

# Pruebas de corrosión en laboratorio: Realismo y reproducibilidad con métodos modernos

Iñaki Atxirika

Grupo ADI

Q-Lab Corporation

Vea video de presentación con audio

# Notas administrativas



We make testing simple.

Recibirá un correo electrónico de seguimiento de [info@email.q-lab.com](mailto:info@email.q-lab.com) con enlaces para realizar una encuesta y descargar el contenido de la presentación.



Webinars disponibles en <https://pages.q-lab.com/webinars>

**Thank you for attending our webinar!**

We hope you found our webinar on *Essentials of Laboratory Weathering* to be helpful and insightful. The link below will give you access to the slides and recorded webinar.

¡Utilice la función Preguntas y respuestas en Zoom para hacernos preguntas hoy!

# Temas

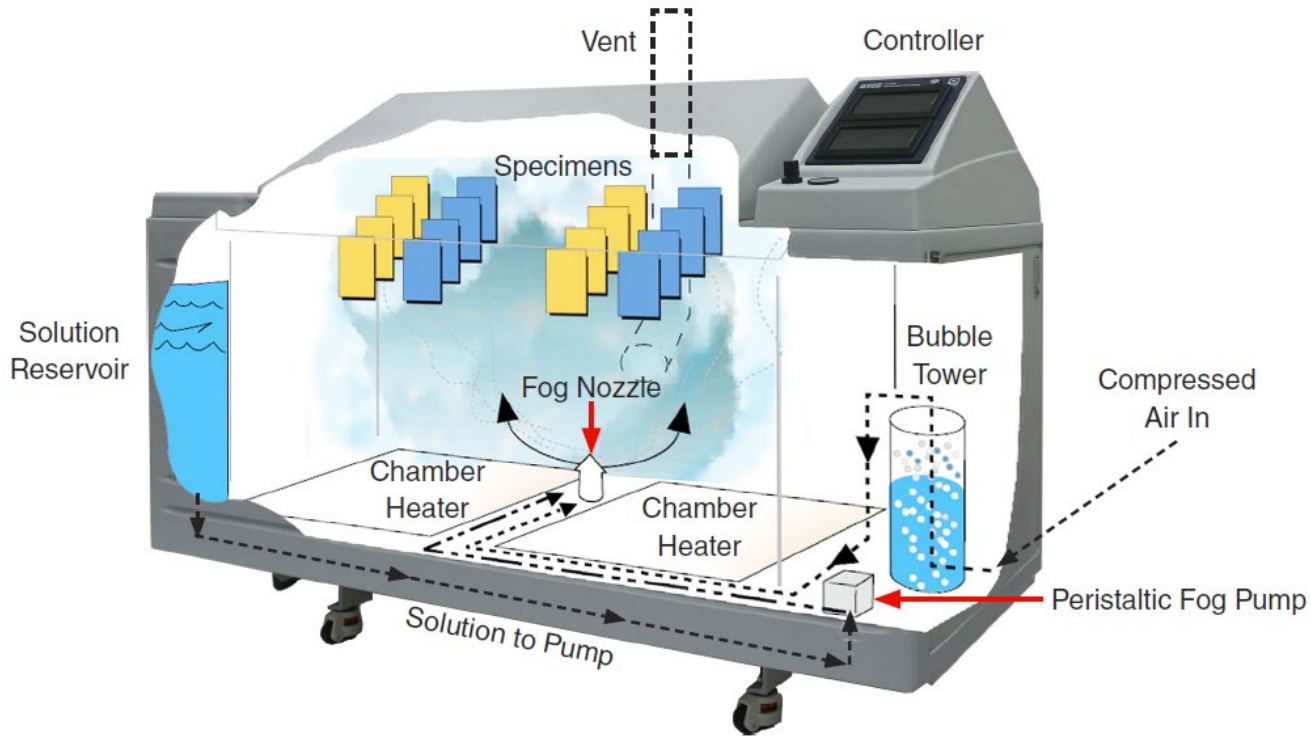
---

- Tipos de pruebas aceleradas
- Pulverización continua de sal (neutra y acidificada)
- Pruebas cíclicas húmedas/secas
- Pruebas automotrices cíclicas de primera generación
- Métodos modernos de prueba de corrosión
- Verificación del rendimiento de la prueba de corrosión

# Tipos de pruebas aceleradas

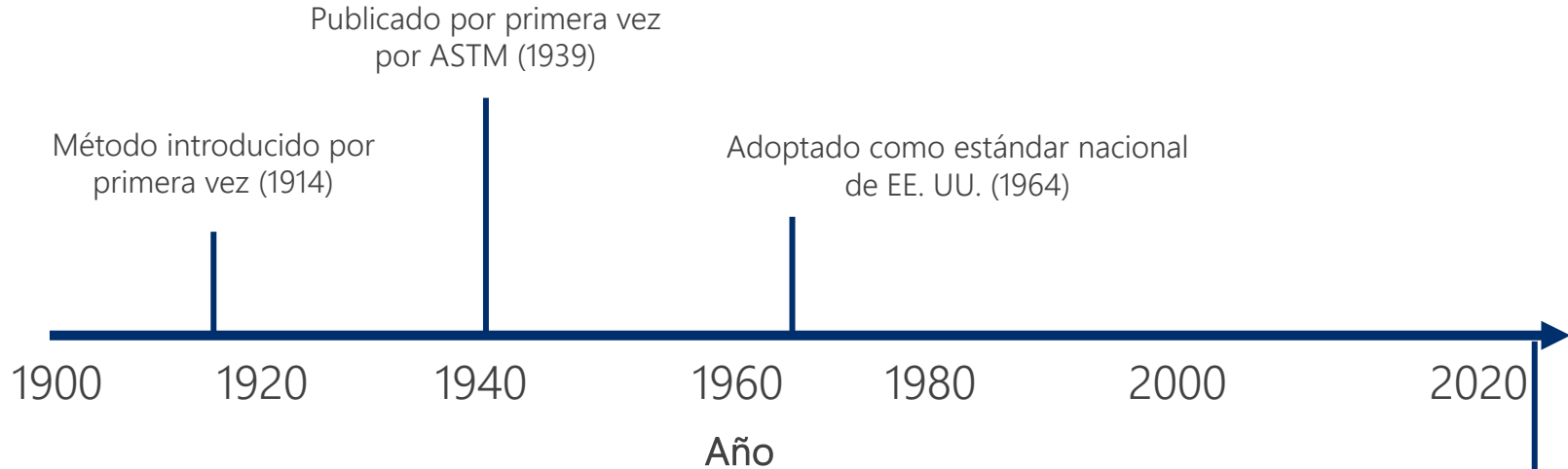
Tipo de prueba acelerada	Resultado	Tiempo de prueba	Resultados comparados con
Control de calidad	Pasa/Falla	<ul style="list-style-type: none"><li>• Definido</li><li>• Corto</li></ul>	Especificación de material
Calificación / validación	Pasa/Falla	<ul style="list-style-type: none"><li>• Definido</li><li>• Medio largo</li></ul>	Material de referencia o especificación.
Correlativo	Datos ordenados por rango	<ul style="list-style-type: none"><li>• Abierto</li><li>• Medio</li></ul>	Exposición natural (sitio de referencia)
Predictiva	Vida de servicio factor de aceleración	<ul style="list-style-type: none"><li>• Abierto</li><li>• Largo</li></ul>	Exposición natural (entorno de servicio)

# Ambiente de niebla salina continuo



# Pulverización continua de sal

## ASTM B117



ASTM B117 es el estándar de corrosión más utilizado en la actualidad, principalmente para control de calidad y recubrimientos metálicos/de conversión.

# Pulverización continua de sal

## ASTM B117

- Niebla salina de NaCl al 5% a 35 °C
- pH neutro
- Niebla fina (atomizada con aire comprimido) rociada indirectamente sobre las muestras
- ISO 9227 tiene las mismas características.
- Cuando se sigue correctamente, la prueba tiene una repetibilidad y reproducibilidad razonables.

# Limitaciones de la pulverización continua de sal

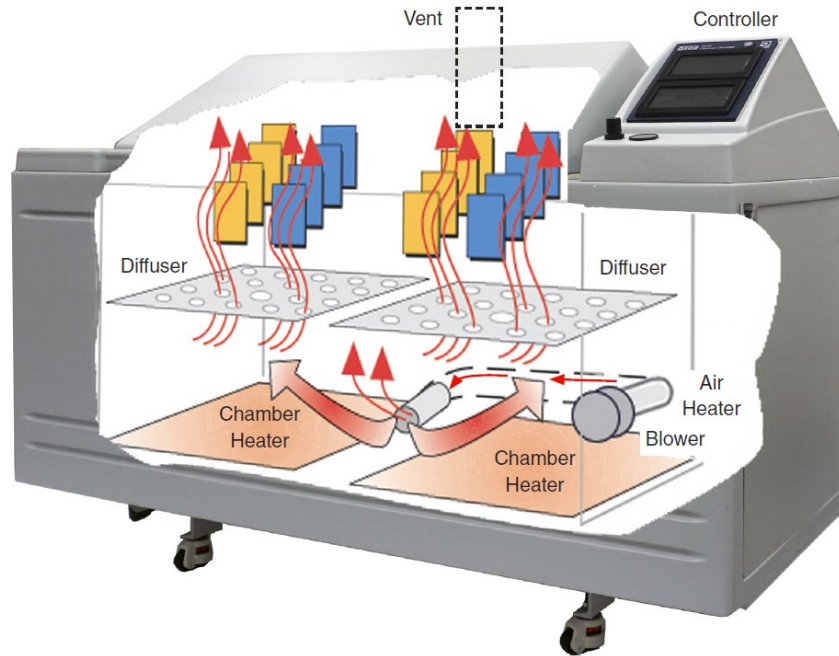
---

- No es una buena simulación de la mayoría de los entornos de servicio.
- Normalmente produce productos de corrosión diferentes a los de la exposición
- Mala correlación del orden de clasificación con la corrosión exterior
- Un buen control de calidad/prueba de detección , normalmente no mucho más.



