

Informe Determinación de Mínimo
Técnico en Unidades Generadoras

Parque Eólico Atacama

Contenido

1	Introducción.....	4
1.2	Objetivo.....	4
1.3	Alcance.....	4
1.4	Consideraciones y otros.....	5
2	Diseño e Información Técnica del Parque Eólico Atacama.....	7
2.1	Unifilar Subestación Parque Eólico.....	7
2.2	Unifilar red de Media Tensión.....	8
2.2.1	Procedimiento de Cálculo de las Perdidas en el Colector.....	10
2.3	Servicios Auxiliares.....	12
2.3.1	Servicios Auxiliares de la Subestación.....	12
2.3.2	Servicios Auxiliares de los Aerogeneradores.....	13
2.2	Transformador de Poder.....	13
2.3	Aerogenerador.....	13
2.3.1	Datos del Generador.....	18
2.3.2	Datos del Convertidor.....	19
2.3.3	Transformador de aerogenerador.....	19
2.3.4	Curva de potencia.....	21
2.3.5	Nivel Mínimo Técnico de Potencia Activa Nordex N163/5.X TS105-01.....	22
2.3.6	Curva de Generación de Potencia Reactiva.....	23
2.3.7	Control de Potencia Reactiva en Mínimo Técnico bajo presencia de recurso eólico.	24
2.3.8	Control de Potencia Reactiva sin presencia de recurso eólico.....	25
3	Determinación del Mínimo Técnico del Parque Eólico Atacama.....	26
3.2	Procedimiento de cálculo del Mínimo Técnico.....	28
3.3	Cálculo del Mínimo Técnico para el Parque Eólico Atacama.....	29
4	Justificaciones que describen fuentes de inestabilidad del Parque Eólico Atacama.....	30
5	Conclusiones.....	31
6	Referencias.....	32
1.	Anexo A: Perdidas de Transformador del Aerogenerador.....	34
2.	Anexo B: Tabla con el registro de la potencia mínima medida en cada uno de los aerogeneradores que participaron en la prueba.....	35
3.	Anexo C: Consumo de los SSAA.....	36

3.1 Consumo de los SSAA de los Aerogeneradores	36
3.2 Consumo de los SSAA de la S/E IberAtacama	36
4. Anexo D: Certificado de Calibración de los Medidores.	37
5. Anexo D: Mínimo Técnico de Potencia Activa	38
6. Anexo E: Modelación en DigSilent	39
6.2 Modelamiento del Transformador de Poder	39
6.3 Modelamiento del Aerogenerador	40
6.4 Modelación Transformadores de Bloque 33/0,75 kV	41
6.4.1 Modelación Cables y Conductores de MT del PE Atacama.....	42
6.4.2 Modelación Transformador SSAA	45

1 Introducción

El presente estudio esta realizado en función a lo indicado por el Coordinador Eléctrico Nacional y la normativa vigente para la entrada en operación del Parque Eólico Atacama al Sistema Eléctrico Nacional (SEN).

1.2 Objetivo

El presente documento tiene como propósito determinar el mínimo técnico del Parque Eólico Atacama y proporcionar la información técnica de los aerogeneradores N163-5,7MW-TS105 y de propio parque eólico, en función de lo que establece el Anexo Técnico “Determinación de Mínimos Técnicos” y de la Norma Técnica de Seguridad y Calidad del Servicio (NTSyCS) [1].

1.3 Alcance

La información y documentación proporcionada se limita únicamente a información técnica del Parque Eólico Atacama y el aerogenerador N163-5,7MW-TS105 de acuerdo con los apartados aplicables establecidos en el “Anexo Técnico Determinación de Mínimos Técnicos” [2] el cual solicita la siguiente información:

- a) *Antecedentes técnicos de diseño.*
- b) *Recomendaciones del fabricante y antecedentes nacionales o internacionales de unidades de similares características.*
- c) *Antecedentes de operación de la unidad generadora, incluyendo los registros y descripción de los análisis y pruebas efectuadas.*
- d) *Justificaciones que describan las eventuales fuentes de inestabilidad en la operación de la unidad generadora, que impidan que la unidad pueda operar en un valor menor de potencia activa.*
- e) *Antecedentes técnicos que respalden y expliquen el comportamiento esperado o desempeño registrado.*

Las restricciones operativas y consideraciones serán descritas y justificadas en los apartados correspondientes de este documento.

