



curso

ANALISIS DE SISTEMAS ELECTRICOS DE POTENCIA I EE-353M

Ing. Moisés Ventosilla Zevallos



CONTENIDO

◆ PRIMERA PARTE

- I INTRODUCCION Y CONCEPTOS (S1)
- II COMPONENTES DE SISTEMAS ELECTRICOS (S2)
- III VALORES POR UNIDAD (S3,4)
- VI ANALISIS DE FLUJO DE CARGA (S5,6,7)
- Examen parcial (S8)

◆ SEGUNDA PARTE

- V COMPONENTES SIMETRICAS (S9)
- VI ANALISIS DE FALLAS (S10,11,12)
- VII PARAMETROS DE LINEAS DE TRANSMISION (S13,14)
- VIII OPERACION DE LINEAS DE TRANSMISION (S15)
- Examen final (S16)
- Examen sustitutorio (S18)



CONTENIDO

◆ PRIMERA PARTE

- I INTRODUCCION Y CONCEPTOS (S1)
- II COMPONENTES DE SISTEMAS ELECTRICOS (S2)
- III VALORES POR UNIDAD (S3,4)
- VI ANALISIS DE FLUJO DE CARGA (S5,6,7)
- Examen parcial (S8)

◆ SEGUNDA PARTE

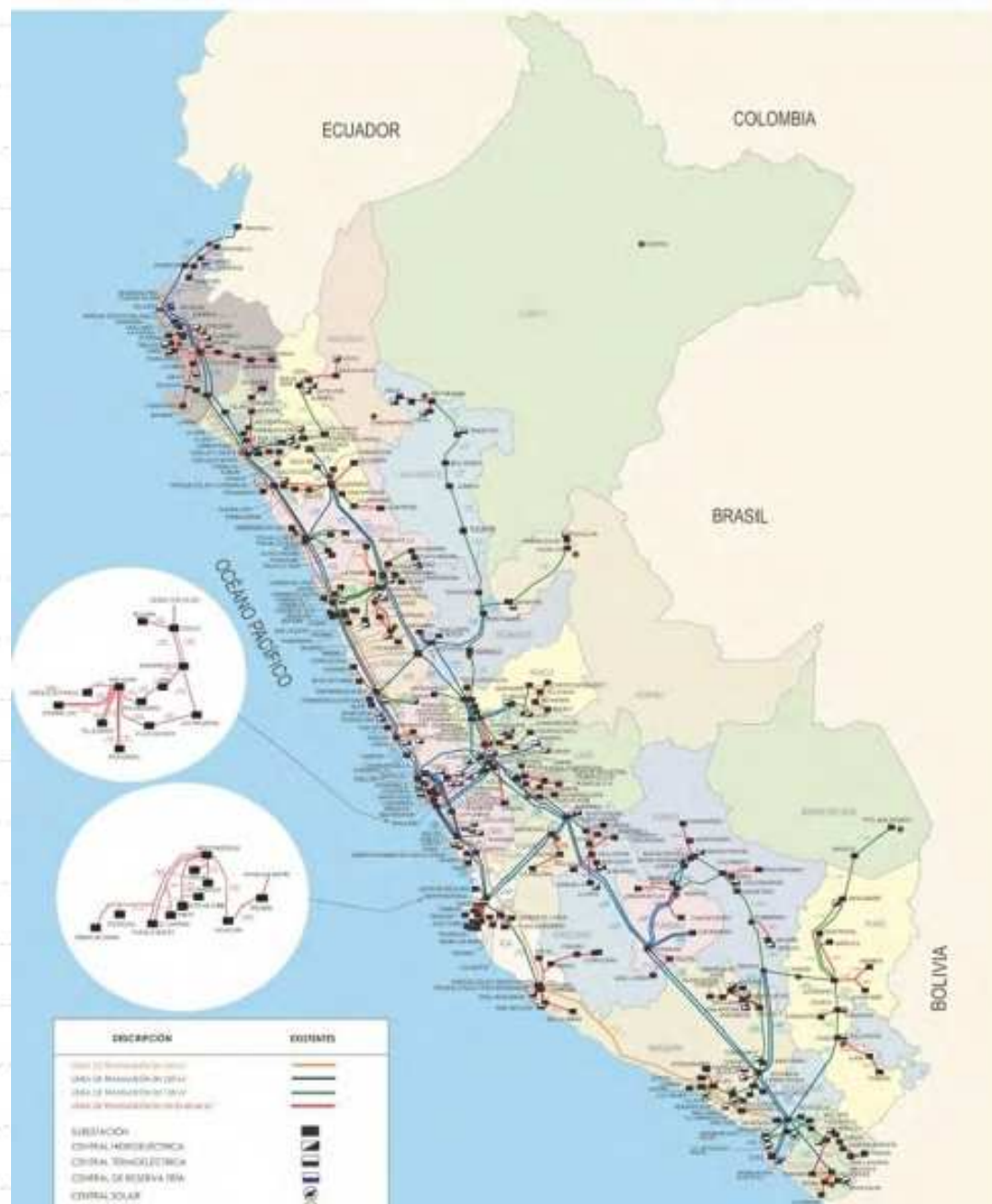
- V COMPONENTES SIMETRICAS (S9)
- VI ANALISIS DE FALLAS (S10,11,12)
- VII PARAMETROS DE LINEAS DE TRANSMISION (S13,14)
- VIII OPERACION DE LINEAS DE TRANSMISION (S15)
- Examen final (S16)
- Examen sustitutorio (S18)



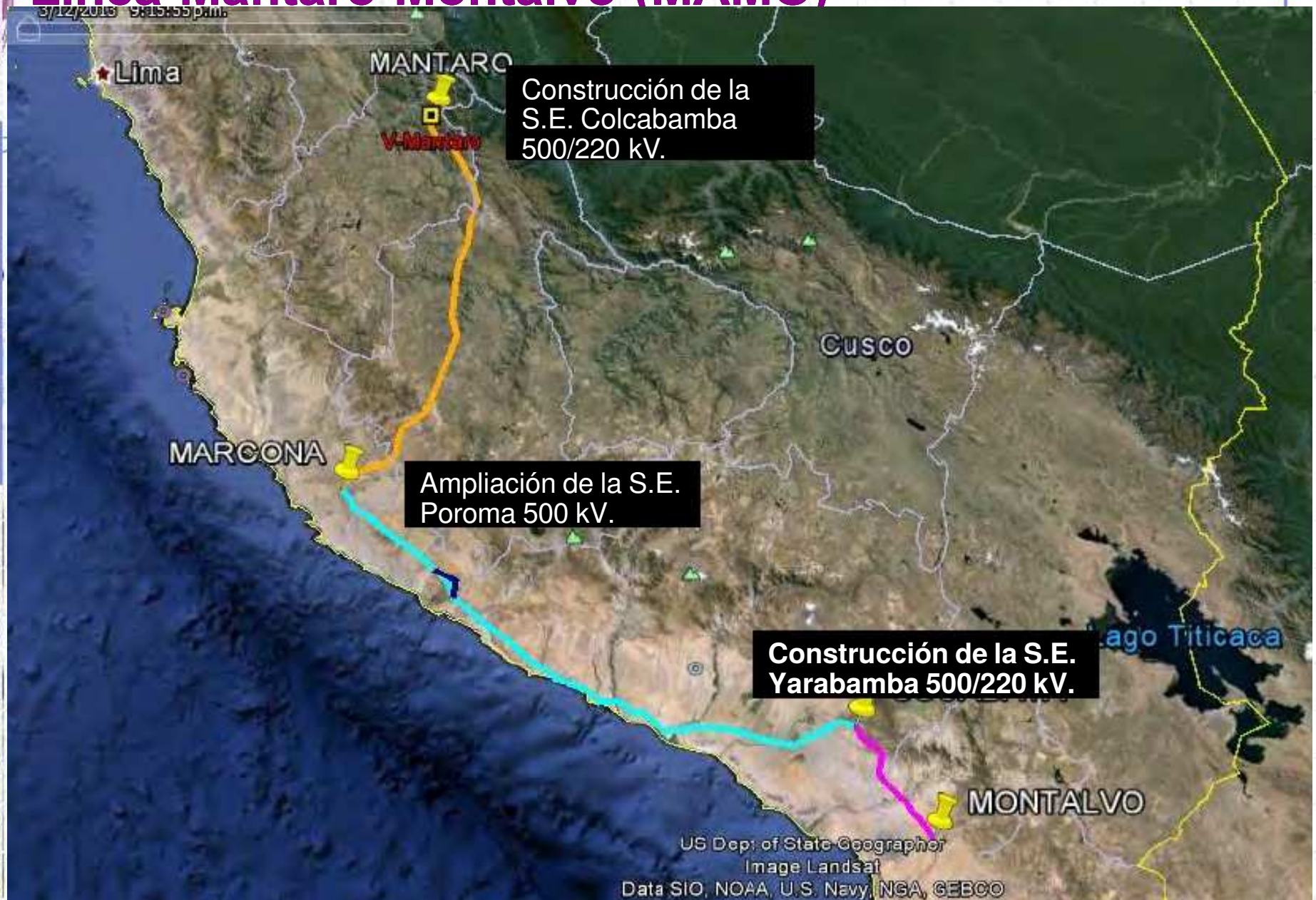
Plan de trabajo ciclo 2016-II

PLAN DE TRABAJO CICLO 2016 II									
(primera parte)									
MES	AGOSTO		SETIEMBRE				OCTUBRE		
SEMANA	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8	
DIA	24	31	7	14	17	28	5	12	
EVALUACION DEL APRENDIZAJE									
Controles (C)-Domiciliarios (D)		C1	C2	D1	D2	D3	D4	Exámen Parcial	
Monografías		M							
PROGRAMA DEL CURSO									
Introducción y conceptos	1								
Componentes de SEP		2							
Valores por unidad			3	4					
Flujo de carga					5	6	7		
C: (20), M: (20), D: (20)									

Sistema Eléctrico Peruano (SEIN)

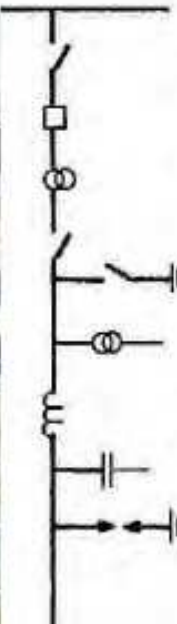


Línea Mantaro-Montalvo (MAMO)



COMPONENTES DE SISTEMAS ELECTRICOS

Semana 2, Clase 2



EQUIPO	FUNCION
BARRAS	vincular campos
SECCIONADOR	SEGURIDAD - SEPARACION
INTERRUPTOR	MANIOBRA - CIERRE APERTURA
TRANSFORMADOR DE CORRIENTE	MECICION DETECCION
SECCIONADOR SECCIONADOR	SEGURIDAD - SEPARACION SEGURIDAD - PUESTA A TIERRA
TRANSFORMADOR DE TENSION	MECICION
BOBINA DE BLOQUEO	BLOQUEAR ALTAS FRECUENCIAS
CAPACITOR DE ACOPLANIENTO	DERIVAR SEÑALES
DESCARGADOR	DRENAR SOBRETENSIONES
LINEA O CABLE	TRANSPORTAR ENERGIA



Componentes de sistemas eléctricos

- **Componentes principales**
 - Generadores síncronos/turbinas
 - Transformadores de potencia
 - Líneas de transmisión y cables de poder
 - Cargas
- **Componentes asociados**
 - Cables de guarda
 - Transformadores de medida y protección exteriores
 - Aparatos de corte
 - Equipos proveedores de energía reactiva
 - Sistemas de medida
 - Sistemas de protección
 - Torres eléctricas
 - Aisladores
 - Barras
- **Sistemas SCADA y Control y automatización**
 - Sistemas de comunicación
 - RTUs y PLCs
 - Sistemas SCADA



UNI
FREE



Generadores y turbinas





Centrales de generación

- **Están constituidos básicamente de:**

- **Generadores síncronos**
- **Turbinas**
- **Sistemas de control**
 - ♦ Regulador de Velocidad
 - ♦ Regulador de Tensión
- **Sistemas de medición**
 - ♦ Voltajes
 - ♦ Corrientes
- **Sistemas de protección**
 - ♦ Interruptores
 - ♦ Relés
- **Servicios auxiliares**
 - ♦ AC
 - ♦ DC
- **Sistemas de puestas a tierra**



Centrales de generación

- Están constituidos básicamente de:
 - Sistemas de comunicación
 - Sistema contraincendio
 - Cámara de carga
 - Tuberías de



Generadores síncronos

- **Están constituidos de:**

- **Arrollamientos del estator, fijo**

- ♦ Devanados distribuidos 120° para constituir un sistema trifásico AC

- **Rotor, móvil**

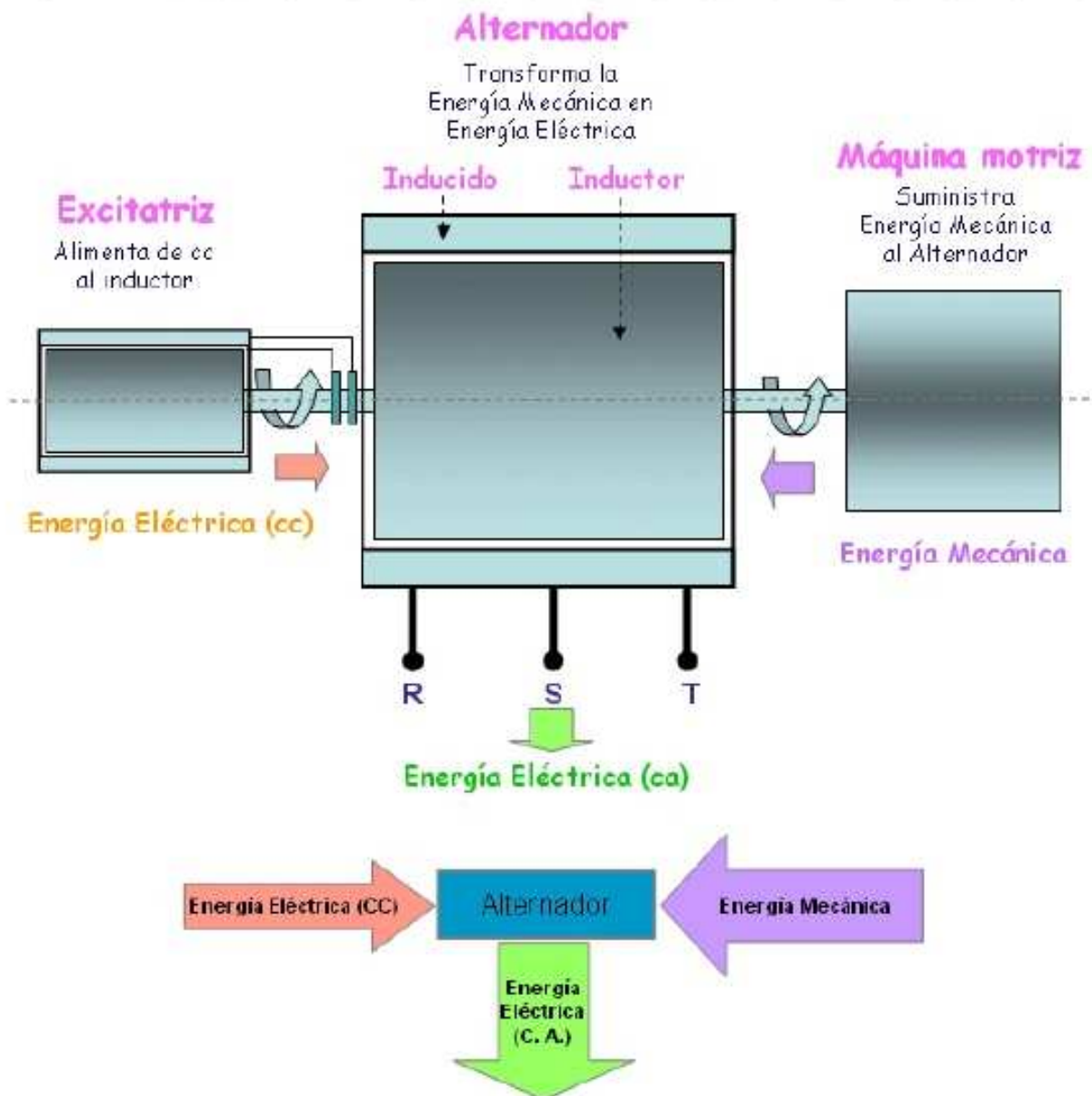
- ♦ Devanado alimentado por DC y genera el campo magnético
 - Polos salientes, bobinas rodeando las extensiones polares
 - Polos liso, distribuido en las ranuras a lo largo del eje

