

# Adaptación del sistema ferroviario a los biocombustibles. Mejoras realizadas y perspectivas a futuro.

Adaptation of the railway system to biofuels. Improvements made and future prospects.

Presentación: 05/09/2023

## **Gabriel Andrés Rodríguez**

Laboratorio Químico (Centro Nacional de Desarrollo e Innovación Ferroviaria)  
garodriguez@fase.gob.ar

## **Adrián Ariel Carlomagno**

Línea Belgrano Sur (Trenes Argentinos Operaciones)  
adrian.carlomagno@trenesargentinos.gob.ar

## **Néstor Eduardo Parisi**

Laboratorio Químico (Centro Nacional de Desarrollo e Innovación Ferroviaria)  
nparisi@fase.gob.ar

## **Mariano Fernández Soler**

Gerencia de Gestión de la Innovación (Centro Nacional de Desarrollo e Innovación Ferroviaria)  
mfernandezsoler@fase.gob.ar

## **Damián Ezequiel López**

Laboratorio y Taller (Centro Nacional de Desarrollo e Innovación Ferroviaria)  
delopez@fase.gob.ar

## **Ignacio Layana**

Laboratorio y Taller (Centro Nacional de Desarrollo e Innovación Ferroviaria)  
ilayana@fase.gob.ar

## **Resumen**

En Argentina se utiliza biocombustibles en distintas proporciones en los combustibles, como corte obligatorio, desde la implementación de la Ley 26.093 de Promoción a los Biocombustibles. Los combustibles utilizados en el ferrocarril son el Diésel Grado 2 (500 ppm Azufre) y Diésel grado 3 (10 ppm Azufre), y actualmente poseen un 7,5 % de biodiesel el cual puede tener variaciones según dicten las resoluciones de la Secretaría de Energía de la Nación.

El cambio de la naturaleza química del combustible y su consecuente comportamiento en las instalaciones de las empresas ferroviarias, originaron una serie de inconvenientes en el abastecimiento de combustible de las Estaciones de Servicio y en el Material Rodante. A partir de esto, se realizaron ensayos para evaluar las consecuencias de la degradación del combustible y las condiciones atenuantes de la misma. En base a los resultados, se propusieron mejoras en las condiciones de almacenamiento, ciclos de uso del combustible y materiales utilizados en las instalaciones. Por último, se evaluó el impacto de esas mejoras propuestas implementadas y se analizó el panorama frente a los continuos cambios en el tipo y composición de los combustibles.

Palabras clave: Combustible, Ferrocarril, Degradación, Biocombustibles, Biodiesel.

## Abstract

In Argentina, biofuels are used in different proportions in fuels, as a mandatory cut, since the implementation of Law 26.093 for the Promotion of Biofuels. The fuels used in the railway are Grade 2 Diesel (500 ppm Sulfur) and Grade 3 Diesel (10 ppm Sulfur), and currently contain 7.5% biodiesel, which may vary according to the resolutions of the Secretary of Energy of the Nation.

The change in the chemical nature of the fuel and its consequent behavior in the facilities of the railway companies, originated a series of inconveniences in the fuel supply of the Service Stations and in the Rolling Stock. From this, tests were carried out to evaluate the consequences of fuel degradation and the mitigating conditions thereof. Based on the results, improvements were proposed in storage conditions, fuel use cycles and materials used in the facilities. Finally, the impact of these proposed improvements implemented was evaluated and the outlook was analyzed in the face of continuous changes in the type and composition of fuels.

Keywords: Fuel, Railway, Degradation, Biofuels, Biodiesel.

## Introducción

En el año 2019 se puso en marcha el Laboratorio Químico (en una primera etapa bajo la órbita de Trenes Argentinos Operaciones, y actualmente perteneciente al Centro Nacional de Desarrollo e Innovación Ferroviaria) orientado principalmente al análisis de Combustibles y Lubricantes ferroviarios.

