



CONSTRUIMOS FUTURO

Especialización en Sistemas de Distribución

# APLICACIÓN A LOS MERCADOS ELÉCTRICOS

**Gilberto Carrillo Caicedo**

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

Facultad de Ciencias - Facultad de Ciencias Humanas - Facultad de Ingenierías Físico Mecánicas  
Facultad de Ingenierías Físico Químicas - Facultad de Salud - Instituto de Proyección Regional y Educación a Distancia



CONSTRUIMOS FUTURO

# Características de la Electricidad

- **No almacenable.**
- **Diversas fuentes primarias.**
- **Externalidades no evidentes al consumidor (lluvia ácida, microclimas).**
- **Capital invertido elevado y vida económica larga.**
- **Primordial para el desarrollo del país.**



CONSTRUIMOS FUTURO

## Opciones

- Servicio eléctrico estatal.
- Monopolio regulado.
- Libre mercado.
- Mezcla adecuada de criterios.

## Pros y contras

- Servicio seguro pero ineficiente.
- Rentable pero ineficiente para algunas funciones.
- Servicio eficiente pero perverso para algunas funciones.
- Servicio eficiente.

# ¿Porqué un nuevo esquema regulatorio?



- **Empresas de servicios públicos con comportamiento ineficiente.**
- **Indeterminación sobre ente regulador.**
- **Planteamiento de reglas con criterios diversos: regionalistas, individualistas, políticos o de bienestar social.**
- **Presión extranjera.**

# Situación actual



- **El estado busca descentralizar las actuaciones del sector.**
- **Se quiere buscar eficiencia en la gestión de las electrificadoras.**
- **Parece haber confusión en la aplicación de los criterios del “mercado libre”.**
- **No hay claridad en la concepción social del servicio.**

# Motivación de la Reestructuración



CONSTRUIMOS FUTURO

Promover la Competencia

“Reducir” Regulación

Atraer Inversión Extranjera

Atraer la Inversión Privada

Disminuir el Peso de las Responsabilidades Gubernamentales

Fomentar la Privatización y la Descentralización

Reducir los Precios de la Energía



# Marco Legal Actual\*



Constitución 1991

DECISIÓN CAN

Leyes 142 y 143 de 1994

LAC STN – 012 de 1995

Código Comercial:  
Resolución CREG 024 de 1995

XM-MEM

- Intercambios comerciales

Código de Redes:  
Resolución CREG 025 de 1995

- Códigos de Conexión, Operación, Medida y Planeamiento

Otras resoluciones CREG  
1994 - 2007

Gas, Energía y Planeamiento Eléctrico,  
Transmisión, Distribución, Racionamiento,  
Coordinación, Supervisión, Operación y  
Control, Tarifas, Facturación

\* "Características del Sistema Eléctrico Colombiano", Seminario a la Operación del SIN y a la Administración del Mercado. Julio de 2006. XM S.A. E.S.P.



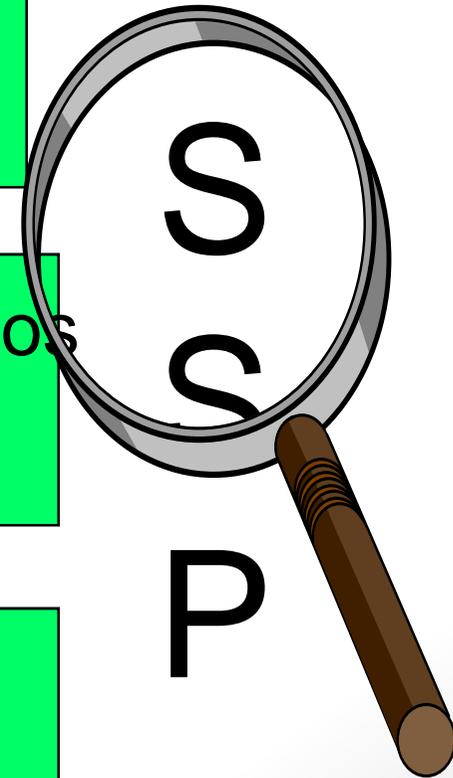
CONSTRUIMOS FUTURO

# Marco Regulatorio

Constitución 1991

Ley de Servicios Públicos  
Ley Eléctrica +Otras

Resoluciones CREG



# Marco Legal Actual\*



## CONSTITUCIÓN POLÍTICA DE COLOMBIA (1991)

### Ley 142 de 1994 (Ley de SERVICIOS PÚBLICOS)

- Viabiliza el enfoque Constitucional
- Crea ambiente de mercado y competencia
- Fortalece el Sector
- Delimita la intervención del Estado

### Ley 143 de 1994 (Ley ELÉCTRICA)

- Regula las actividades de Generación, Interconexión, Transmisión, Distribución y Comercialización de electricidad

\* “Transporte de Energía Eléctrica en Colombia – Módulo 2: Características del Sistema Eléctrico” – Marzo de 2005. Interconexión Eléctrica S.A. E.S.P.

# Constitución Política



CONSTRUIMOS FUTURO

- **Servicios públicos inherentes a la finalidad social del estado.**
- **Prestados por el estado, la comunidad o particulares.**
- **Responsabilidad del estado : servicio y subsidios > nación y entes territoriales.**
- **Promover competencia donde sea posible.**



# Leyes 142 y 143

- **Principios de los servicios públicos**
- **Supervisión y Control**
- **Regulación**
- **Monopolio de transmisión y despacho**
- **Introducción de capital privado**
- **Otras relacionadas: 99, 141, ...**

# Objetivos del Marco Regulatorio Actual



CONSTRUIMOS FUTURO

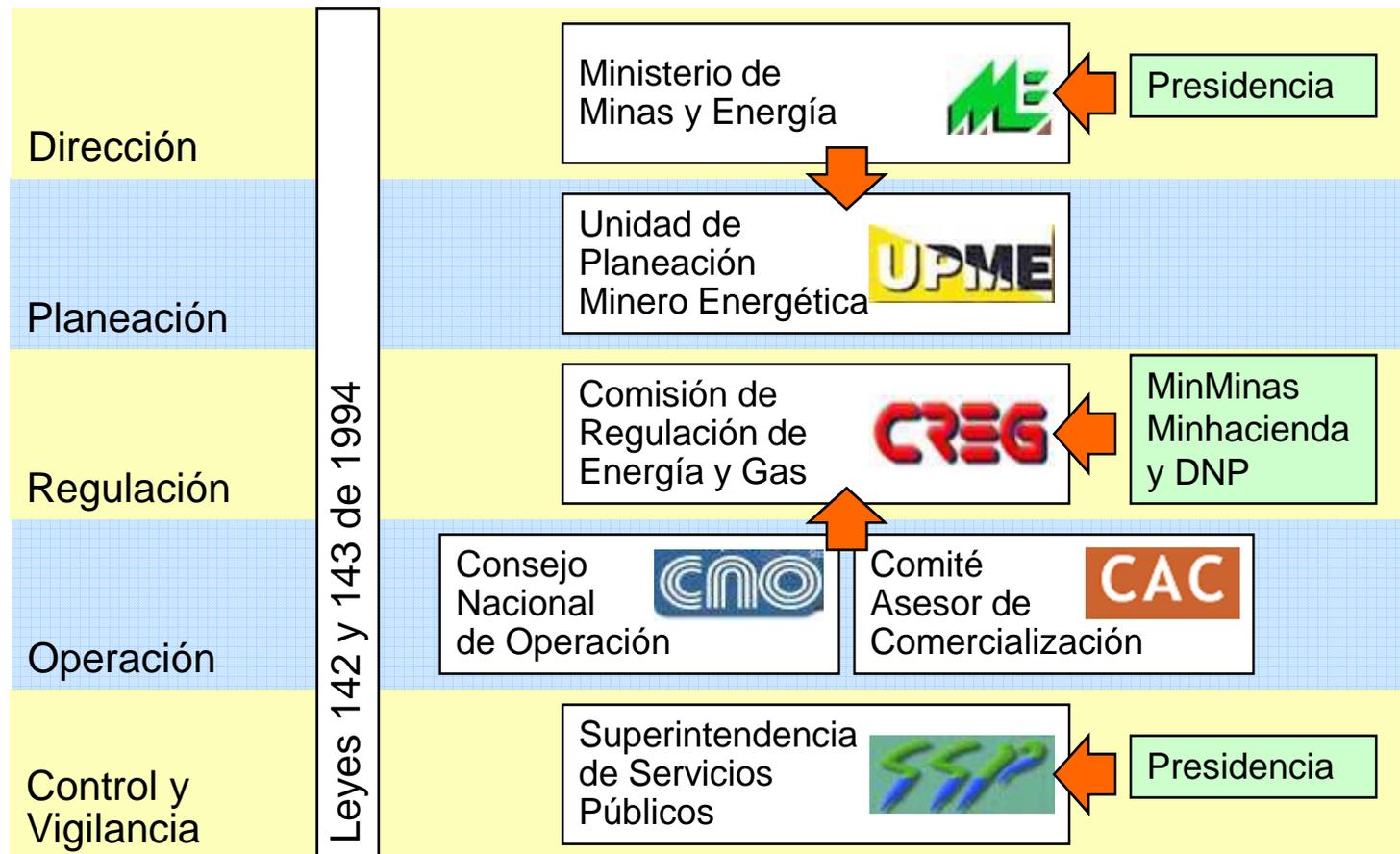
		OBJETIVOS BÁSICOS
<p><b>Julio de 1994</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Ley 142, SERVICIOS PUBLICOS DOMICILIARIOS</li> <li>➤ Ley 143, ELÉCTRICA</li> </ul>	<p>Modificar el Papel del Estado</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Dirección</li> <li>➤ Regulación</li> <li>➤ Control y vigilancia</li> </ul>
	<p>Mejorar Eficiencia</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Precios económicos (tarifas competitivas)</li> <li>➤ Confiabilidad</li> <li>➤ Calidad</li> <li>➤ Cobertura</li> </ul>
	<p>Introducir Competencia</p>	
	<p>Vincular Capital Privado - Estado no empresario</p>	

\* "Características del Sistema Eléctrico Colombiano", Seminario a la Operación del SIN y a la Administración del Mercado. Julio de 2006. XM S.A. E.S.P.

# Funciones Gubernamentales Actuales\*



CONSTRUIMOS FUTURO

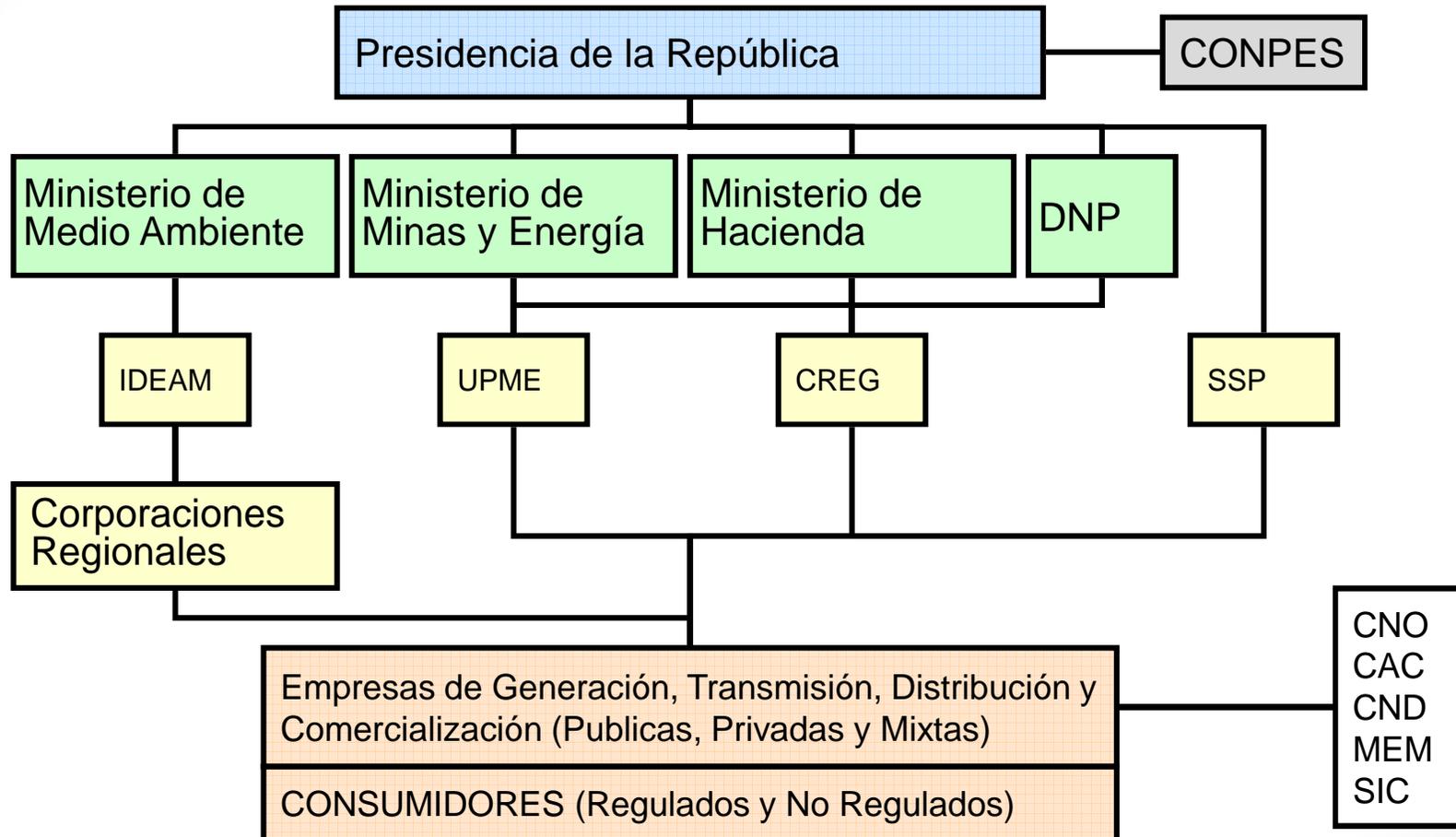


\* “Transporte de Energía Eléctrica en Colombia – Módulo 2: Características del Sistema Eléctrico” – Marzo de 2005. Interconexión Eléctrica S.A. E.S.P.

# Estructura Gubernamental del Sector\*



CONSTRUIMOS FUTURO

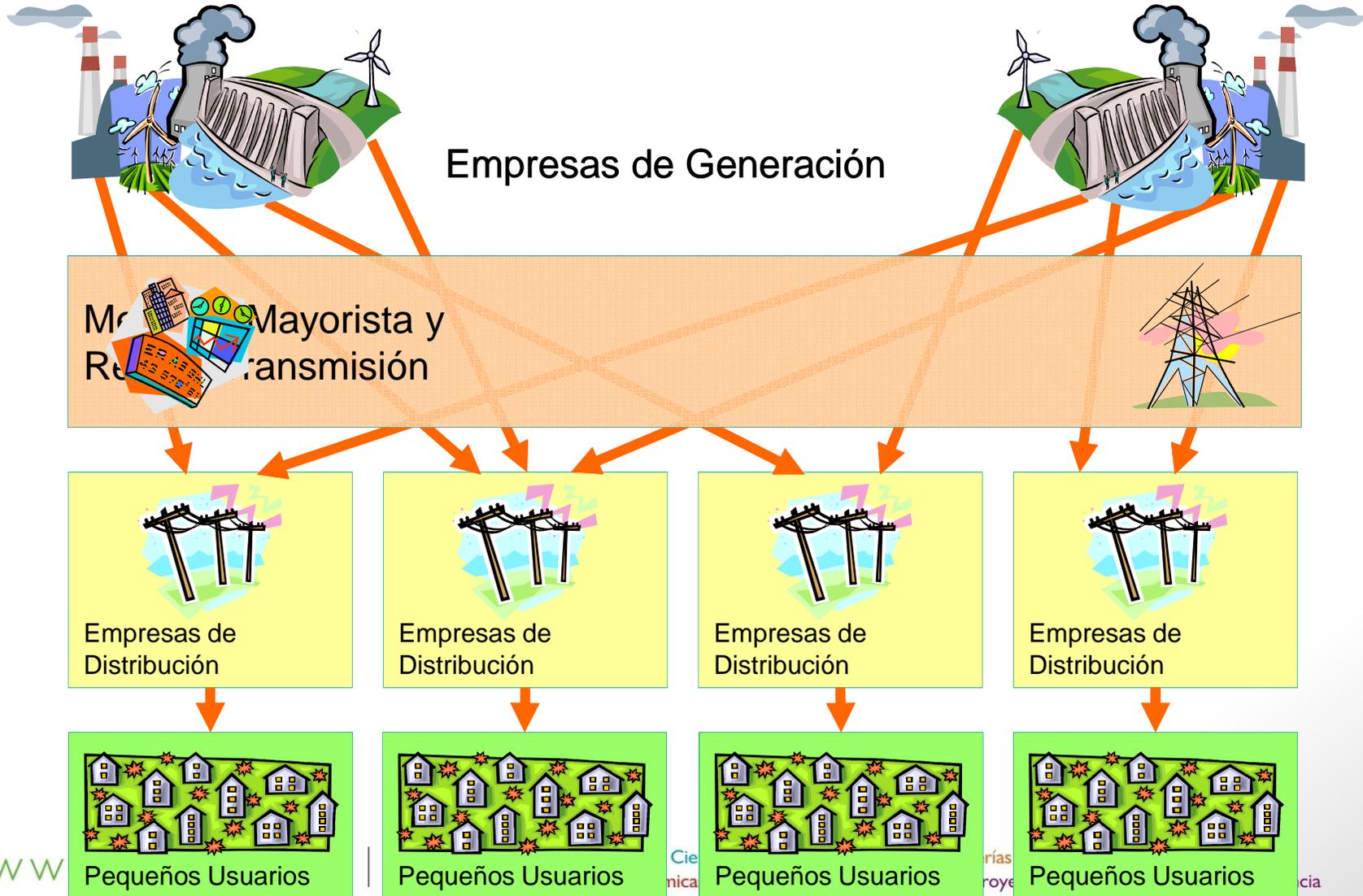


\* "Transporte de Energía Eléctrica en Colombia – Módulo 2: Características del Sistema Eléctrico" – Marzo de 2005. Interconexión Eléctrica S.A. E.S.P. [www.uis.edu.co](http://www.uis.edu.co) | Facultad de Ciencias - Facultad de Ciencias Humanas - Facultad de Ingenierías Físico Mecánicas - Facultad de Ingenierías Físico Químicas - Facultad de Salud - Instituto de Proyección Regional y Educación a Distancia

# Usuarios Regulados (Competencia Mayorista)\*



CONSTRUIMOS FUTURO



Fuente: Daniel Kirschen, "Power System Economics: Introduction",  
The University of Manchester, U.K., 2006.

WWW

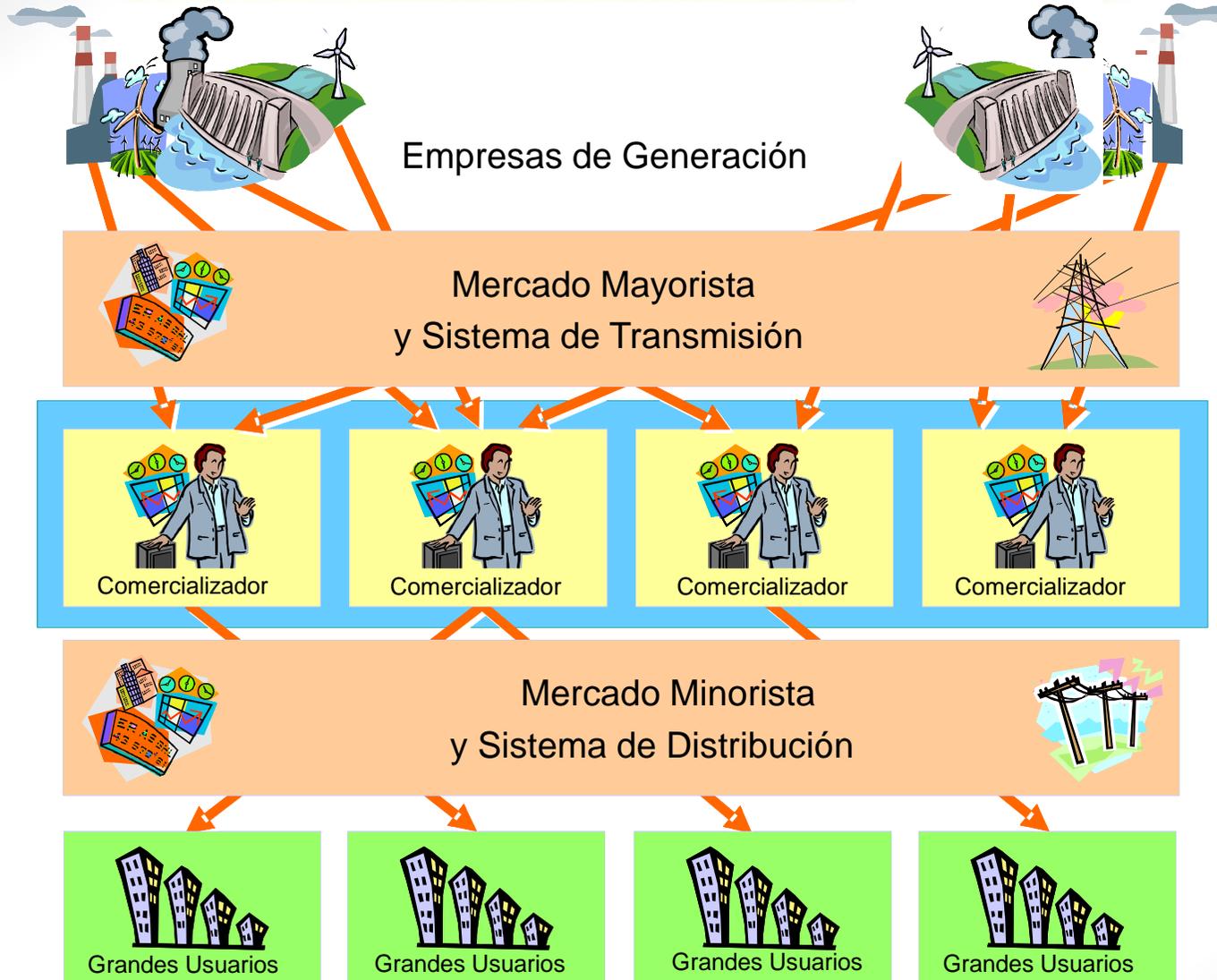
Pequeños Usuarios

Pequeños Usuarios

Pequeños Usuarios

Pequeños Usuarios

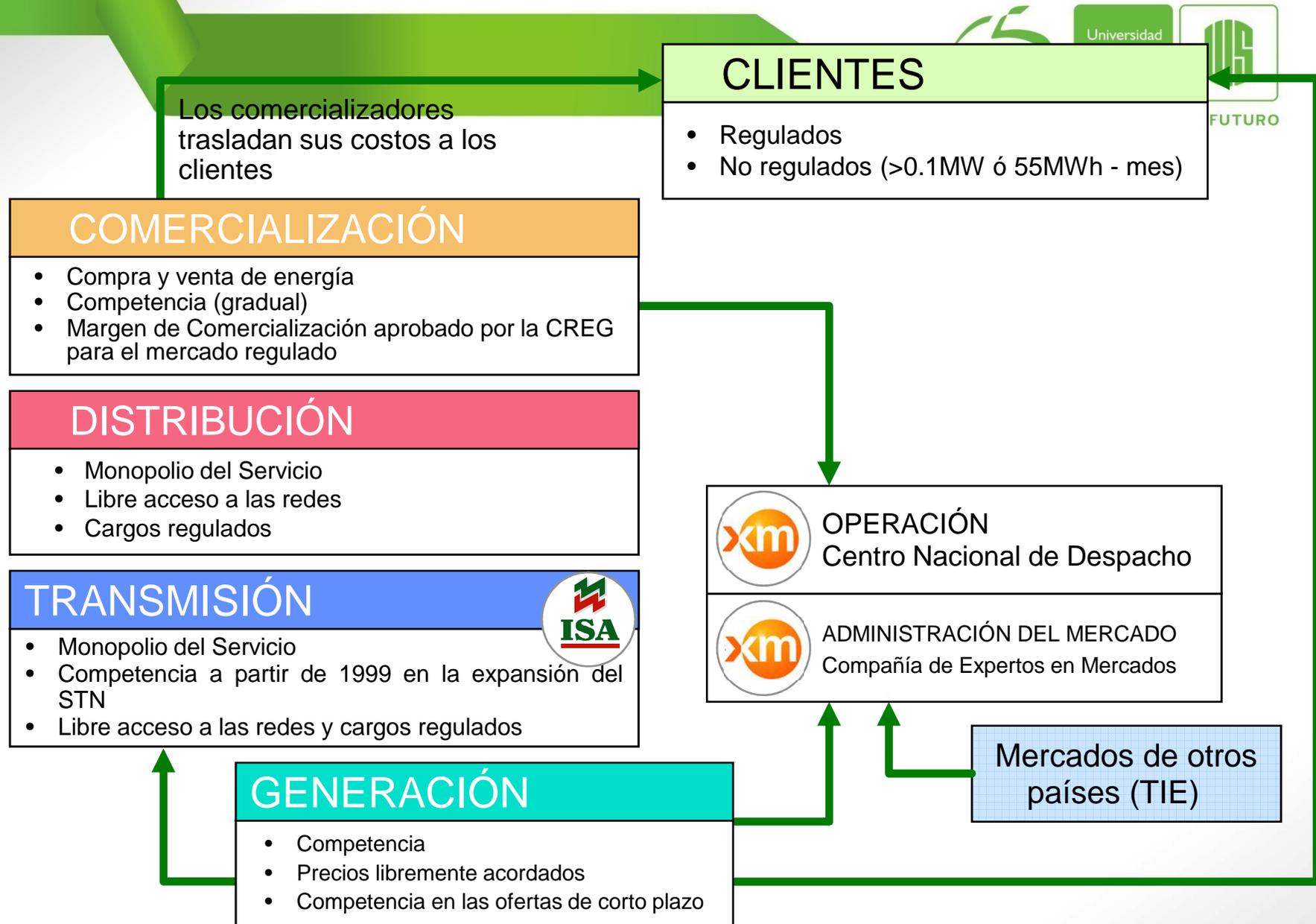
# Usuarios No Regulados (Comp. May y Min)\*



Los Comercializadores compran energía en el mercado mayorista y la revenden a los consumidores a los que no se les permite, o no les interesa, participar en el mercado mayorista

Fuente: Daniel Kirschen, "Power System Economics: Introduction", The University of Manchester, U.K., 2006.

# Mercado Eléctrico Colombiano\*

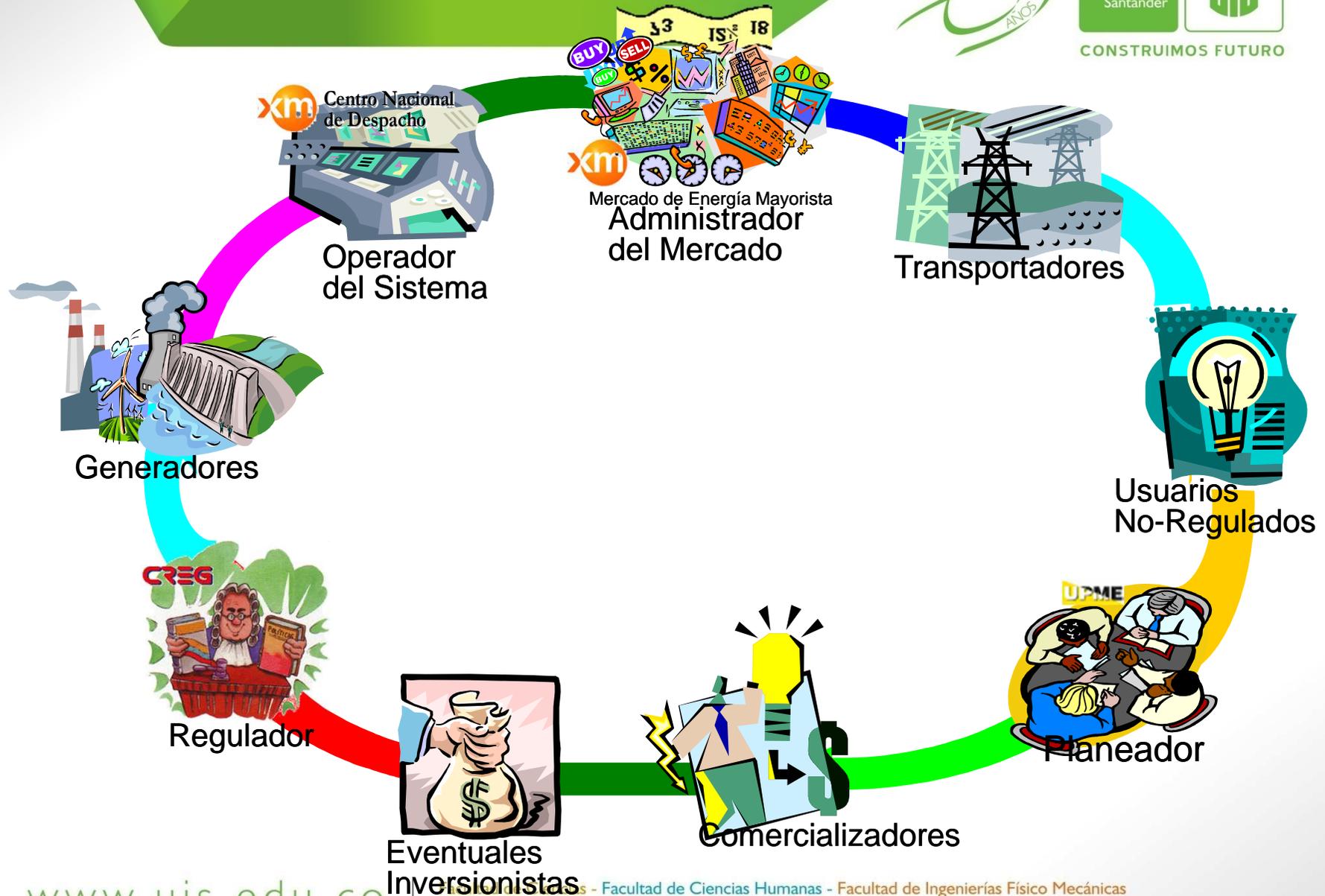


\* "Transporte de Energía Eléctrica en Colombia - Módulo 2: Características del Sistema Eléctrico" - Marzo de 2005. Interconexión Eléctrica S.A. E.S.P. | Facultad de Ingenierías Físico Químicas - Facultad de Salud - Instituto de Proyección Regional y Educación a Distancia

# Agentes del Mercado Eléctrico Colombiano



CONSTRUIMOS FUTURO





CONSTRUIMOS FUTURO

# Administración

Regulación de electricidad y gas CREG

Supervisión y control SSP

Planeación indicativa UPME

Transmisión y Despacho ISA



XM

# Empresas Eléctricas



CONSTRUIMOS FUTURO



Producir  
Transmitir  
Distribuir

En forma segura

A costo razonable

Con continuidad y Calidad aceptables

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

Facultad de Ciencias - Facultad de Ciencias Humanas - Facultad de Ingenierías Físico Mecánicas  
Facultad de Ingenierías Físico Químicas - Facultad de Salud - Instituto de Proyección Regional y Educación a Distancia



CONSTRUIMOS FUTURO

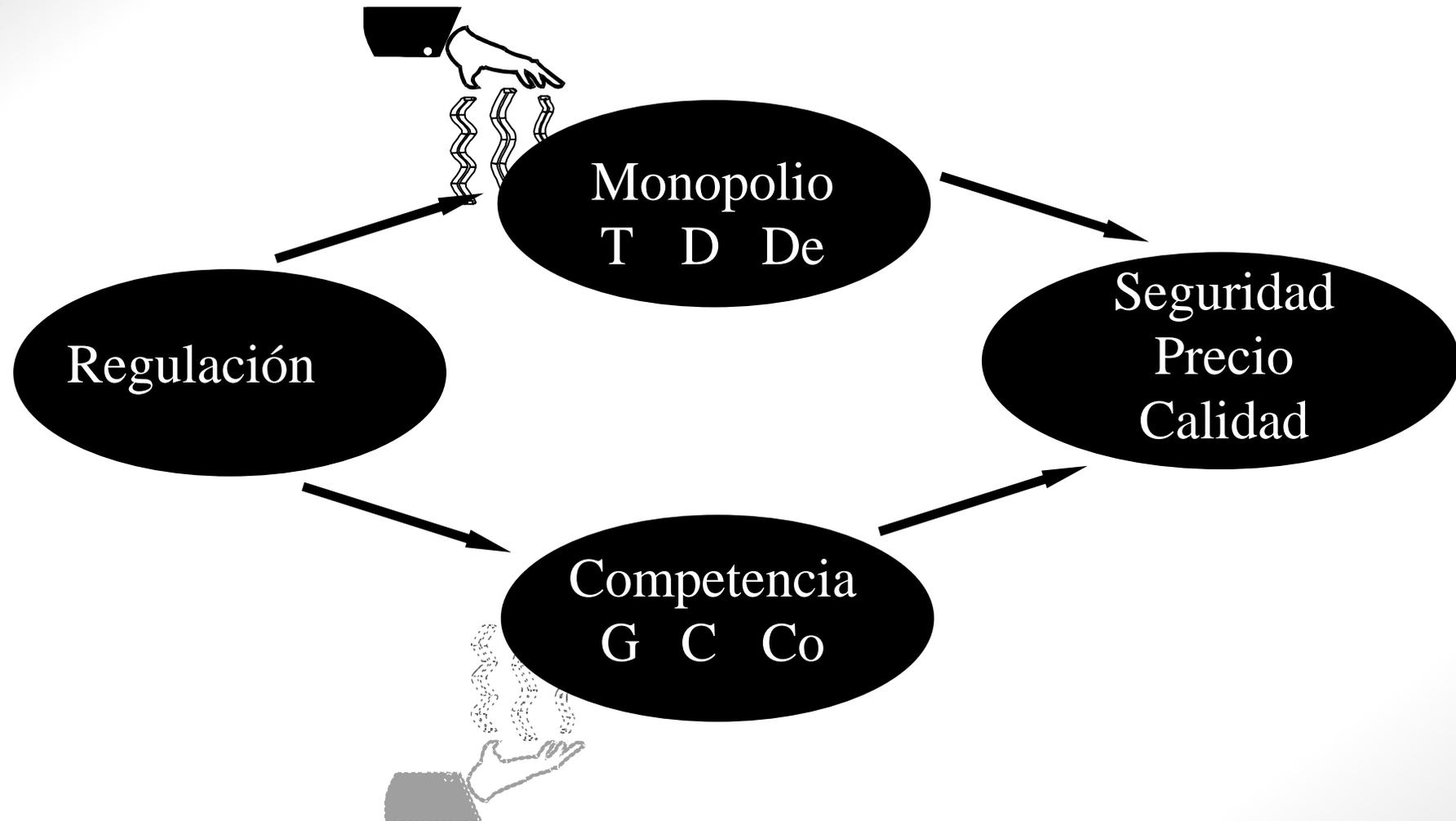
**Competencia  
Perfecta**

**Regulación  
Perfecta**

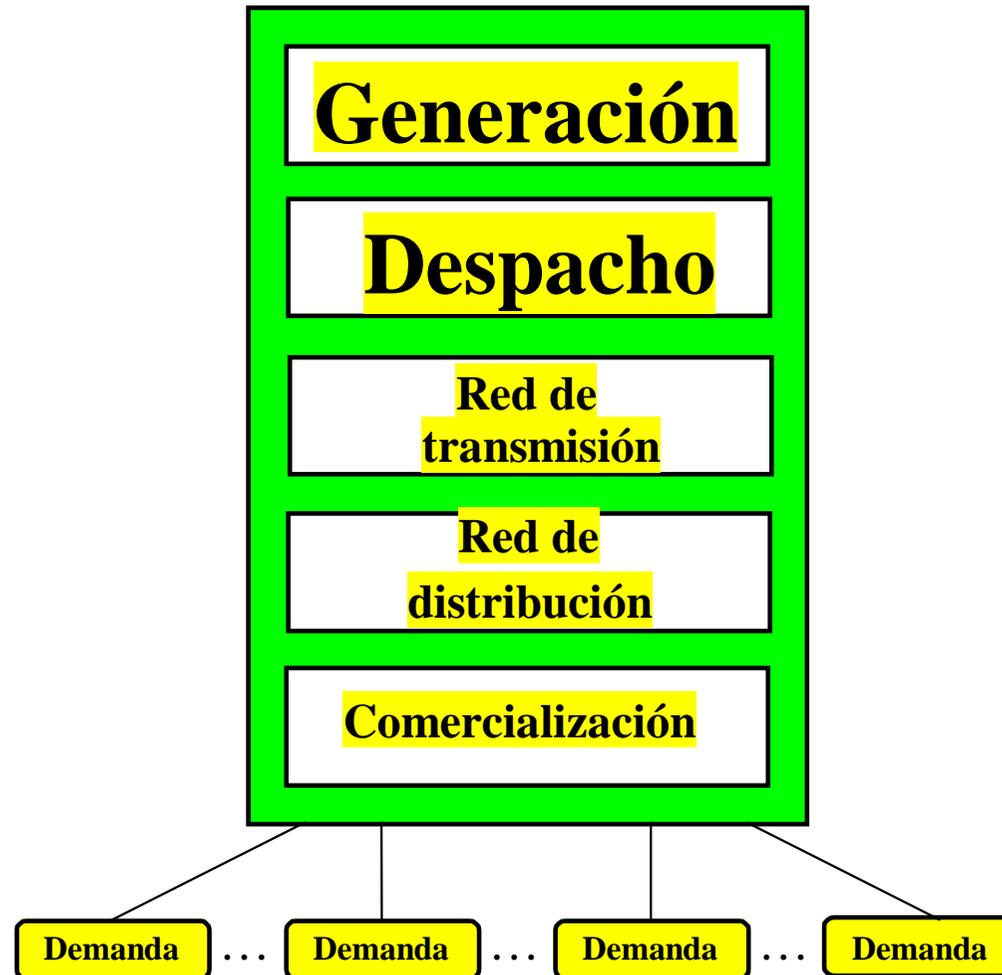
**Sistema  
Eléctrico**



CONSTRUIMOS FUTURO

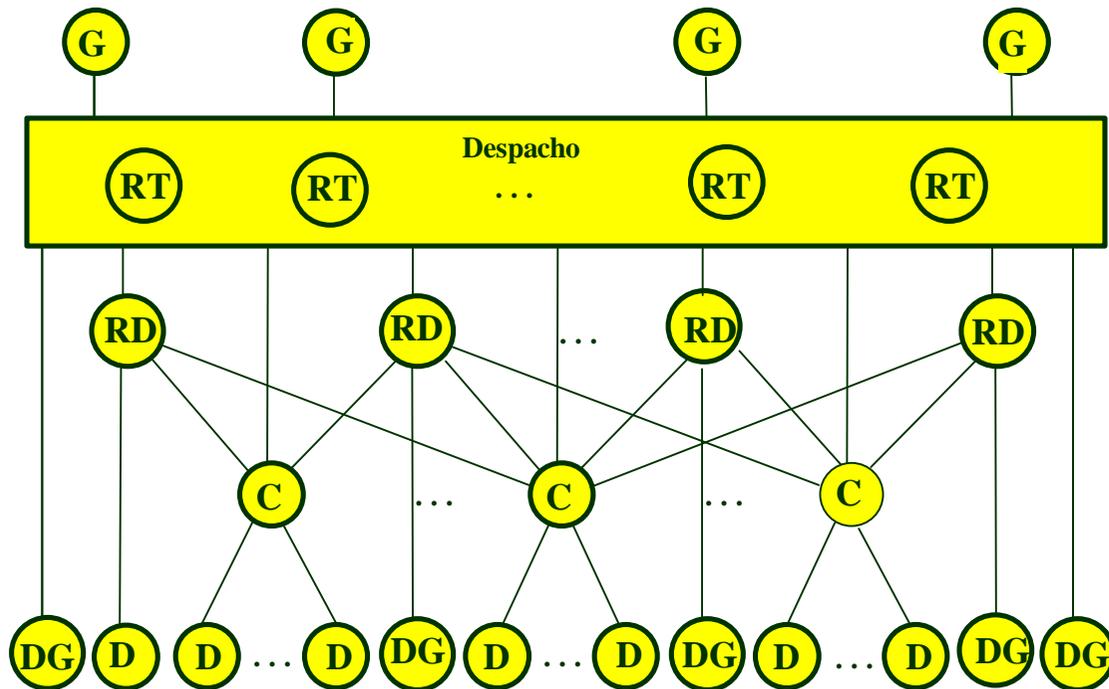


# REGULACIÓN TRADICIONAL





# ESTRUCTURA COMPETITIVA





CONSTRUIMOS FUTURO





CONSTRUIMOS FUTURO

# REMUNERACIÓN / TARIFICACIÓN

Costo reconocido

Distribución

Costo incurrido

Transmisión

Costos medios

Costo evitado

Costos marginales

Ofertas propuestas

Ofertas marginales

Generación

Tarifas reguladas

Tarifas marginalistas

Tarifas zonales

Tarifas puntuales

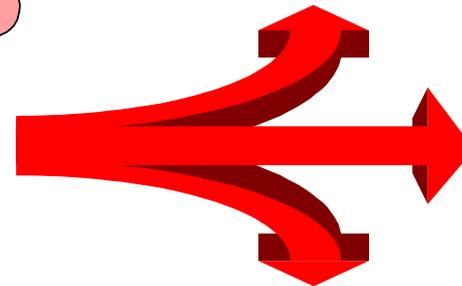
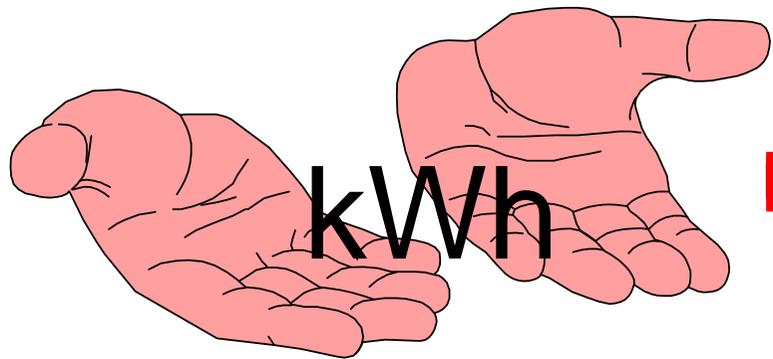
Tarifa zonal regulada

