

## 2.

# ANÁLISIS DE LA CAPACIDAD DEL SISTEMA

## 1. Introducción

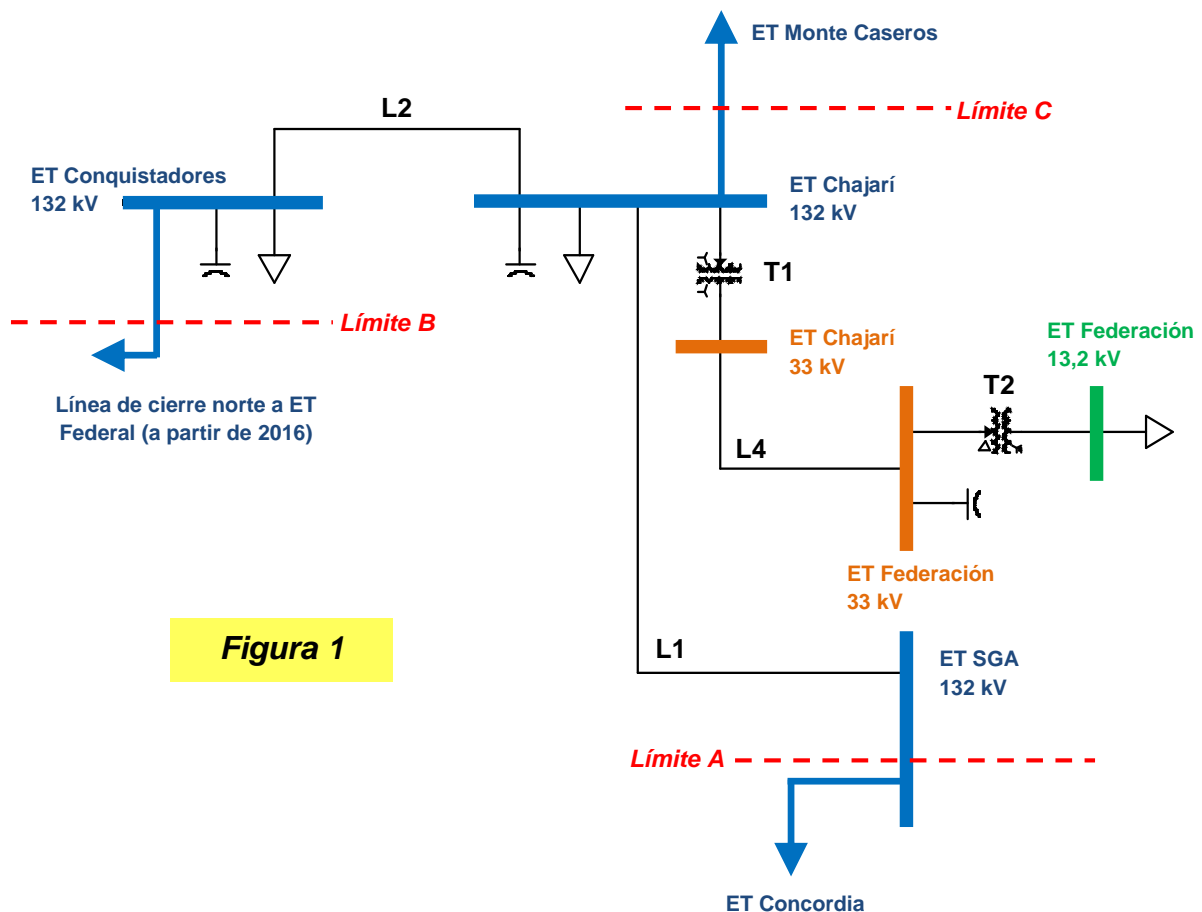
La determinación de los plazos máximos en que las obras consideradas en este proyecto deben realizarse se basa en el estudio de la capacidad remanente que posee el sistema eléctrico, considerando los crecimientos de la demanda eléctrica que incrementa año a año el pico de potencia de verano.

El estudio se compone de cálculos de flujo de potencia para los años críticos, es decir, los años donde los picos de potencia demandada por los centros de consumo influyentes llevan al límite de capacidad a determinados componentes del sistema.

## 2. Modelado de la red - Límites del sistema en estudio

El sector del sistema eléctrico modelado para éste análisis está conformado primeramente [Figura 1] por el sistema de 132 kV y la red de 33 kV que alimenta la ciudad de Federación (configuración actual). En segunda instancia [Figura 2] se modela solo el primero ya que con la nueva configuración del sistema (Nueva ET Federación en servicio) la red de 33 kV no impone límites en la capacidad de transporte de energía a dicha ciudad.

El modelo de la red de 132 kV utilizado, está compuesto por las barras de: ET Salto Grande Argentina (SGA), ET Chajarí, ET Conquistadores y ET Federación con las líneas de interconexión correspondientes [Ver Figura 1 y 2].