Durante el año 2019, desde el Laboratorio Químico se pusieron en marcha relevamientos periódicos sobre instalaciones de descarga, almacenamiento y despacho de diésel de la empresa Trenes Argentinos Operaciones (de ahora en más citadas en el texto como Estaciones de Servicio) en los que se incluyeron análisis de laboratorio sobre muestras tomadas a pie de camión, tanques (fondo, medio y superficie) y pico de surtidor. En los análisis realizados sobre las Estaciones de Servicio de Remedios de Escalada, Tapiales, Haedo, José C. Paz, Victoria, José León Suárez, Retiro y La Plata se reportaron diversos desvíos sobre la calidad del combustible y el estado de las instalaciones. Dentro de los desvíos de calidad del combustible más recurrentes se encontraron la presencia de agua decantada, óxido (como sólidos en suspensión) y aspecto visible no cristalino (con sólidos amorfos en suspensión). En los informes de relevamiento realizados sobre las instalaciones se reportó la presencia de sustancias semisólidas y sólidas de color ámbar en tapas de tanques, picos de surtidores y en áreas cercanas a orificios de pérdida de combustible en cañerías.

Durante el mismo período se recibieron en el Laboratorio Químico muestras procedentes de locomotoras de Trenes Argentinos Operaciones, en donde se repitieron los mismos desvíos detectados durante los muestreos en las Estaciones de Servicio. Por otro lado, se recibieron consultas de las Líneas Roca y Belgrano Sur de Trenes Argentinos Operaciones, y de Trenes Argentinos Cargas por la presencia de sustancias sólidas y semisólidas de comportamiento pegajoso en circuitos de combustible de locomotoras.

El inicio de la Pandemia de COVID-19 originada por el virus SARS-CoV-2 y las consecuentes medidas gubernamentales de cuarentena en Argentina, plantearon un desafío con respecto a las medidas a tomar sobre el almacenamiento de combustible. La baja rotación (o en algunos casos, nula) de combustible en los tanques de almacenamiento y de locomotora profundizó los problemas originados por la presencia de sedimentos.

El creciente consumo de filtros y fallas de locomotoras debidos al combustible, originaron un estudio en profundidad de la problemática de aparición de sólidos y semisólidos en el diésel para poder buscar soluciones de aplicación en el corto plazo.

## Desarrollo

Como parte de la caracterización inicial de los problemas detectados, es importante destacar la diferencia entre las distintas partículas detectadas:

**Partículas sólidas:** El problema habitual en la formación de sedimentos, se halla vinculado a la presencia de partículas sólidas en tanques de almacenamientos y cañerías, las cuales son generalmente detenidas en filtros de los surtidores. Los casos más relevantes fueron detectados en Talleres Remedios de Escalada (Julio de 2019), José León Suárez (Junio de 2019 y Enero de 2020), Haedo (Agosto de 2019) en donde se reportaron elevada presencia de óxido

de hierro. En el caso de Retiro (Julio de 2019) en, se detectó los tanques 4 y 5 (conectados entre sí) elevado contenido de partículas color óxido y con brillo metálico, en donde por tratarse de una instalación nueva y al no encontrarse la misma situación en los tanques 2 y 3 se atribuye a contaminación externa.

Se realizó también control de surtidores de estaciones de Trenes Argentinos Operaciones en 2019, y de forma aleatoria extracción de filtros de surtidores para analizar su estado en donde se detectó que la contaminación de partículas sólidas vinculadas al óxido de tanques y cañerías es eliminada de forma efectiva en los mencionados filtros. Como ejemplo, en enero 2019 los filtros de los surtidores de José León Suárez se colmataron de forma temprana (se presume por la rotura de una vieja cañería) y en consecuencia la presión de bombeo desgarró el material filtrante, permitiendo el paso de los contaminantes sólidos a las locomotoras lo que produjo fallas tempranas en los filtros de las mismas.

Lacas y gomas: Los reportes por presencia de gomas y lacas en el combustible se dieron por consultas de la Línea Roca en Agosto de 2019, y por observaciones en tanques de combustible de la Línea Belgrano Sur durante el mismo año. La línea San Martín Cargas, y en menor medida Belgrano Cargas, han tenido inconvenientes importantes con el taponamiento de filtros en locomotoras con visible formación de “lacas” en filtros de locomotoras.