Tarifa zonal marginal



CONSTRUIMOS FUTURO

# Conceptos



Confiabilidad  
Calidad  
Seguridad



CONSTRUIMOS FUTURO

# Criterios

Electricidad → Producto

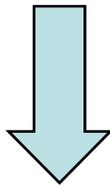
Despacho  
Transmisión → Servicio  
Distribución

# Lineamientos Regulatorios

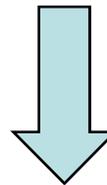
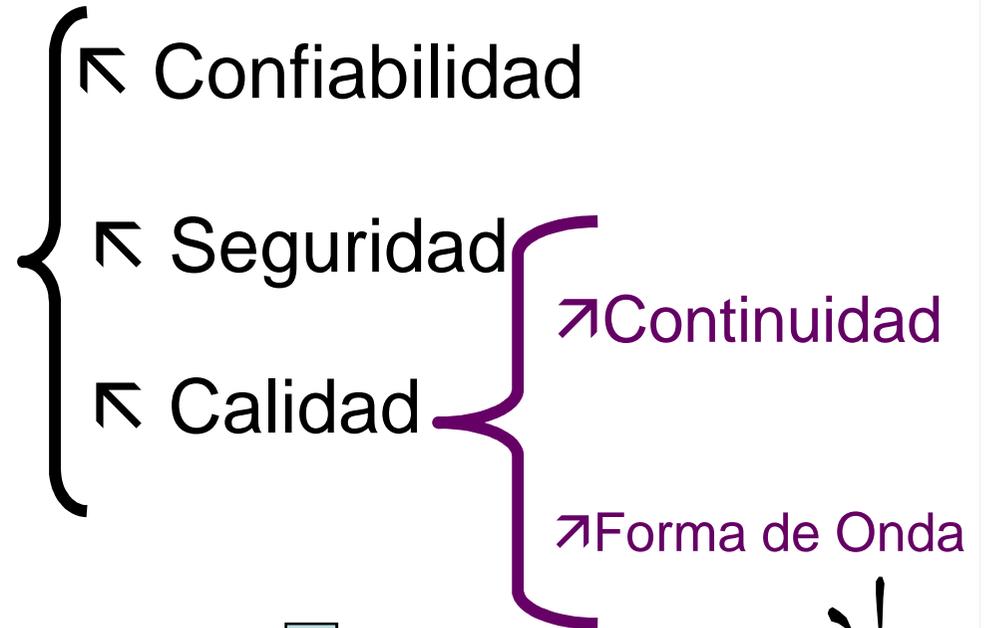


CONSTRUIMOS FUTURO

ENERGÍA ELÉCTRICA



Generación-Consumo



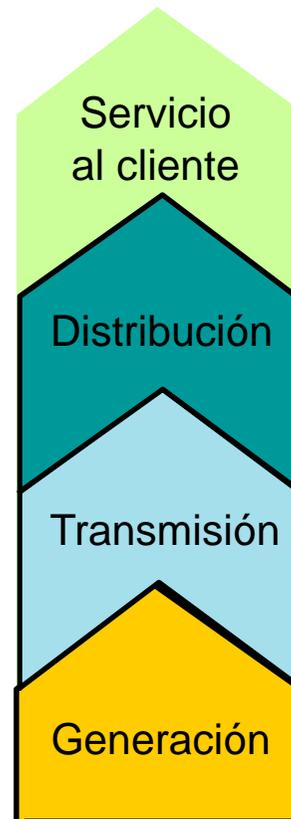
Servicios Complementarios





CONSTRUIMOS FUTURO

# Estructura Anterior

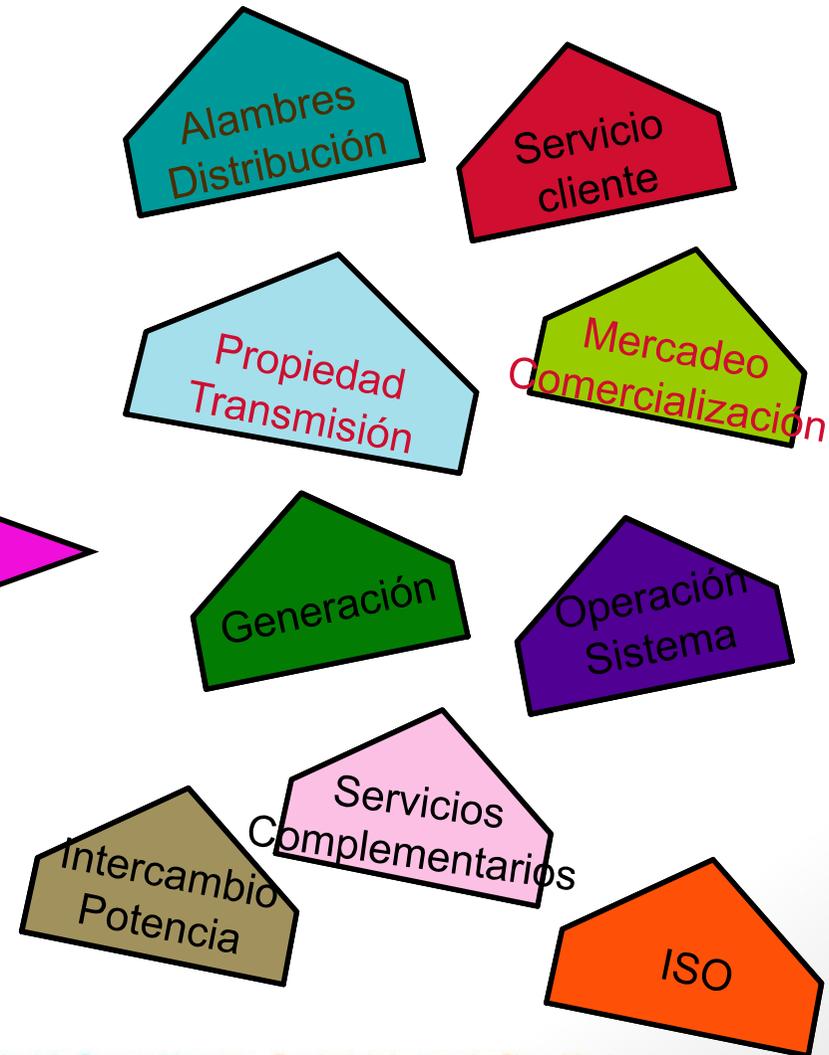
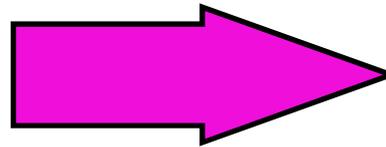
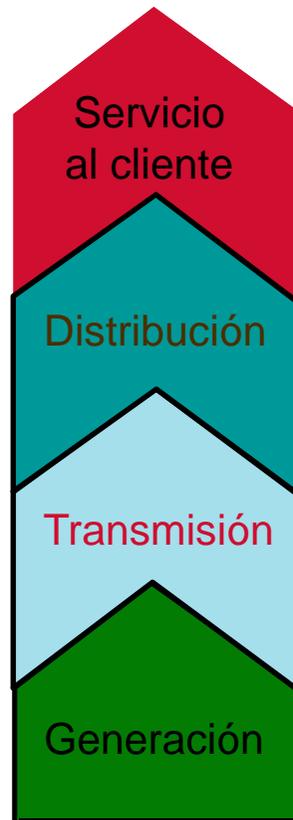


# Cambio Estructural

Universidad  
Industrial de  
Santander



CONSTRUIMOS FUTURO

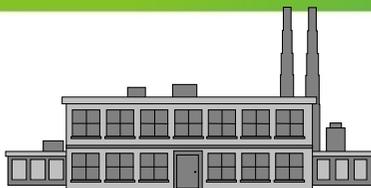


# Nueva Estructura

Universidad Industrial de Santander



CONSTRUIAMOS FUTURO



ESP

Usuario Final

Comercializador

Distribución (alambres)

ISO

Coordinador Intercambios

Mercado de Servicios Complementarios

Coordinador Despacho

G G G

G G G

G G G

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

Facultad de Ciencias Exactas y Naturales - Facultad de Ingenierías Físicas y Mecánicas - Facultad de Ingenierías Físico Químicas - Facultad de Salud - Instituto de Proyección Regional y Educación a Distancia

# Transformación



CONSTRUIMOS FUTURO

**TRADICIONAL**

**ACTUAL**



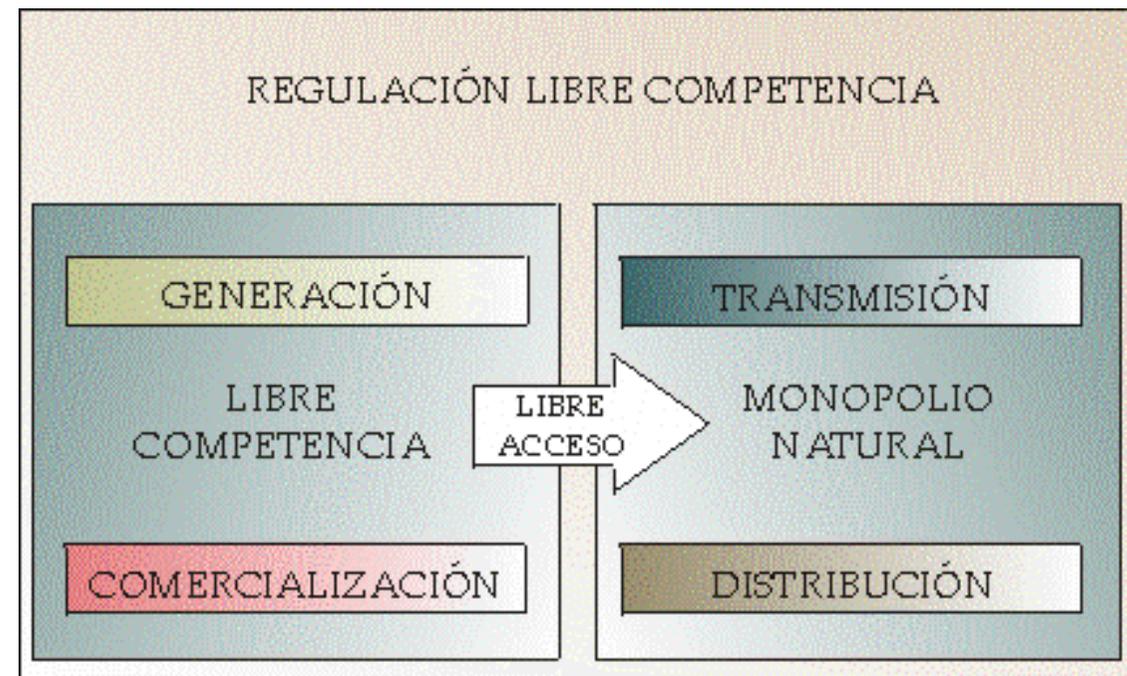
**Discriminación  
Remuneración**

**Costos incurridos  
Pérdidas ocurridas  
Ingresos Evitados**

# ENTORNO



CONSTRUIMOS FUTURO

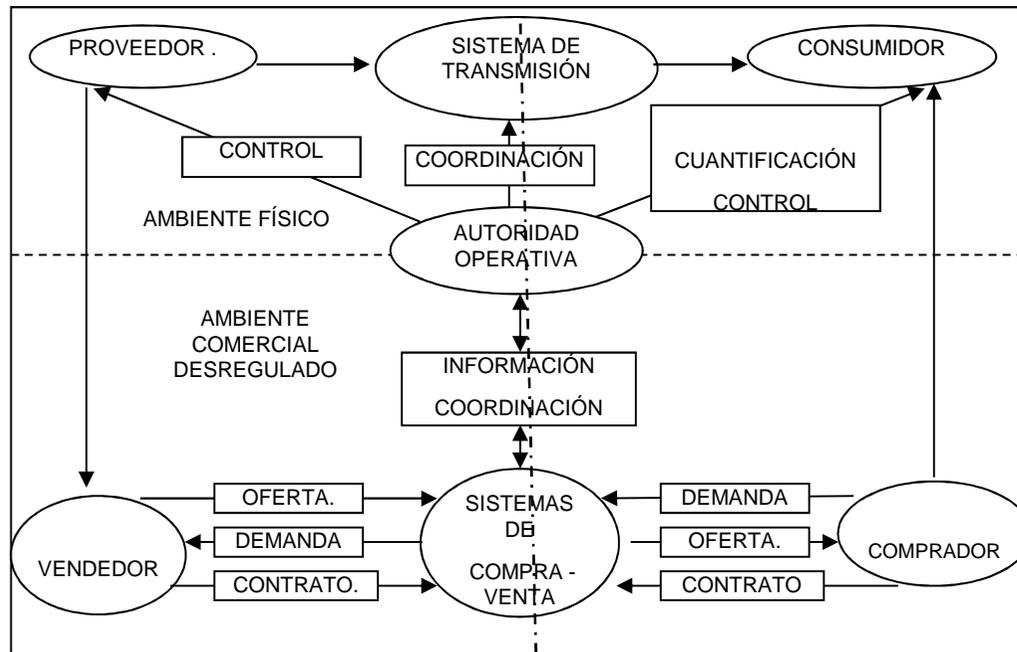


**Estado**



CONSTRUIMOS FUTURO

**Físico**



**Comercial**

**Entrega**

**Recibo**

# REMUNERACIÓN / TARIFICACIÓN

¿Medición?



CONSTRUIMOS FUTURO

Costo reconocido

Distribución

Costo evitado

Costo incurrido

Transmisión

Ofertas propuestas

Ofertas marginales

Generación

Tarifas reguladas

Tarifas marginalistas

Tarifas zonales

Tarifas puntuales

Tarifa zonal regulada

Tarifa zonal marginal

# CRITERIOS DE REMUNERACIÓN



CONSTRUIMOS FUTURO

Servicio: Regulado

Costos reconocidos

Incentivos

Penalizaciones

Costos de oportunidad

Producto: Libre mercado

Ofertas

Nivel técnico

No poder de mercado

No economías de escala

Inversión

AMO

Pérdida de  
eficiencia

Desvío del óptimo

Ingresos  
desplazados

Costos de  
mercadeo

Equipo soporte

Equipo control

Equipo de medición



CONSTRUIMOS FUTURO

# CONTENIDO TEMÁTICO

- **ORGANIZACIÓN Y FUNCIONAMIENTO DEL MERCADO DE ENERGIA MAYORISTA (MEM).**
- ✿ **LA DEMANDA DE ELECTRICIDAD EN EL MEM.**
- ✿ **LA OFERTA EN EL MERCADO DE ENERGIA MAYORISTA.**
- ✿ **EL COMPORTAMIENTO DE LAS RESTRICCIONES.**



# ESTRUCTURA DEL MERCADO



CONSTRUIMOS FUTURO



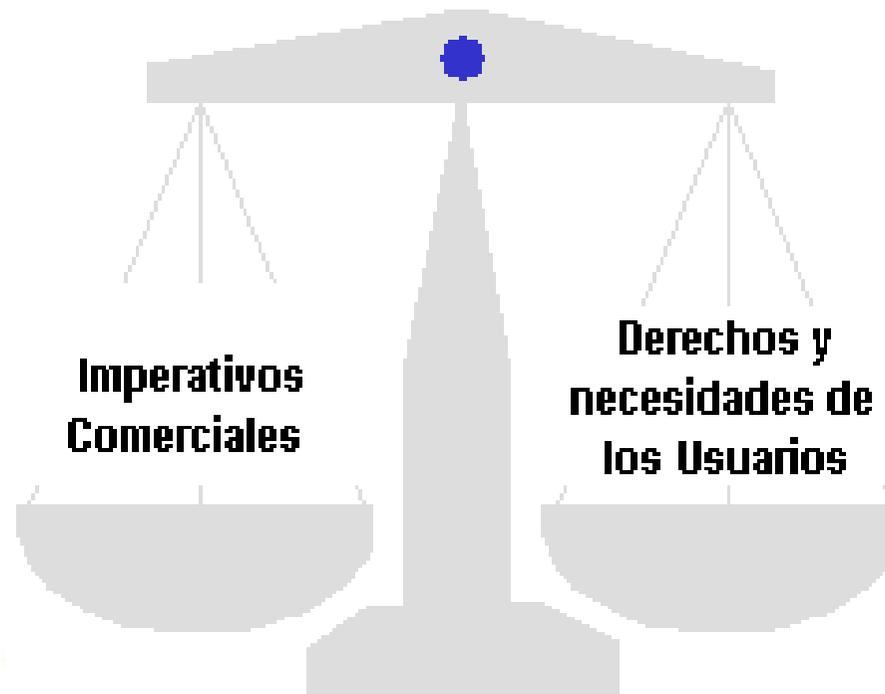
# OBJETIVOS DE LA REGULACIÓN



CONSTRUIMOS FUTURO

El Objetivo natural de la regulación es encontrar el equilibrio entre los derechos y las necesidades del consumidor y los imperativos comerciales del sector.

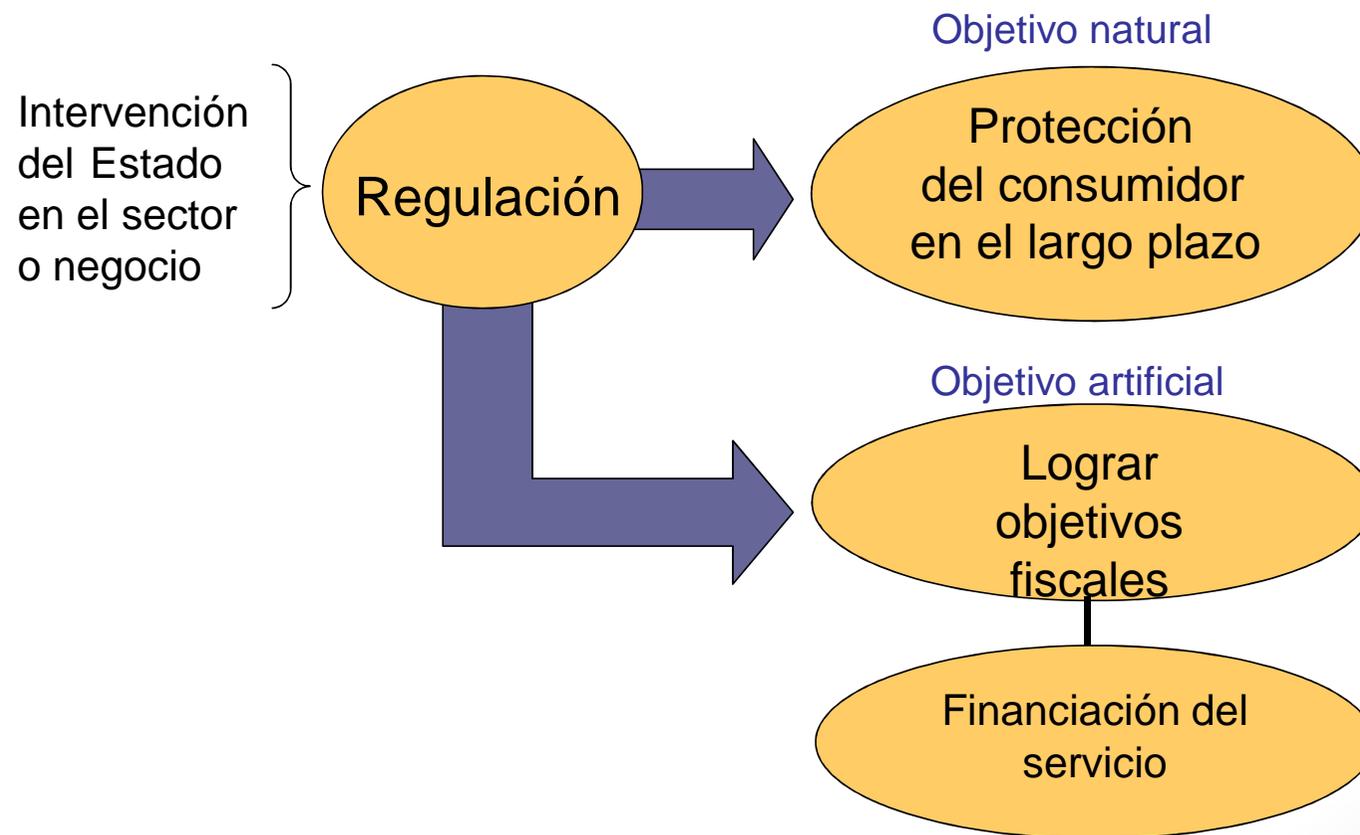
## POSICIÓN DE LA REGULACIÓN



# OBJETIVOS DE LA REGULACIÓN



CONSTRUIMOS FUTURO

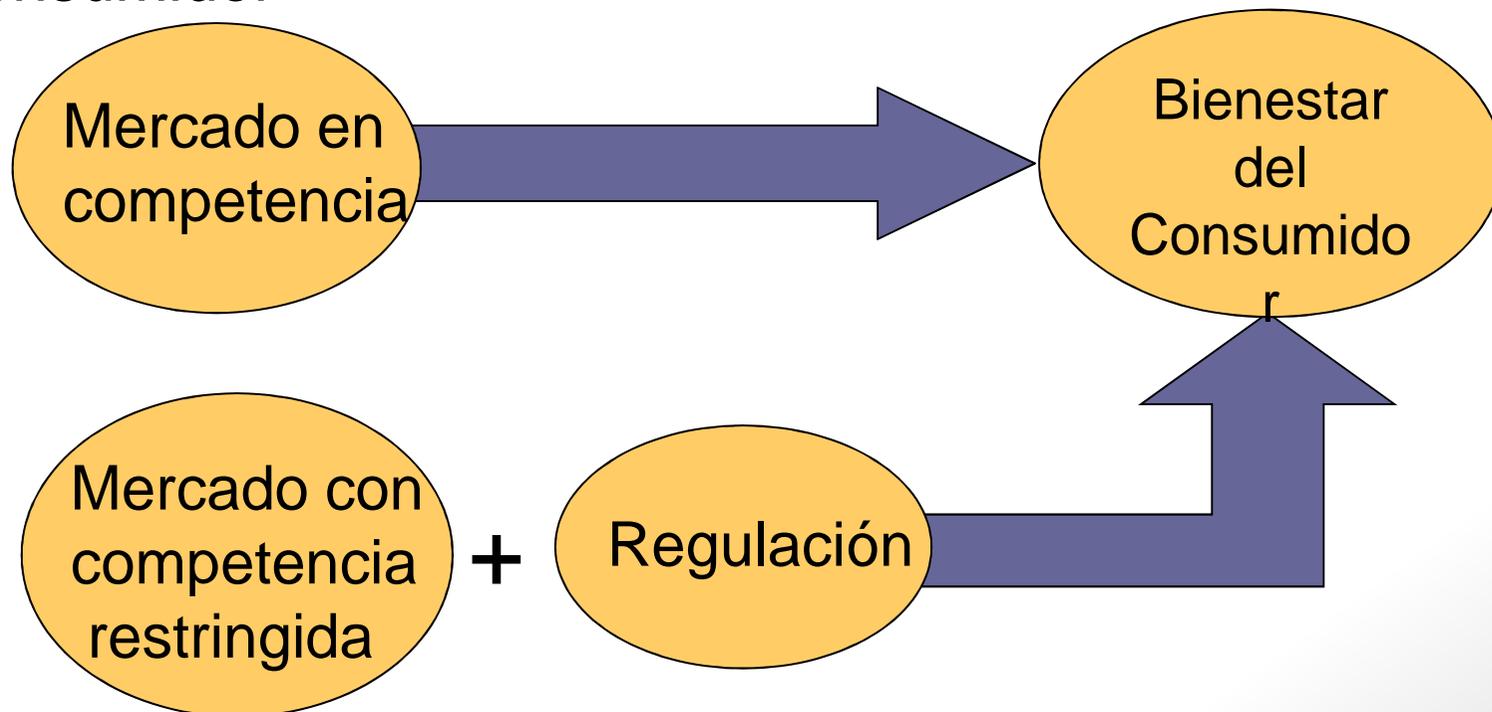




CONSTRUIMOS FUTURO

## LA REGULACIÓN SUSTITUYE EL PAPEL DE LA COMPETENCIA

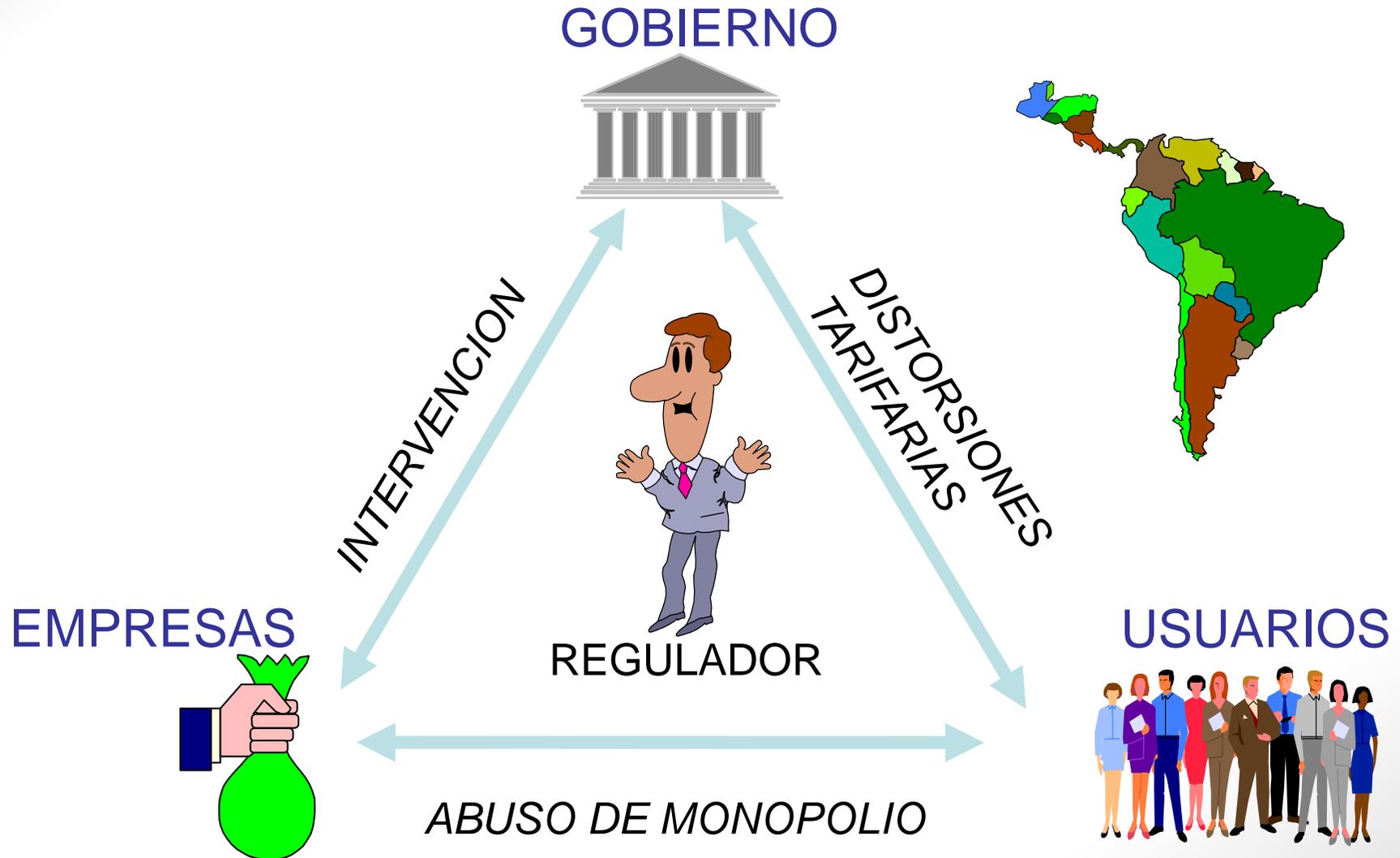
La regulación se justifica cuando la dinámica competitiva no brinda suficiente bienestar al consumidor



# Regulador como Arbitro



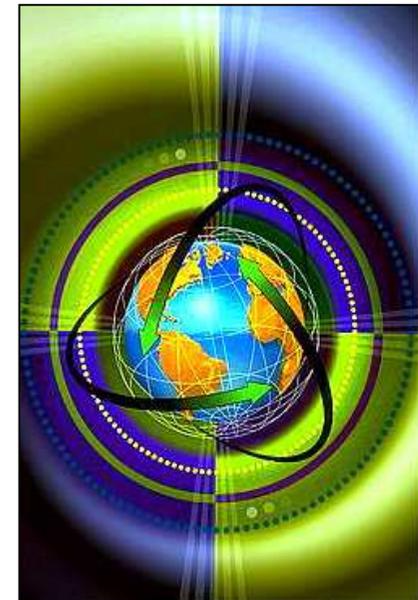
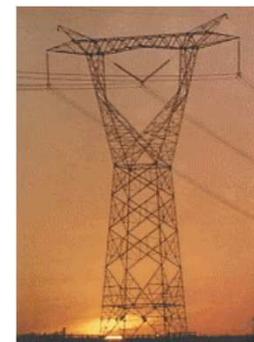
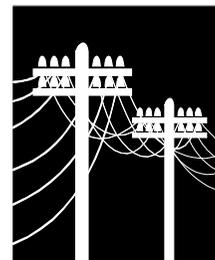
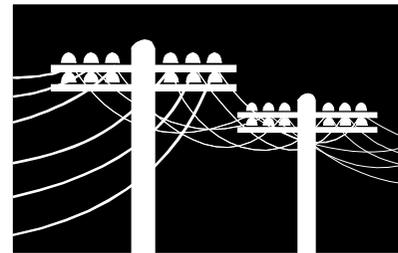
CONSTRUIMOS FUTURO



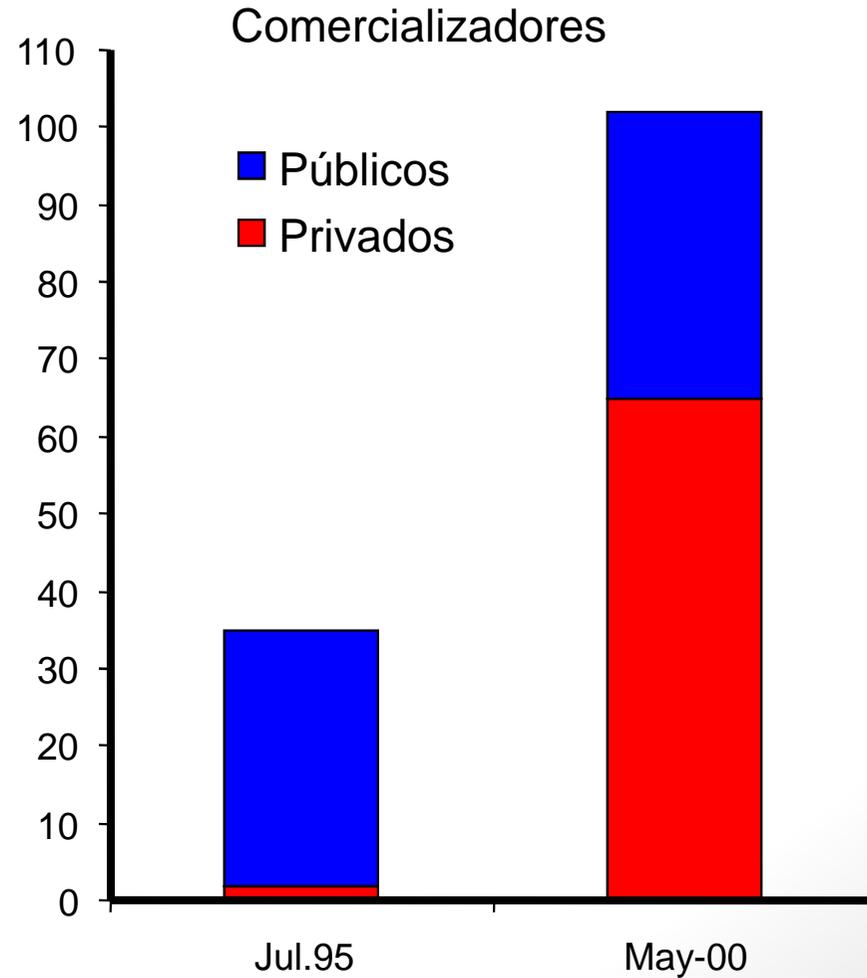
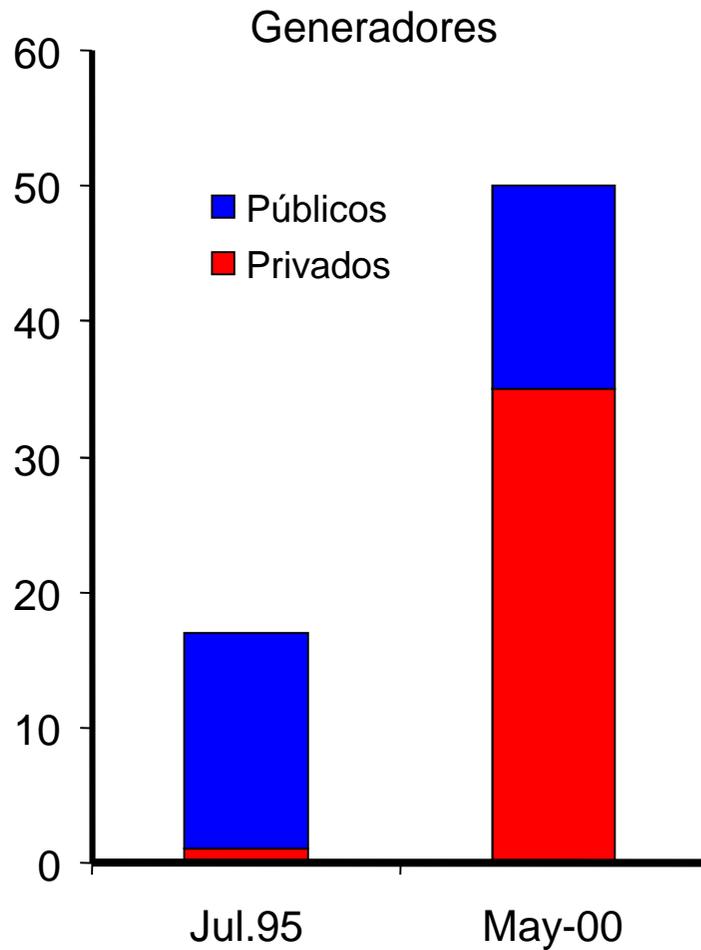


CONSTRUIMOS FUTURO

## AHORA LAS COMPAÑÍAS ELÉCTRICAS MIRAN A SUS CONSUMIDORES COMO CLIENTES, DISPUESTOS A DEMANDAR Y PAGAR POR LOS PRODUCTOS QUE NECESITAN.



