

---

# Grupo electrógeno de 4000 kVA, 50 Hz: Pruebas con diésel y HVO

## RESUMEN

Este documento proporciona detalles y conclusiones resumidas de la evaluación en una celda de pruebas de fábrica de un grupo electrógeno Cat® C175-20, 4000 kVA, 50 Hz, que utiliza combustible diésel y aceite vegetal hidrotratado (HVO).

## Resumen ejecutivo

Este documento describe las pruebas comparativas realizadas en un grupo electrógeno diésel Cat® C175-20, 4000 kVA, 50 Hz, que funciona con diésel y aceite vegetal hidrotratado (HVO) para determinar las diferencias de rendimiento, niveles de humo y óxidos de nitrógeno (NOx). Los resultados de las pruebas, que se detallan en este documento, pueden resumirse de la siguiente manera:

### Impacto positivo utilizando HVO

- En comparación con el diésel, las emisiones de humo fueron menores.
- El tiempo de arranque fue más rápido que el del diésel, y la respuesta transitoria del HVO fue igual o ligeramente mejor (menor frecuencia y caída de voltaje).

### Observaciones adicionales (se esperaban los siguientes resultados; no excluyen el uso de HVO como combustible)

- Durante el funcionamiento con HVO, el motor pudo alcanzar la potencia nominal máxima en el grupo electrógeno C175-20, aunque el suministro de combustible necesario fue un 1.5 % mayor que el diésel a carga nominal.
- Las emisiones de NOx no fueron considerablemente diferentes en los puntos de carga típicos (es decir, 0-15 % y >50 % de carga).

## Introducción

Caterpillar es líder mundial en el desarrollo y producción de motores diésel pesados.

Durante décadas, Caterpillar ha estado monitoreando el desarrollo de combustibles renovables y alternativos, y la empresa participa en el desarrollo de especificaciones adecuadas para garantizar la exitosa aplicación de estos combustibles en motores Cat®. Los combustibles líquidos renovables más comunes y disponibles se derivan de recursos renovables como cultivos plantados (soya, palma, colza, etc.), aceite de cocina usado, grasa animal, biomasa, algas y otros. Según el modelo GREET utilizado por la Junta de recursos del aire de California (CARB), los biocombustibles renovables como el biodiésel y el HVO pueden reducir las emisiones de GEI del ciclo de vida. Su proveedor de combustible puede ayudarle a determinar qué biocombustibles ofrecen la mayor reducción de GEI<sup>1,2</sup>. Una forma de combustible renovable, el aceite vegetal hidrotratado (HVO), también llamado Diésel renovable (RD), se obtiene a partir de grasas y aceites vegetales y animales mediante un proceso de hidrotratamiento.

Caterpillar ha aprobado el uso de HVO en los motores diésel Cat durante más de una década. Para comprender mejor el rendimiento y el impacto medioambiental del uso de HVO como combustible en un motor diésel, Caterpillar realizó un estudio comparativo de combustible diésel y HVO en un grupo electrógeno diésel Cat® C175-20.

## Combustibles probados

Para obtener más información sobre el rendimiento y el impacto medioambiental del HVO específico del motor de la SERIE C175, se utilizó un grupo electrógeno C175-20, con una potencia nominal de 4000 kVA a 50 Hz, para realizar un estudio comparativo de combustible diésel frente a HVO. Durante esta prueba se utilizó un 100 % de HVO (R100) y se comparó con combustible diésel ultra bajo en azufre (ver Cuadro 1) en una celda de pruebas del Centro de grandes motores de Caterpillar en Lafayette, Indiana.

|                                   | <i>Diésel ultra bajo en azufre (ULSD)</i> | <i>Aceite vegetal hidrotratado (HVO)</i> |
|-----------------------------------|---|--|
| T90 (°C)                          | 308                                       | 294                                      |
| Densidad a 15 °C (g/mL)           | 0.850                                     | 0.781*                                   |
| Índice de cetano, calculado       | 40.2                                      | 77.9*                                    |
| Contenido de azufre (ppmw)        | 13  | 0  |
| Viscosidad a 40 °C (cST)          | 2.3                                       | 2.9*                                     |
| Punto de enturbamiento (°C)       | -27*                                      | -31*                                     |
| Aromáticos, por peso (%)          | 28.3*                                     | 0.8*                                     |
| Punto de inflamación (°C)         | 59.5*                                     | 73.5*                                    |
| Poder calorífico superior (MJ/kg) | 45.5*                                     | 47.1*                                    |
| Poder calorífico inferior (MJ/kg) | 42.8*                                     | 43.9*                                    |

