

Universidad Politécnica de Cartagena  
Departamento de Ingeniería Eléctrica



Programa de doctorado de “Tecnologías Industriales”.  
Subprograma de “Neurotecnología, Control, Robótica y Gestión Energética”

## Análisis e Integración de Recursos Energéticos Distribuidos

Cartagena, 2011

Bloque

Almacenamiento de energía

### ● TEMA 3: RECURSOS ENERGÉTICOS DISTRIBUIDOS (DER)

Lección 7

Control (gestión) de la carga



**Definición: control de carga (Load Management)**

- Es la interrupción o reducción de la alimentación eléctrica de una carga o uso final.
- Se limita la cantidad de energía que absorbe la carga en t

**¿Cómo se realiza?**

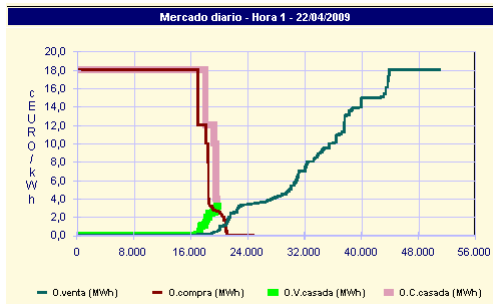
- Interrupción total de la alimentación
- Interrupción cíclica de la alimentación
- Cambio de los tiempos de uso (punta/valle/llano)
- Sustitución del combustible primario (cargas duales)
- Reducir la tensión de las cargas
  - Desde el sistema (Transformadores TCUL )
  - Reguladores de velocidad
- Modificar los mecanismos de regulación de la carga
  - Ej: termostatos

**De tal manera la carga no presta el 100% de su servicio normal y disminuye su demanda de potencia/energía en ciertos periodos ► ¡Pérdida de servicio final!**



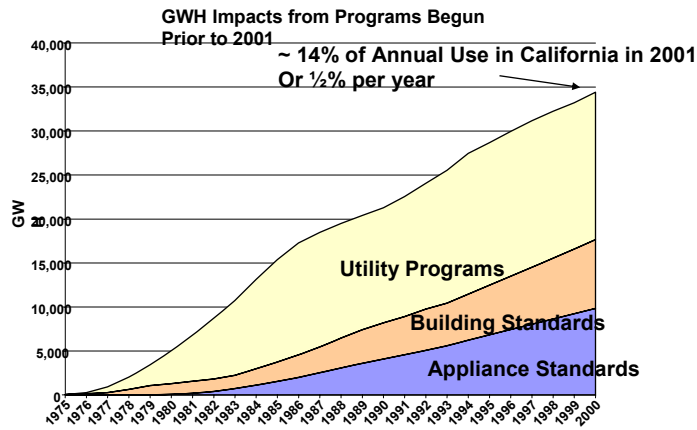
**Motivación de la gestión**

- Es muy interesante para las compañías (limita picos)
- Situaciones de emergencia: alivio inmediato de cargas (deslastre de cargas o shed load)
- Incremento en la eficacia de operación del sistema
- Consumidor: posibilidad de gestionar su consumo
  - Incentivos en las tarifas
  - Venta de kWh no consumidos en periodos críticos
- En general, eficiencia en los mercados



## Situación previa a la liberalización (DSM)

- La importancia del Load Management era grande (>50%)



Source: Mike Messenger, CEC Staff, April 2003

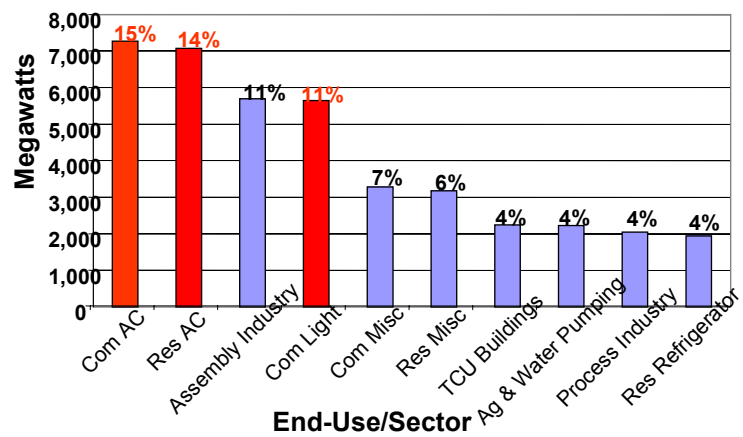
## ¿Qué cargas podemos controlar?

