



## Ventajas Comparativas en la Aplicación de la Tecnología Copeland Digital Scroll en Sistemas de Aire Acondicionado Residencial y Comercial

Los sistemas de aire acondicionado, ya sean enfriadoras de líquido o sistemas de expansión directa, que aplican tecnología [Copeland Digital Scroll](#), tienen ventajas comparativas significativas al considerar los *costos asociados a largo de la vida útil del equipamiento*.

La suma total de estos *costos asociados*, que en inglés se denominan “*Life Cycle Costs*” (LCC), se define como *el costo total en dólares por adueñarse del equipamiento, operarlo y mantenerlo a lo largo de su vida útil*.

En el caso de los sistemas de aire acondicionado, estos costos están ligados a:

- [a\) La tecnología y diseño del compresor,](#)
- [b\) la arquitectura del sistema,](#)
- [c\) el confort suministrado,](#)
- [d\) la simplicidad y confiabilidad del sistema,](#)
- [e\) y el consumo energético real durante la operación](#)



En este artículo se analiza brevemente cada uno de estos factores y su incidencia sobre los que definimos anteriormente como *el costo total en dólares por adueñarse del equipamiento, operarlo y mantenerlo a lo largo de su vida útil*.

La comparación se plantea entre sistemas que cuentan con [Copeland Digital Scroll](#), versus otros similares equipados con compresores herméticos, tanto scroll como rotativos, con dispositivos que permiten operarlos a velocidad variable, conocidos popularmente como “inverters”.

### **a) Tecnología y Diseño del Compresor** ([retornar a la lista](#))

En un compresor [Copeland Digital Scroll](#), la mayoría de los componentes internos del compresor, entre los que se destaca el motor, trabajan del lado de baja presión o succión. El gas de la succión retorna a una temperatura entre 10 y 15°C, lo cual ayuda a enfriar el motor del compresor (**Fig. 1**). Un motor eléctrico hermético, trabajando en estas condiciones, presenta un mejor desempeño, especialmente cuando debe operar bajo condiciones ambientales extremas, a temperaturas ambiente muy altas.

A diferencia de los anteriores, los motores herméticos de los compresores rotativos y scroll con “inverters”, así como la mayoría de sus componentes internos, se encuentran sometidos a las condiciones del gas del lado de alta presión o descarga, a no menos de 80°C.

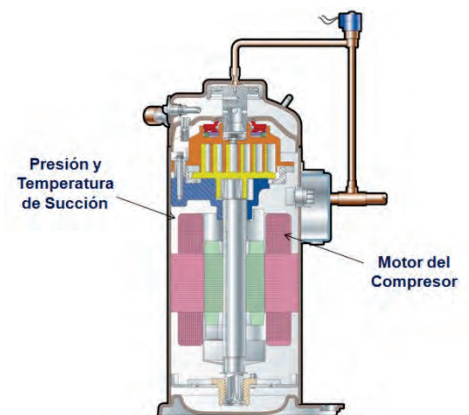


Fig. 1

Esta característica hace a estos compresores más sensibles a condiciones ambientales con temperaturas muy altas, como las que se pueden encontrar en extensas regiones pobladas de Latinoamérica. Este diseño ha sido adoptado, entre otras razones, para intentar resolver problemas de lubricación generados durante la operación a baja velocidad de rotación, cuando se hace difícil, si no imposible, impulsar el aceite lubricante hacia las partes móviles del compresor, tan solo mediante fuerza centrífuga. Mientras que la presión de alta contribuye con la lubricación impulsando el aceite, el rendimiento del motor y a la operación a altas temperaturas ambiente se ven afectados seriamente.

Los compresores [Copeland Digital Scroll](#) poseen una característica de diseño única y patentada que permite, durante la operación a plena capacidad, mantener ambas espirales juntas con la suficiente fuerza para que no se produzcan fugas de gas entre los compartimientos que forman las espirales al interactuar entre sí, sin necesidad de utilizar sellos (susceptibles al desgaste) en los bordes de las espirales, y sin afectar el rendimiento del compresor, ocasionando pérdidas mecánicas por excesiva fricción. Esta fuerza óptima es la resultante entre la presión de descarga, la de succión y una presión intermedia, actuando sobre determinadas superficies del denominado "sello flotante", pieza clave de la tecnología [Copeland Scroll](#), para lograr este efecto.

