



P21010
INFORME ANEXOS TÉCNICOS
PARQUE EÓLICO LA ESTRELLA

29.04.2021

Informe Técnico Potencia Máxima
21010-00-ES-IT-001 Rev. B
Preparado para OHL Chile





P21010

INFORME ANEXOS TÉCNICOS

PARQUE EÓLICO LA ESTRELLA

Informe Técnico Potencia Máxima

I-SEP Ingenieros SpA.
Ingeniería en Sistemas Eléctricos de Potencia

Padre Mariano 82
Oficina 603
Providencia, Santiago
Chile

+56 2 2604 8761

www.i-sep.cl
empresa@i-sep.cl

REV.	PREPARADO POR	FECHA	REVISADO POR	FECHA	COMENTARIOS
Rev. A	Diego Abarca H.	26.04.2021	Cristóbal Valenzuela R.	29.04.2021	Emitido para Coordinación Interna
Rev. B	Diego Abarca H.	29.04.2021			

CONTENIDOS

1. IDENTIFICACIÓN	4
2. OBJETIVOS Y ALCANCE	4
3. INTRODUCCIÓN	4
4. REFERENCIAS TÉCNICAS	6
4.1. DOCUMENTOS	6
4.2. NORMAS Y ESTÁNDARES	6
5. DESCRIPCIÓN TÉCNICA DEL PARQUE	6
5.1. DESCRIPCIÓN TÉCNICA DEL PARQUE EÓLICO LA ESTRELLA	7
5.1.1. TRANSFORMADOR ELEVADOR 33/110 kV.....	7
5.1.2. TRANSFORMADOR SS.AA.	8
5.1.3. AEROGENERADORES PE LA ESTRELLA.....	8
5.1.4. BANCO DE CONDENSADORES	8
5.1.5. ESTADOS DE LOS AEROGENERADORES	9
6. REVISIÓN NORMATIVA	10
7. DETERMINACIÓN DE POTENCIA MÁXIMA	10
7.1. DEFINICIÓN DE PUNTOS DE MEDICIÓN	10
7.2. ANTECEDENTES DE OPERACIÓN	11
7.3. CÁLCULO DE POTENCIA MÁXIMA DEL PARQUE	13
8. CONCLUSIONES	14
9. ANEXOS	15

1. IDENTIFICACIÓN

◆ Nombre del Proyecto	:	Parque Eólico La Estrella
◆ Numero Único de Proyecto (NUP)	:	338
◆ Empresa Propietaria del Proyecto	:	Eólica La Estrella SpA.

2. OBJETIVOS Y ALCANCE

El presente informe tiene por finalidad establecer el valor de Potencia Máxima para la totalidad de los aerogeneradores del Parque Eólico La Estrella según lo establecido por la Norma Técnica de Seguridad y Calidad de Servicio, y en el **Anexo Técnico: Pruebas de Potencia Máxima en Unidades Generadoras**.

3. INTRODUCCIÓN

La empresa Eólica La Estrella SpA. se encuentra gestionando la entrada en operación del proyecto Parque Eólico La Estrella, NUP 338 (en adelante denominado PE La Estrella), que considera la puesta en servicio de 11 aerogeneradores de 4,5 MW, con una potencia instalada máxima en conjunto de 49,5 MW. La energía del parque es evacuada a través de un transformador de 33/110 kV 55 MVA ubicado en la S/E La Estrella, la cual está conectada al Sistema Eléctrico Nacional a través de las líneas La Estrella - Quelentaro 110 kV y Portezuelo - La Estrella 110 kV. El proyecto se encuentra ubicado en la comuna de La Estrella, provincia del Cardenal Caro, VI Región del Libertador Bernardo O'Higgins.

En este contexto, I-SEP se ha adjudicado el desarrollo del informe de potencia máxima, requerido por el Coordinador Eléctrico Nacional para la entrada en operación del proyecto PE La Estrella, el cual tiene por objetivo determinar la potencia máxima que puede generar el parque considerando la totalidad de las unidades del parque.

La Figura 3-1 muestra la topología antes y después de la incorporación del proyecto, mientras que la Figura 3-2 muestra el diagrama unilineal de la zona de influencia.

