

# ENFRIAMIENTO DE VARIADORES DE FRECUENCIA VARIABLE GRANDES

Los variadores de frecuencia de media tensión (VFD según siglas en inglés) están disponibles en rangos de potencia de 200 a 100.000 kW. La alta eficiencia dentro de un amplio rango de velocidad, la facilidad de instalación, el bajo mantenimiento y otros factores han contribuido a una mayor aplicación del VFD. Los VFD pequeños (200-5000 HP) son típicamente enfriados por aire. A medida que los valores energía aumentan por encima de 5.000 HP, la refrigeración líquida es más común debido a que la refrigeración por aire no es tan económica, y la refrigeración por líquido reduce el espacio que ocupan los variadores de potencia más altas (véase la Figura 1).

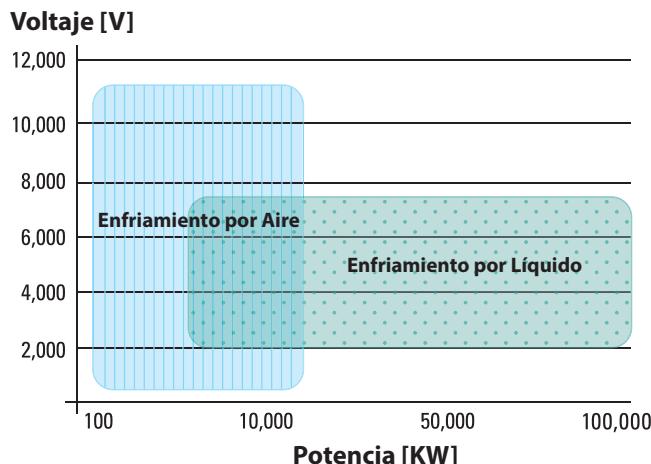


Figura 1. Potencia vs. voltaje para VFDs enfriados por aire o líquido

## Fuentes de Calor en un sistema de VFD

La Figura 2 muestra los elementos básicos de un sistema de variador de frecuencia y el motor. Todos los bloques de construcción que se muestran a continuación no son necesariamente esenciales para cada sistema.

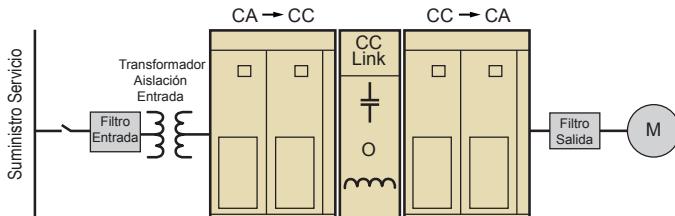


Figura 2. Bloques de Construcción Básicos de un sistema VFD

Como se muestra en la Figura 2, las principales fuentes de calor en un VFD son:

1. Transformador aislacion de Entrada
2. Convertidor CA-a-CC
3. CC Link (almacenamiento de energía)
4. Inversor CC-a-CA

El aporte de calor que generan las secciones del convertidor e inversor es de aproximadamente el 75% de la pérdida de calor del sistema VFD. Normalmente, el sistema de VFD en sí tiene una eficiencia del 96 a 97%. El transformador de aislamiento de entrada tiene típicamente 98-99% de eficiencia. Los variadores de frecuencia que permiten la división de componentes pueden ofrecer más alternativas de embalaje y refrigeración - por ejemplo, ser capaz de ubicar el transformador de entrada por separado (o externo) del VFD.

## Enfriamiento del Variador

En el desempeño de su operación crítica, un sistema de refrigeración VFD bien seleccionado ofrece tres funciones principales:

1. Elimina de forma confiable el calor de los dispositivos semiconductores de potencia en el inversor, convertidor y de sus componentes auxiliares.
2. Mantiene la temperatura general del VFD para alargar la vida del sistema.
3. Cuando se optimiza, permite que el variador de frecuencia entregue potencia nominal ocupando el menor espacio.

En la actualidad, existen dos métodos de refrigeración de un variador de frecuencia, el enfriamiento mediante aire o mediante líquido.

## Variadores de Frecuencia enfriados por aire

Los VFD refrigerados por aire funcionan según el principio de transferencia de calor de los dispositivos calientes y superficies de los componentes a la masa de aire que fluye sobre o encima de ellos. La mayoría de los variadores de frecuencia refrigerados por aire utilizan ventiladores para forzar el aire a través del variador de frecuencia y disipar el calor. La figura 3 muestra una vista frontal de un VFD refrigerado por aire.

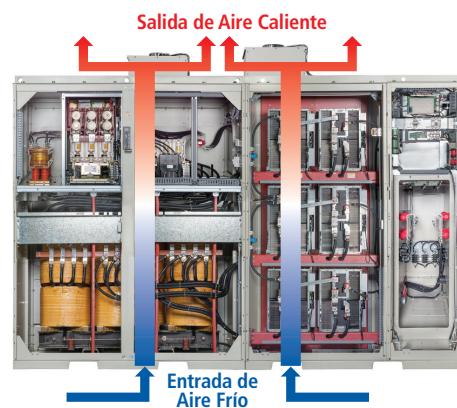


Figura 3. Vista Tipo de VDF refrigerado por aire y Flujo de Aire

## Ventajas

La refrigeración por aire de los VFD es más simple que la refrigeración líquida y tiene las siguientes ventajas:

1. Un sistema de refrigeración VFD por aire es autónomo. No hay bombas, mangueras, tuberías, filtros, des-ionizadores, o intercambiadores de calor.
2. El mantenimiento/Soporte del sistema de climatización del cliente se encuentra fácilmente disponible.
3. Cuando se aplica solo para el arranque, a menudo se pueden aplicar VFD más pequeños a motores de gran tamaño en un rango de tiempo corto.

## Desventajas

Las desventajas correspondientes de un variador de frecuencia refrigerado por aire incluyen:

1. Los variadores refrigerados por aire por lo general ocupan mayor espacio en comparación con un variador de frecuencia refrigerado por agua de tamaño similar.
2. Los ventiladores de refrigeración para el VFD típicamente tienen niveles de ruido de 79-82 dB (A) a 1 metro de la unidad.
3. El área de VFD debe mantenerse limpia, seca y libre de polvo. Se puede requerir inspección y mantenimiento de los filtros de aire.
4. Los requisitos de energía de climatización para refrigerar el aire caliente expulsado desde la unidad pueden ser mayores que la potencia de bombeo requerida para variadores de frecuencia de refrigeración líquida. Esto debe ser considerado cuando se hace el análisis de coste del ciclo de vida.

## Mantenimiento

Los principales ítems de mantenimiento de variadores refrigerados por aire incluyen:

1. Inspección y limpieza de los filtros de aire. En la mayoría de los VFD, esto se puede hacer durante el funcionamiento.
2. Inspección y verificación de la operación de Aire Acondicionado para una refrigeración adecuada, acumulación de polvo o contaminantes y otros problemas visibles.
3. Comprobación que el lugar donde se encuentra el VFD sea un ambiente libre de polvo y humedad.

## Variadores de Frecuencia refrigerados por líquido

Los sistemas de refrigeración líquida de variadores son más complejos que sus homólogos VFD refrigerados por aire. Estos sistemas están diseñados para la instalación, teniendo en cuenta la temperatura ambiente, disponibilidad de agua de refrigeración y la redundancia requerida.

## Principios de Refrigeración Líquida

Los variadores con refrigeración líquida incluyen un panel de refrigeración de bomba que consiste en controles electrónicos, bombas eléctricas y equipos mecánicos para mover el líquido a través de VFD. Este panel de refrigeración de la bomba cumple una función similar a la de los ventiladores industriales que aspiran aire hacia y a través de

VFD refrigerados por aire. El líquido utilizado en la mayoría de VFD es o bien agua des-ionizada o una mezcla de agua des-ionizada y glicol para aplicaciones a baja temperatura ambiente. Se requiere la des-ionización para mantener una conductividad eléctrica baja del fluido, un requisito impuesto por las altas tensiones que aparecen en los componentes que producen calor.

## Configuración de sistemas de refrigeración por líquido

Hay dos configuraciones principales de los sistemas de refrigeración líquida para VFD que se muestran en la Figura 4.

1. Los VFD refrigerados por líquido que tienen un intercambiador de calor interno de líquido a líquido, Figura 4a.
2. Los VFD refrigerados por agua que están equipados con un intercambiador de calor exterior líquido a aire para la disipación de calor, Figura 4b.

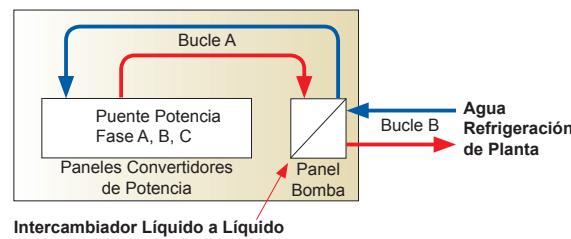


Figura 4a.

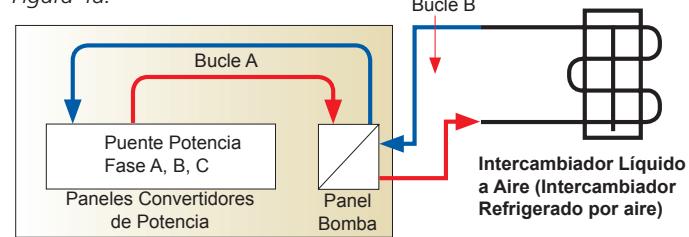


Figura 4b.

Figura 4. Configuración de sistemas de refrigeración líquida de VDF

En el sistema de líquido a líquido, la Figura 4a, el bucle de refrigeración "A" es siempre un bucle cerrado que lleva fluido des-ionizado interno al VFD a través de un intercambiador de calor de líquido a líquido. El segundo circuito de refrigeración líquido (Bucle B) lleva el agua de refrigeración de la planta, que quita el calor recogido del intercambiador interno.

En el sistema líquido a aire, la Figura 4b, el bucle de refrigeración "A" y el bucle de refrigeración "B" son en realidad uno de lazo portando común fluido des-ionizado. El fluido pasa a través de las piezas del variador en caliente, a través del panel de la bomba y hacia el intercambiador de calor externo de líquido a aire donde se enfriá y se devuelva. Debido a que el intercambiador de calor a menudo se encuentra al aire libre, el fluido de enfriamiento debe ser tolerante a las temperaturas ambiente al aire libre. El fluido puede necesitar una mezcla de glicol con agua para inhibir el congelamiento.

## Detalles de la disposición del sistema de refrigeración

Los VFD enfriados por líquido, como se muestra en la Figura 4a están equipados con un intercambiador de calor interno líquido a líquido. Los dos bucles de refrigeración en el sistema son el bucle VFD (Bucle A), que es el bucle de líquido des-ionizado y el bucle de líquido de la planta (Bucle B). Se

requiere un rango específico de temperatura en la entrada de líquido del VFD para la transferencia de calor óptima por el sistema de refrigeración. Los sistemas de líquido a líquido son menos costosos que los sistemas de líquido a aire y más compactos. Sin embargo, en los sistemas líquido a líquido de refrigeración se requiere transportar agua a LVFD. Estos sistemas se aplican mejor en sitios donde también se utiliza agua de refrigeración para enfriar otros procesos de la planta.

Como se muestra en la Figura 4b, los VFD con intercambiadores de calor líquido a aire suelen utilizar intercambiadores de refrigerado por aire forzado del tipo radiador al aire libre para transferir el calor desde el líquido. Esta es una disposición similar a la de un radiador de automóvil. Una de las ventajas es que no se requiere ningún líquido refrigerante de planta para enfriar el variador, por lo que es una solución muy atractiva para los VFD remotos o instalaciones sin agua de refrigeración disponible. Los sistemas líquido a aire son más costosos que los diseños líquido a líquido. El costo superior incluye el intercambiador en sí mismo, el espacio y la almohadilla de montaje para el intercambiador, las tuberías y el gasto constante de operación del ventilador. El funcionamiento depende de la temperatura ambiente al aire libre, siendo lo suficientemente fría como para transferir el calor de manera eficiente. En la práctica, las temperaturas ambiente de hasta 40 ° C pueden fácilmente adaptarse a este sistema, Las temperaturas ambiente más altas pueden requerir una reducción de potencia en el VFD.

#### Componentes del VDF refrigerado por líquido, Detalles del Sistema y Funciones

Los sistemas de refrigeración VFD tipo incluyen los siguientes equipos e instrumentación:

1. Motobombas
2. Sistema de control con instrumentación y sensores para la conductividad, la temperatura, la presión y el flujo
3. Reservorio de líquido refrigerante
4. Intercambiador de calor
5. Filtro y Cartucho Des-ionizador
6. Tuberías, válvulas y actuadores

Las Figuras 5a y 5b muestran el proceso de instrumentación del sistema de enfriamiento y diagramas líquidos típicos. Esto puede variar de un fabricante a otro, e incluso de unidad a unidad de un fabricante en particular. Sin embargo, el concepto general sigue siendo el mismo.

El líquido pasa a través de los componentes en varios puntos dentro de la unidad que están en contacto con los semiconductores de potencia, diodos y otros dispositivos generadores de calor. A medida que el VFD entrega energía, el calor se transfiere desde los dispositivos a las superficies calientes y luego al líquido que fluye a través de la bomba. Entonces este líquido caliente se bombea desde el VFD a través del intercambiador de calor. Dependiendo de la selección, el calor del líquido se transfiere al agua de

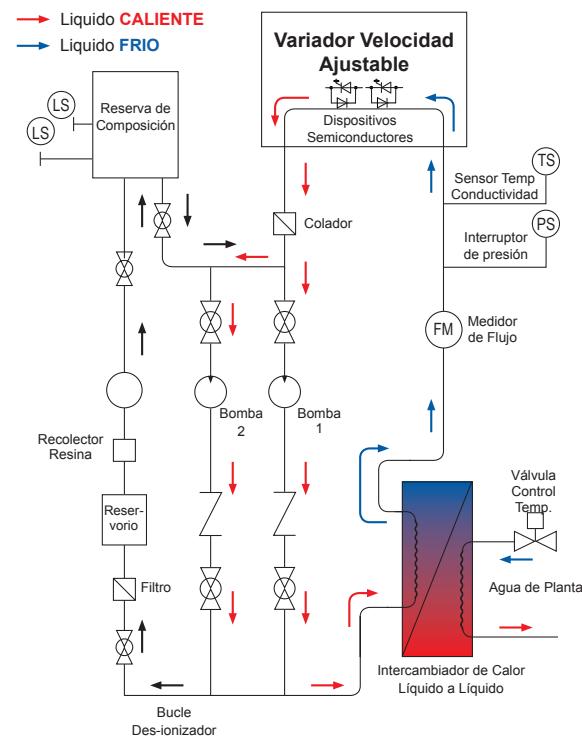


Figura 5a. Sistema de Refrigeración de VFD líquido a líquido

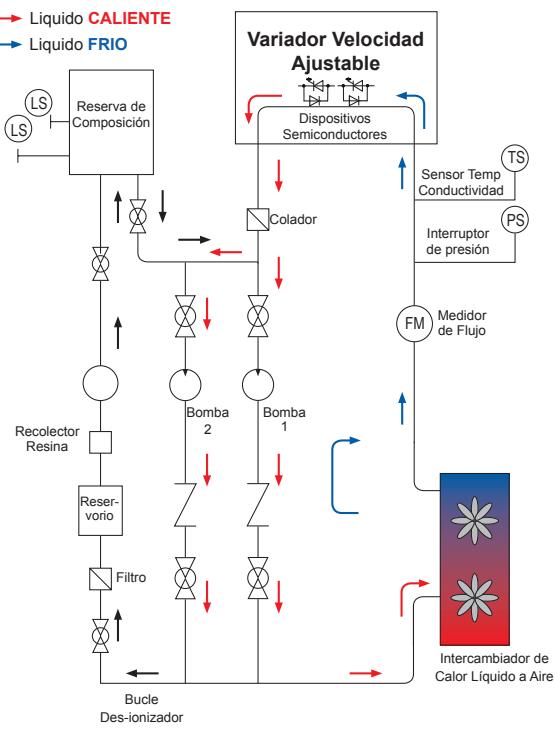


Figura 5b. Sistema de Refrigeración del VFD líquido a aire

refrigeración de planta como se muestra en la Figura 5a, o al aire como se muestra en la Figura 5b. El líquido enfriado es bombeado de nuevo el VFD y todo el proceso se repite. Aproximadamente el 90% del calor generado por el VFD es enfriado por el líquido, y 10% del calor todavía se transfiere al aire.

Debido a que el líquido de bucle de enfriamiento debe ser des-ionizado, una pequeña cantidad de líquido siempre se pasa a través de una base de-ionizadora de DI-resina. Esto mantiene una conductividad ultra baja necesaria del agua.

Se supervisan varios parámetros, tales como temperatura de líquido, conductividad y flujo en todo momento.

Cada bomba que se muestra en las figuras 5a y 5b están dimensionadas para la capacidad de carga completa del 100%, lo que permite que el VFD continúe funcionando incluso si una de las bombas está fuera de operación. Todo el proceso de bombeo se maneja a través de un controlador lógico programable configurable por el usuario.

La temperatura típica del líquido en el VFD es entre 40°C y 52°C y el flujo varía en el rango de 100 a 700 litros/minuto.

#### Ventajas de Sistemas de Refrigeración Líquida

1. Los VFD refrigerados por líquido están diseñados para disipar los altos niveles de calor típico de VFD más grandes.
2. El espacio que ocupa la refrigeración líquida es más pequeño que el sistema refrigerado por aire equivalente por kilovatio de potencia entregada, lo que reduce los costes de construcción y terreno.
3. La reducción de la contaminación del aire proporciona una mayor tolerancia al medio ambiente.
4. El costo de climatización es considerablemente más bajo en comparación con un variador de frecuencia refrigerado por aire con la misma potencia de salida.

