

Pruebas de corrosión acelerada para aplicaciones automotrices

Mario Artieda
Grupo ADI Instrumentos

[Vea vídeo de presentación con audio.](#)

Temario

- Resumen de corrosión automotriz
- Pruebas de corrosión al aire libre
- Desarrollos recientes en pruebas de corrosión cíclica
 - Control de Humedad Relativa
 - Soluciones de electrolitos (sal)
- Modern cyclic corrosion test methods and laboratory equipment

Corrosión de componentes automotrices

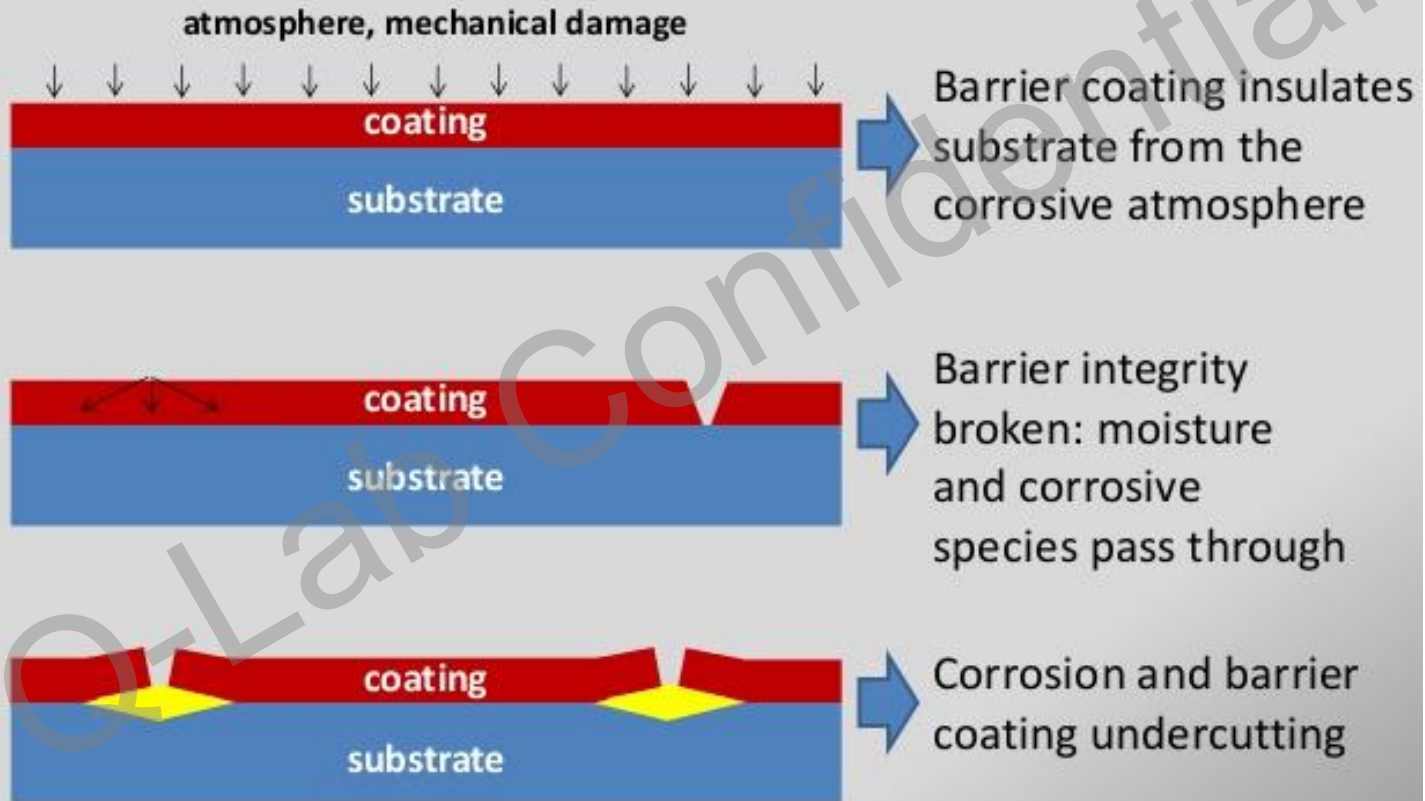


¿Qué causa la corrosión automotriz?

- Exposición a un clima corrosivo
 - Ciclos húmedos y secos
- Acelerado si hay químicos presents
 - Sal, Lluvia ácida
- El metal queda expuesto.
 - Rasguño o rayado, impacto, astillas
- La pintura o el revestimiento pueden no proteger despues del daño inicial

Mecanismos de Corrosión

Anti-corrosion coating: real-life scenario



Tipos de Corrosión

Corrosión cosmética

- Protección de la pintura
- Humedad alta
- Efecto salpicadura del camino



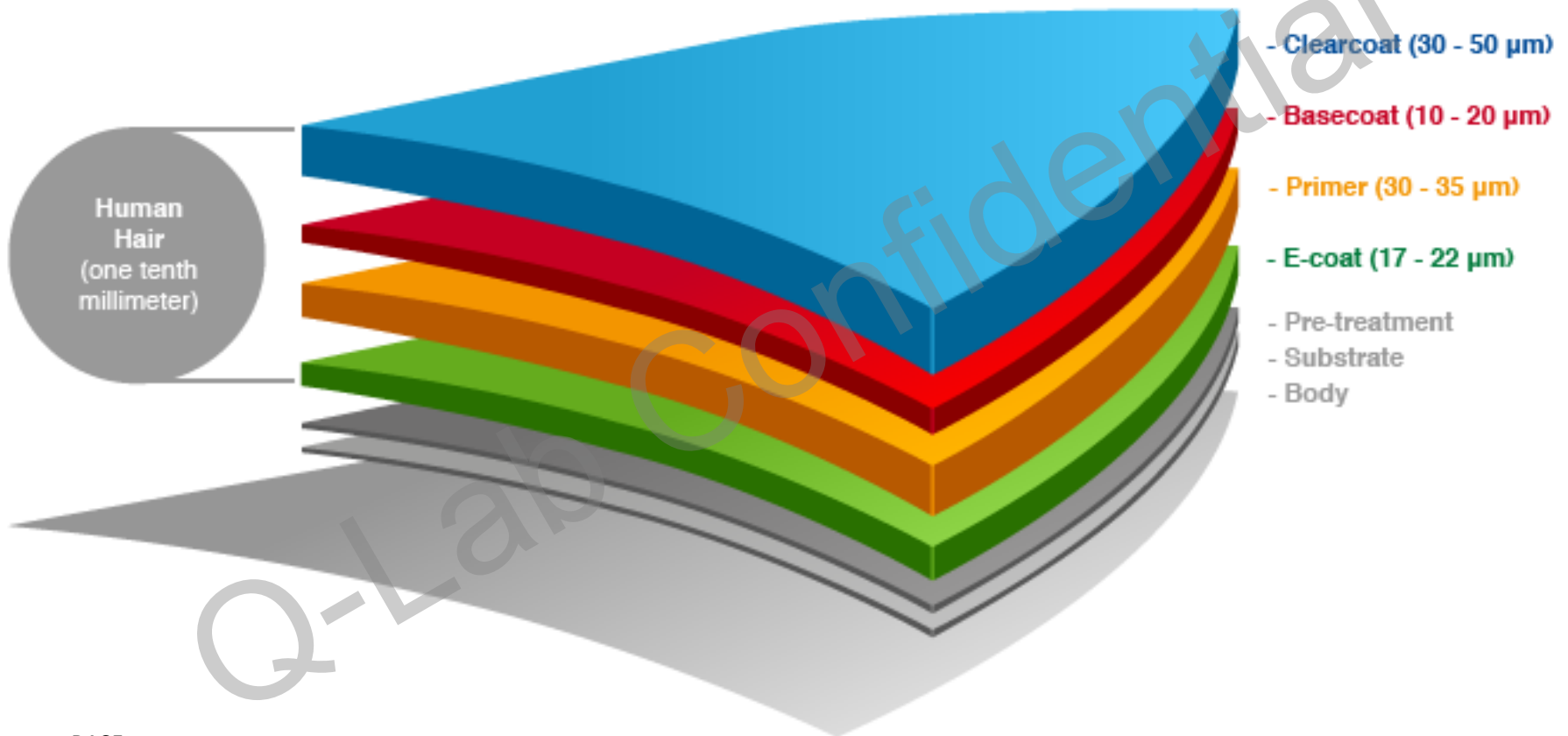
Corrosión Estructural

- Sin UV
- ¿Las partes están recubiertas?



Recubrimientos Protectores Orgánicos

Sistema de recubrimiento automotriz típico



Fuente: BASF

Prueba de corrosión automotriz

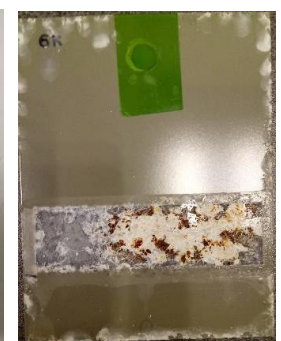
Nivel de componente

Tipos de método de prueba

- Spray de sal neutral
- CCT
- CASS
- Filiform

Tipos de muestra de prueba

- Paneles planos/cupones: abierto, grieta, cosmético
- Componentes completos: por ejemplo sujetadores, molduras de escape, insignias, ruedas



Prueba de Corrosión Automotriz

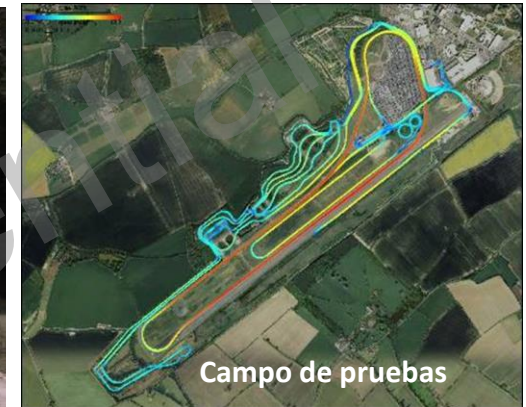
Vehículo Entero



Cámaras de humedad para el vehículo



Durabilidad para la Carretera



Campo de pruebas



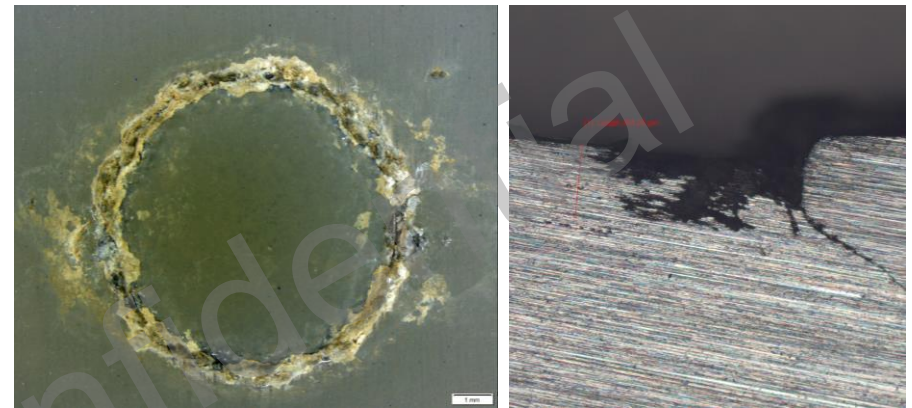
Desmontaje

- Humedad y temperatura
- Spray de sal
- Ciclos de conducción (pistas de polvo, fuera de carretera, carreteras de durabilidad)
- Desmontaje y evaluaciones