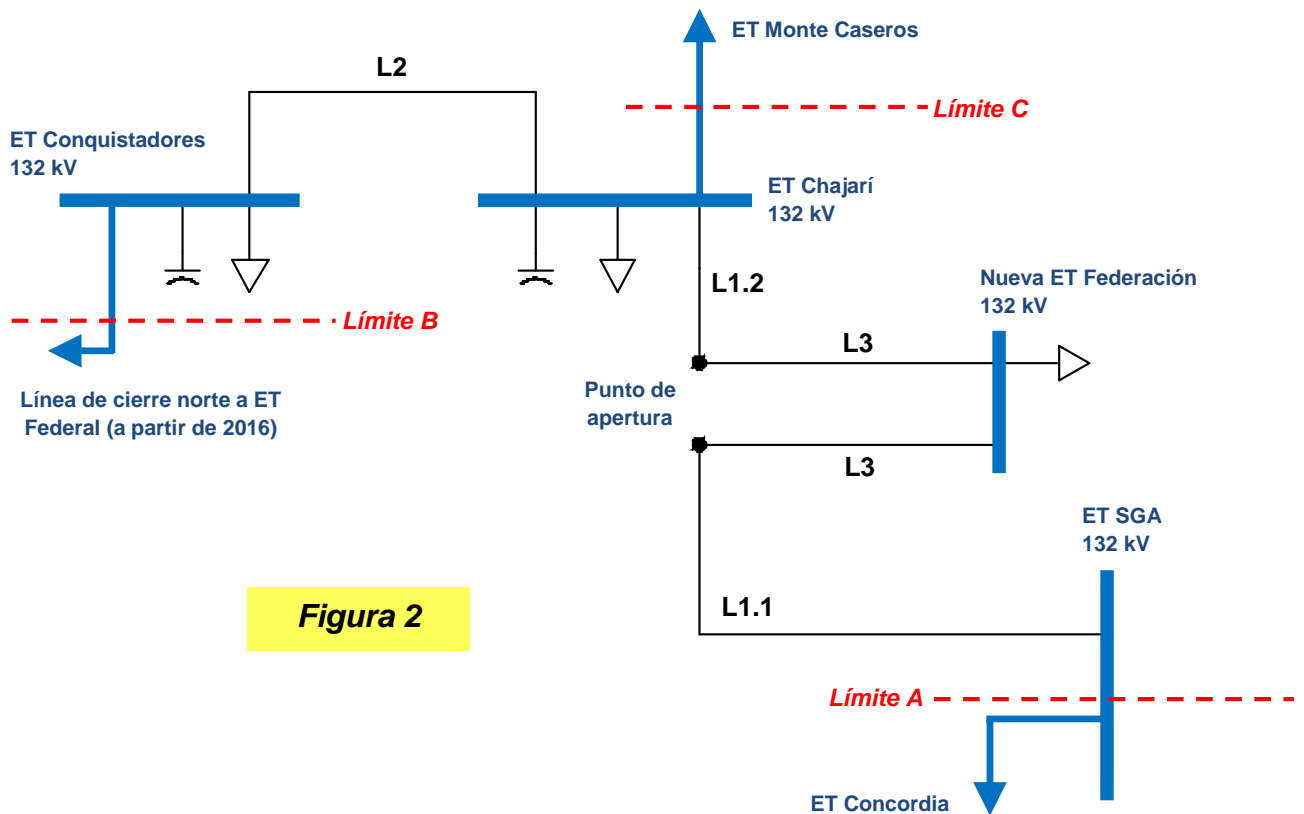


Figura 2

Los límites indicados en las Figuras 1 y 2 se aplicaron según los siguientes criterios:

- Límite A: se aplicó considerando que para el cálculo del flujo de potencia se adopta como barra flotante (módulo y ángulo de la tensión conocidos) a Salto Grande Argentina, esto independiza la potencia entregada a través de la línea SGA – Chajarí de la que fluye hacia el sur por la línea SGA – Concordia.
- Límite B: se impone asumiendo que se encuentra en operación el sistema de líneas que incluye ET Santa Elena, ET La Paz, ET Federal y ET Conquistadores conocido como cierre norte, ésta consideración es válida ya que dicho cierre se prevé para el año 2016. Por otro lado, estudios de flujo de potencia realizados por ENERSA revelan que la línea Conquistadores – Federal se comporta como “divisoria de aguas” entre los nodos de 500 kV SGA y Gran Paraná, esta razón es la que permite considerar esta conexión como una inyección de reactivo en la barra de Conquistadores (Aproximadamente 10 MVar según ENERSA) despreciando el flujo de activo.
- Límite C: es aplicado considerando a la conexión entre ET Chajarí y ET Monte Caseros como un consumo constante de activo y reactivo (39 MW y 7,7 MVar respectivamente). Esta consideración es válida ya que de los estudios de flujos de potencia realizados por ENERSA se desprende que dichos valores de potencia no varían de manera significativa a lo largo de los años debido a la presencia de la ET Mercedes y la convertidora ubicada en Uruguayana.

### 3. Modelado de la red – Parámetros de líneas y transformadores

Dados los límites impuestos al modelo de la red detallados en el punto anterior, el cálculo de flujo de potencia requiere los parámetros de las siguientes líneas y transformadores:

En Fig. 1 y 2	Línea		Tramo		Long. [km]	Tensión [kV]	Conductor		Parámetros $V_b = 138 \text{ kV} / S_b = 100 \text{ MVA}$			Corriente adm. [A]
	ET Origen	ET Destino	Inicio	Fin			Tipo	S [mm <sup>2</sup> ]	$r_{(1)}$ [p.u.]	$x_{(1)}$ [p.u.]	$b_{(1)}$ [p.u.]	
L1	SGA	Chajarí	SGA	Chajarí	60,9	132	ACSR	240/40	0,0381	0,1273	0,0335	530
L1.1	SGA	Chajarí	SGA	Apertura	33	132	ACSR	240/40	0,0165	0,0674	0,0181	530
L1.2	SGA	Chajarí	Apertura	Chajarí	27,9	132	ACSR	240/40	0,0137	0,0562	0,0151	530
L2	Chajarí	Conquist.	Chajarí	Conquist.	47,2	132	ACSR	240/40	0,0295	0,0986	0,0259	530
L3	-	Federación	Apertura	Federación	13,9	132	ACCC	315,15	0,0068	0,0280	0,0081	1100
Ver Nota 1												

Nota 1: Los parámetros de la línea doble terna "Federación" se calcularon utilizando el software PARALAT de la U.T.N. F.R. Santa Fe despreciando la influencia mutua entre ambas ternas. El archivo de resultados se puede examinar al final de este punto.

En Fig. 1 y 2	Línea		Tramo		Long. [km]	Tensión [kV]	Conductor		Parámetros $V_b = 36,1 \text{ kV} / S_b = 100 \text{ MVA}$			Corriente adm. [A]
	ET Origen	ET Destino	Inicio	Fin			Tipo	S [mm <sup>2</sup> ]	$r_{(1)}$ [p.u.]	$x_{(1)}$ [p.u.]	$b_{(1)}$ [p.u.]	
L4	Chajarí	Federación	Chajarí	Federación	45,5	33	ACSR	-	0,9148	0,9148	no se consideró	300
-	Chajarí	Federación	Chajarí	Acc. a Fed.	29	33	ACSR	120/20	0,5274	0,5274		360
-	Chajarí	Federación	Acc. a Fed.	Federación	16,5	33	ACSR	95/15	0,3874	0,3874		300
Ver Nota 2												

Nota 2: Se consideró  $r_{(1)}$  [p.u.] =  $x_{(1)}$  [p.u.] dado que en 33 kV se cumple esta relación de forma aproximada.

En Fig. 1	Potencia	Tensión [kV]	$x_{ps}$ [p.u.]
T1	15/15/10 MVA	132/33/13,2	0,1043
T2	3 trafos x 5 MVA	33/13,2	0,02
		Ver Nota 3	Ver Nota 4

Nota 3: Para simplificar el modelado del transformador de 3 arrollamientos de la ET Chajarí se utiliza uno equivalente de 2 arrollamientos cuya  $x_{cc}$  es igual a la  $x_{ps}$  del primero.

Nota 4: Para simplificar el modelado de la ET Federación con sus 3 transformadores se utiliza solo uno equivalente a estos en potencia y reactancia.

