



Universitat de Girona

# Interrupción del servicio de energía eléctrica

**Calidad del servicio eléctrico [Power Quality]**

**Juan José Mora Flórez**

[jjmora@silver.udg.es](mailto:jjmora@silver.udg.es)

Girona, Marzo 4 de 2003



## Contenido

- + **Introducción**
- + **Interrupciones**
- + **Evaluación de la fiabilidad**
- + **Índices de continuidad**
- + **Costo asociado a interrupciones**
- + **Caso Español**
- + **Conclusiones**





# ⇒ Introducción

## Calidad del servicio

### Calidad comercial

### Calidad del suministro

### Calidad del producto

### Continuidad del suministro

Número y duración de interrupciones largas del suministro.

Índices de fiabilidad (Reliability) asociadas a interrupciones.



Introducción

Calidad del servicio

Marco regulatorio

Interrupciones

Evaluación de  
fiabilidad

Índices de  
continuidad

Costo de  
interrupciones

Caso Español

Conclusiones



# Nuevo marco regulatorio

## Introducción

Calidad del servicio

## Marco regulatorio

Interrupciones

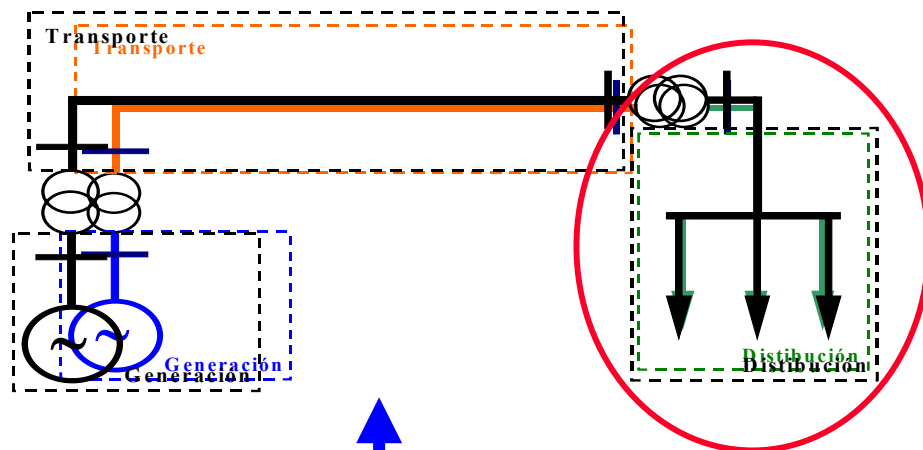
Evaluación de  
fiabilidad

Índices de  
continuidad

Costo de  
interrupciones

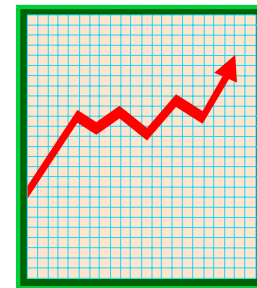
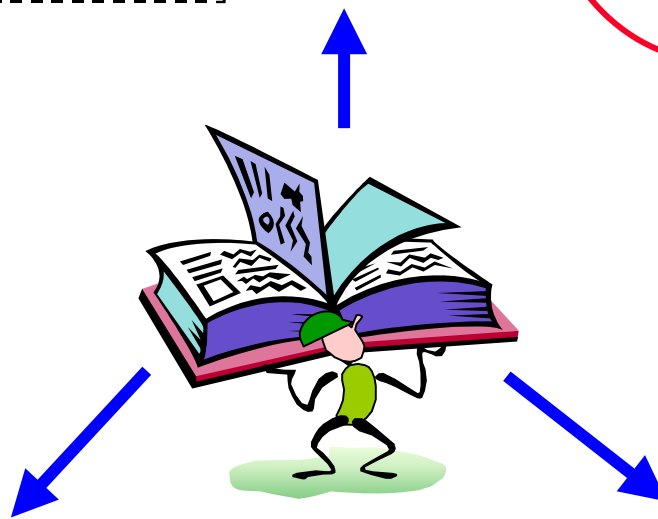
Caso Español

Conclusiones



Monopolio  
Natural

# Q?





# ⇒ Interrupciones

## Definición

Una interrupción es un evento durante el cual el voltaje, en el punto de conexión del cliente, cae a cero y no retorna a sus valores normales automáticamente.

De acuerdo con la **IEC**, el tiempo mínimo de una **larga interrupción** es de 3 minutos. Si el tiempo es menor a 3 min. se denomina corta interrupción.

Los estándares de la **IEEE** definen como **interrupciones sostenidas** a aquellas que duran más de 3 segundos [Std.1159] o más de 2 min.[Std.1250].

