

# MERCADOS REGULADOS TARIFAS BASADAS EN COSTOS MARGINALES

MENTOR POVEDA, MSEE

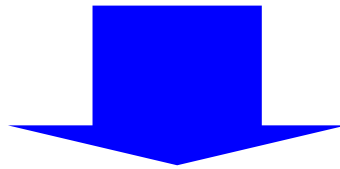
# **MERCADO REGULADO**

## **FORMACIÓN TEÓRICA DE LA TARIFA ELÉCTRICA**

# ANTECEDENTES

LA TARIFICACIÓN DE LA ENERGÍA ELÉCTRICA TIENE POR OBJETO ESTABLECER EL PRECIO QUE CADA CLIENTE TIENE QUE PAGAR POR SU CONSUMO

EN LOS MÁS DE CIENTO AÑOS DE INDUSTRIA ELÉCTRICA SE HAN APLICADO MÁS DE CINCUENTA MÉTODOS DIFERENTES PARA ASIGNAR COSTOS A TARIFAS



TANTOS MODELOS DE TARIFAS COMO PAÍSES

METODOLOGÍA:

## “COSTOS MARGINALES”

**CONSISTE EN CONSIDERAR COMO COSTO, PARA EL CÁLCULO DE LA TARIFA, EL COSTO MARGINAL, ES DECIR, EL COSTO DE PRODUCIR EL kWh SUPLEMENTARIO**

# **COSTOS VS. CALIDAD SUMINISTRO**

SERVICIO DE CALIDAD AL MÍNIMO COSTO POSIBLE  
PERO:

DADAS LAS VARIABLES ALEATORIAS Y LAS  
INCERTIDUMBRES QUE AFECTAN TANTO A LA  
DEMANDA COMO A LA PRODUCCIÓN DE ENERGÍA  
ELÉCTRICA, NINGÚN SUMINISTRO PUEDE SER  
ABSOLUTAMENTE GARANTIZADO SINO ES AL PRECIO  
DE UN COSTO INFINITO  
POR TANTO:

**COMPROMISO NECESARIO ENTRE CALIDAD  
DE SUMINISTRO Y COSTOS IMPLICITOS EN LA  
TARIFA**

# CONDICIONES DE UNA TARIFA



## EXACTITUD Y SENCILLEZ

UNA TARIFA ELÉCTRICA TIENE POR OBJETIVO FUNDAMENTAL REFLEJAR LOS COSTOS LO MÁS EXACTAMENTE POSIBLE DE LA FORMA MÁS SENCILLA POSIBLE

COSTOS DE SUMINISTRO VARIABLES EN EL TIEMPO:

- CAMBIOS EN LA DEMANDA
- DIFERENTES SITUACIONES DE OFERTA

**NECESIDAD DE EQUILIBRIO ENTRE EXACTITUD Y SENCILLEZ**

# CONDICIONES DE UNA TARIFA

## ORIENTACIÓN A LOS CLIENTES. TARIFAS MARGINALISTAS

LOS PRECIOS DE LAS TARIFAS DEBEN SERVIR PARA ORIENTAR CORRECTAMENTE EL COMPORTAMIENTO DE LOS CLIENTES

LA APARICIÓN DE UN NUEVO CLIENTE O EL INCREMENTO DE CONSUMO DE UNO EXISTENTE



SUMINISTRO SUPLEMENTARIO



COSTO MARGINAL EN TARIFA

TARIFAS MARGINALISTAS REDUCEN COSTOS DE PRODUCCIÓN TRANSPORTE Y DISTRIBUCIÓN: **ORIENTAN CONSUMOS A PERIODOS DE COSTOS MÁS BAJOS**

