

Comparación de los Sistemas de AC Inverters y Convencional

Mario A. Maldonado Fuertes
Maestría en Ingeniería en Ingeniería Civil
Carlos González, PhD
Departamento de Ingeniería Civil y Ambiental
Universidad Politécnica de Puerto Rico

Resumen — Este artículo está enfocando en la evaluación y análisis de dos tipos de sistemas de Aire Acondicionado (AC) Inverters y Convencional utilizados con frecuencia hoy en día tanto en residencias como en comercios. Ambos sistemas son diferentes en su diseño interno aunque físicamente sean similares y realicen el mismo trabajo. Los dos sistemas evaluados fueron analizados bajo condiciones similares para poder comparar de forma precisa los costos en consumo de energía entre ambos sistemas. Mediante el análisis realizado para este caso, se logró demostrar que los sistemas Inverters son más rentables que los sistemas convencionales aunque el costo de los sistemas Inverter sea mayor. Por su parte los sistemas convencionales pudiesen ser una alternativa para los clientes cuando el mismo tenga un uso limitado, en equipo a menor costo y/o el consumo de energía no es una situación a ser tomada en consideración al momento del análisis.

Términos Claves – Aire Acondicionado (AC), "American Society of Heating, Refrigerating and Air Conditioning Engineers" (ASHRE), "Square Feet" (Sq.ft.).

DEFINICIONES

Climatización – es el proceso de tratamiento de aire en el que se controla simultáneamente su temperatura, humedad, limpieza y distribución para responder a las exigencias del espacio climatizado.

Confort – es obtener una temperatura en un espacio en particular mediante un sistema de AC que brinde comodidad y genere bienestar a los usuarios.

Mantenimiento – son los recursos utilizados para mantener limpios y en buen estado cualquier equipo.

Eficiencia – es el uso inteligente de la energía mediante tecnología. El reducir el consumo de energía para minimizar los costos de energía y promover una sustentabilidad económica y ambiental.

"Seasonal Energy Efficiency Ratio" (SEER) – factor de eficiencia energética promedio a lo largo del periodo de refrigeración correspondiente al sistema. Mientras mayor sea el número de SEER más eficiente es el sistema.

Consumo en Kw/hr – es la forma de medir la energía utilizada por cualquier tipo de equipo que utilice energía. Las unidades que se utilizan en Estados Unidos para medir este consumo es el kilo watt/hora.

INTRODUCCIÓN

La refrigeración moderna al igual que el primer sistema de aire acondicionado fue creada por el estadounidense Ing. Willis Carrier para el año 1902. La justificación para esta creación fue la necesidad que Carrier tenía en su imprenta de poder controlar los cambios de temperatura y de humedad en el ambiente del taller, los cuales le complicaban el desarrollo de trabajos de impresión.

Los sistemas de AC han evolucionado desde su origen hasta el presente para brindarles a sus usuarios una climatización adecuada y un costo efectivo. Existen múltiples tipos de sistemas de AC los cuales son utilizados para un propósito en particular dependiendo de las características del espacio y el uso el cual tendrá el área.

Cuando se va a seleccionar un de sistemas de AC para uso residencial y/o comercial, se analiza las necesidades del espacio y las exigencias del cliente para poder determinar las alternativas de sistemas a ser recomendado. En la actualidad existen dos tipos

de sistemas de AC principales los cuales se utilizan para proveer la climatización que los clientes desean. Estos son conocidos como sistemas convencionales de alta eficiencia y los sistemas inverter.

Este artículo presenta una comparación de ambos sistemas de aire acondicionado mencionado anteriormente. Esta comparación es realizada utilizando el mismo escenario para comparar la versatilidad de los sistemas. Esto con el fin de presentar un análisis completo de los resultados obtenidos.

Objetivos

Este artículo está basado en un análisis comparativo de costo y rendimiento para la selección de un sistema de AC según las necesidades y características del espacio. Este análisis evalúa: eficiencia de los sistemas, costo y mantenimiento de los equipos con el fin de demostrar cuál es la mejor alternativa al momento de la selección.

Contribución

Este artículo servirá de guía en el análisis y selección de sistema de AC para uso residencial y comercial principalmente. En adición comparar los costos de los sistemas para poder identificar la alternativa viable según las necesidades.

REVISIÓN DE LITERATURA

En esta sección se definen brevemente los dos tipos de sistemas de AC a ser comparados en este artículo. Se presenta literatura sobre el funcionamiento y operación de los sistemas de AC para poder demostrar las características de cada sistema.

