

# Confiabilidad iluminación LED

## Depreciación Lumínica, concepto de *vida* de los LED

# Mortalidad y vida útil

# Mortalidad y vida útil

- Fabricantes

# Mortalidad y vida útil

- Fabricantes
  - 35 000 horas

# Mortalidad y vida útil

- Fabricantes
  - 35 000 horas
  - 50 000 horas

# Mortalidad y vida útil

- Fabricantes
  - 35 000 horas
  - 50 000 horas
  - 100 000 horas

# Mortalidad y vida útil

- Fabricantes
  - 35 000 horas
  - 50 000 horas
  - 100 000 horas
- Las diferencias en las promesas son apreciables

# Mortalidad y vida útil

- Fabricantes
  - 35 000 horas
  - 50 000 horas
  - 100 000 horas
- Las diferencias en las promesas son apreciables
- ¿Cual es cierta?

# Mortalidad y vida útil

- Fabricantes
  - 35 000 horas
  - 50 000 horas
  - 100 000 horas
- Las diferencias en las promesas son apreciables
- ¿Cual es cierta?
- ¿Alguna lo es?

# Mortalidad y vida útil

- Otras tecnologías

# Mortalidad y vida útil

- Otras tecnologías
  - recambio

# Mortalidad y vida útil

- Otras tecnologías
  - recambio → determinado por la mortalidad

# Mortalidad y vida útil

- Otras tecnologías
  - recambio → determinado por la mortalidad
- Falla catastrófica

# Mortalidad y vida útil

- Otras tecnologías
  - recambio → determinado por la mortalidad
- Falla catastrófica
  - rotura de filamento o electrodos

# Mortalidad y vida útil

- Otras tecnologías
  - recambio → determinado por la mortalidad
- Falla catastrófica
  - rotura de filamento o electrodos
  - suele ocurrir antes de una depreciación significativa del flujo emitido

# Mortalidad y vida útil

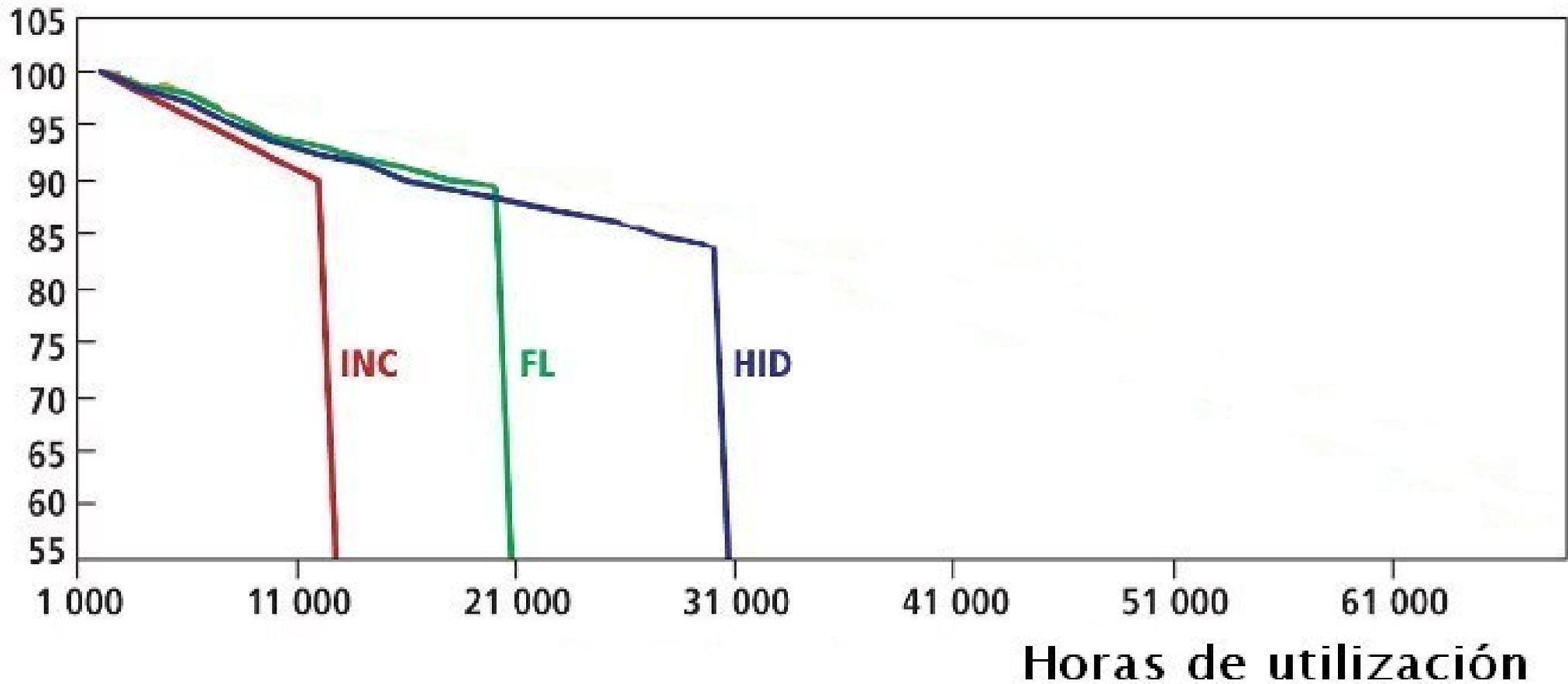
- Otras tecnologías
  - recambio → determinado por la mortalidad
- Falla catastrófica
  - rotura de filamento o electrodos
  - suele ocurrir antes de una depreciación significativa del flujo emitido
  - prestar atención a la depreciación de flujo

# Mortalidad y vida útil

- Otras tecnologías
  - recambio → determinado por la mortalidad
- Falla catastrófica
  - rotura de filamento o electrodos
  - suele ocurrir antes de una depreciación significativa del flujo emitido
  - prestar atención a la depreciación de flujo
    - tiene poca relevancia

# Mortalidad y vida útil

Flujo (%)



# Mortalidad y vida útil

- LED

# Mortalidad y vida útil

- LED
  - ausencia de falla catastrófica de la lámpara

# Mortalidad y vida útil

- LED
  - ausencia de falla catastrófica de la lámpara
  - mortalidad no puede determinar recambio

# Mortalidad y vida útil

- LED
  - ausencia de falla catastrófica de la lámpara
  - mortalidad no puede determinar recambio
  - ¿qué prometen los fabricantes?

# Mortalidad y vida útil

- LED
  - ausencia de falla catastrófica de la lámpara
  - mortalidad no puede determinar recambio
  - ¿qué prometen los fabricantes?
- Necesariamente

# Mortalidad y vida útil

- LED
  - ausencia de falla catastrófica de la lámpara
  - mortalidad no puede determinar recambio
  - ¿qué prometen los fabricantes?
- Necesariamente
  - fin de vida útil

# Mortalidad y vida útil

- LED
  - ausencia de falla catastrófica de la lámpara
  - mortalidad no puede determinar recambio
  - ¿qué prometen los fabricantes?
- Necesariamente
  - fin de vida útil → depreciación

# Mortalidad y vida útil

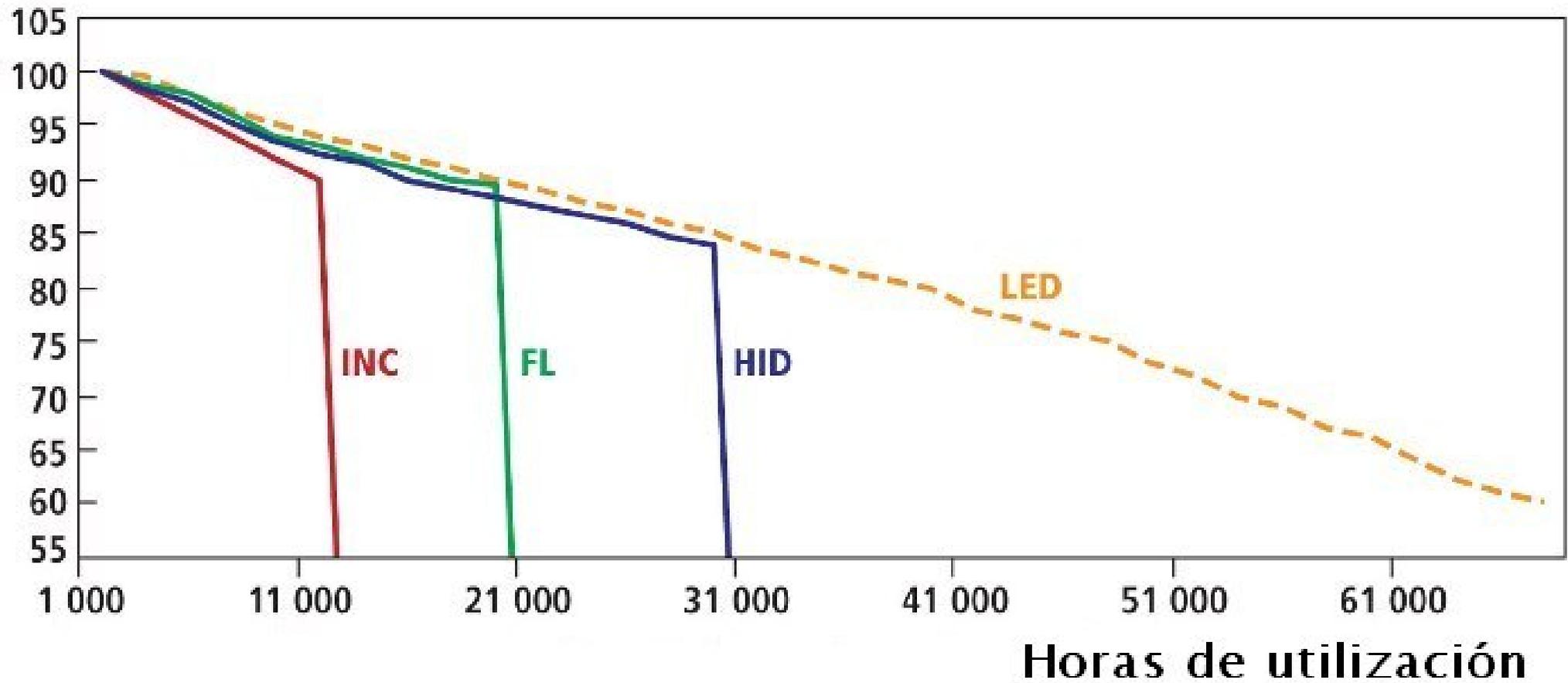
- LED
  - ausencia de falla catastrófica de la lámpara
  - mortalidad no puede determinar recambio
  - ¿qué prometen los fabricantes?
- Necesariamente
  - fin de vida útil → depreciación
  - conocer curva de depreciación

# Mortalidad y vida útil

- LED
  - ausencia de falla catastrófica de la lámpara
  - mortalidad no puede determinar recambio
  - ¿qué prometen los fabricantes?
- Necesariamente
  - fin de vida útil → depreciación
  - conocer curva de depreciación
    - conocer la duración del LED

# Mortalidad y vida útil

Flujo (%)



# Mortalidad y vida útil

- Dificultad

# Mortalidad y vida útil

- Dificultad
  - duración prolongada

# Mortalidad y vida útil

- Dificultad
  - duración prolongada → ensayo prolongado

# Mortalidad y vida útil

- Dificultad
  - duración prolongada → ensayo prolongado
- 50 000 horas

# Mortalidad y vida útil

- Dificultad
  - duración prolongada → ensayo prolongado
- 50 000 horas → 5.7 años de ensayo

# Mortalidad y vida útil

- Dificultad
  - duración prolongada → ensayo prolongado
- 50 000 horas → 5.7 años de ensayo
- Ensayos acelerados

# Mortalidad y vida útil

- Dificultad
  - duración prolongada → ensayo prolongado
- 50 000 horas → 5.7 años de ensayo
- Ensayos acelerados → no hay consenso aún

# Mortalidad y vida útil

- Dificultad
  - duración prolongada → ensayo prolongado
- 50 000 horas → 5.7 años de ensayo
- Ensayos acelerados → no hay consenso aún
- Solución

# Mortalidad y vida útil

- Dificultad
  - duración prolongada → ensayo prolongado
- 50 000 horas → 5.7 años de ensayo
- Ensayos acelerados → no hay consenso aún
- Solución
  - Ensayos mas cortos

# Mortalidad y vida útil

- Dificultad
  - duración prolongada → ensayo prolongado
- 50 000 horas → 5.7 años de ensayo
- Ensayos acelerados → no hay consenso aún
- Solución
  - Ensayos mas cortos
  - Extrapolación de resultados

# Mortalidad y vida útil

- Dificultad
  - duración prolongada → ensayo prolongado
- 50 000 horas → 5.7 años de ensayo
- Ensayos acelerados → no hay consenso aún
- Solución
  - Ensayos mas cortos
  - Extrapolación de resultados
- Validación de esas extrapolaciones

# Mortalidad y vida útil

- Dificultad adicional

# Mortalidad y vida útil

- Dificultad adicional
  - dependencia con la temperatura de operación

# Mortalidad y vida útil

- Dificultad adicional
  - dependencia con la temperatura de operación
  - ensayos a diferentes temperaturas

# Mortalidad y vida útil

- Dificultad adicional
  - dependencia con la temperatura de operación
  - ensayos a diferentes temperaturas
  - ¿qué pasa si opera a temperatura distinta a la de los ensayos?