*\*Valores basados en las características enumeradas en el certificado de análisis de combustible o en la especificación del combustible; otros valores de la ficha representan resultados de análisis de combustibles realizados en los laboratorios del Centro tecnológico de Caterpillar. Las especificaciones del combustible (ASTM D975, EN590 y EN15940) indican rangos o valores máximos/mínimos para distintas características.*

**Cuadro 1: Características del combustible de prueba**

<sup>1</sup> “Junta de recursos del aire de California”. Intensidades de carbono certificadas por la LCFS | Junta de recursos del aire de California, 21 de dic. 2018, <https://ww2.arb.ca.gov/resources/documents/lcfs-pathway-certified-carbon-intensities>.

<sup>2</sup> El protocolo sobre GEI ([www.ghgprotocol.org](http://www.ghgprotocol.org)) no dispone actualmente de un método establecido para determinar las reducciones de CO2 del ciclo de vida derivadas del uso de combustibles biogénicos.

## Configuración de la prueba

El grupo electrógeno se evaluó en una celda de pruebas en el Centro de grandes motores de Caterpillar en Lafayette, Indiana. La celda de pruebas se utiliza normalmente para pruebas de producción de grupos electrógenos y está equipada con un banco de carga reactiva.

Las Figuras 1 y 2 muestran las imágenes y los diagramas de la configuración de la prueba.

El combustible diésel utilizado para la prueba procedía de un tanque común que abastece a las celdas de prueba de la instalación, mientras que en una celda de prueba adyacente se instaló un tanque temporal para el HVO.

