trabajo de unos 22 °C.

Finalmente se concluye remarcando la importancia de la elección de una solución eficiente que a su vez ocupe el mínimo espacio, proporcionando un funcionamiento y mantenimiento óptimos.

### 11.3 EJEMPLO 3: Sustitución de SAIs en CPD

Los datos de este estudio corresponden a un CPD cuyos trabajos de sustitución de SAI se realizaron en septiembre de 2013.

Desde la puesta en marcha del nuevo sistema en el mes de octubre del mismo año, se ha estado recopilando datos de consumo real y eficiencia gracias al sistema de monitorización instalado y que a continuación se presentan.

El sistema SAI Antiguo (en servicio hasta septiembre de 2013):

Potencia nominal: 250 kVA.

Estado de carga (según carga crítica estudiada de 195 kW): 78%.

Rendimiento a este estado de carga: 89%.

Sistema SAI de Alta Eficiencia (en servicio desde octubre de 2013)

Potencia nominal: 2 x200 KVA. Dotando así de redundancia N+1 al sistema.

Estado de carga de cada sistema SAI (según carga crítica estudiada de 195kW): 48,75%

Rendimiento a este estado de carga: 98 % (porcentaje de eficiencia media.

Existen periodos donde el SAI trabaja en modo ECO y periodos donde por condiciones de la red el SAI trabaja en doble conversión).

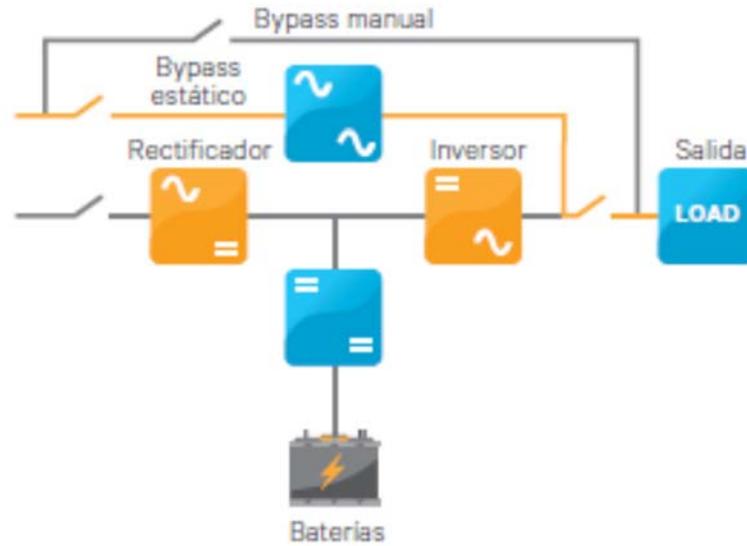
Para analizar los ahorros energéticos conseguidos por el nuevo sistema SAI, deben tenerse en cuenta los siguientes modos de funcionamiento:

#### Modo de doble conversión (VFI)

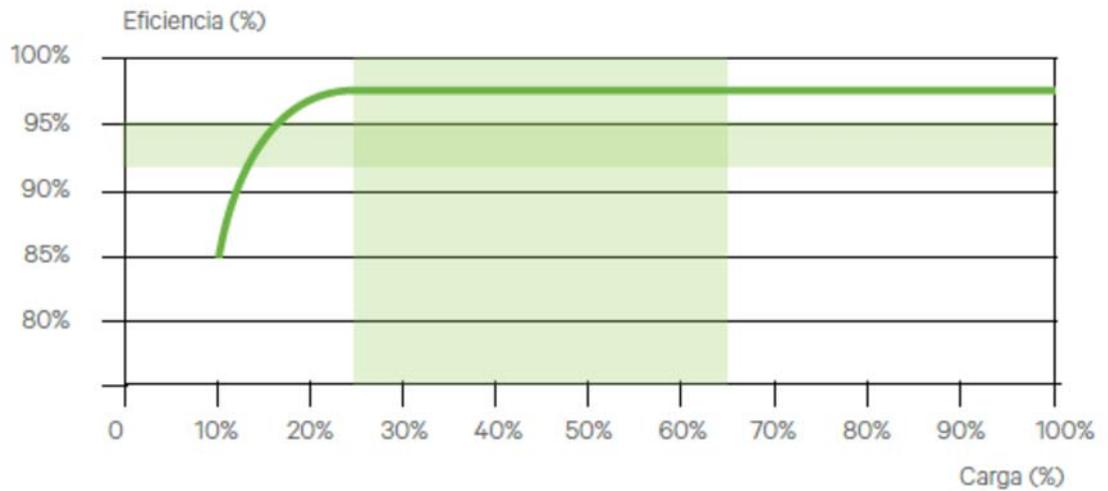
El inversor del SAI alimenta continuamente las cargas críticas de corriente alterna. El rectificador toma alimentación de la red normal de corriente alterna y la convierte en corriente continua para el inversor y el cargador de baterías. Este mantiene las baterías en condiciones de funcionamiento optimas y completamente cargadas. El inversor convierte la corriente continua en alimentación limpia y regulada de corriente alterna para alimentar a las cargas críticas (línea acondicionada). El interruptor estático supervisa y asegura que el inversor sincronice con la entrada de bypass. Esto asegura que cualquier transferencia automática al bypass (debido a una sobrecarga, etc.) esté sincronizada en fase, y no provoque una interrupción en las cargas críticas.