Cálculo de parámetros de línea doble terna "Federación" mediante el software PARALAT. Archivo de resultados:

```

LINEA DE ALTA TENSION DE 132 kv
FDON

SISTEMA DE UNIDADES: METRICO

DATOS DE LOS CONDUCTORES REALES DE LA LINEA
NRO RESISTENCIA DIAMETRO RMG POSICION FLECHA CANTIDAD DISTANCIA
A LA C.A. EXTERIOR (mm) (mm) (m) (m) (m) POR FASE E/SUBCOND
( Ω/km ) ( mm ) ( mm ) ( m ) ( m ) ( m ) ( m )
1 .0918 21.7800 8.4800 1.400 11.250 4.350 1 .000
2 .0918 21.7800 8.4800 1.400 14.140 4.350 1 .000
3 .0918 21.7800 8.4800 1.400 17.040 4.350 1 .000
0 3.7500 9.0000 3.0500 .000 19.800 2.560 1 .000

DATOS DE LA LINEA
TENSION LONGITUD TOTAL -FACTORES DE TRANSPOSICION- FRECUENCIA
(kv) ( km ) TRAMO 1 TRAMO 2 TRAMO 3 (HZ)
138.000 14.000 .333 .333 .333 50.00

RESISTIVIDAD DEL TERRENO ( Ω.m )
100.0

RESULTADOS DEL CALCULO
MATRIZ DE IMPEDANCIA DE LOS CONDUCTORES REALES, PARA EL TRAMO 1, EN ( Ω/km ):
0
1 .1411+j .7293 .0493+j .3629 .0493+j .3192 .0493+j .2939
2 .0493+j .3629 .1411+j .7293 .0493+j .3626 .0493+j .3188
3 .0493+j .3192 .0493+j .3626 .1411+j .7293 .0493+j .3586
[Z]abcvw = 4 .0493+j .2939 .0493+j .3188 .0493+j .3586 3.7993+j .7935
A

MATRIZ DE IMPEDANCIA REDUCIDA DE LOS CONDUCTORES DE FASE, EN (Ω):
0
1 2.316+j 10.020 1.027+j 4.687 1.027+j 4.687
[Z]abc = 2 1.027+j 4.687 2.316+j 10.020 1.027+j 4.687
3 1.027+j 4.687 1.027+j 4.687 2.316+j 10.020
A

MATRIZ DE IMPEDANCIAS DE SECUENCIA, EN (Ω):
0
1 4.371+j 19.393 .000+j .000 .000+j .000
[Z]012 = 2 -.000-j .001 1.289+j 5.333 .000+j .000
3 -.000-j .001 .000+j .000 1.289+j 5.333
A

IMPEDANCIAS DE SECUENCIA POR UNIDAD (BASES= 100 MVA Y 138.00 kv):
0
1 .02295+j .10183 .00000+j .00000 .00000+j .00000
[Z]012 = 2 -.00000-j .00001 .00677-j .02800 .00000+j .00000
3 -.00000-j .00001 .00000+j .00000 .00677+j .02800
A
r(1) X(1)

MATRIZ DE LOS COEFICIENTES DE MAXWELL DE LOS CONDUCTORES REALES, EN EL TRAMO1, EN ( km/ÆF ):
0
1 137.2108 39.0615 28.5151 22.9622
2 39.0615 141.3206 42.6918 31.6779
3 28.5151 42.6918 144.6740 44.5347
[P]abcvw = 4 22.9622 31.6779 44.5347 163.2581
A

```

MATRIZ DE LAS CAPACITANCIAS DE LOS CONDUCTORES REALES, EN EL TRAMO1, EN ( nF/km ):

	Ú				¿
	3	8.0877	-1.8481	-.8831	- .5380
	3				3
	3	-1.8481	8.3321	-1.8305	- .8575
	3				3
[C]abcvw =	3	-.8831	-1.8305	8.1643	-1.7477
	3				3
	3	- .5380	- .8575	-1.7477	6.8441
	3				3
	À				Ù

MATRIZ DE CAPACITANCIA REDUCIDA DE LOS CONDUCTORES DE FASE, EN ( nF/km ):

	Ú			¿
	3	8.0877	-1.8481	-.8831
	3			3
[C]abc =	3	-1.8481	8.3321	-1.8305
	3			3
	3	-.8831	-1.8305	8.1643
	3			3
	À			Ù

MATRIZ DE CAPACITANCIA TOTAL, EN (æF):

	Ú			¿
	3	.1147	-.0213	-.0213
	3			3
[C]abc =	3	-.0213	.1147	-.0213
	3			3
	3	-.0213	-.0213	.1147
	3			3
	À			Ù

MATRIZ DE CAPACITANCIAS DE SECUENCIA, EN (æF):

	Ú			¿
	3	.0721	.0000	.0000
	3			3
[C]012 =	3	.0000	.1360	.0000
	3			3
	3	.0000	.0000	.1360
	3			3
	À			Ù

MATRIZ DE SUCEPTANCIAS, EN (æS):

	Ú			¿
	3	36.0387	-6.6872	-6.6872
	3			3
[B]abc =	3	-6.6872	36.0387	-6.6872
	3			3
	3	-6.6872	-6.6872	36.0387
	3			3
	À			Ù

MATRIZ DE SUCEPTANCIAS DE SECUENCIA, EN (æS):

	Ú			¿
	3	22.6641	.0000	.0000
	3			3
[B]012 =	3	-.0016	42.7283	.0001
	3			3
	3	-.0016	.0001	42.7283
	3			3
	À			Ù

SUCEPTANCIAS DE SECUENCIA POR UNIDAD (BASES= 100 MVA Y 138.00 kv):

	Ú			¿
	3	.0043	.0000	.0000
	3			3
[B]012 =	3	.0000	.0081	.0000
	3			3
	3	.0000	.0000	.0081
	3			3
	À			Ù

**b(1)**

#### 4. Modelado de la red – Consideraciones sobre cálculos de flujos de potencia

- **Software utilizado:** Siemens PSS®E University versión 33
- **Método de cálculo:** *Newton – Raphson*
- **Tipos de barras:**
  - Barra flotante: Salto Grande Argentina (SGA)
    - Módulo de Tensión: 138 kV
    - Ángulo de Tensión: 0 °

NOTA 1: Se adoptó 138 kV como módulo de tensión ya que es el valor con que opera el nodo SGA en el nivel de 132 kV según los estudios realizados por ENERSA.

NOTA 2: Dado que SGA es una conexión al sistema de 500 kV en un nodo de generación importante se la considera sin limitaciones de aporte de potencia activa y reactiva, es decir, se la considera “barra infinita”.

- Barras de carga:
  - ET Federación:  $P_{\text{máx}}$  y  $Q_{\text{máx}}$
  - ET Chajarí:  $P_{\text{máx}}$  y  $Q_{\text{máx}}$  (Chajarí) – P y Q hacia Monte Caseros – Q de compensación.
  - ET Conquistadores:  $P_{\text{máx}}$  y  $Q_{\text{máx}}$  (Conquistadores) –  $Q_{\text{CN}}$  inyectado por cierre norte – Q de compensación.