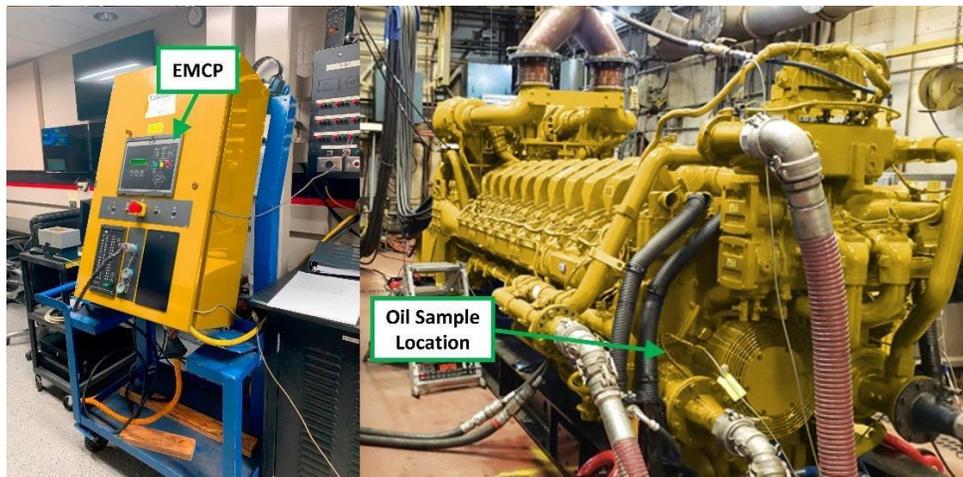


Figura 1: Grupo electrógeno C175-20 4000 kVA instalado en la celda de pruebas

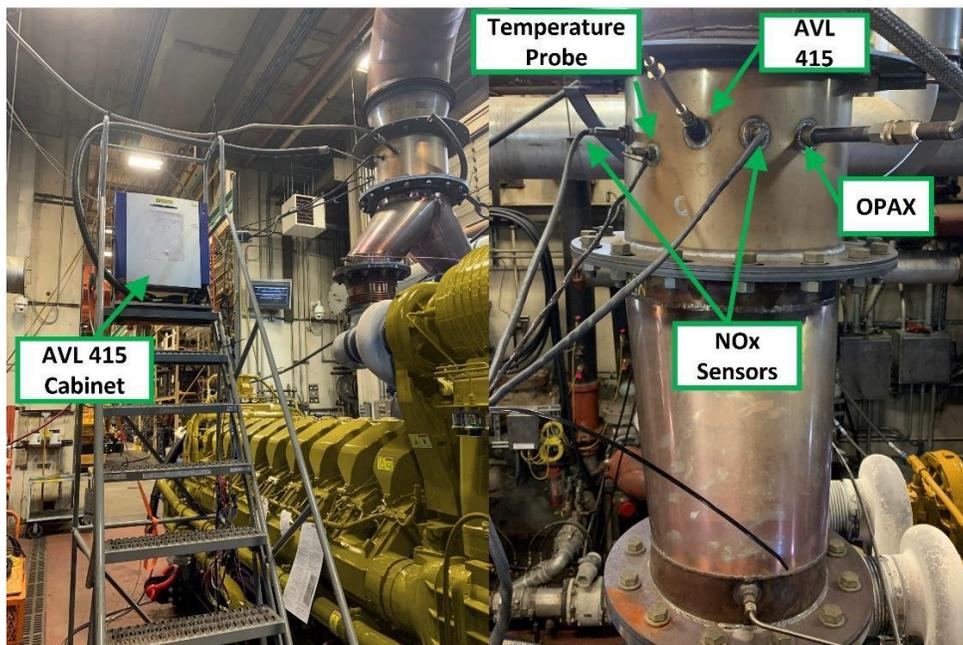


Figura 2: Sensores de emisiones y equipo de análisis

## Procedimiento de la prueba

El procedimiento de la prueba que se realizó en un período de cinco días es el siguiente:

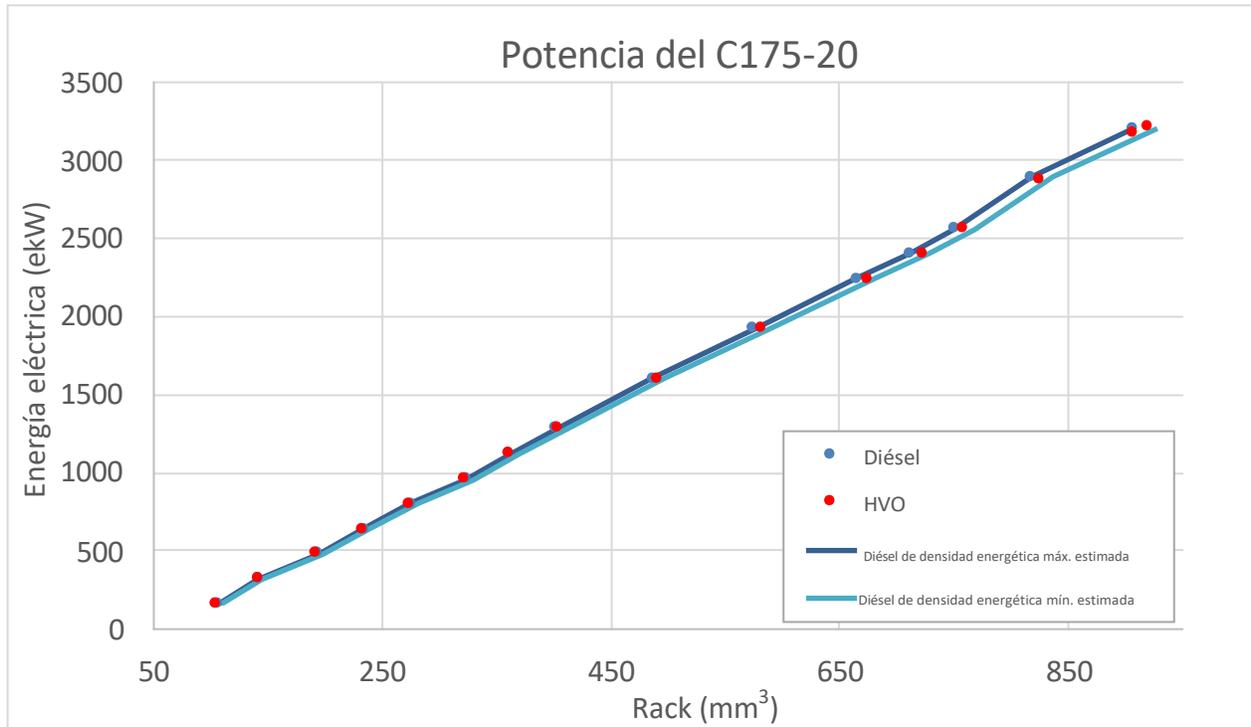
- 1) Instalar el grupo electrógeno y realizar actividades de depuración de la celda de pruebas con combustible diésel.
- 2) Realizar y registrar tres pruebas de arranque según la NFPA (Asociación nacional de protección contra incendios) con combustible diésel.
- 3) Realizar y registrar quince puntos de rendimiento en estado estable con combustible diésel.
- 4) Realizar y registrar dos pruebas de carga transitoria ISO (Organización internacional de normalización) 8528-5 con combustible diésel.
- 5) Realizar y registrar dos pruebas del software de dimensionamiento Cat® (SpecSizer) con combustible diésel.
- 6) Realizar y registrar cuatro pruebas de carga de bloque con combustible diésel.
- 7) Purgar el sistema de combustible diésel haciendo funcionar el motor con 100 galones de HVO.
- 8) Realizar y registrar tres pruebas de arranque según la NFPA con HVO.
- 9) Realizar y registrar quince puntos de rendimiento en estado estable con HVO.
- 10) Realizar y registrar dos pruebas de carga transitoria ISO 8528-5 con HVO.
- 11) Realizar y registrar dos pruebas del SpecSizer con HVO.
- 12) Realizar y registrar cuatro pruebas de carga de bloque personalizado con HVO.
- 13) Purgar el sistema de HVO haciendo funcionar el motor con 378 litros de combustible diésel.
- 14) Cambiar los filtros de combustible del motor y de las celdas de pruebas.
- 15) Comprobar la potencia del paquete con combustible diésel, inspeccionar el paquete y retirar para prepararlo para el envío.