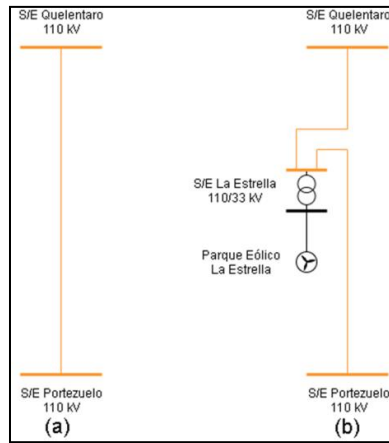


Figura 3-1 Diagrama Unilineal Simplificado (a) antes y (b) después del proyecto.

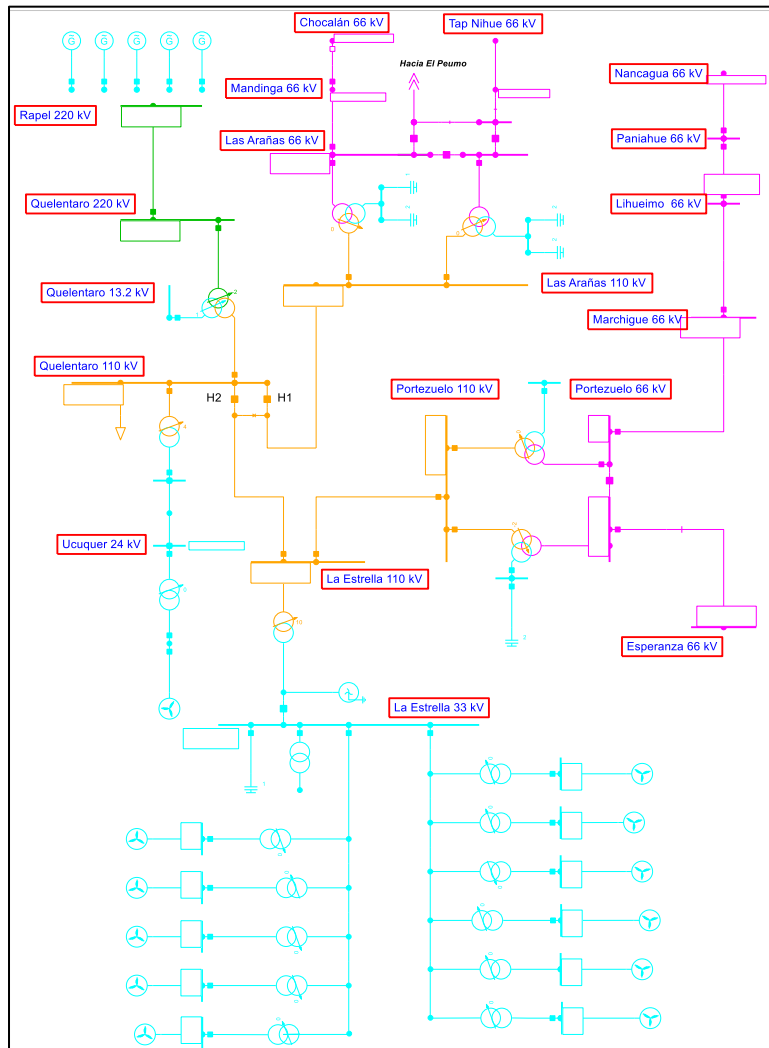


Figura 3-2 Diagrama unilineal de la zona de influencia.

4. REFERENCIAS TÉCNICAS

El presente informe ha sido desarrollado con los siguientes antecedentes, los cuales se encuentran en la carpeta Anexos adjunta a este informe:

4.1. DOCUMENTOS

- a) Documento “Registro Potencia Máxima.xlsx”, provisto por el cliente, que registra las mediciones obtenidas en las pruebas del día 21/04/2021.
- b) Documento “Registro Consumos SS.AA.xlsx”, provisto por el cliente, que registra las mediciones de los consumos de SS.AA. obtenidas en las pruebas del día 20/04/2021.
- c) Documento 19063-01-EE-ST-007_RB “Estudios Sistémicos Conexión al SIC PE La Estrella - Estudio de Flujos de Potencia”, desarrollado por Esinel, septiembre de 2020.
- d) Documento “CR45 6P 50Hz C1 TECHNICAL DATASHEET”, elaborado por Siemens Gamesa.
- e) Documento “GD366962-ES R1 ALGORITMOS DE CONTROL DEL SG 4.X”, elaborado por Siemens Gamesa.

