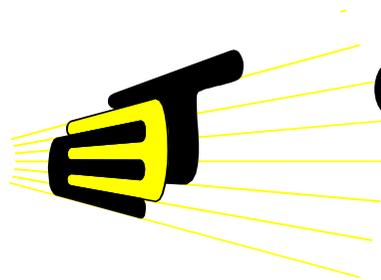




CONSTRUIMOS FUTURO

# Descripción Física y Funcional de los Sistemas de Distribución



Gilberto Carrillo Caicedo

# Contenido



- **Introducción**
- **Definición**
- **Planeación**
- **Operación**
- **Diseño**
- **Automatización y Redes Inteligentes**
- **Estudio de Comportamiento**
- **Conclusiones**



CONSTRUIMOS FUTURO

# Criterios

Electricidad → Producto

Despacho  
Transmisión  
Distribución

→ Servicio

# Contenido



- **Introducción**
- Definición
- **Planeación**
- **Operación**
- **Diseño**
- **Automatización y Redes Inteligentes**
- **Estudios de Comportamiento**
- **Conclusiones**

# Definición



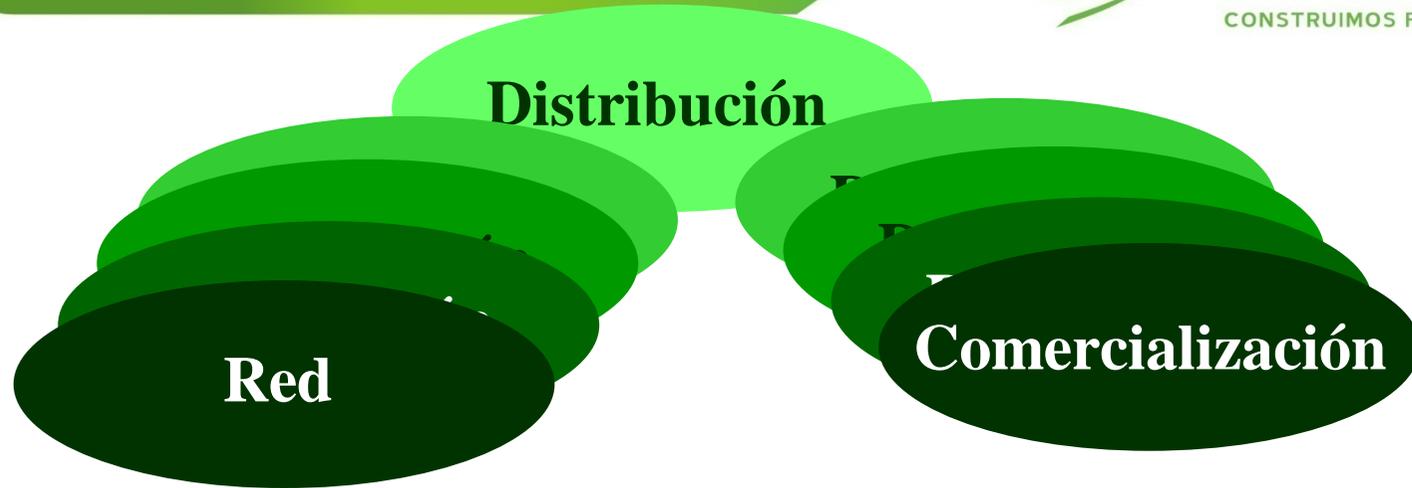
Líneas y subestaciones, con sus equipos asociados, destinados al servicio de los usuarios de un municipio o municipios adyacentes o asociados.

220 V; 13,2 kV; 34,5 kV

115 kV



CONSTRUIMOS FUTURO



Instalaciones  
Operación  
Mantenimiento  
Gestión de demanda

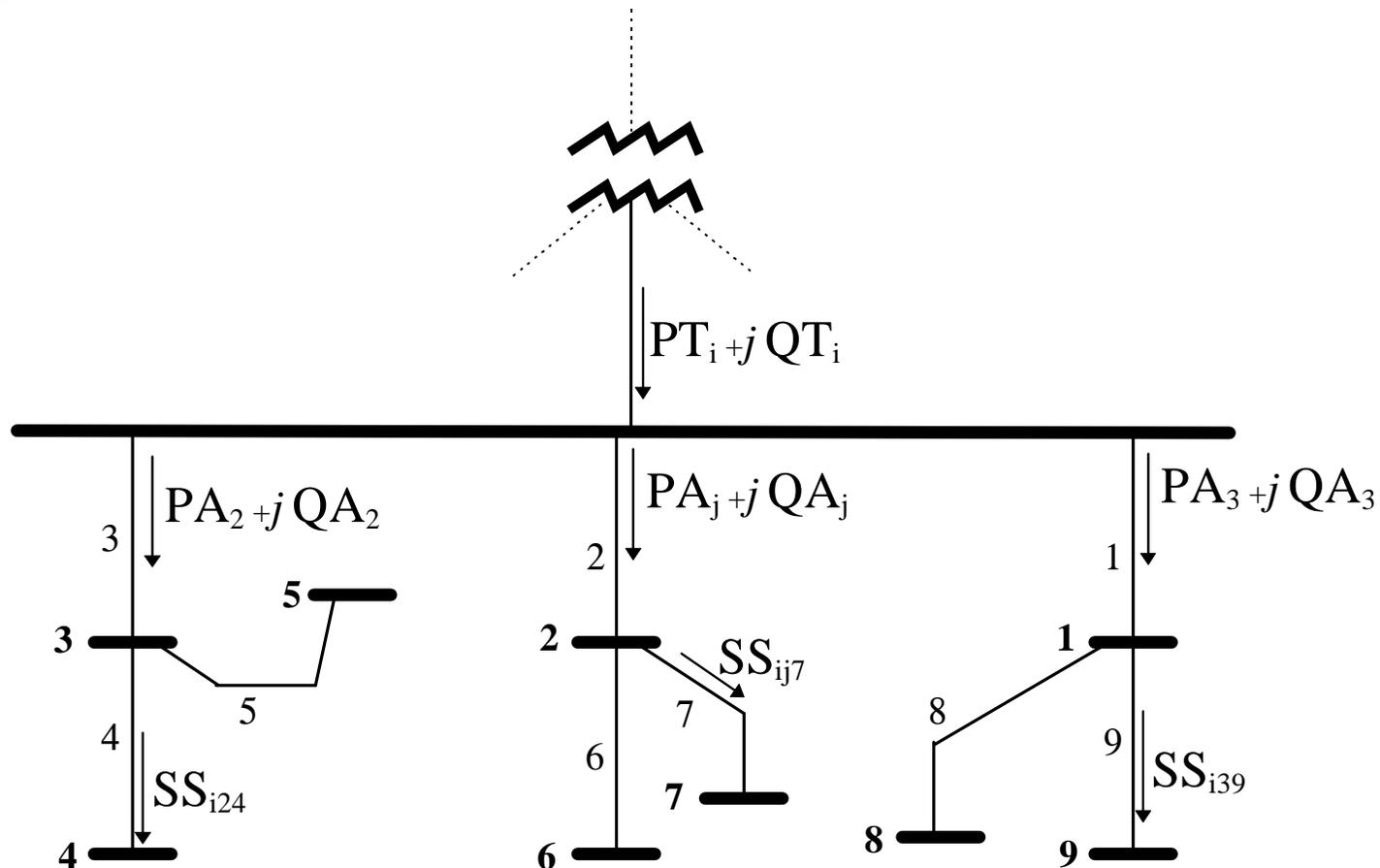
Administración  
Facturación  
Suministro  
Gestión de demanda



# Esquema Básico



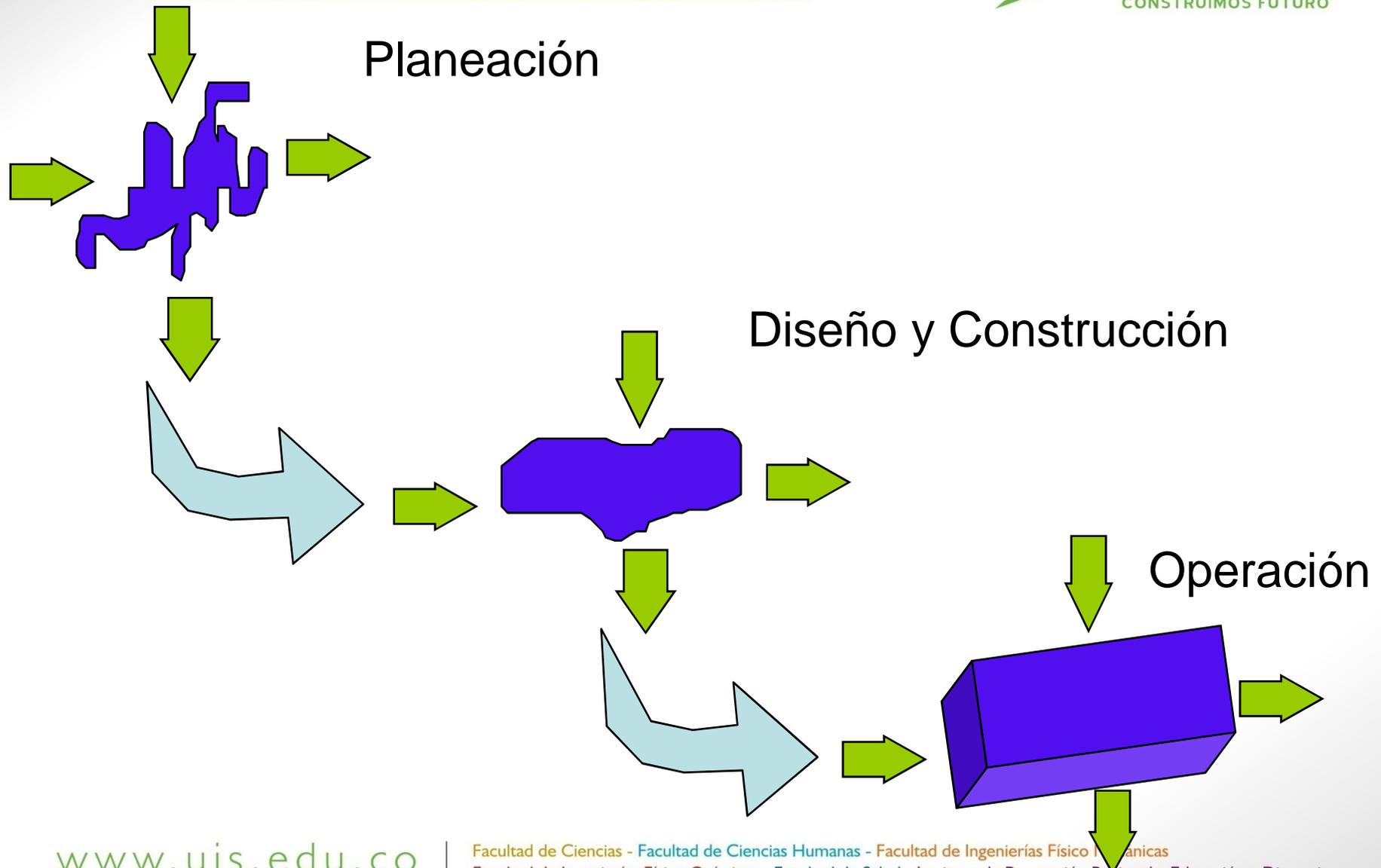
CONSTRUIMOS FUTURO



# PROCESO



CONSTRUIMOS FUTURO



# Contenido



- **Introducción**
- **Definición**
- **Planeación**
- **Operación**
- **Diseño**
- **Automatización y Redes Inteligentes**
- **Estudio de Comportamiento**
- **Conclusiones**

# Largo y Corto Plazos



↓ PARA UNA D DADA

MODELO DE EXPANSIÓN :

$$\min_K CT(K,D) = CF(K) + CV(K,D)$$

SIENDO :

D dada

K dado

MODELO DE OPERACIÓN

$$CV(K,D) = \min_C CV(K,C)$$

$$\text{SUJETO A: } D = f(K,C)$$

# Estudios de Inversión

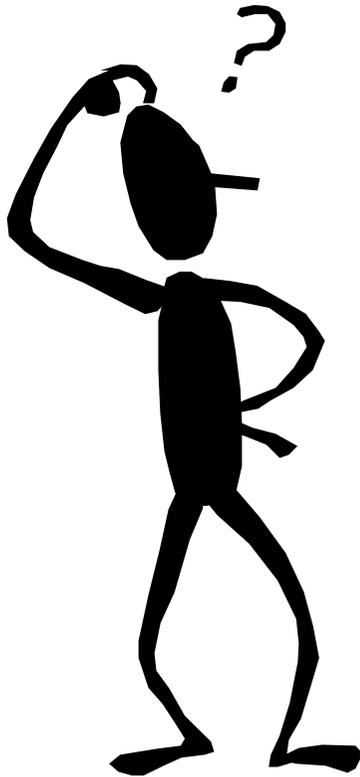
- **Técnico: Factibilidad**
- **Financiero: Rentabilidad**
- **Económico: Eficiencia**
- **Social: Recursos humanos**
- **Ambiental: Recursos naturales**





CONSTRUIMOS FUTURO

# Criterio de inversión

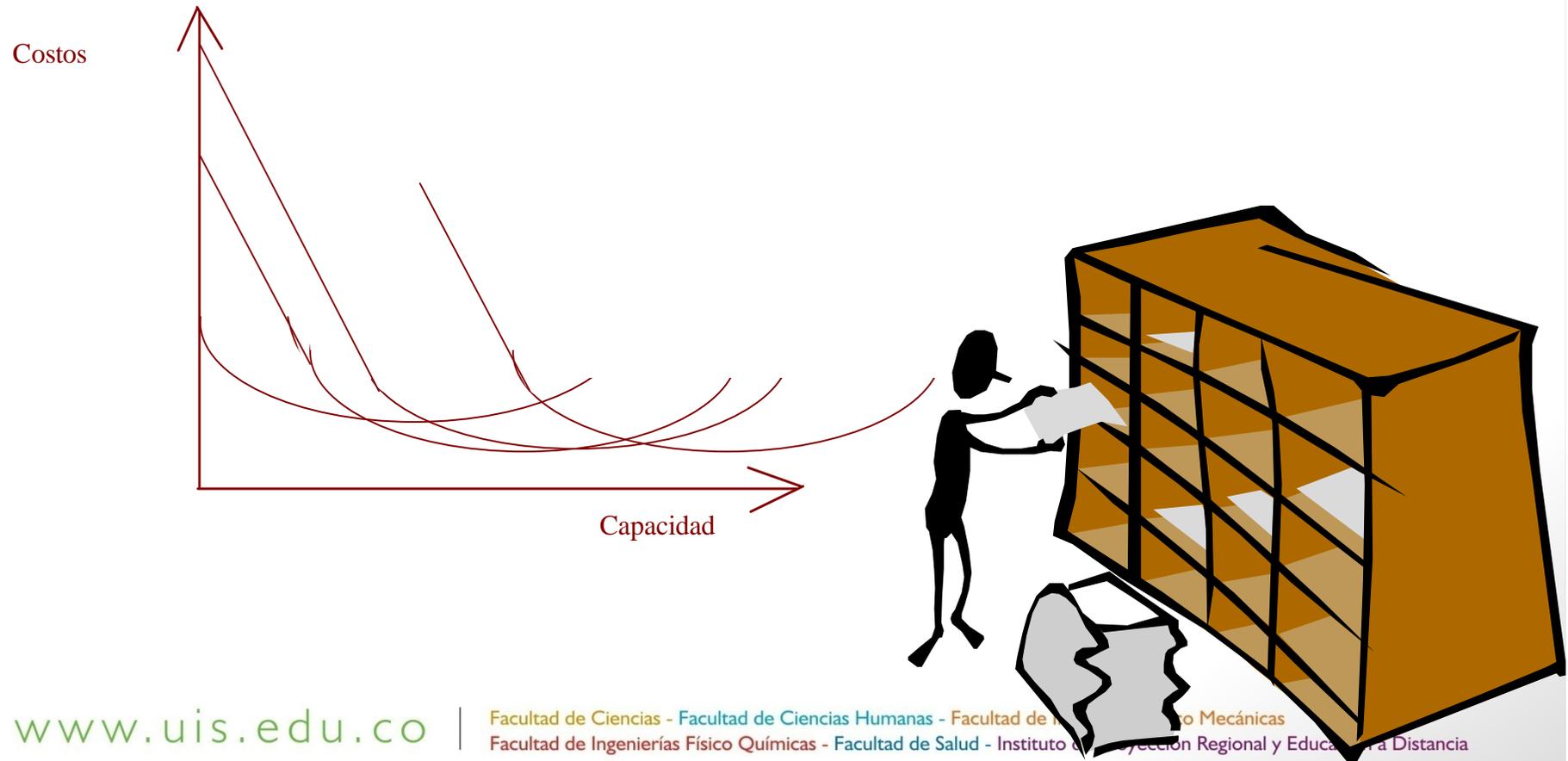


$$\frac{\partial BGN_{cp}^*}{\partial K_G} = \frac{\partial INV}{\partial K_G}$$



CONSTRUIAMOS FUTURO

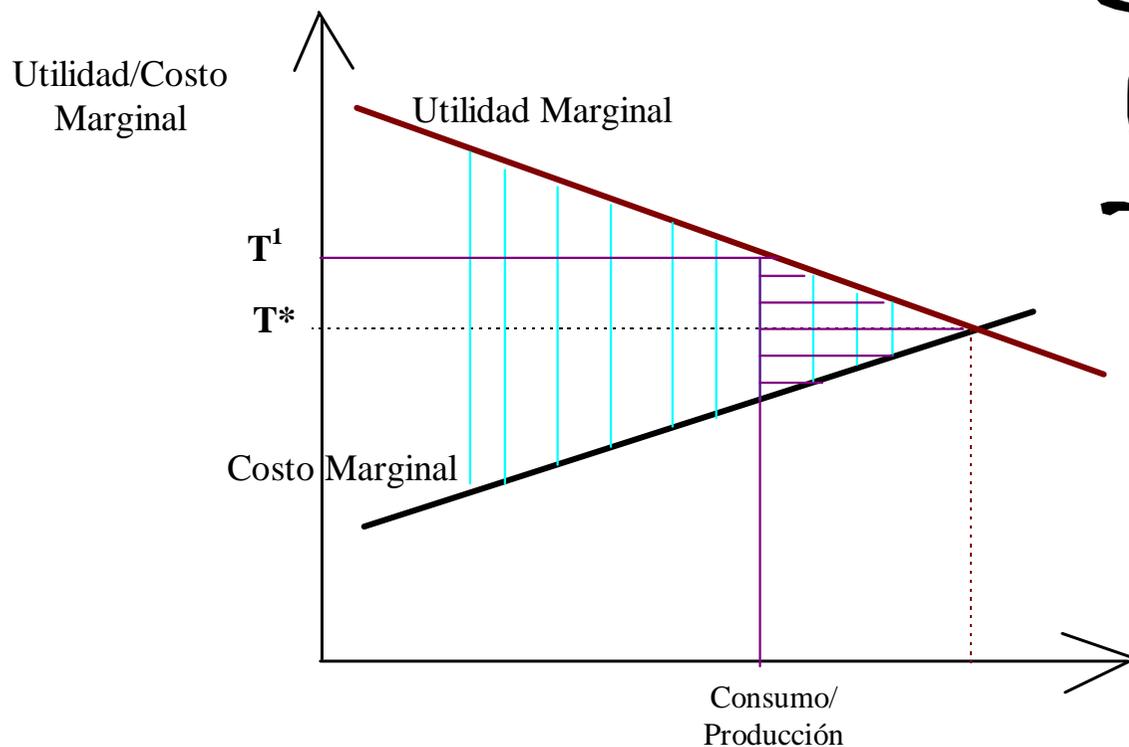
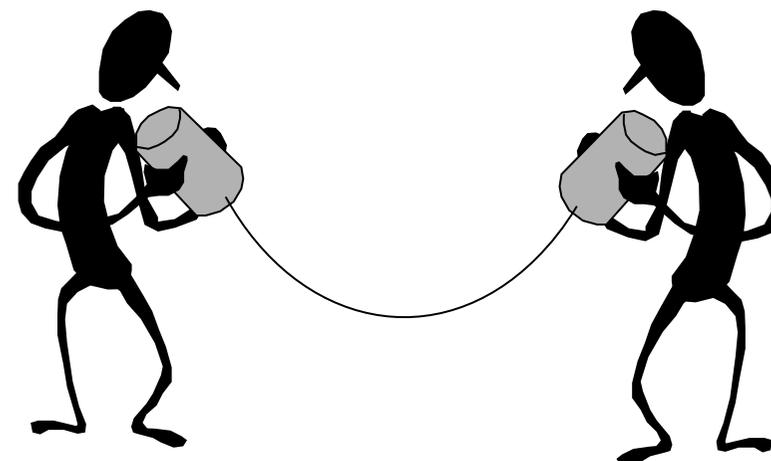
# Definición Estrategia