# CONDICIONES DE UNA TARIFA



**TRATAMIENTO JUSTO**



**ESTABILIDAD DE LA TARIFA**

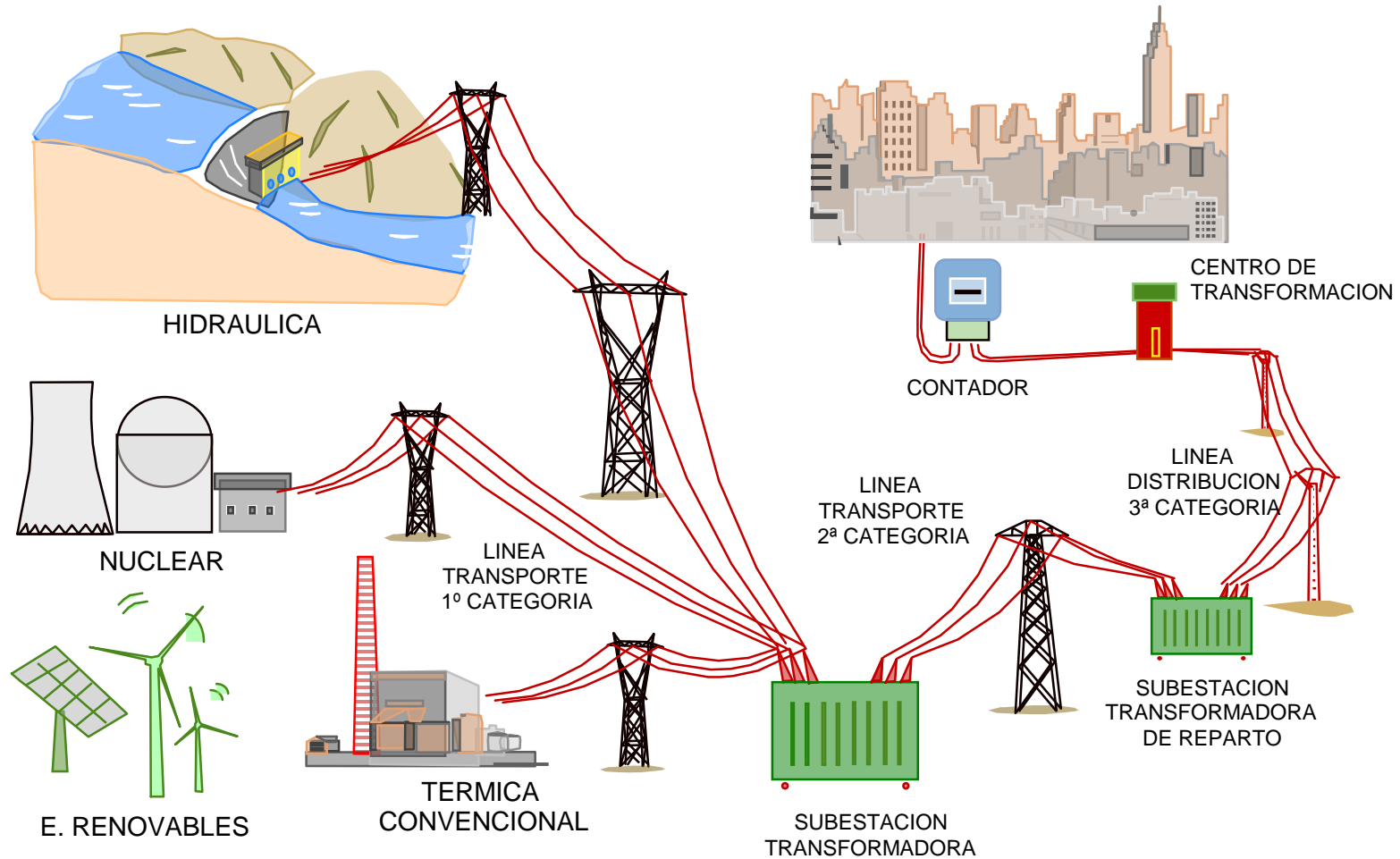


**EQUILIBRIO PRESUPUESTARIO**



# MÉTODO COSTOS MARGINALES

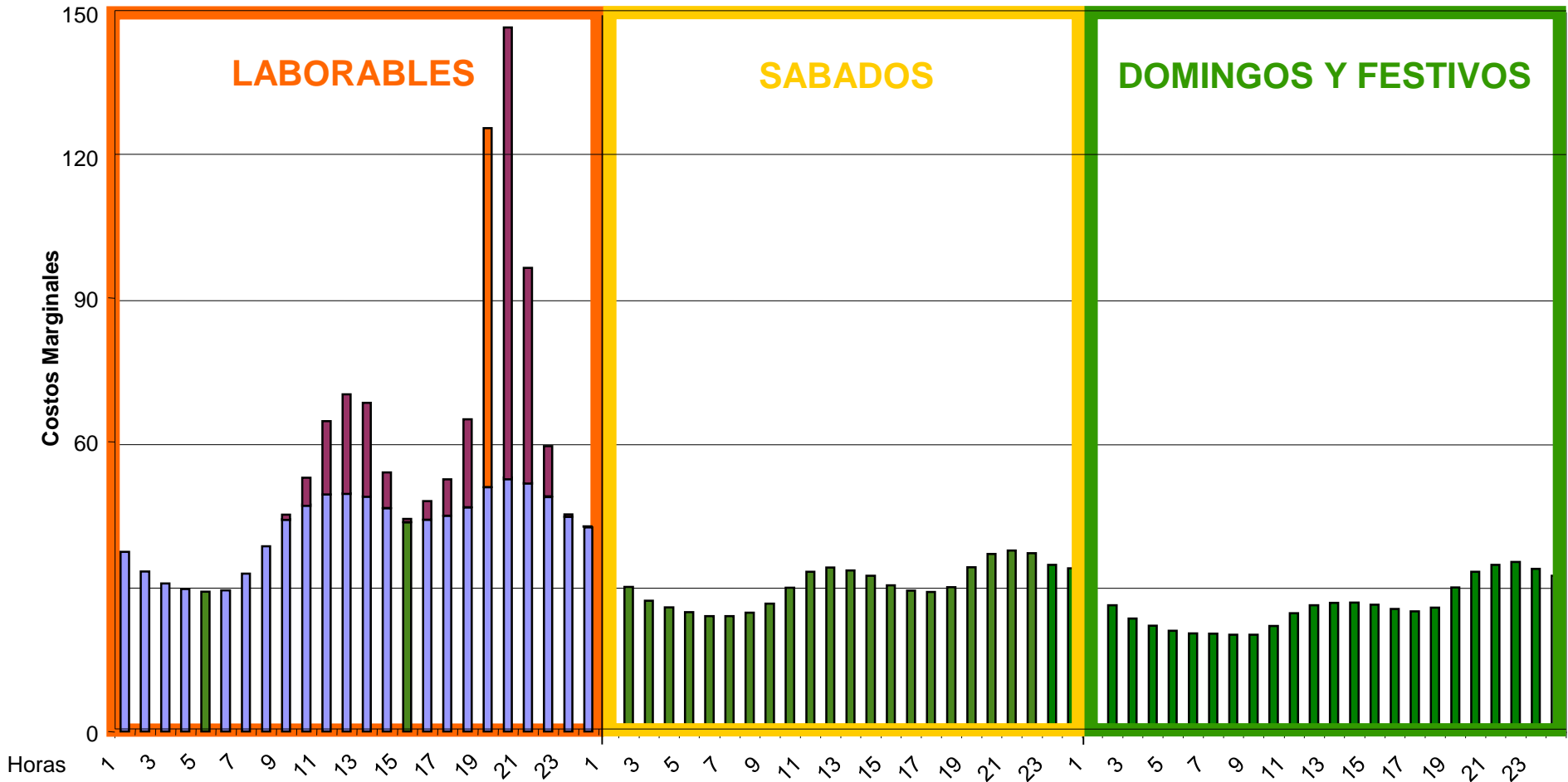
# PRODUCCIÓN, TRANSPORTE Y DISTRIBUCIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA



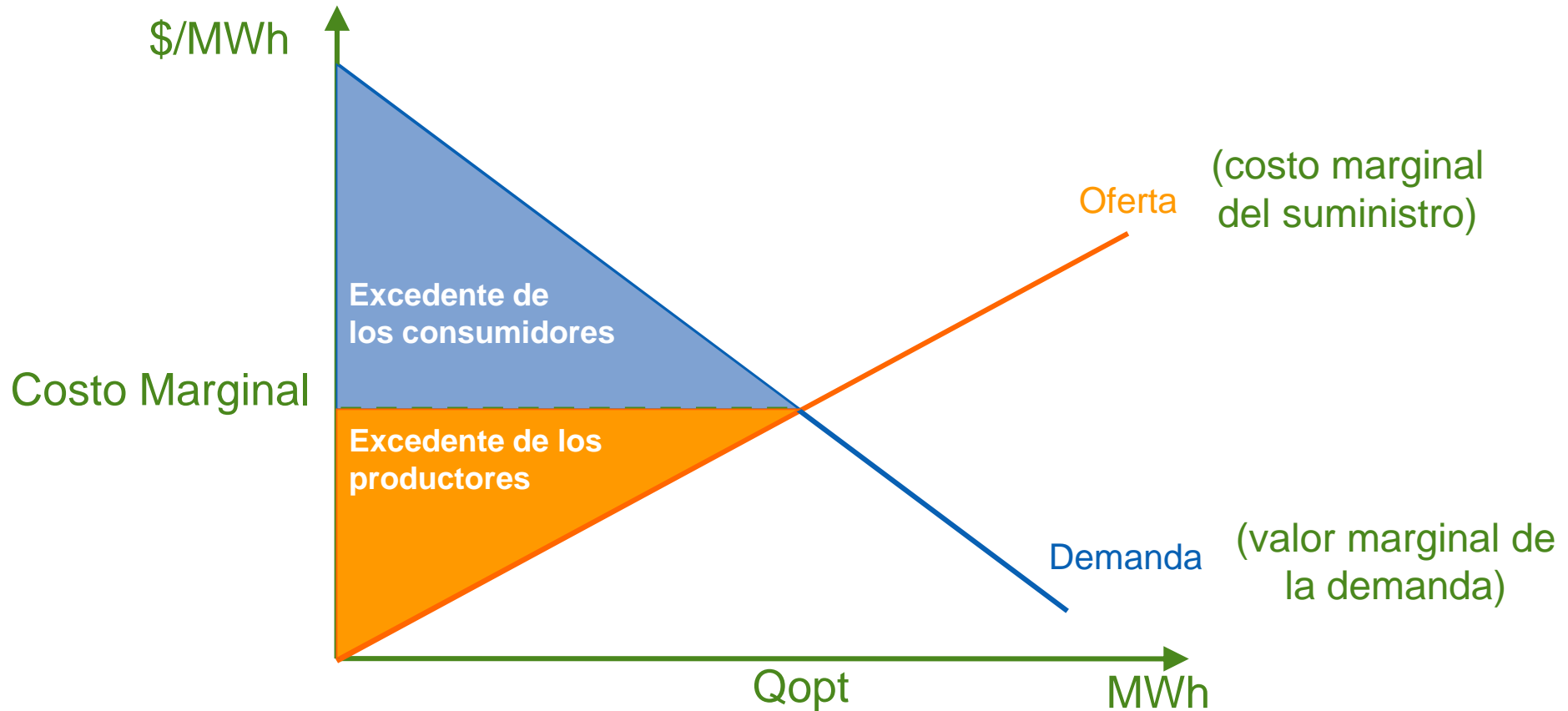
# ASIGNACIÓN DE LOS COSTOS

- Costos marginales horarios de totales (energía, capacidad de generación y activos compartidos)