# Mortalidad y vida útil

- Dificultad adicional
  - dependencia con la temperatura de operación
  - ensayos a diferentes temperaturas
  - ¿qué pasa si opera a temperatura distinta a la de los ensayos?
- Necesidad

# Mortalidad y vida útil

- Dificultad adicional
  - dependencia con la temperatura de operación
  - ensayos a diferentes temperaturas
  - ¿qué pasa si opera a temperatura distinta a la de los ensayos?
- Necesidad
  - medir depreciación

# Mortalidad y vida útil

- Dificultad adicional
  - dependencia con la temperatura de operación
  - ensayos a diferentes temperaturas
  - ¿qué pasa si opera a temperatura distinta a la de los ensayos?
- Necesidad
  - medir depreciación → **LM-80**

# Ensayos: LM-80

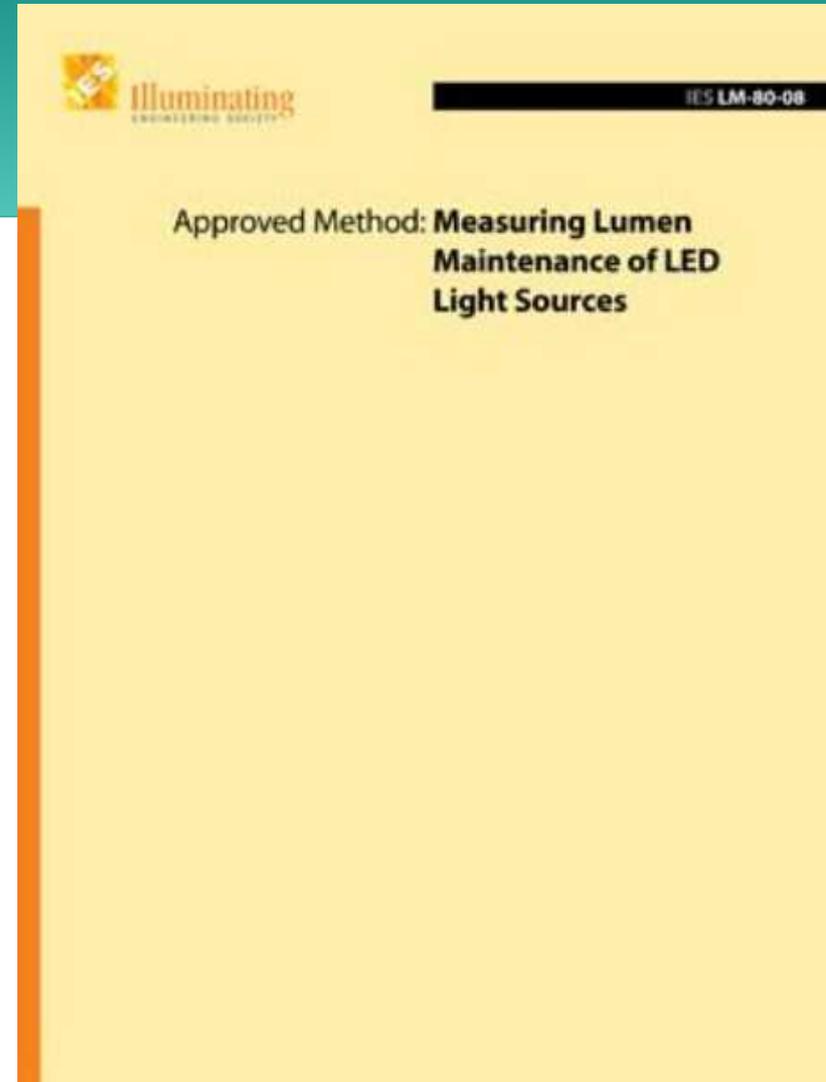


IES LM-80-08

Approved Method: **Measuring Lumen  
Maintenance of LED  
Light Sources**

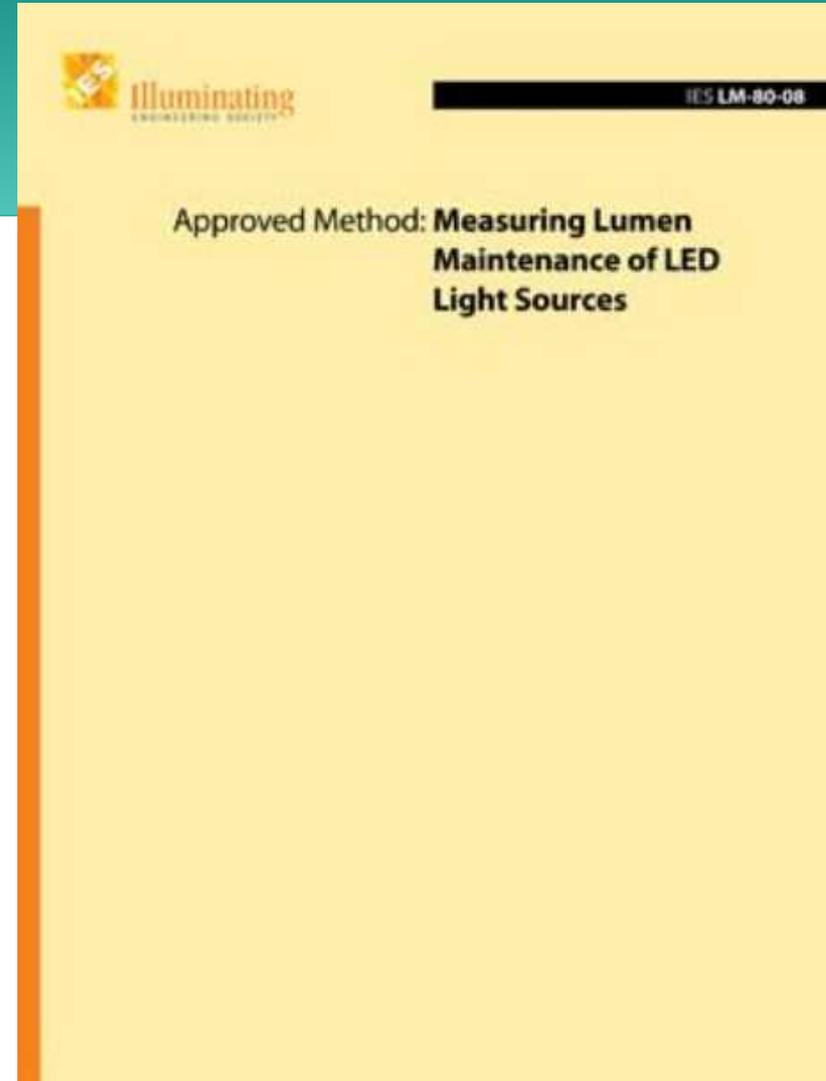
# Ensayos: LM-80

- Establece las condiciones para ensayos de depreciación



# Ensayos: LM-80

- Establece las condiciones para ensayos de depreciación
- Orientado al LED como componente



# Ensayos: LM-80

- Establece las condiciones para ensayos de depreciación
- Orientado al LED como componente
- Duración
  - 6000-10000 horas, o más