# Equilibrio

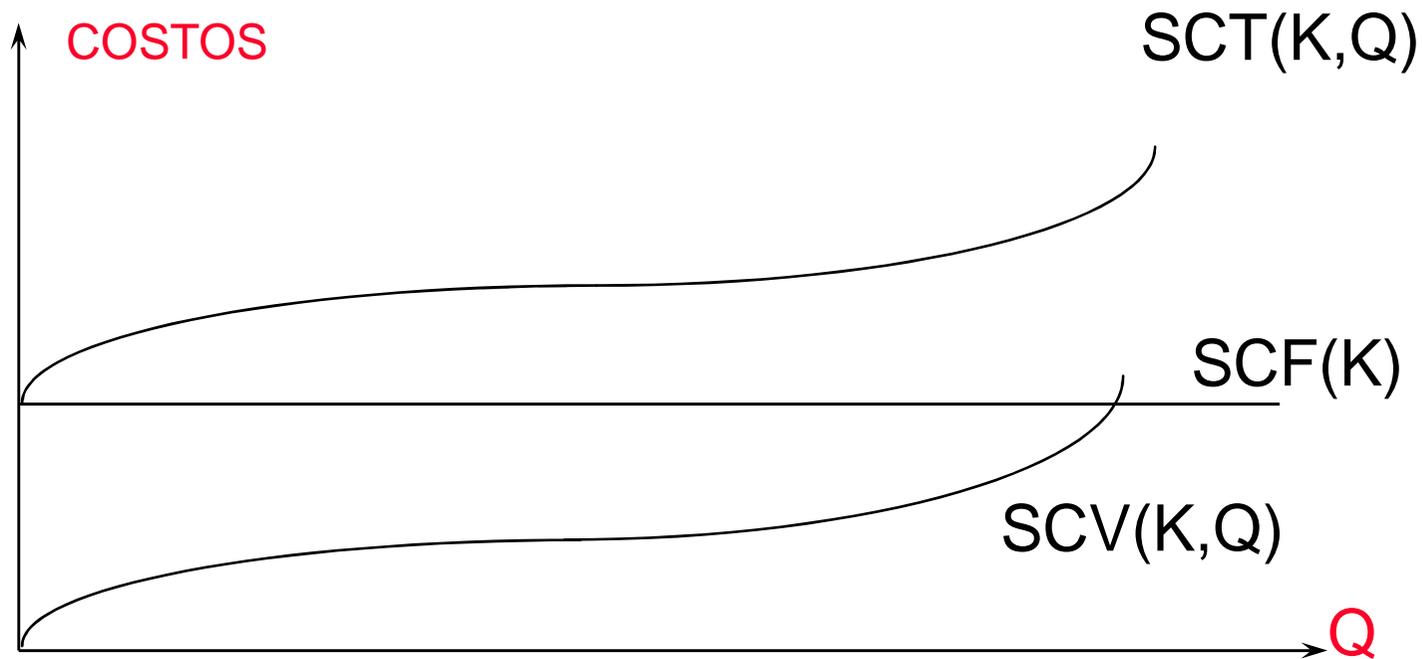


CONSTRUIMOS FUTURO





CONSTRUIMOS FUTURO

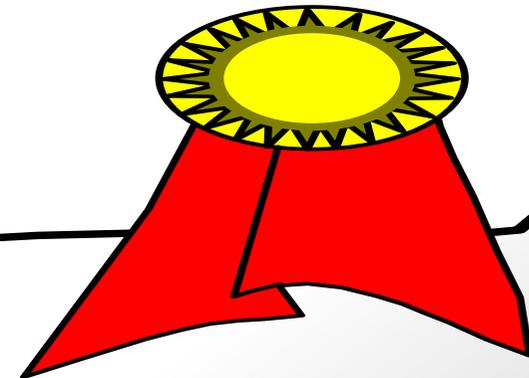


# Expansión



CONSTRUIMOS FUTURO

Acciones de Inversión  
para proveer energía a  
*nuevos* usuarios.



# Demanda



## Estimación de demanda

Modelo Temporal

Corto Plazo, Mediano plazo y Largo plazo

Agregación

Micro-áreas y agregados

Tipo de información utilizada

Econométrica y climatológica

## Gestión de demanda

Programas encaminados a modificar los hábitos de consumo de los usuarios

# Planeación



CONSTRUIMOS FUTURO

- Investigación del sistema
- Proyección de demanda
- Optimización
- Evaluación y Selección de alternativas
- Desarrollo del plan

# Investigación del Sistema



## INVENTARIO DE REDES

- ~ Subestaciones
- ~ Subtransmisión
- ~ Distribución primaria
- ~ Distribución secundaria

## DESCRIPCIÓN DEL MERCADO

- 📄 Tipo y Numero de consumidores
- 📄 Consumos de Energía y Potencia
- 📄 Estructura Tarifaria
- 📄 Cobertura
- 📄 Alimentación Alternativa

# Proyección de la Demanda

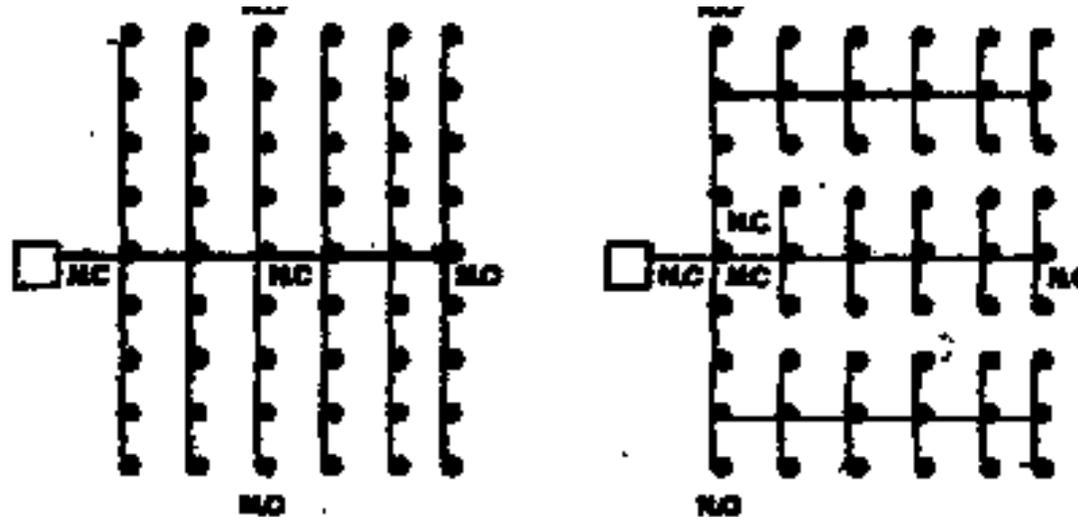


- ~ División en Micro áreas
- ~ Recolección de Información
  - ~ Usuarios
  - ~ Consumos
  - ~ Uso de suelos
  - ~ Natalidad
  - ~ Ingresos
  - ~ Datos históricos
- ~ Estimación de la Demanda
  - ~ Tasas
  - ~ Modelo
$$\left\{ \begin{array}{l} demanda = Ae^{(Bt)} \\ demanda = A + Bt \end{array} \right.$$
- ~ Estrategias de Minimización



CONSTRUIMOS FUTURO

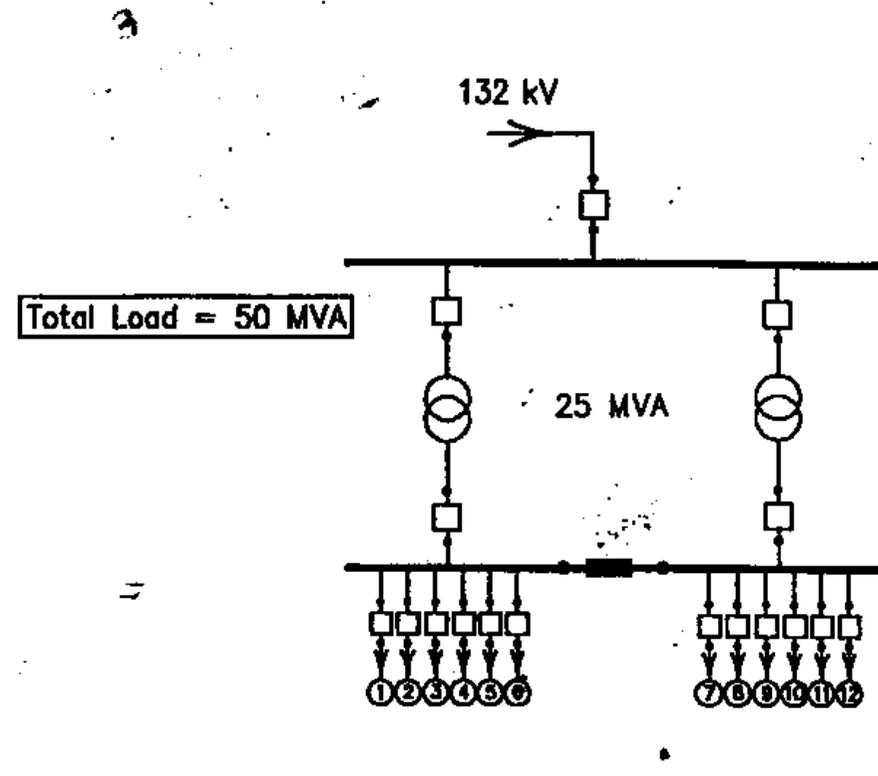
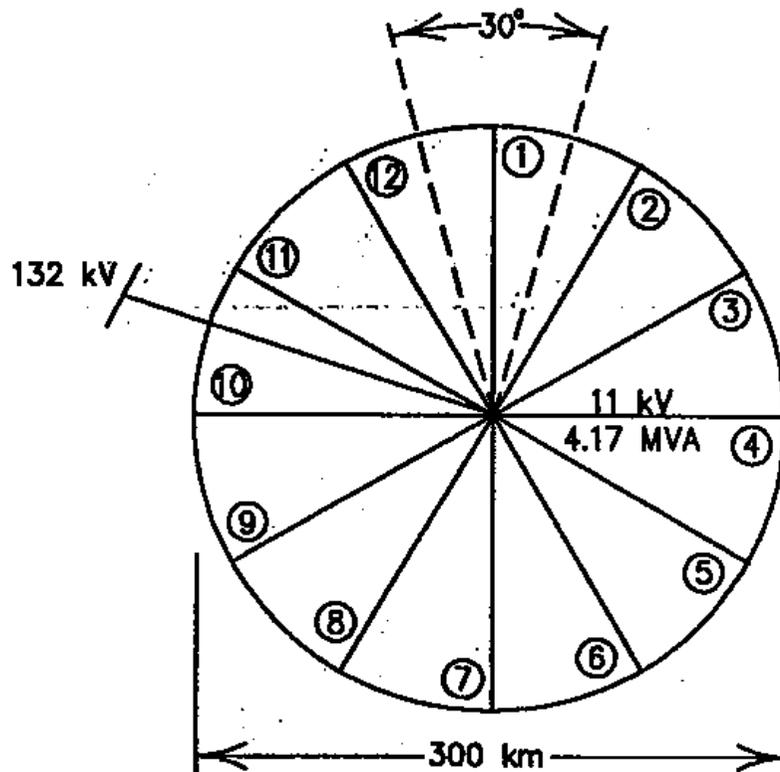
# IDENTIFICACION DE ALTERNATIVAS



# OPTIMIZACION



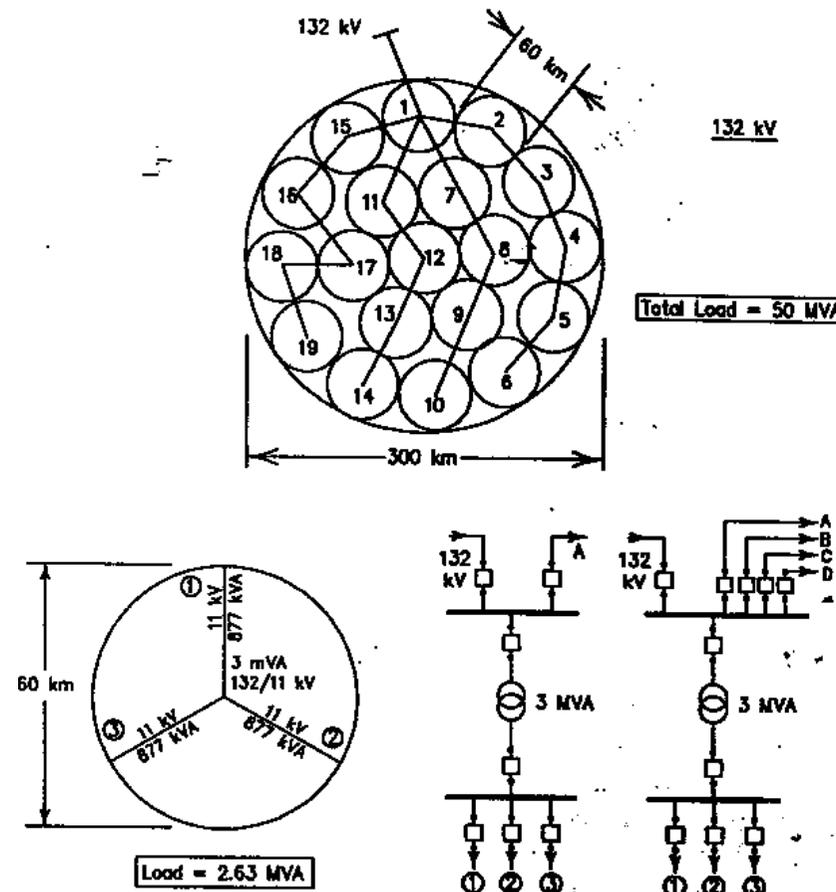
CONSTRUIMOS FUTURO





CONSTRUIMOS FUTURO

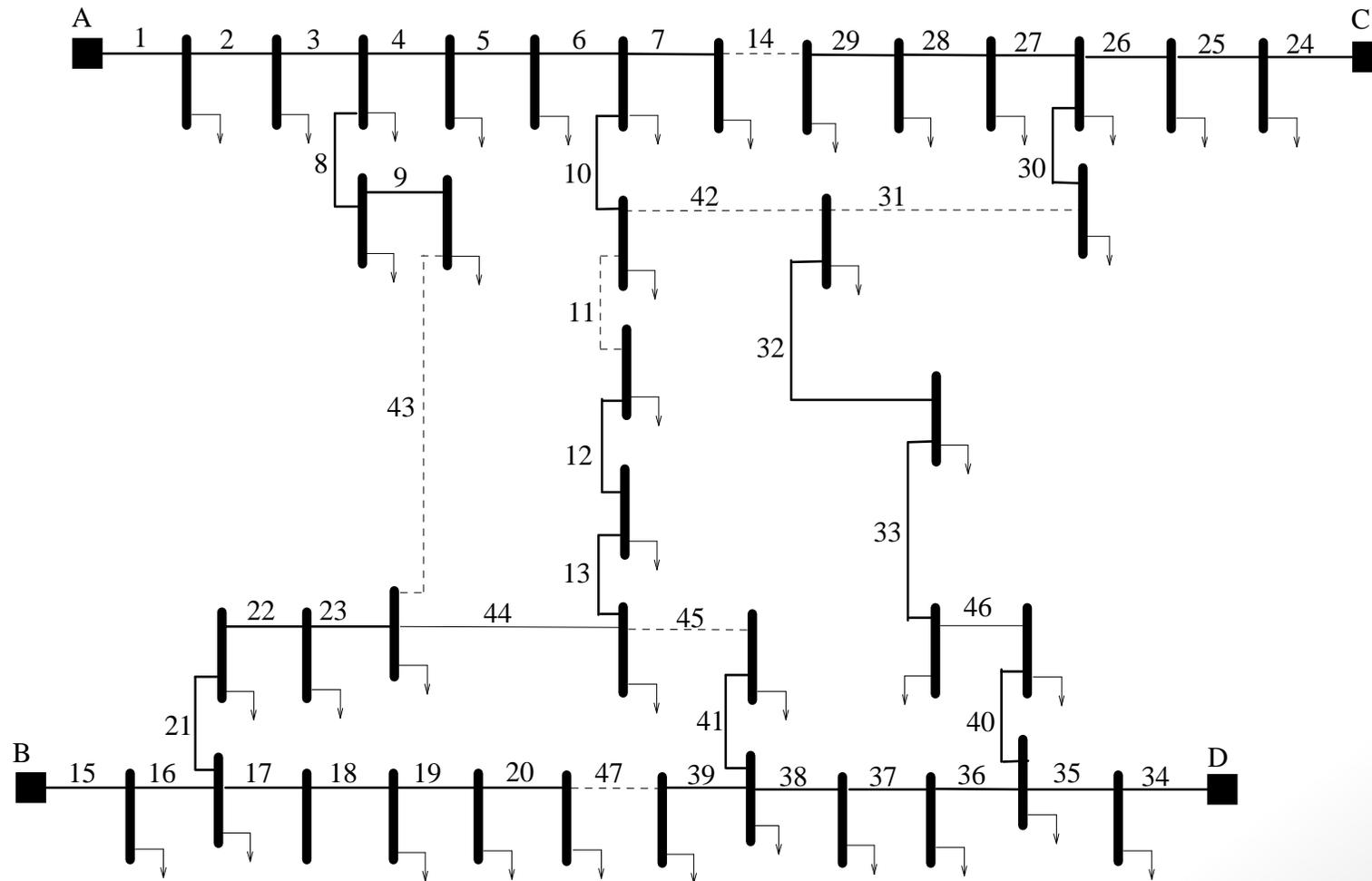
# SELECCIÓN DE ALTERNATIVAS



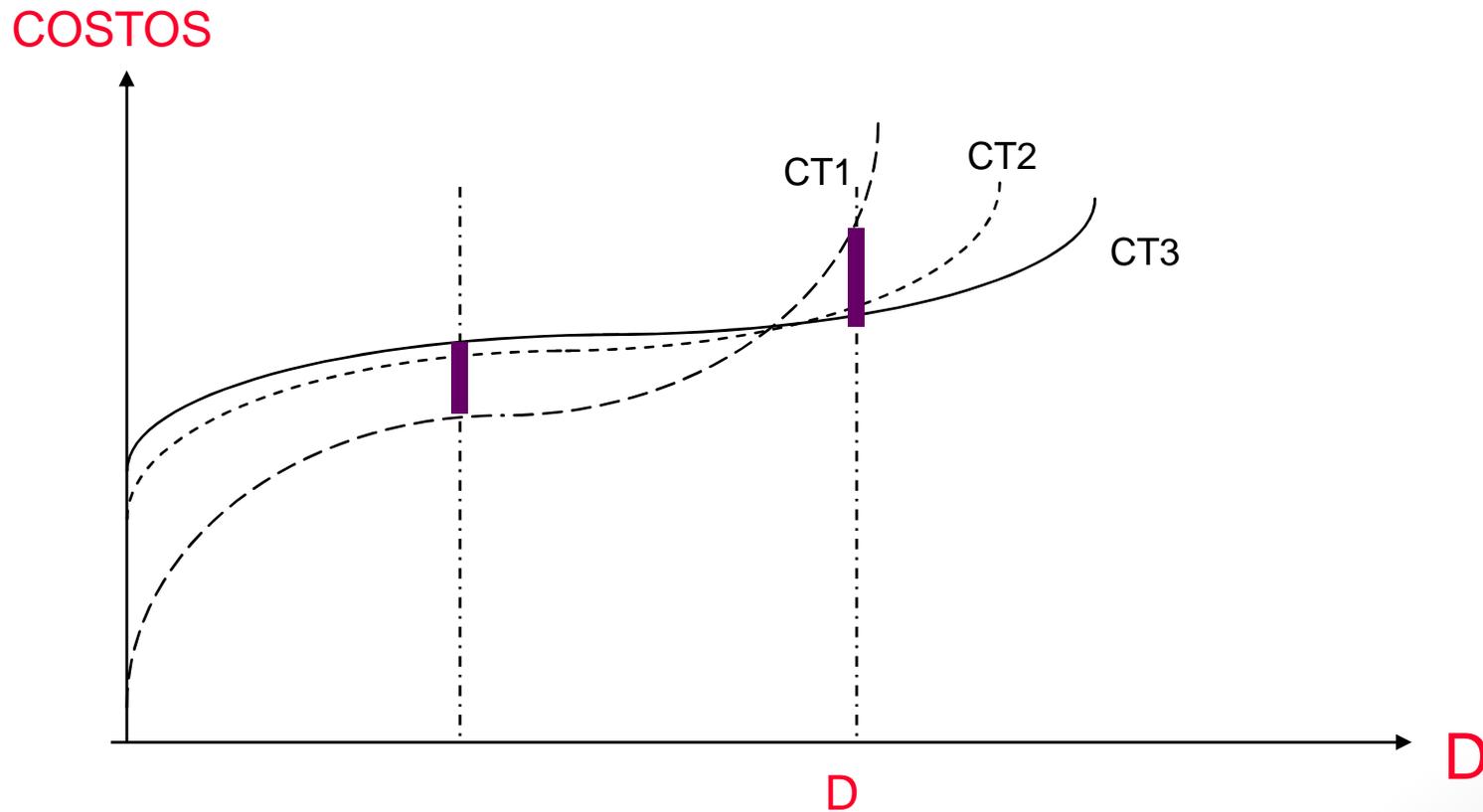
# DESARROLLO



CONSTRUIMOS FUTURO



# ERRORES DE ESTIMACION



# Contenido



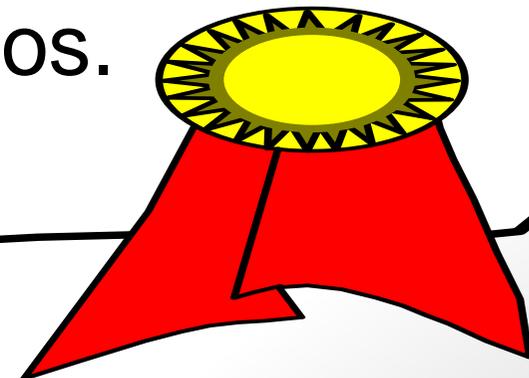
- Introducción
- Definición
- Planeación
- Operación
  - Diseño
- Automatización y Redes Inteligentes
- Estudios de Comportamiento
- Conclusiones