# AGENTES REGISTRADOS



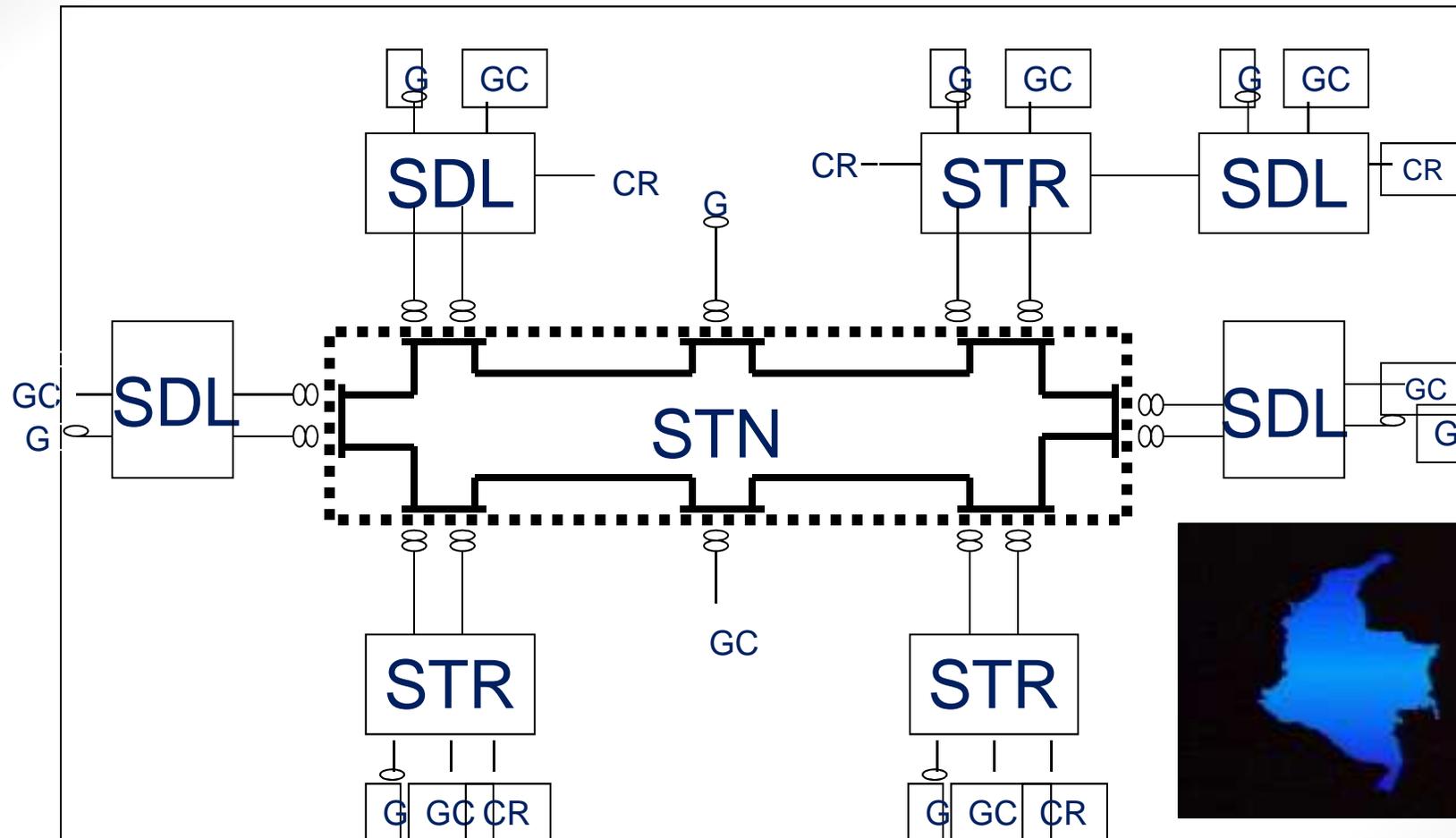
# EL SISTEMA INTERCONECTADO NACIONAL - SIN



Universidad  
Industrial de  
Santander



CONSTRUIMOS FUTURO



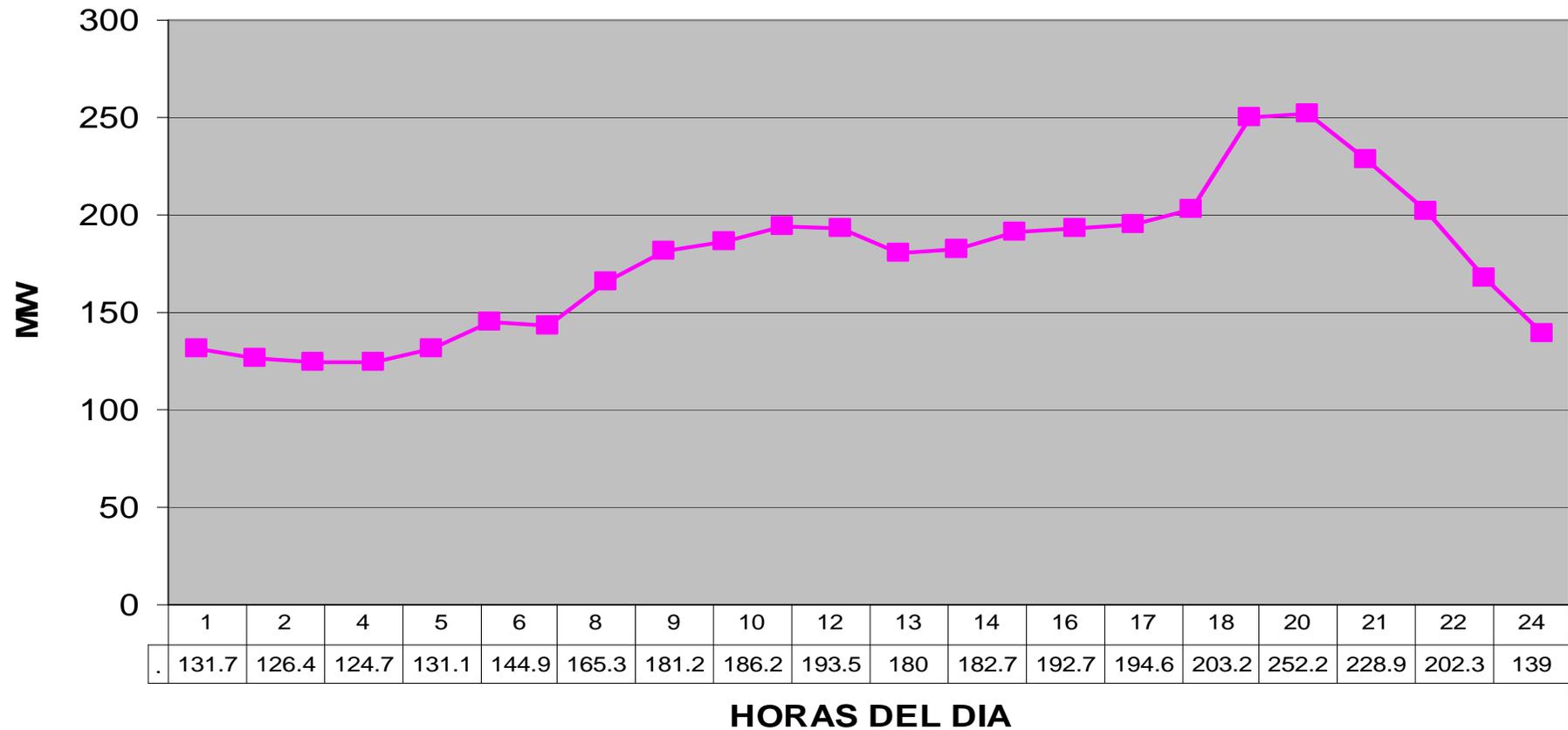
EL SIN ESTA COMPUESTO POR : STL, STR, SDL, G, UNR Y UR

# DEMANDA



CONSTRUIMOS FUTURO

## DEMANDA ESSA MARTES 13 DE JUNIO DE 2000 (MW)



## **CRECIMIENTO DE LA DEMANDA**



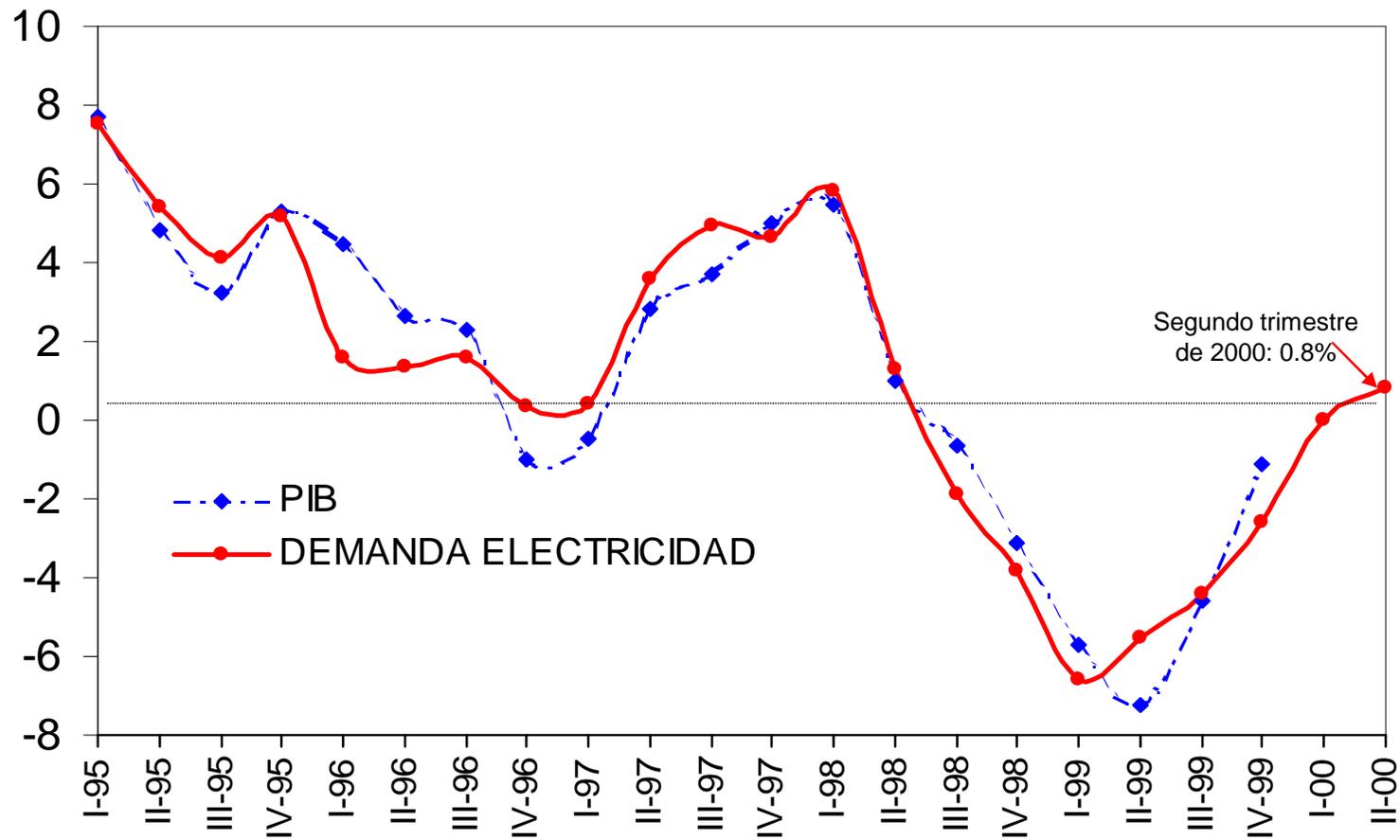
**El comportamiento de la demanda dependerá del grado de interacción de las diferentes fuerzas que la presionan**

- **Recuperación de la Economía.**
- **Avance de Programas de Sustitución de Electricidad por Gas.**
- **Éxito de las Acciones del Uso Racional de la Electricidad**
- **Respuesta de los Consumidores a los Cambios en el Régimen Tarifario.**
- **ASPECTOS AMBIENTALES**

# DEMANDA



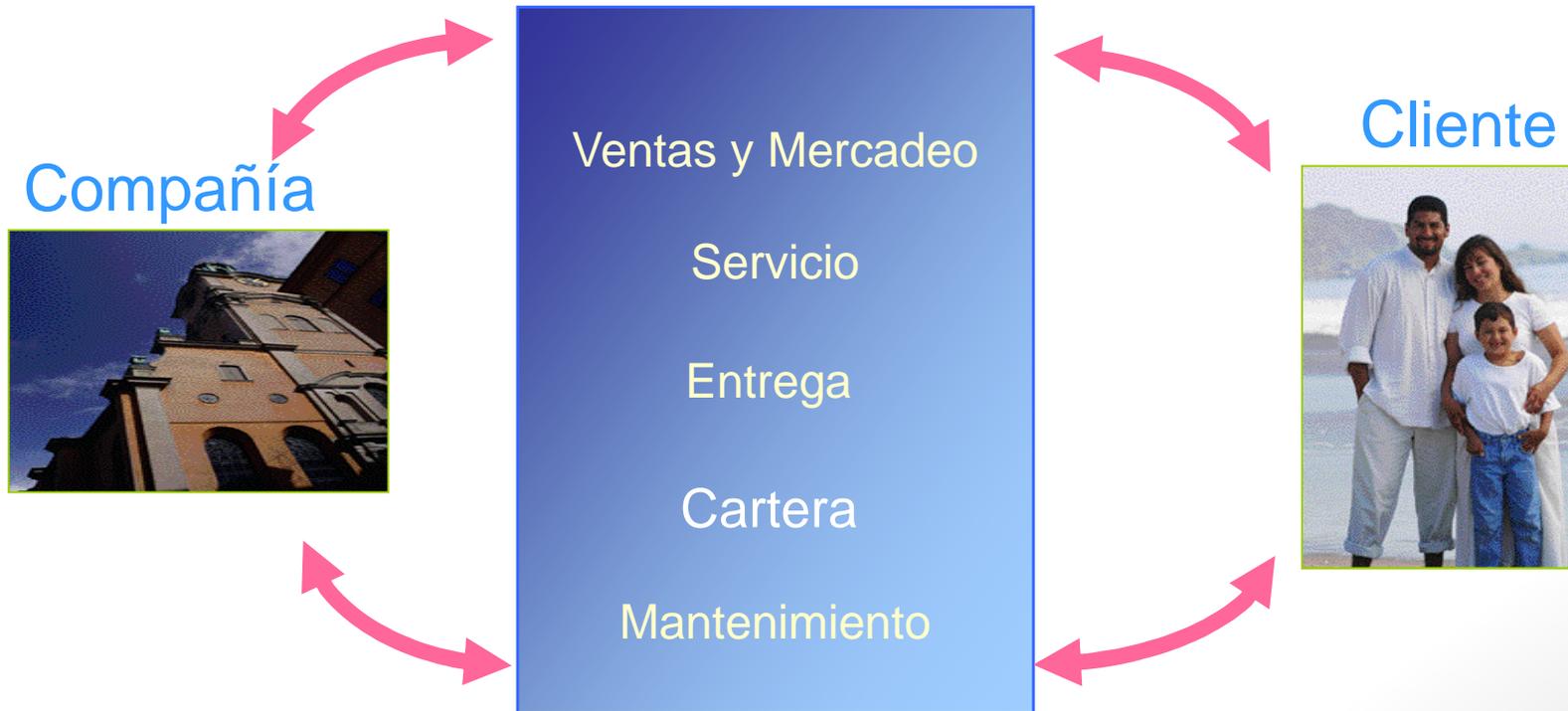
% crecimiento trimestral con respecto al mismo trimestre del año anterior





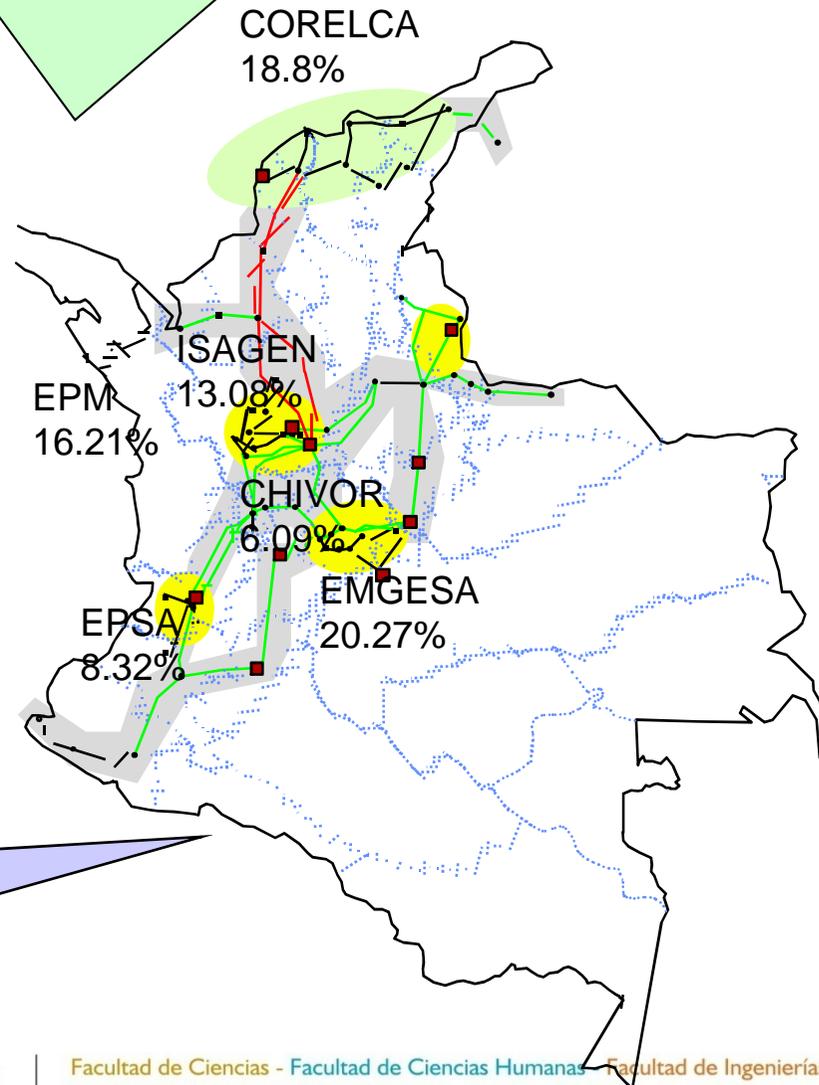
CONSTRUIAMOS FUTURO

# Oportunidades para interactuar



# PROPIETARIOS DE LA GENERACION

CONSTRUIMOS FUTURO

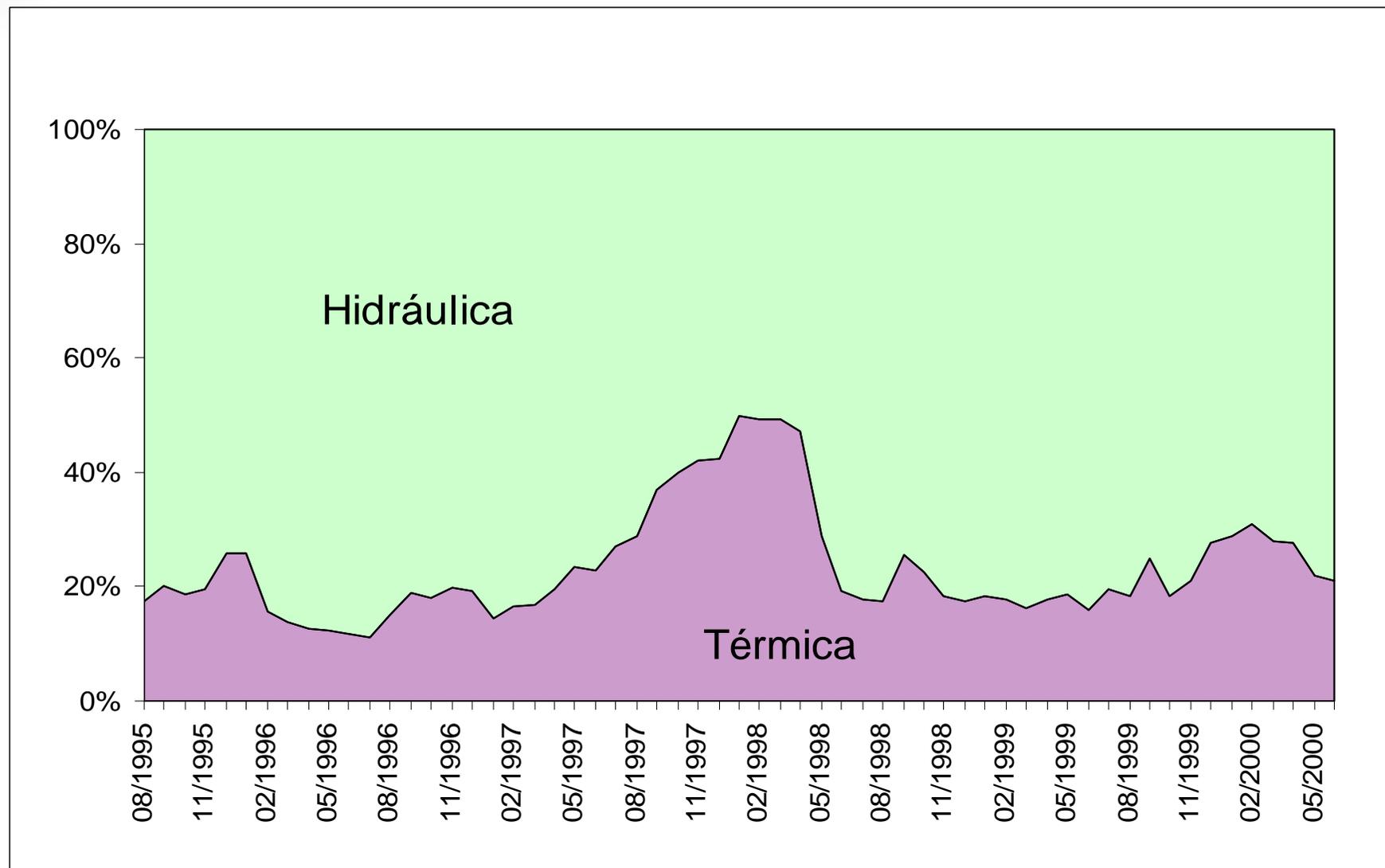


CAPACIDAD  
INSTALADA  
12.300 MW

# COMPOSICIÓN DE LA GENERACIÓN



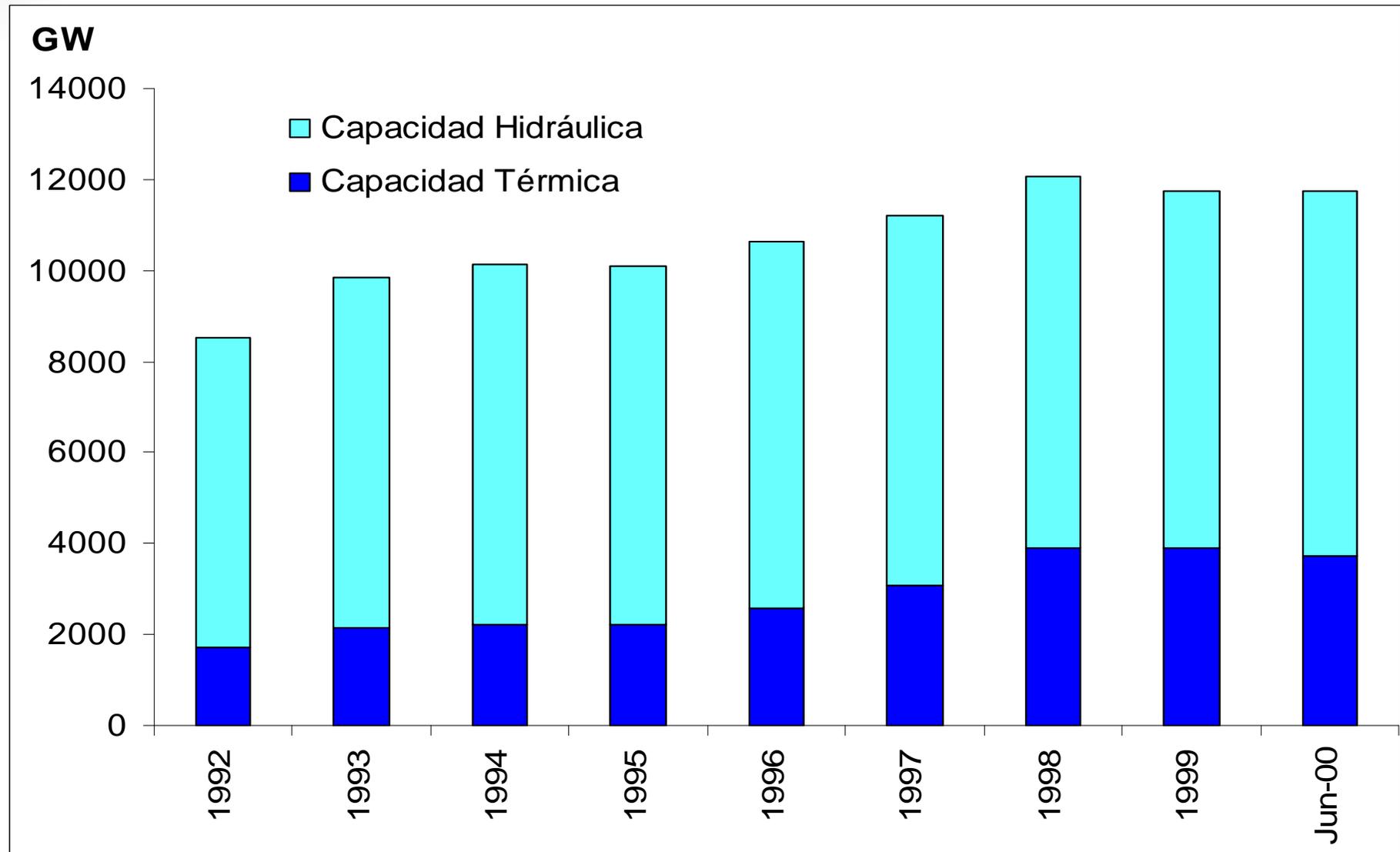
CONSTRUIMOS FUTURO



# CAPACIDAD INSTALADA



CONSTRUIMOS FUTURO





## PROCESO DE TRANSFORMACIÓN DEL SECTOR ELECTRICO

ESQUEMA DE  
DESPACHO  
CENTRALIZADO



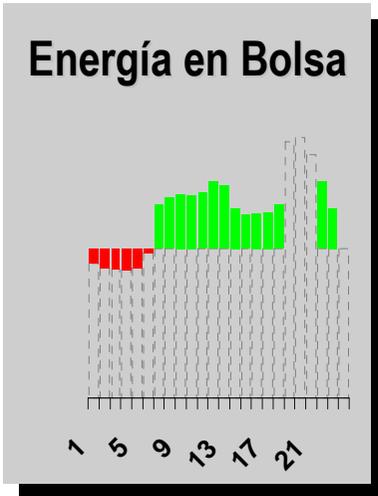
ESQUEMA DE  
LIBRE MERCADO  
CON BOLSA

# PROCESO COMERCIAL



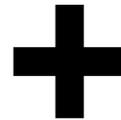
CONSTRUIMOS FUTURO

## Energía en Bolsa



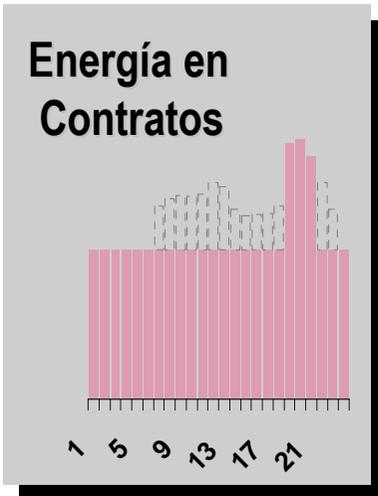
## OTROS CARGOS

- Restricciones
- Penalización por Desviaciones
- Cargo por Capacidad

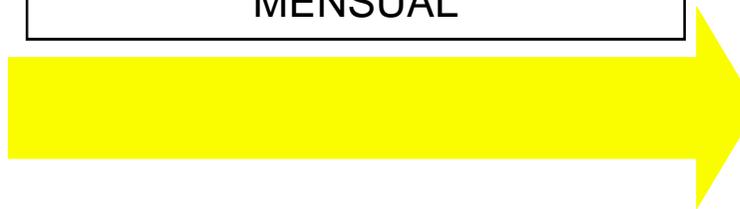


Facturación Centralizada

## Energía en Contratos

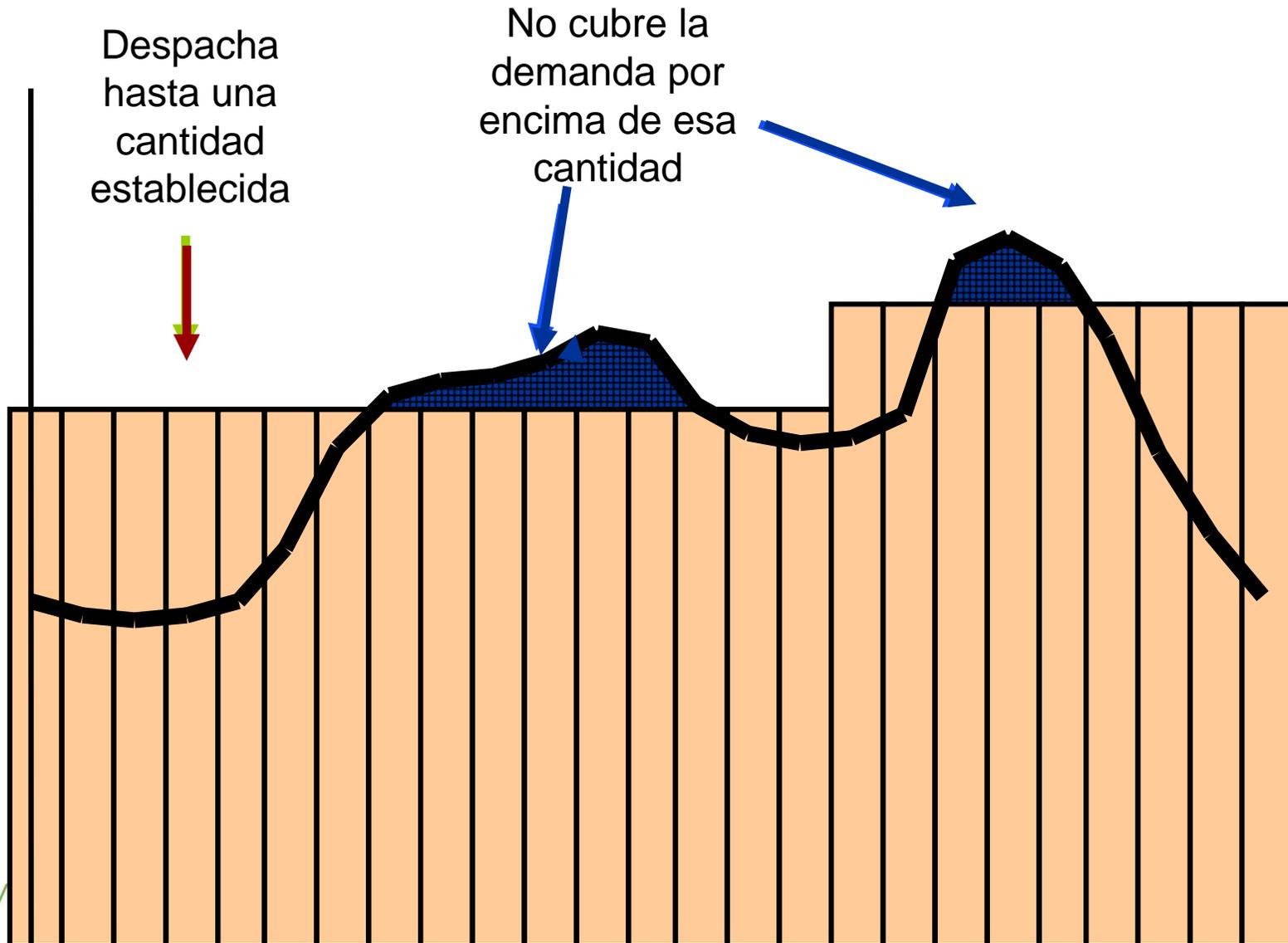


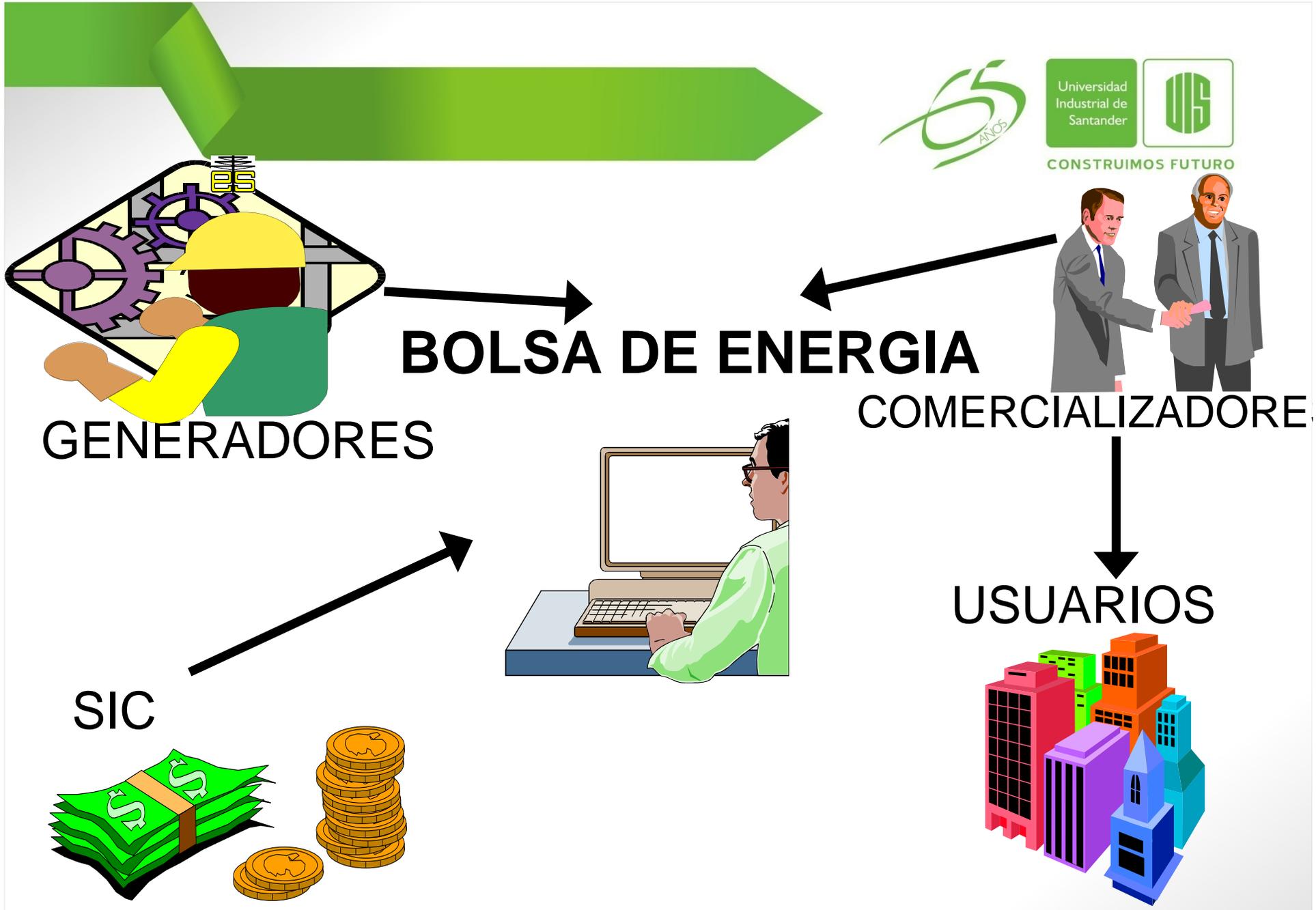
Todos los conceptos son de liquidación HORARIA, excepto el Cargo por Capacidad, que es MENSUAL



Facturación entre agentes

# CONTRATO: (PC) PAGUE LO CONTRATADO





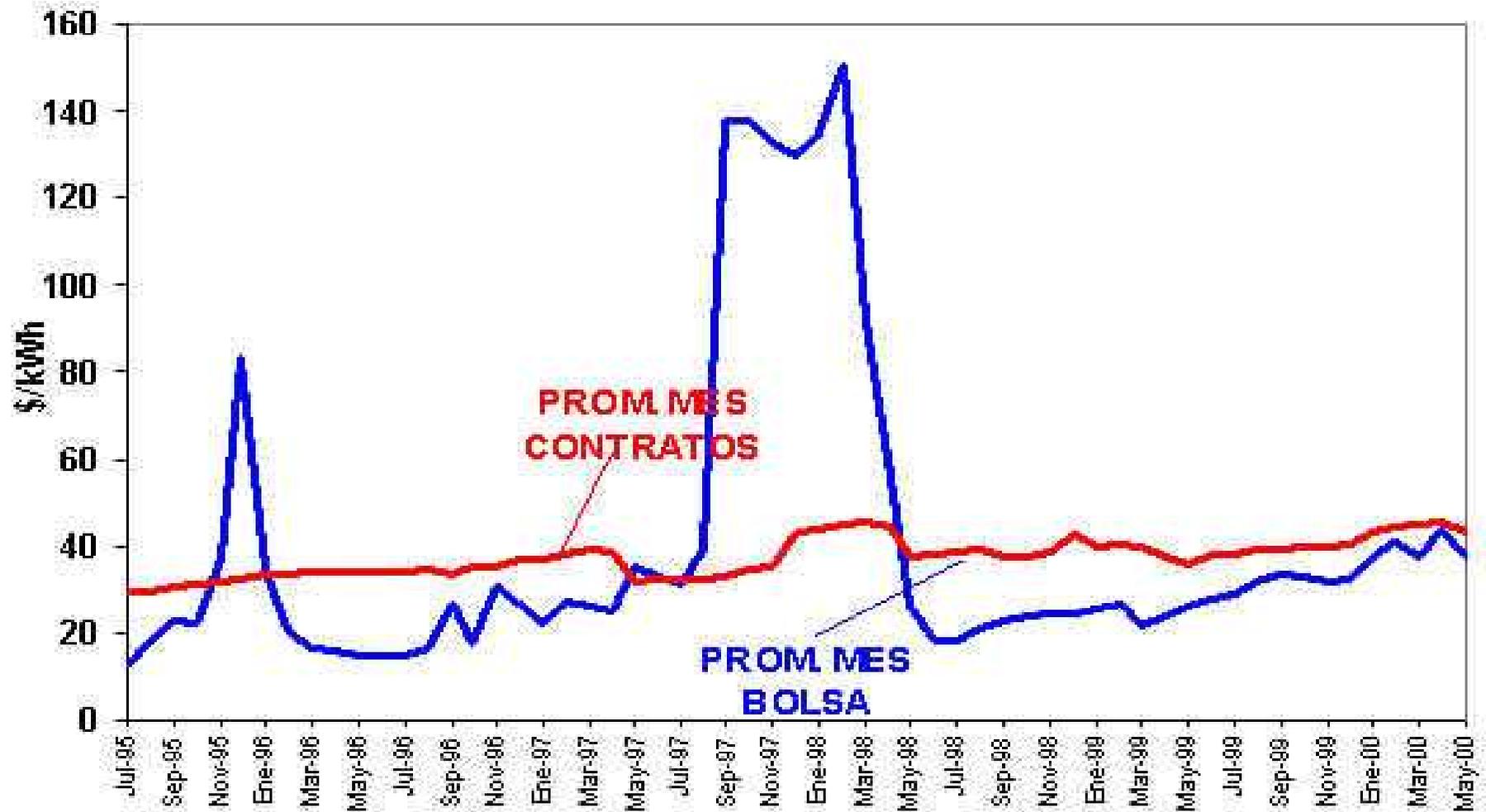
# PRECIOS MEDIOS DE BOLSA Y CONTRATOS - MAYO DE 2000



Universidad  
Industrial de  
Santander



CONSTRUIMOS FUTURO



# RESTRICCIONES



- **Limitaciones en la operación del SIN, con origen en la capacidad de la infraestructura eléctrica asociada, o en la aplicación de criterios de seguridad y confiabilidad en el suministro. Las restricciones se clasifican según su naturaleza en eléctricas y operativas**