Illuminating  
ENGINEERING SOCIETY

IES LM-80-08

Approved Method: **Measuring Lumen  
Maintenance of LED  
Light Sources**

# Ensayos: LM-80

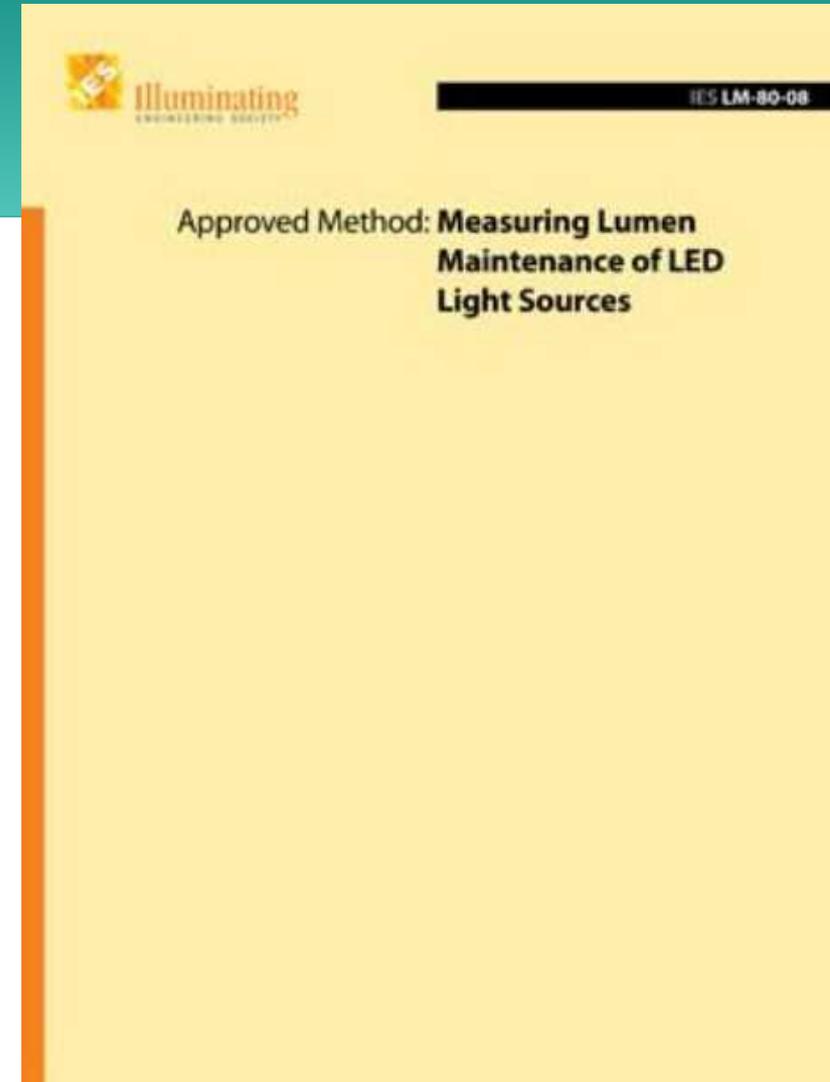


IES LM-80-08

**Approved Method: Measuring Lumen  
Maintenance of LED  
Light Sources**

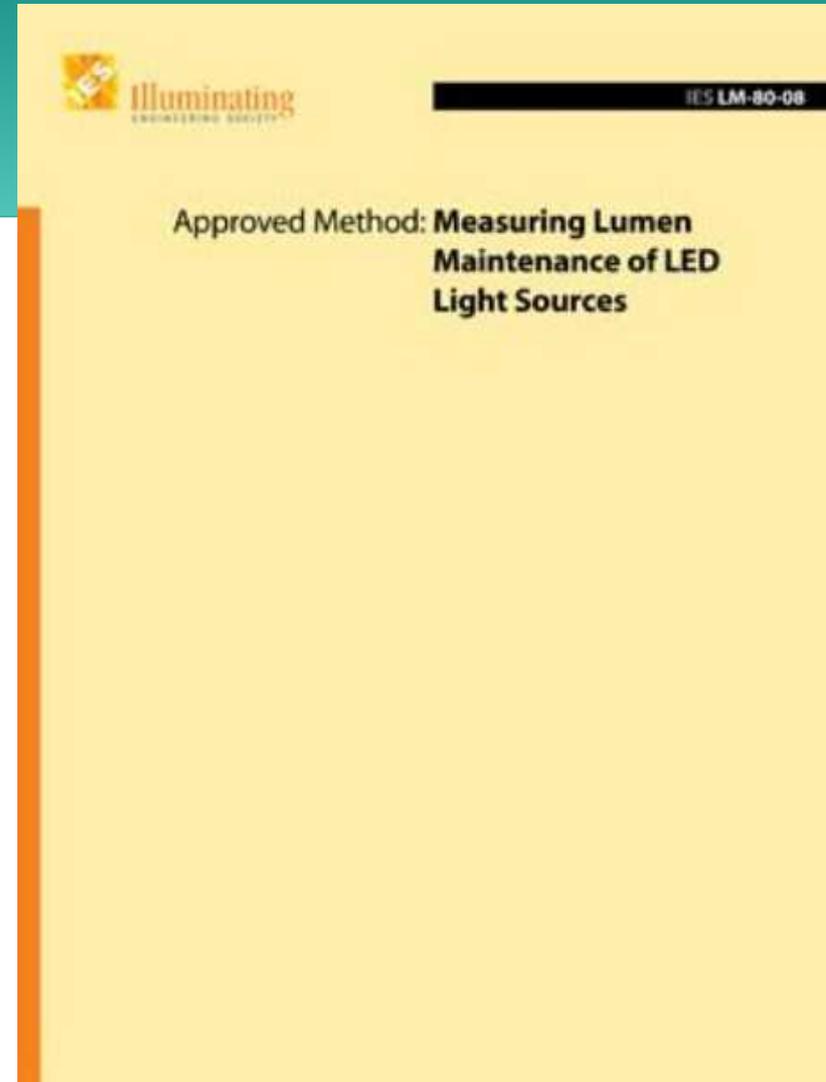
# Ensayos: LM-80

- Temperaturas de ensayo



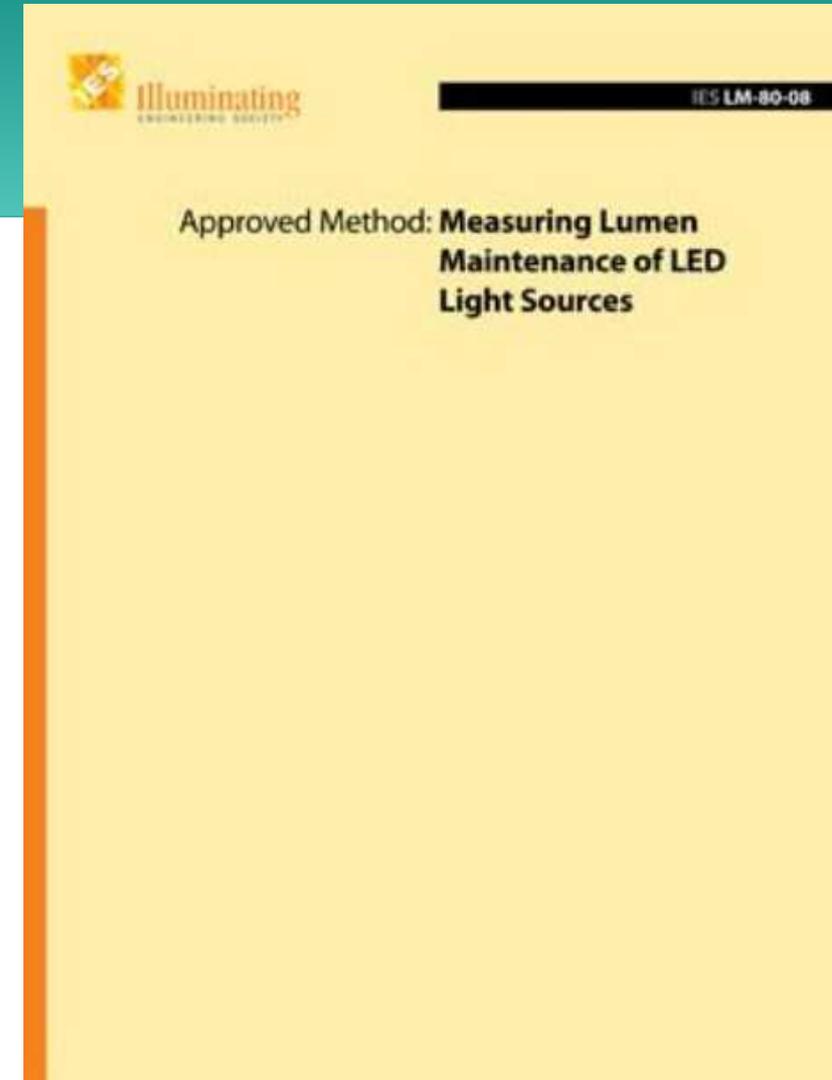
# Ensayos: LM-80

- Temperaturas de ensayo
- No establece mecanismos para saber que pasa después



# Ensayos: LM-80

- Temperaturas de ensayo
- No establece mecanismos para saber que pasa después
- Ahí aparece el TM-21



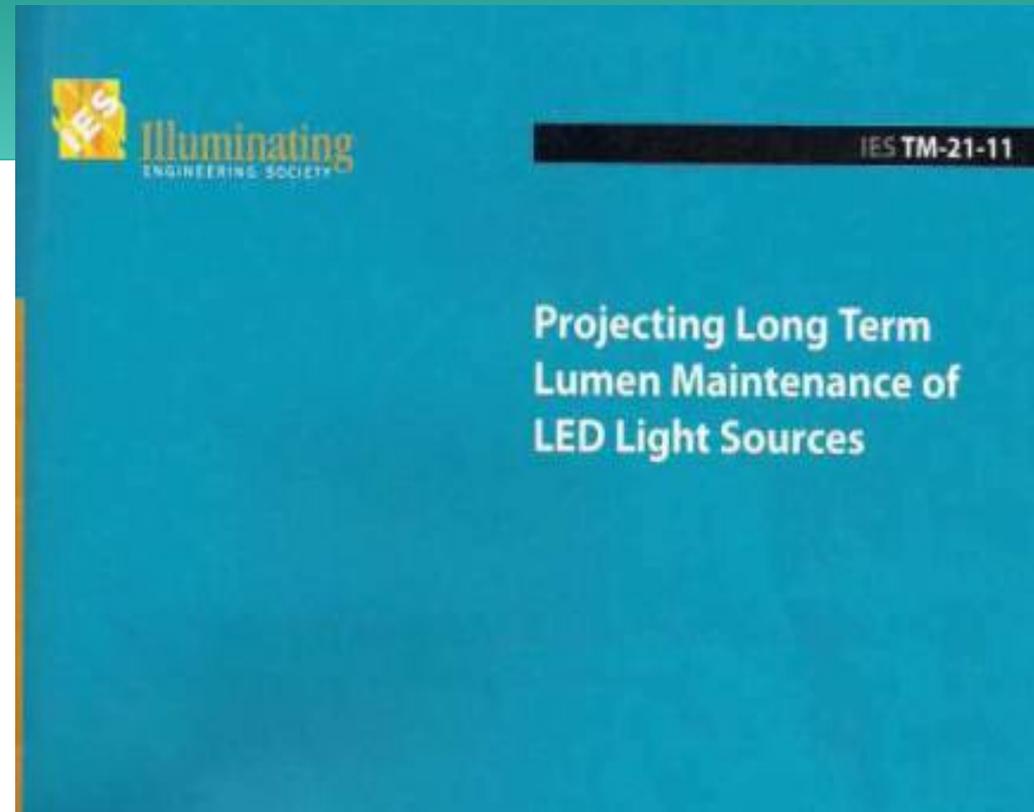
# TM-21

- Reporte TM-21



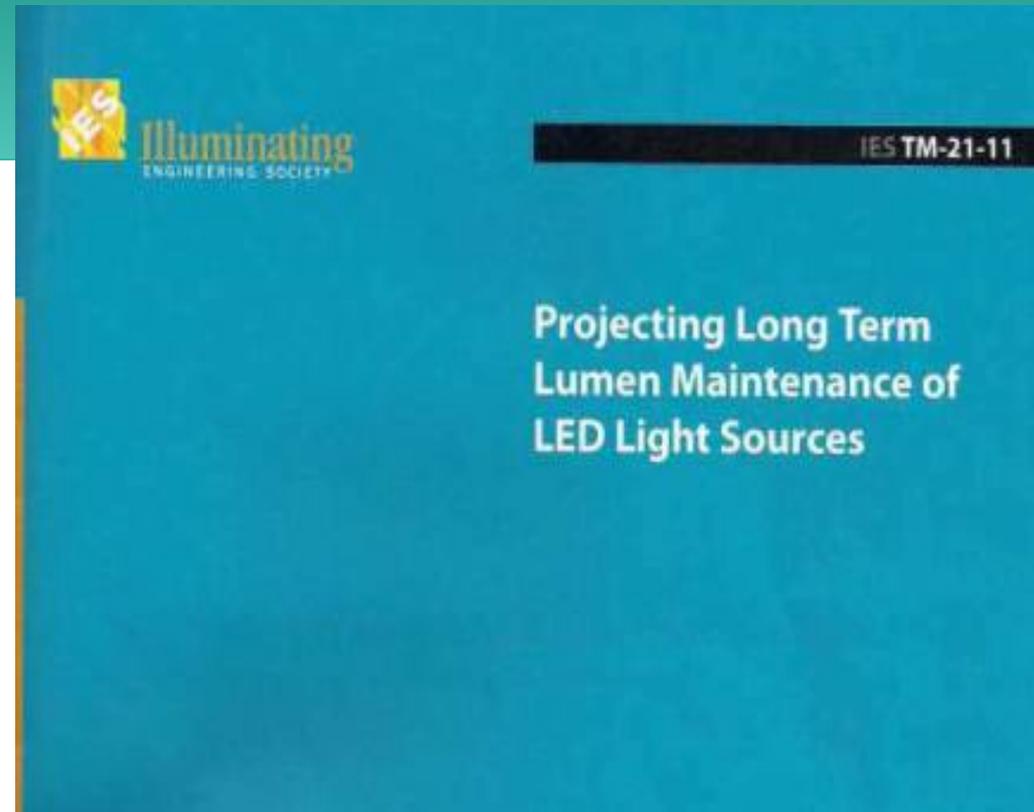
# TM-21

- Reporte TM-21
  - Mecanismo para extrapolar resultados



# TM-21

- Reporte TM-21
  - Mecanismo para extrapolar resultados
    - Usa datos LM-80



Ensayo  
LM-80

# TM-21

- Reporte TM-21
  - Mecanismo para extrapolar resultados
    - Usa datos LM-80
    - Propone método para predecir depreciación



# LM-80 y TM-21

Entonces

# LM-80 y TM-21

Entonces

- LM-80

# LM-80 y TM-21

Entonces

- LM-80 → Ensayos de depreciación de flujo

# LM-80 y TM-21

Entonces

- LM-80 → Ensayos de depreciación de flujo
  - Es una norma de ensayo

# LM-80 y TM-21

Entonces

- LM-80 → Ensayos de depreciación de flujo
  - Es una norma de ensayo
- TM-21

# LM-80 y TM-21

Entonces

- LM-80 → Ensayos de depreciación de flujo
  - Es una norma de ensayo
- TM-21 → Predicción del comportamiento en  $t > t_{\text{ensayo}}$

# LM-80 y TM-21

Entonces

- LM-80 → Ensayos de depreciación de flujo
  - Es una norma de ensayo
- TM-21 → Predicción del comportamiento en  $t > t_{\text{ensayo}}$ 
  - Es un reporte que propone un mecanismo de cálculo

# TM-21

- Grupo de trabajo de IES

# TM-21

- Grupo de trabajo de IES
  - 3 años estudio

# TM-21

- Grupo de trabajo de IES
  - 3 años estudio
  - 40 conjuntos de datos LM-80, la mitad de mas de 10000 horas de ensayo

# TM-21

- Grupo de trabajo de IES
  - 3 años estudio
  - 40 conjuntos de datos LM-80, la mitad de mas de 10000 horas de ensayo
  - prueba de varios modelos matemáticos

# TM-21

- Grupo de trabajo de IES
  - 3 años estudio
  - 40 conjuntos de datos LM-80, la mitad de mas de 10000 horas de ensayo
  - prueba de varios modelos matemáticos
  - validación con los los conjuntos de datos mas extendidos: 15 000 horas