Las pruebas de arranque de ambos tipos de combustible se realizaron en primer lugar con una temperatura de entrada de la camisa de agua de 40 °C. La segunda y tercera pruebas de arranque de cada tipo de combustible se realizaron con una temperatura de entrada de la camisa de 60 °C. Las pruebas transitorias (ISO 8528-5 y SpecSizer) se realizaron con dos ajustes del regulador de voltaje (2 V/Hz y 4 V/Hz), y un factor de potencia (1). Las pruebas de carga de bloque personalizado se realizaron con dos ajustes del regulador de voltaje (2 V/Hz y 4 V/Hz), y dos factores de potencia (0.9 y 1).

En todos los puntos de carga, el motor funcionó con dos métodos de prueba diferentes. En primer lugar, se hizo funcionar el motor con la misma cantidad de combustible inyectado deseada, según los datos del módulo de control del motor (ECM). Este método de prueba proporciona el nivel esperado de reducción de potencia que un cliente vería a plena carga cuando el ECM está limitando la cantidad de combustible inyectado. Basándose en la simulación inicial, los ingenieros de Caterpillar esperaban medir entre un 0 y un 3 % de reducción de potencia con HVO a plena carga. En el segundo método, la potencia eléctrica se mantuvo constante para medir la diferencia de consumo de combustible en cada salida de potencia eléctrica.

