



Informe de proyecto:

Lubricantes biodegradables para engranajes de multiplicadoras y coronas de orientación en el Parque Eólico Experimental Sotavento

Colaboradores del proyecto:

- Verkol S.A.
- Sotavento Galicia S.A.

Octubre 2013

PARQUE EÓLICO EXPERIMENTAL SOTAVENTO

Índice

1	ANTECEDENTES	3
2	OBJETIVO DEL PROYECTO	3
3	COLABORADORES DEL PROYECTO	3
3.1	Verkol S.A.	3
3.2	Sotavento Galicia S.A.....	4
4	SITUACIÓN ACTUAL DE LOS BIOLUBRICANTES	4
5	METODOLOGÍA Y DESARROLLO DE LOS PRODUCTOS.....	5
5.1	Necesidades de producto.....	5
5.2	Fases de desarrollo de los productos.....	5
6	CARACTERÍSTICAS DE LOS PRODUCTOS.....	6
6.1	BIOGIR 212, aceite de engranajes para multiplicadoras.....	6
6.2	BIOGIR-302, grasa para la corona de orientación	7
7	PROYECTO DE MONITORIZACIÓN EN SOTAVENTO.....	7
8	RESULTADOS.....	8
8.1	Fluido lubricante para multiplicadoras BIOGIR 212.....	8
8.2	Grasa lubricante BIOGIR 302.....	12
9	CONCLUSIONES	19
10	ANEXO I. RESULTADOS ACEITE MULTIPLICADORA BIOGIR 212.....	20
11	ANEXO II. RESULTADOS GRASA LUBRICANTE BIOGIR 302.....	22
12	ANEXO III. CARACTERIZACIÓN DE LUBRICANTES	24
12.1	Aceite de engranajes BIOGIR-212	24
12.2	Resultados ensayo FZG BIOGIR-212	25
12.3	Grasa para corona BIOGIR-302.....	27

1 ANTECEDENTES

Con anterioridad al presente proyecto de monitorización de lubricantes biodegradables, de enero 2010 a julio 2011 Verkol S.A. y Sotavento Galicia S.A., entre otras entidades, formaron parte del consorcio de empresas e instituciones que participaron en el proyecto “BIOVESIN. Biolubricantes basados en aceites vegetales y sus derivados sintéticos”. La participación del Parque Eólico Experimental Sotavento consistió en la cesión de las turbinas AE05 y AE09, ambas modelo Bonus MK-IV, para ensayo de los biolubricantes desarrollados en dicho proyecto.

Al término de proyecto BIOVESIN, Verkol S.A. y Sotavento Galicia S.A. decidieron iniciar la fase de ensayos y demostración de funcionamiento mediante pruebas de campo, surgiendo así el presente proyecto de monitorización de lubricantes biodegradables como continuación de la etapa de validación de los productos, empleándose los aerogeneradores del Parque Eólico Experimental de Sotavento como plataforma de ensayo.

2 OBJETIVO DEL PROYECTO

Como hemos comentado, en el marco del proyecto BIOVESIN, Verkol S.A. desarrolló una serie de biolubricantes, ante la necesidad de testarlos en condiciones reales de operación para las que habían sido creados, se planteó el presente proyecto de monitorización de lubricantes biodegradables empleando aerogeneradores del Parque Eólico Sotavento. El proyecto se inicia en junio de 2011, con una duración prevista inicialmente de dos años.

La pretensión del proyecto era ensayar la lubricación de todos los elementos de un aerogenerador con lubricantes de origen renovable, atóxicos y biodegradables. Para ello se ha trabajado en la elección de los fluidos vegetales y de síntesis que se ajustasen a los requisitos ecotóxicos y de exigencias técnicas, así como en la selección de los aditivos que mejorasen las prestaciones de las bases lubricantes empleadas, siendo a su vez conformes con los requerimientos para la obtención de la Ecolabel, etiqueta otorgada por el Comité de etiqueta ecológica de la Unión Europea (CEEUE).

3 COLABORADORES DEL PROYECTO

3.1 Verkol S.A.

Verkol S.A., es una empresa española que desarrolla, diseña, y produce lubricantes desde 1923, ofreciendo productos y soluciones innovadoras para optimizar la lubricación y el mantenimiento de cualquier mecanismo. En particular, su actividad se centra en generar grasas y aceites lubricantes, contando con más de 1.000 referencias de producto, y generando anualmente:

- Grasas lubricantes: 7.000 t
- Aceites lubricantes: 18.000 t

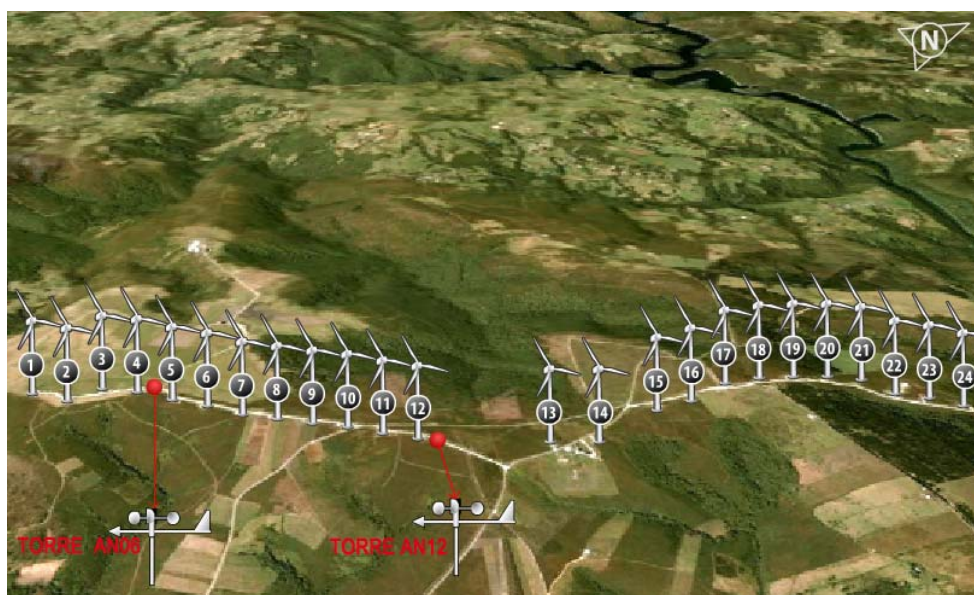
La larga trayectoria y experiencia en el sector de Verkol le permite un conocimiento profundo de los lubricantes. Su afán por conseguir mejorar la oferta de productos le ha llevado a compartir y coordinar sus desarrollos tecnológicos con empresas del sector, centros de investigación, universidades, fabricantes de equipos y usuarios de referencia en cada uno de los sectores en los que posee presencia, tanto a nivel nacional, como internacional. Verkol cuenta con un importante centro de investigación en su propia planta de España (Pinto, Madrid), equipado con equipos de la más moderna tecnología. El centro dispone de

laboratorios de investigación y desarrollo, planta piloto y laboratorios de control gestionados por personal propio de investigación.

3.2 Sotavento Galicia S.A.

El Parque Eólico Experimental Sotavento, propiedad de Sotavento Galicia S.A., dispone de 17,56 MW distribuidos en 24 aerogeneradores de nueve modelos diferentes que representan a cinco tecnologías distintas, de los cuales seis son modelos comerciales y tres eran prototipos cuando se instalaron. En la Tabla 1 y siguientes, indican las principales características cada uno de los aerogeneradores, resaltándose las turbinas en las que tuvieron lugar los ensayos en sombreado azul.

Tabla 1. Distribución y características generales de los aerogeneradores



Nº AERO	MODELO	P (kW)	$\phi^{(1)}$ (m)	$h^{(2)}$ (m)	Nº AERO	MODELO	P (KW)	$\phi^{(1)}$ (m)	$h^{(2)}$ (m)
AE01	Bonus 1,3 MW	1.300	62	49	AE13	NegMicom-48	750	48	45
AE02	NegMicom-48	750	48	45	AE14	Gamesa G47	660	47	45
AE03	Gamesa G47	660	47	45	AE15	Ecotecnia 44	640	44	46
AE04	Ecotecnia 44	640	44	46	AE16	Made AE-52	800	52	50
AE05	Bonus MK-IV	600	44	40	AE17	Made AE46	660	46	45
AE06	Made AE46	660	46	45	AE18	Bonus MK-IV	600	44	40
AE07	Gamesa G47	660	47	45	AE19	Gamesa G47	660	47	45
AE08	NegMicom-48	750	48	45	AE20	NegMicom-48	750	48	45
AE09	Bonus MK-IV	600	44	40	AE21	Ecotecnia 44	640	44	46
AE10	Made AE46	660	46	45	AE22	Bonus MK-IV	600	44	40
AE 11	Ecotecnia 44	640	44	46	AE23	Made AE46	660	46	45
AE 12	NegMicom-52	900	50	52	AE24	Made AE61	1320	61	60

⁽¹⁾ h: Altura del buje (m)

⁽²⁾ ϕ : Diámetro del rotor (m)

4 SITUACIÓN ACTUAL DE LOS BIOLUBRICANTES

En la actualidad, más del 90% de los lubricantes utilizados en Europa no son biodegradables, estando principalmente basados en aceites minerales (materia prima no renovable). En los últimos años está creciendo el interés por los lubricantes biodegradables y atóxicos, inicialmente desarrollados para aplicaciones a pérdida total o con riesgo de fuga, con el fin de evitar contaminaciones de ríos, lagos y

acuíferos. Sin embargo, también está creciendo el concepto de renovabilidad aplicado a los lubricantes, de ahí el mayor interés en la fabricación de lubricantes a partir de ésteres vegetales.

Los biolubricantes basados en recursos renovables ofrecen posibilidades para el desarrollo económico rural, pues los aceites vegetales son materias primas disponibles en España, pudiendo beneficiar a la agricultura española con una mayor demanda de sus productos. El uso de lubricantes biodegradables nos permite conseguir sistemas de trabajo mucho más sostenibles y respetuosos con el medio ambiente, además de evitar las consecuencias desastrosas en el caso de derrames accidentales.

Los biolubricantes permiten obtener un rendimiento técnico similar a los lubricantes de base mineral en un gran número de aplicaciones, aún cuando existen algunas limitaciones principalmente relacionadas con temperaturas extremas. Poseen además la ventaja adicional de que son rápidamente biodegradables y carecen de componentes tóxicos, tanto para el medioambiente como para el ser humano.

5 METODOLOGÍA Y DESARROLLO DE LOS PRODUCTOS

El proyecto planteaba la utilización de aceites de origen vegetal para la fabricación de fluidos lubricantes y su uso en aerogeneradores, pretendiéndose con su procedencia renovable, su biodegradabilidad y atoxicidad, aportar un valor añadido dentro del concepto de energías limpias. Los principales hitos en el proceso de desarrollo de los biolubricantes han sido los siguientes.

5.1 Necesidades de producto

Definición de las características técnicas según la aplicación destino, requisitos específicos del sector, y requerimientos medioambientales dictados por Ecolabel. Las propiedades de los biolubricantes dependen fundamentalmente, del tipo y viscosidad del fluido base, aditivos, y en el caso de las grasas lubricantes del tipo y concentración del espesante y proceso de fabricación. El objetivo era la creación de un producto con las características expuestas para:

- Lubricación de engranajes para la multiplicadora
- Lubricación de la corona de orientación

5.2 Fases de desarrollo de los productos

El proceso de diseño y desarrollo aplicado a los lubricantes se puede dividir en las siguientes fases:

1. Definición de características del producto a desarrollar. Creación de la especificación de diseño de producto
2. Preparación de prototipos
3. Ensayos de caracterización
4. Ensayos acelerados de laboratorio. Conjuntamente con la etapa 3, verificación del diseño del producto desarrollado mediante la comprobación de los resultados obtenidos
5. Pruebas en bancos de ensayo
6. Pruebas de campo. Las etapas 5 y 6 constituyen la validación del producto

De un modo global, las cinco primeras fases del desarrollo se efectuaron en el marco de proyecto BIOVESIN. La última etapa, en la que se centra el presente proyecto, constituye la fase de pruebas de los productos en las instalaciones el Parque Eólico Experimental de Sotavento.

6 CARACTERÍSTICAS DE LOS PRODUCTOS

Para la obtención de los biolubricantes del proyecto se partió de aceite de girasol alto oleico (HOSO 83%), consecuencia de los trabajos llevados a cabo en el proyecto BIOVESIN comentado anteriormente. En los siguientes apartados se exponen, a modo comparativo, las características de los biolubricantes desarrollados frente al lubricante de referencia empleado con anterioridad.

6.1 BIOGIR 212, aceite de engranajes para multiplicadoras

El objetivo para el aceite de multiplicadoras, entre otros, era desarrollar un producto con una viscosidad de 320 mm²/s a 40°C, características de partida del aceite que se venía empleando (TRIBOL 1710), Tabla 2. El fluido base de partida, el HOSO 83%, tiene una viscosidad de unos 40 mm²/s a 40°C. Para alcanzar la viscosidad requerida se empleó un espesante que permitiese modificar la del fluido base. Se utilizaron también aditivos para adaptarse a los requisitos técnicos exigidos (antioxidantes, inhibidores de corrosión, pasivadores de cobre, antidesgaste, extrema presión y antiespumante), cumpliendo a su vez los requisitos de biodegradabilidad y toxicidad del Ecolabel. En la Tabla 2, se indican las principales características de referencia para el biolubricante desarrollado frente al aceite que con anterioridad al proyecto se empleaba en la lubricación de las multiplicadoras de los aerogeneradores Bonus MK-IV.

Tabla 2. Características para el aceite de multiplicadora original (TRIBOL) y biodegradable desarrollado (BIOGIR 212)

CARACTERÍSTICAS	TRIBOL 1710	BIOGIR 212
Viscosidad a 40°C [mm ² /s]	326,8	216,5
Viscosidad calculada 10°C [mm ² /s]	2319,3	1189,5
Viscosidad calculada 70°C [mm ² /s]	84,52	65,49
Viscosidad calculada 80°C [mm ² /s]	59,1	47,56
Viscosidad a 100°C [mm ² /s]	32,04	27,4
Índice de viscosidad	137	163
Densidad a 15°C	-	941
Contenido en agua [ppm]	-	434
Desemulsión [min]	15	20
Inflamación [°C]	262	270
Congelación [°C]	-36	-33
Grado de limpieza ISO 4406	-	-
TAN mg KOH/g	-	0,94
FZG micropitting FVA 54/I-IV, C-GF/8,3/90, etapa de fallo/clase GFT	> 10	> 10 Alta
FZG micropitting FVA 54/I-IV, C-GF/8,3/60, etapa de fallo/clase GFT	-	> 10 Alta
FZG, A/8,3/90,etapa de fallo	-	> 12
FZG, A/16,6/90,etapa de fallo	> 12	> 14
FAG FE8 7,5/80h/100kN, etapa 1		
Desgaste de rodillos, mg	-	0
Degaste de jaulas, mg	-	186
FAG FE8 7,5/800h/100kN, etapa 2		
Desgaste de rodillos, mg	-	-
Maq 4 bolas (1min/80kg) mm	0,40	0,40
Maq 4 bolas soldadura,kg	240	240
HPDSC dinámico, °C	-	242
HPDSC isotérmico Cu a 170°C, min	-	27,5
Corrosión al Cu, 3h/100°C	-	1 ^a
Espumas		
Secuencia I: 24°C	<50	20/0
Secuencia II: 93,5°C	<50	
Secuencia III: 24°C tras 93,5°C	<50	
SER-NBR 28 (7 días/100°C)		
Cambio de volumen, %		4,1
Cambio de dureza Shore A, %		-4

Disminución del esfuerzo de tracción, %	2,3
Disminución de la ruptura de elongación, %	12,2

6.2 BIOGIR-302, grasa para la corona de orientación

Nuevamente, la grasa debe de contar con las propiedades adecuadas para la aplicación y que además cumplir con los requisitos del Ecolabel, Tabla 3.

Tabla 3. Exigencias en grasas lubricantes según Ecolabel, criterio 3

BIODEGRADACIÓN	Min Ecolabel	BIOGIR 212
Biodegradable [%]	≥ 75	> 75
Inherentemente biodegradable [%]	≤ 20	≤ 25
No biodegradable y no bioacumulable [%]	≤ 10	≤ 25
No biodegradable y bioacumulable [%]	0	≤ 0,1

El resultado ha sido la obtención de una grasa con un grado dos de consistencia, una buena adherencia que evita su desprendimiento de la superficie aplicada, con propiedades anticorrosivas y un excelente resultado en el ensayo de pulverizado con agua. En la Tabla 4, se indican las características de referencia para la grasa lubricante original previamente empleada al proyecto (RINC A-1390) y la desarrollada BIOGIR 302.

Tabla 4. Características para el aceite de multiplicadora original (TRIBOL) y biodegradable desarrollado (BIOGIR 212)

CARACTERÍSTICAS	RIN A-1390	BIOGIR 212
Fluido base	Aceite Mineral	HOSO 83% Ester
Viscosidad a 40°C [mm ² /s]	1350	470
Tipo de jabón	Li	Li complejo
Aditivos sólidos [%]	0	Sólidos 1, 2 y 3 (10) AW/EP
Aditivos líquidos	-	AO/CI
Punto de gota, °C	283	272
Penetración 0/60w, 1/10w	249/255	266/267
Resistencia al pulverizado con agua [%]	8,17/9,51	1,59
Ensayo de corrosión EMCOR	3-2	0-0
M4 bolas, desgaste 1 min (mm)/soldadura (kg)	0,40/260	0,41/280

7 PROYECTO DE MONITORIZACIÓN EN SOTAVENTO

Los lubricantes se ensayaron en aerogeneradores Bonus MK-IV de 600 kW, los cuales montan multiplicadoras Flender PEAC 4280. La relación de aerogeneradores (Tabla 1) y lubricantes en los que se efectuaron las pruebas de lubricantes ha sido:

- **AE05.** Aceite multiplicadora BIOGIR 212 y grasa para coronas BIOGIR 302. Corona existente, cambio en el lubricante de la corona
- **AE09.** Aceite multiplicadora BIOGIR 212
- **AE22.** Instalación de una nueva corona de orientación (a diferencia de la turbina AE05 que ya poseía uso) y grasa para coronas BIOGIR 302

El proyecto se inicia en junio de 2011 con la aplicación de los lubricantes a las turbinas indicadas. La duración del proyecto abarcó un período aproximado de dos años, hasta septiembre de 2013. La

frecuencia en la toma de muestras en ambos lubricantes, se planificó inicialmente con una periodicidad de seis meses, o bien cuando los resultados de la monitorización de los equipos así lo indicasen, Tabla 5.

Tabla 5. Número de muestras extraídas por tipo de biolubricante y aerogenerador

	AE05	AE09	AE22
Nº muestras total L. Multiplicadora	8	7	-
Nº muestras total L. Corona	7	-	10

8 RESULTADOS

La grasa para la corona y el aceite de multiplicadora han estado funcionando por un período de dos años en aerogeneradores del Parque Eólico Experimental de Sotavento, acumulándose casi 16.000 horas de funcionamiento. Los resultados obtenidos en el caso de cada lubricante han sido los siguientes:

8.1 Fluido lubricante para multiplicadoras BIOGIR 212

La evolución de las características del aceite de la multiplicadora BIOGIR 212 para los aerogeneradores AE05 y AE09 de acuerdo a los análisis de las muestras tomadas se indican de modo completo en el Anexo I, Tablas 6 y 7. Un resumen gráfico de la información contenida en dichas tablas se muestra en las siguientes Figuras 1-8:

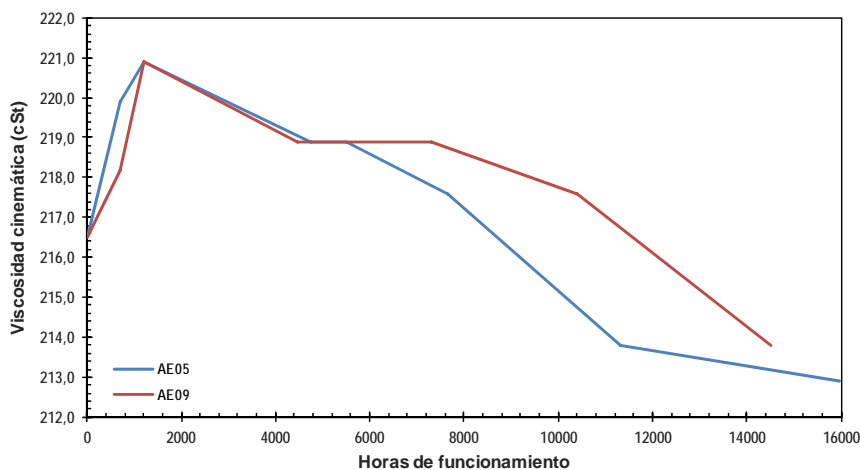


Figura 1. Evolución de la viscosidad cinemática a 40°C (cSt)

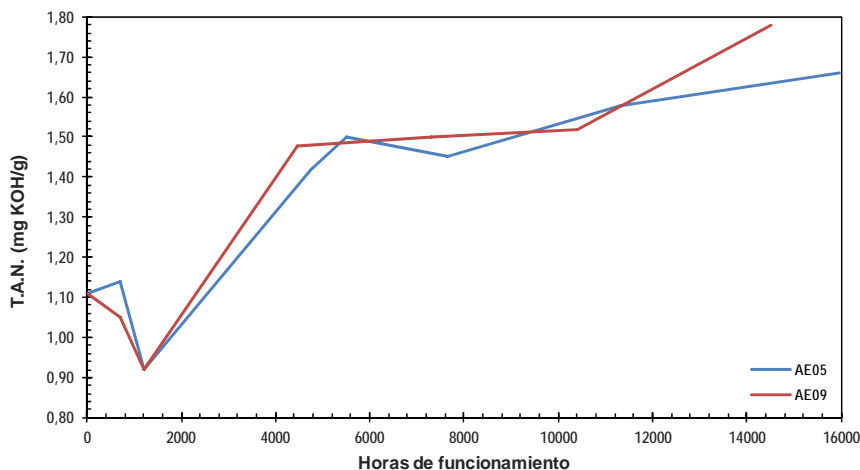


Figura 2. Evolución de la acidez (Total Acid Number)

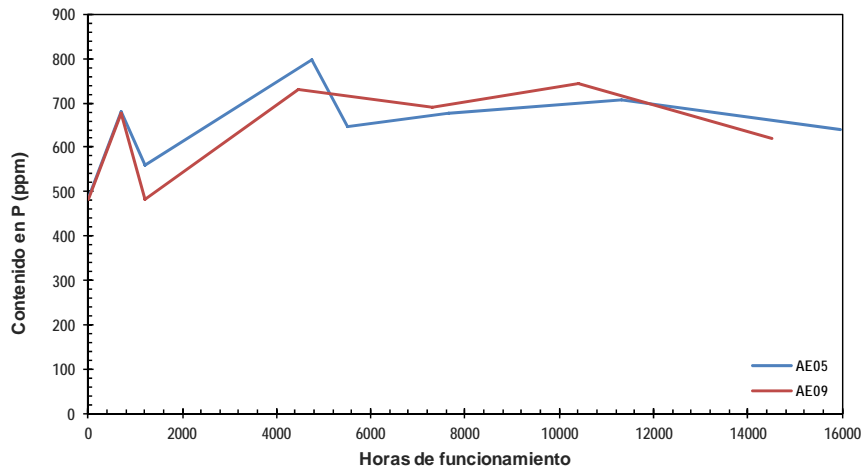


Figura 3. Evolución del contenido en fósforo (ppm)

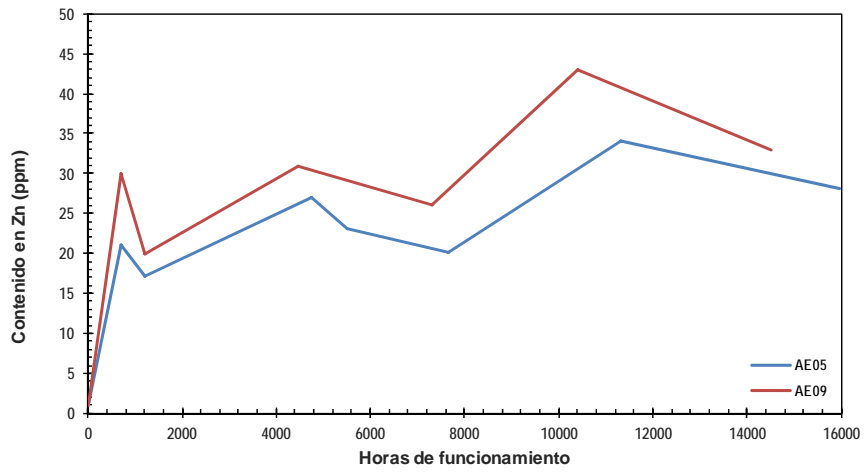


Figura 4. Evolución del contenido en cinc (ppm)

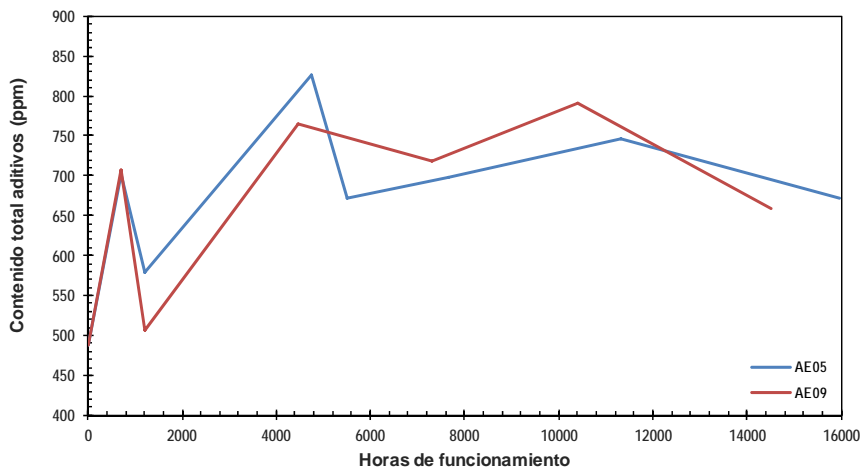


Figura 5. Evolución del contenido total de aditivos (ppm)

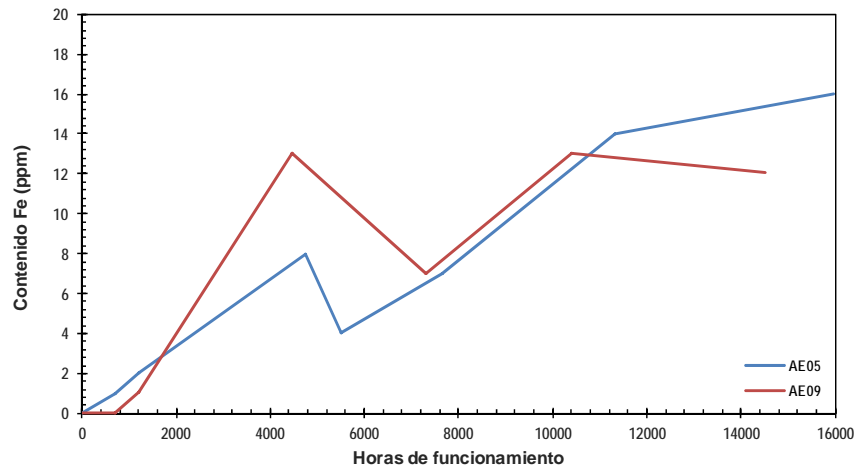


Figura 6. Evolución del contenido en hierro (ppm)

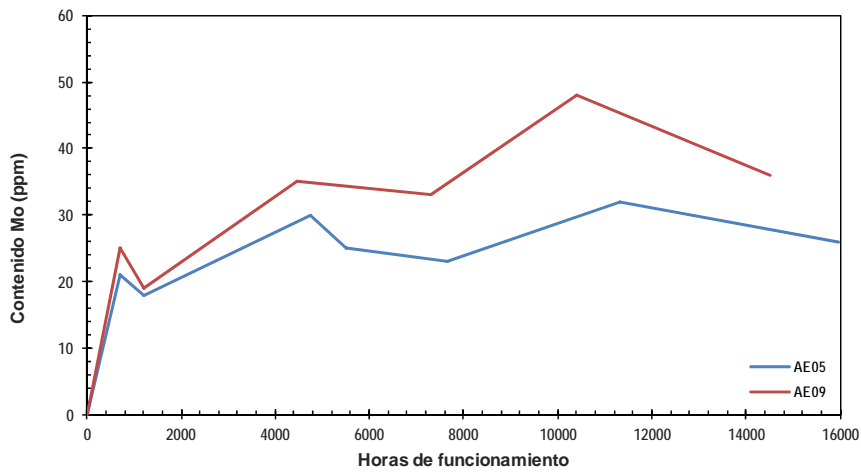


Figura 7. Evolución del contenido en molibdeno (ppm)

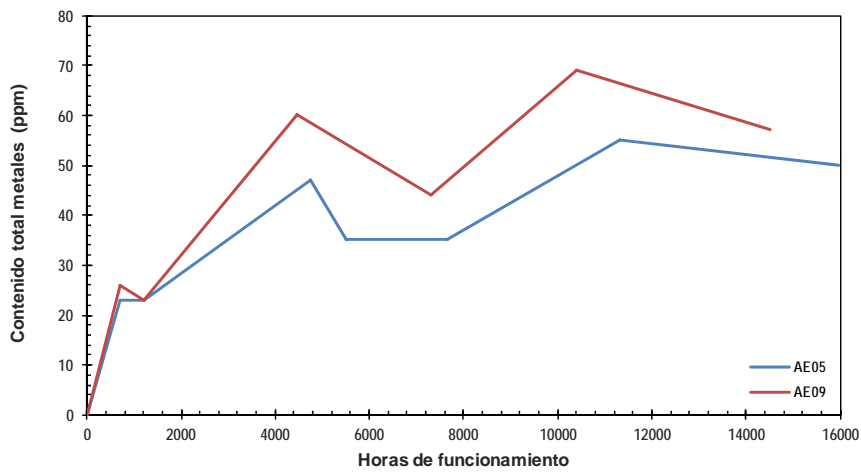


Figura 8. Contenido total en metales (ppm)

En base al comportamiento reflejado en las figuras superiores y en el Anexo I, podemos concluir lo siguiente:

- La viscosidad de ambos aceites permanece prácticamente inalterada durante el tiempo de prueba, con una variación porcentual máxima del 4%, Figura 1.
- La evolución para la acidez ha sido de un incremento de 0,55 y 0,67 mgrKOH/g para el aerogenerador AE05 y AE09 respectivamente respecto del valor inicial, Figura 2. Sin embargo, este incremento entra dentro de los márgenes tolerables en la operación. Podemos así decir que las variaciones en la viscosidad y la acidez durante el tiempo del ensayo indican que no se ha producido degradación oxidativa significativa en el aceite.
- El contenido en fósforo, elemento relacionado con la aditivación del aceite, se muestra relativamente estable en el tiempo en el tiempo, Figura 3.
- El contenido en hierro, Figura 6, está relacionado con el desgaste de los engranajes. Su presencia en el lubricante se mantiene baja y estable a lo largo del ensayo.
- El contenido en silicio de las muestras se debe a la contaminación exterior con partículas de polvo.
- El índice de susceptibilidad magnética (PQ index), que está relacionado con el contenido de partículas metálicas grandes de desgaste, permanece en un valor muy bajo.
- Se aprecian concentraciones de cinc y molibdeno, Figura 4 y 7, cuyo origen es desconocido (aunque se valora probable contaminación con el fluido anterior) pero que se mantienen estables y constantes a lo largo del ensayo por lo que no se consideran relevantes.

8.2 Grasa lubricante BIOGIR 302

Los resultados de la evolución de las características físico-químicas de la grasa empleada en la corona de orientación del AE05 y del AE22 se muestran en la Tabla 8 y Tabla 9, Anexo II.

En la Figura 9 se muestran los espectros de infrarrojo (IR) de la grasa original empleada con anterioridad a los ensayos (RINC A-1390) y de la grasa biodegradable BIOGIR 302. En las Figuras 10-16 se muestra la evolución de la espectrometría para las muestras tomadas en las coronas según el aerogenerador del que proceden.

Se puede apreciar que las Figuras 12 y 13 son diferentes a las Figuras 10 y 15, lo que indica una contaminación con la grasa original (RINC A-1390) debido a un incorrecto mantenimiento. Asimismo se aprecia una contaminación importante con otro producto en la última toma del AE22 (Figura 16).

La Figura 17 y 18 permiten ver todos los resultados, para los AE5 y AE 22 respectivamente, de los análisis de las distintas muestras en una única imagen.

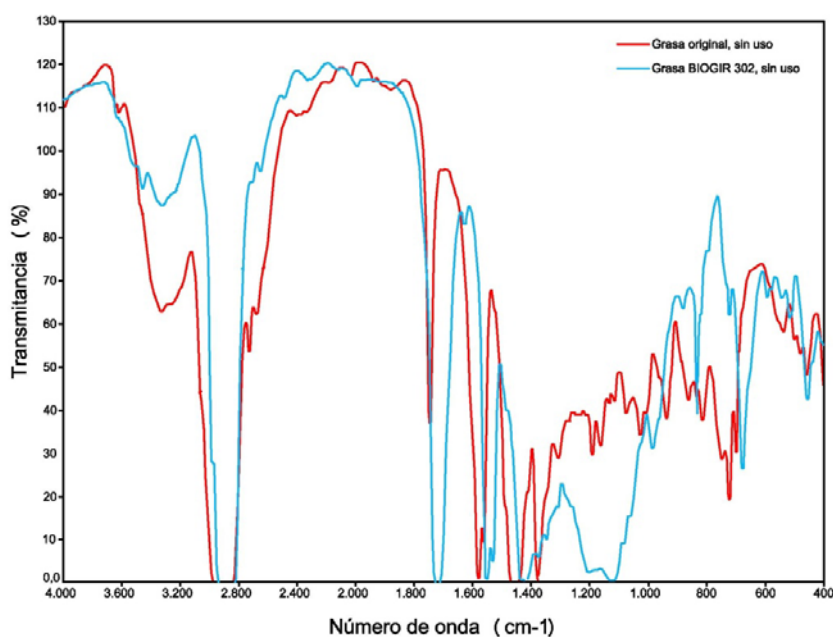


Figura 9. Espectroscopia infrarroja, grasa BIOGIR 302 y grasa de referencia, sin uso

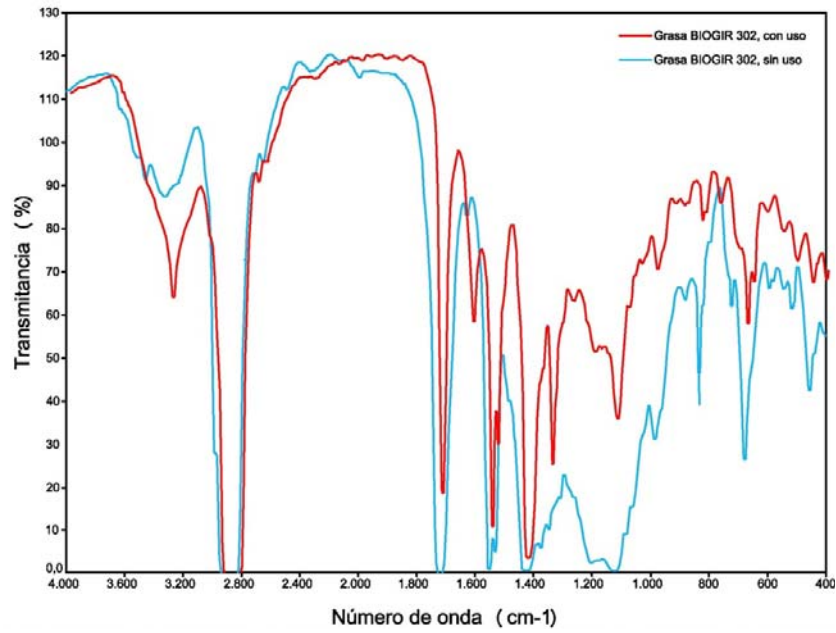


Figura 10. Espectroscopia infrarroja, grasa BIOGIR 302 AE05 (29/11/11)

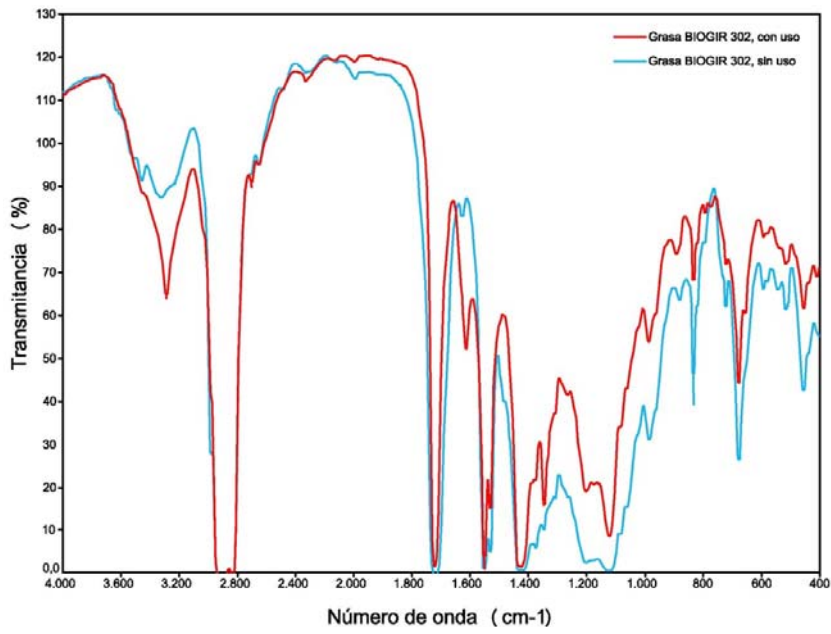


Figura 11. Espectroscopia infrarroja, grasa BIOGIR 302 AE22 (29/11/11)

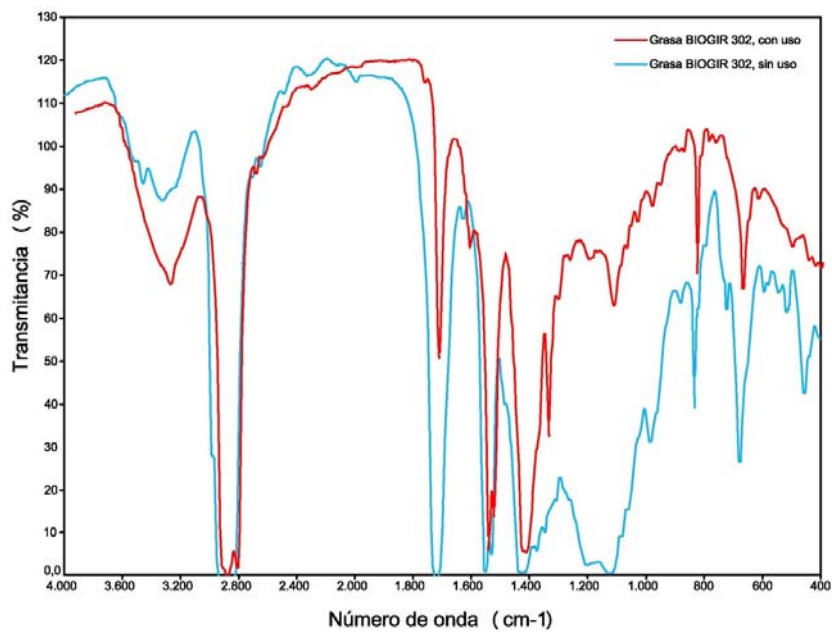


Figura 12. Espectroscopia infrarroja, grasa BIOGIR 302 AE05 (27/03/12)

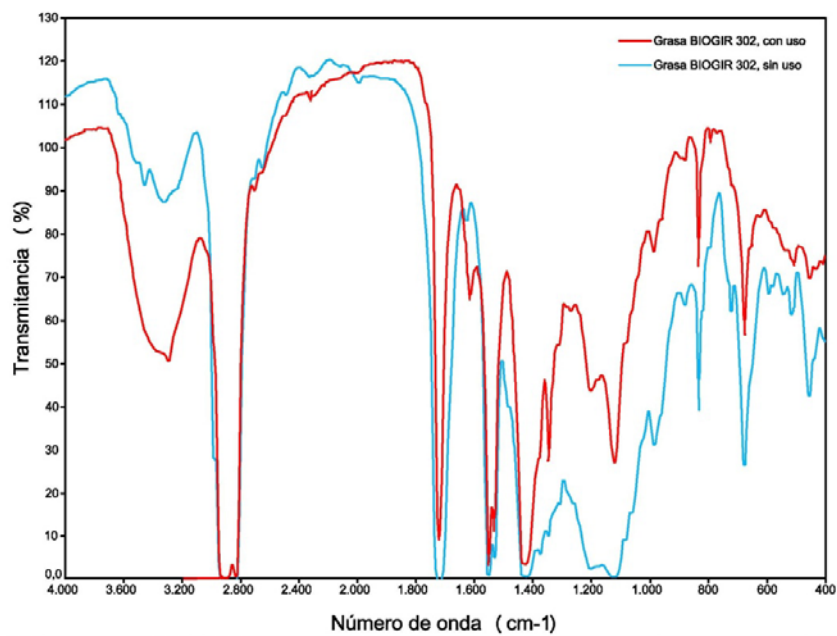


Figura 13. Espectroscopia infrarroja, grasa BIOGIR 302 AE05 (21/12/12)

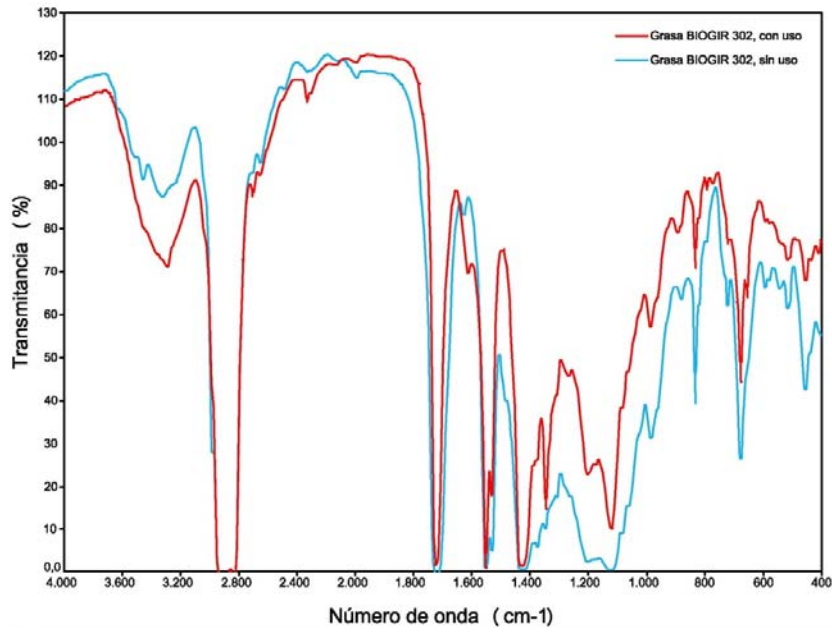


Figura 14. Espectroscopia infrarroja, grasa BIOGIR 302 AE22 (21/12/12)

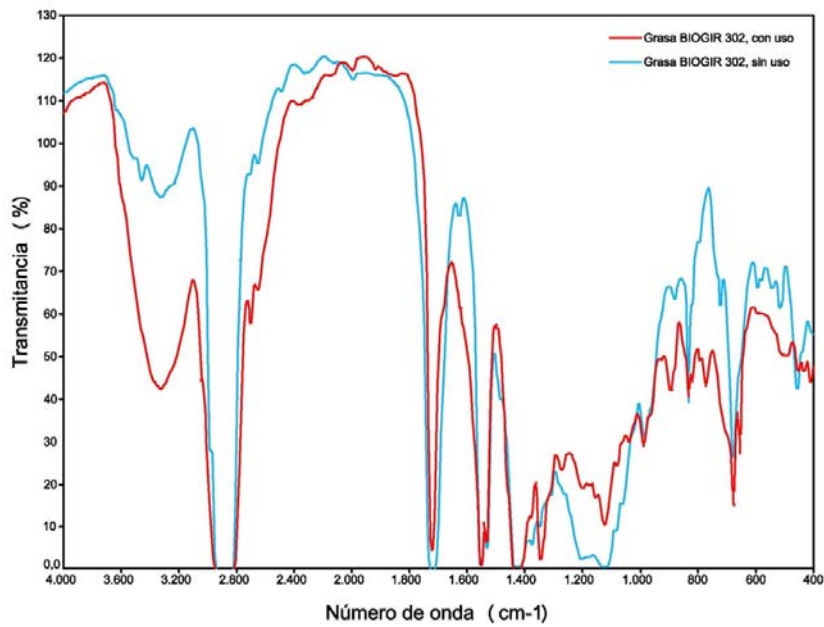


Figura 15. Espectroscopia infrarroja, grasa BIOGIR 302 AE22 (04/06/13)

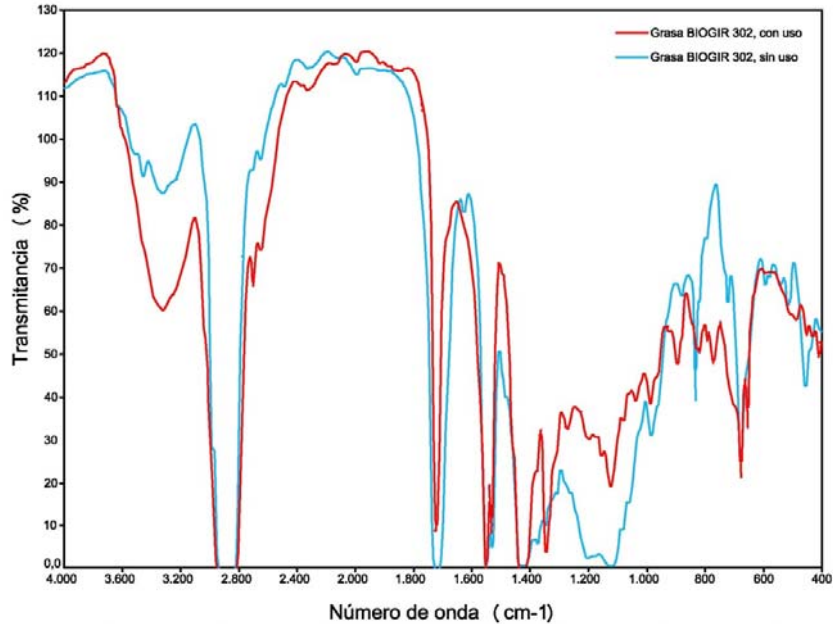


Figura 16. Espectroscopia infrarroja, grasa BIOGIR 302 AE05 (04/06/13)

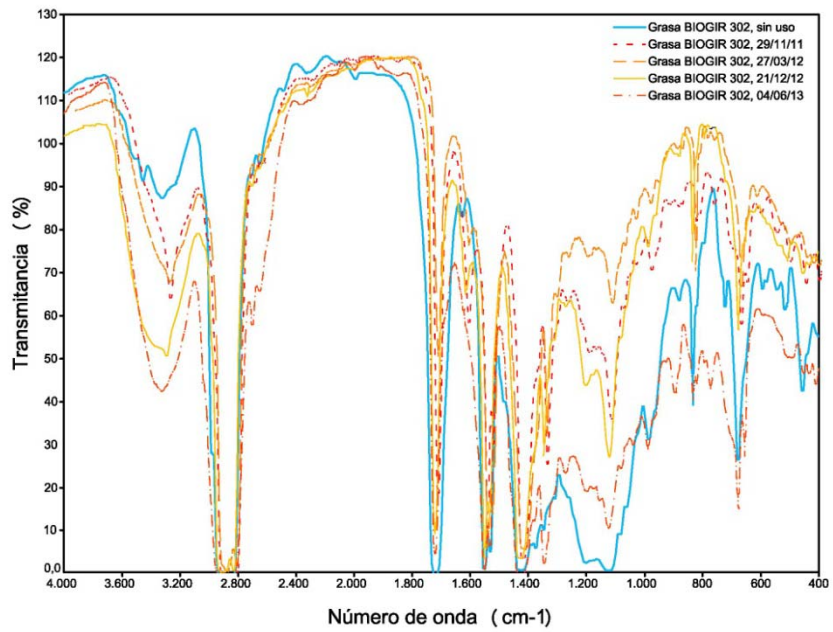


Figura 17. Espectroscopia infrarroja, grasa BIOGIR 302 AE05 para la duración completada del proyecto

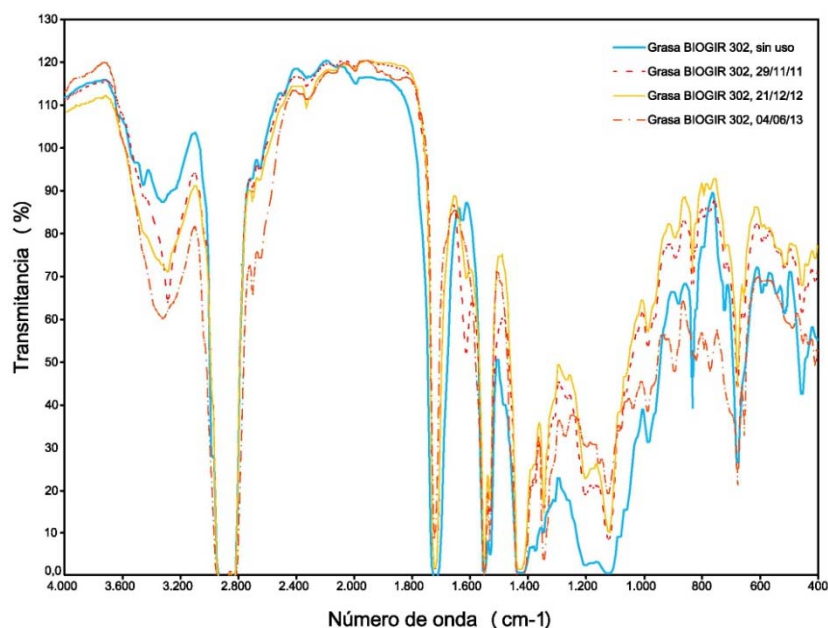


Figura 18. Espectroscopia infrarroja, grasa BIOGIR 302 AE22 para la duración completada del proyecto

Finalmente se anexan unas fotografías de los residuos encontrados en algunas de las muestras de grasa que se han diluido en disolvente separándose a continuación las partículas fácilmente magnetizables. Estas partículas tienen su origen en el normal desgaste de la corona, el contenido en hierro también ha sido detectado en las medidas mediante las técnicas espectroscópicas. Se observa mayor concentración de hierro en el AE22 probablemente debido a que se trata de una corona nueva que presenta el lógico desgaste debido al rodaje.

Se ha de tener presente que las grasas lubricantes, a diferencia de los aceites, no fluyen y no pasan por un filtro que elimina los contaminantes y los elementos de desgaste, de manera que van acumulando las partículas en el tiempo. Se incluyen los resultados del AE18, fuera del alcance del presente proyecto, a efectos comparativos con la grasa original, Figura 20.



Figura 19. Residuo tras dilución grasa corona AE22 (16/10/12)



Figura 20. Residuo tras dilución grasa corona, de izquierda a derecha AE05, AE22, AE18 (21/12/12)

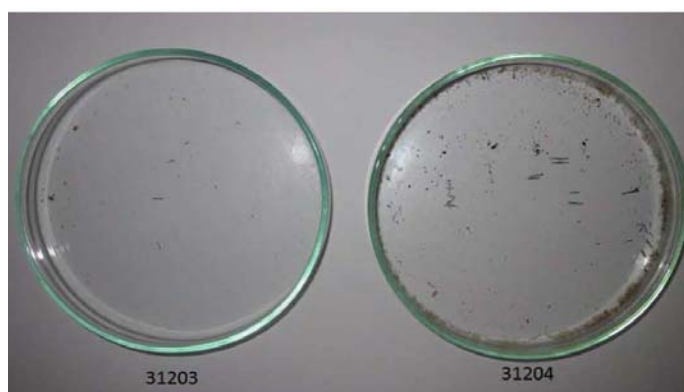


Figura 21. Residuo tras dilución grasa corona, de izquierda a derecha AE05, AE22 (06/04/13)

La última muestra tomada del AE22 con 13689 horas de trabajo presenta contenidos normales en hierro del orden de los valores obtenidos en el AE05 con 15845 horas, Figura 21. Sin embargo, se ha detectado una incorrecta práctica de mantenimiento por la que se ha mezclado grasa original con la grasa biodegradable en ambos aerogeneradores de manera que los resultados de la grasa biodegradable no son, en un elevado porcentaje, completamente demostrativos del funcionamiento del nuevo producto.

9 CONCLUSIONES

Tras la realización de los ensayos del aceite de multiplicadora y de la grasa para coronas de orientación de aerogeneradores basados en fluidos biodegradables y atóxicos durante un período aproximado de dos años, podemos concluir lo siguiente:

- Los resultados de las características físico-químicas analizadas durante la monitorización de los aceites para engranajes en uso indican que los lubricantes se encuentran en condiciones de utilización al cabo de los dos años de trabajo.
- Los resultados del comportamiento de la grasa lubricante para coronas han quedado truncados, no resultado plenamente demostrativos al haberse producido un error en el mantenimiento de las coronas, habiéndose empleado de nuevo grasa original en algún momento de la relubricación semestral.

Por último, y de un modo general, se enumeran algunos de los beneficios que desde el Parque Eólico Sotavento se observan en los biolubricantes para engranajes:

- Menor dependencia de la viscosidad con la temperatura frente al aceite referencia (Tabla 2).
- Los análisis experimentales indican un buen comportamiento en lubricación, superando incluso en comportamiento del aceite de referencia (TRIBOL 1710). Es por lo tanto razonable suponer menores pérdidas por fricción mecánica, lo cual probablemente redunde en una mayor vida útil de los elementos lubricados.
- Los beneficios anteriores, y a falta de refrendarlo experimentalmente de un modo más exhaustivo, parecen indicar que un uso a largo plazo de biolubricantes puede suponer un ahorro en mantenimiento.
- Menor impacto en el medio ambiente ante eventuales vertidos.
- Potenciación del desarrollo económico rural nacional. Los biolubricantes basados en recursos renovables ofrecen posibilidades para el desarrollo de la agricultura española.
- En términos económicos, los biolubricantes son más caros que los lubricantes sintéticos, y estos a su vez más que los de base mineral. Tomando como referencia el coste de un aceite mineral, el sintético posee un coste entre 2,5 y 3 veces superior, y un biolubricante basado en esteres vegetales entre 4 y 6 veces. Valorándose de un modo global todos sus beneficios, y a igualdad de prestaciones técnicas, el empleo de los biolubricantes puede ser competitivo frente a un aceite sintético. Es de esperar además que esta diferencia en el rango de precios se acorte en los próximos años conforme la tecnología para el desarrollo de biolubricantes alcanza su madurez.
- En cuanto a la duración de la vida útil de los biolubricantes frente a los sintéticos y minerales, el proyecto no permite extraer conclusiones al respecto, pues el único test hasta la fecha es el efectuado en el Parque Eólico Experimental Sotavento. Podemos afirmar sin embargo que tras dos años de ensayos los biolubricantes se encontraban operativos.
- En términos de gestión medioambiental, los lubricantes de base mineral son regenerados e introducidos nuevamente en el mercado al final de su vida útil, regenerándose como mínimo el 55%, el residuo restante ha de ser gestionado según la legislación vigente. Los biolubricantes basados en materias renovables, por su diseño biodegradable, al final de su vida útil no pueden ser regenerados pero si valorizados energéticamente.

A la redacción del presente informe, ambas partes colaboradoras en el proyecto estaban valorando la posibilidad de continuar con los ensayos referentes al comportamiento del aceite de multiplicadora durante un período adicional de tres años.

10 ANEXO I. RESULTADOS ACEITE MULTIPLICADORA BIOGIR 212

Tabla 6. Resultados del análisis del aceite de multiplicadora para AE05

CARACTERÍSTICAS	NORMA	M1	M2	M3	M4	M5	M6	M7	M8
Horas de funcionamiento		0	700	1200	4754	5507	7645	11322	15957
Aspecto	PE-TA.096	Trans. Oscuro	Trans. Oscuro	Trans. Oscuro	Trans. Oscuro	Trans. Oscuro	Trans. Oscuro	Trans. Oscuro	Trans. Oscuro
Viscosidad cinemática a 40°C (cSt)	ASTM D 445-12	216,5	219,9	220,9	218,9	218,9	217,6	213,8	212,9
Viscosidad cinemática a 100°C (cSt)	ASTM D 445-12				27	27,1	26,9	26,4	26,2
Índice de viscosidad	ASTM D 2270-10				158	159	158	157	156
Nitración (ABS/cm)	PE-TA.071	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	1
Oxidación (ABS/cm)	PE-TA.071	<1	<1	<1	<1	1	<1	<1	1
T.A.N. (mg. KOH/gr.)	ASTM D 974-12	1,11	1,14	0,92	1,42	1,5	1,45	1,58	1,66
Contenido en agua (%)	PE-TA.071	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
Aditivos									
Contenido en B (ppm)	ASTM D 5185-09 mod.	0	0	0	3	0	1	5	2
Contenido en Ca (ppm)	ASTM D 5185-09 mod.	0	0	1	0	3	0	1	1
Contenido Mg (ppm)	ASTM D 5185-09 mod.	1	0	1	0	1	0	2	1
Contenido en P (ppm)	ASTM D 5185-09 mod.	486	681	561	797	645	677	706	640
Contenido en Zn (ppm)	ASTM D 5185-09 mod.	1	21	17	27	23	20	34	28
Total aditivos (ppm)		488	702	580	827	672	698	748	672
Metales de contaminación y desgaste									
Contenido en Al (ppm)	ASTM D 5185-09 mod.	0	0	1	3	1	0	2	1
Contenido en Cr (ppm)	ASTM D 5185-09 mod.	0	0	0	0	0	0	0	0
Contenido en Cu (ppm)	ASTM D 5185-09 mod.	0	0	1	2	1	2	3	2
Contenido en Fe (ppm)	ASTM D 5185-09 mod.	0	1	2	8	4	7	14	16
Contenido en Mo (ppm)	ASTM D 5185-09 mod.	0	21	18	30	25	23	32	26
Contenido en Na (ppm)	ASTM D 5185-09 mod.	0	0	0	0	0	0	0	1
Contenido en Ni (ppm)	ASTM D 5185-09 mod.	0	0	0	0	0	0	0	0
Contenido en Si (ppm)	ASTM D 5185-09 mod.	0	1	0	4	4	3	4	4
Contenido en Sn (ppm)	ASTM D 5185-09 mod.	0	0	1	0	0	0	0	0
Total metales (ppm)		0	23	23	47	35	35	55	50
Partículas									
PQ index	PE-TA.124				2	5	4	2	0