# Pruebas cíclicas húmedas/secas

## Niebla salina -> Secado

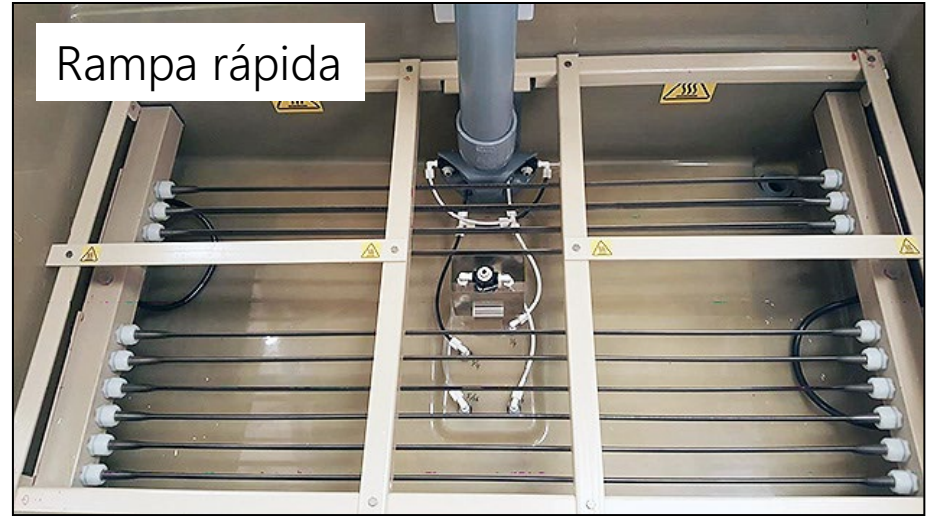


# Configuraciones del calentador

Placa Plana



Rampa rápida



***\* Se requieren calentadores de rampa rápida para cumplir con algunos tiempos de transición de temperatura rápidos***

# Pruebas cíclicas húmedas/secas

## Prohesión (la protección es adherencia)

- Pulverización y secado alternos.
- El desarrollo comenzó en Inglaterra en la década de 1960.
- NaCl diluido,  $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$
- La Asociación Estadounidense de Fabricantes de Arquitectura reemplazó recientemente la norma ASTM B117 con esta prueba en AAMA 2605, Recubrimientos “superiores” sobre aluminio.

# Corrosión/radiación combinadas

- A medida que un recubrimiento se degrada por la exposición a los rayos UV, se reduce su capacidad para proteger contra la corrosión.
- Sherwin Williams desarrolló un ciclo combinado UV + Corrosión en la década de 1980 para probar esto.



**SHERWIN  
WILLIAMS®**

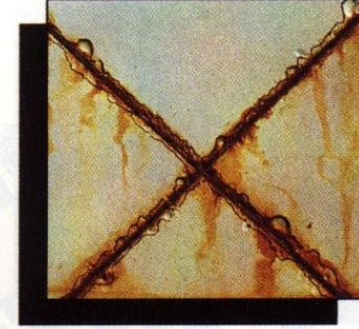
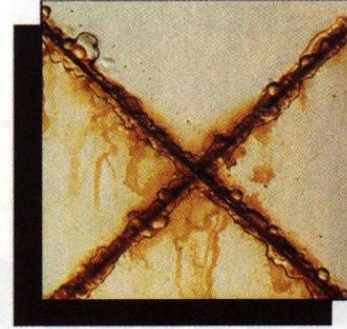
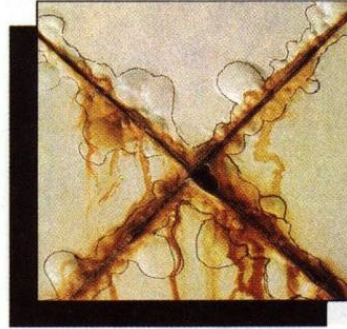
# Corrosión/radiación combinada versus exteriores

Epoxy

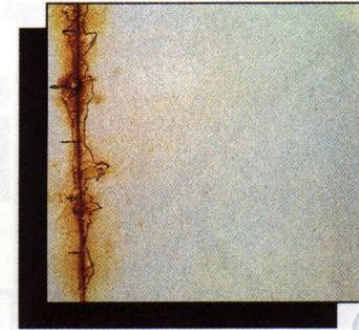
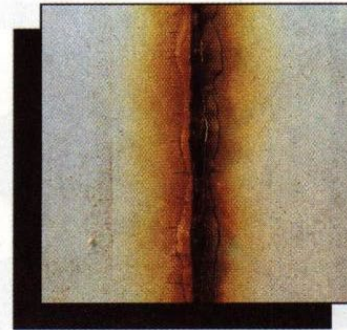
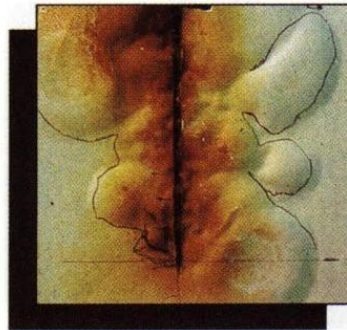
Alquídico

Látex

QUV + Q-FOG  
Norma ASTM  
D5894  
2000 horas



Exterior  
27 meses,  
Ambiente marino





# Estudio de caso de prueba cíclica húmeda/seca **SSPC (Sociedad de Recubrimientos Protectores)**

- 15 sistemas diferentes incluidos
- Pruebas al aire libre (31 meses)
- Pruebas aceleradas (2000 horas)
  - Niebla salina 5%
  - Prohesión
  - 2 tipos de inmersión cíclica
  - Corrosión/intemperismo combinados












# Resultados de la prueba SSPC

Método de prueba de laboratorio	Correlación con ambiente marino severo
Spray de sal convencional	-0,11
Prohesión	0,07
Procedimientos de inmersión cíclica	0,48
Inmersión Cíclica con Procedimiento UV	0,61
Corrosión/radiación combinadas	0,71

¡Buena correlación de la prueba combinada!

# Corrosión y radiación combinadas

## ISO 12944-6 (y -9)

Day 1	Day 2	Day 3	Day 4	Day 5	Day 6	Day 7		
UV/condensation — ISO 16474-3			Neutral salt spray — ISO 9227			Low-temp. exposure at (-20 ± 2) °C		
								

- 4 horas UVA-340, 0,83 W/m<sup>2</sup>/nm a 340 nm, 60 ° C
- 4 horas de condensación oscura, 50 ° C
- 72 horas



- Niebla salina continua a 35 ° C
- Enjuague los paneles y colóquelos en el congelador durante 24 horas.
- 72 horas





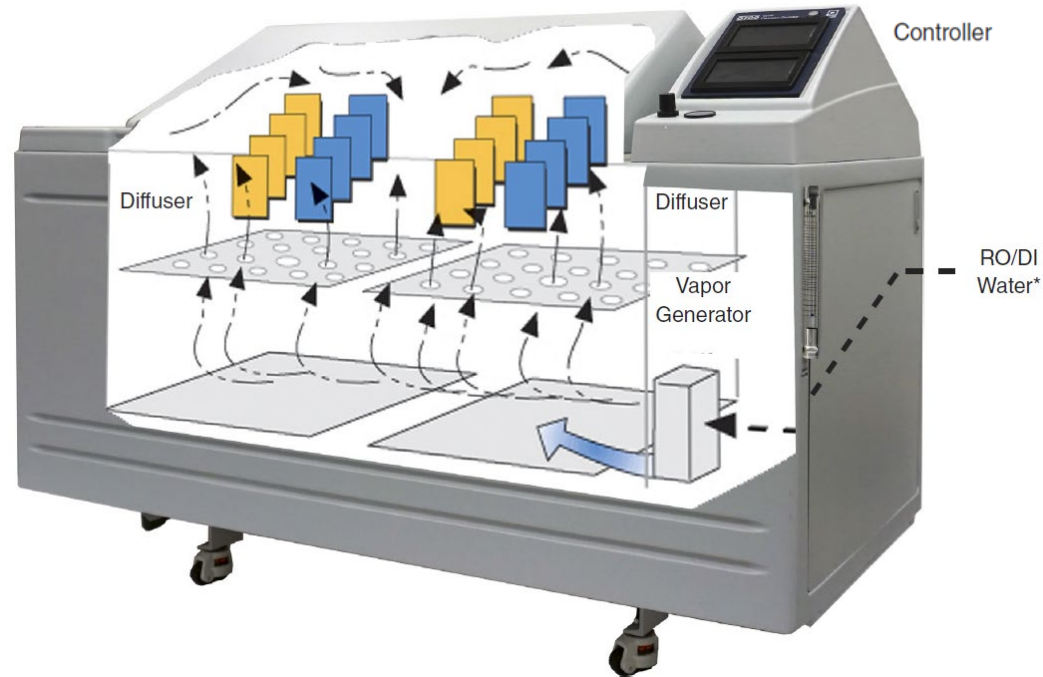
# Limitaciones de la prueba cíclica húmeda/seca

- Mala repetibilidad y reproducibilidad.
- Mala correlación en algunos casos.
  - Automoción.
  - Recubrimientos de mantenimiento industrial sobre acero.
- Los intentos de mejorar la correlación y la repetibilidad incluyen...
  - Agua retenida en el fondo de la cámara
  - Cambio de temperatura de la torre de burbujas.
  - Introduciendo fases húmedas ...