4.2. NORMAS Y ESTÁNDARES

- I. Norma Técnica de Seguridad y Calidad de Servicio, versión septiembre 2020.
- II. Anexo Técnico “Pruebas de Potencia Máxima en unidades Generadoras”

5. DESCRIPCIÓN TÉCNICA DEL PARQUE

El PE La Estrella se encuentra constituido por 11 aerogeneradores Siemens Gamesa de 4,5 MW, traducido en una potencia total instalada de 50 MW.

La energía del parque es evacuada a través de un transformador de 33/110 kV 55 MVA ubicado en la S/E La Estrella, la cual está conectada al Sistema Eléctrico Nacional a través de las líneas La Estrella - Quelentaro 110 kV y Portezuelo - La Estrella 110 kV.

En la Figura 5-1 muestra el diagrama unilineal del sistema colector del PE la Estrella, indicando con un recuadro rojo la ubicación de los 11 aerogeneradores.

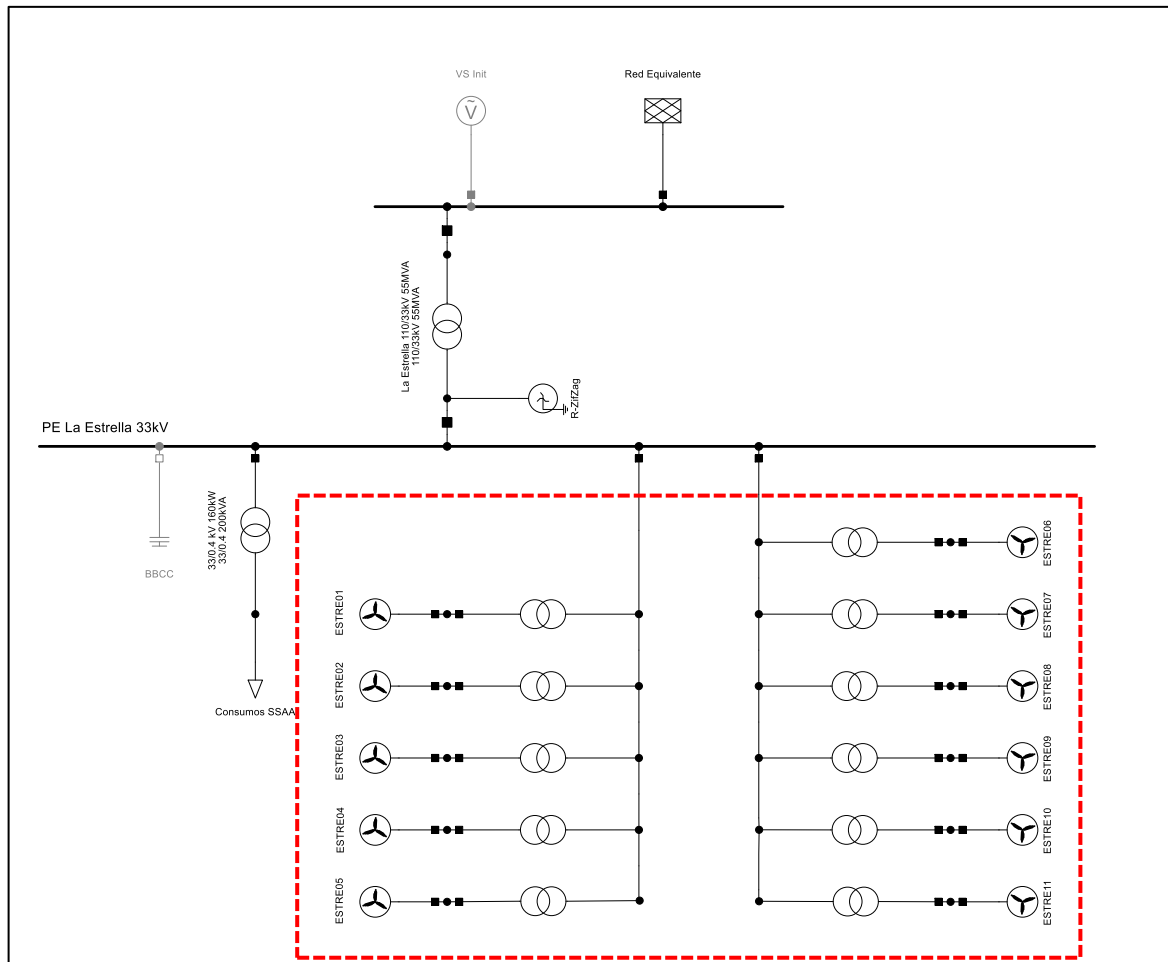


Figura 5-1 Diagrama unilineal PE La Estrella.