CONSTRUIMOS FUTURO

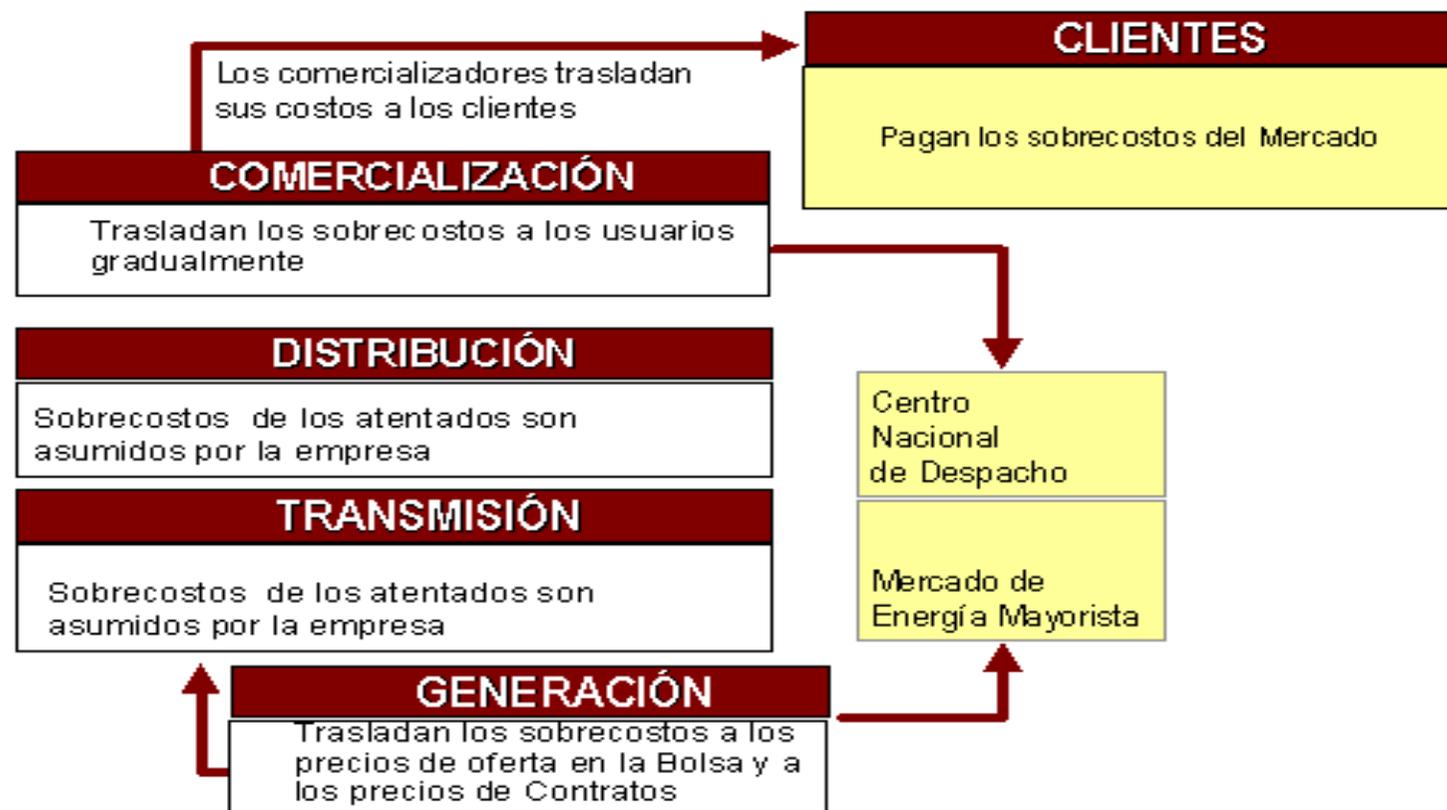
# GENERACION DE SEGURIDAD FUERA DE MERITO

- **Generación forzada requerida para suplir las restricciones del SIN -> precio de oferta es superior al precio de bolsa.**





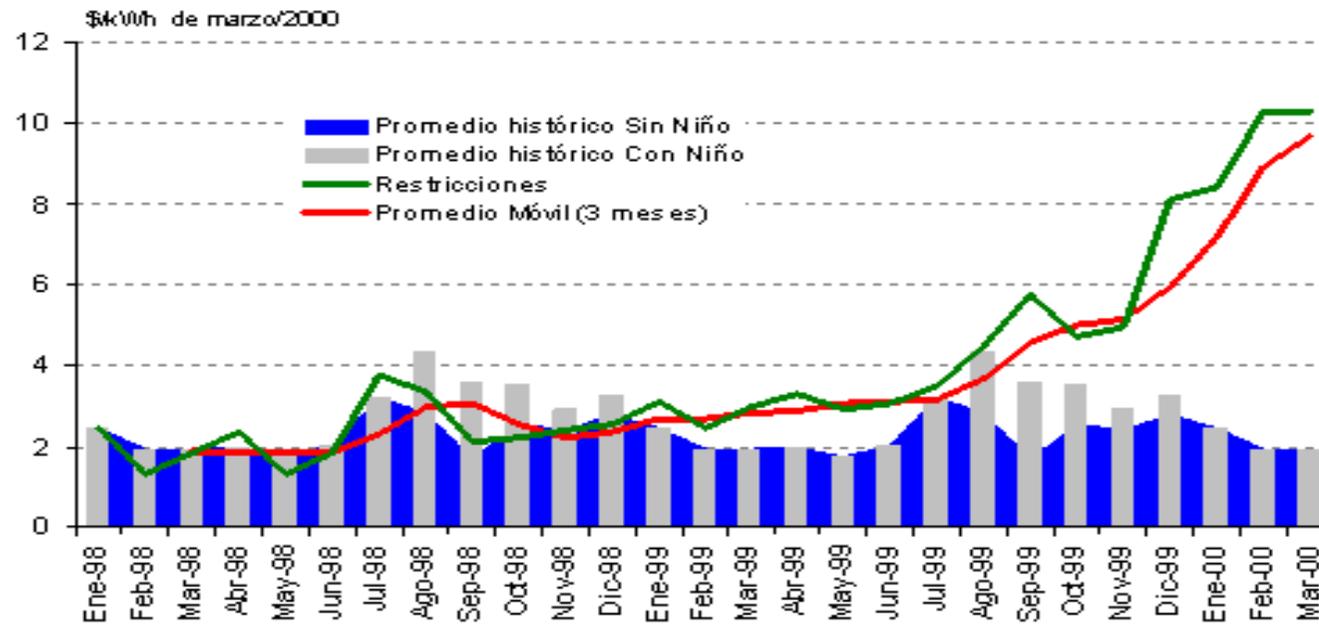
## Impacto de Sobrecostos por Restricciones



# COSTO PROMEDIO DE LAS RESTRICCIONES



## COSTO PROMEDIO DE LAS RESTRICCIONES PARA LA COMERCIALIZACION

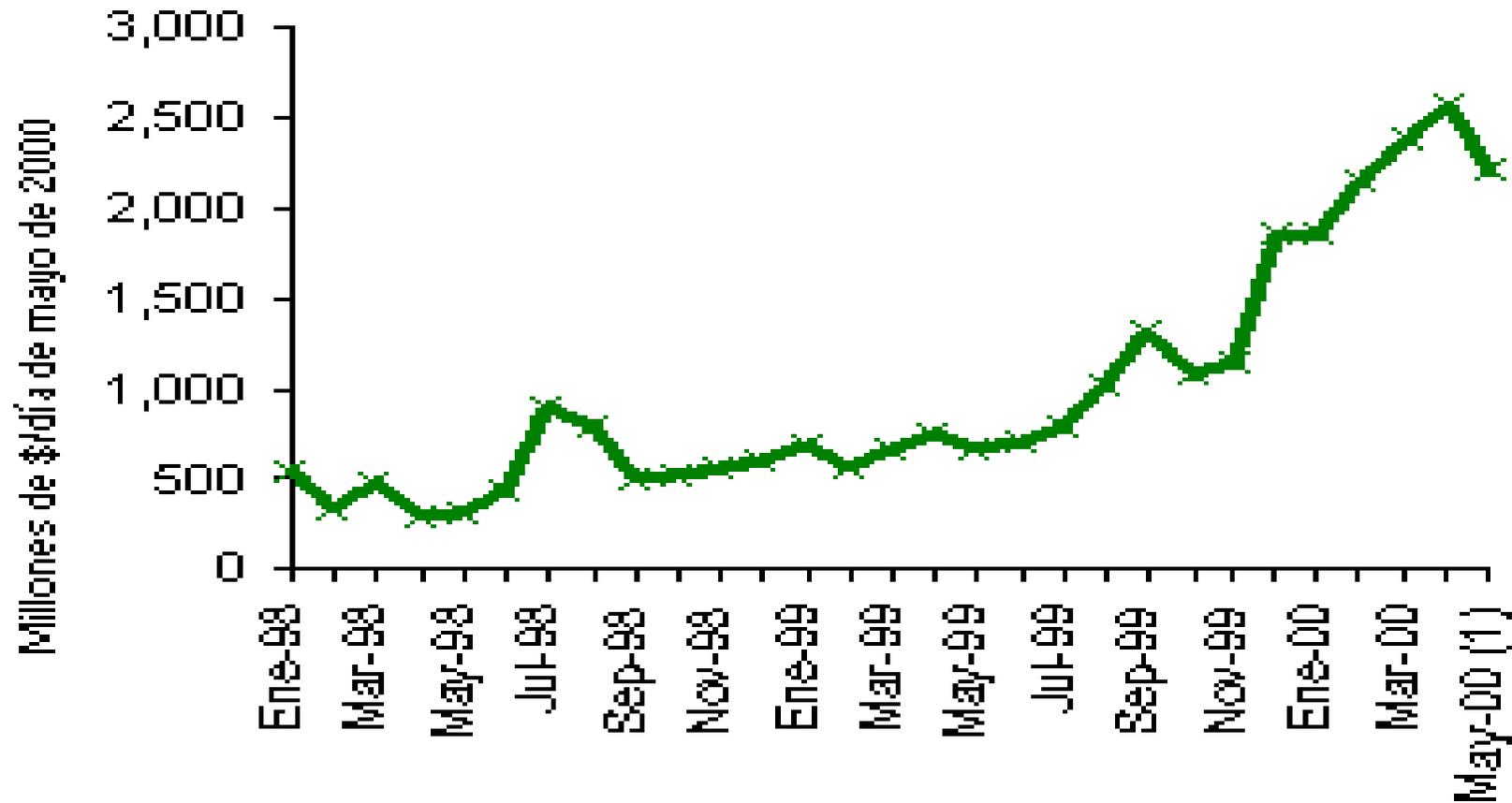


# COSTO RESTRICCIONES GLOBALES



CONSTRUIMOS FUTURO

## COSTO RESTRICCIONES GLOBALES

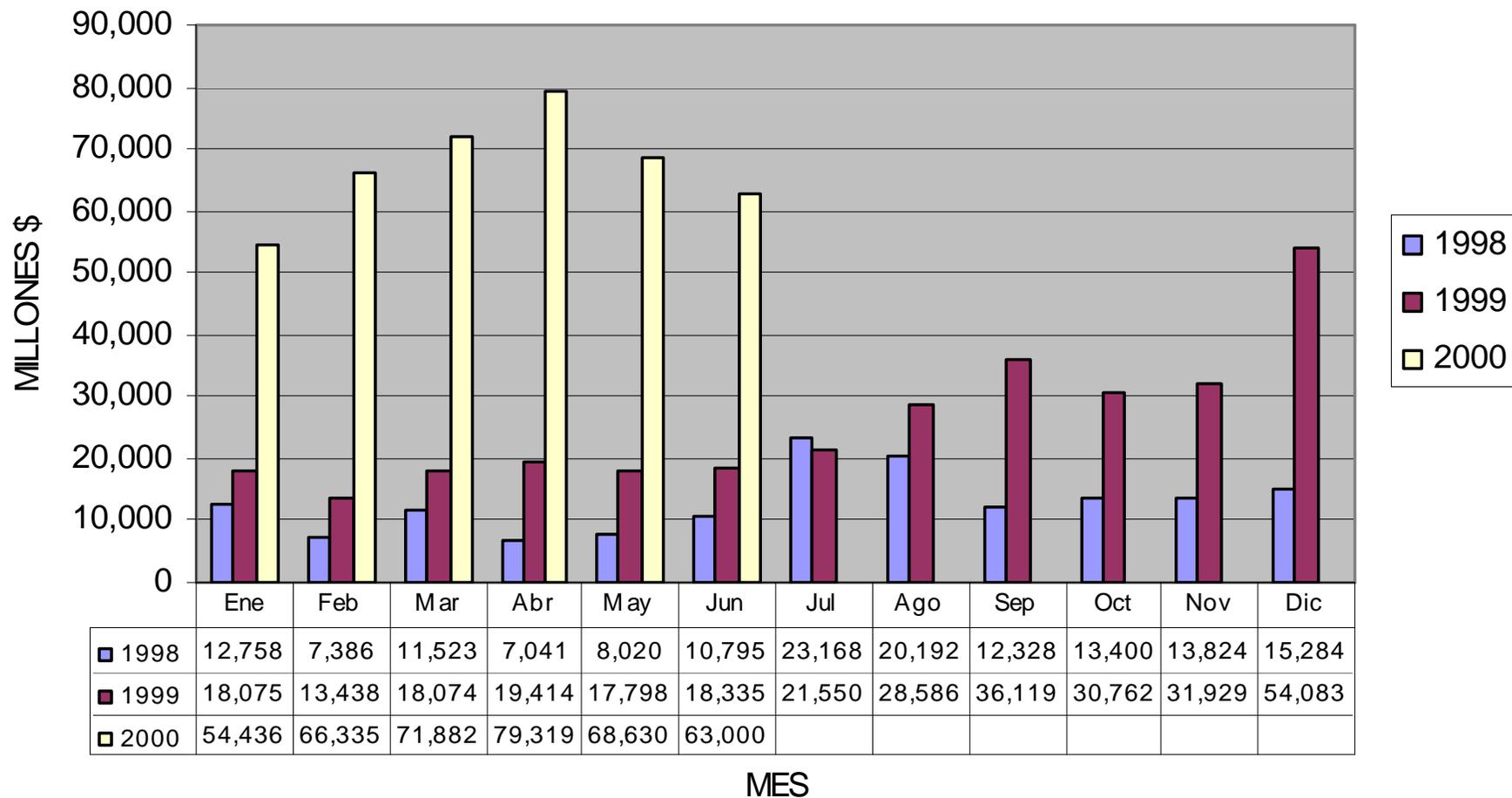


Fuente: Inerconexión Eléctrica S.A.

# RESTRICCIONES GLOBALES SIN



CONSTRUIMOS FUTURO



# CALIDAD DEL STN



Universidad  
Industrial de  
Santander

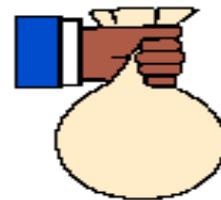


## Recursos de las Compensaciones



Costos asignados a  
Comercializadores por  
Generación de Seguridad  
Fuera de Mérito

—



Compensaciones  
de los  
Agentes del STN

=



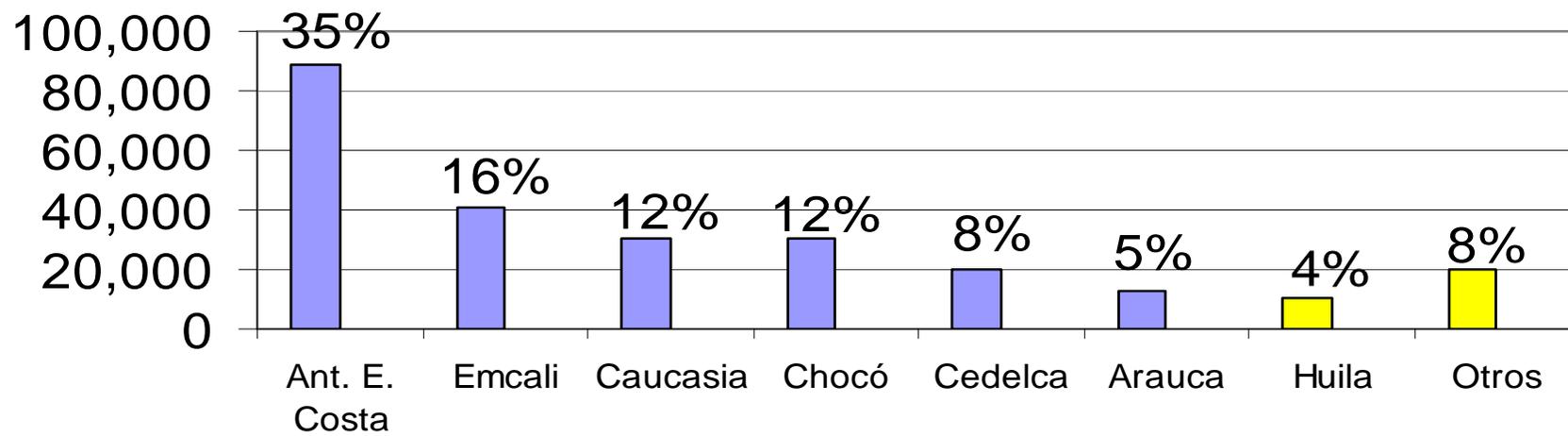
Pago de los  
Comercializadores por  
Generación de  
Seguridad Fuera de  
Mérito

# DEUDAS DE LAS EMPRESAS DISTRIBUIDORAS CON EL MEM



CONSTRUIMOS FUTURO

## DEUDA DE LAS EMPRESAS DISTRIBUIDORAS CON EL MERCADO DE ENERGIA MAYORISTA (marzo 2000) Millones de pesos



corresponde

**CND**



Universidad  
Industrial de  
Santander



CONSTRUIAMOS FUTURO

# AGENTE DESPACHADOR

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

Facultad de Ciencias - Facultad de Ciencias Humanas - Facultad de Ingenierías Físico Mecánicas  
Facultad de Ingenierías Físico Químicas - Facultad de Salud - Instituto de Proyección Regional y Educación a Distancia

**CND**



CONSTRUIMOS FUTURO



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

Facultad de Ciencias - Facultad de Ciencias Humanas - Facultad de Ingenierías Físico Mecánicas  
Facultad de Ingenierías Físico Químicas - Facultad de Salud - Instituto de Proyección Regional y Educación a Distancia

## FUNCIONES DEL CND



- **Planea, controla, coordina y supervisa la operación.**
- **Determina el valor de los intercambios resultantes.**
- **Coordina la programación del mantenimiento.**
- **Informar al CNO sobre la operación.**

# PLANEACIÓN OPERATIVA



CONSTRUIMOS FUTURO

Planeamiento Operativo de los recursos del SIN.

Energético → Indicativo.

Eléctrico → Obligatorio.

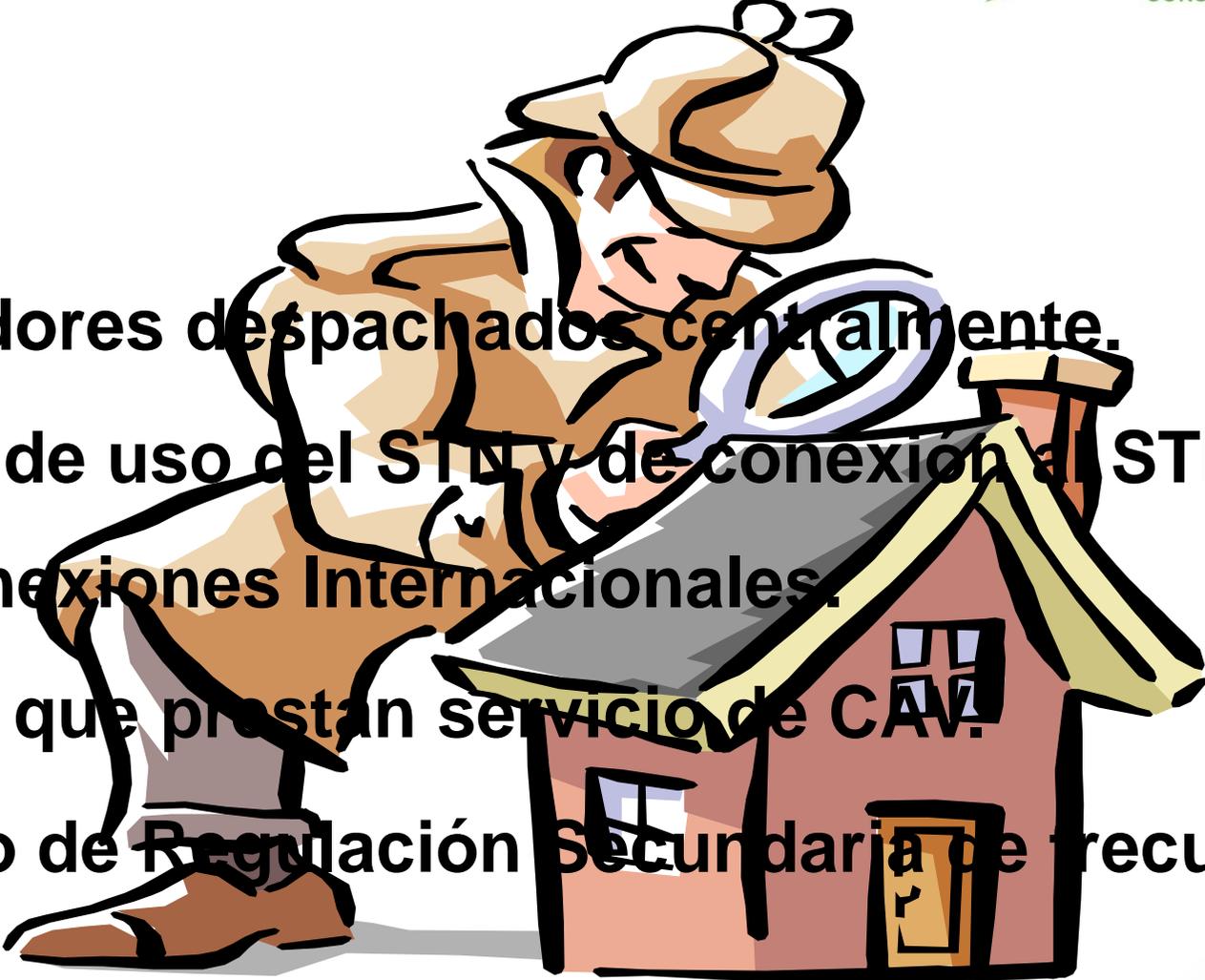
Planeamiento y programación de las generaciones de seguridad.

Programación del despacho de las unidades generadoras despachadas centralmente.

# Supervisión Operativa



CONSTRUIMOS FUTURO

A cartoon illustration of a man with a large nose, wearing a brown suit and a matching hat, leaning over a small red house with a grey roof and a chimney. He is holding a magnifying glass over the house, symbolizing inspection or supervision.

**Generadores despachados centralmente.**  
**Activos de uso del STN y de conexión al STN.**  
**Interconexiones Internacionales.**  
**Activos que prestan servicio de CAV.**  
**Servicio de Regulación Secundaria de frecuencia.**

# **Coordinación Operativa**



Universidad  
Industrial de  
Santander



CONSTRUIMOS FUTURO

**Programación de la operación integrada de los recursos del SIN.**

**Operación de los generadores despachados centralmente.**

**Operación de los activos de uso del STN y de conexión al STN.**

**Operación de interconexiones internacionales.**

**Control automático de voltaje.**

**Generación requerida para la regulación secundaria de frecuencia.**

# ***Coordinación Operativa***



CONSTRUIMOS FUTURO

**Prestación de servicios complementarios.**

**Programación de mantenimientos preventivos y correctivos.**

**Ejecución de racionamiento en el S.N.**

**Ajuste de protecciones de generadores, activos de uso del STN y de conexión al STN, interconexiones internacionales de nivel IV o superior.**

**Control operativo junto con los generadores y los transportadores del SIN.**

# ***Control Operativo***



CONSTRUIMOS FUTURO

**Equipos que presten el servicio de CAV.**

**Equipos que presten el servicio de regulación secundaria de frecuencia.**

**Generadores y la operación de los activos de uso del STN**

**y de conexión al STN, conexiones internacionales.**



# PLANEAMIENTO OPERATIVO ENERGÉTICO



Universidad  
Industrial de  
Santander



**Planeación de la operación de los recursos energéticos, hidráulicos y térmicos.**

**Planeamiento operativo indicativo de largo plazo**

**Información Básica  
Optimización y Simulación  
Coordinación de Mantenimientos  
Informe de Resultados**

**Planeamiento operativo indicativo de mediano plazo**

**Información Básica  
Despacho Hidrotérmico  
Informe de Resultados**

# PLANEAMIENTO OPERATIVO ELÉCTRICO



Universidad  
Industrial de  
Santander



CONSTRUIMOS FUTURO

Operación integrada de los recursos del SIN, para cubrir la demanda de potencia y energía del mismo, con criterios de calidad, confiabilidad y seguridad.

**Criterios Generales**

**Funciones**

**Desconexión de carga por baja frecuencia**

**Ajustes de relés de frecuencia de las unidades de generación**



# Despacho Económico Horario



Universidad  
Industrial de  
Santander



CONSTRUIMOS FUTURO

**Obtención para un periodo de 24 horas del programa horario de generación, del SIN y de las transferencias horarias de energía por conexiones internacionales**

**Información Básica**

**Reserva Rodante y AGC**

**Cálculo del despacho Económico**

**Intervención de los precios de oferta**

**Operación del SIN en CAOP**

**Informe de resultados**

**Redespacho**



- Ofertas de los Generadores
- Disponibilidades declaradas por los Generadores.
- Datos Históricos
- Niveles de Operación de los embalses
- Estado actual del Sistema Interconectado Nacional
- Restricciones



# CREENCIAS



CONSTRUIMOS FUTURO

- **Predicción de la Demanda**
- **Operación esperada**
- **Riesgos para atender la demanda**
- **Hidrología**
- **Nivel de pérdidas a Largo Plazo**
- **Resultados del Planeamiento Operativo energético**





CONSTRUIMOS FUTURO

# OPERADOR DE RED (OR) Y COMERCIALIZADOR



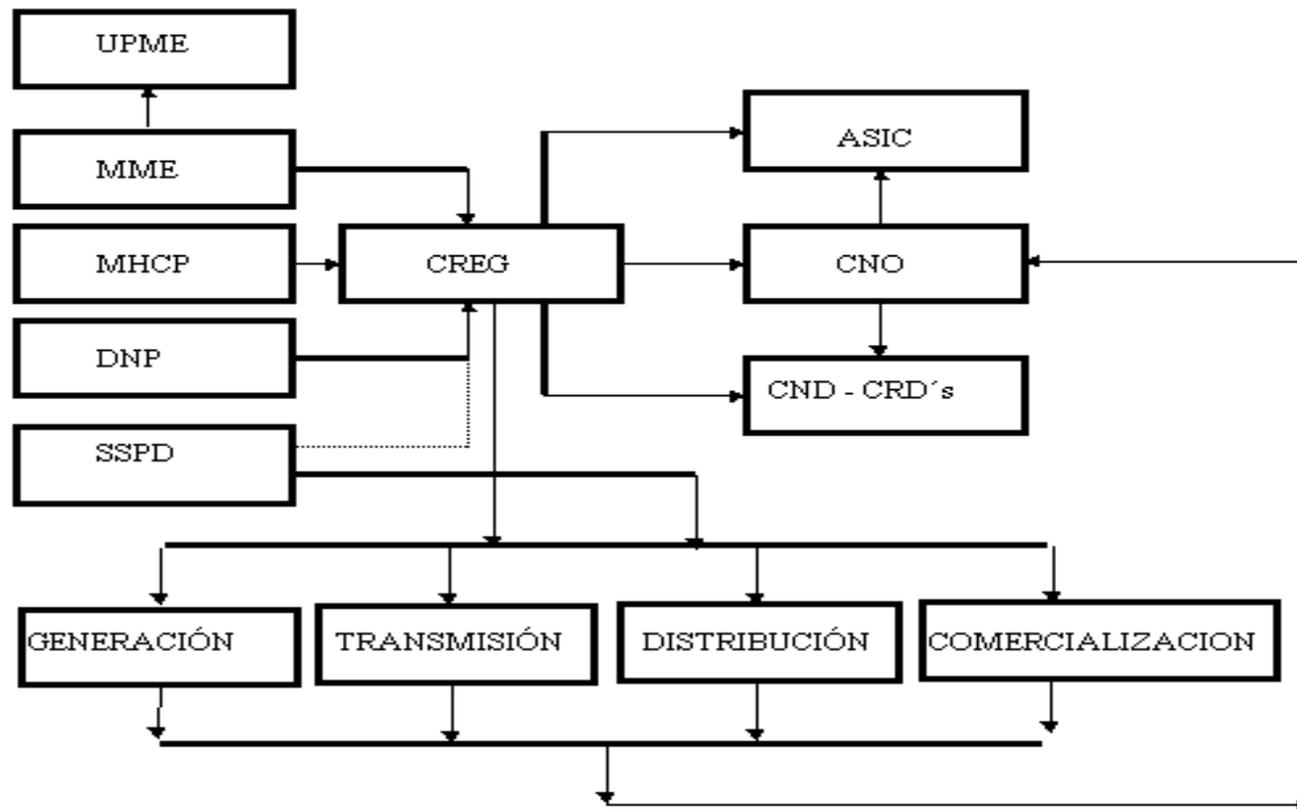
[www.uis.edu.co](http://www.uis.edu.co)

Facultad de Ciencias - Facultad de Ciencias Humanas - Facultad de Ingenierías Físico Mecánicas  
Facultad de Ingenierías Físico Químicas - Facultad de Salud - Instituto de Proyección Regional y Educación a Distancia



CONSTRUIMOS FUTURO

# ORGANIZACIÓN DEL SECTOR ELÉCTRICO





CONSTRUIMOS FUTURO

# AGENTES DEL MERCADO

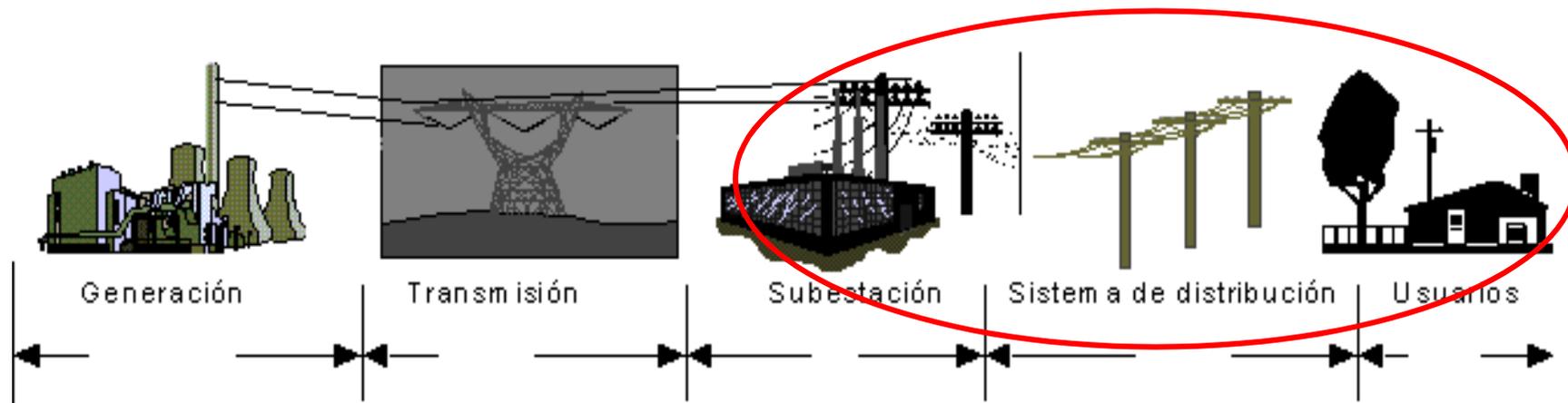
## Transmisión y Despacho





CONSTRUIMOS FUTURO

# SISTEMA



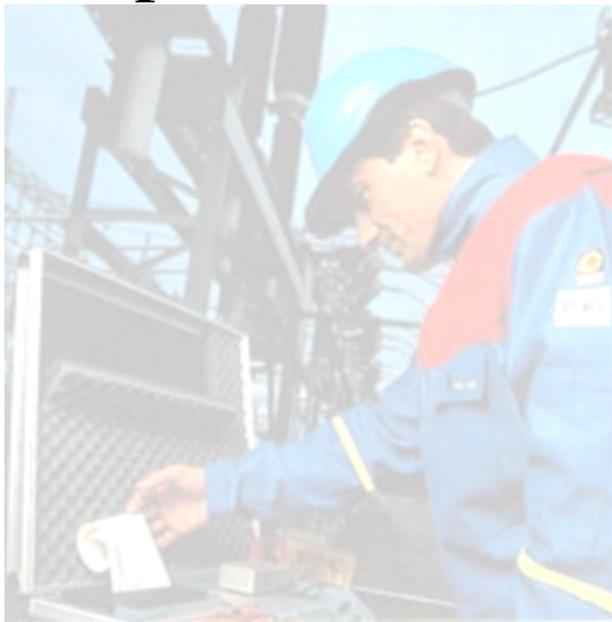
# DEFINICIONES



CONSTRUIMOS FUTURO

## Operador de Red de STR's y/o SDL's (OR)

Persona encargada de la planeación, expansión y de las inversiones, operación y mantenimiento de todo o parte de un STR o SDL.

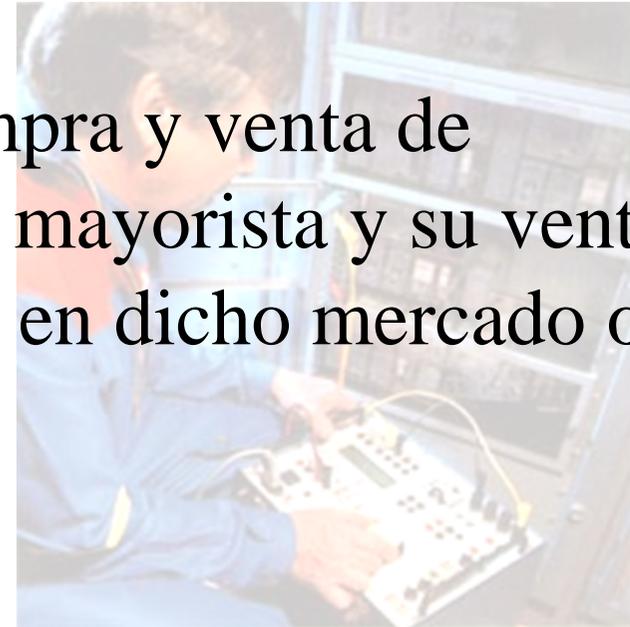
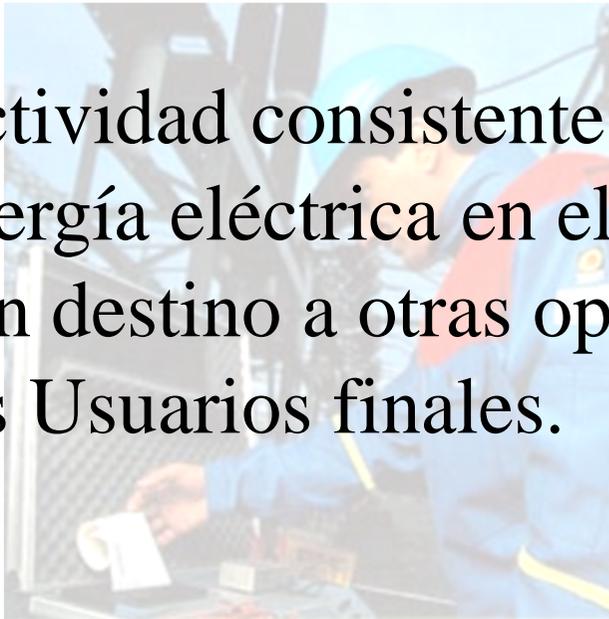


# DEFINICIONES



## Comercialización de Energía Eléctrica

Actividad consistente en la compra y venta de energía eléctrica en el mercado mayorista y su venta con destino a otras operaciones en dicho mercado o a los Usuarios finales.



# DEFINICIONES



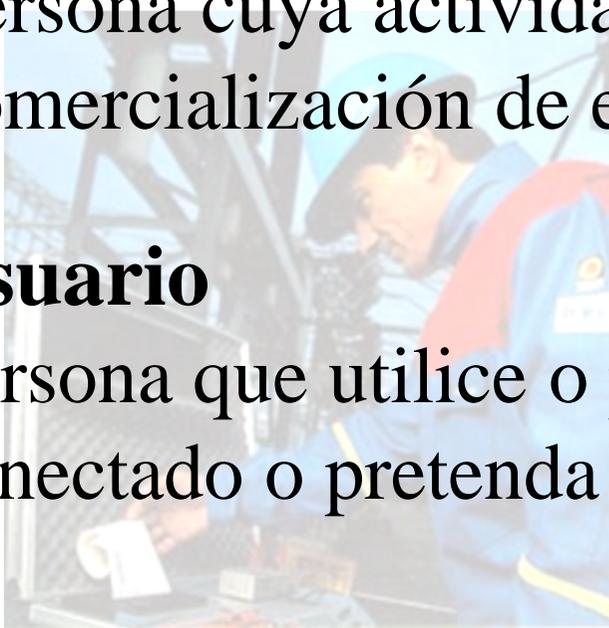
## DEFINICIONES

### Comercializador

Persona cuya actividad principal es la comercialización de energía eléctrica.

### Usuario

Persona que utilice o pretenda utilizar, o esté conectado o pretenda conectarse a un STR o SDL.



# DEFINICIONES



## Niveles de Tensión

**Nivel IV:**  $V_{nom} \geq 62 \text{ kV}$

**Nivel III:**  $30 \text{ kV} < V_{nom} \leq 62 \text{ kV}$

**Nivel II:**  $30 > V_{nom} \geq 1 \text{ kV}$

**Nivel I:**  $V_{nom} < 1 \text{ kV}$

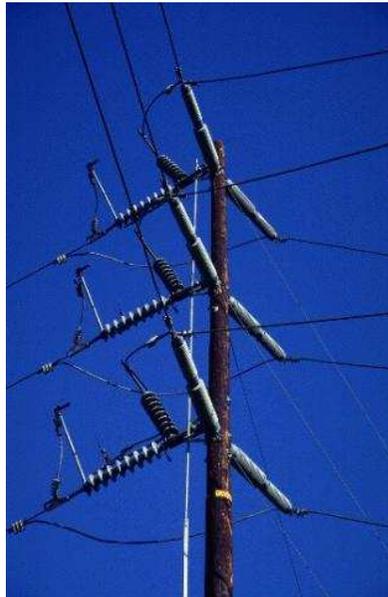


## Subestación



-  Transformador
-  Tomas del transformador
-  Bancos de condensadores y/o filtros
-  Interruptores y seccionadores
-  Protecciones

## Red del STR y/o SDL



-  Líneas, alimentadores y transformadores de distribución
-  Bancos de condensadores y/o filtros
-  Interruptores, seccionadores, seccionalizadores y reconectadores
-  Protecciones, señalizadores
-  Reguladores de tensión



## Instalaciones del cliente



-  **Interruptores y/o seccionadores**
-  **Protecciones**
-  **Medidores**
-  **Cargas esenciales**
-  **Cargas no esenciales**

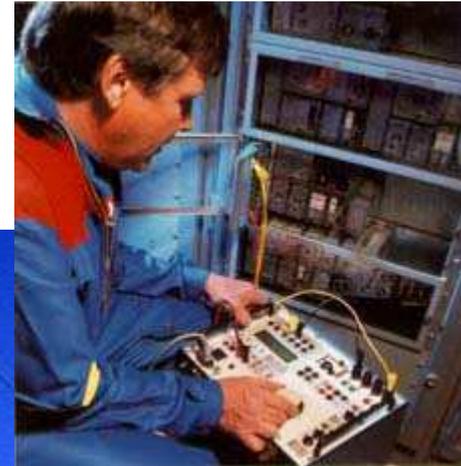
# OPERADOR DE RED (OR)



CONSTRUIMOS FUTURO

## FUNCIONES

- ⚡ Operación del sistema
- ⚡ Mantenimiento
- ⚡ Planeación de expansión del sistema





## PLAN DE EXPANSIÓN DEL SISTEMA

- ⚡ El OR está encargado de Elaborar el plan de expansión de la red que opera.
- ⚡ Si el OR no ejecuta el plan el proyecto, será desarrollado por el usuario interesado (Artículo 2º, CREG 005 de 1996).