Introducción

**Interrupciones**

Definición

Origen

Principales causas

Evaluación de  
fiabilidad

Índices de  
continuidad

Costo de  
interrupciones

Caso Español

Conclusiones



Introducción

Interrupciones

Definición

Origen

Principales causas

Evaluación de  
viabilidad

Índices de  
continuidad

Costo de  
interrupciones

Caso Español

Conclusiones

# Origen

De acuerdo a su origen , las interrupciones se pueden clasificar en dos grandes grupos: **Interrupciones Programadas e Interrupciones Imprevistas.**

## Interrupciones programadas

Son aquellas que se avisan con la suficiente anticipación a los clientes.

Están claramente definidas en los marcos regulatorios de la mayoría de los mercados abiertos

## Interrupciones imprevistas

Son todas las que no se contemplan en la clasificación anterior.



Introducción

Interrupciones

Definición

Origen

Principales causas

Evaluación de  
fiabilidad

Índices de  
continuidad

Costo de  
interrupciones

Caso Español

Conclusiones

# Principales causas de las interrupciones en un sistema de energía eléctrica

## Generación

- Falta de inversión
- Sequías
- Crecimiento de la demanda
- Remuneración insuficiente

## Transporte

- Restricciones
- Falta de inversión
- Fallos en el sistema
- Mala actuación del sistema de protecciones



Introducción

Interrupciones

Definición

Origen

Principales causas

Evaluación de  
fiabilidad

Índices de  
continuidad

Costo de  
interrupciones

Caso Español

Conclusiones

## Distribución

- **Fallas**
- **Operación radial**
- **Longitud excesiva**
- **Construcción de sistemas baratos**

**La mayoría de las fallas ocurren en MT y BT. Éstas corresponden a valores entre el 80 y el 90 %, del total de las fallas del sistema eléctrico.**