## 5. Proyección de los valores de P y Q en los picos máximos de verano

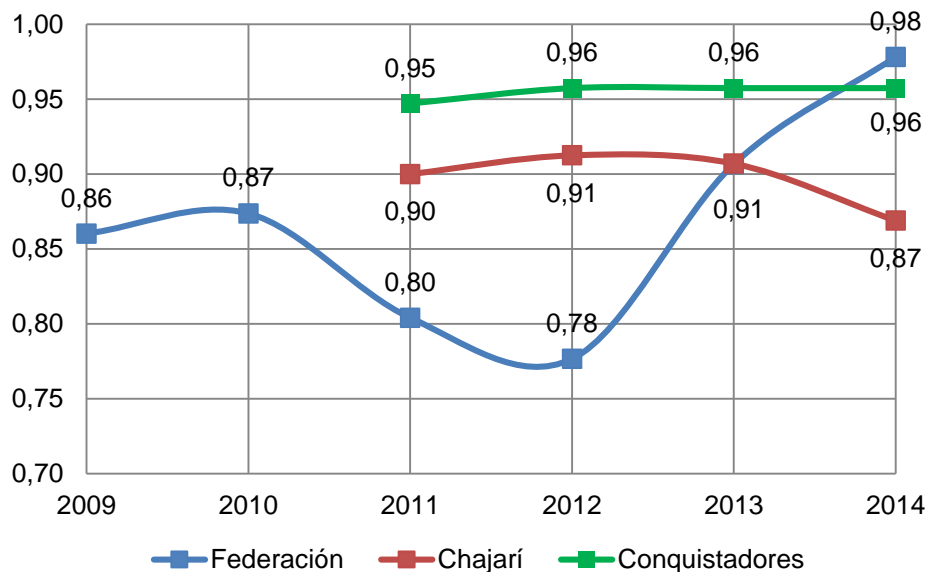
El análisis se realiza a partir de los registros de picos de potencia anuales correspondientes a las ciudades de Federación, Chajarí y Los Conquistadores. Estos datos fueron recabados por la empresa ENERSA y consisten en los valores históricos de potencia máximos de verano registrados en las EETT desde el año 2009 para el caso de Federación y desde 2011 para Chajarí y Los Conquistadores hasta el corriente año.

- 5.1 Proyección de  $P_{\text{máx}}$  [MW]: La proyección del valor de la potencia activa  $P_{\text{máx}}$  [MW] durante el pico de demanda se realizó modelando su incremento anual mediante una recta de tendencia confeccionada a partir de los valores históricos registrados [Puntos naranjas en los Gráficos 2, 3 y 4]. Esta proyección puede considerarse válida ya que los valores de potencia activa correspondientes a los picos anuales a lo largo del período de estudio tuvieron un crecimiento aproximadamente lineal.
- 5.2 Proyección de  $Q_{\text{máx}}$  [MVAR]: Considerando que la demanda de potencia reactiva  $Q_{\text{máx}}$  [MVAR] depende no solamente de las cargas sino que también de la configuración del sistema (conexión de bancos de capacitores, cables, taps de transformadores, etc) no sería válido proyectar con extrapolación de línea de tendencia utilizando los valores históricos. Esto se debe, en parte, a que es prácticamente impredecible cómo evolucionará dicha configuración. Con el objeto de simplificar el modelado de la variación año a año del valor de la potencia reactiva correspondiente a los picos, se calculan factores de potencia promedio [Ver Tabla 1] a partir de los valores históricos registrados [Puntos rojos en los Gráficos 2, 3 y 4] para cada ciudad. Con estos fdp se obtiene el valor de  $Q_{\text{máx}}$  [MVAR] correspondiente a cada valor de  $P_{\text{máx}}$  [MW].

<b>Tabla 1:</b> Factores de potencia correspondientes a los pico de potencia anuales							
f.d.p.	2009	2010	2011	2012	2013	2014	Promedio
Chajarí	s/d	s/d	0,90	0,91	0,91	0,87	0,90
Conquist.	s/d	s/d	0,95	0,96	0,96	0,96	0,95
Federación	0,86	0,87	0,80	0,78	0,91	0,98	0,94
Ver Nota							

NOTA: Como se aprecia en el *Gráfico 1*, el valor del factor de potencia en el pico anual de verano para la ciudad de Federación (en color azul) ha presentado un incremento en 2013 producto a la instalación de capacitores de compensación. Debido a este reciente cambio en la configuración del sistema resultaría inexacta una proyección de  $Q_{m\acute{a}x}$  calculando el fdp promedio con los valores desde 2009. Por ello, se promedian solo los valores de 2013 y 2014, es decir, con la potencia reactiva compensada.

Gráfico 1: Valores de factor de potencia durante la potencia pico anual



Aplicando los criterios antes descritos se proyectan los valores de las potencias activa y reactiva correspondientes a los picos de demanda anuales hasta el año 2025:

Gráfico 2

### Chajarí

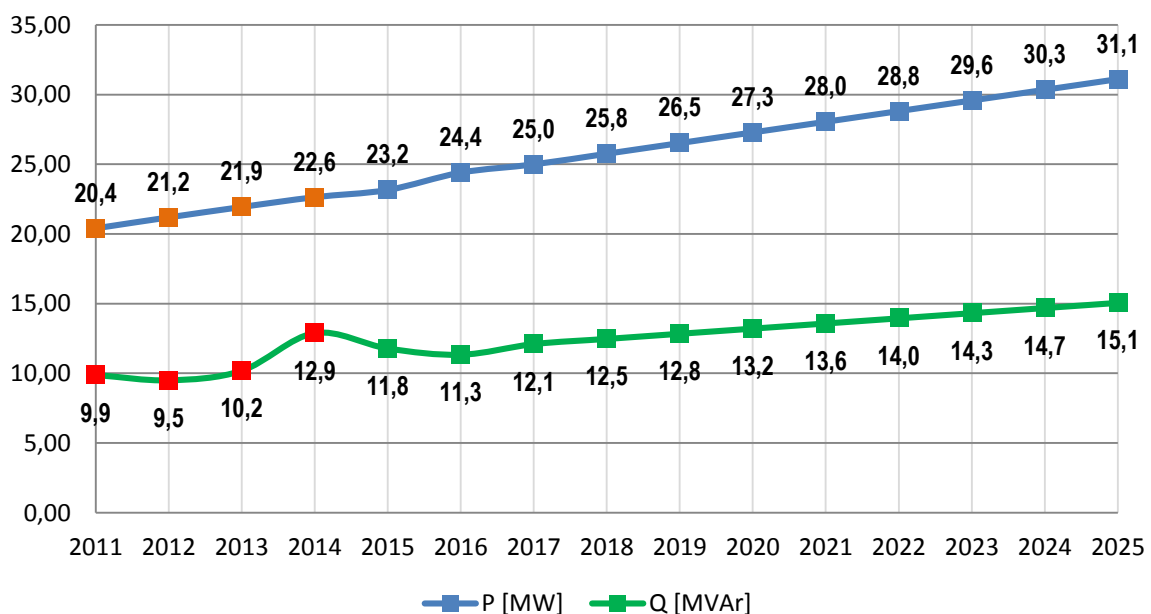




Gráfico 3

### Conquistadores

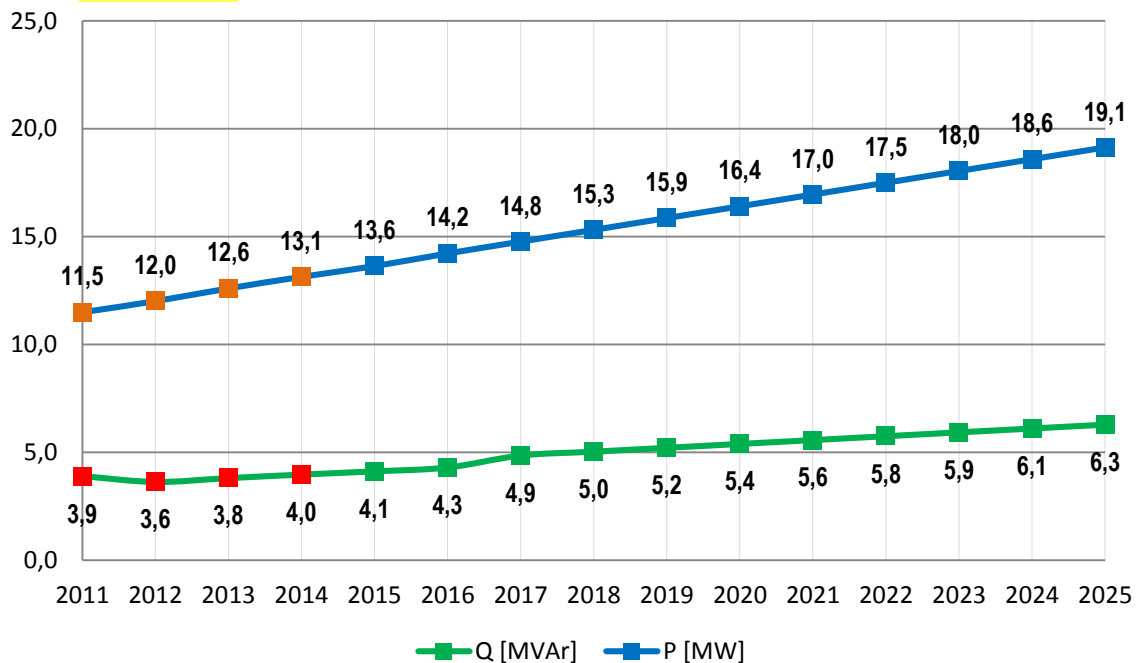
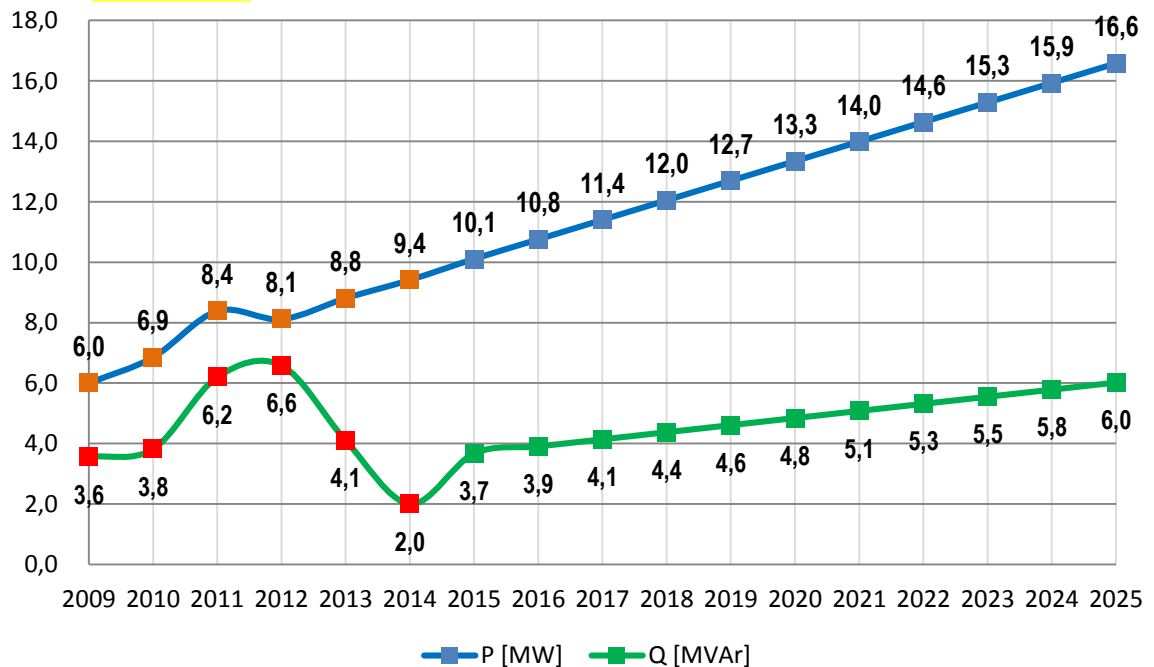