- **Ambos están contruidos de material ferromagnético**

- **Funcionamiento**

- **El rotor con campo magnético fijo se hace girar mediante la turbina e induce una FEM a los devanados del estator**
 - **Transformación de energía cinética en eléctrica**
 - **Controlando la tensión de alimentación de DC al rotor se consigue que el generador consuma o suministre energía reactiva.**

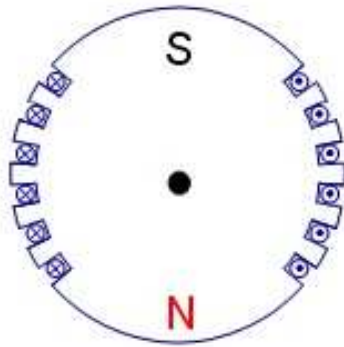
El generador/turbina



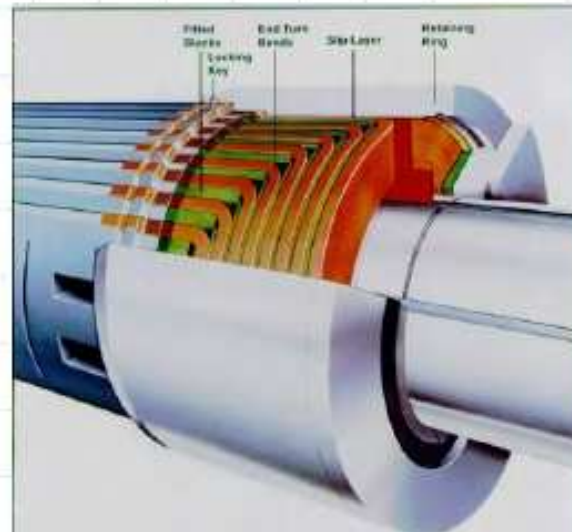
Tipos de rotor

Rotor de Polos Lisos

- Elevadas velocidades de giro (2 – 4 polos)
- Se usa con turbinas de gas y de vapor



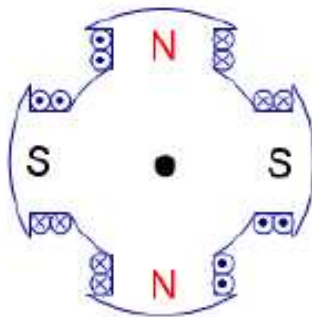
Rotor de
polos lisos
 $p = 1$



Tipos de rotor

Rotor de Polos Salientes

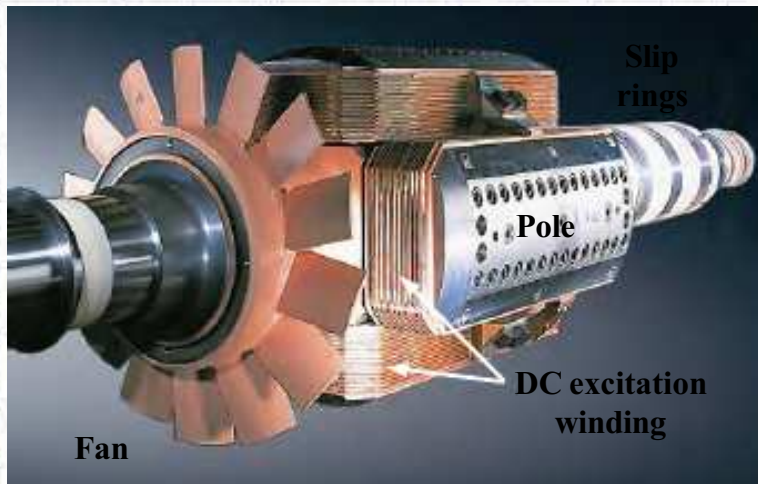
- Bajas velocidades de giro (+ de 4 polos)
- Se usa con turbinas hidráulicas



Rotor de polos salientes
 $p = 2$

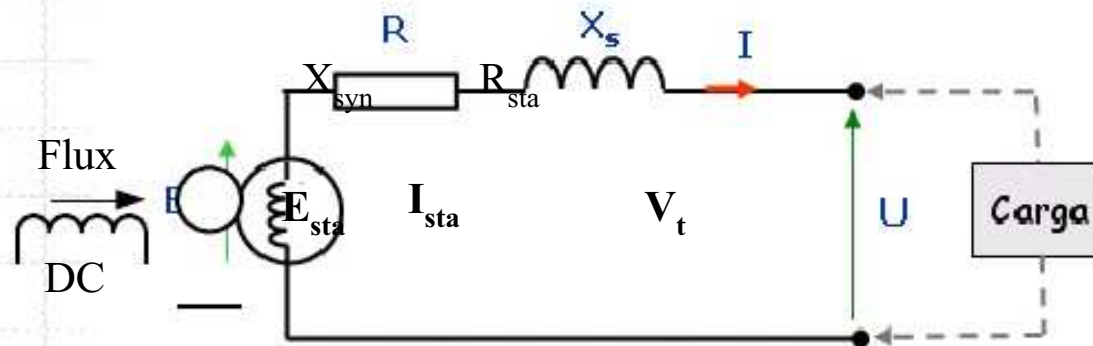
N=VELOCIDAD DE GIRO
P=PARES DE POLOS

$$f = P \frac{N}{60}$$



Modelos de circuitos equivalentes

Para una máquina de polos lisos y circuito magnético no saturado



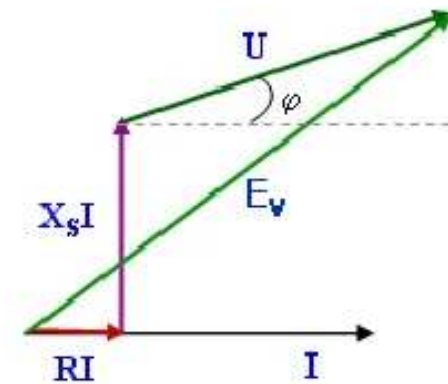
$$\underline{U} = \underline{E}_v - \underline{RI} - j\underline{X}_s \underline{I}$$

R = resistencia inducida por fase

X_s = reactancia síncrona por fase =
reactancia de dispersión + reactancia
de reacción del inducido

E_v = tensión en vacío por fase

U = tensión en carga por fase



Curva de capacidad generadores

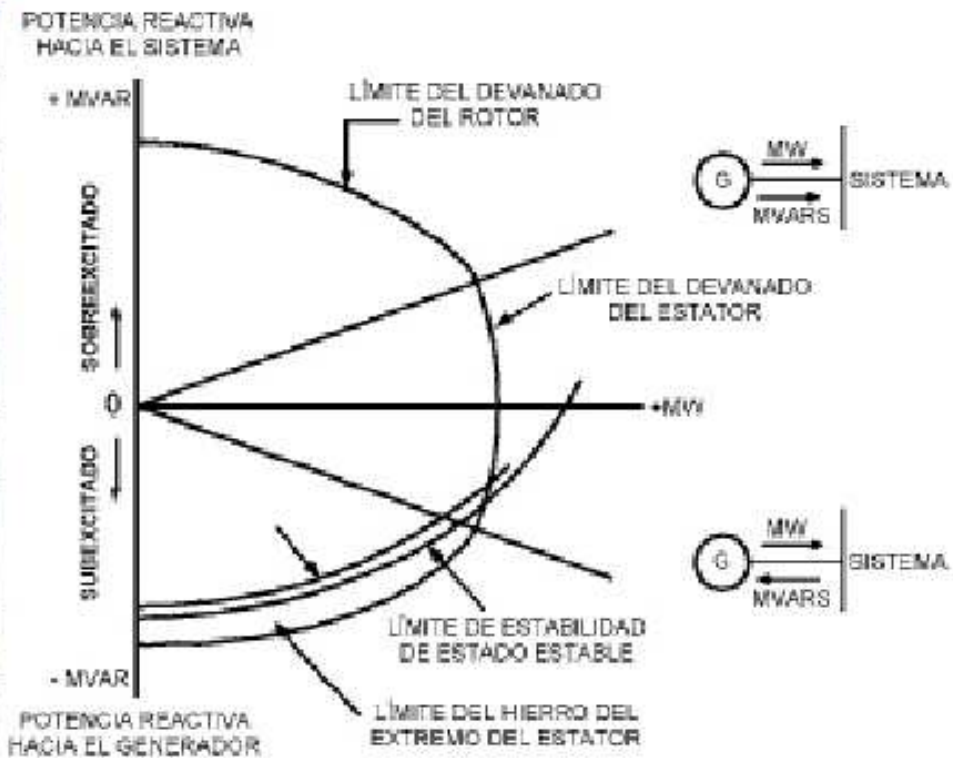
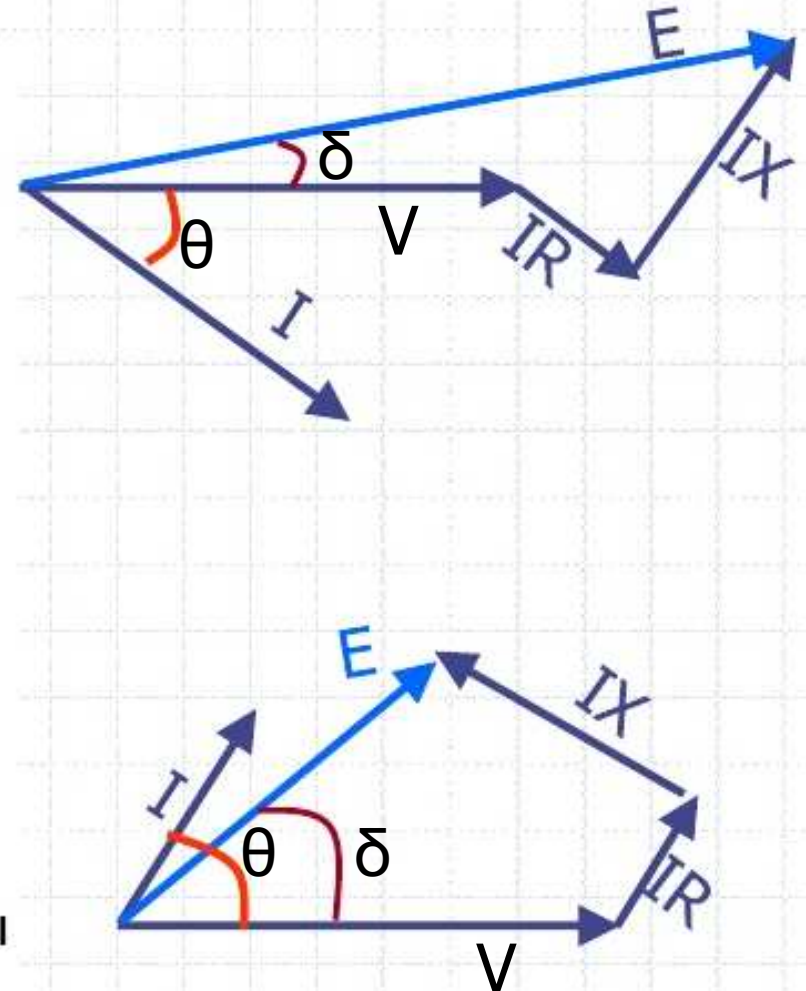


Figura 1. Curva de capacidad del generador



Curva de capacidad del generador de polos lisos

Estator:

$$S = \sqrt{3} V_{nom} I_{nom}$$

Rotor:

$$P = \frac{VE}{X_s} \sin \delta$$

$$Q = \frac{V}{X_s} [E \cos \delta - V]$$

Recordando:

$$P^2 + Q^2 = S^2$$

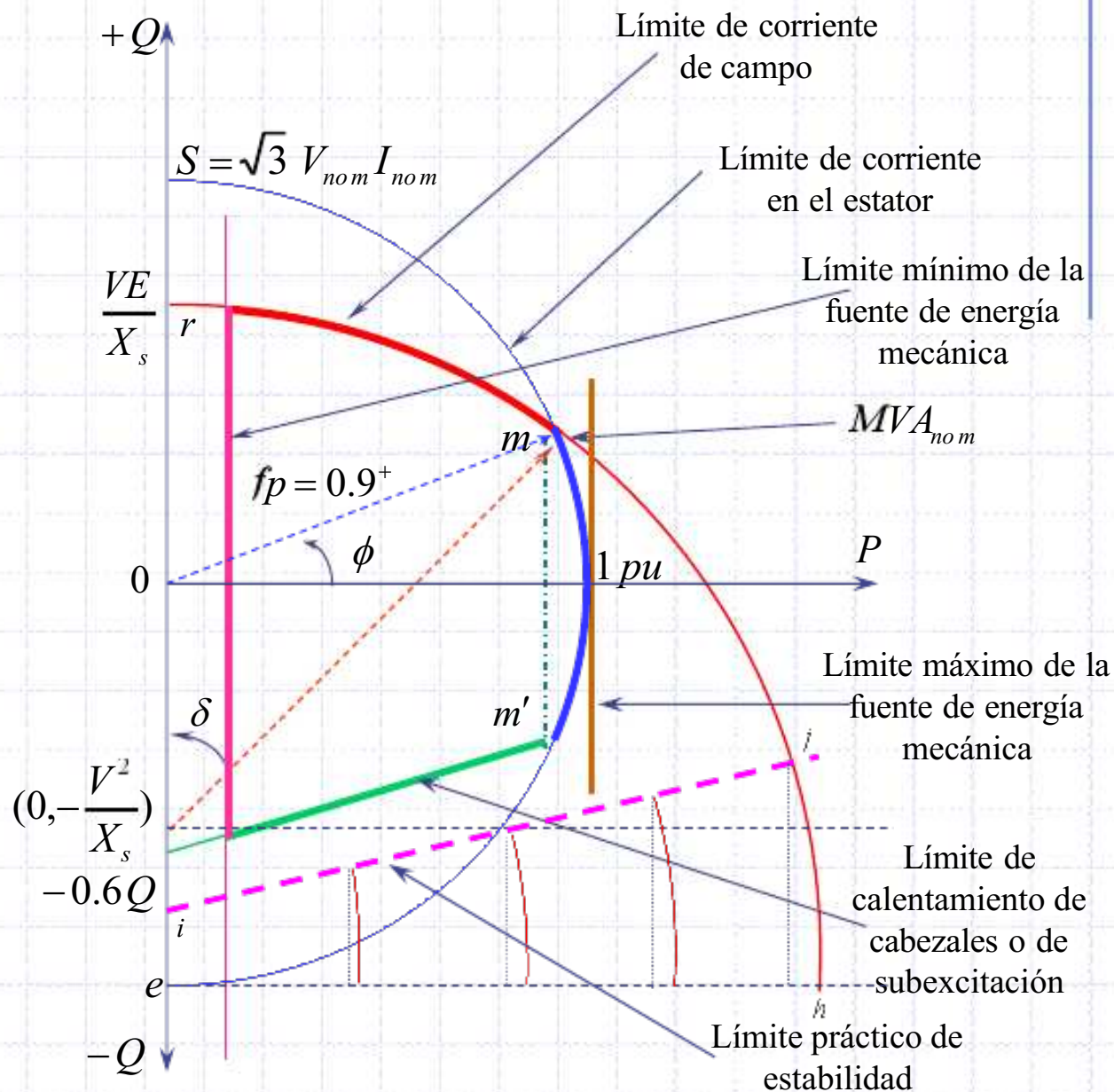
$$P^2 + \left[Q + \frac{V^2}{X_s} \right]^2 = \left(\frac{VE}{X_s} \right)^2$$