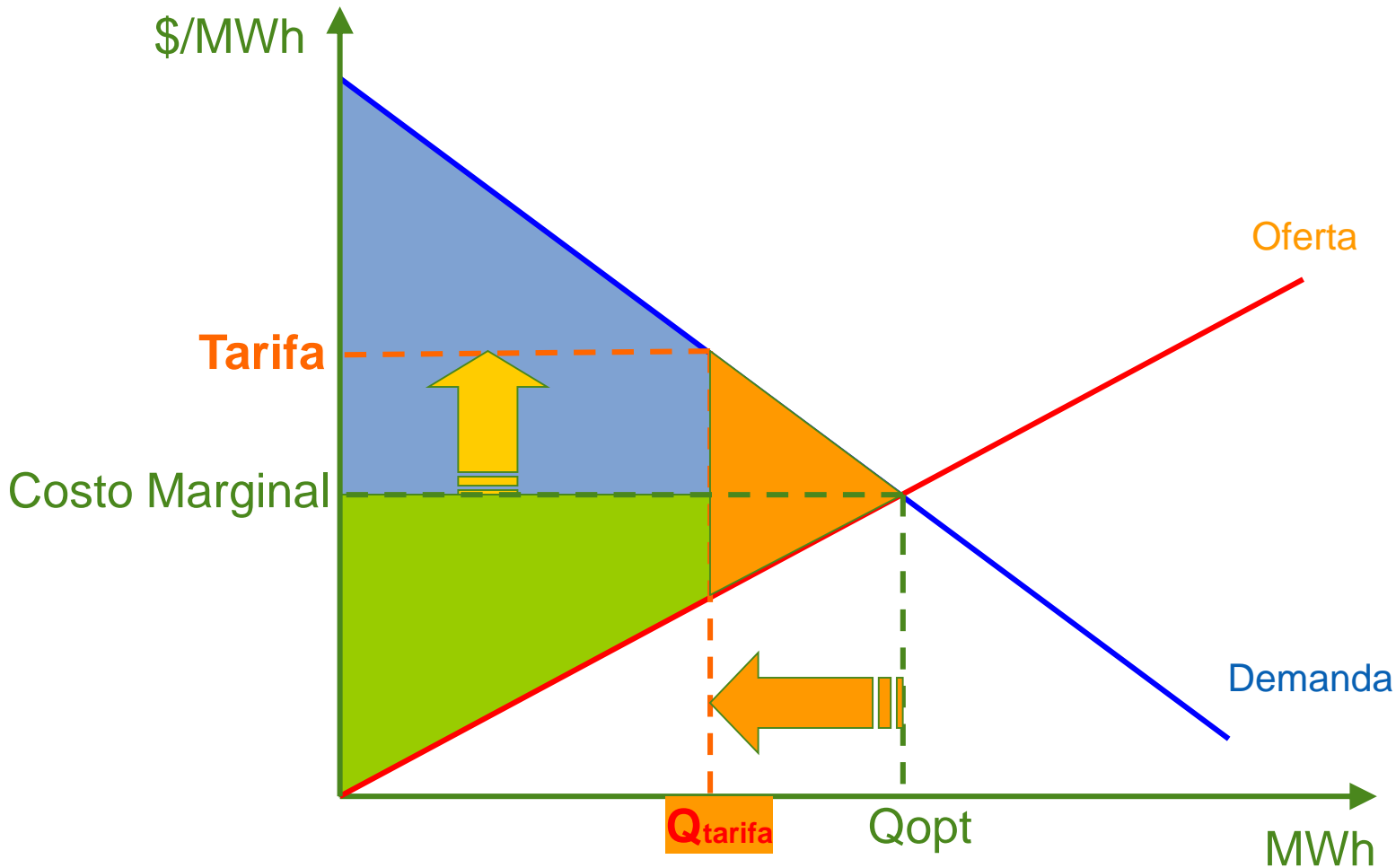
\$/MWh



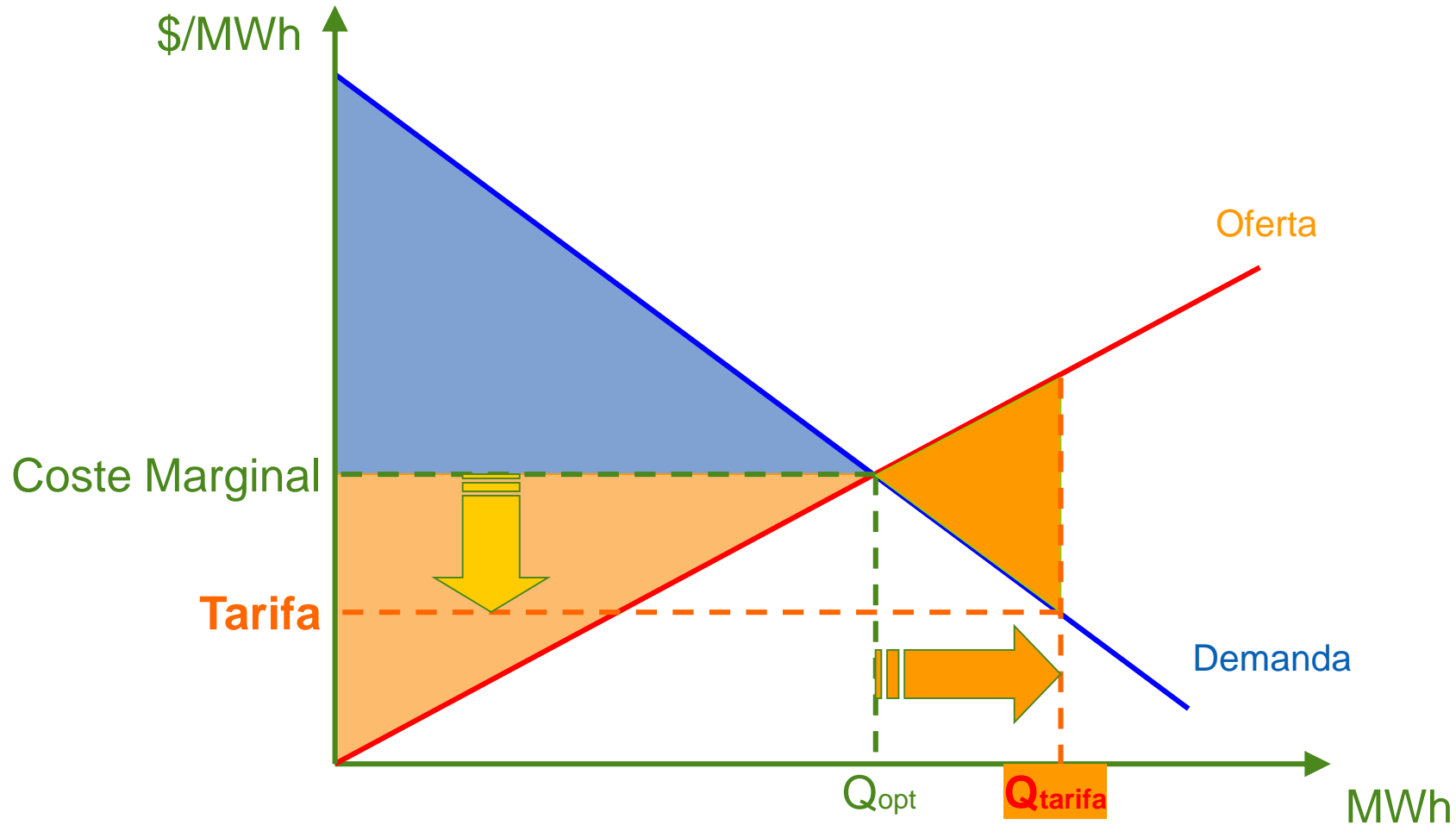
# Si las tarifas reflejan los costes marginales, las decisiones sobre el nivel de consumo serán eficientes



# Si las tarifas exceden los costos marginales, se desincentiva el consumo de forma ineficiente



# Si las tarifas son menores que los costos marginales, se incentiva consumo ineficiente



# Si las tarifas no reflejan los costos marginales, se distorsionan las decisiones sobre la fuente de energía

	Costo marginal		Tarifa	
	Electricidad (30 \$/MWh)	Gas (40 \$/MWh)	Electricidad (50 \$/MWh)	Gas (40 \$/MWh)
Inversión	100 \$	100 \$	100 \$	100 \$
Operación	300 \$	400 \$	500 \$	400 \$
Costo Total	400 \$	500 \$	600 \$	500 \$