5.1. DESCRIPCIÓN TÉCNICA DEL PARQUE EÓLICO LA ESTRELLA

A continuación, se presentan las principales características de los equipos que conforman el proyecto PE La Estrella.

5.1.1. TRANSFORMADOR ELEVADOR 33/110 kV

Los parámetros del transformador elevador del PE La Estrella, son los indicados en la siguiente tabla, conforme a la información contenida en el antecedente (c):

Tabla 5-1 Parámetros transformador elevador 33/110 kV.

TRANSFORMADOR ELEVADOR 33/110 kV 55 MVA	
CARACTERÍSTICAS	VALOR
Capacidad nominal ONAN	38,5 [MVA]
Capacidad nominal ONAF	55 [MVA]
Niveles de tensiones nominales	33/110 [kV]
Impedancia de secuencia positiva tap central (Base 55 MVA)	11,03 [%]

TRANSFORMADOR ELEVADOR 33/110 kV 55 MVA	
CARACTERÍSTICAS	VALOR
Impedancia de secuencia cero tap central Z (Base 55 MVA)	10,28 [%]
Taps	21
Rango de regulación de tap respecto a la posición central	±10%
Pérdidas en el cobre	210 [kW]
Pérdidas en vacío, secuencia positiva	45 [kW]
Grupo de conexión	YNd11

5.1.2. TRANSFORMADOR SS.AA.

Los parámetros del transformador de SS.AA. de la subestación son los indicados en la siguiente tabla, conforme a la información declarada en el proceso de Información Técnica del proyecto:

Tabla 5-2 Parámetros transformador de SS.AA.

TRANSFORMADOR SS.AA. 33/0,4 kV 200 kVA	
CARACTERÍSTICAS	VALOR
Capacidad nominal ONAN	200 [kVA]
Niveles de tensiones nominales	33/0,4 [kV]
Impedancia de secuencia positiva tap central (Base 55 MVA)	6 [%]
Impedancia de secuencia cero tap central Z (Base 55 MVA)	6 [%]
Pérdidas en el cobre	0,3997779 [kW]
Grupo de conexión	Dyn11

5.1.3. AEROGENERADORES PE LA ESTRELLA

El proyecto PE La Estrella cuenta con un total de 11 aerogeneradores marca Siemens-Gamesa, modelo SG 4,5 [MW] de capacidad. Los parámetros de los aerogeneradores considerados para representar el proyecto se indican en la siguiente tabla:

Tabla 5-3 Parámetros aerogenerador Siemens Gamesa SG. 4,5 MW.

PARÁMETROS	VALOR
Fabricante	Siemens – Gamesa
Potencia Nominal	4,5 [MW]
Tensión Nominal	0,690 [kV]
Conexión Estator	Triángulo
Conexión Rotor	Estrella
Número de Polos	6
Corriente Nominal Estator	5,43 p.u.

5.1.4. BANCO DE CONDENSADORES

El proyecto PE La Estrella cuenta con un banco de condensadores de 1,81 MVar. Los parámetros considerados se indican en la siguiente tabla:

Tabla 5-4 Banco de Condensadores PE La Estrella.

PARÁMETROS	VALOR
Potencia Nominal	1,81 [MVAR]
Tensión Nominal	33 [kV]
Punto de Conexión	Barra 33 kV S/E La Estrella

5.1.5. ESTADOS DE LOS AEROGENERADORES

Para propósito de este documento el aerogenerador para su operación puede estar dentro de cualquiera de los siguientes estados de operación (e):

RUN CONNECTED (5)

Una vez que la velocidad del generador excede la velocidad de referencia del acoplamiento, el generador puede conectarse y comenzar a funcionar. Después de esto, la referencia de velocidad del generador se incrementa de nuevo para obtener el valor de referencia nominal. Al mismo tiempo, la producción máxima permisible de energía total aumenta de 0 al valor nominal si no se aplica ninguna limitación.