# Pruebas automotrices cíclicas de primera generación

## Niebla salina → Secado → Humectación (húmeda)

Mojar las muestras después del secado reinicia la corrosión



# Pruebas automotrices cíclicas de primera generación

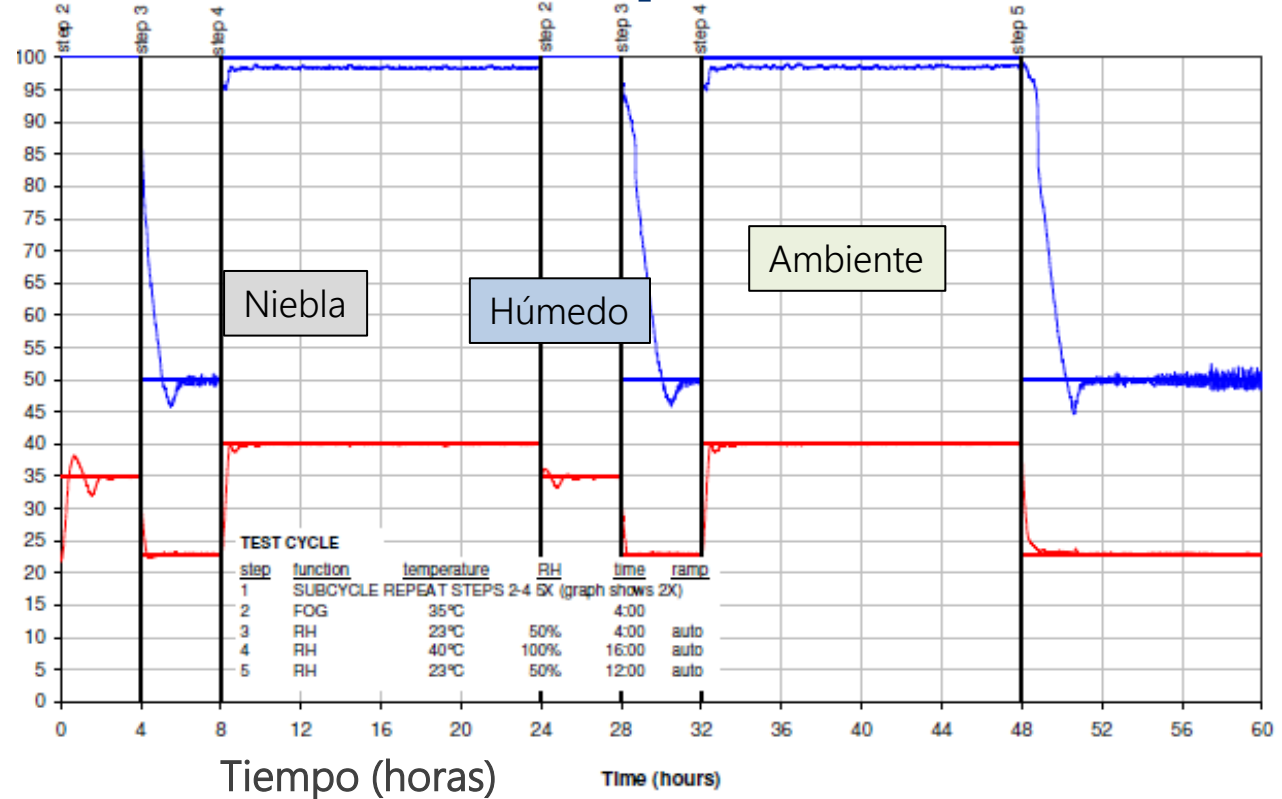
## Niebla salina → Secado → Humectación

- **Electrolito** : NaCl, CaCl<sub>2</sub>, otros para simular sales de carretera.
- **Solución** : aplicada mediante pulverización directa o niebla.
- **Ciclo**: pulverización de sal aplicada de forma intermitente en condiciones "ambientales"
- **Verificación**: uso de **cupones de corrosión** para minimizar la variabilidad de la prueba.

# Prueba de corrosión cíclica de primera generación

RH (%)

Temperatura (°C)



# Limitaciones de las PMC de primera generación

## ¡Mala repetibilidad y reproducibilidad!

- Problemas observados
  - Diferentes cámaras de corrosión produjeron resultados diferentes
  - Las tasas de corrosión variaron entre los metales de una prueba a otra.
- Razones/áreas de mejora
  - Sólo son posibles condiciones ambientales/ambientales totalmente húmedas, secas y no controladas.
  - Sin control de los tiempos de transición de HR
  - Tasas de secado de muestras variables
  - Sin valores de RH en zonas de transición críticas (DRH)
  - Aplicación lenta de solución salina de niebla.
  - Poco tiempo para secar y volver a humedecer las muestras.

# Factores de corrosión

Delicuescencia de sales

Corrosión galvánica

Influencia de la humedad relativa

# Pruebas automotrices y sal en carreteras

- Las sales **se deliquescen** : absorben la humedad de la atmósfera hasta que se disuelven y forman una solución.
- Todas las sales solubles se licuarán para valores de HR <100 %.
- Esto conduce a un mayor tiempo de humedad y una mayor corrosión.

# Humedad relativa de deliquescencia (DRH)

Sal	DRH
<i>Cloruro de potasio (KCl)</i>	<i>85%</i>
Sulfato de amonio ( $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ )	81%
<i>Cloruro de sodio (NaCl)</i>	<i>76%</i>
Nitrato de sodio ( $\text{NaNO}_3$ )	74%
Cloruro de magnesio ( $\text{MgCl}_2$ )	33%
<i>Cloruro de calcio (<math>\text{CaCl}_2</math>)</i>	<i>31%</i>

*Si el ambiente está por encima de esta HR, se formará una solución salina líquida.*



# Corrosión galvánica

Activo (ánodo)



Noble (cátodo)

Magnesio
Zinc
<b>Aluminio</b>
Hierro fundido/acero con poco carbono
Acero (baja aleación)
Latón
Cobre
Níquel
<b>Inoxidable (pasivo)</b>
Plata
Oro
Platino

# Humedad relativa y corrosión

- La corrosión se acelera una vez que comienza
  - Formación de óxidos complejos.
  - El tiempo de humedad aumenta a medida que se forman nuevos óxidos.
- Las sales se delicuecen a diferentes valores de HR.
- La formación de soluciones líquidas afecta la corrosión al crear un par galvánico.

# Humedad relativa y corrosión galvánica

Condición	Rango de humedad relativa	Resultado
Seco	$\leq 50\%$	Muy poca corrosión por NaCl
Células electrolíticas cerca de cristales de sal; Formación de película a medida que aumenta la humedad relativa.	50-76%	<ul style="list-style-type: none"><li>• Corrosión del acero y aluminio</li><li>• Par galvánico AL-Acero roto</li></ul>
Formación uniforme de película electrolítica.	$\geq 76\%$	<ul style="list-style-type: none"><li>• Área máxima del cátodo para acero.</li><li>• Corrosión no uniforme más profunda</li><li>• Corrosión al en par galvánico con acero.</li></ul>

# Corrosión galvánica



- Más metal **anódico** (potencial electroquímico negativo) se corroe (Al, Zn, acero)
- Más metales **catódicos** (inoxidables, Au, Ag) protegidos
- Los metales deben estar en contacto **electrolítico**.

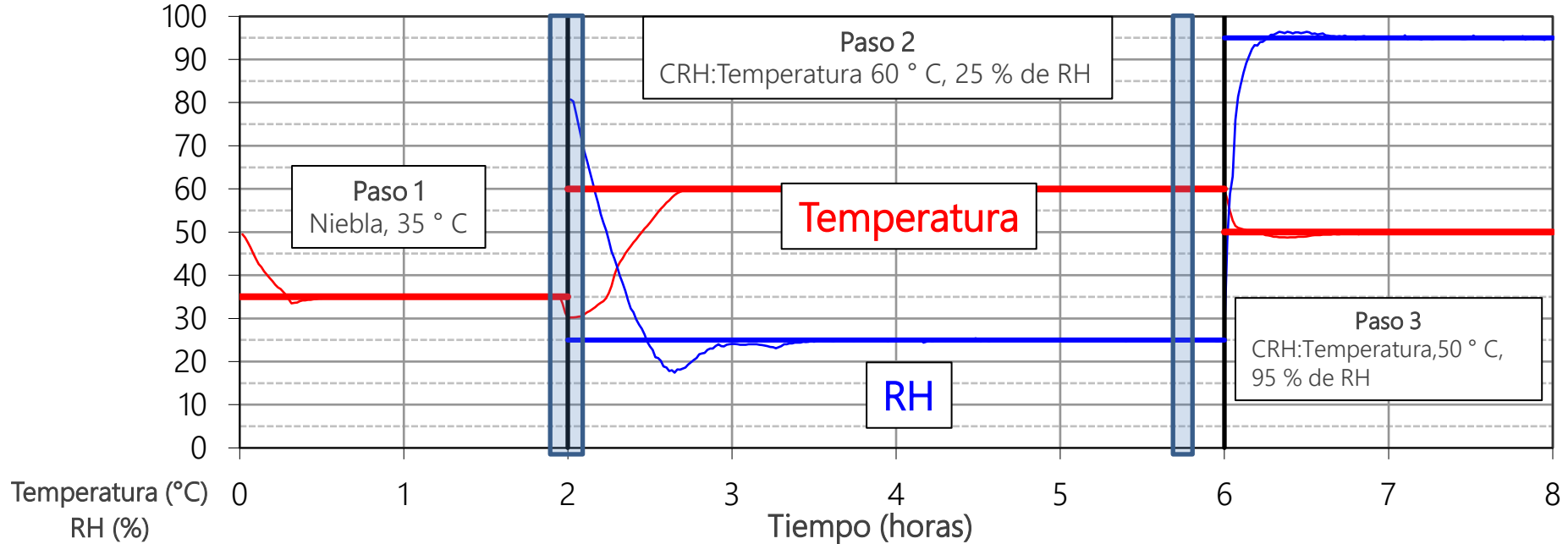


## Tiempos de transición de los pasos de control de corrosión y humedad relativa

---

- Transición “lineal”
  - Especifique el tiempo en el ciclo de prueba para cambiar las condiciones de la prueba.
  - El equipo ajusta la temperatura y la humedad relativa para una transición lineal desde el inicio hasta el final de la rampa
- Transición “Menos que” o “Automática”
  - Especifique el tiempo en el ciclo de prueba para cambiar las condiciones de la prueba.
  - El probador intenta alcanzar las condiciones lo más rápido posible
  - Utilizado para tiempos de transición como JASO M609, diseñado para minimizar la variabilidad de las pruebas...

# Tiempos de transición rápidos: JASO M609



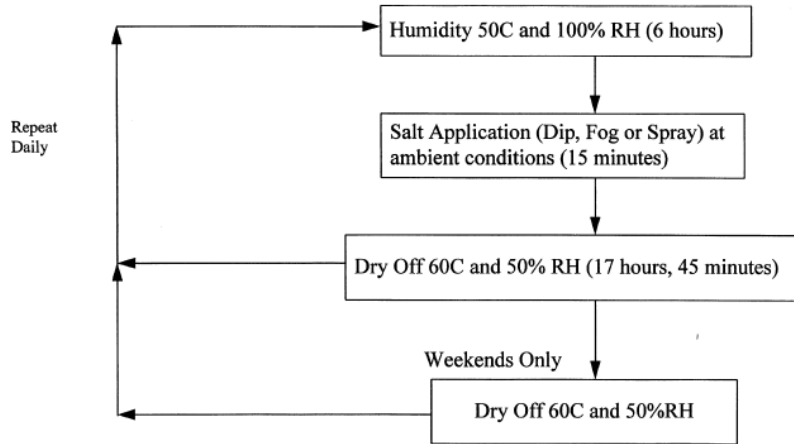
Tiempos de transición rápidos diseñados para mejorar la reproducibilidad  
¡Tiempo muy limitado en zona de HR intermedia de 50-90%!

# Tiempos de transición no controlados: **SAE J2334**

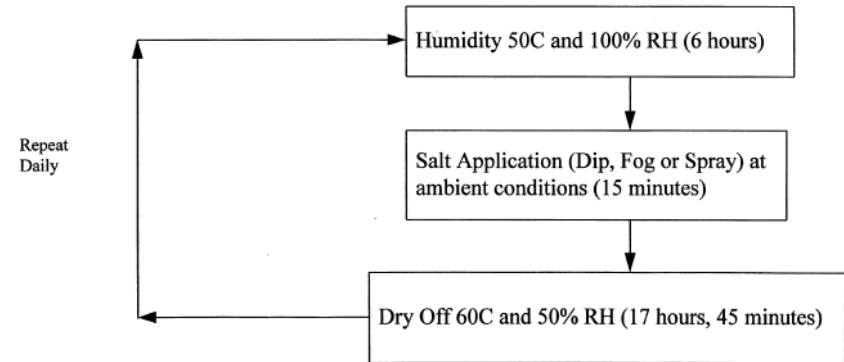
- Los tiempos de transición no están especificados en esta norma.
- Se recomienda el uso de cupones, pero no se incluyen límites de pérdidas masivas.
- Algunas empresas han implementado SAE J2334 con sus propios límites de pérdida masiva.

# Ciclo SAE J2334

**Cosmetic Corrosion LabTest Cycles**  
**SAE J2334 - 5 Day/Week - Manual Operation**

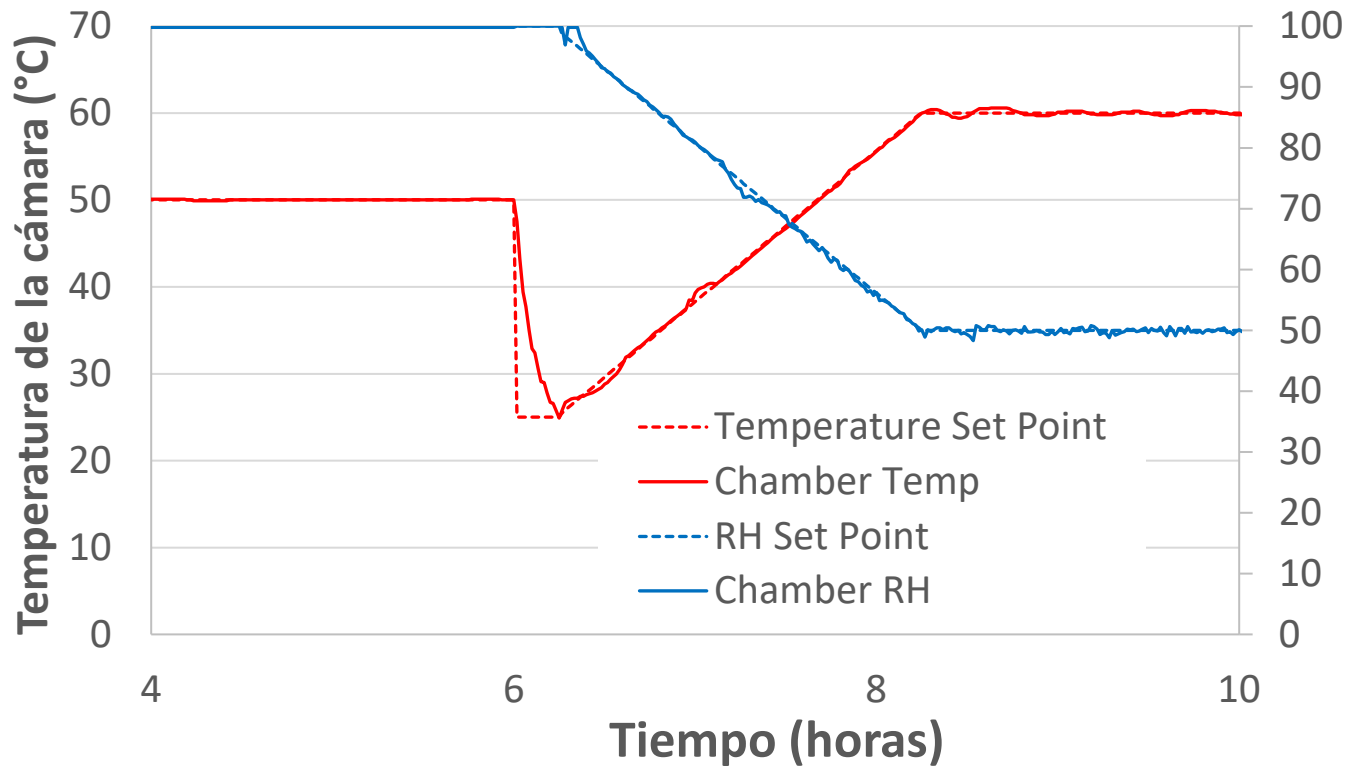


**Cosmetic Corrosion LabTest Cycles**  
**SAE J2334 - 7 Day/Week - Automatic Operation**



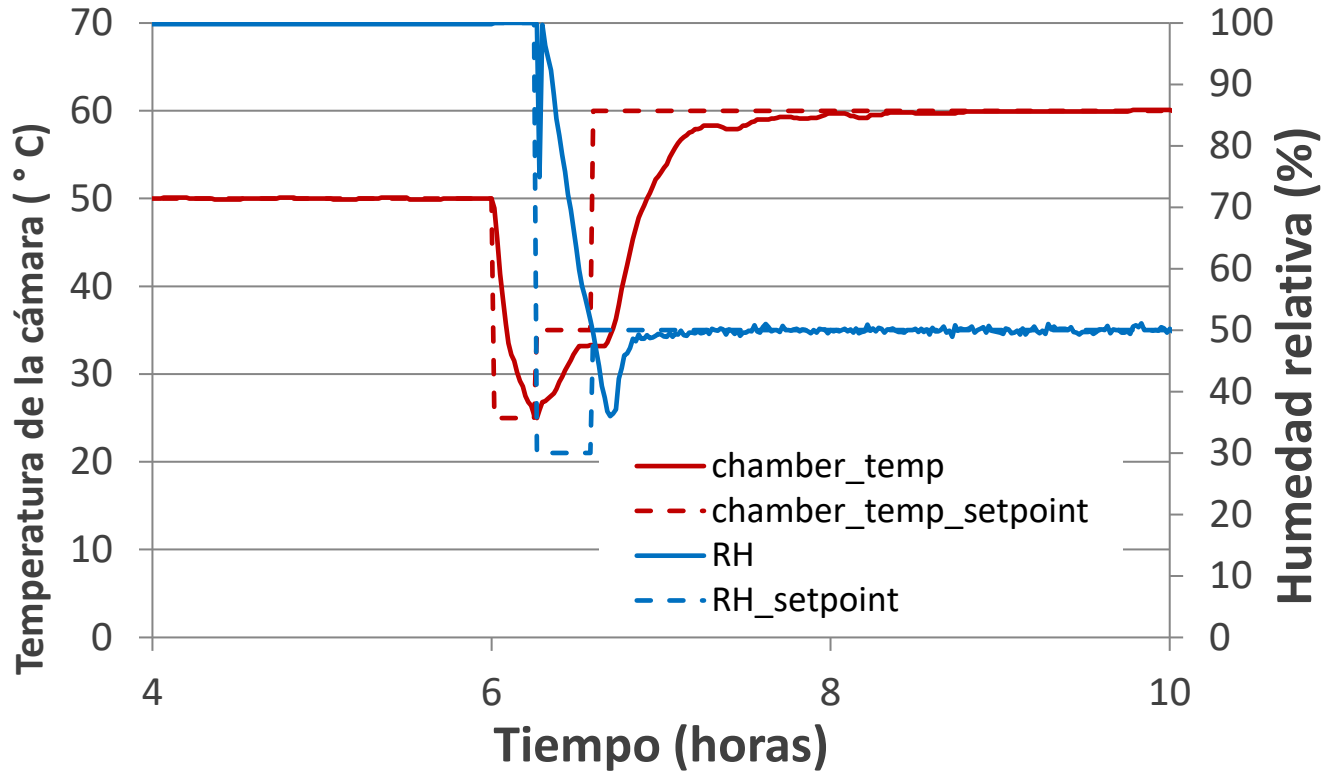


# Secado lento



Durante la transición, el tiempo por encima de la HR de deliquescencia del NaCl es de aproximadamente 1 hora.