## CRITERIOS PARA LA EXPANSIÓN DEL SISTEMA

- ⚡ Atención de la demanda
- ⚡ Viabilidad Ambiental
- ⚡ Normas y Permisos
- ⚡ Adaptabilidad
- ⚡ Eficiencia Económica
- ⚡ Flexibilidad
- ⚡ Coordinación en SIN
- ⚡ Calidad y continuidad en el suministro

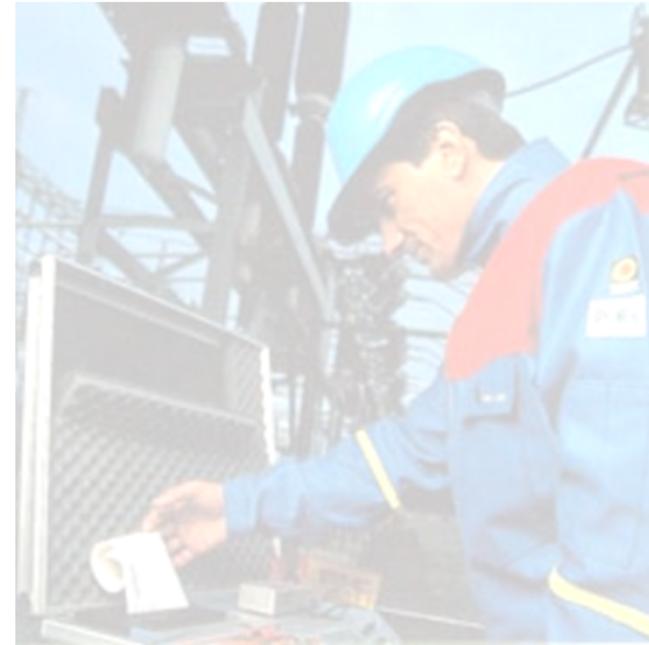
## CONDICIONES DE CONEXIÓN

- ⚡ Compensación de consumos de energía reactiva
- ⚡ Distorsión de ondas
- ⚡ Niveles de corriente de falla



## ESPECIFICACIONES DE DISEÑO

- ⚡ Especificaciones de equipos, redes aéreas y subterráneas
- ⚡ Puesta a tierra Protecciones
- ⚡ Dimensionamiento del Diseño



## OPERACIÓN DE LA RED

- ⚡ Información sobre procedimientos operativos
- ⚡ Manual operacional
- ⚡ Sistema de información topológico
- ⚡ Información sobre ocurrencia de eventos



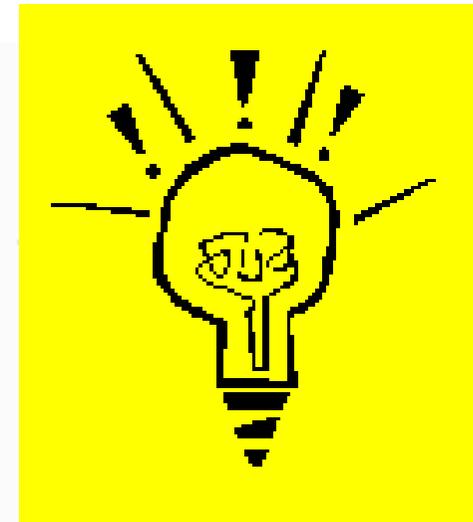
**OPERADOR DE RED (OR)**



## **CALIDAD EN EL SERVICIO DE LOS STR Y SDL**

➔ **ESTANDARES DE CALIDAD DE LA  
POTENCIA SUMINISTRADA**

Continuidad  
Calidad de Onda

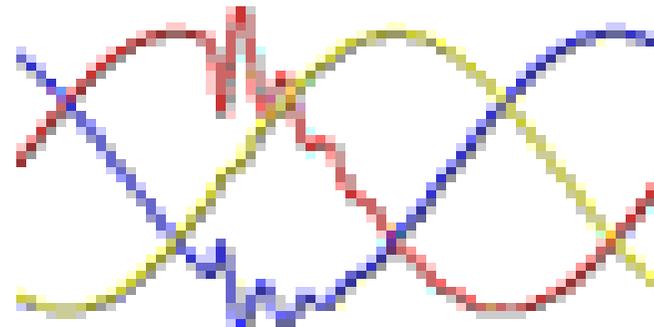


➔ **CALIDAD DEL SERVICIO PRESTADO**



## ESTANDARES DE CALIDAD EN LA POTENCIA SUMINISTRADA

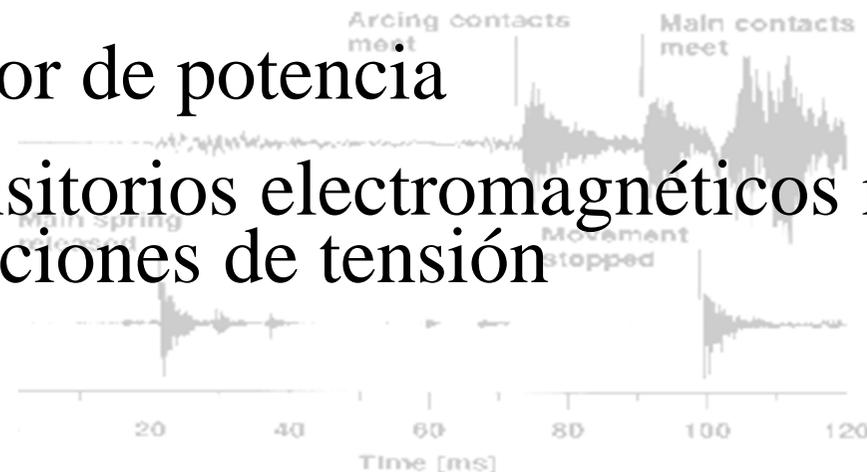
- 👁 Frecuencia y tensión
- 👁 Contenido de armónicos de las ondas de tensión y corriente
- 👁 Parpadeo



## ESTANDARES DE CALIDAD EN LA POTENCIA SUMINISTRADA

👁️ Factor de potencia

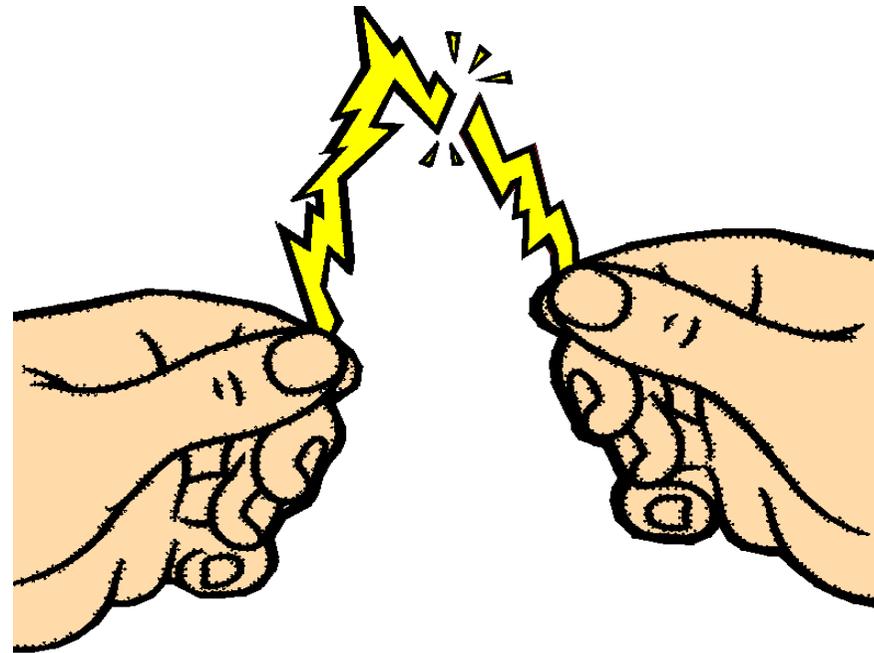
👁️ Transitorios electromagnéticos rápidos y fluctuaciones de tensión



## CALIDAD DEL SERVICIO PRESTADO

⚡ DES

⚡ FES





## MEDIDA

### ↳ Medidores de Energía Activa:

Norma NTC 2288, NTC 2147 y NTC 4052.

### ↳ Medidores de Energía Reactiva:

Norma NTC 2148 y la IEC según el tipos de medidor.

# OPERADOR DE RED (OR)



## MEDIDA

↪ **Indicadores de Demanda Máxima:**

Norma NTC 2233.

↪ **Transformadores de Medida:**

Normas NTC 2205 y NTC 2207.



## **REVISIONES DE LOS EQUIPOS DE MEDIDA**

-  Pruebas rutinarias
-  Fallas en el equipo de medida
-  Solicitud de revisión de equipos.



## PROPIEDAD DE ACTIVOS DE STR Y/O SDL

- 📊 Convertirse en OR.
- 📊 Derecho a la propiedad de activos
- 📊 Venta de activos



# **PRINCIPIOS GENERALES Y METODOLOGIA PARA EL ESTABLECIMIENTO DE CARGOS POR USO**

## **Principios generales**

- **Calculo de los cargos por uso**
- **Cargos por uso de los STR y/o SDL**



# PRINCIPIOS GENERALES Y METODOLOGIA PARA EL ESTABLECIMIENTO DE CARGOS POR USO

## Principios generales

- Liquidación de cargos por uso de los STR y SDL
- Actualización de los cargos
- Vigencia de los cargos



# METODOLOGIA PARA EL ESTABLECIMIENTO DE CARGOS POR USO

- Inventarios de activos
- Valoración de activos
- Gastos AOM
- Manejo de la red



## **METODOLOGIA PARA EL ESTABLECIMIENTO DE CARGOS POR USO**

- Cálculo de los cargos
- Límites máximos en los cargos
- Tratamiento de las pérdidas
- Actualización de los cargos



# INVENTARIO DE ACTIVOS

## Activos eléctricos

- ▶▶ Activos de conexión
- ▶▶ Activos de nivel



## **INVENTARIO DE ACTIVOS**

### **Activos no eléctricos**

**▶▶ Edificios, Vehículos y maquinaria, muebles y equipo de computo.**



## VALORACIÓN DE ACTIVOS

- 📌 Unidades constructivas
- 📌 Tasa de retorno
- 📌 Vidas útiles a considerar
- 📌 Costo anual equivalente de activos

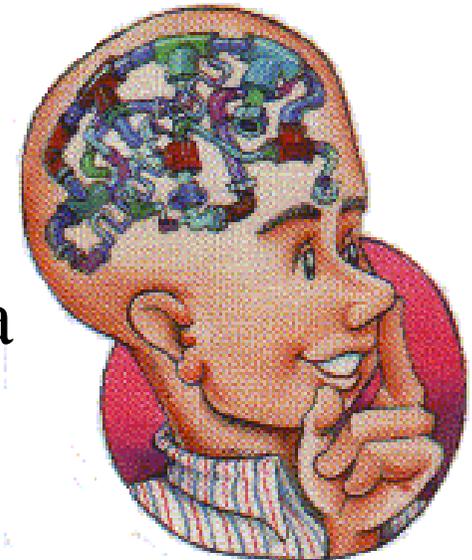


## CÁLCULO DE LOS CARGOS

- 📌 Cálculo de los cargos
- 📌 Cargos monomios
- 📌 Cargos monomios horarios

## CONOCIMIENTOS

- Estado de la red
- Información histórica de eventos
- Información histórica de la demanda
- Índices de calidad



# OPERADOR DE RED



CONSTRUIMOS FUTURO

## CONOCIMIENTOS

- Información de flujos de la red
- Información de usuarios
- Inventario de activos
- Costos por nivel de tensión



# COMERCIALIZADOR



CONSTRUIMOS FUTURO

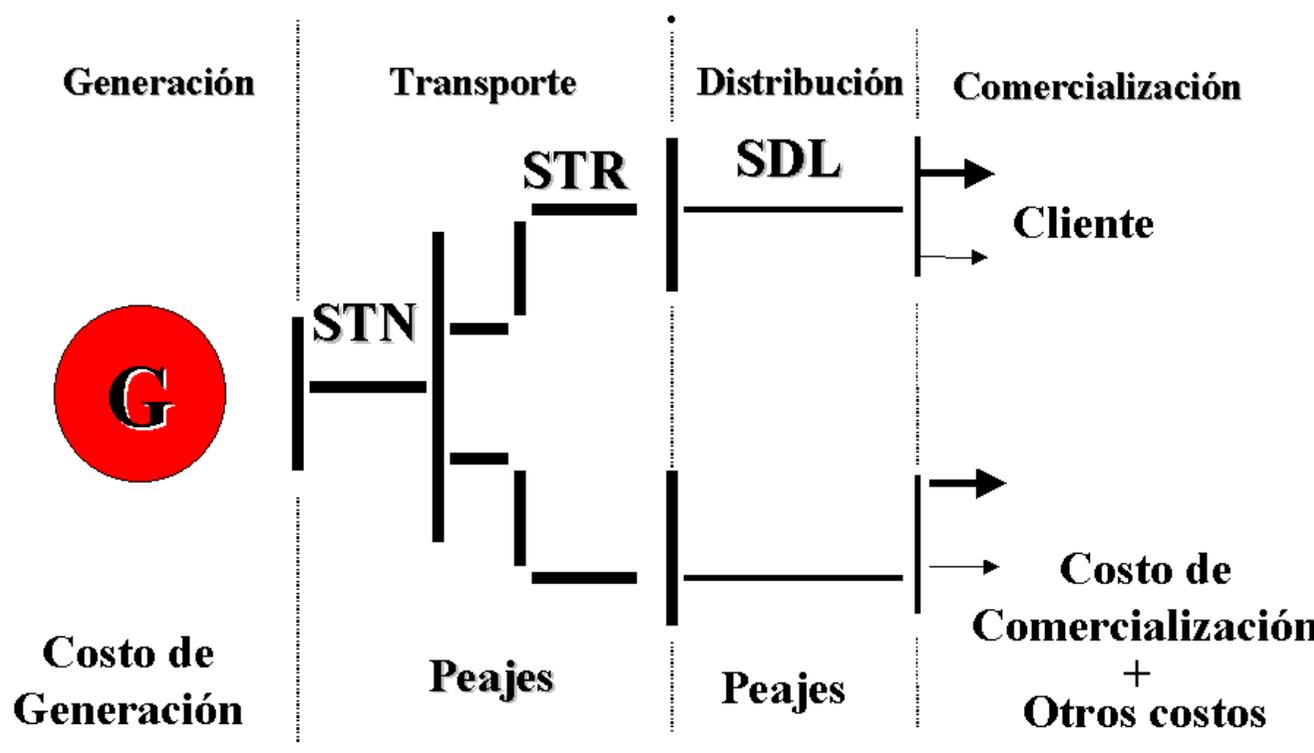
Solo las empresas de servicios públicos, o los otros agentes económicos a las que se refiere el artículo 15 de la Ley 142 de 1994, pueden prestar el servicio público de comercialización de energía eléctrica.

# COMERCIALIZADOR



CONSTRUIMOS FUTURO

## ESTRUCTURA TARIFARIA



Gráfica 6.1 Estructura Tarifaria

**COMERCIALIZADOR**



⚡ Costos regulados

⚡ Costos no regulados

**COMERCIALIZADOR**



CONSTRUIMOS FUTURO

## REGIMEN DE LIBERTAD REGULADA

Régimen de tarifas mediante el cual la CREG fija los criterios y la metodología de acuerdo con los cuales las empresas que presten el servicio de comercialización de energía eléctrica, pueden determinar o modificar los precios máximos que cobrarán a los usuarios finales regulados.

# COMERCIALIZADOR



## TIPOS DE CONTRATO

- Pague lo contratado
- Pague lo demandado con tope
- Pague lo demandado sin tope
- Pague lo generado
- Disponibilidad programada
- Disponibilidad comercial

**COMERCIALIZADOR**



## TIPOS DE CONTRATO

- Generacion Ideal
- Pague lo generado ideal con tope
- Demanda de un tercero
- Precio de bolsa
- Base

**COMERCIALIZADOR**



CONSTRUIMOS FUTURO

**•USUARIOS REGULADOS**

**•USUARIOS NO REGULADOS**

**COMERCIALIZADOR**

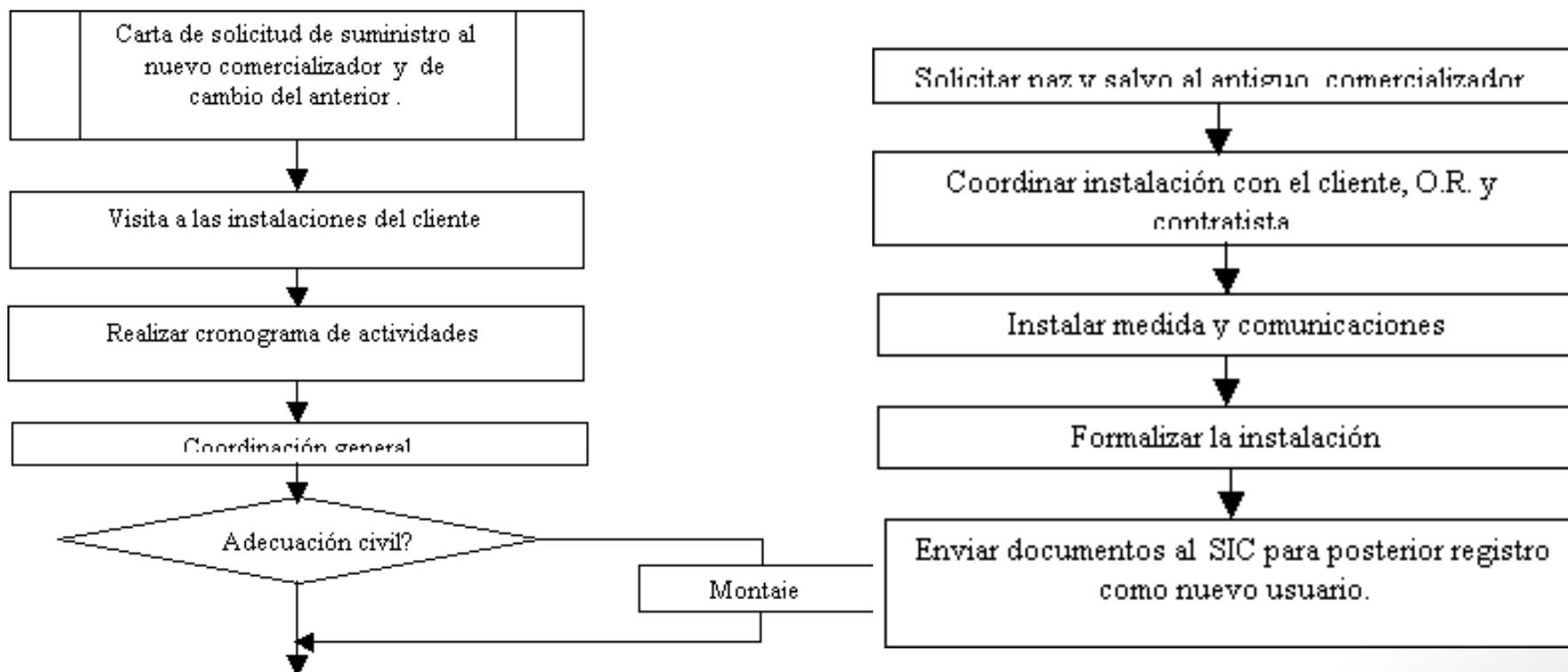


## **USUARIOS REGULADOS**

## **COSTOS Y TARIFAS**

- ⚡ Resolución CREG 031 de 1997
- ⚡ Subsidios
- ⚡ Contribuciones
- ⚡ Aumentos en la tarifa

## USUARIOS NO REGULADOS



**COMERCIALIZADOR**



## CONOCIMIENTOS

- Información histórica de la demanda
- Información de usuarios
- Información Hidrológica
- Tipos de contratos



# COMERCIALIZADOR



CONSTRUIMOS FUTURO

## CONOCIMIENTOS

- Costos de uso del STN
- Costos de distribución
- Costos de comercialización



# COMERCIALIZADOR



## CREENCIAS

- Demanda
- Costos de Generación
- Costos de uso del STN
- Costos de distribución
- Precio de bolsa



# Contenido



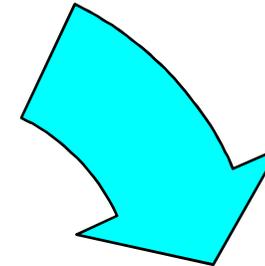
- **Introducción**
- **Definición**
- **Aspectos Generales**
- **Servicios Asociados a la Generación**
- **Servicios Asociados a la Transmisión**
- **Servicio Asociados a la Distribución**
- **Ejemplo**
- **Conclusiones**

# Definición



CONSTRUIAMOS FUTURO

Ancillary Services  
Interconnected Operating Services  
Secondary Services



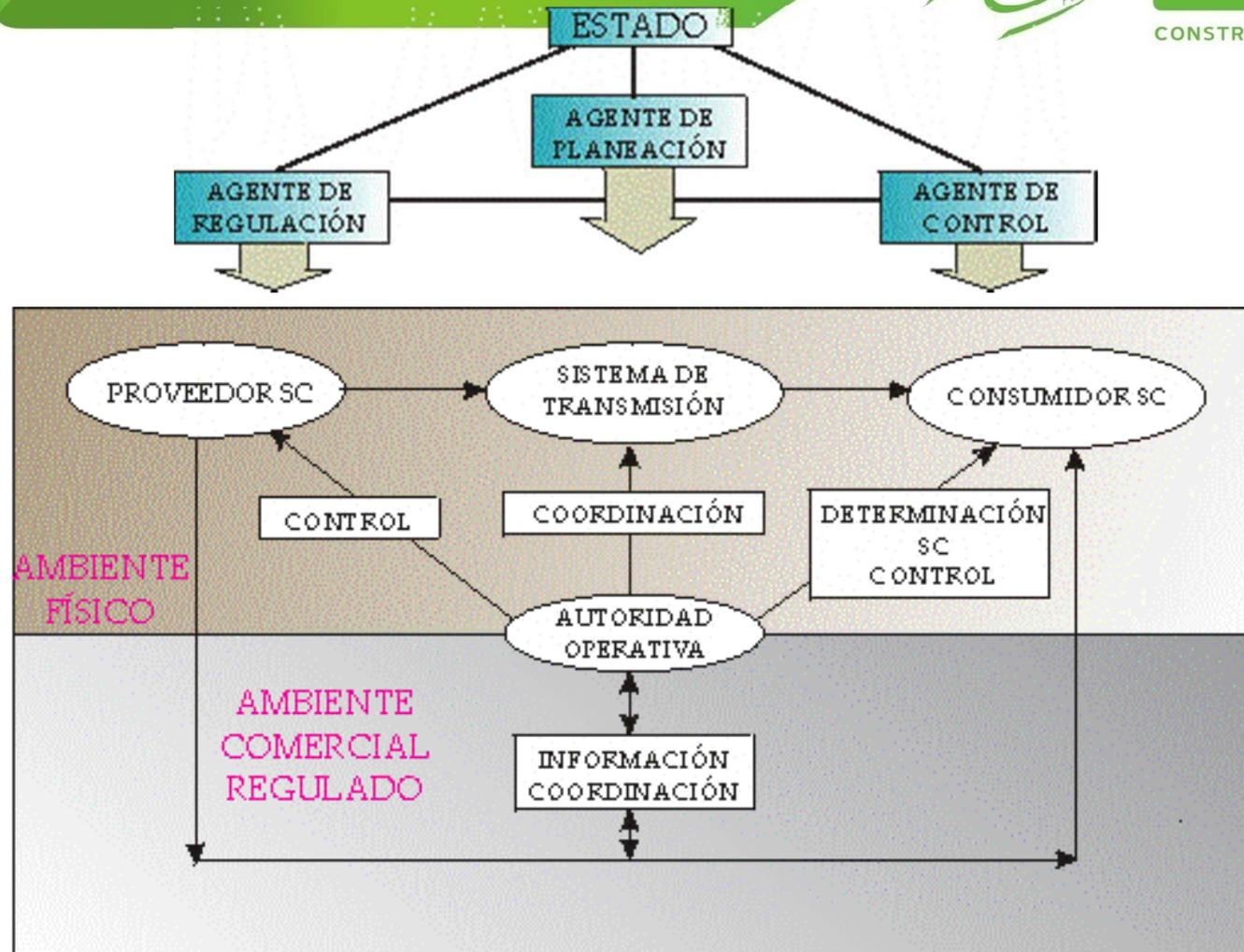
Actividades necesarias para asegurar el suministro de energía con seguridad y calidad en el corto y el largo plazos

# Definición

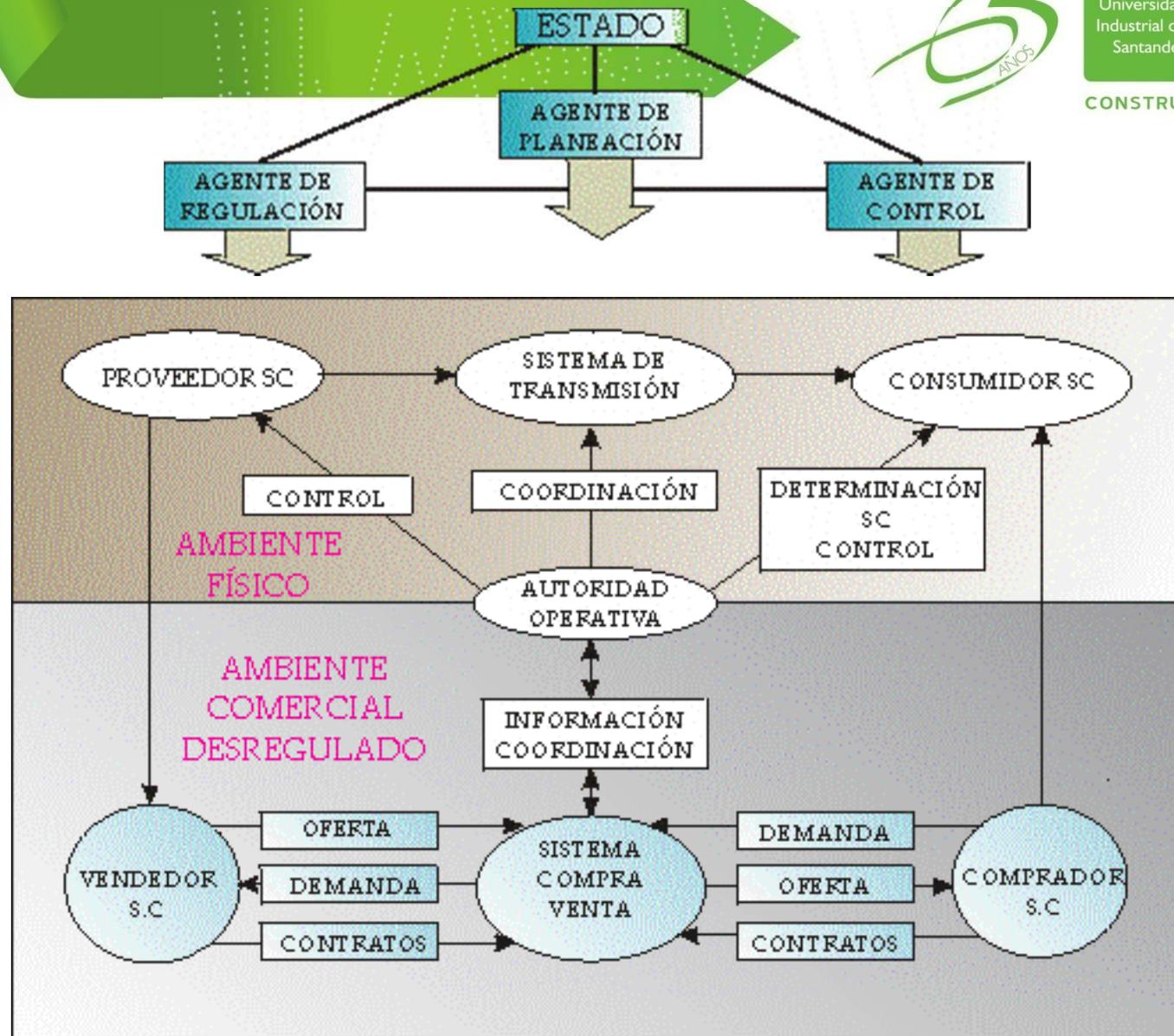


- Existe una función principal
- Existen actividades secundarias o adicionales

# Servicios Complementarios



# Servicios Complementarios



# CAMBIO DE ESTRUCTURA



CONSTRUIMOS FUTURO

## Ambiente Característica Remuneración

<b>Regulado</b>	<b>No definidos</b> <b>No discriminados</b>	<b>Con base en estructura de costos</b>
<b>Desregulado</b>	<b>Definidos</b> <b>Discriminados</b> <b>Desarrollados</b>	<b>Libre Mercado</b> <b>Bolsa</b> <b>Contratos</b> <b>Autoabastecimiento</b>

# Desagregación



CONSTRUIMOS FUTURO



Manejo de Equipajes

Despegues

Aterrizajes

Manejo de Almohadas/Cobijas

Oxigeno

Servicios

Reservas ....

\*

Vuele Cielos Amigos  
por  
AIRES DESAGREGADOS

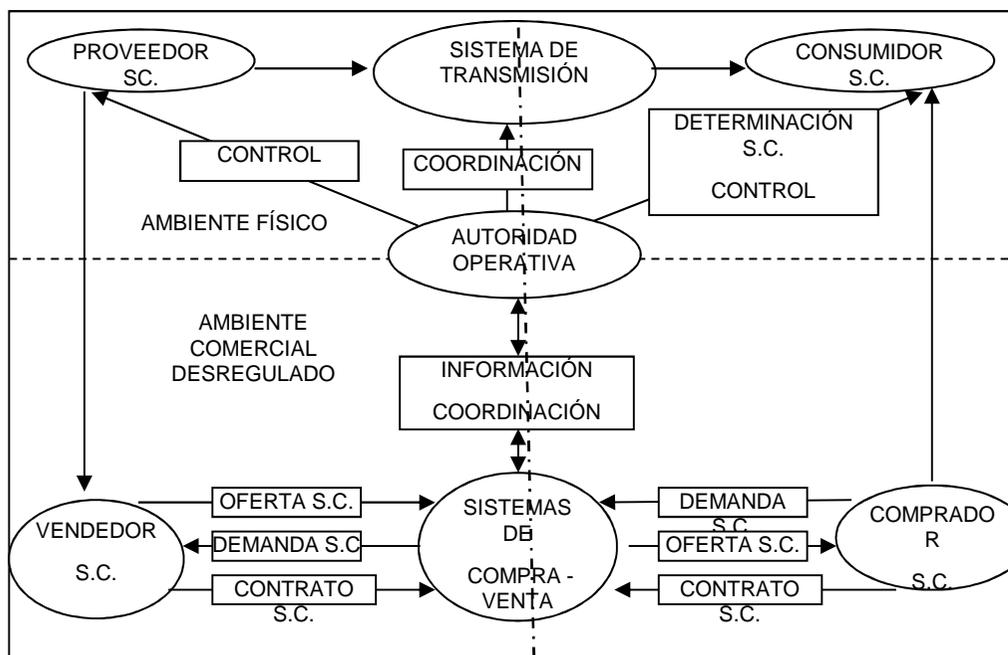
\* Los servicios desagregados están disponibles a solicitud del pasajero

Estado



CONSTRUIMOS FUTURO

Físico



Comercial

Entrega

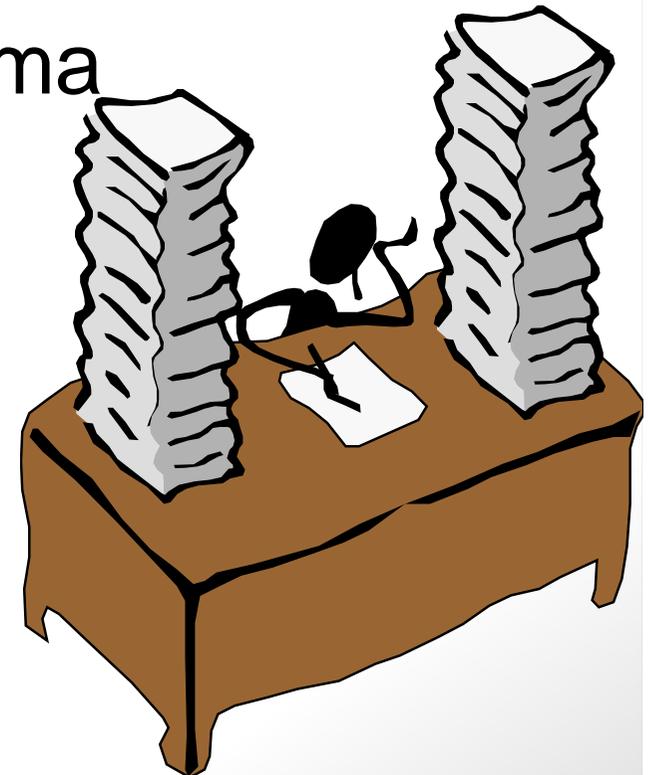
Recibo



CONSTRUIMOS FUTURO

# CRITERIOS DE DESAGREGACION

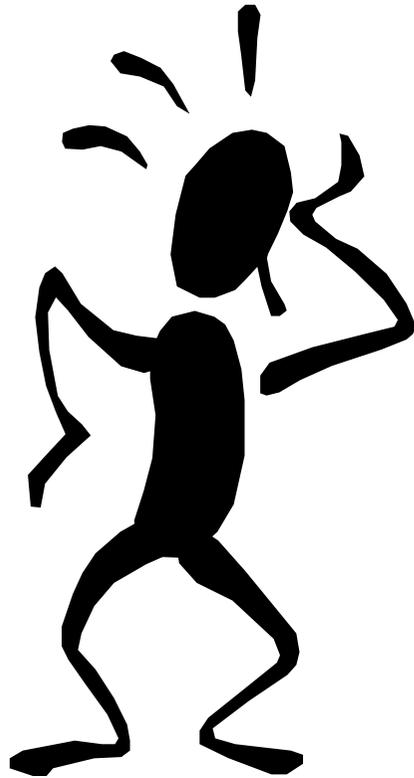
Forma de Coordinación del Sistema  
Estructura de Producción  
Configuración de la Red  
Modelo Remuneratorio  
Métodos Aplicados  
Sistema de Medición y Control





CONSTRUIMOS FUTURO

# Cada Agente debe Saber



Qué servicios adquirir  
Qué servicios proveer  
Cuales serán los costos  
Cuales serán los ingresos  
Qué requerimientos conllevan  
Qué escala de tiempo tienen  
Como medir

# ¿Que busca el análisis?



**Examinar etapas del proceso**

**Estudiar dinámica de los dispositivos**

**Simular variaciones en el sistema**

**Determinar**

**Productores**

**Consumidores**

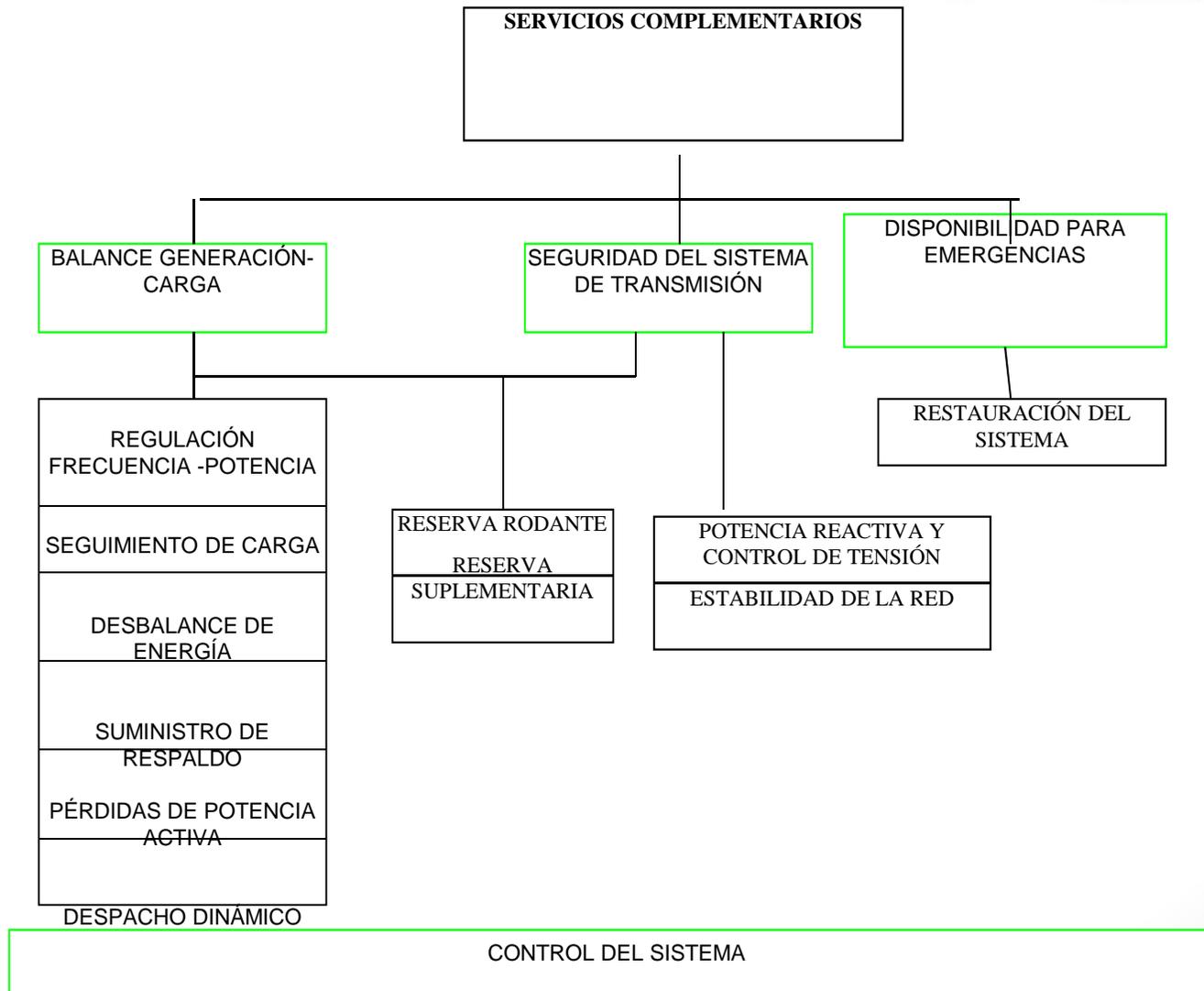
**Monto del servicio**

**Plantear o Estructurar esquema remuneratorio**

# Discriminación FERC



CONSTRUIMOS FUTURO



# Servicios Complementarios



CONSTRUIMOS FUTURO



**Genéricos**

**Asociados a la Generación**

**Asociados a la Transmisión**

**Asociados a la Distribución**

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

Facultad de Ciencias - Facultad de Ciencias Humanas - Facultad de Ingenierías Físico Mecánicas  
Facultad de Ingenierías Físico Químicas - Facultad de Salud - Instituto de Proyección Regional y Educación a Distancia

# Genéricos

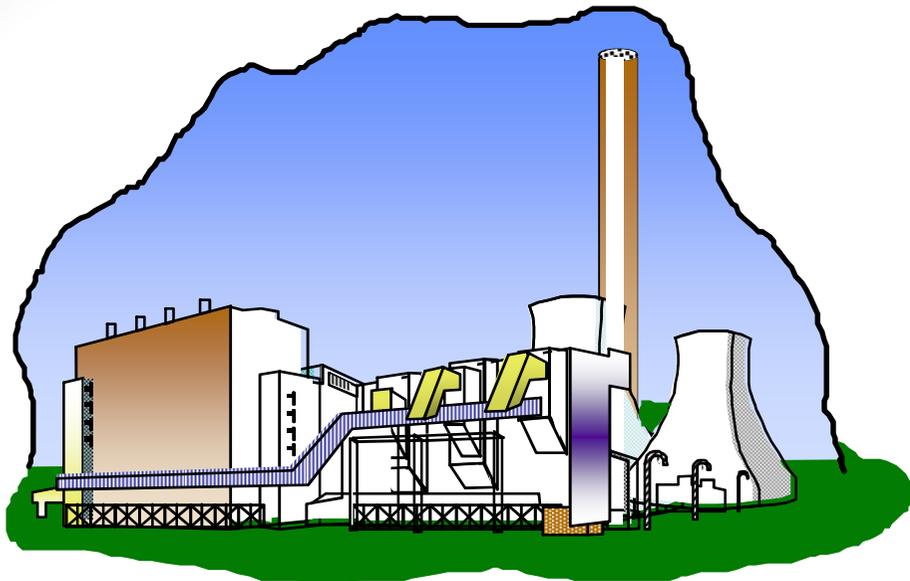


- **Regulación del mercado**
- **Despacho**
- **Planeación**
- **Control Polícivo**
- **Normalización**
- **Control del Sistema**

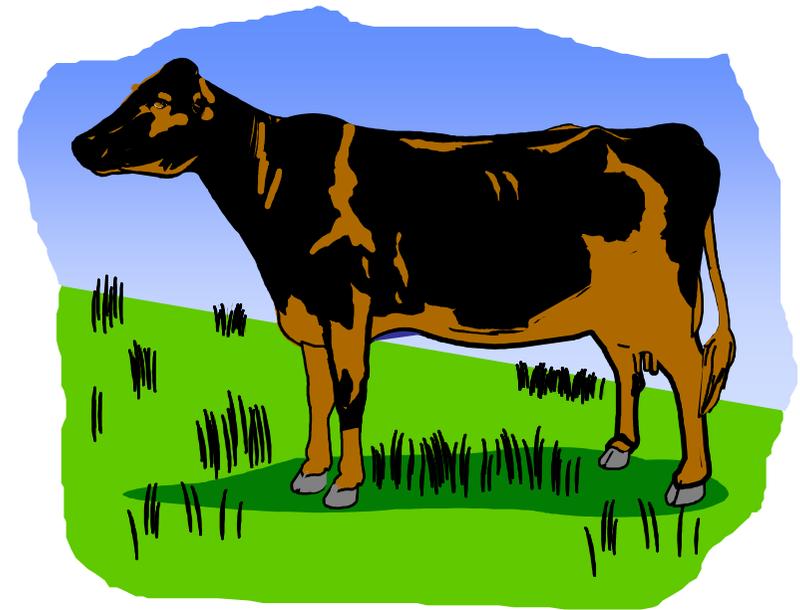


CONSTRUIMOS FUTURO

# Asociados a la Generación



=



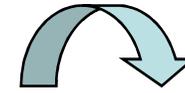
Plantas Eléctricas: Se alimentan por un lado  
y el producto sale por el otro



CONSTRUIMOS FUTURO

# Asociados a la Generación

- Regulación de Frecuencia
- Regulación de Tensión
- Restauración del Sistema
- Respaldo de Generación
- Suministro de Pérdidas
- Estabilidad y su Control
- Seguimiento de Carga
- Desbalance de Generación
- Reservas





CONSTRUIMOS FUTURO

# Asociados a la Transmisión

Suministro/consumo de Reactiva

Control de Tensión/Flujo de Potencia

Corrección del Factor de Potencia

Estabilidad y su Control



# Elementos de Red

- **Transformador de control**
- **FACTS**
- **Reactores**
- **Condensadores**



**V**  
**P**

**Serie**  
**Paralelo**



CONSTRUIAMOS FUTURO

# Servicios de Transmisión

¿¿Son obligación del transportador??