$$(x-a)^2 + (y-b)^2 = r^2$$

Entonces:

$$a = 0$$

$$b = -\frac{V^2}{X_s}$$



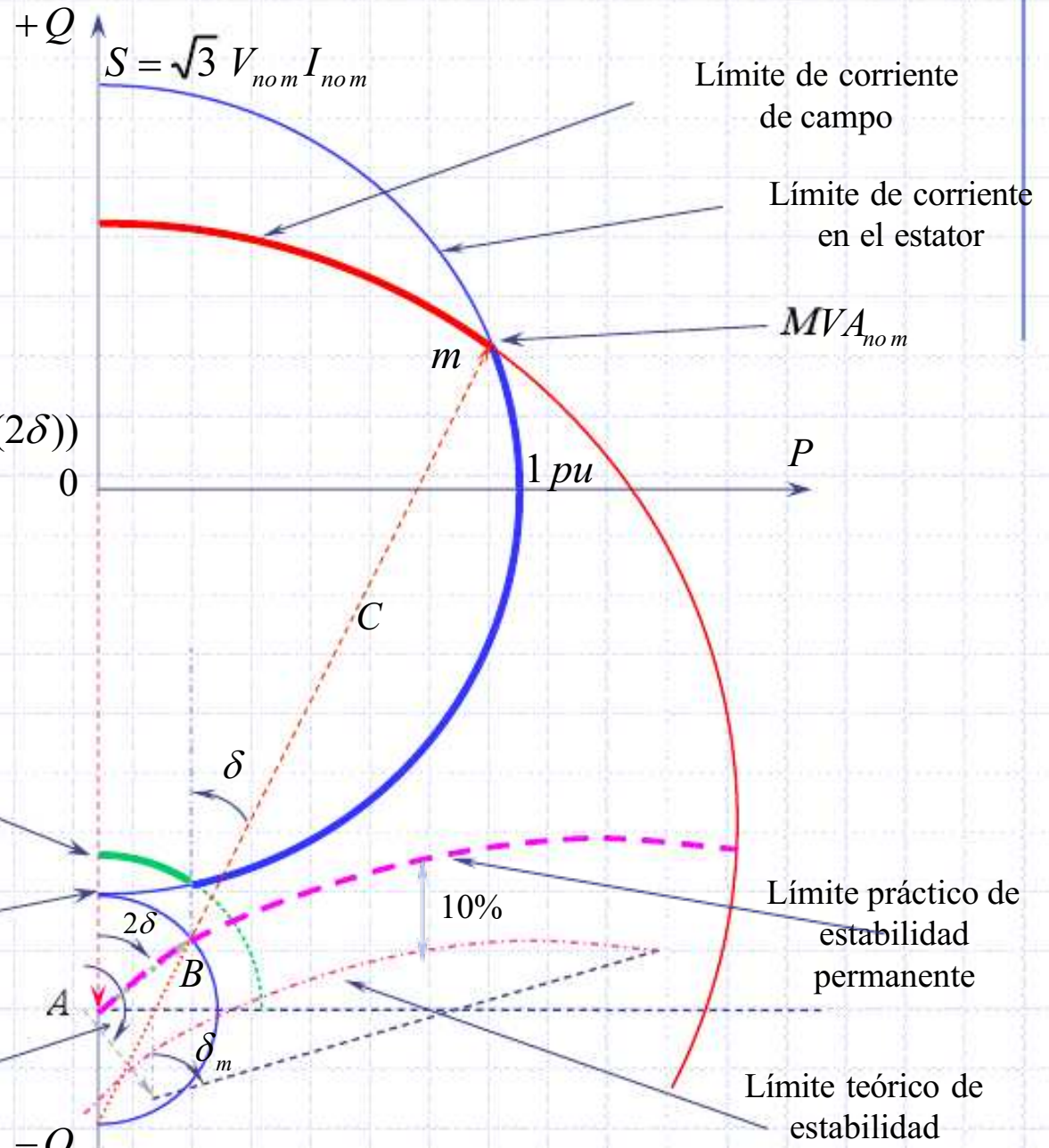
Curva de capacidad del generador de polos salientes

$$S = A + B + C$$

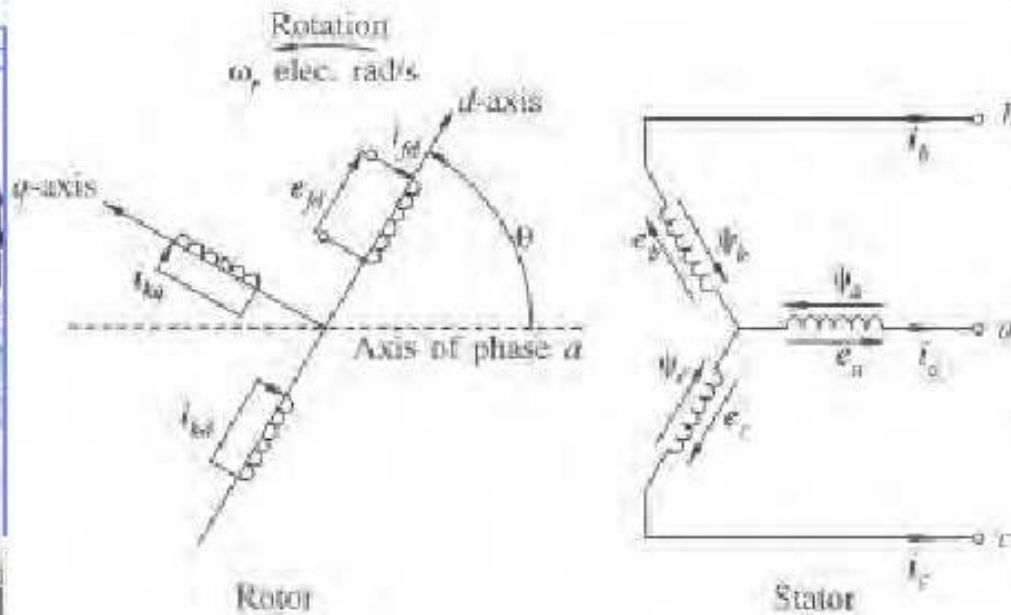
$$A = -j \frac{V^2}{2} \left(\frac{1}{X_d} + \frac{1}{X_q} \right)$$

$$B = \frac{V^2}{2} \left(\frac{X_d - X_q}{X_d X_q} \right) (\sin(2\delta) + j \cos(2\delta))$$

$$C = \frac{VE}{X_d} (\sin \delta + j \cos \delta)$$



Modelo de Park-Blondel Generadores



- a, b, c : Stator phase windings
 fd : Field winding
 kd : d -axis amortisseur circuit
 kq : q -axis amortisseur circuit
 $k = 1, 2, \dots, n$, n = no. of amortisseur circuits
 θ = Angle by which d -axis leads the magnetic axis of phase a winding, electrical rad
 ω_r = Rotor angular velocity, electrical rad/s

Figure 3.9 Stator and rotor circuits of a synchronous machine

Standard Data	Model I	Model II	Model III	Model IV	Model V
R *	X	X	X	X	X
(x_f)				X	X
x_d		X	X	X	X
x_d'	X	X	X	X	X
x_d''				X	X
τ_{do}'		X	X	X	X
τ_{do}''				X	X
x_q		X	X	X	X
x_q'			X		X
x_q''				X	X
τ_{qo}'			X		X
τ_{qo}''				X	X

* Stator resistance is often neglected.

Table 11-1 Data Required for Each Model



UNIVERSITY OF THE PACIFIC

El generador/turbina





El generador/turbina





El generador/turbina





El generador/turbina





UNIVERSITY OF THE PACIFIC

El generador/turbina



El generador/turbina



El generador/turbina



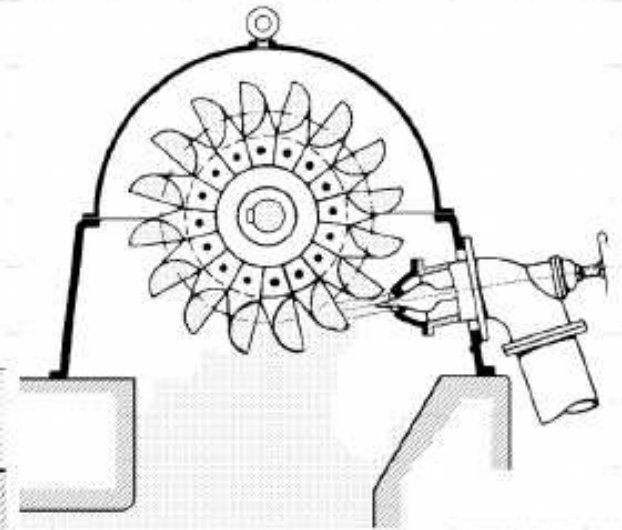
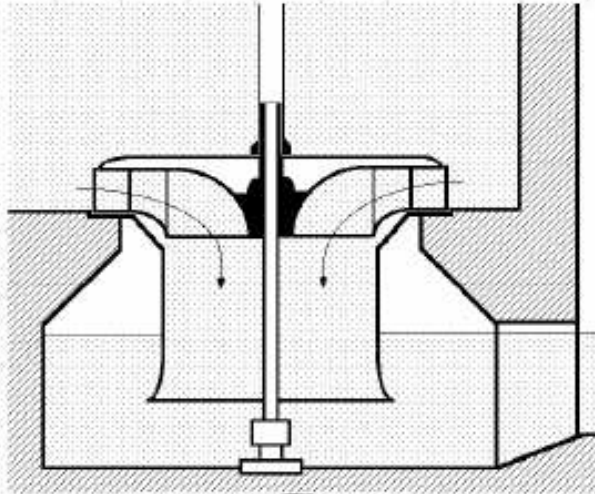
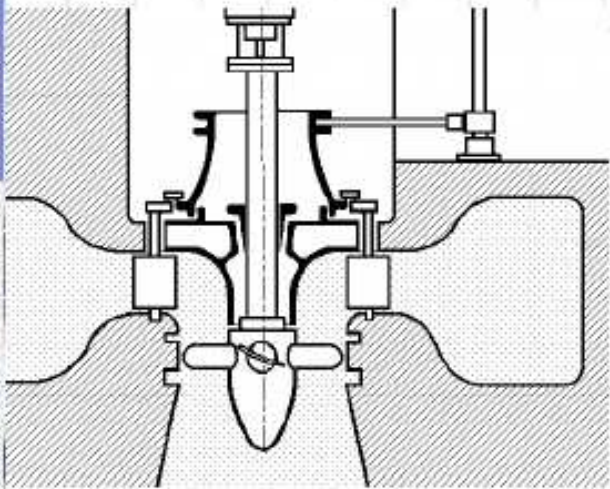


El generador/turbina

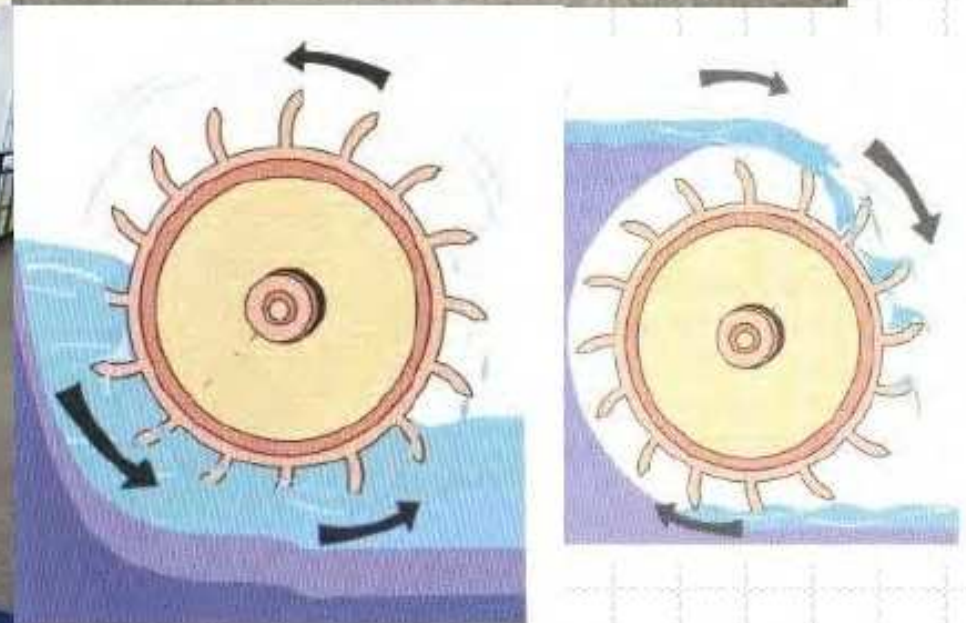
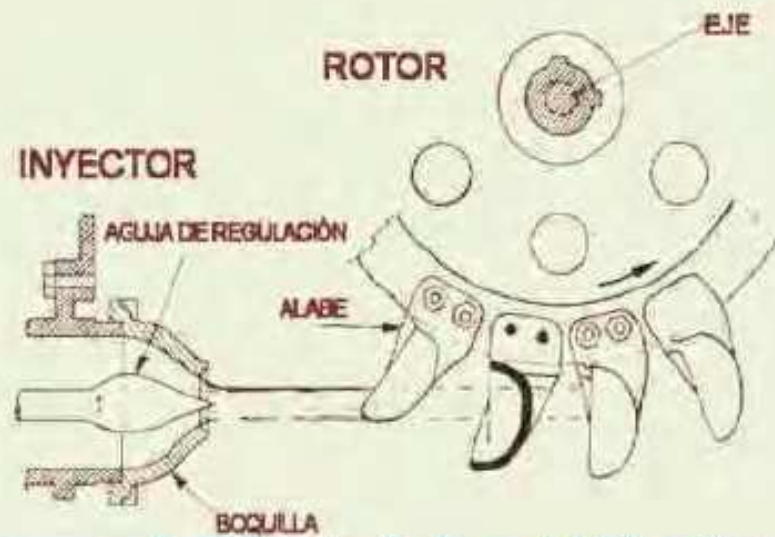


