

EQUIPOS SEPARADOS (SPLIT) CON INVERTER

PARTE 1 - INTRODUCCIÓN

Jorge Pozzi – mayo 2025

La nueva generación de equipos “Split” están equipados con tecnología “Inverter”. El aire acondicionado “Inverter” responde al desarrollo del funcionamiento de los equipos de aire acondicionado para conseguir una mayor eficiencia energética y un menor consumo.

Un equipo acondicionador con “Inverter” regula el funcionamiento del compresor de forma que trabaje a con velocidad variable, lo que permite ahorros de energía de hasta el 40% respecto a los equipos convencionales que operan parando y arrancando el compresor.

La tecnología o sistema “Inverter” controla la velocidad del compresor del equipo del aire acondicionado modificando la frecuencia de la alimentación eléctrica, en lugar de arrancar y parar el compresor frecuentemente para obtener la temperatura deseada en el local.

¿Pero que es la tecnología “Inverter”? El “Inverter” es un dispositivo electrónico conocido en el ámbito industrial como controlador o convertidor de frecuencia.

El ahorro energético y las mejores condiciones de confort motivan una creciente demanda de este tipo de equipos.

Por lo tanto, es importante que los técnicos e instaladores de sistemas de aire acondicionado conozcan el principio de funcionamiento y los componentes principales de los controladores de frecuencia. Este artículo describe en forma sencilla la tecnología de los controladores de frecuencia.



UN CAMBIO IMPORTANTE

Antes de desarrollar el conjunto de técnicas de los controladores de frecuencia, es importante conocer un cambio en el motor del compresor en los equipos “Split con Inverter”, en efecto, el clásico motor monofásico de 220 V 50 Hz de los equipos convencionales es reemplazado en los equipos “Inverter” por un motor trifásico que opera con tensión y frecuencia variables.

Equipo "Split" convencional

Equipo "Split" con tecnología "Inverter"

INTRODUCCIÓN

Un componente esencial de los modernos sistemas de aire acondicionado son los convertidores de frecuencia, lo que sigue es una introducción a estos dispositivos.

La única manera de cambiar la velocidad de rotación del eje de un motor de inducción de corriente alterna es: variando la frecuencia de la energía eléctrica aplicada, modificando el número de polos del motor, o cambiando el resbalamiento del motor.

La variación de la velocidad de un motor, modificando el número de polos, se usa desde principios del siglo pasado, y se sigue usando hoy día. Sus desventajas son el limitado rango de variación y el aumento del costo del motor y de sus aparatos de maniobra.

El resbalamiento de un motor de inducción de corriente alterna estándar puede controlarse hasta cierto grado variando la resistencia del arrollamiento rotórico o la tensión aplicada. Lamentablemente, modificar la tensión aplicada produce un rango de operación limitado. Variar la resistencia del rotor resulta ineficiente y requiere de un motor especial conocido como de "rotor bobinado".

La manera más económica de variar la velocidad de rotación del eje de un motor y por consecuencia la de la máquina impulsada es usando variadores de velocidad electrónicos. Estos, generalmente, no requieren motores especiales. Son mucho más versátiles y eficientes que otros tipos de controladores de velocidad y son los más usados en la actualidad.

Los controladores de velocidad de motores de corriente alterna por frecuencia variable, han sido sin duda uno de los desarrollos eléctricos más útiles de los últimos años.

El control de velocidad de motores no es una técnica nueva, en el ámbito industrial los motores de corriente continua de velocidad variable se han usado por décadas, pero los controladores de frecuencia variable para motores de corriente alterna y a un costo razonable son relativamente un producto nuevo.

CONTROLADORES DE FRECUENCIA VARIABLE

Los controladores de frecuencia variable son variadores de velocidad electrónicos, para motores de inducción de corriente alterna, que modifica la frecuencia de la alimentación eléctrica aplicada al motor. Dado que los variadores de velocidad electrónicos modifican la frecuencia

aplicada, son generalmente denominados variadores o convertidores de frecuencia. También son llamados "Inverter", debido a la última etapa de salida usada para modificar la frecuencia.

Los convertidores de frecuencia tienen, además de la función de controlar la velocidad del motor, una serie de ventajas adicionales que son analizadas en los puntos siguientes.

- **AHORRO DE ENERGÍA**
- **EXCELENTE FACTOR DE POTENCIA**
- **MÍNIMA SOBRECORRIENTE DE ARRANQUE**

AHORRO DE ENERGÍA

Dado que la potencia necesaria para impulsar una máquina rotativa es función cúbica de la velocidad de rotación de esta, se logran importantes ahorro de energía, si para trabajar en estado de cargas parciales, se modifica esa variable.

En efecto, si para variar el caudal de una bomba se estrangula el flujo del fluido por medio de una válvula, para una reducción de 30% del caudal la potencia absorbida por el motor solo disminuye un 2% (figura 1). Si en cambio se utiliza un equipo de variación de frecuencia, para la misma reducción de caudal (30 %) la potencia consumida disminuye un 48 % (figura 2)

Este fenómeno es igual para cualquier máquina rotativa, como ser: bombas, compresores, ventiladores etc.