- Cargas con “almacenamiento” energético (≈ almacenamiento de energía indirecto)
  - Climatización, ventilación (HVAC)
  - Termos de agua eléctricos (WH)
  - Almacenamiento de energía (térmico o eléctrico). Cámaras frigoríficas, frigoríficos...
- Cargas electrónicamente controladas
  - Iluminación (regulable, exterior)
  - Motores (Ventilación, compresores, bombas de agua)
- Cargas que no sean prioritarias para el funcionamiento de una instalación industrial.
- Y muchas más ...
  - Grandes cargas con almacenamiento no eléctrico: suministro de agua en ciudades (estaciones de bombeo).
  - FFCC

## Ejemplos de cargas con interés potencial

Figure source: CEC, LBNL, USA

Top Ten California Peak Energy Uses/Sectors



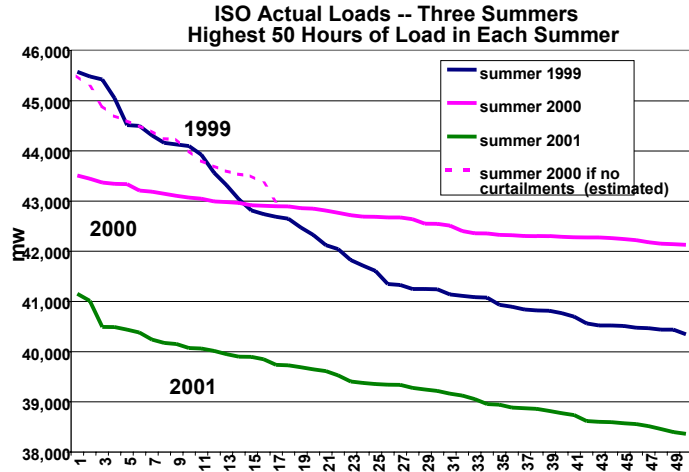
## ¿Qué debemos conocer de la carga?

- Pico de demanda (kVA, kW)
- Duración del pico de carga
  - Número de días
  - Número de horas
- Porcentajes de saturación de la carga
- Factor de carga diario
- Factor de carga anual
- Cómo afecta la carga a la transmisión de energía
- Y su funcionamiento físico: no son cajas negras



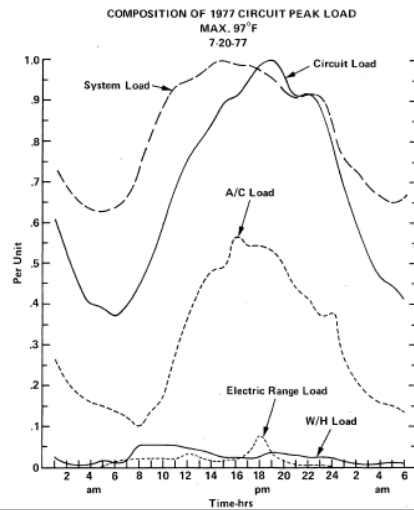
**Recordatorio: Curva de carga acumulada y efectos del control**

Ejemplo de California. (Figure source A. Rosenfeld)



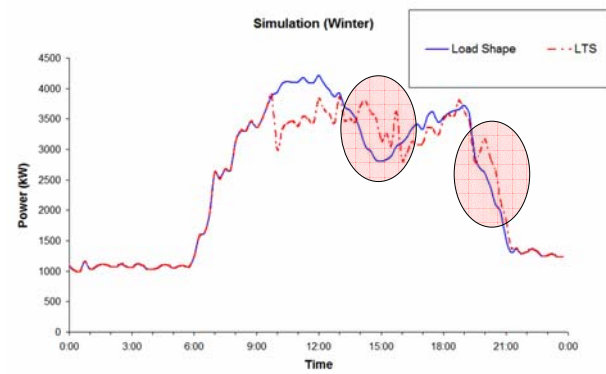
**Consideraciones: ¿cuándo se producen los picos de carga? Probablemente en tiempos diferentes**

Figure source: David, Krupa, IEEE T. on PAS, 1982



• **Curiosidades: recuperación de energía (energy recovery, payback)**

- Figure source: [www.demandresponse.eu](http://www.demandresponse.eu)
- LTS: estrategia de control