RUN (4)

El control de velocidad del generador está habilitado y su referencia aumenta de 0 a un valor ligeramente superior a la velocidad de referencia del acoplamiento. Al mismo tiempo, el valor de paso mínimo se reduce dinámicamente a medida que aumenta la velocidad del rotor.

PAUSE (3)

La posición de pitch de todas las cuchillas se incrementa con una tasa fija al valor de referencia de pitch de pausa. De esta forma, el par aerodinámico, la producción de potencia y la velocidad del generador disminuyen lentamente. Al final, el generador se desconecta de la red y la velocidad del rotor disminuye a un valor mínimo.

STOP (2)

El grupo hidráulico de emergencia incrementa la posición de pitch de todas las cuchillas con una velocidad constante hasta el valor de posición de pitch máximo. Al mismo tiempo, la producción de potencia total máxima permitida se incrementa desde el valor actual a cero a una velocidad constante.

EMERGENCY (1)

El grupo hidráulico de emergencia incrementa la posición de paso de todas las cuchillas con una velocidad constante hasta el valor de posición de pitch máximo. El generador se desconecta inmediatamente desde el momento en que se solicita el estado operativo de emergencia. La acción del freno hidráulico solo se nota a baja velocidad del generador.

6. REVISIÓN NORMATIVA

A continuación, se exponen los principales estándares normativos (Anexo Técnico: “Pruebas de Potencia Máximas en Unidades Generadoras” disponible en la página de la CNE) que son de relevancia para el presente informe.

Artículo 39: Potencia máxima en unidades generadoras cuya fuente es renovable no convencional sin capacidad de regulación.

Para las unidades generadoras que no tengan capacidad de regulación, y que por lo tanto no sea aplicable lo establecido en el Artículo 16 del presente Anexo, el valor de potencia Máxima deberá ser obtenido en función de registros de operación y mediciones de los recursos naturales que inciden en la operación de estas tecnologías.

7. DETERMINACIÓN DE POTENCIA MÁXIMA

7.1. DEFINICIÓN DE PUNTOS DE MEDICIÓN

A continuación, se describe un sistema equivalente que presenta un parque fotovoltaico conectado al Sistema Eléctrico Nacional (SEN), con el cual se puede definir lo siguiente:

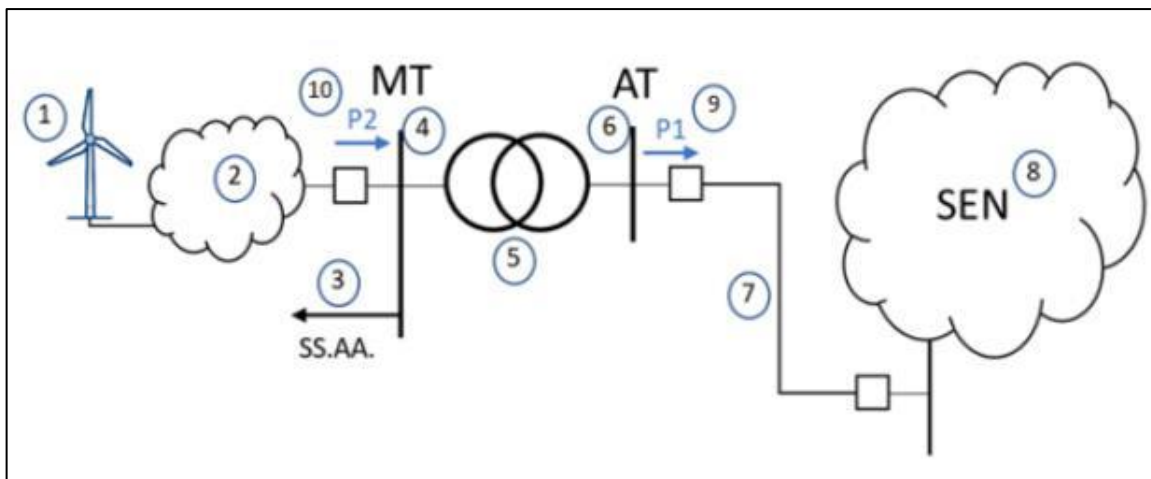


Figura 7-1 Diagrama de sistema equivalente.