No existen tales características de diseño en los compresores rotativos. Las palas del rodillo rotatorio están en contacto permanente con la pared de la cámara de compresión, imprimiendo una fuerza constante, que no se ajusta con la variación de la presión y la temperatura. Tampoco existen estas características en los compresores scroll que operan con "inverters". En ambos casos, esto afecta notablemente el rendimiento del compresor debido a la fricción, especialmente al operar a temperaturas ambientales muy altas.

El refrigerante en estado líquido, al ser incompresible, puede dañar seriamente los mecanismos de un compresor. Los compresores [Copeland Digital Scroll](#) poseen una característica única y patentada de diseño que permite que las espirales se separen radialmente, ante la presencia de gotas de líquido refrigerante, aceite o ambos, durante el proceso de compresión. Esta separación evita también potenciales daños en las espirales, ocasionados por pequeñas partículas, impurezas, o contaminantes que puedan estar presentes en el sistema. Una vez más ni los compresores rotativos, ni los compresores scroll que operan con "inverters" poseen estas características de diseño.

Los compresores [Copeland Digital Scroll](#) poseen varios dispositivos internos que aseguran una operación más confiable, sin necesidad de protecciones externas adicionales:

#### 1. Protector del Motor:

El motor está protegido contra ambos, temperatura y amperaje. Si la corriente aumenta y/o sube la temperatura del motor, el protector del motor abre el circuito eléctrico internamente y lo para. El motor vuelve a funcionar una vez que se enfría.

#### 2. Disco térmico

Es un disco bimetálico que se abre cuando la temperatura de descarga excede los límites de seguridad, haciendo que el compresor deje de comprimir y se detenga por acción del protector térmico (1). El disco se cierra automáticamente cuando la temperatura disminuye y alcanza los límites de operación segura.

#### 3. Válvula de alivio (IPR)

En caso de que la presión suba dentro del compresor por encima de los límites de seguridad, la válvula IPR se abre, y el compresor deja de comprimir. El protector térmico del motor actúa más tarde (1), deteniendo la marcha.

#### 4. Protección contra operación en vacío

Si la presión de succión desciende por debajo de los límites de operación segura del compresor, el sello flotante, que mantiene ambas espirales unidas, se descarga, las espirales se separan y el compresor deja de comprimir. La compresión se reinicia tan pronto la presión de succión se normaliza.

Los compresores rotativos solo cuentan con un simple protector térmico interno para el motor, mientras que los compresores scroll que operan con “inverters”, en su mayoría, no cuentan con ningún tipo de dispositivo de seguridad interna. Las protecciones provienen de dispositivos externos que forman parte del sistema de control de la unidad, lo que agrega complejidad y costo.

#### **b) Arquitectura del sistema** ([retornar a la lista](#))

¿Cómo está conformado tecnológicamente el sistema para modular la capacidad?

Comparemos tres sistemas de capacidad similar. Supongamos que uno de estos sistemas posee dos compresores [Copeland Scroll](#), uno de ellos Digital y otro de capacidad fija. El segundo sistema, dos compresores rotativos de velocidad variable, con dispositivos de variación de la velocidad de rotación tipo “inverter” de corriente continua (DC), uno por cada compresor y el tercero posee dos compresores scroll, uno de ellos equipado con un dispositivo “inverter” similar al caso anterior, mientras que el compresor restante es de capacidad fija.

¿Cómo responde cada una de estas arquitecturas de sistema ante una variación de la carga frigorífica que requiere de modulación de la capacidad?

En el primero de los sistemas (dos compresores Copeland Scroll, uno fijo más uno Digital), cuando la capacidad requerida está por debajo del 50%, el compresor Digital es el encargado de modular la capacidad. Veremos un poco más adelante como lo hace. Cuando la variación de la carga requiere que la capacidad aumente por encima del 50%, el compresor Copeland Scroll de capacidad fija arranca, y el Digital es ahora responsable de modular hasta alcanzar el 100% de la capacidad disponible.

Para la segunda arquitectura de sistema (dos rotativos con “inverters”, uno por compresor), cuando la capacidad es menor del 50%, uno de los dos compresores modula mediante su correspondiente variador de velocidad. Ambos compresores modulan mediante sus respectivos “inverters”, cuando la variación de la carga requiere que la capacidad sea más 50% del total disponible.