Turbinas hidráulicas

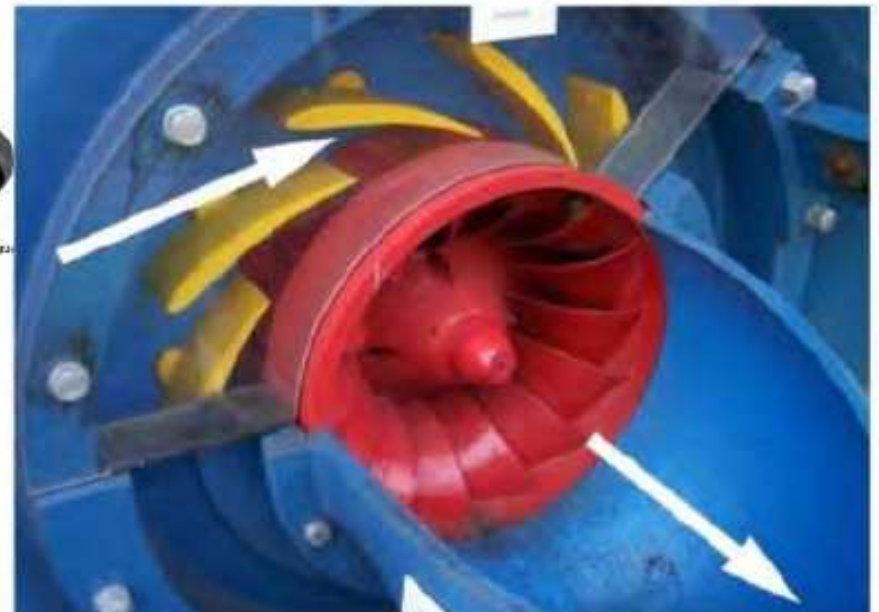
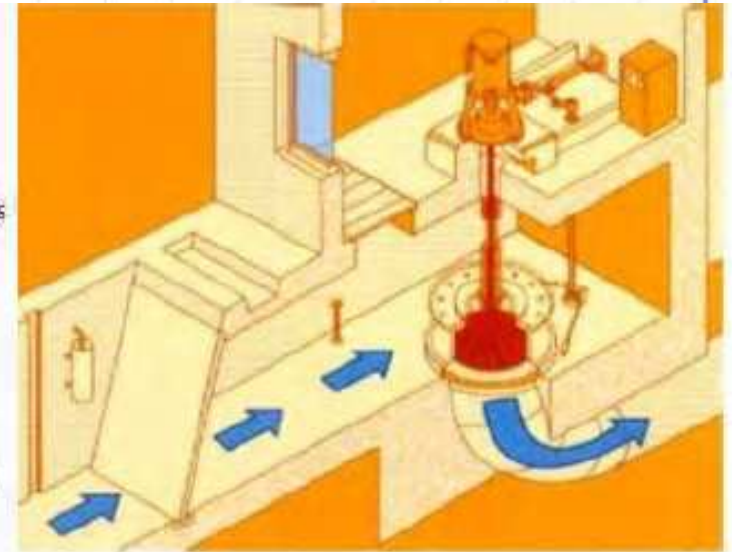
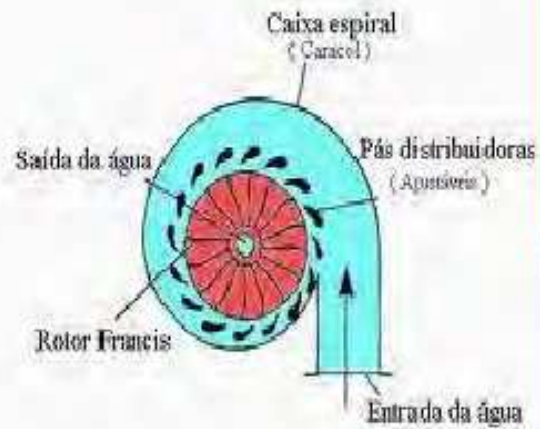
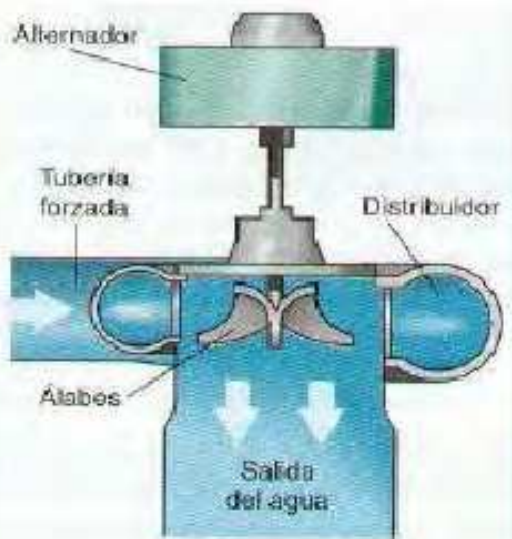
- Kaplan/Hélices (Axiales): el agua entra paralelamente al eje
- Francis (Radiales): el agua entra perpendicular al eje
- Pelton (Tangenciales): el agua entra tangencialmente contra las cucharas del rodete.
- Banki, Michell, son on



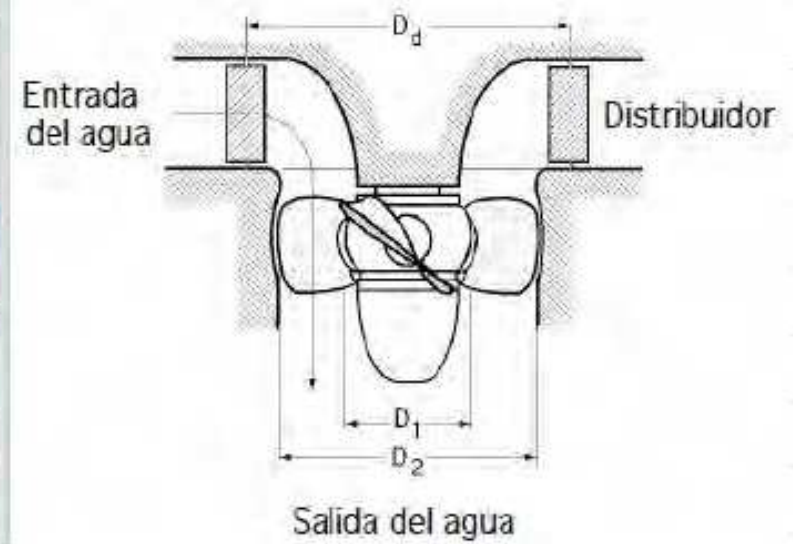
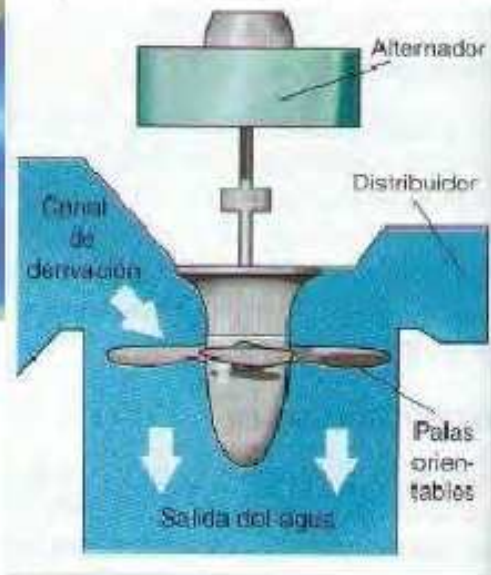
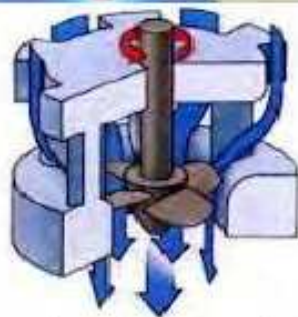
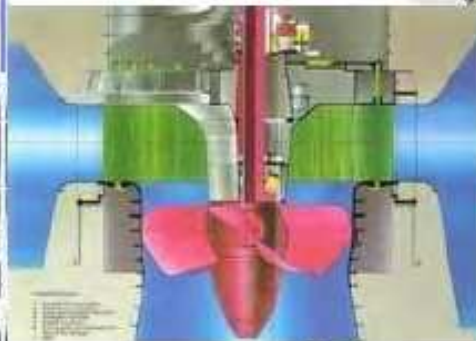
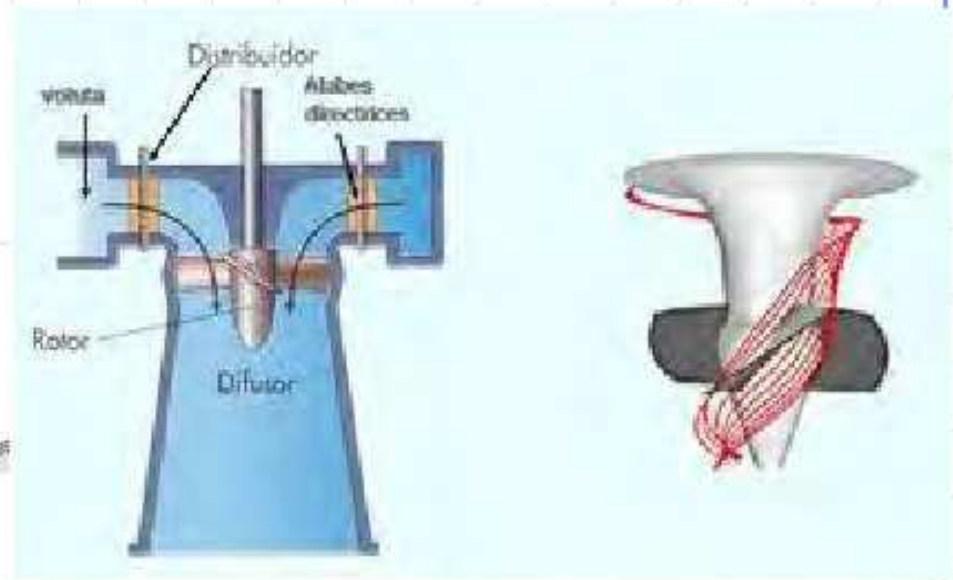
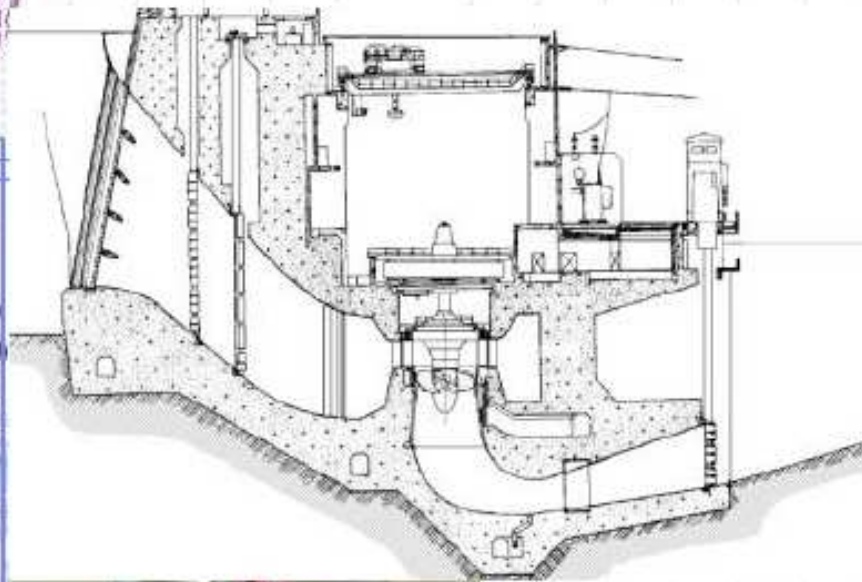
Turbina pelton