Figura 1 – Potencia absorbida en función del caudal, controlando mediante una válvula.

Figura 2 – Potencia absorbida en función del caudal, controlando la velocidad de la bomba

FUNDAMENTOS DEL AHORRO DE ENERGÍA EN EQUIPOS INVERTER

Los principales parámetros de una máquina rotativa (Ventiladores, bombas centrifugas o compresores rotativos) cambian en función de la velocidad de rotación (Revoluciones Por Minuto)

Las ecuaciones siguientes muestran cómo se modifican los valores de caudal, presión y energía requerida (energía tomada) en función de la velocidad de rotación de la máquina:

CAUDAL

$$\text{Caudal a nRPM} = \text{Caudal nominal} \times \frac{n \text{ RPM}}{\text{RPM}}$$

Donde: **RPM** es la velocidad nominal de la máquina
nRPM es la velocidad de rotación modificada.

PRESIÓN

$$\text{Presión a nRPM} = \text{Presión nominal} \times \left(\frac{n \text{ RPM}}{\text{RPM}}\right)^2$$

POTENCIA

$$\text{Potencia a nRPM} = \text{Potencia nominal} \times \left(\frac{n \text{ RPM}}{\text{RPM}}\right)^3$$

La última expresión matemática muestra que la potencia tomada por una máquina rotativa es función cúbica de la disminución de su velocidad. La tabla muestra como disminuye la potencia tomada por una máquina rotativa de 7,5 kW según se modifica su estado de carga.

Potencia al 100 %	Estado de carga	Multiplicador	Potencia tomada	Potencia tomada %
7,5 kW	90 %	$\left(\frac{1.350}{1.500}\right)^3 = 0,729$	$7,5 \text{ kW} \times 0,729 = 5,47 \text{ kW}$	72,9
7,5 kW	85 %	$\left(\frac{1.275}{1.500}\right)^3 = 0,614$	$7,5 \text{ kW} \times 0,614 = 4,60 \text{ kW}$	61,4
7,5 kW	80 %	$\left(\frac{1.200}{1.500}\right)^3 = 0,512$	$7,5 \text{ kW} \times 0,512 = 3,84 \text{ kW}$	51,2
7,5 kW	75 %	$\left(\frac{1.125}{1.500}\right)^3 = 0,422$	$7,5 \text{ kW} \times 0,412 = 3,09 \text{ kW}$	42,2
7,5 kW	70 %	$\left(\frac{1.050}{1.500}\right)^3 = 0,343$	$7,5 \text{ kW} \times 0,343 = 2,57 \text{ kW}$	34,3
7,5 kW	50 %	$\left(\frac{750}{1.500}\right)^3 = 0,125$	$7,5 \text{ kW} \times 0,125 = 0,94 \text{ kW}$	12,5

En los sistemas de aire acondicionado, donde varía el flujo del refrigerante para compensar la carga térmica en cada momento del día, se maximiza la eficiencia del sistema, **reflejando ahorros nunca vistos en sistemas de aire acondicionado**. Esto se logra al utilizar variadores de frecuencia (Inverter).

DESEMPEÑO EN OPERACIÓN DE LOS EQUIPOS SPLIT INVERTER

Los diagramas siguientes muestran el funcionamiento de un equipo Split convencional y de un equipo Split con Inverter.

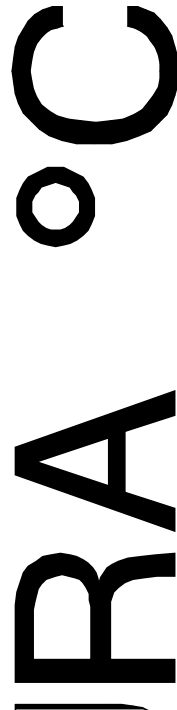


Figura 3 – Operación de un equipo convencional, la temperatura tiene fuertes oscilaciones, se producen picos en el arranque del compresor y el consumo de energía es importante.

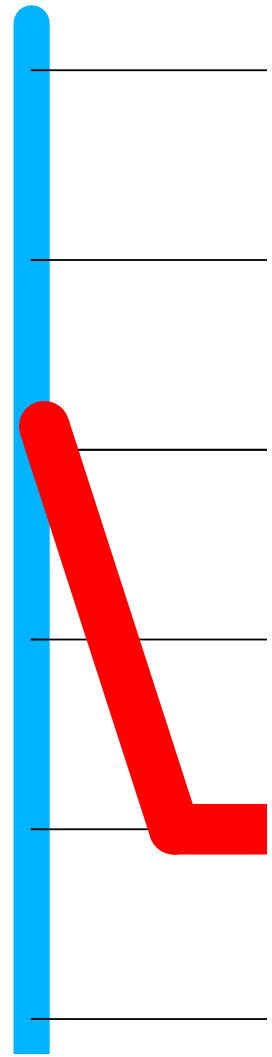


Figura 4 – Desempeño de un equipo “Inverter”, la temperatura en el ambiente es estable, el tiempo de entrada en régimen de equipo se reduce y el consumo de energía con demandas parciales es sumamente reducido

DEMANDA

VALIA TOMADA

140
130
120
110
100
90



Otros problemas energéticos con los motores eléctricos de corriente alterna asincrónicos son:

FACTOR DE POTENCIA

En todo sistema de corriente alterna, donde la tensión cambia continuamente desde su valor máximo positivo hasta el máximo negativo, la corriente fluye a menudo por el conductor en forma distinta a la de la tensión: Esto es minuciosamente cierto en el caso de cargas inductivas tales como: motores, transformadores, reactancias y balastos.

