

Análisis de Refrigerante, Herramienta Predictiva para el Mantenimiento de Sistemas de Refrigeración en Motores de Combustión

M. Sc. Gustavo Pignalosa – PROCHECK SAS (gp@procheck.com.uy)

Carsten Heine – Gerente de Soporte Técnico Oelcheck GmbH

11 de noviembre del 2021

Mantenimiento predictivo de motores de combustión

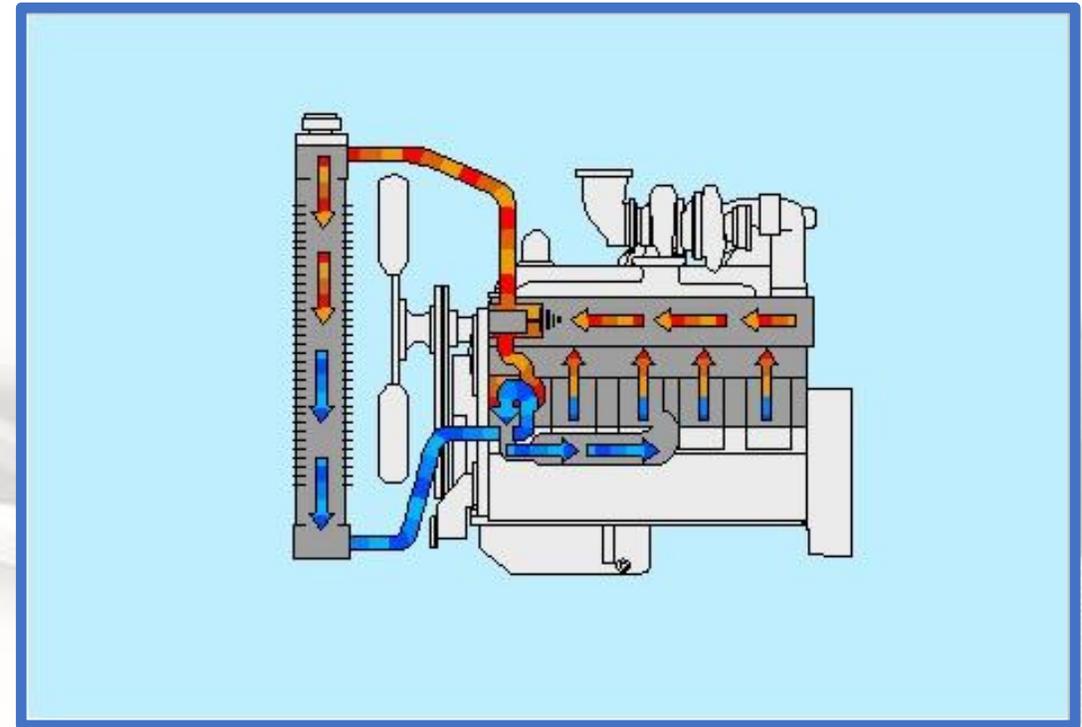
- Análisis de Lubricante (observaciones cuando existe sobrecalentamiento)
 - Aumento de Viscosidad
 - Aumento de la Oxidación
 - Formación de Lodos y Barnices
 - Aumento de la Acidez (disminución de la basicidad)

Consecuencia: Disminución de la vida útil del lubricante y aumento del desgaste del motor

Causas de sobrecalentamiento de motores

- Perdidas en el sistema refrigerante
- Electroventiladores defectuosos
- Sensores de temperatura defectuosos
- Termostato defectuoso
- Fluido refrigerante fuera de condición

Circuito de Refrigerante



Funciones del fluido refrigerante



- Transferencia de calor (llevar el calor de las zonas caliente al exterior)
- Protección contra la corrosión de sistema (protección de los materiales utilizados en los dispositivos contra la corrosión)

Tipos fluidos refrigerantes

- Aire
- Agua
- Refrigerante formulado



Tipos de Refrigerantes base Glicoles

Composición: Una clase de glicol + Un paquete de aditivos + agua

- **Glicoles** (diferentes opciones)
(mono etilenglicol, di etilenglicol, tri etilenglicol, propilenglicol, glicerina)
- **Aditivos** (diferentes conceptos)
(sales inorgánicas, ácidos y sales orgánicos, híbridos)
- **Agua** (diferentes tipos)
(sin tratar, ablandada, desionizada, osmosis inversa)