# Asociados a la Distribución

Despacho 

Suministro de Reactiva 

Corrección del Factor de Potencia 

Mejora de la Calidad del Servicio

Control Automático de Carga



CONSTRUIAMOS FUTURO

# Servicios de Distribución

¿¿Son obligación del operador ??

Si son de la carga, ¿¿deben dejarse al libre mercado??

# Remuneración de la Central



CONSTRUIAMOS FUTURO

Energía utilizada para balancear el mercado real (incluyendo AGC)

Reservada para balancear el mercado en tiempo real

Reserva rodante

Mercado de reserva de una hora antes

Mercado de reserva del día anterior

Mercado de energía de la hora anterior

Capacidad de AGC

Mercado de energía del día anterior

# Ejemplo CHRS



CONSTRUYAMOS FUTURO



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

Facultad de Ciencias - Facultad de Ciencias Humanas - Facultad de Ingenierías Físico Mecánicas  
Facultad de Ingenierías Físico Químicas - Facultad de Salud - Instituto de Proyección Regional y Educación a Distancia



CONSTRUIMOS FUTURO

# Ejemplo Estimación CHRS

## Concepto Ingreso/Inversión

Capacidad	15,37
Restauración	0,9
Regulación f-P	2,24
Regulación V-Q	5,65



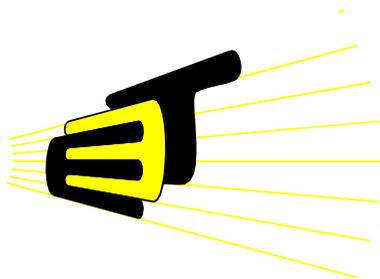
# Conclusiones



- **Discriminar los Servicios Complementarios.**
- **Remunerar no solo por los costos ocasionados sino por los ingresos evitados.**
- **Regular las funciones con característica de servicio (Transmisión, Distribución, Despacho)**
- **Despachar considerando ciclo completo.**
- **Planificar la prestación del servicio.**
- **Simular en el corto y el largo plazos antes de establecer un esquema regulatorio.**



CONSTRUIMOS FUTURO



**Gilberto Carrillo Caicedo**  
**gilberto@uis.edu.co**

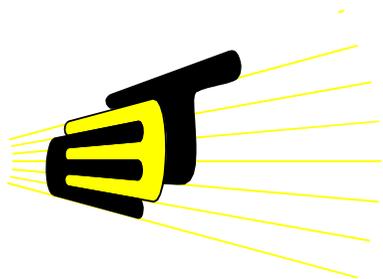


[www.uis.edu.co](http://www.uis.edu.co)

Facultad de Ciencias - Facultad de Ciencias Humanas - Facultad de Ingenierías Físico Mecánicas  
Facultad de Ingenierías Físico Químicas - Facultad de Salud - Instituto de Proyección Regional y Educación a Distancia



CONSTRUIMOS FUTURO



**Gilberto Carrillo Caicedo**  
**gilberto@uis.edu.co**



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

Facultad de Ciencias - Facultad de Ciencias Humanas - Facultad de Ingenierías Físico Mecánicas  
Facultad de Ingenierías Físico Químicas - Facultad de Salud - Instituto de Proyección Regional y Educación a Distancia

# Regulación P-f



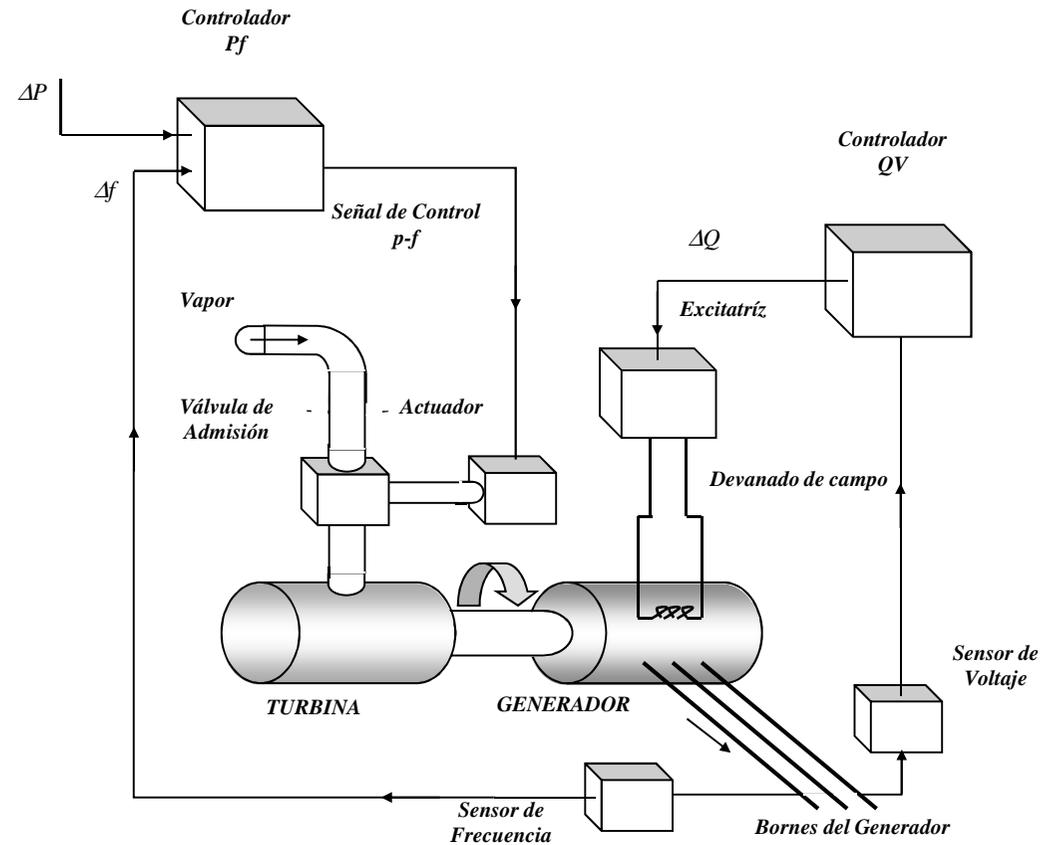
CONSTRUIENDO FUTURO



# Control del Generador



CONSTRUIMOS FUTURO

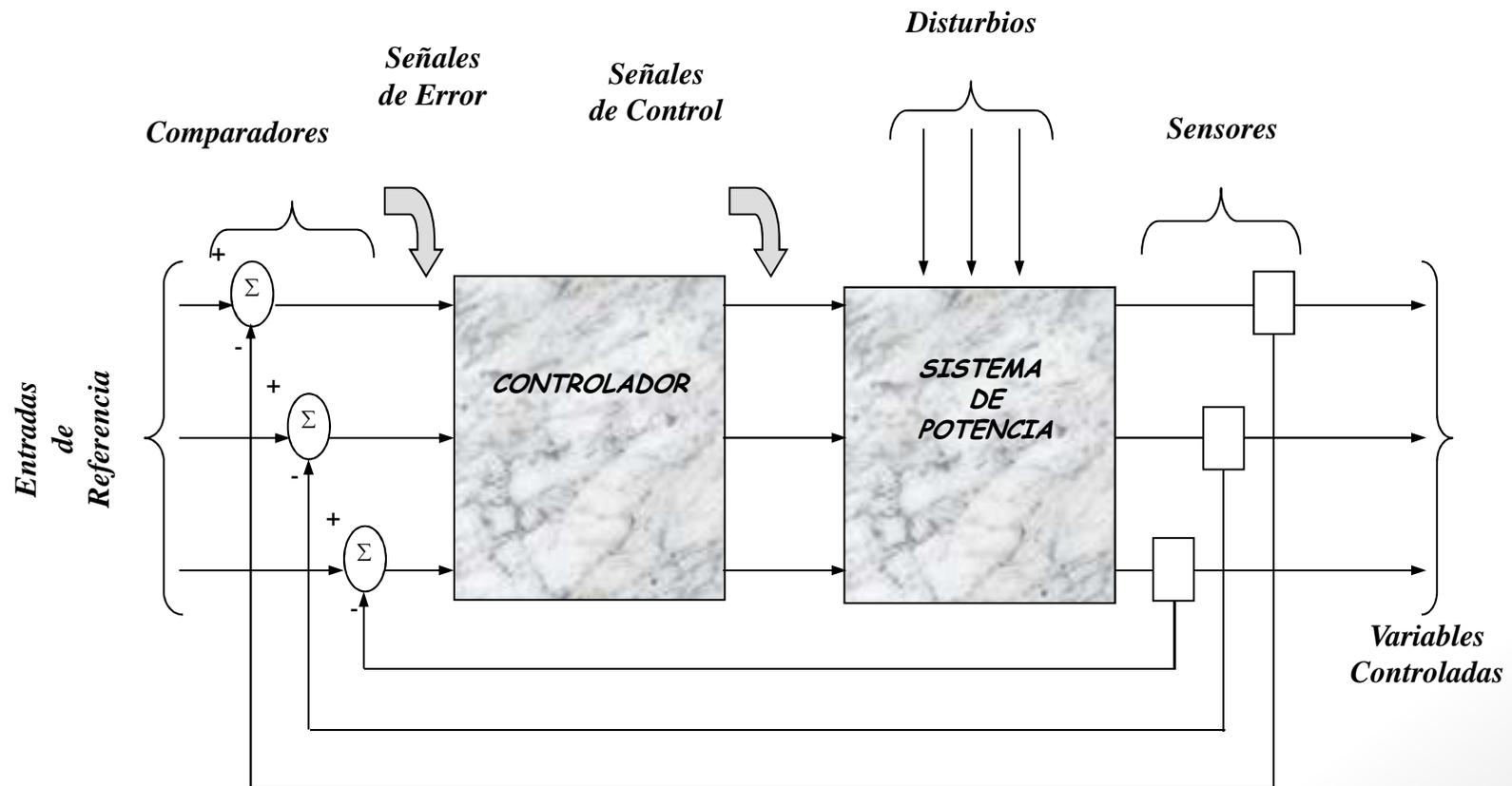


# ESTRUCTURA DE LOS SISTEMAS DE REGULACIÓN

Universidad  
Industrial de  
Santander

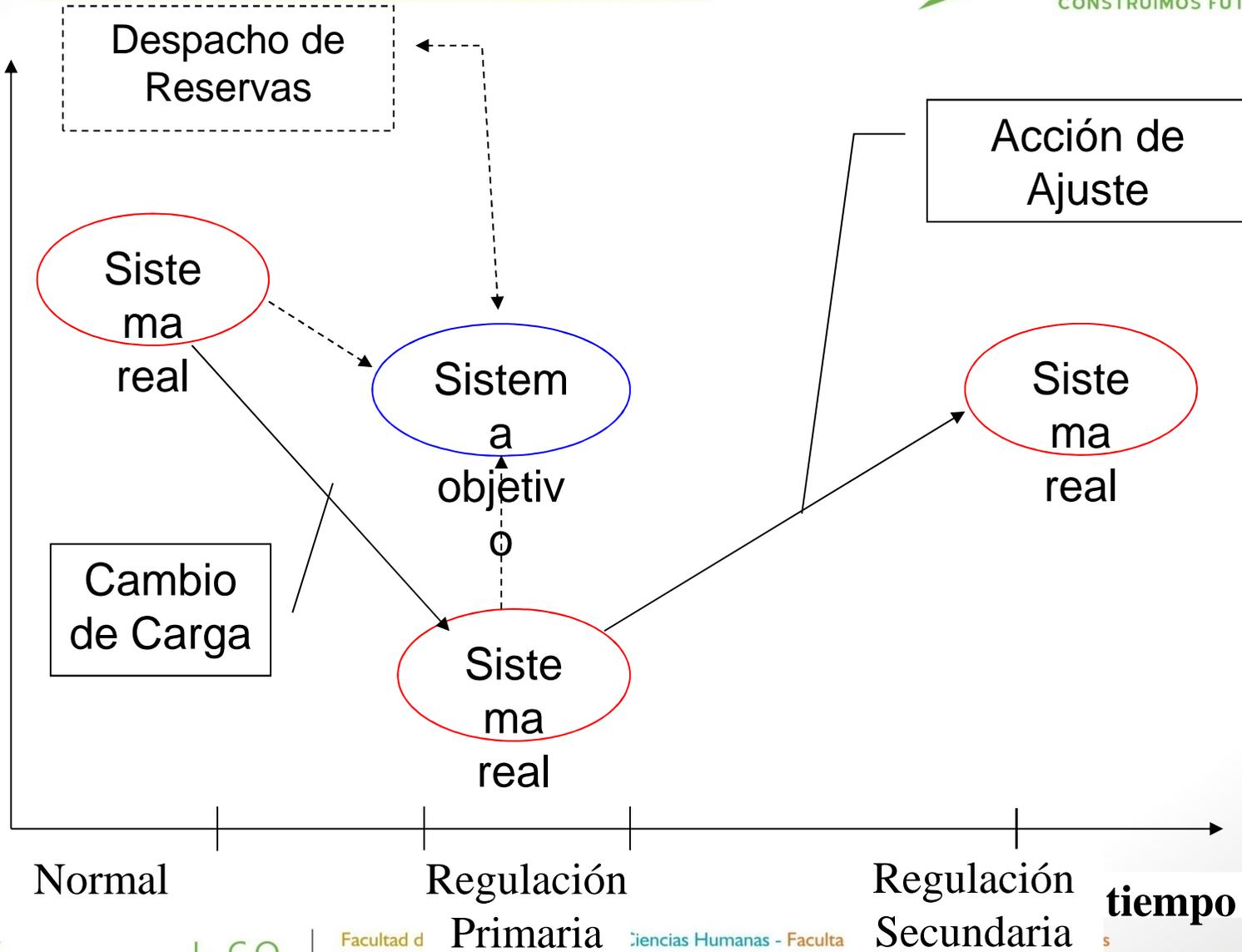


CONSTRUIMOS FUTURO





# Nivel de Operación



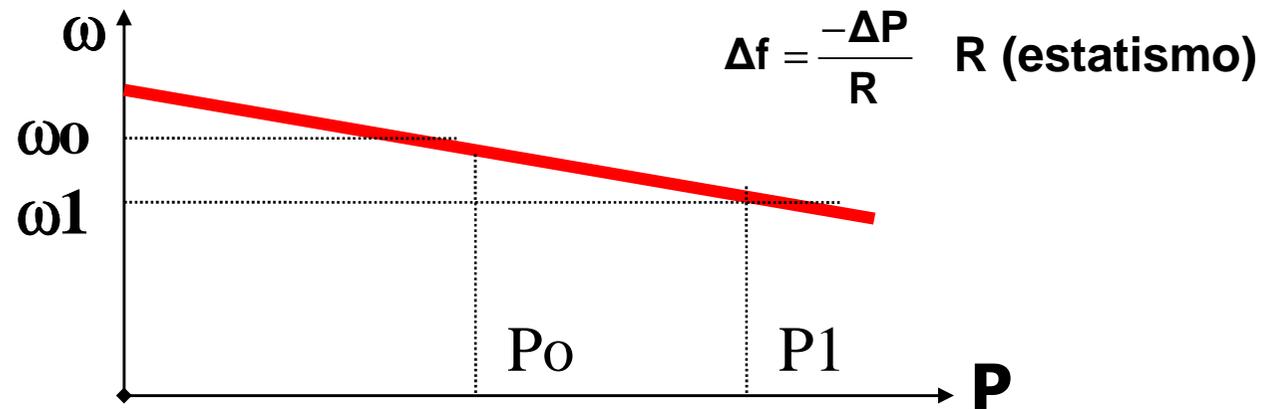
# REGULACIÓN PRIMARIA

Universidad  
Industrial de  
Manizales



CONSTRUIMOS FUTURO

## Estatismo



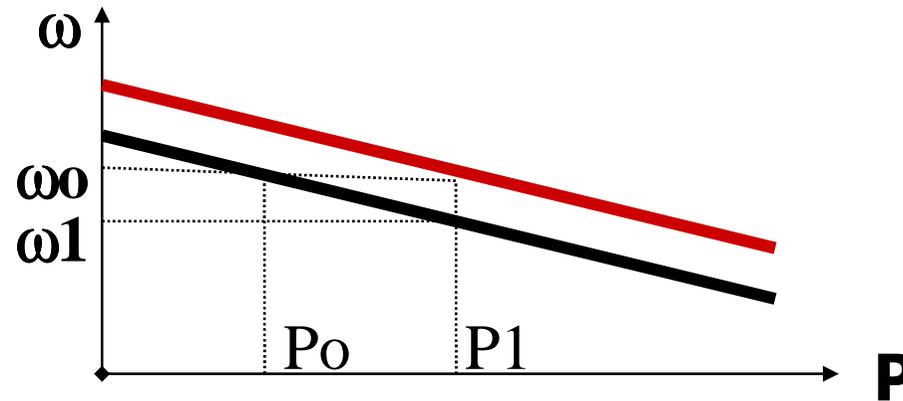
Primera reacción ante fallas  
Balance Generación Demanda



# REGULACIÓN SECUNDARIA



## Automática



Recuperar reserva primaria  
Recuperar intercambios



# REGULACIÓN Terciaria



## Manual



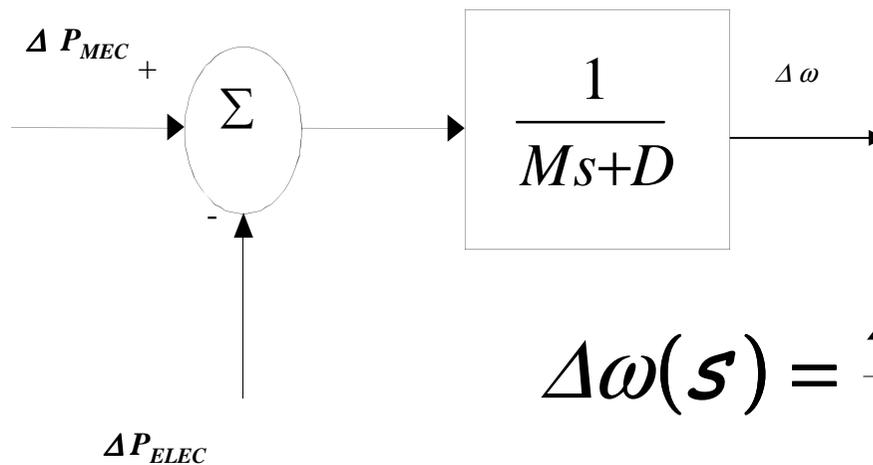
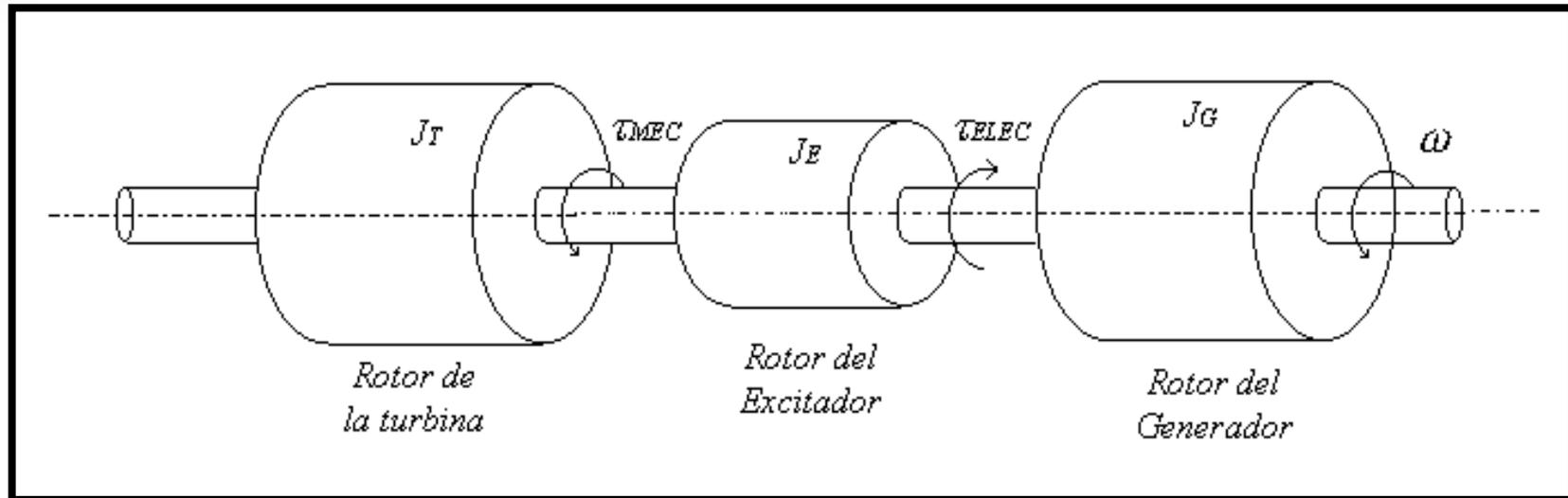
Recuperar reserva secundaria  
Evitar caída del sistema

# MÁQUINA SINCRÓNICA

Universidad  
Industrial de  
Santander



CONSTRUIMOS FUTURO



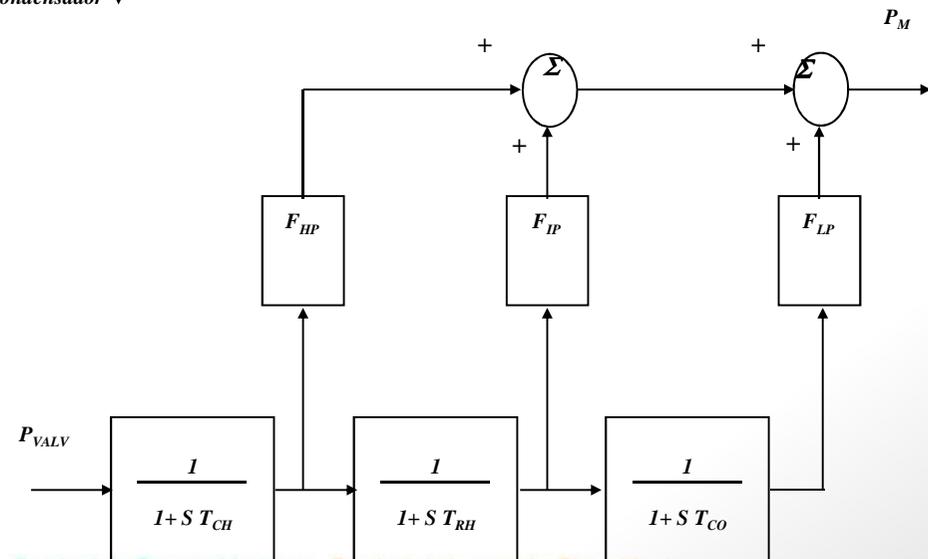
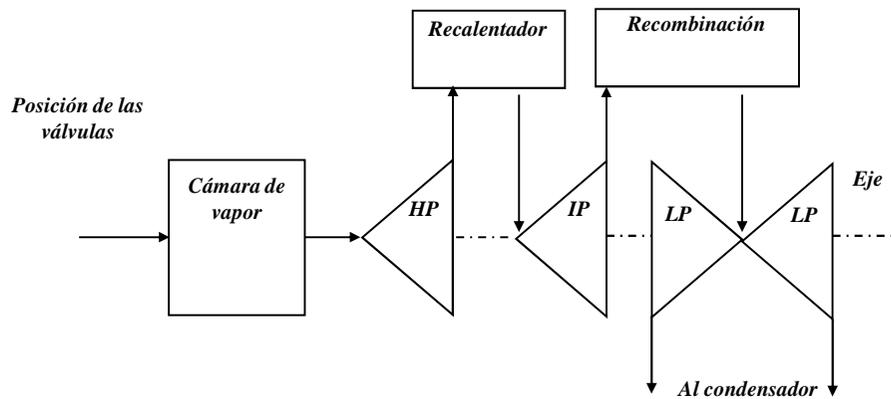
$$\Delta \omega(s) = \frac{\Delta P_{MEC}(s) - \Delta P_{ELEC}(s)}{Ms + D}$$

# MODELO DE TURBINAS TÉRMICAS A VAPOR



CONSTRUIMOS FUTURO

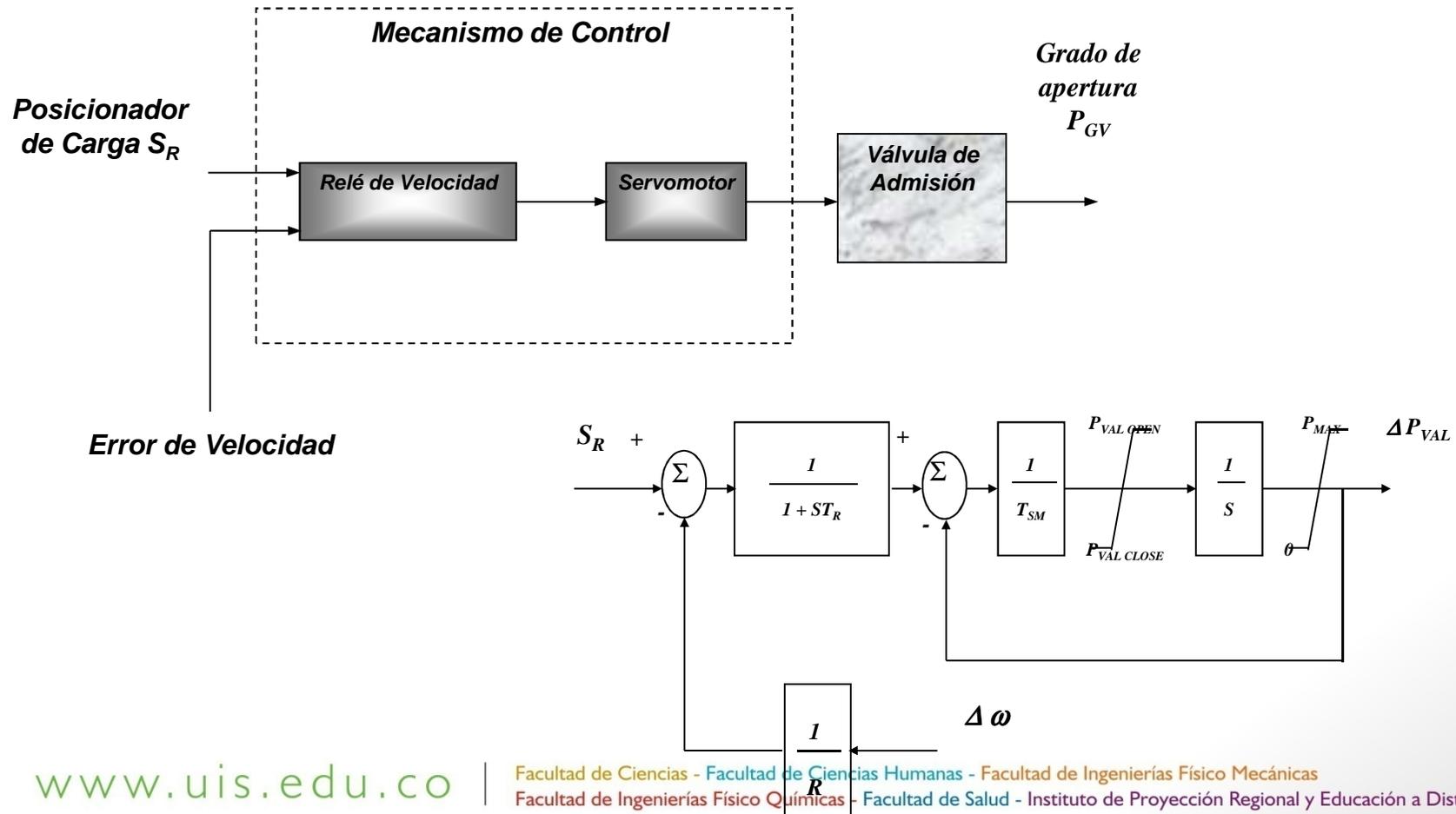
## CONFIGURACIÓN SERIE CON UN RECALENTADOR



