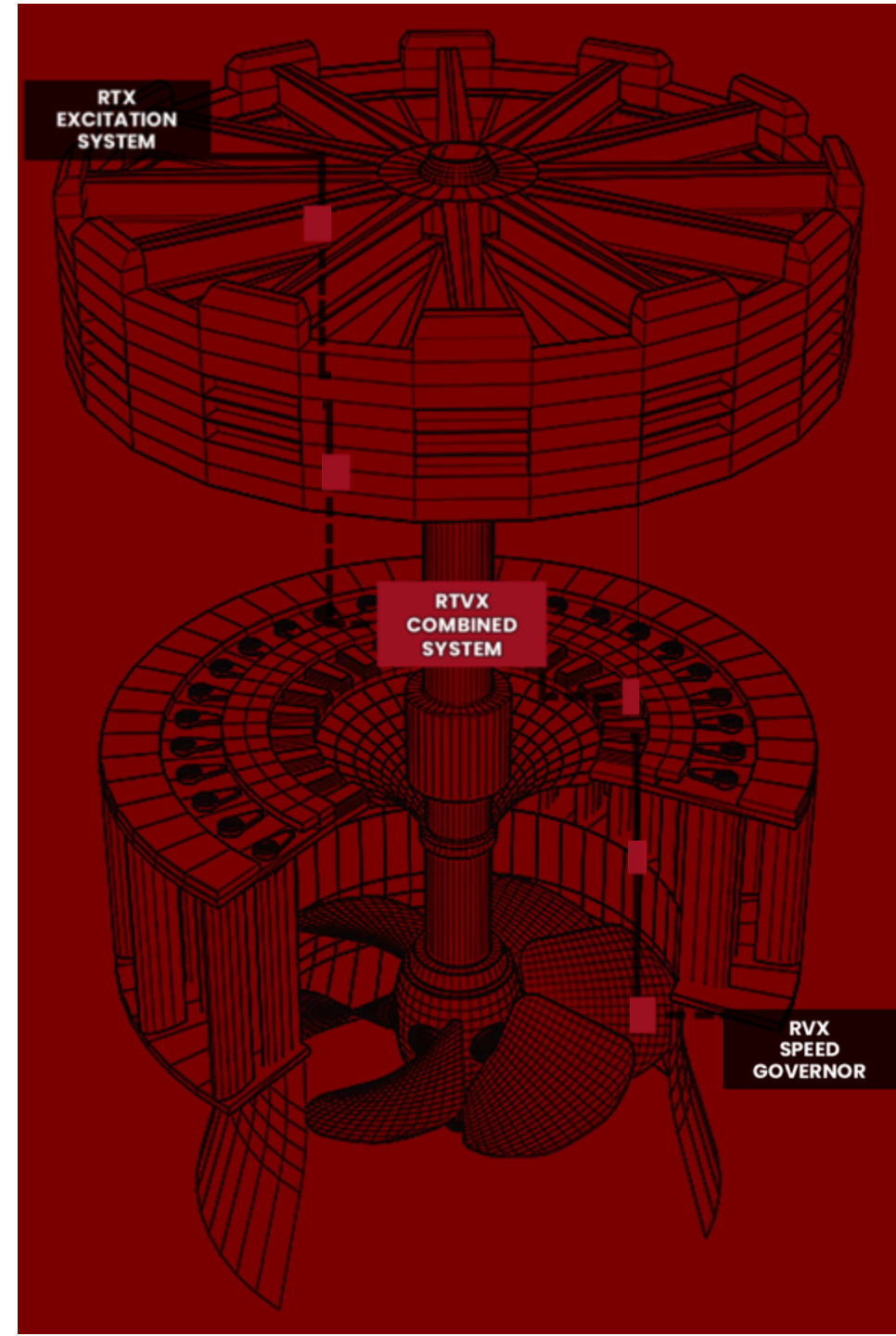




SISTEMAS DE EXCITACIÓN Y REGULADORES DE TENSIÓN PARA MÁQUINAS SÍNCRONAS

POR ALÉCIO GRZYBOWSKI JUNIOR



CONTENIDO

1) Máquinas Síncronas

2) Tipos de Sistemas de Excitación

3) Fundamentos del Control de Tensión

4) Modos de Control

5) Respuesta Dinámica

6) Evolución en Hardware y Software

7) Aplicaciones:

- **Motores:**

- Túneles de Viento
- Plantas Reversibles

- **Compensadores**

- Subestaciones

- **Generadores**

- Termoelectricas
- Hidroelectricas

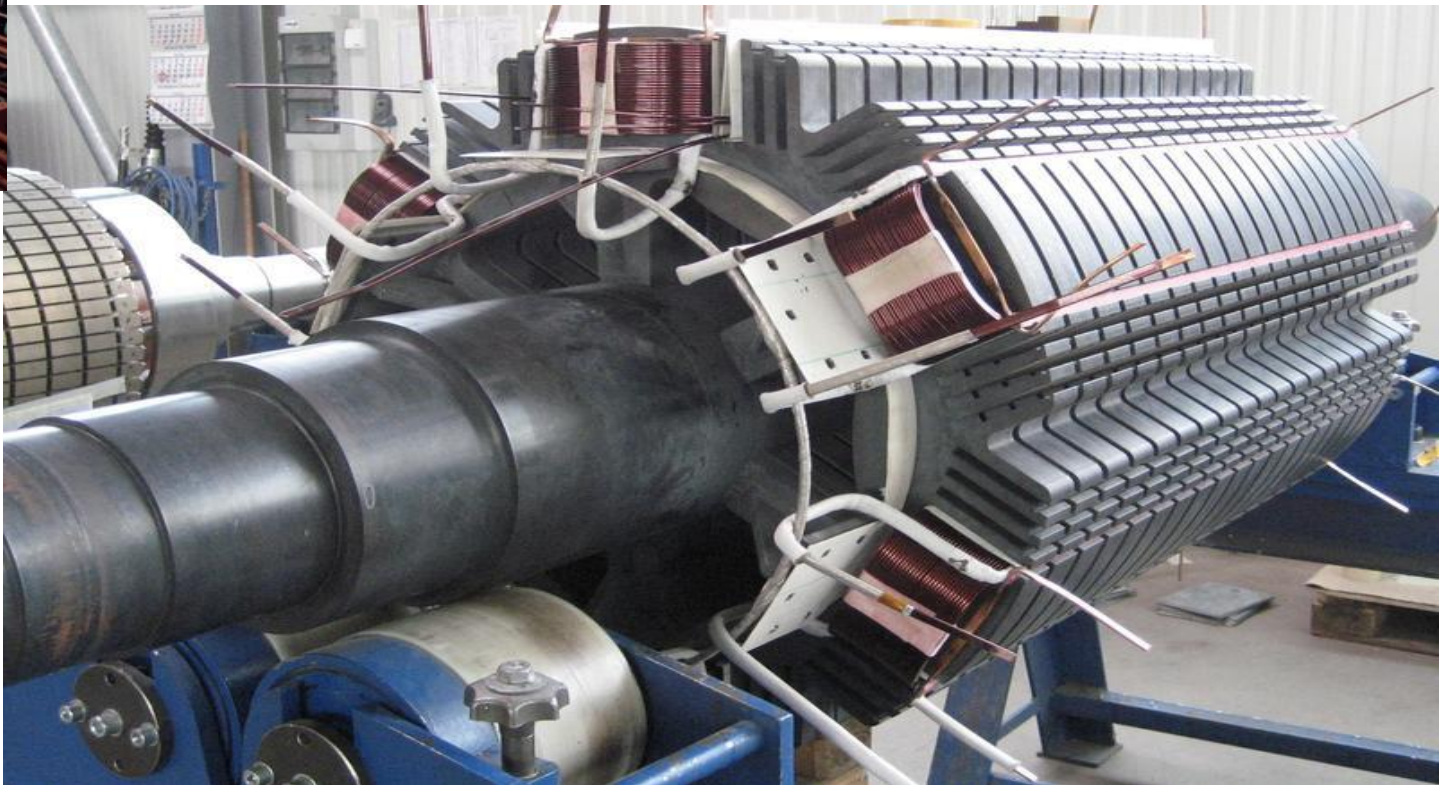
PRIMERA PARTE

MÁQUINAS SÍNCRONAS

GENERADORES SÍNCRONOS



Fuente: <https://pebinhadeacucar.com.br/belo-monte-realiza-descida-de-rotor-com-12-mil-toneladas/>



Fuente: <https://en.partzsch.de/pol-wheel-windings>

MOTORES SÍNCRONOS

- **Alta Capacidad de Torque**
- **Alto Rendimiento**
- **Velocidad Constante**
- **Factor de Potencia Controlable**



Fuente: Acervo próprio

COMPENSADORES SÍNCRONOS

- **Aumento de la Inercia del Sistema**
- **Compensación de Reactivos**
- **Control de Tensión del Sistema**

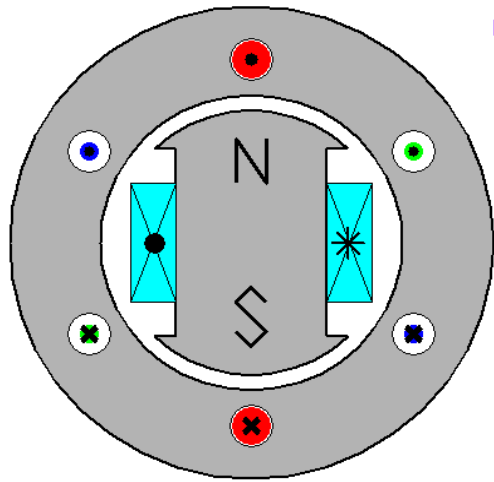


Fuente: Acervo propio

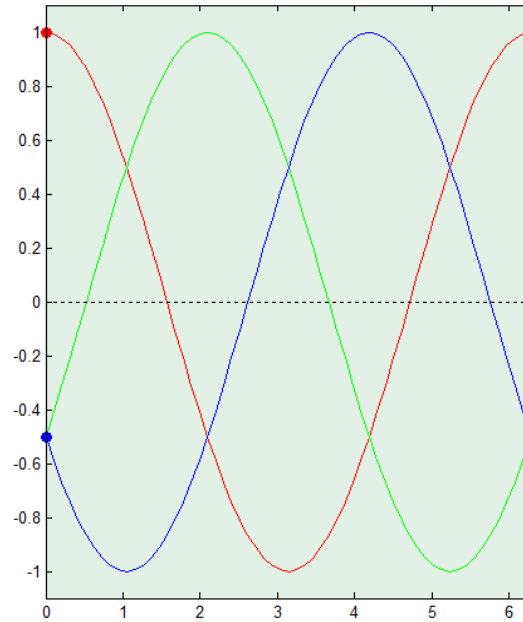


Fuente: <https://www.youtube.com/watch?v=F3TUvkI1dTo>

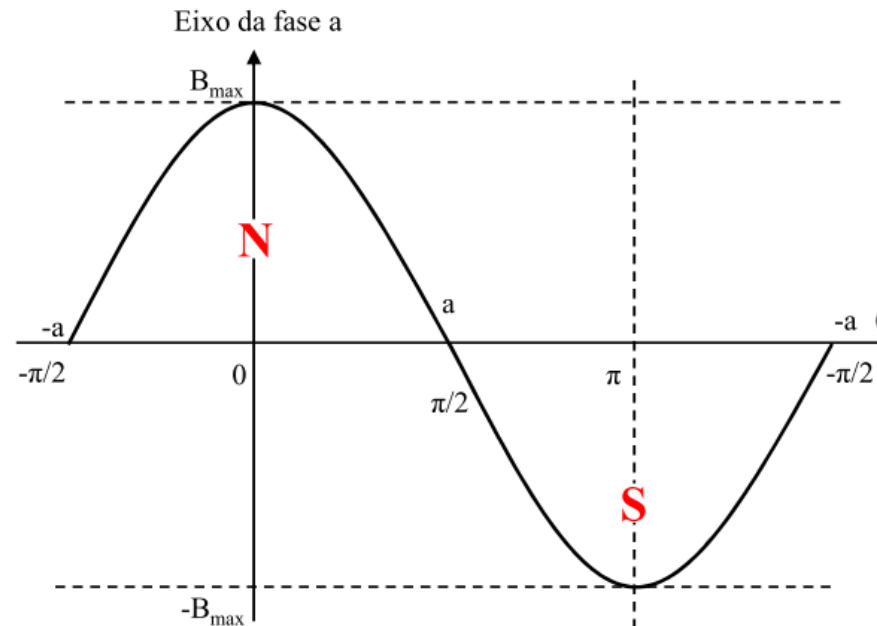
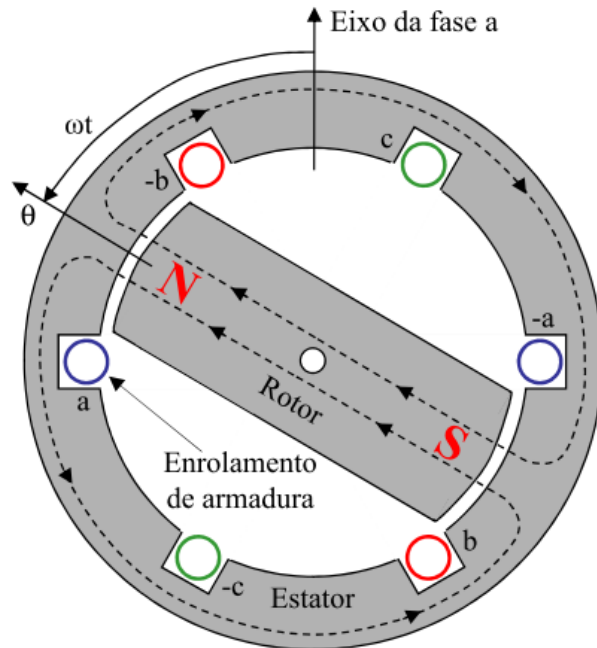
MÁQUINAS SÍNCRONAS



Phase A
Phase B
Phase C



Fuente: <https://thumbs.gfycat.com/BoilingClosedIndianglassfish-mobile.mp4>

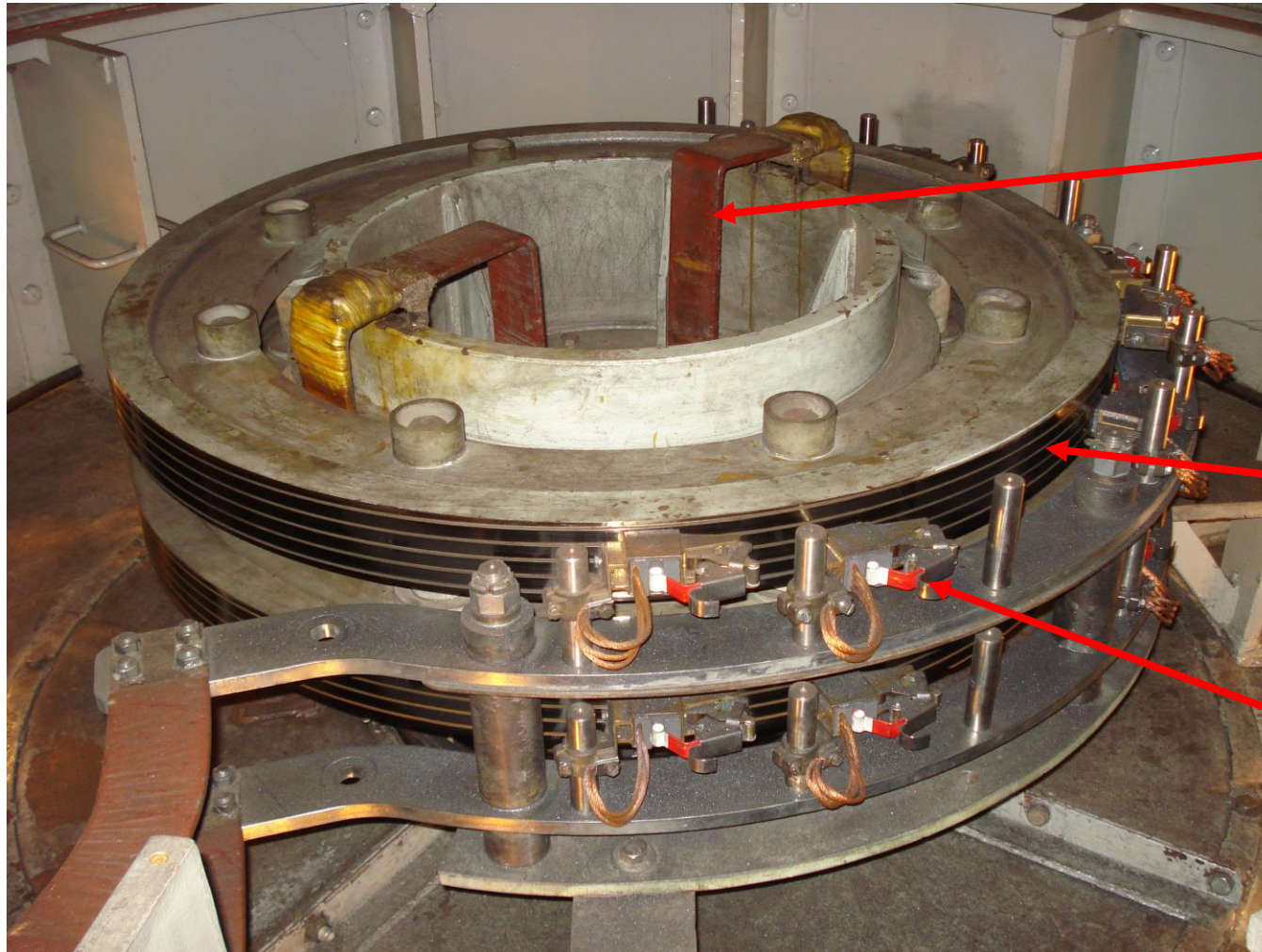


Fuente: https://www.feis.unesp.br/Home/departamentos/engenhariaeletrica/slides-2016-cap5_elerotecnica_fabioleao.pdf