Por último, en el sistema con dos compresores scroll, uno con “inverter”, cuando el requerimiento de la capacidad varía por debajo del 50%, el compresor con “inverter” modula. El compresor de capacidad fija arranca cuando la capacidad requerida está por encima del 50% del total disponible. De allí en más, el compresor con “inverter” es el encargado de modular, hasta alcanzar el 100%.

Veamos cómo cada una de las tecnologías involucradas en cada arquitectura de sistema efectúa la modulación.

Un compresor [Copeland Digital Scroll](#) posee, como toda tecnología scroll, dos espirales idénticas, desfasadas 180°, una de ellas fija y la otra móvil u orbitante, solidaria al rotor del motor. El compresor comprime, siempre y cuando ambas espirales se mantengan en contacto axial y radial. Los compresores [Copeland Digital Scroll](#) poseen un dispositivo exclusivo que permite que las espirales se separen axialmente apenas 1mm, lo cual es suficiente para que el compresor deje de comprimir. Este dispositivo trabaja con un pequeño pistón, sometido a la presión de descarga, sobre la espiral fija (**Fig. 2**).

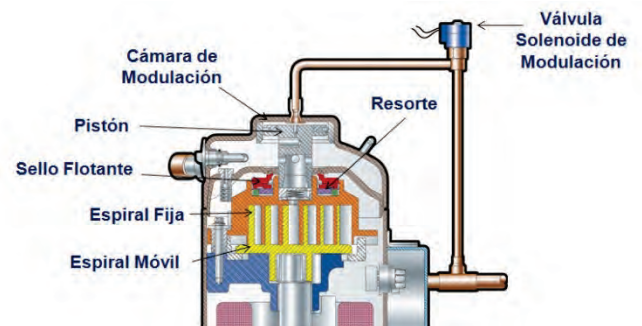


Fig. 2

Una válvula solenoide permite aliviar esta presión, cuando la señal digital, proveniente de un controlador, la abre. Cuando esto ocurre, la espiral fija se separa apenas 1mm de la espiral móvil, gracias la acción de un resorte, y el compresor deja de comprimir (descargado). El motor sigue funcionando, pero consumiendo apenas un 10% de la potencia total. Cuando la señal digital cierra la solenoide, el pistón solidario al scroll fijo vuelve recibir presión de alta, vence la resistencia del resorte que lo mantenía levantado, ambas espirales se juntan, y el compresor vuelve a comprimir normalmente (cargado). Un compresor [Copeland Digital Scroll](#) puede *suministrar cualquier capacidad, entre un 10 y un 100%*, simplemente cargando y descargando las espirales en sucesivos intervalos regulares. Por ejemplo, para intervalos regulares y sucesivos de 10 segundos, si las espirales se mantienen descargadas (separadas) durante 2 segundos y juntas (cargadas) 8 segundos, el compresor responde a la demanda con un 80% de su capacidad (**Fig. 3**). Es necesario un mínimo de 10% en la modulación para asegurar el enfriamiento del motor del compresor mediante el gas de la succión. Las espirales deben estar juntas al menos un segundo en un intervalo de 10 segundos (10%) para que esto sea posible. En un sistema de dos compresores [Copeland Scroll](#), uno fijo y otro Digital, el 10% mínimo de capacidad alcanzado por el Digital individualmente, equivale a un 5% del total de la capacidad disponible del equipamiento.