Tabla 7. Resultados del análisis del aceite de multiplicadora para AE09

CARACTERÍSTICAS	NORMA	M1	M2	M3	M4	M5	M6	M7
Horas de funcionamiento		0	700	1200	4468	7286	10407	14510
Aspecto	PE-TA.096	Trans. Oscuro	Trans. Oscuro	Trans. Oscuro	Trans. Oscuro	Trans. Oscuro	Trans. Oscuro	Trans. Oscuro
Viscosidad cinemática a 40°C (cSt)	ASTM D 445-12	216,5	218,2	220,9	218,9	218,9	217,6	213,8
Viscosidad cinemática a 100°C (cSt)	ASTM D 445-12				26,9	26,8	26,4	26,1
Índice de viscosidad	ASTM D 2270-10				158	158	158	156
Nitración (ABS/cm)	PE-TA.071	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1
Oxidación (ABS/cm)	PE-TA.071	<1	<1	<1	<1	1	<1	<1
T.A.N. (mg. KOH/gr.)	ASTM D 974-12	1,11	1,05	0,92	1,48	1,5	1,52	1,78
Contenido en agua (%)	PE-TA.071		<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
Aditivos								
Contenido en B (ppm)	ASTM D 5185-09 mod.	0	0	0	4	1	1	3
Contenido en Ca (ppm)	ASTM D 5185-09 mod.	0	0	1	0	0	1	2
Contenido Mg (ppm)	ASTM D 5185-09 mod.	1	0	1	0	0	2	0
Contenido en P (ppm)	ASTM D 5185-09 mod.	486	677	484	729	690	743	620
Contenido en Zn (ppm)	ASTM D 5185-09 mod.	1	30	20	31	26	43	33
Total aditivos (ppm)		488	707	506	764	717	790	658
Metales de contaminación y desgaste								
Contenido en Al (ppm)	ASTM D 5185-09 mod.	0	0	0	2	0	2	1
Contenido en Cr (ppm)	ASTM D 5185-09 mod.	0	0	0	0	0	0	0
Contenido en Cu (ppm)	ASTM D 5185-09 mod.	0	0	1	2	1	2	3
Contenido en Fe (ppm)	ASTM D 5185-09 mod.	0	0	1	13	7	13	12
Contenido en Mo (ppm)	ASTM D 5185-09 mod.	0	25	19	35	33	48	36
Contenido en Na (ppm)	ASTM D 5185-09 mod.	0	0	0	5	0	0	1
Contenido en Ni (ppm)	ASTM D 5185-09 mod.	0	0	0	0	0	0	0
Contenido en Si (ppm)	ASTM D 5185-09 mod.	0	1	1	3	3	4	3
Contenido en Sn (ppm)	ASTM D 5185-09 mod.	0	0	1	0	0	0	1
Total metales (ppm)		0	26	23	60	44	69	57
Partículas								
PQ index	PE-TA.124				5	4	0	0

11 ANEXO II. RESULTADOS GRASA LUBRICANTE BIOGIR 302

Tabla 8. Resultados del análisis de la grasa para corona de orientación para AE05

CARACTERÍSTICAS	NORMA	M1	M2	M3	M4	M5	M6	M7
Fecha toma de muestra		12/02/2011	14/03/2011	12/04/2011	29/11/2011	27/03/2012	21/12/2012	04/06/2013
Aspecto	PE-TA.096	Trans. Oscuro	Trans. Oscuro	Trans. Oscuro	Trans. Oscuro	Trans. Oscuro	Trans. Oscuro	Trans. Oscuro
Contenido en agua (mg/kg)	UNE EN 60814-99	1221		8054				
Punto de gota (°C)	METTL FH-83HT	272			262	231	218	208
HPDSC din 5° c/min 100 psi O2 (°C)	V-MA 03.2	205,29			173,65	187,7	163,82	223,07
Aditivos								
Contenido en B (ppm)	ASTM D 5185-05	70	11	311				
Contenido en Ba (ppm)		0	11	3		13	6	<10
Contenido Ca (ppm)	ASTM D 5185-05	9360	70	928		12910	9476	153
Contenido en P (ppm)	ASTM D 5185-05	90						
Contenido en Zn (ppm)	ASTM D 5185-05	30						
Total aditivos (ppm)		9550	92	1242	0	12923	9482	153
Metales de desgaste y contaminación								
Contenido en Al (ppm)	ASTM D 5185-05	0	0	14		124	136	<3
Contenido en Al (ppm)	ASTM D 5185-05	0	86	110		388	336	12
Contenido en Cr (ppm)	ASTM D 5185-05	0	155	269		164	155	87
Contenido en Cu (ppm)	ASTM D 5185-05	3	9267	13919		3,47%	3,04%	2648
Contenido en Fe (ppm)	ASTM D 5185-05	46		235		547	547	49
Contenido en Mo (ppm)	ASTM D 5185-05	0	72	109		305	305	15
Contenido en Na (ppm)	ASTM D 5185-05	0	1156	717		431	431	1512
Contenido en Ni (ppm)	ASTM D 5185-05	0	8	6		61	61	<2
Contenido en Si (ppm)	ASTM D 5185-05	60	145	198		399	399	6
Contenido en Sn (ppm)	ASTM D 5185-05	5	30	44		1	1	<10
Total metales (ppm)		114	10919	15621	0			4329

Tabla 9. Resultados del análisis de la grasa para corona de orientación para AE22

CARACTERÍSTICAS	NORMA	M1	M2 m3	M4 m5	M6	M8	M9	M10
Fecha toma de muestra		30/03/2011	14/04/2011	29/11/2011	27/03/2012	16/10/2012	21/12/2012	04/06/2013
Aspecto	PE-TA.096	Trans. Oscuro	Trans. Oscuro	Trans. Oscuro	Trans. Oscuro	Trans. Oscuro	Trans. Oscuro	Trans. Oscuro
Contenido en agua (mg/kg)	UNE EN 60814-99	1221	4762					
Punto de gota (°C)	METTL FH-83HT	272		298	245	198	225	208
HPDSC din 5° c/min 100 psi O2 (°C)	V-MA 03.2	205,29		178,18	149,6	157,19	149,67	223,05
Aditivos								
Contenido en B (ppm)	ASTM D 5185-05	70	293					
Contenido en Ba (ppm)		0	1		<6	11	21	<10
Contenido Ca (ppm)	ASTM D 5185-05	9360	2031		5428	2453	2552	2141
Contenido en P (ppm)	ASTM D 5185-05	90	919		515			
Contenido en Zn (ppm)	ASTM D 5185-05	30	1627		658			
Total aditivos (ppm)		9550	4871	0	6601	2464	2573	2141
Metales de desgaste y contaminación								
Contenido en Al (ppm)	ASTM D 5185-05	0	0		51	<3	48	14
Contenido en Al (ppm)	ASTM D 5185-05	0	26		2605	2719	1678	70
Contenido en Cr (ppm)	ASTM D 5185-05	0	109		379	396	246	127
Contenido en Cu (ppm)	ASTM D 5185-05	3	2716		21,82%	22,84%	14,13%	8109
Contenido en Fe (ppm)	ASTM D 5185-05	46	272		2193	966	882	336
Contenido en Mo (ppm)	ASTM D 5185-05	0	27		1993	2063	1289	60
Contenido en Na (ppm)	ASTM D 5185-05	0	635		564	649	439	1295
Contenido en Ni (ppm)	ASTM D 5185-05	0	2		195	250	135	<2
Contenido en Si (ppm)	ASTM D 5185-05	60	70		497	306	380	62
Contenido en Sn (ppm)	ASTM D 5185-05	5	23		98	72	58	<10
Total metales (ppm)		114	3880	0				10073

12 ANEXO III. CARACTERIZACIÓN DE LUBRICANTES

12.1 Aceite de engranajes BIOGIR-212

Tabla 10. Características y resultados de referencia I

Características	RINE: TRIBOL 1710	BIOGIR-212 D-1304
Viscosidad 40°C, mm ² /s	326.8	216.5
Visco 10°C, mm ² /s, calculado	2319.3	1189.5
Visco 70°C, mm ² /s, calculado	84.52	65.49
Visco 80°C, mm ² /s, calculado	59.1	47.56
Viscosidad 100°C, mm ² /s	32.04	27.4
Índice de viscosidad	137	163
Densidad a 15°C, kg/m ³		941
Contenido en agua, ppm		434
Desemulsión, min	15'	45/35/0 (20')
Inflamación, °C	262	270
Congelación, °C	-36	-33 (D-1274)
Grado de limpieza ISO 4406		-
Nº neutralización, mg KOH/g		0.94

Nota: Datos proporcionados por VERKOL S.A.

Tabla 11. Características y resultados de referencia II

Características	RINE: TRIBOL 1710	BIOGIR-212 D-1304
FZG micropitting FVA 54/I-IV, C-GF/8.3/90, etapa de fallo/clase GFT	>10	>10/Alta (D-1287)
FZG micropitting FVA 54/I-IV, C-GF/8.3/60, etapa de fallo/clase GFT		>10/Alta
FZG, A/8.3/90, etapa de fallo		>12
FZG, A/16.6/90, etapa de fallo	>12	>14 (D-1274)
FAG FE8 7.5/80h/100kN, etapa 1: desgaste rodillos, mg desgaste jaulas, mg		0 166
FAG FE8 75/800h/100kN, etapa 2: desgaste rodillos, mg		-
FAG L11 9000/700h/8.5kN etapa 3: pasa		no disponible
FAG FE8 75/600h/60kN, etapa 4: pasa (*)		no disponible
Maq 4-bolas: (1 min/80 kg), mm	0.40	0.40
Maq 4-bolas: soldadura, kg	240	240

Nota: Datos proporcionados por VERKOL S.A.