Tecnologías de aditivos

	IAT	OAT	Híbrido (H-OAT)
Ventajas	Desarrollo de efecto rápido a poco tiempo después del llenado	Intervalos de cambio extendidos (hasta 5 años)	Combina las ventajas de las dos tecnologías (IAT y OAT). Acción rápida por sílice o fosfato. Intervalos de cambio extendidos (hasta 5 años)
Desventajas	Consumo rápido de aditivos (riesgo de corrosión) Cortos intervalos de cambio, 2 años (riesgo de precipitados/depósitos)	Desarrollo del efecto más lento <u>Usualmente no compatibles con los IAT o H-OAT</u>	

Composición de la diferentes tecnologías

Inhibidor	IAT	Si-OAT H-OAT	P-OAT	OAT
Sales y ácidos orgánicos		X	X	X
Boratos	X	X		
Silicatos	X	X		
Fosfatos	X	(X)	X	
Nitratos	X	X	X	
Nitritos	X	(X)		
Molibdatos			X	(X)
Azoles (MBT, TTZ, BZT)	X	X	X	X

MBT: 2-mercaptobenzimidazol; TTZ: tolyltriazol; BZT: benzotriazol

Análisis de refrigerantes

- **Test para refrigerantes in situ**

Los test nos son universales para cualquier tipo de refrigerante. Por lo general pueden determinar solo algunos parámetros. No pueden determinar los metales proveniente del desgaste o corrosión.

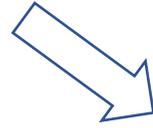
- **Test para refrigerantes en laboratorio**

Permiten realizar una evaluación completa. Estado del anticongelante, estados del o los inhibidores de corrosión, estado del agua utilizada, metales de desgaste y/o corrosión, contaminantes, etc..

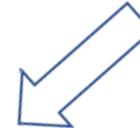


Ensayos que se realizan en el laboratorio

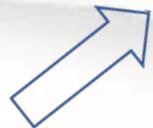
Cromatografía Iónica



HPLC



Observación Visual
y Otros ensayos



Espectrometría de Emisión Atómica (EEA)



Aspecto Visual



Color (pueden existir cambios debidos a mezclas con otros productos, cambios de pH, cambio en el tiempo)

Evaluación Visual (contaminantes sólidos, turbidez, barros)

Ensayos básicos



Densidad a 20°C

Índice de Refracción

Conductividad

pH

Contenido de Glicol

Punto de Congelación

Emisión Atómica - ICP



Metales de desgaste o corrosión:

Al, Pb, Cr, Fe, Cu, Ni, Zn, Sn, Li,
Mn, Ag, Ti, V, K, Mo, Na, Si.

No Metales: B y P.

Dureza del Agua: Ca, Mg.

Cromatografía Iónica



Iones y ácidos de cadena corta

Iones contaminantes del agua:
Sulfato, Cloruro

Productos de reacción de glicol:
Glicolato, Formiato y Oxalato

Aditivos:
Acetato, Nitrato, Nitrito y Fosfato

Contaminantes:
Bromuro, Fluoruro

Cromatografía Líquida de Alta Presión (HPLC)



Información de ácidos de cadena larga y sus sales.
(relevante para observar mezclas y agotamiento de aditivos)

- 2 Etil Hexanoico
- Isononanoico
- Sebásico
- Toluico
- Octanoico
- Benzoico
- Mercaptobenzotriazol
- Toliltriazol
- Benzotriazol

Evaluación de refrigerante/anticorrosivo

- ¿De que tipo de producto es la muestra?
(Concentrado, Diluido (¿que concentración?), Agua (¿tratada o sin tratar?))
- Examen visual
(Más significativo que con muestras de aceite, Contaminantes (turbidez y partículas en suspensión), Color (mezclas, deterioro))
- Las mezclas de diferentes tipos son críticas
(si hay mezcla se estudia la tendencia que pueda alterar el rendimiento a largo plazo)

Evaluación de refrigerante/anticorrosivo

- Se requiere mas información

(cuanto mas información provea el cliente mejor es el diagnóstico, una prueba más completa genera una visión más profunda)

Evaluación de refrigerante/anticorrosivo

Recomendaciones

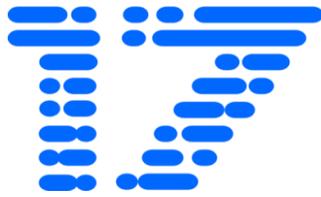
- **Realizar un tratamiento debido a:**
 - Presencia de contaminantes sólidos
 - Concentración de Glicol incorrecta
- **Cambiar necesariamente debido a:**
 - Reducción de la concentración del inhibidor
 - Aumento de productos de descomposición
 - Corrosión
 - Límites condenatorios
- **Reducir el intervalo de muestreo:**
 - Mezcla de diferentes tipos de refrigerante/anticorrosivo
 - Disminución de la calidad del agua
 - Contaminación

Kits para análisis de Refrigerante/Anticorrosivo

Category	Testing method	Test result	KIT	Basic 1	Basic 2	Advanced	Premium
Coolant condition	Visual evaluation	Appearance, colour, contaminants		✓	✓	✓	✓
	Refractometer	Refractive index, glycol concentration ¹⁾ , freezing point ¹⁾		✓	✓	✓	✓
	U-tube oscillator	Density		✓	✓	✓	✓
	pH-meter	pH value		✓	✓	✓	✓
	Conductometer	Conductivity		✓	✓	✓	✓
Water quality	ICP	Water hardness ²⁾ , Total alkaline earth metals ²⁾ , Calcium, Magnesium			✓	✓	✓
	IC	Chloride, Sulfate				✓	✓
Decomposition products	IC	Acetate, Formate, Glycolate, Oxalate				✓	✓
Contaminants	ICP	Aluminium, Lead, Chrome, Iron, Copper, Nickel, Zinc, Tin, Lithium, Manganese, Silver, Titanium, Vanadium			✓	✓	✓
	IC	Bromide, Fluoride				✓	✓
Additives	ICP-OES	Boron, Potassium, Molybdenum, Sodium, Phosphorus, Silicate ³⁾ , Silicon			✓	✓	✓
	IC	Adipic acid, Nitrate, Nitrite, Phosphate				✓	✓
	HPLC	Benzoate, Benzotriazole, 2-ethylhexanoic acid, Isomonanoic acid, Mercaptobenzothiazole, Octanoic acid, Sebaic acid, Toluic acid, Tolytriazole					✓

ICP: Optical emission spectrometry with inductively coupled plasma
 IC: Ion chromatography
 HPLC: High performance liquid chromatography

1) calculated using the refractive index
 2) calculated using magnesium and calcium
 3) calculated using silicon