• **Estado de operación de una carga m(t)**

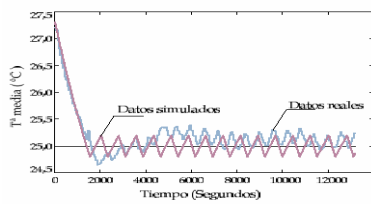
- Muchas cargas describen ciclos de ON y OFF

$$m(t) = \frac{t_{ON}}{t_{ON} + t_{OFF}}$$

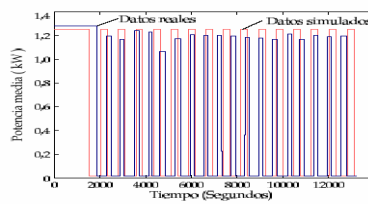
• **Estrategia de control u(t)**

$$u(t) = \frac{t_{CON}}{t_{CON} + t_{SINCON}}$$

• **Efectividad del control u(t) < m(t)**



(a) Tª media interior



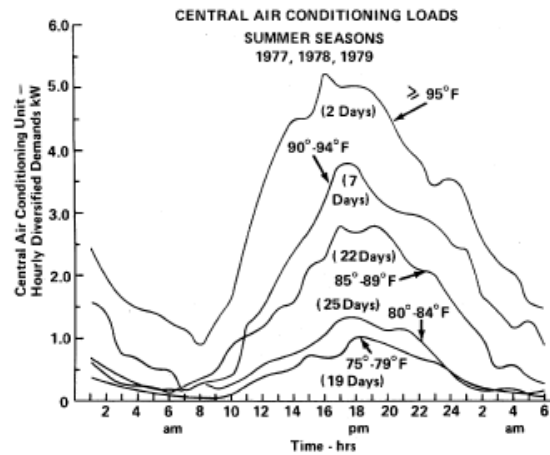
(b) Potencia media demandada



Bloque

El consumo de la carga (estado de operación) es sensible a la temperatura, existencia de un control previo,...

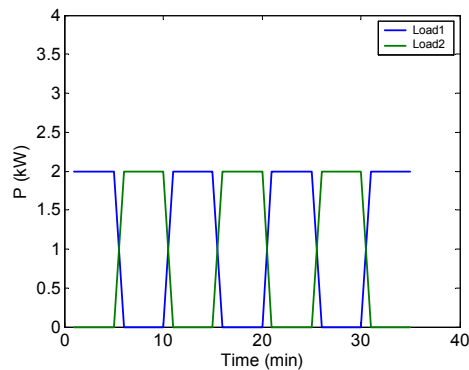
- Variación de la carga con la temperatura Figure source: Davis, Krupa, IEEE



Bloque

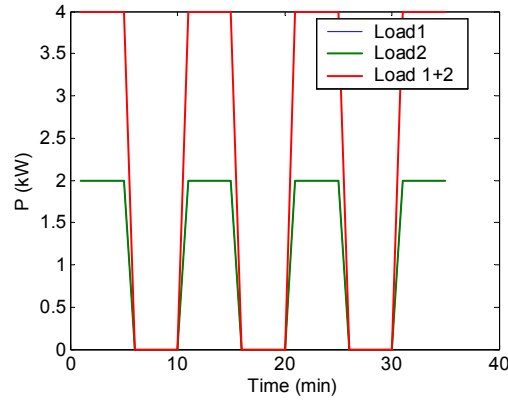
El control de la carga supone una pérdida de diversidad natural de la carga (ON-OFF)

- Ejemplo: Carga 1 y 2 (sin control). Tienen tiempos de alimentación en oposición para el sistema es una carga de 2kW continua



• **Carga 1 y 2 (con control o después de un control)**

- Aparecen picos mayores que los iniciales (2kW)



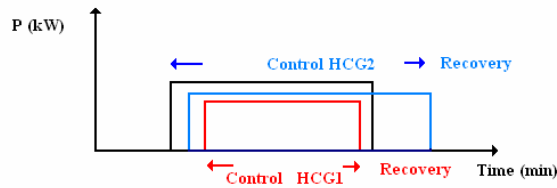
• **Hay que definir políticas de control diferenciadas:**

- Agrupaciones (grupos) de control de cargas
- Diferenciar los periodos de control



• **¿Cómo evitar los picos en control/recuperación?**

- Control de carga por grupos de usuarios
  - No todos los grupos empiezan a la vez el control, ni lo acaban a la vez (desfases temporales)



