

Situación actual del sistema eléctrico

Posibilidades de implementación de transmisión en corriente continua



- ✓ “Operación y despacho del vínculo HVDC Patagonia-GBA en el Sistema Argentino de Interconexión (SADI)”. UTN – FRBA. **Director: Ing. Raúl Villar.**
- ✓ “Clasificación y modelado de los fenómenos transitorios electromagnéticos para líneas de transmisión en corriente continua”. UTN – FRBA. **Director: Ing. Leonardo Casterás.**
- ✓ “Ingeniería de la Transmisión de energía por corriente continua en el corredor eléctrico patagónico”. UTN – FRBA. **Director: Ing. Raúl Villar.**
- ✓ “Factibilidad de la Transmisión de energía por Corriente Continua en el corredor eléctrico patagónico”. UTN – FRBA. **Director: Ing. Raúl Villar.**
- ✓ “Análisis de la conveniencia técnica y económica de la transmisión en corriente continua en el corredor eléctrico patagónico”. UTN – FRBA. **Director: Ing. Raúl Villar.**
- ✓ “Puesta a tierra de sistemas de transmisión en corriente continua”. FRGP, CIDIEE, UCA. **Director: Ing. Raúl Villar.**
- ✓ “Análisis de la corriente continua de retorno por el subsuelo terrestre de sistemas de Transmisión de alta tensión (HVDC) y la prevención de sus efectos”. UTN FRBA – FRGP, CIDIEE, UCA. **Director: Ing. Raúl Villar.**
- ✓ “Diseño y evaluación económica de la puesta a tierra de sistemas de transmisión en corriente continua de alta tensión (HVDC)”. UTN – FRBA. **Director: Ing. Raúl Villar.**

Los sistemas HVDC se convierten en una alternativa favorable con respecto a los sistemas trifásicos de CA cuando se tienen:

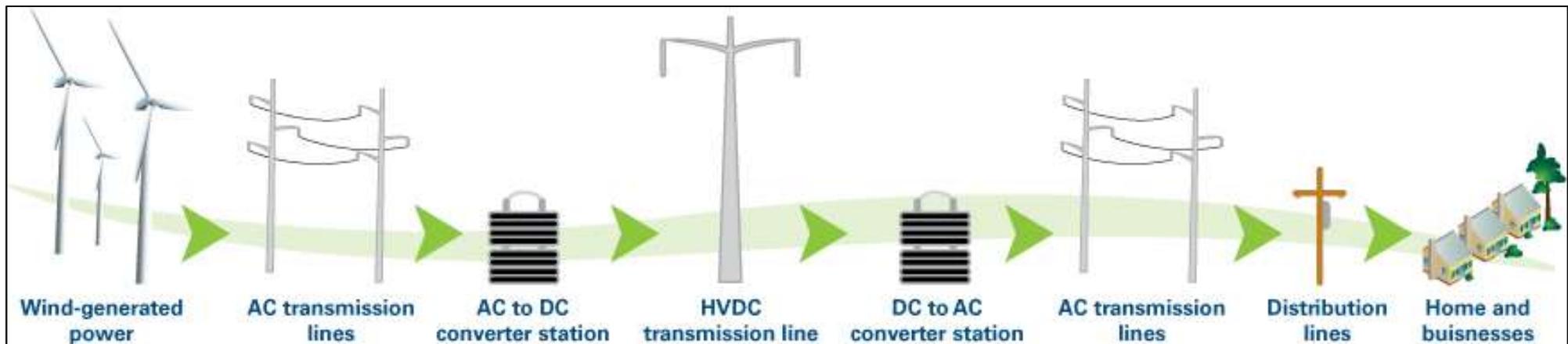
- *Transmisión de grandes potencias a grandes distancias*
- *Acoplamientos asincrónicos (muy favorable en redes débilmente malladas)*

Adicionalmente ofrece las siguientes ventajas:

- *Puede operar sin un polo (en CA no sin una fase)*
- *Mejor control del sistema (tensión y potencia)*
- *Mejora la estabilidad de una red*
- *Reducción de franja de servidumbre*
- *Reducción de costos operativos*
- *Aislamiento de transmisión de señales inestabilizantes entre sistemas*

Aplicación de sistemas HVDC:

- Transmisión entre 2 subestaciones
- Conversoras Back-to-Back (adaptadores de frecuencias)
- Sistema de transmisión HVDC Multiterminal
- Conexión de unidades de generación (energía renovable) a la red
- Interconexión con sistemas aislados remotos (islas)



Instalado al 2020:

Electroductos:

Potencia: 285.397 MW

Longitud: 95.705 km

Estaciones back to back:

Potencia: 32.324 MW

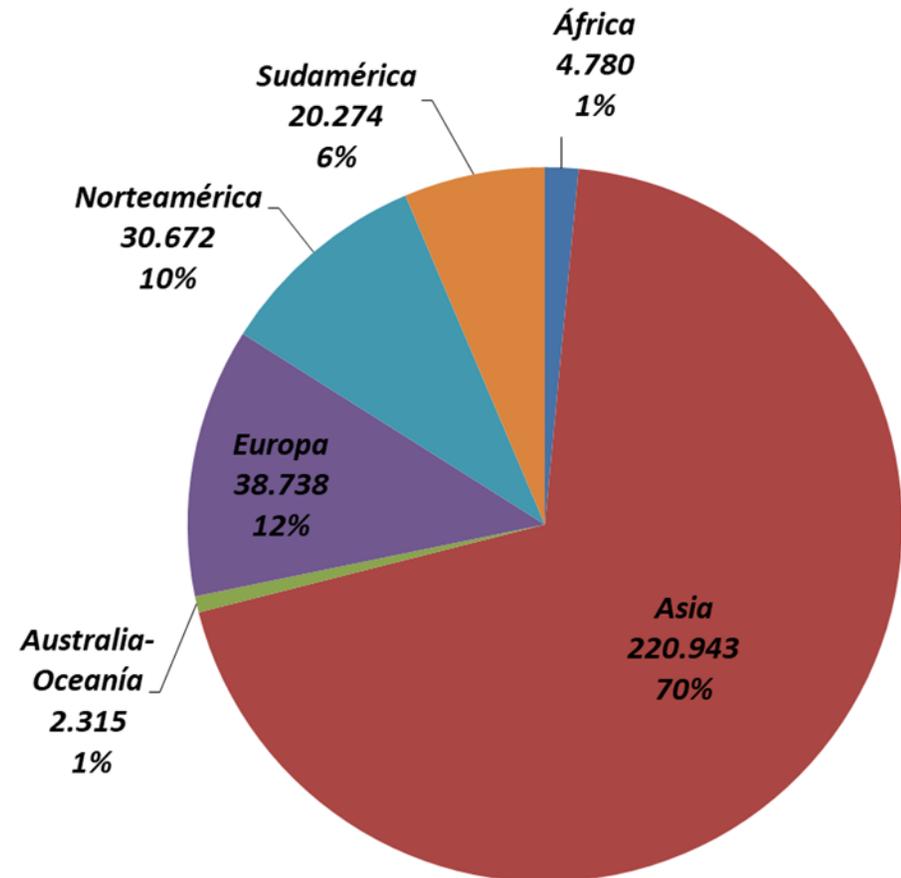
Potencia Total: 317.721 MW

En proyecto/construcción:

Potencia total: 56.230 MW

Longitud: 15.799 km

Detalle potencia instalada HVDC al 2020



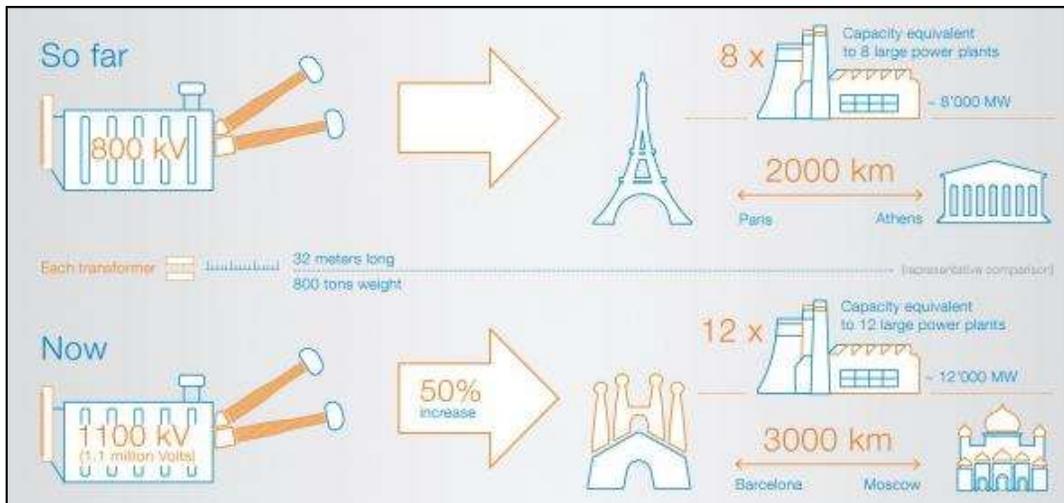
Puesto	Continente	Nombre	Convertidora 1	Convertidora 2	Longitud Total (Km)	Tensión (kV)	Potencia (MW)	Año inicio	Tipo de conversión
1	Asia	Xinjiang - Anhui	China - Wuicaiwan	China - Anhui	3324	1100	12000	2019	Thyr
2	Asia	Xilin Hot - Taizhou	China - Xilin Hot	China - Taizhou	1620	800	10000	2017	Thyr
3	Asia	Hami - Zhengzhou	China-Hami	China-Zhengzhou	2192	800	8000	2014	Thyr
4	Asia	Xiluodo - West Zhejiang	China - Xiluodu	China - Jinghua	1680	800	8000	2014	Thyr
5	Asia	Wudongde multi-terminal UHVDC	China - Yunnan	China - Guangxi	1489	800	8000	2021	Thyr/IGBT
6	Asia	Jinping - Sunan	China - Jinping	China - Suzhou	2090	800	7200	2013	Thyr
7	Sudamérica	Rio Madeira	Brazil, Porto Velho	Brazil, Araraquara	2375	600	7100	2013	Thyr
8	Asia	Irkutsk - Beijing	Russia - Irkutsk	China - Beijing	2000	800	6400	2015	Thyr
9	Asia	Xiangjiaba-Shanghai	China - Fulong	China - Fengxia	1980	800	6400	2010	Thyr
10	Asia	Jinsha River II - East China	China	China	1800	800	6400	2016	Thyr

Ranking por Potencia

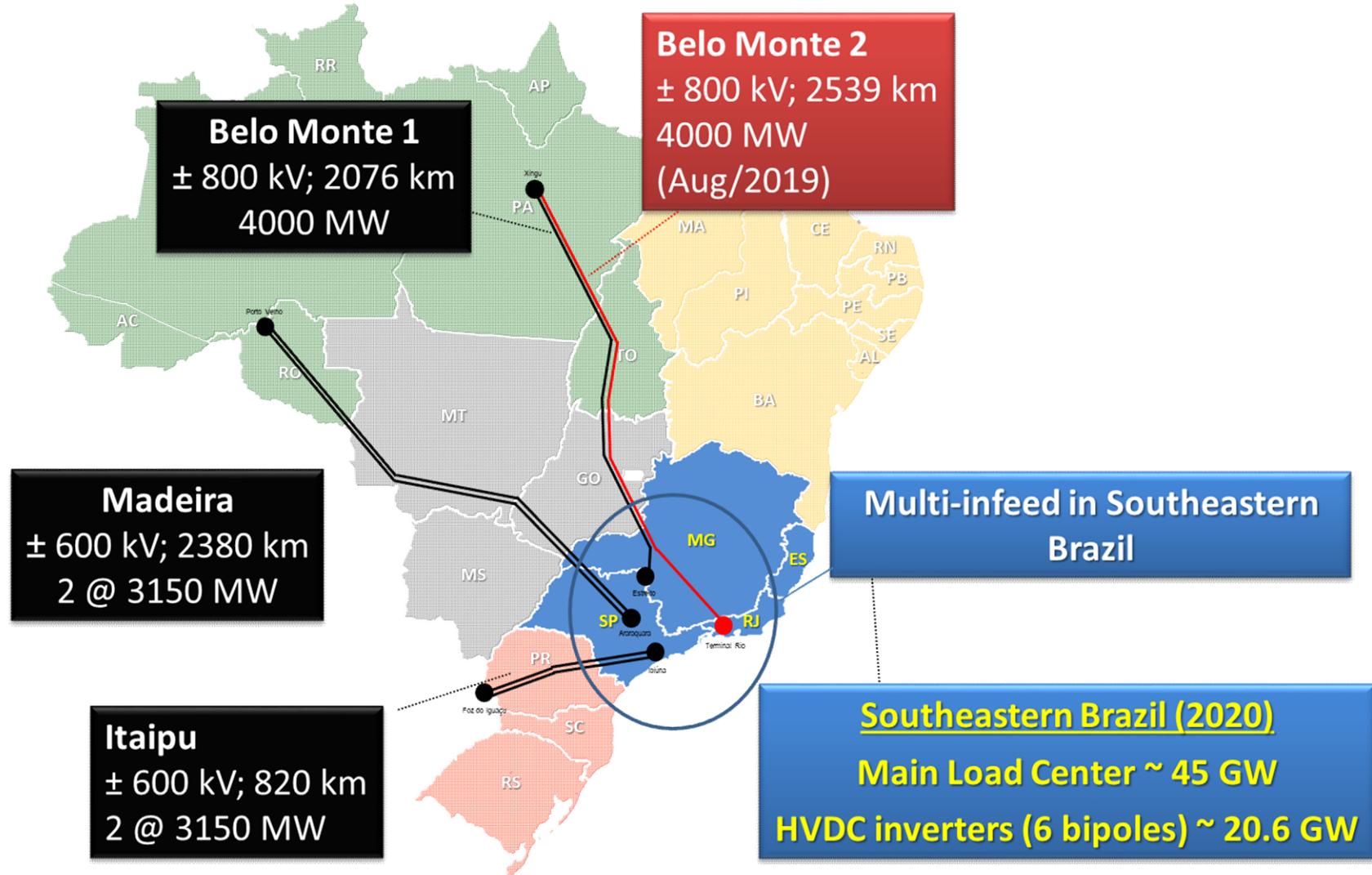
Puesto	Continente	Nombre	Convertidora 1	Convertidora 2	Longitud Total (Km)	Tensión (kV)	Potencia (MW)	Año inicio	Tipo de conversión
1	Asia	Xinjiang - Anhui	China - Wuicaiwan	China - Anhui	3324	1100	12000	2019	Thyr
2	Sudamérica	Xingu-Rio	Xingu	Río de Janeiro	2539	800	4000	2019	Thyr
3	Sudamérica	Rio Madeira	Brazil, Porto Velho	Brazil, Araraquara	2375	600	7100	2013	Thyr
4	Asia	Hami - Zhengzhou	China-Hami	China-Zhengzhou	2192	800	8000	2014	Thyr
5	Asia	Jinping - Sunan	China - Jinping	China - Suzhou	2090	800	7200	2013	Thyr
6	Sudamérica	Xingu-Estreito	Brazil - Anapu, Pará	Brazil - Ibiraci, Minas Gerais	2076	800	4000	2017	Thyr
7	Asia	Irkutsk - Beijing	Russia - Irkutsk	China - Beijing	2000	800	6400	2015	Thyr
8	Asia	Xiangjiaba-Shanghai	China - Fulong	China - Fengxia	1980	800	6400	2010	Thyr
9	Asia	Northwest Yunnan - Guangdong	China - Xinsong	China - Dongfang	1953	800	5000	2018	Thyr
10	Asia	Dianxibei - Guangdong	China-Lijiang	China-Zhengzhen	1928	800	5000	2017	Thyr

Ranking por Distancia

*Proyecto
mas grande
del mundo
en potencia
y distancia*



Brasil	Instalado	% del total mundial
Potencia total	24.454 MW.	8%
Longitud total	8.580 km.	9%



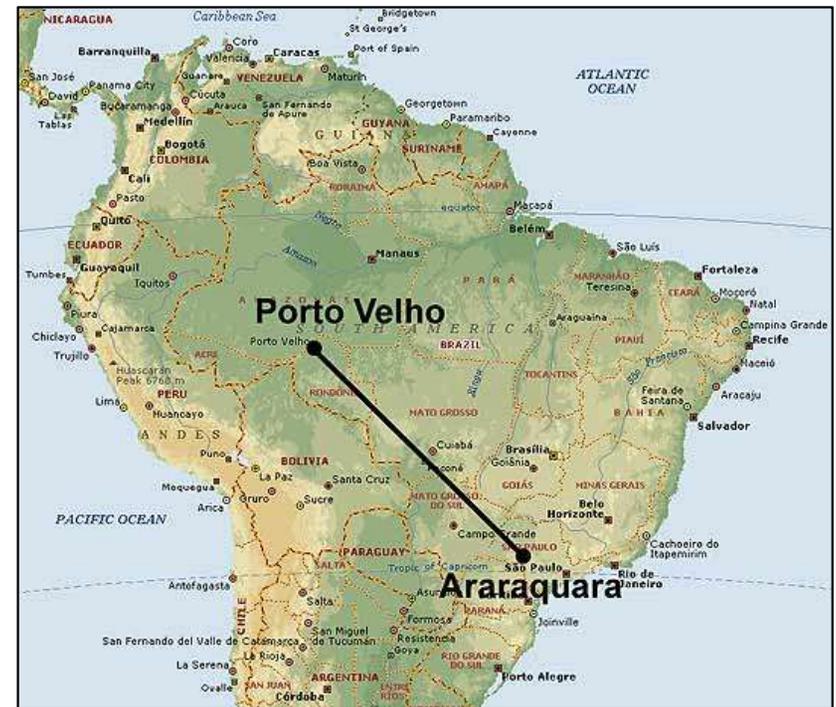
— in operation
— in commissioning

Río Madeira (Brazil)

Operativo desde: año 2013

2 bipolos ± 600 kV – 7.100 MW – 2.375 km

Aplicación: Conectar generación remota de CCHH San Antonio y Jirau (3300 y 3150 MW)



Itaipú (Brazil)

Operativo desde: año 1985

2 bipolos ± 600 kV – 6.300 MW – 780 km

Aplicación: Despachar energía desde C.H. Itaipú (14.000 MW instalados)



Belo Monte (Brazil)