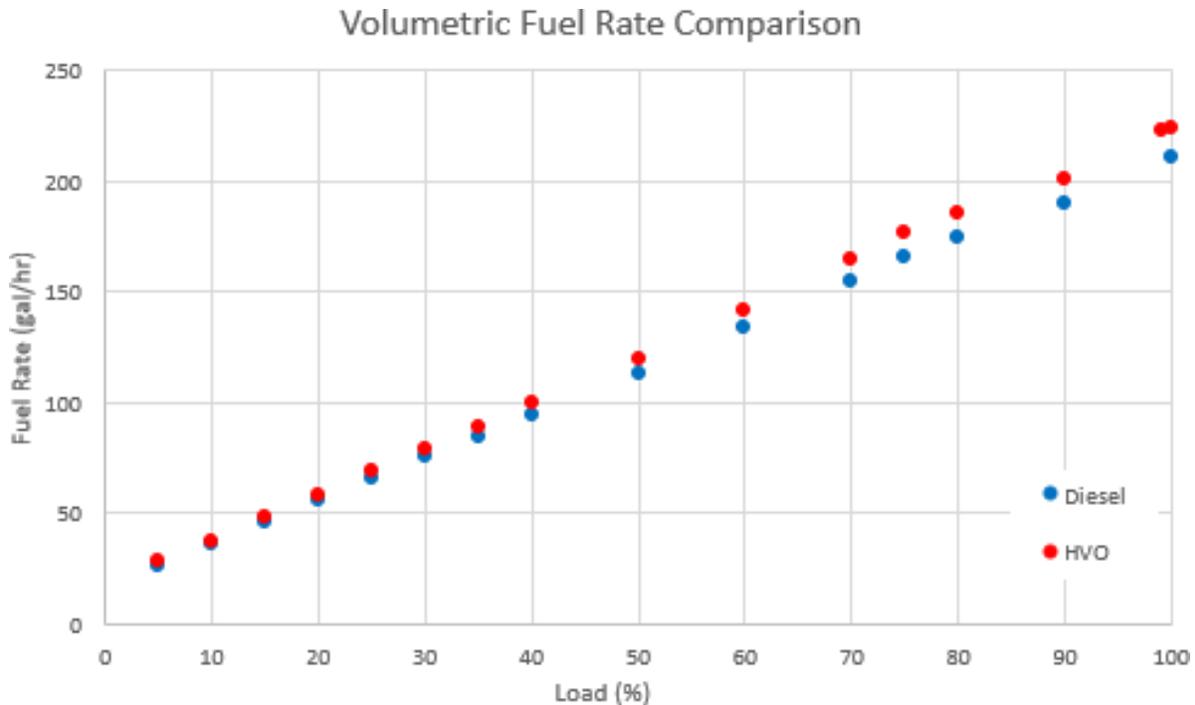
## Resultados de las pruebas

La prueba demostró que el motor alcanzaba un 1.1 % menos de potencia con HVO a igualdad de inyección de combustible, según lo informado por el ECM. Esto se muestra en la figura 3. El suministro de combustible del ECM necesario para alcanzar la misma potencia con HVO fue un 1.5 % superior, lo que está dentro de la variabilidad esperada del combustible diésel tradicional. Dado que la cantidad de HVO necesaria para alcanzar la potencia máxima estaba dentro de la variabilidad esperada de combustible diésel, el grupo electrógeno pudo proporcionar la potencia nominal sin necesidad de ajustes. Cuando funcionan con combustible HVO, la mayoría de los grupos electrógenos de la serie C175 no experimentan ninguna reducción de la potencia eléctrica nominal en condiciones de funcionamiento típicas.



**Figura 3: Comparación de energía eléctrica en estado estable**

También se registró el combustible consumido en estos quince puntos de estado estable. En la figura 4 se muestra en galones por hora. El consumo volumétrico de combustible se basa en la medición de un caudalímetro en el sistema de combustible de baja presión. El aumento del consumo de combustible fue equivalente a la diferencia de densidad energética por unidad de volumen entre el HVO y el diésel. Los clientes deben prever un consumo de combustible ligeramente superior cuando utilicen HVO.



**Figura 4: Comparación de combustible consumido en estado estable**

Se instalaron sensores de NO<sub>x</sub> de automóviles y equipos de medición de la opacidad del humo para medir los cambios en las emisiones entre los distintos combustibles. Solo deben considerarse los cambios relativos entre los combustibles, ya que estas mediciones no se realizaron en una celda de pruebas de certificación. Los resultados de las mediciones de NO<sub>x</sub> no muestran diferencias significativas con cargas superiores al 35 % ni con cargas inferiores al 15 %. Se calcularon las emisiones del ciclo D2 con cada combustible para compararlas y no se encontraron diferencias apreciables entre el HVO y el diésel. El humo en estado estable fue significativamente inferior con HVO a cargas superiores al 30 % de la potencia nominal. Todas las mediciones de opacidad del humo durante la prueba se consideraron por debajo de lo que suele ser visible. En las figuras 5 y 6 se muestran los NO<sub>x</sub> específicos del freno y el humo (utilizando un medidor AVL) para catorce puntos en estado estable.