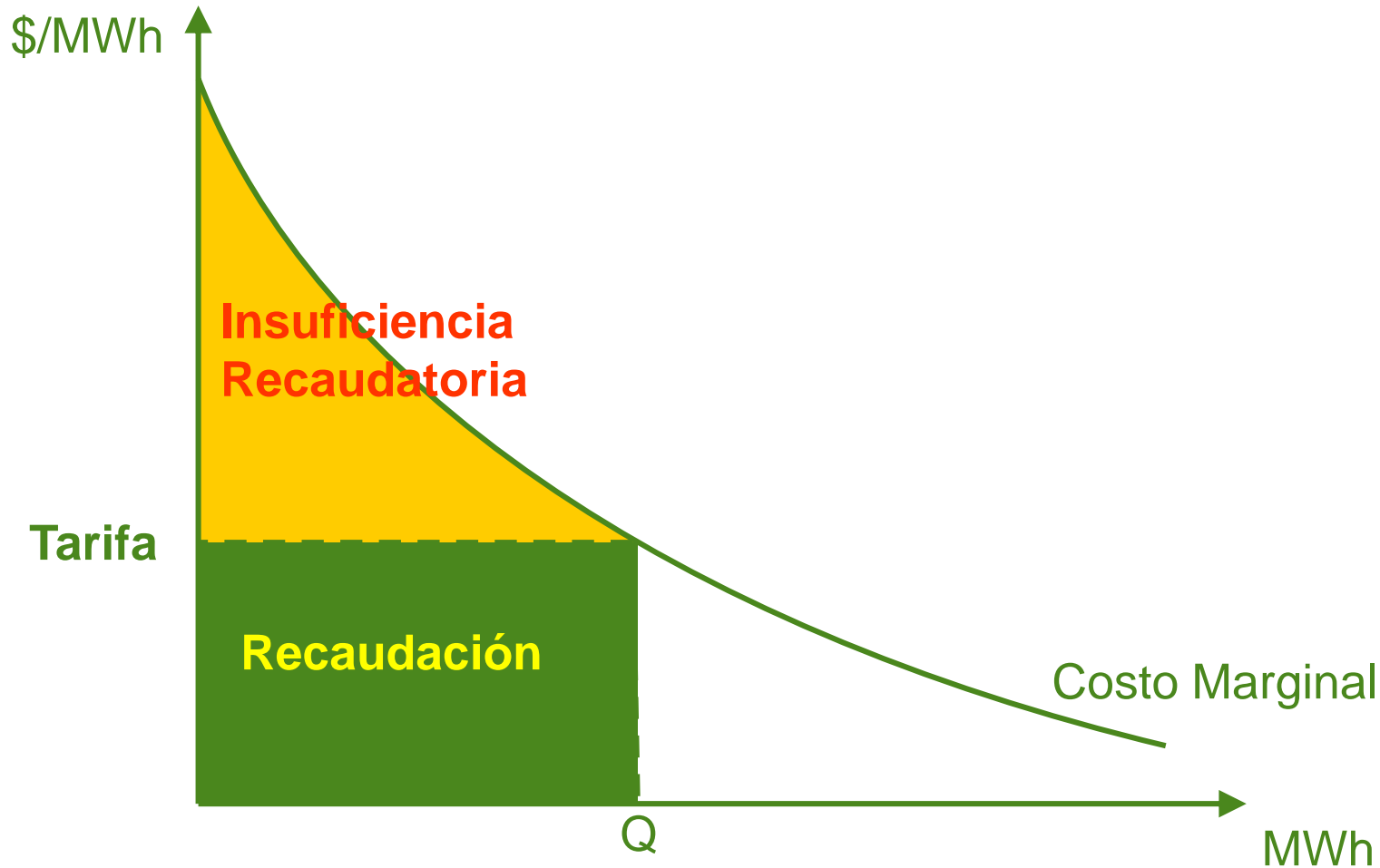
Opción económica

Decisión del consumidor

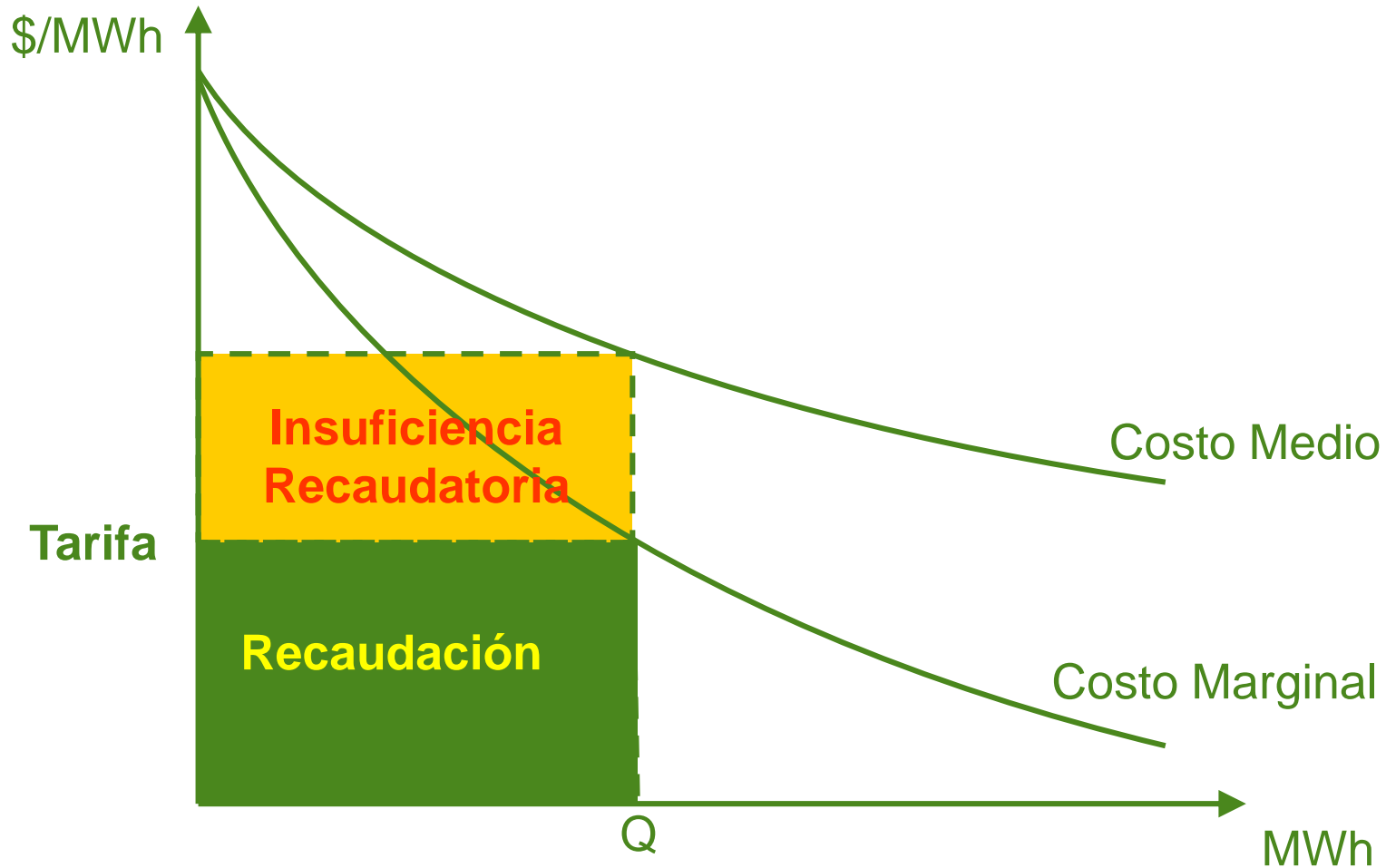




# Tarifas iguales a costos marginales resultarían en insuficiencia recaudatoria por economías de escala



# Tarifas iguales a costos marginales resultarían en insuficiencia recaudatoria por economías de escala



# CONCLUSIONES

- Si las tarifas no reflejan los costos marginales los consumidores tomarán decisiones de consumo e inversión equivocadas.
- Los costos de activos compartidos deben recuperarse a través del término de energía.
- Los costos no marginales deben ser asignados de manera que se distorsionen lo menos posible las señales marginales:
  - entre las distintas formas de energía (ej. gas-electricidad) para evitar distorsionar las decisiones de consumo e inversión de los consumidores, y
  - principalmente a los consumidores domésticos, para minimizar las distorsiones al consumo y la eficiencia productiva.

# **METODO DE COSTOS MARGINALES**

Costo Marginal = Costo del kWh Suplementario

**Costo Marginal a Corto Plazo CMCP:**

Es el incremento de costos de producción, transporte y distribución resultante de un suministro adicional, sin cambio en la capacidad de las instalaciones.

**Costo Marginal a Largo Plazo CMLP:**

Es el incremento de costos de producción, transporte y distribución resultante de un suministro adicional, con un plazo suficiente para un cambio en la capacidad de las instalaciones.

# METODO DE COSTOS MARGINALES

CMCP: Se aumenta la demanda pero no se realizan nuevas inversiones por lo que se deteriora la calidad de suministro. Este deterioro debe incluirse en el incremento de costo.

CMLP: La modificación de las capacidades equivale a adelantar una inversión prevista. El costo de esta operación para un equipo determinado se denomina *Costo de Anticipación, CA*, e incluye:

- Cargas financieras de la inversión.
- La amortización del primer año, determinada con una base económica, es decir como variación del valor de uso durante el año.
- Las cargas fijas de operación y mantenimiento

# METODO DE COSTOS MARGINALES

## Costo Marginal de Producción

### Períodos No Críticos:

El CMCP y el CMLP del kWh suplementario equivalen al costo variable (prácticamente el costo de combustible) de la central marginal correspondiente

### Períodos Críticos:

- Consumo nuevo implica reforzar equipos de producción (o de transporte o de distribución) si se mantiene la calidad de suministro. Opción CMLP.
- Si no se aumenta capacidad, se incurre en costo por aumento de la probabilidad de kWh no suministrado. Opción CMCP.

# **METODO DE COSTOS MARGINALES**

## **Igualdad de CMLP y CMCP en Parque Óptimo**

- Cuando el parque de producción está sobredimensionado el CMCP es inferior al CMLP implica satisfacer incremento de demanda sin nuevas inversiones.
- Cuando el CMCP es superior al CMLP, interesa incrementar la capacidad del parque de producción.
- Cuando el CMCP y el CMLP son iguales, no se disminuyen costos aumentando capacidad, es el parque óptimo. En esta situación, el incremento del costo de falla (solución CMCP) coincide con el costo de la inversión (solución CMLP) que hubiera podido evitarlo.





# MÉTODO DE COSTOS MARGINALES

## Variación de Costo Marginal con Duración de Carga

Los costos marginales correspondientes a 1 kW suplementario a lo largo de las 8760 horas del año serían:

- En el tramo BC los costos de combustible.
- En el tramo AB, hay que añadir el costo de aumentar 1 kW la capacidad (CMLP) o asumir mayor probabilidad de kWh no suministrado (CMCP).

# MÉTODO DE COSTOS MARGINALES

En un Parque Óptimo  $CMLP = CMCP$

$$\frac{CMLP}{\begin{array}{c} \text{Costo de incrementar 1kW} \\ + \\ \text{Costo del combustible LP} \end{array}} = \frac{CMCP}{\begin{array}{c} \text{Aumento del costo de falla} \\ + \\ \text{Costo del combustible CP} \end{array}}$$

Incremento de 1 kW = Costos de Anticipación CA

$$CA + \text{Combustible LP} = \text{Aumento costo de falla} + \text{Combustible CP}$$

$$CA = \text{Aumento costo de falla} + (\text{Combustible CP} - \text{Combustible LP})$$

$$CA = \text{Ahorro} \left\{ \begin{array}{l} \text{del costo de falla} \\ \text{de combustible} \end{array} \right.$$

# MÉTODO DE COSTOS MARGINALES

## Expresión Matemática del CMCP de Producción

Partiendo de:

$$CMCP = \text{Costo del combustible} + CP + \text{Aumento del costo de falla} \quad [1]$$

La esperanza  $\bar{\mu}_t$  del CMCP con demanda adicional de 1 kW en la hora t, será:

$$\bar{\mu}_t = (1 - p_t) \cdot \tilde{\mu}_t + p_t \cdot D_t = \tilde{\mu}_t + p_t \cdot (D_t - \tilde{\mu}_t) \quad [2]$$

$p_t$  = probabilidad de falla, en tanto por uno, en la hora t  
(representa la energía no suministrada en t)

$\tilde{\mu}_t$  = esperanza matemática del costo de combustible en t

$D_t$  = costo de falla en t (valor social de kWh no suministrado)

# MÉTODO DE COSTOS MARGINALES

## Expresión Matemática del CMCP de Producción

Para un suministro  $U$ , 1 kW demandado en determinadas horas del año, la esperanza matemática del costo será:

$$\gamma(U) = \sum_U \bar{\mu}_t = \sum_U \tilde{\mu}_t + \sum_U p_t \cdot (D_t - \tilde{\mu}_t) \quad [3]$$

Si se considera que el costo de falla por kWh ( $D_t$ ) es constante e independiente de la importancia y la hora de la falla; y que el costo del combustible es despreciable en comparación con  $D_t$ :

$$\gamma(U) = \sum_U \tilde{\mu}_t + D \cdot \sum_U p_t \quad [4]$$

# MÉTODO DE COSTOS MARGINALES

## Expresión Matemática del CMCP de Producción

Para un suministro P, que contenga el período crítico C, el costo será:

$$\gamma_P = \sum_P \tilde{\mu}_t + D \cdot \sum_C p_t = \sum_P \tilde{\mu}_t + \delta \quad [5] \quad \text{siendo} \quad \delta = D \cdot \sum_C p_t \quad [6]$$

$\delta$  es el costo de falla asociado al suministro de 1 kW durante el período crítico; también representa la economía de falla a atribuir a 1 kW durante el período crítico. Y también:

$$\delta = CA \text{ (central de punta)} = D \cdot \sum_C p_t \quad [7]$$

# MÉTODO DE COSTOS MARGINALES

## Expresión Matemática del CMCP de Producción

Y de [7] se deduce:

$$\sum_c p_t = \frac{CA}{D} \quad [8]$$

El coste de un suministro cualquiera U, fórmula [4], puede expresarse, en la perspectiva del costo marginal a corto plazo:

$$\gamma(U) = \sum_u \tilde{\mu}_t + \delta \cdot \frac{\sum_u p_t}{\sum_c p_t} \quad [9]$$

# MÉTODO DE COSTOS MARGINALES

## Expresión Matemática del CMCP de Producción

De acuerdo con [9], el costo marginal de producción correspondiente a un suministro, se compone de dos términos:

- Un costo de combustible.
- Un costo de falla, calculado como el costo de falla de un kW garantizado multiplicado por la contribución a la falla del suministro considerado.