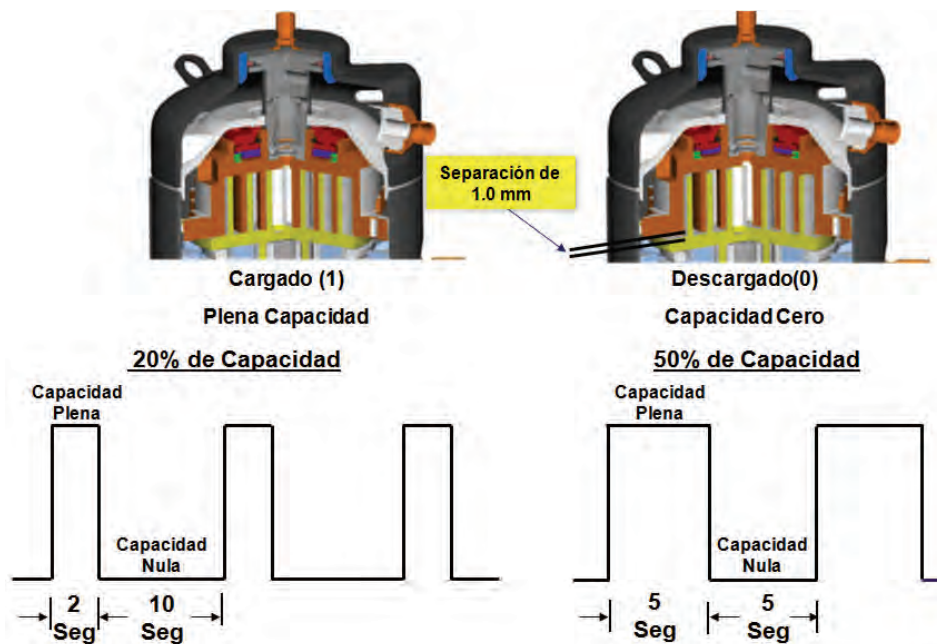


Fig. 3

La tecnología "inverter" modula la capacidad variando la frecuencia y, a su vez, la velocidad de rotación del motor eléctrico, que es directamente proporcional a la frecuencia, de acuerdo a la señal recibida desde el controlador de la unidad, en función de la variación de la demanda, tanto en un compresor rotativo, como en un scroll equipado con "inverter". Los compresores que modulan su capacidad mediante este tipo de dispositivos, poseen limitaciones en la frecuencia mínima para asegurar la lubricación a baja velocidad de rotación. Por lo general, la frecuencia mínima está en el orden de los 30Hz, lo que pone a la capacidad mínima individual posible por compresor en el orden del 40 al 50%, dependiendo de la frecuencia nominal de la corriente de alimentación (50Hz o 60Hz). En un compresor equipado con "inverter", la modulación se hace de a saltos de 8 Hz de frecuencia. Si la frecuencia mínima posible es de 30Hz, como hemos visto anteriormente, el siguiente escalón demodulación será 38Hz, luego 46Hz, y así sucesivamente, por lo que la modulación no es continua ni uniforme. Si la variación de la carga requiere de una capacidad por debajo del mínimo de 30% o del 25%, dependiendo de la frecuencia nominal (50Hz o 60Hz), en un sistema de dos compresores, el equipo deberá contar con un dispositivo de desvío o "Bypass" de gas caliente. Este es un método bastante primitivo de modulación de la capacidad, sin ahorro alguno de energía, ya que ésta ya ha sido consumida al comprimir el gas antes de ser desviado por solenoides a través del "Bypass".



**c) Confort Suministrado** ([retornar a la lista](#))

Un sistema que aplica [Copeland Digital Scroll](#), puede mantener la temperatura en un rango de  $\pm 0.5^{\circ}\text{C}$ , gracias a la variación continua de la capacidad, vista anteriormente, que permite acompañar mucho mejor a la variación de la demanda (**Fig. 4**). A su vez, [Copeland Digital Scroll](#) permite reducir la humedad ambiente a cargas parciales en sistemas de expansión directa, mejorando así el confort interior. Esto se logra gracias a que el método de modulación Digital permite mantener temperaturas promedio del serpentín evaporador interior más bajas a cargas parciales.