- **Sistemas de Aire Acondicionado** – son electrodomésticos manufacturados para proveerle una climatización adecuada a sus clientes según las necesidades y exigencias. La climatización consiste en tomar aire del ambiente en un espacio cerrado para tratarlo mediante un proceso interno del equipo. Este proceso genera una atmosfera agradable en el aire tomado del ambiente y devolverlo al mismo espacio.

- **Sistema Convencional** – este tipo de sistema de AC es el más utilizado desde la creación de los sistemas de AC. Este tipo de sistema utiliza un compresor de pistón principalmente el cual bombea el refrigerante a través de las líneas hasta llegar al evaporador del sistema. Luego este refrigerante se devuelve al compresor y continúa el mismo ciclo hasta que ocurra un cambio en la selección del control. La climatización utilizando este tipo de sistema es creada durante unos ciclos alternos de encendido y apagado del compresor lo que provoca que el sistema domine la temperatura seleccionada en el control. Este tipo de sistema al trabajar en un 100% y en 0% (encendido – apagado) los picos de la gráfica temperatura, tiempo y humedad varia constantemente creando variaciones constante en los picos de la gráfica.
- **Sistema Inverter** – físicamente lucen similar a los sistemas de AC convencionales y realizan el mismo trabajo. El compresor utilizado en estos sistemas tiene la capacidad de modular sus revoluciones mediante la utilización de una tarjeta electrónica. Esta integración tecnológica crea que el compresor del sistema funcione constantemente variando sus revoluciones dependiendo de las necesidades del espacio. De esta forma este sistema logra alcanzar la temperatura deseada en menor tiempo y mantiene la gráfica de humedad y temperatura con mínimas variaciones.

METODOLOGÍA

Para realizar el análisis comparativo de los sistemas de AC convencionales e inverters, se seleccionará un área y se determinará la capacidad requerida de la unidad de A/C. Luego de esto se comparan los costos de cada uno de los sistemas.

Capacidad del Sistema de AC

Las capacidades de los sistemas de AC en Estados Unidos están reguladas por las normas de diseño de ASHRE. Estas normas de diseño

incorporan múltiples factores los cuales son considerados al momento del diseño.

En Puerto Rico se utiliza una regla general al seleccionar el factor de carga de calor a ser aplicado al momento de determinar la capacidad de AC en un espacio cerrado. La regla general que se utiliza en la isla es 80 Btu/sq.ft. Este factor puede ser ajustado según las características y necesidades del espacio. Para propósitos de este análisis utilizaremos este factor de 80btu/sq.ft. Este factor multiplicado por el área total del espacio ($\text{Área total} \times 80\text{BTU/sq.ft.}$) nos brinda la capacidad requerida en BTU del espacio para proveer y mantener una climatización adecuado.

Para propósitos de esta investigación identificamos un espacio típico que cubre un área superficial de 750sq.ft. con una altura promedio de 9ft. En Puerto Rico se considera la altura promedio entre 8 y 9 pies para propósitos de este análisis. Utilizando la formula de carga de calor presentada anteriormente para calcular el tamaño de la unidades de AC requerida por el espacio, el resultado obtenido nos indica que se requiere una unidad de AC de 60,000btu.

Tabla 1
Análisis de Carga

Descripción	Cantidad	Unidades
Area	750	sq.ft
Factor de Carga	80	BTU/sq.ft
Capacidad	60,000	BTU

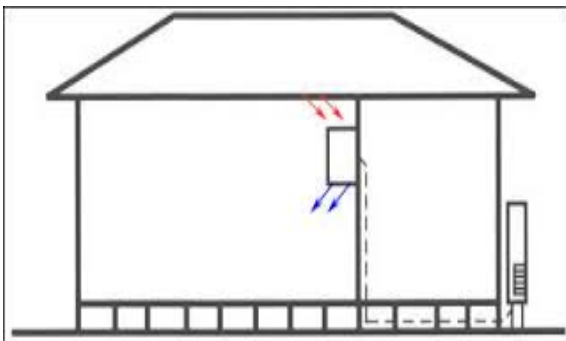


Figura 1
Diagrama Típico de Espacio y Sistema de AC

Comparación de Sistemas

Seleccionamos y comparamos para propósitos de este análisis dos sistemas de AC que son especificados e instalados en muchos proyectos nuevos de construcción hoy día. Estos sistemas son muy reconocidos por su alto rendimiento y desempeño. Para este propósito estaremos analizando la diferencia en costo de los equipos y el costo energético utilizado por cada uno.