# MÉTODO DE COSTOS MARGINALES

## Costo de un Suministro

$$\gamma(U) = \sum_U \tilde{\mu}_t + \delta \cdot \frac{\sum_U p_t}{\sum_C p_t}$$

donde

$$\frac{\sum_U p_t}{\sum_C p_t} = \begin{cases} = 0 & \text{si } U \text{ está fuera del período crítico } C \\ = 1 & \text{si } U \text{ está dentro del período crítico } C \end{cases}$$



# MÉTODO DE COSTOS MARGINALES

## Costo de un Suministro

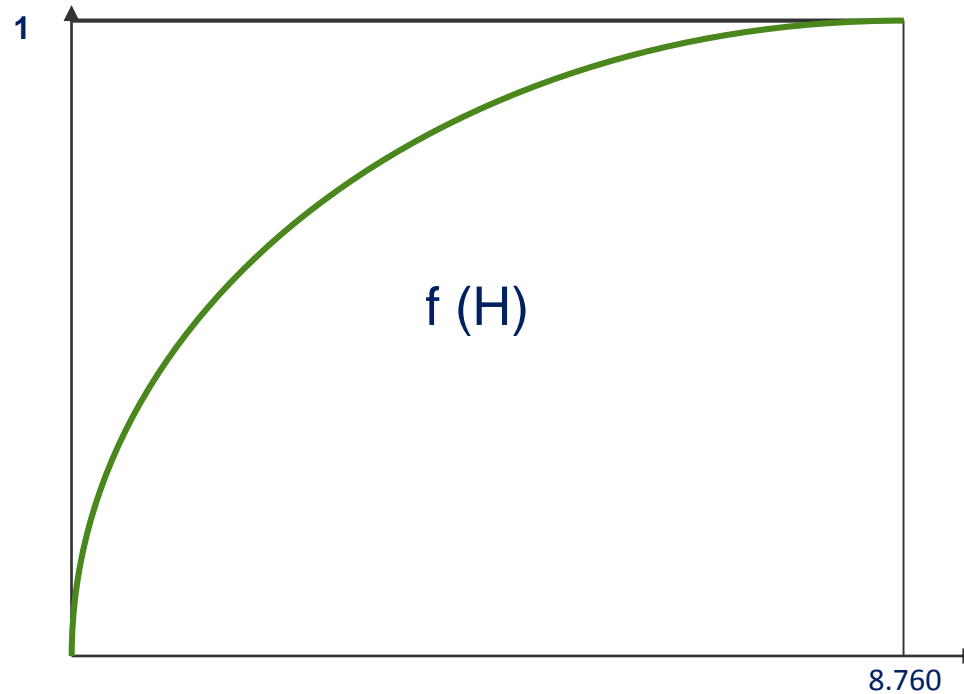
Se puede llegar a la conclusión de que esta función está relacionada con el parámetro H, horas de utilización de la potencia máxima demandada P (H = Consumo anual / P)

Se supone que  $\frac{\sum_U p_t}{\sum_C p_t}$  es únicamente función de H

Se han realizado numerosos estudios para determinar una expresión analítica de f(H), pero se conoce su forma.

# MÉTODO DE COSTOS MARGINALES

## Costo de un Suministro



$$\gamma(U) = \sum_U \tilde{\mu}_t + \delta \cdot f(H)$$

# MÉTODO DE COSTOS MARGINALES

## Costo de un Suministro

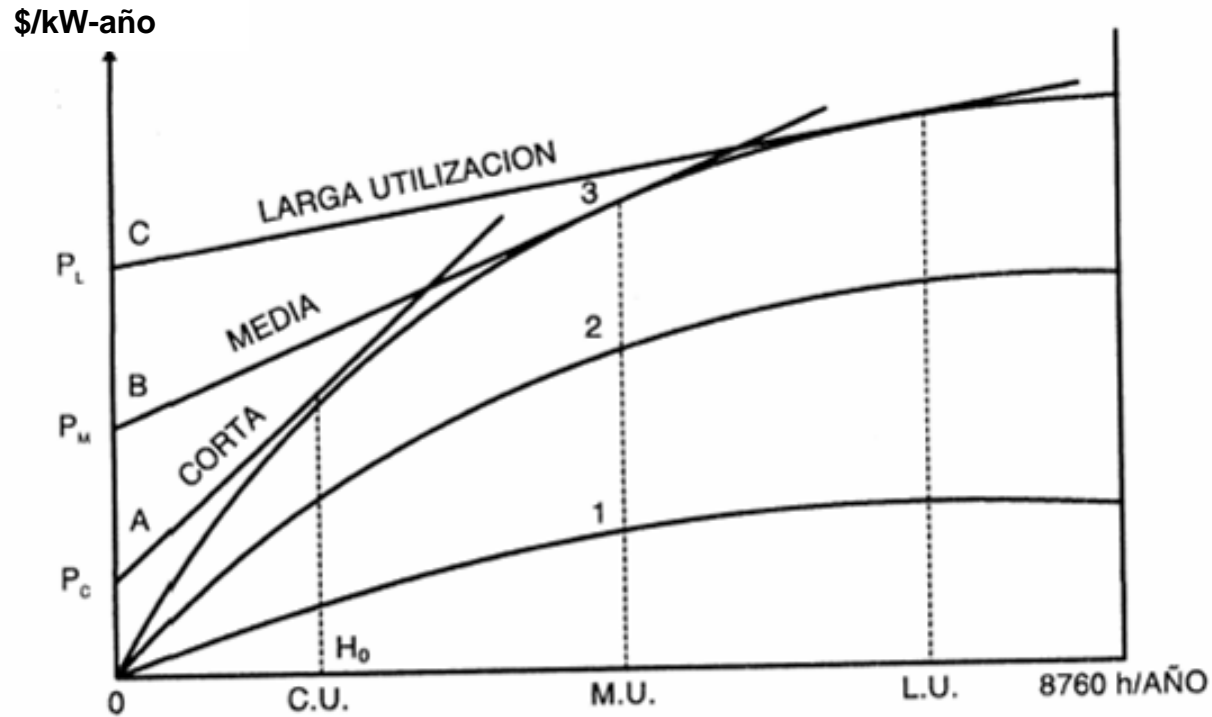


FIGURA 7

1. COSTO VARIABLE (COMBUSTIBLE =  $\sum \mu_t$ )
2. COSTO DE CAPACIDAD =  $\partial \cdot f(H)$
3. COSTO TOTAL = 1 + 2

# MÉTODO DE COSTOS MARGINALES

## Paso de Costos Marginales a Tarifas

Tarifa Binomia

De las fórmulas anteriores, se puede dar el costo de un suministro como:

$$C(H) = \mu \cdot H + \delta \cdot f(H) \quad \$/\text{kWh año}$$

siendo  $\mu$  el costo de combustible que se supone constante por simplificar

La fórmula anterior es de muy difícil aplicación. El problema de construir una tarifa consiste en seleccionar unos pocos parámetros que reflejen con una exactitud razonable los costos de un suministro.