# TM-21

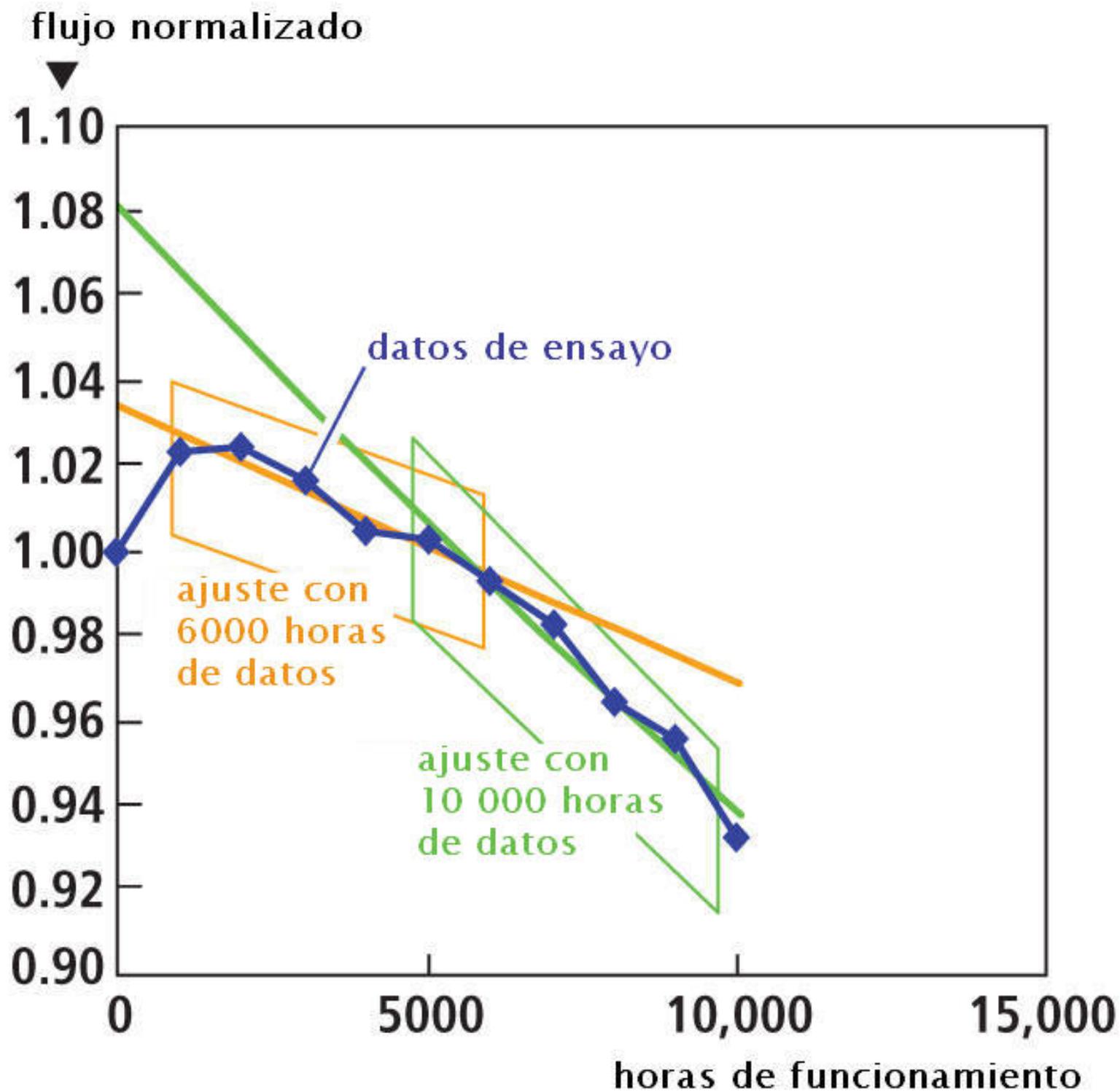
- Grupo de trabajo de IES
  - 3 años estudio
  - 40 conjuntos de datos LM-80, la mitad de mas de 10000 horas de ensayo
  - prueba de varios modelos matemáticos
  - validación con los los conjuntos de datos mas extendidos: 15 000 horas
- Hallazgos

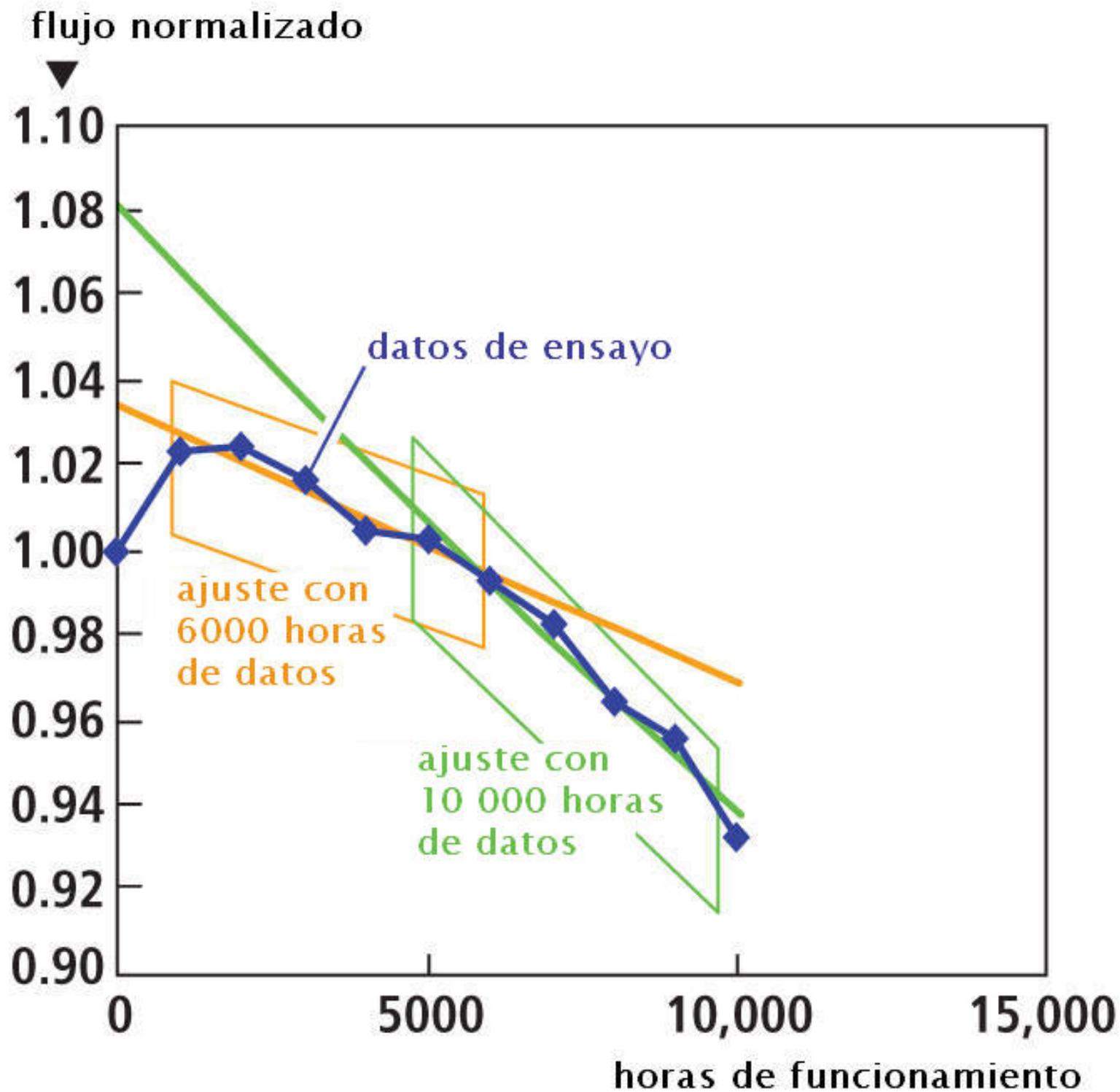
# TM-21

- Grupo de trabajo de IES
  - 3 años estudio
  - 40 conjuntos de datos LM-80, la mitad de mas de 10000 horas de ensayo
  - prueba de varios modelos matemáticos
  - validación con los los conjuntos de datos mas extendidos: 15 000 horas
- Hallazgos
  - Comportamiento luego de 6000 horas

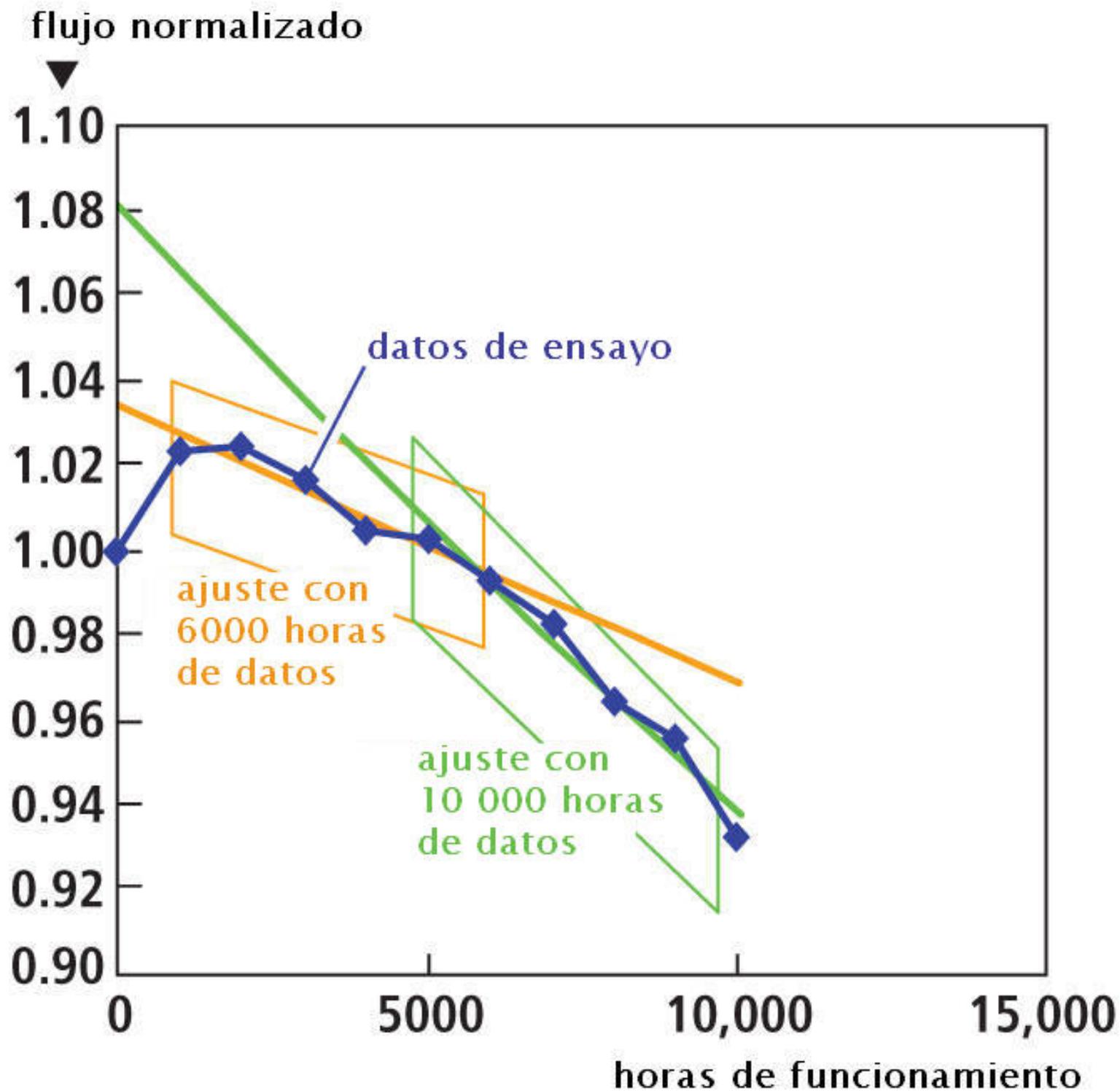
# TM-21

- Grupo de trabajo de IES
  - 3 años estudio
  - 40 conjuntos de datos LM-80, la mitad de mas de 10000 horas de ensayo
  - prueba de varios modelos matemáticos
  - validación con los los conjuntos de datos mas extendidos: 15 000 horas
- Hallazgos
  - Comportamiento luego de 6000 horas
    - **no** predecible consistentemente





- Cambio de tendencia



- Cambio de tendencia
- Diferencia en ajustes con distintos tramos del conjunto de datos

# TM-21

- Hallazgos

# TM-21

- Hallazgos
  - Luego de 6000 horas

# TM-21

- Hallazgos
  - Luego de 6000 horas → cambios de tendencia

# TM-21

- Hallazgos
  - Luego de 6000 horas → cambios de tendencia
  - Aún con 10 000 horas no se puede dar certeza estadística de que pasará a 35 000 horas

# TM-21

- Hallazgos
  - Luego de 6000 horas → cambios de tendencia
  - Aún con 10 000 horas no se puede dar certeza estadística de que pasará a 35 000 horas
- Además

# TM-21

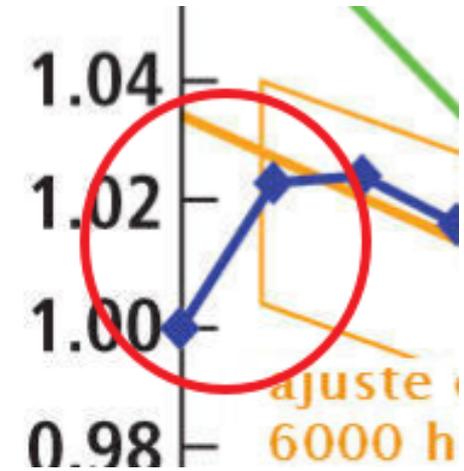
- Hallazgos
  - Luego de 6000 horas → cambios de tendencia
  - Aún con 10 000 horas no se puede dar certeza estadística de que pasará a 35 000 horas
- Además
  - Obtener conjuntos de datos mas prolongados es difícil porque ocurren otras fallas no asociadas a la degradación propia del LED