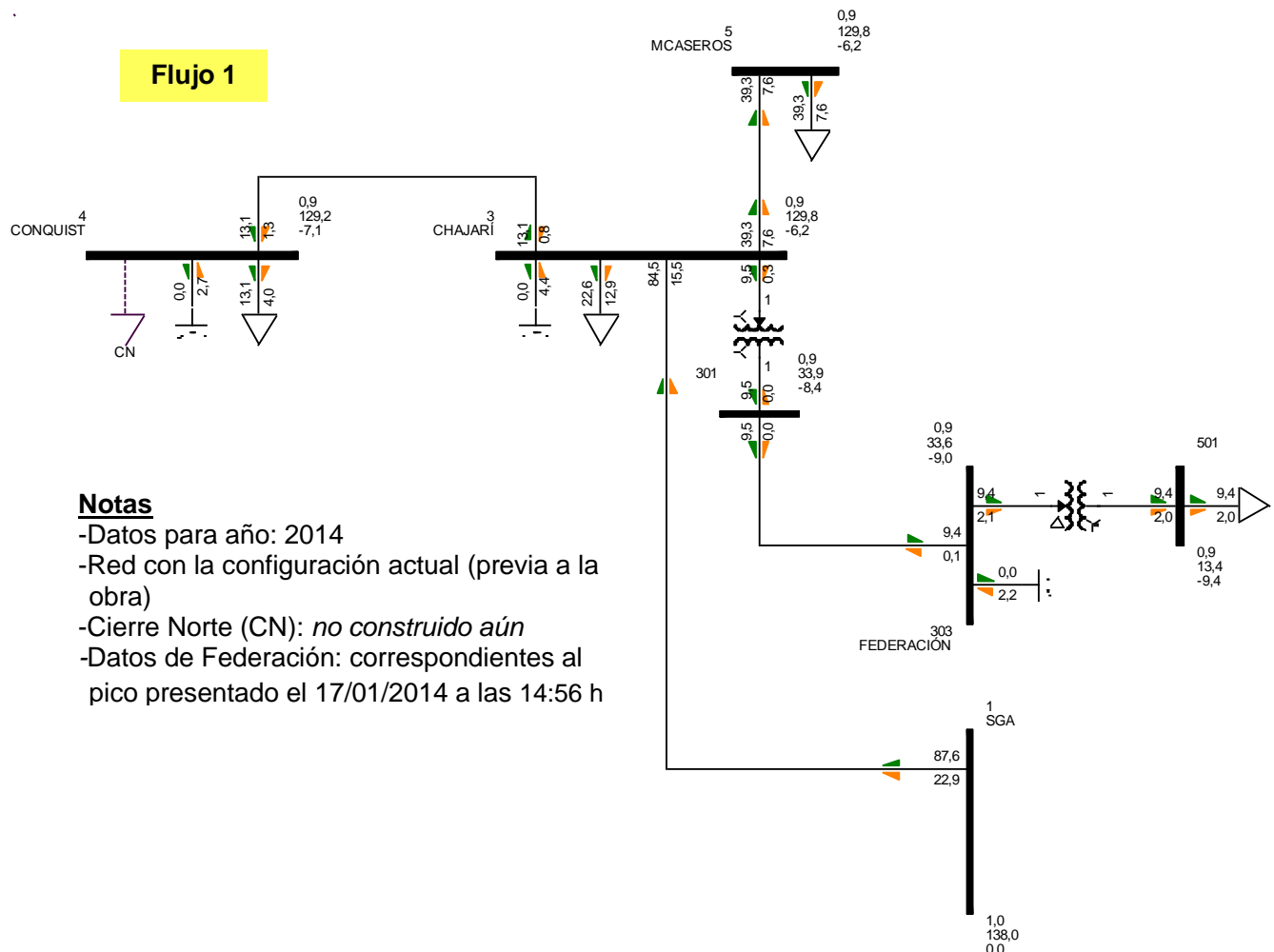
Gráfico 4

### Federación

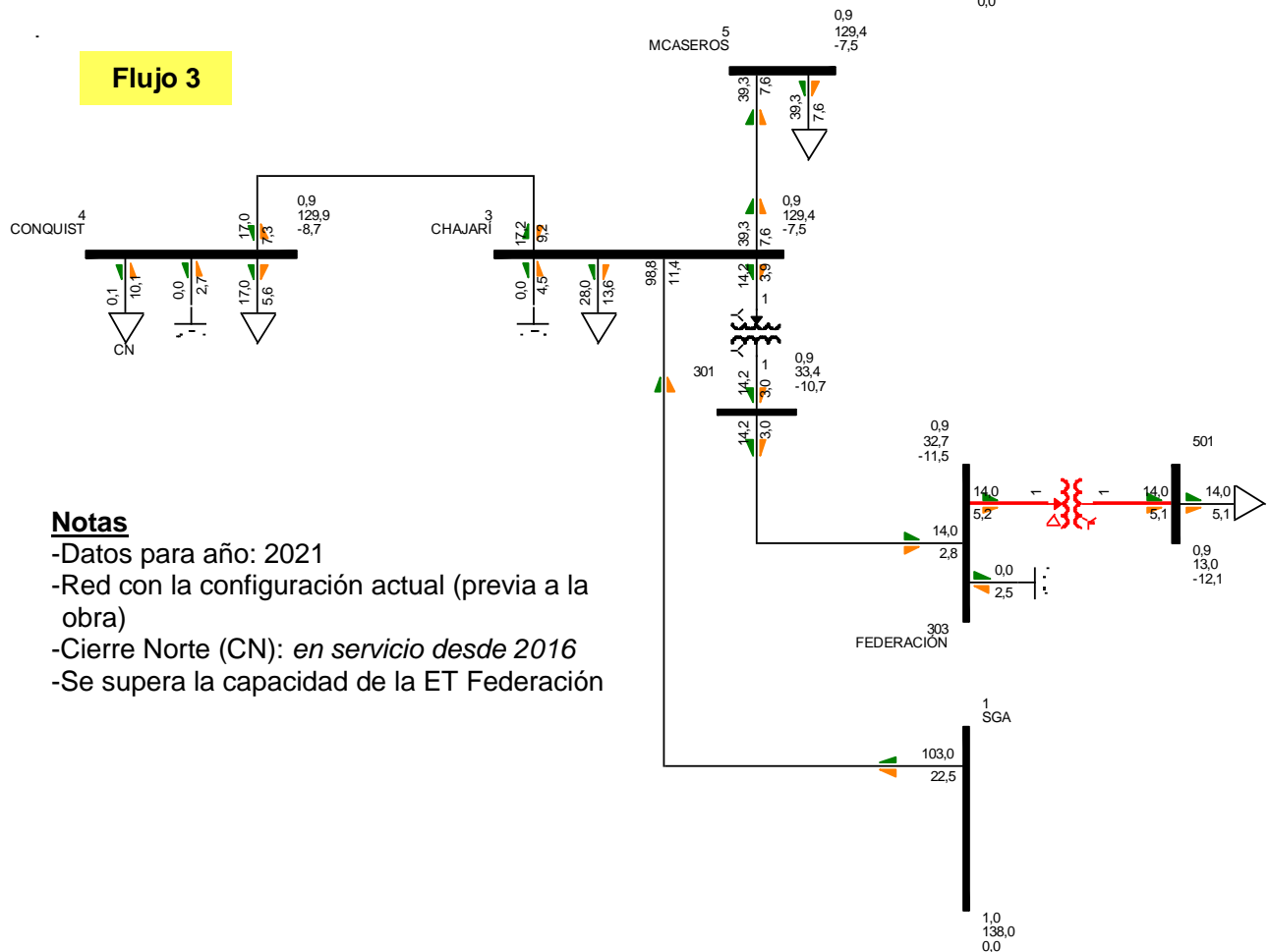
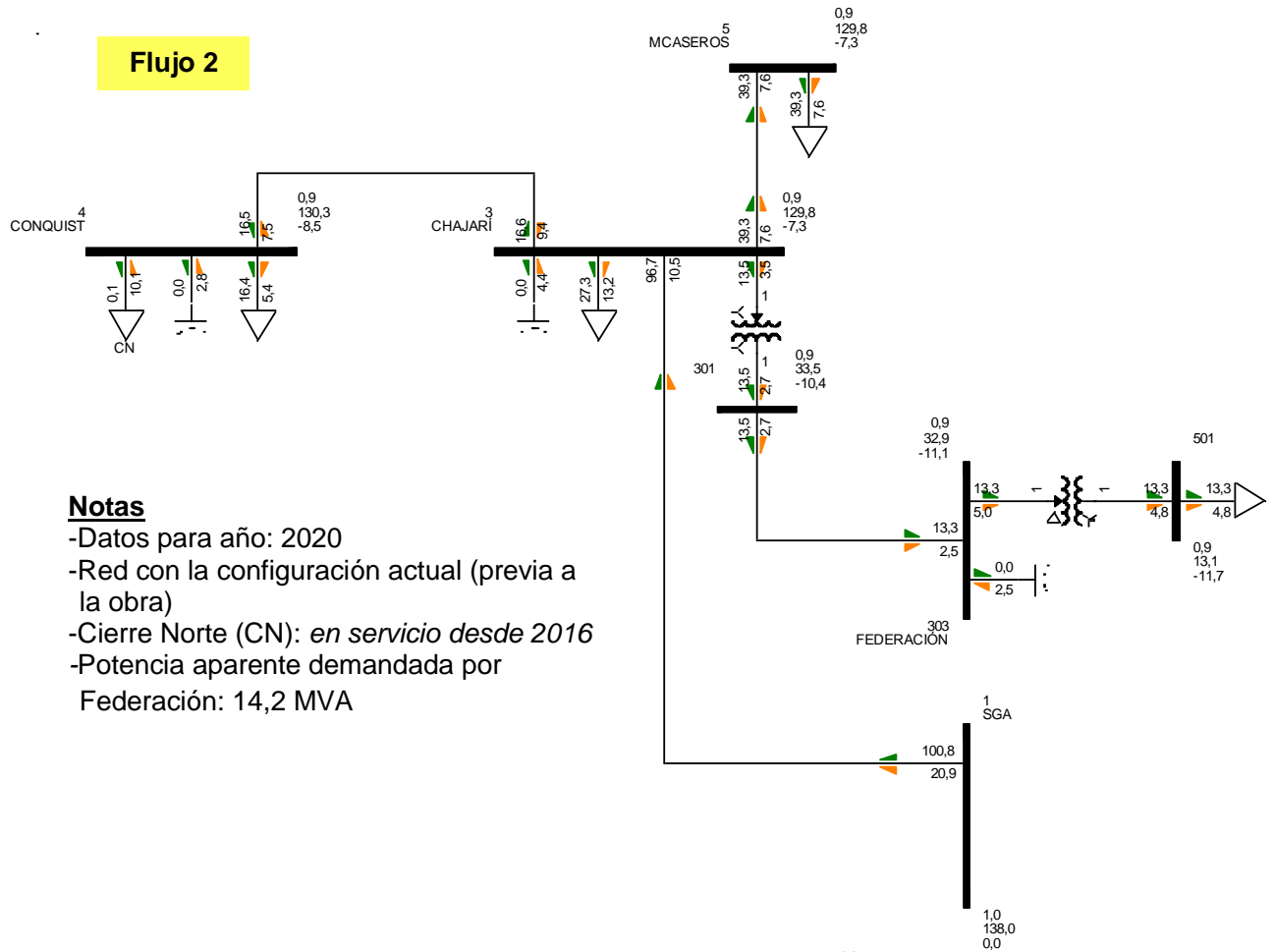