# MÉTODO DE COSTOS MARGINALES

## Paso de Costos Marginales a Tarifas

### Tarifa Binomia

La tarifa que se va a diseñar es de estructura binomia con un precio por kW contratado y un precio por kWh consumido

$$F = P + \alpha \cdot H$$

siendo

F = la facturación anual

P = una cuota fija \$/kW

$\alpha$  = un precio por kWh consumido

# MÉTODO DE COSTOS MARGINALES

## Paso de Costos Marginales a Tarifas

### Tarifa Binomia

Suponiendo un suministro cuyas horas de utilización sean  $H_0$ , la tarifa que mejor se ajusta a la función de costo, será una tangente a la misma en  $H_0$ . Los valores de  $P$  y  $\alpha$  de la tarifa se deducen de las dos condiciones siguientes:

a) Que la tarifa y la función de costo coincidan para  $H = H_0$

$$P + \alpha \cdot H_0 = \mu \cdot H_0 + \delta \cdot f(H_0)$$

b) Que la tarifa y la función tengan la misma derivada en  $H_0$

$$\alpha = \mu + \delta \cdot f'(H_0) \quad P = \delta \cdot f(H_0) - H_0 \cdot \delta \cdot f'(H_0)$$

# MÉTODO DE COSTOS MARGINALES

## Paso de Costos Marginales a Tarifas

### Tarifa Binomia

Si se desea ajustar lo más posible a la función de costo será necesario establecer varias tarifas, de acuerdo con el número de horas más usuales. Se pueden considerar tres tarifas:

### CORTA, MEDIA Y LARGA UTILIZACIÓN

La tarifa LARGA UTILIZACIÓN, para valores de H muy altos:

$$f'(H) \approx 0 \quad \text{por tanto} \quad \alpha = \mu + \delta \cdot f'(H_0) = \mu$$

La única tarifa en la que el precio del kWh coincide con el costo de combustible es la de LARGA UTILIZACIÓN

# MÉTODO DE COSTOS MARGINALES

## Paso de Costos Marginales a Tarifas

### Tarifa Binomia con Diferentes Períodos Horarios

La forma más usual de perfeccionar una tarifa consiste en aplicar diferentes precios para la potencia y la energía de acuerdo con los denominados **períodos tarifarios**.

Una manera de establecer períodos tarifarios es dividir las horas del año en Punta ( $H_1$ ), Llano ( $H_2$ ) y Valle ( $H_3$ ) y determinar para cada uno de ellos la cuota fija y el precio de la energía.

$$H_1 + H_2 + H_3 = 8760 \text{ horas}$$



# MÉTODO DE COSTOS MARGINALES

## Paso de Costos Marginales a Tarifas

### Tarifa Binomia con Diferentes Períodos Horarios

Definimos:

$p_1H_1, p_2H_2, p_3H_3$  probabilidades de falla correspondientes a los períodos de punta, llano y valle (normalmente  $p_3 = 0$ )

$\sum_{i=1}^3 p_i \cdot H_i$       probabilidad de falla total

$$h_1 = f_1(H)$$

$$h_2 = f_2(H)$$

$$h_3 = f_3(H)$$

siendo  $h_1, h_2$  y  $h_3$  las horas de punta, llano y valle que corresponden a una utilización  $H$  (para  $H = 8760$  horas,  $h_1=H_1, h_2=H_2, h_3=H_3$ )

$$\mu_1, \mu_2, \mu_3$$

costos de combustible en los períodos de punta, llano y valle

# MÉTODO DE COSTOS MARGINALES

## Paso de Costos Marginales a Tarifas

Tarifa Binomia con Diferentes Períodos Horarios

Las funciones de costo total de los períodos de punta, llano y valle serán:

Punta:

$$C_1(H) = \mu_1 \cdot h_1 + \frac{\delta \cdot p_1}{\sum p_i \cdot H_i} \cdot h_1 = \left( \mu_1 + \frac{\delta \cdot p_1}{\sum p_i \cdot H_i} \right) \cdot h_1$$

Si hacemos

$$\mu_1 + \frac{\delta \cdot p_1}{\sum p_i \cdot H_i} = K_1 \quad \text{quedará} \quad C_1(H) = K_1 \cdot h_1$$

# MÉTODO DE COSTOS MARGINALES

## Paso de Costos Marginales a Tarifas

Tarifa Binomia con Diferentes Períodos Horarios

Llano:

$$C_2(H) = \mu_2 \cdot h_2 + \frac{\delta \cdot p_2}{\sum p_i \cdot H_i} \cdot h_2 = \left( \mu_2 + \frac{\delta \cdot p_2}{\sum p_i \cdot H_i} \right) \cdot h_2$$

Si hacemos

$$\mu_2 + \frac{\delta \cdot p_2}{\sum p_i \cdot H_i} = K_2 \quad \text{quedará} \quad C_2(H) = K_2 \cdot h_2$$

# MÉTODO DE COSTOS MARGINALES

## Paso de Costos Marginales a Tarifas

Tarifa Binomia con Diferentes Períodos Horarios

Determinadas las dos funciones, se calculan la cuota de potencia y el precio de la energía de cada uno de los dos períodos tarifarios.

Para el período tarifario de valle sería:

$$C_3(H) = \mu_3 \cdot h_3 \quad \text{si se admite que} \quad p_3 \approx 0$$

# MÉTODO DE COSTOS MARGINALES

## Paso de Costos Marginales a Tarifas

Tarifa Binomia con Diferentes Períodos Horarios

Para la tarifa de Corta Utilización, el costo en  $H_0$

$$C_1(H_0) = P_1 + \alpha_1 \cdot H_0 = P_1 + \alpha_1 \cdot \frac{f_1(H_0)}{f_1(H_0)} \cdot H_0$$

llamando  $\gamma_1 = \alpha_1 \cdot \frac{H_0}{f_1(H_0)}$  queda  $C_1(H) = P_1 + \gamma_1 \cdot h_1$

# MÉTODO DE COSTOS MARGINALES

## Paso de Costos Marginales a Tarifas

Tarifa Binomia con Diferentes Períodos Horarios

Igualmente,

llamando  $\gamma_2 = \alpha_2 \cdot \frac{H_0}{f_2(H_0)}$  queda  $C_2(H) = P_2 + \gamma_2 \cdot h_2$

Por tanto, la tarifa para un suministro de corta utilización será:

Cuota de potencia	=	$P_1 + P_2$	\$/kW
Precio de energía en punta	=	$\gamma_1$	\$/kWh
Precio de energía en llano	=	$\gamma_2$	\$/kWh
Precio de energía en valle	=	$\mu_3 = \gamma_3$	\$/kWh