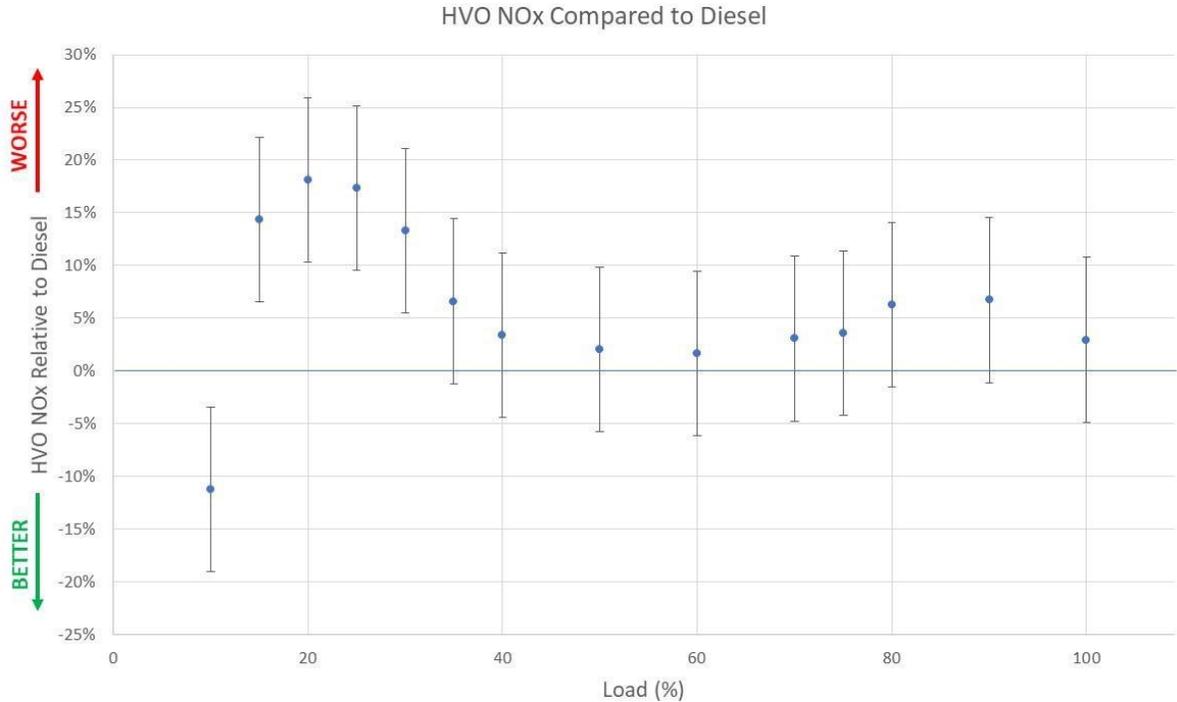


Figura 5: Comparación de BSNOx en estado estable

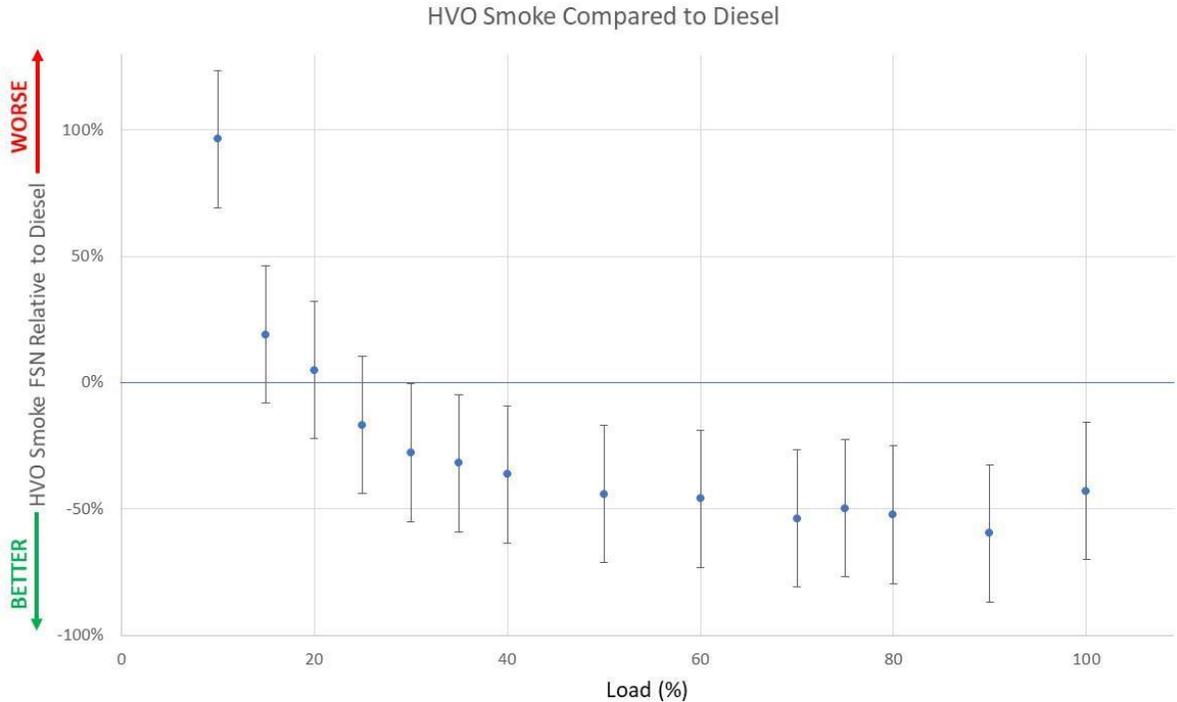


Figura 6: Comparación del humo en estado estable

El grupo electrógeno se probó de forma transitoria para determinar el impacto del cambio de combustible. En la figura 7 se muestra la caída de frecuencia frente a la carga del bloque para la prueba SpecSizer. La carga de bloque en la que la caída de frecuencia cruza el límite G2 aumenta del 0 %-59.8 % con diésel al 0 %-62.2 % con HVO.