FUTURO

# Diseño

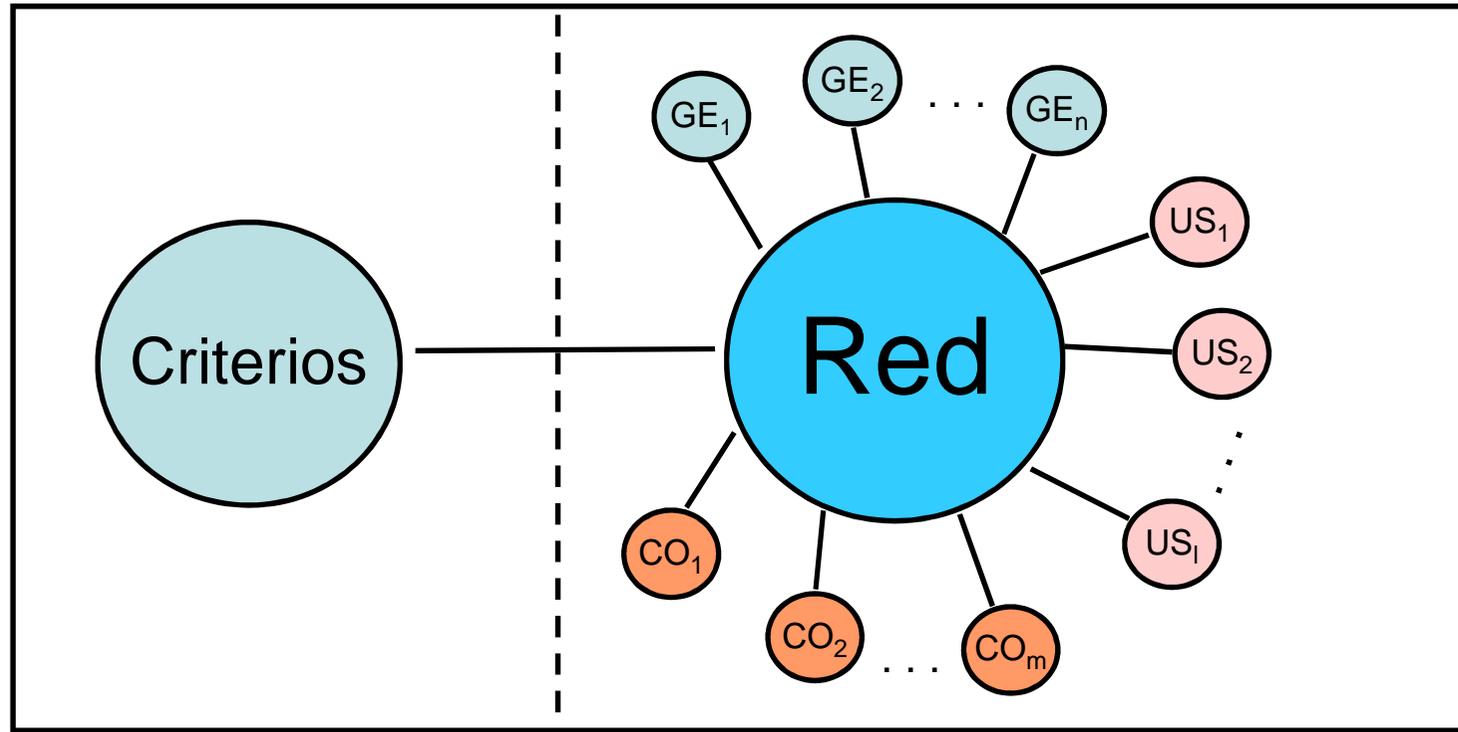
Estructuración y precisión de los proyectos a construir, considerando la definición y programación de recursos.



# Diseño



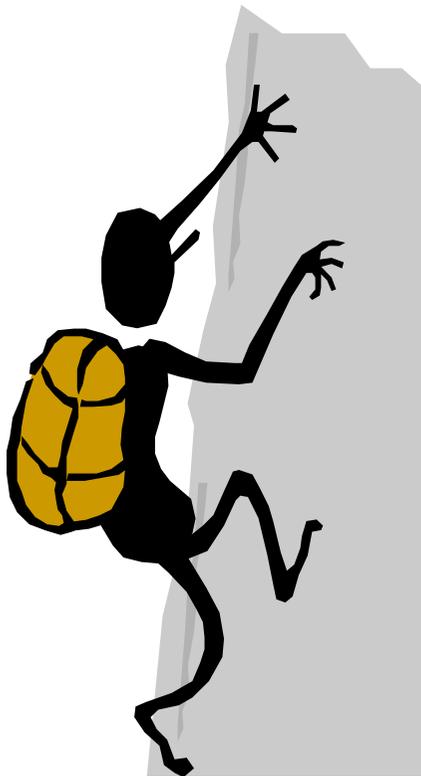
CONSTRUIMOS FUTURO



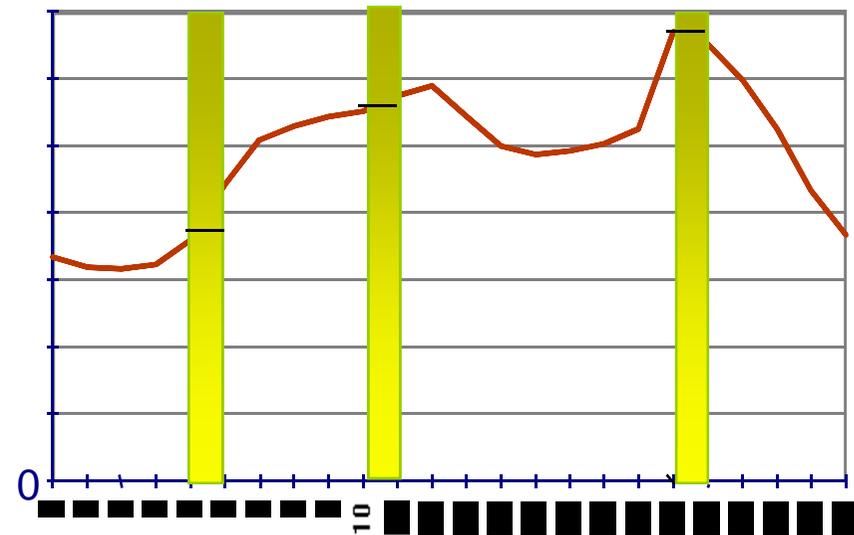
# Criterios



CONSTRUIMOS FUTURO

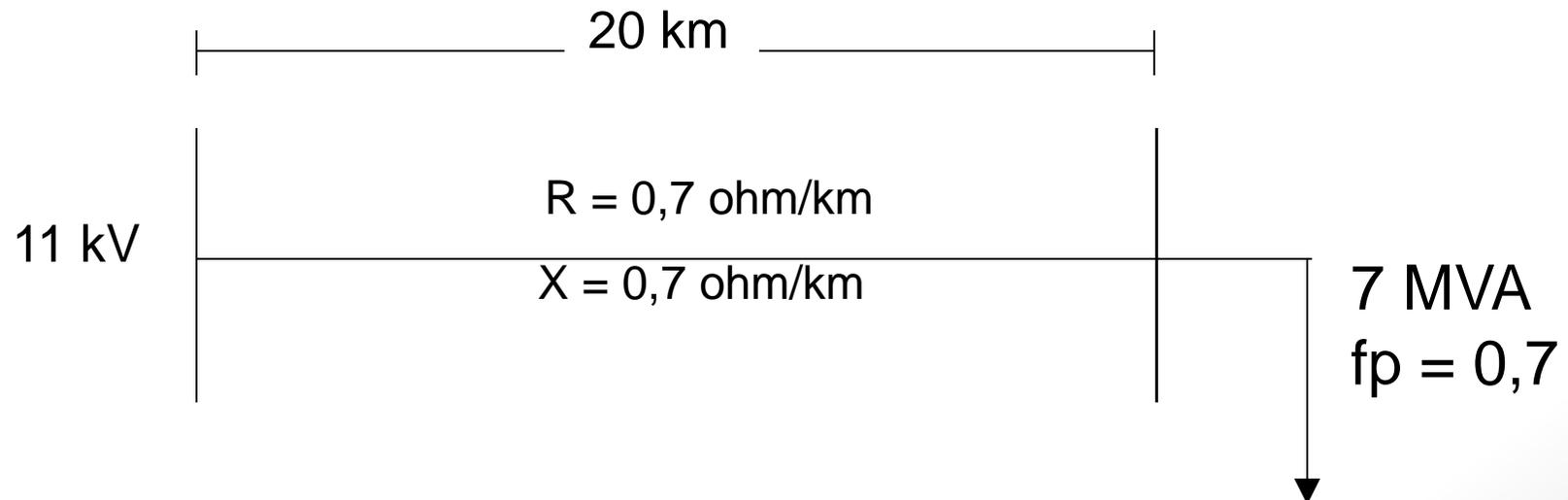


Demanda  
Alimentación  
Diversidad  
Carga  
Conexión  
Control  
Protección



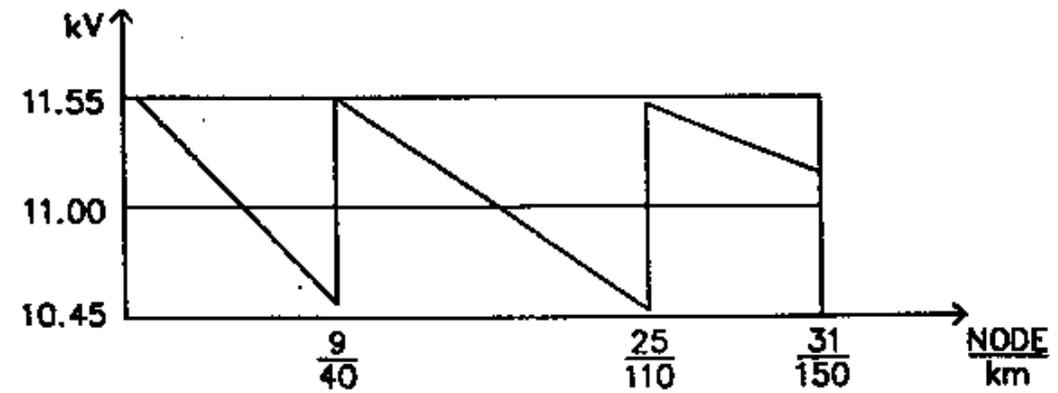
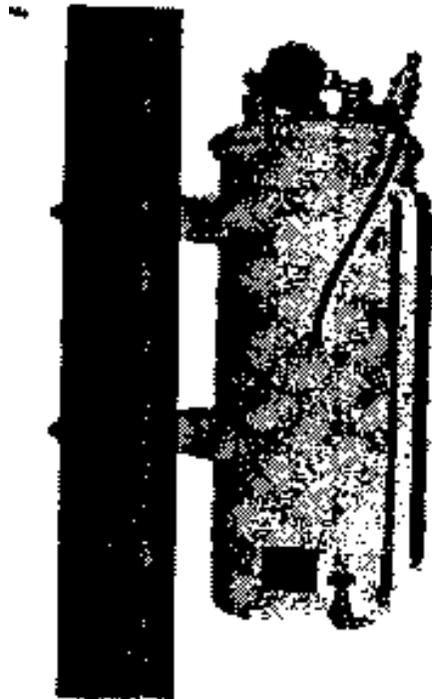


## Regulación de Tensión





CONSTRUIMOS FUTURO

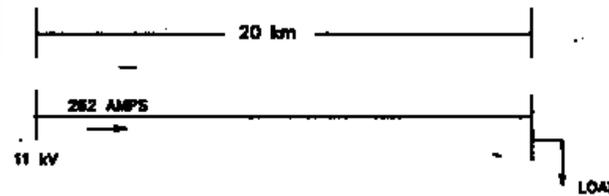




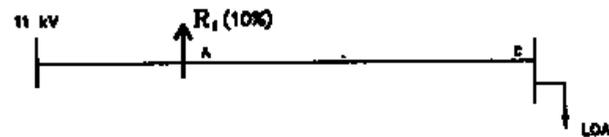
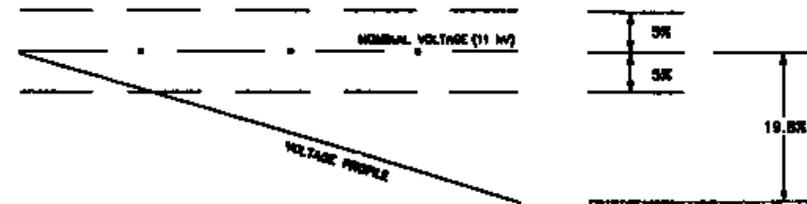
Universidad  
Industrial de  
Santander



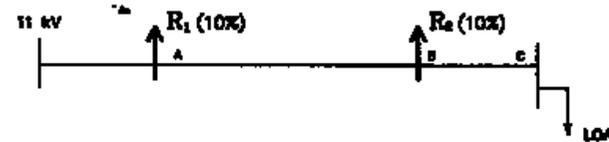
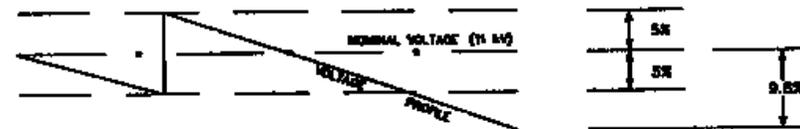
CONSTRUIMOS FUTURO



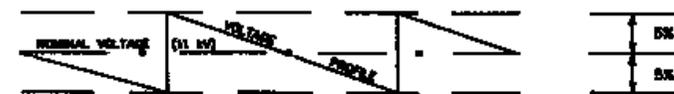
a

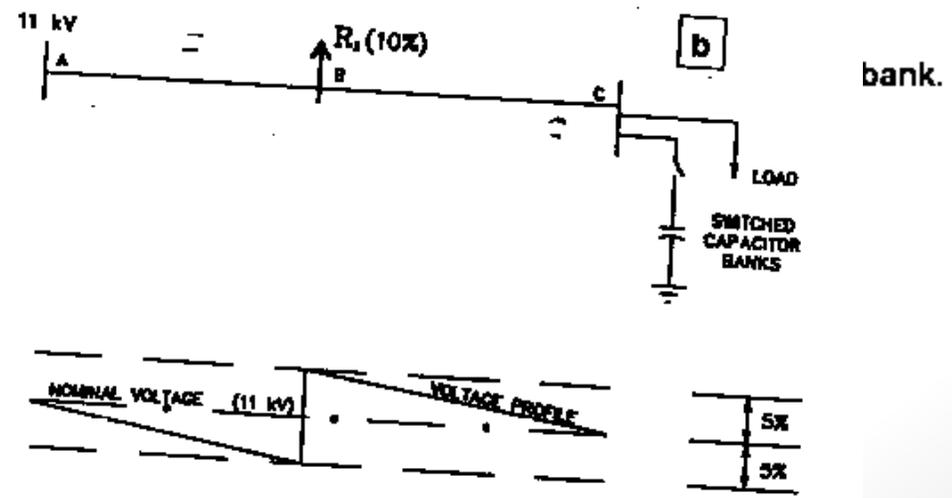
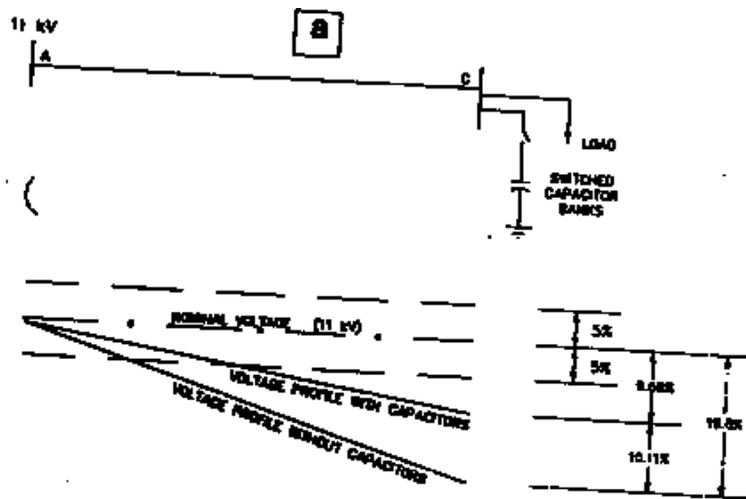
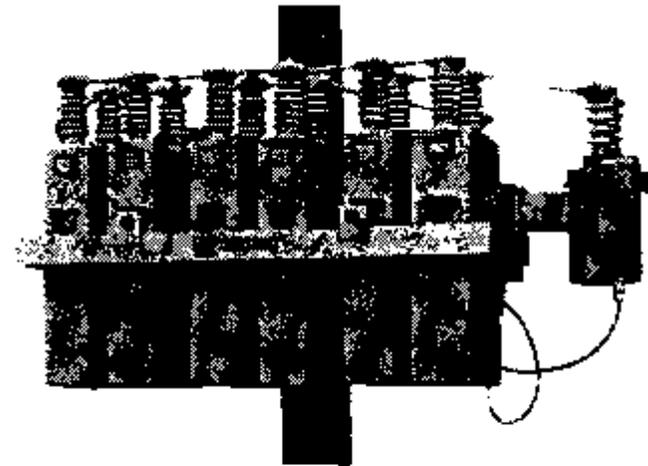


b



c





# Contenido



- Introducción
- Definición
- Planeación
- **Operación**
- Diseño
- Automatización y Redes Inteligentes
- Estudios de Comportamiento
- Conclusiones