Operativo desde: año 2017

Une las EEC Xingu - Estreito - Río de Janeiro

2 bipolos

1) Xingu - Estreito

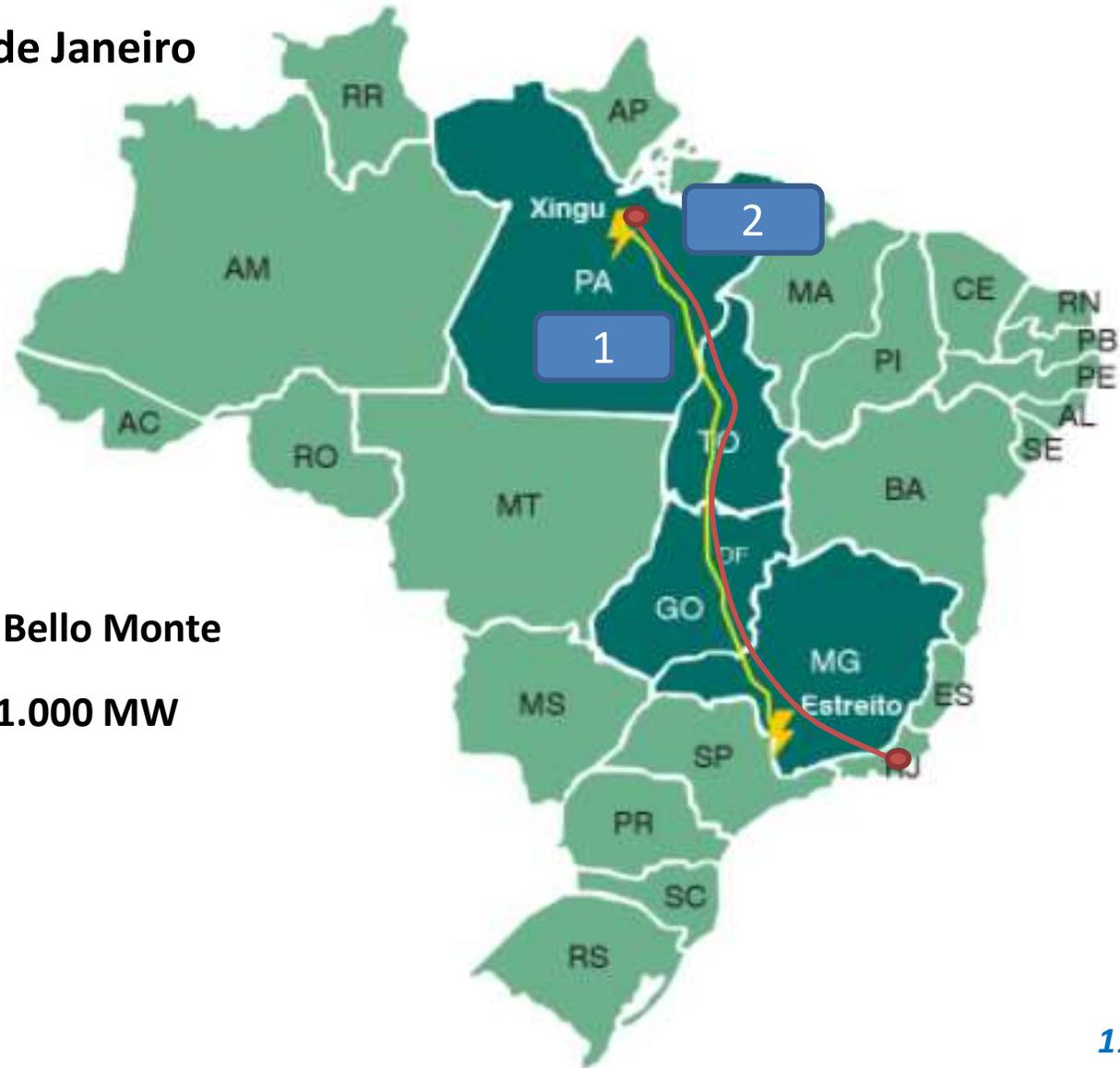
±800 kV – 4.000 MW – 2.076 km

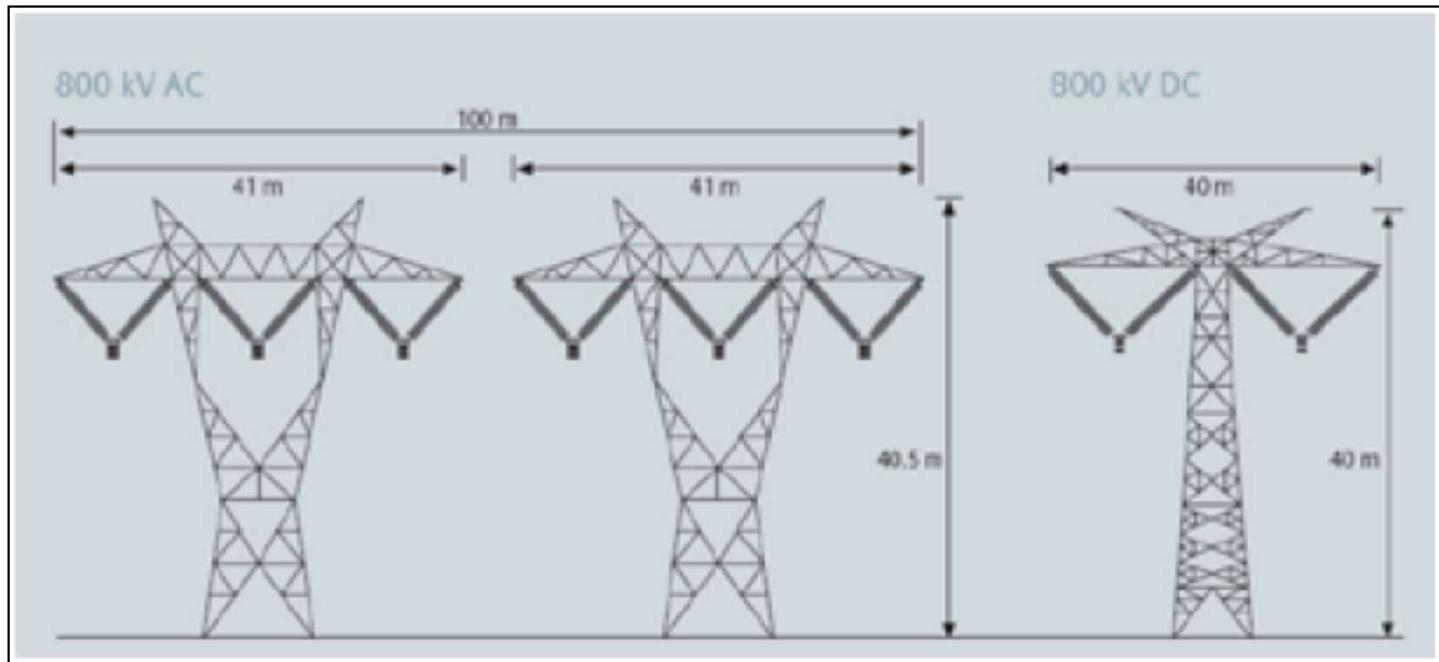
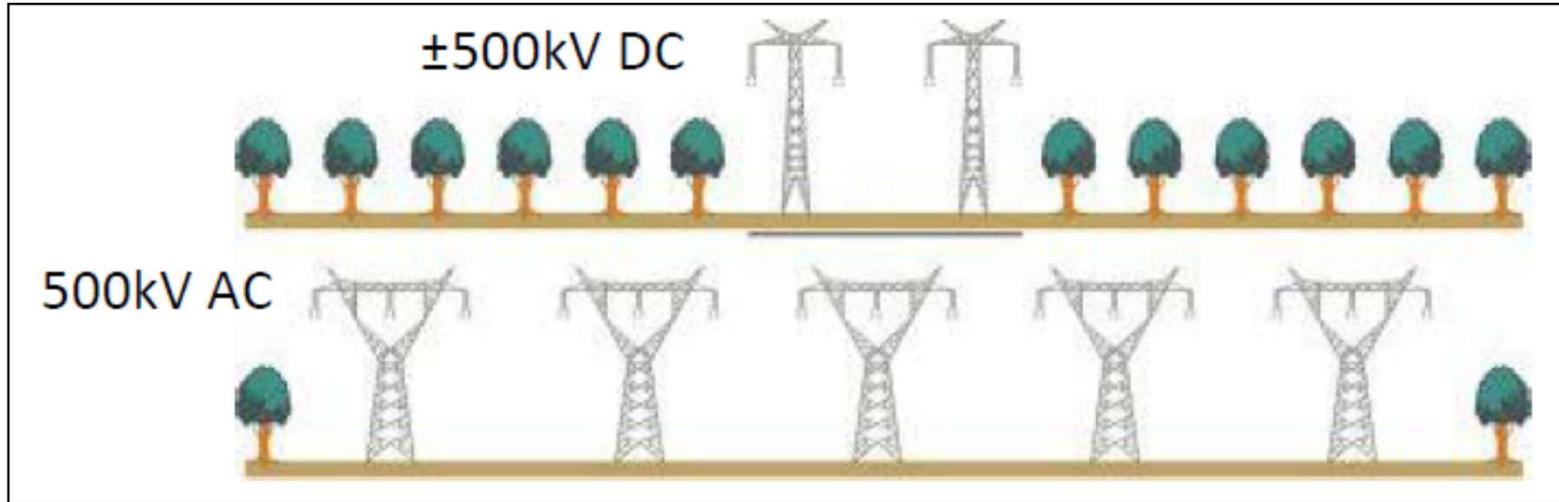
2) Xingu - Río de Janeiro

±800 kV – 4.000 MW – 2.539 km

Aplicación: Conectar generación de CH Bello Monte

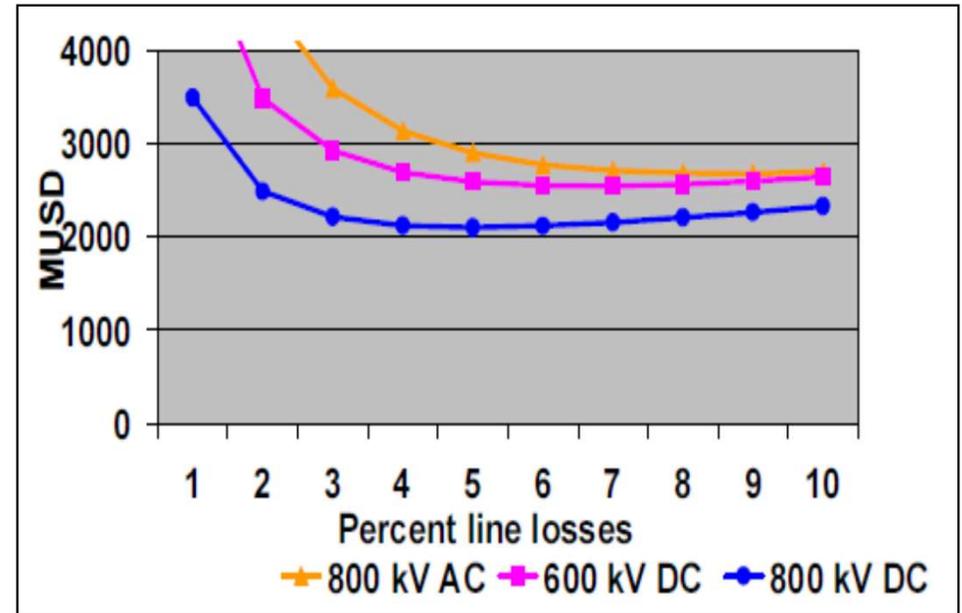
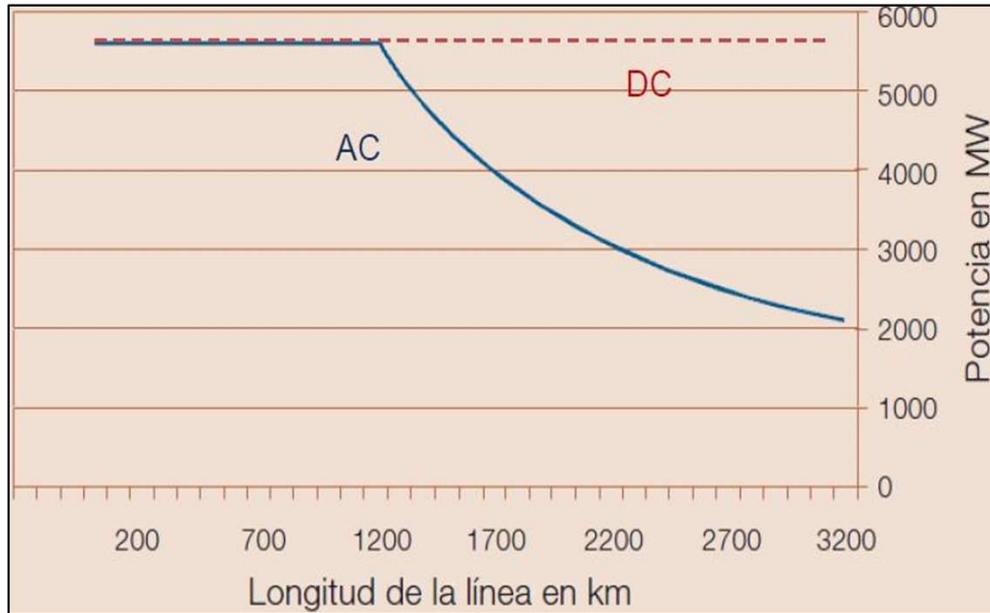
18 generadores de 611 MW. Total 11.000 MW





Para igual Potencia instalada

Comparación HVAC con HVDC



Capacidad de transmisión de potencia activa para una línea de corriente alterna en 1000 kV

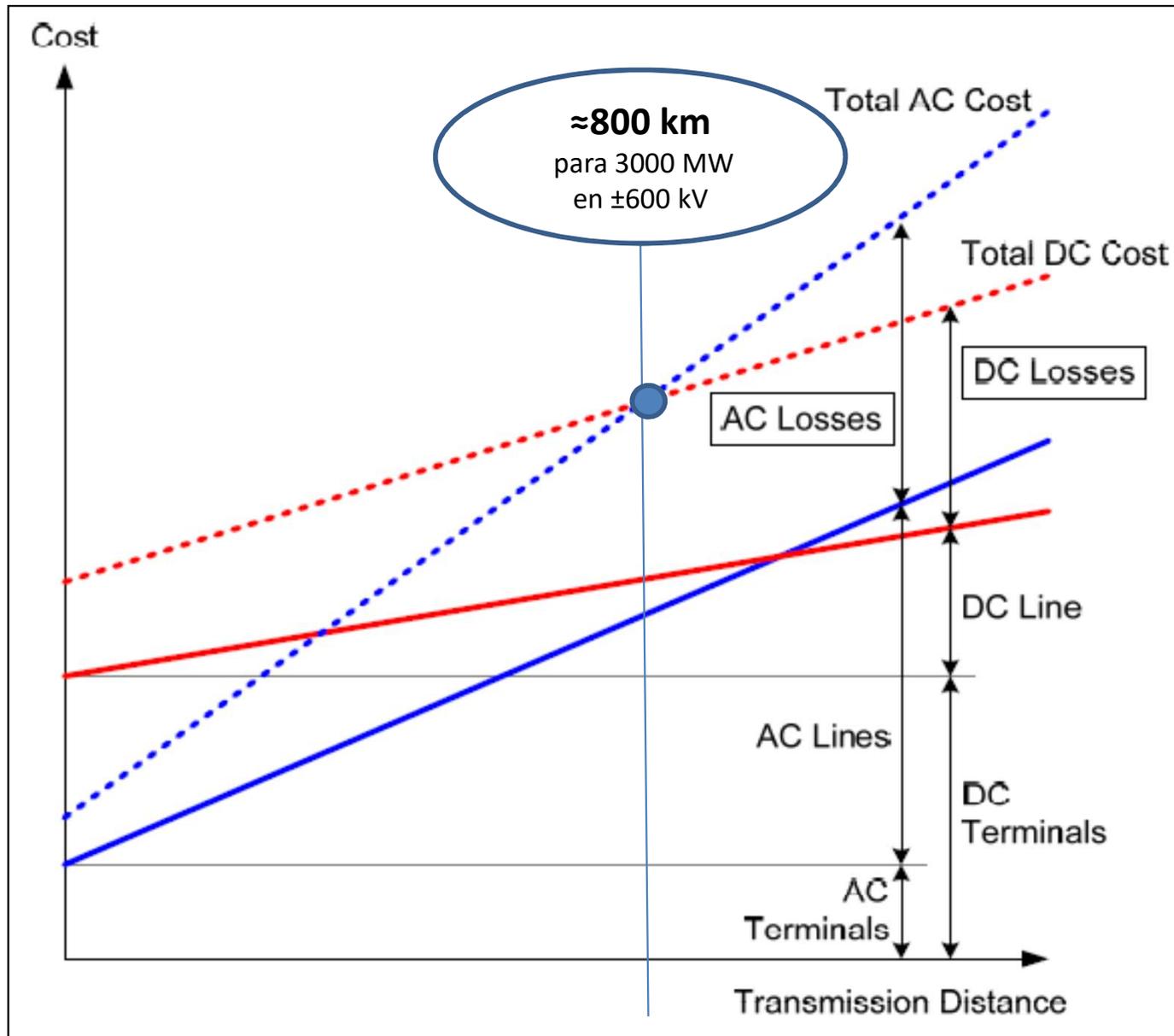


$$P = \frac{V_S \cdot V_R}{X_{L(l)}} \cdot \text{sen}(\delta)$$

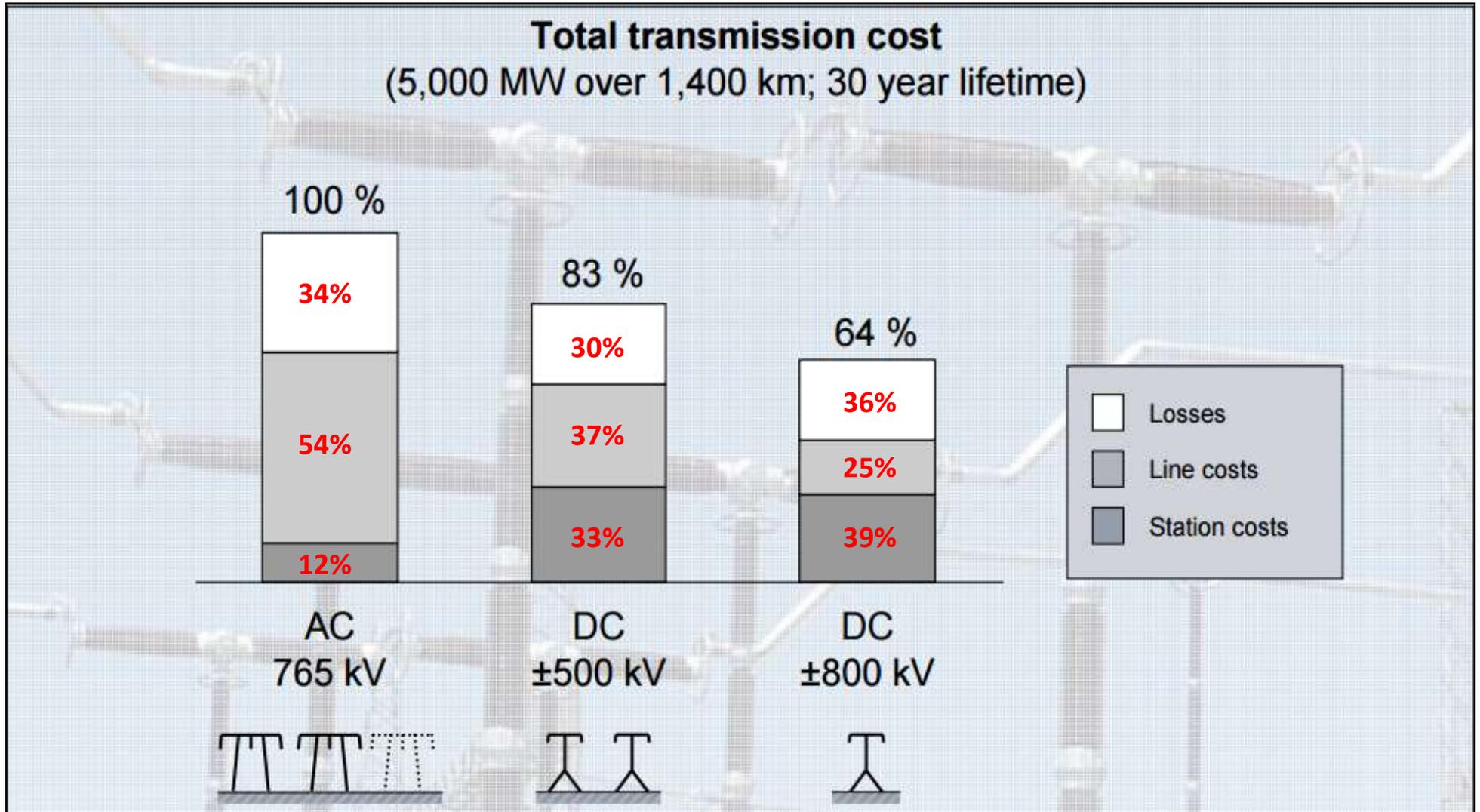
Pérdidas en las líneas AC y DC en porcentaje de la potencia activa transmitida



Para un 4% de pérdidas el ahorro por utilizar HVDC para una misma distancia de transmisión puede ser de 900 Mu\$ (en su vida útil)



Costo total de una LAT DC y LAT AC en función de la distancia

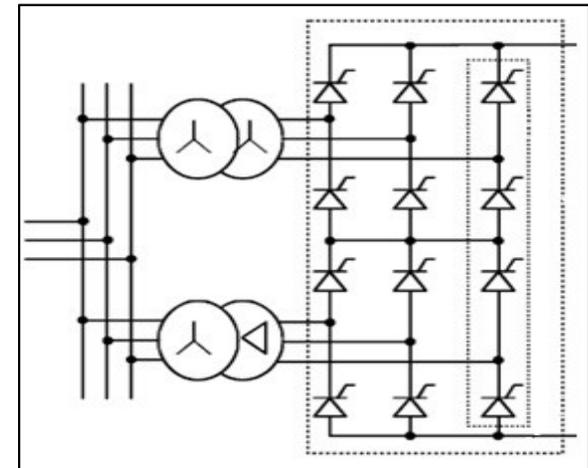
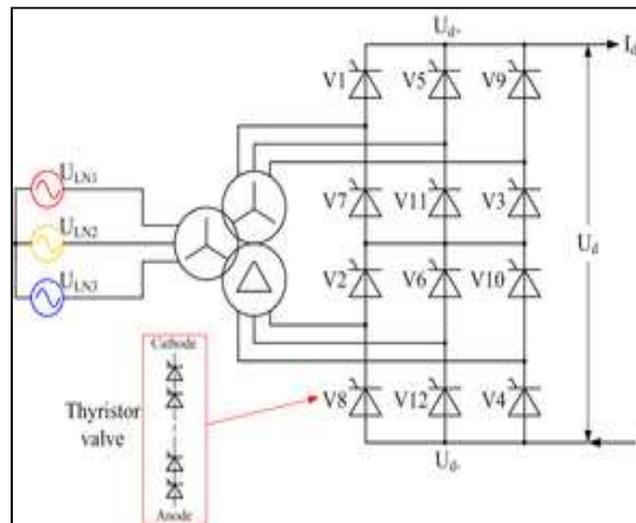


LCC
 Line
 Commutated
 Converter

- ✓ Conmutación de válvulas realizada por la tensión de línea
- ✓ Utiliza tiristores como elemento de conmutación

Tecnología tradicional o HVDC clásica

Configuraciones



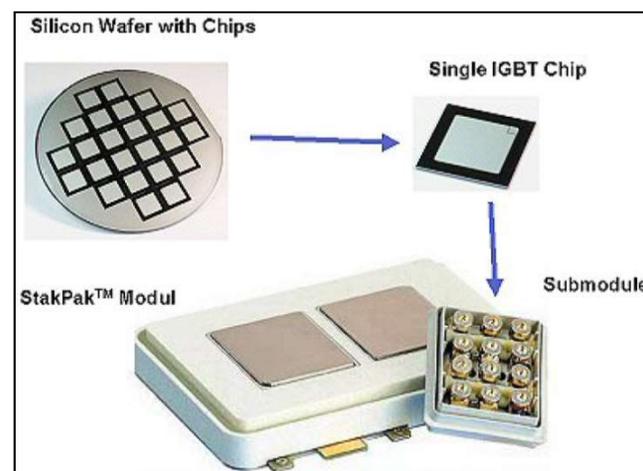
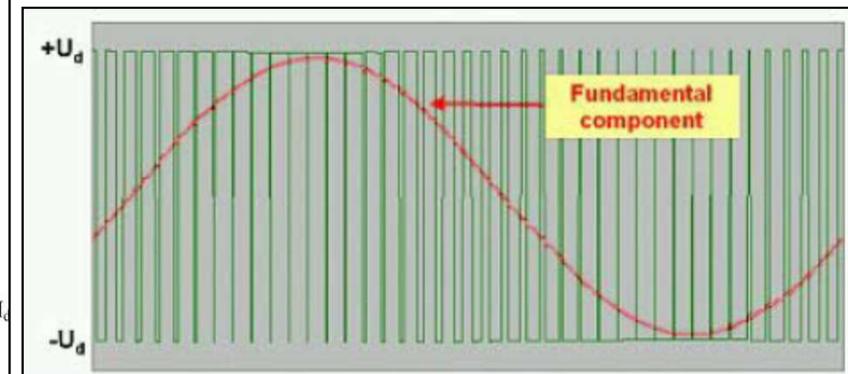
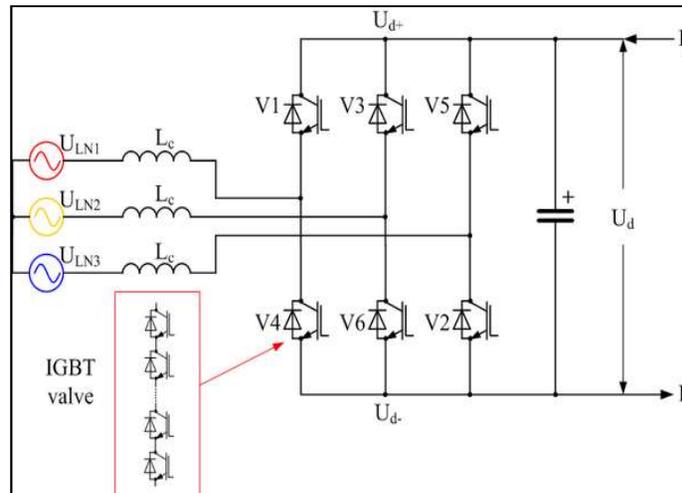
Instalaciones