Los componentes del parque son los siguientes:

1. **Generador equivalente:** Corresponde a la suma de los aportes distribuidos de potencia activa alterna de cada aerogenerador del PE La Estrella.

2. **Pérdidas en sistema colector del parque:** Corresponde a las pérdidas del sistema colector del PE La Estrella, principalmente en cables de baja y media tensión, y en los transformadores colectores que elevan de baja a media tensión.

3. **Servicios Auxiliares (SS.AA.) de la central.**

4. **Barra de media tensión (MT):** Corresponde a la barra de 33 kV de la S/E la Estrella, en la cual se conecta el lado de baja tensión del transformador de poder del parque.

5. **Transformador de poder:** Equipo elevador presente en la subestación de salida del PE La Estrella.

6. **Barra de alta tensión: (AT):** Corresponde a la barra principal de 220 kV de la S/E La Estrella, en la cual se conecta el lado de alta tensión de los transformadores de poder del parque.

7. **Línea dedicada de la central:** La Central no posee línea dedicada, se conecta directamente a la S/E la Estrella, la cual está conectada al Sistema Eléctrico Nacional a través de las líneas La Estrella - Quelentaro 110 kV y Portezuelo - La Estrella 110 kV.

8. **Sistema Eléctrico Nacional (SEN).**

9. **P1:** Potencia inyectada por el PE La Estrella en la barra de 220 kV de su subestación de salida.

10. **P2:** Potencia inyectada por el PE La Estrella en la barra de 33 kV de su subestación de salida.

7.2. ANTECEDENTES DE OPERACIÓN

Para la determinación de los máximos operativos del PE La Estrella, se han registrado los valores de potencia generada en el lado AT del transformador (**P1**) directamente desde el PPC. Durante estas mediciones se encontraban energizados y en funcionamiento la totalidad de los aerogeneradores del parque eólico.

La Figura 7-2 muestra un gráfico de los registros obtenidos de potencia generada durante el período comprendido entre las 07:12:53 y las 08:12:53 del día 21 de abril de 2021, obteniendo un promedio de potencia generada de **49,10 [MW]** en un período de **1 hora**. La información correspondiente se encuentra contenida en el antecedente (a).

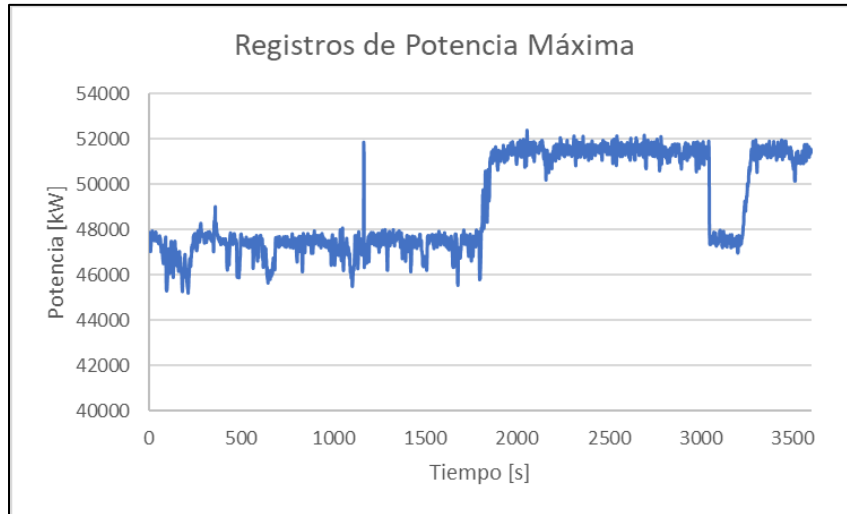


Figura 7-2 Registro de mediciones de potencia generada PE La Estrella.

Por otra parte, se registraron los consumos de los SS.AA. de la subestación mediante un analizador de redes durante el período comprendido entre las 16:04:00 y las 18:04:00 del día 20 de abril de 2021, donde se registra que el consumo promedio de la subestación es de **3,323 [kW]**, según el antecedente (b).