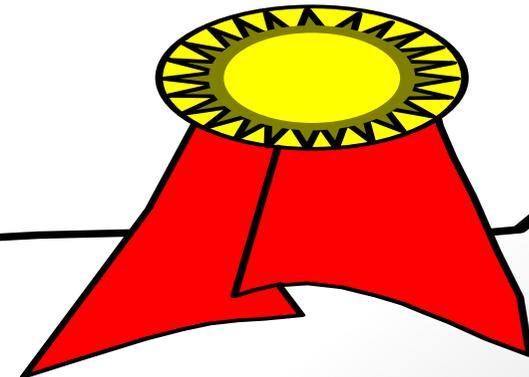
Universidad  
Industrial de



UTURO

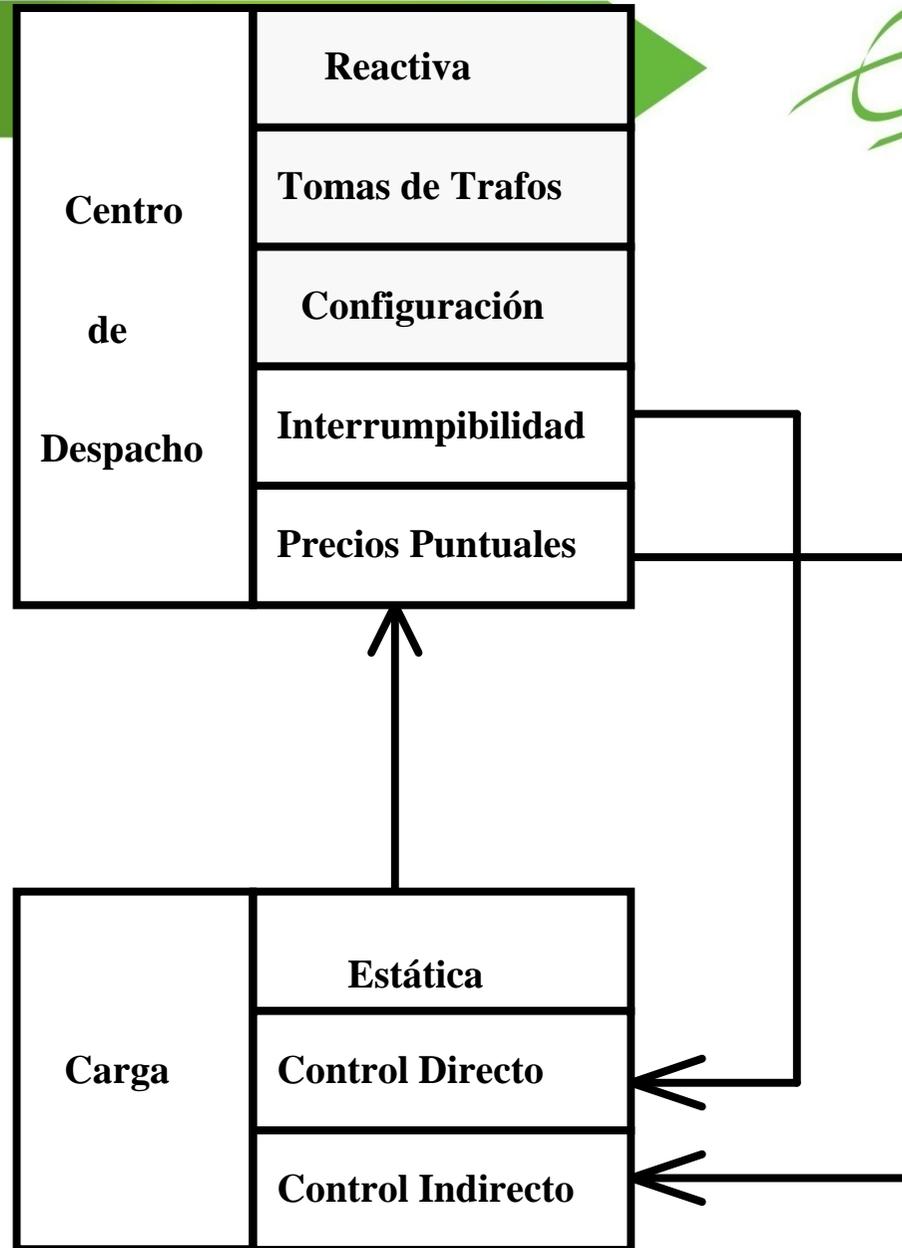
# Operación

Acciones encaminadas a  
gestionar los recursos existentes  
de distribución





CONSTRUIMOS FUTURO





CONSTRUIMOS FUTURO

# Beneficios de la Operación Óptima

Reducción de pérdidas

Mejora en la calidad de servicio

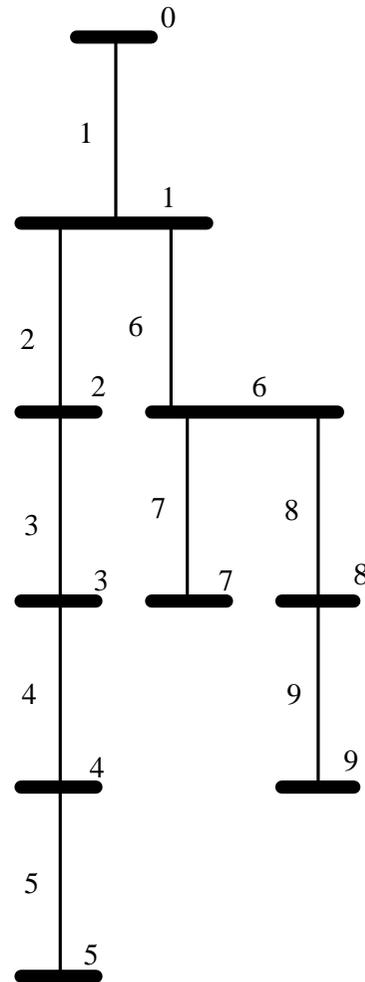
Reducción de costos

Retraso en inversiones

# Evaluación Radial



CONSTRUIMOS FUTURO



Rama	Anterior
1	0
2	1
3	2
4	3
5	4
6	1
7	6
8	6
9	8

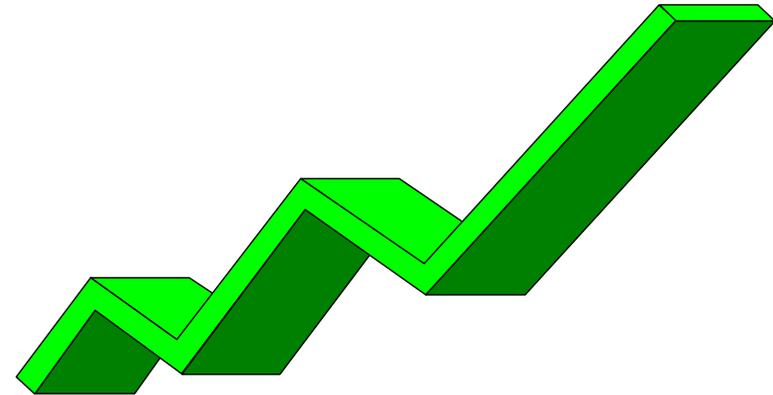
# Flujo de Carga



CONSTRUIMOS FUTURO

## ◆ Acumular aguas arriba

- ◆ Pérdidas complejas
- ◆ Flujos de potencia



## ◆ Actualizar aguas abajo

- ◆ Caídas de tensión
- ◆ Tensiones
- ◆ Potencias complejas
- ◆ Precios



# Reconfiguración



Red

Construcción mallada

Operación radial

Optimización

Métodos electrotécnicos

Métodos naturales

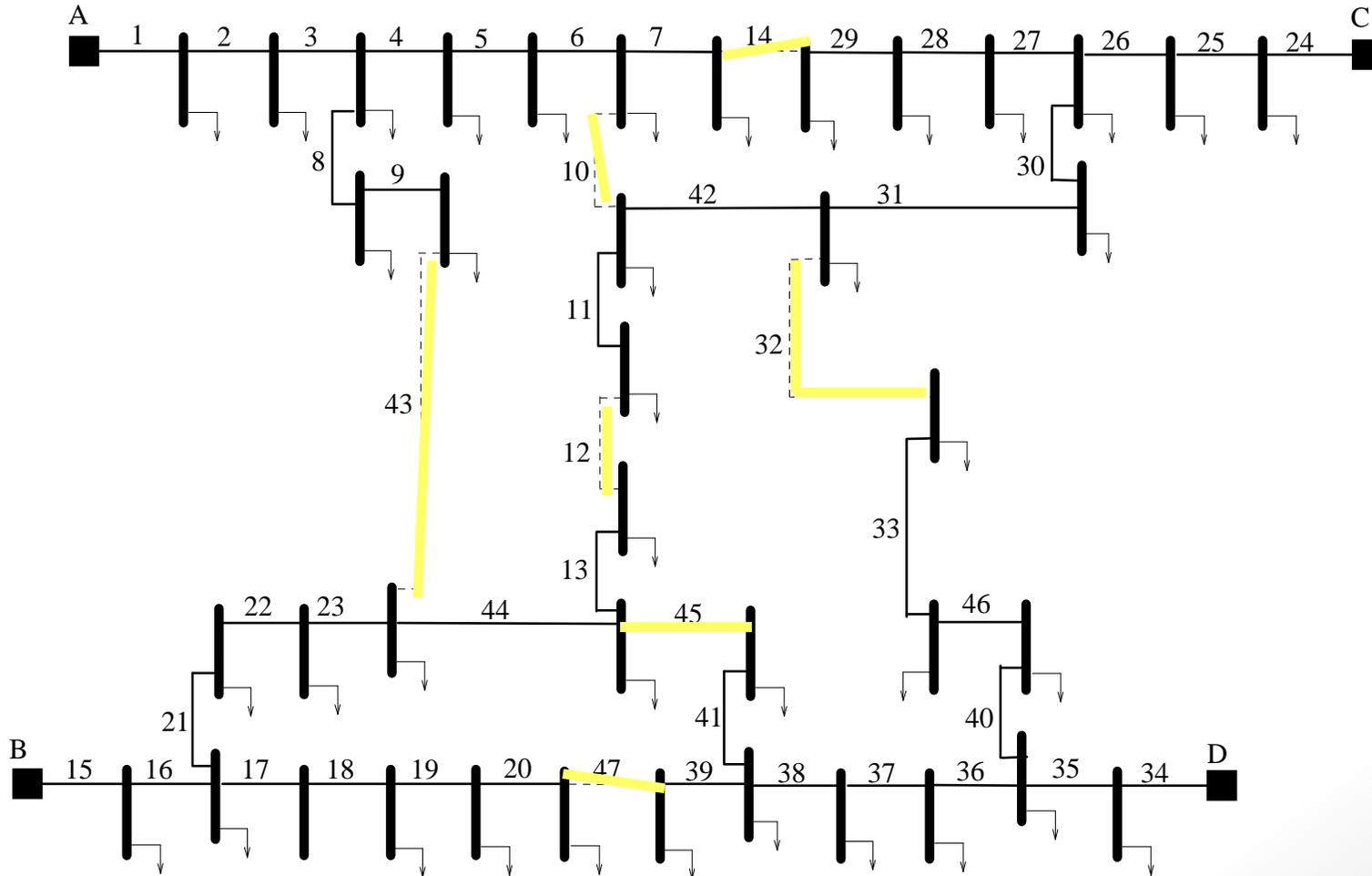
Métodos heurísticos

# Ejemplo: Pérdidas

Universidad  
Industrial de  
Santander



CONSTRUIMOS FUTURO

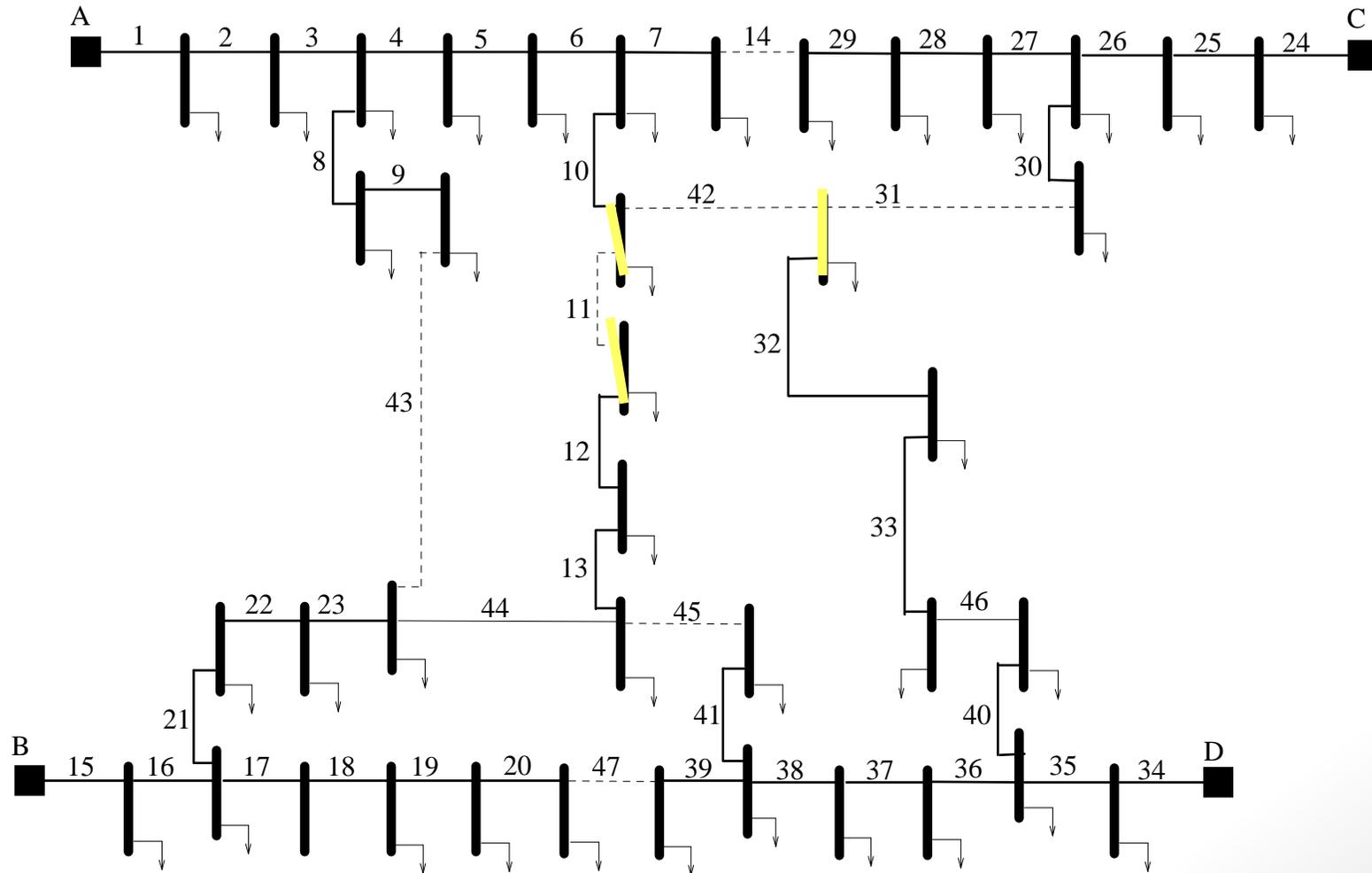


# Ejemplo: Costos AT

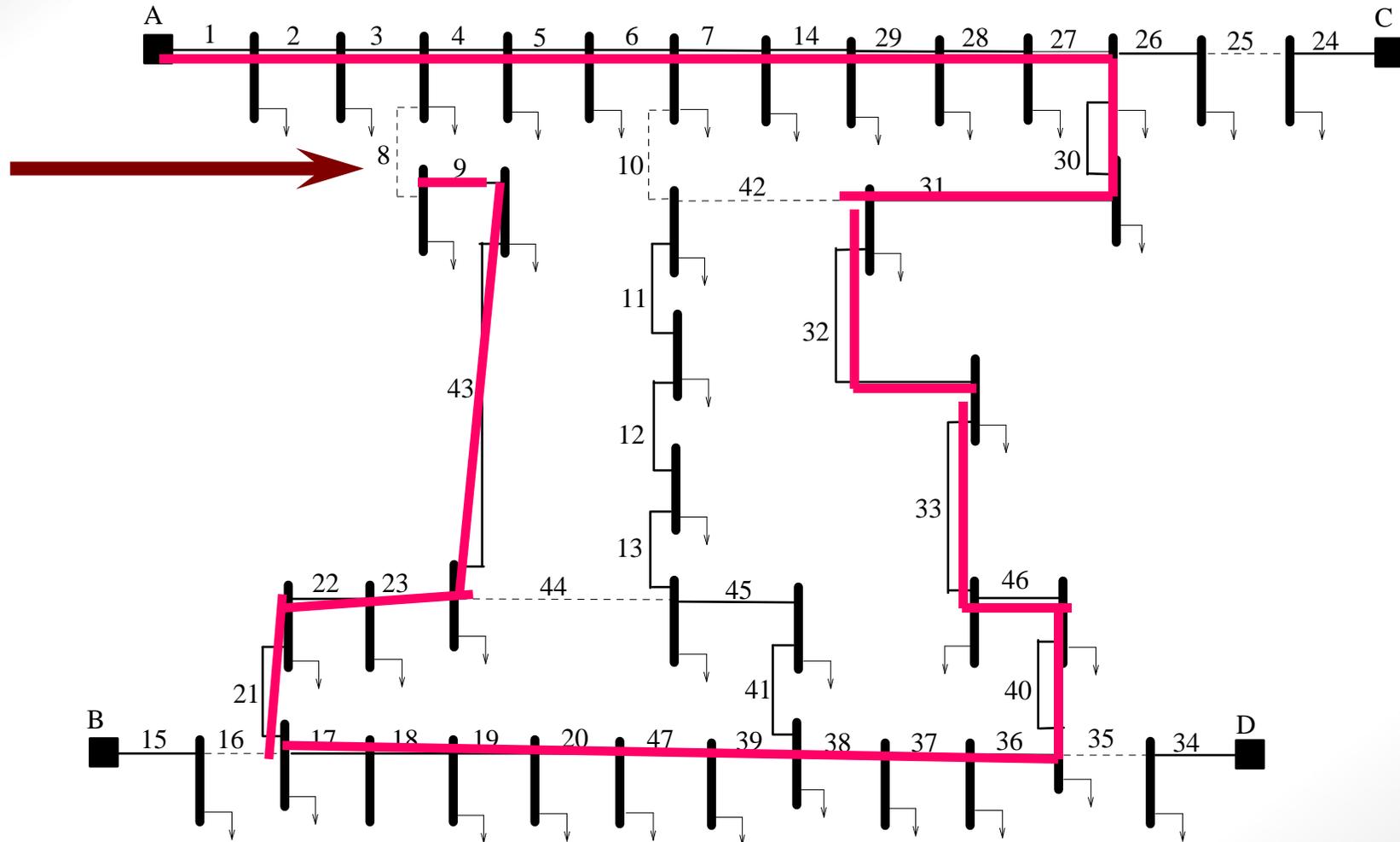
Universidad  
Industrial de  
Santander



CONSTRUIMOS FUTURO



# Ejemplo: Incentivo Perverso





CONSTRUIMOS FUTURO

## Reducción de pérdidas

Implementar técnicas (heurísticas y evolutivas) para la minimización de pérdidas de Energía, en un horizonte dado, cumpliendo restricciones (topológicas y técnicas)

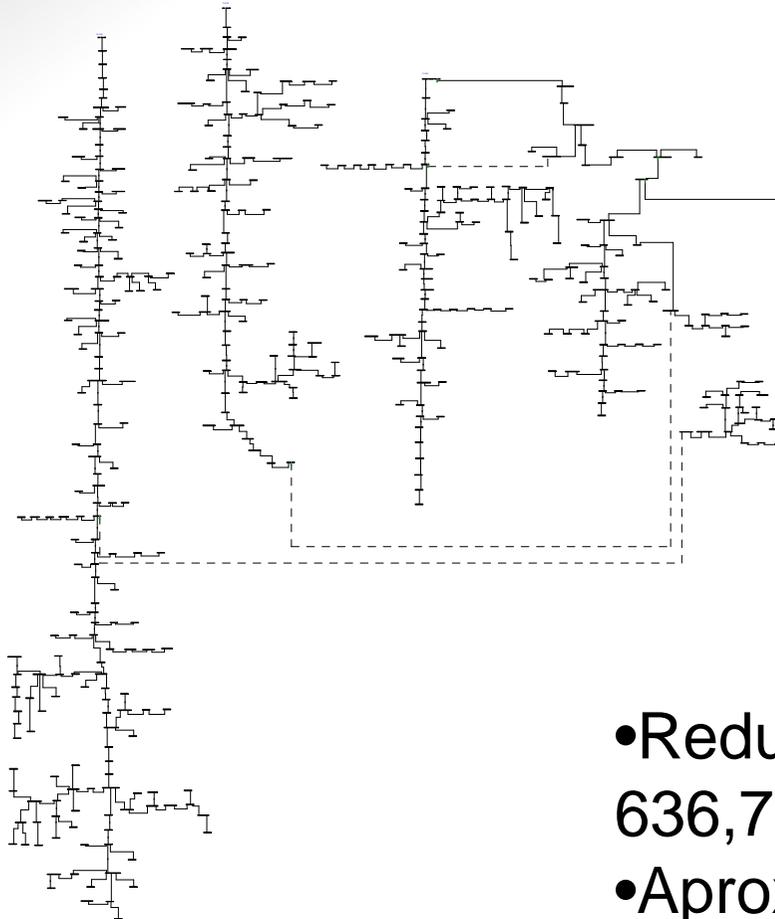
## Balance de carga y Restauración del Servicio

Implementar técnicas que permitan obtener una red factible cuando se hacen transferencias de carga, minimizando pérdidas y con un número máximo de transferencias

## Ejemplo de aplicación



CONSTRUIMOS FUTURO



Subestaciones: 3

Nodos:

468

Líneas

468

Enlaces 3

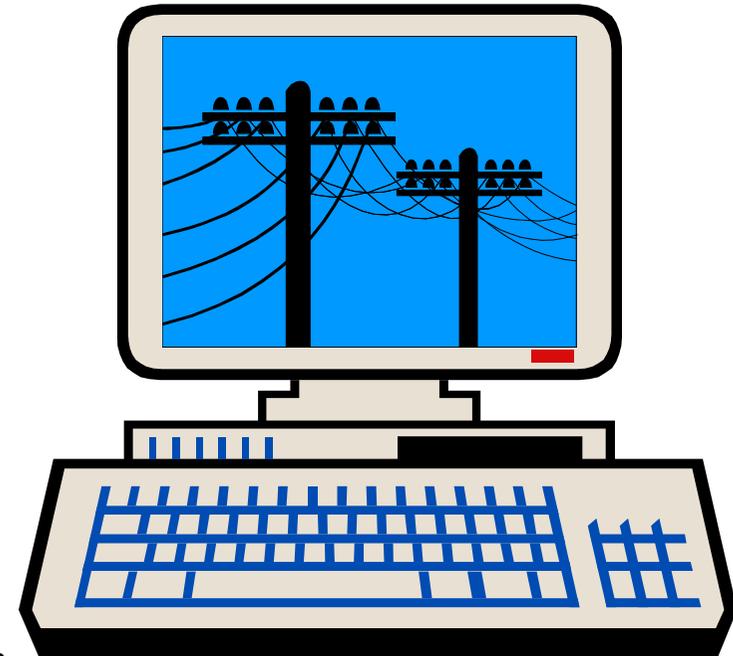
- Reducción de pérdidas de energía  
636,71+512,61j kVAh/día
- Aprox. 11,62 millones/año

# Estudios Posibles



CONSTRUIMOS FUTURO

- Confiabilidad de sistemas de distribución
- Pérdidas en transformadores
- Planeación
- Dimensionamiento de redes
- Gestión de demanda
- Recondutorización
- Control de tensión (Condensadores, tomas de transformadores)
- Generación Distribuida
- Redes Inteligentes



# Contenido



- Introducción
- Definición
- Planeación
- Operación
- Diseño
- **Automatización y Redes Inteligentes**
- Estudios de Comportamiento
- Conclusiones

# ¿Qué es?



CONSTRUIAMOS FUTURO

**Concepto de sistemas integrados para la automatización digital de subestaciones y alimentadores de distribución y funciones del consumidor [EPRI]**

# ¿Qué hace?



CONSTRUIMOS FUTURO

**Control, monitorización y protección de los sistemas de distribución y la gestión de carga, y medición remota de las cargas del cliente**

# Actividades

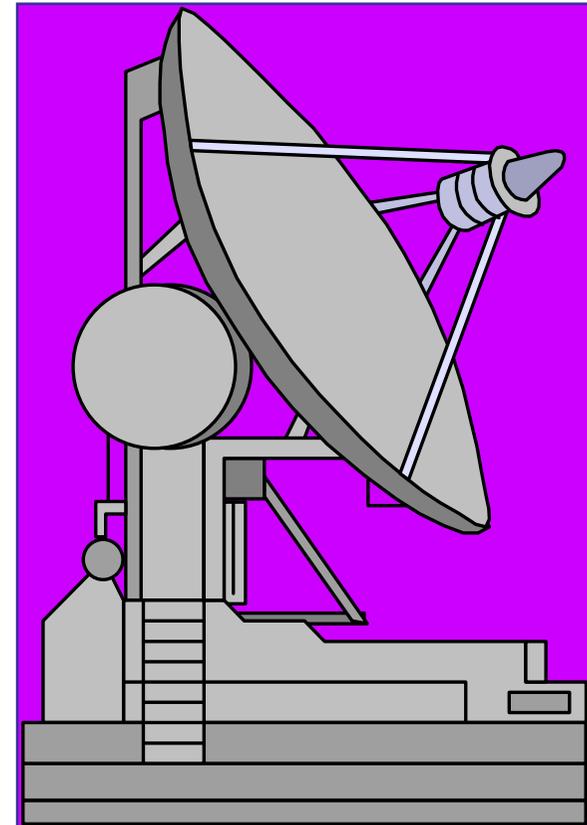
- Cambio de tomas en transformadores
- Operación de bancos de condensadores o filtros
- Conmutación de alimentadores
- Monitorización de carga en alimentadores y subestaciones
- Lectura (tarificación) de medidores de energía y demanda máxima
- Interrumpibilidad

# Partes



CONSTRUIMOS FUTURO

- **Medios informáticos**  
Hardware  
Software
- **Comunicaciones**
- **Terminales remotas (RTU)**
- **Dispositivos de usuario y alimentadores secundarios:**  
Medidores  
Interruptores de carga
- **Conexión de Generación Distribuida**

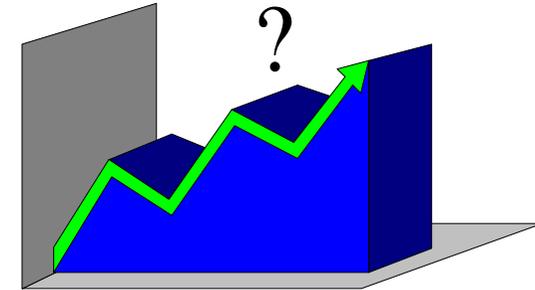
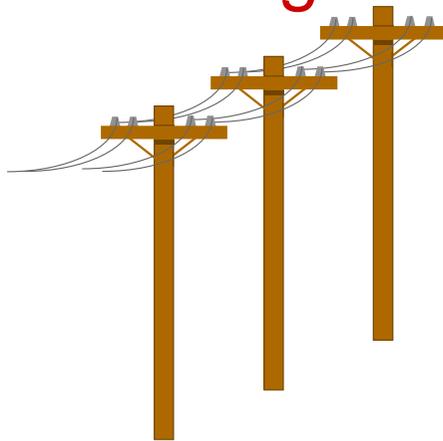


# Da respuesta a:



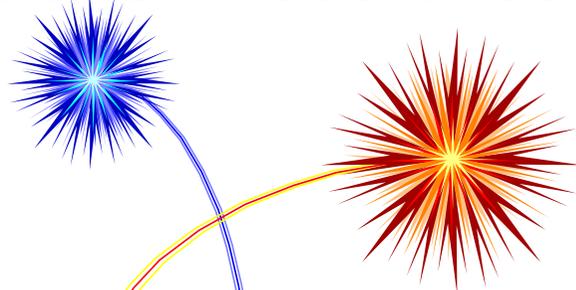
CONSTRUIMOS FUTURO

## Costos de generación agregada



## Saturación de redes

## Sensitividad al servicio del cliente



## Beneficios en costos y servicio

## Beneficios económicos



Retarda la instalación de generación

Libera capacidad de transmisión

Retarda reemplazo o adición de S/E

Debido a

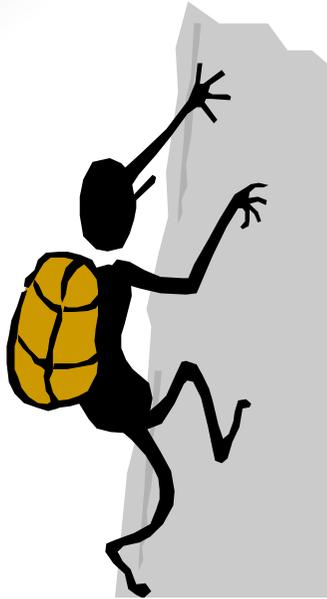
Control tensión/reactiva

Monitorización Cktos

Registro de datos

Gestión de carga y generación

## Beneficios en la calidad



Localización de fallas  
Reducción del tiempo de reposición  
Reducción de quejas de consumidores

Ahorros en costos de interrupción  
Ahorros en costos de servicio de quejas

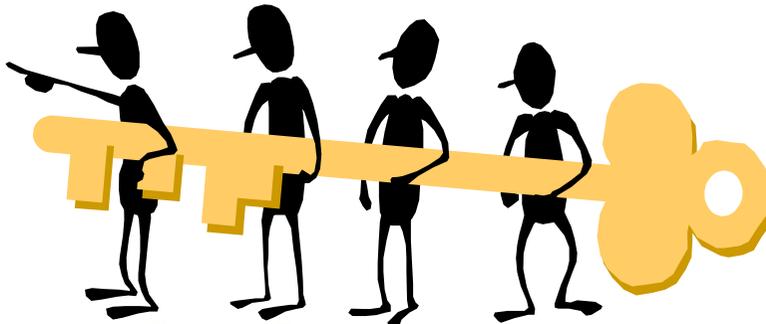


# Bajos costos de operación



CONSTRUIMOS FUTURO

- Mejores perfiles de tensión
- Disminución del flujo de vares
- Ahorros en reparación y mantenimiento
- Menores costos de generación por:
  - Reducción de pérdidas
  - Menor reserva requerida
  - Gestión de carga
- Reducción de costos de operación por:
  - Procesamiento y adquisición de datos
  - Funciones de medición remotas
  - Funciones de control remotas

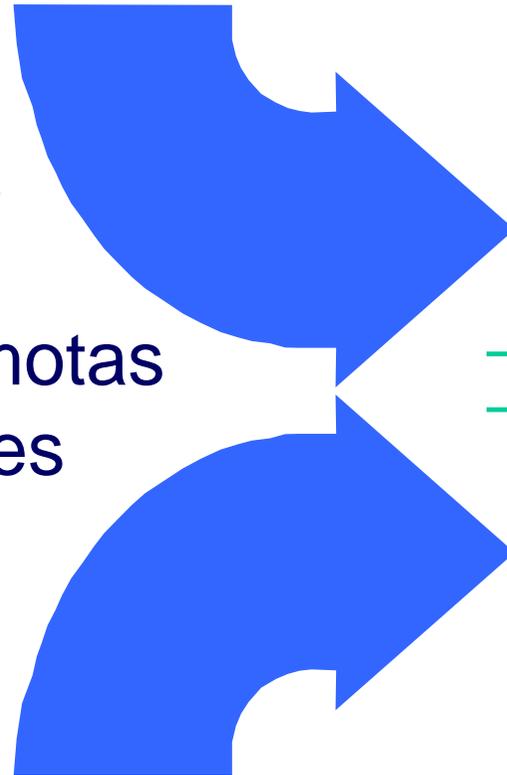


# Compatibilidad



CONSTRUIMOS FUTURO

Computadores  
Programación  
Terminales remotas  
Comunicaciones  
Mediciones



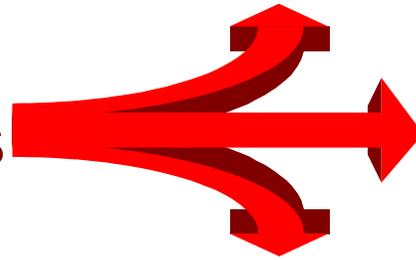
Modular  
Migrante

# Barreras



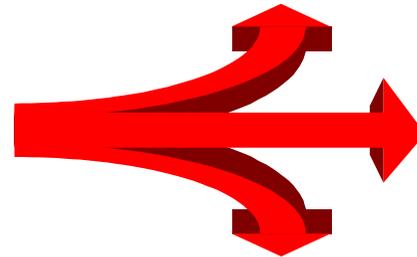
CONSTRUIMOS FUTURO

Comunicaciones



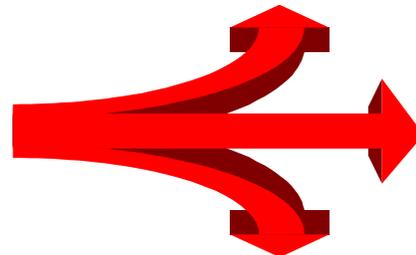
Portadora  
Radio  
Mezclas

Bases de datos



Orientada a objetos  
Modular  
Desacoplada

Normas

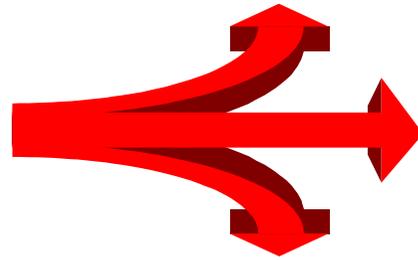


Protocolos de comunicación  
Interfases  
Acceso a los datos

# Redes Inteligentes

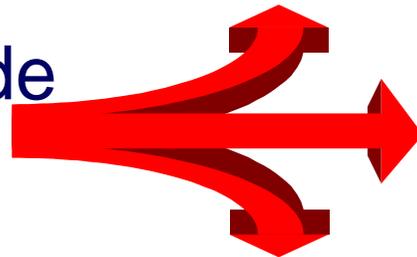


Comunicación  
y Medición



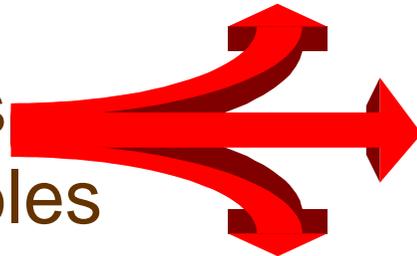
Bidireccional  
Supervisión  
Autonomía

Calidad de  
Onda



Fallas y huecos  
Armónicos y Parpadeo  
Reconfiguración y Compensación

Energías  
Renovables

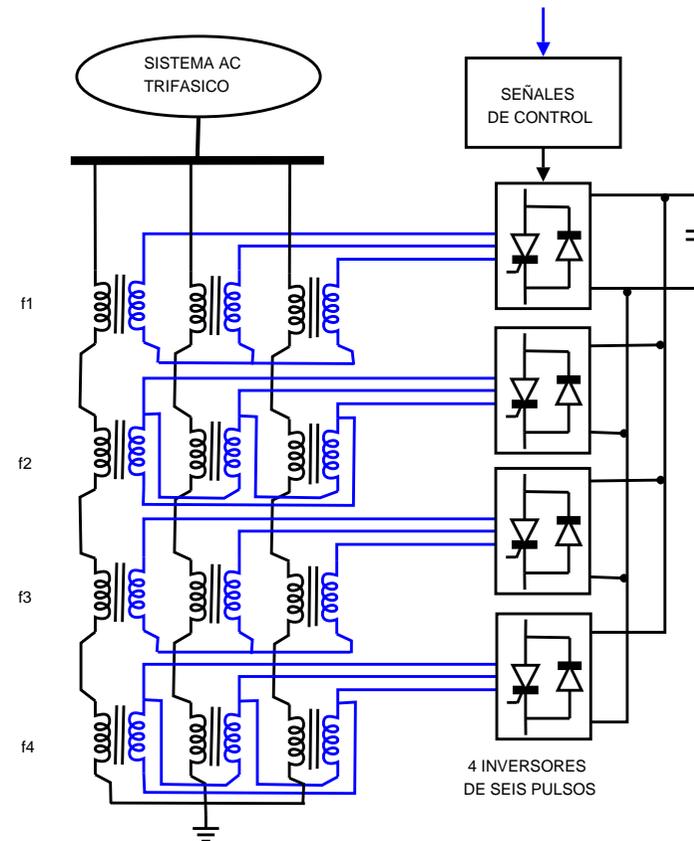
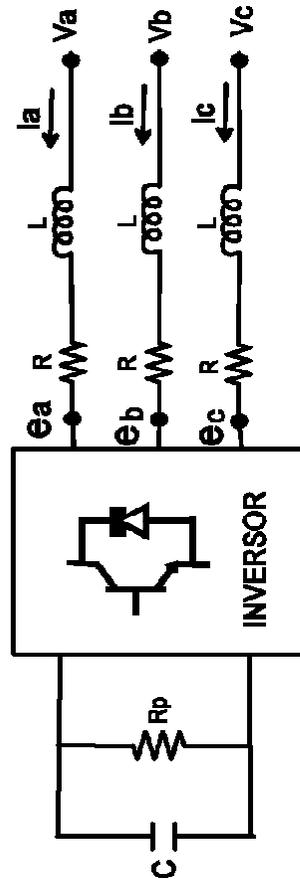


Generación Renovable  
Almacenamiento  
Demanda (Autos Eléctricos)