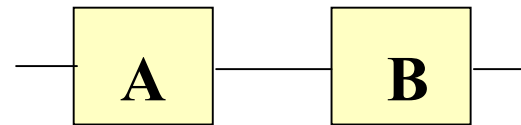




## ⇒ Evaluación de fiabilidad

### Tipos de sistemas a evaluar

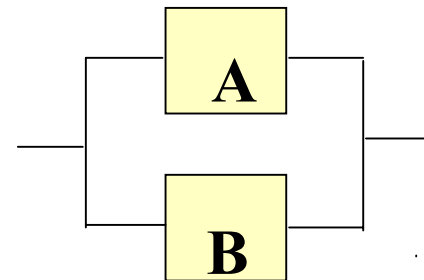
#### • Sistema serie



$$R_S = R_A * R_B$$

**R = Probabilidad de buen funcionamiento**

#### • Sistema paralelo



$$Q_P = Q_A * Q_B$$

**R = Probabilidad de mal funcionamiento**

Introducción

Interrupciones

Evaluación de fiabilidad

Tipos de sistemas

Método de conjunto de corte

Equipos críticos

Datos de fiabilidad

Métodos aproximados

Indicadores de continuidad

Costo de interrupciones

Caso Español

Conclusiones



Introducción

Interrupciones

valuación de  
abilidad

Tipos de sistemas

Método de conjunto  
de corte

Equipos críticos

Datos de fiabilidad

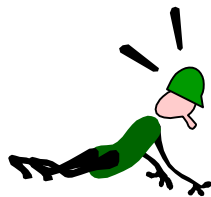
Métodos aproximados

Índices de  
continuidad

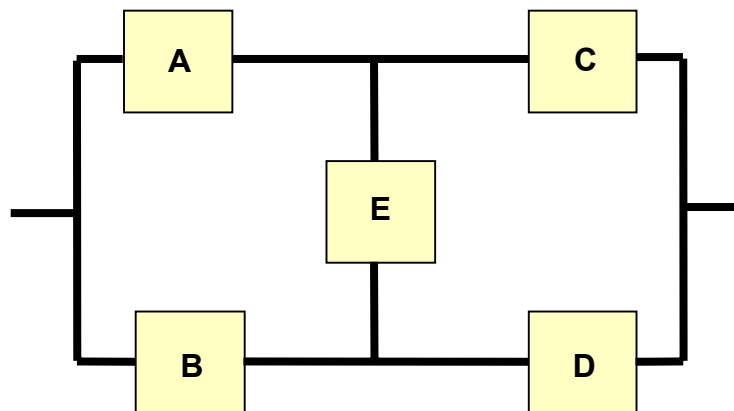
Costo de  
interrupciones

Caso Español

Conclusiones



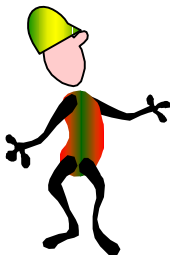
## Red tipo puente



**Aproximación  
condicional**

**mediante**

**probabilidad**



**Método de conjuntos de corte**



**Método de conjuntos de enlace**



# Método de los conjuntos de corte

Introducción

Interrupciones

Valoración de  
fiabilidad

Tipos de sistemas

Método de conjunto  
de corte

Equipos críticos

Datos de fiabilidad

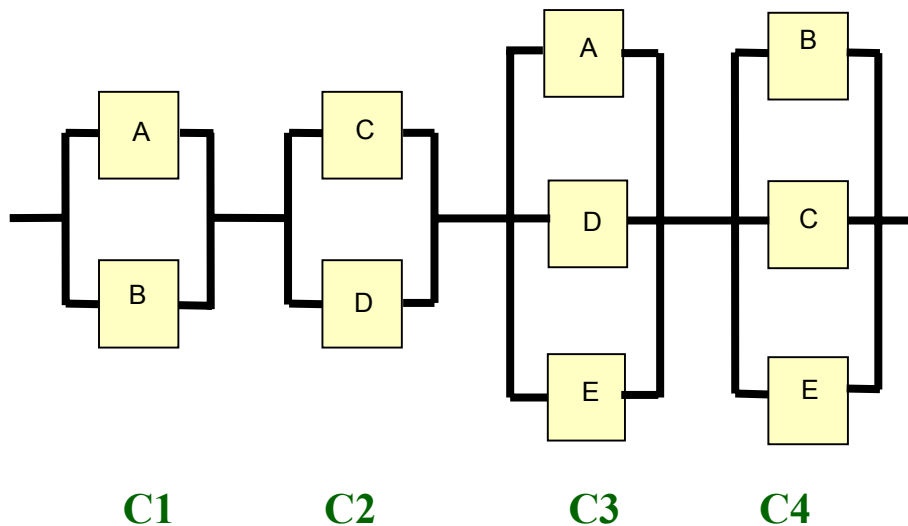
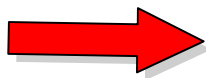
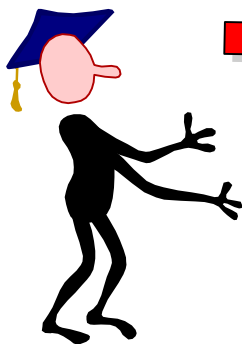
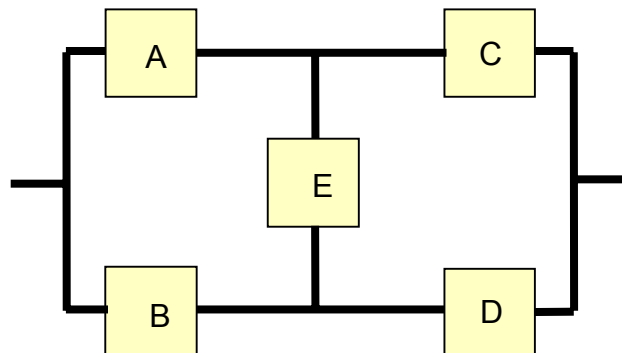
Métodos aproximados

Índices de  
continuidad

Costo de  
interrupciones

Caso Español

Conclusiones





# Selección de Equipos Críticos

Introducción

Interrupciones

evaluación de  
fiabilidad

Tipos de sistemas

Método de conjunto  
de corte

Equipos críticos

Datos de fiabilidad

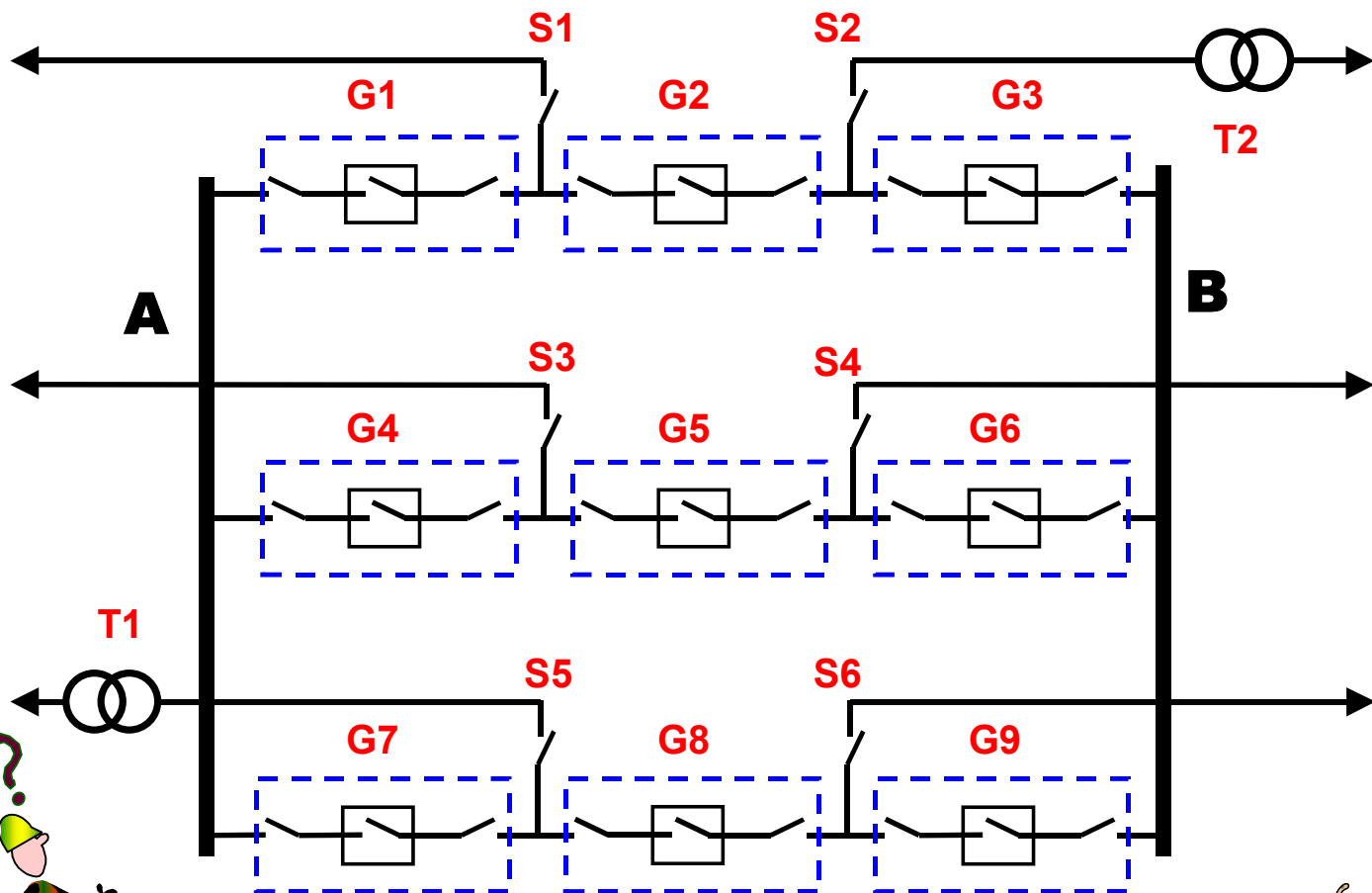
Métodos aproximados

Índices de  
continuidad

Costo de  
interrupciones

Caso Español

Conclusiones





# Selección de equipos críticos Fiabilidad

Introducción

Interrupciones

evaluación de fiabilidad

Tipos de sistemas

Método de conjunto de corte

Equipos críticos

Datos de fiabilidad

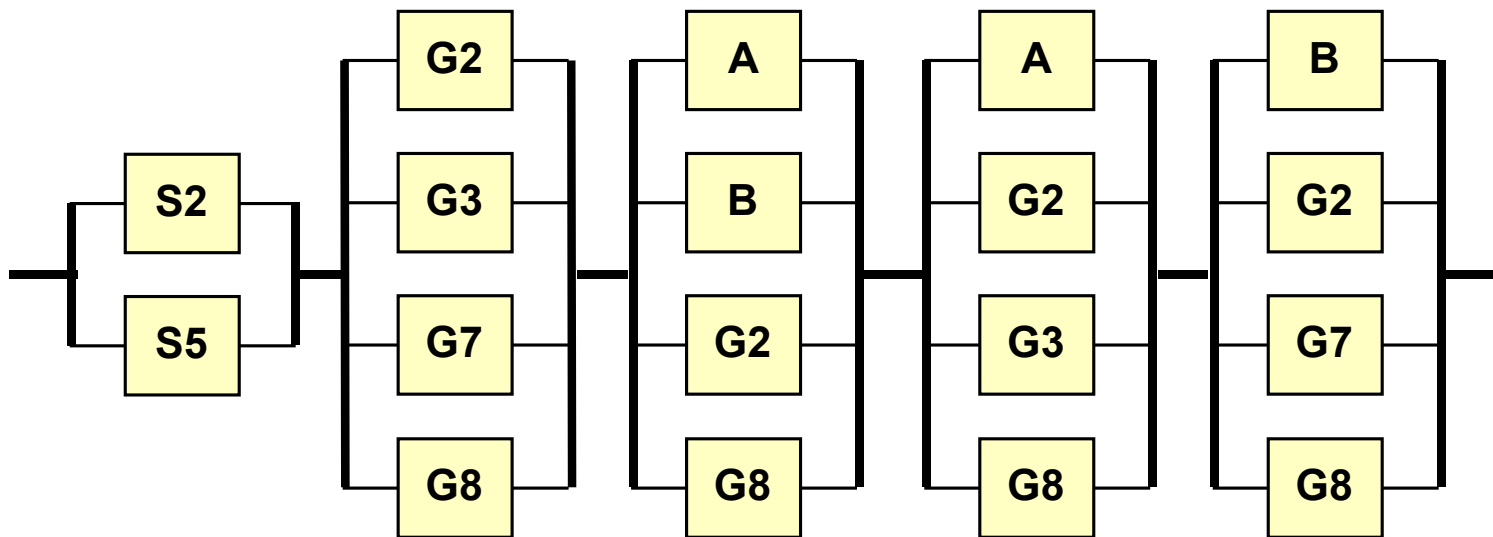
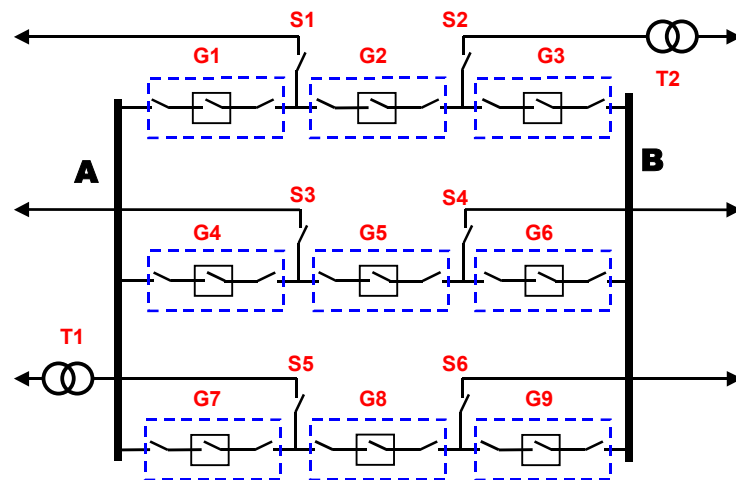
Métodos aproximados

Índices de continuidad

Costo de interrupciones

Caso Español

Conclusiones





# Datos para el cálculo de la fiabilidad

Introducción

Interrupciones

evaluación de  
abilidad

Tipos de sistemas

Método de conjunto  
de corte

Equipos críticos

Datos de fiabilidad

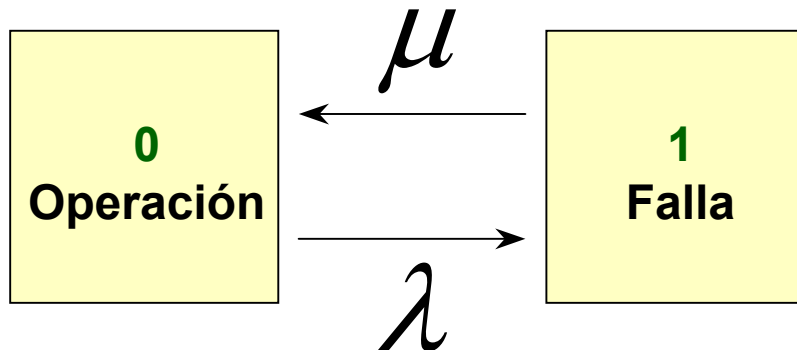
Métodos aproximados

Índices de  
continuidad

Costo de  
interrupciones

Caso Español

Conclusiones



$$\lambda \left[ \frac{\text{fallas}}{\text{año}} \right]$$

**Tasa de fallas**

$$\frac{1}{\mu} = r \left[ \text{horas} \right]$$

**Tasa de restablecimiento**

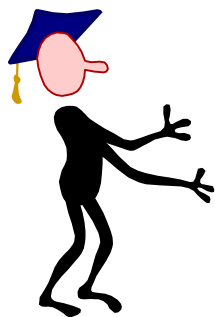
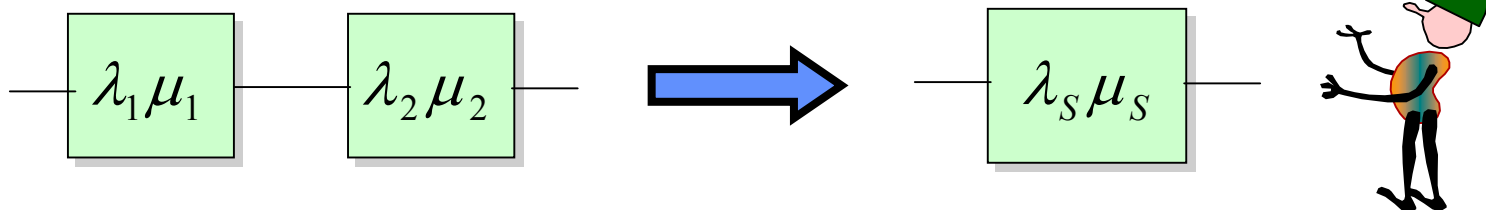
$$U \left[ \frac{\text{horas}}{\text{año}} \right]$$

**Indisponibilidad**



# Cálculo de fiabilidad con métodos aproximados

## Sistemas serie



$$\lambda_S = \sum_{i=1}^n \lambda_i$$

$$r_S = \frac{\sum_{i=1}^n \lambda_i r_i}{\lambda_S}$$

$$U_S \approx \sum_{i=1}^n \lambda_i r_i$$

Introducción

Interrupciones

evaluación de  
fiabilidad

Tipos de sistemas

Método de conjunto  
de corte

Equipos críticos

Datos de fiabilidad

Métodos  
aproximados

Índices de  
continuidad

Costo de  
interrupciones

Caso Español  
Conclusiones



## Sistemas paralelo

Introducción

Interrupciones

evaluación de  
abilidad

Tipos de sistemas

Método de conjunto  
de corte

Equipos críticos

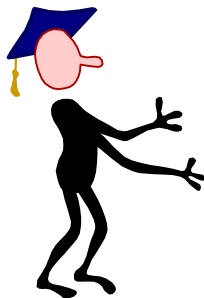
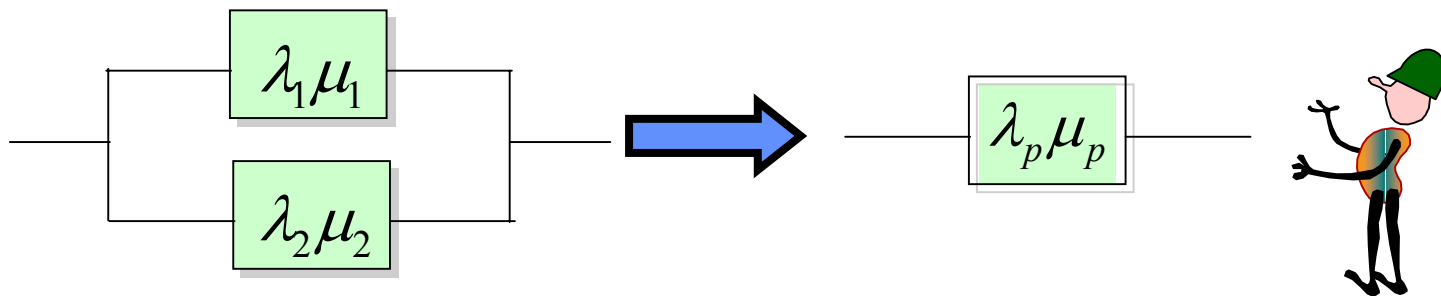
Datos de fiabilidad

Métodos  
aproximados

Índices de  
continuidad

Costo de  
interrupciones

Caso Español  
Conclusiones



$$\lambda_p \approx \lambda_1 \lambda_2 (r_1 + r_2)$$

$$r_p = \frac{r_1 r_2}{r_1 + r_2}$$

$$U_p = \lambda_p r_p$$





## ⇒ Índices de continuidad

### Índices individuales:

Número de interrupciones

Duración media

$ENS =$  Energía no suministrada

Introducción

Interrupciones

Evaluación de  
fiabilidad

Índices de  
continuidad

Índices individuales

Índices de sistema

Costo de  
interrupciones

Caso Español

Conclusiones



# Índices de sistema

Introducción

Interrupciones

Evaluación de  
fiabilidad

Índices de  
continuidad

Índices individuales

Índices de sistema

Costo de  
interrupciones

Caso Español

Conclusiones

## Tiempo de interrupción equivalente de la potencia instalada

$$TIEPI = \frac{\text{kVA instalados interrumpidos} \times \text{horas interrupción}}{\text{Potencia total instalada (kVA)}}$$

## Número de interrupciones equivalentes de la potencia instalada

$$NIEPI = \frac{\text{Potencia instalada interrumpida (kVA)}}{\text{Potencia total instalada (kVA)}}$$

---

---

## System average interruption duration index

$$SAIDI = \frac{\sum \text{Duración de las interrupciones a clientes}}{\text{Número total de clientes}}$$