Ejemplo de Refrigerante/Anticorrosivo

RESULTADOS DE ANALISIS		Muestra actual	Muestras anteriores	
NÚMERO DE LABORATORIO		75000145	75000092	75000073
EVALUACIÓN GENERAL		!	i	!
Fecha de análisis		06.08.2021	11.05.2021	19.02.2021
Fecha de muestreo		29.07.2021	03.05.2021	12.02.2021
Fecha del último cambio de refrigerante		01.12.2019	01.12.2019	01.12.2019
Recarga desde el cambio		-	-	-
Tiempo de funcionamiento desde el	h	27	13	12
Tiempo de funcionamiento total	h	157	143	142
Refrigerante cambiado		No	No	No
ESTADO				
Color		Rosado	Naranja rojizo	Rosado
Índice de refracción a 20°C		1.3836	1.3836	1.3839
Concentración de glicol	% [Vol/Vol]	48.5	48.5	48.8
Densidad a 20 °C	kg/m ³	1065	1065	1065
Valor de pH a 25°C		8.2	8.2	8.3
Conductividad a 25°C	µS/cm	2621	2681	2567
Punto de congelación	°C	-32.9	-32.9	-33.3
CALIDAD DEL AGUA				
Dureza del agua	*dH	0.6	0.6	0.6
Alcalinotérreos	mmol/l	0.11	0.11	0.10
Calcio	Ca mg/l	3.1	3.2	2.9
Magnesio	Mg mg/l	0.9	0.8	0.8
Sulfato	mg/l	29.8	22.8	22.2
Cloruro	mg/l	< 5.0	< 5.0	< 5.0
ADITIVOS				
Sodio	Na mg/l	3402.8	3397.8	3281.6
Fósforo	P mg/l	0.0	0.0	0.0
Boro	B mg/l	0.5	0.6	0.3
Potasio	K mg/l	9.4	11.4	13.5
Silicio	Si mg/l	3.0	2.3	2.1
Molibdeno	Mo mg/l	0.0	0.0	0.0
Nitrato	mg/l	< 5.0	< 5.0	< 5.0
Nitrito	mg/l	< 5.0	< 5.0	< 5.0
Fosfato	mg/l	< 5.0	< 5.0	< 5.0
Ácido adípico	mg/l	< 5.0	< 5.0	< 5.0
Ácido Benzoico	mg/l	13.8	-	17.2
Ácido sebáico	mg/l	< 50.0	-	< 50.0
Benzotriazol	mg/l	< 10.0	-	< 10.0
Ácido 2-etilhexanoico	mg/l	18714.3	-	17142.7
Toliltriazol	mg/l	955.9	-	932.6
Ácido isononanoico	mg/l	< 50.0	-	< 50.0
Ácido octanoico	mg/l	< 50.0	-	< 50.0
Mercaptobenzotiazol	mg/l	< 10.0	-	< 10.0
Ácido toluico	mg/l	< 10.0	-	< 10.0
Acetat	mg/l	5.4	5.6	7.6

Otros datos de la muestra
Temperatura del refrigerante:
75 °C



Diagnóstico de los resultados actuales del laboratorio
Se identifica turbidez en el fluido. Se observa contaminación en la muestra. La concentración de glicol está en el rango usual. El valor de pH es normal y dentro de los límites de tolerancia posibles. Hierro ha aumentado fuertemente. Una posible causa es corrosión. Se recomienda que cambie el refrigerante si no se ha hecho ya.
Dr. Christoph Rohbogner

Evaluación general
!
acción

RESULTADOS DE ANALISIS		Muestra actual	Muestras anteriores	
NÚMERO DE LABORATORIO		75000145	75000092	75000073
EVALUACIÓN GENERAL		!	i	!
Fecha de análisis		06.08.2021	11.05.2021	19.02.2021
Fecha de muestreo		29.07.2021	03.05.2021	12.02.2021
Fecha del último cambio de refrigerante		01.12.2019	01.12.2019	01.12.2019
Recarga desde el cambio		-	-	-
Tiempo de funcionamiento desde el	h	27	13	12
Tiempo de funcionamiento total	h	157	143	142
Refrigerante cambiado		No	No	No
DESGASTE				
Hierro	Fe mg/l	13.0	4.0	5.8
Cromo	Cr mg/l	0.0	0.0	0.0
Aluminio	Al mg/l	0.2	0.1	0.1
Níquel	Ni mg/l	0.0	0.0	0.0
Cobre	Cu mg/l	0.9	0.3	0.4
Plomo	Pb mg/l	0.0	0.0	0.0
Cinc	Zn mg/l	0.2	0.0	0.1
Estaño	Sn mg/l	0.0	0.0	0.0
PRODUCTO DE DEGRADACIÓN				
Glicolato	mg/l	79.9	78.4	71.4
Formiato	mg/l	70.6	45.9	53.1
Oxalato	mg/l	< 5.0	< 5.0	< 5.0
CONTAMINACIÓN				
Fluoruro	mg/l	< 5.0	< 5.0	< 5.0
Bromuro	mg/l	< 10.0	< 10.0	< 10.0
Manganeso	Mn mg/l	0.8	0.4	0.5
Titanio	Ti mg/l	0.0	0.0	0.0
Vanadio	V mg/l	0.0	0.0	0.0
Plata	Ag mg/l	0.0	0.0	0.0
Litio	Li mg/l	0.0	0.0	0.1



Brannenburg - Alemania



Montevideo – Uruguay
gp@procheck.com.uy

Muchas gracias !!!