

**Seminario en confiabilidad de dispositivos electrónicos:  
el caso particular de las luminarias  
LED (Light Emitting Diode)  
para alumbrado público**

Fernando Silveira, Francisco Veirano,  
Nicolás Rivero, Michael Varela

Instituto de Ingeniería Eléctrica, Universidad de la  
República, Uruguay

# Objetivos

---

- ◆ Brindar una introducción a la confiabilidad en general y en particular para el caso de los dispositivos electrónicos.
- ◆ Presentar un resumen de estudios recientes en mecanismos de fallas en luminarias LEDs y su seguimiento.
- ◆ Dar una introducción a los ensayos utilizados para la estimación del nivel de confiabilidad de dispositivos electrónicos y en particular la normativa que está surgiendo en el campo de la iluminación LED.

# Plan (fechas (actualizadas))

---

- ◆ Ma 26/3: Introducción, definición y matemática de la confiabilidad.
- ◆ Jue 28/3: Confiabilidad y mecanismos de falla de componentes electrónicos
- ◆ Jue 4/4: Test de envejecimiento acelerado, normas
- ◆ Vie 5/4: Degradación de los LEDs (TM21), asignación de artículos a presentar por los asistentes
  
- ◆ Jue 9/5: Mecanismos de falla en luminarias LED
- ◆ Vie 10/5: Seguimiento de tasa de fallas
- ◆ Jue 16/5, Vie 17/5: Presentaciones de material adicional por parte de los asistentes

# Mecanismos de Falla de los Componentes Electrónicos

Fernando Silveira

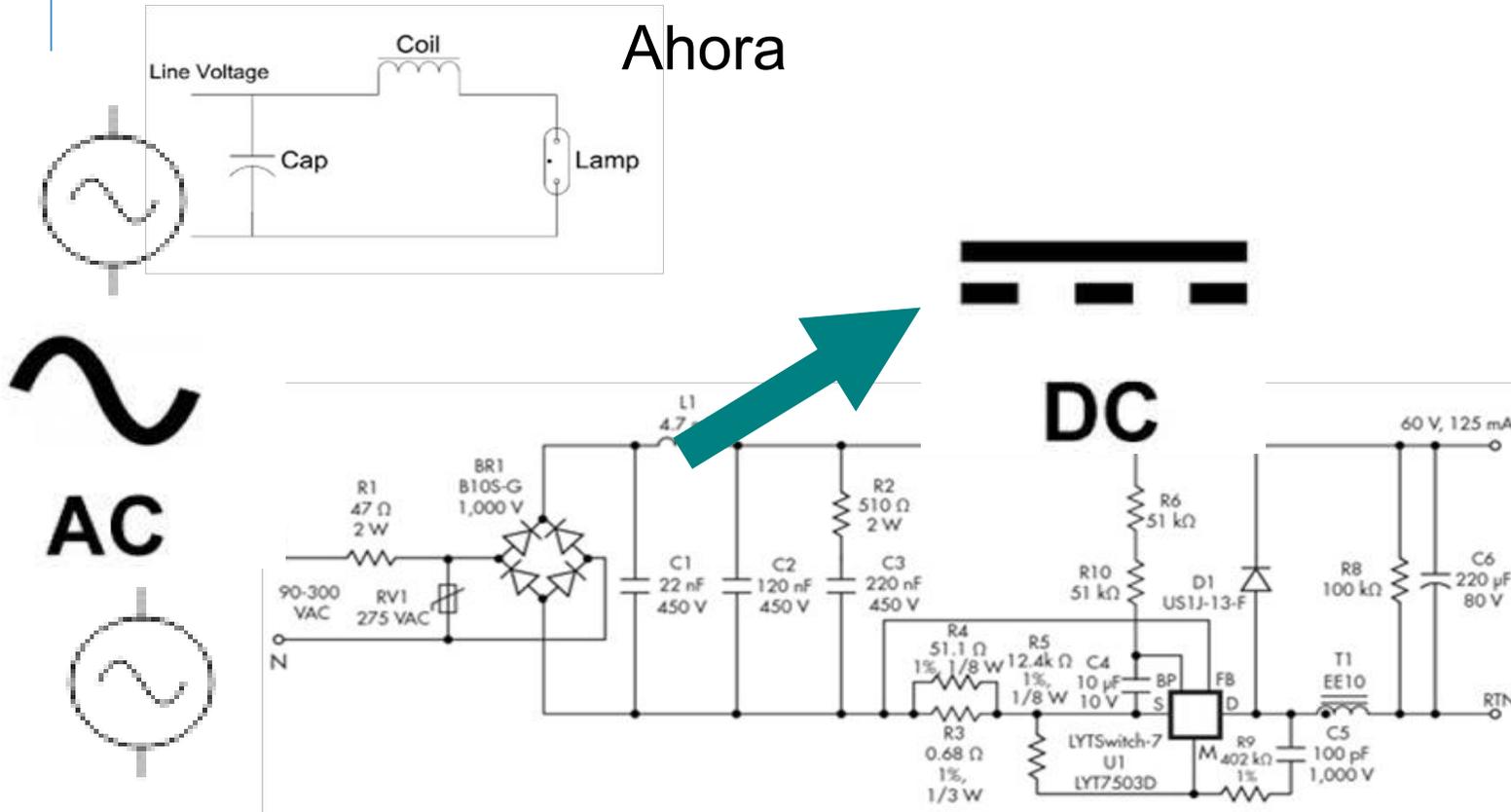
Instituto de Ingeniería Eléctrica, Universidad de la  
República, Uruguay

# Previa: situación luminarias LED

---

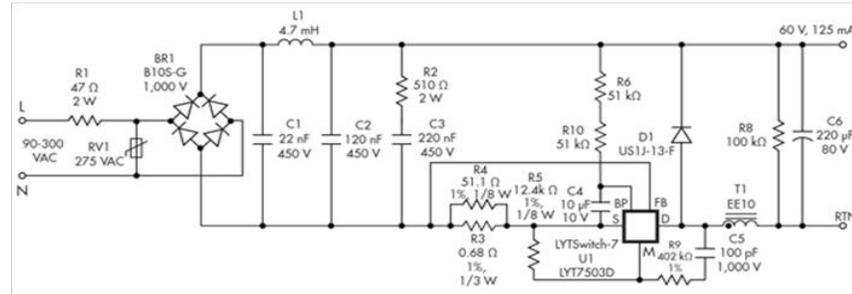
# Cambio Tecnológico en Iluminación LED

- ¡Electrónica en cada luminaria (driver)!

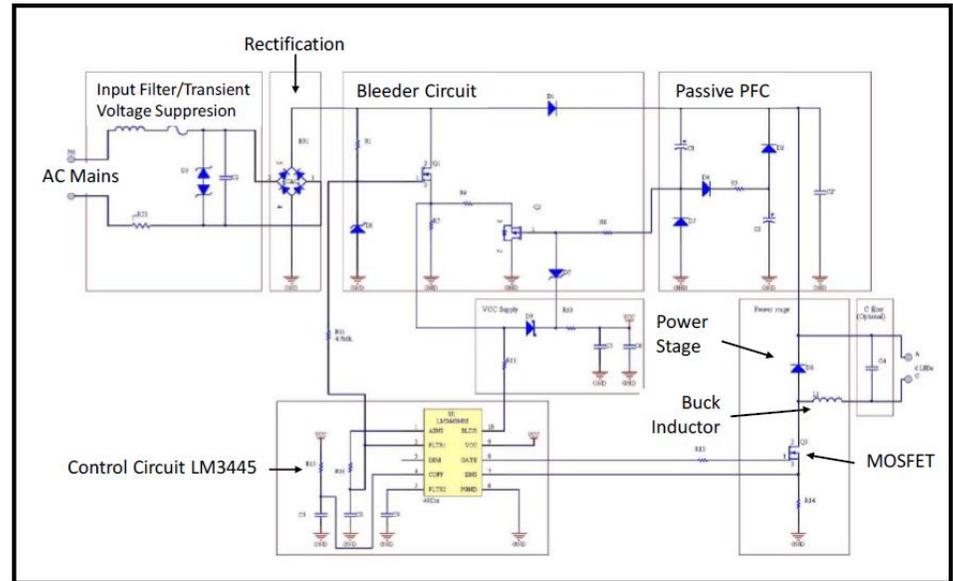


Ej. Circuito LED Driver

# Drivers



Examples of Luminaire Drivers



W.D. van Driel et al. (eds.), *Solid State Lighting Reliability Part 2*

# Electrónica en cada luminaria: Consecuencias

- **¡Instalación histórica!**
- **Oportunidades:** control a distancia, inteligencia, comunicación