Para determinar las pérdidas de la red del PE La Estrella, se realizan simulaciones de flujos de potencia en la base de datos del antecedente (c) (flujo de potencias), reemplazando el SEN por una red equivalente en la barra de 110 kV, y tomando en consideración el valor de potencia promedio obtenido en el punto de conexión del parque (**P1**). Para ello, se replica esta potencia (49,1 [MW]) ajustando la potencia inyectada por los aerogeneradores del parque eólico, dando un total de 4,5385 [MW] brutos por aerogenerador. Así, se obtiene un aproximado a las pérdidas de la red, que corresponden a la suma de las pérdidas del sistema colector y las pérdidas del transformador de poder de la central, las cuales equivalen a **0,82 [MW]**, tal como se muestra en la siguiente figura. Dado que las pérdidas del transformador equivalen a 0,21 [MW] (Tabla 5-1), las pérdidas del sistema colector se traducen a 0,61 [MW].

Grid: Grid		System Stage: Grid		Study Case: Escenario base		Annex: / 1	
Summary							
No. of Substations	0	No. of Busbars	24	No. of Terminals	3	No. of Lines	11
No. of 2-w Trfs.	13	No. of 3-w Trfs.	0	No. of syn. Machines	0	No. of asyn. Machines	0
No. of Loads	1	No. of Shunts/Filters	1	No. of SVS	0		
Generation	=	49.92 MW	8.50 Mvar	50.64 MVA			
External Infeed	=	-49.10 MW	0.00 Mvar	49.10 MVA			
Inter Grid Flow	=	0.00 MW	0.00 Mvar				
Load P(U)	=	0.00 MW	0.00 Mvar	0.00 MVA			
Load P(Un)	=	0.00 MW	0.00 Mvar	0.00 MVA			
Load P(Un-U)	=	0.00 MW	0.00 Mvar				
Motor Load	=	0.00 MW	0.00 Mvar	0.00 MVA			
Grid Losses	=	0.82 MW	8.50 Mvar				
Line Charging	=		-1.04 Mvar				
Compensation ind.	=		0.00 Mvar				
Compensation cap.	=		0.00 Mvar				
Installed Capacity	=	50.60 MW					
Spinning Reserve	=	0.00 MW					
Total Power Factor:							
Generation	=	0.99 [-]					
Load/Motor	=	1.00 / 0.00 [-]					

Figura 7-3 Resultados de los flujos de potencia.

7.3. CÁLCULO DE POTENCIA MÁXIMA DEL PARQUE

Con las potencias obtenidas, se procede a calcular la potencia máxima bruta y neta del parque.

Se define, por lo tanto, que la potencia máxima bruta es igual a:

$$P_{Max Bruta} = P_1 + P_{trafo} + P_{sist. colector} + P_{SS.AA}$$

En donde:

P_1 es la potencia definida en la sección 7.1 y corresponde a la potencia máxima neta del parque, que para el presente estudio equivale a 49,10 [MW].

P_{trafo} Corresponden a las pérdidas del transformador de poder 0,21 [MW].

$P_{sist. colector}$ corresponden a las pérdidas del sistema colector 0,61 [MW].

$P_{SS.AA}$ corresponde a la potencia consumida por los servicios auxiliares de la subestación, correspondiente a 3,323 [kW].

Así, se tiene que la potencia máxima bruta del parque es igual a:

Tabla 7-1 Resumen de potencias máxima bruta, neta y consumos del PE La Estrella.

CENTRAL	POTENCIA MÁXIMA BRUTA [MW]	POTENCIA MÁXIMA NETA [MW]	PÉRDIDAS TRANSFORMADOR DE PODER [MW]	PÉRDIDAS SISTEMA COLECTOR [MW]	CONSUMOS SS.AA. [KW]
PE La Estrella	49,92	49,10	0,21	0,61	3,323
Potencia máxima bruta = Potencia máxima neta + Perdidas de la red (Transformador de poder + Sistema colector) + consumos de SS.AA.					

8. CONCLUSIONES

En el presente informe se obtienen los parámetros de potencia máxima neta y bruta para el PE La Estrella en concordancia con la potencia registrada en el punto de conexión del parque (**P1**), considerando el consumo de servicios auxiliares, las pérdidas del sistema colector y las pérdidas del transformador de poder.

De acuerdo con lo expuesto en el presente informe, se concluye que el parámetro de potencia máxima neta del PE La Estrella es de **49,10 [MW]**, mientras que la potencia máxima bruta del parque es de **49,92 [MW]**.

9. ANEXOS