Modos de falla corrosivos



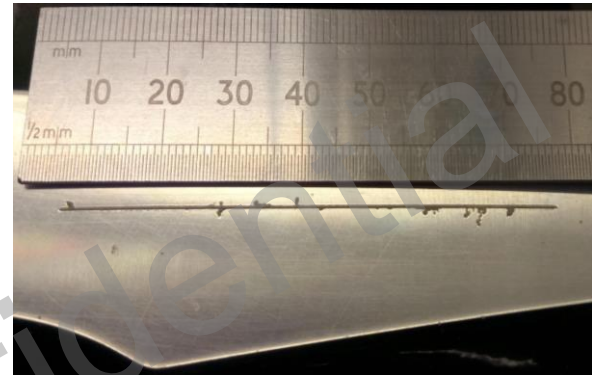
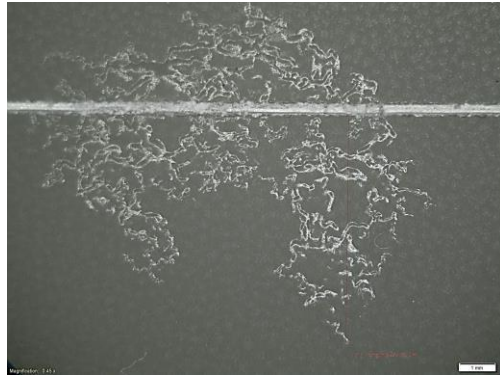
Serie 5xxx Aluminio unido a fibra de carbono



Remaches de acero en chapa de aluminio

- Construcción de material mixto
 - Corrosión galvánica
 - Corrosión en grietas
 - Corrosión filiforme
- *Crítico para correlacionar los métodos de prueba de laboratorio con las condiciones del mundo real*

Modos de falla corrosiva



Corrosión filiforme en chapa de aluminio pintada serie 6xxx.

Corrosión filiforme en la superficie de la rueda de carretera con corte de diamante (lacado), Al-Si₇Mg

Hoja de aluminio pintada

- Corrosión cosmética "filiforme".
- Acelerado por condiciones galvánicas y de grietas, bordes cortados, superficies retrabajadas.

Corrosión Automotriz

Objetivos de prueba

- **Objetivo 1:** Determinar el rendimiento *antes* y *después* del daño.
- **Objetivo 2:** Seleccionar y usar métodos de prueba realistas
- **Objetivo 3:** Acelerar la prueba y generar resultados correlativos

Los avances recientes en las pruebas de corrosión cíclica nos ayudan a alcanzar estos objetivos.

Prueba de corrosión al aire libre

Q-Lab Confidential

Sitios de prueba de corrosión al aire libre



Centro Espacial Kennedy, Florida - considerado el sitio de prueba de corrosión más severo en los Estados Unidos

Prueba de corrosión al aire libre



- Panel de prueba en el sitio de prueba de corrosión del Centro Espacial Kennedy
- Tenga en cuenta los pernos de retención con aislamiento eléctrico para evitar la formación de celdas galvánicas

Terrenos de pruebas automotrices



**General Motors terreno de pruebas,
Milford, Michigan, establecido en 1923**

- Autos conducidos a través de agua salada, lodo y otros contaminantes
- Después de varias semanas o meses, los automóviles se desarman y evalúan para detectar corrosión.
- Cupones de prueba de corrosión también colocados en vehículos para correlacionarlos con pruebas de laboratorio.

Pruebas de corrosión automotriz al aire libre

Vehículo de prueba

Humedad superficial



Perdida de Masa



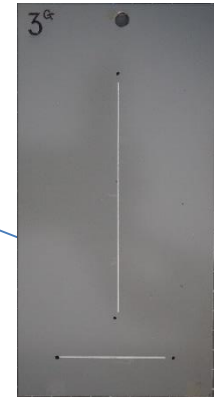
Temperatura de superficie



Humedad y temperatura del aire



Placas de material



Laboratorio Acelerado

Prueba de Corrosión

Prueba cíclica y control de
humedad relativa

¿Qué está cambiando en las pruebas de corrosión cíclica y por qué?

- Las pruebas cíclicas como PV1210 y JASO M609 son más realistas que las pruebas simples como ASTM B117, pero no lo suficientemente buenas para todas las aplicaciones.
- **Pruebas de Corrosión Moderna** controlar y mantener la HR entre 50-90%

¿Porqué?

Delicuescencia Humedad Relativa (DRH)

Sal	DRH
Cloruro de Potasio (KCl)	85%
<i>Cloruro de Sodio (NaCl)</i>	76%
Cloruro de Magnesio (MgCl ₂)	33%
<i>Cloruro de Calcio (CaCl₂)</i>	31%

- Agua líquida se forma a HR <100% cuando hay sal presente
- Agua líquida acelera la corrosión
- **¡El DRH del NaCl es de 76% y es, por lo tanto, un valor crítico para las pruebas!**

Lugares corrosivos al aire libre



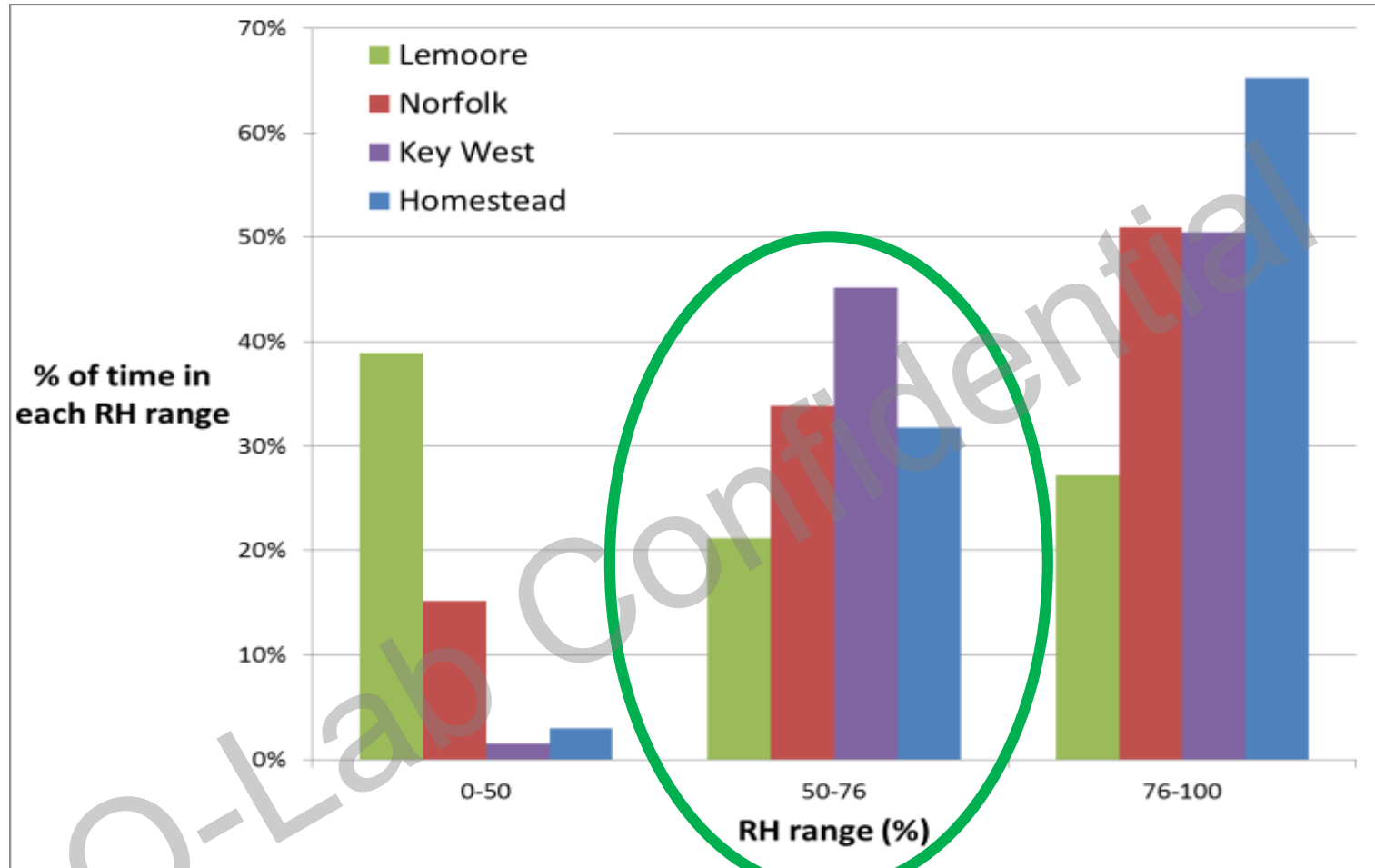
Lemoore, CA
Inland

Norfolk, VA
Marine

Homestead, FL
Tropical

Key West, FL
Marine

Condiciones de HR en el entorno natural



- Todas las regiones pasan un tiempo considerable en la HR intermedia (alrededor del 76%)
- ¡Los estándares de prueba modernos reconocen esto y controlan la HR en estos niveles!

Humedad Relativa

“controlando el medio”

- El control de HR entre 50% y 90% es crítico
- Ciclos de mojado y seco no puede hacer esto
 - Solo pueden hacer mojado, seco, ambiente
 - Sin control de los tiempos de transición de HR
 - Tasas variables de secado de muestras

Aspectos clave de las pruebas modernas de corrosión

- Configuraciones específicas de humedad relativa (no solo ambiental, húmeda o seca)
- Temperatura controlada/HR y transiciones para mejorar la reproducibilidad
- Soluciones personalizadas de electrolitos (sal)
- Sal "Niebla" a veces reemplazada por spray directo ("Baño")

Pruebas de corrosión cíclica acelerada de laboratorio automotriz moderno

- Soluciones electrolíticas
- Niebla y baño
- Control de humedad relativa
- Acondicionador de aire para un control preciso
- Equipo de prueba de corrosión

Resumen de las condiciones ambientales en los estándares modernos de corrosión automotriz

Ciclo	Solución	Tipo de Spray	HR < 50%	50% ≤ HR < 76%	HR ≥ 76%
Ford L-467/Volvo (ACT2)	NaCl 0.5% pH no controlada	Baño	0%	66%	34%
GMW 14872	NaCl 0.9% CaCl ₂ 0.1% NaHCO ₃ 0.075% pH no controlada	Baño	46% (22% debajo RH30%)	16%	38%
Renault D17 2028 (ECC1)	NaCl 1.0% pH =4.0 (H ₂ SO ₄)	Niebla	8%	62%	30%
VDA 233-102	NaCl 1.0% pH neutral	Niebla	1%*	39%	60%
Volvo ACT1	NaCl 1.0% pH =4.2 (H ₂ SO ₄)	Baño	17%	31%	52%

Variedad de soluciones de electrolíticas y acidez

Soluciones Electrolíticas Estándar

VW PV1210, JASO M609

- Cloruro de Sodio (NaCl): 5%
- pH Neutral

GMW 14872, SAE J2334

- Cloruro de Sodio (NaCl): 0.9%
- Cloruro de Calcio (CaCl_2): 0.1%
- Bicarbonato de Sodio (NaHCO_3): 0.075%
- pH no controlado, pero esencialmente neutral

Soluciones Electrolíticas Estándar

Ford L-467, Volvo 1449 (ACT2)

- Cloruro de Sodio (NaCl): 0.5%

Volvo 149 (ACT1), Renault ECC1, ISO 16701

- Cloruro de Sodio (NaCl): 1.0%
- Acido Sulfurico (H_2SO_4): ~ 1 ml de 0.5 M para 10 L de solución pH 4.2 para Volvo, 4.0 para Renault

VDA 233-102

- Cloruro de Sodio (NaCl): 1.0%

Resumen de las condiciones ambientales en los estándares modernos de corrosión automotriz

Ciclo	Solución	Tipo de Spray	HR < 50%	50%≤HR<76%	HR≥76%
Ford L-467/Volvo (ACT2)	NaCl 0.5% pH no controlada	Baño	0%	66%	34%
GMW 14872	NaCl 0.9% CaCl ₂ 0.1% NaHCO ₃ 0.075% pH no controlada	Baño	46% (22% debajo RH30%)	16%	38%
Renault D17 2028 (ECC1)	NaCl 1.0% pH =4.0 (H ₂ SO ₄)	Niebla	8%	62%	30%
VDA 233-102	NaCl 1.0% pH neutral	Niebla	1%*	39%	60%
Volvo ACT1	NaCl 1.0% pH =4.2 (H ₂ SO ₄)	Baño	17%	31%	52%

El Baño y la Niebla todavía se usan ampliamente

Niebla y Baño

Niebla



- Esprea atomizadora
- Líneas de Aire Comprimido y Solución Líquida separadas
- Controlado por la velocidad de la bomba y la presión del aire.