SEGUNDA PARTE

TIPOS DE SISTEMAS DE EXCITACIÓN

SISTEMA DE EXCITACIÓN ESTÁTICO

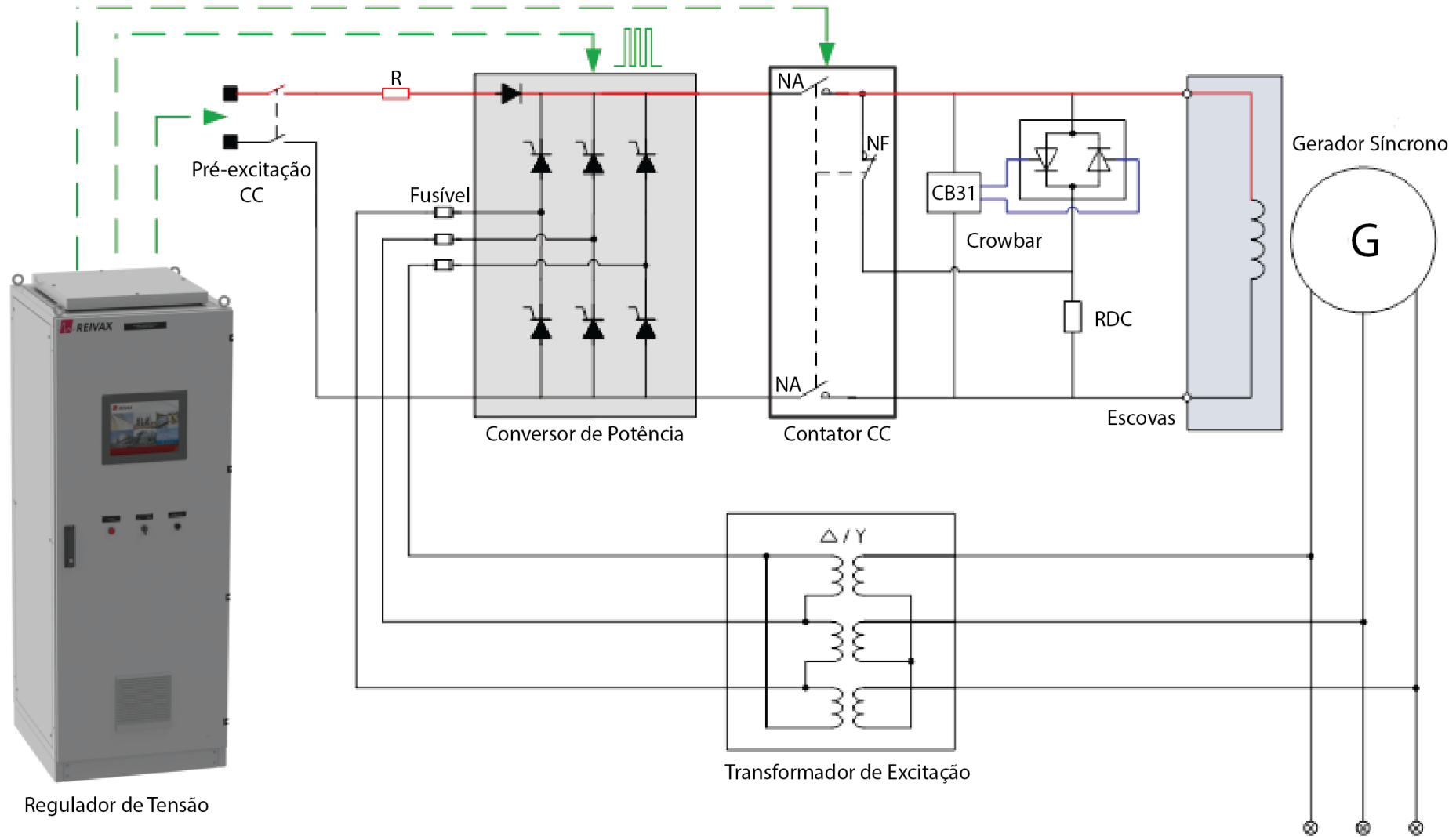


Campo del Generador

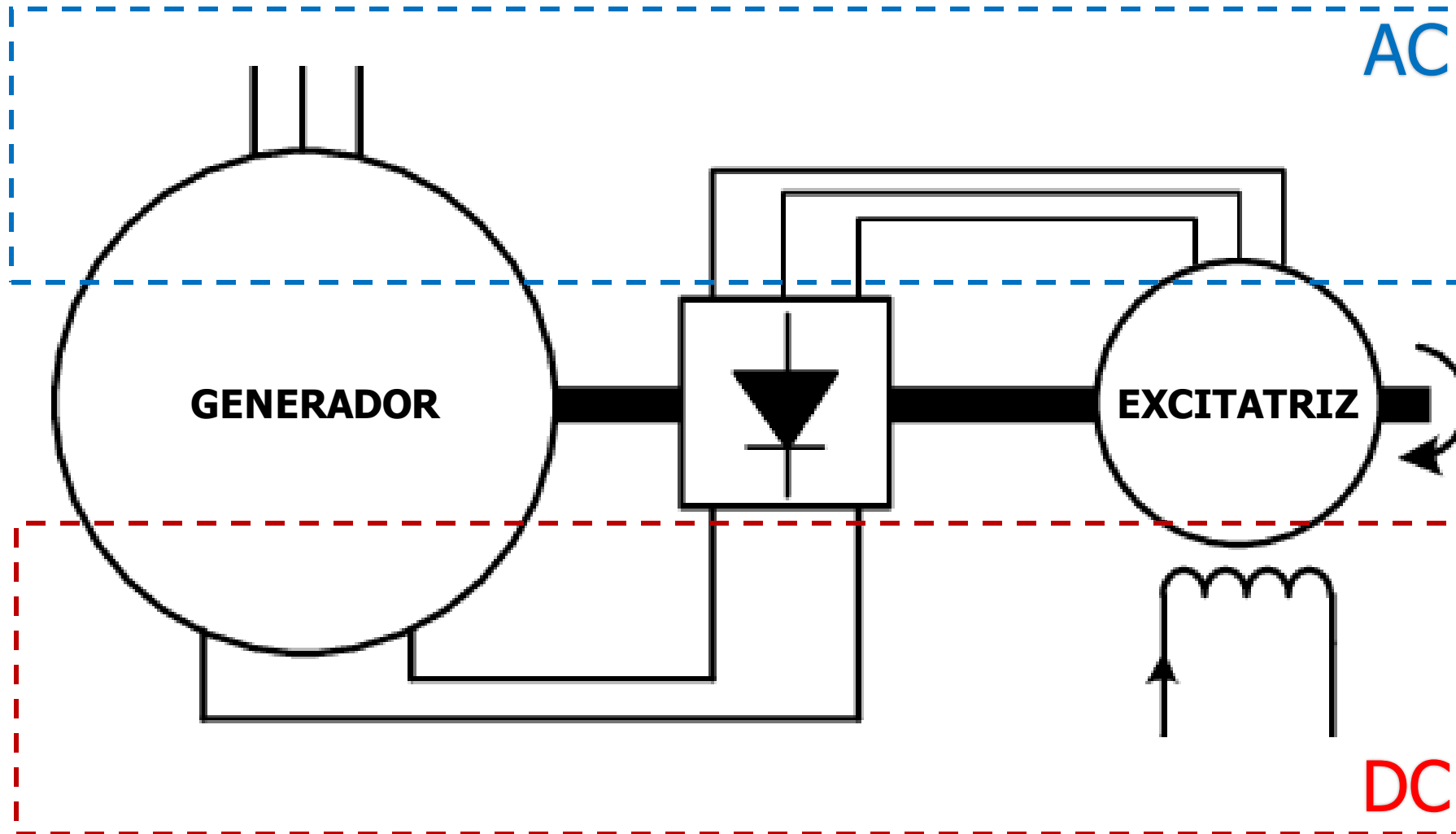
Anillos

Escobillas

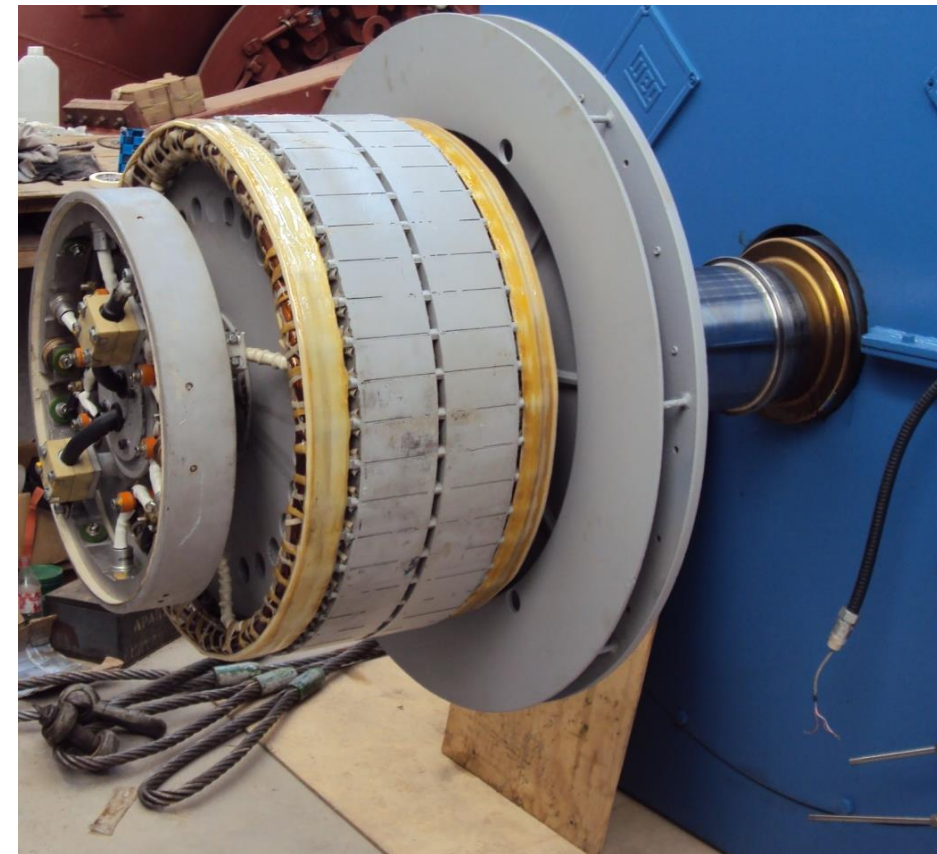
SISTEMA DE EXCITACIÓN ESTÁTICO



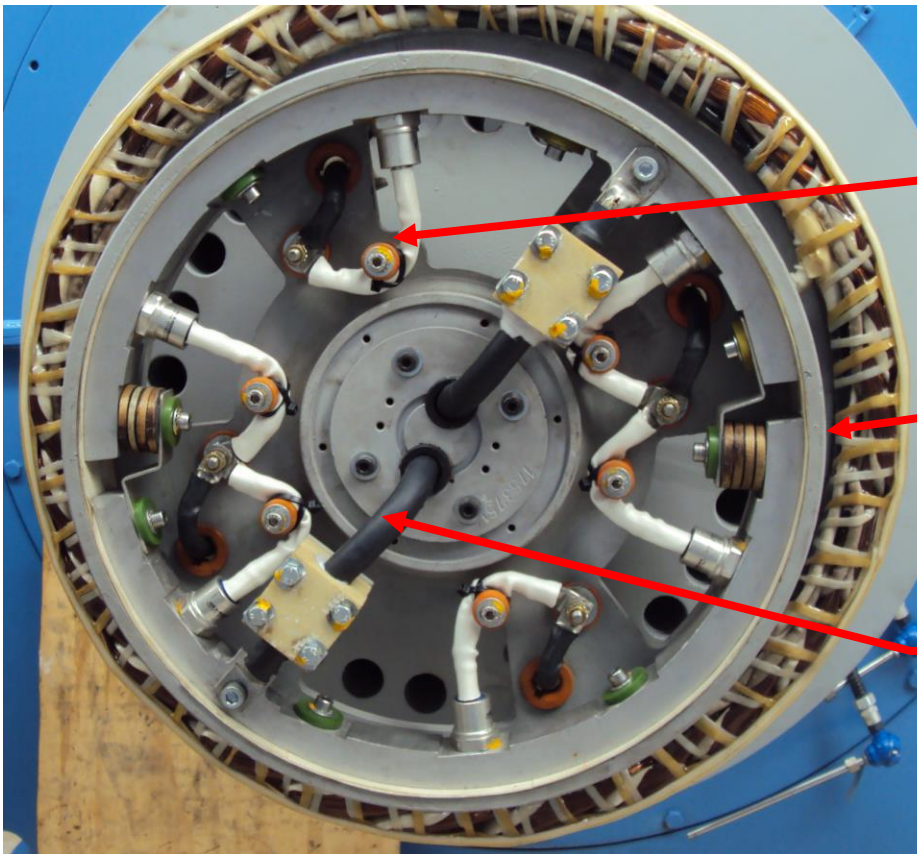
SISTEMA DE EXCITACIÓN BRUSHLESS



SISTEMA DE EXCITACIÓN BRUSHLESS



Fuente: Acervo próprio



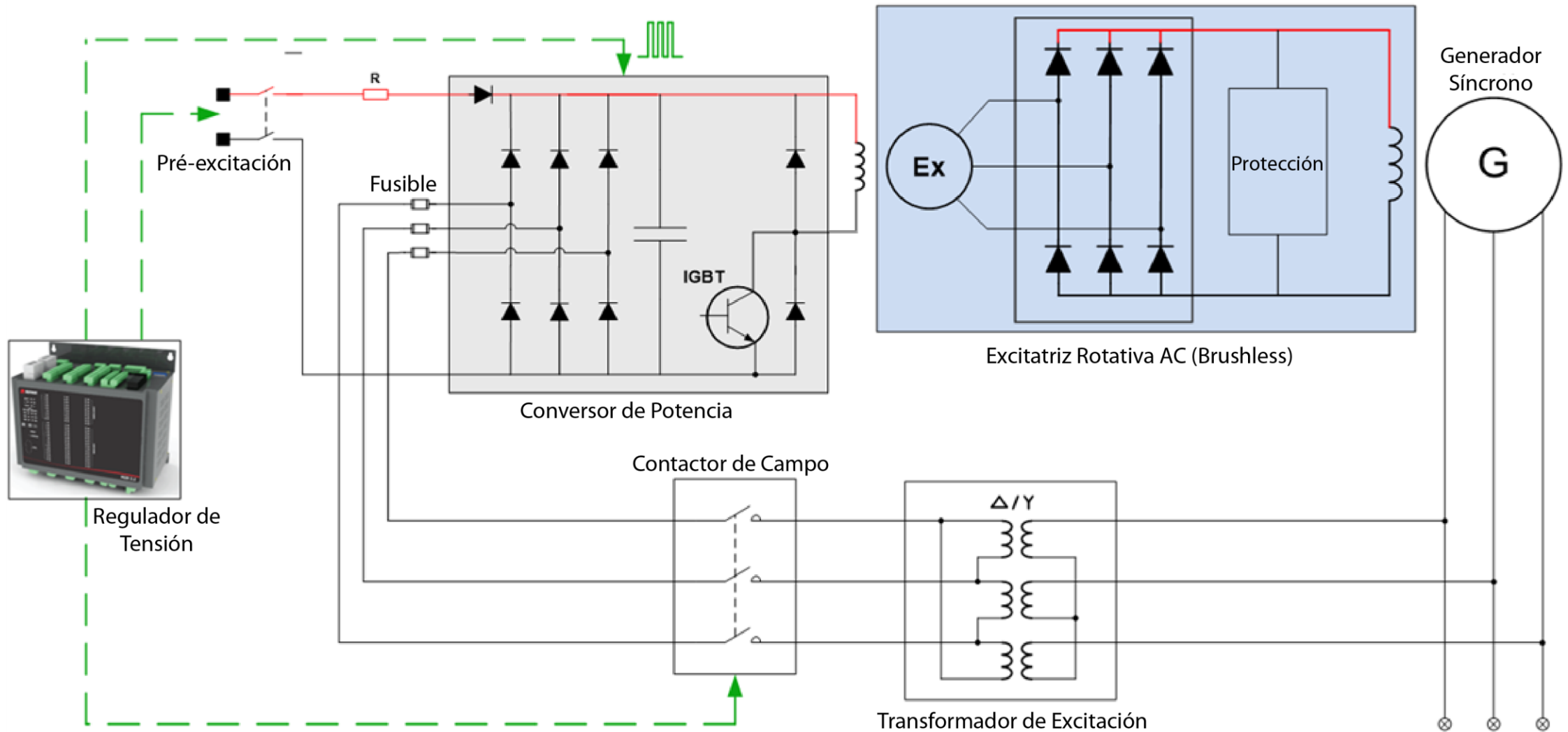
Fuente: Acervo próprio

Diodos Rotativos

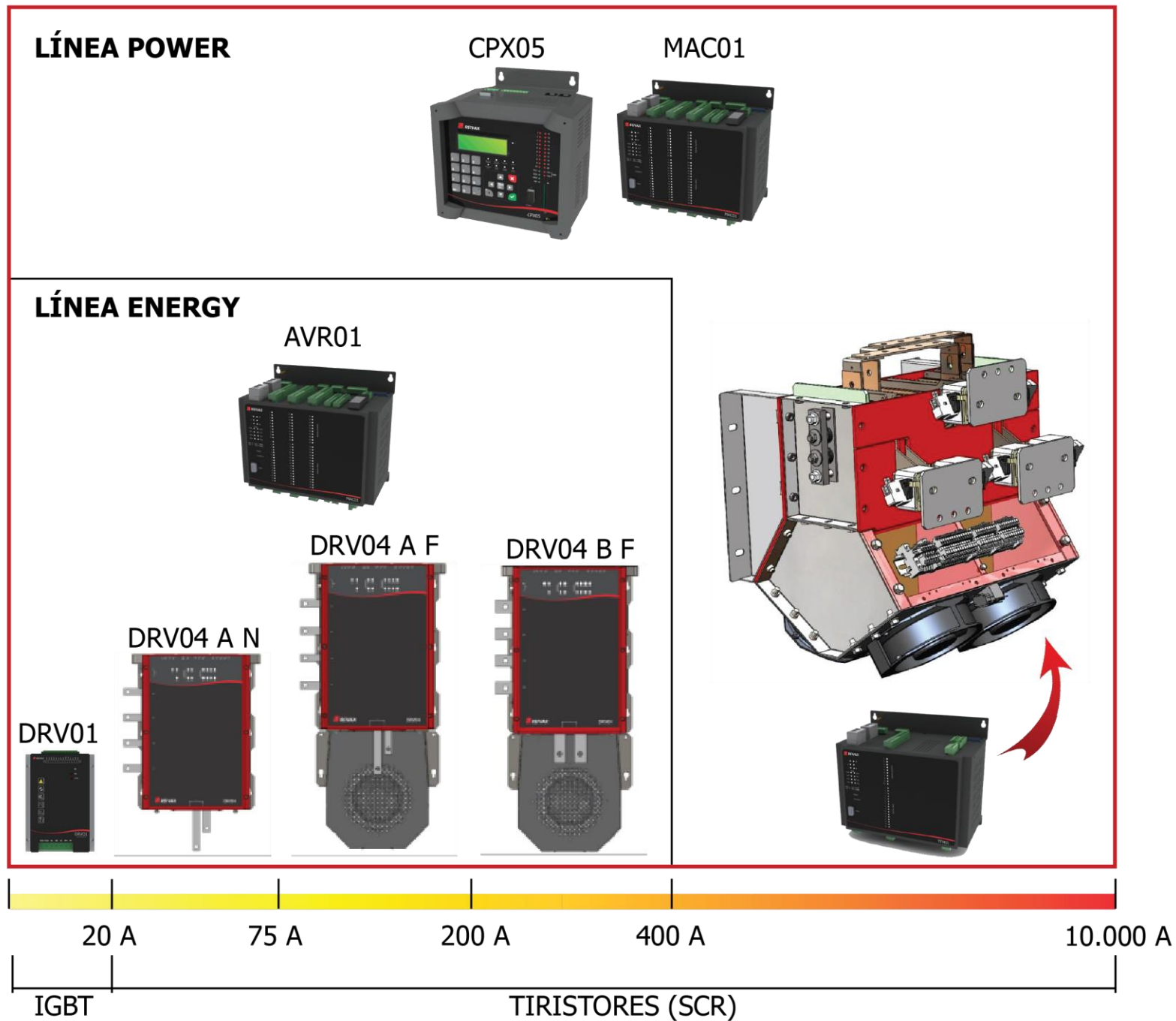
Campo de la Excitatriz

Campo del Generador

SISTEMA DE EXCITACIÓN BRUSHLESS

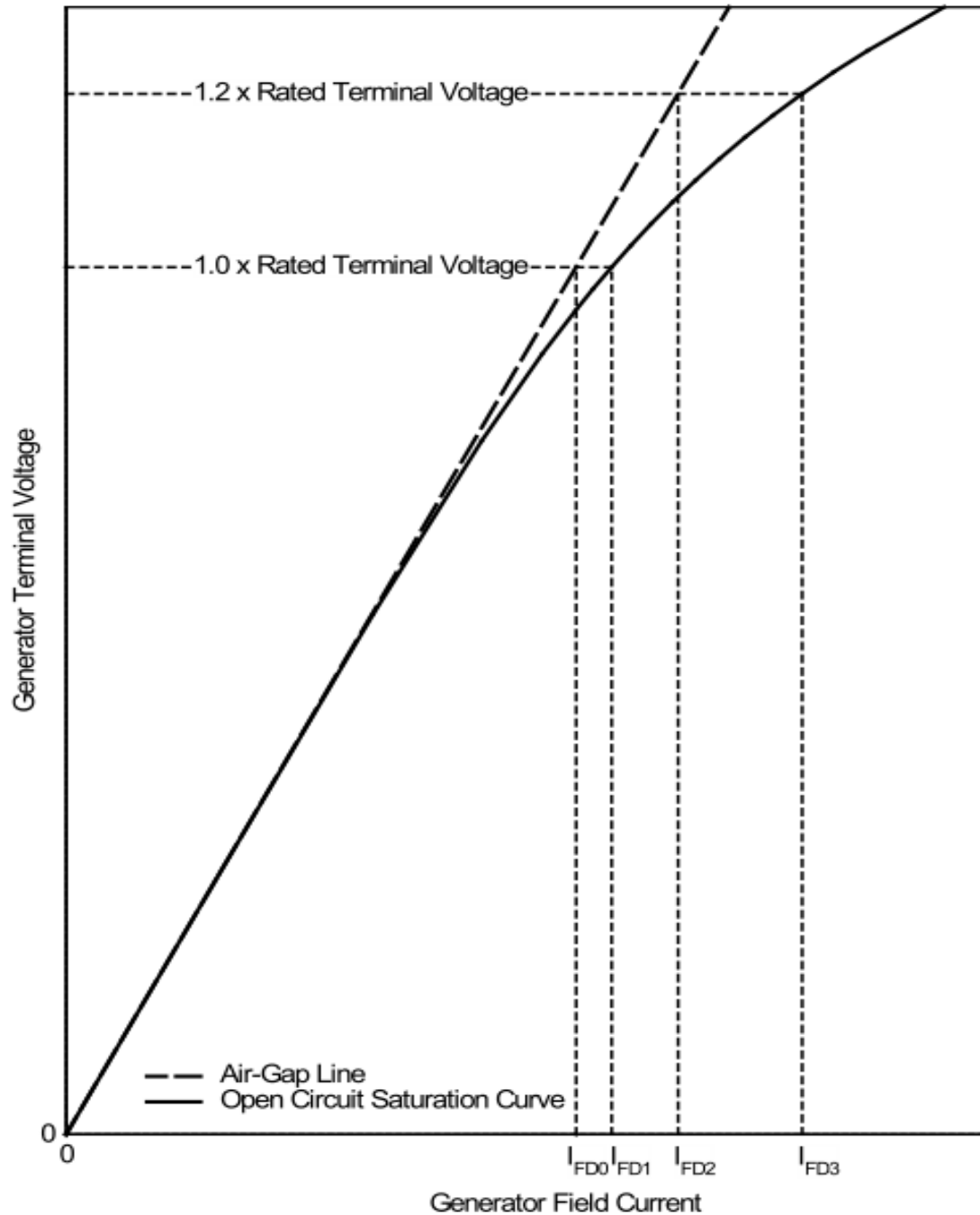


CONVERSORES DE POTENCIA



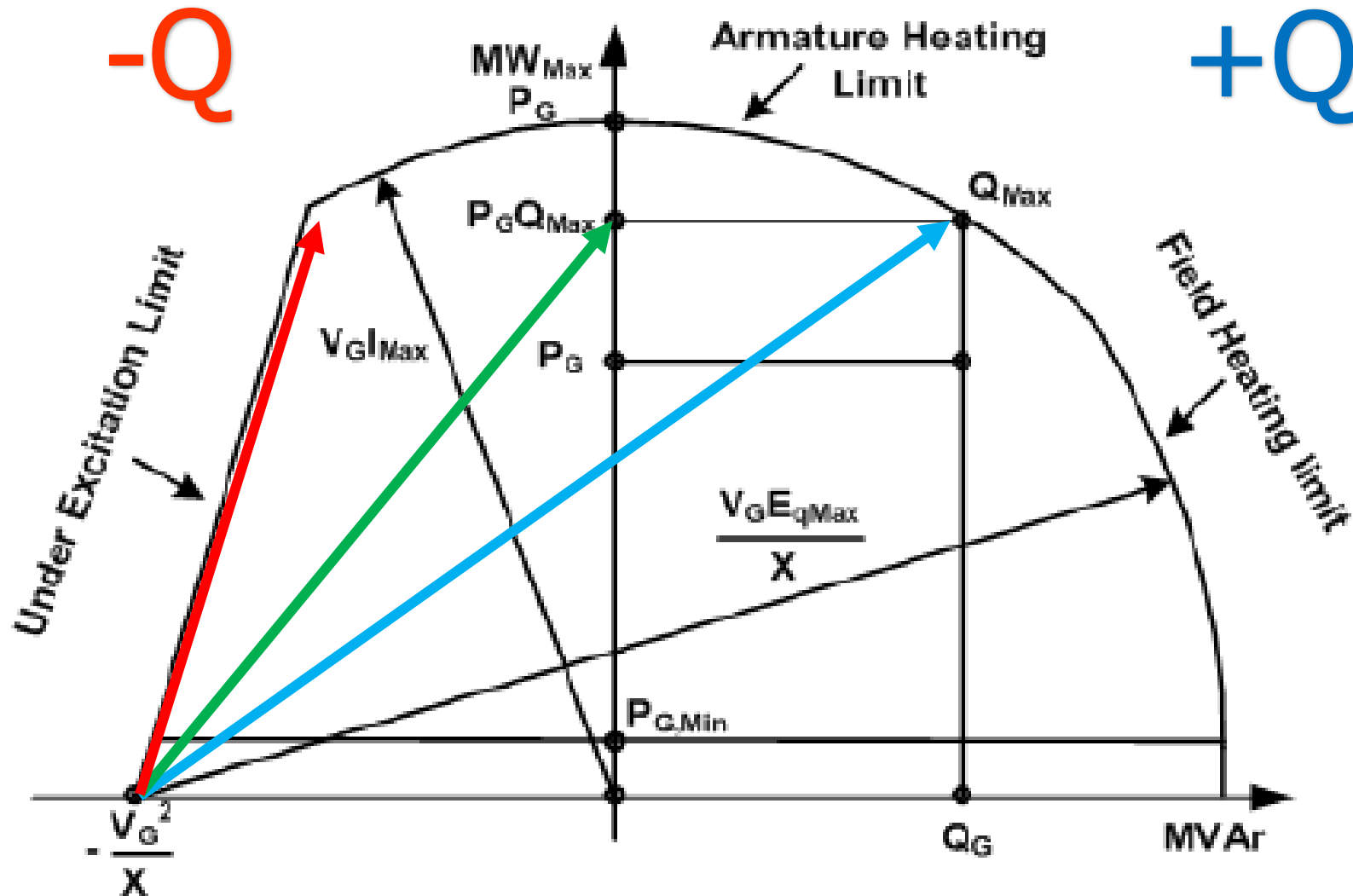
TERCERA PARTE

FUNDAMENTOS DEL CONTROL DE TENSION

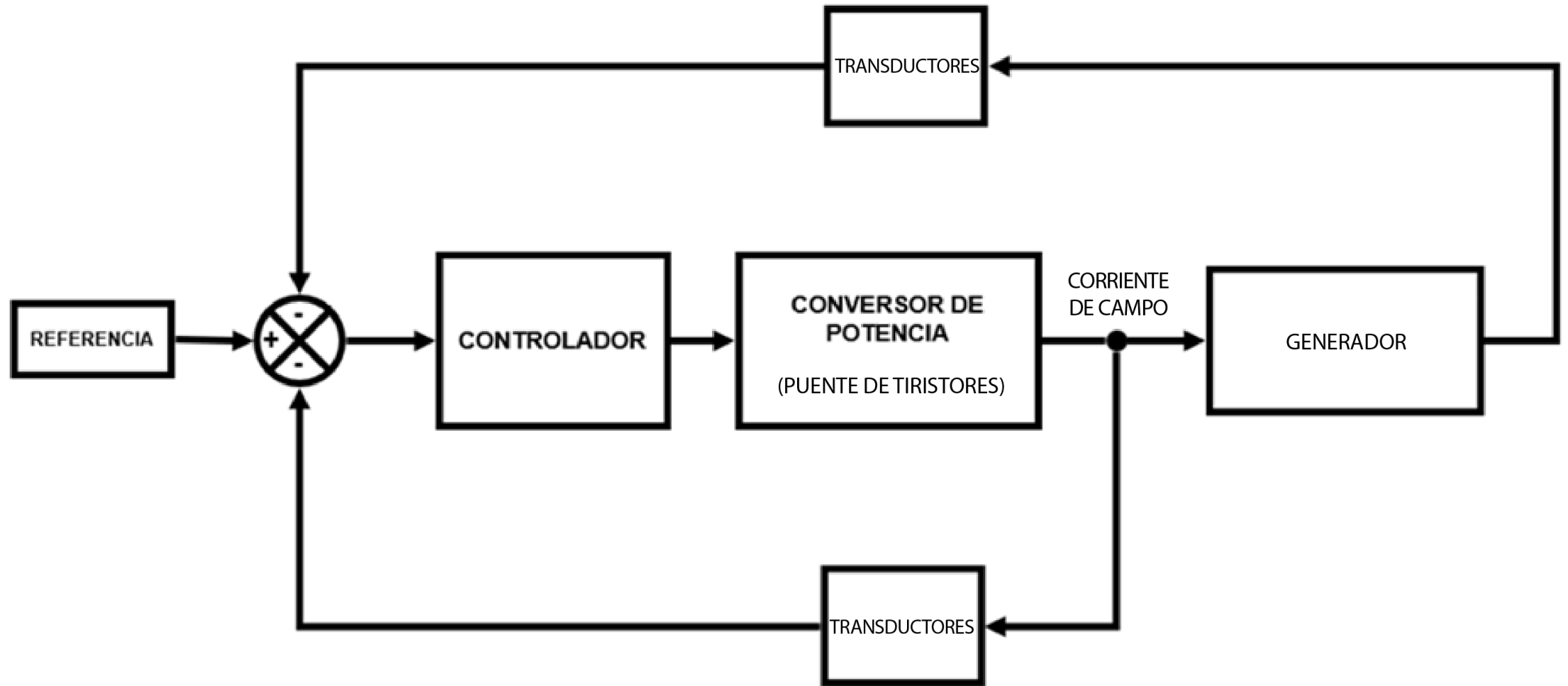


FUNDAMENTOS DEL CONTROL DE TENSIÓN

FUNDAMENTOS DEL CONTROL DE TENSIÓN



FUNDAMENTOS DEL CONTROL DE TENSIÓN



CUARTA PARTE

MODOS DE CONTROL

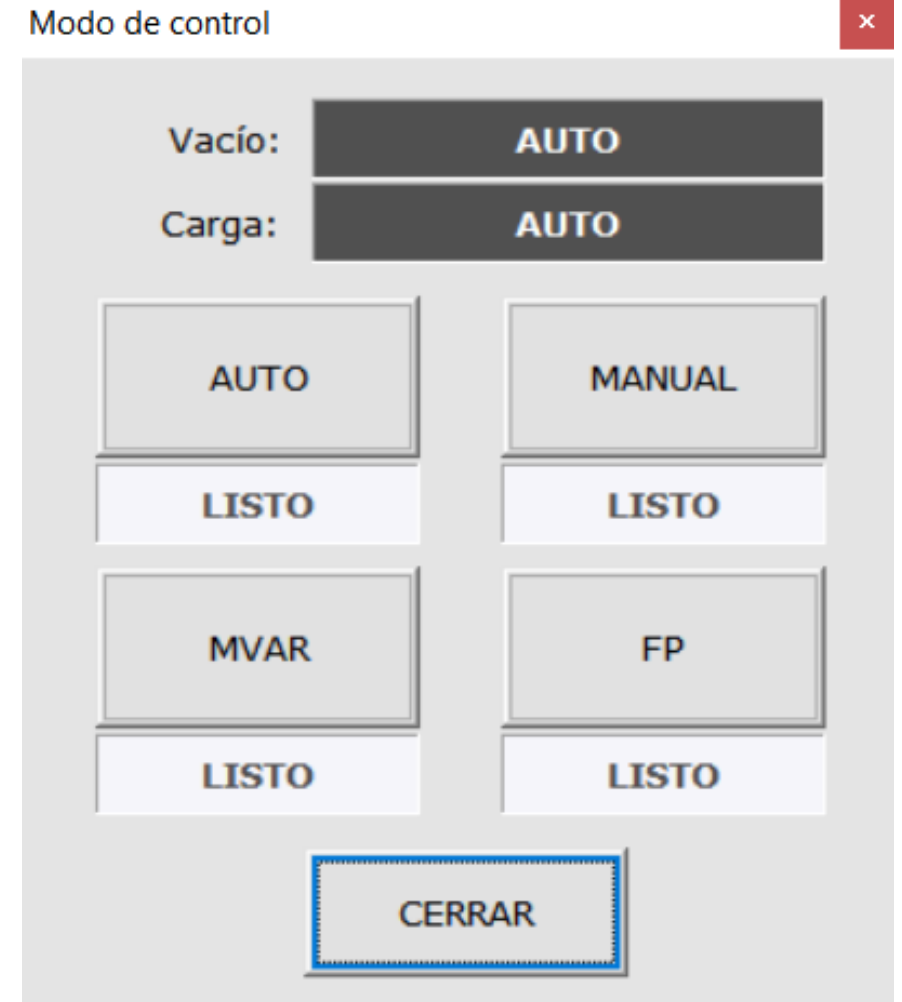
MODOS DE CONTROL DEL RT

Operación en Vacío (Off-line):

- Auto – Tensión Terminal
- Manual – Corriente de Campo

Operación en Carga (On-line):

- Auto – Tensión Terminal
- Manual – Corriente de Campo
- VAR – Reactivos
- FP – Factor de Potencia



MODOS DE CONTROL DEL RT

Automático - Tensión Terminal

The interface displays several key metrics and control elements:

- TENSIÓN TERMINAL (kV):** Gauge showing 13,80 kV. Reference (Ref.) is 13,80.
- CORRIENTE DE CAMPO (A):** Gauge showing 1267,9 A. Reference (Ref.) is 1267,9.
- POTENCIA REACTIVA (MVar):** Gauge showing 6,51 MVar. Reference (Ref.) is 6,51.
- FACTOR DE POTENCIA:** Gauge showing 0,9967. Reference (Ref.) is 0,9967.
- MEDICIONES:**
 - POTENCIA ACTIVA (MW): 80,44
 - FRECUENCIA (Hz): 60,00
 - TENSIÓN DE CAMPO (V): 253,6
 - CORRIENTE ESTATÓRICA (A): 3376
 - TEMPERATURA CAMPO (°C): 0,0
- SUPERVISIÓN:**
 - PROTECCIÓN NO ACTUADA (86): 50/62BF NO ACTIVO
 - EMERGENCIA NO ACTUADA
 - PERMISIBLE EXCITACIÓN NO ACTIVO
 - LIMITADOR NO ACTUADO
 - PROTECCIÓN NO ACTUADA
 - MODO PRUEBA
 - PSS HABILITADO
 - 31 ABIERTO
 - 41 CERRADO
 - 52 CERRADO
 - RETIRADA REACTIVO (RQN) NO ACTUADO
- REFERENCIA MODO ACTIVO:** Controls for MIN (-) and MAX (+).
- Modo control:** Includes buttons for AUTO, Selección canal, Curva de capacidad, Supervisión de puentes, Mando, EXCITAR, RETIRAR CARGA, DESEXCITAR, MANIOBRAR 41, and SINCRONIZADOR.
- Bottom Navigation:** Operación, Eventos, Gráficas, Prueba, Setup, Regulador de Tensión.

MODOS DE CONTROL DEL RT

Manual – Corriente de Campo

The interface displays several key metrics and control elements:

- TENSIÓN TERMINAL (kV):** Gauge showing 13,80 kV. Reference (Ref.) is 13,80.
- CORRIENTE DE CAMPO (A):** Gauge showing 1266,9 A. Reference (Ref.) is 1266,9.
- POTENCIA REACTIVA (MVar):** Gauge showing 6,49 MVar. Reference (Ref.) is 6,49.
- FACTOR DE POTENCIA:** Gauge showing 0,9967. Reference (Ref.) is 0,9967.
- MEDICIONES:**
 - POTENCIA ACTIVA (MW): 80,25
 - FRECUENCIA (Hz): 60,00
 - TENSIÓN DE CAMPO (V): 253,4
 - CORRIENTE ESTATÓRICA (A): 3368
 - TEMPERATURA CAMPO (°C): 0,0
- SUPERVISIÓN:**
 - PROTECCIÓN NO ACTUADA (86): 50/62BF NO ACTIVO
 - EMERGENCIA NO ACTUADA
 - PERMISIBLE EXCITACIÓN NO ACTIVO
 - LIMITADOR NO ACTUADO
 - PROTECCIÓN NO ACTUADA
 - MODO PRUEBA
 - PSS HABILITADO
 - 31 ABIERTO
 - 41 CERRADO
 - 52 CERRADO
 - RETIRADA REACTIVO (RQN) NO ACTUADO
- REFERENCIA MODO ACTIVO:** Controls for MIN (-) and MAX (+).
- Modo control:** Includes MANUAL, Selección canal, Curva de capacidad, and Supervisión de puentes.
- Mando:** Includes EXCITAR, RETIRAR CARGA, DESEXCITAR, MANIOBRAR 41, and SINCRONIZADOR.
- Navigation Bar:** Operación, Eventos, Gráficas, Prueba, Setup, Regulador de Tensión.

MODOS DE CONTROL DEL RT

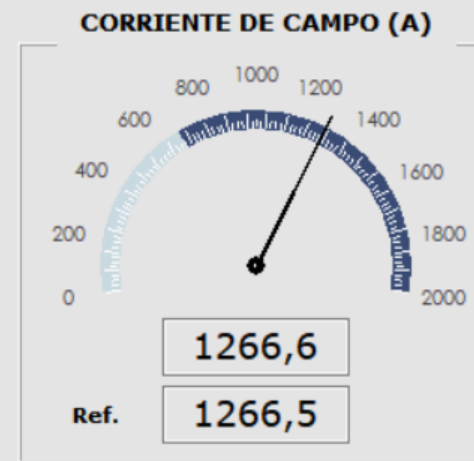
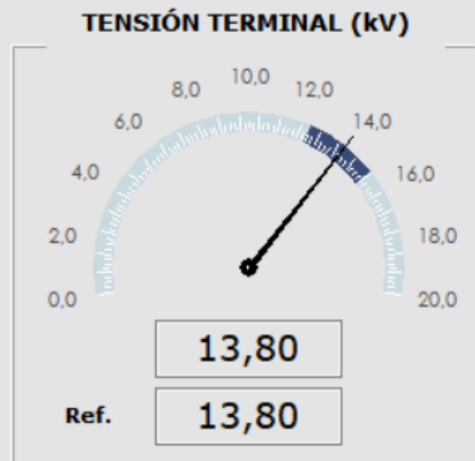
VAR – Potencia Reactiva

The interface displays several key metrics and control elements:

- TENSIÓN TERMINAL (kV):** Gauge showing 13,80 kV. Reference (Ref.) is 13,80.
- CORRIENTE DE CAMPO (A):** Gauge showing 1266,8 A. Reference (Ref.) is 1266,9.
- POTENCIA REACTIVA (MVar):** Gauge showing 6,55 MVar. Reference (Ref.) is 6,55.
- FACTOR DE POTENCIA:** Gauge showing 0,9967. Reference (Ref.) is 0,9967.
- MEDICIONES:**
 - POTENCIA ACTIVA (MW): 80,14
 - FRECUENCIA (Hz): 60,00
 - TENSIÓN DE CAMPO (V): 253,4
 - CORRIENTE ESTATÓRICA (A): 3363
 - TEMPERATURA CAMPO (°C): 0,0
- SUPERVISIÓN:**
 - PROTECCIÓN NO ACTUADA (86): 50/62BF NO ACTIVO
 - EMERGENCIA NO ACTUADA
 - PERMISIBLE EXCITACIÓN NO ACTIVO
 - LIMITADOR NO ACTUADO
 - PROTECCIÓN NO ACTUADA
 - MODO PRUEBA
 - PSS HABILITADO
 - 31 ABIERTO
 - 41 CERRADO
 - 52 CERRADO
 - RETIRADA REACTIVO (RQN) NO ACTUADO
- REFERENCIA MODO ACTIVO:** Controls for MIN (-) and MAX (+).
- Modo control:**
 - MVAR
 - Selección canal
 - Curva de capacidad
 - Supervisión de puentes
- Mando:**
 - EXCITAR
 - RETIRAR CARGA
 - DESEXCITAR
 - MANIOBRAR 41
 - SINCRONIZADOR
- Operación:**
 - Eventos
 - Gráficas
 - Prueba
 - Setup
 - Regulador de Tensión

MODOS DE CONTROL DEL RT

FP –
Factor de Potencia



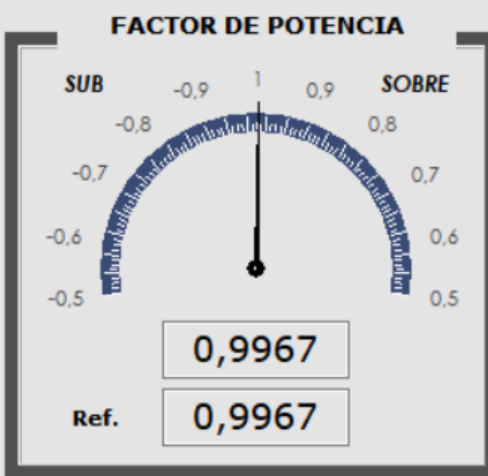
MEDICIONES

80,09	POTENCIA ACTIVA (MW)
60,00	FRECUENCIA (Hz)
253,3	TENSIÓN DE CAMPO (V)
3361	CORRIENTE ESTATÓRICA (A)
0,0	TEMPERATURA CAMPO (°C)

REFERENCIA MODO ACTIVO

- +

MIN MAX



SUPERVISIÓN

PROTECCIÓN NO ACTUADA (86)
50/62BF NO ACTIVO
EMERGENCIA NO ACTUADA
PERMISIBLE EXCITACIÓN NO ACTIVO
LIMITADOR NO ACTUADO
PROTECCIÓN NO ACTUADA
MODO PRUEBA
PSS HABILITADO
31 ABIERTO
41 CERRADO
52 CERRADO
RETIRADA REACTIVO (RQN) NO ACTUADO

Modo control

FP

Selección canal

Curva de capacidad

Supervisión de puentes

Mando

EXCITAR

RETIRAR CARGA

DESEXCITAR

MANIOBRAR 41

SINCRONIZADOR

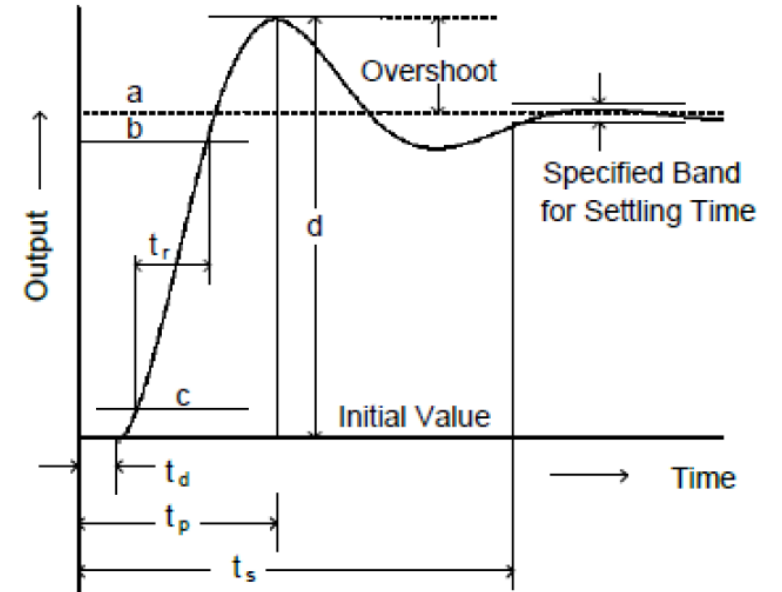
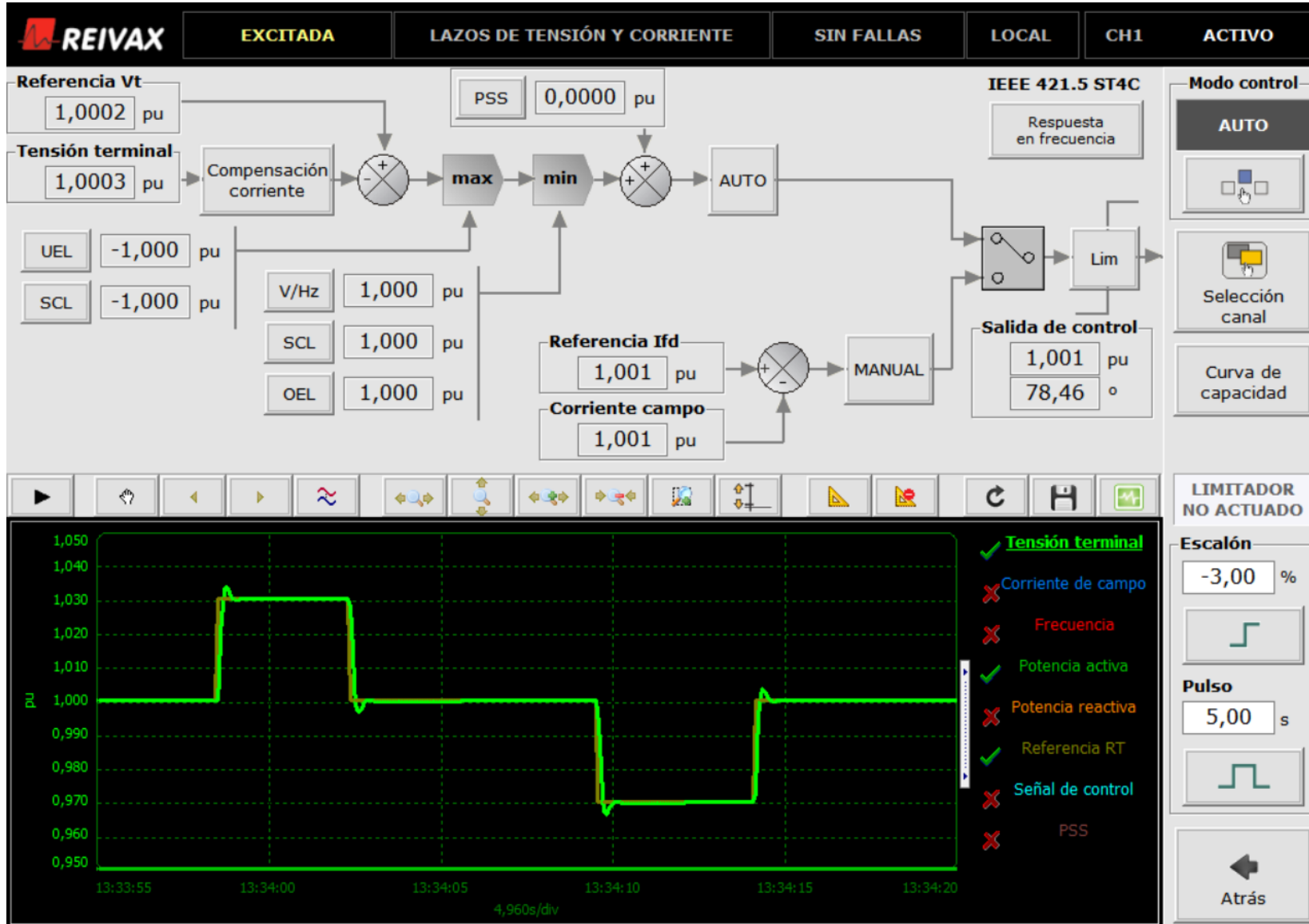


QUINTA PARTE

RESPUESTA DINÁMICA

RESPUESTA DINÁMICA

Fuente: RTVX POWER DEMO



a: Steady-state value
 b: 90% of steady-state value
 c: 10% of steady-state value
 d: Peak value

t_d : Delay time
 t_p : Time to reach peak value
 t_s : Settling time
 t_r : Rise time

IEEE 421.2

RESPUESTA DINÁMICA

T'do
 Constante de tiempo transitoria en circuito abierto segun el eje directo

REIVAX | EN CARGA | LAZOS DE TENSIÓN Y CORRIENTE | SIN FALLAS | LOCAL | CH1 | ACTIVO

Referencia Vt: 0,9999 pu
 Tensión terminal: 0,9999 pu

Control Block Diagram: Compensación corriente → (+) → max → min → (+) → AUTO

IEEE 421.5 ST4C: Respuesta en frecuencia

Modo control: **AUTO**

Salida de control: 1,265 pu, 75,35 °

Parámetros control de tensión terminal:

	A vacío	En carga PSS no activo	En carga PSS activo
$K_p \left(1 + \frac{1}{sT_i}\right)$			
Kp	50,32	51,05	83,17
Ti	3,10 s	1,70 s	1,70 s

Auxiliar de sintonía: [CERRAR]

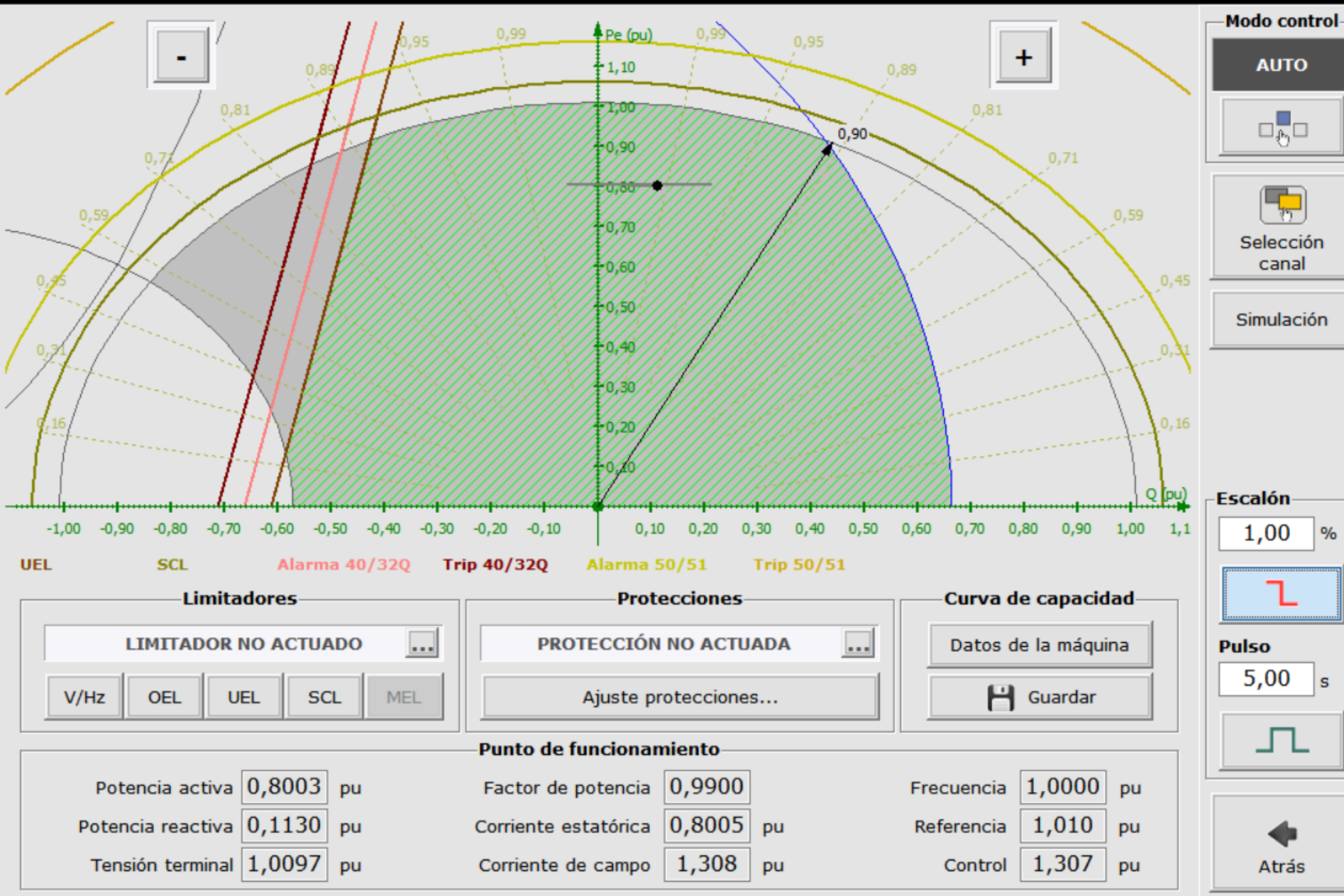
Auxiliar de sintonía - AUTO:

Constante de tiempo de la máquina (T'do): 4,000 s

	A vacío	En carga PSS no activo	En carga PSS activo
Kp	50,32	51,05	83,17
Ti	3,10 s	1,70 s	1,70 s

[APLICAR...] [CERRAR]

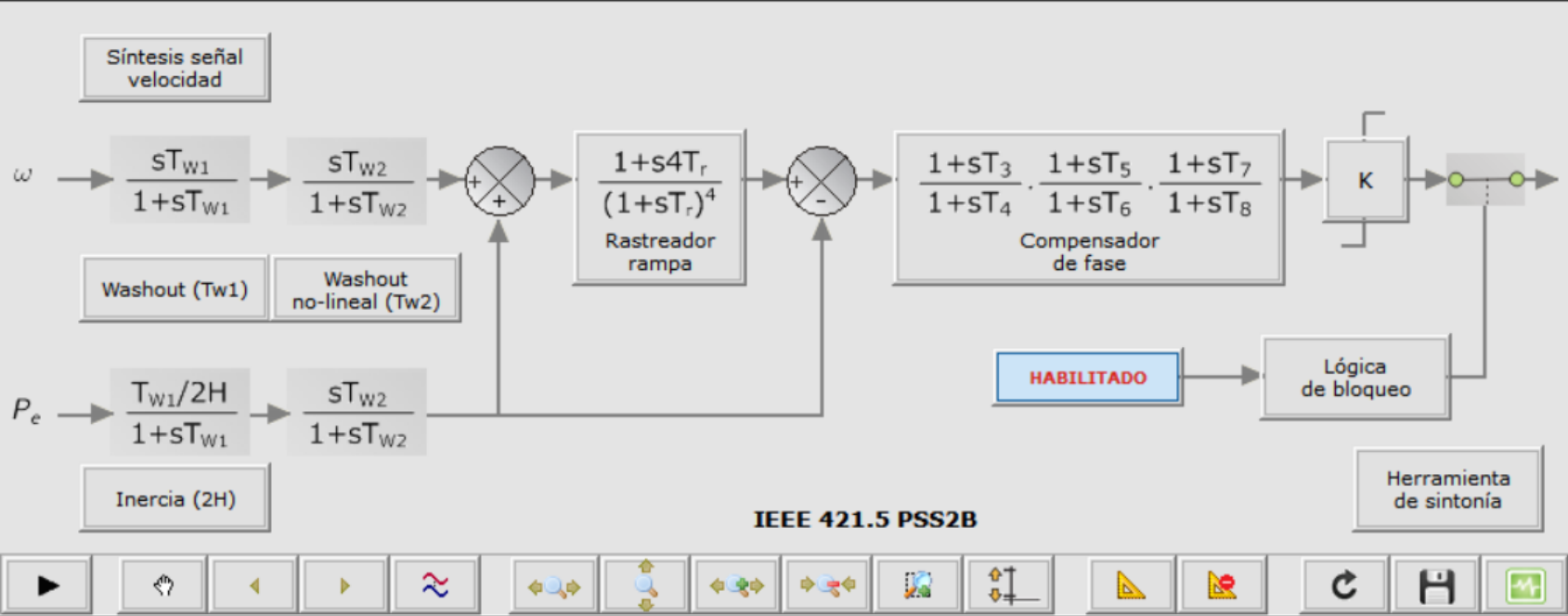
Plot: Vt (pu) vs Time (s). The plot shows a step change in voltage from 0,950 pu to 1,000 pu at 13:33:55, followed by a transient response that stabilizes around 13:34:05.



Limitadores Dinámicos

Funciones de Protección del Generador

ESTABILIZADOR



Modo control

AUTO

Selección canal



PSS ACTIVO

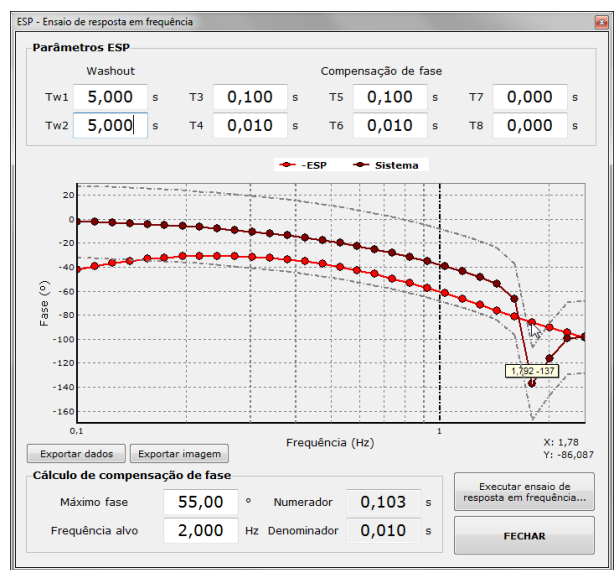
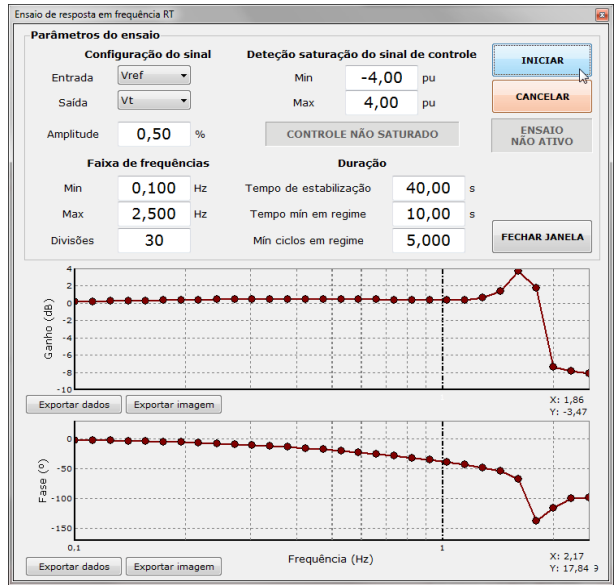
Escalaón

1,00 %

Pulso

5,00 s

Atrás



SEXTA PARTE

EVOLUCIÓN EN HARDWARE Y SOFTWARE

EVOLUCIÓN



Plataforma RACK

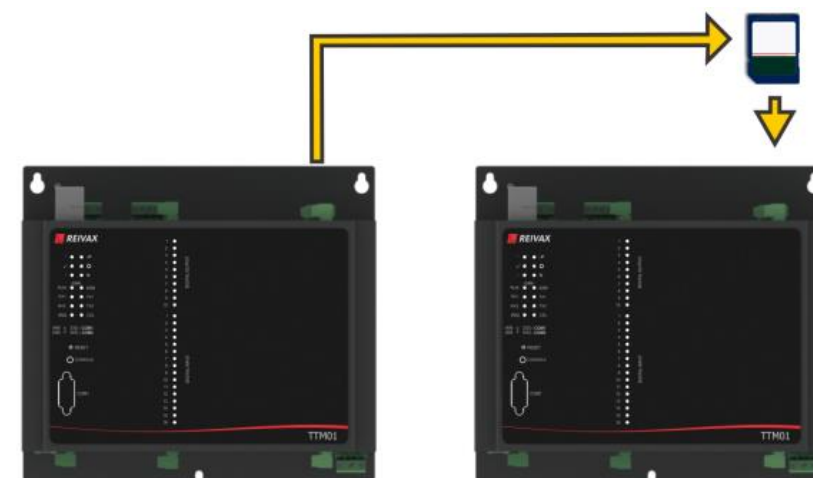
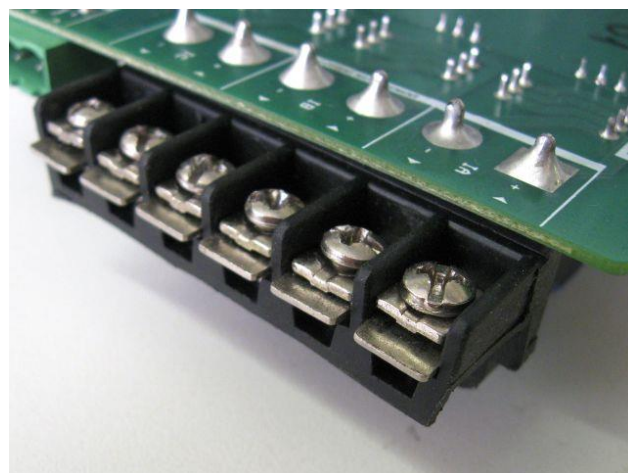
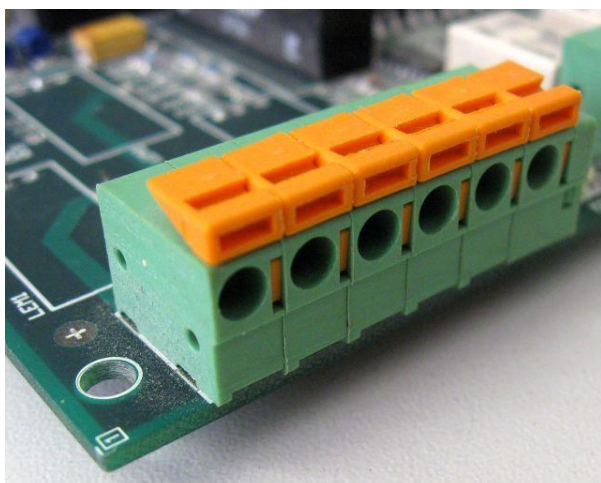
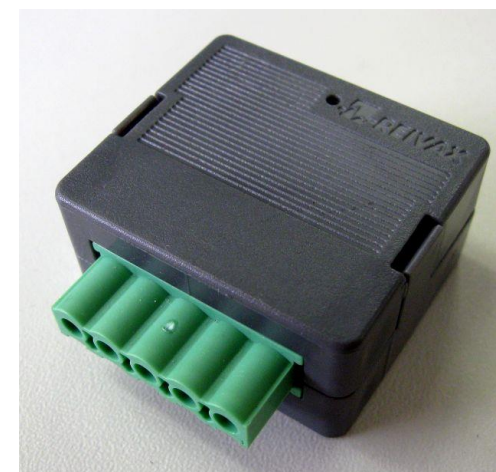
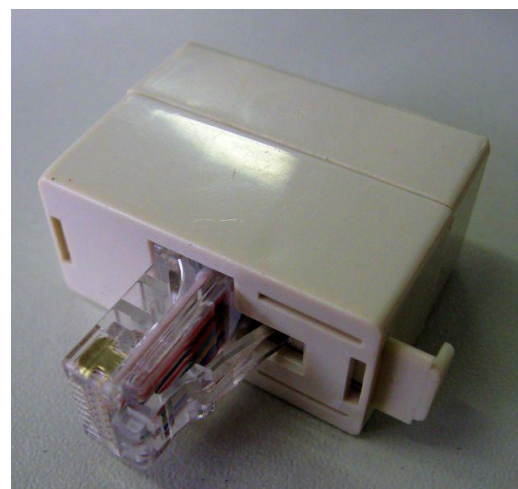
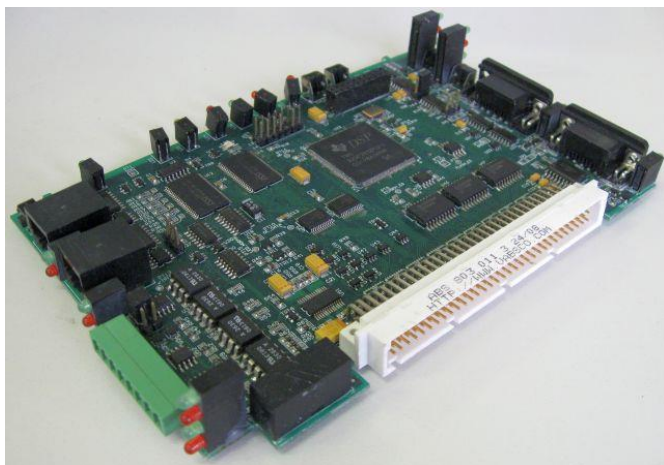