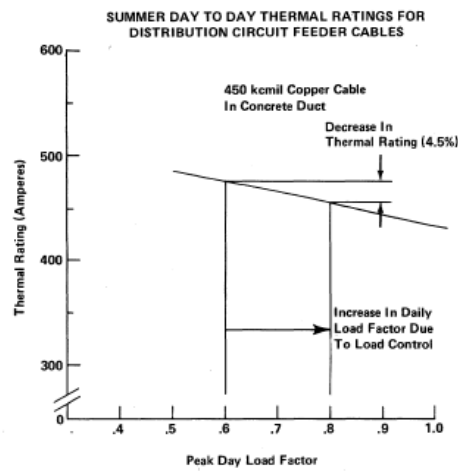
- Estrategias de control PWM
  - El control no es constante en todo el periodo
- Combinando el control de varios tipos de cargas en el mismo periodo
  - HVAC, WH, Iluminación





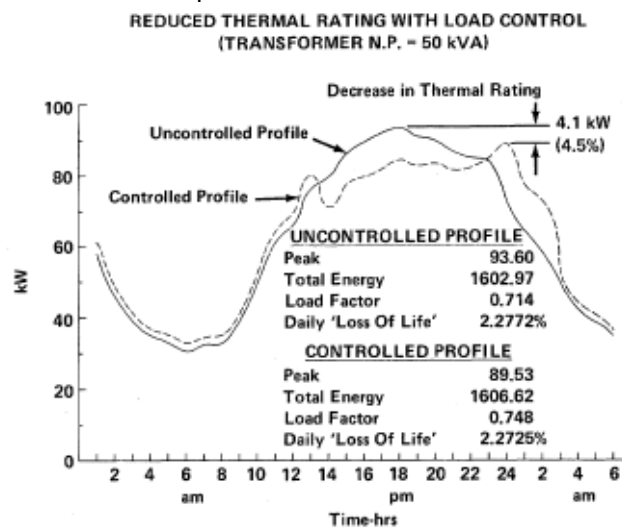
Y además... ¿cómo afecta el control de cargas a la red eléctrica? Distribución, Transporte

- Cambio en la capacidad térmica de los cables



¿Cómo afecta el control de cargas a la red eléctrica? (II) (Fuente: Davis, Krupa,..)

- Cambio en la capacidad térmica de los transform.



Bloque

Y por supuesto el cambio en las condiciones de servicio de los usuarios. Básico.

- Temperatura antes y después del control
- Volumen de agua caliente disponible ....
- Producción diferida (cargas industriales).
- Ejemplo de recorte de picos con cargas HVAC 2kW al 72% de estado natural de operación m(t)

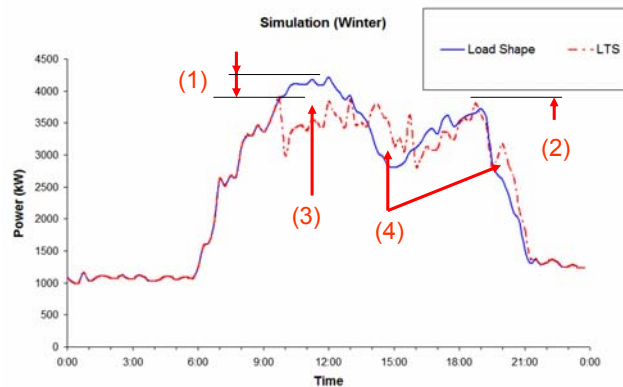
u(t) (%)	DR Period	Payback time	Peak Clipping (%)	Energy Savings	Comfort Temp (°C)
25	i to i+4	i+5,i+6	65	19%	15
33	i to i+4	i+5,i+6	54	15%	15.9
50	i to i+4	i+5,i+6	22	8%	18
66	i to i+4	I+5	7.8	2.5%	18.8



Bloque

Ejemplo: evaluación de efectos de un control (I)

- Reducción de pico kW (1)
- Incremento de pico por recuperación errónea kW (2)
- Reducción de energía kWh (3)
- Recuperación (Payback, recovery) kWh (4)



**Ejemplo: evaluación de efectos de un control (I)**

- Reducción de pico kW: (D1)
- Incremento de pico por recuperación errónea kW (D2=0)
- Reducción de energía kWh (E3)
- Recuperación (Payback, recovery) kWh (E4)

Item (units)	Customer/ Aggregation
Max. Demand reduction (kW)	<b>(P1)</b>
Energy reduction/event (kWh)	<b>(E3)</b>
Energy recovery (kWh)	<b>(E4)</b>
Event days (number of days with response)	<b>N</b>
Average price during event (€/kWh)	<b>P2 (t)</b>
Demand reduction (€/kW)	<b>P1 (t)</b>
Average electricity price (€/kWh)	<b>P3 (t) (&lt;P2 (t))</b>
<b>APROX. RESPONSE BENEFIT (€)</b>	<b><math>N * [(1) * P1 + (3-4) * P2 + (3) * P3]</math></b>