VSC

Voltage
Source
Converter

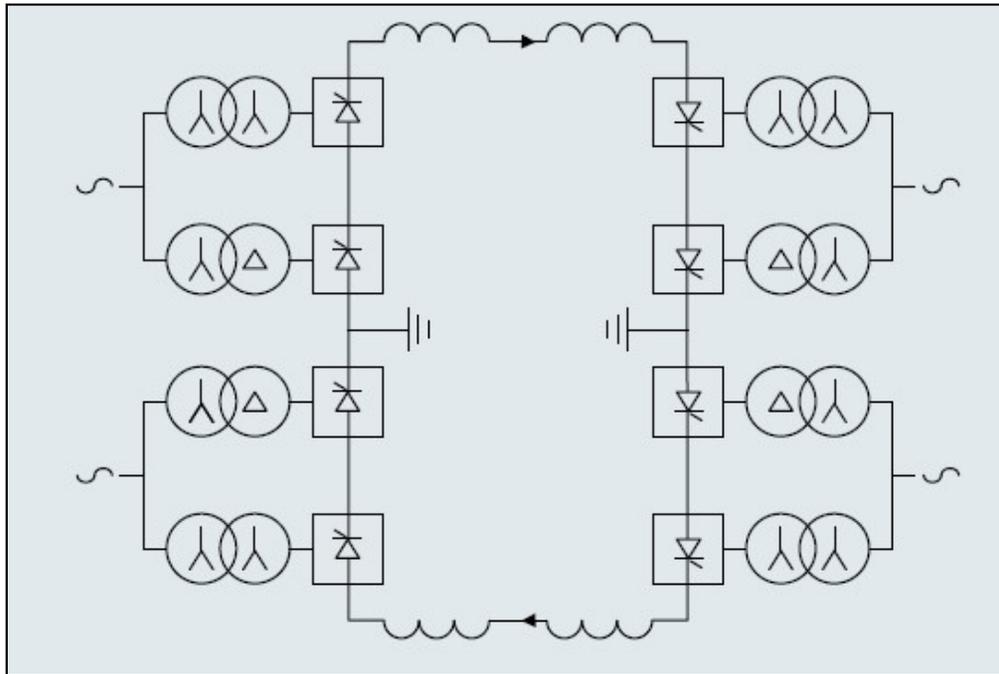
- ✓ Auto-conmutados con convertidores con IGBT
 - ✓ Utiliza PWM (Pulse Width Modulation)
- Tecnología nueva o HVDC moderna**



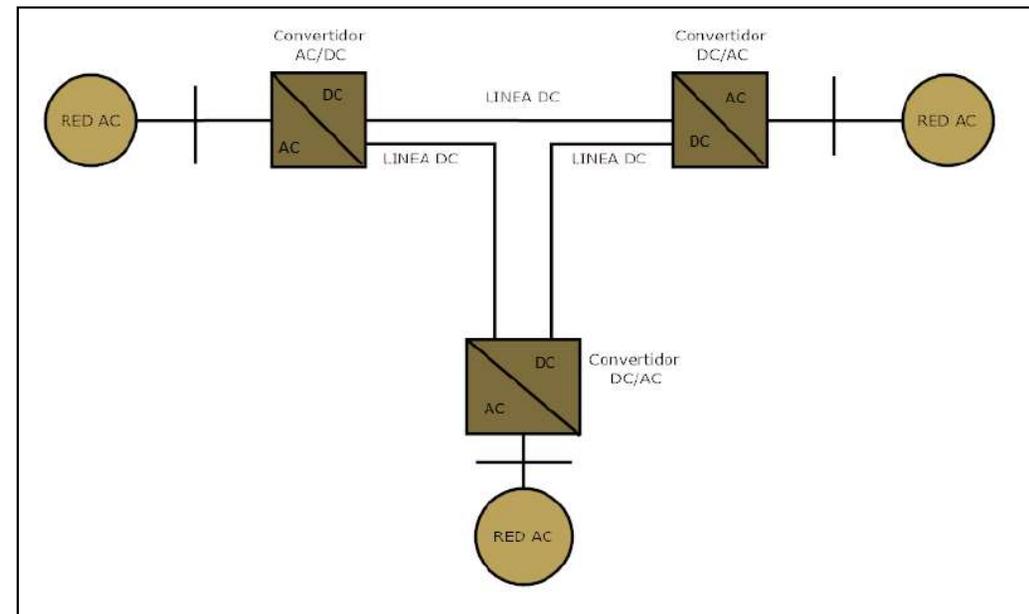
Configuraciones

Instalaciones

Configuraciones Típicas



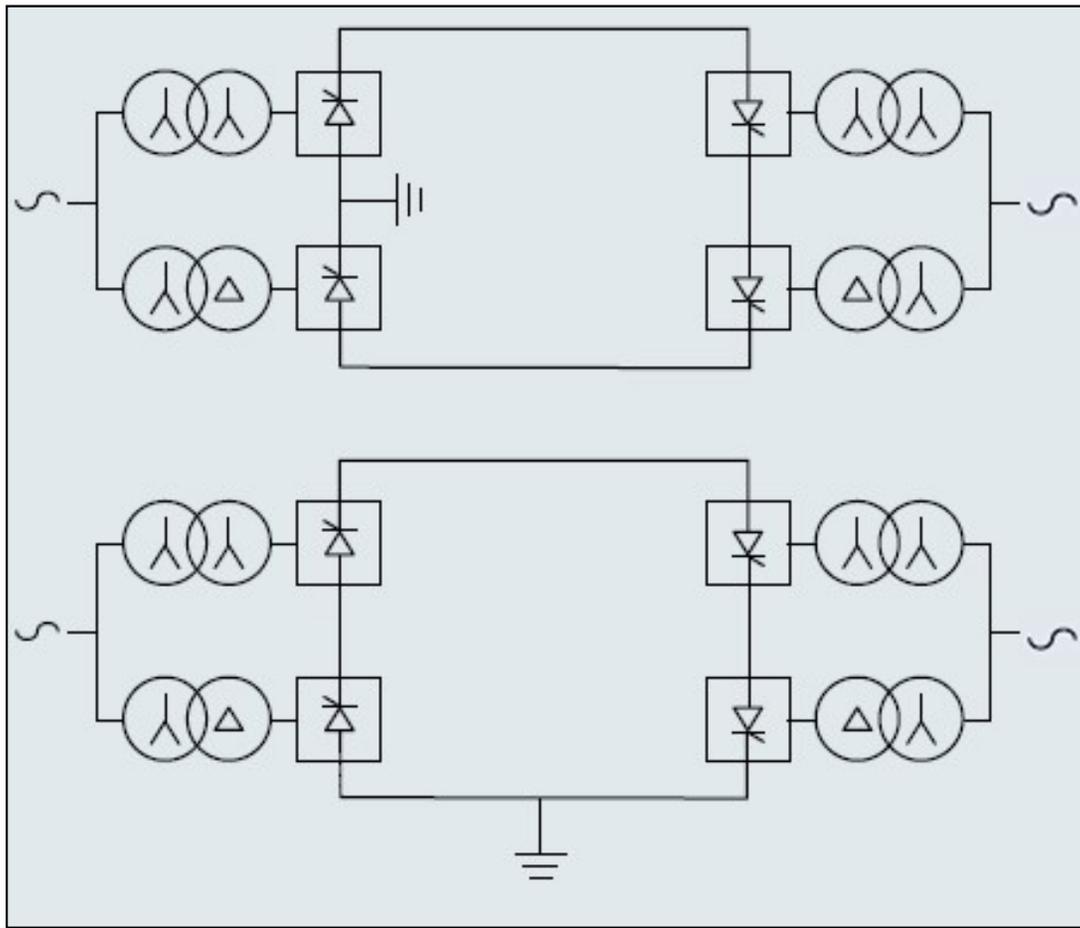
Configuración bipolar



Configuración multiterminal

Configuraciones Típicas

Convertora back to back

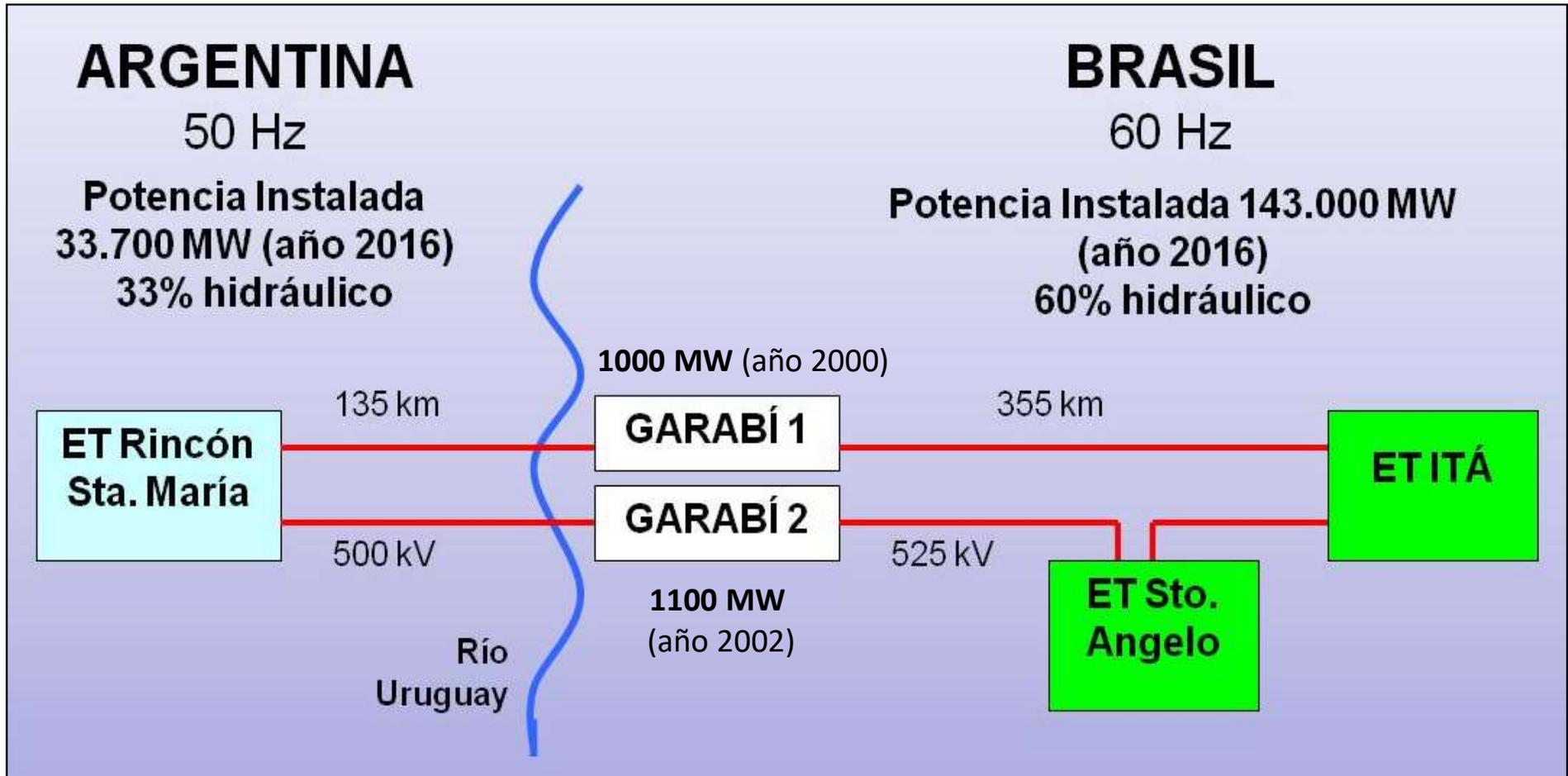


Se utiliza para:

- ✓ Interconectar redes de distintas frecuencias
- ✓ Transformar sistemas sincrónicos en asincrónicos.

Utiliza la misma construcción, servicios auxiliares, sistema de refrigeración de válvulas, edificios, ahorro de comunicaciones entre EECC, electodos de tierra, reactor de alisamiento, etc.

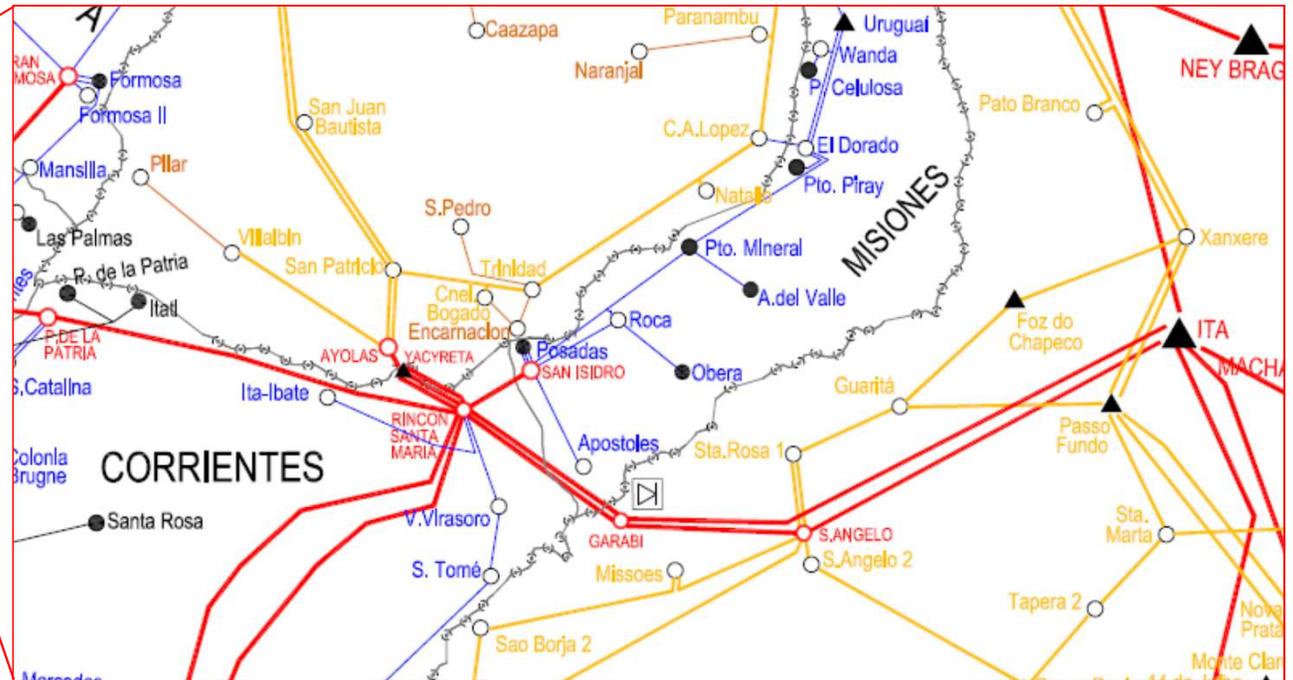
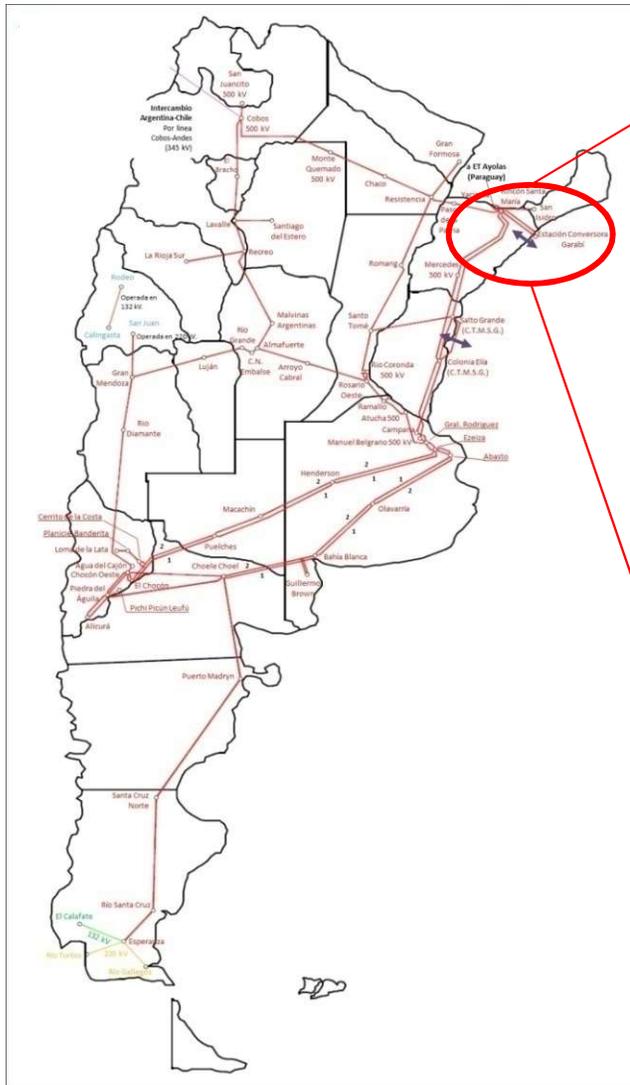
Conversora back to back



Conversora 1 (Polos 1 y 2) y Conversora 2 (Polos 3 y 4)
 Máximo de cada Polo: 550 MW - Mínimo de cada Polo: 55 MW

Interconexión Argentina Brasil a través de Conversora Garabí

Conversora back to back



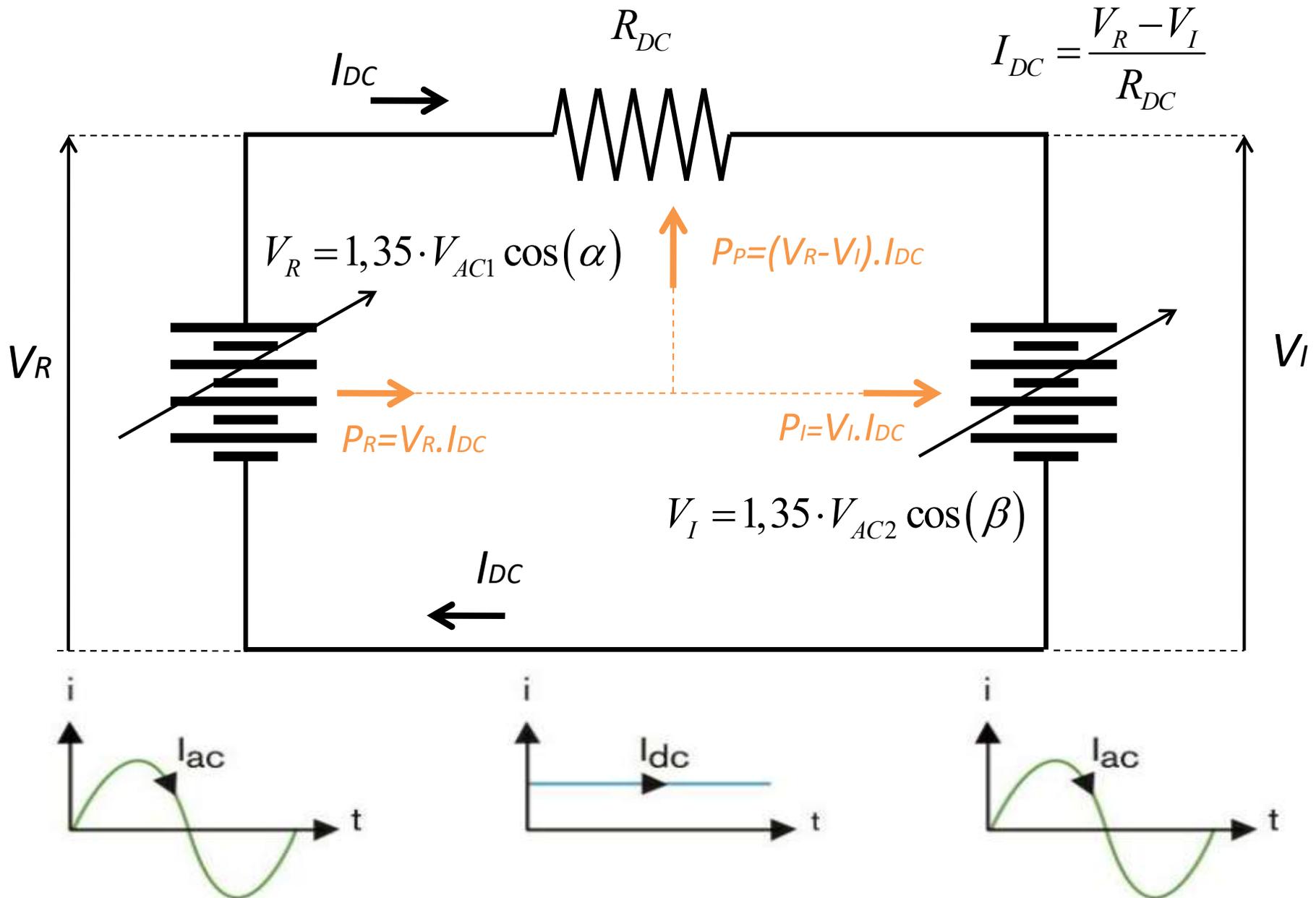
Interconexión Argentina Brasil a través de Conversora Garabí