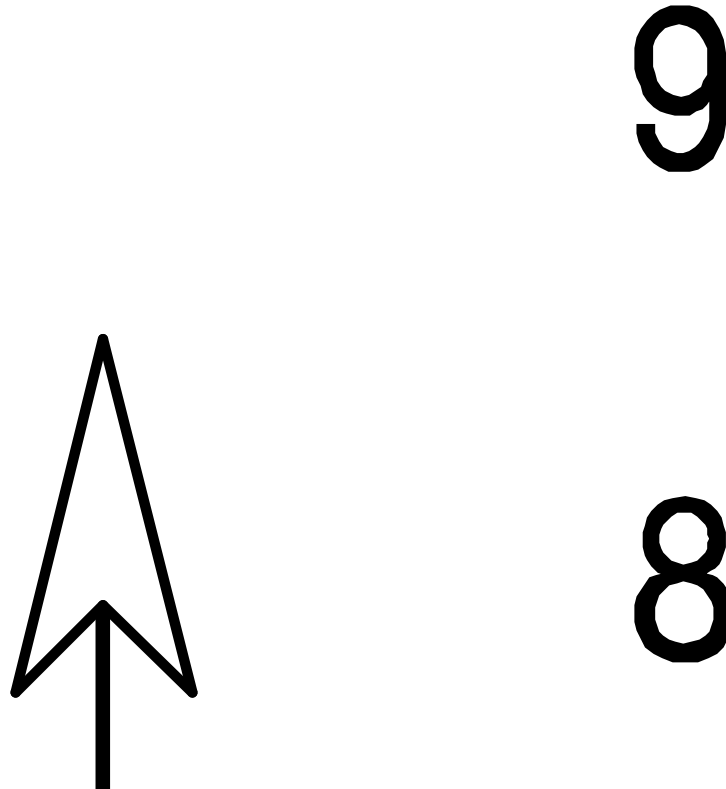


Figura 3 – Potencia eléctrica

Así como la tensión impulsa a los electrones a través de un conductor estos tienden a frenarse o contraerse momentáneamente en un medio inductivo (generalmente bobinados con núcleos ferromagnéticos). Este fenómeno se manifiesta como un atraso de la onda de corriente con respecto a la tensión. El efecto es que la potencia real o activa - (promedio de los productos de los valores de la tensión instantánea por los valores de la corriente en el mismo momento, fuera de "fase", no coinciden) - es menor que la potencia aparente - (promedio de los productos de los valores de la tensión por los valores de la corriente cuando están en "fase", coinciden) – figura 3.

El factor de potencia es definido por el coseno del ángulo de fase entre la tensión y la corriente. La potencia activa para una corriente monofásica queda definida como:

$$POTENCIA (Vatios) = Tensión (Volts) \times Corriente (Amper) \times Factor de Potencia (cos. \varphi)$$

Para una corriente trifásica:

$$POTENCIA = Tensión \times Corriente \times \sqrt{3} \times Factor de Potencia$$

El factor de potencia es un componente parasitario que se manifiesta como una pérdida de energía en las redes de distribución eléctricas y en un desaprovechamiento en la capacidad de producción de los generadores eléctricos. En consecuencia; un factor de potencia bajo es penalizado por las empresas de suministro de energía eléctrica, mediante sobrecostos, presentados como multas en la facturación del suministro. Por lo tanto, es necesario compensar, mediante bancos de condensadores, el factor de potencia, a fin de evitar esos mayores costos

Si se observan las curvas características de un motor eléctrico normal de 10 HP puede apreciarse que a plena carga tienen un factor de potencia de 0,83, valor que disminuye sensiblemente cuando baja el estado de carga, figura 4.

Si se emplea para controlar el motor un convertidor de frecuencia el problema está resuelto por completo, dado que ese controlador coloca al factor de potencia próximo a la unidad para todos los estados de carga y en cualquier velocidad, siendo innecesaria la instalación de capacitores de corrección.

Figura 4 – Curvas características de un motor para corriente alterna, asíncrono de 10 HP

SOBRECORRIENTE DE ARRANQUE

Cuando se pone en marcha un motor se produce una sobrecorriente de arranque cuya duración depende de las características de la máquina impulsada. Para el caso de motores de potencia superiores conviene reducirla con el fin de no perturbar el resto de la instalación.

En el caso del empleo de un controlador de velocidad por variación de frecuencia, este problema está eliminado ya que con este dispositivo no habrá ningún pico de corriente durante el arranque. La corriente parte de cero y se eleva cuando se acelera el motor, sin exceder nunca la corriente de placa y manteniendo el par nominal Figura 5.

600

Figura 5 – Corriente de arranque de un motor sincrónico