Para realizar este tipo de análisis utilizamos los datos específicos de los sistemas suministrado por los fabricantes. Estos datos demuestran el porcentaje (%) de capacidad del compresor y el consumo (kw) del mismo. Asumiendo un periodo normal de operación del sistema y un costo estimado del kw/hr en Puerto Rico, desarrollaremos nuestro análisis. Este análisis nos demostrará de forma económica cual sería la mejor alternativa para este caso en particular.

Tabla 2
Descripción de las Unidades Seleccionadas

DESCRIPCION	INVERTER	CONVENCIONAL
Marca	Mitsubishi Heavy	Trane
Modelo Evapo.	FDEN140VN	MCX060
Modelo Conde.	FDC140VN	4TTR5060
Capacidad	60,000BTU	60,000BTU
Eficiencia	16.0 SEER	13.0 SEER
Costo Equipo	\$ 3,120.00	\$ 2,180.00

ANÁLISIS DE RESULTADOS

Con la información obtenida de las hojas de datos de los sistemas y las presunciones establecidas para este análisis se calculó el consumo (kw) de operación de cada uno de los equipos seleccionados.

En el análisis realizado se tomó como factor base el consumo de cada uno de los equipos. Este consumo fue proyectado en una tabla la cual indica el % de encendido del compresor durante todo el ciclo en múltiplos de 10%. El consumo obtenido del análisis de cada uno de los sistemas es diferente. Esto debido a la tecnología envuelta en cada uno de estos sistemas considerado.

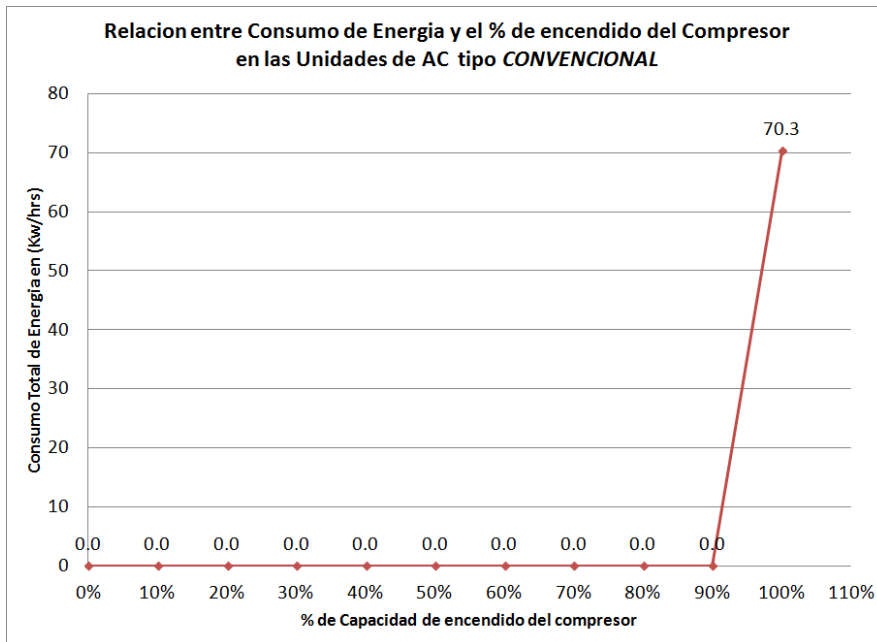


Figura 2
Consumo de Energía vs. Tiempo de Encendido del Compresor en la Unidad Convencional