# CONFIGURACIÓN



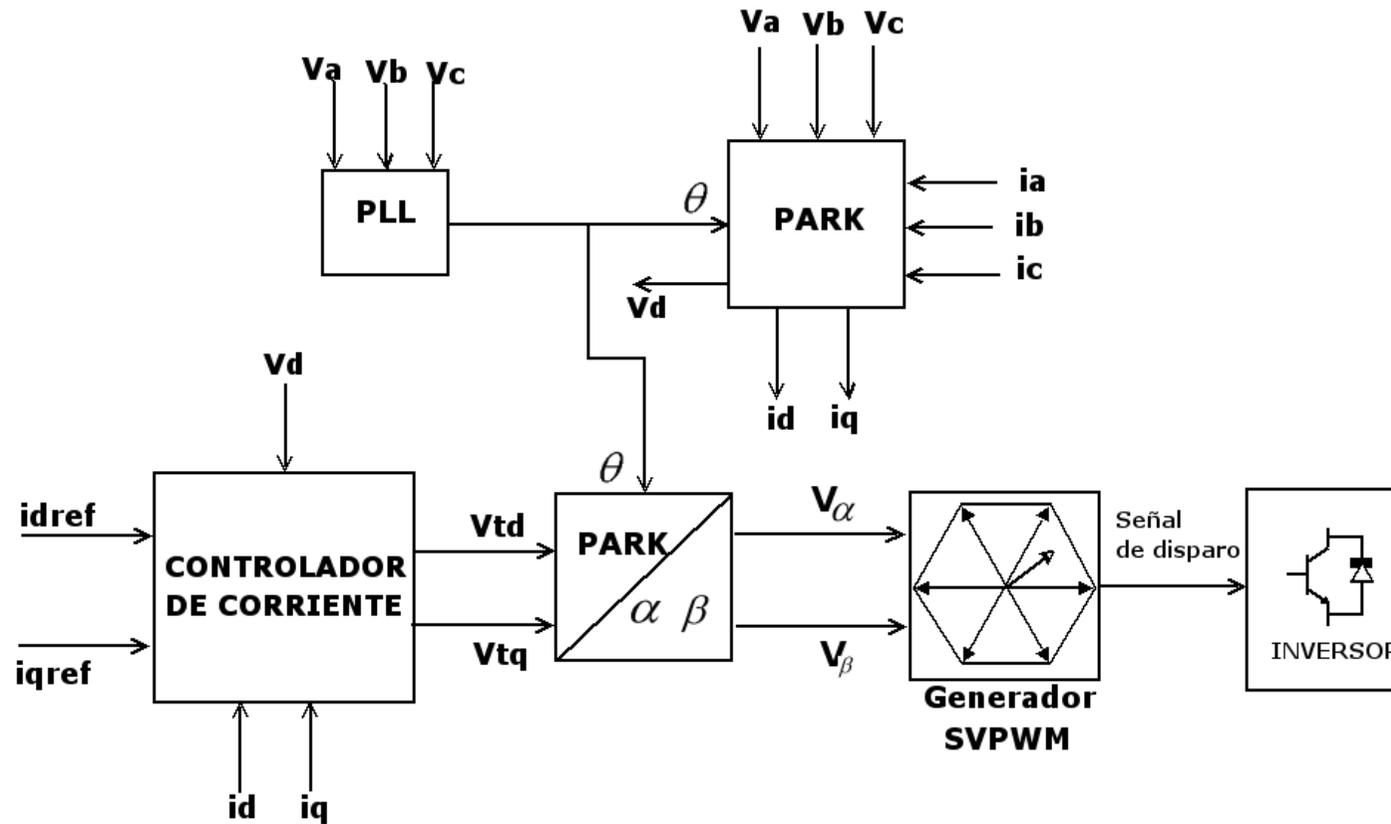
Universidad  
Industrial de  
Santander



# Sistema de control SVPWM



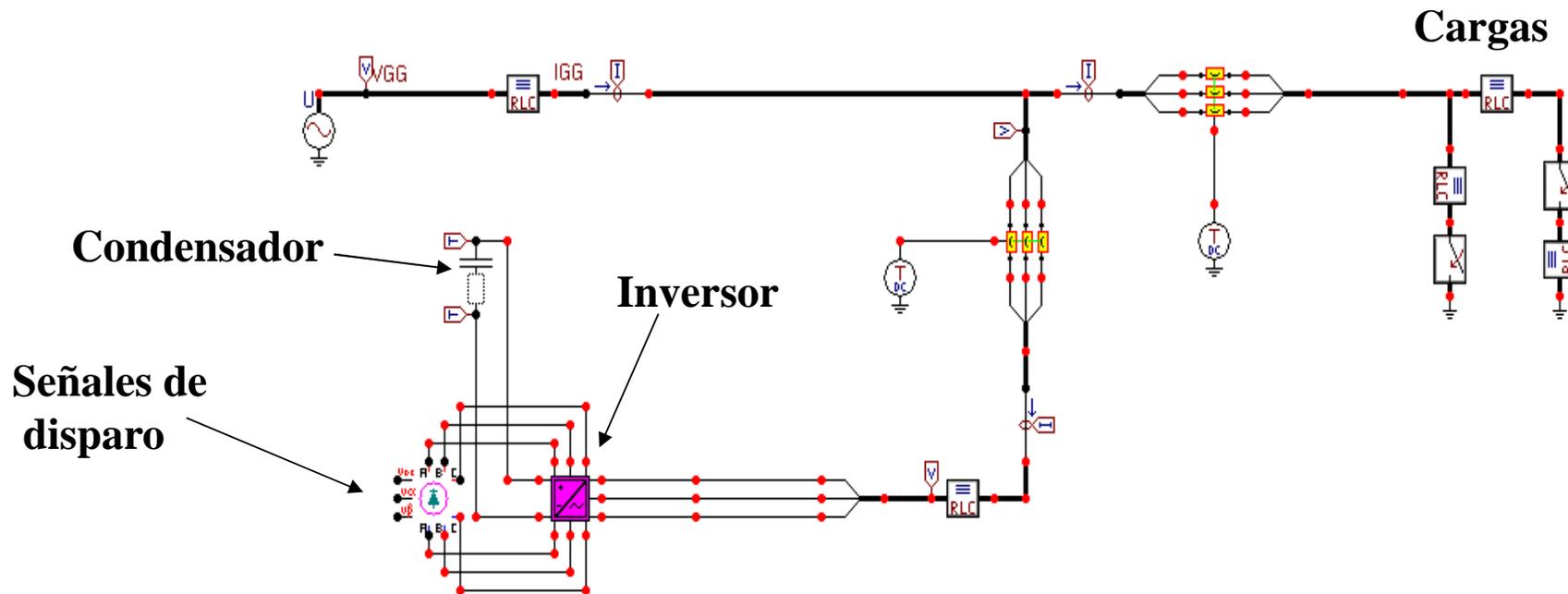
CONSTRUYAMOS FUTURO





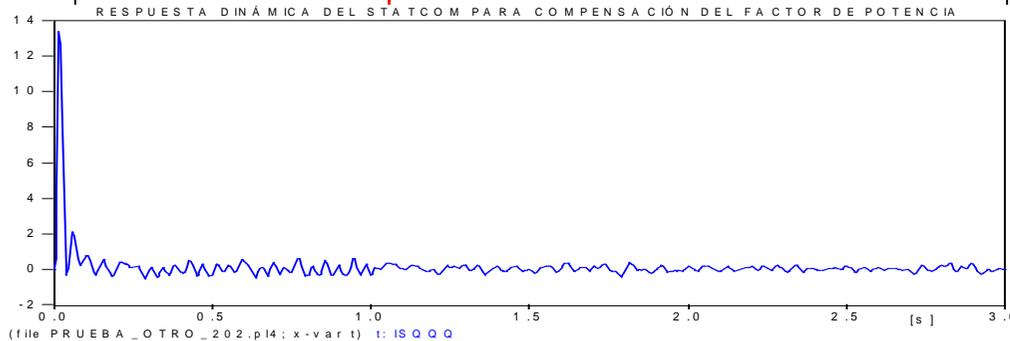
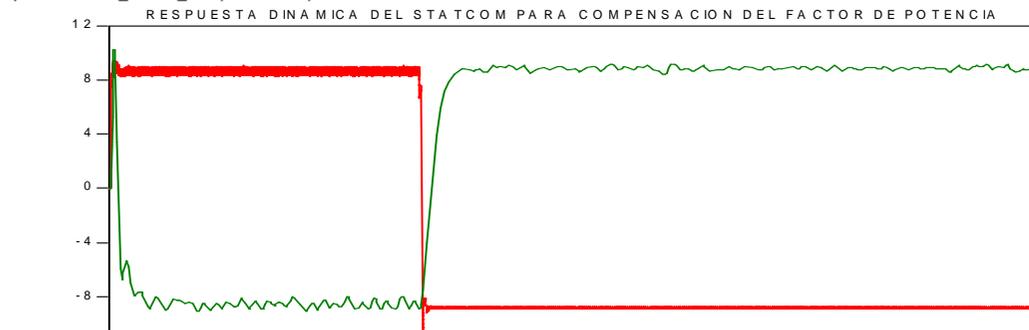
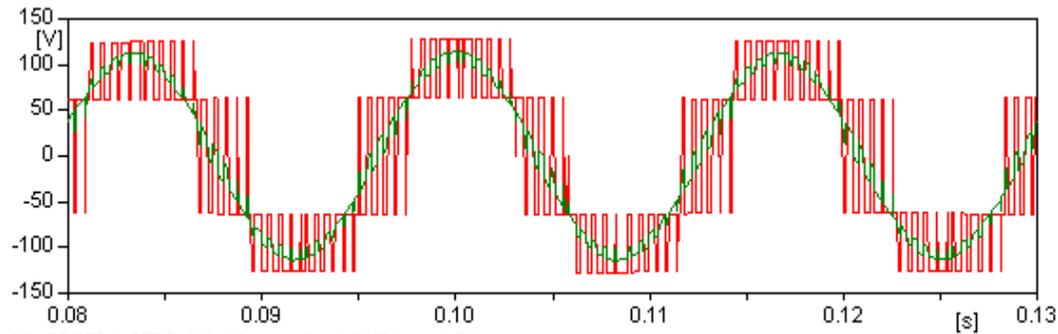
## Modelo del STATCOM y el SEP

- \* Compensación del Factor de Potencia
- \* Regulación de tensión
- \* Compensación de Potencia Reactiva



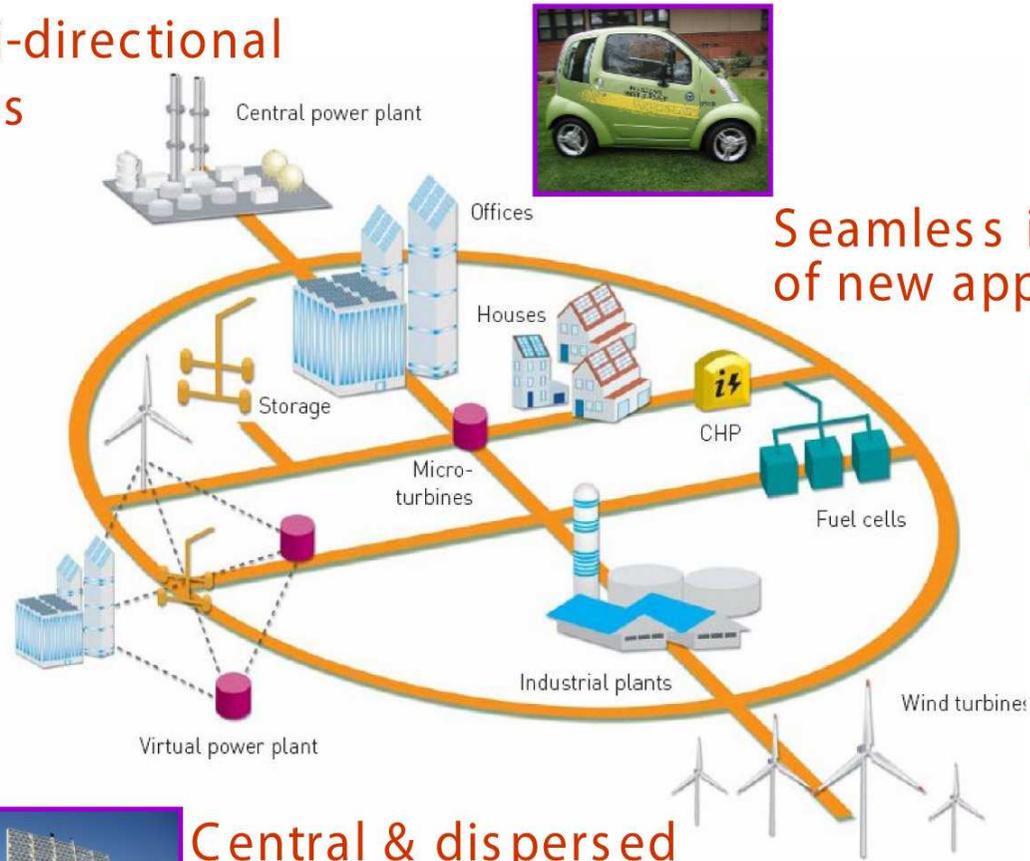


# Respuesta dinámica del STATCOM: compensación del factor de potencia



# Smart Grid: the more internet-like grid

Multi-directional flows



End user real time Information & participation

Seamless integration of new applications

Central & dispersed intelligence



Central & dispersed sources



Smart materials and power electronics

COURTESY OF JOHN SCOTT, KEMA

# Contenido



- Introducción
- Definición
- Planeación
- Operación
- Diseño
- Automatización y Redes Inteligentes
- **Estudios de Comportamiento**
- **Conclusiones**

# ESTUDIOS



## Técnico

Efectos de transitorios

Protecciones

Tierras

Ferrorresonancia

Cubrimiento

Demanda

Armónicos

## Financiero

Costos

Regulatorios

Eficiencia

Mercados

Privatización



# Gestión de Demanda

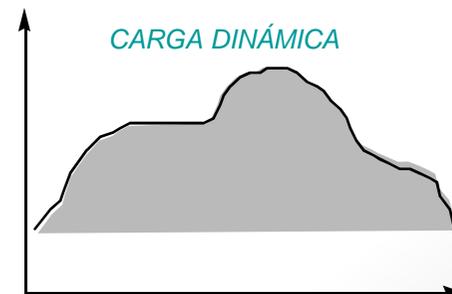
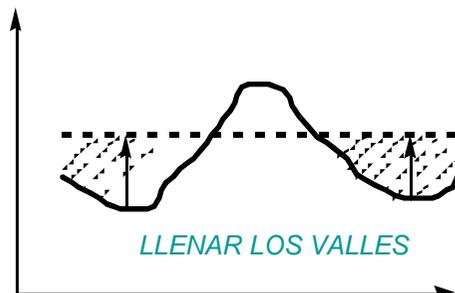
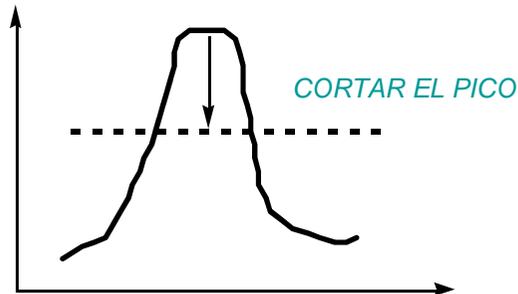
*“planeación, implementación y control de aquellas actividades diseñadas para influir sobre el uso que los clientes hacen de la electricidad, de tal manera que produzcan los cambios deseados en la forma de la curva de demanda de las empresas eléctricas”.*

*EPRI*

# Objetivos



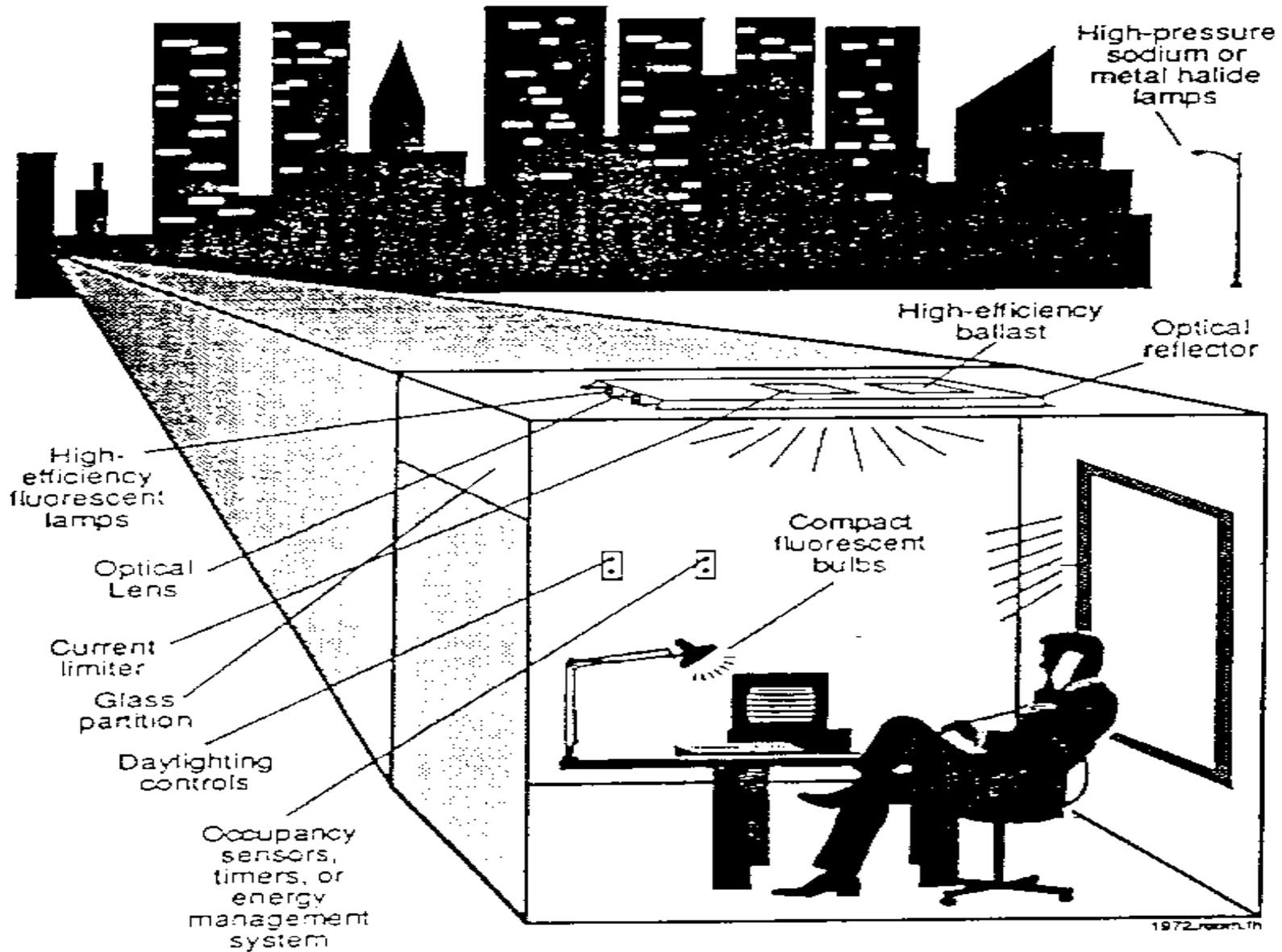
CONSTRUIMOS FUTURO



# Program Concepts

## High-Efficiency Commercial Lighting Program

RO



# Beneficios



CONSTRUIMOS FUTURO

## DSM

### FOMENTO DE "Negavativos"

- Reducir costos de producción
- Mantener reservas energéticas
- Reducir impactos ambientales

### EFICIENCIA EN EL CONSUMO POR PARTE DEL USUARIO

- Retraso de inversiones
- Incremento de flexibilidad y confiabilidad
- Control de facturas por parte de los usuarios

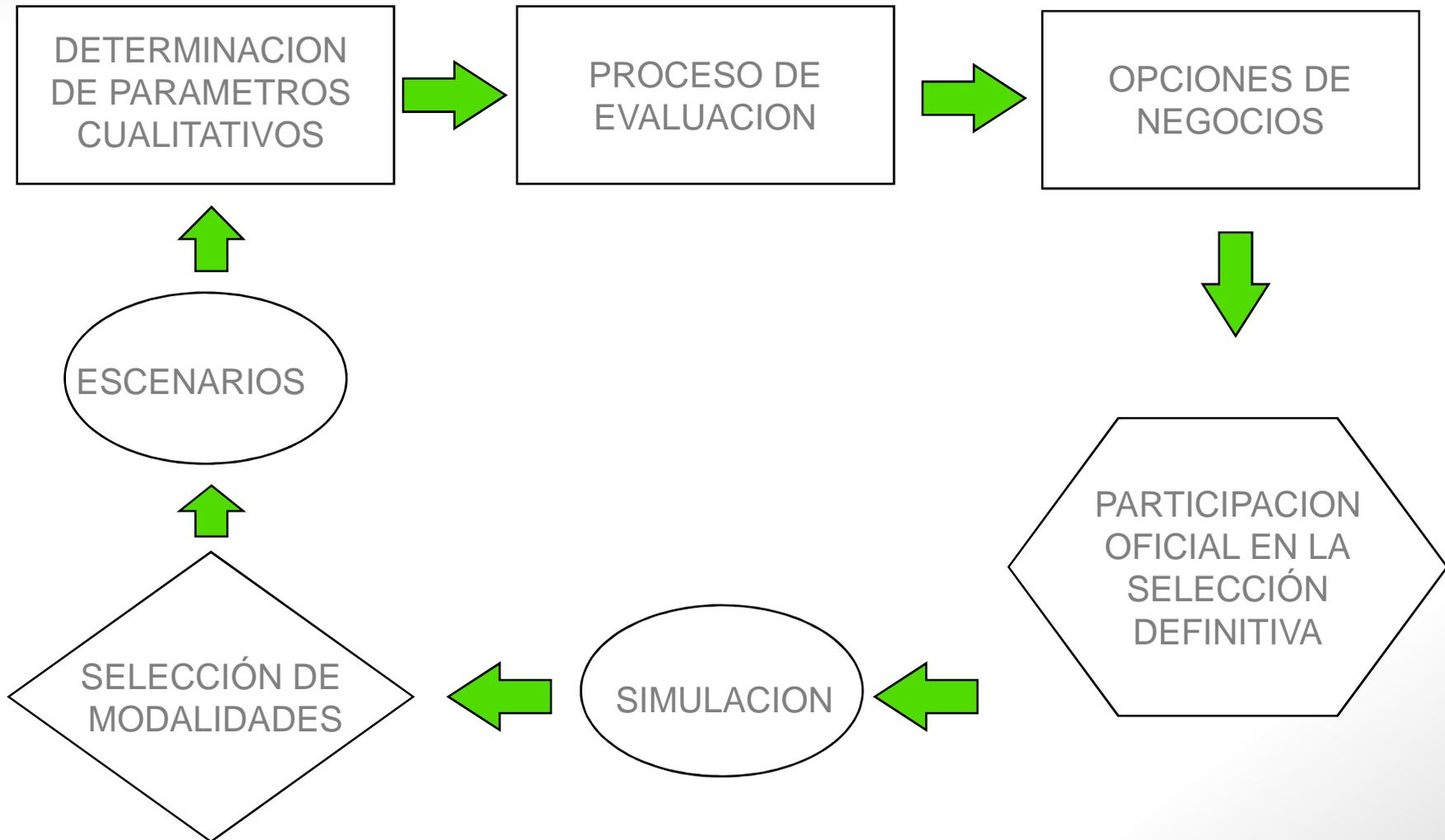
### MANEJO DE LA CARGA

- Demanda más eficiente
- Demanda acorde con las necesidades de mercadeo de la empresa
- Reducción de la incertidumbre en inversiones de red

# Opciones de Propiedad

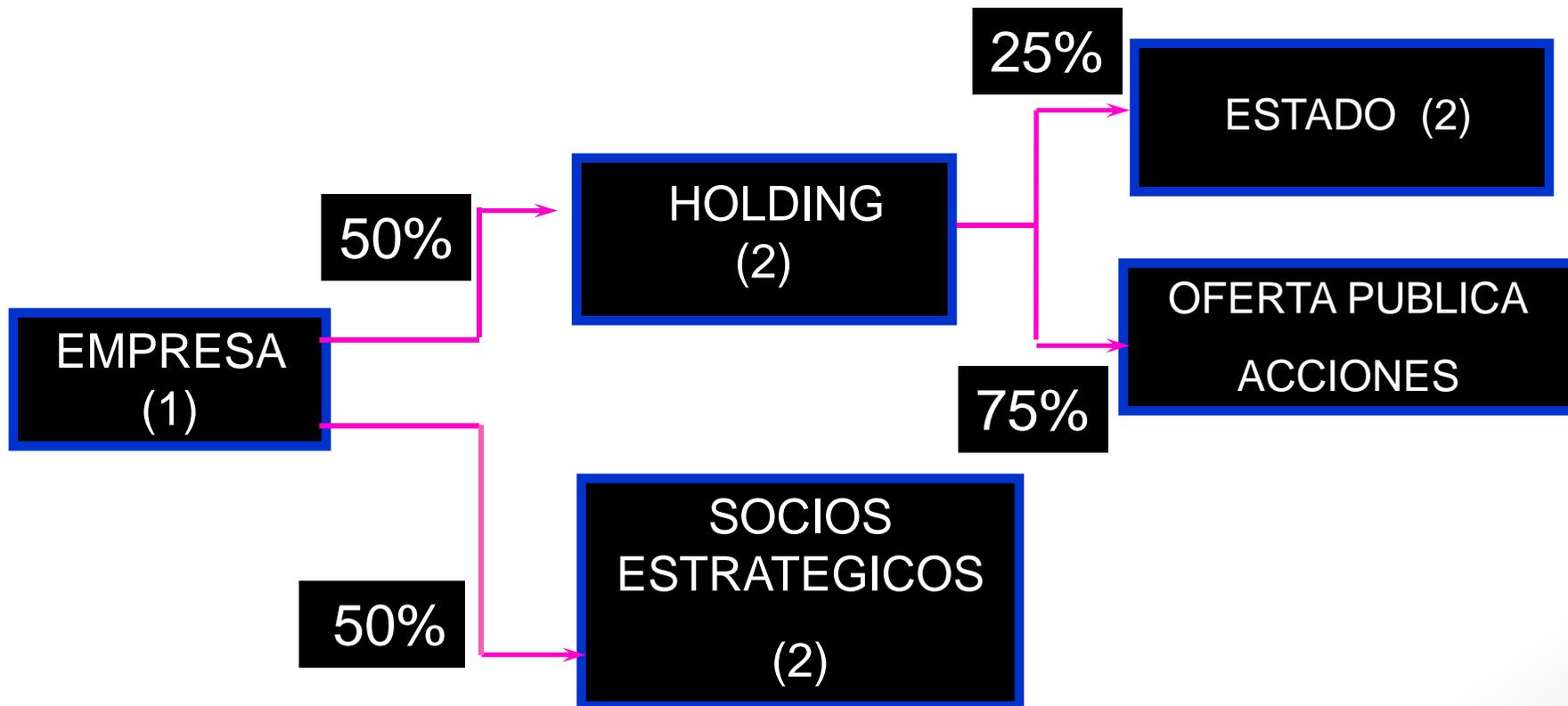


CONSTRUIMOS FUTURO



# Opción 1

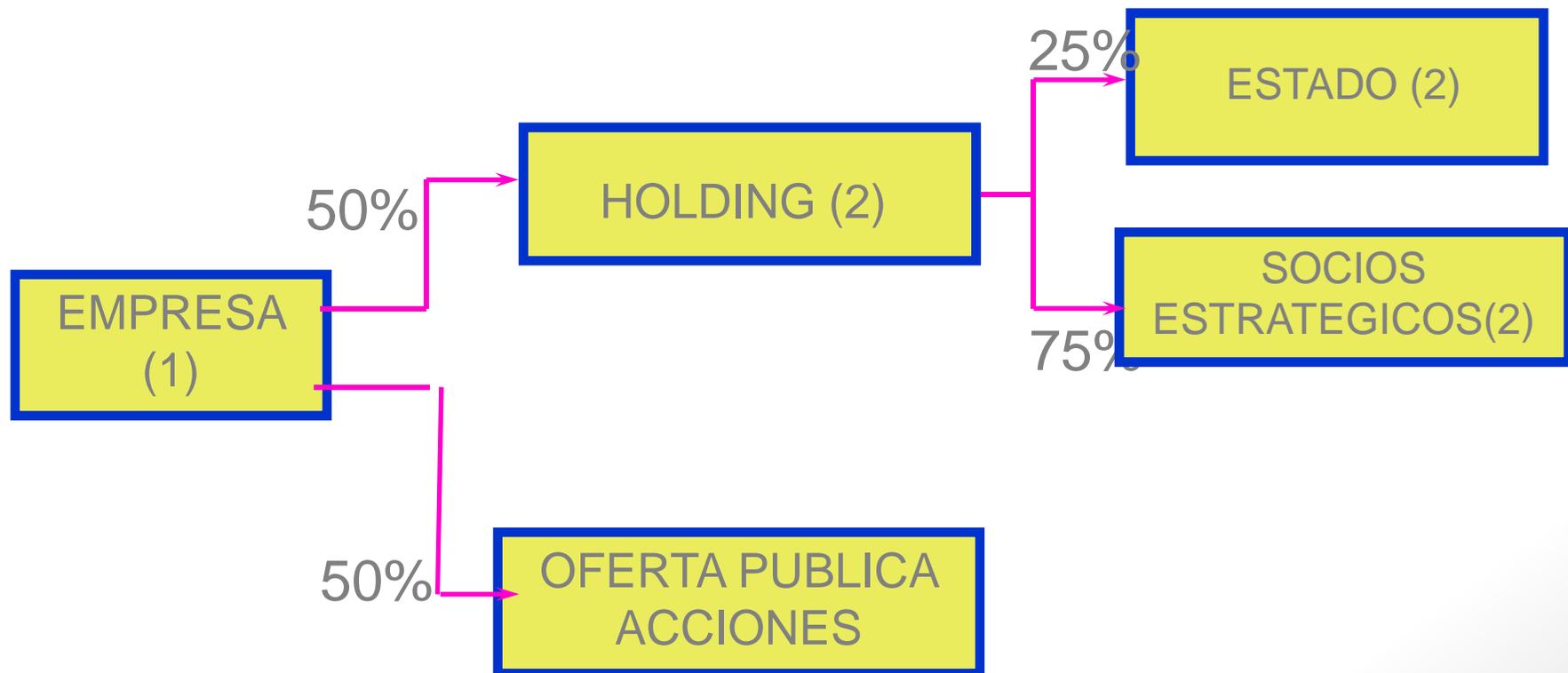
## SOCIOS PRINCIPALES: HOLDING / ESTRATEGICOS



(1) \* Régimen Jurídico – Empresa : E.S.P. por acciones  
\* Naturaleza : Privado

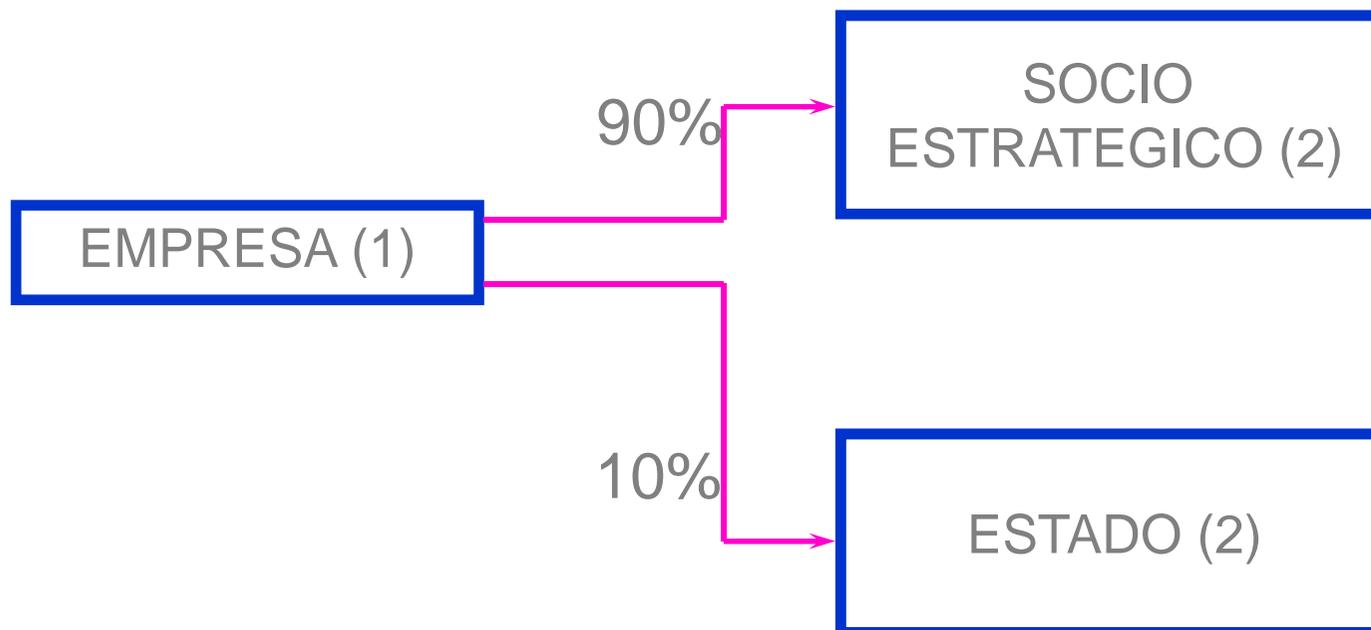
(2) Restricción en la participación según resolución 128/ 96 de la CREG

## Opción 2: SOCIOS PRINCIPALES: HOLDING / OFERTA PUBLICA ACCIONES



# Opción 3

## SOCIOS PRINCIPALES: SOCIO ESTRATEGICO / ESTADO



(1)\* Régimen Jurídico – Empresa : E.S.P. por acciones

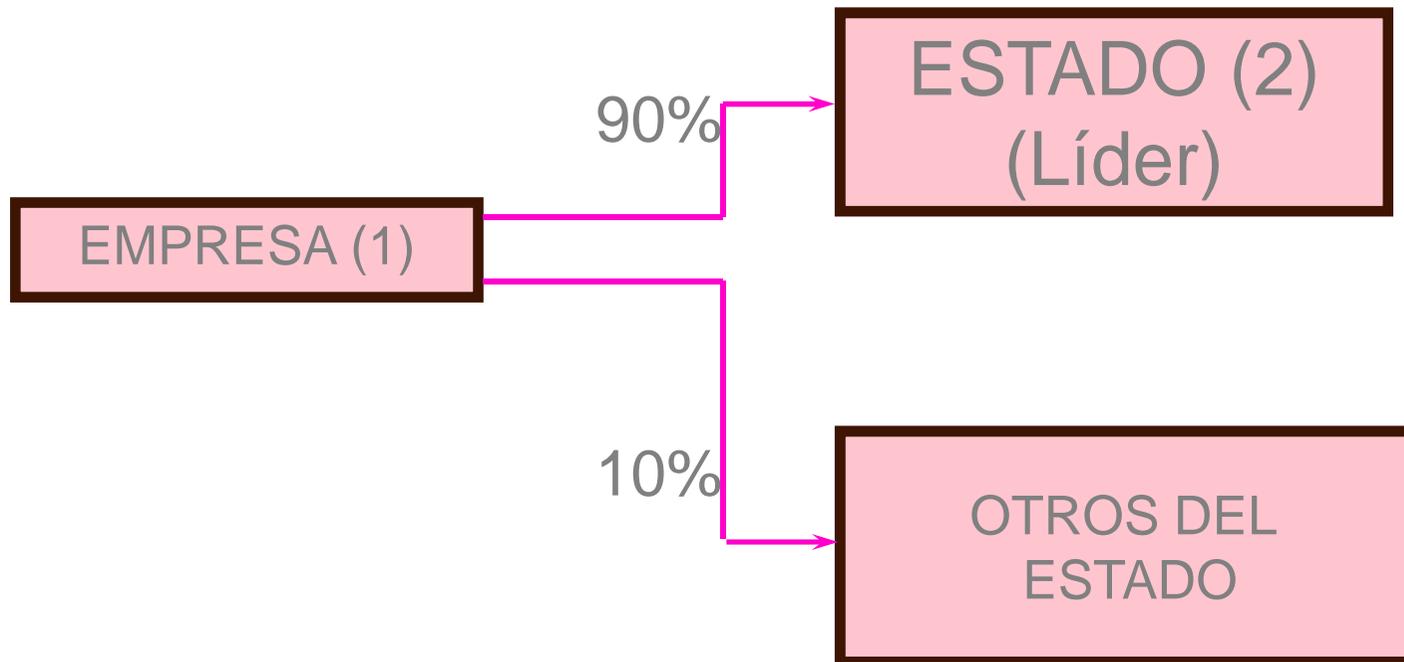
\* Naturaleza : 100 % del Estado => Oficial

50 % o mas del Estado => Mixta

menos del 50 % del Estado => Privado

(2) Condicionada participación según Res 128/96 CREG

## SOCIOS PRINCIPALES: ESTADO



(1)\* Régimen Jurídico - Empresa: E.S.P. por acciones

\* Naturaleza : Oficial

(2) Condicionada participación Res 128 /96 CREG

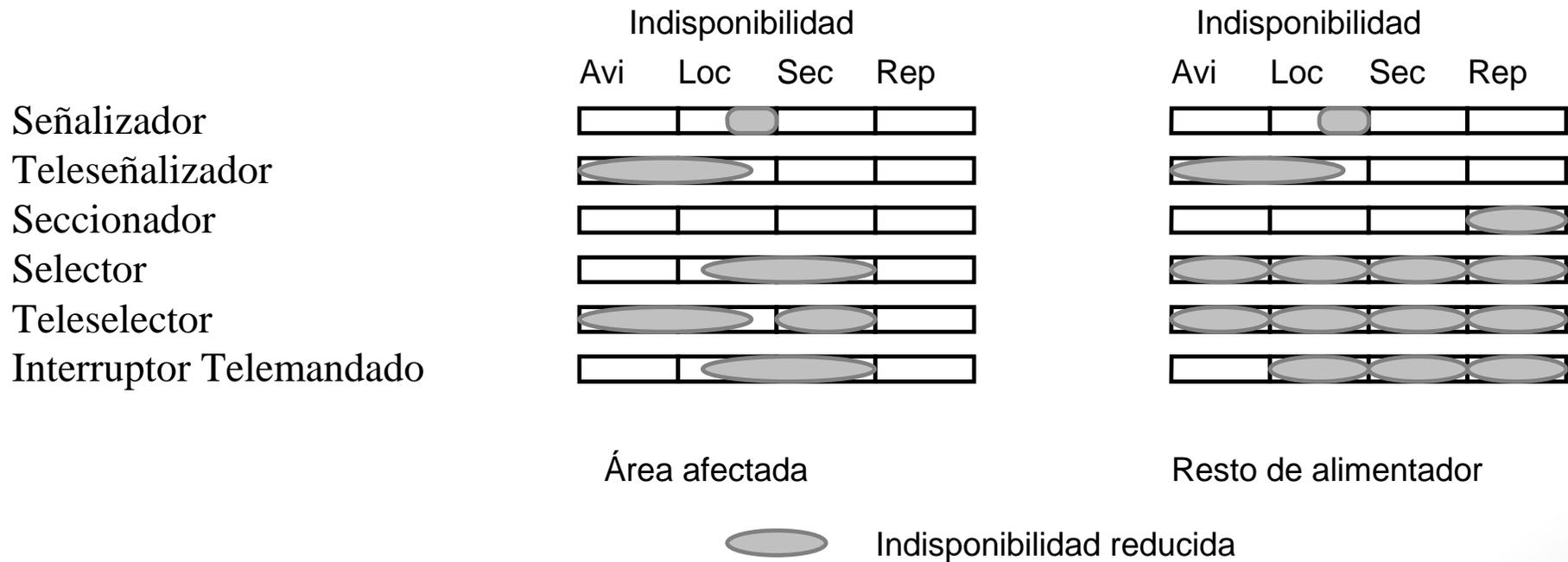
# Indisponibilidad



CONSTRUIMOS FUTURO

- ~ Detección
- ~ Aviso
- ~ Análisis
- ~ Acceso
- ~ Recorrido
- ~ Seccionamiento
- ~ Reparación
- ~ Montaje
- ~ Pruebas
- ~ Energización