# Secado rápido

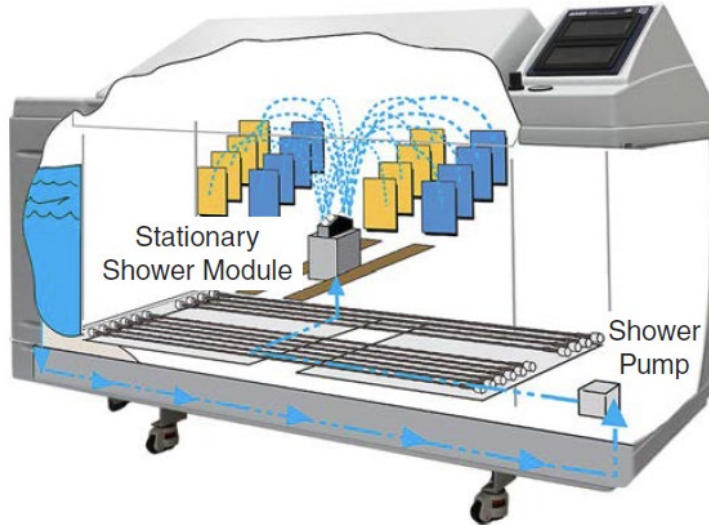


Durante la transición, el tiempo por encima de la HR de deliquescencia del NaCl es de aproximadamente 10 minutos.

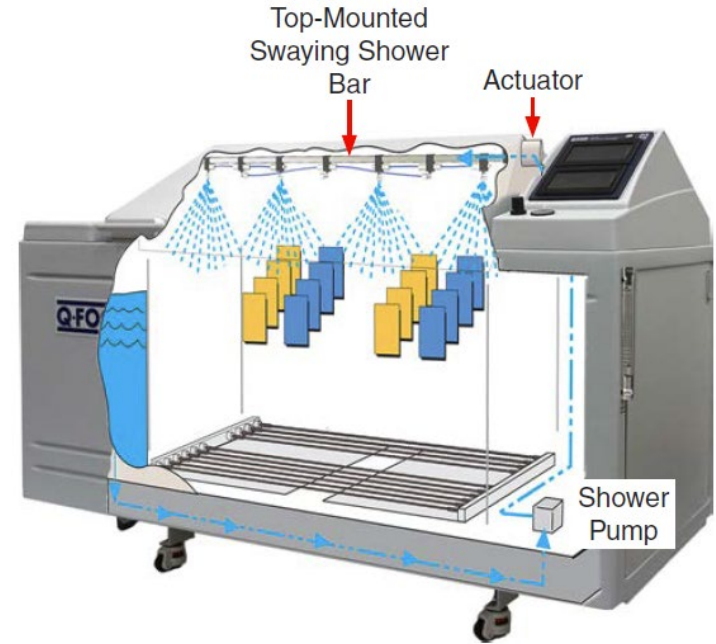
# Limitaciones de las PMC de primera generación ¡Mala repetibilidad y reproducibilidad!

- Problemas observados
  - Diferentes cámaras de corrosión produjeron resultados diferentes
  - Las tasas de corrosión variaron entre los metales de una prueba a otra.
- Razones/áreas de mejora
  - Sólo son posibles condiciones ambientales totalmente húmedas, secas y no controladas.
  - Sin control de los tiempos de transición de HR
  - Tasas de secado de muestras variables
  - Sin valores de RH en zonas de transición críticas (DRH)
  - Aplicación lenta de solución salina de niebla.
  - Poco tiempo para secar y volver a humedecer las muestras.

# Función de ducha de pruebas de corrosión modernas



Módulo de ducha estacionario (SSM)



Barra de ducha oscilante montada en la parte superior (TSSB)

*Aplicación de solución salina más rápida que Fog*

# Configuraciones de ducha

Balaceo montado en la parte superior



Estacionario montado en el centro



# Pruebas de corrosión en automóviles modernos

## Niebla

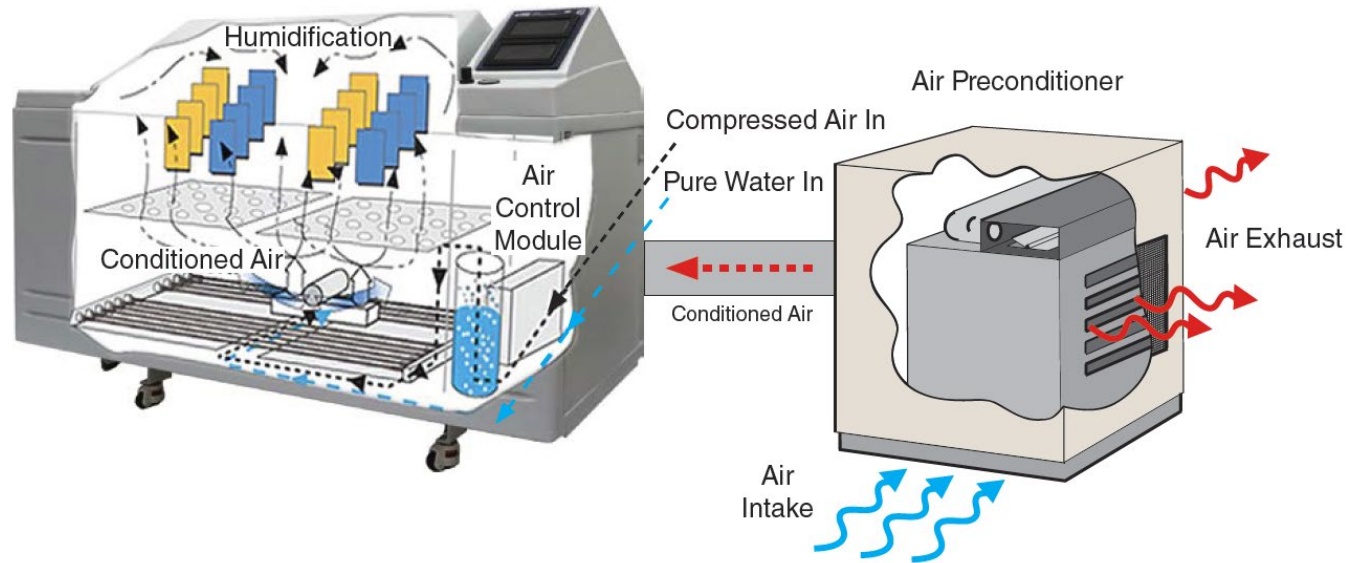
- Toyota TSH1555G
- VDA 233-102
- Renault D17 2028 (ECC1)

## Ducha

- GMW 14872
- Volvo acto 1
- ISO 16701
- Volvo ACTO 2/Ford L-467

*No existe una "forma correcta" de realizar una prueba, pero la ducha/rociador ha ganado popularidad.*

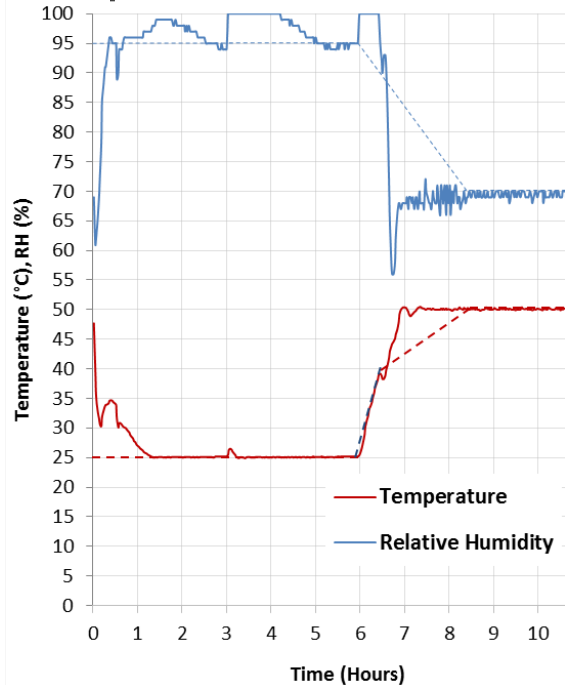
# Preacondicionador de aire moderno para pruebas de corrosión