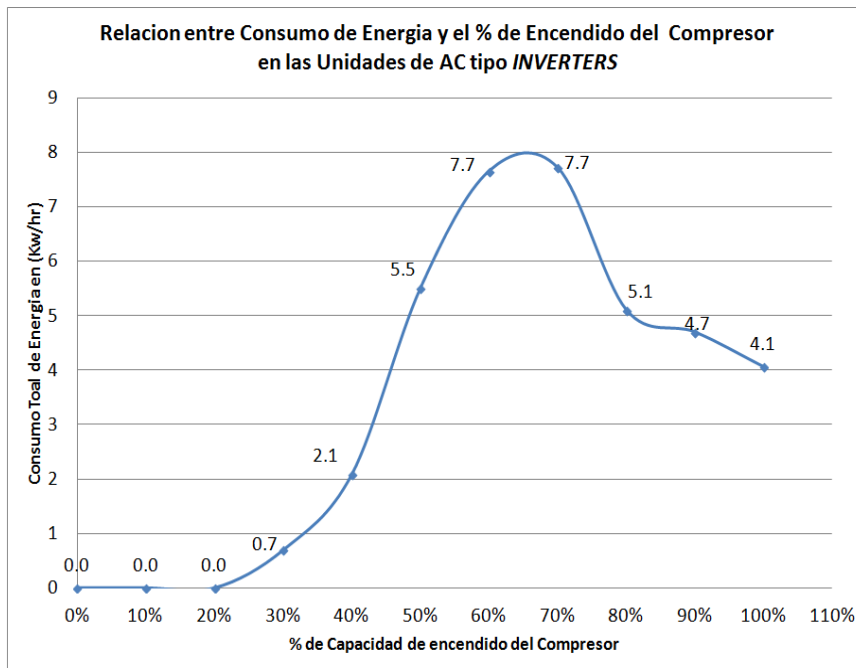


Figura 3
Consumo de Energía vs. Tiempo de Encendido del Compresor en la Unidad Inverter

En el análisis realizado, el consumo de los sistemas inverter reflejó un ahorro de 46.6% de energía comparado con el sistema convencional de alta eficiencia. Este ahorro en consumo energético ocasionó a su vez un ahorro en el costo de

electricidad que se visualiza en la factura mensual. Este ahorro es evidente ya que el compresor del sistema inverter tiene la capacidad de modular sus revoluciones internas para mantener la climatización deseada. Como se demuestra en el análisis, el

promedio del periodo de operación del sistema inverter se encuentra en 58% de la capacidad encendida del compresor. Al analizar este resultado obtenido del análisis de la unidad inverter con el de

la unidad convencional, observamos que el 80% del periodo de operación del sistema se encuentra en el 100% de la capacidad encendida del compresor (Ver gráficas 1 y 2).

Tabla 3
Análisis Sistema de AC Inverter

SISTEMA DE AC INVERTER					
% Capacidad Compresor	Periodo de Operacion	Consumo (Kw)	Consumo Total (Kw/hr)	Costo Diario (\$)	Costo a 30 dias (\$)
100%	0.70	5.80	4.060	1.02	30.45
90%	0.90	5.22	4.698	1.17	35.24
80%	1.10	4.64	5.104	1.28	38.28
70%	1.90	4.06	7.714	1.93	57.86
60%	2.20	3.48	7.656	1.91	57.42
50%	1.90	2.90	5.510	1.38	41.33
40%	0.90	2.32	2.088	0.52	15.66
30%	0.40	1.74	0.696	0.17	5.22
20%	0.00	0.00	0.000	0.00	0.00
10%	0.00	0.00	0.000	0.00	0.00
0%	0.00	0.00	0.000	0.00	0.00
DATOS			ANALISIS		
* Costo KW/hr en PR		\$ 0.25	Costo de Operacion al dia		\$ 9.38
Periodo de Operacion por dia (hrs)		10.0	Costo de Operacion a 30 dias		\$ 281.45
* Costo promedio asumido de la tarifa de la AEE			Costo de Operacion al año		\$ 3,377.34

Tabla 4
Análisis de Sistema de AC Convencional

SISTEMA DE AC CONVENCIONAL					
% Capacidad del Compresor	Periodo de Operacion	Consumo (Kw)	Consumo Total (Kw/hr)	Costo Diario (\$)	Costo a 30 dias (\$)
100%	8.00	8.78	70.272	17.57	527.04
90%	0.00	0.00	0.000	0.00	0.00
80%	0.00	0.00	0.000	0.00	0.00
70%	0.00	0.00	0.000	0.00	0.00
60%	0.00	0.00	0.000	0.00	0.00
50%	0.00	0.00	0.000	0.00	0.00
40%	0.00	0.00	0.000	0.00	0.00
30%	0.00	0.00	0.000	0.00	0.00
20%	0.00	0.00	0.000	0.00	0.00
10%	0.00	0.00	0.000	0.00	0.00
0%	2.00	0.00	0.000	0.00	0.00
DATOS			ANALISIS		
* Costo KW/hr en PR		\$ 0.25	Costo de Operacion al dia		\$ 17.57
Periodo de Operacion por dia (hrs)		10.0	Costo de Operacion a 30 dias		\$ 527.04
* Costo promedio asumido de la tarifa de la AEE			Costo de Operacion al año		\$ 6,324.48

El análisis presentado en las Tablas 3 y 4 nos permite poder realizar un análisis comparativo del consumo energético vs. costo entre los sistemas. Este ejercicio matemático realizado para obtener la

diferencia en costo entre ambos sistemas, refleja un ahorro anual de \$2,947.14 en costo de energía (Ver tabla 5).