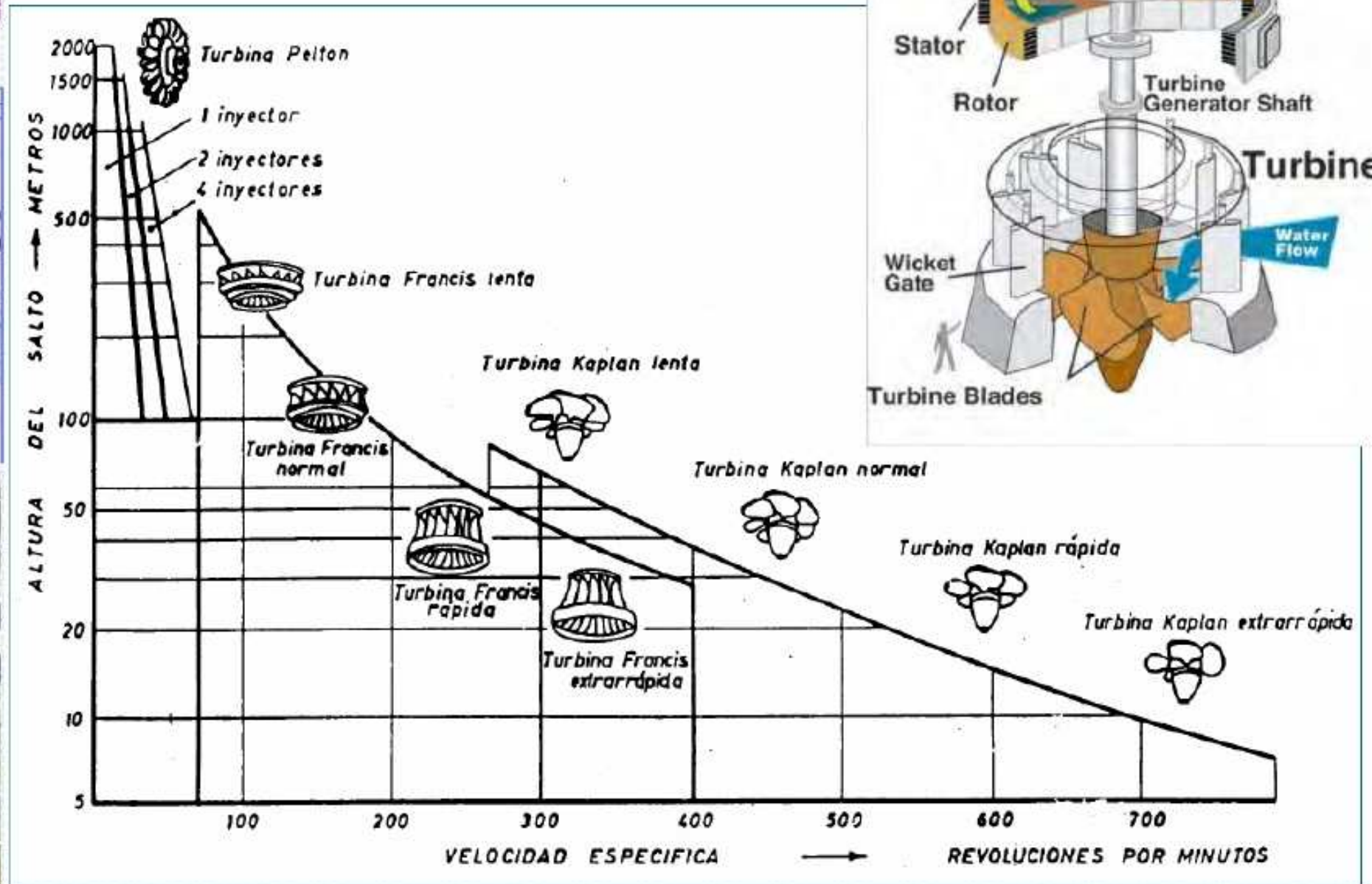
Turbinas Francis



Turbinas Kaplan

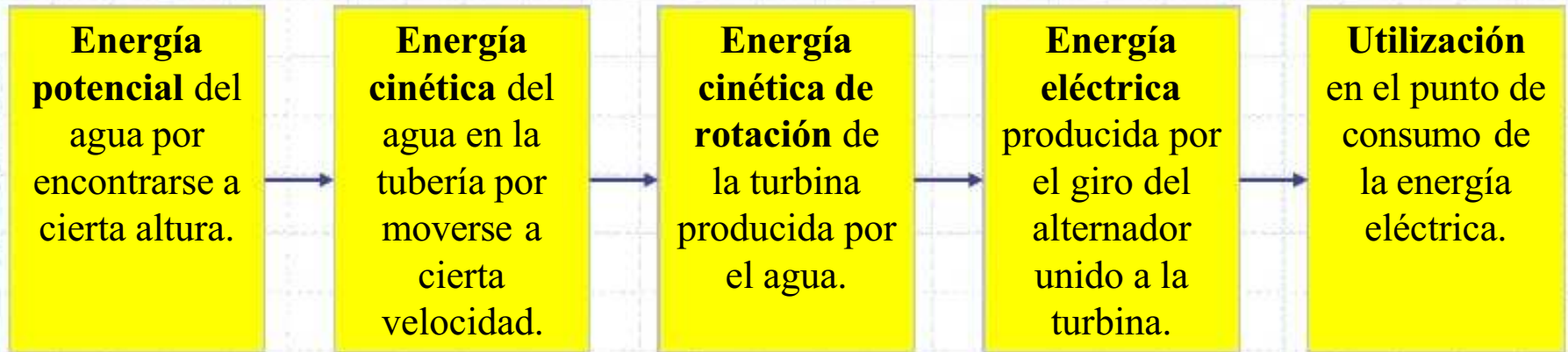


Turbinas



Proceso energético

PROCESO ENERGÉTICO



Regulador de velocidad/tensión

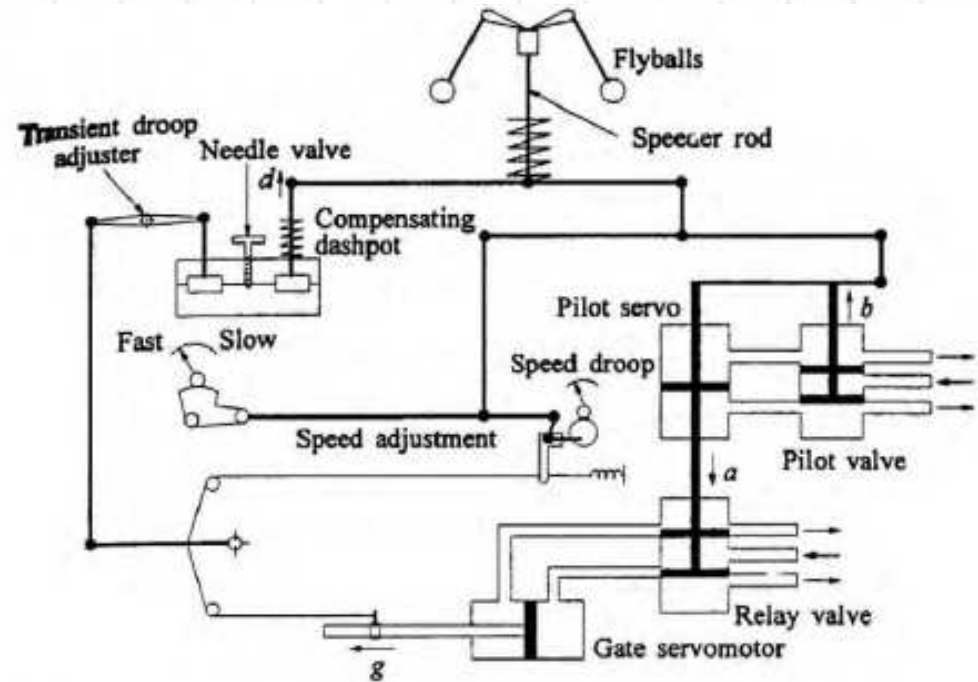
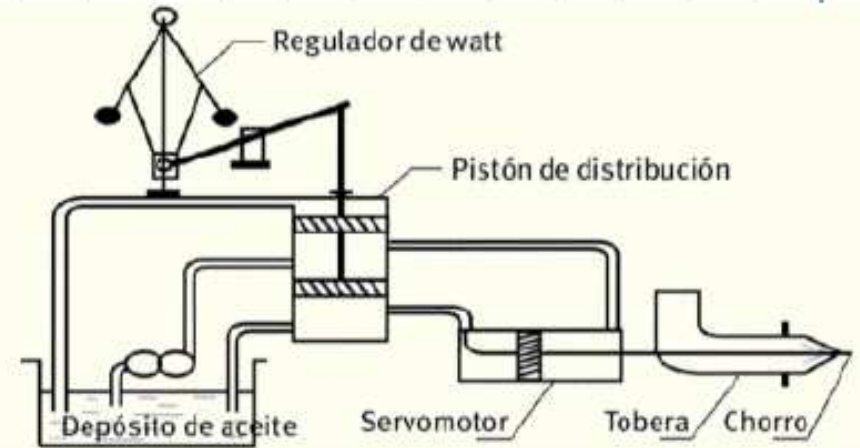
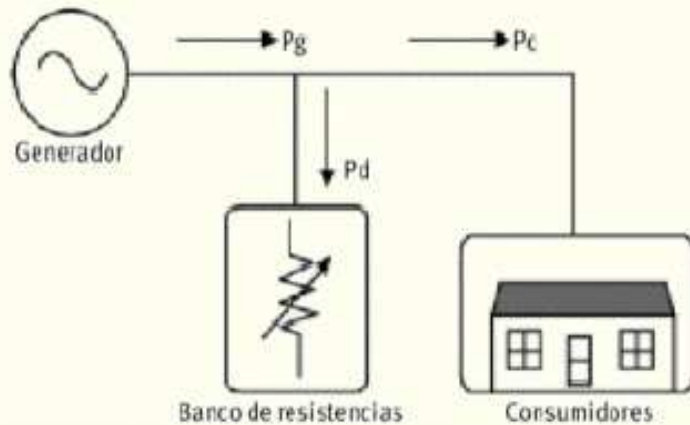
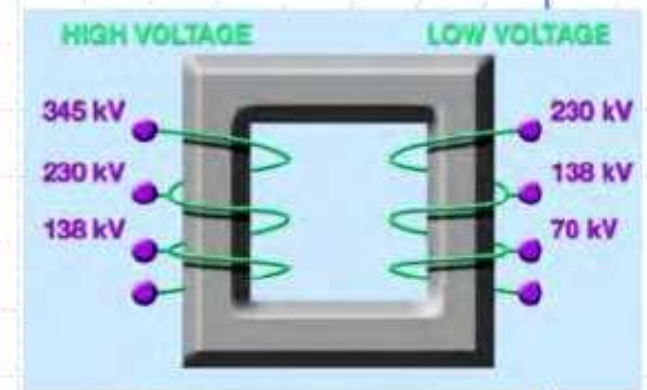
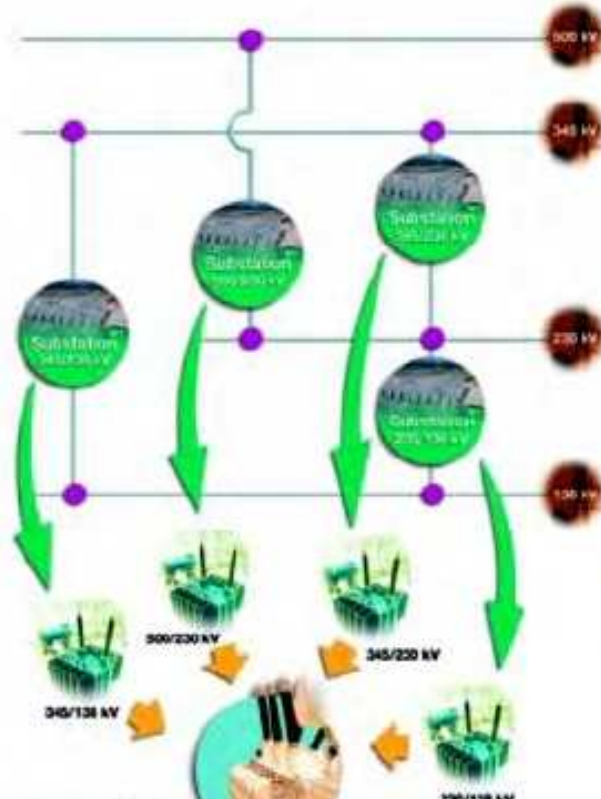


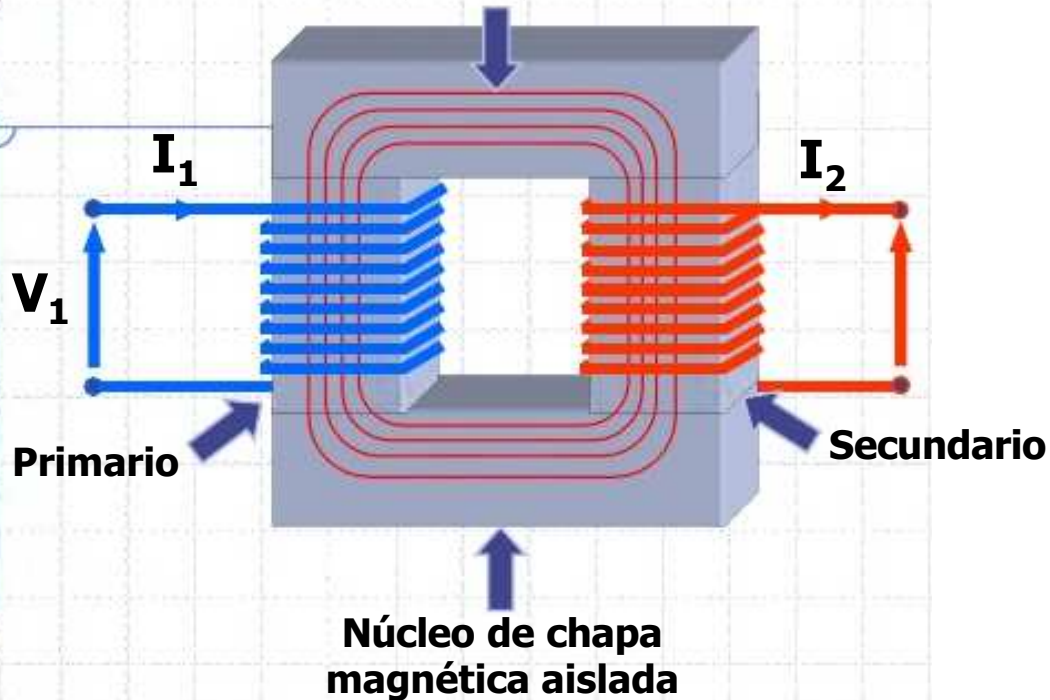
Figura 9.9.: Esquema de un regulador mecánico-hidráulico de una turbina

Transformadores de potencia

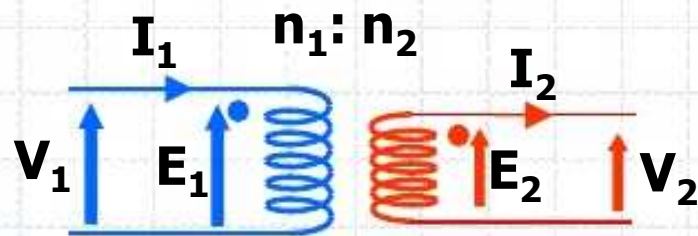


Transformador básico

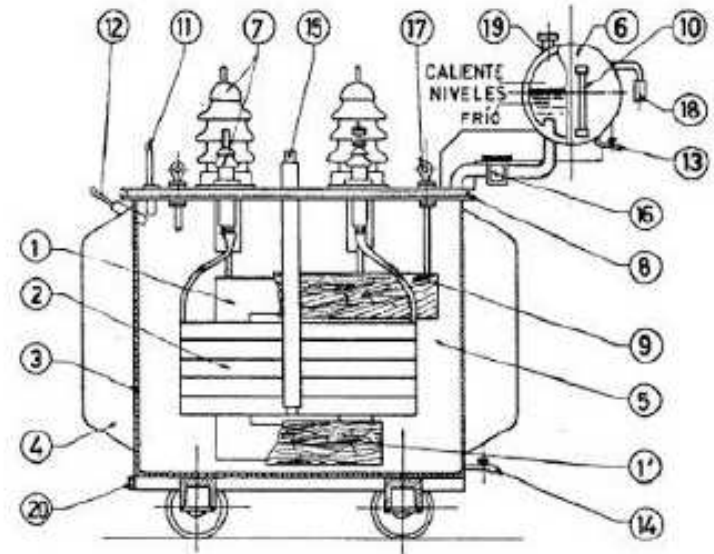
Flujo magnético



$$\frac{E_1}{E_2} = \frac{n_1}{n_2}$$

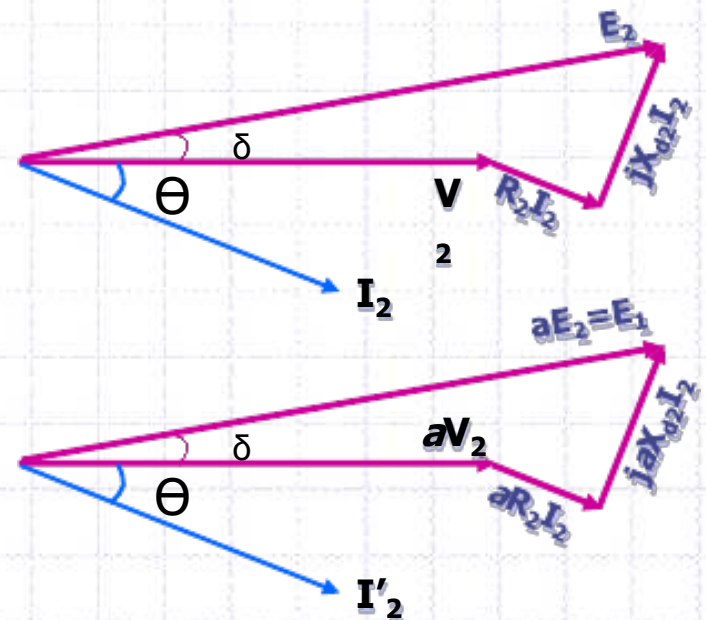
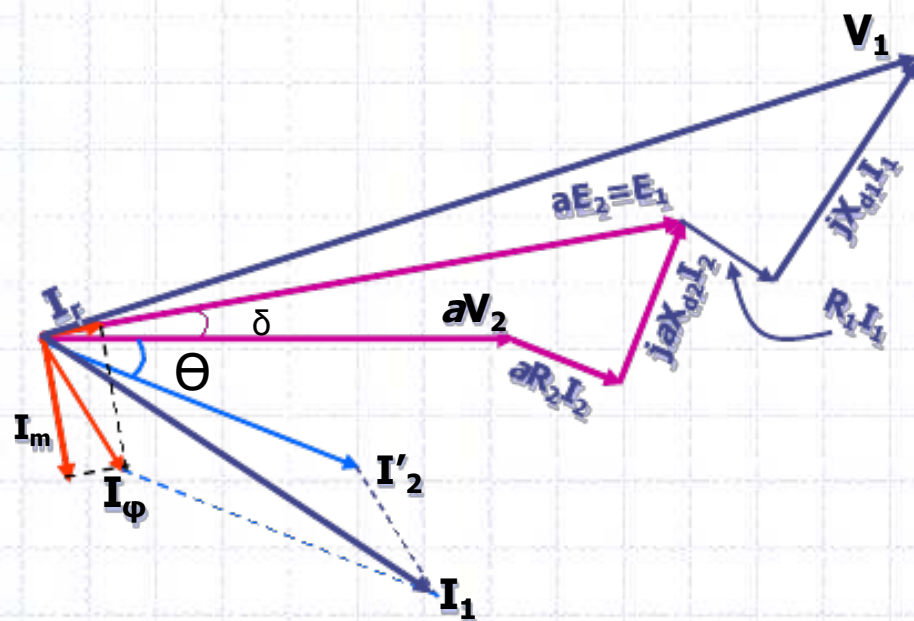
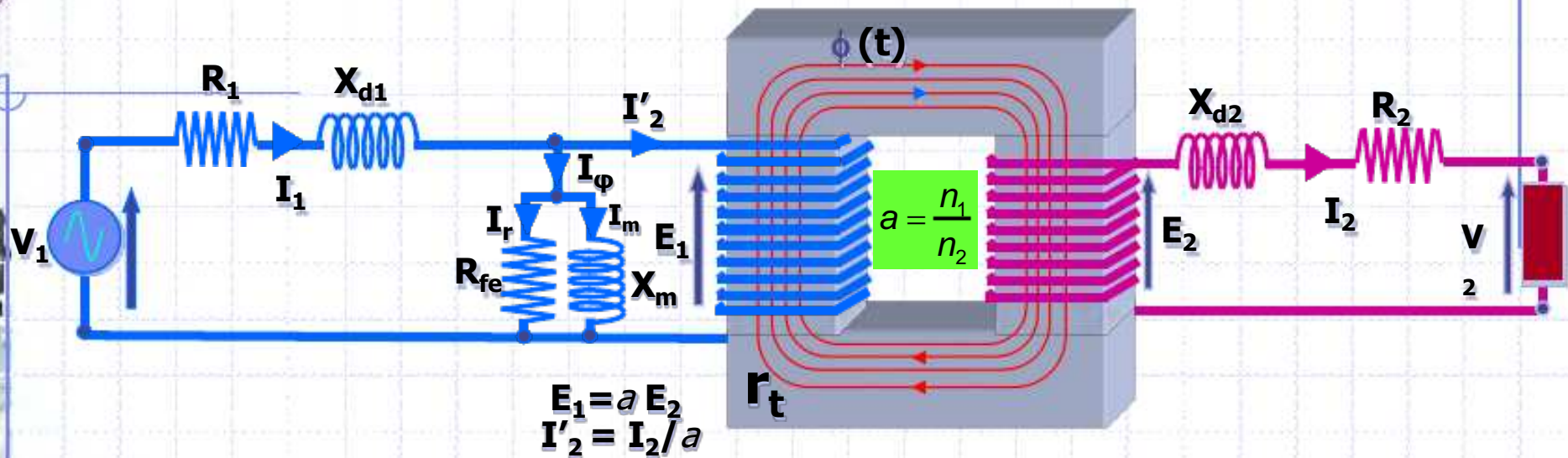


3.1.1.- Características físicas y constructivas. FIGURAS.