## System average interruption frequency index

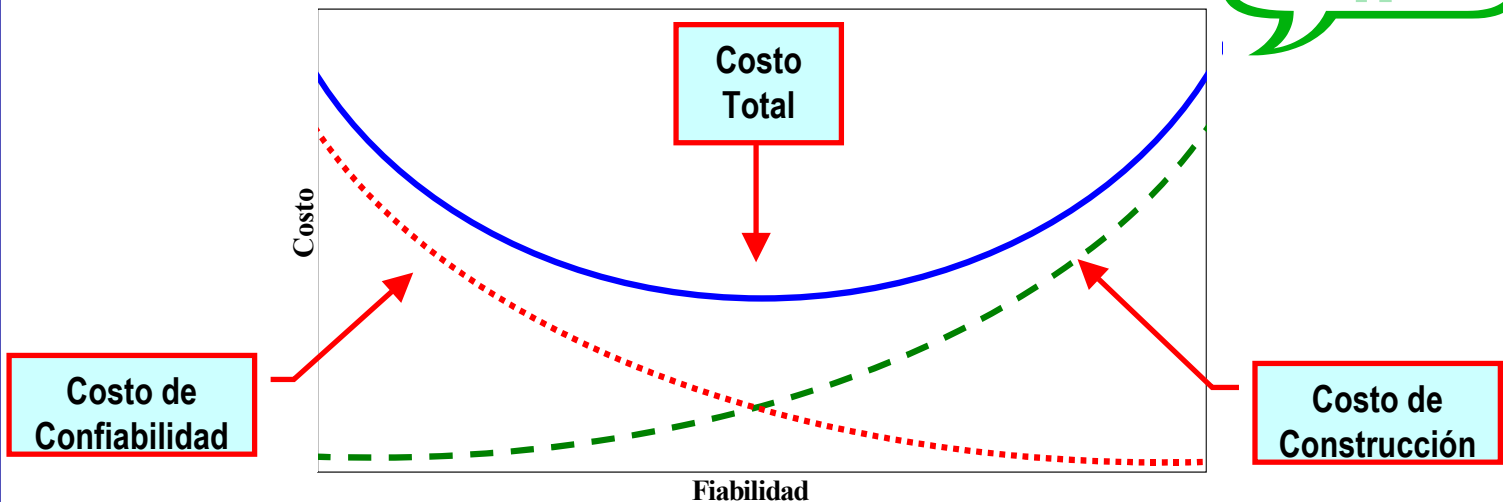
$$SAIFI = \frac{\sum \text{Interrupciones a clientes}}{\text{Número total de clientes}}$$



# ⇒ Costo de las interrupciones



## Relación del costo y la fiabilidad



- Inversión adicional no siempre brinda mas fiabilidad al sistema
- Los dos términos asociados al costo se deben tener en consideración. El término asociado a la construcción tiene una pequeña incertidumbre, mientras que el costo de fiabilidad tiene una gran incertidumbre en su forma de cálculo

Introducción

Interrupciones

Evaluación de  
fiabilidad

Índices de  
continuidad

Costo de  
interrupciones

Costo vs fiabilidad

Términos del costo

Cuantificación del  
costo

Caso Español

Conclusiones



Introducción

Interrupciones

Evaluación de  
fiabilidad

Índices de  
continuidad

Costo de  
interrupciones

Costo vs fiabilidad

Términos del costo

Cuantificación del  
costo

Caso Español

Conclusiones

## Términos asociados al costos de las interrupciones

### Costos directos

Son aquellos que son directamente atribuibles a las interrupciones.

### Costos indirectos

Este tipo de costos son mas difíciles de evaluar y están asociados a las consecuencias de los efectos directos de interrupciones.

### Costo de inconveniencia no material

Este tipo de costos están asociados al dinero que un cliente pagaría por no tener una interrupción.



Introducción

Interrupciones

Evaluación de  
fiabilidad

Índices de  
continuidad

Costo de  
interrupciones

Costo vs fiabilidad

Términos del costo

Cuantificación del  
costo

Caso Español

Conclusiones

# Cuantificación de los costos de las interrupciones

## Costo por interrupción

Es aquel que cada cliente individual puede determinar a través de un inventario de todos sus costos directos e indirectos.

## Costo por kilovatio interrumpido

$$\frac{\sum C_i(d)}{\sum L_i} \quad [\$ / kW]$$

$C_i(d)$ : Costo de una interrupción de duración  $d$  para el cliente  $i$ .

$L_i$ : Carga del consumidor justo antes de la interrupción.

## Costo por kilovatio-hora no entregado

$$\frac{\sum C_i(d)}{d \sum L_i} \quad [\$ / kWh]$$



## ⇒ Caso Español

Introducción

Interrupciones

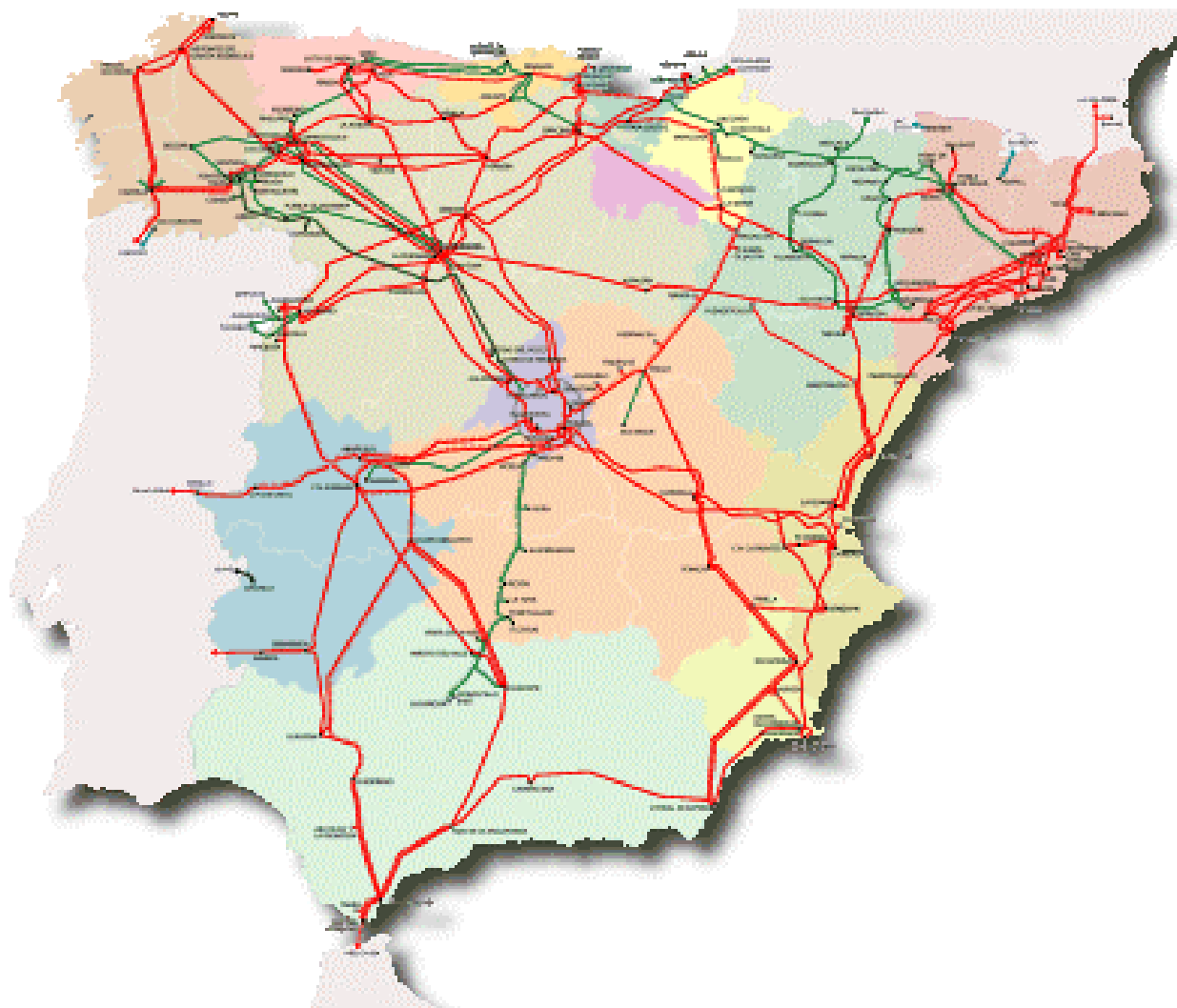
Evaluación de  
fiabilidad

Índices de  
continuidad

Costo de  
interrupciones

Caso Español  
Marco Legal  
Límites

Conclusiones





# Marco Legal



Introducción

Interrupciones

Evaluación de  
calidad

Índices de  
continuidad

Costo de  
interrupciones

[Marco Español](#)

[Marco Legal](#)

[Límites](#)

Conclusiones

El **Real Decreto 1955 del 2000** que regula la calidad del servicio

Contenido:

- Continuidad del suministro (**Número y duración de interrupciones**)
- Calidad del producto
- Calidad en la atención y relación con el cliente



## Límites

Introducción

Interrupciones

Evaluación de  
fiabilidad

Índices de  
continuidad

Costo de  
interrupciones

[Ley Española](#)  
[Marco Legal](#)  
[Límites](#)

Conclusiones

### Media tensión (de 1 a 36 Kv)

Clasificación	Nº Horas	Nº Interrupciones
zona urbana	4	8
zona semiurbana	8	12
zona rural concentrada	12	15
zona rural dispersa	16	20

### Baja tensión (menor o igual a 1 Kv)

Clasificación	Nº Horas	Nº Interrupciones
zona urbana	6	12
zona semiurbana	10	15
zona rural concentrada	15	18
zona rural dispersa	20	24





## ⇒ Conclusiones

La mayoría de las fallas ocurren en distribución, que es un monopolio natural y también el principal responsable de la continuidad del servicio.

El nuevo entorno regulatorio del mercado eléctrico, hace énfasis en la calidad de la energía y también en las penalizaciones que deben pagar las empresas eléctricas, por la mala prestación del servicio.

Introducción

Interrupciones

Evaluación de  
continuidad

Índices de  
continuidad

Costo de  
interrupciones

Caso Español

Conclusiones



## ⇒ Conclusiones

Las distribuidoras de energía deben conocer su sistema y realizar las inversiones para mantener la continuidad del servicio

Introducción

Interrupciones

Evaluación de  
continuidad

Índices de  
continuidad

Costo de  
interrupciones

Caso Español

Conclusiones



Preguntas ?