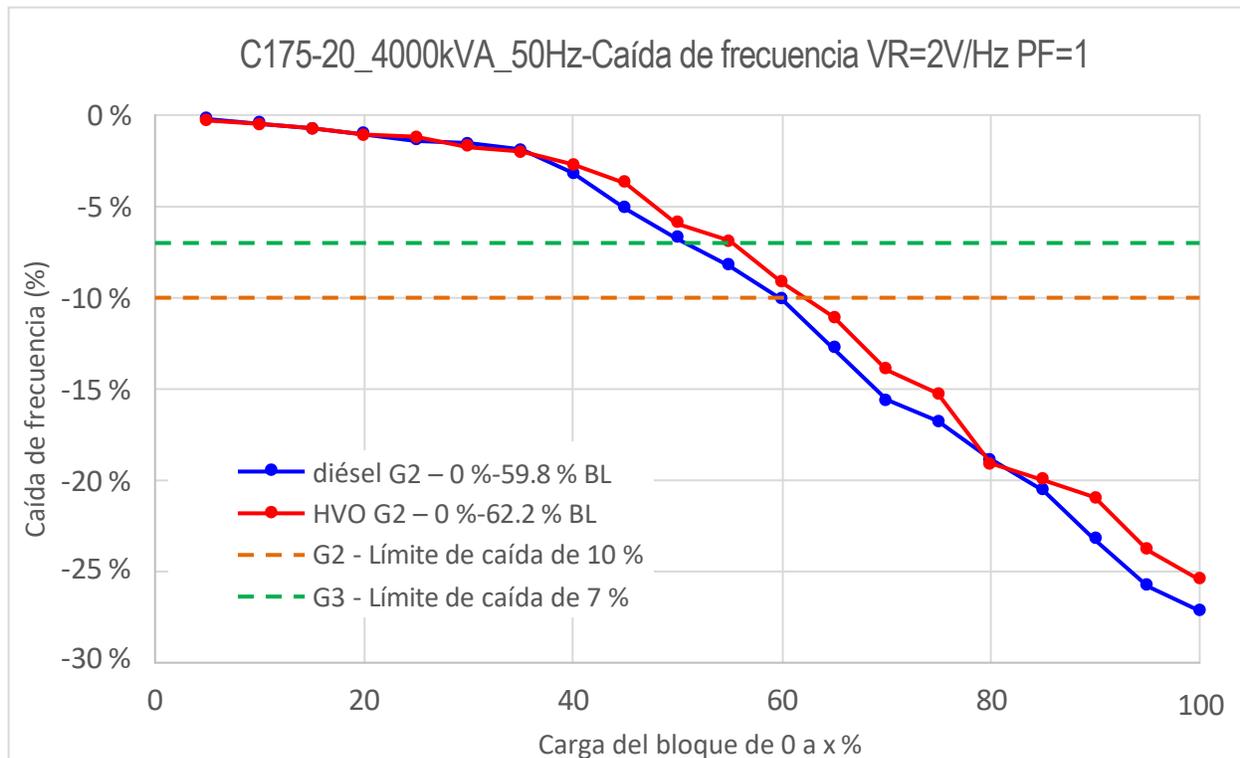


Figura 7: Comparación de la caída de frecuencia de la prueba SpecSizer

La figura 8 muestra gráficamente el comportamiento de la frecuencia con diésel frente al HVO durante la prueba SpecSizer a cargas de bloque de interés. Esta figura muestra tanto la caída de frecuencia como la recuperación de frecuencia de ambos combustibles.