# Asociación tiempos - equipos



# Valoración



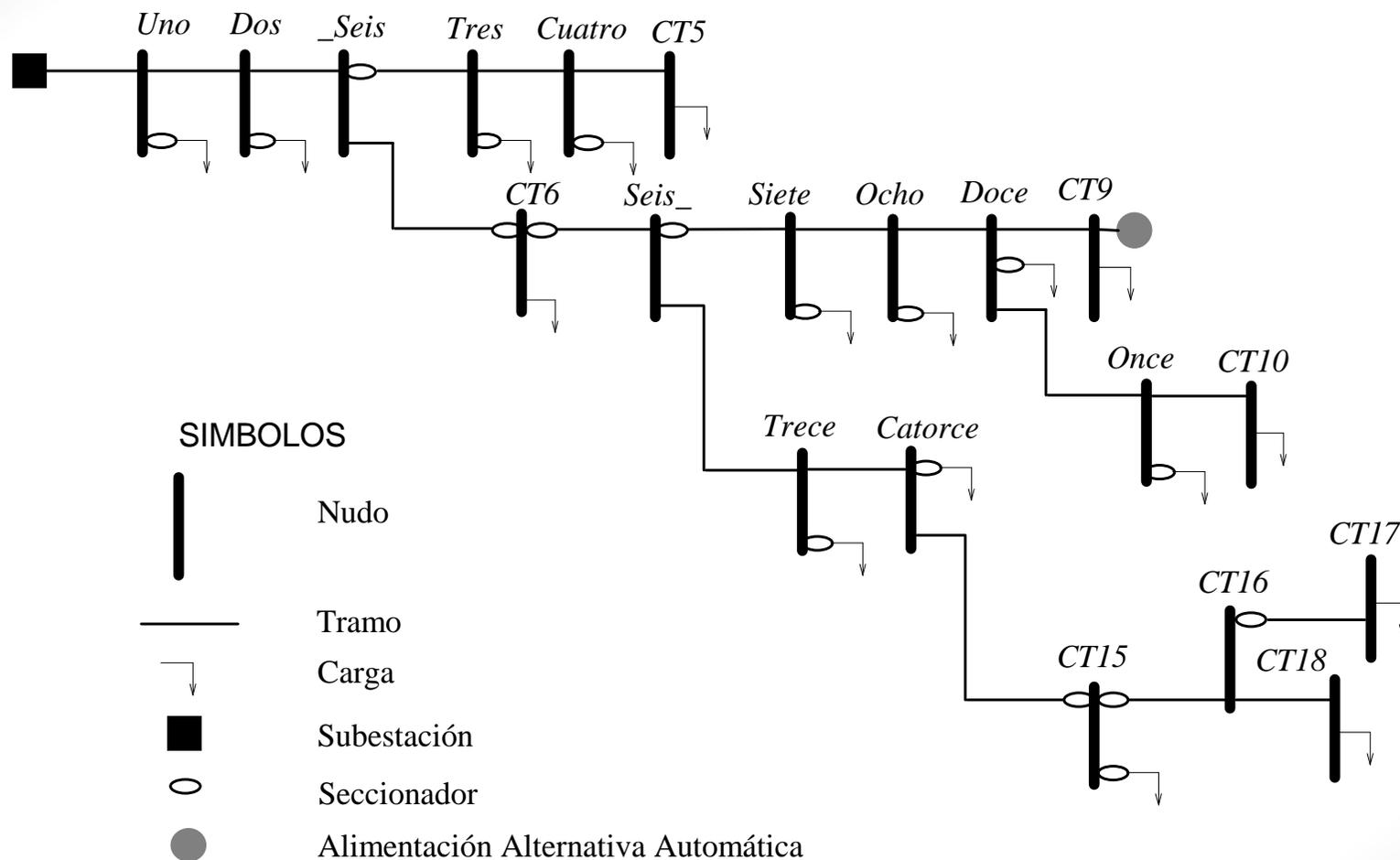
CONSTRUIMOS FUTURO

VEC =  $A_j(TI) FIE^2 P_{I\text{total}} + B_j \text{ END}$

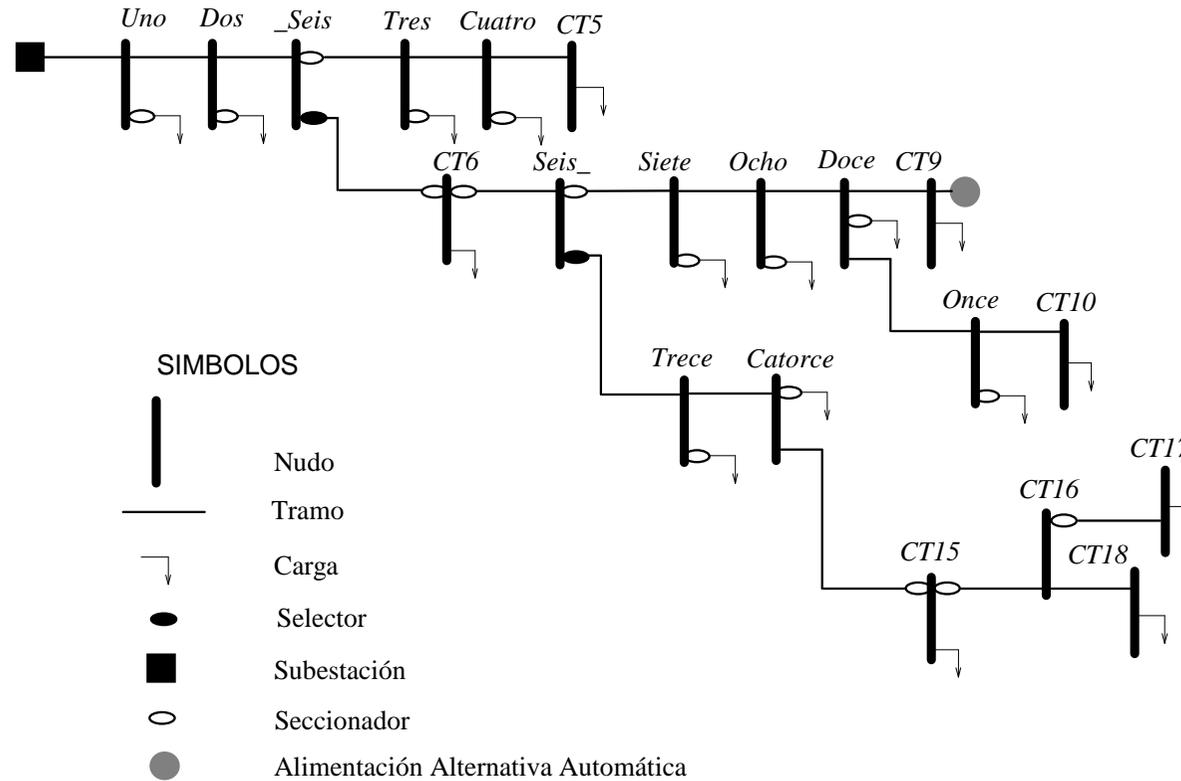
$$VPN = \sum_{i=0}^{N^{\circ} \text{ años}} \frac{FC_i}{(1+k)^i}$$



# Red Anterior



# Red Posterior



# Compensación

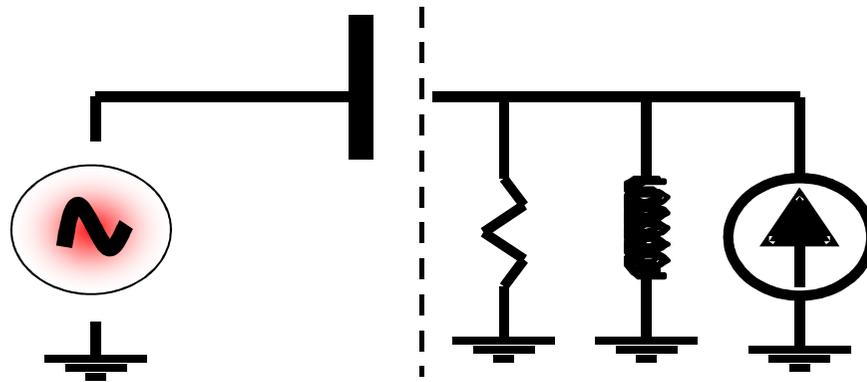


CONSTRUIMOS FUTURO

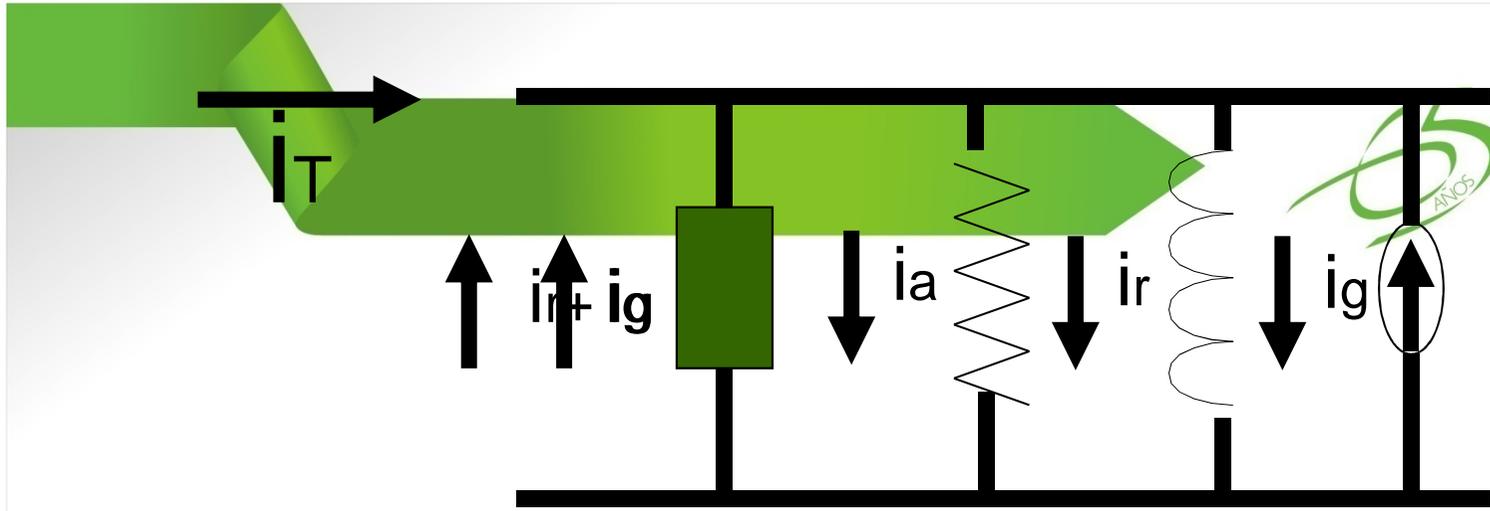
## Planteamiento del Problema

Sistema { Tensión S/E  
Senoidal  
Cargas No  
lineales  
Sistema Balanceado

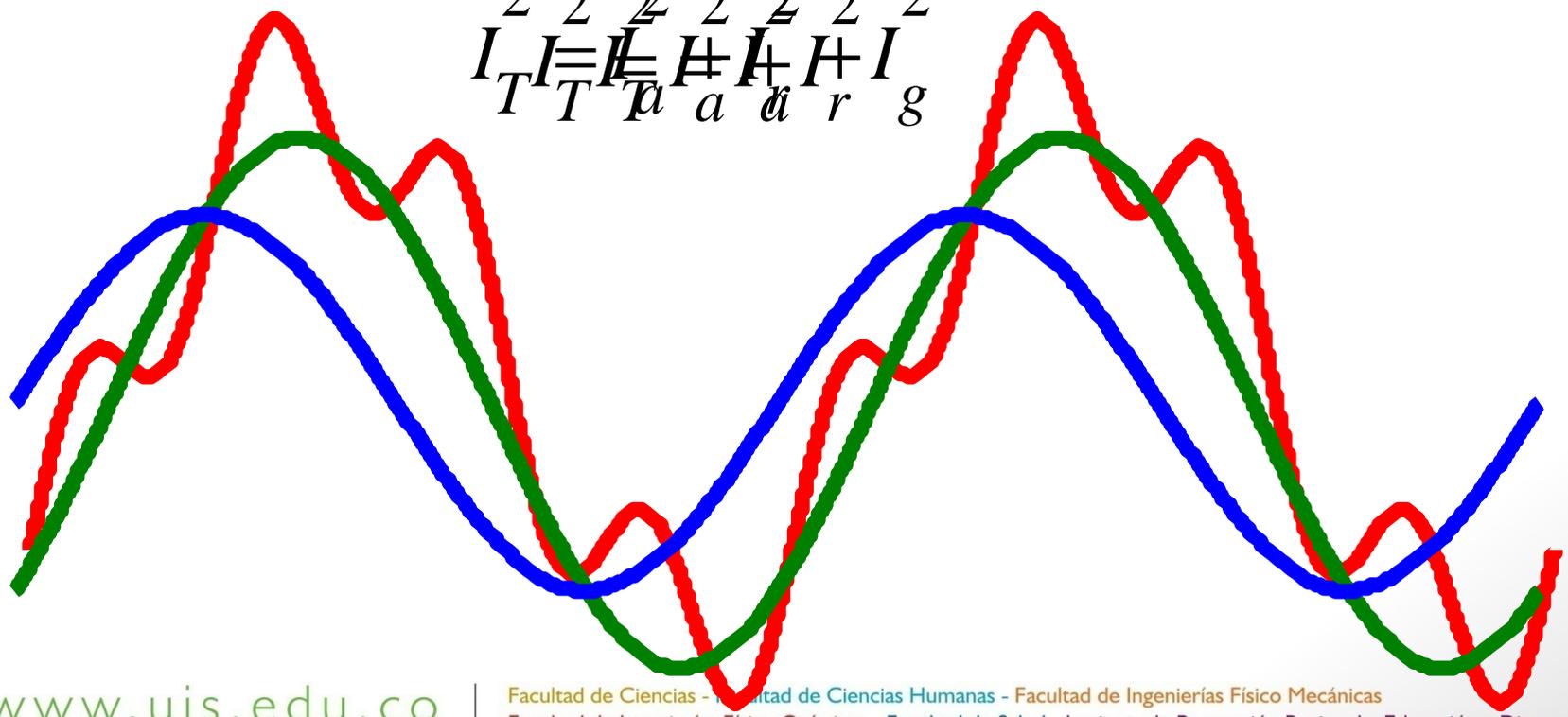
⇒  $S^2 = P^2 + Q_r^2 + D_g^2$



Potencia Ficticia ⇒  $Q_F^2 = Q_r^2 + D_g^2$



$$I_T^2 = I_r^2 + I_{ig}^2 + I_a^2 + I_r^2 + I_{ig}^2 + I_g^2$$



# Aplicación



- Circuito ESSA
- S/E Norte
- 75 Barras
- Armónicos en todas las barras:  
3, 5, 7, 9, 11, 13, 15, 17



CONSTRUIMOS FUTURO

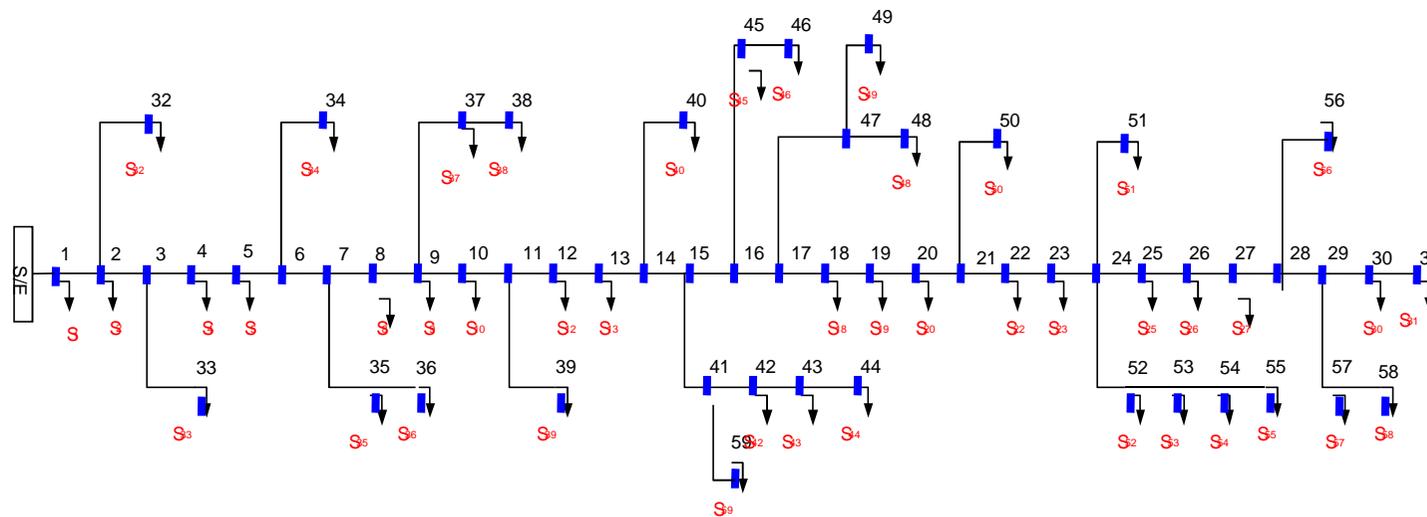


Figura 16. Alimentador ejemplo



CONSTRUIMOS FUTURO

## Pérdidas de potencia por armónico compensada la potencia reactiva fundamental

ARMÓNICO	PÉRDIDAS [kW]		
	Hora Pico	Hora media	Hora valle
L1	55,041	29,901	18,022
3	4,949	2,323	0,721
5	14,260	6,869	2,162
7	34,558	8,096	6,164
9	5,024	2,107	0,562
11	1,372	0,561	0,146
13	0,366	0,150	0,039
15	0,150	0,062	0,016
17	0,109	0,046	0,012
Totales	115,83	60,11	27,84

## Decisión del tipo de filtro

[ 7 5 9 3 ]

# Configuración óptima:

## Configuración óptima



CONSTRUIMOS FUTURO

BARRA	9	15	25	52
FILTRO	F <sub>4</sub>	F <sub>3</sub>	F <sub>1</sub>	F <sub>2</sub>
L [mH]	9,9	16,4	104,4	32,2
R <sub>F</sub> [Ω]	0,1250	0,2066	1,3121	0,4049
Q <sub>c</sub> [kVAr]	350	350	300	300
V <sub>r</sub> [kV]	11	11	11	11
Q <sub>F</sub> [kVAr]	205,98	207,79	197,57	212,31

Pérdidas de potencia del alimentador con filtros.

ARMONICO	PERDIDAS [Kw]		
	Hora Pico	Hora media	Hora valle
1	55,280	30,463	18,916
3	1,7896	0,8368	0,2595
5	1,1051	0,5180	0,1612
7	0,5169	0,2408	0,0745
9	0,4232	0,2011	0,0636
11	0,6477	0,2665	0,0700
13	0,5096	0,2024	0,0501
15	0,4395	0,1712	0,0409
17	0,5556	0,2137	0,0497
Totales	61,267	3.3114	1.9686



CONSTRUIMOS FUTURO

## Pérdidas de potencia para tres estados del sistema

ARMÓNICO	PÉRDIDAS DE POTENCIA [kW] HORA PICO		
	SIN COMPENSAR	CONDENSADORES	FILTROS
1	74,629	55,041	55,280
3	3,1435	4,949	1,7896
5	3,2254	14,260	1,1051
7	3,5996	34,558	0,5169
9	3,7363	5,024	0,4232
11	3,6248	1,372	0,6477
13	2,2780	0,366	0,5096
15	1,7552	0,150	0,4395
17	2,0741	0,109	0,5556
<b>TOTALES</b>	<b>98,066</b>	<b>115,83</b>	<b>61,267</b>



CONSTRUIMOS FUTURO

## Niveles de DAT para los tres estados del sistema

BARRA	DAT <sub>v</sub>		
	SIN COMPENSAR	CONDENSADORES	FILTROS
1	7,0585	9,3392	2,8073
2	7,1567	9,4700	2,8450
3	7,1900	9,5159	2,8572
4	7,2656	9,6210	2,8844
5	7,4463	9,8787	2,9470
6	7,4644	9,9052	2,9531
7	7,5587	10,0456	2,9838
8	7,6002	10,1083	2,9971
9	7,8454	10,4888	3,0715
10	7,8880	10,5439	3,0932

# Contenido



- Introducción
- Definición
- Planeación
- Operación
- Diseño
- Automatización y Redes Inteligentes
- Estudios de Comportamiento
- **Conclusiones**

# Conclusiones



- Requiere mucha investigación.
- Requiere mucho trabajo.
- Aplicación de mejoras multiplicativa.
- Asociada directamente al consumidor.
- Estamos haciendo los desarrollos.

# Especialización en Sistemas de Distribución de Energía Eléctrica



CONSTRUIMOS FUTURO

## NIVEL I Regulación

- Generalidades del Mercado de Energía Eléctrica
- Legislación de la Actividad de Distribución
- Atención al Cliente y Defensa del Usuario
- Reglamentación de la Actividad de Distribución
- Remuneración y Tarificación

## NIVEL II Operación

- Elementos y Equipos para la Operación de los Sistemas de Distribución
- Análisis de los Sistemas de Distribución
- Funciones de Operación de la Distribución
- Protección en Sistemas de Distribución
- Automatización y Control de Sistemas de Distribución

## NIVEL III Planeación

- Demanda de Energía
- Confiabilidad de Sistemas de Distribución
- Metodología de Planeación de la Expansión
- Recursos Energéticos Distribuidos



CONSTRUIMOS FUTURO



[www.uis.edu.co](http://www.uis.edu.co)

Mecánicas

Dirección Regional y Educación a Distancia



CONSTRUIMOS FUTURO



[www.uis.edu.co](http://www.uis.edu.co)

Mecánicas

Dirección Regional y Educación a Distancia



CONSTRUIMOS FUTURO



[www.uis.edu.co](http://www.uis.edu.co)

Mecánicas

Dirección Regional y Educación a Distancia