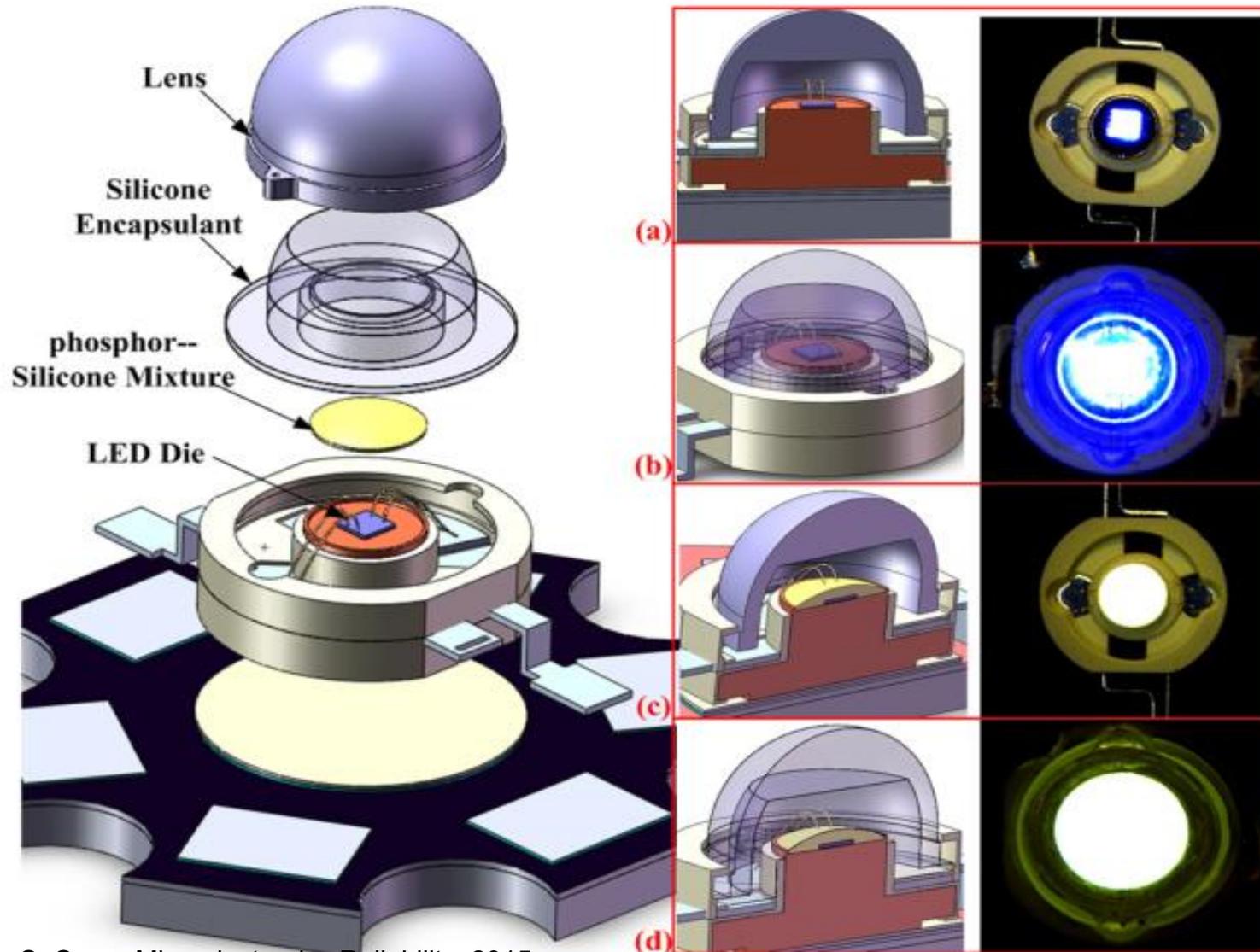
- **Cambio:** en aspecto confiabilidad

# Confiabilidad





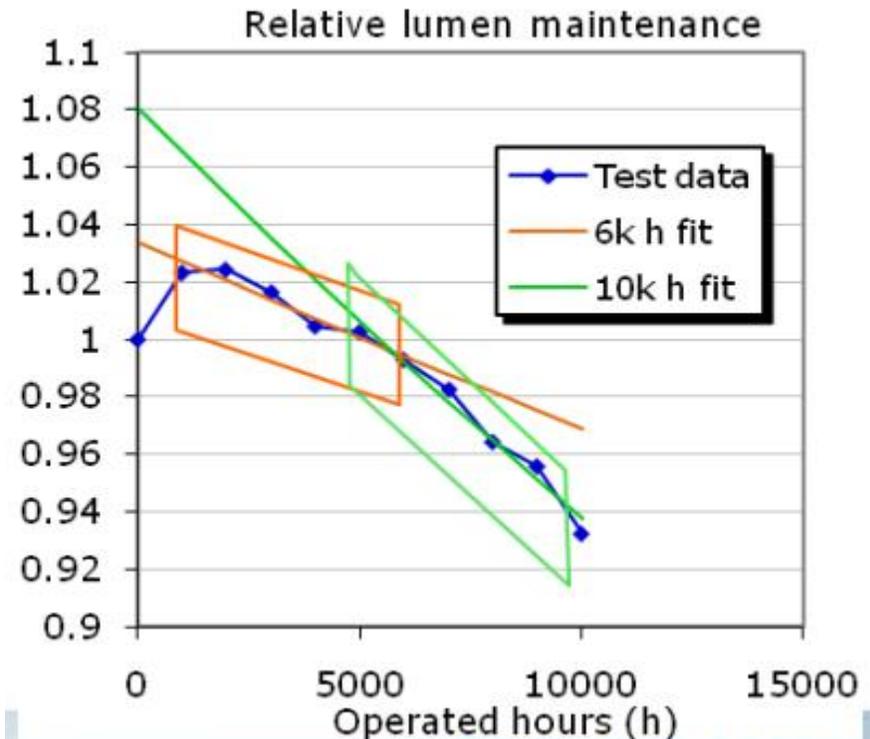
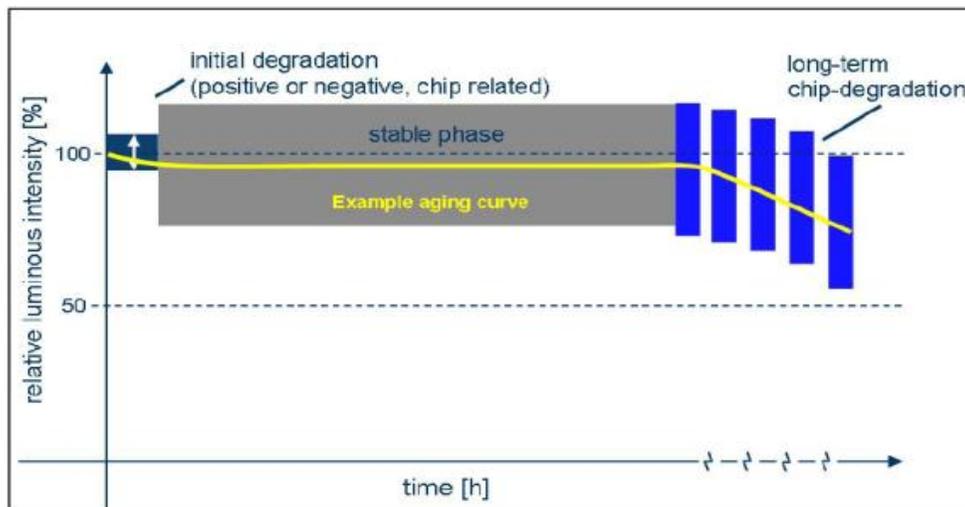
# "LED"