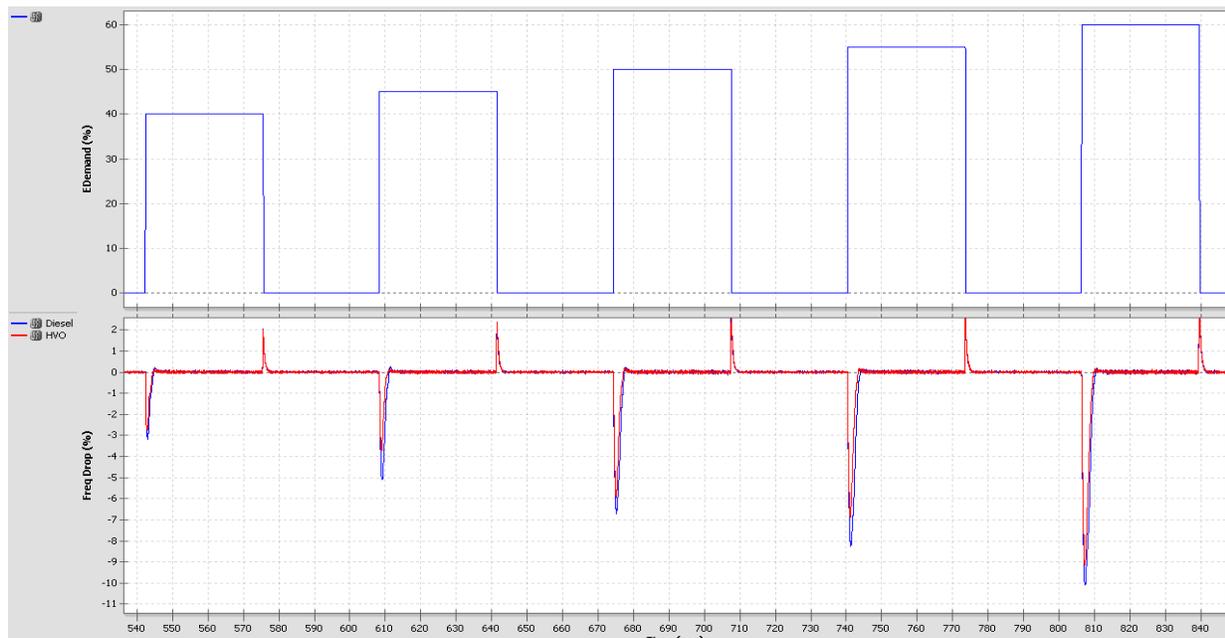


Figura 8: Comparación del comportamiento de frecuencias de cargas de bloque de 0 %-40 % a 0 %-60 %

Las pruebas de arranque con temperaturas de refrigerante del motor frías y calientes demostraron que el comportamiento del HVO es similar al del diésel. El HVO fue capaz de arrancar y alcanzar la potencia nominal una fracción de segundo más rápido que el diésel, tanto a temperaturas frías como calientes.

Caterpillar también ha evaluado la compatibilidad de los elastómeros utilizados en el sistema de combustible de la serie C175 con el HVO mediante pruebas de envejecimiento. Las juntas y los materiales para mangueras Cat® son compatibles con el HVO y todas las mezclas de HVO y diésel, sin efectos negativos para los componentes.

Se espera que otras potencias de la serie C175 tengan el mismo impacto direccional que se midió en estos datos de prueba al convertir de diésel a HVO. Se recomienda que el usuario final consulte al proveedor de combustible sobre la manipulación y el almacenamiento seguros del HVO.

## Resumen

Las pruebas demostraron la viabilidad del HVO como alternativa del combustible diésel:

- Durante el funcionamiento con HVO, el motor del grupo electrógeno C175-20 pudo alcanzar la potencia nominal máxima.
- El consumo de combustible fue ligeramente superior con HVO en todos los puntos medidos.
- En general, se registraron menos emisiones de humo y hollín al utilizar HVO. En la prueba de opacidad del humo, los resultados con HVO fueron aproximadamente el 50 % del diésel con cargas superiores al 30 % de la potencia nominal.
- En promedio, las pruebas de respuesta transitoria mostraron un 1.3 % menos de caída de frecuencia con el HVO.
- El tiempo de arranque con HVO fue igual o ligeramente más rápido que con diésel.

Se espera que otras potencias de grupos electrógenos de la serie C175 tengan el mismo impacto direccional que se midió en estos datos de prueba al convertir de diésel a HVO.

**LET'S DO THE WORK.™**

LEXE21232-01 Septiembre 2022

© 2022 Caterpillar. Todos los derechos reservados.

CAT, CATERPILLAR, LET'S DO THE WORK, sus respectivos logotipos, "Caterpillar Corporate Yellow", el "Power Edge" y la imagen comercial "Modern Hex" de Cat, así como la identidad corporativa y de producto que se utilizan en el presente, son marcas comerciales de Caterpillar y no se pueden usar sin permiso.

**CATERPILLAR®**