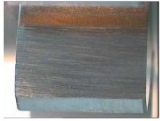
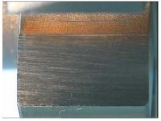
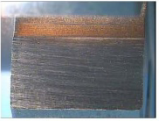



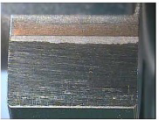
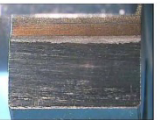
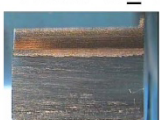


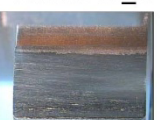
Tabla 12. Características y resultados de referencia III

Características	RINE: TRIBOL 1710	BIOGIR-212 D-1304
HPDSC dinámico, °C		242
HPDSC isoterma Cu a 170°C, min		27.5
Ensayo de corrosión		no disponible
Corrosión al Cu, 3h/100°C		1a
Espumas Secuencia I: 24°C Secuencia II: 93.5°C Secuencia III: 24°C tras 93.5°C	<50/0 <50/0 <50/0	20/0
SRE-NBR 28 (7 días/100°C) Cambio de volumen, % Cambio dureza Shore A, % Disminución esfuerzo de tracción, % Disminución ruptura de elongación, %		4.1 -4 2.3 12.2

Nota: Datos proporcionados por VERKOL S.A.

12.2 Resultados ensayo FZG BIOGIR-212

Tabla 13. Resultados banco de ensayos FZG micropitting

DIENTE 4 (BIOGIR-212) D-1287		ETAPA-5	ETAPA-6	ETAPA-7	ETAPA-8
ETAPA	AREA, mm ²				
5	0.7				
6	0.8				
7	1.6				
8	3.6	ETAPA-9	ETAPA-10	ENDU-8	ENDU-10_1
9	6.5				
10	11				
ENDU 8	13				
ENDU 10_1	13				
ENDU 10_2	13	ENDU-10_2	ENDU-10_3	ENDU-10_4	ENDU-10_5
ENDU 10_3	13				
ENDU 10_4	13.5				
ENDU 10_5	13.5				

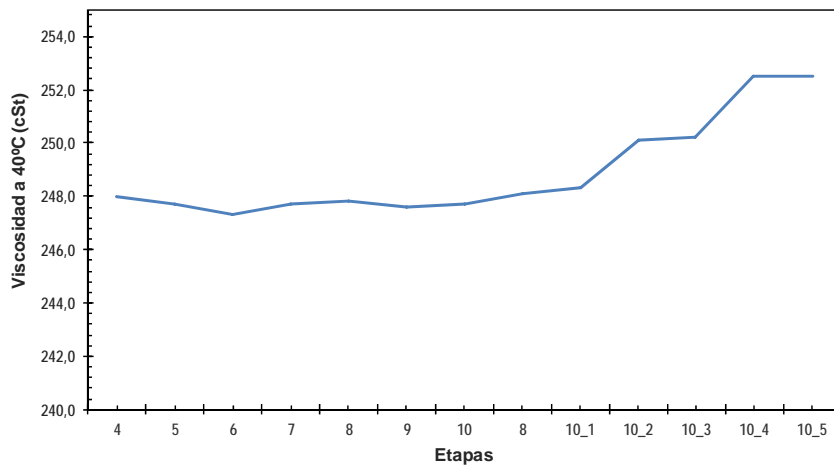


Figura 22. Evolución de la viscosidad a 40°C (cSt) [datos de Verkol S.A.]

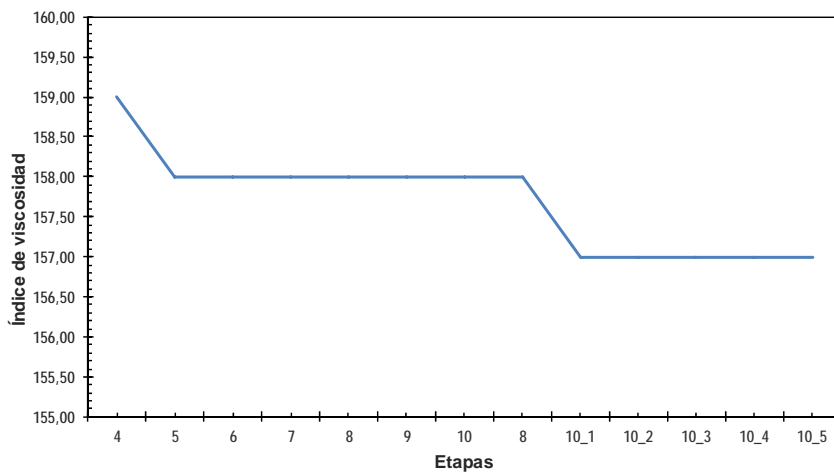


Figura 23. Evolución de índice de viscosidad [datos de Verkol S.A.]

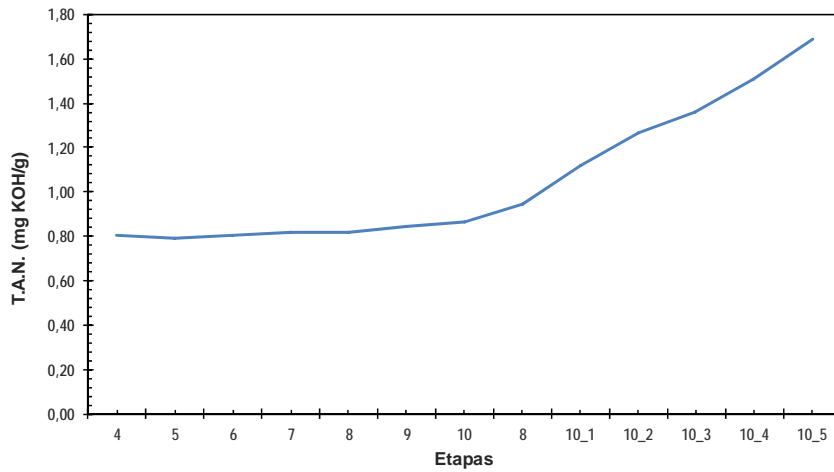


Figura 24. Evolución de T.A.N. [datos de Verkol S.A.]

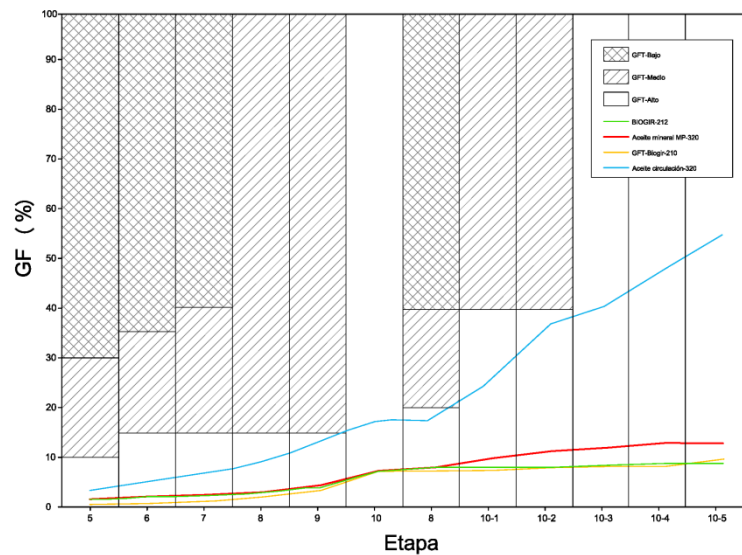


Figura 25. Resultados banco de ensayos FZG. Área micropitting GF [datos de Verkol S.A.]

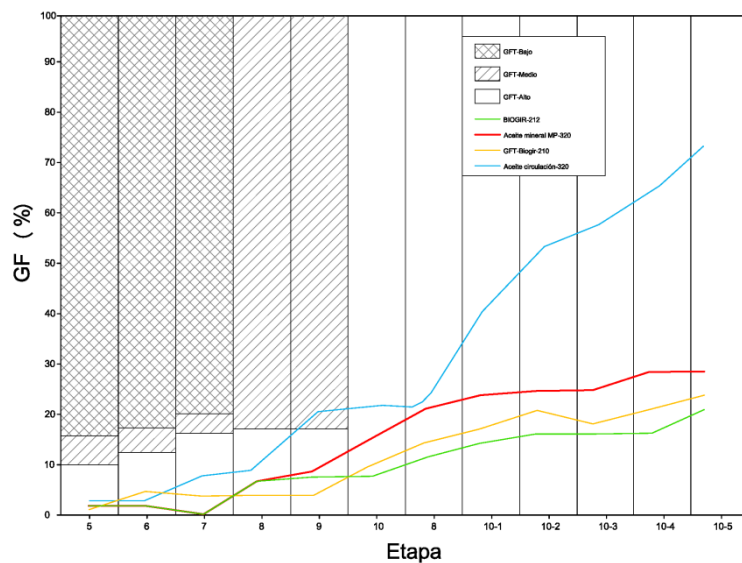


Figura 26. Resultados banco de ensayos FZG. Pérdida de peso [datos de Verkol S.A.]

12.3 Grasa para corona BIOGIR-302

Tabla 14. Características y resultados de referencia

Referencia	RINC A-1390	BIOGIR 302 D-1283/1
Fluido base: composición y viscosidad	Aceite mineral 1350 mm ² /s a 40°C (teórico)	HOSO 83% / Ester Espesantes A y B 470 mm ² /s a 40°C
Tipo de jabón	Li	Li complejo
Aditivos sólidos (%)	0	Sólidos 1, 2 y 3 (10) AWEP
Aditivos líquidos	-	AO/CI
Punto de gota, °C	283	272
Penetración 0/60w, 1/10 mm	249 / 255	266 / 267
Resistencia al pulverizado con agua, %	8.17 / 9.51	1.59
Ensayo de corrosión EMCOR	3 - 2	0 - 0
M4 bolas: desgaste 1min (mm)/soldadura (kg)	0.40 / 260	0.41 / 280

Nota: Datos proporcionados por VERKOL S.A.



Figura 27. Ensayo comparativo de adherencia para 2 ml de grasa. Imagen superior (12/04/2010), inferior (19/07/2010)