#### Modo ECO inteligente (VFD)

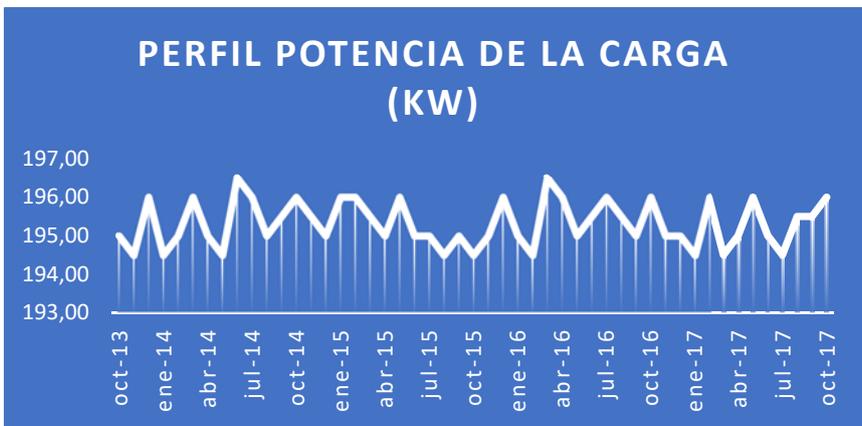
Si el SAI está alimentando la carga a través de la línea directa y la alimentación del bypass de la red eléctrica varía más allá de los niveles de tolerancia (ajustables por medio del software), la carga se transfiere desde la línea directa a la línea acondicionada. De esta forma, la carga pasa a alimentarse a través del rectificador y del inversor.



En este caso objeto del estudio, donde la calidad de la red es relativamente buena, el sistema pasará la mayor parte del tiempo funcionando entre los dos modos más eficientes, logrando eficiencias medias del orden del 98%.



Las siguientes gráficas muestran la eficiencia real del equipo medida por el sistema de monitorización, así como el perfil de carga (kW) real entregada por el SAI en cada periodo.



A continuación, se van a calcular los ahorros energéticos producidos por la sustitución del SAI en base a la mejora sustancial del rendimiento.

La eficiencia de un SAI, y en general de cualquier sistema, se define por la relación entre la potencia activa entregada a su salida y la potencia activa requerida a su entrada.

Por tanto, la diferencia de pérdidas entre sistemas de distinto rendimiento vendrá dada por la siguiente ecuación:

$$= P_{Salida} \left( \frac{1}{\eta_{SAI 1}} - \frac{1}{\eta_{SAI 2}} \right) \left( 1 + \frac{1}{\eta_{AA}} \right) [kW]$$

donde:

$P_{salida}$ : Potencia activa, en kW, de la carga a la cual se comparan las pérdidas.

$\eta_{SAI1}$ : Rendimiento del sistema de SAI 1 (el de menor rendimiento de la comparativa)

$\eta_{SAI2}$ : Rendimiento del sistema de SAI 2 (el de mayor rendimiento de la comparativa)

$\eta_{AA}$ : Rendimiento del aire acondicionado que debe neutralizar el calor producido por el SAI (a menos pérdidas menor aporte de frío necesario) y que,



en este ejemplo, parte de un valor de 2.5 (rendimiento estimado del sistema de aire acondicionado).

Aplicando los datos de cada mes a la fórmula anterior se obtiene la siguiente tabla.