En un principio no ha sido posible detectar las lacas y gomas en diésel en laboratorio según los análisis de contaminantes por ASTM D 2709, ASTM D 189, ASM D 6217 ni por ASTM D 893 en nuestro laboratorio ni en los controles realizados por laboratorios privados para Belgrano Cargas y Logística debido a la naturaleza de los ensayos: Por ejemplo, en ASTM C 6217 los solventes utilizados para el lavado de los filtros diluyen las gomas y lacas retenidas, por lo que no pueden ser detectadas en el pesaje.

En cuanto al vencimiento del diésel, el proveedor de diésel de Trenes Argentinos recomendó no mantenerlo más de 2 meses sin ser utilizado debido a su baja estabilidad a la oxidación. En este sentido, San Martín Cargas detectó a través de sus controles una marcada diferencia en los resultados de Estabilidad a la Oxidación por ASTM D 2274 (ensayo que determina de forma indirecta la propensión a degradarse) entre combustibles de distintos talleres de almacenamiento con menos de 2 meses de antigüedad, lo que indica una dispersión en los tiempos de durabilidad en los combustibles.

Debido a las dificultades que actualmente generan este tipo de sedimentos semisólidos, como el taponamiento de filtros, se vuelve necesario entender y ajustar los métodos de detección de este tipo de anomalías en el diésel.

#### Hipótesis inicial de falla:

El diésel actualmente posee un corte obligatorio de 7,5 % de biodiesel debido a la ley 26.093 de promoción de biocombustibles. Si bien el desempeño como combustible del diésel mineral y el biodiesel (de origen vegetal o animal) es el mismo, difiere el comportamiento químico de ambos, dando como resultado que este último sea considerablemente más inestable.

Dependiendo del origen y las condiciones de almacenamiento, el biodiesel puede degradarse en días o en meses, y por ello se debe aditivar con antioxidantes y cuantificar su durabilidad para garantizar una fecha de vencimiento acorde al uso. Entre los ensayos utilizados para este fin se encuentran la Estabilidad a la Oxidación por ASTM D 2274 y ASTM 6425, en donde se produce un envejecimiento acelerado del combustible (con burbujeo de aire y temperatura elevada). La diferencia sustancial entre ambos ensayos se basa en el método para cuantificar. Mientras en un método se mide el tiempo en que demora en aparecer los primeros compuestos insolubles, en el segundo se mide el tiempo hasta que ocurre un cambio en la acidez.

La principal hipótesis al respecto de la degradación del combustible en Trenes Argentinos Operaciones se encuentra vinculada a la hidrólisis que ocurre en el biodiesel, esto es cuando, los ésteres metílicos de ácidos grasos, principal compuesto que conforma el biodiesel, se hidrolizan (se descomponen) en ácidos grasos, glicerol y otros compuestos. Esta mezcla de diversos compuestos químicos dispara un sinnúmero de reacciones, entre las cuales se encuentran las reacciones de polimerización. En este proceso ocurre un agrupamiento químico de moléculas para conformar moléculas de gran tamaño que a temperatura ambiente poseen estado sólido, pero que en suspensión en diésel poseen aspecto de gomas. Cuando estos compuestos se adhieren a superficies y entran en contacto con oxígeno, la polimerización continúa hasta endurecer las gomas formando lacas.

El productor de diésel debe aditivar con antioxidantes del combustible para que el mismo cumpla con el valor mínimo de Estabilidad a la Oxidación (8 h. en ASTM D2274) exigido por la resolución 828/2010 de la Secretaría de Energía, lo cual evita la temprana oxidación y por ende la formación de estos depósitos.

La degradación del biodiesel presente en el biodiesel puede acelerarse por varios motivos. En lo que respecta a la naturaleza del biodiesel, Marta Martínez (2009) afirma que en combustibles elaborados con materias primas de alto

grado de insaturación (mayor presencia de enlaces dobles en ácidos grasos) se aceleran los procesos de polimerización e hidrólisis. Pero existen otros motivos que pueden acelerar la oxidación del biodiesel y dependen de las condiciones de almacenamiento.