Tabla 5
Resultado del Consumo Energético

COSTO DE OPERACION	
Inverter	\$ 3,377.34
Convencional	\$ 6,324.48
Ahorro Annual	\$ 2,947.14

Como parte del análisis, se realizó una comparación de los costos de compra de los equipos. La Tabla 6 presenta el análisis realizado el cual refleja una diferencia en costo de \$940.00 más el sistema Inverter vs. el Convencional. Esta diferencia en costo representa el 30% en costo adicional sobre el sistema convencional que habría que sufragar para adquirir un sistema Inverter.

Tabla 6
Comparación Costo de Equipos

DESCRIPCION	INVERTER	CONVENCIONAL
Marca	Mitsubishi Heavy	Trane
Costo Equipo	\$ 3,120.00	\$ 2,180.00
Diferencia en Costo	\$ 940.00	
% Diferencia	30%	
"Break Even Point"	1,000	hrs
	100	dias @ 10hr/dia

Por otra parte se realizó un ejercicio matemático para encontrar en qué punto se podía observar el "Break Even Point" del costo entre ambos sistemas. Este "Break Even Point" fue comparado con el costo por consumo de energía de los equipo. El resultado reflejó que a los 100 días de uso del sistema a razón de 10 hrs por día, lo que se traduce en 1,000 hrs de uso, el sistema inverter alcanzaría un ahorro de \$948.08 en consumo eléctrico.

CONCLUSIÓN

Este artículo presentó las características energéticas y de costo de dos sistemas de AC que son muy utilizados al presente por comerciantes y residentes. A través del análisis realizado se logró demostrar la importancia que tiene el realizar un análisis como este al momento de realizar una nueva inversión en sistemas de AC.

Como se demostró en el análisis realizado, los sistemas inverter tienen la capacidad de ahorrar energía pero en adición los sistemas alcanzan la

climatización del espacio más rápido. Por otra parte estas unidades ayudan a controlar de forma más estable la humedad relativa que existe en el ambiente del espacio seleccionado. Cuando se requiere controlar la humedad para proteger otros equipos instalados en el espacio definitivamente este tipo de unidad es ideal para ese trabajo.

Luego de realizar la comparación de ambos sistemas bajo las mismas condiciones, se observó que los sistemas Inverters comenzarán a ser la opción más recomendada al momento de reemplazar o instalar una nueva unidad de AC. Cabe señalar que el periodo de recuperación económica varía dependiendo de la diferencia en costo entre los sistemas y el uso que se le requiera a estos. Mientras más tiempo esté encendido en sistema menos tiempo se requiere para alcanzar el "Break Even Point" entre los dos sistemas comparados.

Se podría considerar un sistema convencional sobre un sistema Inverter en aquellos lugares donde el uso de estos sea mínimo. Como se demostró en el análisis del "Break Even Point" existe una relación directa entre el tiempo de operación del equipo y el ahorro de energía que este provee para poder compararlo con el costo adicional que un sistema Inverter requiere. Cuando este valor sea muy alto o el tiempo de recuperación sea grande es cuando el sistema convencional sería considerado como la alternativa a seleccionar.

RECOMENDACIONES

Al momento de seleccionar un sistema de AC se debe realizar una evaluación completa del espacio por personal certificado en esta materia. Esta evaluación debe incluir los siguientes puntos:

- Tomar las dimensiones correctas del espacio para calcular el área.
- Utilizar un factor adecuado en el análisis de carga de calor. En PR se utiliza 80BTU/sq.ft como regla general.
- Realizar un análisis comparativo entre varias unidades que se puedan ajustar a las necesidades de climatización del área evaluada para observar

el resultado de Costo-Beneficio arrojado por el análisis.

- Al momento de la selección se debe tomar en consideración la garantía del equipo provista por el fabricante, la disponibilidad y accesibilidad de piezas y servicio para la unidad.

REFERENCIAS

- [1] Grondzik W. (2007). Air Conditioning System Design Manual. Atlanta: American Society of Heating, Refrigerant and Air-Conditioning Engineers. ASHRE.
- [2] WBDG. (22 de 07 de 2010) www.wbdg.org. Recuperado el 01 de 02 de 2014, de www.wbdg.org, http://www.wbdg.org/design/dd_hvaceng.php.