Meses	Pérdidas en el sistema SAI Antiguo								Pérdidas en el sistema SAI Nuevo					Ahorros Mensuales entre sistemas			
	Pot. Media de la Carga (kW)	Pot. pérdidas SAI [kW]	Energía pérdidas SAI [MWh]	Pot media AA [kW]	Energía AA [MWh]	Potencia total [kW]	Energía total [MWh]	Pot. pérdidas SAI [kW]	Energía pérdidas SAI [MWh]	Pot media AA [kW]	Energía AA [MWh]	Potencia total [kW]	Energía total [MWh]	Power [kW]	Energy [MWh]	Emissions CO2 [Tn]	€
oct-13	195,00	24,101	17,93	9,64	7,17	33,74	25,10	3,98	2,96	1,59	1,18	5,57	4,15	28,17	20,96	5,03	2.096
nov-13	194,50	24,039	17,31	9,62	6,92	33,66	24,23	3,97	2,86	1,59	1,14	5,56	4,00	28,10	20,23	4,86	2.023
dic-13	196,00	24,225	18,02	9,69	7,21	33,91	25,23	4,00	2,98	1,60	1,19	5,60	4,17	28,31	21,07	5,06	2.107
ene-14	194,50	24,039	17,89	9,62	7,15	33,66	25,04	3,97	2,95	1,59	1,18	5,56	4,13	28,10	20,90	5,02	2.090
feb-14	195,00	24,101	16,20	9,64	6,48	33,74	22,67	3,98	2,67	1,59	1,07	5,57	3,74	28,17	18,93	4,54	1.893
mar-14	196,00	24,225	18,02	9,69	7,21	33,91	25,23	4,00	2,98	1,60	1,19	5,60	4,17	28,31	21,07	5,06	2.107
abr-14	195,00	24,101	17,35	9,64	6,94	33,74	24,29	3,98	2,87	1,59	1,15	5,57	4,01	28,17	20,28	4,87	2.028
may-14	194,50	24,039	17,89	9,62	7,15	33,66	25,04	3,97	2,95	1,59	1,18	5,56	4,13	28,10	20,90	5,02	2.090
jun-14	196,50	24,287	17,49	9,71	6,99	34,00	24,48	4,01	2,89	1,60	1,15	5,61	4,04	28,39	20,44	4,91	2.044
jul-14	196,00	24,225	18,02	9,69	7,21	33,91	25,23	4,00	2,98	1,60	1,19	5,60	4,17	28,31	21,07	5,06	2.107
ago-14	195,00	24,101	17,93	9,64	7,17	33,74	25,10	3,98	2,96	1,59	1,18	5,57	4,15	28,17	20,96	5,03	2.096
sep-14	195,50	24,163	17,40	9,67	6,96	33,83	24,36	3,99	2,87	1,60	1,15	5,59	4,02	28,24	20,33	4,88	2.033
oct-14	196,00	24,225	18,02	9,69	7,21	33,91	25,23	4,00	2,98	1,60	1,19	5,60	4,17	28,31	21,07	5,06	2.107
nov-14	195,50	24,163	17,40	9,67	6,96	33,83	24,36	3,99	2,87	1,60	1,15	5,59	4,02	28,24	20,33	4,88	2.033
dic-14	195,00	24,101	17,93	9,64	7,17	33,74	25,10	3,98	2,96	1,59	1,18	5,57	4,15	28,17	20,96	5,03	2.096
ene-15	196,00	24,225	18,02	9,69	7,21	33,91	25,23	4,00	2,98	1,60	1,19	5,60	4,17	28,31	21,07	5,06	2.107
feb-15	196,00	24,225	16,28	9,69	6,51	33,91	22,79	4,00	2,69	1,60	1,08	5,60	3,76	28,31	19,03	4,57	1.903
mar-15	195,50	24,163	17,98	9,67	7,19	33,83	25,17	3,99	2,97	1,60	1,19	5,59	4,16	28,24	21,01	5,04	2.101
abr-15	195,00	24,101	17,35	9,64	6,94	33,74	24,29	3,98	2,87	1,59	1,15	5,57	4,01	28,17	20,28	4,87	2.028
may-15	196,00	24,225	18,02	9,69	7,21	33,91	25,23	4,00	2,98	1,60	1,19	5,60	4,17	28,31	21,07	5,06	2.107
jun-15	195,00	24,101	17,35	9,64	6,94	33,74	24,29	3,98	2,87	1,59	1,15	5,57	4,01	28,17	20,28	4,87	2.028
jul-15	195,00	24,101	17,93	9,64	7,17	33,74	25,10	3,98	2,96	1,59	1,18	5,57	4,15	28,17	20,96	5,03	2.096
ago-15	194,50	24,039	17,89	9,62	7,15	33,66	25,04	3,97	2,95	1,59	1,18	5,56	4,13	28,10	20,90	5,02	2.090
sep-15	195,00	24,101	17,35	9,64	6,94	33,74	24,29	3,98	2,87	1,59	1,15	5,57	4,01	28,17	20,28	4,87	2.028