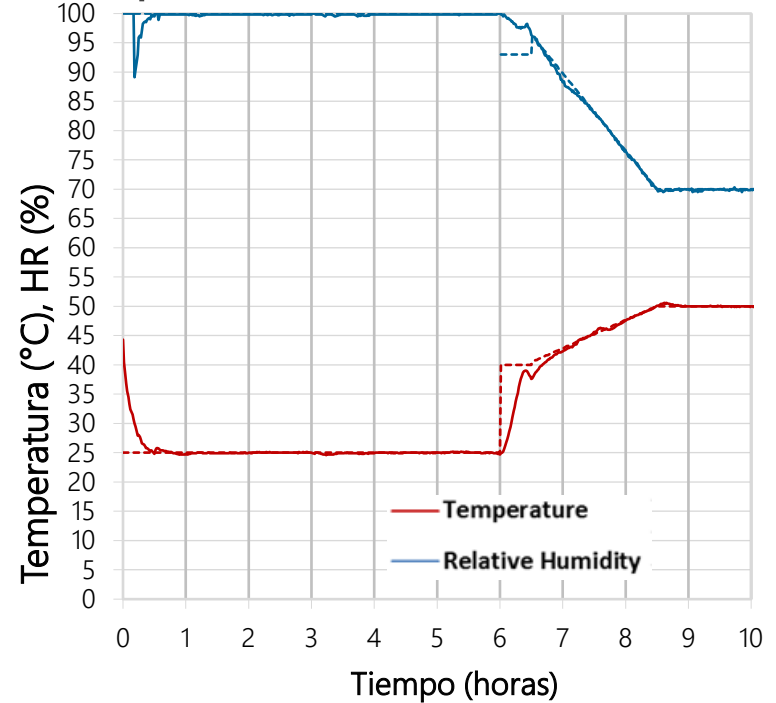
- Control preciso de las condiciones “ambientales”
- Aumento preciso de temperatura y humedad relativa