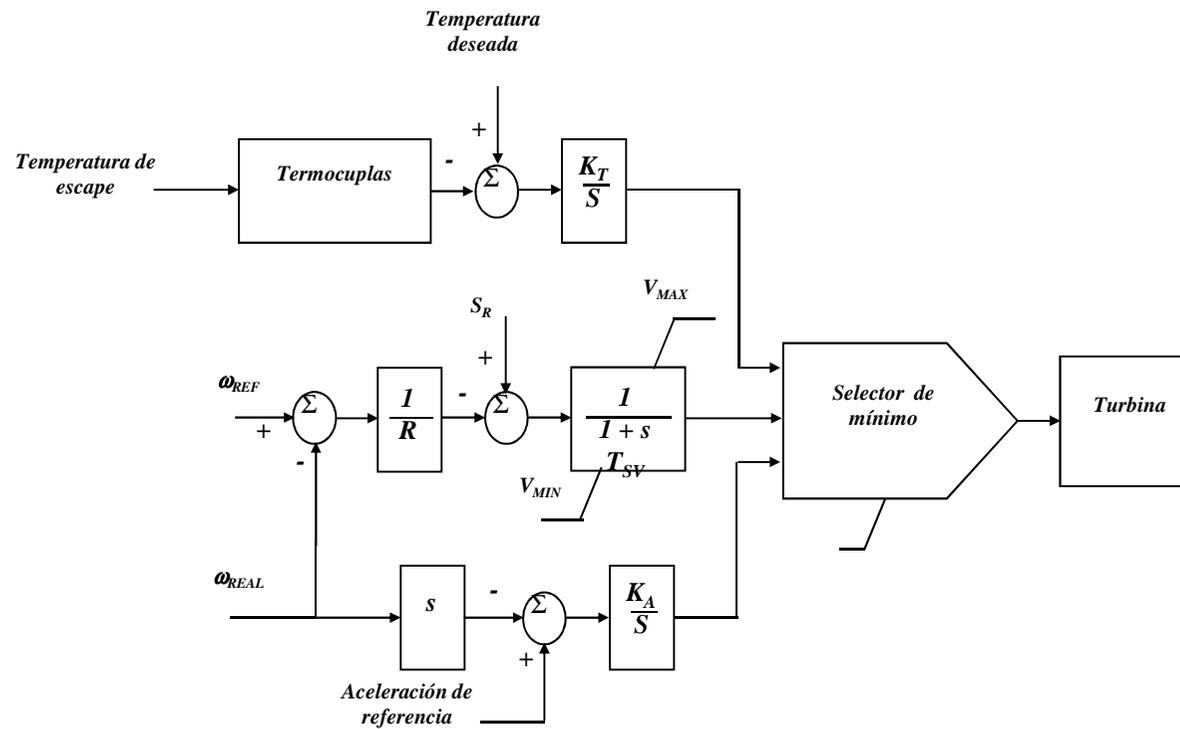
# MODELO DE GOBERNADOR PARA TURBINAS TÉRMICAS A VAPOR



## Gobernador Hidromecánico

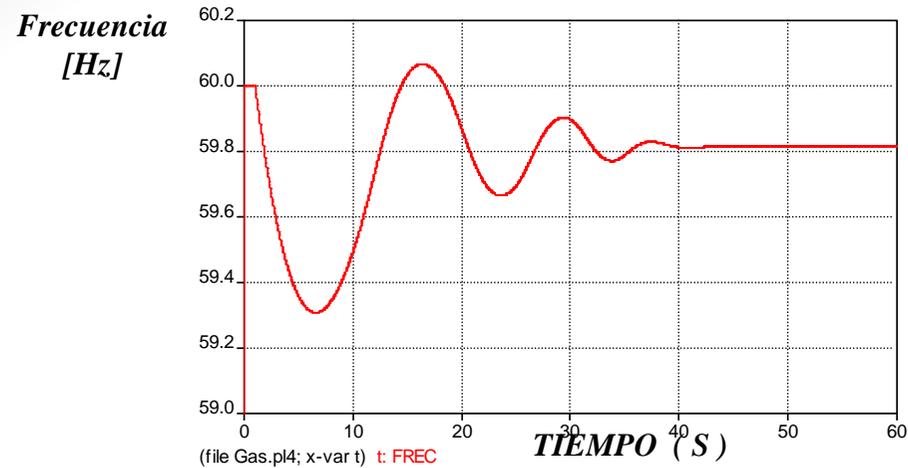


# MODELO DE GOBERNADOR PARA TURBINAS TÉRMICAS A GAS

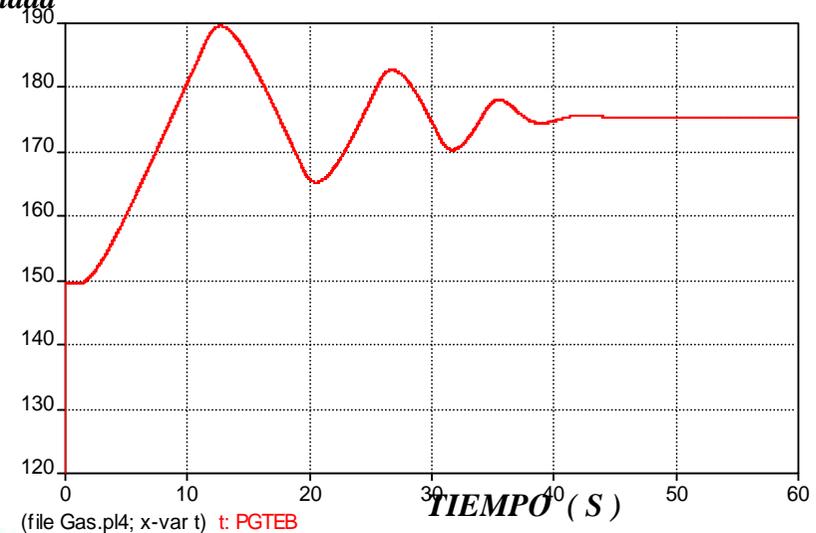




CONSTRUIMOS FUTURO



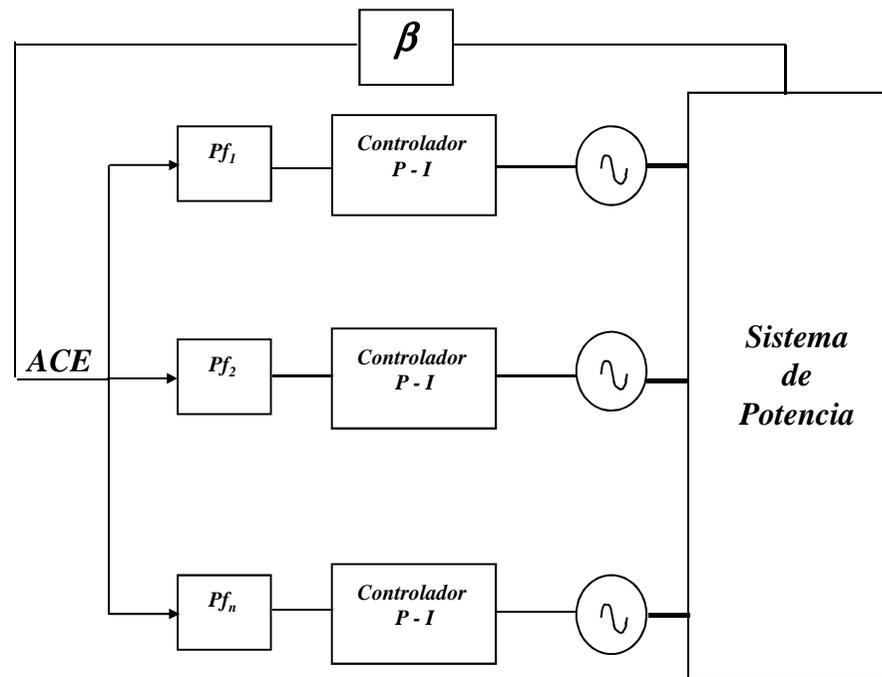
**Potencia desarrollada [MW]**





CONSTRUIAMOS FUTURO

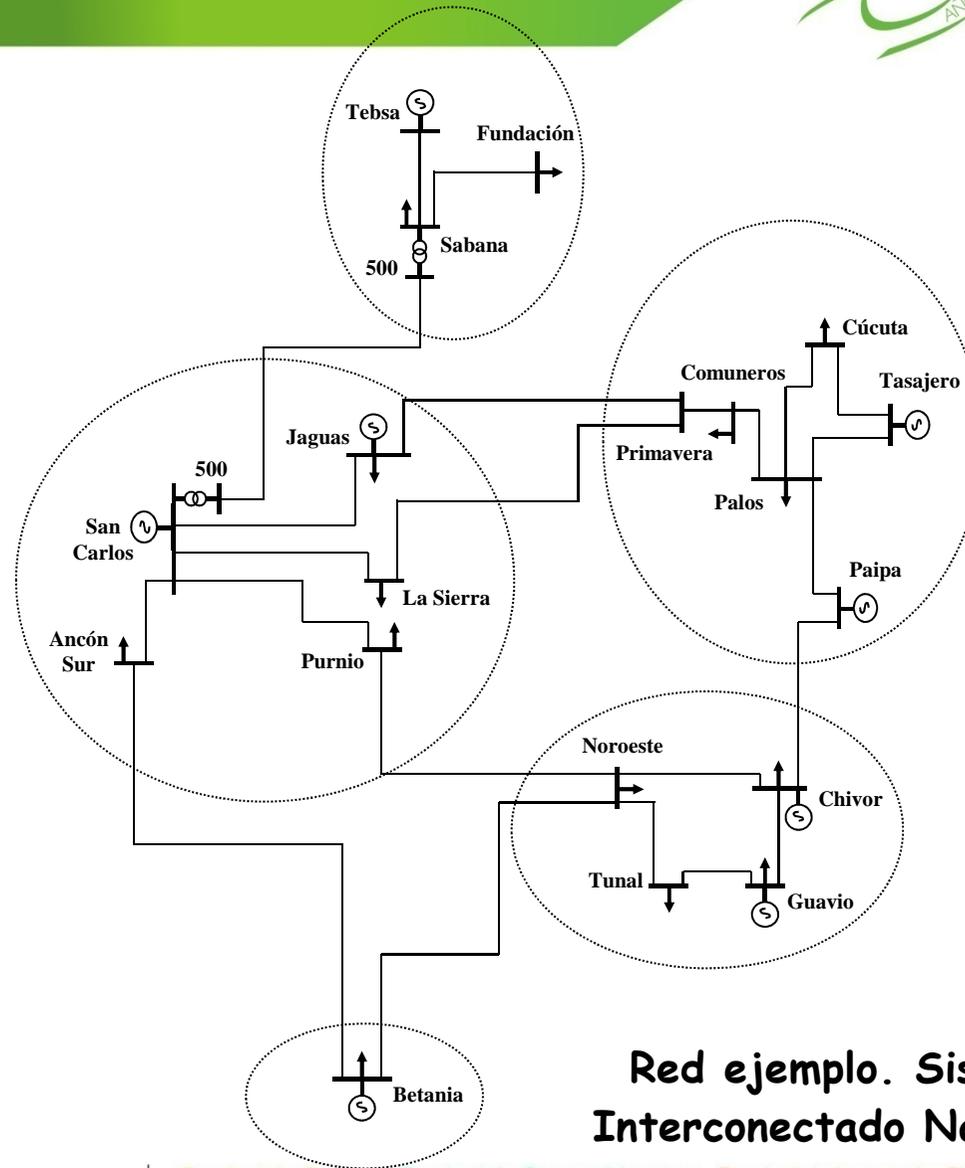
# CONTROL AUTOMÁTICO DE GENERACIÓN



# EJEMPLO DE REGULACION FRECUENCIA - POTENCIA

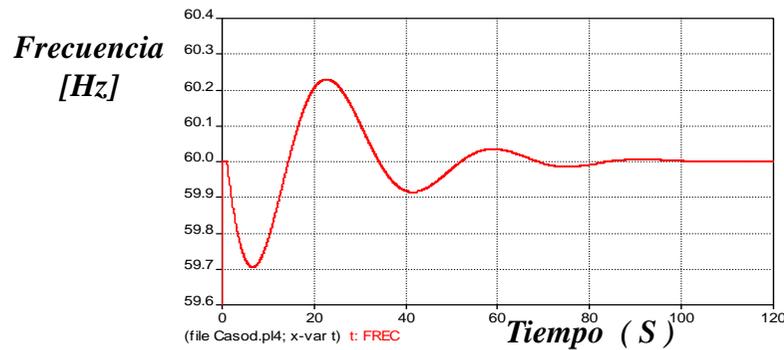


CONSTRUIMOS FUTURO

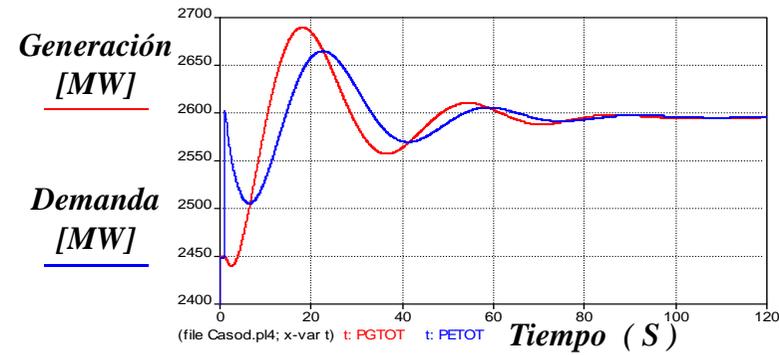


**Red ejemplo. Sistema Interconectado Nacional.**

# AUMENTO DE CARGA



*Comportamiento de la frecuencia*

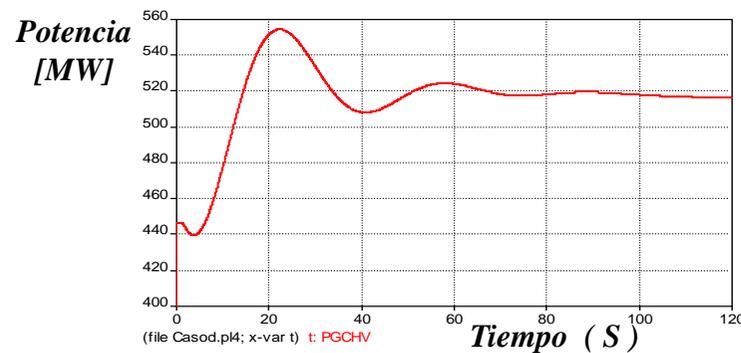
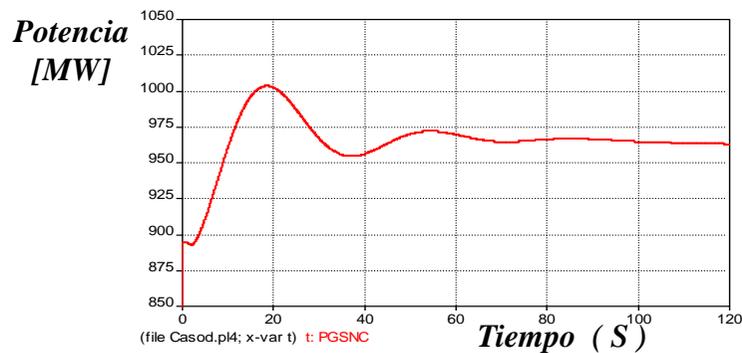


*Generación y demanda total*

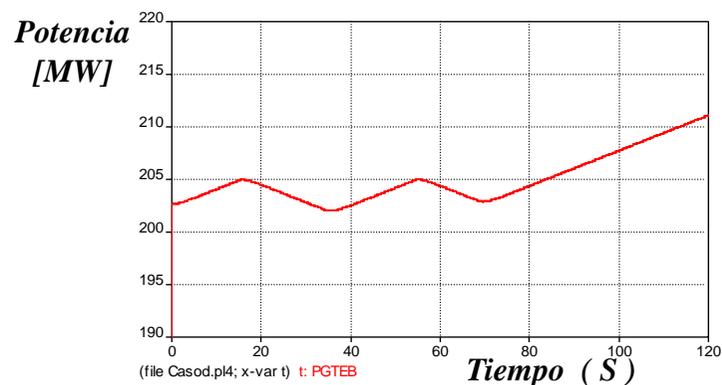
# AUMENTO DE CARGA - (Generadores)



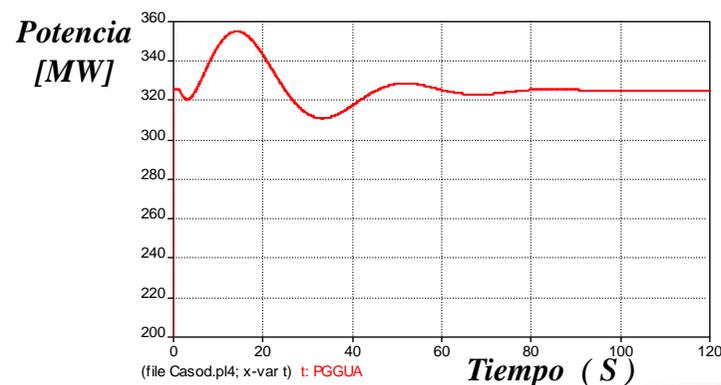
CONSTRUIMOS FUTURO



a. Generación en San Carlos



b. Generación en Chivor



c. Generación Tebsa

d. Generación en Guavio

# Servicio de Regulación Pf

Función:

Mantener frecuencia ante cambio

Proveedor:

Plantas con AGC (sec)

Consumidor:

Área de Control

Tiempo:

Segundos a Minutos

Objetivo:

Restaurar Reservas e Intercambios

Tiempo de Contratación:

Horario

Tiempo de Liquidación:

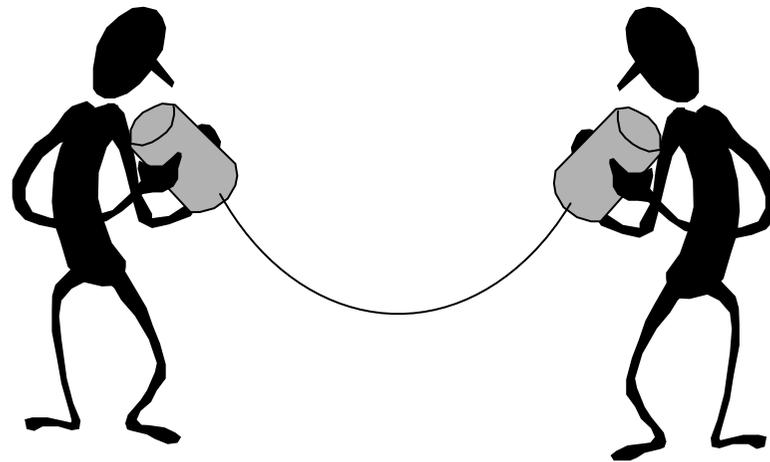
Mensual



# Regulación Q-V



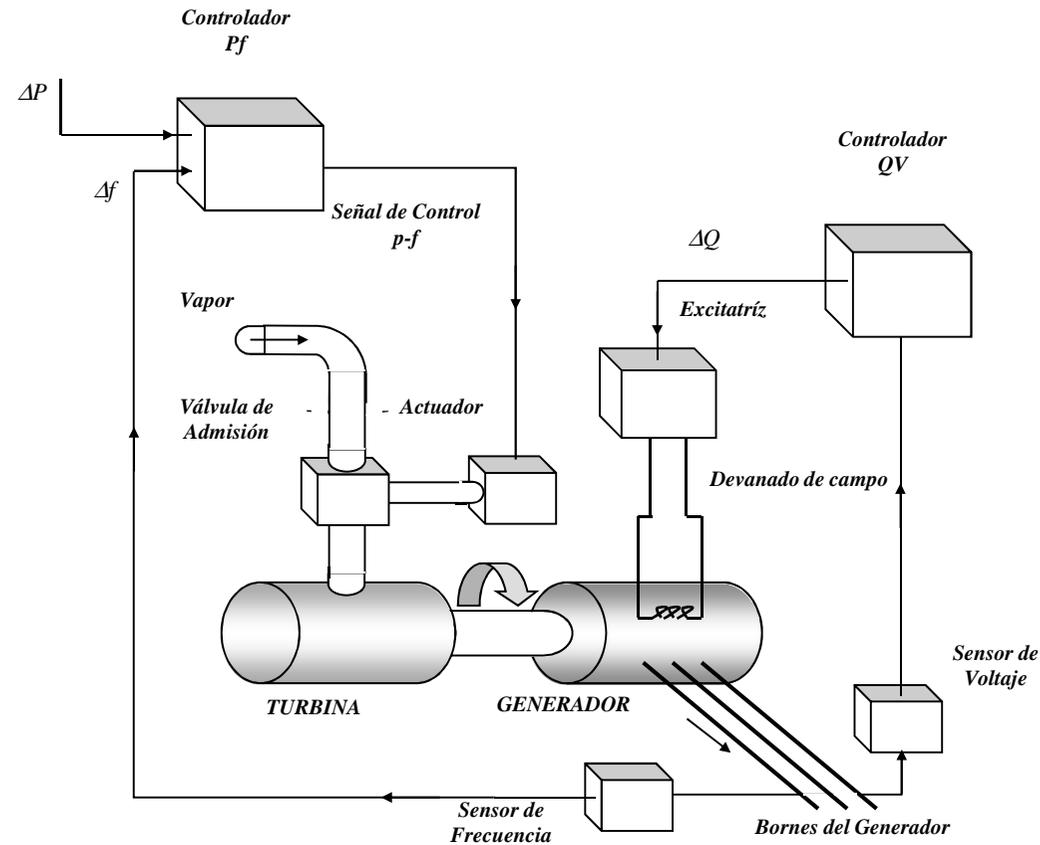
CONSTRUIMOS FUTURO



# Control del Generador



CONSTRUIMOS FUTURO

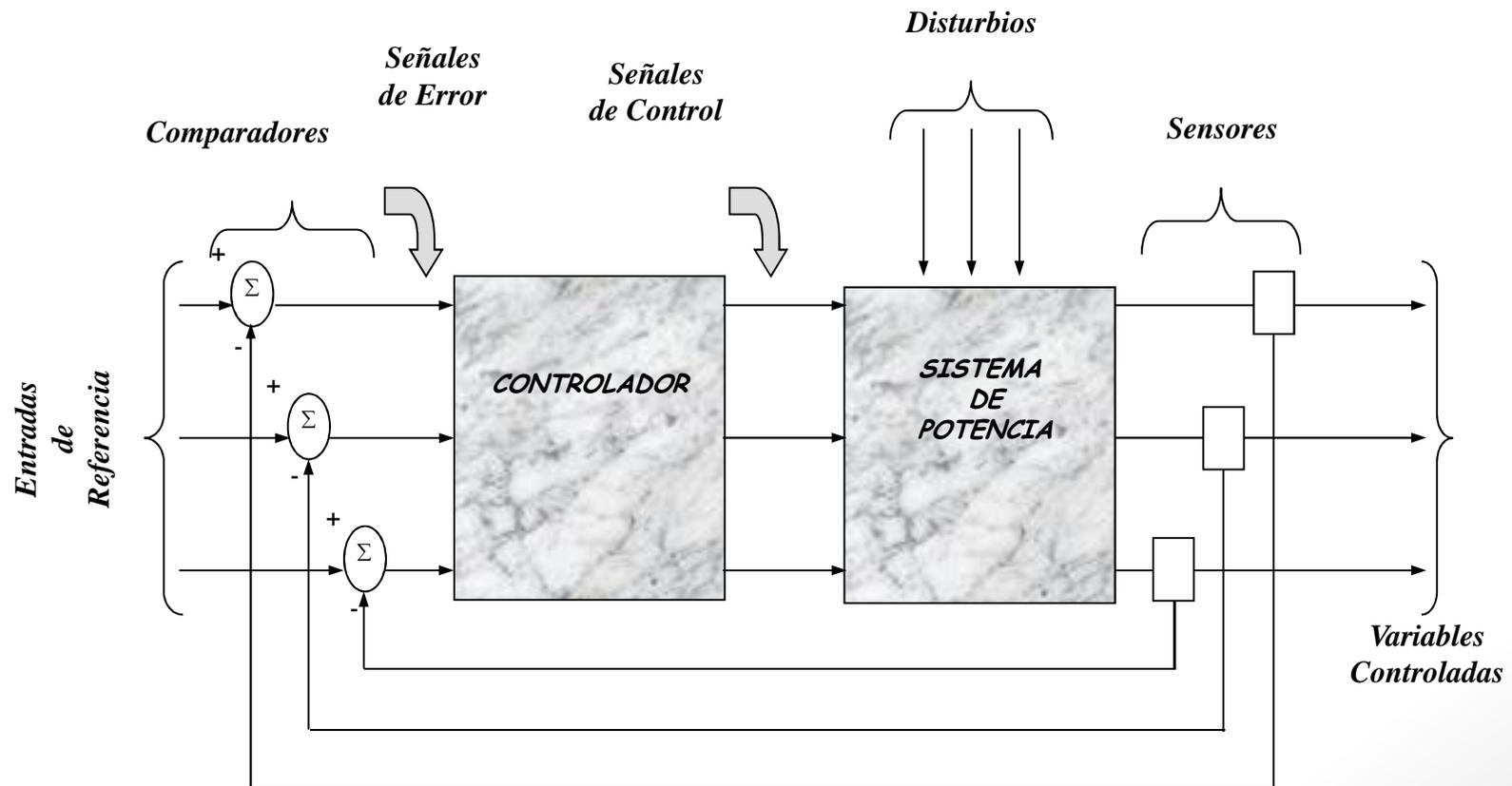


# ESTRUCTURA DE LOS SISTEMAS DE REGULACIÓN

Universidad  
Industrial de  
Santander



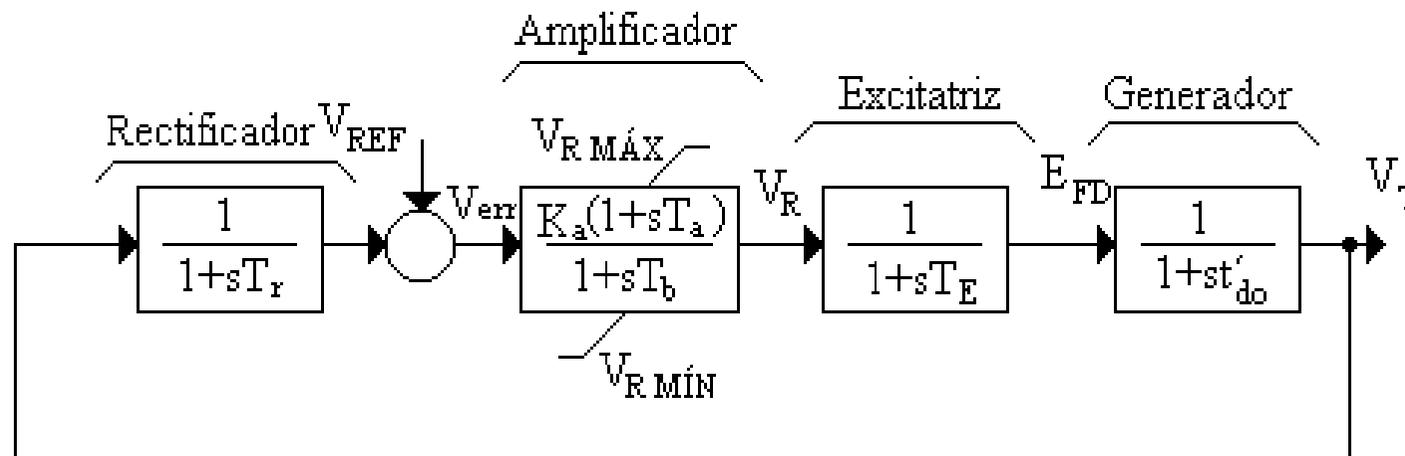
CONSTRUIMOS FUTURO





INGENIEROS FUTURE

# Sistema de excitación (VCO6)

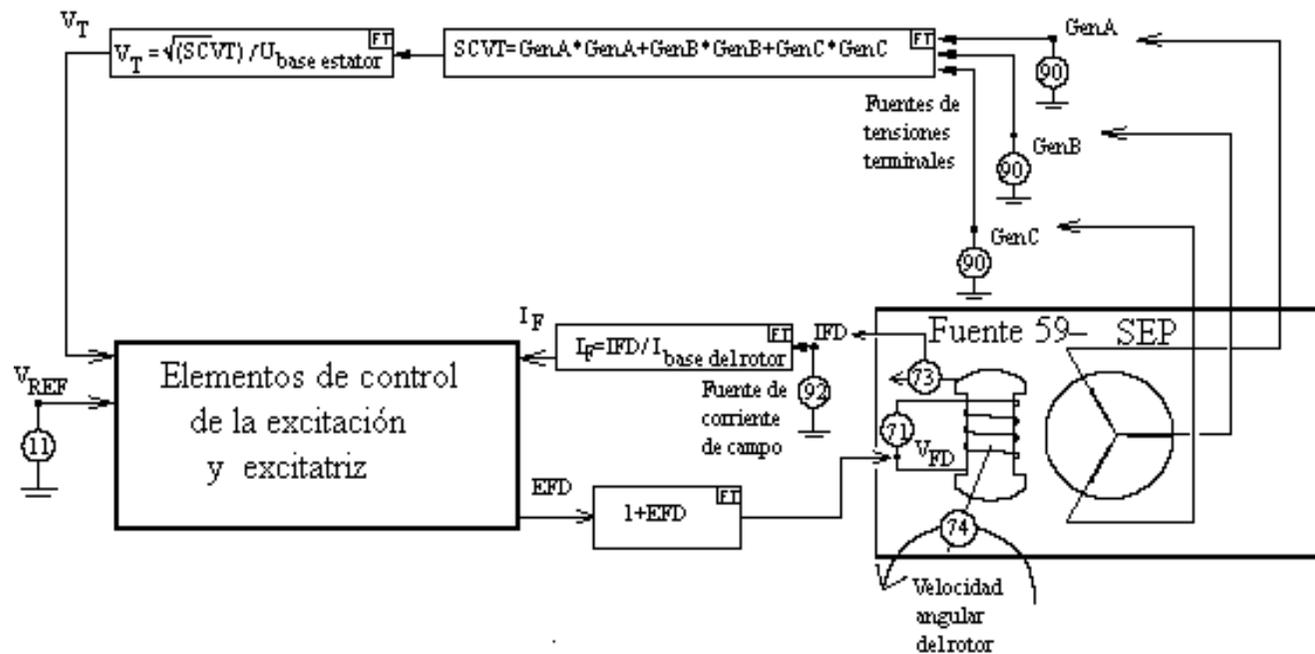


17/01/2014

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

Facultad de Ciencias - Facultad de Ciencias Humanas - Facultad de Ingenierías Físico Mecánicas  
Facultad de Ingenierías Físico Químicas - Facultad de Salud - Instituto de Proyección Regional y Educación a Distancia

# REPRESENTACIÓN DE LOS SISTEMAS DE EXCITACIÓN EN EL ATP

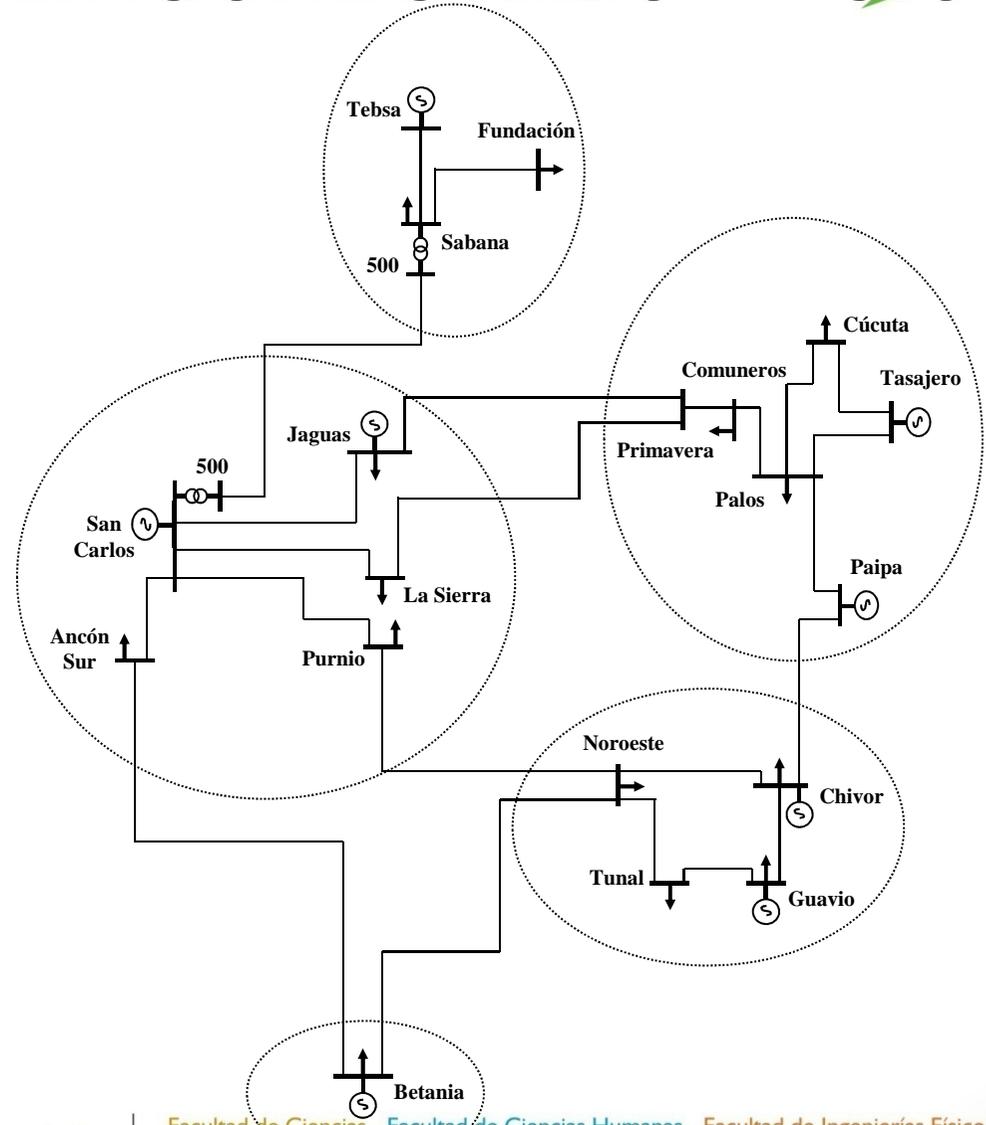


# SIMULACIÓN SISTEMA INTERCONECTADO NACIONAL

Universidad Industrial de Santander



CONSTRUIMOS FUTURO

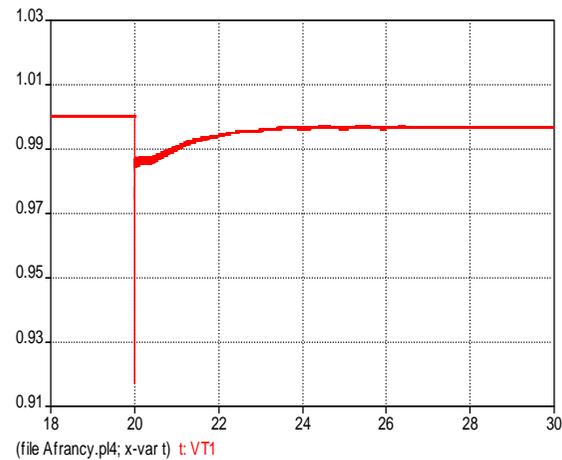


# AUMENTO DE CARGA - (Generadores)

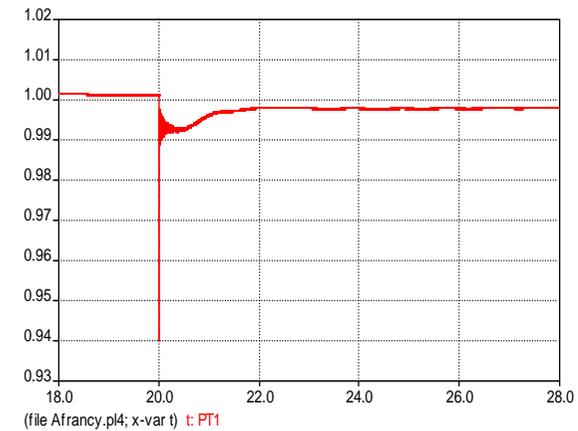


CONSTRUIMOS FUTURO

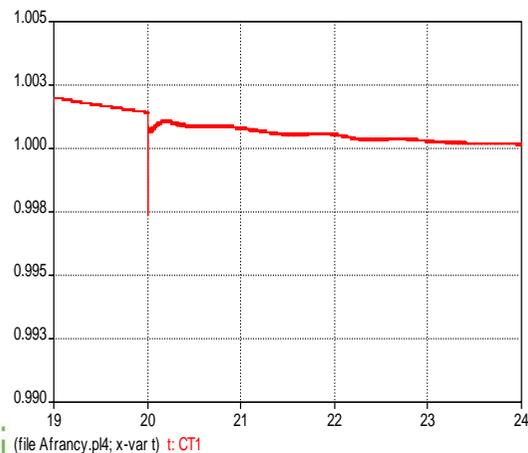
## Tasajero



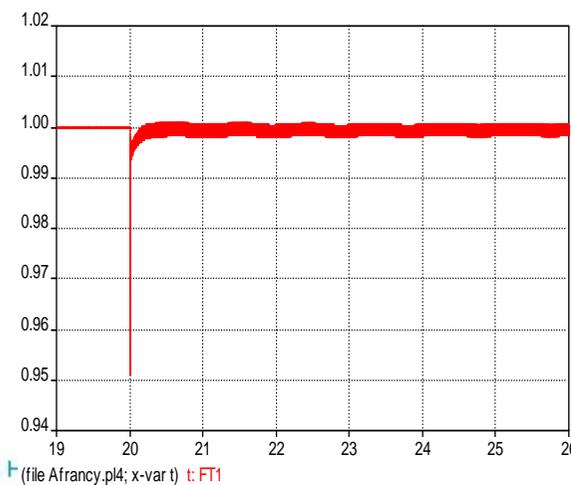
## Paipa



## Chivor



## Betania

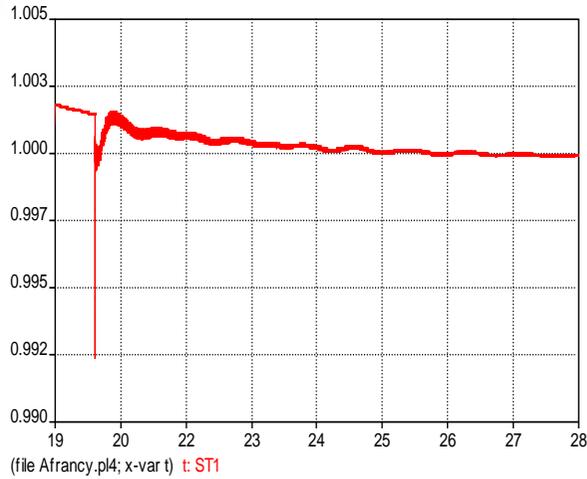


# AUMENTO DE CARGA - (Generadores Cont.)

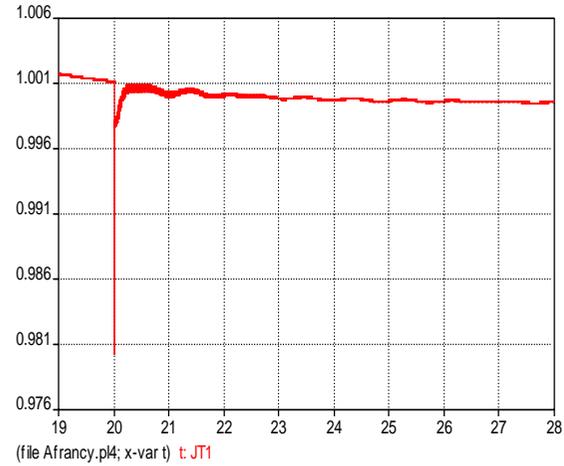


CONSTRUIMOS FUTURO

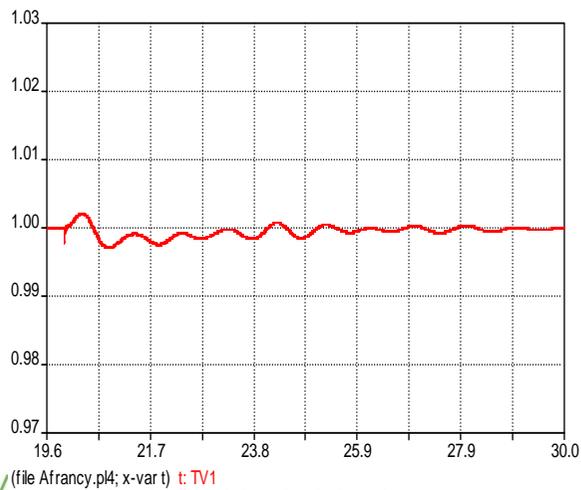
## San Carlos



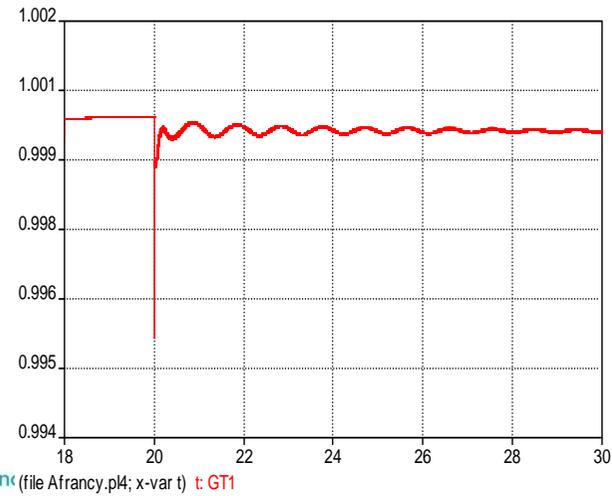
## Jaguas



## Tebsa



## Guavio



# Servicio de Regulación QV

Función:

Mantener Tensión ante Cambios

Proveedor:

Plantas con Excitatriz

Consumidor:

Área de Control (Región)

Tiempo:

Segundos a Minutos

Objetivo:

Restaurar Niveles de Tensión

Tiempo de Contratación:

Horario

Tiempo de Liquidación:

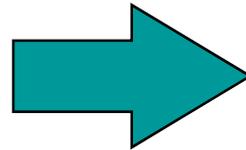
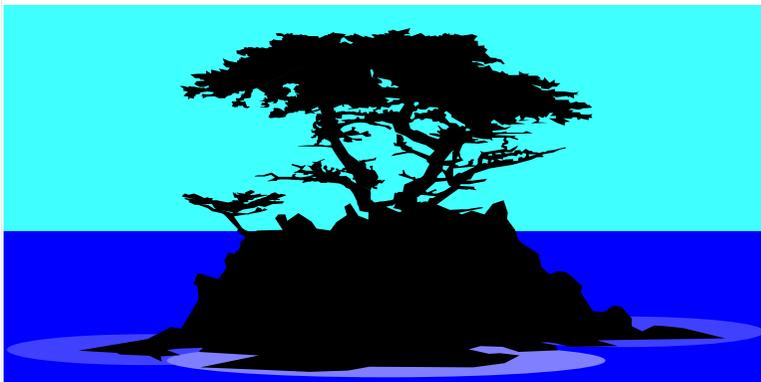
Mensual



# RESTAURACIÓN



CONSTRUIMOS FUTURO



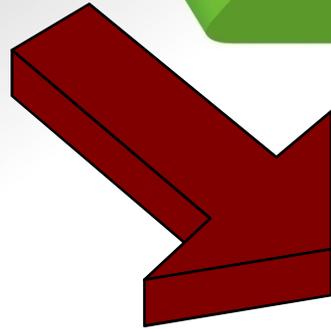
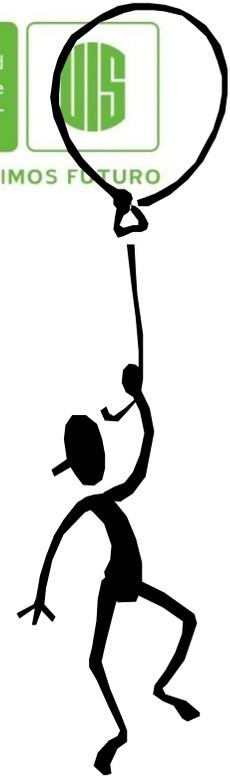
Arrancar sin apoyo  
Mantener tensión  
Iniciar Suministro

METAS

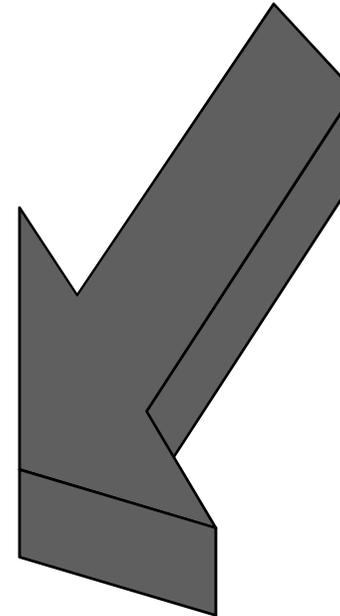
PRINCIPIOS



CONSTRUIMOS FUTURO



**Reconstruir el Sistema  
de Potencia  
Restaurar el Suministro**

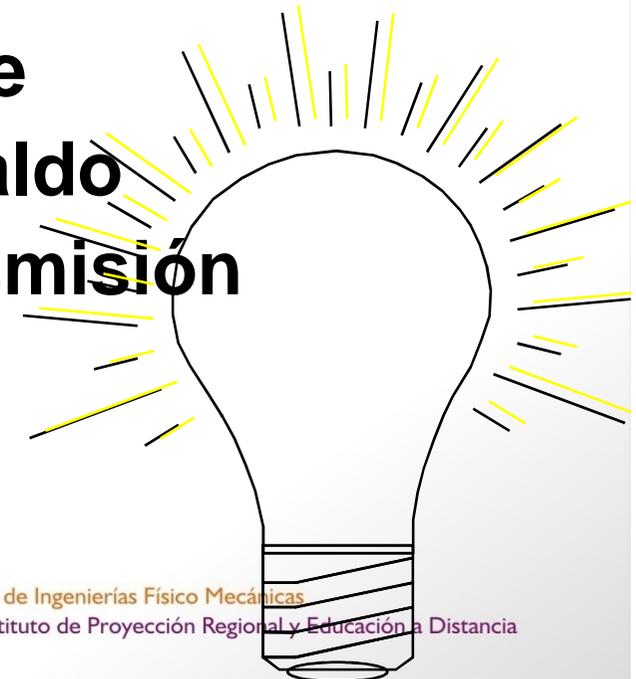


**Garantizar Seguridad del Proceso  
Mantener Flexibilidad y Estabilidad del Sistema  
Minimizar Duración del Proceso  
Minimizar Impacto Socio-económico**

# Restauración depende de:



- Tamaño relativo del sistema**
- Capacidad de Generación con Autoarranque**
- Distribución de Generación con Autoarranque**
- Tipo de Generación Predominante**
- Autonomía de Sistemas de Respaldo**
- Configuración de la Red de Transmisión**
- Sistemas de Control**
- Sistemas de Protección**