oct-15	194,50	24,039	17,89	9,62	7,15	33,66	25,04	3,97	2,95	1,59	1,18	5,56	4,13	28,10	20,90	5,02	2.090
nov-15	195,00	24,101	17,35	9,64	6,94	33,74	24,29	3,98	2,87	1,59	1,15	5,57	4,01	28,17	20,28	4,87	2.028
dic-15	196,00	24,225	18,02	9,69	7,21	33,91	25,23	4,00	2,98	1,60	1,19	5,60	4,17	28,31	21,07	5,06	2.107
ene-16	195,00	24,101	17,93	9,64	7,17	33,74	25,10	3,98	2,96	1,59	1,18	5,57	4,15	28,17	20,96	5,03	2.096
feb-16	194,50	24,039	16,15	9,62	6,46	33,66	22,62	3,97	2,67	1,59	1,07	5,56	3,73	28,10	18,88	4,53	1.888
mar-16	196,50	24,287	18,07	9,71	7,23	34,00	25,30	4,01	2,98	1,60	1,19	5,61	4,18	28,39	21,12	5,07	2.112
abr-16	196,00	24,225	17,44	9,69	6,98	33,91	24,42	4,00	2,88	1,60	1,15	5,60	4,03	28,31	20,39	4,89	2.039
may-16	195,00	24,101	17,93	9,64	7,17	33,74	25,10	3,98	2,96	1,59	1,18	5,57	4,15	28,17	20,96	5,03	2.096
jun-16	195,50	24,163	17,40	9,67	6,96	33,83	24,36	3,99	2,87	1,60	1,15	5,59	4,02	28,24	20,33	4,88	2.033
jul-16	196,00	24,225	18,02	9,69	7,21	33,91	25,23	4,00	2,98	1,60	1,19	5,60	4,17	28,31	21,07	5,06	2.107
ago-16	195,50	24,163	17,98	9,67	7,19	33,83	25,17	3,99	2,97	1,60	1,19	5,59	4,16	28,24	21,01	5,04	2.101
sep-16	195,00	24,101	17,35	9,64	6,94	33,74	24,29	3,98	2,87	1,59	1,15	5,57	4,01	28,17	20,28	4,87	2.028
oct-16	196,00	24,225	18,02	9,69	7,21	33,91	25,23	4,00	2,98	1,60	1,19	5,60	4,17	28,31	21,07	5,06	2.107
nov-16	195,00	24,101	17,35	9,64	6,94	33,74	24,29	3,98	2,87	1,59	1,15	5,57	4,01	28,17	20,28	4,87	2.028
dic-16	195,00	24,101	17,93	9,64	7,17	33,74	25,10	3,98	2,96	1,59	1,18	5,57	4,15	28,17	20,96	5,03	2.096
ene-17	194,50	24,039	17,89	9,62	7,15	33,66	25,04	3,97	2,95	1,59	1,18	5,56	4,13	28,10	20,90	5,02	2.090
feb-17	196,00	24,225	16,28	9,69	6,51	33,91	22,79	4,00	2,69	1,60	1,08	5,60	3,76	28,31	19,03	4,57	1.903
mar-17	194,50	24,039	17,89	9,62	7,15	33,66	25,04	3,97	2,95	1,59	1,18	5,56	4,13	28,10	20,90	5,02	2.090
abr-17	195,00	24,101	17,35	9,64	6,94	33,74	24,29	3,98	2,87	1,59	1,15	5,57	4,01	28,17	20,28	4,87	2.028
may-17	196,00	24,225	18,02	9,69	7,21	33,91	25,23	4,00	2,98	1,60	1,19	5,60	4,17	28,31	21,07	5,06	2.107
jun-17	195,00	24,101	17,35	9,64	6,94	33,74	24,29	3,98	2,87	1,59	1,15	5,57	4,01	28,17	20,28	4,87	2.028
jul-17	194,50	24,039	17,89	9,62	7,15	33,66	25,04	3,97	2,95	1,59	1,18	5,56	4,13	28,10	20,90	5,02	2.090
ago-17	195,50	24,163	17,98	9,67	7,19	33,83	25,17	3,99	2,97	1,60	1,19	5,59	4,16	28,24	21,01	5,04	2.101
sep-17	195,50	24,163	17,40	9,67	6,96	33,83	24,36	3,99	2,87	1,60	1,15	5,59	4,02	28,24	20,33	4,88	2.033
oct-17	196,00	24,225	18,02	9,69	7,21	33,91	25,23	4,00	2,98	1,60	1,19	5,60	4,17	28,31	21,07	5,06	2.107
<b>Totales:</b>														<b>1.009,73</b>	<b>242,34</b>	<b>100.973,07 €</b>	

La presente tabla resume los ahorros alcanzados.

Ahorros desde octubre 2013 a octubre de 2017	
Ahorro en Energía [MWh]:	1.009,73
Ahorro en Emisiones Tn CO2 (Tn):	242,34
Ahorro en factura eléctrica en el periodo (4 años) (€):	100.973,07