Baño



- Esprea de aire no comprimido instaladas sobre la boquilla de nebulización atomizadora existente
- Controlado por presión de bomba ajustable y ciclo de encendido/apagado de spray.

Tanto Niebla como Baño se usan ampliamente en pruebas de corrosión automotriz

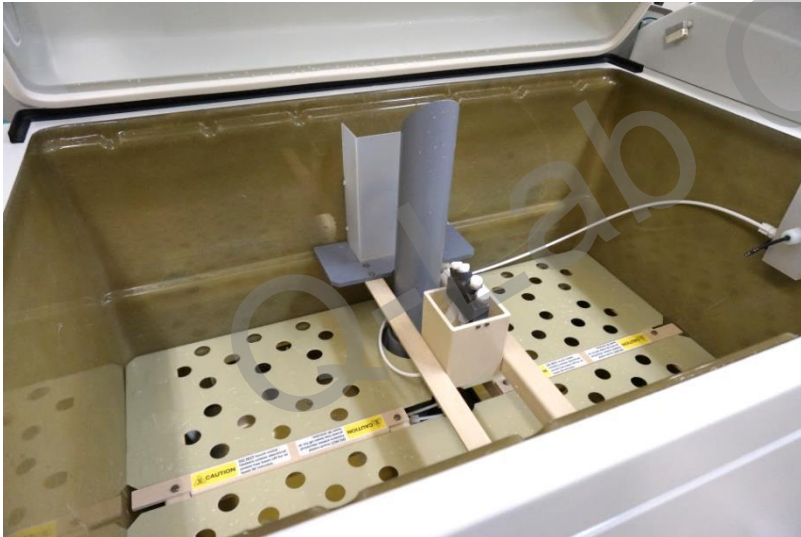
Niebla

- Renault D17-2028
- Volkswagen PV-1210
- VDA 233-102
- ASTM B117
- ASTM G85
- JASO M609

Baño

- Ford L-467
- GMW 14872
- Volvo VCS-1027.14, 149, 1449,
- Volvo VCS-423, 0014
- SAE J2334

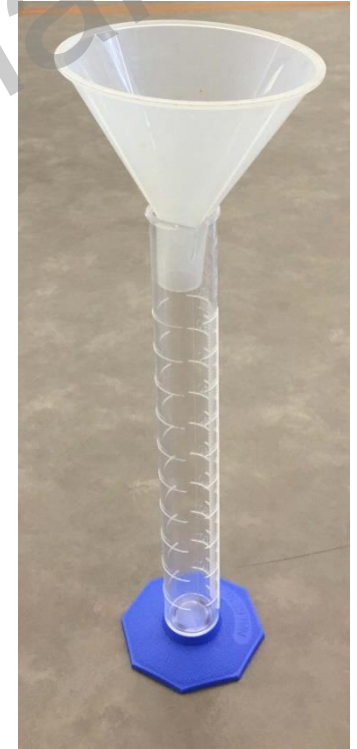
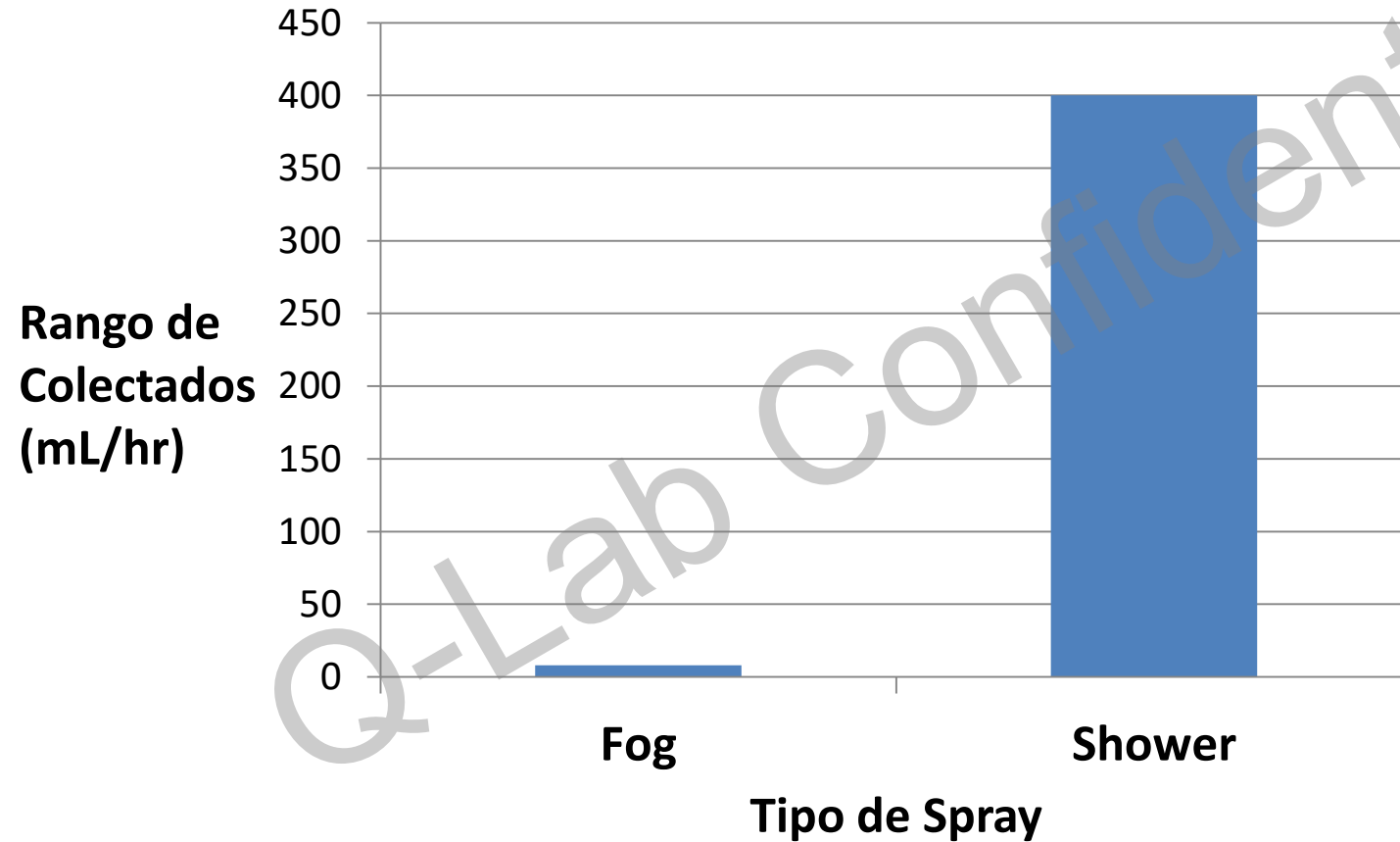
Ventajas del Baño (Spray)



- El spray de alto volumen humedece las muestras más rápido que la niebla tradicional ($\sim 100 \times$ más volumen)
- El volumen de spray se puede controlar para ajustar las tasas de corrosión.
- Posición fija con cobertura uniforme de cámara; sin necesidad de ajustes constantes por parte del usuario
- La detección de la tasa de flujo alerta al usuario si una boquilla está tapada
- Autolimpieza con agua desionizada