# Control de humedad relativa con preacondicionador de aire

## Sin preacondicionador de aire

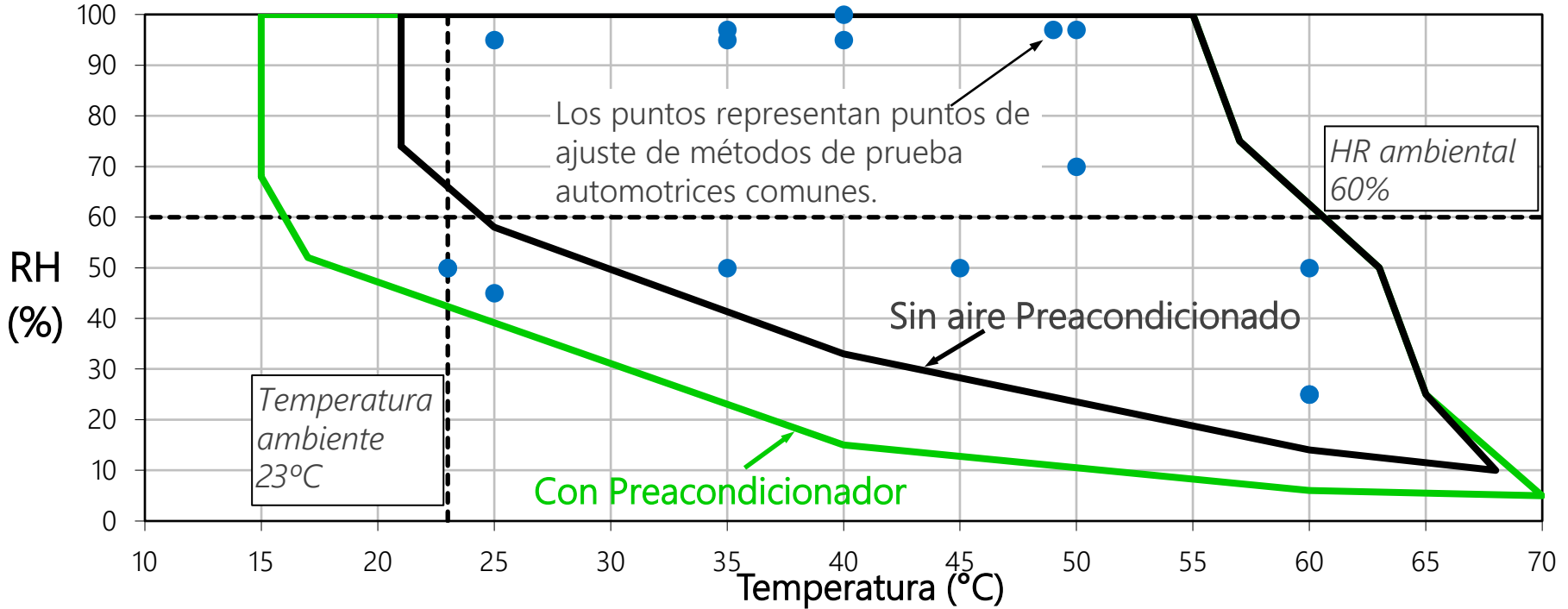


## Con preacondicionador de aire

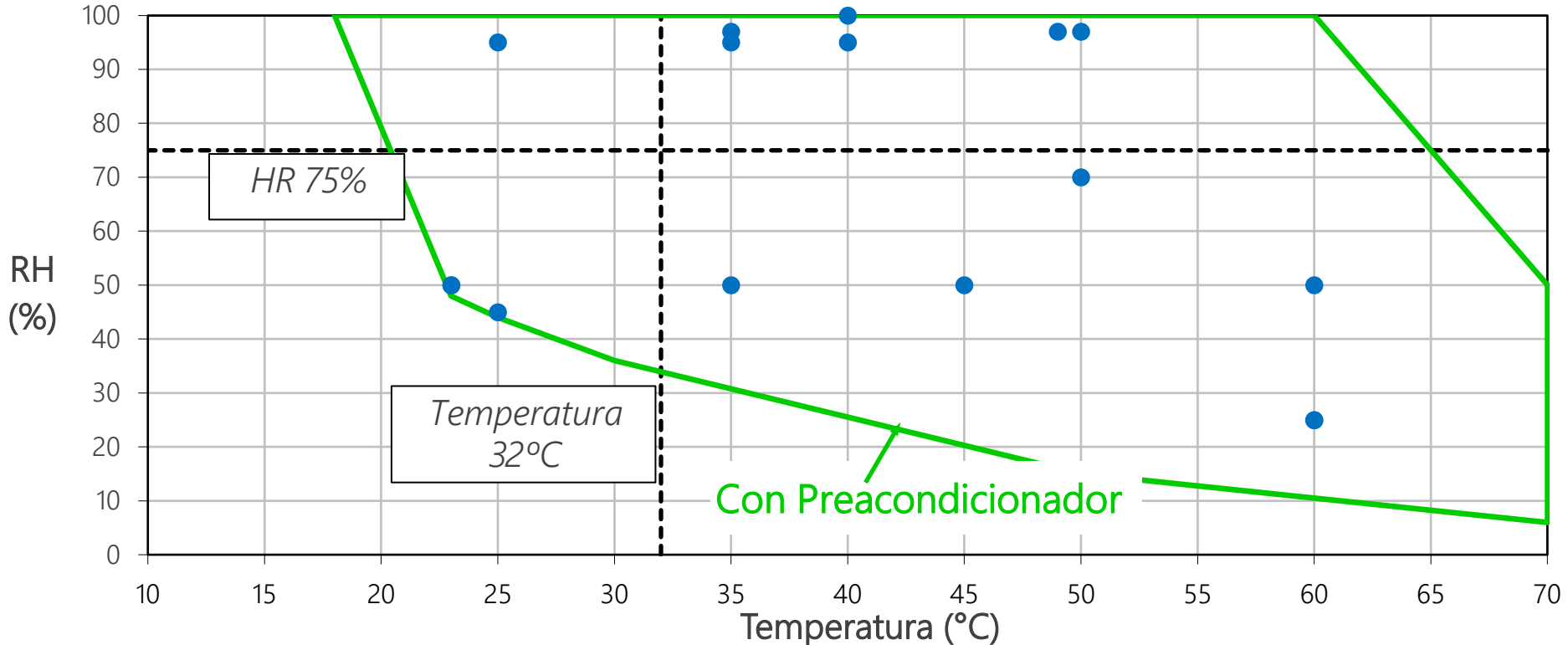




# Rango operativo Q-FOG: laboratorio bien controlado

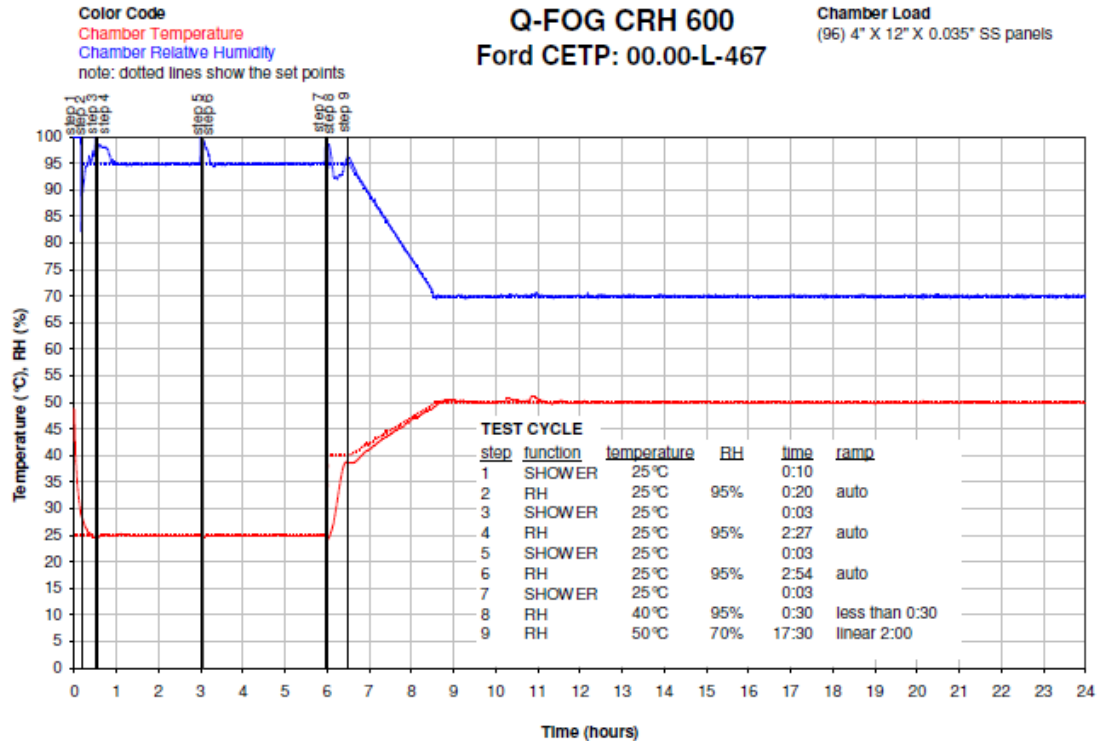


# Rango operativo Q-FOG: Laboratorio húmedo y caliente

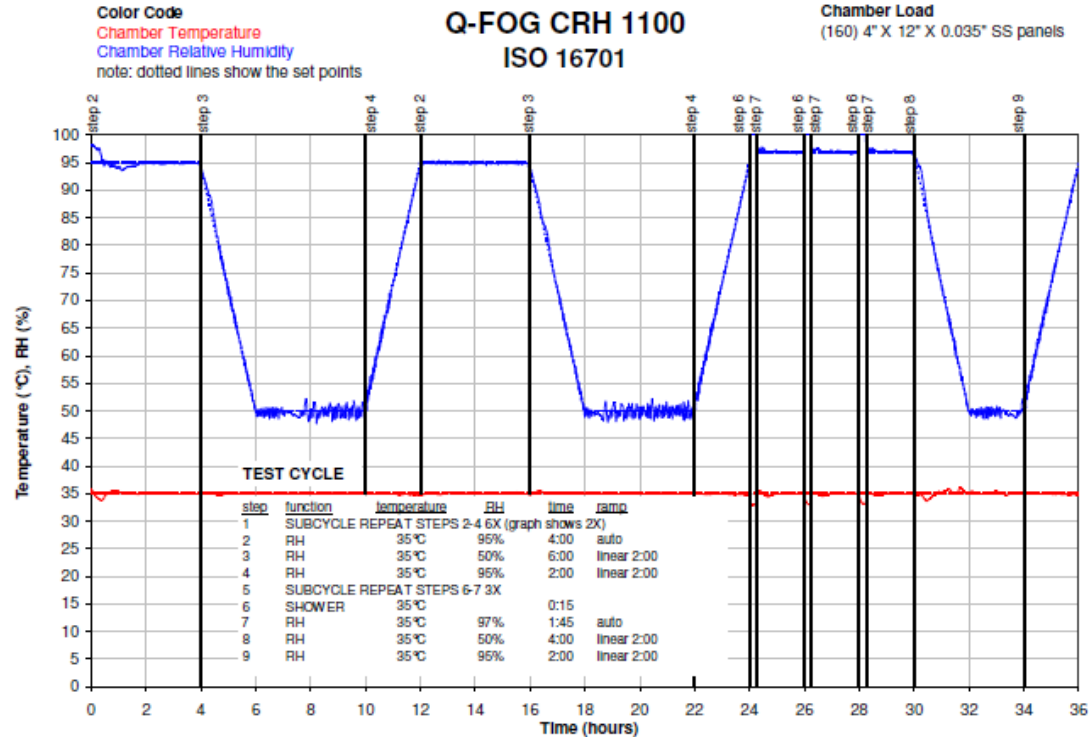


# Ejemplos de pruebas modernas de corrosión

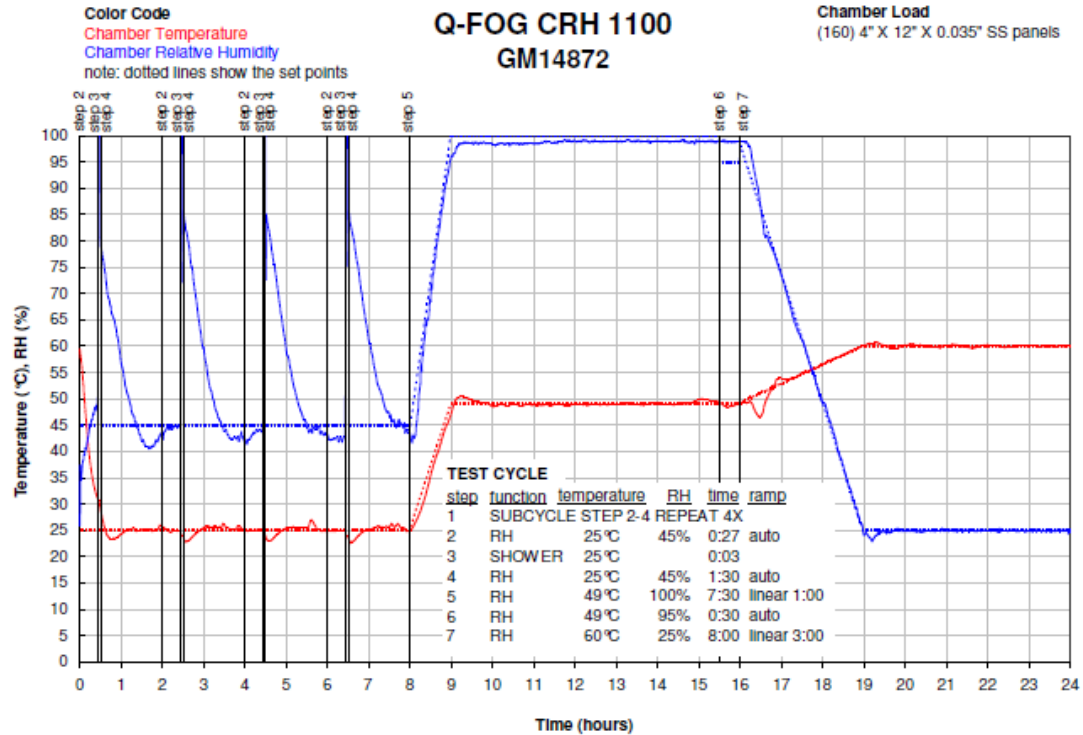
# Ford L-467 / Volvo VCS 1027, 1449



# ISO 16701



# GMW 14872



# Verificación del rendimiento de la prueba de corrosión

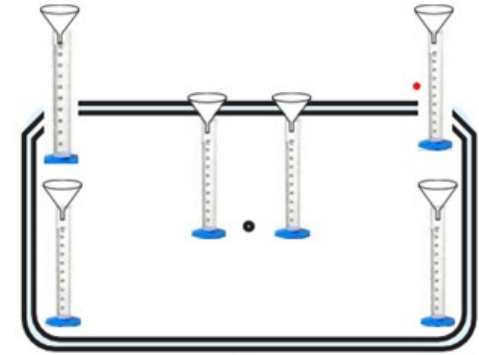
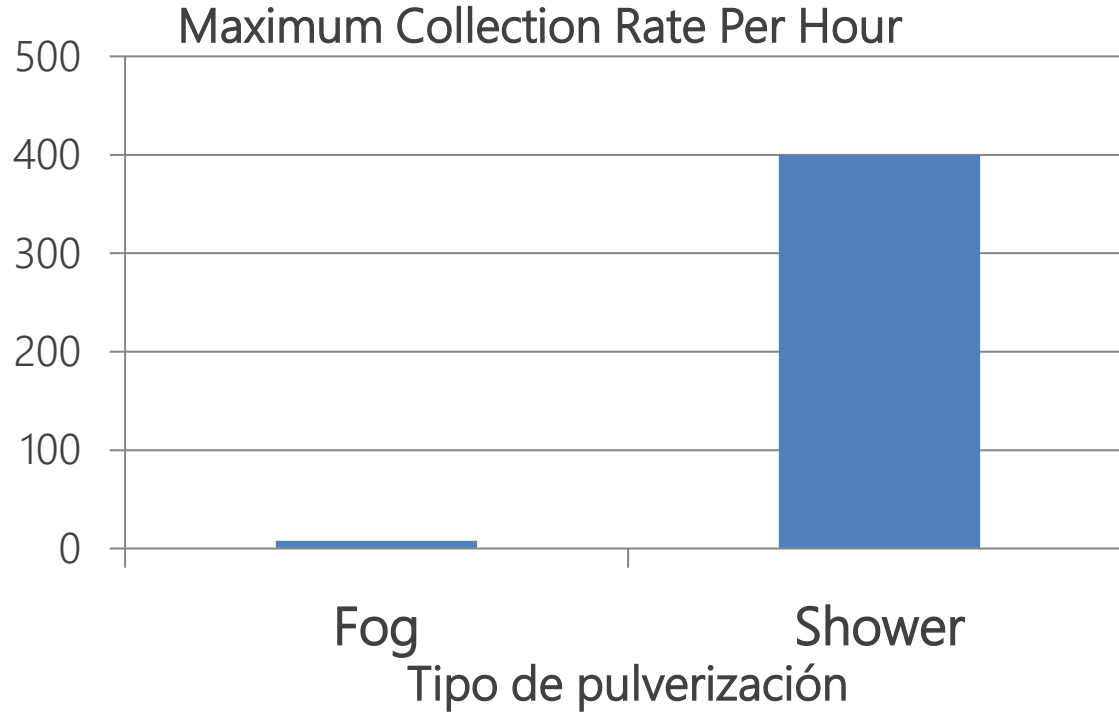
# Cupones de corrosión (pérdida de masa)

- Muestras de metal estandarizadas.
- La pérdida de masa debida a la corrosión se mide durante una prueba
- Utilizado por los estándares GM, VDA, ISO 16701 y muchos otros.
- GMW 14872 requiere una tasa específica de pérdida de masa durante una prueba
- Garantiza que la cámara de corrosión mantenga las condiciones adecuadas y que el operador esté ejecutando la prueba correctamente