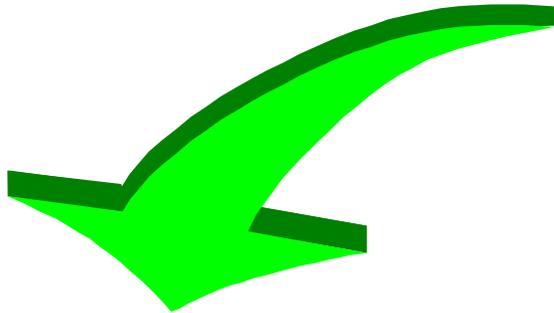


# Proceso



CONSTRUIMOS FUTURO

Restauración del Área de Control  
Restauración del Sistema  
Restauración de Carga



Balance de P  
Balance de C  
Protección  
Control

Manteniendo

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

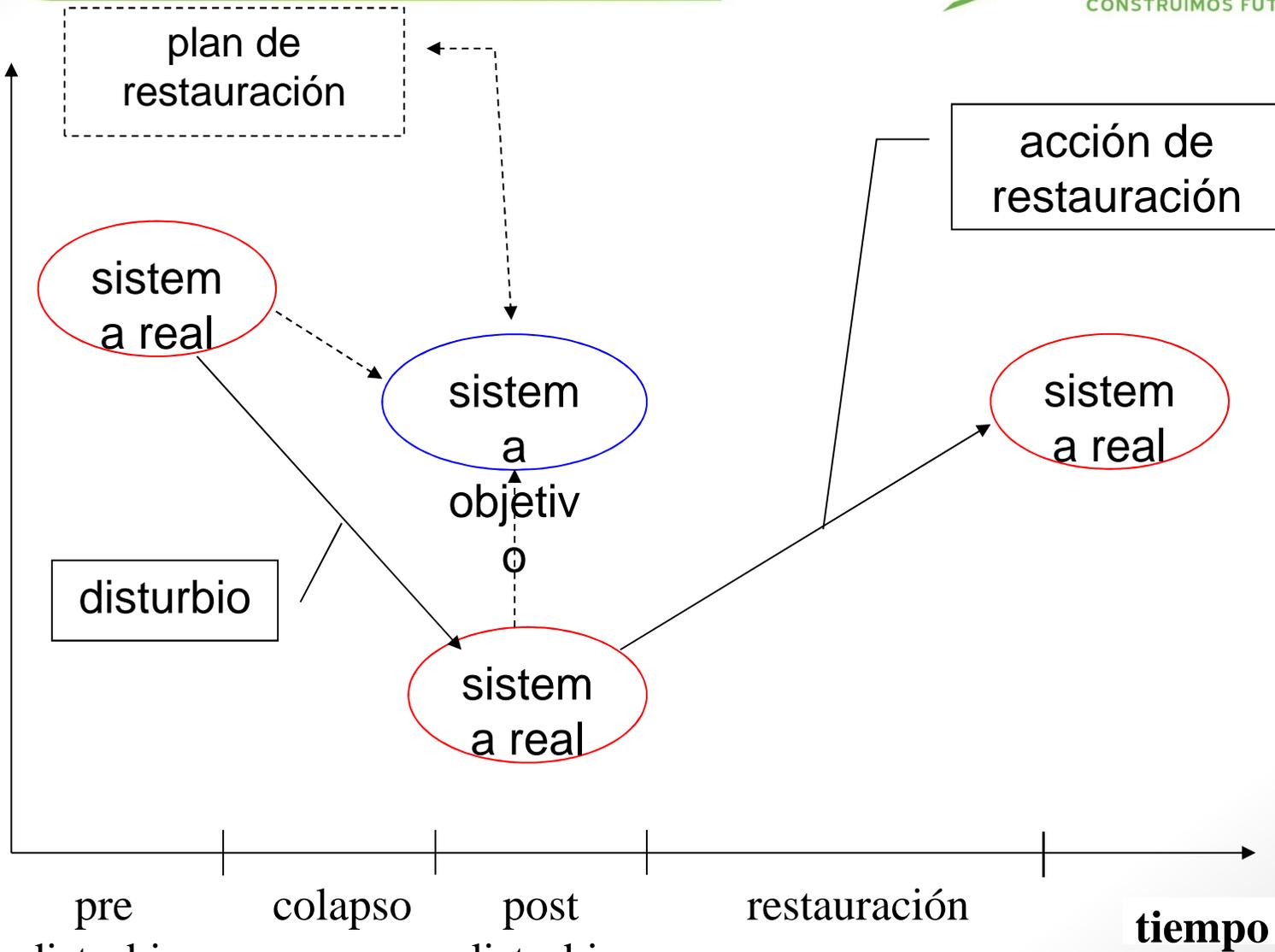
Facultad de Ciencias - Facultad de Ciencias Humanas - Facultad de Ingenierías Físico Mecánicas  
Facultad de Ingenierías Físico Químicas - Facultad de Salud - Instituto de Proyección Regional y Educación a Distancia

# Estados del Proceso

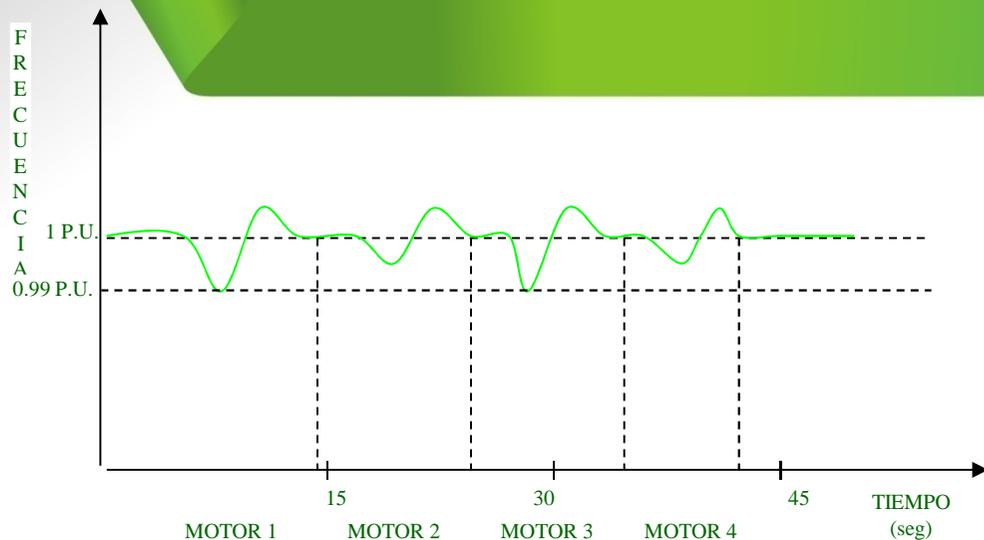
Nivel de Operación



CONSTRUIMOS FUTURO

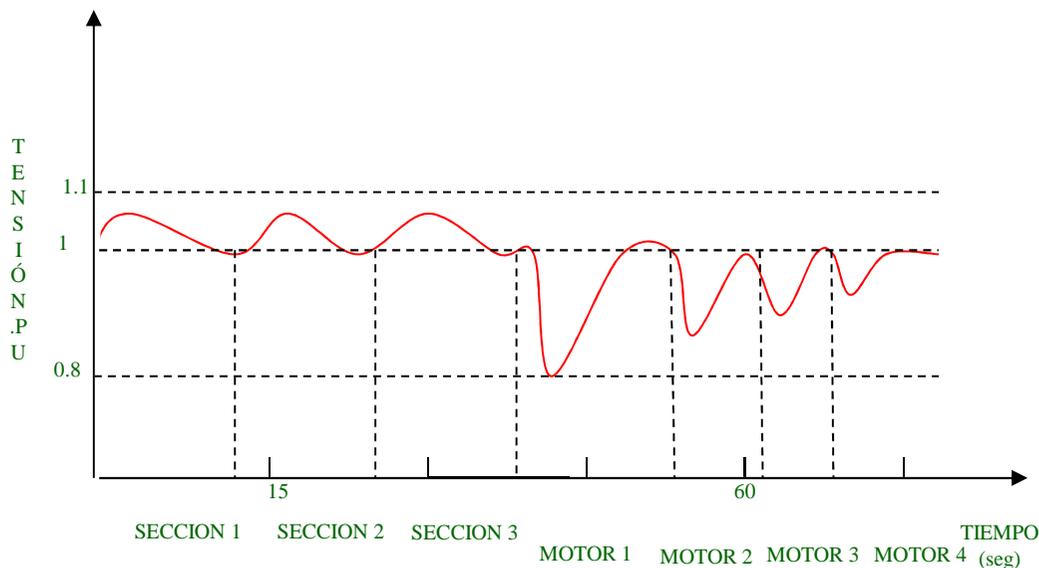


P



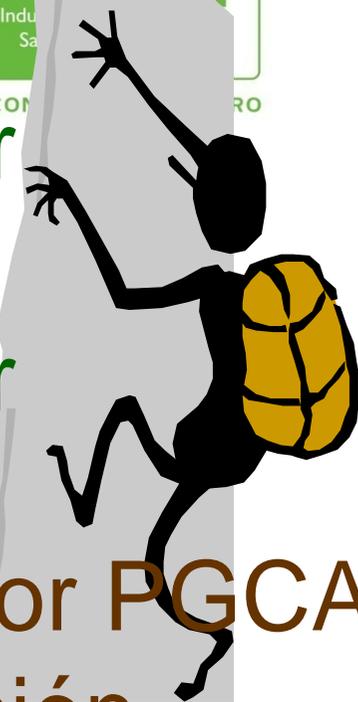
Generador  
Carga  
Generador  
Carga

Q



Generador PGCA  
Transmisión  
Transformador  
Condensadores  
Inductancias  
Auxiliares PGSCA

← SISTEMA DE TRANSMISIÓN → EQUIPOS AUXILIARES →



# Servicio de Restauración

Función:

Permitir Arranque del Sistema

Proveedor:

Plantas con Capacidad

Consumidor:

Área de Control

Tiempo:

Segundos a Minutos

Objetivo:

Restaurar el Sistema

Tiempo de Contratación:

Anual

Tiempo de Liquidación:

Mensual



# RESERVA OPERATIVA



CONSTRUIMOS FUTURO

Norte América Propuesta IOSWG	Colombia Reserva operativa(CREG)	Comentarios
<b>Reserva operativa rodante</b> Equipada con gobernador Respuesta: segundos	<b>Reserva de regulación primaria</b> Respuesta: 0 a 10 segundos Sostenible: 10 a 30 segundos	Respuesta natural de las unidades de generación.
<b>Reserva operativa rodante y regulación</b> Equipadas con AGC Disponible: 10 minutos Sostenible: 10 a 30 minutos	<b>Reserva de regulación secundaria</b> Disponible: 30 segundos Sostenible: 30 segundos a 30 minutos	Para prestar estos servicios las unidades tienen que estar en línea, sincronizadas y equipadas con AGC.
<b>Reserva operativa complementaria</b> Disponible: 10 minutos <b>Seguimiento de carga</b> Actúa: 10 minutos a 1 hora <b>Capacidad de Respaldo</b> Actúa: cuando se requiera (Disponible en 30 minutos).	<b>Reserva terciaria</b> Disponible: 30 minutos	La función de estas reservas es reemplazar a las anteriores, excepto la reserva operativa complementaria, cuya función es responder ante contingencias.  La reserva terciaria se utiliza en el SIN, aunque no esté definida como tal por la CREG.

•

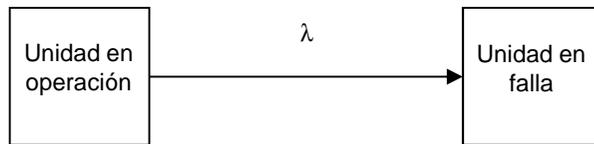
# ESQUEMA DE RESERVA OPERATIVA



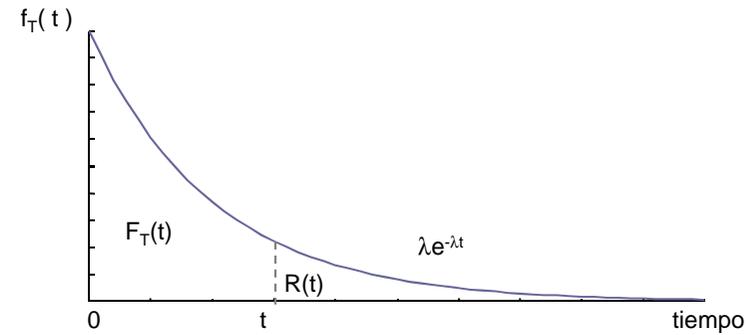
CONSTRUIMOS FUTURO

<b>RESERVA OPERATIVA</b>	<b>Reserva primaria</b> Respuesta: 0 a 10 segundos Sostenible: 30 segundos		Reserva rodante	
	<b>Reserva secundaria</b> Respuesta: 10 a 30 segundos Sostenible: 30 minutos			
	<b>Reserva terciaria</b> Respuesta: 30 segundos a 30 minutos	<b>Rodante</b> Respuesta: 30 segundos a 30 minutos		Reserva no rodante
		<b>Caliente</b> Disponible en 30 minutos		
		<b>Fría</b> Disponible en 30 minutos		

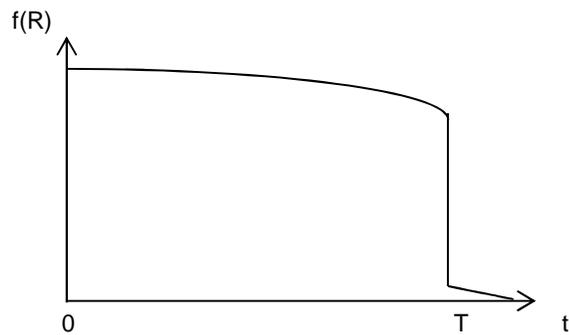
# MÉTODO PJM



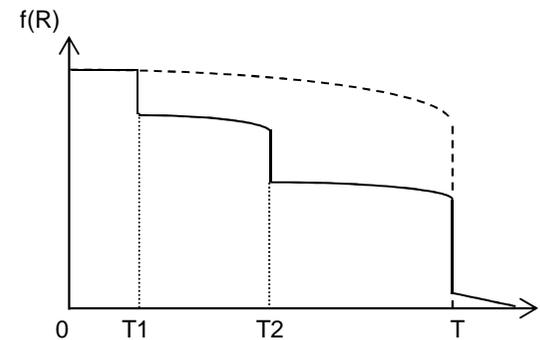
Modelo de dos estados



Curva de la función de densidad



Curva de área de riesgo. Generación Rodante



Curva de área de riesgo. Generación Rodante y no rodante

# CASO DE ESTUDIO (SIN)



- Capacidad Instalada 11 895 MW
- Demanda Máxima 7 500 MW

## CALIFICACIÓN DE LA RESERVA RODANTE



CONSTRUJIMOS FUTURO

*er* CASO 1: Reserva rodante en unidades hidráulicas y térmicas.

*er* CASO 2: Reserva rodante ubicada en unidades hidráulicas.

*er* CASO 3: Reserva secundaria (AGC) igual a 230 MW.

*er* CASO 4: Reserva secundaria y reserva terciaria.

## CALIFICACIÓN DE LA RESERVA NO RODANTE

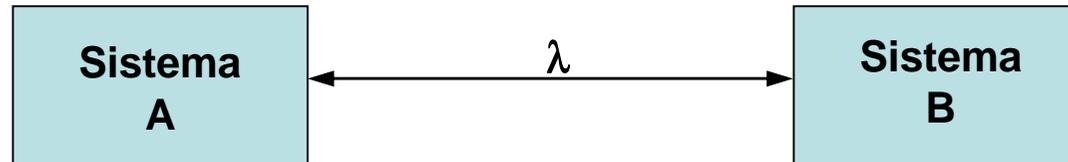
*er* CASO 5: Se supone la pérdida de la unidad más grande .

*er* CASO 6: Se convoca una unidad disponible en poco tiempo.

	caso 1	caso 2	caso 3	caso 4	caso 5	caso 6
Reserva	504 MW	394 MW	230 MW	394 MW	164 MW	234 MW
Riesgo	3,15 E-06	3,67 E-05	6,02 E-03	1,89 E-04	7,63 E-03	2,20 E-03

•

# SISTEMA INTERCONECTADO



Se considera el sistema dividido en cinco grandes áreas operativas: Área Caribe, Área Nordeste, Área Noroccidente, Área Oriental y el Área Suroccidente.

Area	Demanda (MW)	Generación propia (MW)	Interconexión (MW)	Reserva (MW)
Caribe	1461	1564	103	0
Nordeste	753	875	122	0
Noroccidente	1369	2162	793	90
Oriental	2107	2097	-10	252
Suroccidente	1713	705	-1008	144
<b>Total</b>	<b>7403</b>	<b>7403</b>	<b>0</b>	<b>486</b>

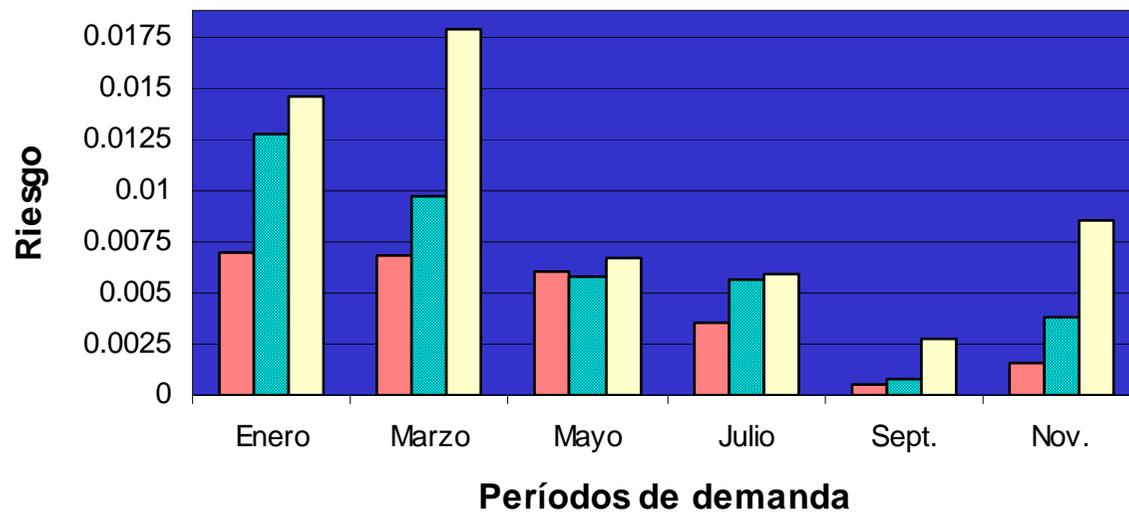
# FACTORES QUE AFECTAN EL NIVEL DE RIESGO



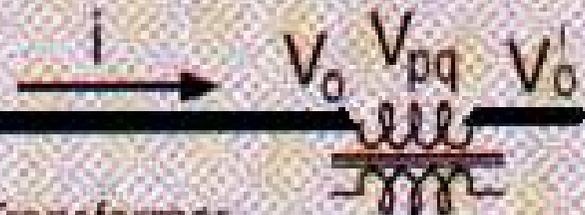
CONSTRUIAMOS FUTURO

er Tasa de falla ( $\lambda$ ): unidades térmicas tienen mayores  $\lambda$  que las unidades hidráulicas.

er Demanda: el porcentaje de reserva respecto a la demanda es menor en los períodos pico que en los períodos valle.

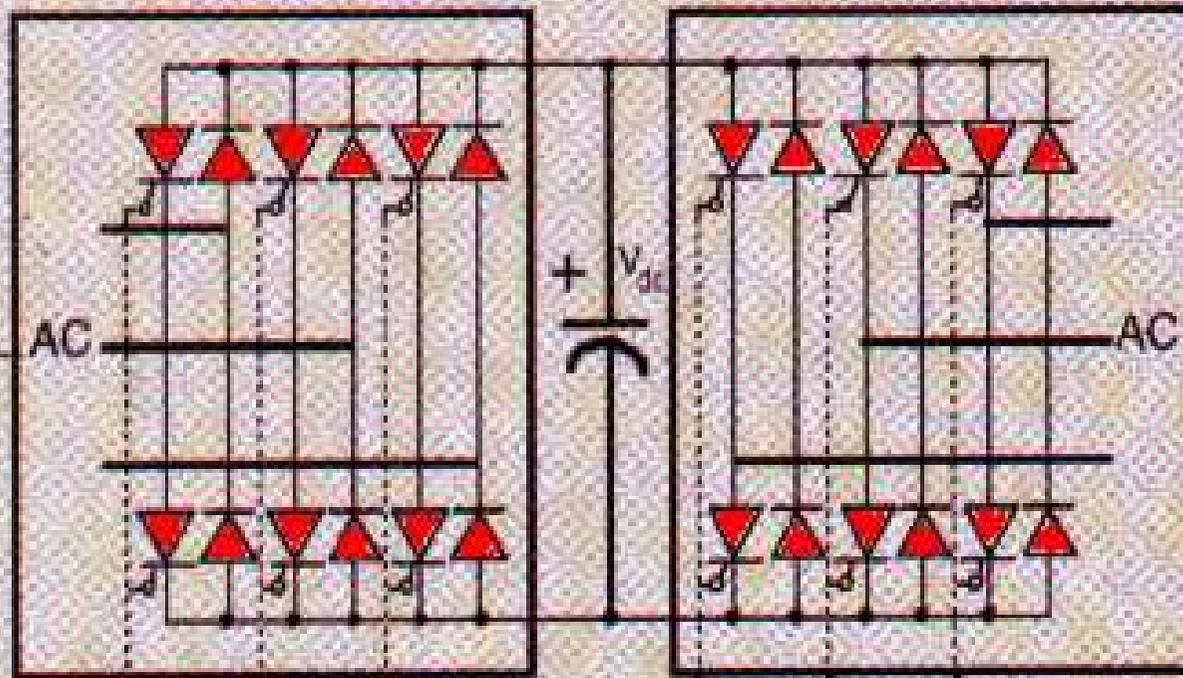


# Transmission Line



Supply Transformer  
Inverter 1

Series Transformer  
Inverter 2



Measured Variables  
Parameter Settings

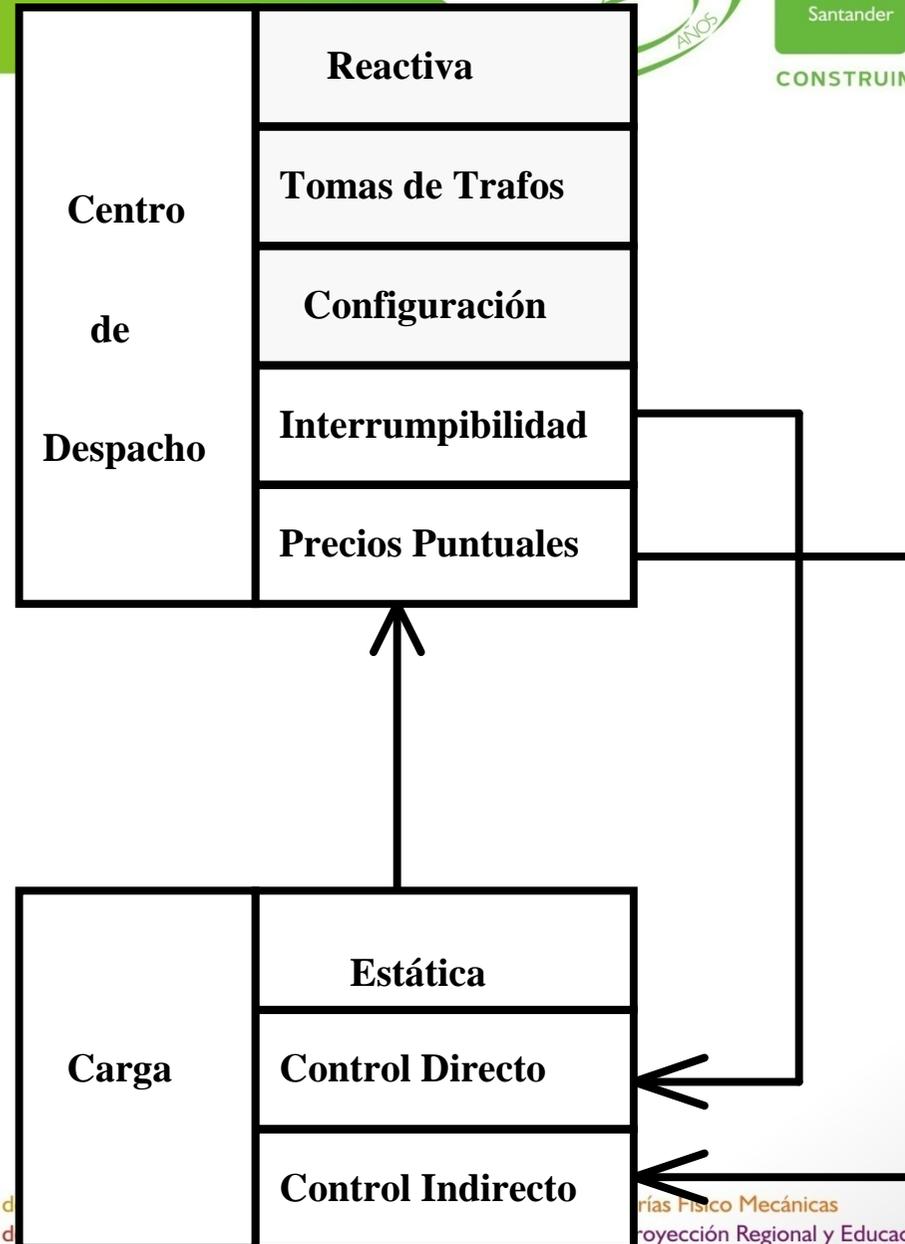


$V_{Ref}$   
 $Z_{Ref}$   
 $\Phi_{Ref}$   
 $Q_{Ref}$

# Despacho de la Distribución



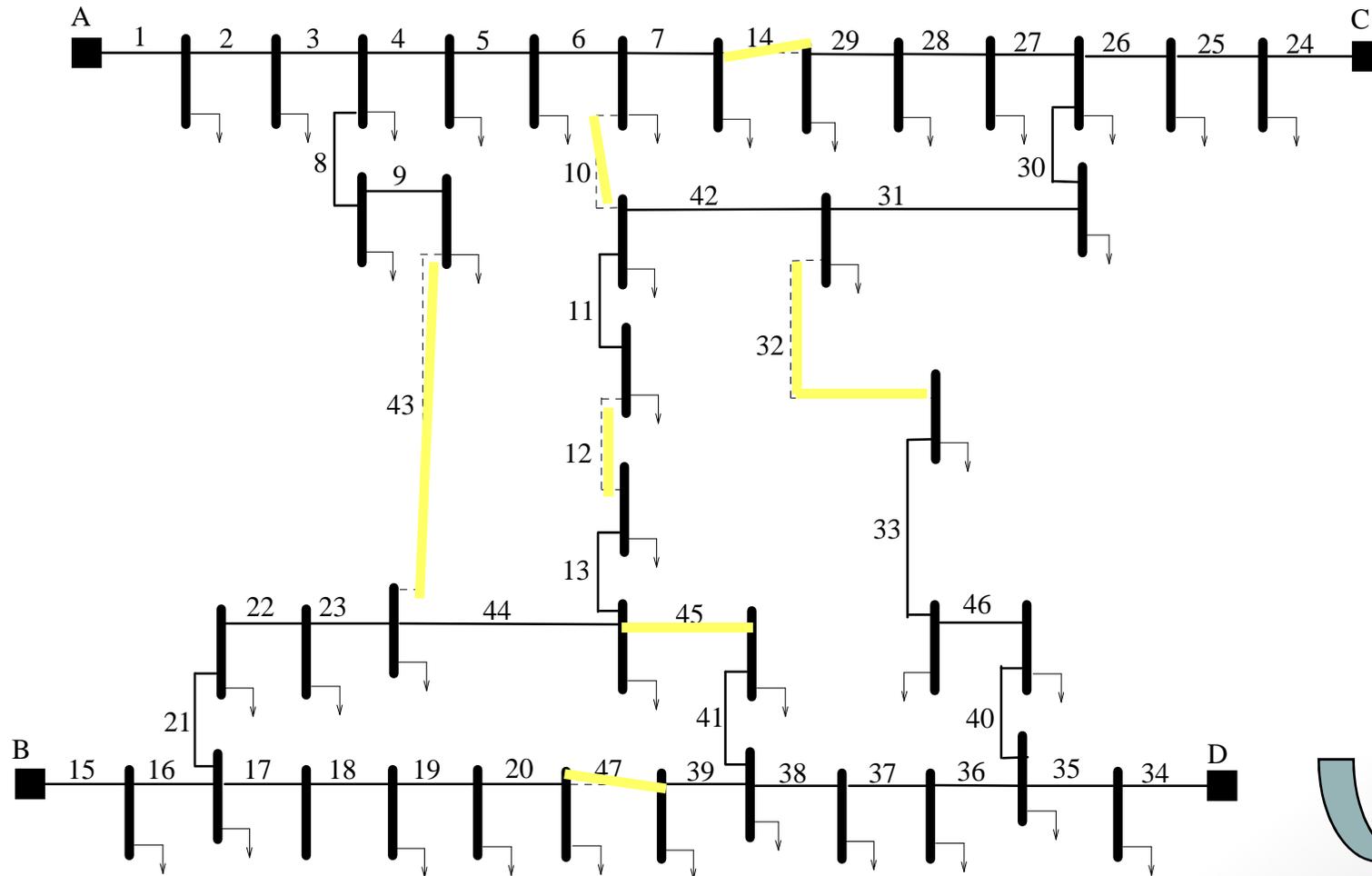
CONSTRUIMOS FUTURO



# Ejemplo: Pérdidas



CONSTRUIAMOS FUTURO



# Potencia reactiva



$$S^2 = U^2 I^2 = U^2 I_a^2 + U^2 I_s^2 + U^2 I_m^2 + U^2 I_u^2 + U^2 I_g^2$$

$$S^2 = P^2 + D_s^2 + Q_m^2 + D_u^2 + D_g^2$$

Reactiva

P : Potencia activa

D<sub>s</sub> : Potencia residual

Q<sub>m</sub> : Potencia de magnetización

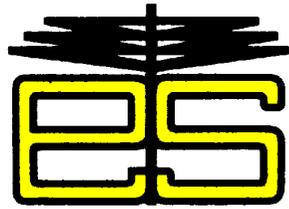
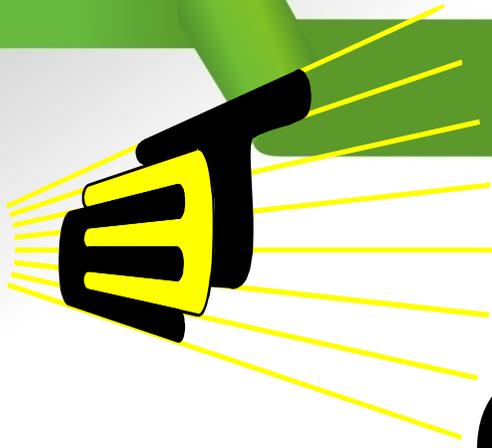
D<sub>u</sub> : Potencia de desbalance

D<sub>g</sub> : Potencia generada

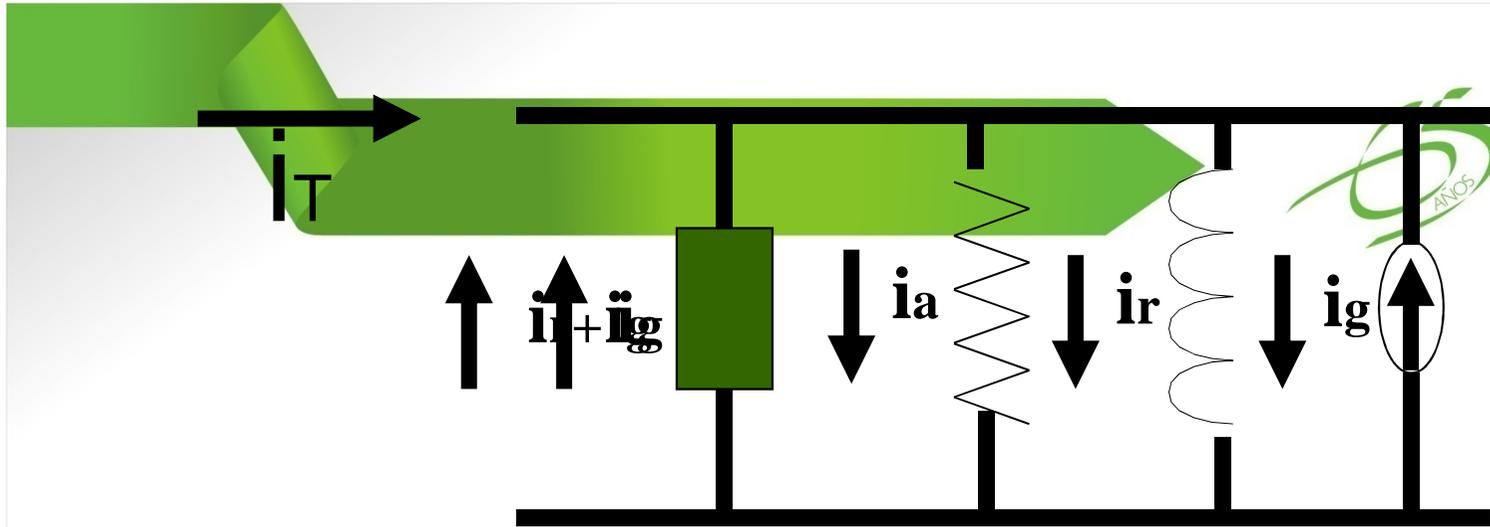




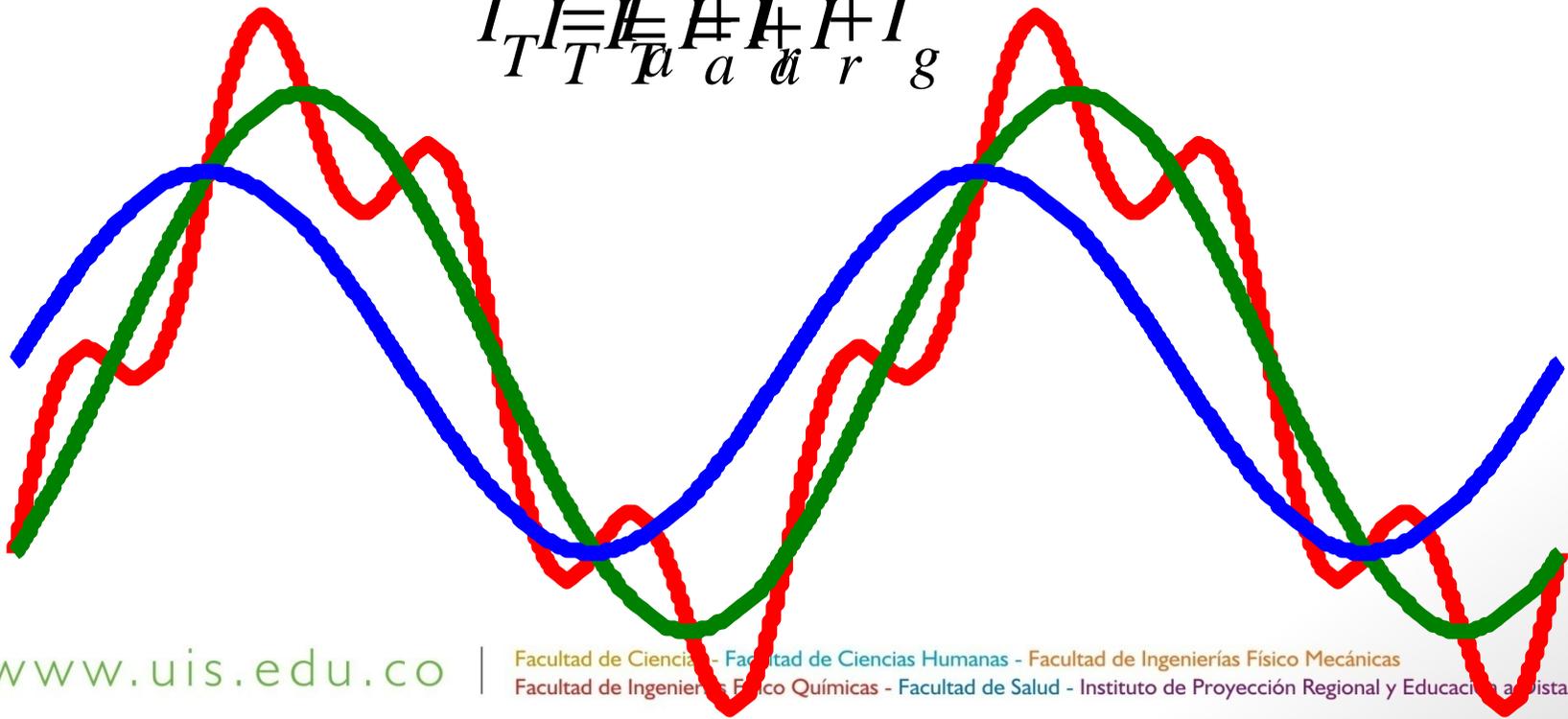
CONSTRUIMOS FUTURO



# Compensación de la Potencia Reactiva



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





# Aplicación



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



CONSTRUIMOS FUTURO

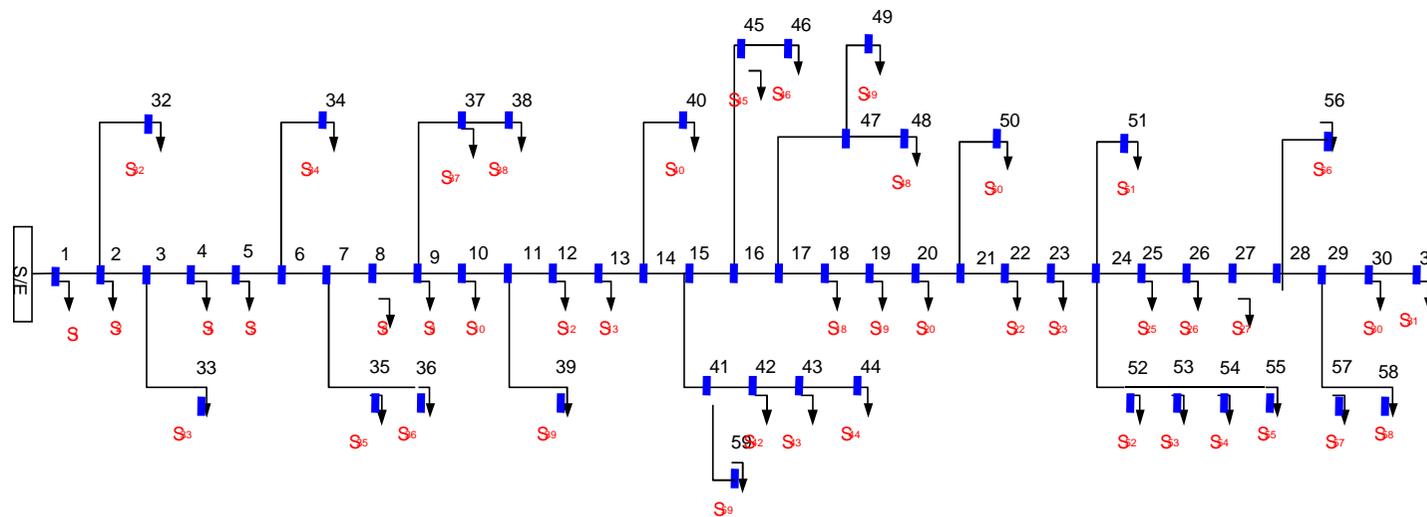


Figura 16. Alimentador ejemplo



CONSTRUIMOS FUTURO

## Pérdidas de potencia 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