# TM-21

- Recomendaciones

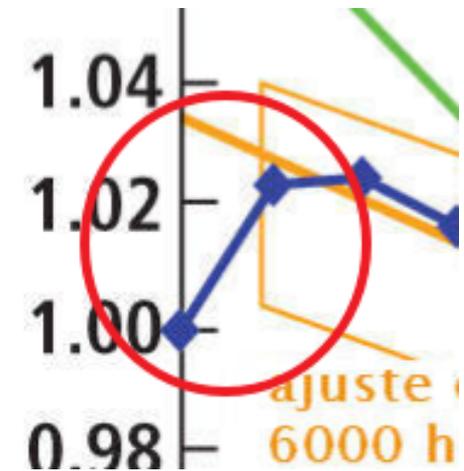
# TM-21

- Recomendaciones
  - Descarte de los primeros datos



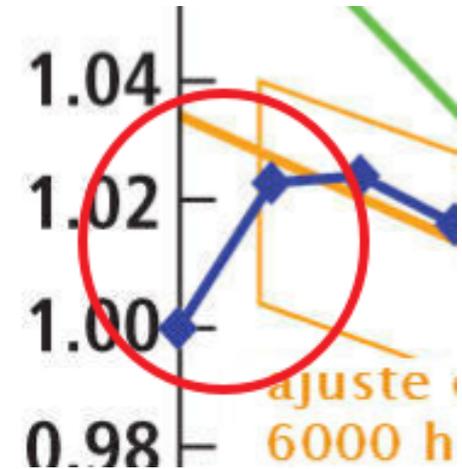
# TM-21

- Recomendaciones
  - Descarte de los primeros datos
    - subida de flujo



# TM-21

- Recomendaciones
  - Descarte de los primeros datos
    - subida de flujo
    - transitorio no representativo de la evolución posterior

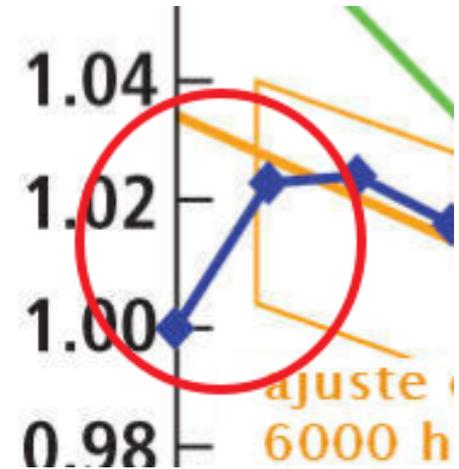


# TM-21

- Recomendaciones

- Descarte de los primeros datos
  - subida de flujo
  - transitorio no representativo de la evolución posterior

- Ajuste utilizando el tramo final del conjunto de datos disponibles



# TM-21

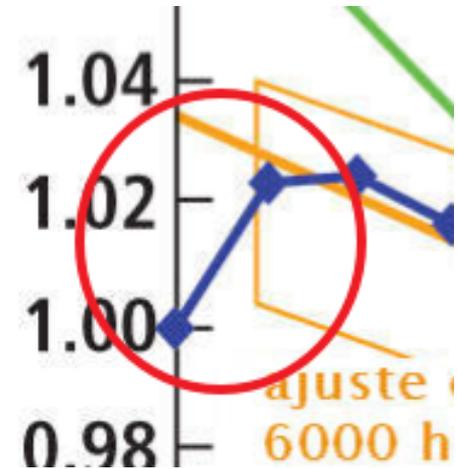
- Recomendaciones

- Descarte de los primeros datos

- subida de flujo
    - transitorio no representativo de la evolución posterior

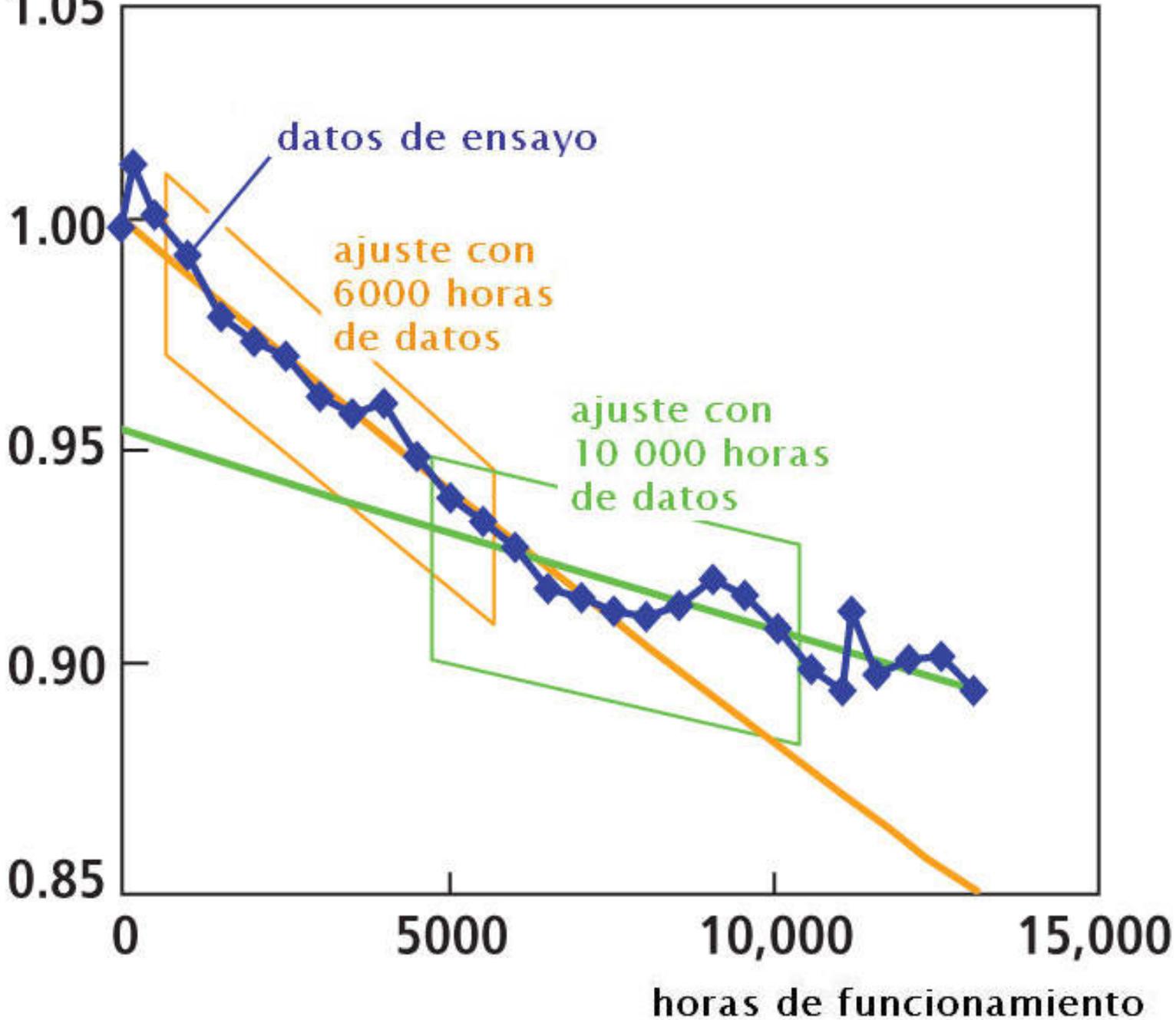
- Ajuste utilizando el tramo final del conjunto de datos disponibles

- mejor correlación entre predicción y datos futuros para los conjuntos de datos de verificación