C. Quan, Microelectronics Reliability, 2015

# Luminarias LED

- Fallas “catastróficas” (siguiendo curva de la bañera)
  - Intensidad luminosa cae mucho
  - Consumo o perturbaciones hacia la red eléctrica aumenta mucho
- Degradación paulatina de los LEDs

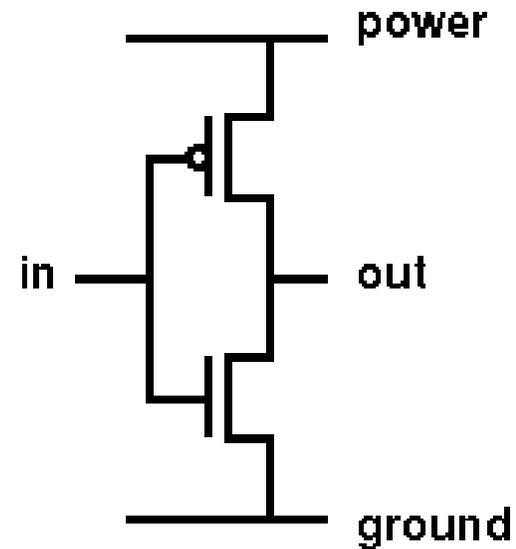
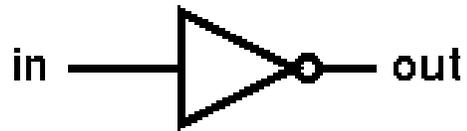


# Fallas en

---

- ◆ Dispositivos Semiconductores (Transistores, Circuitos integrados)
- ◆ Condensadores
- ◆ LEDs
- ◆ Partes ópticas
- ◆ Partes mecánicas (caja)
- ◆ .....

# Transistores y Circuitos Integrados



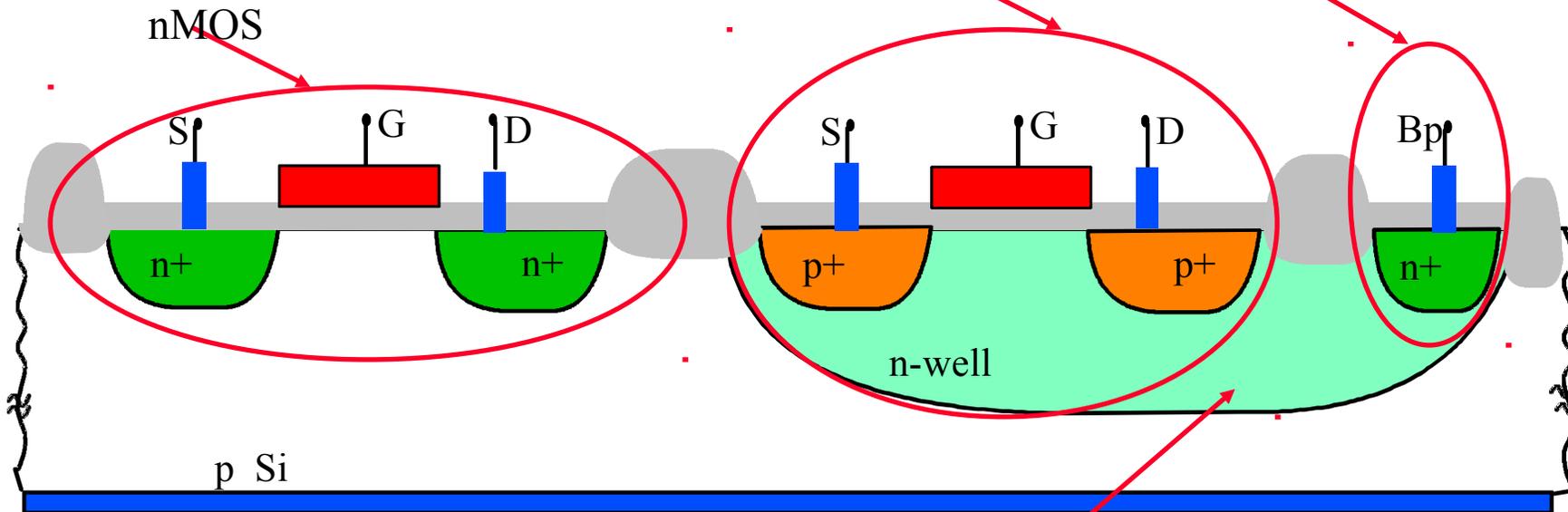
# Tecnología CMOS

Ej. Proceso pozo n ("n-Well")

pMOS

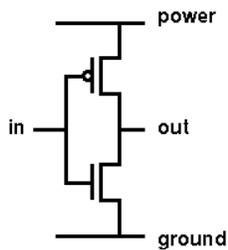
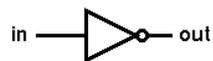
Conexión al sustrato del pMOS

nMOS



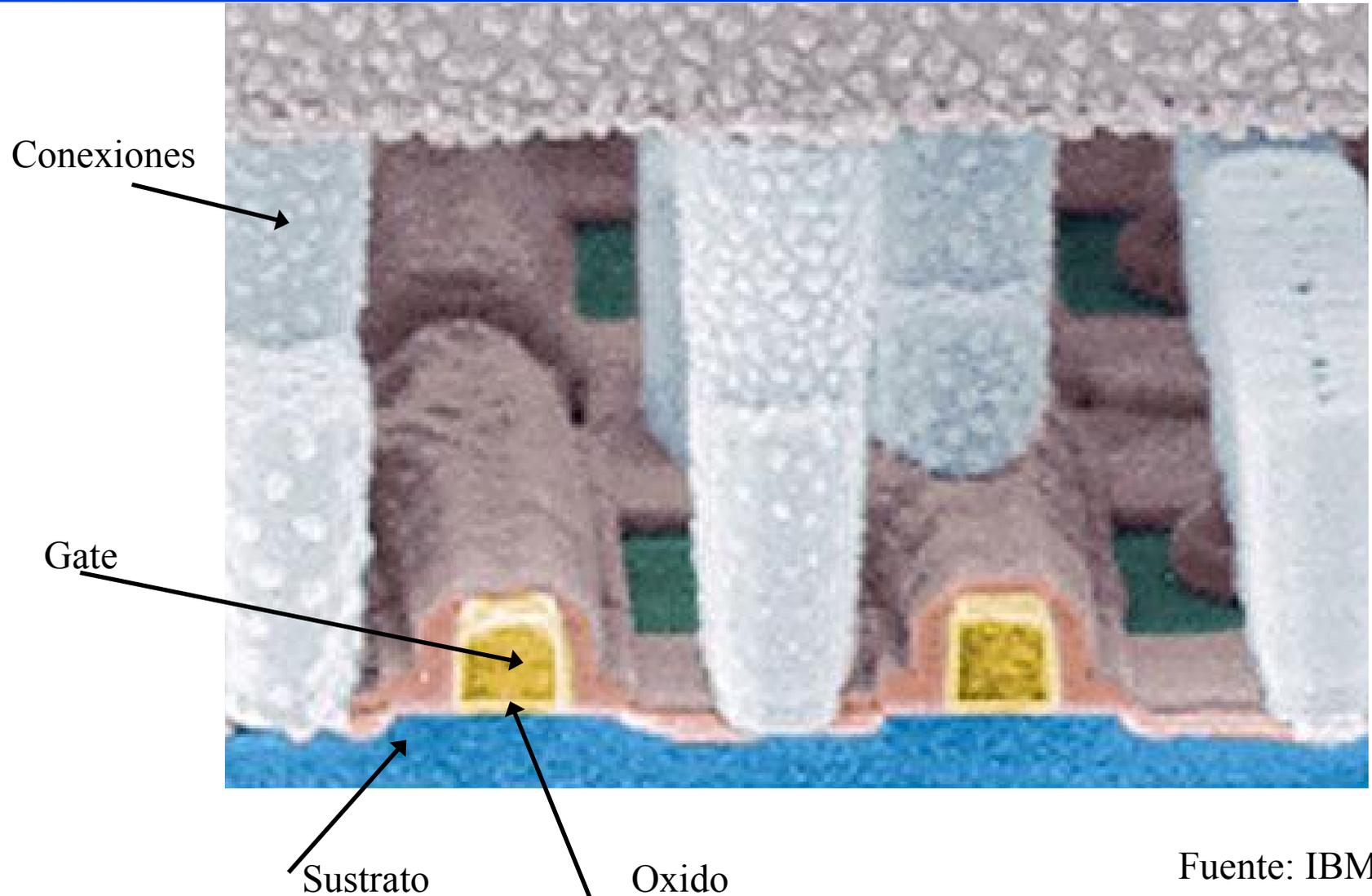
p Si

B



Pozo n (sustrato para pMOS)

# Tecnología CMOS



Fuente: IBM

# Tecnología CMOS:

## Principales mecanismos de falla

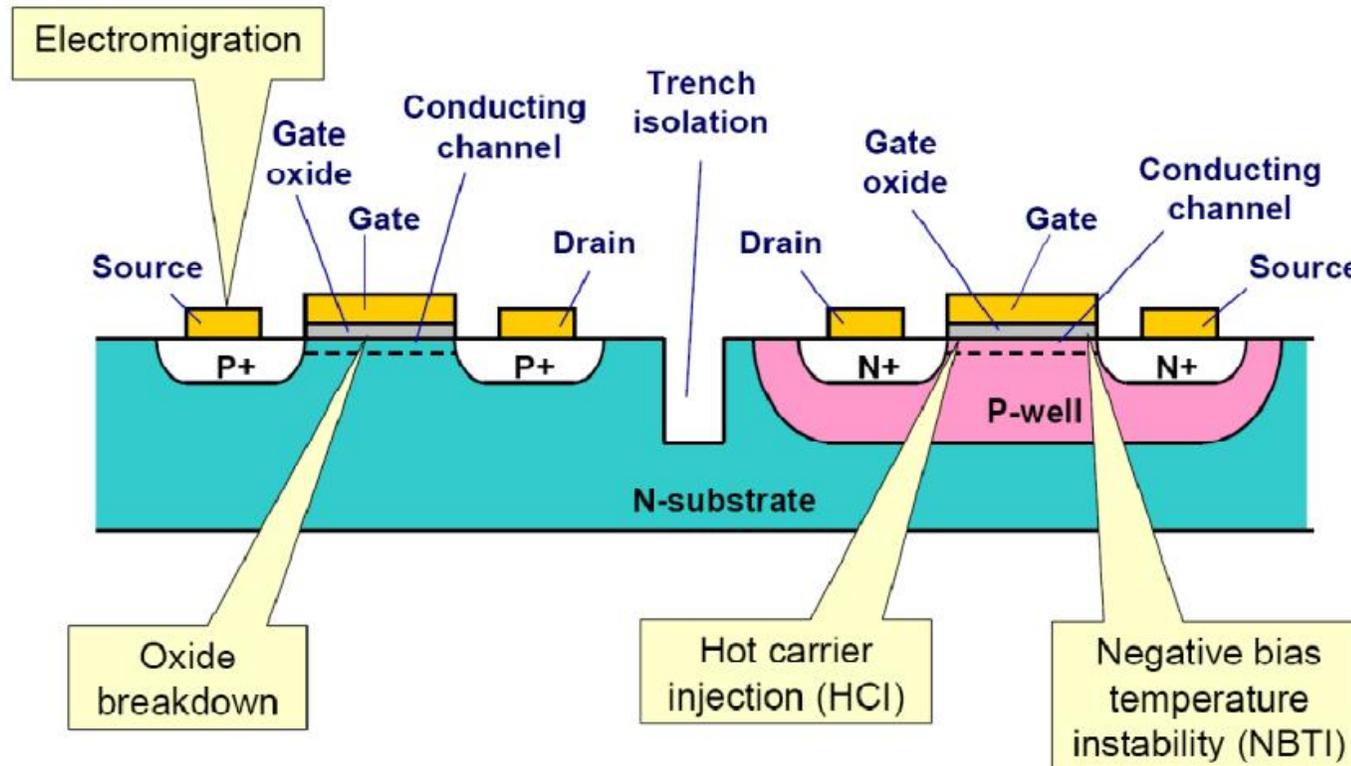
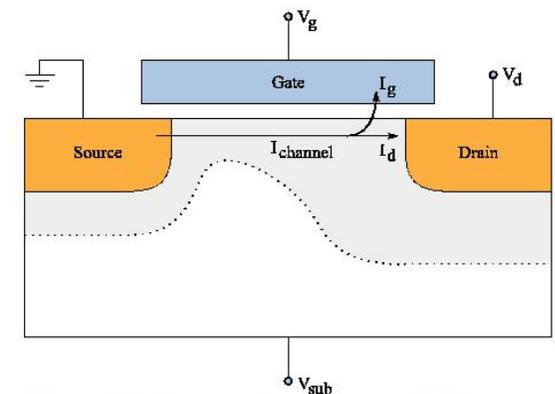


Figura tomada de M. White, Scaled CMOS Technology Reliability User's Guide, JPL, Nasa.

# Dispositivos Semiconductores:

## Transistor MOS: TDDB y HCI

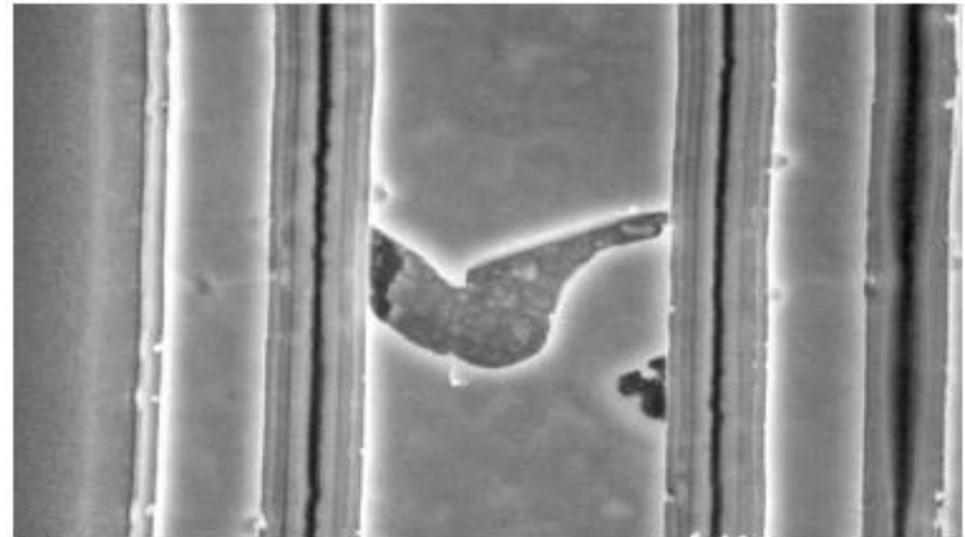
- ◆ TDDB: Time Dependent Dielectric Breakdown
  - Rotura del óxido con el paso del tiempo, formación de camino de fugas a través de él.
- ◆ HCI: Hot Carrier Injection
  - Portadores (electrones) acelerados por altas tensiones penetran en el óxido y producen cambios en tensión umbral y movilidad de portadores



# Dispositivos Semiconductores: Electromigración

---

- ◆ Alta densidad de corriente y alta temperatura, producen “arrastre” de material en las líneas de interconexión y terminan provocando circuitos abiertos o con alta resistencia.



**(b) aluminum line electromigration**

# Otros Mecanismos de Falla en Dispositivos Semiconductores

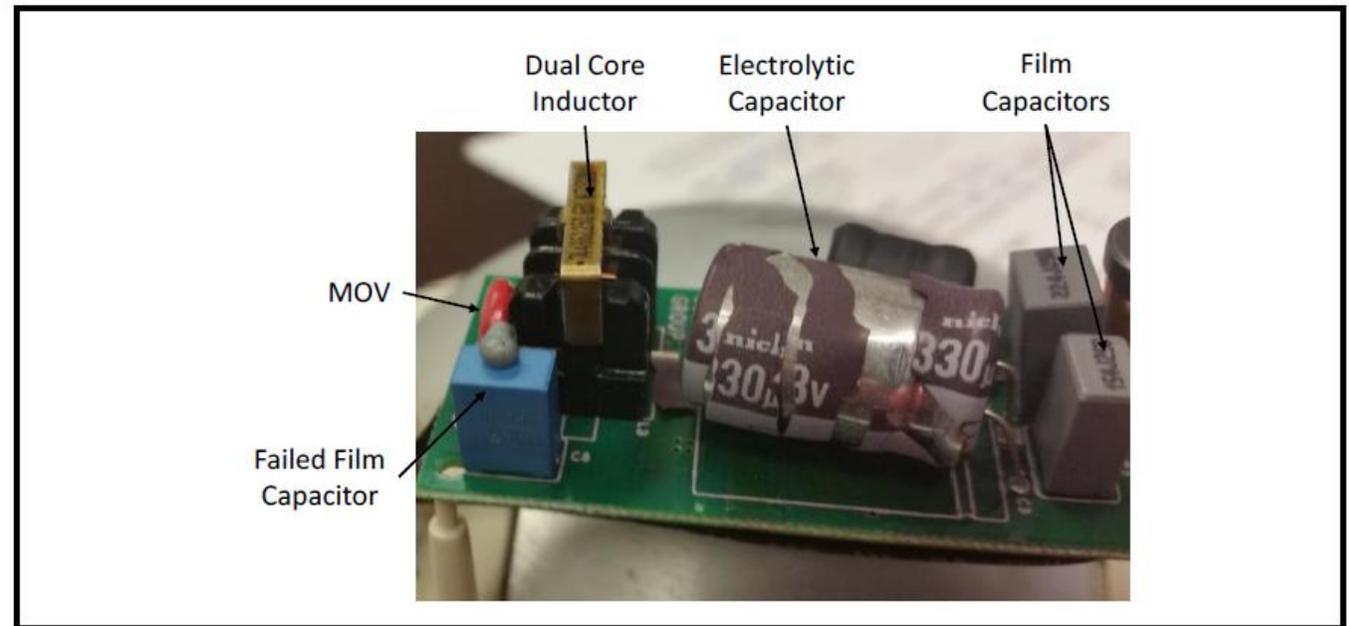
---

- ◆ Defectos puntuales.
- ◆ Contaminación iónica
- ◆ Corrosión
- ◆ Defectos mecánicos en el encapsulado
- ◆ ....

# Componentes Pasivos

- ◆ Capacitores
- ◆ Resistencias
- ◆ Inductores

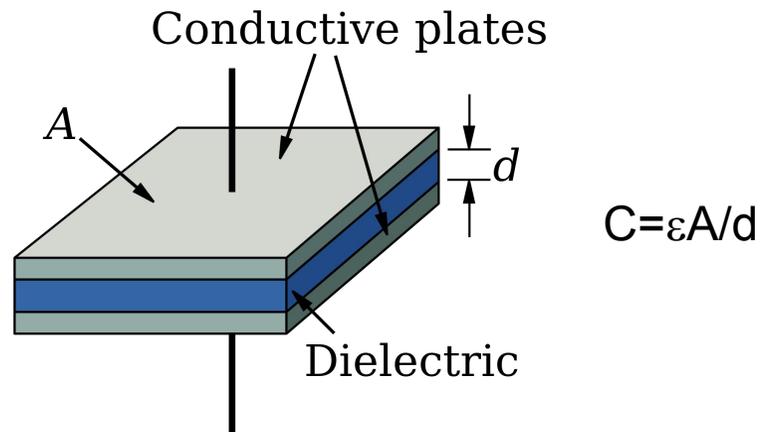
Figure 4D-67. One-side of a Driver Board for a 6" LED Downlight with the Parts Labeled



Tomada de System Reliability Model for Solid State Lighting (SSL) Luminaires, May 31, 2017, RTI International

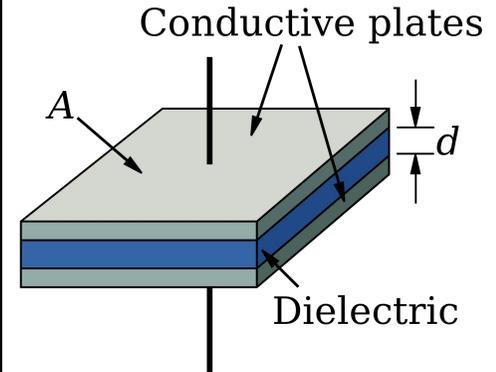
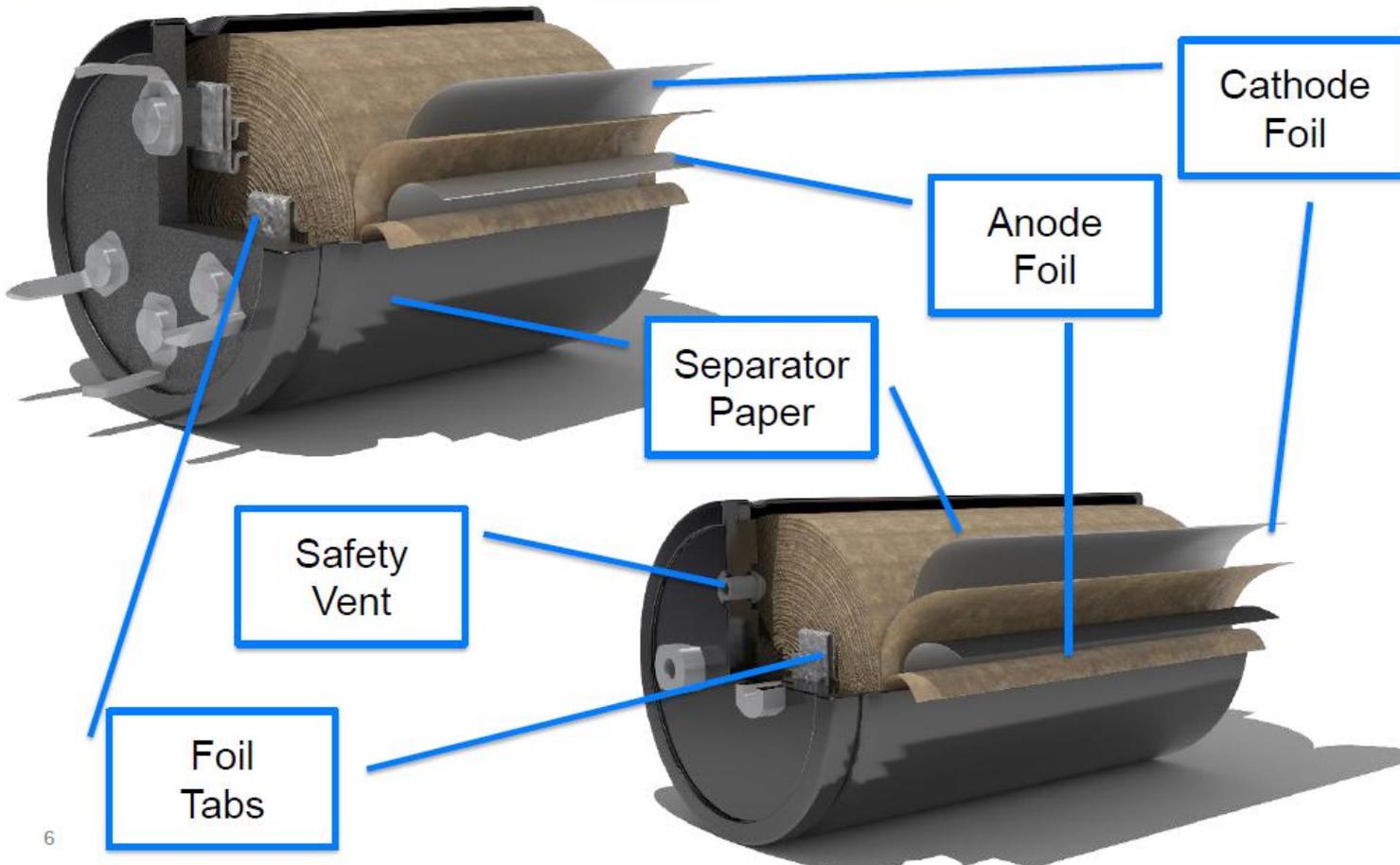
# Capacitores

- ◆ Electrolíticos de Aluminio (electrolito no sólido)
- ◆ Tántalo (electrolito sólido)
- ◆ De Film Metalizado (diferentes dieléctricos)
- ◆ Cerámicos Multicapa

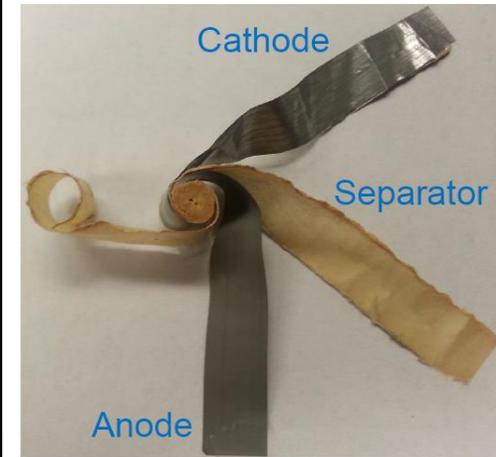


# Capacitores Electrolíticos de Aluminio

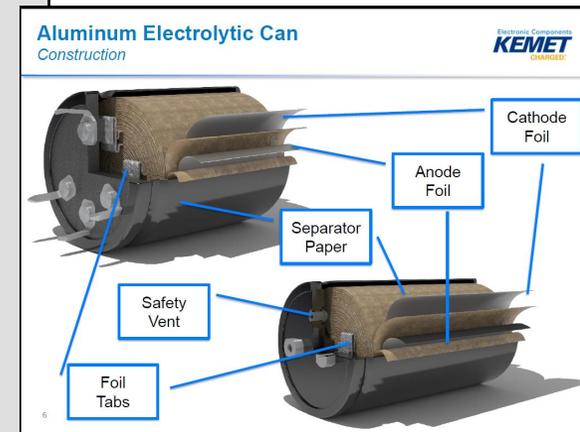
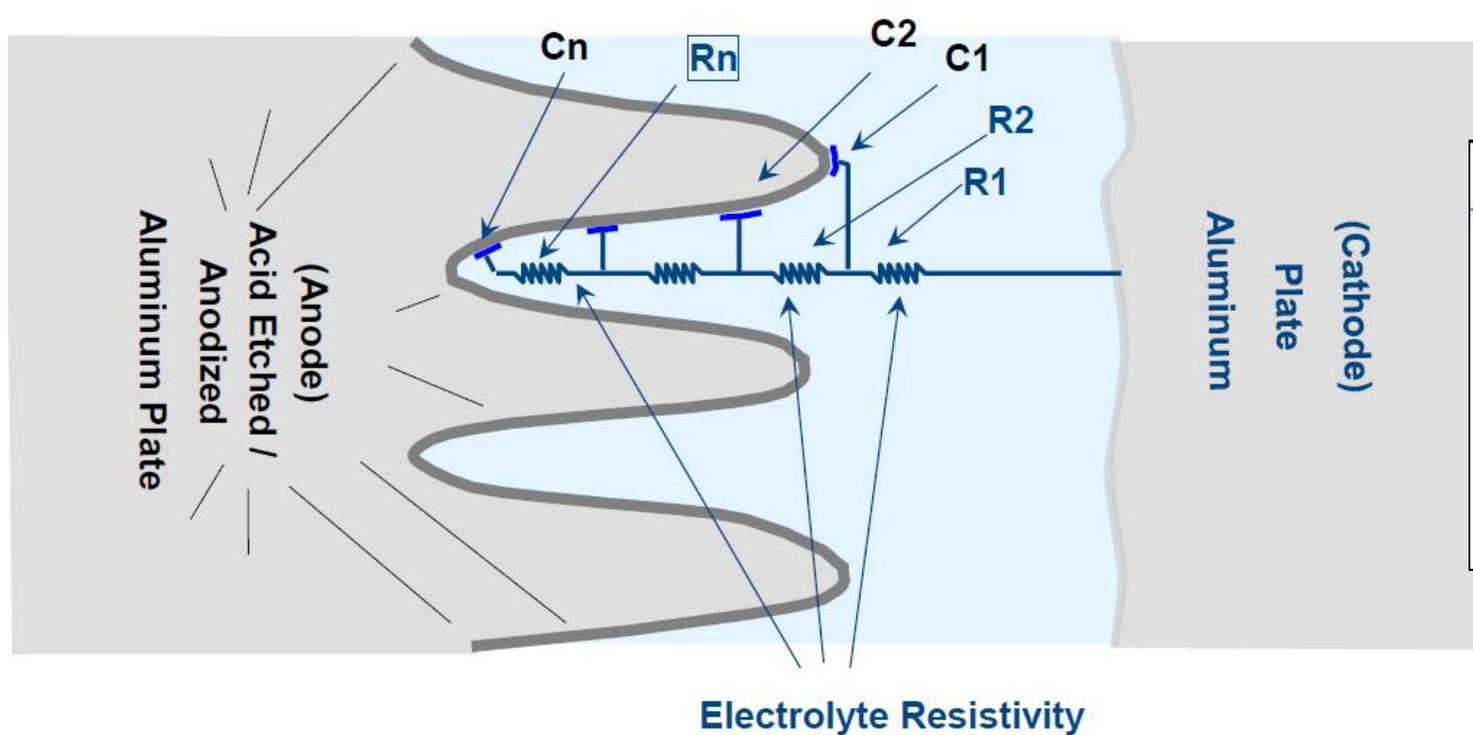
## Aluminum Electrolytic Can Construction



$$C = \epsilon A / d$$



# Capacitores Electrolíticos de Aluminio



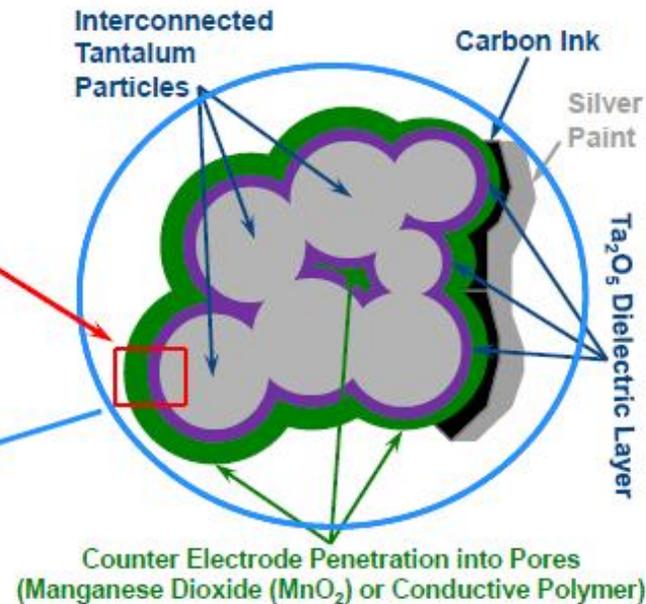
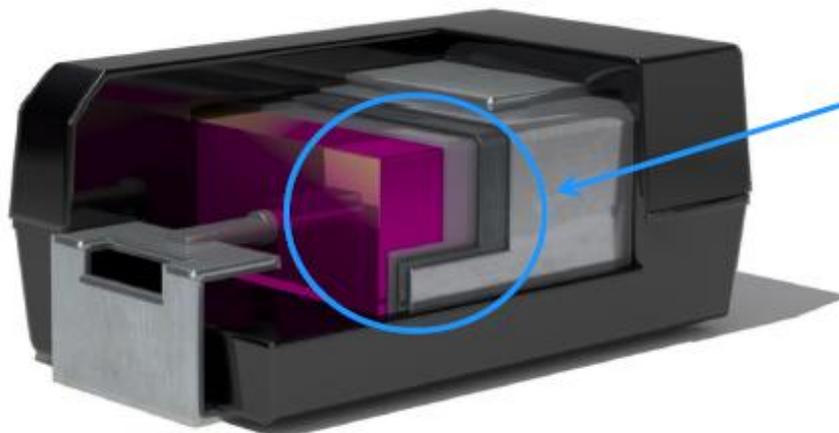
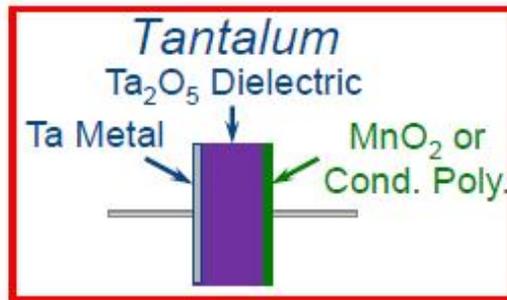
# Capacitores Electrolíticos de Aluminio

---

- ◆ Permiten los valores más altos de capacidad (1uF... 4700uF ... decenas de miles de uF)
- ◆ Alta R serie (ESR), alta L serie, altas corrientes de fugas, polarizados
- ◆ Confiabilidad orden de magnitud menor (tasa de fallas orden de magnitud mayor) que otros tipos de Cs
  - Fugas, aumento ESR, disminución de capacidad, aumento de presión
- ◆ Sensibles a picos de corriente
- ◆ Envejecen (aumenta corriente de fugas) si pasan mucho tiempo (del orden del año) sin polarizar. Se puede “reformar”
- ◆ Hay investigación reciente en Drivers para luminarias “Electrolytic capacitor-less” (sin capacitores electrolíticos)

# Capacitores Tántalo (Electrolito Sólido)

## Tantalum Construction



- \* Hasta aprox. 470uF
- \* Caros
- \* Mucho más confiables, pero diseño Cuenta ...

# Capacitores Tántalo (Electrolito Sólido)

## “Voltage derating”

	Ta-MnO <sub>2</sub>	Ta-Poly KO V <sub>R</sub> >10VDC	Ta-Poly KO V <sub>R</sub> ≤10VDC	Alum-Poly AO
100 PPM FR % V <sub>Rated</sub>	68%	126%	197%	235%
@50% V <sub>Rated</sub> FR(PPM)	9	0	0	0
@80% V <sub>Rated</sub> FR(PPM)	458	4	1	0
@90% V <sub>Rated</sub> FR(PPM)	1,700	12	2	0
@100% V <sub>Rated</sub> FR(PPM)	6,310	35	8	0

# Capacitores de film metalizado

## Metalized Film



Metallization (few ångström - measured as  $\Omega^2$  the higher this value the thinner the metal )

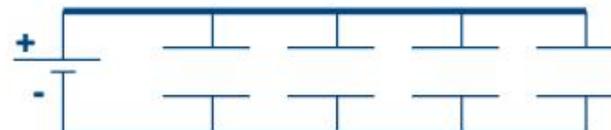
Free Border



PP Film – measured in  $\mu\text{m}$



$$C = \frac{\epsilon_0 K A (n-1)}{d}$$

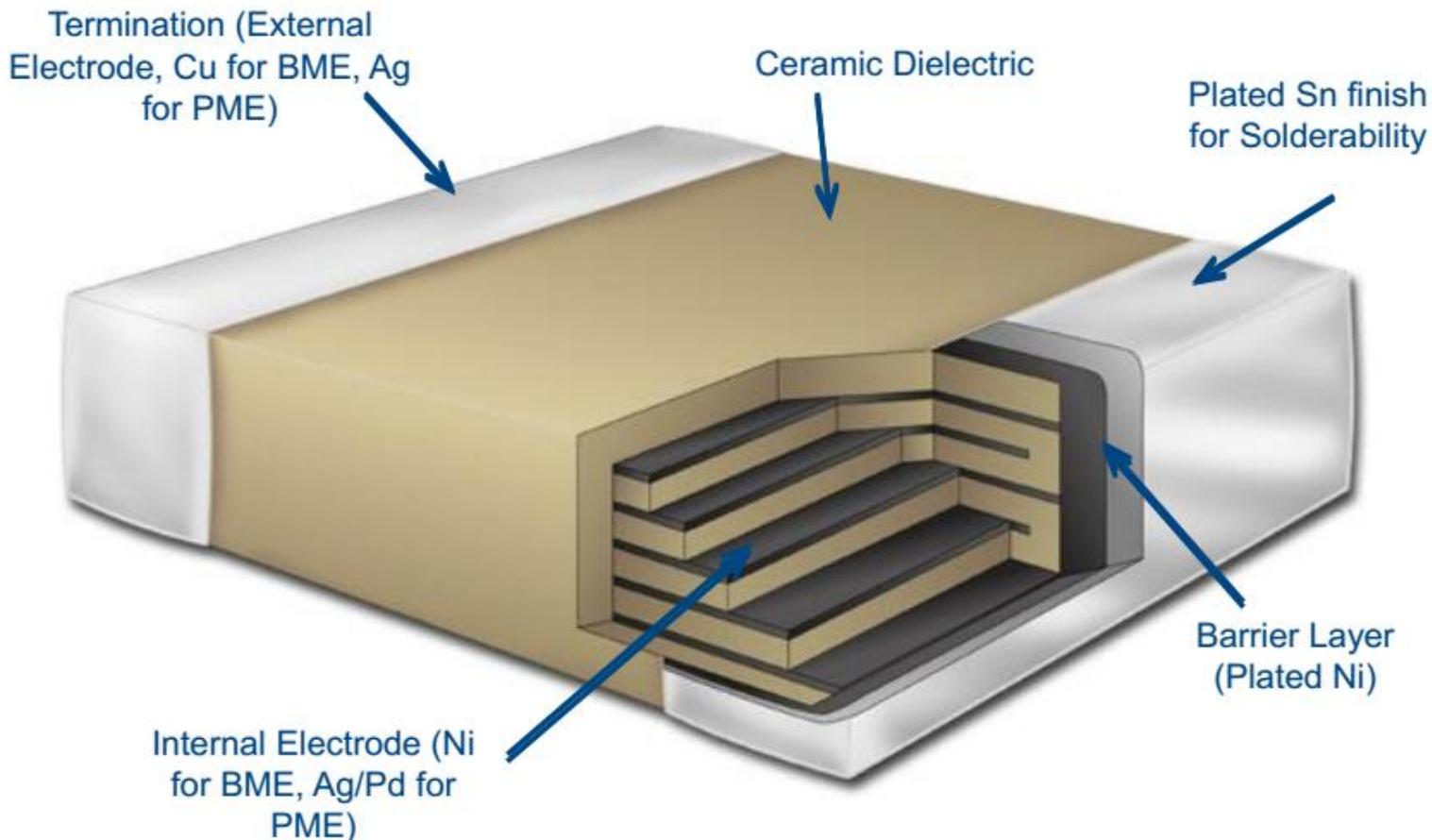


$$C_T = C_1 + C_2 + C_3 + \dots + C_n$$

- \* Hasta aprox. 10 $\mu\text{F}$
- \* Mala relación C - Volumen
- \* Bastante confiables

# Capacitores Cerámicos Multicapa

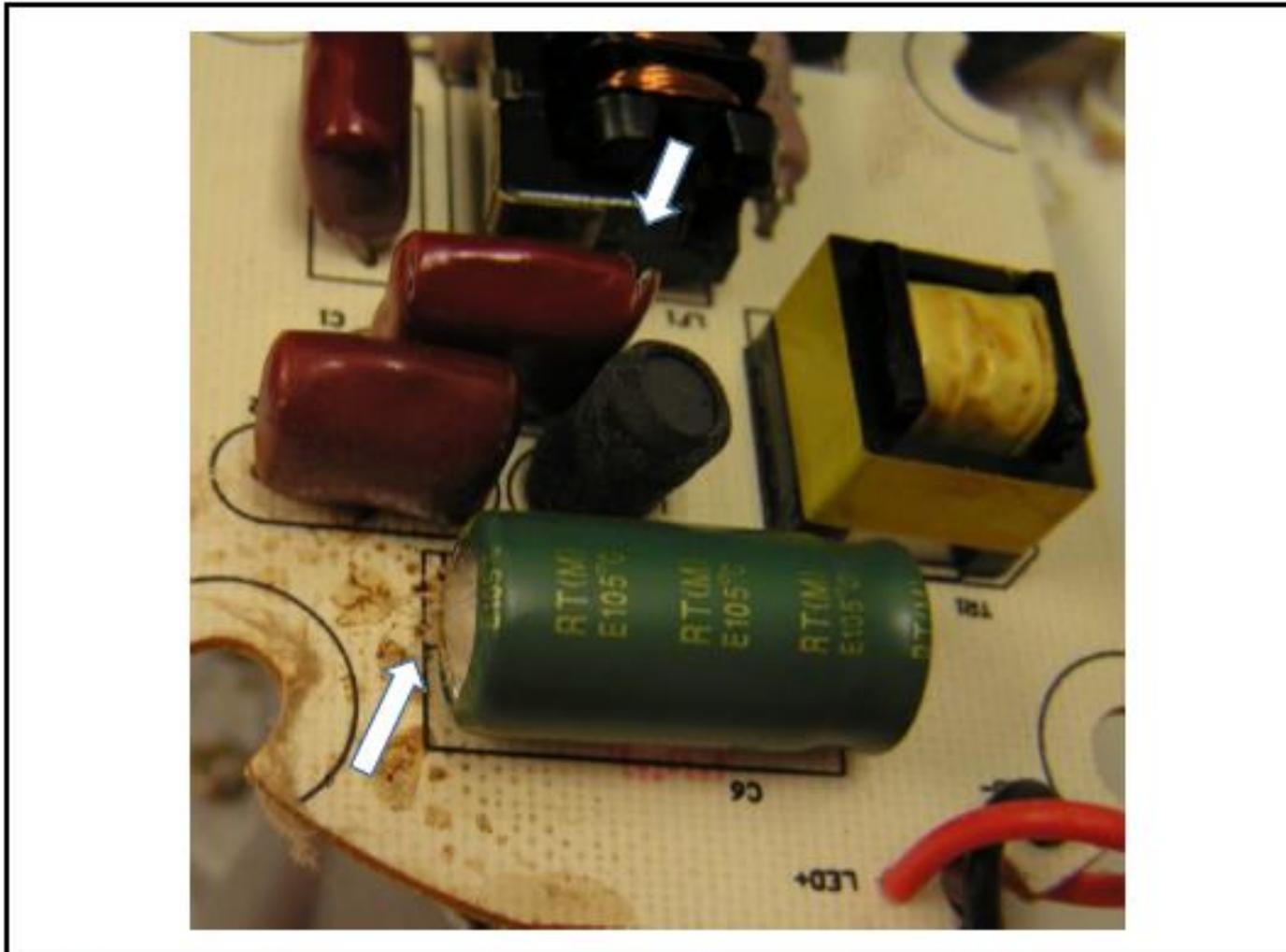
## Multilayer Ceramic Capacitor (MLCC)



- \* Hasta aprox. 10uF
- \* Confiables, pero delicados frente a stress térmico y mecánico

# Todos pueden para fallar... hay que tratar de evitarlo

Figure 4D-69. Driver for 6" Downlight that Exhibited Multi-component Failure

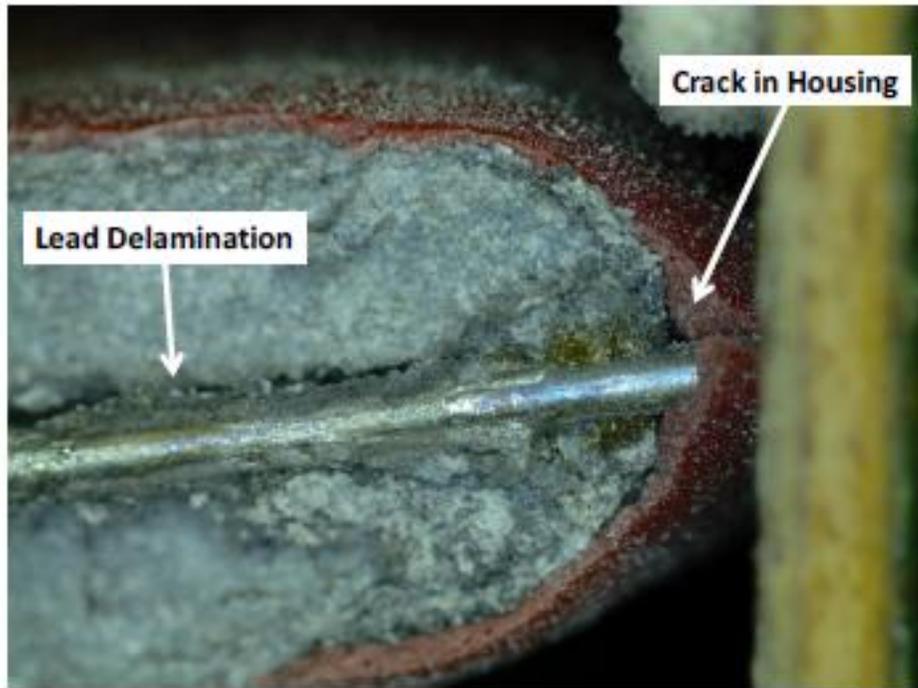


Tomada de System Reliability Model for Solid State Lighting (SSL) Luminaires, May 31, 2017, RTI International

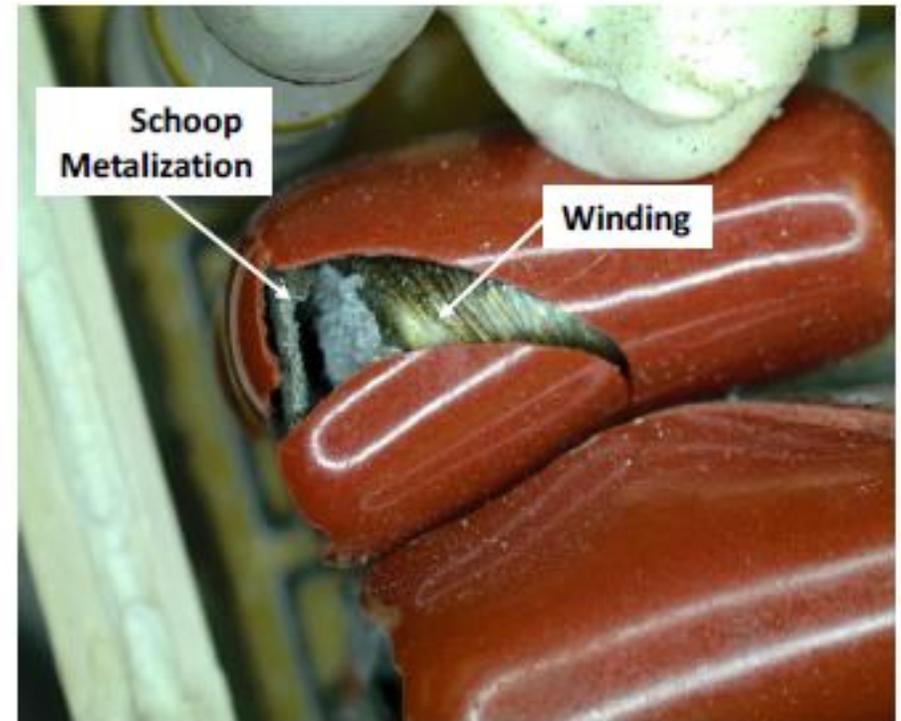
Note: Failure of the electrolytic capacitor (C6) and film capacitor (C1) is indicated by arrows.

# Todos pueden para fallar... hay que tratar de evitarlo

Side View of a Failed Film Capacitor from LED Drivers



Top View of a Failed Film Capacitor Showing the Schoop Metallization and the Winding



Tomada de System Reliability Model for Solid State Lighting (SSL) Luminaires, May 31, 2017, RTI International