Plataforma POWER (G1)

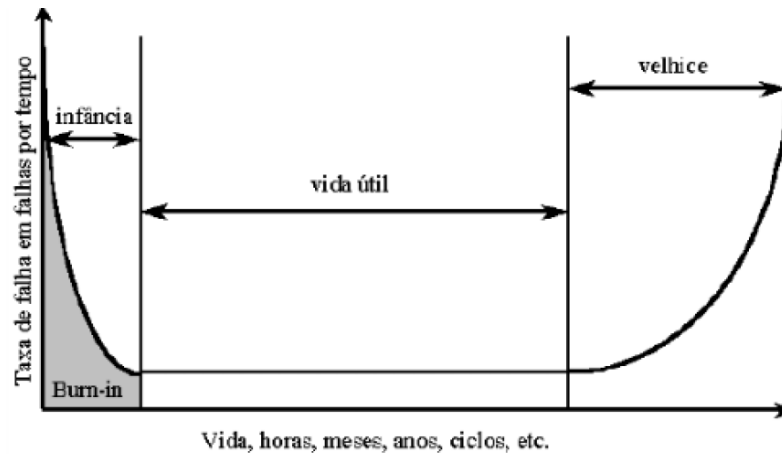
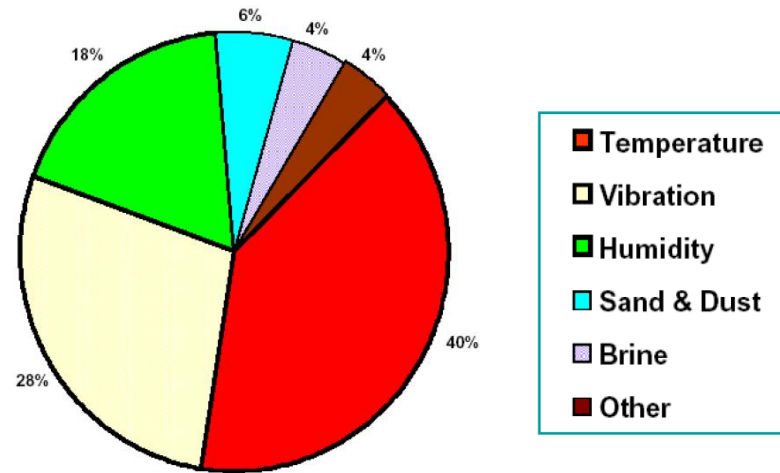


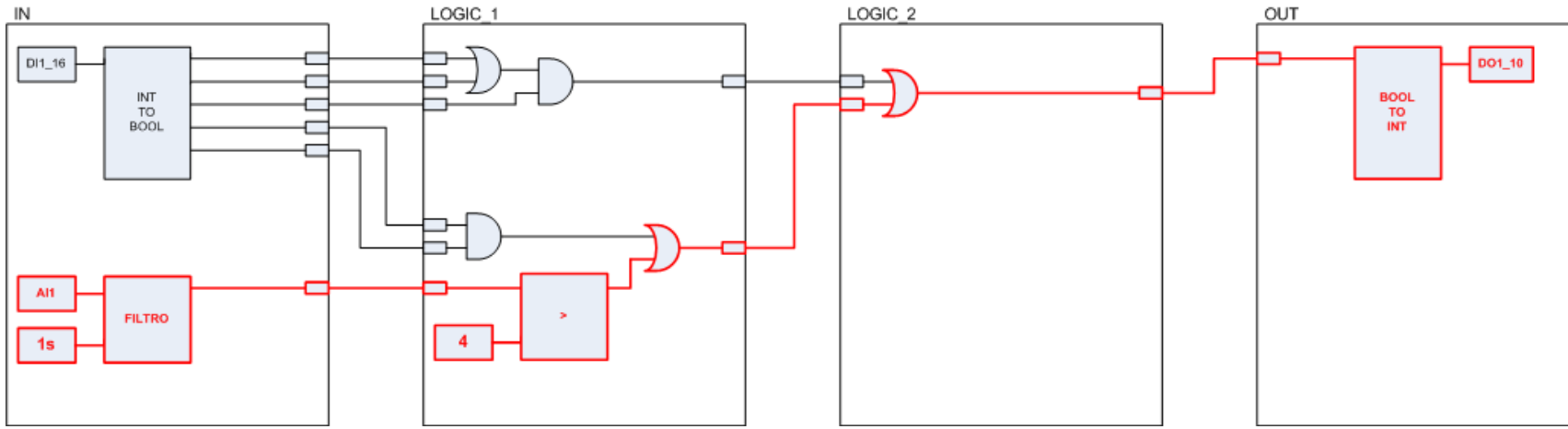
Plataforma POWER (G2)

EVOLUCIÓN

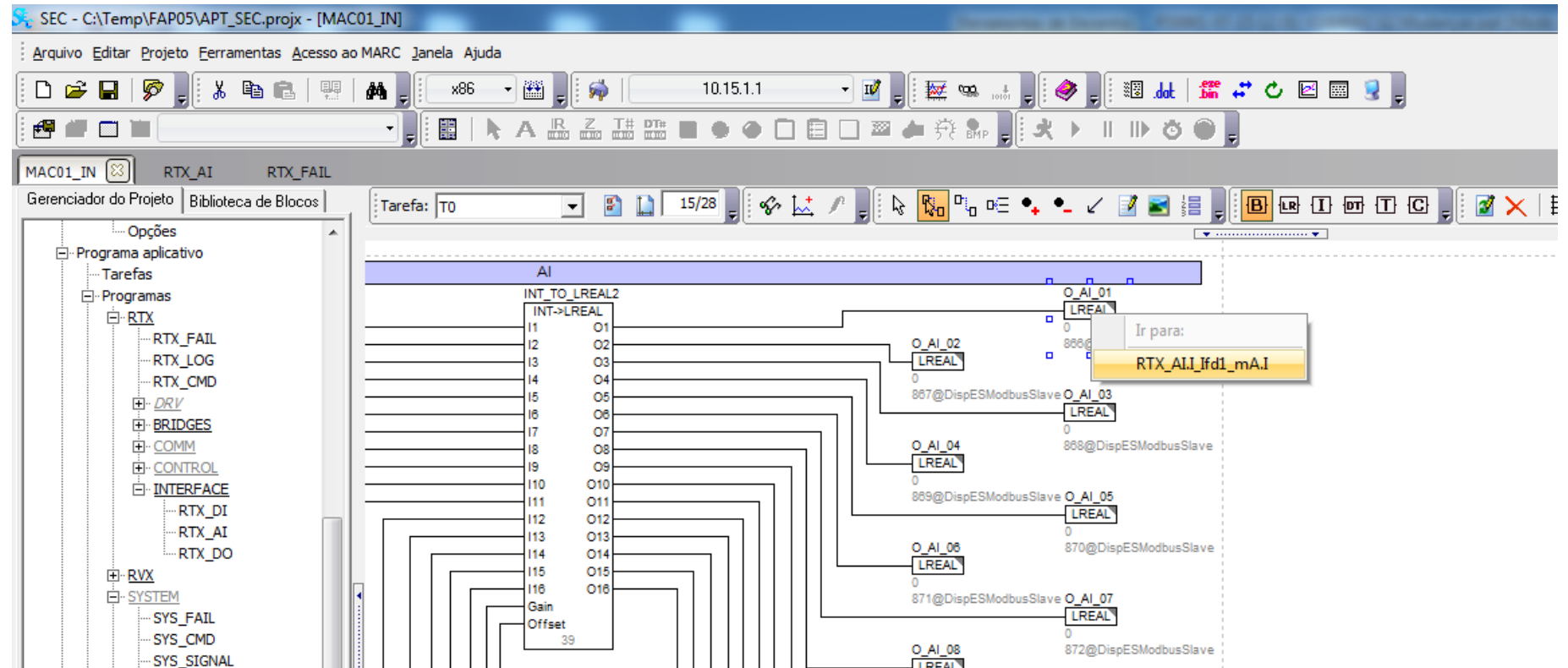


EVOLUCIÓN





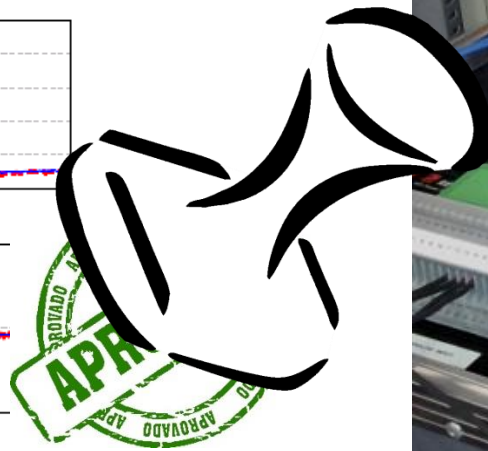
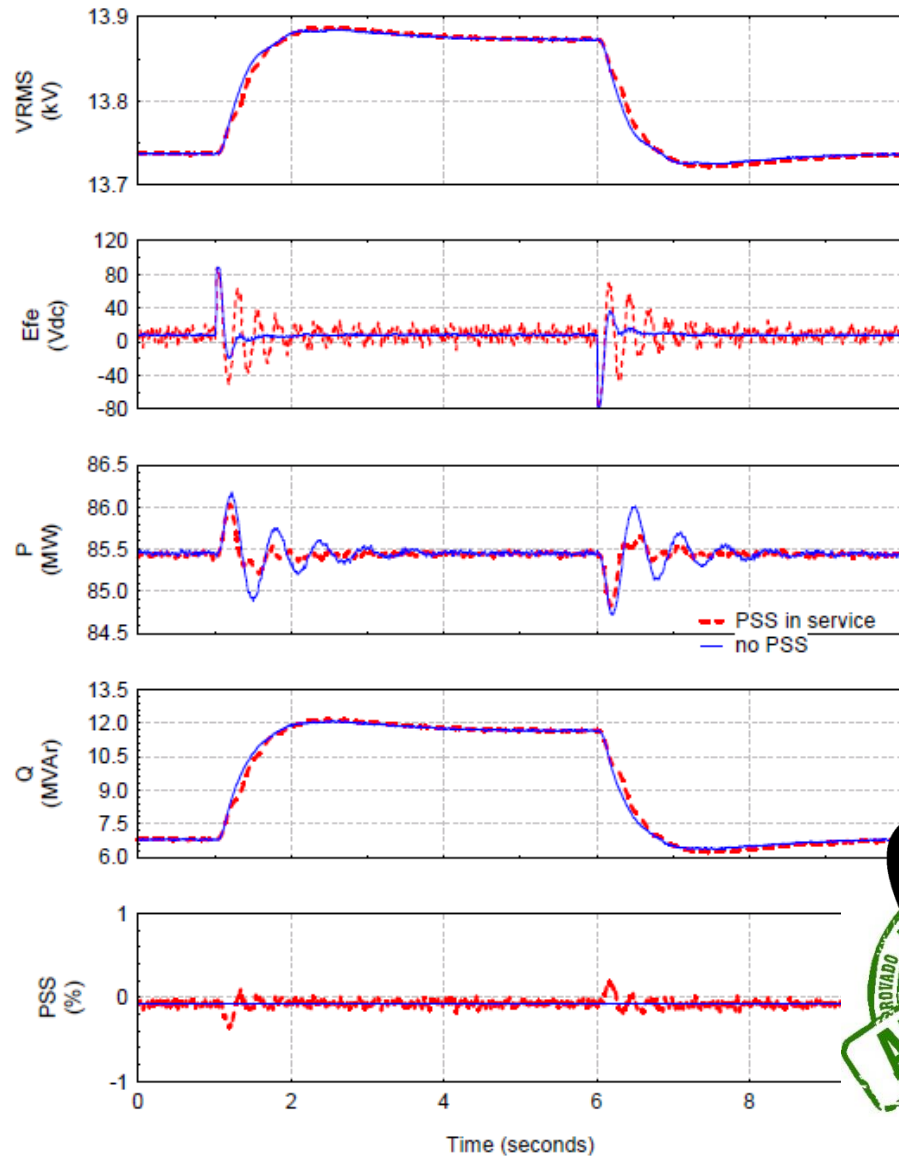
EVOLUCIÓN