La presencia de agua en el combustible favorece la reacción de hidrólisis en términos físico-químicos, pero además propicia un medio apto para la proliferación de microorganismos que también aumentan la aparición de sedimentos (Ganduglia et al., 2009).

Los materiales de construcción de tanques, cañerías y bombas también son importantes. El mismo autor afirma que el contacto con metales o aleaciones como el cobre, latón, bronce, plomo, estaño y zinc aceleran el proceso de degradación de biodiesel, por lo que es necesario incluir, en el análisis sobre la degradación del combustible, estos aspectos constructivos del sistema de abastecimiento.

Otro indicador relacionado a la oxidación del combustible es el aumento de la viscosidad, lo que trae aparejados problemas en la atomización del combustible y la pérdida de potencia en el motor (Bouaid et al., 2007), aunque el análisis de esta sólo sirve en términos comparativos del mismo combustible en dos etapas distintas.

#### Ensayos realizados en laboratorio:

Los ensayos de Estabilidad a la Oxidación arrojan una noción de propensión del diésel a oxidarse, pero no informan nada sobre el comportamiento del combustible interactuando en distintos escenarios. Por otro lado, los ensayos de Partículas Contaminantes con filtrado y lavado del diésel no reflejan con precisión la formación de gomas y lacas debido a que los mismos solventes utilizados para diluir y lavar el diésel diluyen de forma parcial o total a estos sedimentos. Por ello, a modo de caracterización, y para cuantificar las diferencias y comportamientos del diésel que se utiliza en Trenes Argentinos, se realizaron pruebas comparativas entre distintos combustibles:

Etapas 1 (2020-2021): Filtrado por método descrito a continuación, y Viscosidad a 40°C por ASTM D 445-04.

Etapas 2 (2022-2023): Espectrometría Infrarroja por Transformada de Fourier realizado sobre Gomas y Lacas por ASTM E1252.

#### Etapas 1:

Se colocaron en distintos recipientes:

- 1) Diésel Grado 2 en envase cerrado (sin presencia de aire).
- 2) Diésel Grado 2 en vaso de precipitados abierto.
- 3) Diésel Grado 2 con 20 % de agua (sin agitar), en vaso de precipitados abierto.
- 4) Diésel Grado 2 con 10 gramos de acero al carbono sumergido, en vaso de precipitados abierto.
- 5) Diésel Grado 3 en vaso de precipitados abierto.
- 6) Biodiesel elaborado con aceite vegetal sin aditivos, en vaso de precipitados abierto.
- 7) Biodiesel elaborado con grasa vacuna sin aditivos, en vaso de precipitados abierto.

Las muestras se mantuvieron en el laboratorio durante 10 días a temperatura ambiente (Durante los 10 días la temperatura fluctuó entre los 16°C y 24 °C).

#### Filtrado y Pesaje:

Se realizó el procedimiento descrito en la norma ASMT 6217, pero sin realizar el uso de solventes.

Se realizó el secado en estufa de filtros de celulosa de 0,8 µm a 110 °C durante 30 min y luego se realizó el pesado de los mismos secos. Luego se tomaron alícuotas de 20 ml de cada muestra.

Las muestras se filtraron con uso de Kitasato y bomba de vacío, y como recomienda la norma ASTM 6217 una vez que finalizó el filtrado se dejó encendida 30 segundos la misma para arrastrar el diésel residual.

Si bien se realizó el filtrado y se tomaron imágenes de microscopio, no se realizaron pesajes de las muestras de biodiesel (6 y 7) debido a que la composición del combustible es distinta a las muestras de B10 (90% de Diesel y 10 % de Biodiesel), y por ende la interacción con la celulosa es diferente (al absorber de forma diferencial no se puede trazar una comparación).

#### Etapas 2:

Para poder realizar una caracterización química completa, se colocó en un recipiente Diésel Grado 2 en contacto con un 20% de agua, en presencia de aire durante 10 días. Se realizó el mismo procedimiento descrito en la etapa 1, y se analizaron los sedimentos obtenidos en un Espectrómetro Infrarrojo por Transformada de Fourier según ASTM E 1252.

## Resultados

A simple vista, antes de filtrar las muestras, se pudo observar la presencia de gomas en suspensión en las muestras N° 3 y N° 7 (Figura 1). En el caso del Diésel Grado 2 con agua, se observó una interfase de color claro con aspecto de gomas, y en el biodiésel de origen animal los mismos se depositaron en el fondo.



Figura 1: Interfase Diésel y Agua en muestra N° 3.

En las imágenes de microscopio (Figura 5) se pueden observar con claridad los polímeros formados en las mismas muestras, los cuales se encuentran remarcados con un círculo. Por otro lado, se puede observar la distinta coloración de fondo producto de la tinción de la celulosa (más oscuro en muestra más oxidada). En las figuras 2, 3 y 4 se puede observar el contraste:



Figura 2: Filtro de muestra 1 (Diésel sólo)



Figura 3: Filtro de muestra 2 (Diésel en contacto con aire)



Figura 4: Filtro de muestra 3 (Diésel en contacto con agua y aire)

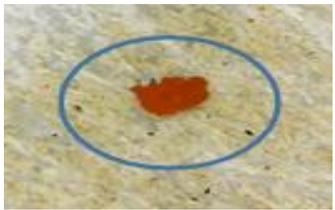
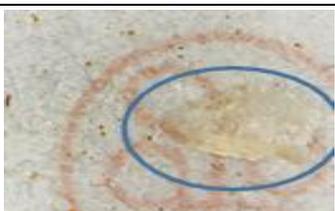
Muestra	Imagen	Observaciones
Muestra 1		Junto a la muestra 5 son las que menos oxidación demostraron. Se observa un color claro y sin presencia visible de gomas.
Muestra 2		Se observa el fondo con color levemente más oscuro, pero sin presencia de gomas.
Muestra 3		Esta muestra es la que posee mayor oxidación aparente, con presencia de gomas (remarcada en círculo azul).
Muestra 4		Se observa el fondo con color levemente más oscuro pero sin presencia de gomas.
Muestra 5		Junto a la muestra 1 son las que menos oxidación demostraron. Se observa un color claro y sin presencia visible de gomas.
Muestra 6		La muestra de biodiesel de aceite vegetal no tuvo cambio de coloración ni denotó formación de gomas.
Muestra 7		La muestra de biodiesel de grasa animal denotó presencia de un contenido importante de gomas (remarcado en círculo azul).

Figura 5: Imágenes de filtros realizadas con microscopio digital.

Con respecto a las muestras de B100 (Biodiesel Puro, muestras N° 6 y 7), en los polímeros que aparecieron en la muestra 7 se evidenció la propensión a la degradación del biodiesel de grasa animal, debido a su mayor auto-oxidación (M. Martínez, 2016). Por el contrario, en el caso del biodiesel de origen vegetal no se evidenciaron rastros de polímeros retenidos en el filtro.

Muestra	Resultado (g)	Diferencia porcentual con respecto a muestra (%)
1	0,0084	- 44
2	0,0150	0
3	0,0167	+ 25,7
4	0.0151	+ 1,5
5	0,0062	No Aplica (Diésel Grado 3)

Tabla 1: Pesajes sobre filtros

Estos análisis sirven para evaluar la diferencia de peso de filtros que se encuentra relacionada con el taponamiento de estos, y así poder trazar una línea comparativa en la degradación del compuesto en presencia de aire, agua y hierro como los tres elementos comunes en las instalaciones de Trenes Argentinos. Se detectó una variación considerable (Tabla 1) en el diésel en presencia de agua en los ensayos de filtrado y pesaje (25,7%) y en viscosidad (72%) con respecto a las muestras que no poseían la fase agua. Por otro lado, no se detectó incidencia alguna en la oxidación del combustible la presencia de hierro y óxido de hierro.