Convertora back to back



Interconexión Argentina Brasil a través de Convertora Garabí

Esquema circuitual del sistema de transmisión



Potencia de cortocircuito y nivel de ESCR / SCR

$$\frac{-\Delta U}{U_n} \approx \frac{Q}{S_{cc_2}}$$

Control de tensión

$$ESCR = \frac{S_k'' [\text{MVA}] - Q_C [\text{MVAr}]}{P_{HVDC} [\text{MW}]}$$

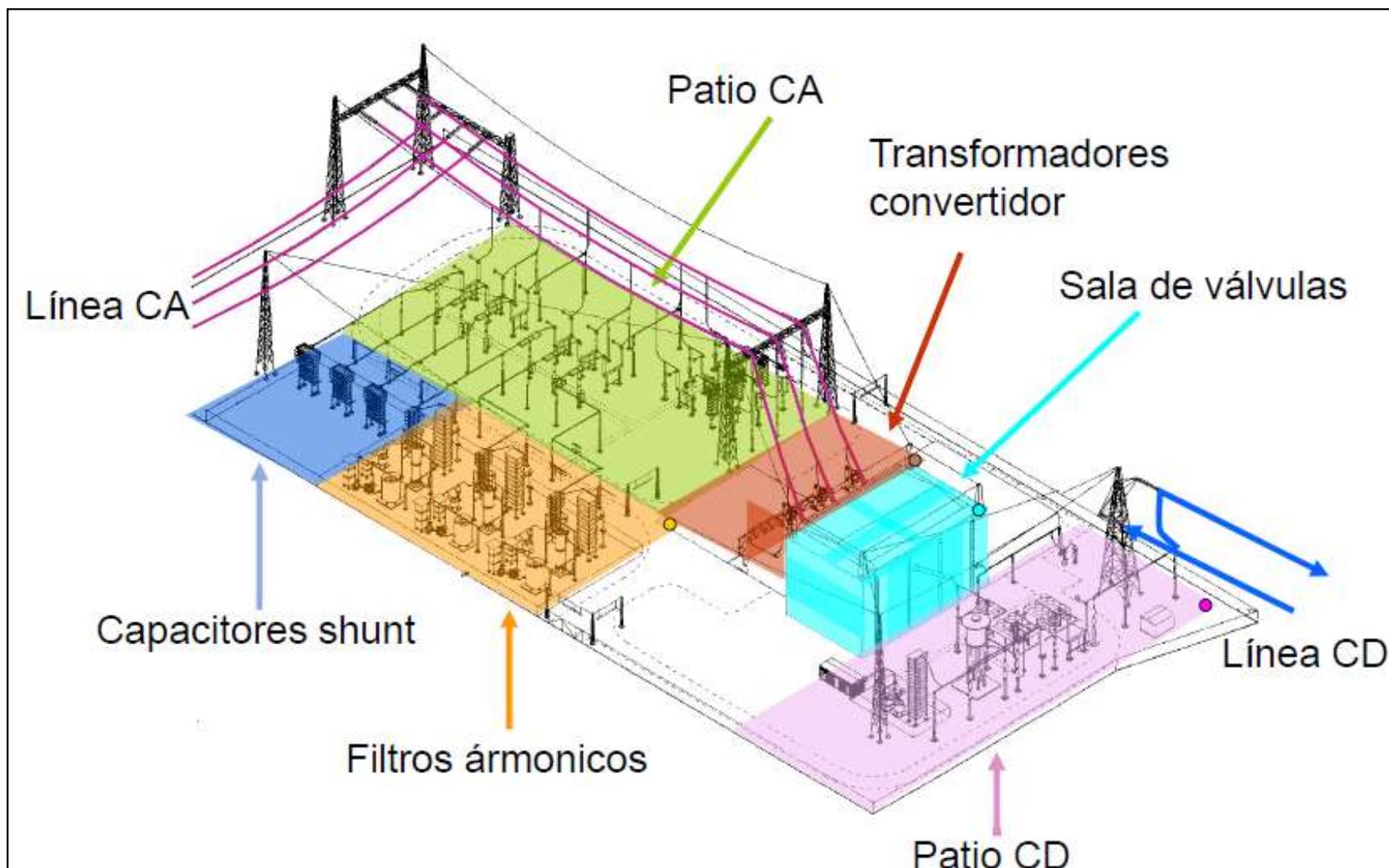
Short Circuit Ratio

Una clasificación preliminar es como sigue:

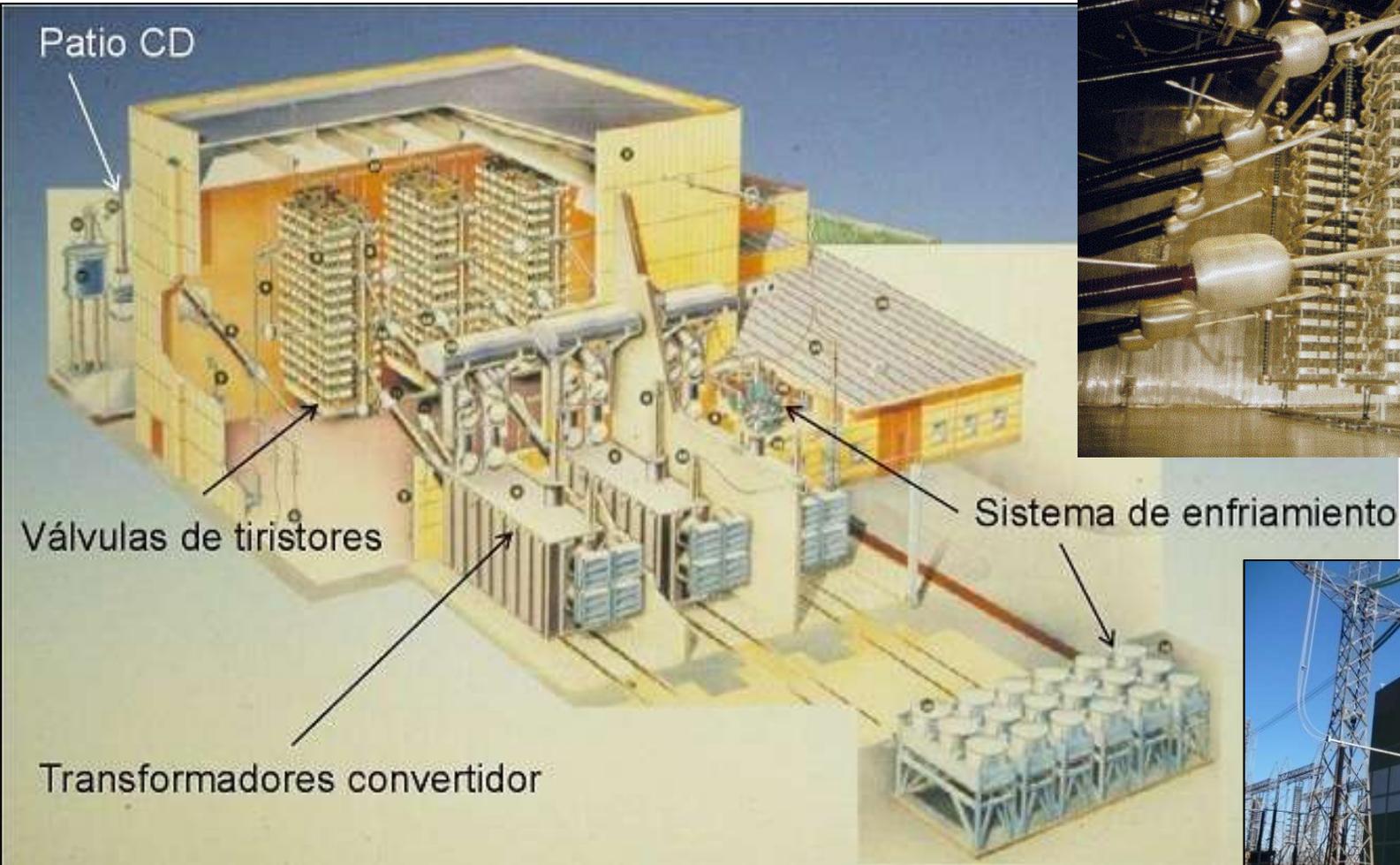
- Si ESCR es mayor que 3, el sistema es muy fuerte,
- Si ESCR es mayor que 2 y menor que 3, el sistema es moderadamente fuerte,
- Si ESCR es menor que 2, el sistema es débil.



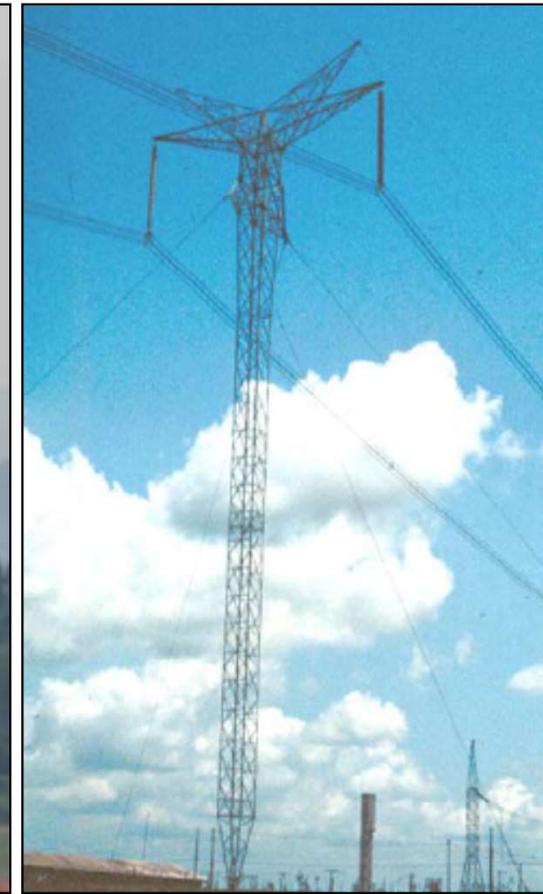
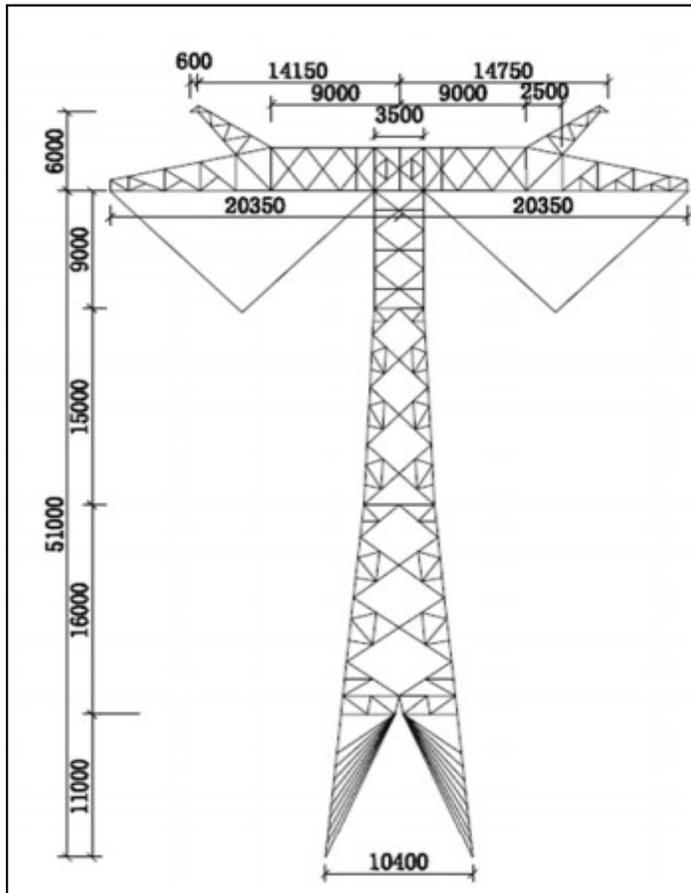
El espacio ocupado por una estación convertidora está en el rango de los 15 a 20 m²/MW con un diseño básico, y cerca de 8 m²/MW con un diseño optimizado.



Estación Convertidora monopolar de 600 MW/450 kV DC arreglo clásico – 80 x 180 mts.



Estructuras utilizadas en líneas HVDC



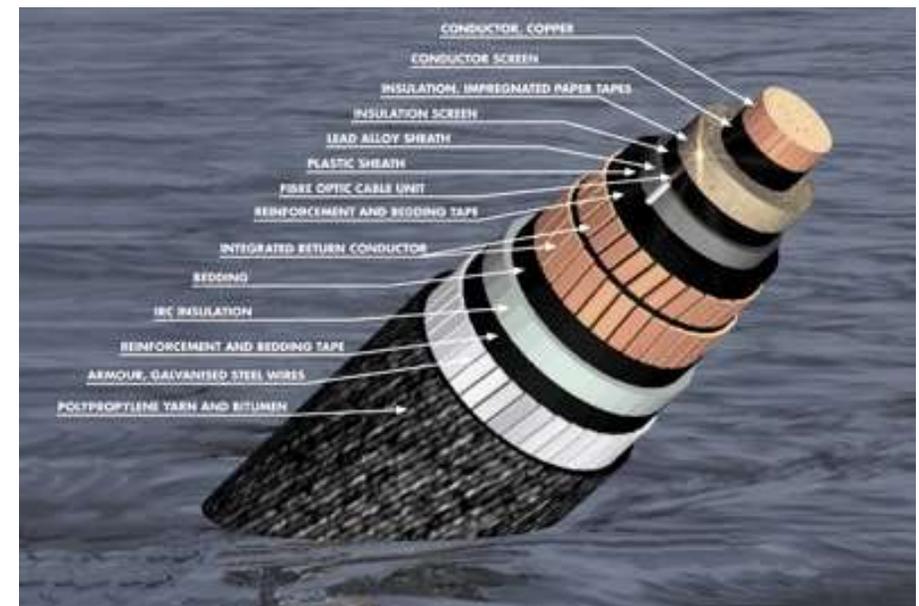
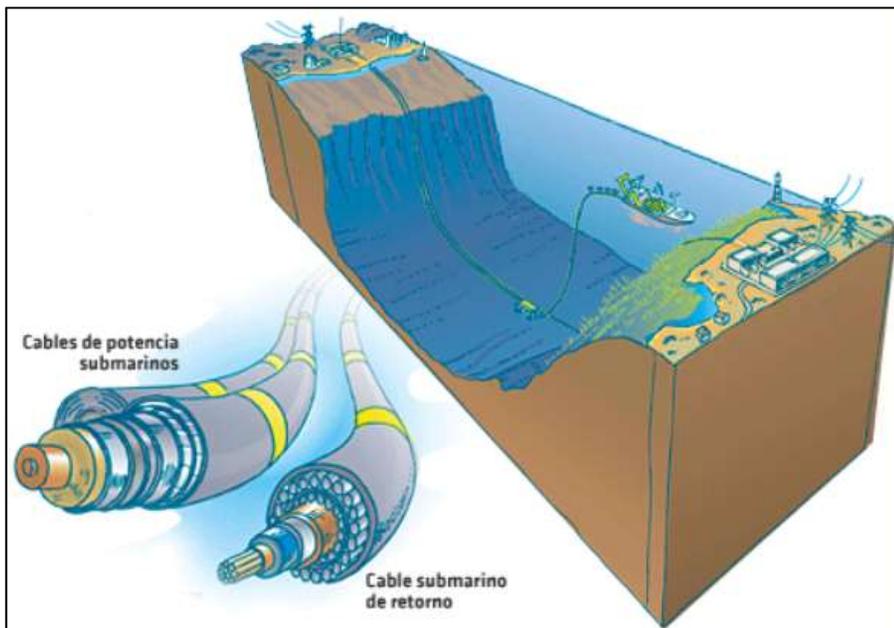
Estructura autoportada utilizada en ± 800 kV.

Estructura de suspensión ± 600 kV.

Cables subterráneos y submarinos

Se utilizan para conectar cargas mediante enlaces submarinos de cargas aisladas, como sistemas insulares, estaciones petrolíferas o parques eólicos offshore.

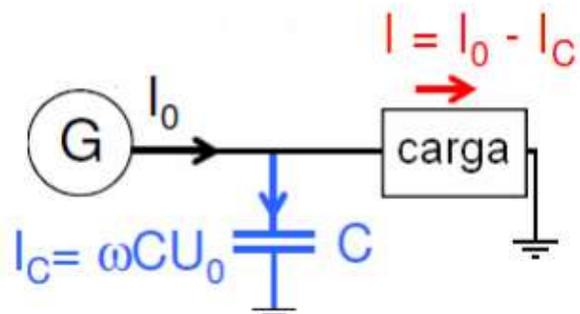
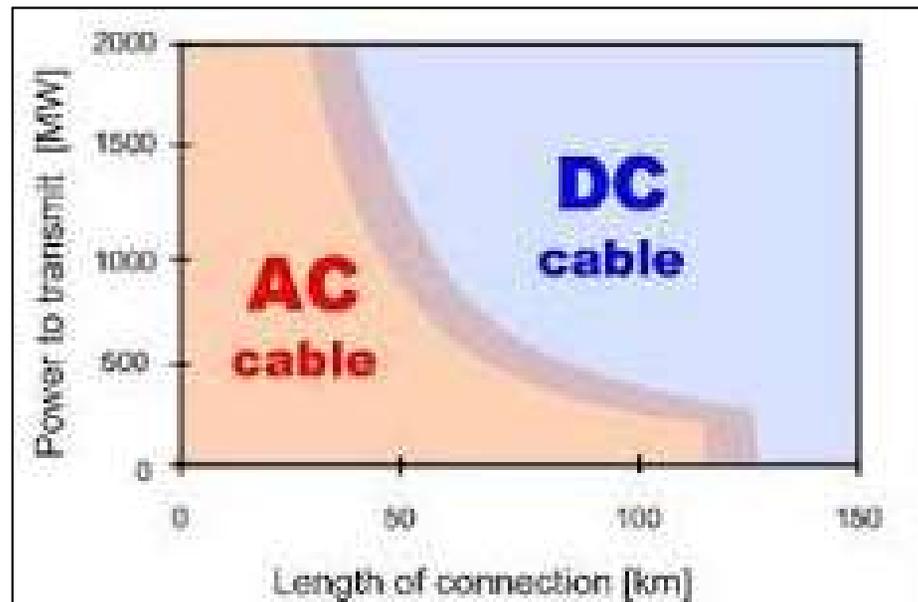
- Un cable tiene una capacitancia por unidad de longitud mayor que el de una línea aérea.
- Para un cable de moderada longitud (50 km),
 - la Iq puede utilizar la mayor parte de la capacidad de transmisión del mismo cuando se transmite AC.
 - En DC, luego del transitorio de carga, el cable no produce componentes reactivos en estado estacionario.
- Se puede utilizar un cable submarino monofásico para transmitir en HVDC con retorno por tierra (agua).



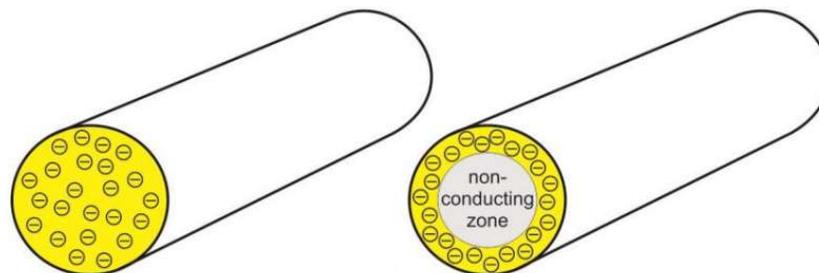
Cables subterráneos y submarinos

HVDC vs. HVAC

Longitud de conveniencia



Corrientes capacitivas en AC

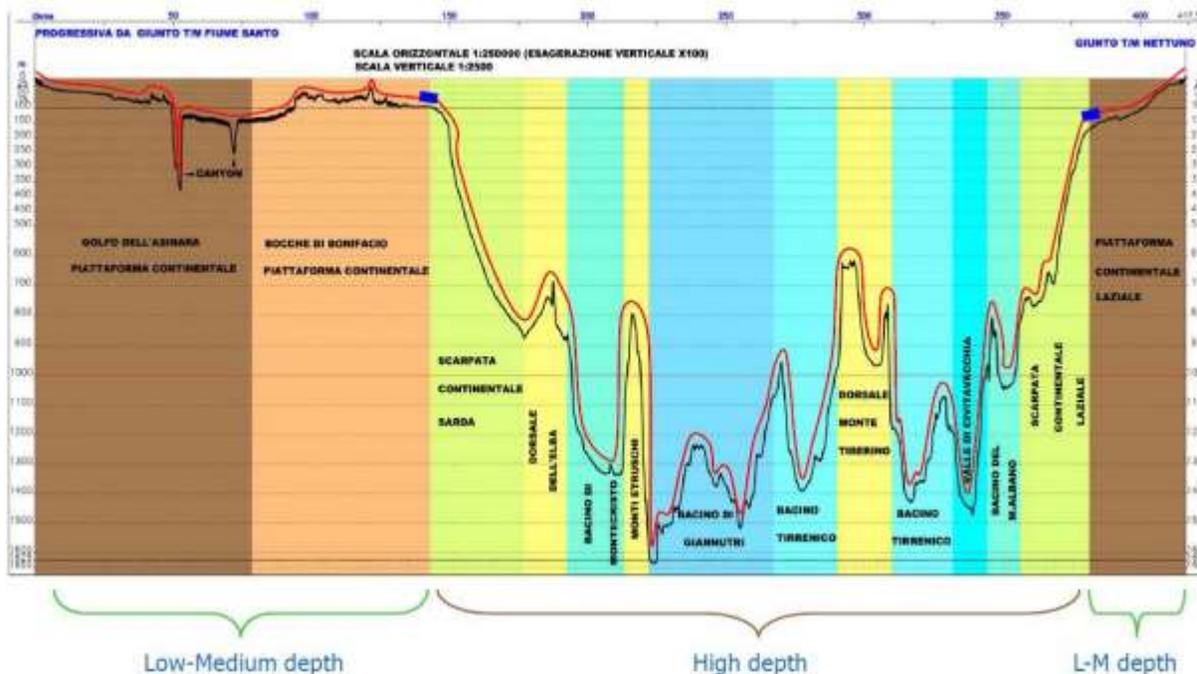
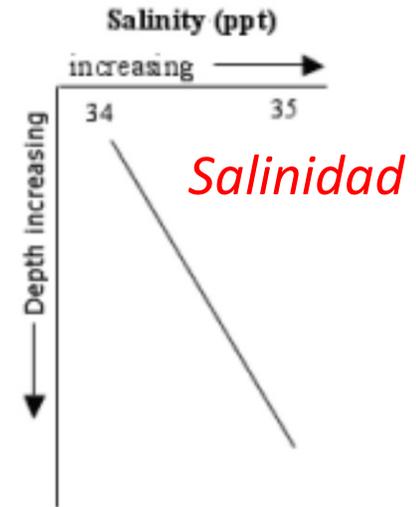
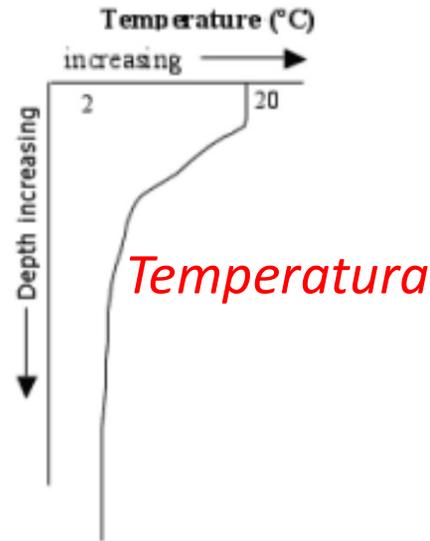