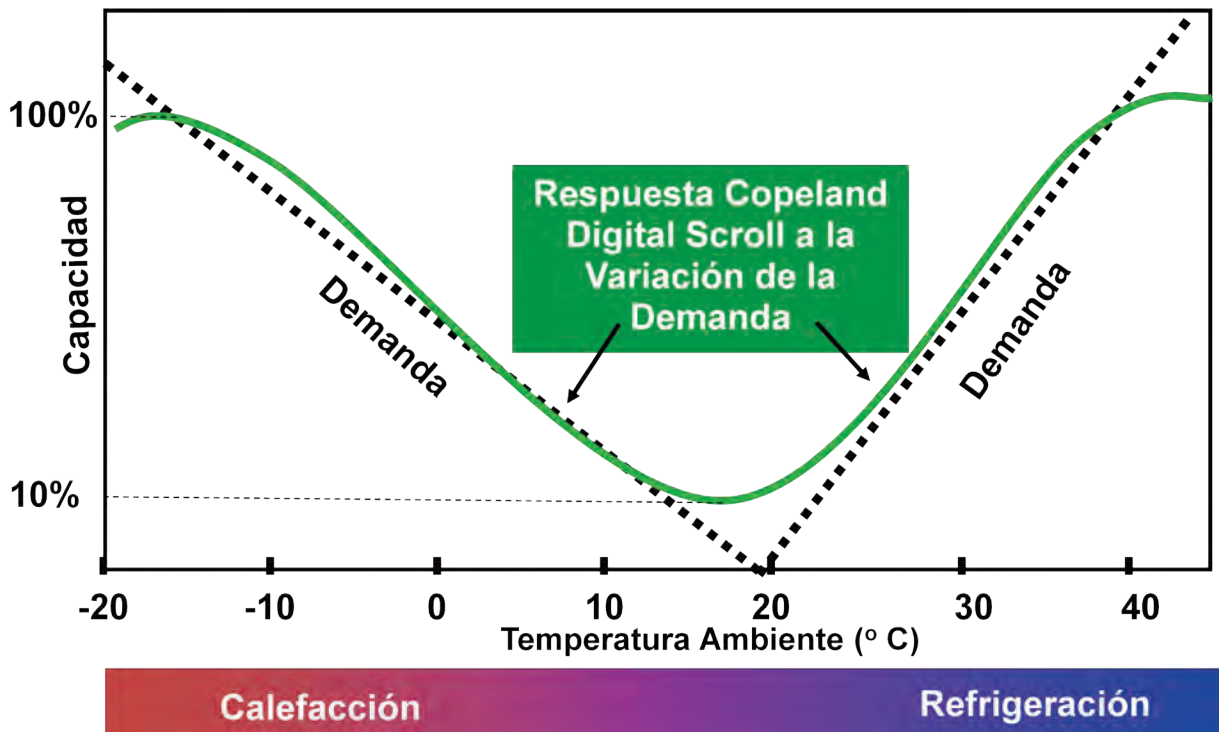


Fig. 4

Si bien un sistema equipado con compresores rotativos con sus respectivos “inverters” puede mantener la temperatura en un rango de  $\pm 0.5^{\circ}\text{C}$  bajo determinadas condiciones, el control eficaz de la humedad no será posible como en el caso anterior. Cuando los “inverters” actúan para modular la capacidad, el flujo de masa de refrigerante (Lbs/Hr) disminuye al disminuir la velocidad de rotación del compresor. Esto hace que la temperatura promedio del serpentín sea mayor, lo que restringe la capacidad del serpentín de condensar la humedad del aire que circula a través de él, la cual afecta la sensación de confort interior. Esta explicación es válida también para un sistema con dos scrolls, uno de ellos con inverter. Pero a diferencia del anterior, en este caso la temperatura podrá ser controlada en un rango menos ajustado de  $\pm 1^{\circ}\text{C}$ , bajo ciertas condiciones.

La mecánica de la modulación del sistema con un compresor [Copeland Digital Scroll](#) permite una velocidad de respuesta instantánea frente a cambios repentinos de la carga, sin tener que pasar por etapas intermedias ni rampas de variación de frecuencia, como es el caso de los sistemas que cuentan con “inverters”. Esta ventaja permite mantener la variación de la temperatura dentro de un rango muy reducido, aún frente a cambios bruscos y repentinos de la carga.

En un sistema con tecnología [Copeland Digital Scroll](#), la mecánica de retorno de aceite es muy sencilla. El aceite solo abandona el compresor mientras este comprime. El promedio normal de circulación de aceite está en el orden del 1%. Aún cuando el aceite deja el compresor mientras este comprime, la velocidad del gas es lo suficientemente alta como para empujar y hacer volver el aceite al compresor desde el sistema. Por lo general, no se necesitan sistemas ni dispositivos de adicionales para hacer retornar el aceite al compresor, salvo en circuitos extremadamente largos de 100 metros de tubería o más, aplicados es sistemas de volumen de refrigerante variable, comúnmente llamados VRV (**Fig. 5**), donde los fabricantes suelen aplicar separadores de aceite para mayor seguridad de operación.

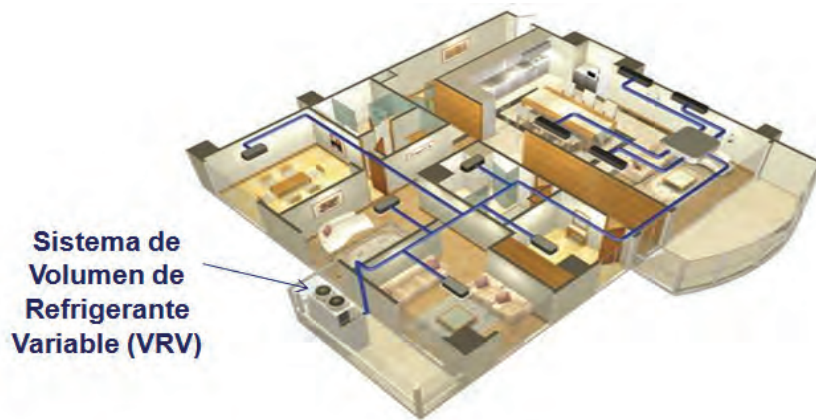


Fig. 5

Los sistemas con “inverters” necesitan de un sistema de retorno de aceite bastante complicado, debido a la variabilidad del promedio de circulación de aceite, debido a la variación de la velocidad de rotación. Este promedio ronda entre el 1 y 2%, operando a frecuencia nominal, dependiendo de que esta sea 50 o 60Hz. A frecuencias más altas (90Hz, por ejemplo), el promedio de circulación de aceite puede alcanzar hasta un 8%. Por el contrario, cuando la frecuencia ronda los 30Hz, la circulación de aceite puede ser aún menor del 1%, con el agravante de que a velocidades tan bajas, puede no haber suficiente flujo de masa de refrigerante como para empujar el aceite de vuelta al compresor. Debido a todo esto, los sistemas con “inverter” emplean dos métodos para retornar el aceite al compresor: separador de aceite y ciclo de retorno de aceite. El separador tiene una eficacia limitada, por lo que su aplicación se combina con los ciclos de retorno de aceite. Cada 2 horas, el dispositivo “inverter” debe aumentar la velocidad del compresor durante unos 10 minutos. A lo largo de este período de 10 minutos, el flujo de la masa y la

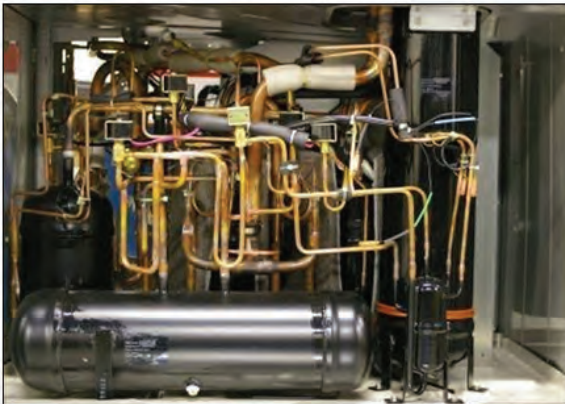
velocidad del gas refrigerante aumentan y empujan el aceite que se encuentra atrapado en diferentes partes del sistema, para devolverlo al compresor. Pero esta operación no es del todo eficiente. Cuando aumenta la velocidad del motor, su consumo eléctrico también aumenta. Además, la capacidad de enfriamiento también crece innecesariamente. En caso de que la demanda de la habitación no sea suficiente, las válvulas solenoide de desvío ("Bypass") se abren, para desviar la capacidad adicional no requerida. Tanto esto como la energía adicional consumida por el motor para aumentar su velocidad, implican una pérdida de energía que se hace acumulativa a lo largo de la operación anual del equipamiento en condiciones reales de funcionamiento a carga variable.

#### **d) Simplicidad y Confiabilidad del Sistema** ([retornar a la lista](#))

El sistema que usa [Copeland Digital Scroll](#), muy simple, tanto mecánica como electrónicamente. Por ejemplo, los sistemas de "Bypass", descritos para los sistemas con "inverters", y sus respectivas válvulas solenoide, no son necesarios. Además, el principio de modulación es mecánico, por lo que algoritmo que emplea el controlador electrónico es mucho más simple.

Por el contrario, los sistemas equipados con "inverters" son bastante más complicados, tanto mecánica como electrónicamente (**Fig. 6 y 7**). En el caso de un sistema con dos compresores rotativos con sus correspondientes variadores de velocidad, el mero hecho de contar con un "inverter" por compresor, los hace más complicados.

Los equipamientos de volumen de refrigerante variable (**Fig. 5**) cuentan con una carga de gas refrigerante muy grande y los compresores rotativos son muy sensibles a potenciales retornos de líquido, por lo que este tipo de sistemas cuentan con varios circuitos controlados por válvulas solenoides y tanques para administrar el líquido refrigerante en función de las variaciones de carga (**Fig. 6**). Existen al menos nueve válvulas solenoide en las unidades exteriores de equipos VRV equipados con compresores rotativos e "inverters", que controlan diversos circuitos de desviación de líquido.



Complejidad de un Sistema con "Inverters"



Simplicidad de un Sistema con Copeland Digital Scroll

Fig. 6

La industria global de aire acondicionado reconoce la confiabilidad de los compresores [Copeland Scroll](#). Este reconocimiento queda reflejado en los más de 70 millones de compresores [Copeland Scroll](#) instalados mundialmente. El compresor [Copeland Digital Scroll](#) está construido sobre la misma plataforma básica de producto, que ha tenido tanto éxito y aceptación. Cada parte de un compresor Copeland es sometida a una exhaustiva secuencia de pruebas de confiabilidad. Por ejemplo, la válvula solenoide que controla la modulación Digital posee una vida útil comprobada de más de 40 millones de ciclos de apertura y cierre. Esto equivale a más de 15 años de funcionamiento continuo.

En comparación, los sistemas con compresores “inverter” cuentan con mucha electrónica en sus tableros, la cual genera calor. Esto los hace sensibles al operar en ambientes con altas temperaturas, aumentando el riesgo de fallas en el tablero eléctrico y circuitos electrónicos. Incluso, la interferencia electromagnética emitida por los circuitos de los variadores de velocidad puede afectar la confiabilidad de otros equipamientos tales como TV, computadores y diversos equipos, por lo que se requiere la aplicación de costosos filtros electrónicos para reducir tales emisiones a niveles aceptables. Estos filtros añaden aún más complejidad, costo adicional y riesgo de posibles fallas.

La complejidad electrónica de la que venimos hablando es sensible a las variaciones de frecuencia y de voltaje en la alimentación eléctrica. Este tipo de situaciones suelen verse frecuentemente en ciertas zonas de Latinoamérica, ante la falta de infraestructura eléctrica suficiente y confiable.

Como hemos dicho anteriormente, la modulación de un compresor [Copeland Digital Scroll](#) es mecánica (**Ver animación en la Fig. 7**), por lo que no existe generación de interferencia electromagnética como en el caso anterior. Esto hace a esta tecnología ideal para aplicaciones críticas como centros de cómputo, centrales de telecomunicaciones y hospitales.

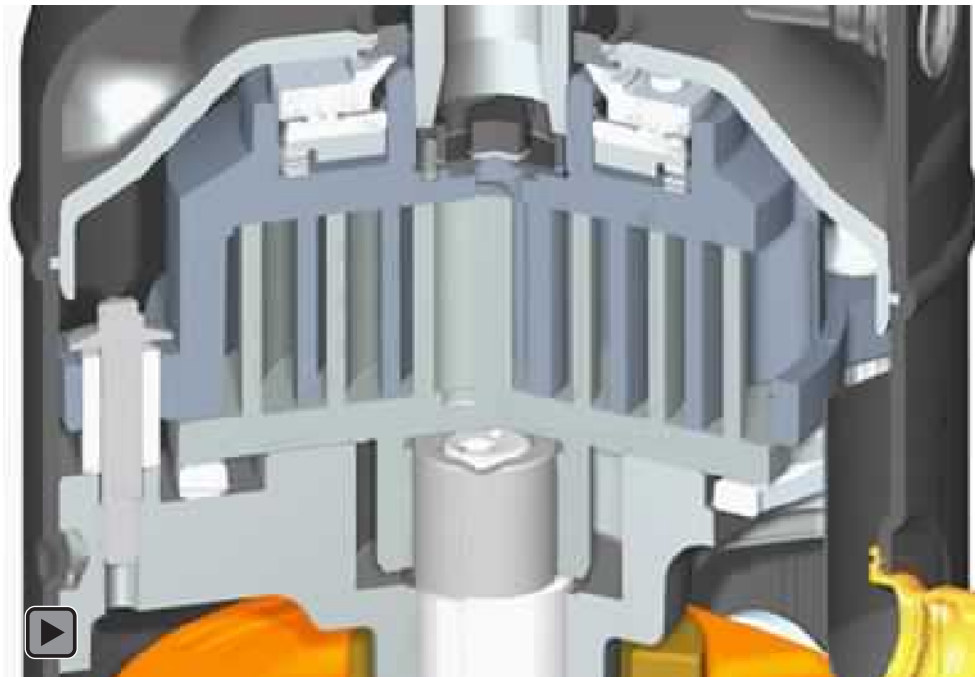


Fig. 7

### e) El consumo Energético Real Durante la Operación ([retornar a la lista](#))

La eficiencia energética de un sistema depende de diversos factores tales como la tecnología aplicada al mecanismo de compresión, la transferencia de calor y los componentes implicados en ésta (refrigerante, ventiladores, serpentines, etc.), además de la arquitectura mecánica, eléctrica y electrónica del sistema.

Hemos visto en párrafos anteriores, diversas comparaciones relacionadas con la tecnología aplicada para la compresión entre compresores rotativos y scrolls con “inverters”, versus [Copeland Digital Scroll](#). Dejando de lado los factores relacionados con la transferencia de calor, que dependen del diseño del fabricante y son relativamente independientes de la tecnología de compresión aplicada, enfoquémonos a analizar aquellos factores que tienen que ver con la arquitectura mecánica y electrónica de los sistemas.

Por ejemplo, la gran cantidad de válvulas solenoides necesarias para administrar el líquido refrigerante y desviar el flujo durante los ciclos de “Bypass”, generan caídas de presión que afectan el rendimiento de los equipamientos con “inverters”. Otro ejemplo tiene que ver con la necesidad de implementar ciclos de retorno de aceite y con la energía consumida por este tipo de dispositivos.

La arquitectura electrónica es también un factor importante. La complejidad de los sistemas equipados con “inverters” (**Fig. 8**) hace que los tableros generen y disipen gran cantidad de calor, lo cual no es otra cosa más que energía que no es aprovechada con el propósito específico del equipamiento en cuestión.

#### Simple



**Tablero de Control de un Sistema Equipado Con Copeland Scroll Digital**

#### Complicado



**Tablero de Control de un Sistema Equipado Con Tecnología “Inverter”**

Fig. 8

Algunos de estos factores generan pérdidas de energía que no son tenidas en cuenta cuando se llevan adelante ensayos de laboratorio para medir la eficiencia energética de los equipamientos operando a una condición específica; por lo que las comparaciones hechas en base a valores de COP (coeficiente de rendimiento a plena carga) o IPLV (equivalente, pero a carga parcial) obtenidos en laboratorios, no son necesariamente representativos del rendimiento real del equipo durante su operación anual, sometido a condiciones muy variables, no previstas ni reproducidas durante el ensayo. Pérdidas como las que se generan al operar el variador para pasar de una velocidad de rotación a otra, o la necesidad de operar ciclos de retorno de aceite durante la operación a carga parcial, no son tenidas en cuenta durante estos ensayos.

## Conclusiones finales ([retornar a la lista](#))

Recapitulando, “Life Cycle Costs” (LCC), se define como el costo total en dólares por adueñarse del equipamiento, operarlo y mantenerlo a lo largo de su vida útil.

Por todo lo antedicho, queda claro que aquellos sistemas que cuenten con [Copeland Digital Scroll](#) tendrán un menor LLC que sistemas equivalentes equipados con “inverters”, gracias a la tecnología aplicada para la modulación, que permite simplificar la arquitectura del sistema, optimizando su costo y disminuyendo la influencia negativa que esta arquitectura pueda tener sobre el rendimiento del equipo.

Los sistemas con [Copeland Digital Scroll](#) permiten controlar mejor la humedad y la temperatura, lo cual está directamente relacionado con el confort suministrado.

La simplicidad de la arquitectura tanto electrónica como mecánica de los sistemas que cuentan con [Copeland Digital Scroll](#), aseguran una mayor confiabilidad y vida útil.

Por último, la combinación de todas las cualidades mencionadas, hacen que el equipamiento con [Copeland Digital Scroll](#) tenga un menor costo operativo comparado con sistemas similares equipados con “inverters”, lo cual quedará reflejado en un menor consumo energético en condiciones reales de operación, a lo largo de la vida útil del equipamiento.

Para más detalles, consulte nuestro sistema de información en línea (OPI), yendo a <http://www.emersonclimate.com/espanol/>