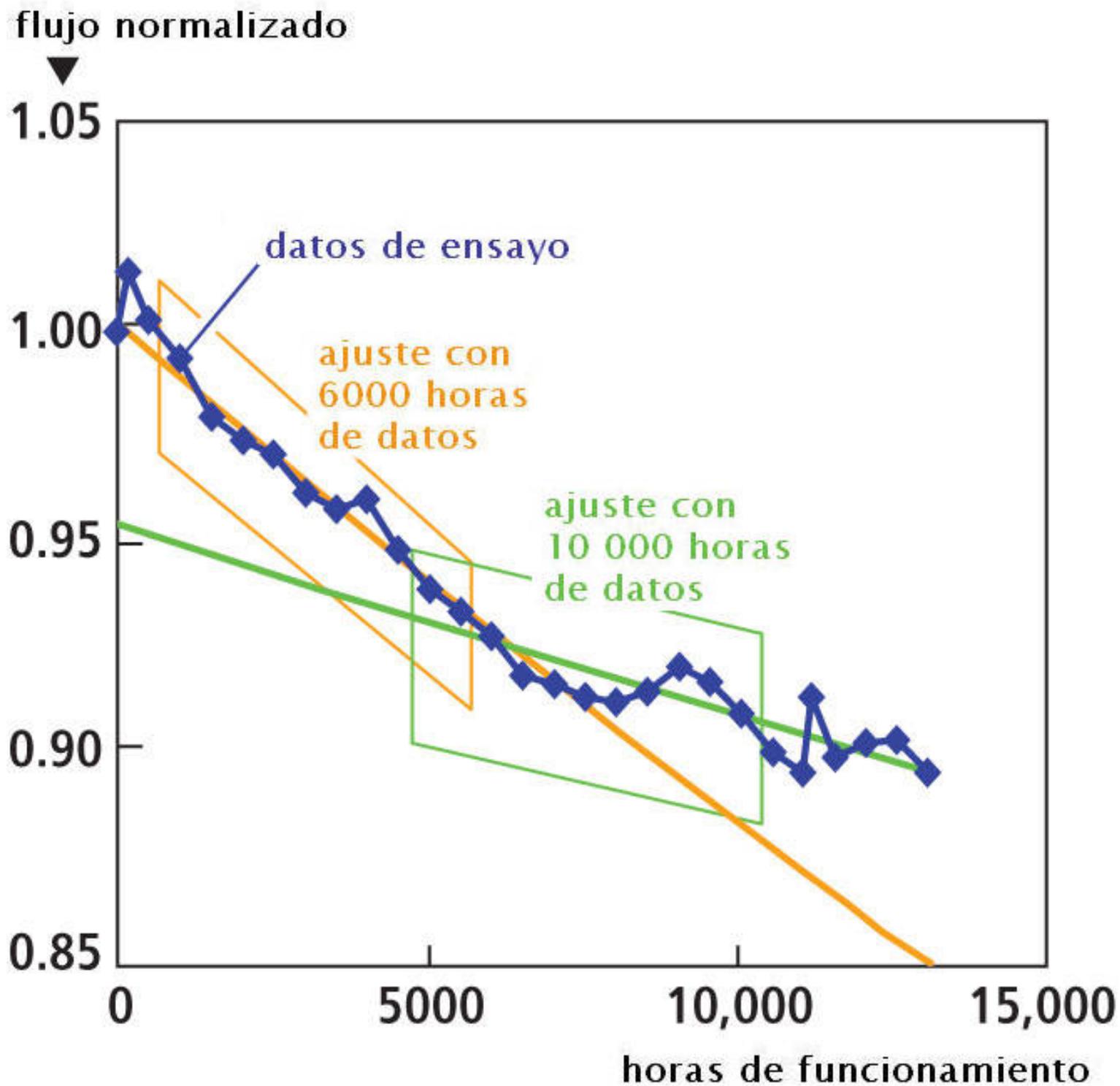


flujo normalizado

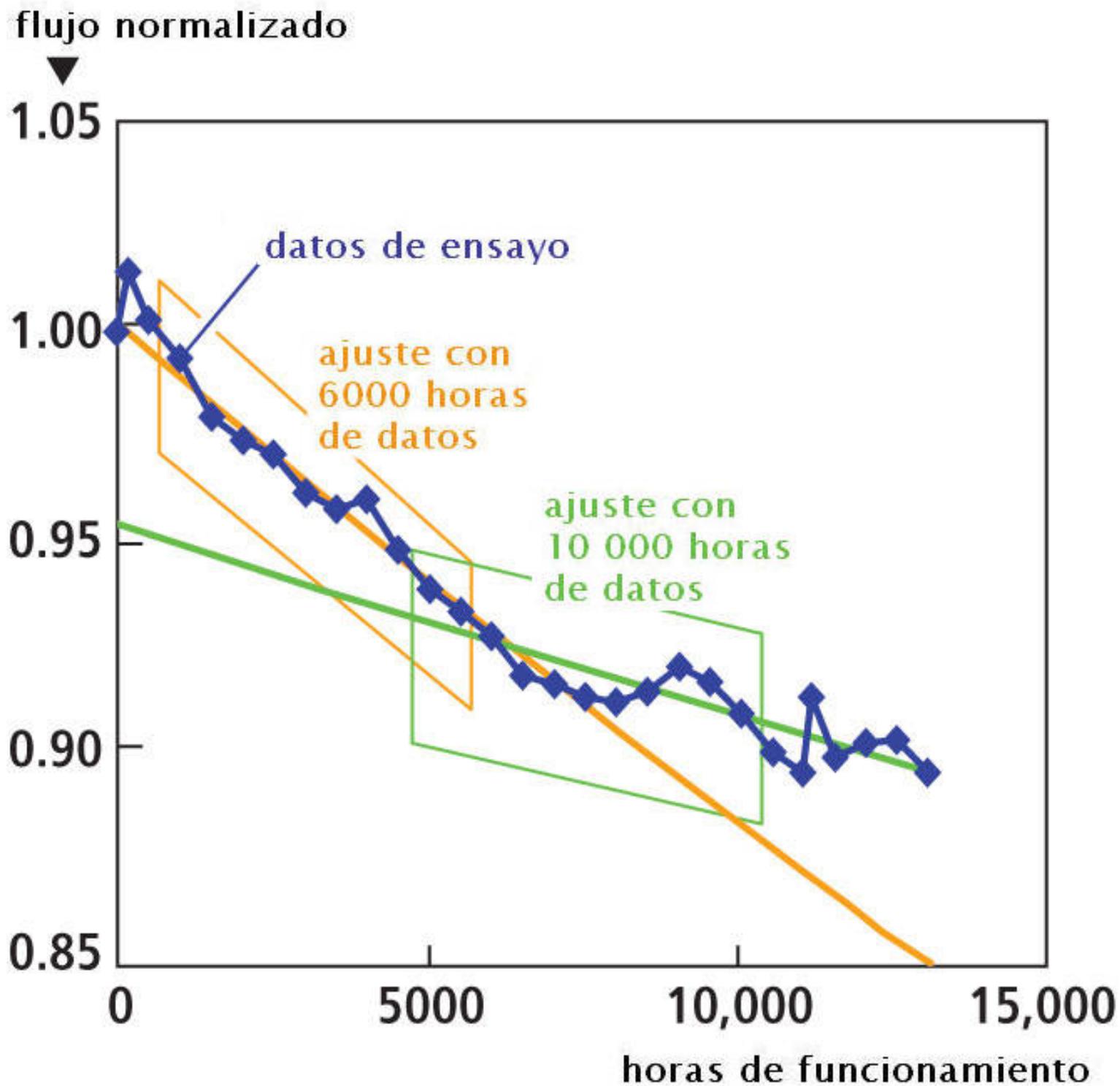
▼  
1.05



- Datos > 10 000 h



- Datos > 10 000 h
- Ajustes usando distintos tramos anteriores



# TM-21

- Insumos

# TM-21

- Insumos
  - Datos de ensayo LM-80

# TM-21

- Insumos
  - Datos de ensayo LM-80
    - al menos 6000 horas



# TM-21

- Insumos
  - Datos de ensayo LM-80
    - al menos 6000 horas
    - puntos medidos cada 1000 horas mínimo



# TM-21

- Insumos

- Datos de ensayo LM-80

- al menos 6000 horas

- puntos medidos cada 1000 horas mínimo



- TM-21 recomienda

# TM-21

- Insumos

- Datos de ensayo LM-80

- al menos 6000 horas
    - puntos medidos cada 1000 horas mínimo



- TM-21 recomienda

- mas horas de ensayo



# TM-21

- Insumos

- Datos de ensayo LM-80

- al menos 6000 horas
    - puntos medidos cada 1000 horas mínimo



- TM-21 recomienda

- mas horas de ensayo
    - intervalos de medida < 1000 horas



# TM-21

- Metodología propuesta

# TM-21

- Metodología propuesta
  - Normalización de datos

# TM-21

- Metodología propuesta
  - Normalización de datos
    - tomando flujo 100% en  $t = 0$  horas

# TM-21

- Metodología propuesta
  - Normalización de datos
    - tomando flujo 100% en  $t = 0$  horas
  - Valor de flujo en cada instante  $t_i$  posterior

# TM-21

- Metodología propuesta
  - Normalización de datos
    - tomando flujo 100% en  $t = 0$  horas
  - Valor de flujo en cada instante  $t_i$  posterior
    - valor promedio entre todas la muestras ensayadas, del flujo normalizado

# TM-21

- Metodología propuesta
  - Normalización de datos
    - tomando flujo 100% en  $t = 0$  horas
  - Valor de flujo en cada instante  $t_i$  posterior
    - valor promedio entre todas la muestras ensayadas, del flujo normalizado
  - Muestras

# TM-21

- Metodología propuesta
  - Normalización de datos
    - tomando flujo 100% en  $t = 0$  horas
  - Valor de flujo en cada instante  $t_i$  posterior
    - valor promedio entre todas la muestras ensayadas, del flujo normalizado
  - Muestras
    - se recomienda 20 unidades

# TM-21

- Metodología propuesta
  - Normalización de datos
    - tomando flujo 100% en  $t = 0$  horas
  - Valor de flujo en cada instante  $t_i$  posterior
    - valor promedio entre todas la muestras ensayadas, del flujo normalizado
  - Muestras
    - se recomienda 20 unidades
  - Datos utilizados

# TM-21

- Metodología propuesta
  - Normalización de datos
    - tomando flujo 100% en  $t = 0$  horas
  - Valor de flujo en cada instante  $t_i$  posterior
    - valor promedio entre todas la muestras ensayadas, del flujo normalizado
  - Muestras
    - se recomienda 20 unidades
  - Datos utilizados
    - 6000 a 10000 horas de ensayo

# TM-21

- Metodología propuesta
  - Normalización de datos
    - tomando flujo 100% en  $t = 0$  horas
  - Valor de flujo en cada instante  $t_i$  posterior
    - valor promedio entre todas la muestras ensayadas, del flujo normalizado
  - Muestras
    - se recomienda 20 unidades
  - Datos utilizados
    - 6000 a 10000 horas de ensayo, últimas 5000 horas

# TM-21

- Metodología propuesta
  - Normalización de datos
    - tomando flujo 100% en  $t = 0$  horas
  - Valor de flujo en cada instante  $t_i$  posterior
    - valor promedio entre todas la muestras ensayadas, del flujo normalizado
  - Muestras
    - se recomienda 20 unidades
  - Datos utilizados
    - 6000 a 10000 horas de ensayo, últimas 5000 horas
    - > 10000 horas

# TM-21

- Metodología propuesta
  - Normalización de datos
    - tomando flujo 100% en  $t = 0$  horas
  - Valor de flujo en cada instante  $t_i$  posterior
    - valor promedio entre todas la muestras ensayadas, del flujo normalizado
  - Muestras
    - se recomienda 20 unidades
  - Datos utilizados
    - 6000 a 10000 horas de ensayo, últimas 5000 horas
    - > 10000 horas, 2<sup>da</sup> mitad de la serie

# TM-21

- Decaimiento exponencial

# TM-21

- Decaimiento exponencial
- Obtención de parámetros de curva de ajuste mediante mínimos cuadrados

# TM-21

- Decaimiento exponencial
- Obtención de parámetros de curva de ajuste mediante mínimos cuadrados
- $t$

# TM-21

- Decaimiento exponencial
- Obtención de parámetros de curva de ajuste mediante mínimos cuadrados
- $t$  : tiempo en horas

# TM-21

- Decaimiento exponencial
- Obtención de parámetros de curva de ajuste mediante mínimos cuadrados
- $t$  : tiempo en horas
- $\Phi(t)$

# TM-21

- Decaimiento exponencial
- Obtención de parámetros de curva de ajuste mediante mínimos cuadrados
- $t$  : tiempo en horas
- $\Phi(t)$  : flujo promedio normalizado en tiempo  $t$

# TM-21

- Decaimiento exponencial
- Obtención de parámetros de curva de ajuste mediante mínimos cuadrados
- $t$  : tiempo en horas
- $\Phi(t)$  : flujo promedio normalizado en tiempo  $t$
- $\Phi(t) = B * e^{-\alpha * t}$

# TM-21

- Decaimiento exponencial
- Obtención de parámetros de curva de ajuste mediante mínimos cuadrados
- $t$  : tiempo en horas
- $\Phi(t)$  : flujo promedio normalizado en tiempo  $t$
- $\Phi(t) = B * e^{-\alpha * t}$
- Entonces

# TM-21

- Decaimiento exponencial
- Obtención de parámetros de curva de ajuste mediante mínimos cuadrados
- $t$  : tiempo en horas
- $\Phi(t)$  : flujo promedio normalizado en tiempo  $t$
- $\Phi(t) = B * e^{-\alpha * t}$
- Entonces
  - $B$

# TM-21

- Decaimiento exponencial
- Obtención de parámetros de curva de ajuste mediante mínimos cuadrados
- $t$  : tiempo en horas
- $\Phi(t)$  : flujo promedio normalizado en tiempo  $t$
- $\Phi(t) = B * e^{-\alpha * t}$
- Entonces
  - $B$  : valor base proyectado para  $t = 0$

# TM-21

- Decaimiento exponencial
- Obtención de parámetros de curva de ajuste mediante mínimos cuadrados
- $t$  : tiempo en horas
- $\Phi(t)$  : flujo promedio normalizado en tiempo  $t$
- $\Phi(t) = B * e^{-\alpha * t}$
- Entonces
  - $B$  : valor base proyectado para  $t = 0$
  - $\alpha$

# TM-21

- Decaimiento exponencial
- Obtención de parámetros de curva de ajuste mediante mínimos cuadrados
- $t$  : tiempo en horas
- $\Phi(t)$  : flujo promedio normalizado en tiempo  $t$
- $\Phi(t) = B * e^{-\alpha * t}$
- Entonces
  - $B$  : valor base proyectado para  $t = 0$
  - $\alpha$  : tasa de decaimiento

# TM-21

- Si  $p$  es el valor normalizado de fin de vida útil (ej. 70% u 80%)

# TM-21

- Si  $p$  es el valor normalizado de fin de vida útil (ej. 70% u 80%), se tiene
- $p = B * e^{-\alpha * t_p}$

# TM-21

- Si  $p$  es el valor normalizado de fin de vida útil (ej. 70% u 80%), se tiene
- $p = B * e^{-\alpha * t_p}$
- luego  $t_p = \ln(B/p) / \alpha$

# TM-21

- Si  $p$  es el valor normalizado de fin de vida útil (ej. 70% u 80%), se tiene
- $p = B * e^{-\alpha * t_p}$
- luego  $t_p = \ln(B/p) / \alpha$
- a  $t_p$  se le llama
  - $L_p$

# TM-21

- Si  $p$  es el valor normalizado de fin de vida útil (ej. 70% u 80%), se tiene
- $p = B * e^{-\alpha * t_p}$
- luego  $t_p = \ln(B/p) / \alpha$
- a  $t_p$  se le llama
  - $L_p$  : vida proyectada para un mantenimiento de flujo al porcentaje  $p$  respecto al flujo inicial

# TM-21

- Si  $L_p$  se alcanza durante el ensayo LM-80

# TM-21

- Si  $L_p$  se alcanza durante el ensayo LM-80
  - se reporta el valor de horas efectivamente medido

# TM-21

- Si  $L_p$  se alcanza durante el ensayo LM-80
  - se reporta el valor de horas efectivamente medido
  - no hay necesidad de extrapolar

# TM-21

- Si  $L_p$  se alcanza durante el ensayo LM-80
  - se reporta el valor de horas efectivamente medido
  - no hay necesidad de extrapolar
- Ej.:
  - Ensayo de 10 000 horas

# TM-21

- Si  $L_p$  se alcanza durante el ensayo LM-80
  - se reporta el valor de horas efectivamente medido
  - no hay necesidad de extrapolar
- Ej.:
  - Ensayo de 10 000 horas
  - A 8500 horas el flujo cae al 90%

# TM-21

- Si  $L_p$  se alcanza durante el ensayo LM-80
  - se reporta el valor de horas efectivamente medido
  - no hay necesidad de extrapolar
- Ej.:
  - Ensayo de 10 000 horas
  - A 8500 horas el flujo cae al 90%
  - Entonces  $L_{90} = 8500$  horas

# TM-21

- Limitaciones en el tiempo proyectado

# TM-21

- Limitaciones en el tiempo proyectado
  - Muestra de 20 unidades

# TM-21

- Limitaciones en el tiempo proyectado
  - Muestra de 20 unidades
    - máximo: 6 \* (tiempo de ensayo)

# TM-21

- Limitaciones en el tiempo proyectado
  - Muestra de 20 unidades
    - máximo: 6 \* (tiempo de ensayo)
  - Muestra de 10 unidades

# TM-21

- Limitaciones en el tiempo proyectado
  - Muestra de 20 unidades
    - máximo: 6 \* (tiempo de ensayo)
  - Muestra de 10 unidades
    - máximo: 5.5 \* (tiempo de ensayo)

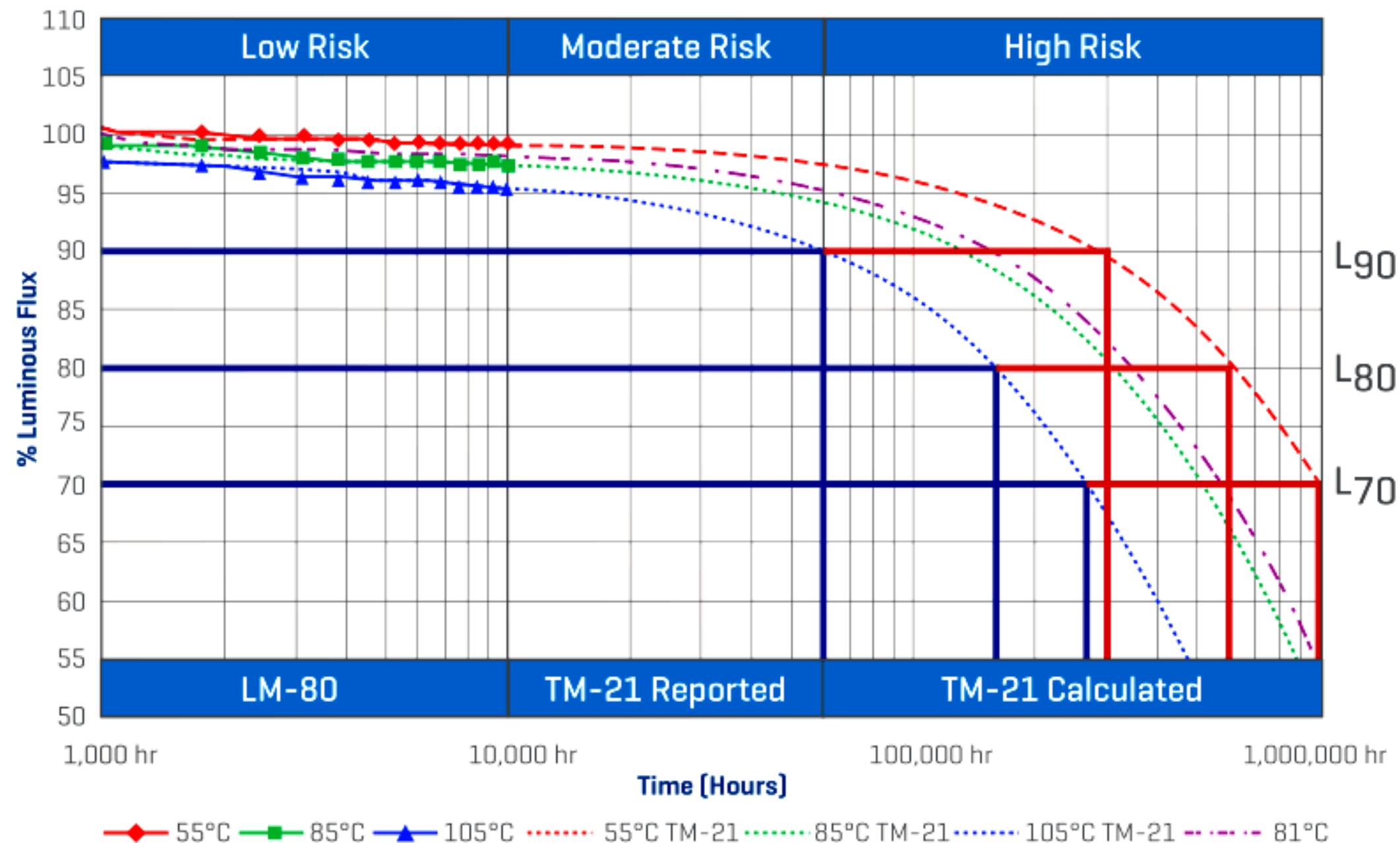
# TM-21

- Limitaciones en el tiempo proyectado
  - Muestra de 20 unidades
    - máximo: 6 \* (tiempo de ensayo)
  - Muestra de 10 unidades
    - máximo: 5.5 \* (tiempo de ensayo)
- Ej.:
  - Ensayo de 6000 horas, 20 muestras

# TM-21

- Limitaciones en el tiempo proyectado
  - Muestra de 20 unidades
    - máximo: 6 \* (tiempo de ensayo)
  - Muestra de 10 unidades
    - máximo: 5.5 \* (tiempo de ensayo)
- Ej.:
  - Ensayo de 6000 horas, 20 muestras
    - $L_p$  informado no puede superar 36 000 horas

# TM-21 PROJECTION FROM THE LM-80 RESULTS



# TM-21

- Efecto de la temperatura

# TM-21

- Efecto de la temperatura
  - TM-21 permite la utilización de la ecuación de Arrhenius para proyecciones a temperaturas diferentes a las de ensayo

# TM-21

- Efecto de la temperatura
  - TM-21 permite la utilización de la ecuación de Arrhenius para proyecciones a temperaturas diferentes a las de ensayo
- Temperaturas LM-80

# TM-21

- Efecto de la temperatura
  - TM-21 permite la utilización de la ecuación de Arrhenius para proyecciones a temperaturas diferentes a las de ensayo
- Temperaturas LM-80
  - 55 °C
  - 85 °C

# TM-21

- Efecto de la temperatura
  - TM-21 permite la utilización de la ecuación de Arrhenius para proyecciones a temperaturas diferentes a las de ensayo
- Temperaturas LM-80
  - 55 °C
  - 85 °C
  - otra adicional provista por el fabricante (ej.: 105 °C)

# TM-21

- Efecto de la temperatura
  - TM-21 permite la utilización de la ecuación de Arrhenius para proyecciones a temperaturas diferentes a las de ensayo
- Temperaturas LM-80
  - 55 °C
  - 85 °C
  - otra adicional provista por el fabricante (ej.: 105 °C)
- Los ajustes por temperatura solo se permiten dentro del rango de temperaturas LM-80

# TM-21

- Efecto de la temperatura
  - TM-21 permite la utilización de la ecuación de Arrhenius para proyecciones a temperaturas diferentes a las de ensayo
- Temperaturas LM-80
  - 55 °C
  - 85 °C
  - otra adicional provista por el fabricante (ej.: 105 °C)
- Los ajustes por temperatura solo se permiten dentro del rango de temperaturas LM-80
  - para temperaturas inferiores se informa el valor a 55 °C

# TM-21

- Efecto de la temperatura
  - TM-21 permite la utilización de la ecuación de Arrhenius para proyecciones a temperaturas diferentes a las de ensayo
- Temperaturas LM-80
  - 55 °C
  - 85 °C
  - otra adicional provista por el fabricante (ej.: 105 °C)
- Los ajustes por temperatura solo se permiten dentro del rango de temperaturas LM-80
  - para temperaturas inferiores se informa el valor a 55 °C
  - no se puede extrapolar a temperaturas mayores a la máxima disponible (siguiendo el ej., no a mas de 105 °C)

# TM-21

- Uso de Arrhenius

# TM-21

- Uso de Arrhenius

$$\alpha_i = A * e^{\left(\frac{-E_a}{k_B * T_{s,i}}\right)}$$

# TM-21

- Uso de Arrhenius

$$\alpha_i = A * e^{\left(\frac{-E_a}{k_B * T_{s,i}}\right)}$$

- con  $\alpha_1$ ,  $\alpha_2$  correspondientes a  $T_{s,1}$  y  $T_{s,2}$  (temperaturas ensayos LM-80) se hallan

$E_a/k_B$  y  $A$

# TM-21

- Uso de Arrhenius

$$\alpha_i = A * e^{\left(\frac{-E_a}{k_B * T_{s,i}}\right)}$$

- con  $\alpha_1$ ,  $\alpha_2$  correspondientes a  $T_{s,1}$  y  $T_{s,2}$  (temperaturas ensayos LM-80) se hallan

$E_a/k_B$  y  $A$

- Luego se calcula  $\alpha_i$  para la temperatura de uso  $T_{s,i}$

# TM-21

- Uso de Arrhenius

$$\alpha_i = A * e^{\left(\frac{-E_a}{k_B * T_{s,i}}\right)}$$

- con  $\alpha_1$ ,  $\alpha_2$  correspondientes a  $T_{s,1}$  y  $T_{s,2}$  (temperaturas ensayos LM-80) se hallan

$E_a/k_B$  y  $A$

- Luego se calcula  $\alpha_i$  para la temperatura de uso  $T_{s,i}$
- $B_0 = \sqrt{(B_1 * B_2)}$

# TM-21

- Uso de Arrhenius

$$\alpha_i = A * e^{\left(\frac{-E_a}{k_B * T_{s,i}}\right)}$$

- con  $\alpha_1$ ,  $\alpha_2$  correspondientes a  $T_{s,1}$  y  $T_{s,2}$  (temperaturas ensayos LM-80) se hallan

$E_a/k_B$  y  $A$

- Luego se calcula  $\alpha_i$  para la temperatura de uso  $T_{s,i}$
- $B_0 = \sqrt{B_1 * B_2}$
- finalmente a temperatura  $T_{s,i}$ :

# TM-21

- Uso de Arrhenius

$$\alpha_i = A * e^{\left(\frac{-E_a}{k_B * T_{s,i}}\right)}$$

- con  $\alpha_1$ ,  $\alpha_2$  correspondientes a  $T_{s,1}$  y  $T_{s,2}$  (temperaturas ensayos LM-80) se hallan

$E_a/k_B$  y  $A$

- Luego se calcula  $\alpha_i$  para la temperatura de uso  $T_{s,i}$
- $B_0 = \sqrt{(B_1 * B_2)}$
- finalmente a temperatura  $T_{s,i}$ :  $L_p = \ln(B_0/p) / \alpha_i$

# TM-21

- Ej.:

# TM-21

- Ej.:
  - Ensayo 10 000 horas a 55 °C y a 85 °C, muestra de 20 unidades

# TM-21

- Ej.:
  - Ensayo 10 000 horas a 55 °C y a 85 °C, muestra de 20 unidades
  - Proyecciones  $L_{70}$  para cada temperatura hasta 60 000 horas

# TM-21

- Ej.:
  - Ensayo 10 000 horas a 55 °C y a 85 °C, muestra de 20 unidades
  - Proyecciones  $L_{70}$  para cada temperatura hasta 60 000 horas
  - Pero el LED se usará a 70 °C

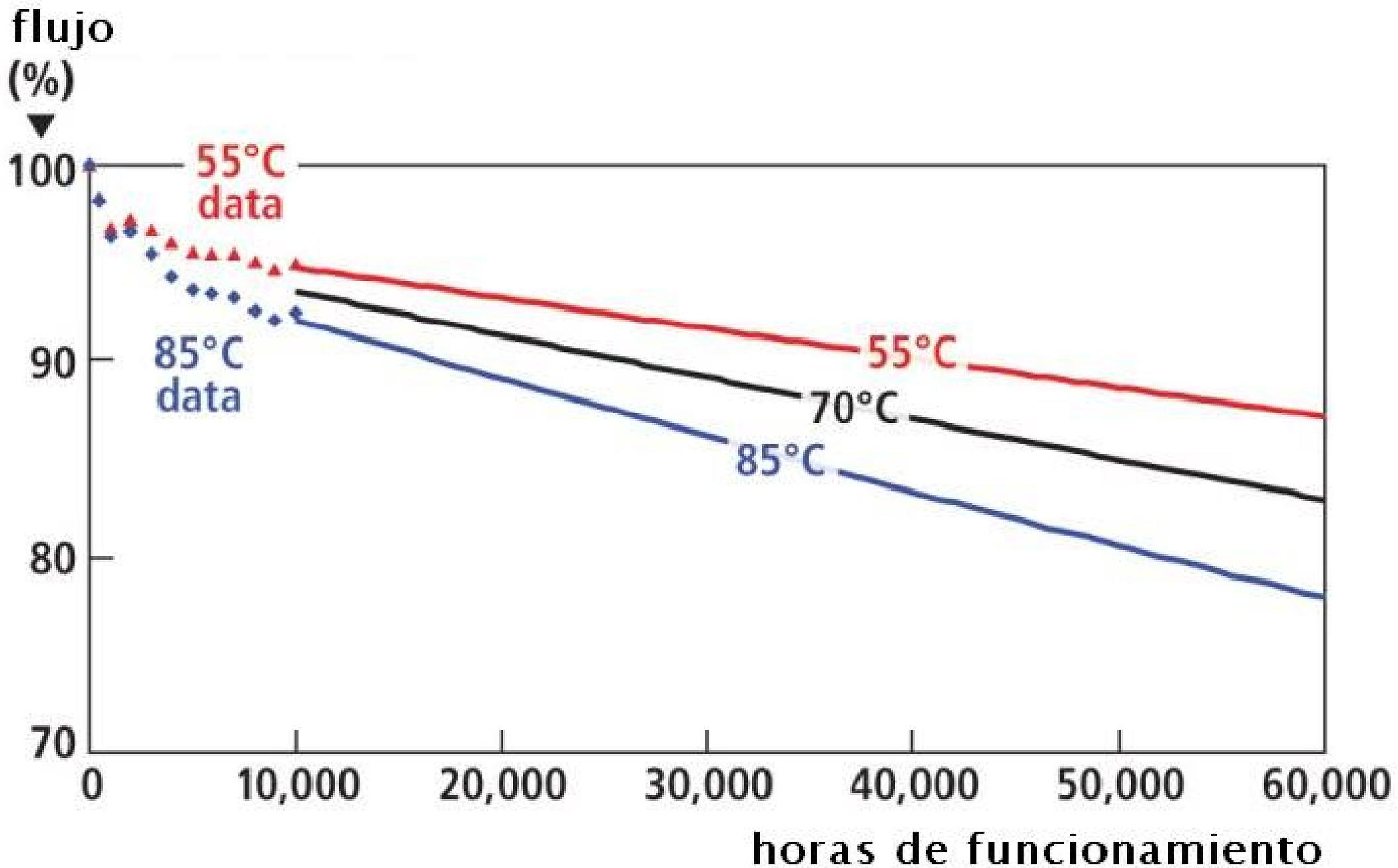
# TM-21

- Ej.:
  - Ensayo 10 000 horas a 55 °C y a 85 °C, muestra de 20 unidades
  - Proyecciones  $L_{70}$  para cada temperatura hasta 60 000 horas
  - Pero el LED se usará a 70 °C
    - utilizar Arrhenius para obtener la proyección a temperatura “in situ” 70 °C

# TM-21

- Ej.:
  - Ensayo 10 000 horas a 55 °C y a 85 °C, muestra de 20 unidades
  - Proyecciones  $L_{70}$  para cada temperatura hasta 60 000 horas
  - Pero el LED se usará a **70 °C**
    - utilizar Arrhenius para obtener la proyección a temperatura “in situ” 70 °C

$T_{s,1}$ (°C)	55
$T_{s,1}$ (K)	328.15
$a_1$	1.684E-06
$B_1$	0.9639
$T_{s,2}$ (°C)	85
$T_{s,2}$ (K)	358.15
$a_2$	3.354E-06
$B_2$	0.9525
$E_a/k_B$	2699
$A$	6.283E-03
$B_0$	9.582E-01
$T_{s,i}$ (°C)	70
$T_{s,i}$ (K)	343.15
$a_i$	2.413E-06
Projected $L_{70}$ (Dk)	130,131
Reported $L_{70}$ (Dk)	>60,000



# TM-21

- Nomenclatura para los resultados

# TM-21

- Nomenclatura para los resultados
- $L_p(Dk)$

# TM-21

- Nomenclatura para los resultados
- $L_p(Dk)$  , donde
- $p$

# TM-21

- Nomenclatura para los resultados
- $L_p(Dk)$  , donde
- $p$  : porcentaje de flujo respecto al valor inicial

# TM-21

- Nomenclatura para los resultados
- $L_p(Dk)$  , donde
- $p$  : porcentaje de flujo respecto al valor inicial
- $D$  : duración total del ensayo LM-80 dividido 1000 y redondeado

# TM-21

- Nomenclatura para los resultados
- $L_p(Dk)$  , donde
- $p$  : porcentaje de flujo respecto al valor inicial
- $D$  : duración total del ensayo LM-80 dividido 1000 y redondeado
- Ejemplos:

# TM-21

- Nomenclatura para los resultados
- $L_p(Dk)$  , donde
- $p$  : porcentaje de flujo respecto al valor inicial
- $D$  : duración total del ensayo LM-80 dividido 1000 y redondeado
- Ejemplos:
  - $L_{75}(6k) = 34\ 000$  horas

# TM-21

- Nomenclatura para los resultados
- $L_p(Dk)$  , donde
- $p$  : porcentaje de flujo respecto al valor inicial
- $D$  : duración total del ensayo LM-80 dividido 1000 y redondeado
- Ejemplos:
  - $L_{75}(6k) = 34\ 000$  horas
    - resultado con 6000 horas de ensayo

# TM-21

- Nomenclatura para los resultados
- $L_p(Dk)$  , donde
- $p$  : porcentaje de flujo respecto al valor inicial
- $D$  : duración total del ensayo LM-80 dividido 1000 y redondeado
- Ejemplos:
  - $L_{75}(6k) = 34\ 000$  horas
    - resultado con 6000 horas de ensayo
  - $L_{80}(10k) = 51\ 000$  horas

# TM-21

- Nomenclatura para los resultados
- $L_p(Dk)$  , donde
- $p$  : porcentaje de flujo respecto al valor inicial
- $D$  : duración total del ensayo LM-80 dividido 1000 y redondeado
- Ejemplos:
  - $L_{75}(6k) = 34\ 000$  horas
    - resultado con 6000 horas de ensayo
  - $L_{80}(10k) = 51\ 000$  horas
    - resultado con 10 000 horas de ensayo

# TM-21

- Nomenclatura para los resultados
- $L_p(Dk)$  , donde
- $p$  : porcentaje de flujo respecto al valor inicial
- $D$  : duración total del ensayo LM-80 dividido 1000 y redondeado
- Ejemplos:
  - $L_{75}(6k) = 34\ 000$  horas
    - resultado con 6000 horas de ensayo
  - $L_{80}(10k) = 51\ 000$  horas
    - resultado con 10 000 horas de ensayo
  - $L_{70}(6k) > 36\ 000$  horas

# TM-21

- Nomenclatura para los resultados
- $L_p(Dk)$  , donde
- $p$  : porcentaje de flujo respecto al valor inicial
- $D$  : duración total del ensayo LM-80 dividido 1000 y redondeado
- Ejemplos:
  - $L_{75}(6k) = 34\ 000$  horas
    - resultado con 6000 horas de ensayo
  - $L_{80}(10k) = 51\ 000$  horas
    - resultado con 10 000 horas de ensayo
  - $L_{70}(6k) > 36\ 000$  horas
    - resultado de la proyección fue mayor que 6 veces el tiempo del ensayo → se informa ese valor como cota inferior

# TM-21

- Nomenclatura para los resultados
- $L_p(Dk)$  , donde
- $p$  : porcentaje de flujo respecto al valor inicial
- $D$  : duración total del ensayo LM-80 dividido 1000 y redondeado
- Ejemplos:
  - $L_{75}(6k) = 34\ 000$  horas
    - resultado con 6000 horas de ensayo
  - $L_{80}(10k) = 51\ 000$  horas
    - resultado con 10 000 horas de ensayo
  - $L_{70}(6k) > 36\ 000$  horas
    - resultado de la proyección fue mayor que 6 veces el tiempo del ensayo → se informa ese valor como cota inferior
  - $L_{70}(4k) = 4400$  horas

# TM-21

- Nomenclatura para los resultados
- $L_p(Dk)$  , donde
- $p$  : porcentaje de flujo respecto al valor inicial
- $D$  : duración total del ensayo LM-80 dividido 1000 y redondeado
- Ejemplos:
  - $L_{75}(6k) = 34\ 000$  horas
    - resultado con 6000 horas de ensayo
  - $L_{80}(10k) = 51\ 000$  horas
    - resultado con 10 000 horas de ensayo
  - $L_{70}(6k) > 36\ 000$  horas
    - resultado de la proyección fue mayor que 6 veces el tiempo del ensayo → se informa ese valor como cota inferior
  - $L_{70}(4k) = 4400$  horas
    - resultado alcanzado durante el ensayo, se informa sin realizar cálculo de proyección

# TM-21

- Software de cálculo

# TM-21

- Software de cálculo
  - cuidado con casos de borde

# TM-21

- Software de cálculo
  - cuidado con casos de borde
  - fácil cometer errores

# TM-21

- Software de cálculo
  - cuidado con casos de borde
  - fácil cometer errores
- El reporte suministra varios conjuntos de datos para ayudar a validar software desarrollado

# TM-21

- Software de cálculo
  - cuidado con casos de borde
  - fácil cometer errores
- El reporte suministra varios conjuntos de datos para ayudar a validar software desarrollado
- Existe una planilla de cálculo provista por ENERGY STAR

# TM-21

- Software de cálculo
  - cuidado con casos de borde
  - fácil cometer errores
- El reporte suministra varios conjuntos de datos para ayudar a validar software desarrollado
- Existe una planilla de cálculo provista por ENERGY STAR
  - “ENERGY STAR TM-21 Calculator for Uneven Test Intervals”



## ENERGY STAR® TM-21 Calculator for Uneven LM-80 Intervals

[Click for IES TM-21-11 Addendum A](#)

**Notes:** This alternate calculator is for use with LM-80 data only where the testing intervals are not consistent with the IES TM-21-11 Addendum A requirements. All other projections must be made with the standard TM-21 Calculator. Users should download a new copy of this calculator for each use, to ensure use of the most up-to-date version of the calculator. Users are encouraged to bookmark the hyperlink to this calculator. Project-specific copies complete with calculations may be saved on a local drive.

This calculator is based on the Illuminating Engineering Society's TM-21-11: *Projecting Long Term Lumen Maintenance of LED Light Sources*. Calculator results have been reviewed by the U.S. National Institute of Standards and Technology (NIST). Calculations are locked; only data entry cells may be modified.

Calculator inputs are entered on the second tab, with instructions. The calculator may be used with one, two or three case temperatures, in ascending case temperature order from left to right. Inputting values on the second tab generates a complete TM-21 report on the Report tab.

Questions may be directed to [lighting@energystar.gov](mailto:lighting@energystar.gov).



Table 1: Report at each LM-80 Test Condition

Description of LED Light Source Tested (manufacturer, model, catalog number)					
Sample size	-	Sample size	-	Sample size	-
Number of failures	-	Number of failures	-	Number of failures	-
DUT drive current used in the test (mA)	-	DUT drive current used in the test (mA)	-	DUT drive current used in the test (mA)	-
Test duration (hours)	-	Test duration (hours)	-	Test duration (hours)	-
Test duration used for projection (hour to hour)	-	Test duration used for projection (hour to hour)	-	Test duration used for projection (hour to hour)	-
Tested case temperature (°C)	-	Tested case temperature (°C)	-	Tested case temperature (°C)	-
$\alpha$	-	$\alpha$	-	$\alpha$	-
B	-	B	-	B	-
Reported LM(Dk) (hours)	-	Reported LM(Dk) (hours)	-	Reported LM(Dk) (hours)	-

Table 2: Interpolation Report  
(projection based on *in-situ* temperature entered)

$T_{s,1}$ (°C)	-
$T_{s,1}$ (K)	-
$\alpha_1$	-
$B_1$	-
$T_{s,2}$ (°C)	-
$T_{s,2}$ (K)	-
$\alpha_2$	-
$B_2$	-
$E_d/k_b$	-
A	-
$B_0$	-
$T_{s,1}$ (°C)	-
$T_{s,1}$ (K)	-
$\alpha_1$	-
Reported LM(Dk) (hours)	-

Report Generated By:	Notes:
Company:	
Date:	

- Hoja de reporte
- Sigue el formato recomendado por TM-21

# TM-21

- Veamos que sucede al jugar con los valores utilizando la planilla de ENERGY STAR...

# LM-84 y TM-28

# LM-84 y TM-28

- LM-84

# LM-84 y TM-28

- LM-84 : ensayos de decaimiento de flujo / color para la luminaria completa

# LM-84 y TM-28

- LM-84 : ensayos de decaimiento de flujo / color para la luminaria completa
- TM-28

# LM-84 y TM-28

- LM-84 : ensayos de decaimiento de flujo / color para la luminaria completa
- TM-28 : proyección del decaimiento de flujo para la luminaria completa

# LM-84 y TM-28

- LM-84 : ensayos de decaimiento de flujo / color para la luminaria completa
- TM-28 : proyección del decaimiento de flujo para la luminaria completa, utiliza
  - datos LM-80

# LM-84 y TM-28

- LM-84 : ensayos de decaimiento de flujo / color para la luminaria completa
- TM-28 : proyección del decaimiento de flujo para la luminaria completa, utiliza
  - datos LM-80
  - datos LM-84

# LM-84 y TM-28

- LM-84 : ensayos de decaimiento de flujo / color para la luminaria completa
- TM-28 : proyección del decaimiento de flujo para la luminaria completa, utiliza
  - datos LM-80
  - datos LM-84
  - metodología TM-21

# LM-84 y TM-28

- LM-84 : ensayos de decaimiento de flujo / color para la luminaria completa
- TM-28 : proyección del decaimiento de flujo para la luminaria completa, utiliza
  - datos LM-80
  - datos LM-84
  - metodología TM-21
  - se agrega mecanismo para estimar curva de corrección  $C(t)$  aplicable a proyección TM-21 para considerar efecto de luminaria completa

# LM-84 y TM-28

- LM-84 : ensayos de decaimiento de flujo / color para la luminaria completa
- TM-28 : proyección del decaimiento de flujo para la luminaria completa, utiliza
  - datos LM-80
  - datos LM-84
  - metodología TM-21
  - se agrega mecanismo para estimar curva de corrección  $C(t)$  aplicable a proyección TM-21 para considerar efecto de luminaria completa

$$\Phi(t)_{LM-84} = \Phi(t)_{LM-80} * C(t)$$

# FIN

- Consultas

# FIN

- Consultas

MUCHAS GRACIAS