Medición de Niebla y Baño

Tarifa máxima de recolección por hora

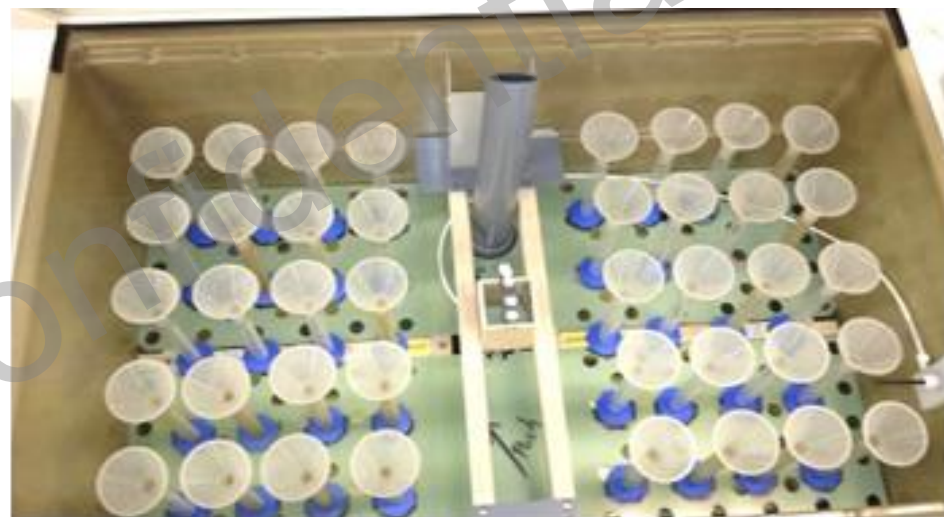


Mediciones de uniformidad de baño

24 embudos (10 cm diámetro)
en cámara Q-FOG CRH 600

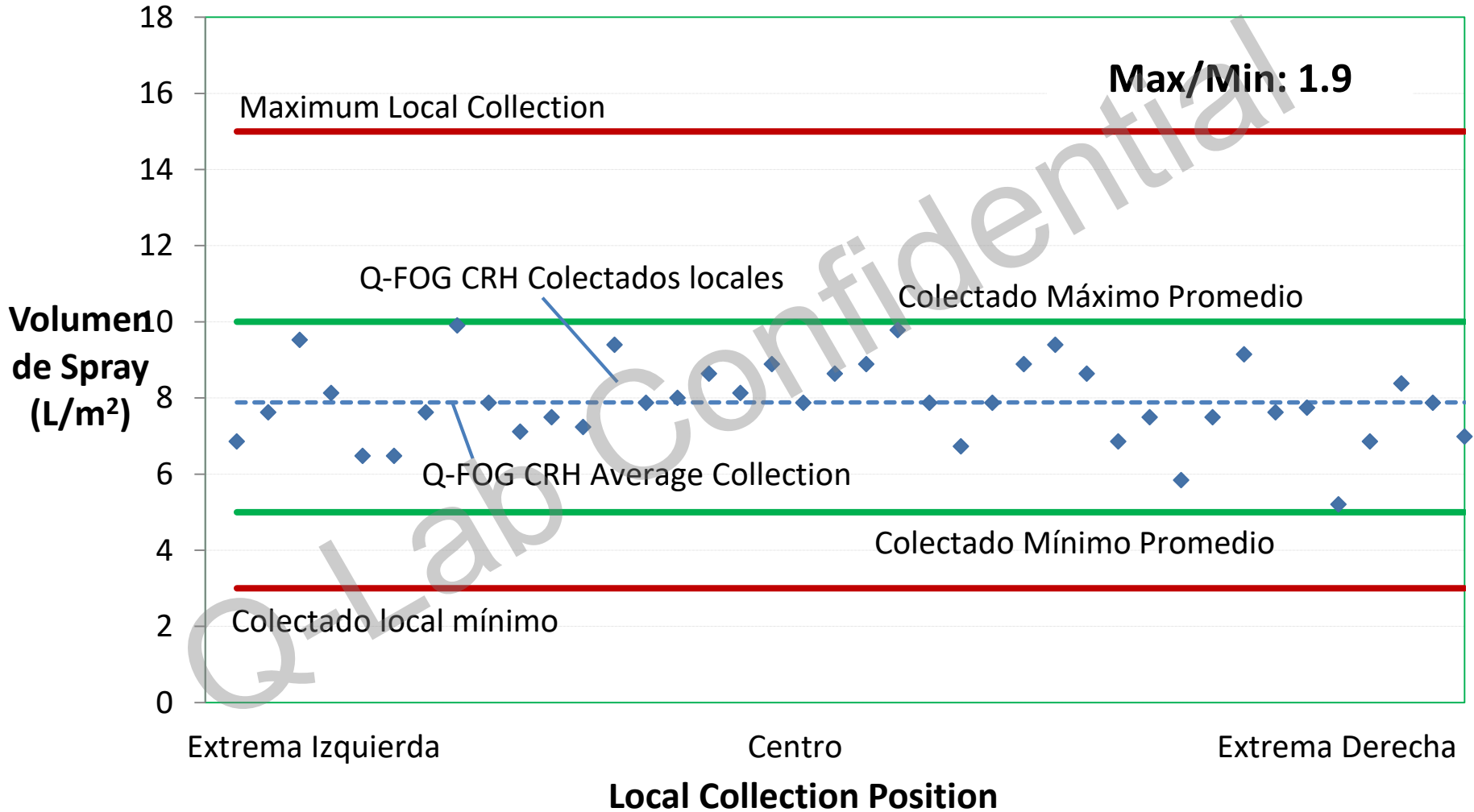


40 embudos (10 cm diámetro)
en cámara Q-FOG CRH 1100



Objetivo 40-80 ml promedio por embudo durante un ciclo de baño diario de 19 minutos
Mínimo local 24 ml
Máximo local 120 ml

Uniformidad de Baño en Q-FOG CRH - 40 posiciones (Ford L-467, Volvo ACT2)



Resumen de las condiciones ambientales en los estándares modernos de corrosión automotriz

Ciclo	Solución	Tipo de Spray	HR < 50%	50% ≤ HR < 76%	HR ≥ 76%
Ford L-467/Volvo (ACT2)	NaCl 0.5% pH no controlada	Baño	0%	66%	34%
GMW 14872	NaCl 0.9% CaCl ₂ 0.1% NaHCO ₃ 0.075% pH no controlada	Baño	46% (22% debajo RH30%)	16%	38%
Renault D17 2028 (ECC1)	NaCl 1.0% pH =4.0 (H ₂ SO ₄)	Niebla	8%	62%	30%
VDA 233-102	NaCl 1.0% pH neutral	Niebla	1%*	39%	60%
Volvo ACT1	NaCl 1.0% pH =4.2 (H ₂ SO ₄)	Baño	17%	31%	52%

Todos los estándares requieren control a valores intermedios de humedad relativa

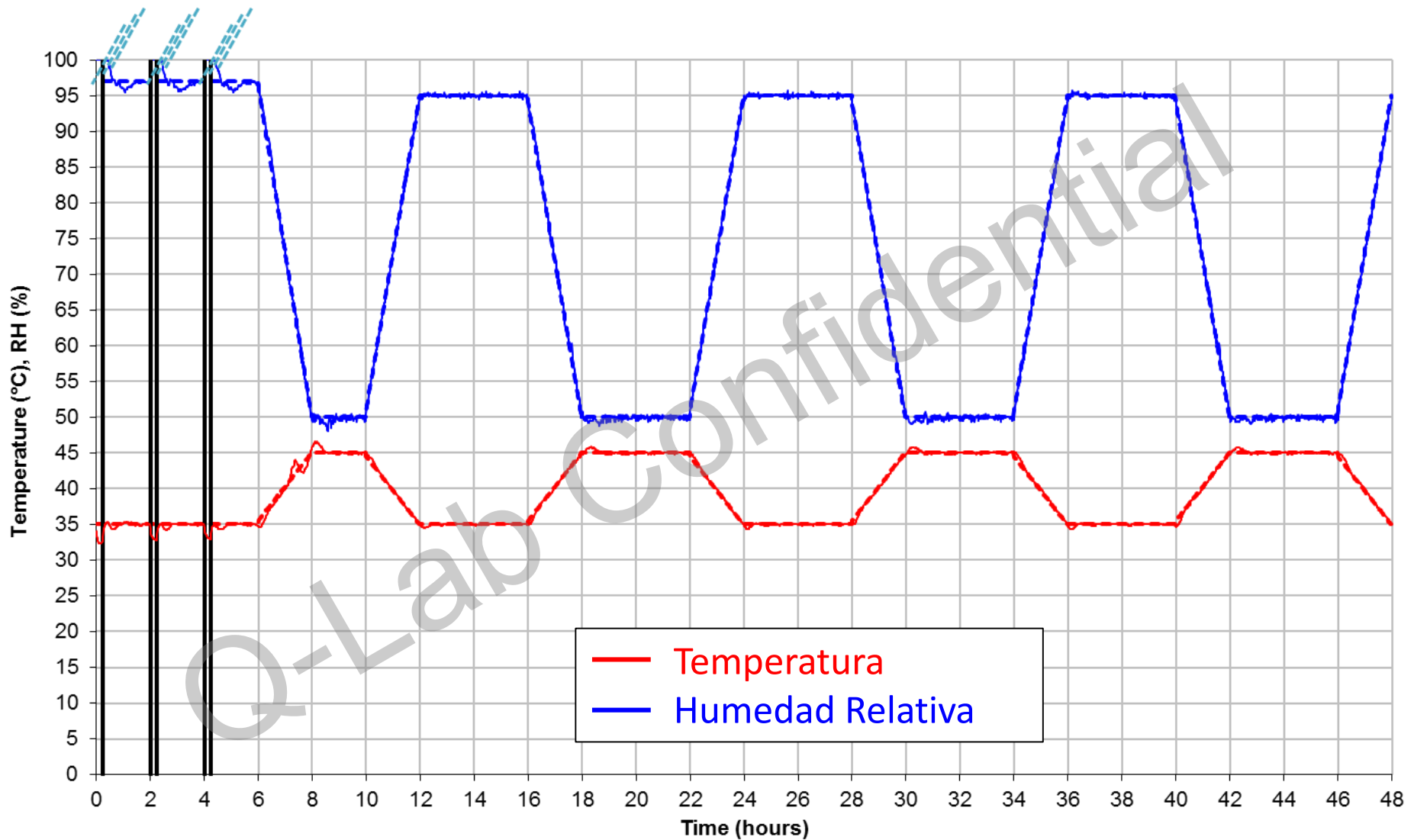
Métodos para agregar humedad

Método	Ventajas	Desventajas
Fondo húmedo calentado (dentro de la cámara)	<ul style="list-style-type: none">• Simple• Vapor de agua creado• Logra humedad saturada en un sistema cerrado	<ul style="list-style-type: none">• Respuesta lenta• La sal debe ser expulsada• Dificultad para mantener el rango medio de HR
Baño de agua calentado (en sistema de recirculación)	<ul style="list-style-type: none">• Simple• Bajo mantenimiento• Requisitos de pureza del agua menos estrictos	<ul style="list-style-type: none">• Producción limitada de vapor de humedad.
Caldera (Boiler)	<ul style="list-style-type: none">• Alto volumen de producción de vapor.• Bueno para configuraciones de alta temperatura y HR	<ul style="list-style-type: none">• Respuesta lenta• Malo para configuraciones de baja temperatura y HR alta• Debe estar protegido del ambiente corrosivo.
Spray Atomizado	<ul style="list-style-type: none">• Bueno para configuraciones de alta HR• Bueno para configuraciones de baja temperatura• Dosificación precisa de humedad• Se puede ubicar dentro de la cámara	<ul style="list-style-type: none">• Las gotas de agua requieren calor adicional para evaporarse
Nebulizadores ultrasónicos	<ul style="list-style-type: none">• Dosificación precisa de humedad	<ul style="list-style-type: none">• Debe estar protegido del ambiente corrosivo.

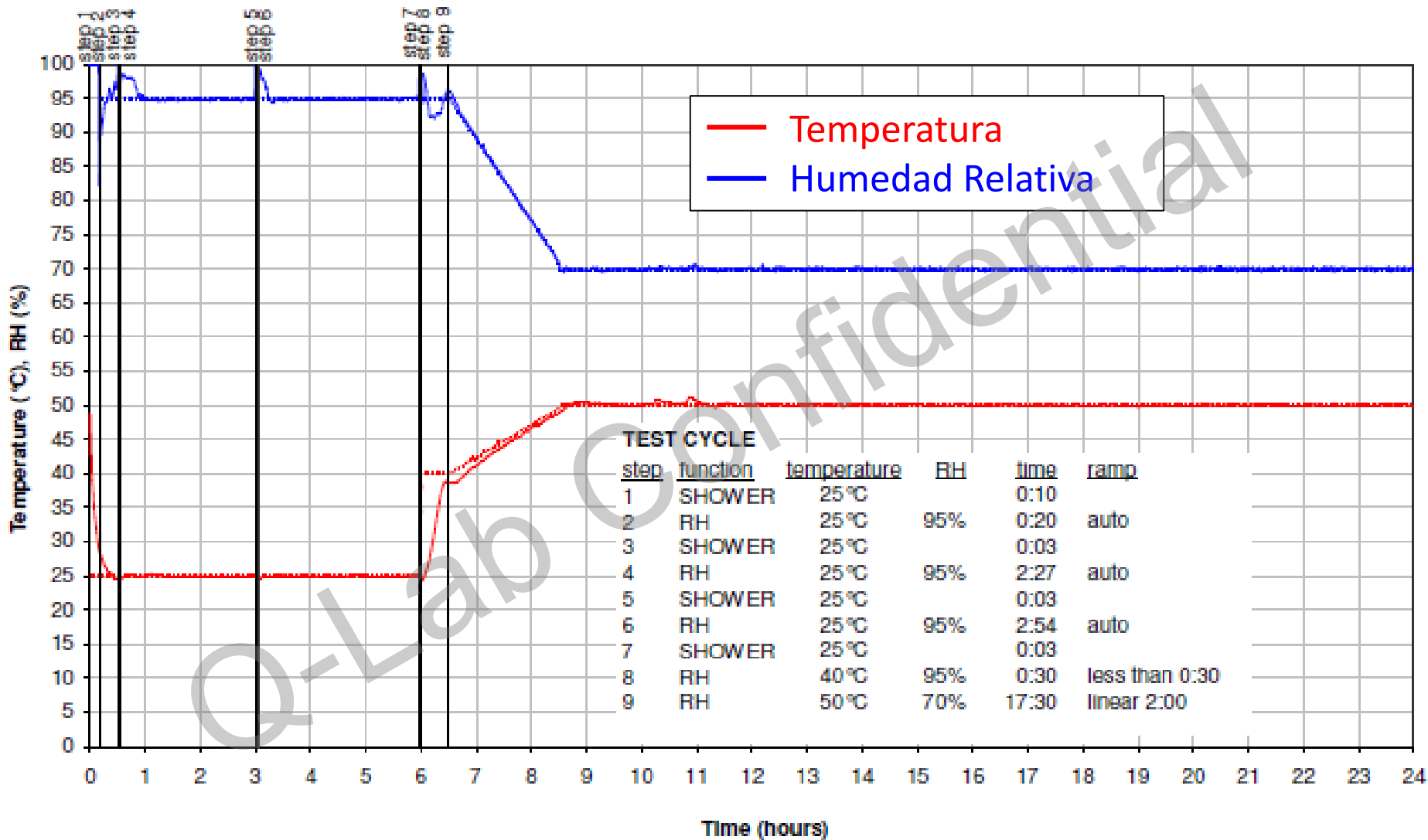
Métodos para remover la humedad

Método	Ventajas	Desventajas
Refrigeración	<ul style="list-style-type: none"> • Muy efectivo • Puede secar grandes volúmenes de aire • Proporciona un punto de rocío bajo constante • El enfriamiento permite una temperatura de prueba más baja 	<ul style="list-style-type: none"> • Hardware voluminoso • Se requiere calentamiento adicional para lograr la mayoría de las pruebas • Debe protegerse del ambiente salado
Circulación de aire comprimido	<ul style="list-style-type: none"> • Técnica simple que ahorra espacio • Funciona en ambientes salinos 	<ul style="list-style-type: none"> • Utiliza mucho aire comprimido • Menos efectivo • Riesgo de introducir contaminantes
Secador desecante	<ul style="list-style-type: none"> • Más simple que la refrigeración • Efectivo 	<ul style="list-style-type: none"> • Se vuelve voluminoso a medida que el sistema escala • Debe protegerse del ambiente salado

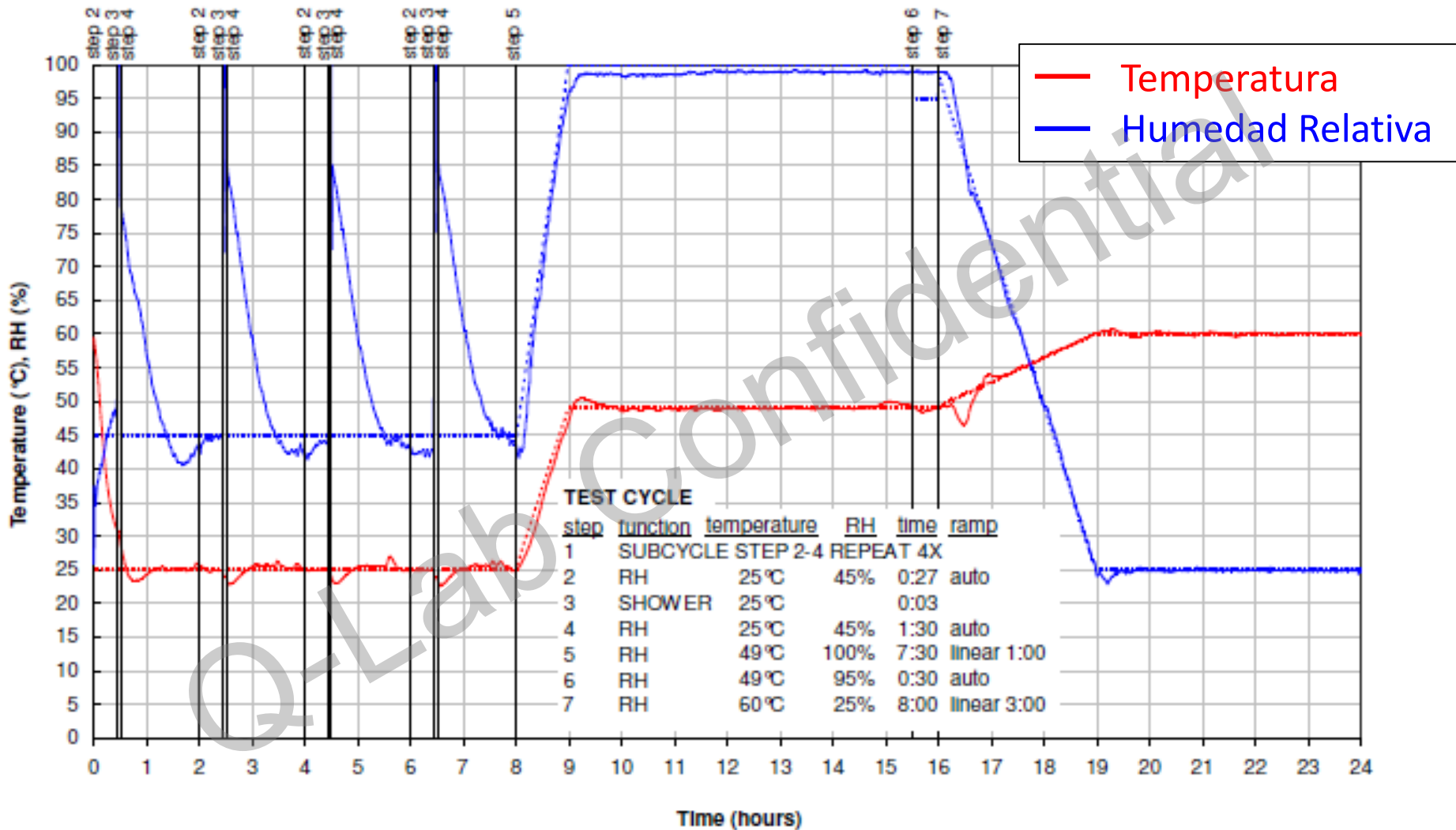
Ciclo de Prueba: Volvo ACT 1



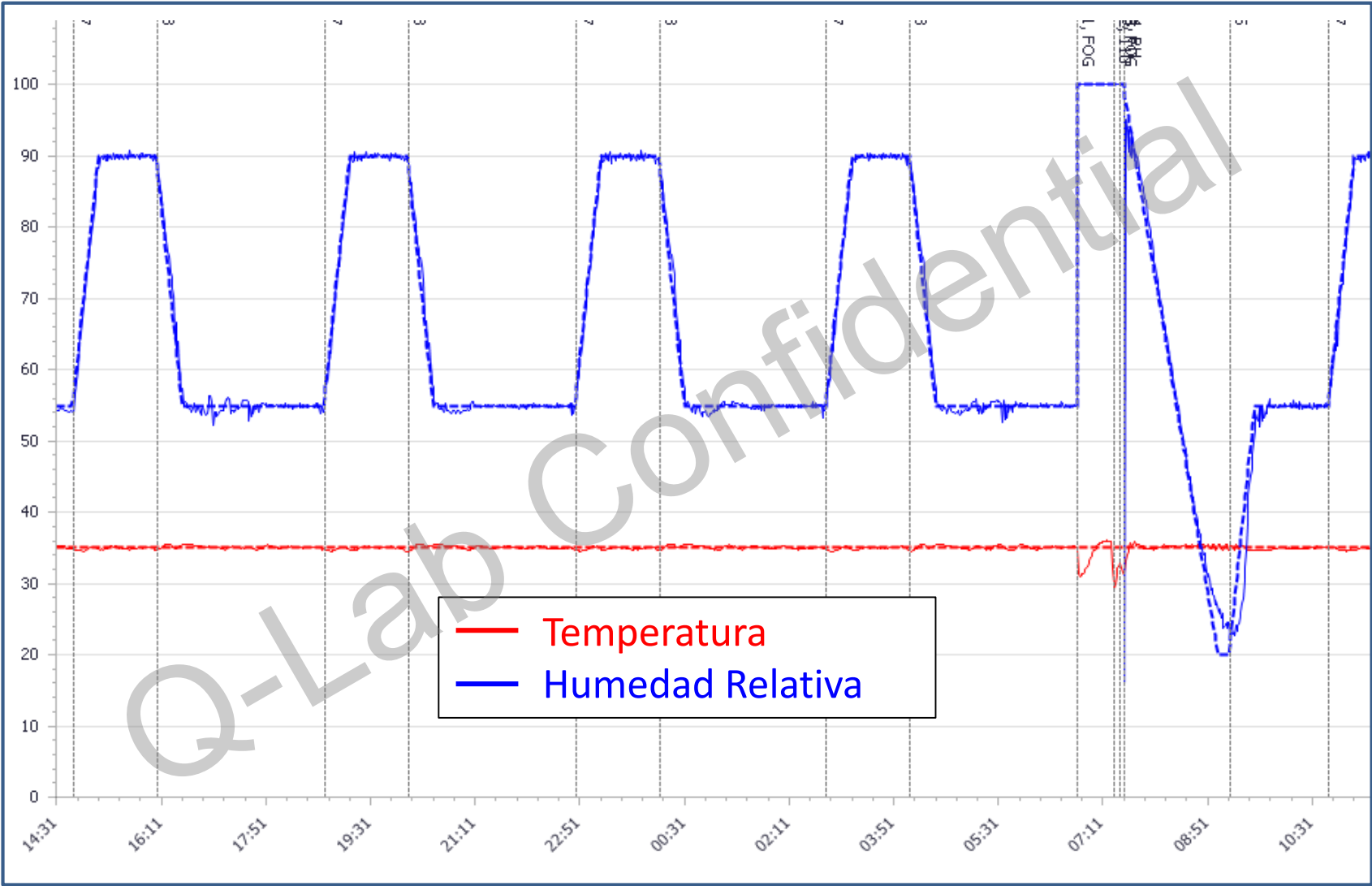
Ciclo de Prueba: Ford L-467



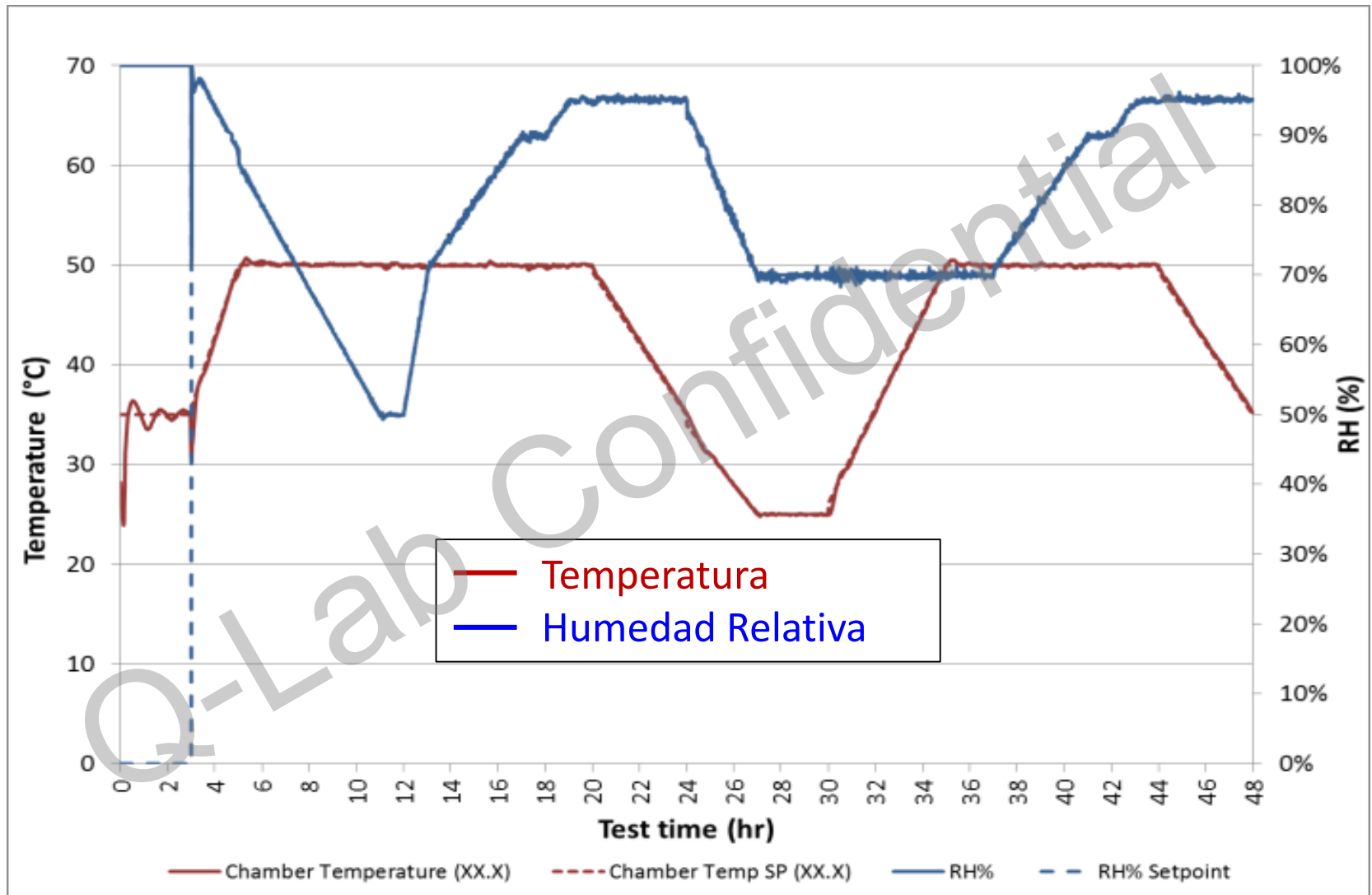
Ciclo de Prueba: GMW 14872



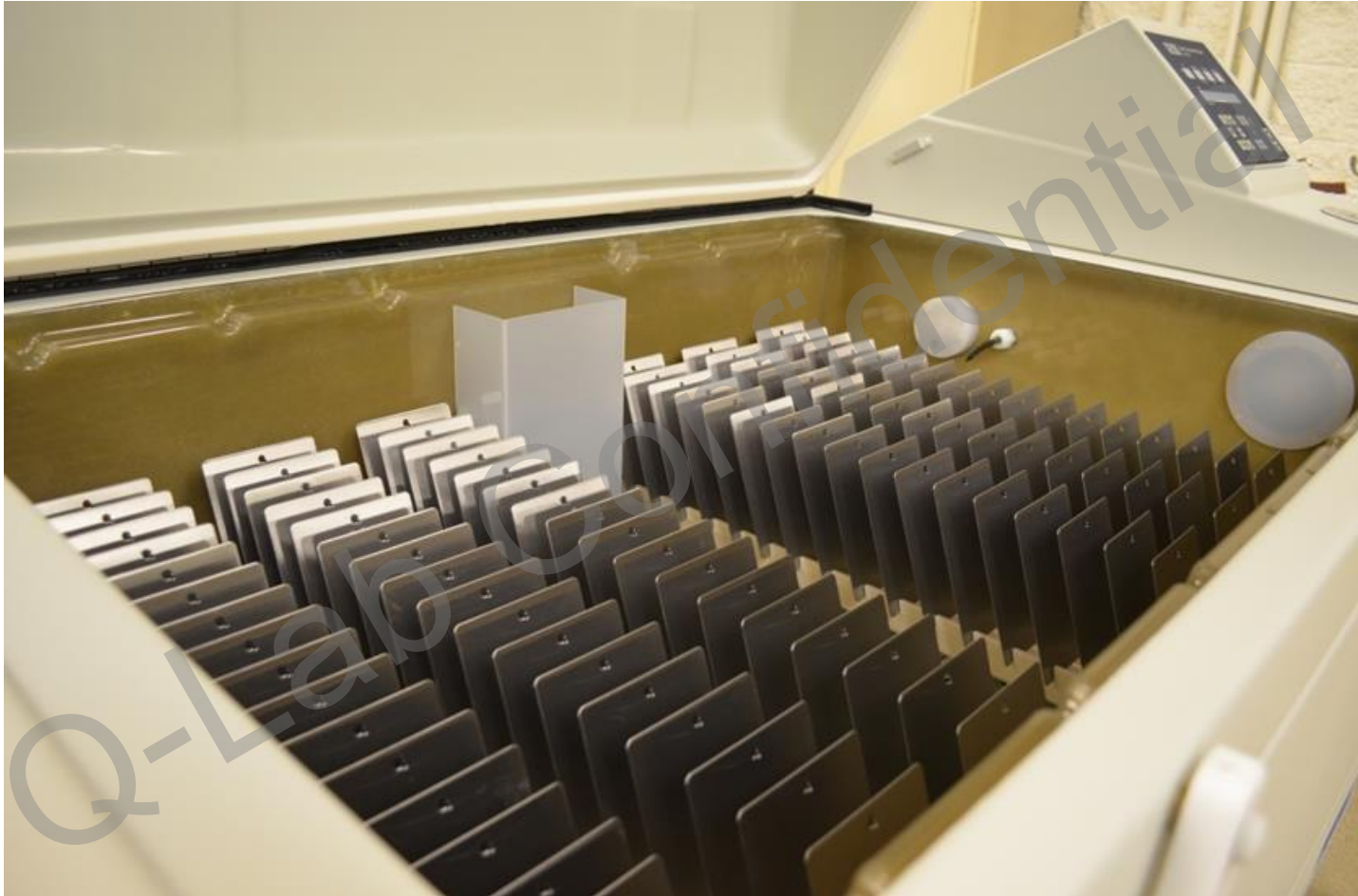
Ciclo de Prueba: Renault D17 2028 (ECC1)



Ciclo de Prueba: VDA 233-102



Cámara de corrosión con paneles metálicos



Cámara Climática



Tipos de cámara de prueba

Corrosión/Spray de Sal

- Más rectangular que cuadrado
- Montaje de muestra de una sola capa
- Los aceros inoxidable no durarán en el medio ambiente.
- Aire estático necesario durante la spray de sal.
- Las soluciones líquidas y las sales precipitadas crean microclimas
- El control preciso es más difícil.
- La reducción del punto de rocío no es común

Climatica (Temp & HR)

- Forma cúbica/cuboide
- Montaje de muestras multicapa
- Los interiores son generalmente de acero inoxidable.
- Flujo de aire constante (tipos de flujo bajo o alto)
- Raramente rocía agua
- Temperatura precisa y capacidades de HR
- La reducción del punto de rocío es común

Q-FOG CRH



- Dos tipos de suministro de niebla salina (niebla, baño)
- Transiciones lineales controladas de temperatura y HR
- Deshumidificación mediante preacondicionador de aire.
- El modelo HSCR cuenta con un calentador de rampa rápida para transiciones rápidas

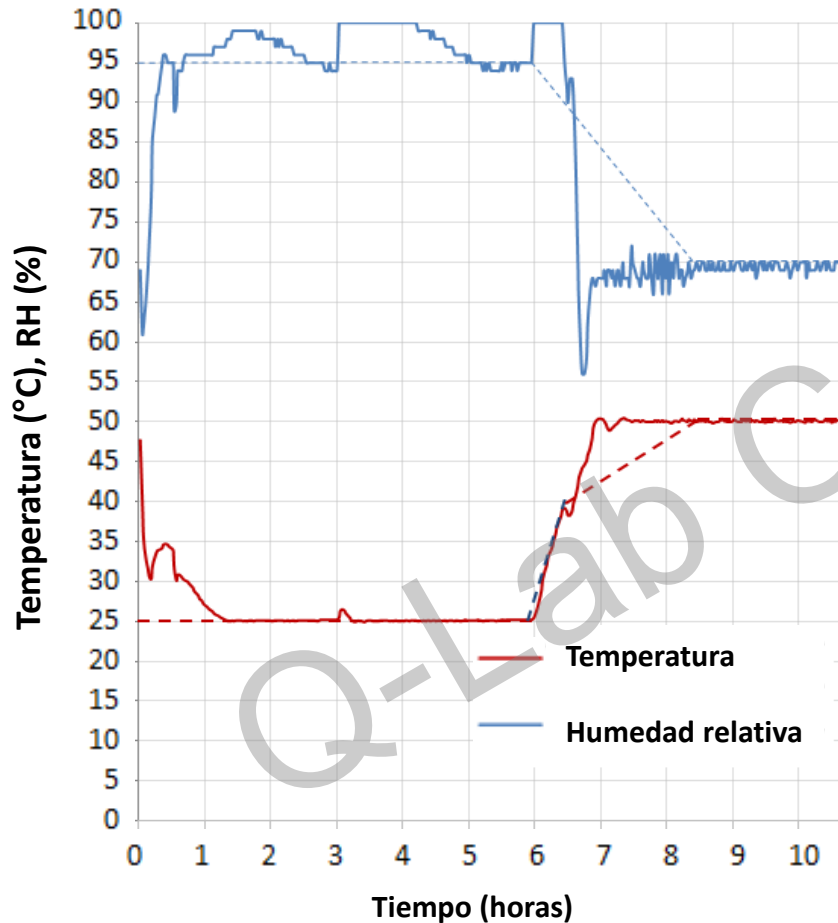
Q-FOG CRH Precondicionador de aire



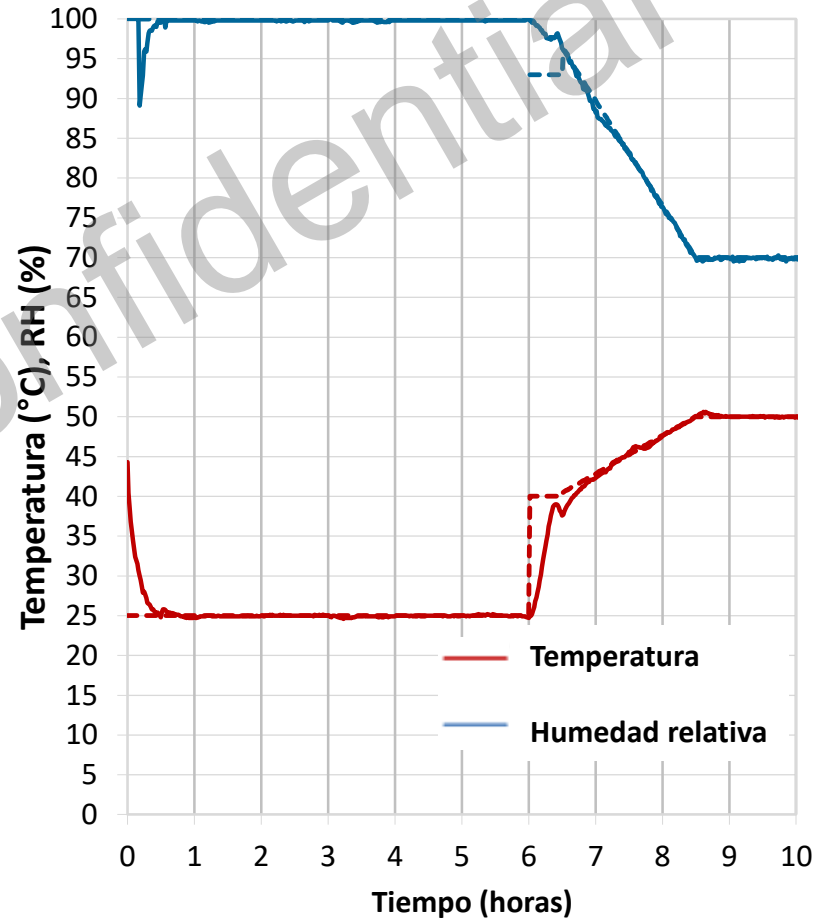
- Proporciona aire seco constantemente al sistema
- Caliente o frío
- Amplía la gama de condiciones alcanzables
- Permite un control preciso de las transiciones temporales y HR

Mejora del rendimiento con preacondicionador de aire

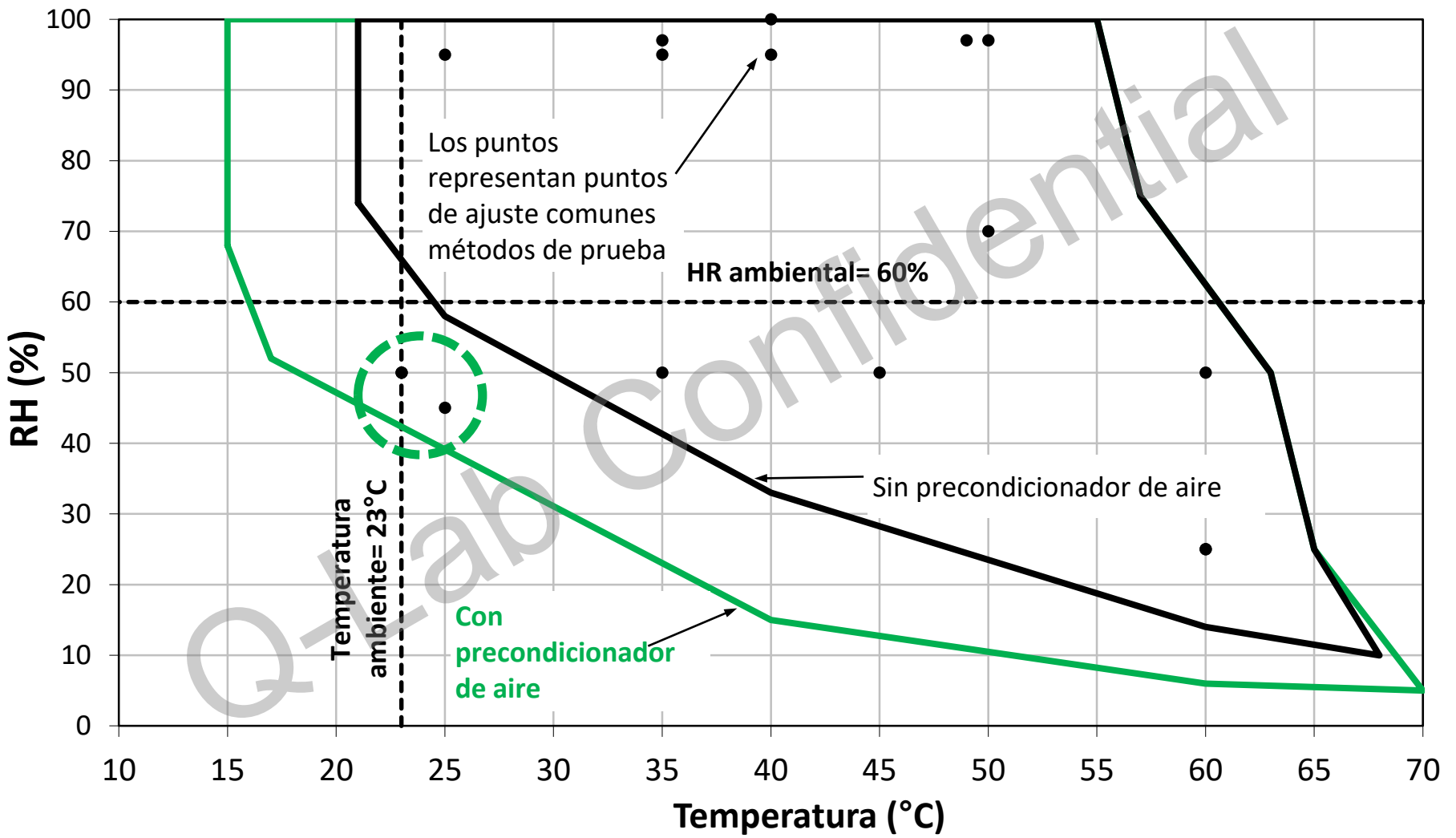
Sin preacondicionador de aire



Con preacondicionador de aire



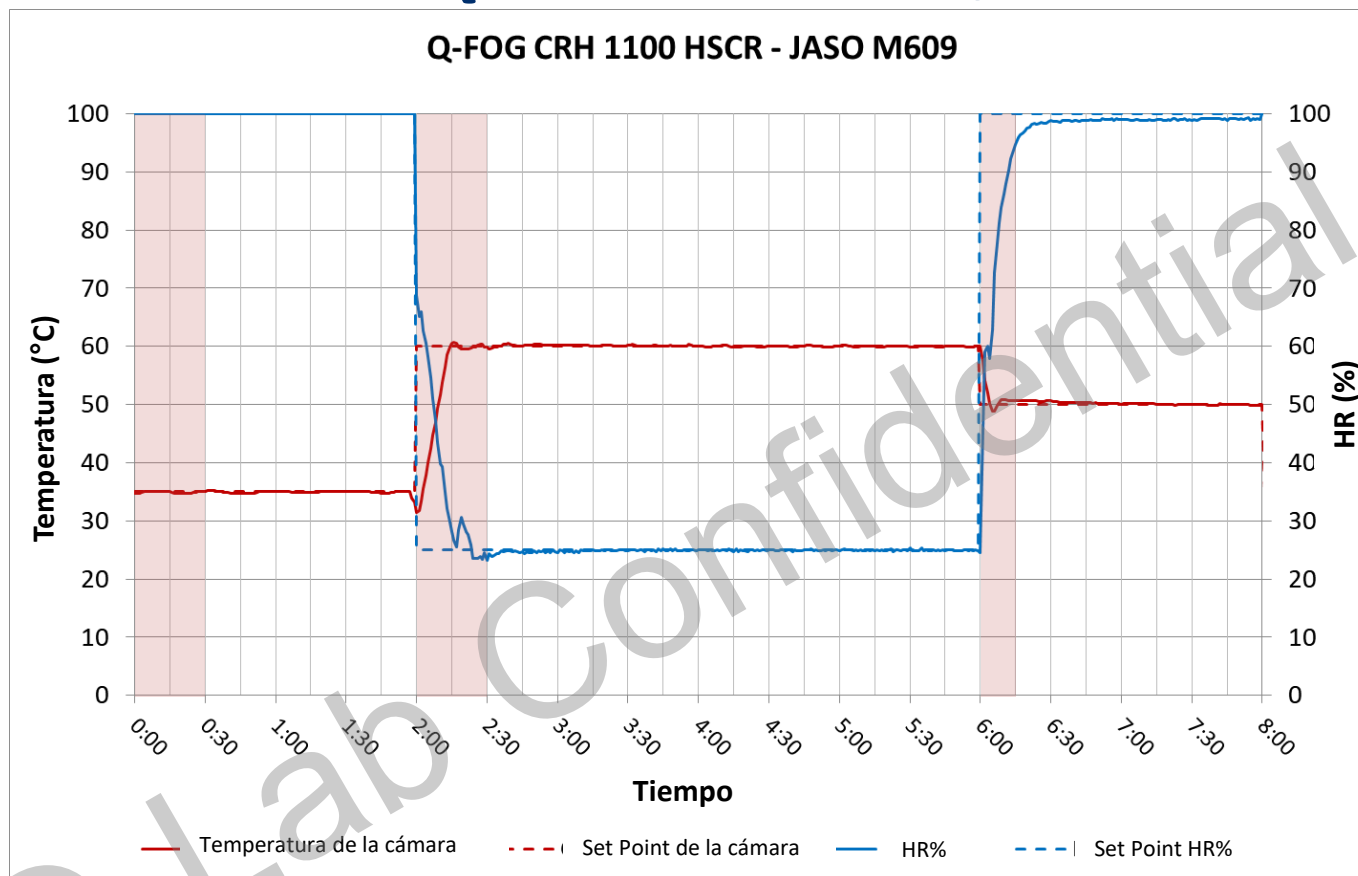
Q-FOG CRH: Cumple con las condiciones de prueba en todos los principales estándares automotrices



Q-FOG CRH Normas que cumple

Norma	Modelo estandar	Calentador de rampa rápida
JASO M609		✓
CCT-C		✓
CCT-I		✓
CCT-IV		✓
Renault D17-2028 (ECC1)	✓	✓
Volvo VCS 1027, 149 (ACT I)	✓	✓
Volvo VCS 1027, 1449 (ACT II)	✓	✓
GMW 14872	✓	✓

JASO M609 (ISO 14993, 11997-1)



Paso	Función	Temperatura del aire de la cámara (°C)	HR (%)	Tiempo de paso (hh:mm)	Rampa
1	NIEBLA	35 °C		2:00	< 0:30
2	HR	60 °C	25 %	4:00	< 0:30
3	HR	50 °C	100 %	2:00	< 0:15

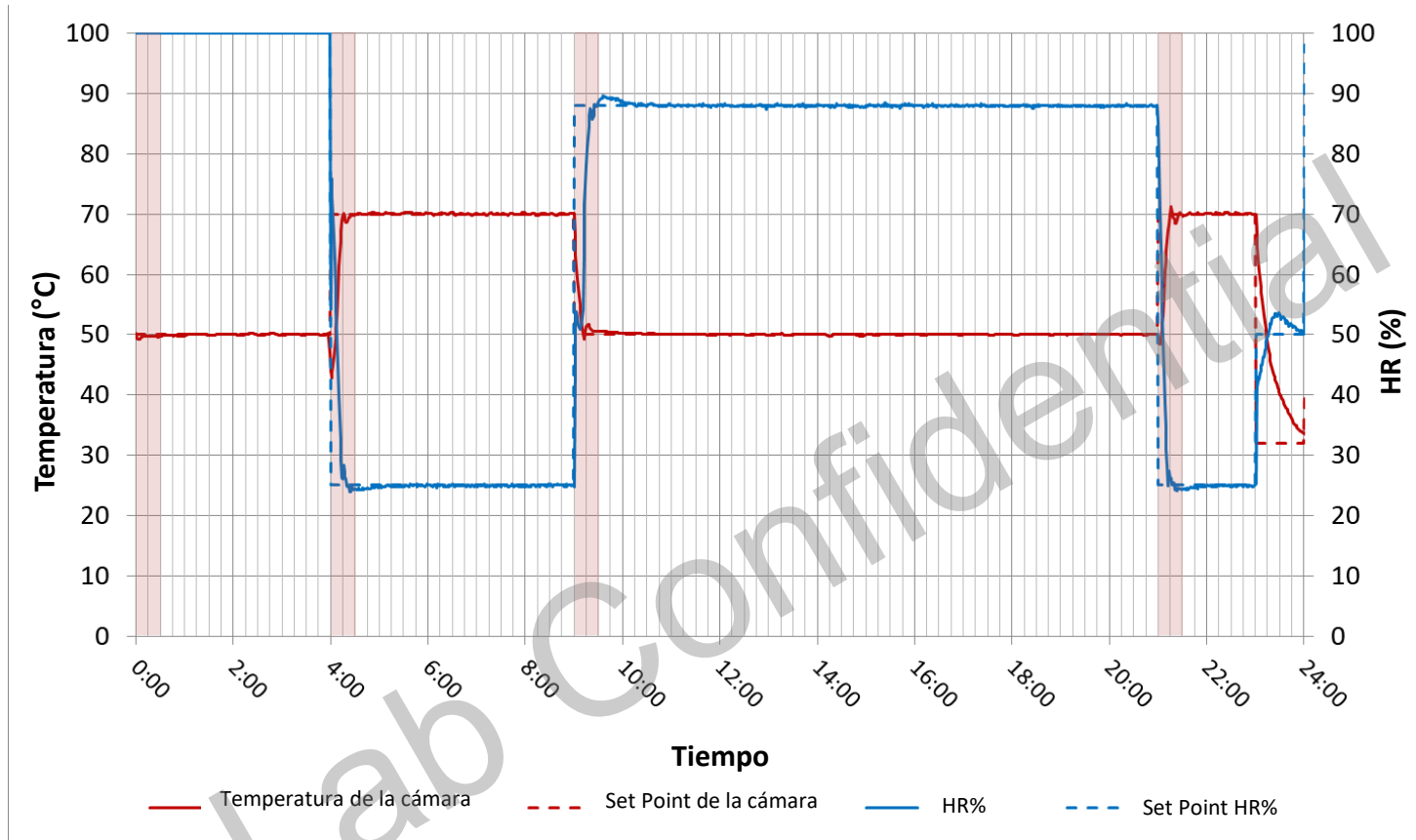
- Volumen de la cámara - 1100 L
- Carga de la cámara: paneles de acero de 250 x 3 "x 6"
- Solución FOG - Solución de NaCl al 5%
- Temperatura ambiente del laboratorio: 28-30 °C

JASO M609

Tiempos de transición para JASO M609 en cámara Q-FOG CRH 1100 HSCR completa.

Función	Transición	Requerimiento de tiempo de transición	Tiempo de transición de temperatura actual	Tiempo de transición de HR actual
Niebla a Seco	35 °C → 60 ± 1 °C NIEBLA → < 30% HR	< 0:30	0:13	0:14
JASO M609	Seco a Mojado	60 ± 1 °C → 50 ± 1 °C < 30% HR → > 95% HR	< 0:15	0:04
	Mojado a Niebla	50 ± 1 °C → 35 °C > 95% HR → NIEBLA	< 0:30	0:06

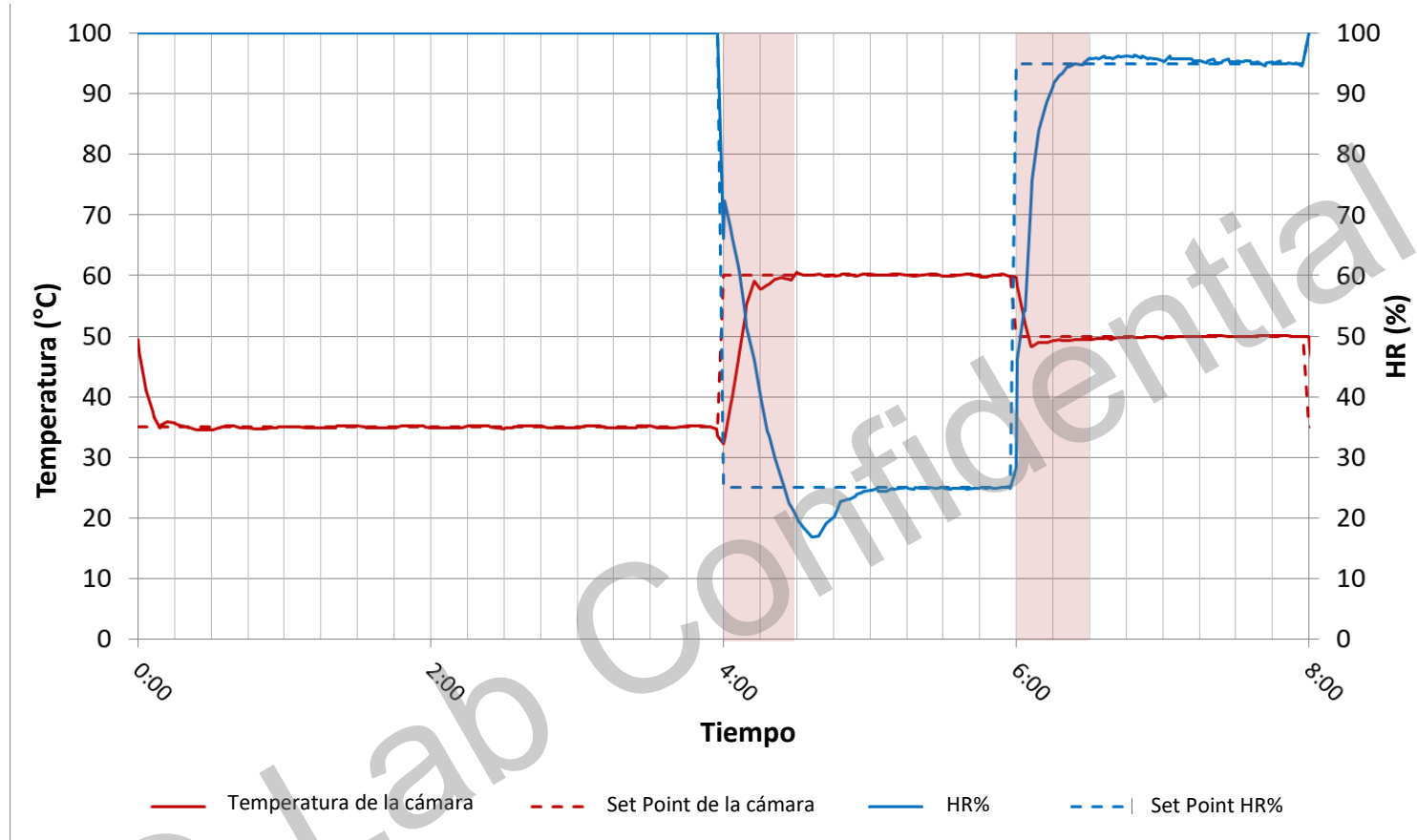
CCT-C



Paso	Función	Temperatura del aire de la cámara (°C)	HR (%)	Tiempo de paso (hh:mm)	Rampa
1	NIEBLA	50 °C		4:00	< 0:30
2	HR	70 °C	25 %	5:00	< 0:30
3	HR	50 °C	87 %	12:00	< 0:30
4	HR	70 °C	25 %	2:00	< 0:30
5	HR	23 °C*	60 %*	1:00	

- Volumen de la cámara: 1100 L
- Carga de la cámara: paneles de acero de 250 x 3 "x 6"
- Solución FOG - Solución de NaCl al 5%
- Temperatura ambiente del laboratorio: 30-35 °C

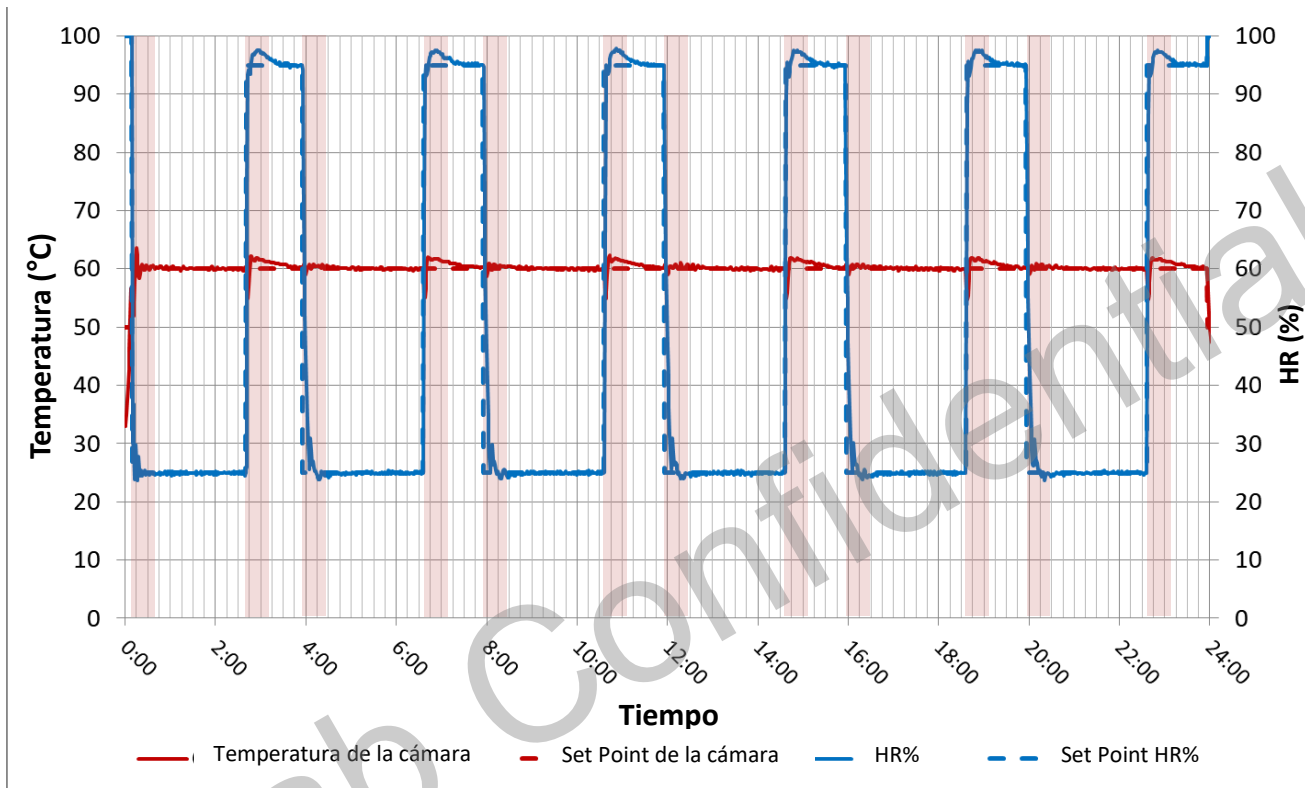
CCT-I



Paso	Función	Temperatura del aire de la cámara (°C)	HR (%)	Tiempo de paso (hh:mm)	Rampa
1	NIEBLA	35 °C		4:00	
2	HR	60 °C	25 %	2:00	< 0:30
3	HR	50 °C	95 %	2:00	< 0:30
4	Paso final - Ir al paso 1				

- Volumen de la cámara - 1100 L
- Carga de la cámara: paneles de aluminio y acero 210x
- Solución FOG - 5% NaCl
- Temperatura ambiente del laboratorio: 26-28°C

CCT-IV



Paso	Función	Temperatura del aire de la cámara (°C)	HR (%)	Tiempo de paso (hh:mm)	Rampa
1	NIEBLA	50 °C		0:15	
2	HR	60 °C	25 %	2:30	< 0:30
3	HR	60 °C	95 %	1:15	< 0:30
4	Subciclo *	Repita los pasos 5-6, 5 veces			
5	HR	60 °C	25 %	2:40	< 0:30
6	HR	60 °C	95 %	1:20	< 0:30
7	Final Step – Go To Step 1				

- Volumen de la cámara: 1100 L
- Carga de la cámara: vacía
- Solución FOG - Agua DI
- Temperatura ambiente del laboratorio: 22-25 °C

Observaciones Finales

- La corrosión es un problema importante que los métodos de pintura, galvanización y anodización intentan prevenir
- Se utilizan métodos modernos de prueba de corrosión para evaluar estas técnicas.
 - Combina pruebas de niebla salina y pruebas ambientales
 - Usa transiciones lineales de temperatura/HR y control preciso de HR
- Hay una variedad de pruebas disponibles, que incluyen niebla salina y baño
- Q-FOG CRH ofrece condiciones de prueba estables, transiciones controladas, y pronto cumplirá incluso con pruebas automotrices exigentes como JASO M609

Gracias por su atención!

Preguntas?

info@q-lab.com