Efecto pelicular

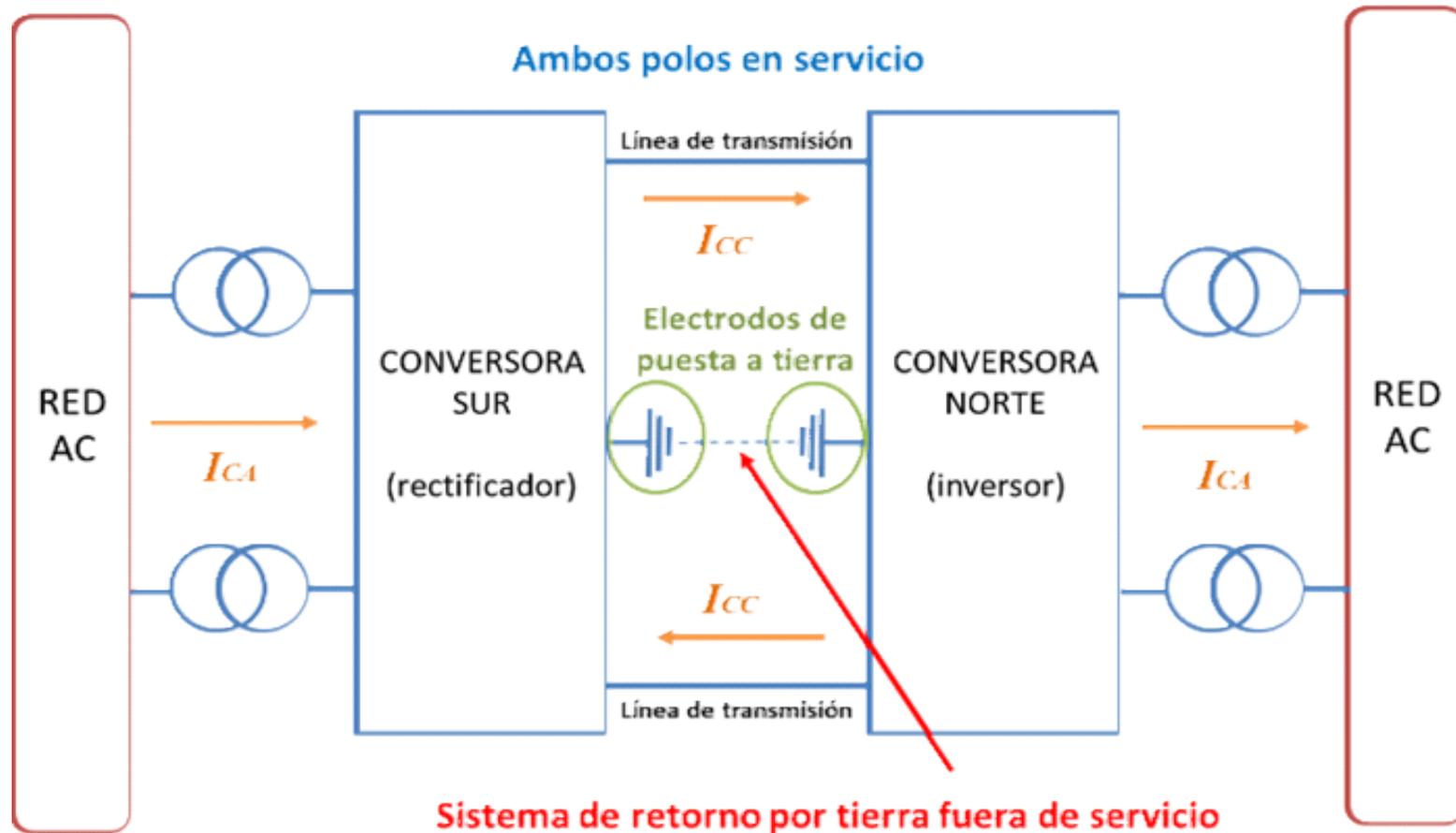
	Length (km)	Power (MW)	Voltage (kV)	Losses (%)
AC	1000/2000	3000	800	6.7/10
DC	1000/2000	6400	800	3.5/5

Pérdidas

Cables subterráneos y submarinos

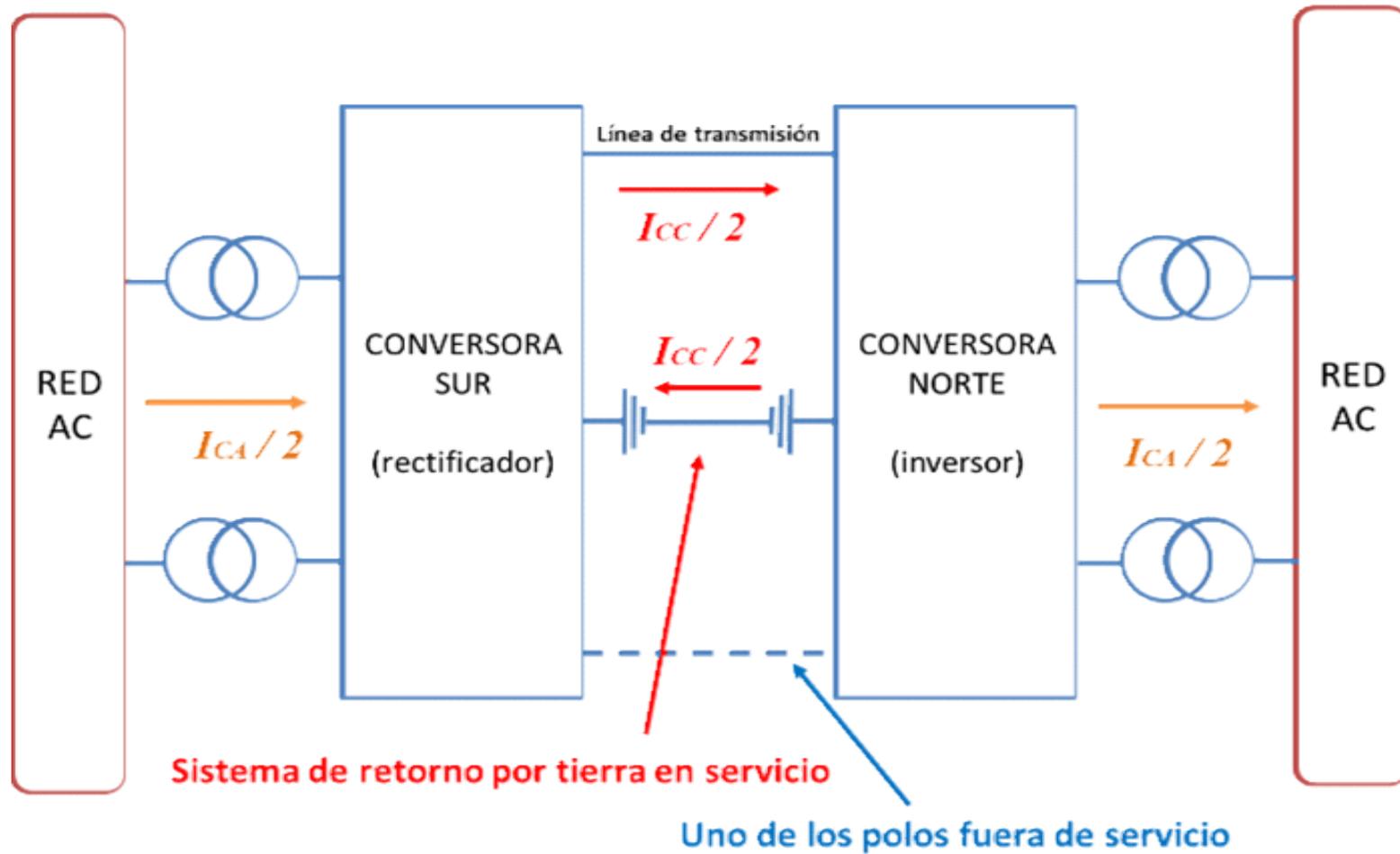


Sistema de transmisión en CC en condición N

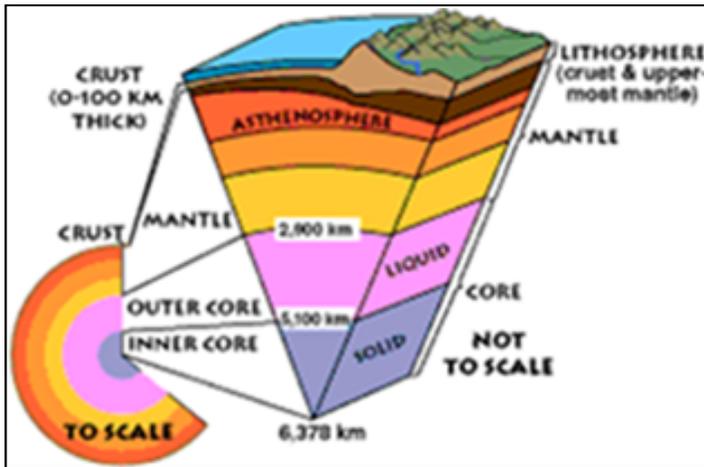
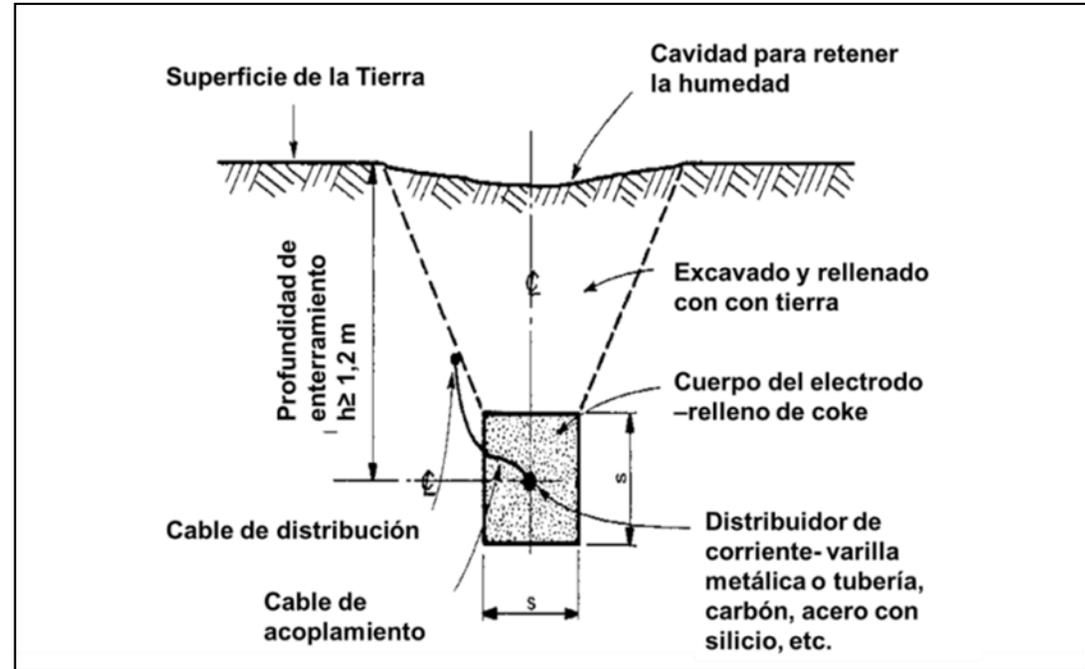
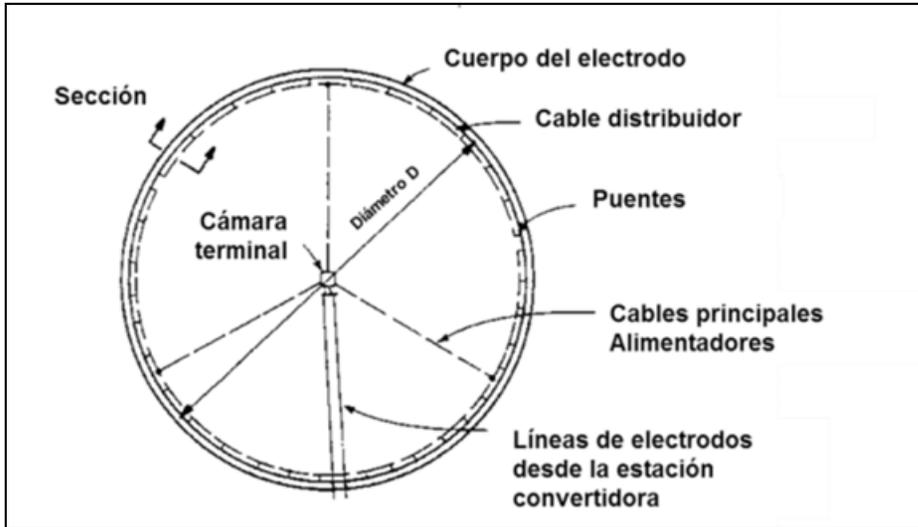


Configuración bipolar

Sistema de transmisión en CC en condición N-1



Configuración bipolar



$h_c \approx 1\text{km}$ y $h_m \approx 30\text{km}$

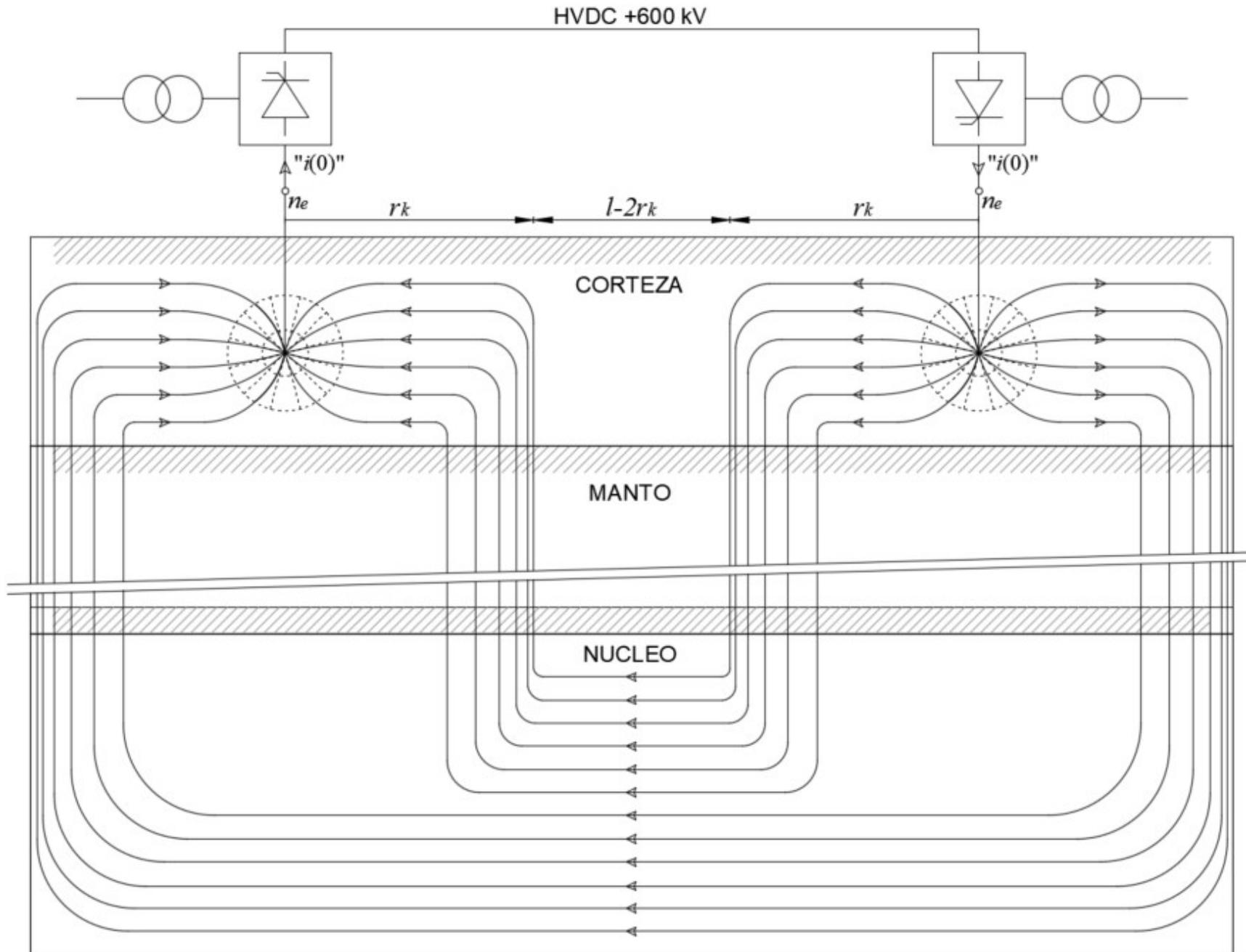
$\rho_m \gg \rho_c$ por $h_m \gg h_c$

$\rho_n \approx 0$ por r_n muy grande

CONSIDERACIONES SOBRE MATERIALES PROBABLES A ENSAYAR COMO MATERIAL PARA JABALINA PUESTA A TIERRA

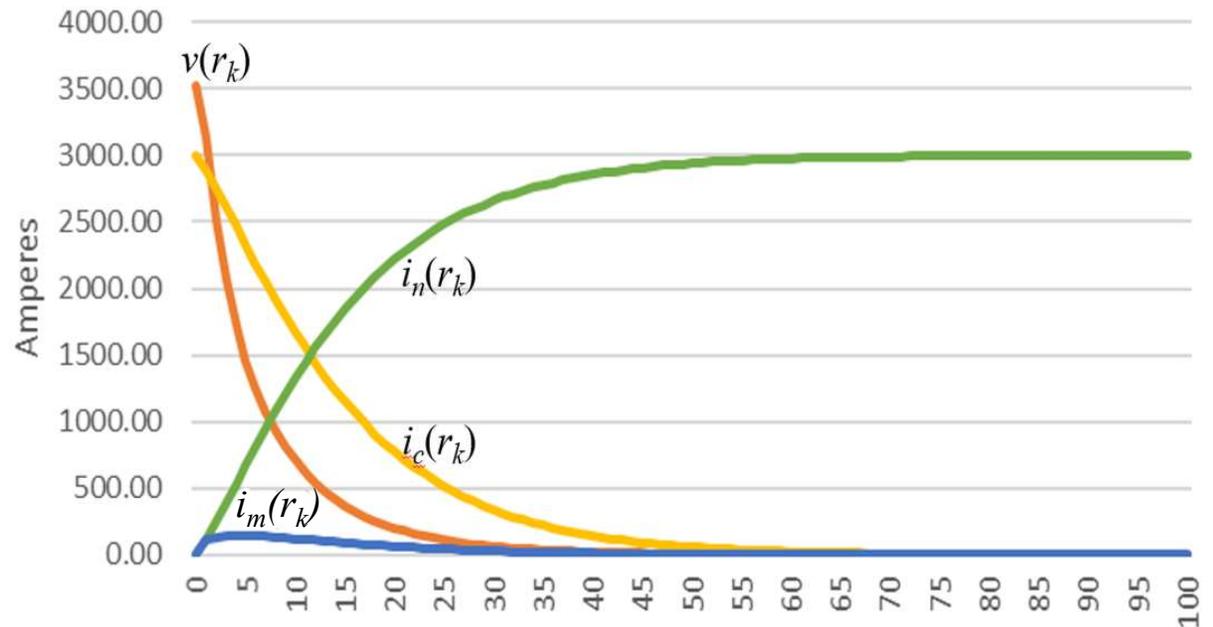
- ACERO
- FUNDICIÓN DE HIERRO
- ACERO DE ALTO SILICIO
- ACERO CON ALTO SILICIO CROMO
- ACEROS INOXIDABLES DUPLEX
- GRAFITO

Retorno por tierra en un sistema HVDC



Distribución de la corriente por el subsuelo terrestre

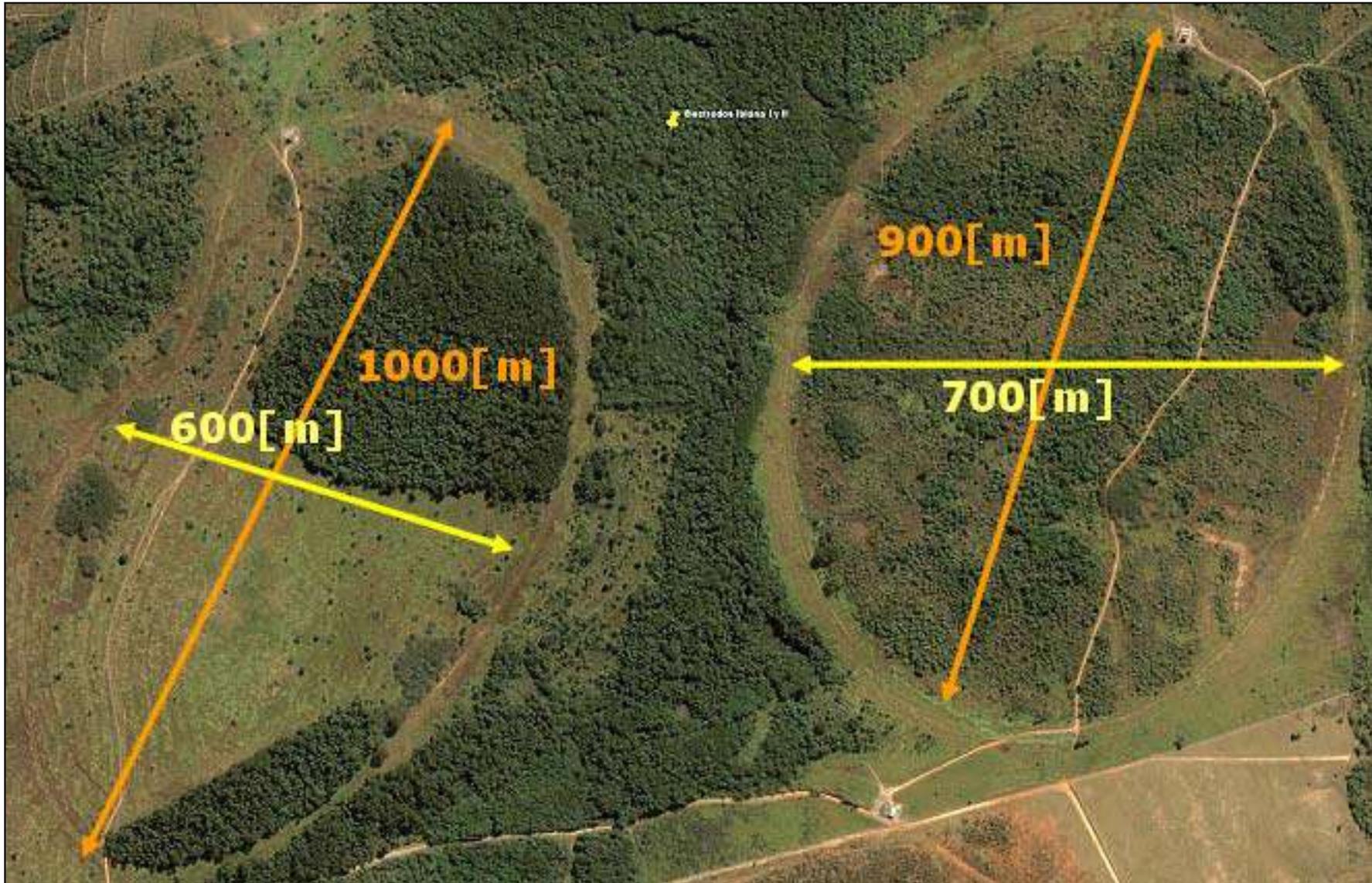
DATOS CASO 1				
r_0 [m] (PIM [1])	2000			
r_k [m] (PCG [2])	-			
r_n [m] (EDM [3])	100000			
$\rho_{c2}(r_n-r_0)$ [Ohm-m] [4]	4000			
h_c [m] (r_n-r_0) [5]	1000			
ρ_{c2} [Ohm-m] (r_n-r_k) [4]	4000			
h_{c2} [m] (r_n-r_1) [5]	1000			
ρ_{m2} [Ohm-m] (r_n-r_0) [6]	14000			
h_m [m] (r_n-r_0) [7]	30000			
$i(0)$ [A] [8]	3000			
$R(r_n-r_0)$ [Ohms] [9]	1.2413			
$v(r_0)_{arranque}$ [V] [10]	3723.9402			
$v(r_0)_{final}$ tal que $v(r_n)=0$ [V] [11]	3521.5057			
$R(r_n-r_0)$ de $v(r_0)_{final}$ [Ohms] [12]	1.1738			
RESULTADOS NUMERICOS PARCIALES				
	$v(r)$ [V] [13]	$i_c(r)$ [A] [13]	$\Delta i(r)$ [A] [13]	$i_n(r)$ [A] [13]
$r_0=2000m$	3521.51	3000.00	0.00	0.00
$r_1=2500m$	3139.53	2882.58	117.42	117.42
$r_{10}=10500m$	706.73	1668.07	121.59	1331.93
$r_{20}=20500m$	372.31	1517.22	119.75	1482.78
$r_{21}=21500m$	349.44	1399.60	117.62	1600.40
$r_{25}=25500m$	112.28	516.12	44.51	2483.88
$r_{50}=50500m$	7.16	59.21	5.52	2940.79
$r_{75}=75500m$	0.52	6.13	0.59	2993.87
$r_{100}=100500m$	0.07	0.17	0.10	2999.83



i_m : Corriente circulante por el manto

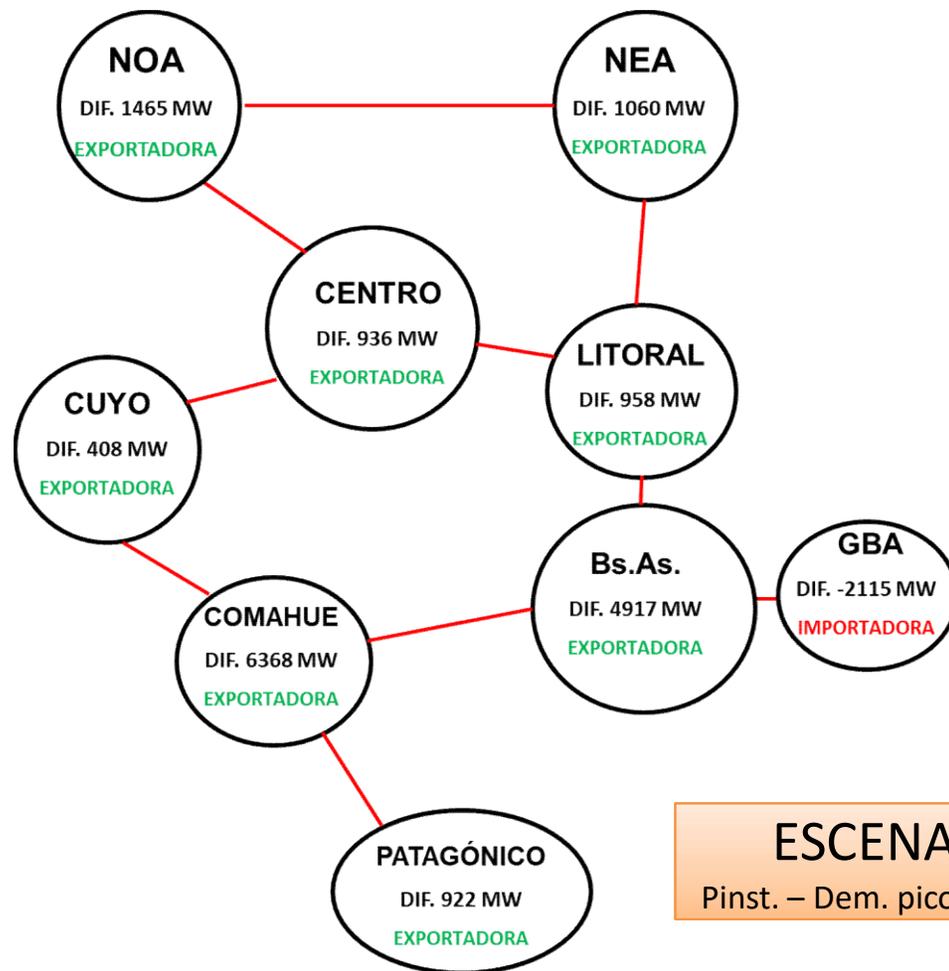
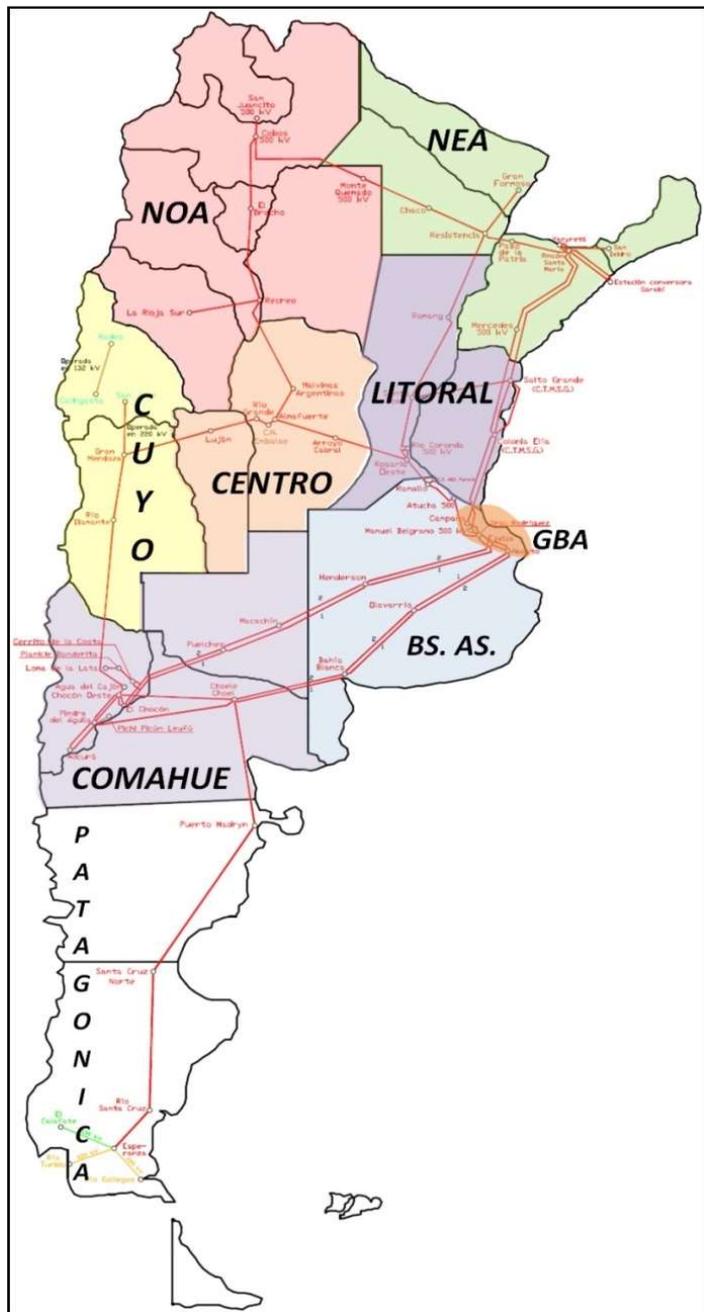
i_c : Corriente circulante por la corteza

i_n : Corriente circulante por el núcleo



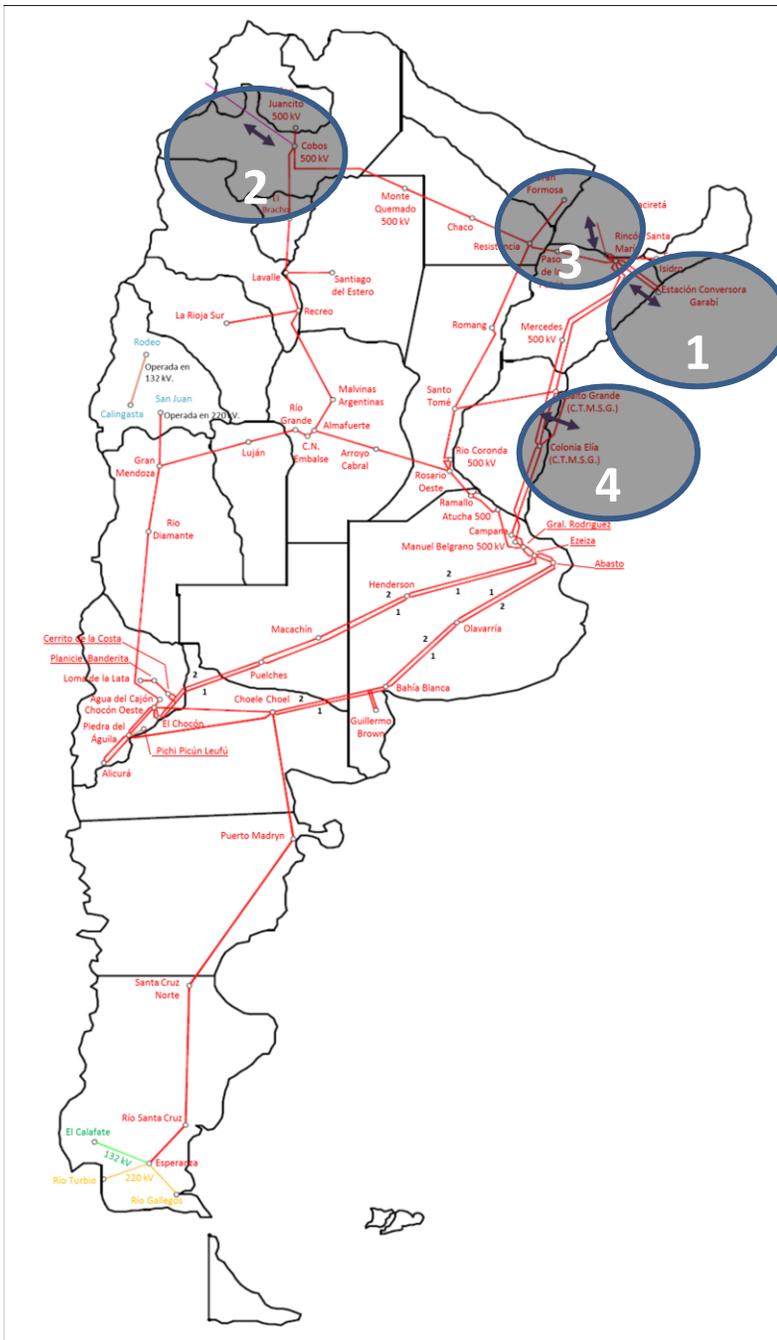
Electrodos de Ibiuna, Sistema HVDC Itaipú

Oportunidades de implementación en Sistema Argentino de Interconexión (SADI)



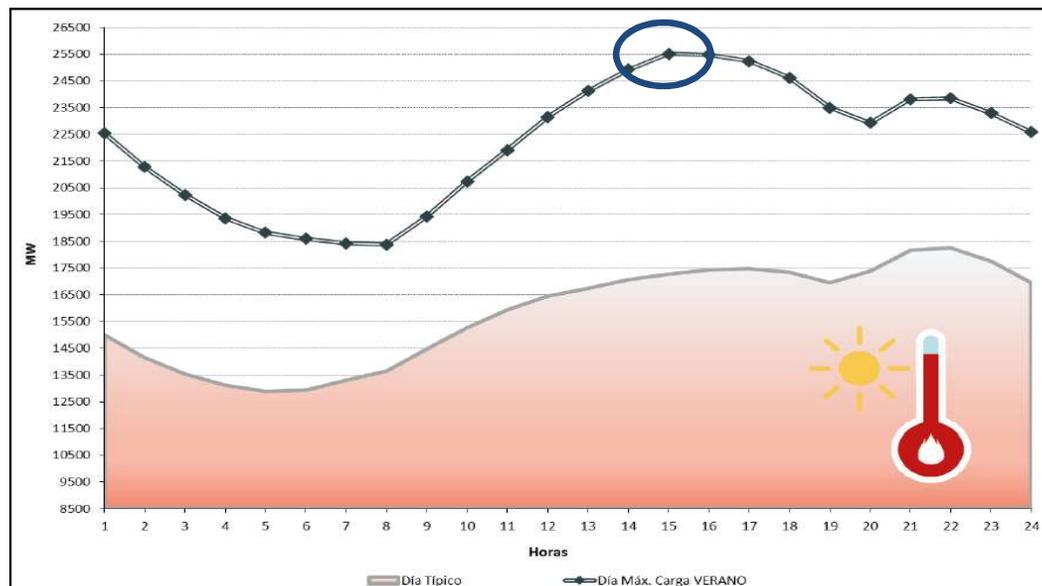
ESCENARIO
Pinst. – Dem. pico por región

Región	Provincias
Gran Buenos Aires (GBA)	C.A.B.A y Gran Buenos Aires
Buenos Aires (BA)	Buenos Aires sin GBA
Centro (CEN)	Córdoba, San Luis
Comahue (COM)	La Pampa, Neuquén, Río Negro
Cuyo (CUY)	Mendoza, San Juan
Litoral (LIT)	Entre Ríos, Santa Fe
Noreste Argentino (NEA)	Chaco, Corrientes, Formosa, Misiones
Noroeste Argentino (NOA)	Catamarca, Jujuy, La Rioja, Salta, Santiago del Estero, Tucumán
Patagonia (PAT)	Chubut, Santa Cruz



Ítem	País	Vínculo	Tensión [kV]
1	Brasil	Convertora Garabí 1 y 2	500
2	Chile	Línea Cobos-Andes	345
3	Paraguay	Línea Yaciretá - ET Ayolas	500
4	Uruguay	Líneas SG Arg-SG Uruguay y Colonia Elía-San Javier	500

Posibilidades de Intercambio de Energía del SADI con otros países

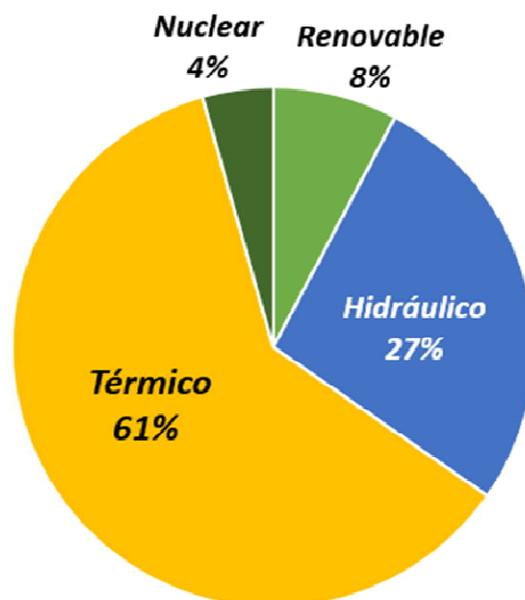


ESCENARIO 2020

Récord de demanda

26.320 MW

08/02/18 – 15:35 hs



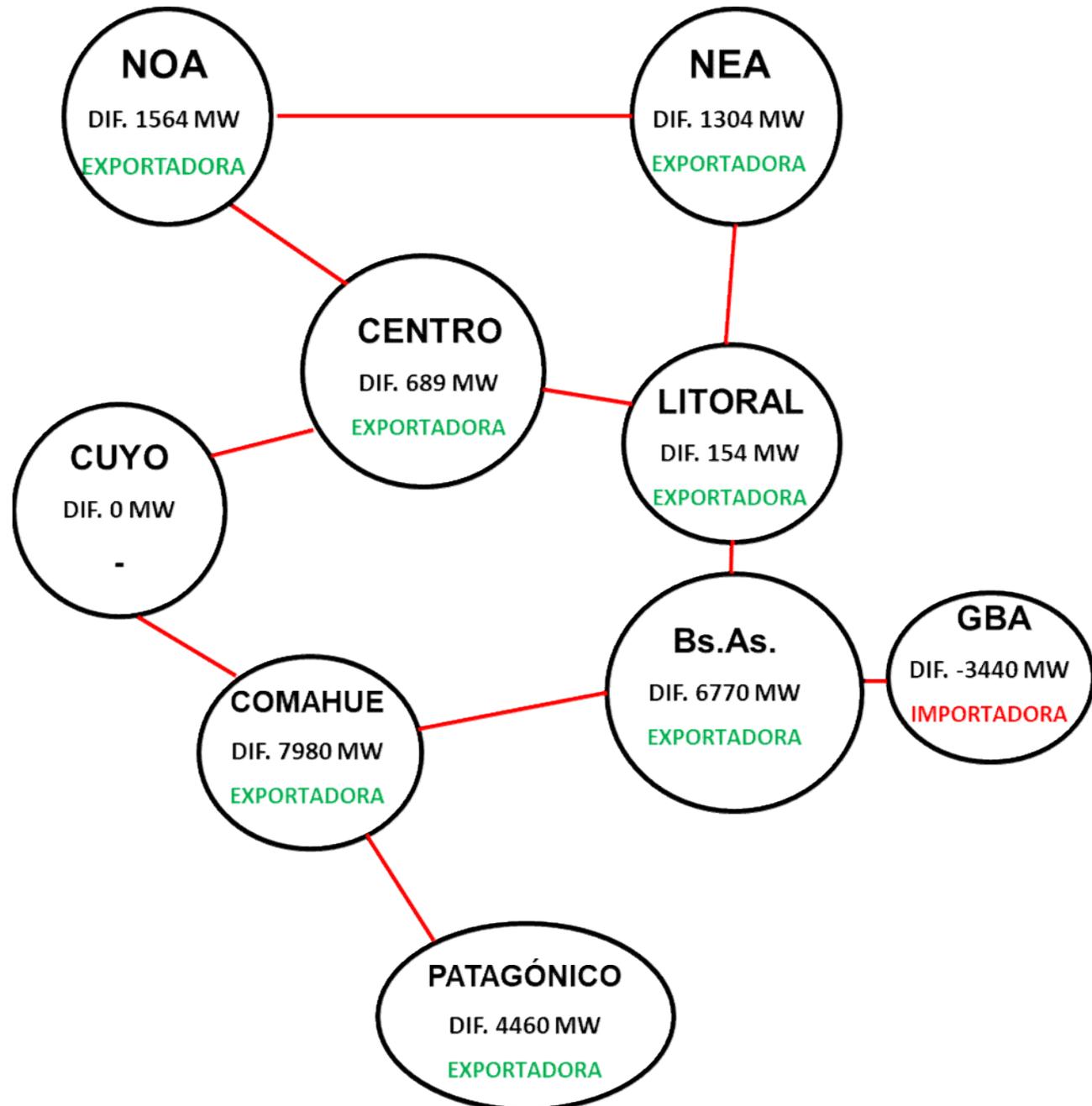
Potencia instalada

40.266 MW

Agosto 2020

ESCENARIO 2026

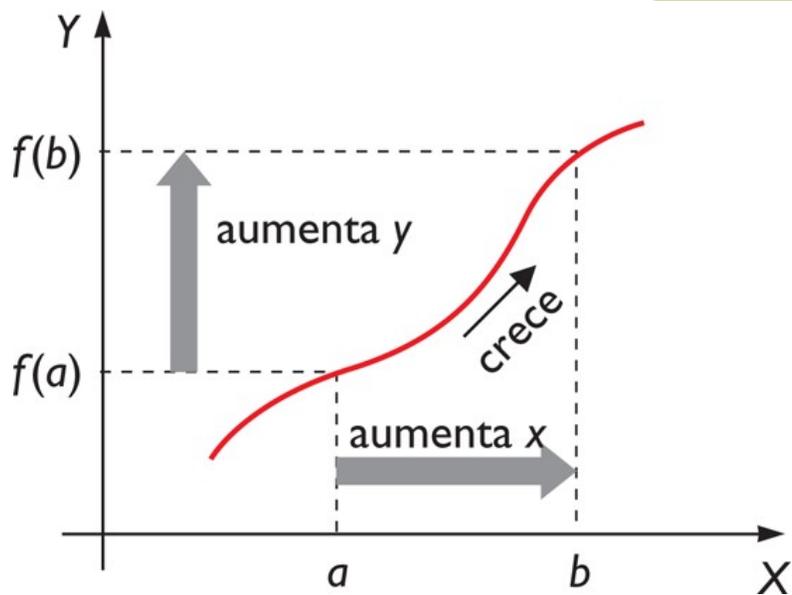
Pinst. – Dem. Verano pico



La demanda crece históricamente entre un 4% y un 4,5% anual

A ese ritmo se duplica cada 16 años

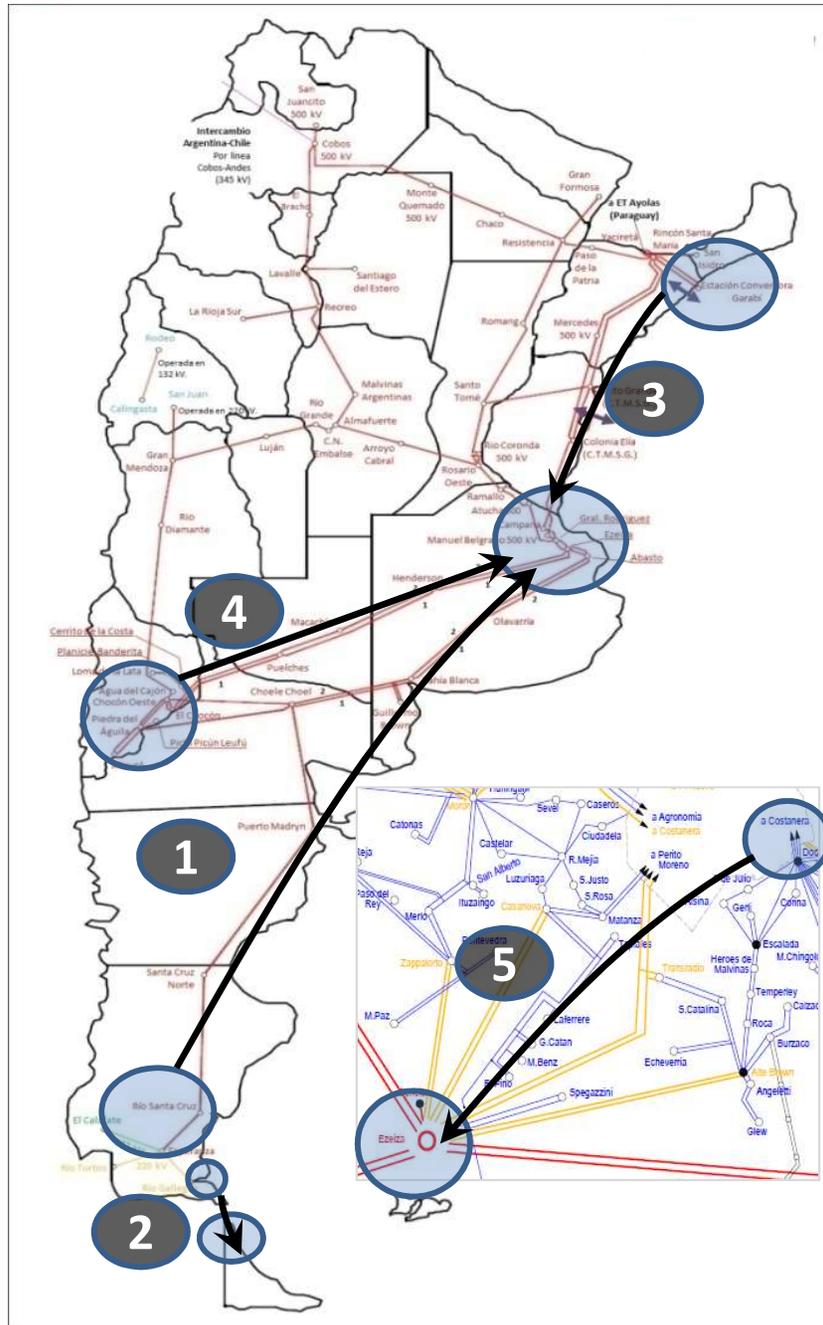
53.229 MW en 2034



**N
E
C
E
S
I
D
A
D**

Duplicar parque generador

Ampliación del sistema de transporte



1) Vínculo SIP – GBA

Futura generación Hidro + Eólica + Térmica en la Patagonia.

2) Interconexión SADI – Tierra del Fuego

Interconexión eléctrica submarina con la provincia de Tierra del Fuego (cruce por el Estrecho de Magallanes).

3) Vínculo NEA – GBA

Futura generación Hidro de proyectos en Río Paraná y Río Uruguay.

4) Vínculo Comahue – GBA

Futura generación Hidro/Renovable en el área Comahue.

5) Exportación desde GBA hacia nodo Ezeiza

Caso hipotético de instalación de un CC en Central Costanera (ejemplo de beneficios).

Corredor SIP-GBA (1)

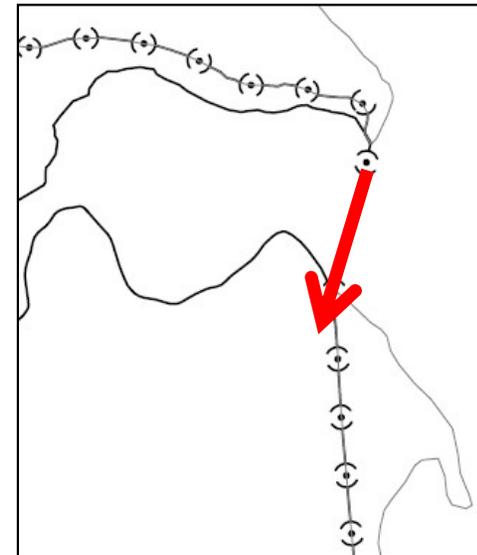
Potencia [MW]	3600
Distancia [km]	2000
Tensión a utilizar [kV]	± 800
Estación Inicio	Río Santa Cruz
Estación Fin	Nueva GBA
Generación a considerar	Hidraulica 1740 MW Eólica 2000 MW Térmica 700 MW



Interconexión SADI-TDF (2)



Potencia [MW]	a definir
Distancia [km]	40
Tensión a utilizar [kV]	a definir
Estación Inicio	ET Cabo Vírgenes
Estación Fin	ET Cabo Espíritu Santo
Generación a considerar	Instalación en boca de pozos gasíferos



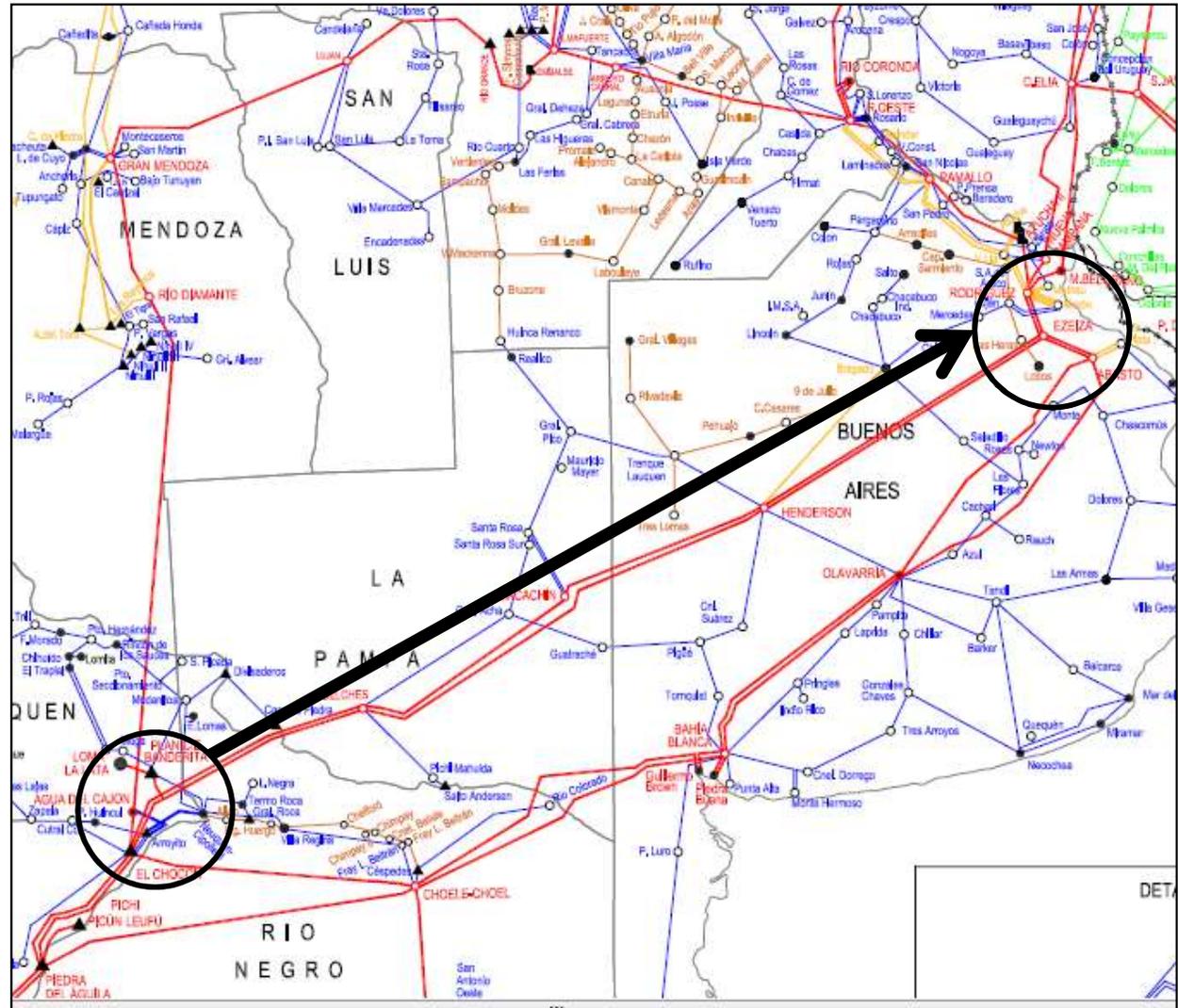
Corredor NEA-GBA (3)

Potencia [MW]	2000
Distancia [km]	950
Tensión a utilizar [kV]	a definir
Estación Inicio	ET Rincon
Estación Fin	ET Rodriguez
Generación a considerar	Hidráulica 1500 MW Importación 500 MW

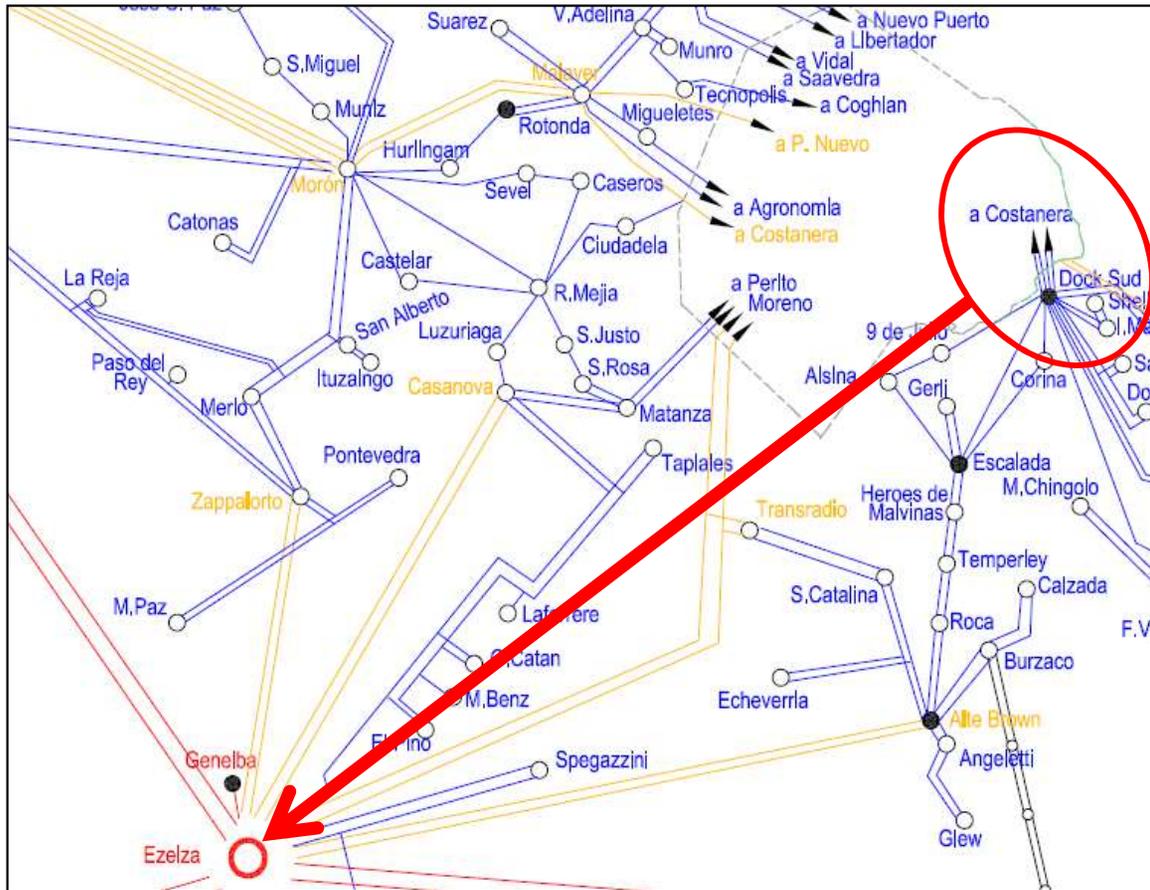


Corredor Comahue-GBA (4)

Potencia [MW]	3000
Distancia [km]	1200
Tensión a	a definir
Estación Inicio	ET Chocón
Estación Fin	ET Plomer
Generación a considerar	<p>Comahue: Hidráulica 640 MW Térmica 180 MW Eólico 560 MW</p> <p>Cuyo: Hidráulica 590 MW Térmica 400 MW Eólico 50 MW Solar 320 MW</p>



Exportación desde GBA hacia nodo Ezeiza (5)



Potencia [MW]	1000
Distancia [km]	80
Tensión a utilizar [kV]	a definir
Estación Inicio	a definir
Estación Fin	ET Ezeiza
Generación a considerar	Térmica 1000 MW



Resultados obtenidos

Ranking	Proyecto	Potencia [MW]	Distancia [km]	C_A	C_B	C_C	C_D	ΣC_i	$\frac{\Sigma C_i}{\max(\Sigma C_{ij})}$
1	SIP-GBA	3.600	2.000	1,25	0,81	2,67	0,50	5,22	100%
2	COM-GBA	3.000	1.200	0,75	1,00	2,67	0,50	4,92	94%
3	NEA-GBA	2.000	950	0,59	1,00	2,50	0,33	4,43	85%
4	GBA-EZE	1.000	80	0,05	1,00	1,00	0,33	2,38	46%
5	SIP-TDF	300	40	0,40	0,61	1,00	0,33	2,34	45%

Según lo expuesto, se verifica que el vínculo HVDC más conveniente de realizar es el que vincula el SIP con GBA y luego el de Comahue-GBA y NEA-GBA en ese orden de prioridad.

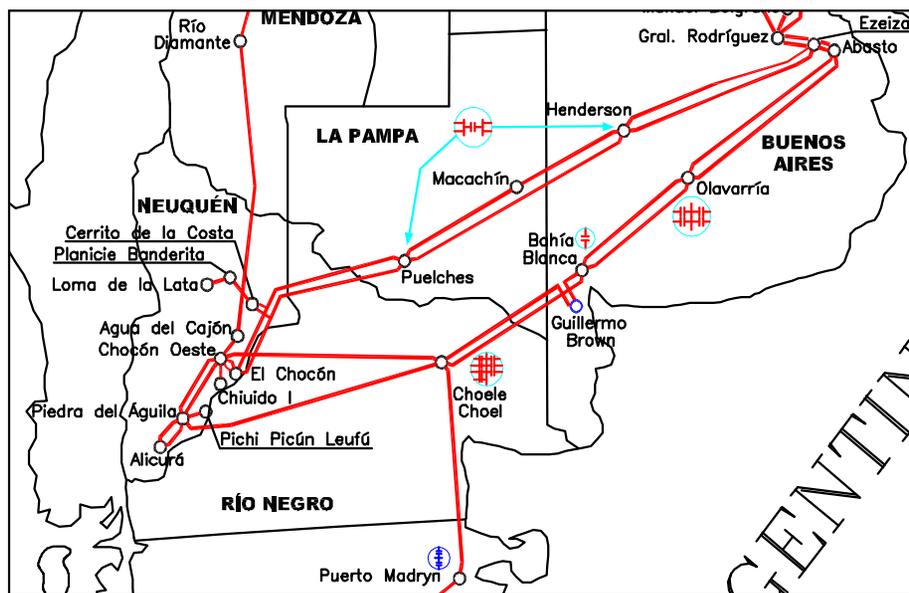
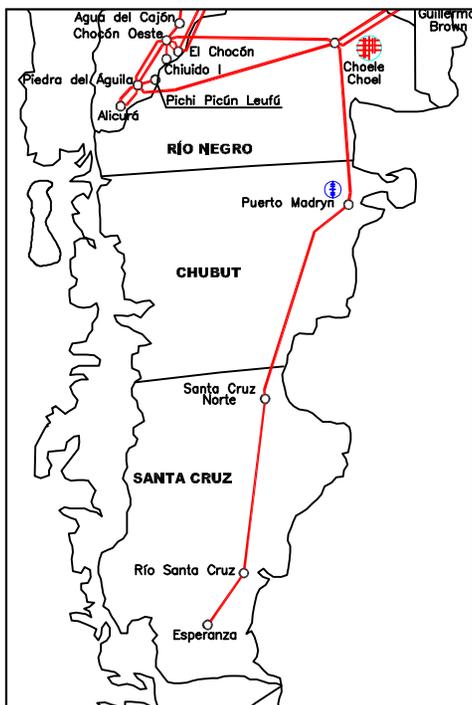
Vínculo SIP - GBA

Región Patagónica

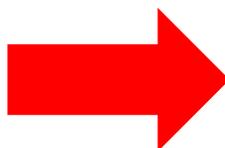
Gran potencial energético

Baja demanda en la zona

Región Exportadora



EXCEDENTE ENERGÉTICO



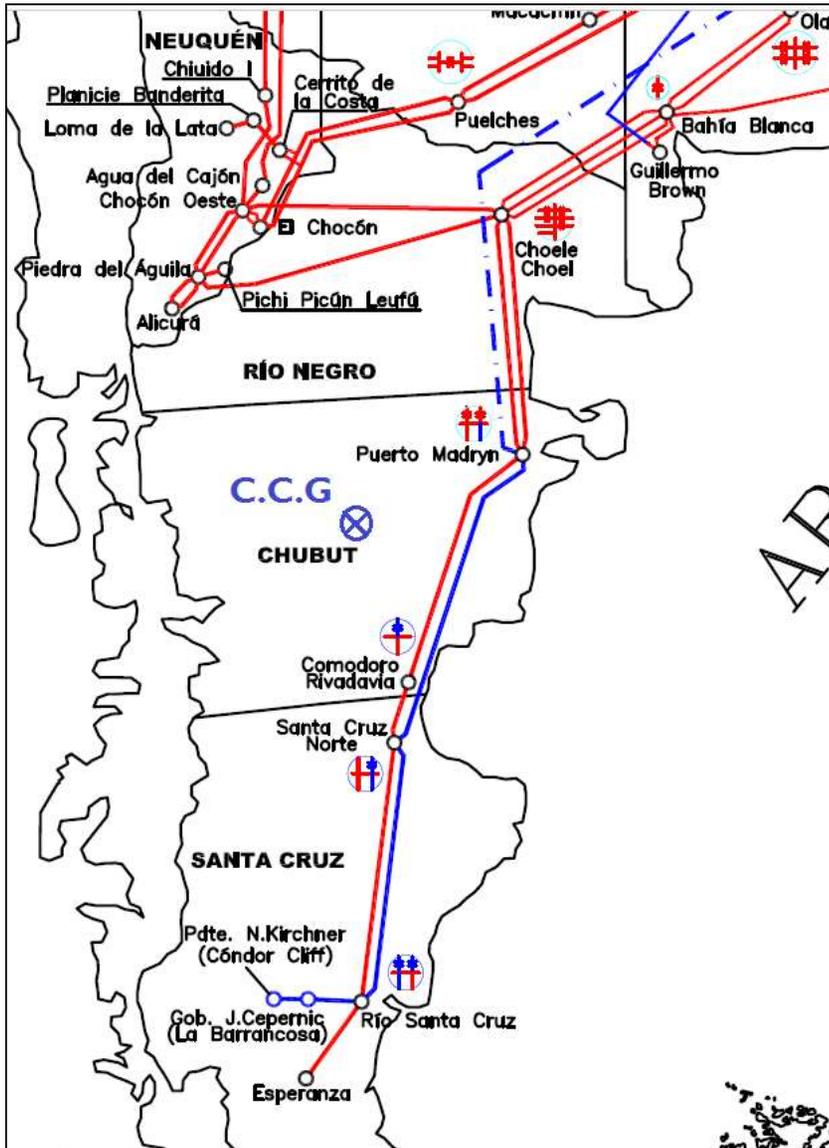
NECESIDAD DE AMPLIACIÓN
DEL SISTEMA DE TRANSMISIÓN

Vínculo SIP - GBA

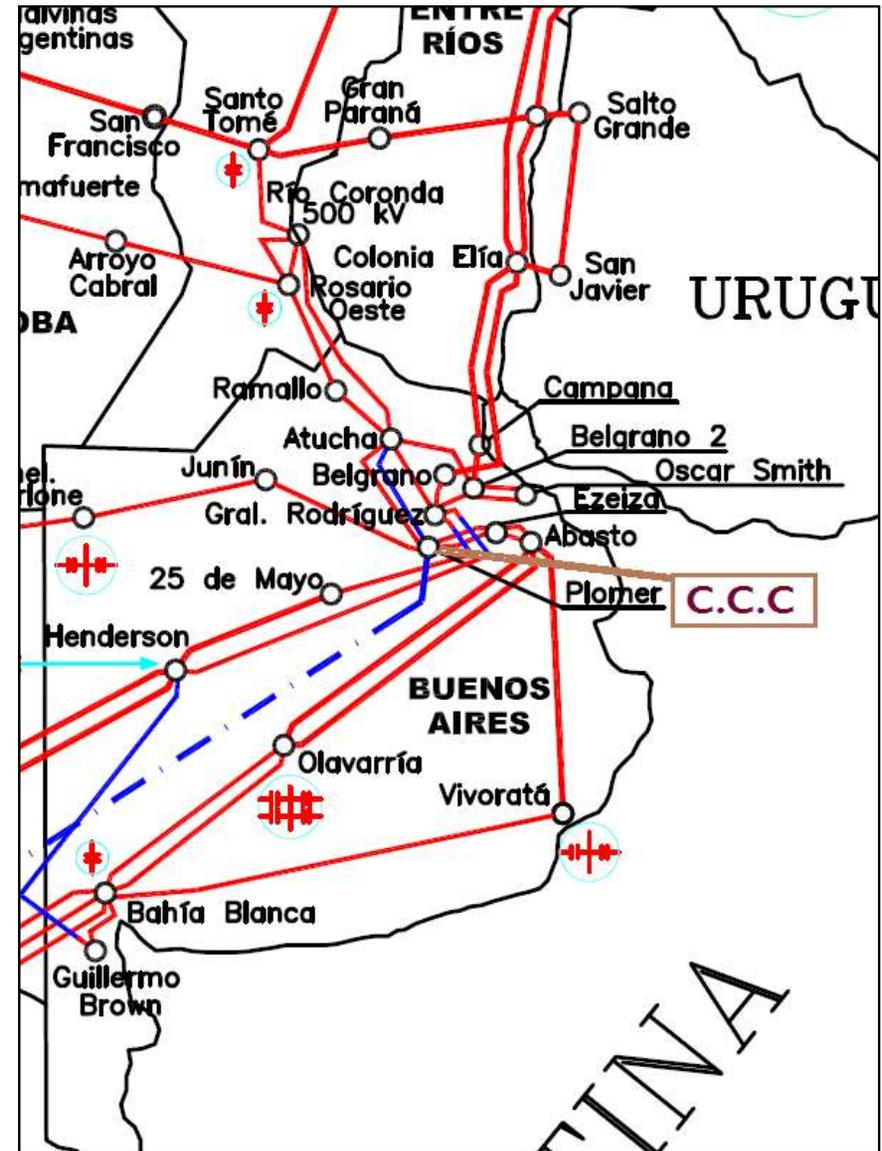


<i>Consideraciones</i>	<i>Proyecto FAC-TCC</i>	<i>Proyecto ING-TCC</i>
Generación Hidráulica	1740	1310
Generación Eólica	2000	1300
Generación Térmica	700	700
<i>Potencia Exportable</i>	<i>3600</i>	<i>3000</i>
<i>Distancia de transmisión</i>	<i>2000</i>	<i>1300</i>

Vínculo SIP - GBA



Centro de Cargas de Generación (CCG)



Centro de Cargas de Consumo (CCC)

Vínculo SIP - GBA

Estudios eléctricos

Configuración adoptada

Desarrollo en etapas de potencia que puedan ser aprovechadas para el despacho de potencia de la línea, para excedentes de potencia exportable variables.

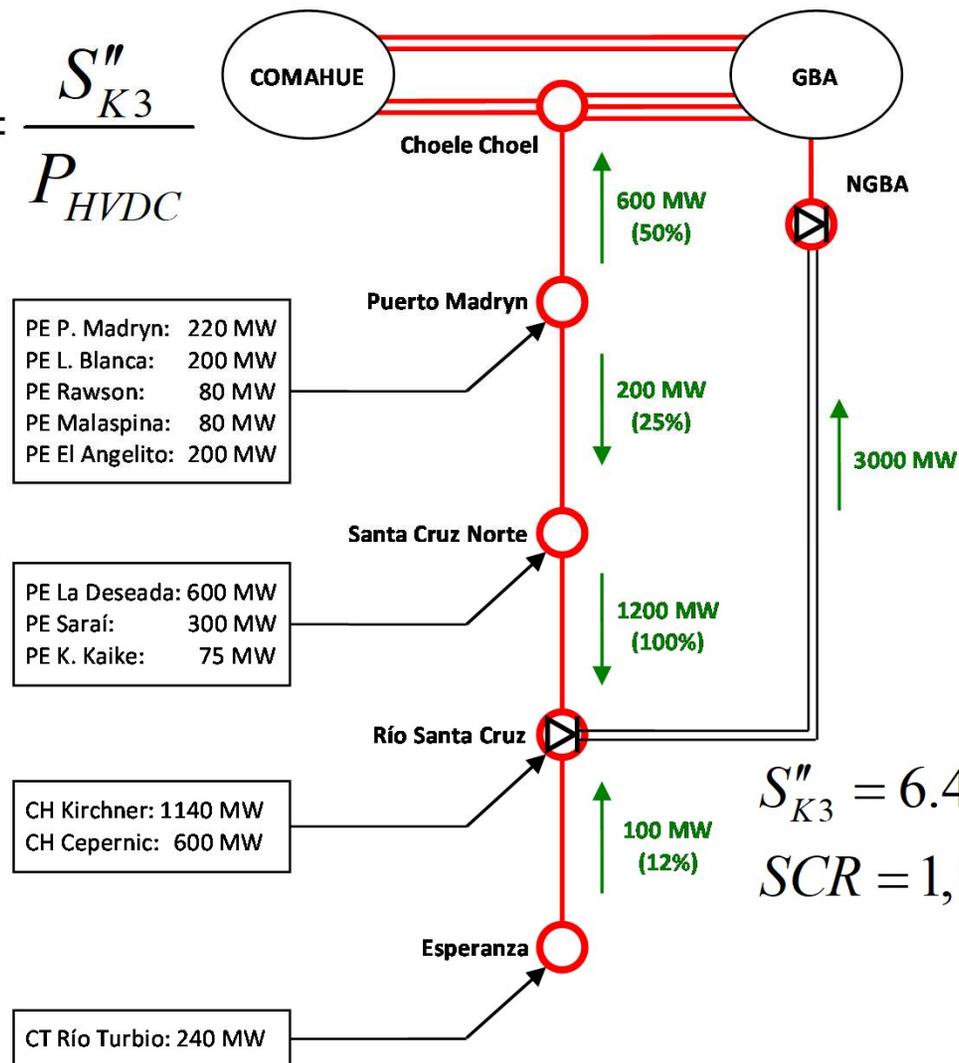
<i>Etapas y Configuración</i>	<i>Tensión y Potencia</i>	
	<i>Proyecto FAC-TCC</i>	<i>Proyecto ING-TCC</i>
1 (monopolar)	+400 kV / 900 MW	+300 kV / 750 MW
2 (monopolar)	+800 kV / 1800 MW	+600 kV / 1500 MW
3 (bipolar)	+800/-400 kV / 2700 MW	+600/-300 kV / 2250 MW
4 (bipolar)	±800 kV / 3600 MW	±600 kV / 3000 MW

Vínculo SIP - GBA

Estudios eléctricos

CASO PID FAC-TCC - ANÁLISIS DE UN BIPOLO DE 3.600 MW A ± 800 kV

$$SCR = \frac{S''_{K3}}{P_{HVDC}}$$



$$S''_{K3} = 15.000 \text{ MVA}$$

$$SCR = 4,2$$

$$S''_{K3} = 6.400 \text{ MVA}$$

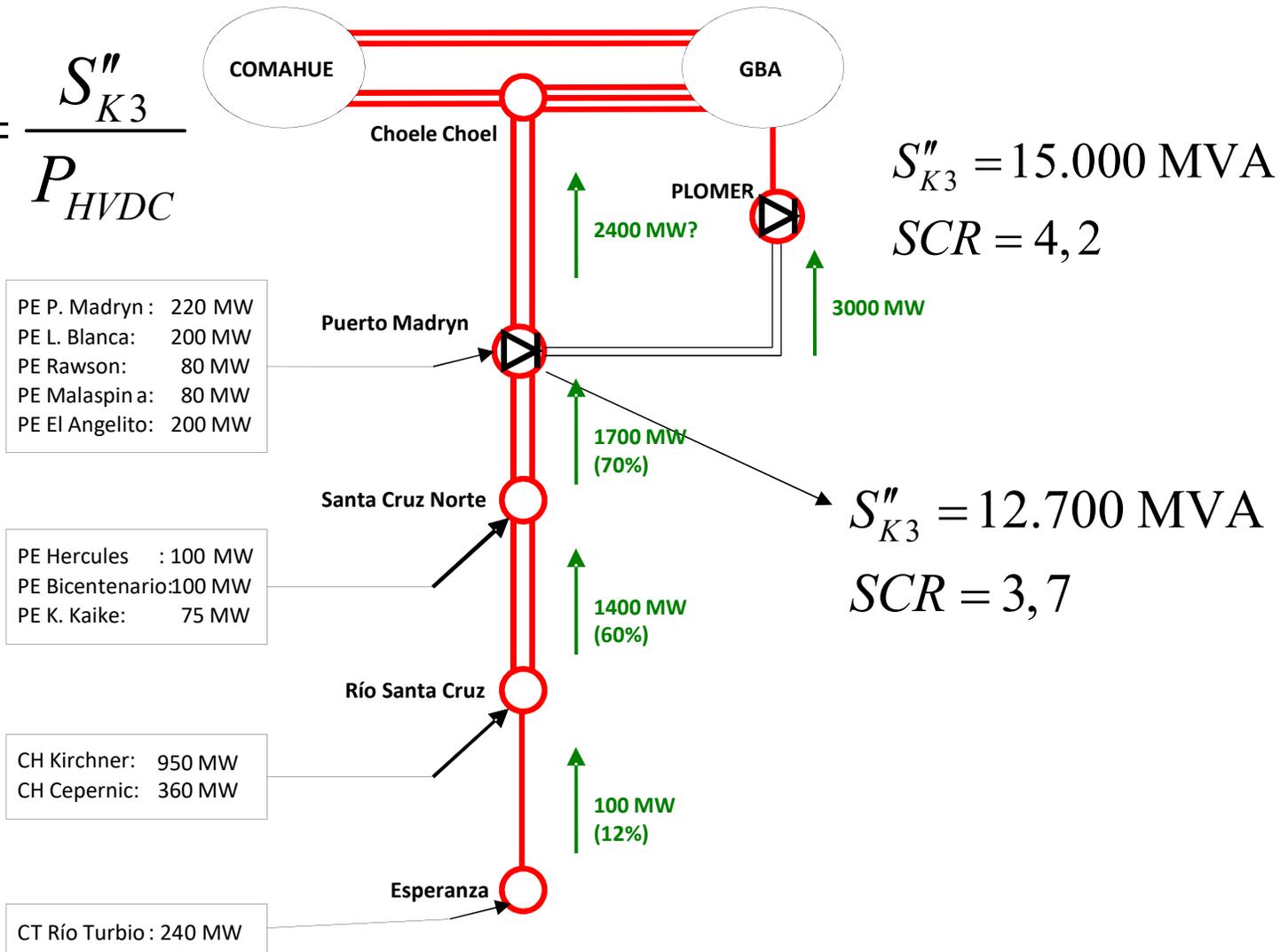
$$SCR = 1,8$$

Vínculo SIP - GBA

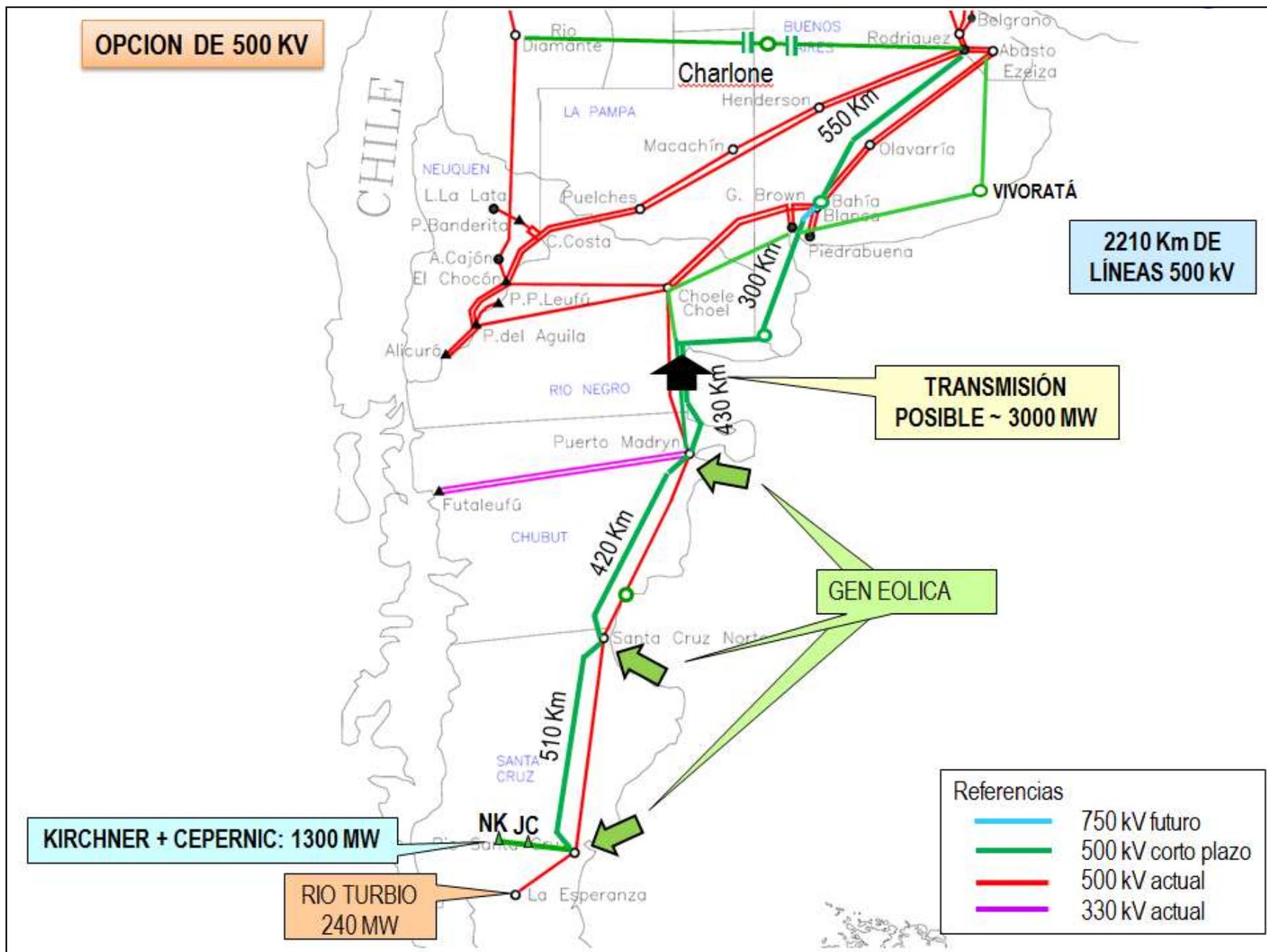
Estudios eléctricos

CASO PID ING-TCC - ANÁLISIS DE UN BIPOLO DE 3.000 MW A ±600 kV

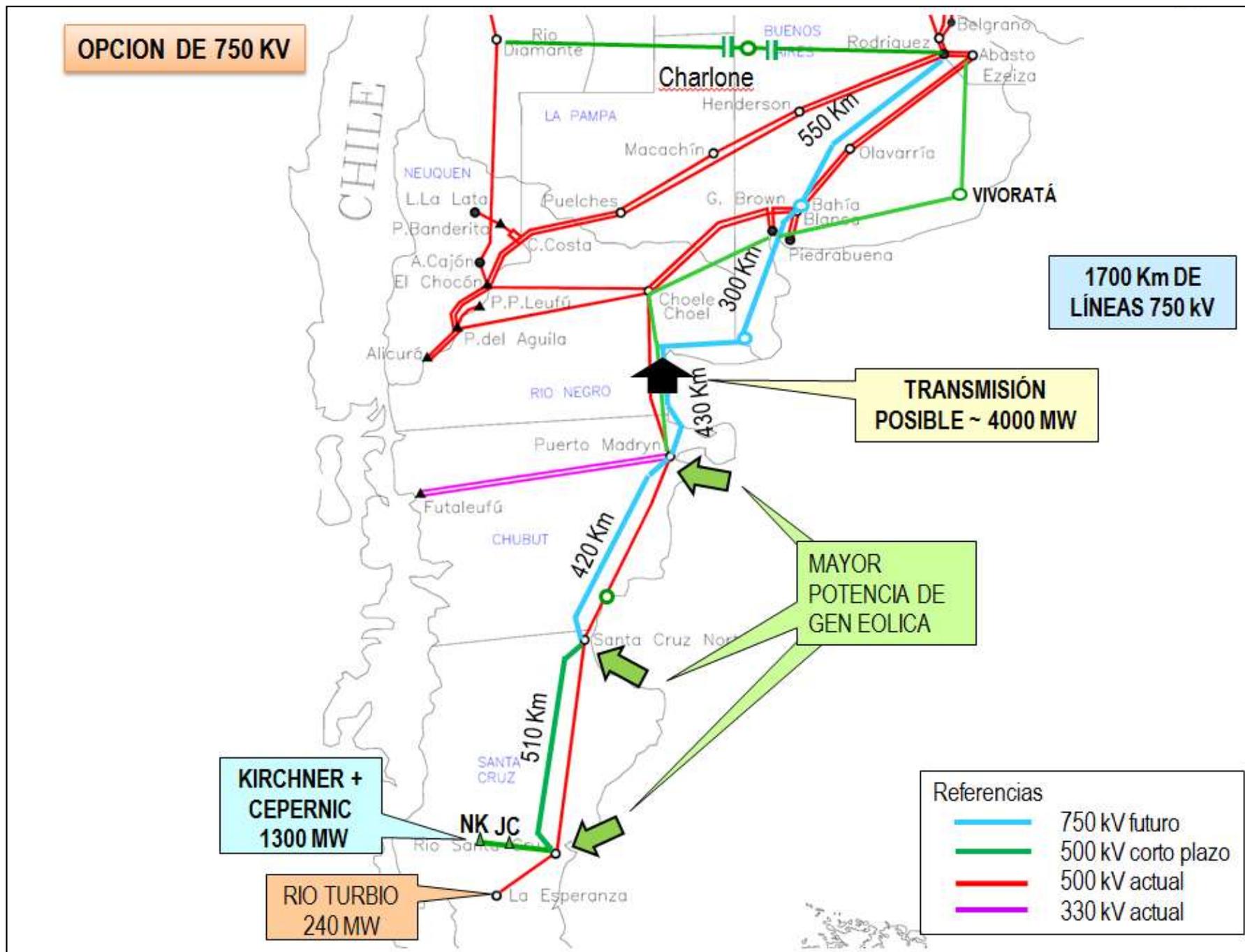
$$SCR = \frac{S''_{K3}}{P_{HVDC}}$$



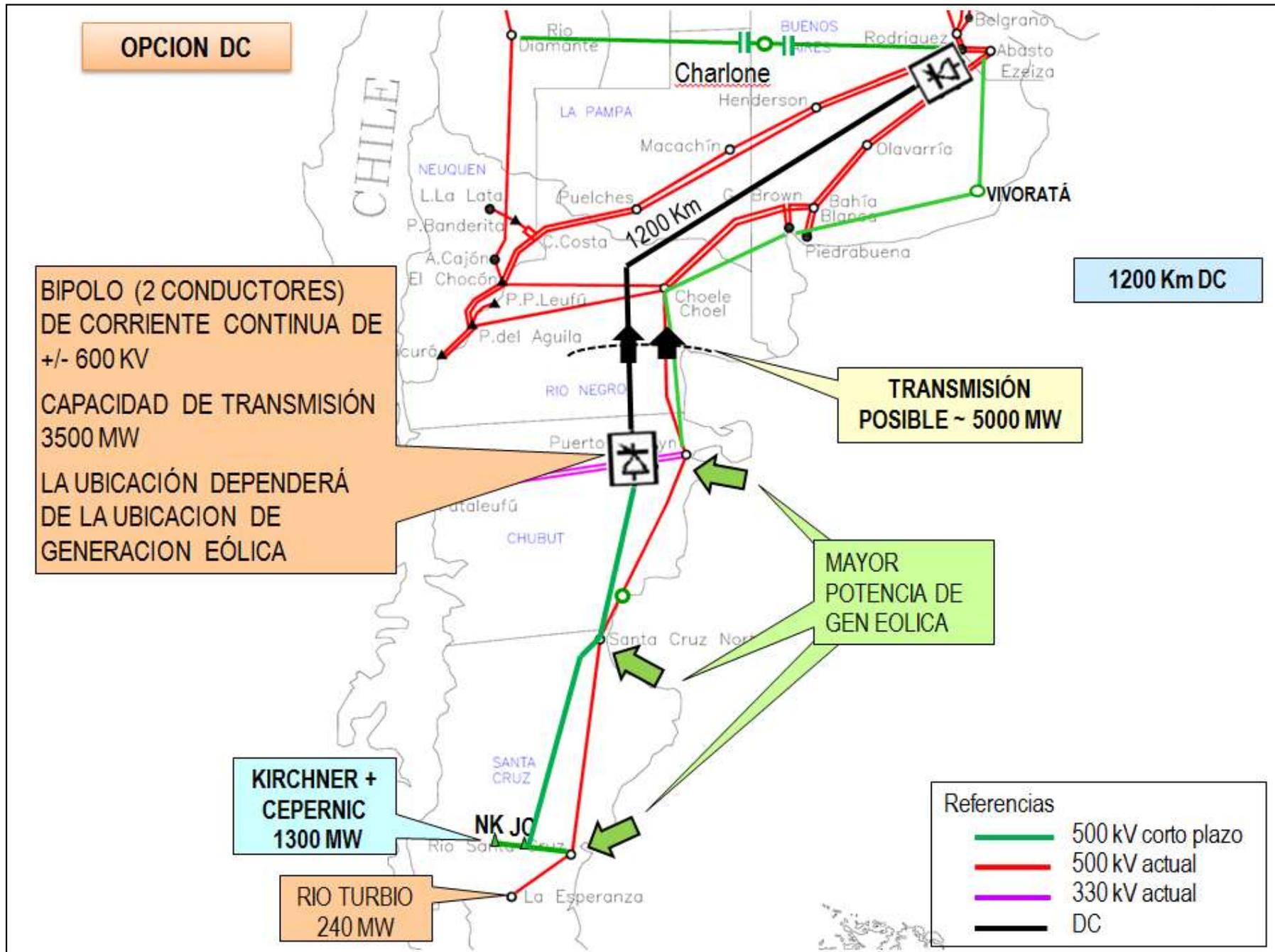
Opciones en ampliaciones sistema de transporte



Opciones en ampliaciones sistema de transporte



Opciones en ampliaciones sistema de transporte



*Muchas gracias
por su atención*

¿PREGUNTAS?