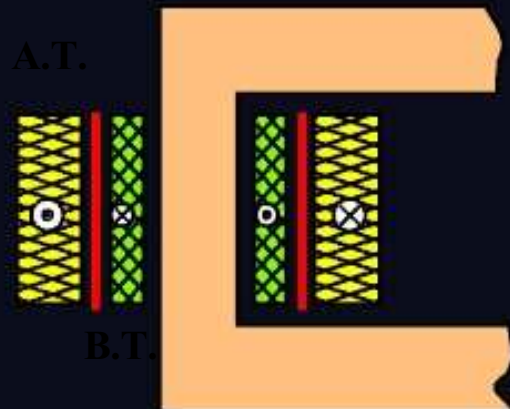
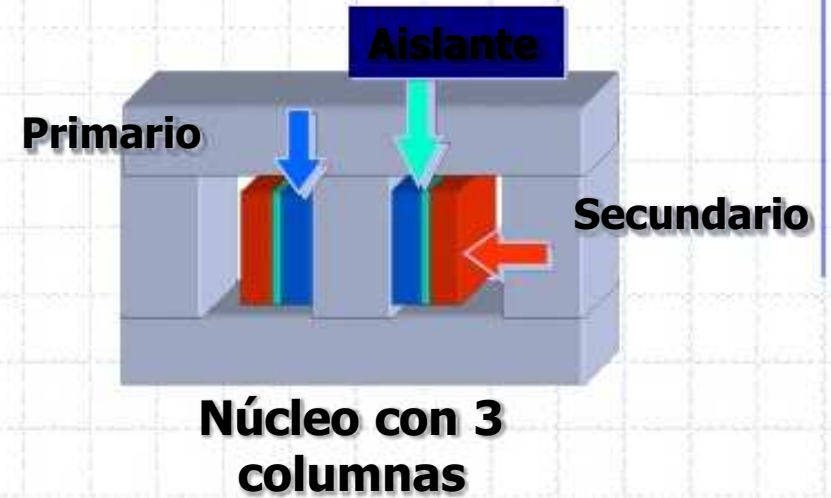
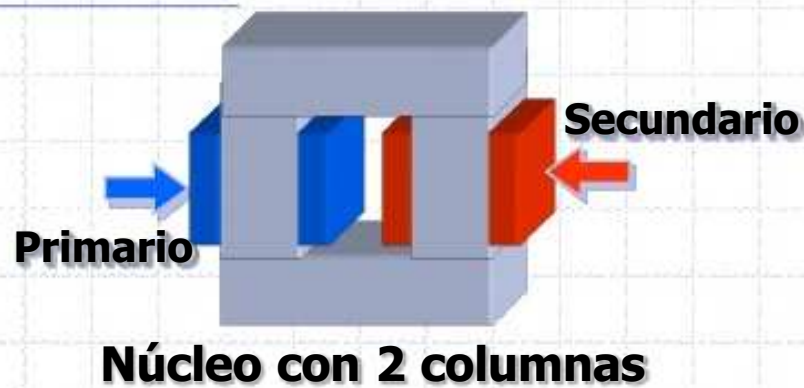


- | | |
|--------------------------|---|
| 1: Núcleo | 2: Devanados |
| 3: Cubo o tanque | 4: Aletas de refrigeración |
| 5: Aceite | 6: Depósito de expansión |
| 7: Aisladores pasantes | 8: Junta |
| 9: Conexiones | 10: Nivel de aceite |
| 11: Termómetro | 12: Termómetro |
| 13: Grifo de vaciado | 14: Grifo de vaciado y toma de muestras |
| 15: Conmutador de tomas | 16: Relé Buchholz |
| 17: Anillas de elevación | 18: Desecador de aire |
| 19: Tapón de llenado | 20: Puesta a tierra |

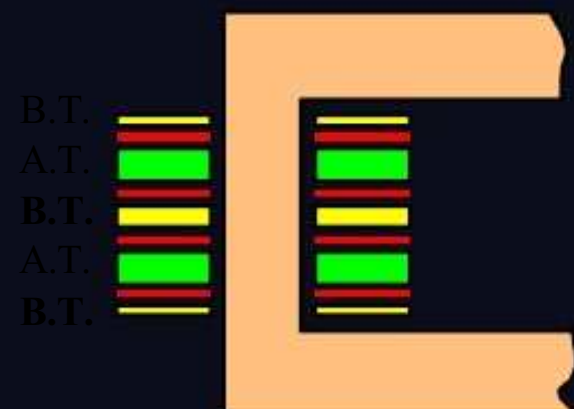
Circuito equivalente transformador de potencia



Estructura transformador monofásico

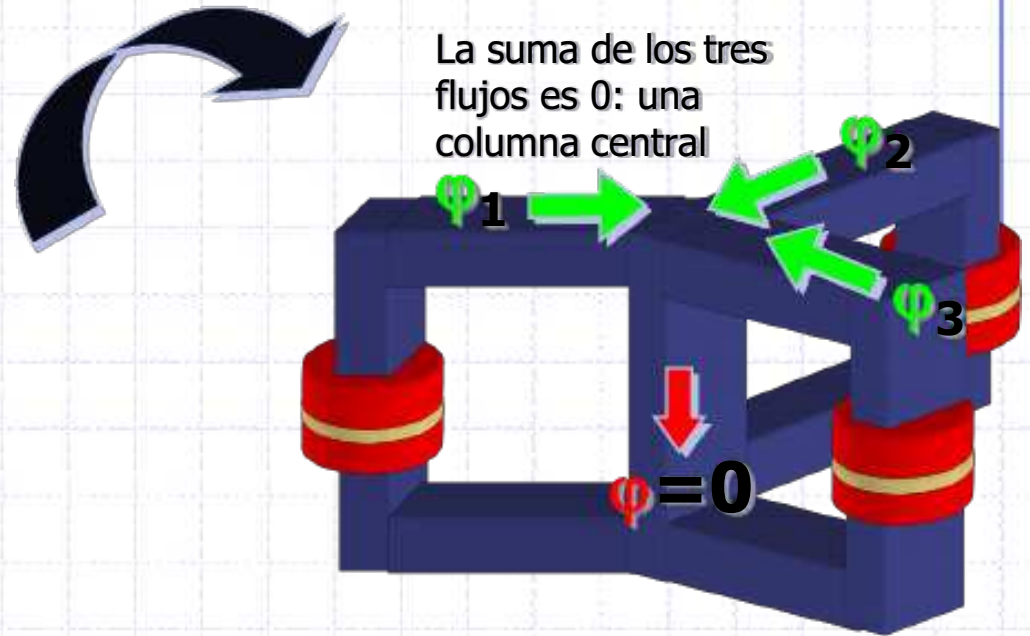
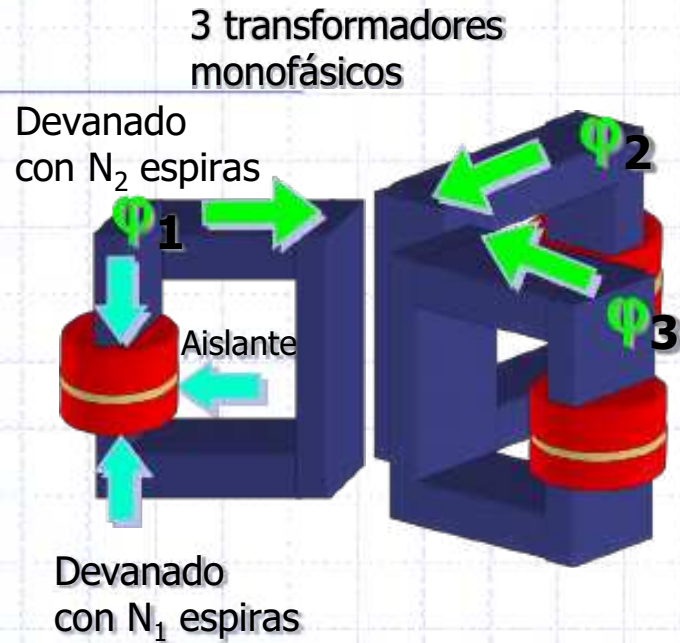


Concéntrico

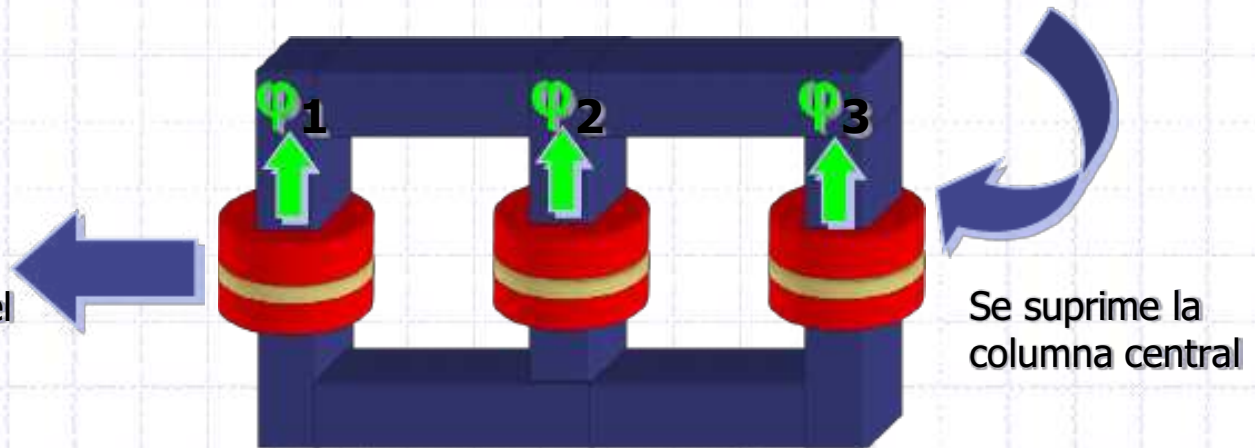


Alternado

Estructura transformador trifásico



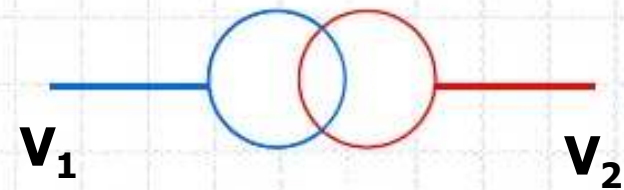
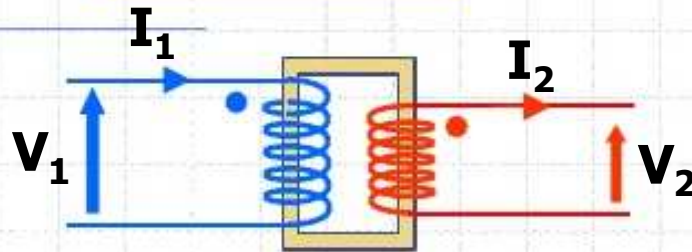
Sin la columna central se ahorra material y peso del transformador



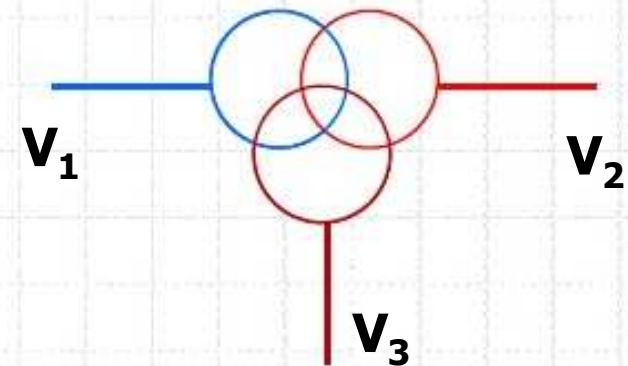
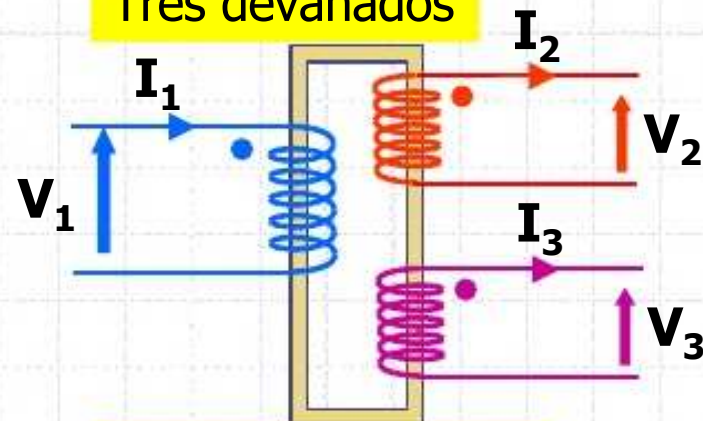
Estructura básica de un transformador trifásico

Transformadores de potencia monofásicos

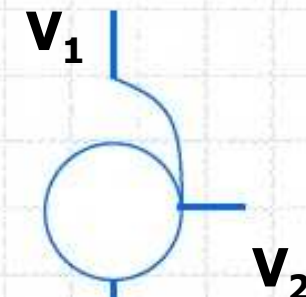
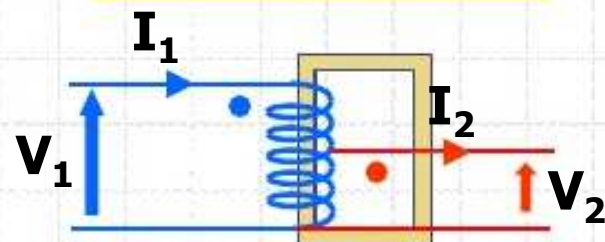
Dos devanados



Tres devanados

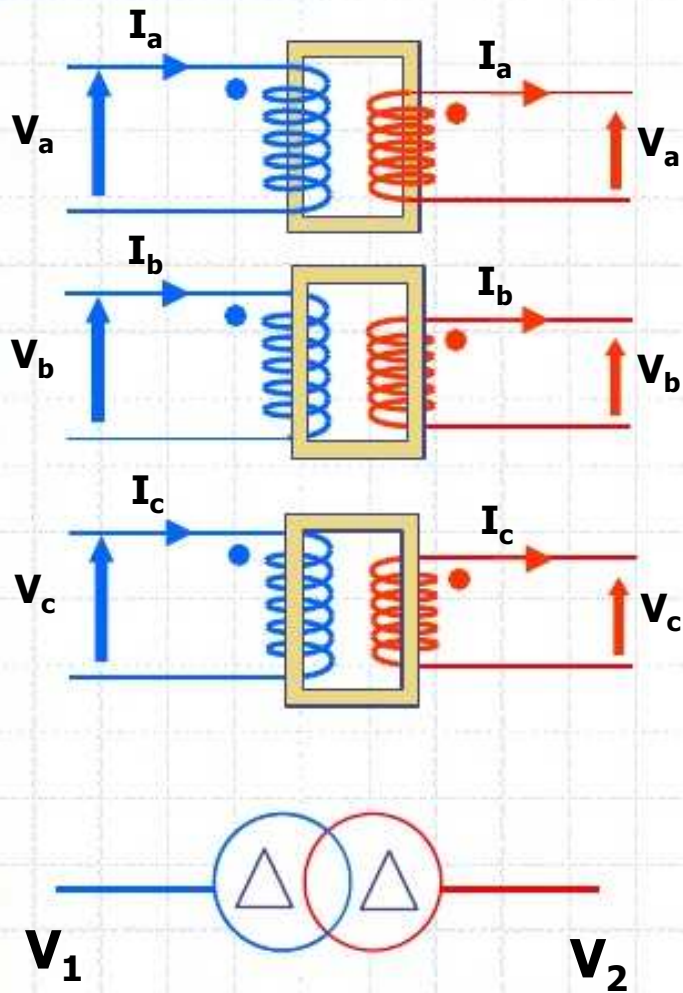


Autotransformador

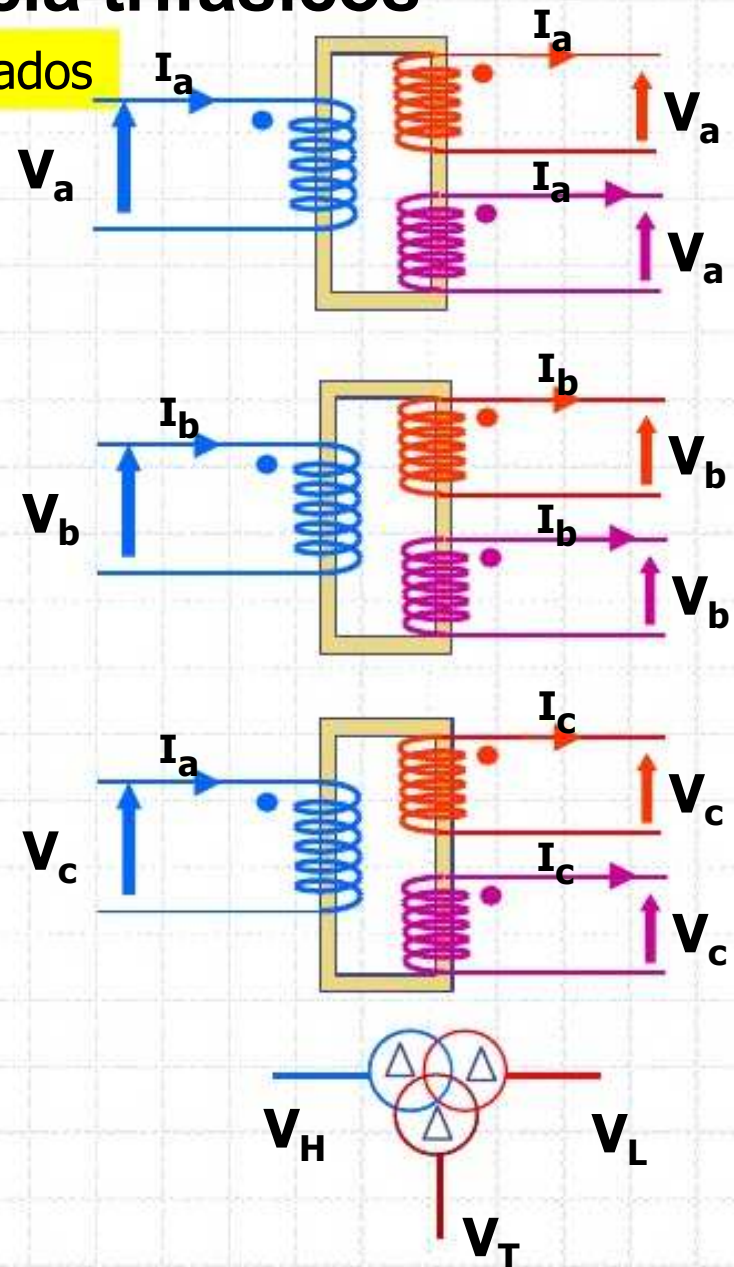


Transformadores de potencia trifásicos

Dos devanados

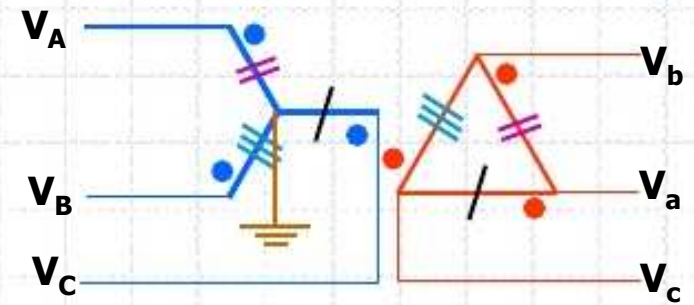
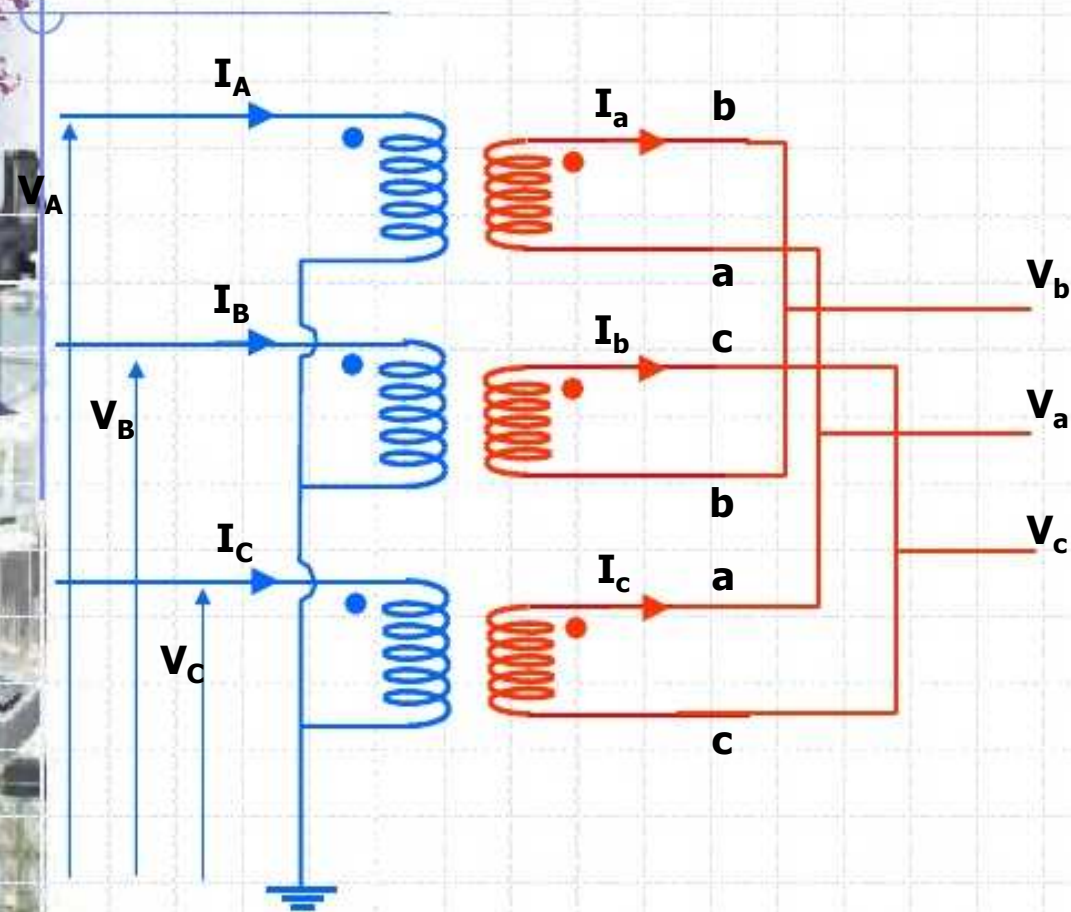


Tres devanados



Tipos de transformadores de potencia

Trifásico de dos devanados

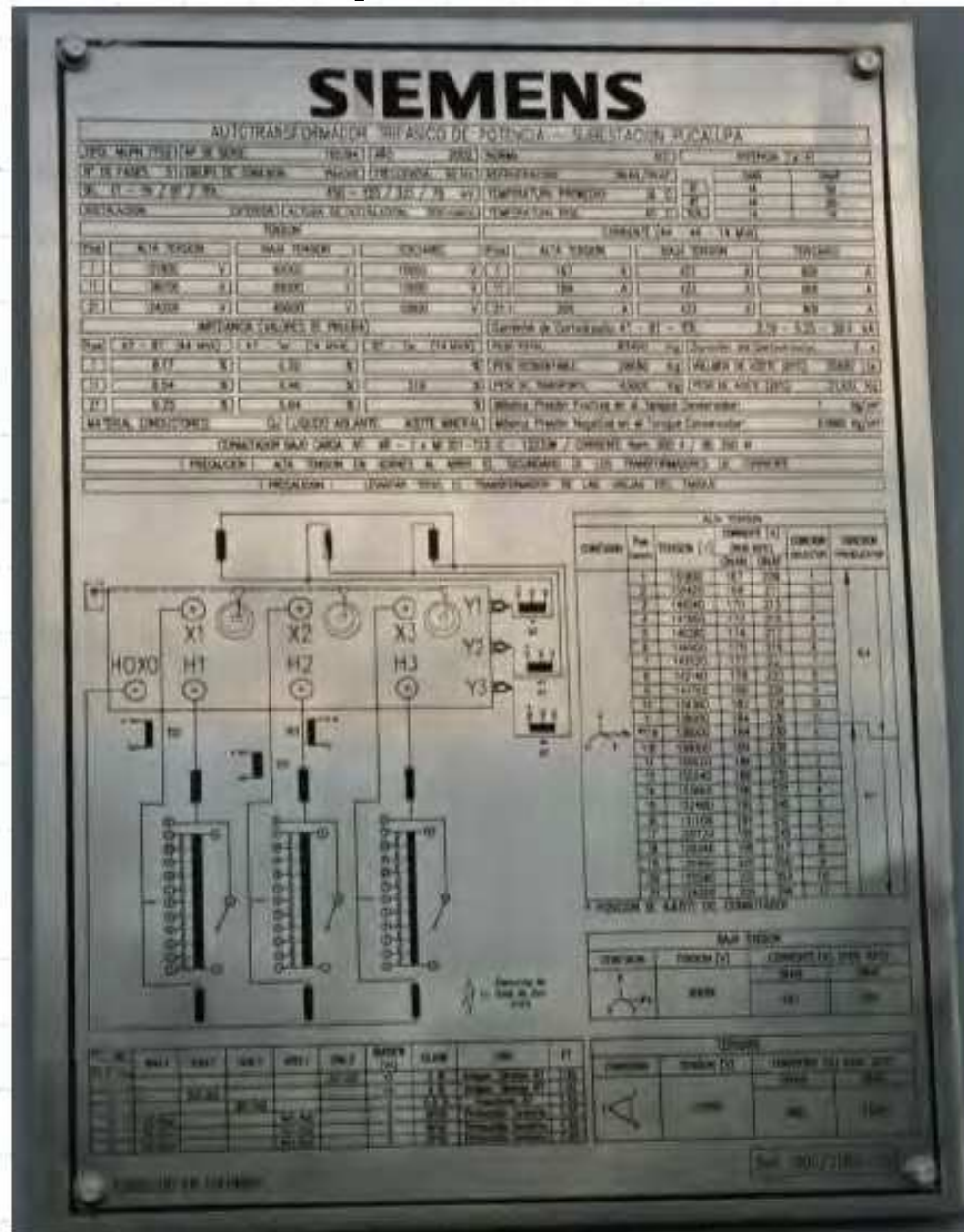




UNIVERSITY
OF THE PHILIPPINES

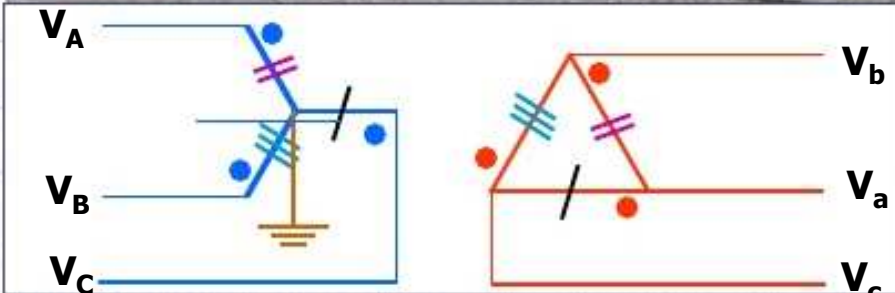
Transformadores de potencia







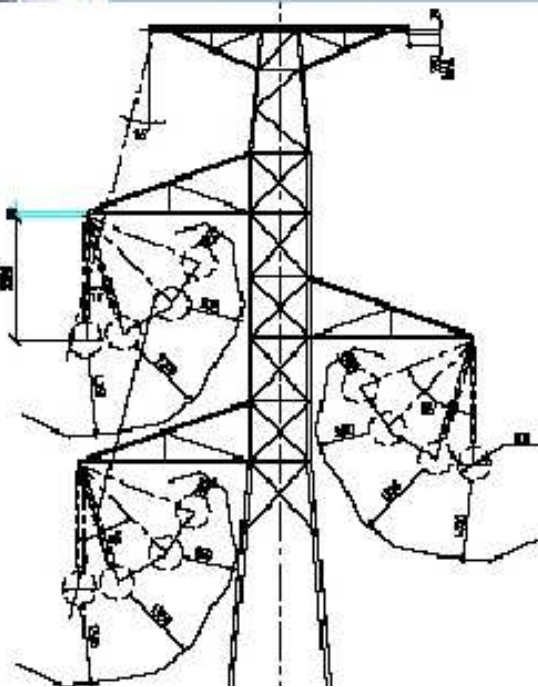
UNIVERSITY OF FLORIDA



07/21/2012 02:16 PM



Líneas de transmisión aéreas



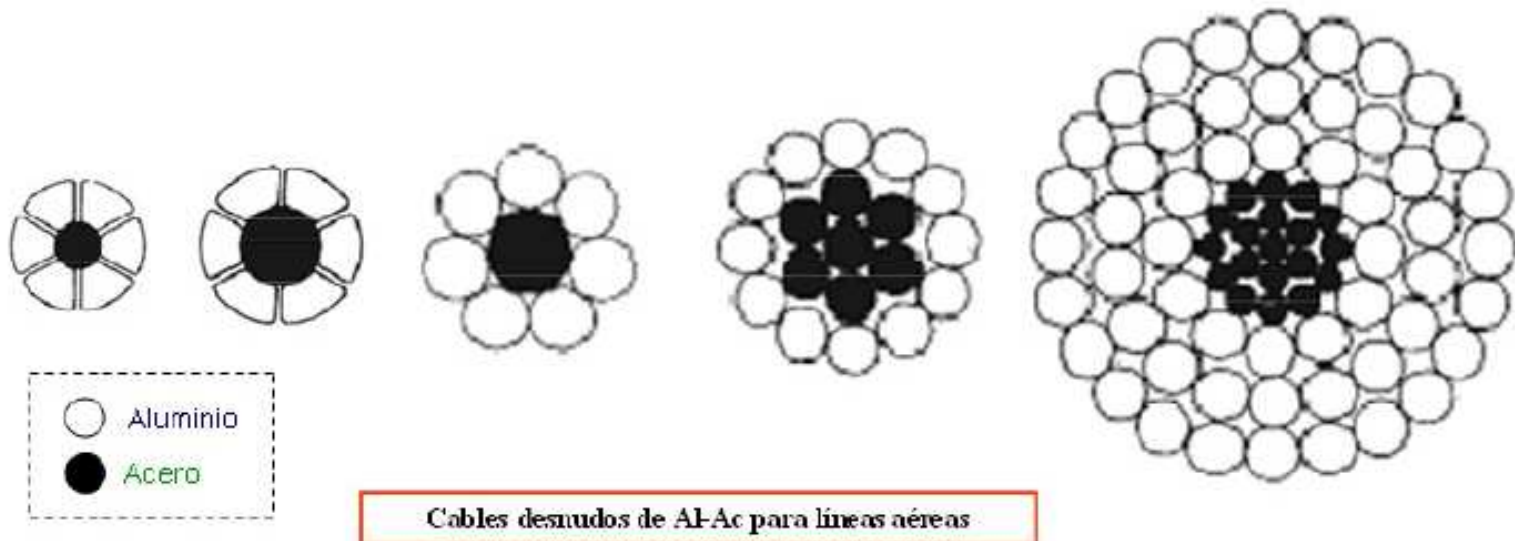


Líneas de transmisión

- ◆ **Construir una Línea de Transmisión (LT) es un reto**
- ◆ **La decisión de construir una LT considera:**
 - **Máxima confiabilidad**
 - ◆ Condiciones climáticas del trayecto
 - ◆ Análisis del trazado
 - ◆ Criterios de optimización
 - ◆ Vida útil del conductor y torres
 - **Máxima capacidad de transporte**
 - ◆ Monofásica o trifásica
 - ◆ Límite térmico (50 a 85°C)
 - ◆ Conductores multifilares por fase: 1, 2, 3 o 4
 - ◆ Número de circuitos o ternas por torre de transmisión: 1, 2, 3 o 4
 - **Mínimo impacto ambiental**
 - ◆ Origen eléctrico: Campo eléctrico, campo magnético, radio interferencia y ruido audible
 - ◆ Impacto visual

Líneas de transmisión

- Las líneas de transmisión son normalmente de aluminio con refuerzos de acero
- Las barras de los centros de transformación de alta tensión son de aluminio
- Las barras de subestaciones son de cobre.
- Los aisladores son ampliamente usados como medio de aislamiento



Disposición de conductores

Simple

R S T
○ ○ ○

Duplex

R S T
○○ ○○ ○○

Triplex

R
○
○
○
S T
○ ○ ○

Cuadruplex

R S
○○ ○○
T
○○ ○○

1 Circuito

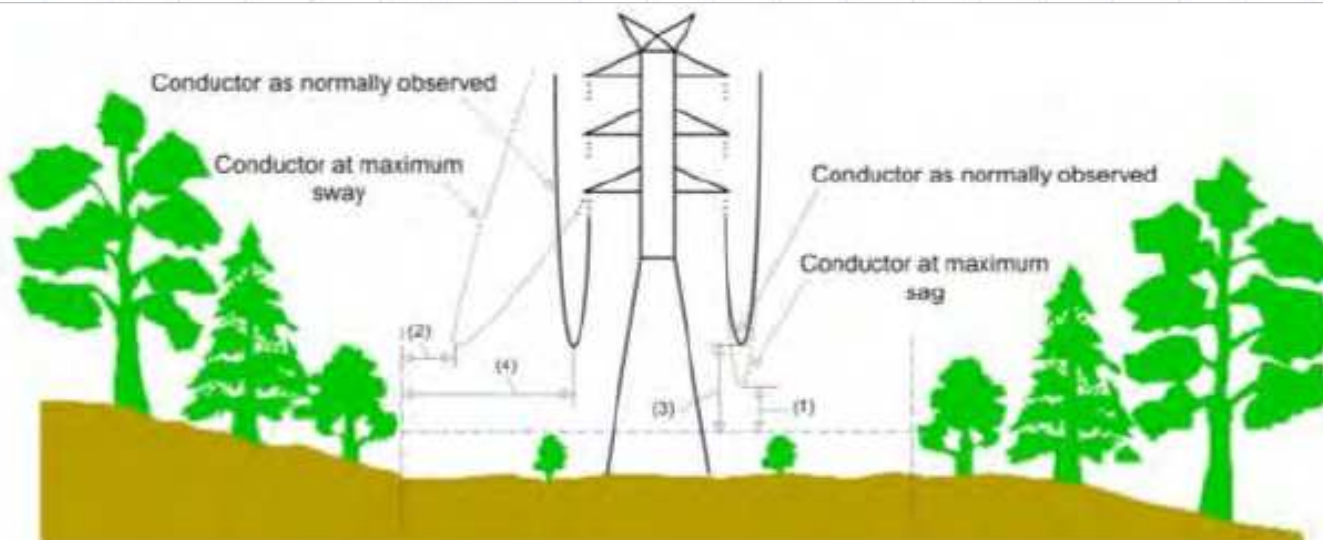
R_o R'_o
S_o S'_o
T_o T'_o

R T
○○ ○○
S S'
○○ ○○
T R'
○○ ○○

R T
○ ○
○ ○
S S'
○ ○
○ ○
T R'
○ ○
○ ○

R T
○○ ○○
S S'
○○ ○○
T R'
○○ ○○
○○ ○○

2 Circuitos



Líneas de transmisión



Circuito triplex y dos ternas





UNIVERSITY OF THE PACIFIC

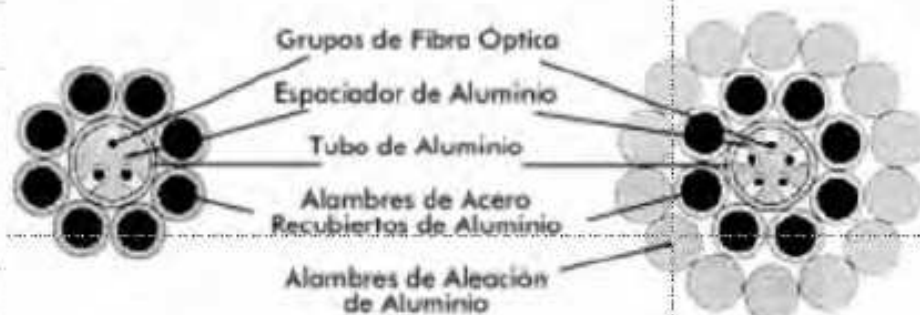


Circuito cuadraplex y dos ternas



Fibra óptica en líneas de transmisión

- OPWG Optical Fibre Ground Wires
- OPPC Optical Fibre Phase Conductor
- MASS Metallic Aerial Self-Supported



Fibras con Recubrimiento Curado con Rayos UV

Unidad Óptica Sellada Dentro de Tubo de Acero Inoxidable

Alambres de Acero Recubiertos de Aluminio

Alambres de Acero Recubiertos de Aluminio o de Aleación de Aluminio

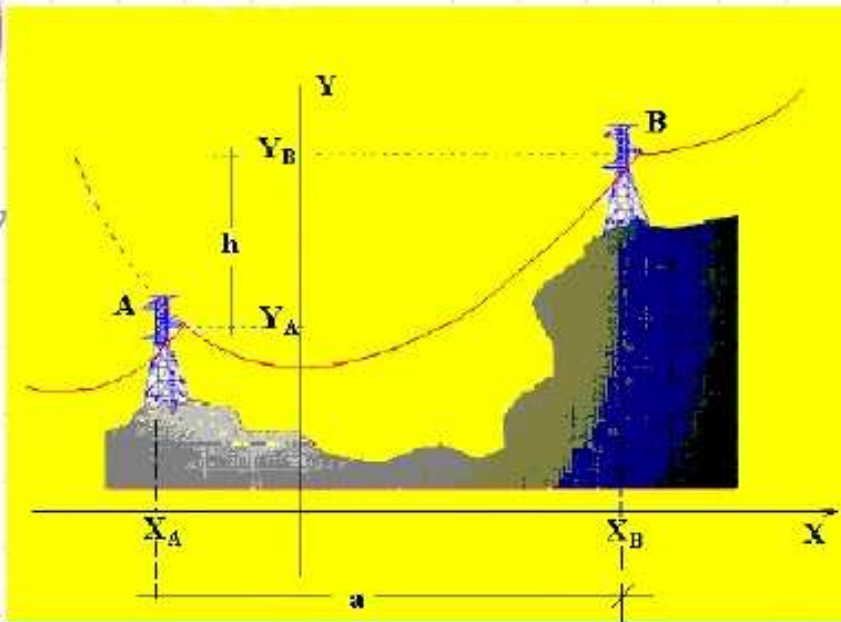


Llegada de fibra óptica a SE

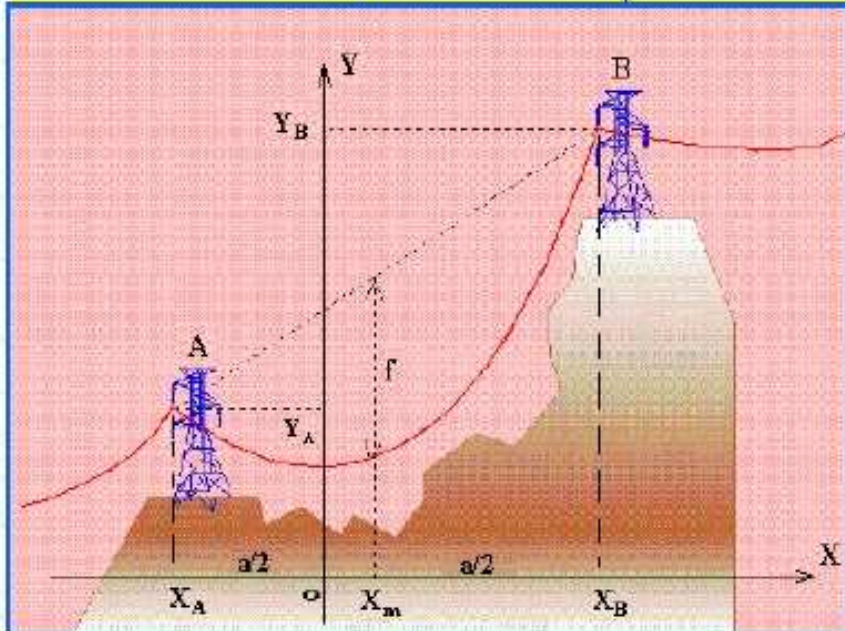
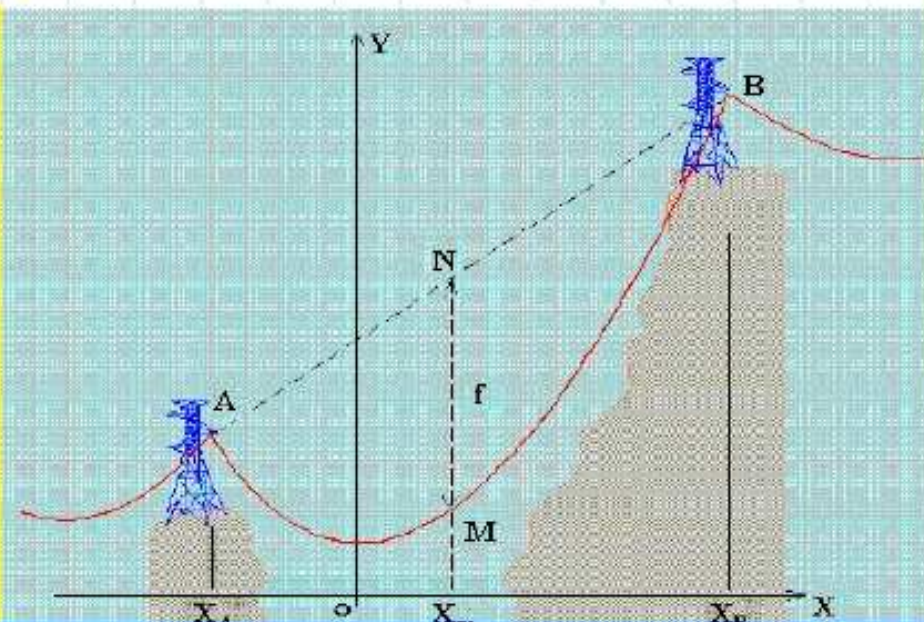




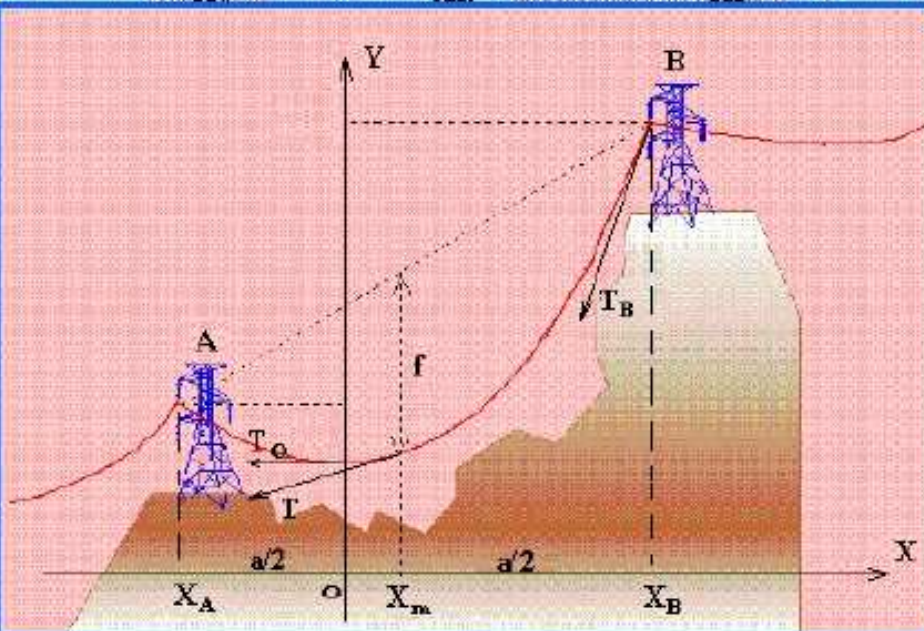
ECUACION LONGITUD DE UN CABLE



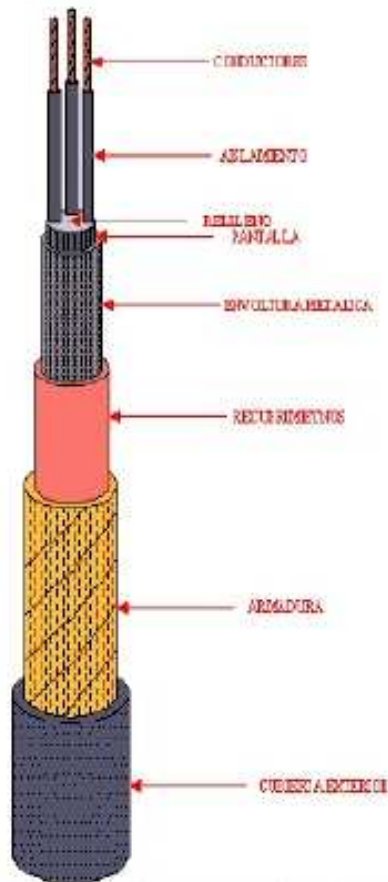
ECUACION DE LA FLECHA



UBICACION PUNTO MEDIO Y EXTREMOS DEL VANO



LA CATENARIA EN FUNCION DEL TIRO MAXIMO



Cables en general