#### Desventajas de los sistemas de refrigeración líquida

Mientras que las ventajas de un sistema de refrigeración líquida, a menudo superan a los inconvenientes, hay algunas limitaciones:

1. Para las instalaciones con un intercambiador de calor refrigerado por aire exterior, el ruido del ventilador puede ser alto y pueden requerir barreras de sonido o ventiladores especiales para mitigar el ruido. El ruido del ventilador tipo es de aproximadamente 85 dB (A) a 1 metro.
2. La temperatura del líquido, la resistencia y el flujo deben ser monitorizados y controlados en todo momento.
3. El filtro y los cartuchos de-ionizadores normalmente necesitan ser reemplazados cada 5 años o cuando se agoten.
4. El 10-15% de la pérdida de calor del VFD todavía se disipa en la sala eléctrica, lo que requiere un nivel correspondiente de Aire Acondicionado.

#### Mantenimiento

Las tareas de mantenimiento esenciales en VFD con refrigeración líquida incluyen:

1. Inspección y reemplazo del cartucho de-ionizador según sea necesario. Un medidor de resistividad en el sistema de refrigeración normalmente proporciona una indicación si el de-ionizador necesita mantenimiento.
2. Inspección de las bombas, ventiladores y motores de refrigeración.

#### Puntos de selección comparativa de refrigeración por aire versus refrigeración líquida

En todas las aplicaciones de VFD, el objetivo es minimizar el costo inicial, incluyendo la instalación y maximizar la recuperación de la inversión y ahorro de energía. Conocer el entorno en el que se ubicará el VFD, los requisitos de potencia del motor, y el tipo de carga a ser accionado son elementos clave en el logro de estos objetivos.

La Figura 6 combina estos elementos en un diagrama de decisiones. Las preferencias individuales del usuario y la tecnología cambiante afectan a esta selección, como se ha descrito anteriormente.

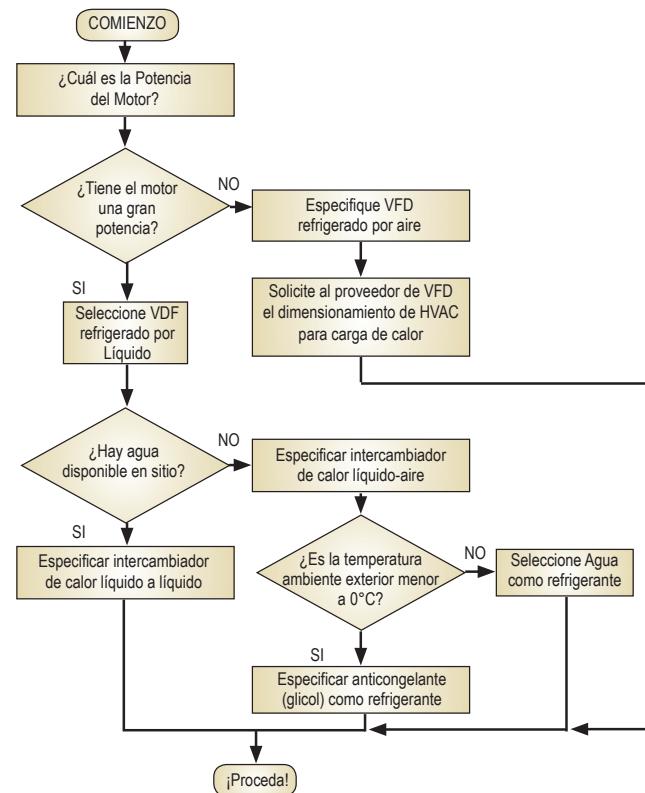


Figura 6. Diagrama de flujo sobre la selección de refrigeración por aire vs. refrigeración líquida

#### Conclusión

En este artículo se presentan los detalles de los sistemas de refrigeración del variador y por qué son una consideración crítica durante las fases de ingeniería y diseño de un proyecto. Una de las principales recomendaciones es que se realice una cuidadosa evaluación de cada aplicación de VFD teniendo en cuenta una serie de parámetros tales como la seguridad, confiabilidad, facilidad de mantenimiento, y los costos del ciclo de vida. Esto permitirá tomar la mejor decisión respecto a al sistema de refrigeración más adecuado.