EVOLUCIÓN



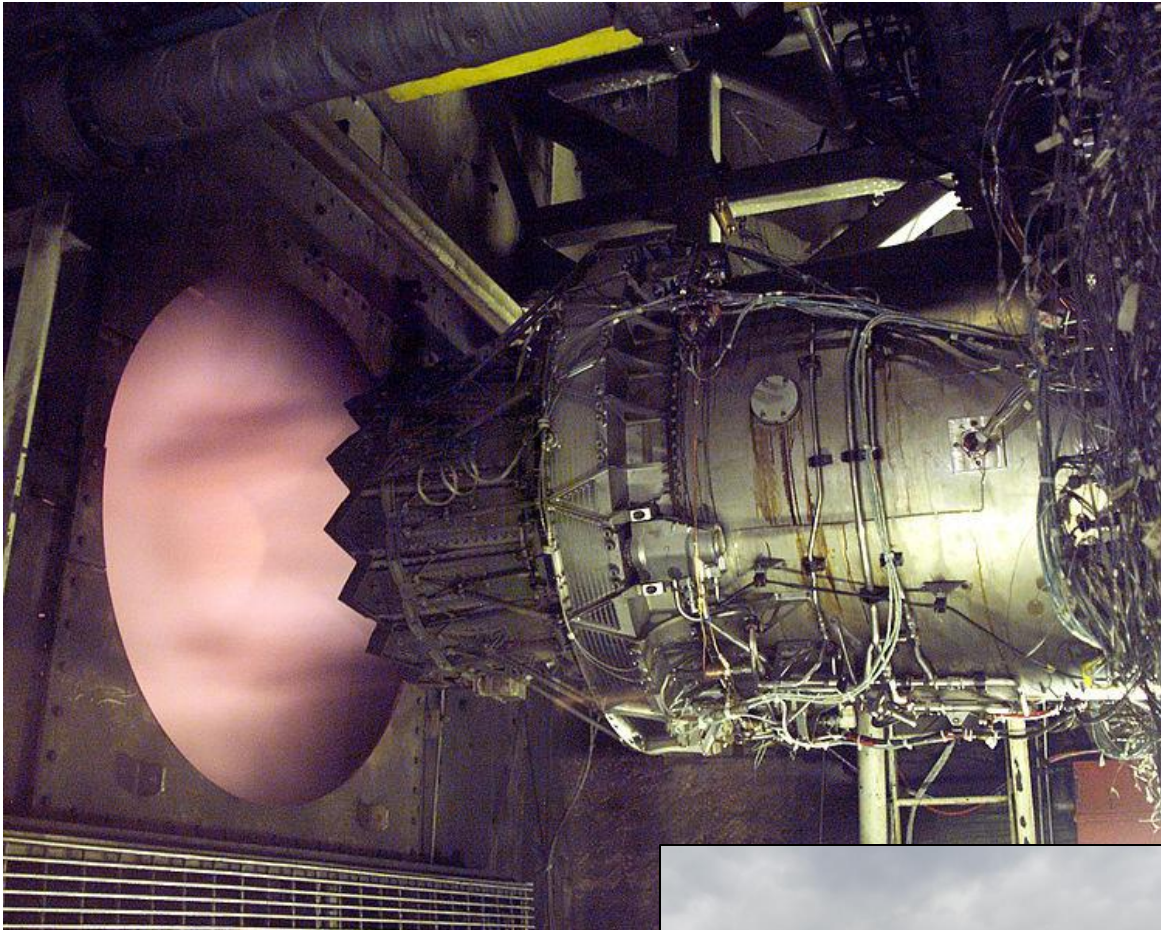
IEEE 421.5



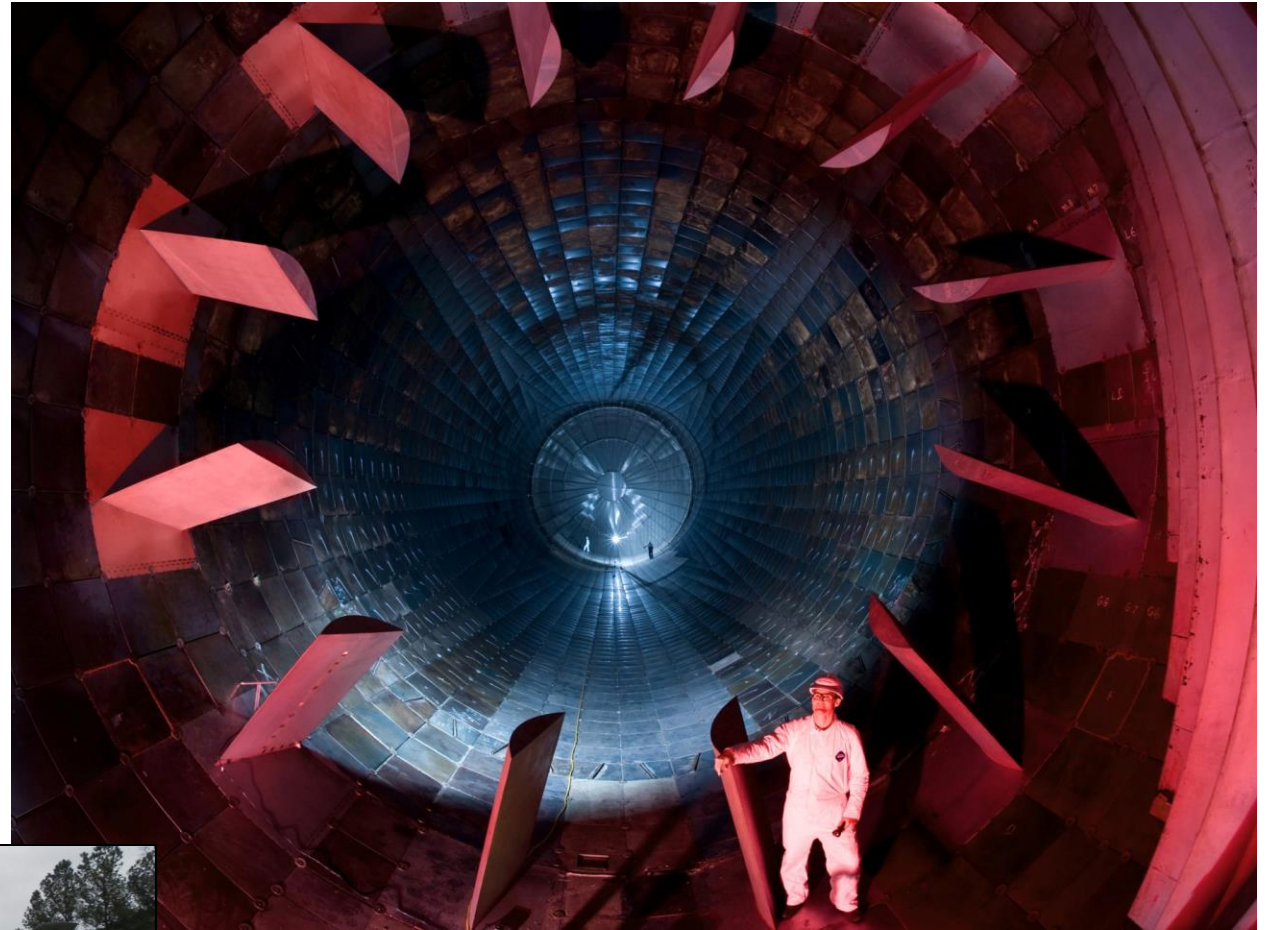
SETIMA PARTE

APLICACIONES

MOTORES: TÚNELES DE VIENTO



Fuente: fotos cedidas por AEDC.



Fuente: fotos cedidas por AEDC



MOTORES: TÚNELES DE VIENTO



MOTORES: PLANTAS REVERSIBLES



Fuente: <http://www.emae.com.br/conteudo.asp?id=Elevat%C3%B3rias>



Fuente: <http://www.emae.com.br/conteudo.asp?id=Elevat%C3%B3rias>

MOTORES: PLANTAS REVERSIBLES



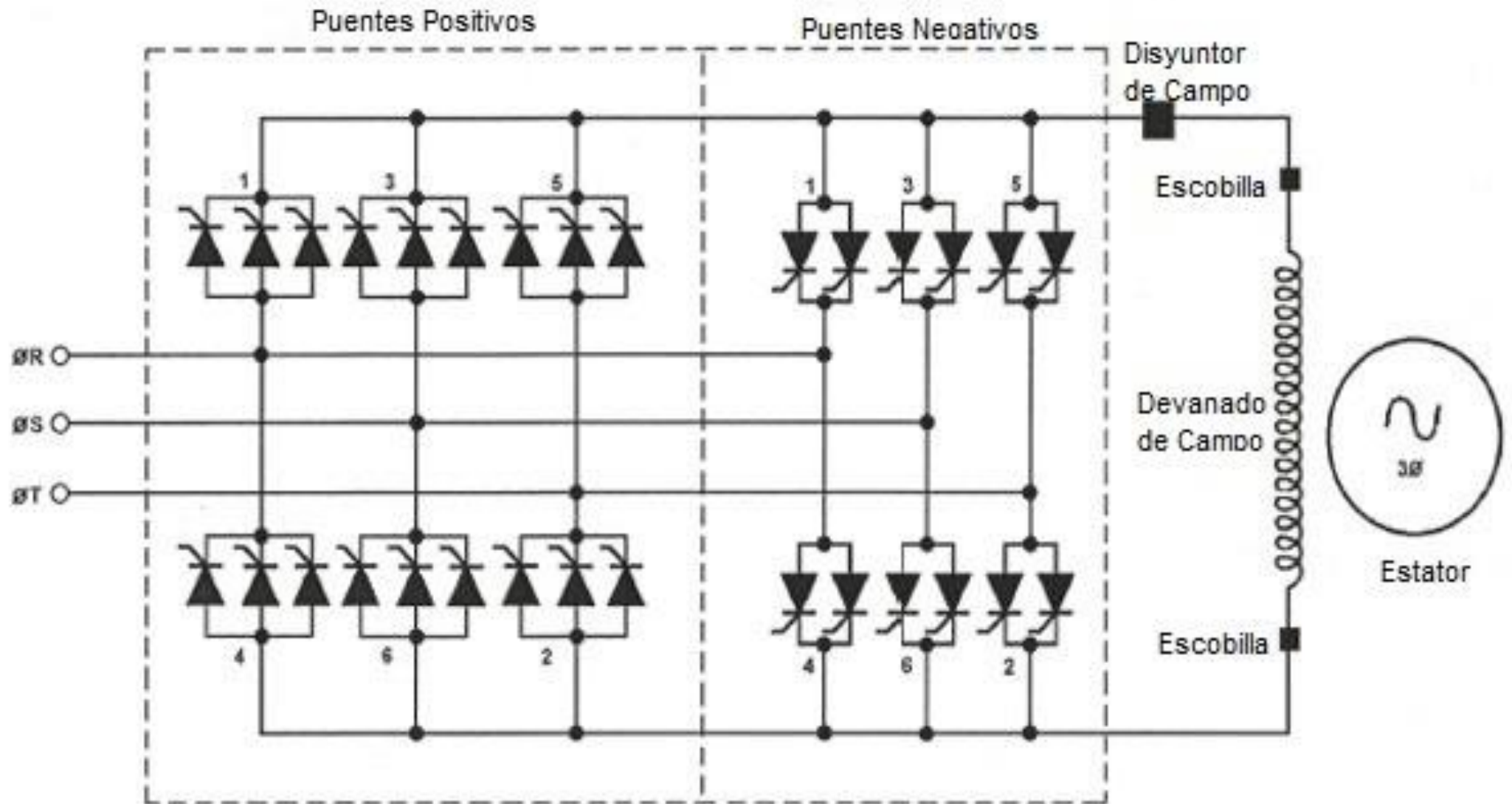
Fuente: <http://www.emae.com.br/conteudo.asp?id=Elevat%C3%B3rias>

COMPENSADORES: SUBESTACIONES



Fuente: Acervo propio

COMPENSADORES: SUBESTACIONES



COMPENSADORES: SUBESTACIONES



Fuente: Acervo próprio

COMPENSADORES: SUBESTACIONES

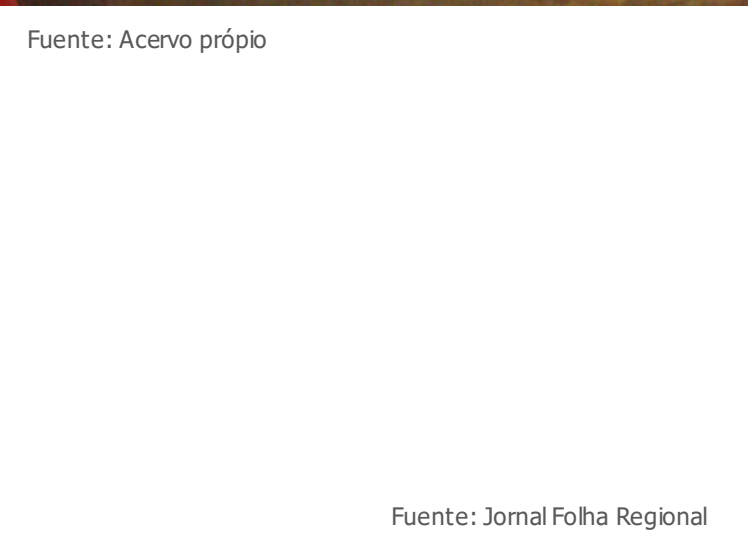


GENERADORES: TERMOELÉCTRICAS

Fuente: www.engie.com.br/complejo-gerador/usinas/complejo-termeletrico-jorge-lacerda/



GENERADORES: HIDROELÉCTRICAS





www.reivax.com

**REIVAX S/A AUTOMAÇÃO E
CONTROLE**

Rodovia José Carlos Daux, 600
João Paulo - 88030-904
Florianópolis - Brasil

Tel.: +55 48 3027-3700
Fax: +55 48 3027-3735

VENDAS@reivax.com

**REIVAX NORTH AMERICA,
INC**

666 Sherbrooke West, suite 900
Montreal, QC, H3A 1E7 - Canadá

Tel.: +1 438 288-0246
Fax: +1 514 228-7401

RNA@reivax.com

**REIVAX of SWITZERLAND
AG**

Stadtturmstrasse 19, 5400
Baden - Suíça

Tel.: +41 56 282 43 08
+41 79 300 54 30

RoS@reivax.com