## 6. Estudio de flujo de potencia

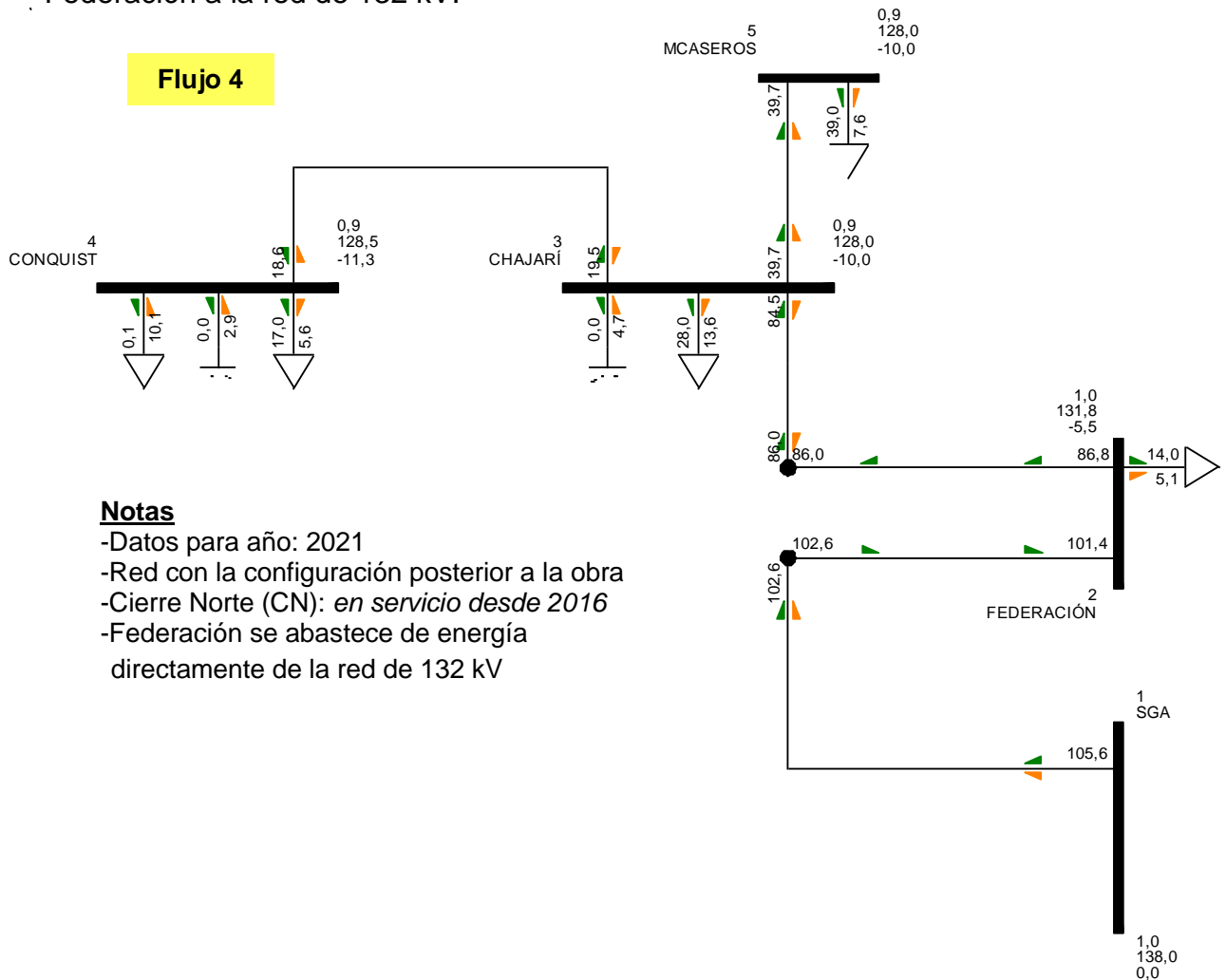
Con los datos de potencia activa y reactiva en el pico anual que fueron presentados en el punto anterior para cada centro de consumo, se calculan los flujos máximos en el sector de la red modelado [Ver 2. Modelado de la red - Límites del sistema en estudio]. En primer lugar, con la configuración del sistema actual, es decir, previo a la obra [Ver Figura 1] se presentan los flujos correspondientes al corriente año [Ver Flujo 1]:



A continuación, a partir de los datos proyectados se calculan los flujos máximos para los años siguientes manteniendo la configuración actual del sistema (considerando en servicio al Cierre Norte a partir de 2016) hasta alcanzar el flujo crítico en la ET Federación que supera la capacidad de carga de la misma en 2021 [Ver Flujo 3]. El flujo siguiente [Flujo 2] corresponde al año 2020 (ET Federación al límite de capacidad de transformación). Observar la mejoría en la tensión de la barra de Conquistadores gracias al aporte de reactivo a través del cierre norte (CN).

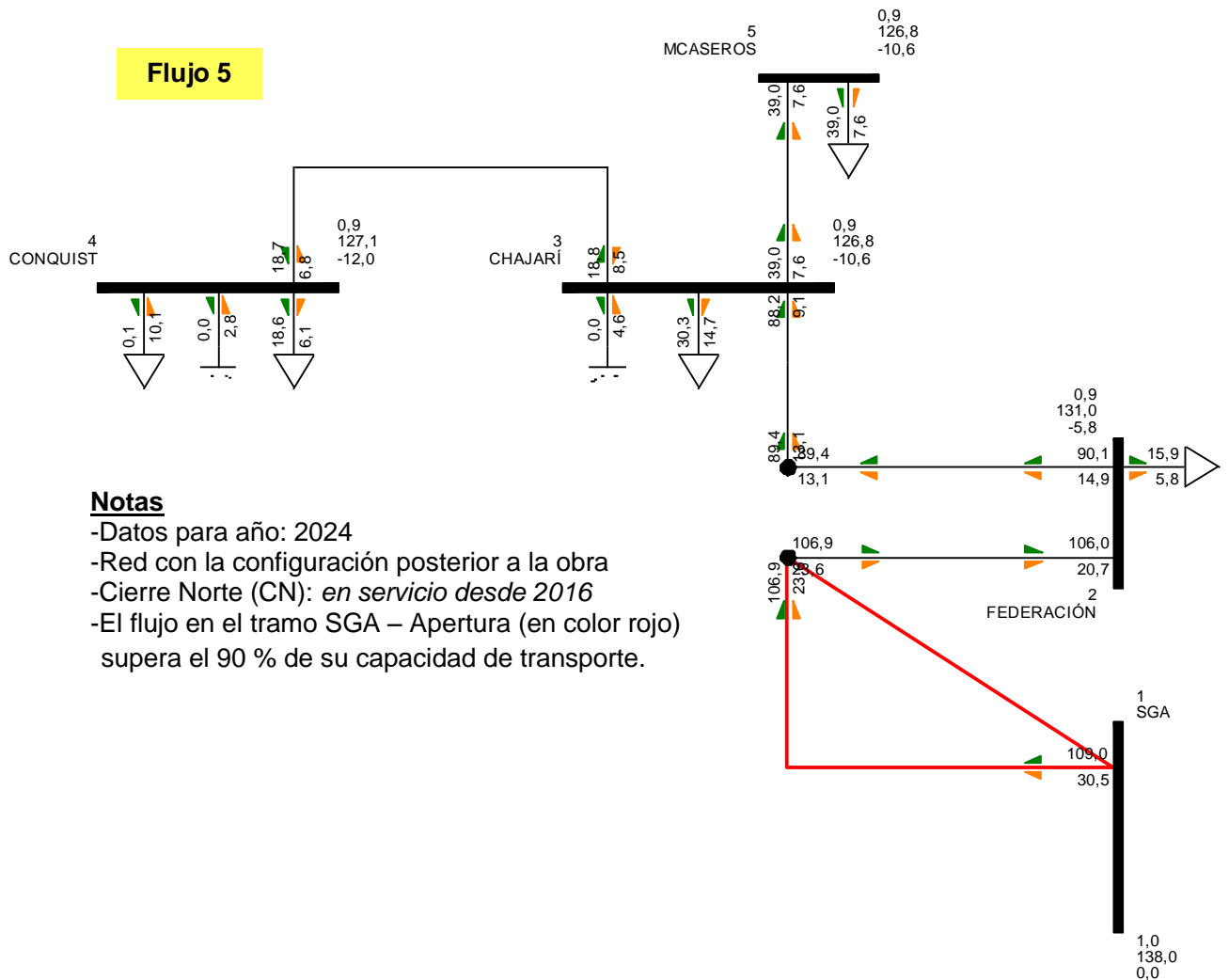


Del análisis de los *Flujos 2 y 3* se concluye que la obra de la Nueva ET Federación en 132 kV y la línea doble terna de interconexión son requeridas en servicio en un plazo máximo que no supere el año 2020. Seguidamente se calculan los flujos de potencia para el pico de demanda correspondiente al año 2021 [*Flujo 4*] con la nueva configuración del sistema [Ver *Figura 2*], es decir, con la interconexión de Federación a la red de 132 kV.



Seguidamente, con la nueva configuración del sistema [Ver *Figura 2*], se calculan los flujos correspondientes a los picos de 2022 a 2025 hasta alcanzar el flujo crítico en el cual la carga en el corredor SGa – Federación – Chajarí alcanza el 90 % de su capacidad de transporte en el año 2024 [*Flujo 5*]. Esta limitación la impone el tramo L1.1 en la *Figura 2*.

Observar que durante el pico de 2024 la tensión en la barra de Chajarí posee un valor 0,961 [p.u.], de esto se deduce que será requerida alguna medida para mejorar dicho valor a largo plazo, por ejemplo, elevar la tensión de operación de SGa a 138,6 kV o instalar baterías de capacitores en la Nueva ET Federación.



Del análisis del *Flujo 5* se concluye que la repotenciación de los tramos existentes del corredor SGA – Federación – Chajarí debe realizarse en un plazo que no supere el año 2024, de lo contrario dicho corredor se quedaría sin capacidad remanente con los riesgos técnicos y económicos que ello implica.

### 7. Plazos máximos para la realización de las obras

A continuación se resumen en un diagrama temporal los datos obtenidos del presente análisis de capacidad del sistema:

