

Turbos refrigerados por agua: ¡Realmente necesitan agua!

“¿De verdad mi turbo necesita agua? ¿Tan sediento está? ¿Qué debo hacer?”

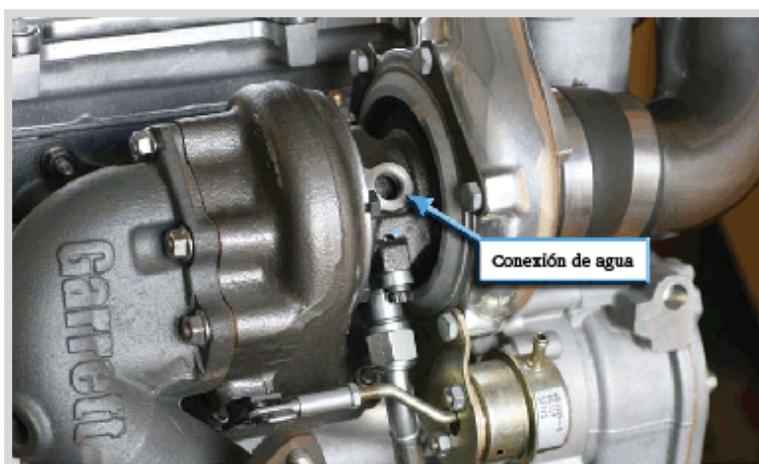
Los ingenieros de Garrett[®] son frecuentemente consultados sobre el tema de la refrigeración de los turbocompresores. Mucha gente cuestiona la necesidad de refrigerarlos o los beneficios que aporta la instalación de estas tuberías extras a los lados del turbo. ¿Por qué no dejarlo como está? La realidad es que un turbo refrigerado por agua puede quedar irremediadamente dañado, sino tiene una adecuada refrigeración. Con unos pequeños antecedentes y algunas explicaciones de por qué el agua es necesaria, mediante este boletín de Garrett[®] esperamos convencer a los escépticos de los beneficios que nos aporta la refrigeración por agua y del pequeño esfuerzo que debemos realizar para conseguirlo.

¿Qué hace la refrigeración por agua en realidad?

La refrigeración por agua mejora la fiabilidad y alarga la vida del turbo. Muchos turbos son diseñados sin la refrigeración por agua y están suficientemente refrigerados por el aire y el aceite que fluye a través de él. Otros turbos como casi todos los de las series de rodamientos de Garrett[®] GT y GTX, están diseñados para ser refrigerados desde el principio por agua y aceite.

¿Cómo podemos distinguir si un turbo esta refrigerado por agua o por agua/aceite?

Si el alojamiento de cojinetes del turbo tienes dos agujeros roscados a 90° a ambos lados de la entrada de aceite, entonces el turbo es refrigerado por agua. Para poder



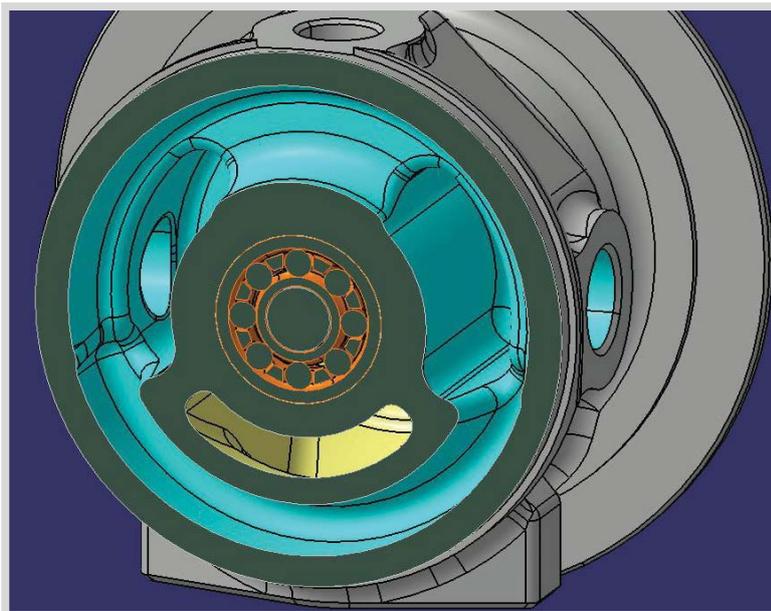
Las conexiones de agua se encuentran a ambos lados de la entrada de aceite del turbo. El agua debe fluir a través del turbo desde la derecha a la izquierda, o viceversa. Si hay más de dos conexiones asegúrate de usar uno de cada extremo del cuerpo. (No conectar ambas tuberías en el mismo lado)

conseguir el objetivo de durabilidad definido por los ingenieros de Garrett[®] durante su desarrollo, el turbo necesita agua fluyendo a través de él. La principal ventaja de la refrigeración se nota una vez apagado el motor.

El calor almacenado en la carcasa y el colector de escape, origina un "golpe de calor" en el cuerpo del turbo después de apagar el motor. Si la refrigeración por agua no está instalada correctamente, este intenso calor puede potencialmente destruir el sistema de cojinetes o rodamientos y el segmento que se encuentra detrás de la cabeza de la turbina de escape.

¿Cómo funciona la refrigeración por agua?

El proceso físico de la refrigeración por agua del turbo es muy interesante y trabaja de diferente manera de lo que parece obvio. Es cierto que durante el funcionamiento normal del motor el agua fluye a través del cuerpo debido a la presión creada por la bomba de agua. No obstante, un fenómeno adicional llamado "sifón térmico" empuja el agua a través del cuerpo si las tuberías están bien instaladas, e incluso continua cuando la bomba de agua ya no funciona.



Vista de la sección del cuerpo donde se aprecia la cavidad para la refrigeración por agua (azul) y aceite (amarillo). El agua rodea completamente el cartucho de rodamientos (naranja) y se aprecian las conexiones para el agua a ambos lados.

El calor en el cuerpo es transferido al agua vía conducción, igual que el efecto refrigerante que se produce en cualquier motor refrigerado por agua (con una camisa de agua rodeando cada cilindro y atravesando la culata). Si el agua que atraviesa el turbo la dejamos circular libremente después de atrapar el calor hasta el elemento refrigerante, esta volverá al cuerpo del turbo enfriada. De esta manera el intenso calor que se irradia después de apagar el motor es eliminado de los cojinetes, rodamientos y segmentos, y prevenimos que se originen serios daños en el turbo cuando la bomba de agua ya no funciona.

¿Cómo alarga la vida del turbo la refrigeración por agua?

El "golpe de calor" es el principal causante del fallo de los turbos y tienen que tenerse muy en cuenta por los ingenieros desarrolladores de motores y por los usuarios. Este calor tan dañino se origina en el sistema de escape. Durante el uso extremo del motor grandes cantidades de gases a muy altas temperaturas llegan al colector, la caracola y la turbina de escape. Estos componentes están diseñados para soportar muy altas temperaturas mediante un cuidado diseño y la elección de materiales especiales. No obstante el calor almacenado en estos componentes tiende a desplazarse a lugares más fríos por conducción como el cuerpo del turbo, el sistema de cojinetes o rodamientos y el eje del turbo que no están diseñados para soportar estas altas temperaturas, ya que estos están en contacto unos con otros. Mientras el motor está funcionando y el aceite circula a través del sistema de cojinetes o rodamientos del turbo, la mayoría del calor puede ser absorbido por el aceite, previniendo el daño de los cojinetes y los segmentos.

Una vez que paramos el motor, el aceite deja de circular a través del turbo y los gases no pasan por el sistema de escape, (pero todo el calor almacenado en el colector de escape y la caracola del turbo permanece). Este calor tiene que ir a algún lado. Solo puede escapar vía conducción hacia el cuerpo del turbo y el turbo de escape, o ser radiado en el aire que le rodea debajo del capó.

Una pequeña cantidad de calor es irradiada a través del aire pero la mayor parte del calor se transfiere a través de la caracola de escape al cuerpo del turbo, ya que este está a una temperatura menor. Adicionalmente algo de calor se transfiere al sistema de cojinetes o rodamientos y al eje de la turbina. Durante esta fase de enfriamiento de la caracola y el escape, como consecuencia del "golpe de calor" que se produce en el turbo, la temperatura del cuerpo, los cojinetes, los segmentos y los restos de aceite que quedan en el interior son más elevadas que en las condiciones normales de funcionamiento, ya que el aceite no está presente para enfriarlos.

Este efecto es más perjudicial en tanto la caracola de escape sea mayor. Las caracolas de escape con mayores A/R (y/o menor masa) almacenan más calor durante el funcionamiento del motor. Por lo tanto hay mayor riesgo de daños al turbo cuando apaguemos el motor.



Las altas temperaturas que permanecen en el colector y la caracola de escape una vez que el motor se ha apagado, se irradian por convención al interior del turbo (en la dirección de las flechas amarillas) donde puede dañar los rodamientos y los segmentos.

¿Cómo puede dañarse un turbo por insuficiente refrigeración?

Ahora que hemos visto como funciona la refrigeración por agua del turbo, y que es lo que puede pasar, podemos empezar a entender las consecuencias de una insuficiente refrigeración. El sistema de cojinetes o rodamientos y los segmentos pueden dañarse por sobrecalentamiento. Los cartuchos de rodamientos son muy robustos y resistentes a los excesos, pero todo tiene un límite. Los cartuchos de rodamientos están compuestos por unas regatas interiores, dos conjuntos de bolas y retenes y una regata exterior. Las regatas interiores y exteriores están hechas de aceros de diferentes grados que le dan una gran dureza y resistencia durante el trabajo en condiciones normales, pero estas cualidades se reducen cuando las temperaturas son excesivamente altas. La dureza y resistencia de un cartucho de rodamientos típico empieza rápidamente a degradarse por encima de 150° C (300° F). Esto puede parecer bajo considerando que la temperatura de los gases de escape puede llegar a los 980° C (1800° F) en cualquier motor turboalimentado de gasolina, pero el cartucho de rodamientos está protegido por varias líneas de defensa: un plato de calor detrás de la turbina, contacto reducido entre la caracola de escape y el cuerpo (reduciendo la transferencia de calor), el aceite y el agua que lo refrigeran durante el funcionamiento, y la refrigeración por agua que lo protege después de apagar el motor.

Examinando la refrigeración por agua específicamente, vemos que la camisa de agua dentro del cuerpo envuelve el cartucho de rodamientos y está diseñada para mantener la temperatura de este por debajo de los límites para prevenir su fallo. Cuando la refrigeración esta anulada o no se usa correctamente, la temperatura del cartucho de rodamientos puede elevarse por encima de sus límites, provocando un aumento de la holgura del rotor y que las turbinas rocen con sus respectivas caracolas provocando una rotura catastrófica del turbo. Además este aumento de la temperatura provoca que las tolerancias dentro del cartucho disminuyan. Si las temperaturas se mantienen muy altas y el turbo funciona a muy altas revoluciones durante mucho tiempo, el cartucho de acero de los rodamientos puede griparse, causando también la rotura del turbo.

La alta velocidad del rotor implica siempre altas presiones de soplado, así que los conductores que utilicen altas presiones de soplado deben ser extremadamente cuidadosos a la hora de instalar el sistema de refrigeración del turbo. Las presiones de soplado varían de un turbo a otro, pero suelen girar alrededor de 1.7 bares (25psig).



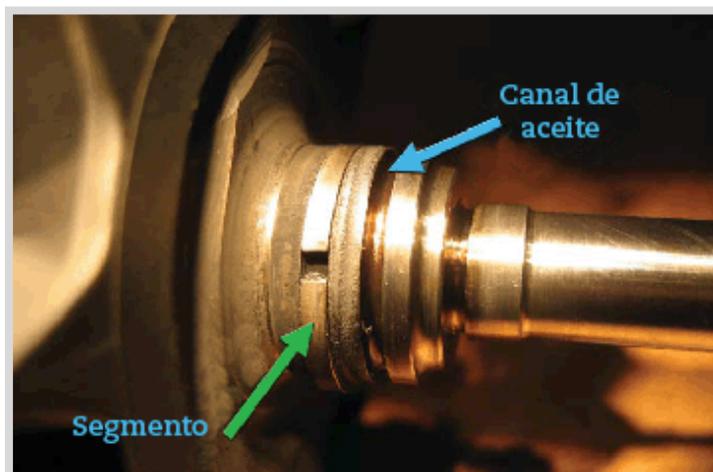
Pistas de los rodamientos dañadas por el intenso calor y las altas revoluciones. Los rodamientos han estado funcionando en condiciones muy desfavorables sobre estas superficies.

Cada rodamiento dentro del cartucho doble de rodamientos de Garrett® es fijado en su posición por un retén, y hay un retén por cada juego de bolas: una en el lado del compresor y otra en el de escape. Las elevadas temperaturas pueden dañar estos retenes y aumentar la holgura del rotor (o juego), las turbinas rozarán en los alojamientos y otra vez se producirá una rotura catastrófica del turbo. **¡Mantén tus rodamientos felices - no los recalientes!**



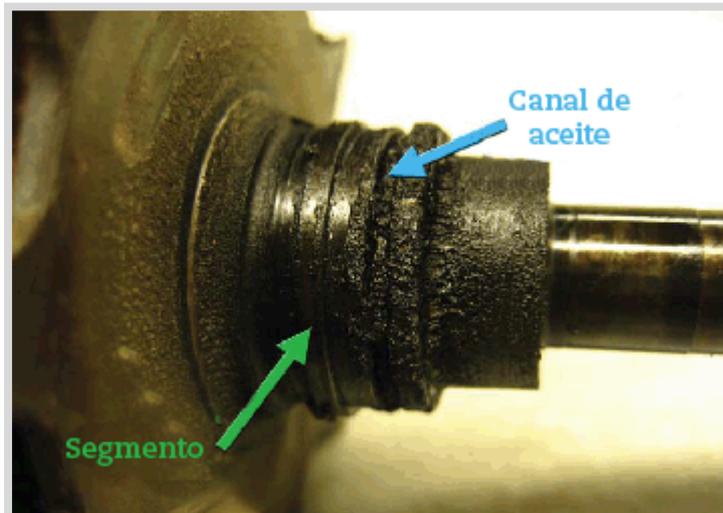
Cartucho de rodamientos sobrecalentado, lo hemos desarmado para ver los daños en el retén (abajo a la izquierda). Las pistas también están azuladas y dañadas. Una holgura excesiva es el resultado del daño en el retén y las pistas, y por lo general acabo produciendo el roce de las turbinas con sus caracolas, y como consecuencia la destrucción del turbo.

La refrigeración insuficiente y las altas temperaturas no sólo son un riesgo para los cojinetes; también pueden destruir los segmentos. Cuando el aceite está recalentado, se oxida y produce carbonilla, un residuo que aparece como depósitos negros sólidos. Los segmentos de los turbos no son segmentos convencionales de caucho o goma ya que no serían capaces de mantener la estanqueidad a estas temperaturas dentro del turbo. Son en realidad segmentos de acero que se alojan en las canaladuras del eje. Son elásticos y diseñados para presionar contra el borde del cuerpo, igual que un segmento de un pistón en un cilindro. Necesitan además tener cierta tolerancia de movimiento para trabajar adecuadamente, una pequeña porción de movimiento axial es necesaria (dentro-fuera en el sentido del eje).



Segmento de escape en el que se aprecia el espacio de ajuste. La turbina está a la izquierda y el eje a la derecha. Estas piezas están usadas pero en perfectas condiciones (no están sobrecalentados ni presentan depósitos de carbonilla visibles).

Si sobrecalentamos el aceite se formarán depósitos de carbonilla en el área del segmento que impedirán el movimiento del segmento. Esto nos puede llevar a que el segmento roce con el eje, lo cual no debe pasar nunca. Esta restricción del movimiento del segmento añadida al sobrecalentamiento, origina que el segmento se deforme y se expanda dentro su alojamiento en el cuerpo.



Turbina y eje similar pero este ha estado sobrecalentada repetidamente. El segmento y su alojamiento están llenos de carbonilla. Si el segmento todavía no se ha colapsado es cuestión de tiempo que lo haga. Una fuerte decoloración del eje es visible en la parte derecha de la imagen, indicando que el turbo no ha sido correctamente refrigerado o ha funcionado por encima de las temperaturas permitidas.

Esta deformación (irreversible) es conocida como colapso del segmento, y una vez que se enfría provoca que el segmento pierda su elasticidad y no vuelva a desempeñar su función selladora nunca más. En estas condiciones, la pérdida de funcionalidad del segmento provoca la pérdida de aceite desde el cuerpo a la carcasa de escape, generando humo al quemarse el aceite con los gases de escape.

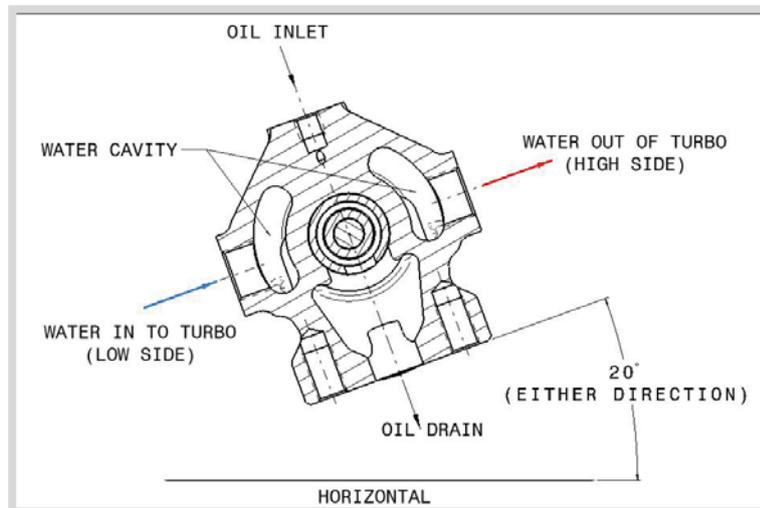
¿Cuál es la forma correcta de instalar la refrigeración por agua en el turbo?

Los efectos perjudiciales del “golpe de calor” se pueden prevenir mediante una correcta instalación de las tuberías de refrigeración del sistema de refrigeración. La refrigeración por agua del turbo no es un proyecto complejo. Las tuberías de agua del turbo deben conectarse al sistema de refrigeración del motor y deben conectarse a la parte caliente si es posible. El anticongelante se puede usar sin problemas (los turbos Garrett® refrigerados por agua están cualificados para usar durante el “golpe de calor” una mezcla 50/50 de agua y anticongelante, a una temperatura de 91° C (196° F). Para obtener el mayor beneficio de la refrigeración, el cuerpo del turbo tiene que girarse sobre el eje central (el eje de la turbina) hasta que los agujeros de refrigeración formen un ángulo de 20° sobre la horizontal. Esto es necesario para que se produzca el efecto de “sifón térmico” comentado anteriormente.

El agua entrante (lado frío, desde el sistema refrigerante del motor) debe conectarse al agujero más bajo de las conexiones después de haber girado el cuerpo. La salida de agua caliente hacia el sistema de refrigeración del motor debe hacerse a través del agujero que esté más alto y permitirá al agua viajar “cuesta arriba” el camino de regreso

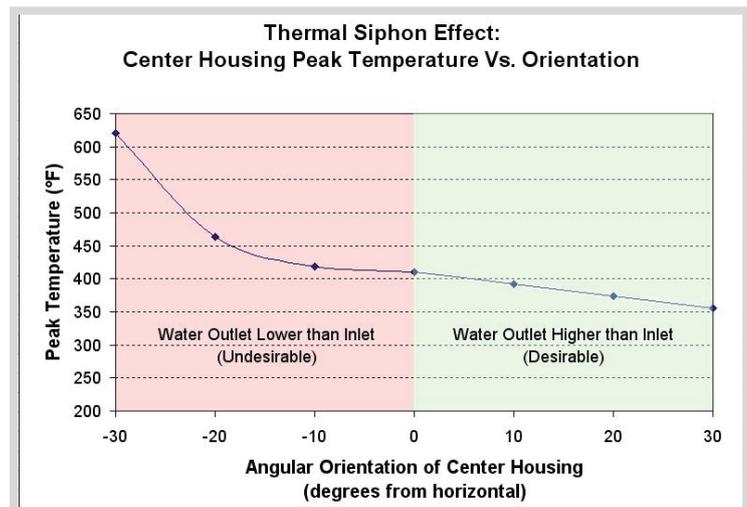
al sistema de refrigeración del motor. La tubería de retorno no debe tener revueltas ni trampas que impidan el libre flujo del agua. Cualquiera de los dos lados del turbo puede usarse como salida, el cuerpo está diseñado para que la refrigeración funcione en os dos direcciones.

La disposición correcta de las tuberías, con el lado frío entrando por abajo, rodeando el interior y saliendo por la parte superior, reduce la formación de bolsas de aire y evita que haya restricciones del flujo de agua durante la fase de “sifón térmico” después del apagado del motor. De esta manera conseguimos un efecto completo y las temperaturas del interior del turbo serán las más bajas posibles. Las pruebas en el laboratorio de Garrett® han demostrado que los picos de temperatura en el interior del cuerpo pueden reducirse hasta 50° C (90° F) cuando el cuerpo del turbo está girado para permitir la salida de agua caliente por la parte superior. Si giramos el cuerpo más de 20° sobre la horizontal el efecto refrigerante es menor y además dificultamos la salida de aceite del cuerpo, 20° es lo máximo que podemos girar el cuerpo.



Vista en sección del cuerpo del turbo, en la que se aprecia el cartucho de rodamientos, la entrada y salida de aceite y las conexiones de agua a ambos lados.. El cuerpo se debe girar 20° sobre la horizontal en cada dirección para facilitar el efecto “sifón térmico”.

En este gráfico vemos los picos de temperatura según la rotación del cuerpo, medidos durante el “golpe de calor”. La zona azul a la derecha muestra bajas temperaturas resultado de un montaje correcto de las tuberías con la salida más alta que la entrada. La zona roja muestra un incremento dramático de la temperatura debido a un montaje erróneo de las tuberías, con la salida más baja que la entrada.



Hay muchos tipos válidos de tuberías que podemos usar, pero debemos seguir unas cuantas reglas para que la instalación funcione correctamente. Asegúrate de que las tuberías y conductos están certificados para la temperatura máxima que puede tener el refrigerante en tu motor, y que será de 125° C (250° F) como mínimo e incluso en algunos casos mayores. Las tuberías y conductos deben ser compatibles con el uso de agua y anticongelante, la mayoría lo son. Las conexiones (tipo AN 37° fl) son las recomendadas por su fácil instalación y su sistema anti-pérdidas, además una gran variedad de adaptadores para los conexiones están disponibles a través de muchos distribuidores.

Cualquiera de las tuberías rígidas o flexibles se puede usar, pero debemos tener especial cuidado con las rígidas para que no se dañen con las vibraciones. Cuando el motor está funcionando es normal que vibre, pero habrá también movimiento en las tuberías cuando el motor gira sobre sus soportes en los momentos de máxima potencia y torsión. Las tuberías rígidas sin elementos de conexión flexibles en sus extremos pueden romperse o doblarse por las vibraciones del motor o por fatiga, dependiendo de cómo estén instalados. Las tuberías rígidas dañadas provocan la pérdida de líquido refrigerante, por lo tanto tenemos que tener un cuidado especial si usamos este tipo de tuberías.

La mayoría de los motores están refrigerados por agua, lo que hace que la instalación de la refrigeración del turbo sea sencilla. Los motores refrigerados por aire que existen en coches de carreras necesitan algo más de trabajo para la instalación de turbos refrigerados por agua. Debemos instalar un sistema de refrigeración aparte que tenga un depósito para el refrigerante, un pequeño radiador y además una bomba de agua eléctrica. Si el efecto "sifón térmico" es lo que estamos buscando principalmente no necesitaremos la bomba de agua ya que este sistema funciona solo cuando apagamos el motor. Si tienes alguna duda monitoriza el sistema refrigerante con relojes para conocer la temperatura en cada momento y comprobar que el montaje es el correcto, el agua debe entrar en el turbo a una temperatura inferior a 121° C (250° F). Vehículos con temperaturas en el escape muy bajas y sin sistema de refrigeración (motores diesel de baja potencia o motores de metanol/alcohol para dragsters, por ejemplo) no necesitan la refrigeración del turbo. En estos casos se debe monitorizar todas las condiciones del turbo para asegurarnos de que los rodamientos están en buenas condiciones y no se forman depósitos de carbonilla. En caso de duda instalar el sistema de refrigeración de agua.

En resumen, la refrigeración por agua es un sistema limpio y sencillo para los turbos que van equipados con conexiones para su refrigeración. Las consecuencias del sobrecalentamiento del turbo son muy destructivas, por lo que la instalación de un sistema de refrigeración bien diseñado, nos permitirá el uso del turbo en extremas condiciones y además alargará su vida útil. Haciendo el pequeño esfuerzo de montar las tuberías al turbo les estas dando la oportunidad de sobrevivir en las más duras condiciones.



Lista de comprobación

1. Girar el cuerpo del turbo 20° sobre la horizontal, en cualquier dirección, una vez el turbo esté instalado.
2. Elegir un sitio donde conectar el sistema de refrigeración al sistema del motor. El turbo puede ser conectado en línea a una tubería caliente si es necesario.
3. Asegúrese de que el agua fluye a través del turbo aunque el termostato este abierto o cerrado.
4. Compruebe en www.turbosbytm.com o en el catálogo de Garrett[®] las especificaciones sobre las roscas de las conexiones de su turbo.
5. Elija las tuberías y adaptadores en función del tipo de instalación que desee hacer y las conexiones del turbo.
6. Conecte el lado frío (entrada) en la conexión inferior de agua del cuerpo del turbo.
7. Conecte el lado caliente (salida) a la conexión superior de agua del cuerpo del turbo.
8. Asegúrese de que no hay recovecos ni ondulaciones en la tubería de salida de agua hacia el sistema de refrigerante.
9. Si utiliza tubería rígida en cualquier parte del sistema de refrigeración use conexiones flexibles entre las tuberías para prevenir su rotura por las vibraciones o por la torsión del motor.
10. Use arandelas de deformables para sellar las conexiones de agua del cuerpo del turbo.
11. Cuando rellenes de anticongelante el circuito después de la instalación del turbo, comprueba frecuentemente el nivel y rellénalo si es necesario.
12. Sangra el circuito de refrigeración para estar seguro que no quedan bolsas de aire.
13. Si el motor es refrigerado por aire, considerada la posibilidad de instalar un sistema de refrigeración separado si usas un turbo refrigerado por agua.