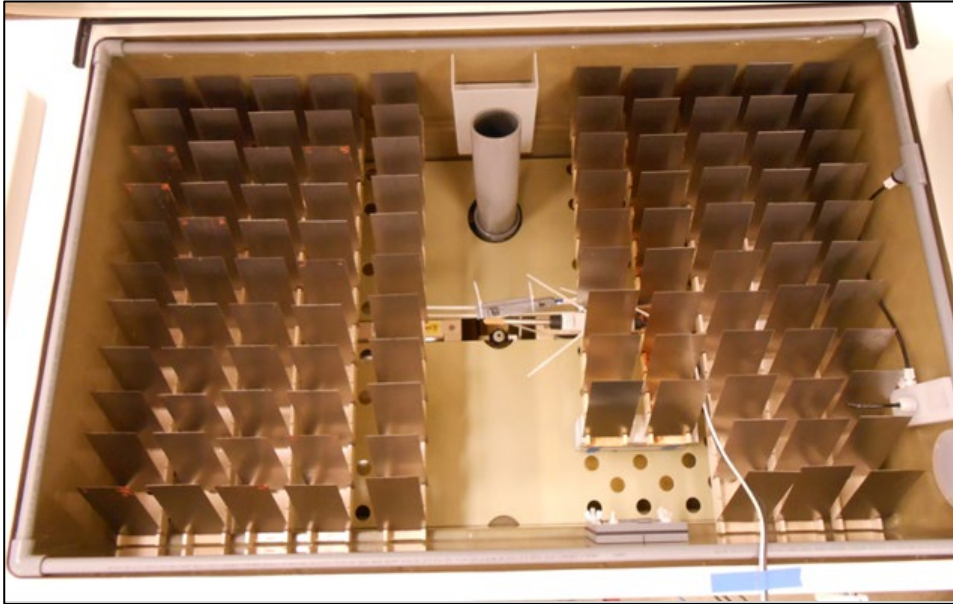




# Pluviometría



# Verificación independiente



- Sensor de temperatura/RH exacto y preciso colocado en el centro de la cámara para verificar de forma independiente la lectura del controlador Q-FOG CRH
- La cámara está llena de paneles de acero.

# Verificar la prueba en una cámara llena

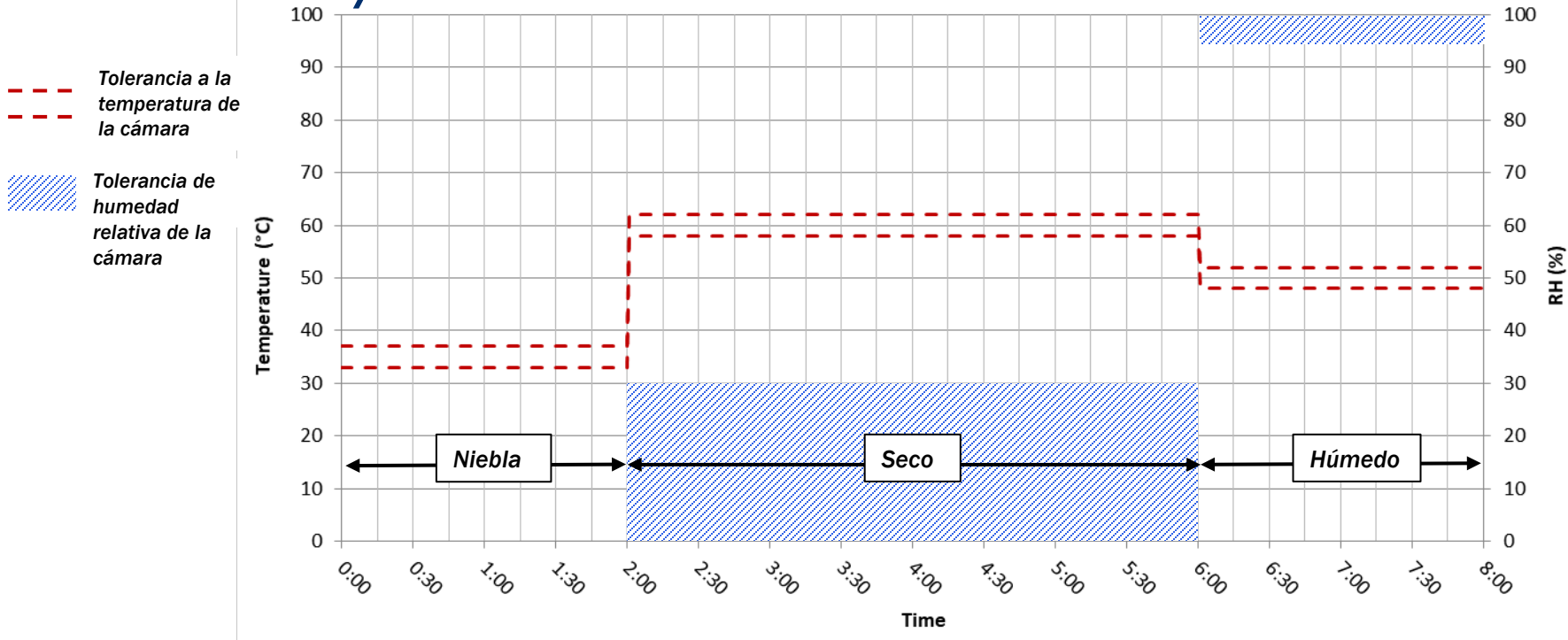
- Para confirmar que una cámara puede satisfacer los requisitos de la prueba, la validación debe realizarse en una cámara llena.
- La masa térmica adicional de una cámara completamente cargada con paneles metálicos retrasará el logro de los puntos de ajuste de temperatura



*Verificar que las condiciones de prueba se puedan alcanzar con una cámara llena de muestras.*

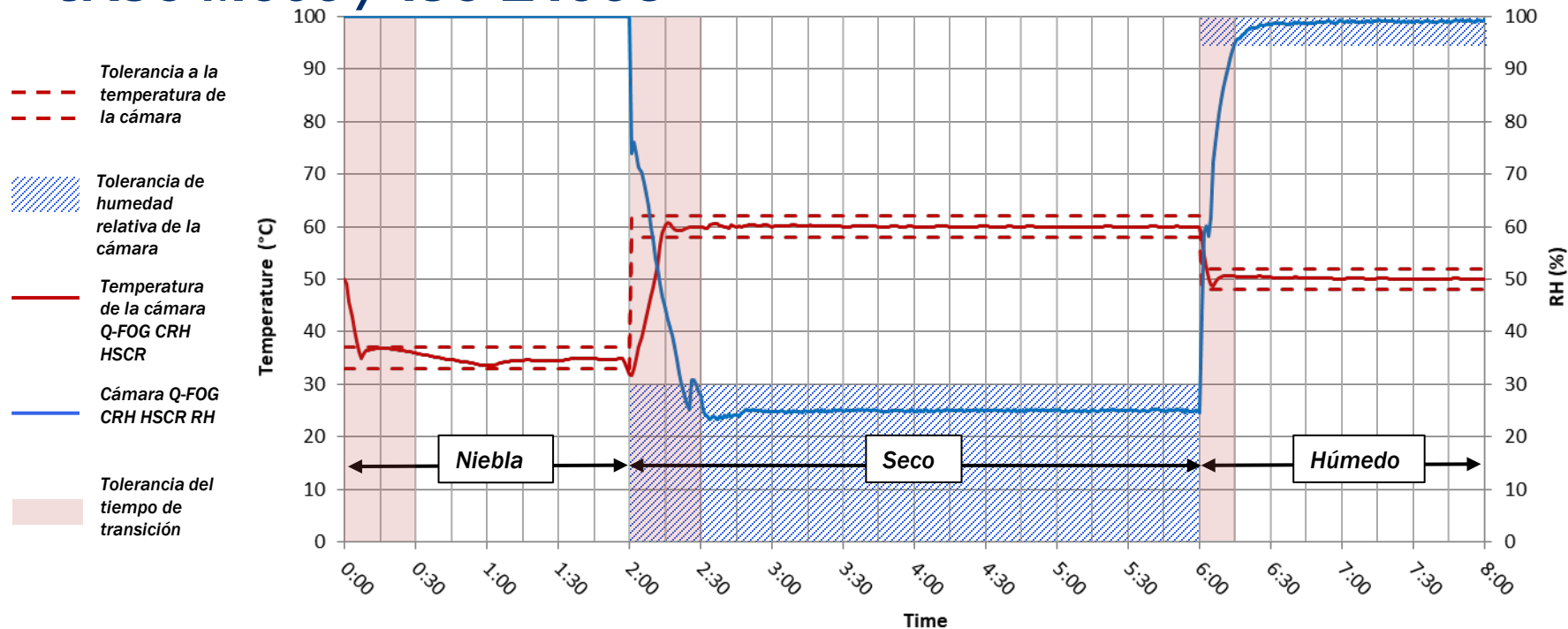
# Datos de la cámara Q-FOG CRH HSCR

## JASO M609 / ISO 14993



# Datos de la cámara Q-FOG CRH HSCR

## JASO M609 / ISO 14993



# Conclusiones

- Las pruebas de niebla salina son buenas pruebas de detección de pasa/falla.
- Las pruebas húmedas/secas son buenas pruebas comparativas para algunos sistemas, pero no son repetibles.
- Los ciclos combinados de intemperie/corrosión pueden proporcionar una buena correlación exterior para algunos materiales.
- Las pruebas automotrices cíclicas de primera generación son pruebas comparativas pero no repetibles.
- Las pruebas de corrosión modernas en automoción son más realistas y ofrecen mejor repetibilidad y reproducibilidad.



¿Preguntas?  
[info@q-lab.com](mailto:info@q-lab.com)

We make testing simple. |