Se puede obtener:

- Un aumento de peso en el filtro en 0.0066 g en el filtro del diésel en contacto con aire.
- Un aumento de peso en el filtro en un 25,7% en la muestra N°3 (en contacto con agua y aire) con respecto al aumento de peso registrado en la muestra N° 2 (sólo en contacto con aire).
- Un aumento de peso en el filtro en un 1,5% en la muestra N°4 (en contacto con agua y hierro) con respecto al aumento de peso registrado en la muestra N° 2 (sólo en contacto con aire). En principio es un valor bajo, por lo que no influye el hierro en la oxidación del combustible.
- Un menor aumento de peso de la muestra N° 5 (Diésel Grado 3 en contacto con aire) con respecto a la muestra N° 1 (Diésel sin contacto con aire). Si bien no se pueden comparar debido a que desconocemos la diferencia de naturaleza entre ambos combustibles y sus respectivos aditivos, no se evidencia formación de gomas que se puedan detectar en este ensayo.

#### Viscosidad

Sólo se utilizaron muestras de Diésel Grado 2, debido a que son las únicas muestras que comparten la misma naturaleza química, y por ende se pueden comparar sus cambios desde el punto de vista de la oxidación.

Se realizó el procedimiento de análisis de Viscosidad a 40 °C según ASTM D 445-04.

Muestra	Método	Resultado (mm <sup>2</sup> /s)
1	ASTM D 445 - 04	3,52
2	ASTM D 445 - 04	3,63
3	ASTM D 445 - 04	3,71
4	ASTM D 445 - 04	3,63

Tabla 2: Viscosidad a 40 °C.

En esta medición (Tabla 2) se verifica cómo el cambio de viscosidad debido a la degradación del combustible aumentó en un 72% en presencia de agua. Por el contrario, no se observa diferencia entre las muestras N° 2 y 4 (contacto con aire y con hierro y aire) por lo que se evidencia la no interferencia del hierro en los procesos oxidativos.

Estos resultados pueden dar una dimensión sobre la aceleración en la oxidación del combustible que se produce en los tanques de almacenamiento de Trenes Argentinos Operaciones como en Tapiales (Tanques 1 y 2), Haedo (Tanques 1 y 2), José León Suárez (Tanque 2), Remedios de Escalada (Tanques 1, 2, 3 y 5) detectados entre Junio y Agosto del año 2019.

Finalmente, a partir de los resultados obtenidos, se realizaron una serie de recomendaciones que se extendieron a Material Rodante de todas las líneas pertenecientes a Trenes Argentinos Operaciones:

-Eliminar toda presencia de agua en tanques de almacenamiento y locomotoras (Se siguieron realizando relevamientos y limpiezas constantes).

-Eliminar el contacto de materiales que no sean aptos para combustibles y biocombustibles, y que puedan aportar sedimentos nuevos.

-Aumentar la rotación de combustibles en tanques de almacenamiento y locomotoras, modificando el régimen de carga y capacidad (Por ejemplo, en la Estación de Servicio de Remedios de Escalada, durante la pandemia se utilizaron 2 tanques de almacenamiento en lugar de 5).

Espectrometría Infrarroja por Transformada de Fourier:

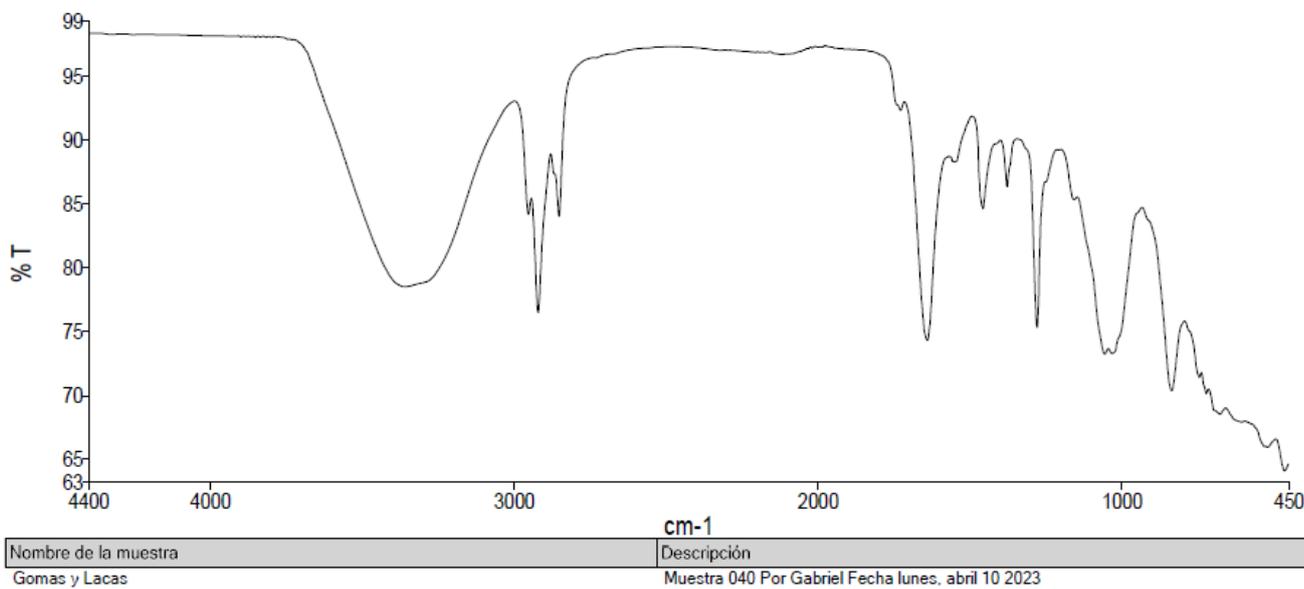


Figura 6: Espectro Infrarrojo de muestra de Gomas y Lacas.

Se realizó correlación de espectros con la base de datos de FTIR provista por la plataforma de John Wiley Sons Inc, arrojando correlaciones por encima del 80% con bases de datos de Ceras y Polímeros (Barnices), con detección de Glicerol en la mezcla. La aparición de glicerol, y de polímeros que lo incluyan en su fórmula, se corresponde con la descomposición del biodiesel tal como fue descrito anteriormente.

Durante los años 2021 y 2022 se continuaron los relevamientos en tanques y surtidores de las Estaciones de Servicio ubicadas en Remedios de Escalada, Tapiales, Haedo, José León Suárez, José C. Paz, Victoria, Retiro y La Plata.

En Victoria (Enero, Marzo y Abril de 2021, y Septiembre de 2022), Haedo (Enero y Septiembre de 2021, y Enero de 2022) y Retiro (Octubre 2021 y Agosto 2022) se detectó agua en fondo de tanques, lo que generó la rápida respuesta por parte del área de Abastecimiento y Logística para la purga y seguimiento de las fallas a través del control de agua en fondo de tanques con pasta de detección.

Con excepción del relevamiento realizado en Enero de 2021 en Victoria, en donde se detectó presencia de Gomas y Lacas, en ninguno de los relevamientos se volvió a detectar presencia de estas sustancias en el combustible, ni se reportaron incidentes al respecto.

## Conclusiones

Los resultados de los ensayos corroboraron la información disponible en bibliografía y publicaciones académicas al respecto de la degradación del combustible, y aportaron información en términos cuantitativos que ayudaron a

comprender como influye la presencia de agua como contaminante en puntualmente en el Diésel Grado 2 utilizado en Trenes Argentinos.

A partir de los trabajos realizados se pudieron llevar adelante acciones concretas y tomar medidas en el corto plazo que redujeron los incidentes provocados por la degradación de combustibles en un período de compleja operación ferroviaria como lo fue la pandemia de Covid-19.

La presencia e innovación constante de los biocombustibles plantea un nuevo escenario en donde lejos de colocar el foco sólo en su producción y provisión, impera la necesidad de adaptar los sistemas de consumo a las nuevas tecnologías.

## Referencias

Bouaid, A., Martinez, M., & Aracil, J. (2007). Long storage stability of biodiesel from vegetable and used frying oils.

Ganduglia F et al. (2009). Manual de Biocombustibles. Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (IICA) y a la Asociación Regional de Empresas de Petróleo y Gas Natural en Latinoamérica y el Caribe (ARPEL).

Martinez, M. (2016) Estudio de la influencia de las materias primas en la producción y propiedades de biodiesel como combustible. Tesis Doctoral. Universidad Complutense de Madrid, Madrid, España.