1.4 Consideraciones y otros

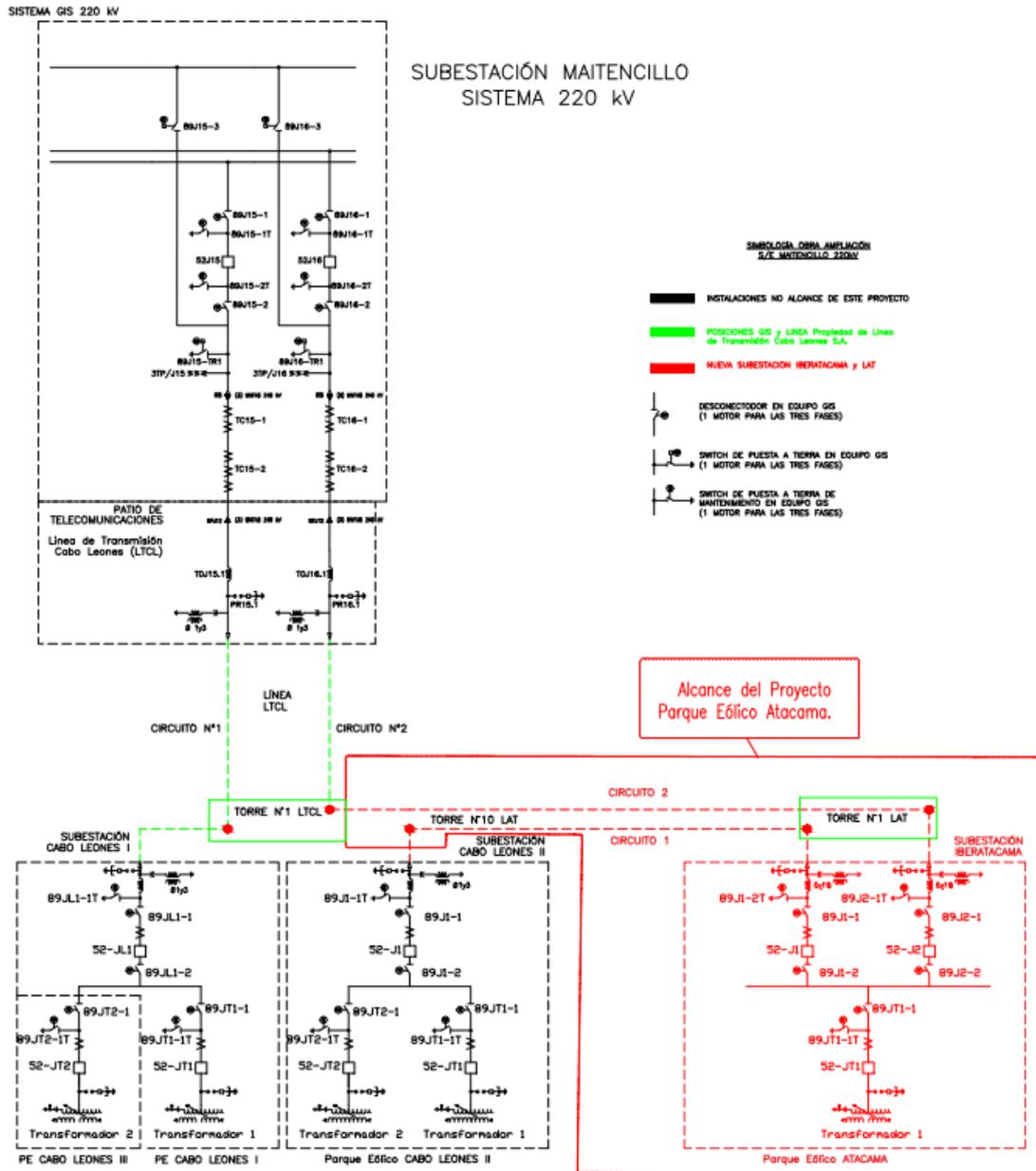
En la presente sección se realizan las siguientes consideraciones del proyecto y que se utilizan a lo largo del informe.

Durante el desarrollo de los ensayos de partida y detención, estos fueron realizados en conjunto con el equipo del fabricante de los aerogeneradores Nordex e Iberólica, con ambos equipos de trabajo tanto en terreno como en remoto.

Según lo aprobado por el Departamento de Acceso Abierto del Coordinador Eléctrico Nacional¹, el punto de conexión es el “Seccionamiento de la línea 2x220 kV Cabo Leones – Maitencillo C2. Dicho punto de conexión fue Declarado en Construcción bajo el nombre de Nueva S/E Seccionadora IberAtacama 220 kV, según lo que establece la Resolución Exenta 158 del 2022 de la Comisión Nacional de Energía.

Por tanto, el punto de conexión del proyecto es la S/E IberAtacama, el cual se ubica en la barra de alta en subestación elevadora y apoyo nº1 de Línea de Transmisión 2x220 kV Cabo Leones – Maitencillo. Tal como se indica en la Ref. [4] y [16]; y como se muestra a continuación:

¹ Coordinador Eléctrico Nacional (2020) Informe de Aprobación/Rechazo de Uso de Capacidad Técnica de Línea de Trasmisión Dedicada 2x220 kV Cabo Leones - Maitencillo parala conexión del proyecto Parque Eólico Cabo Leones III Fase 2 y Parque Eólico Atacama.



2 Diseño e Información Técnica del Parque Eólico Atacama

2.1 Unifilar Subestación Parque Eólico

A continuación, se presenta el unifilar de la subestación del Parque Eólico Atacama, llamada S/E IberAtacama. En el mismo se pueden apreciar las protecciones a nivel de parque eólico y la potencia instalada por circuito. [4]

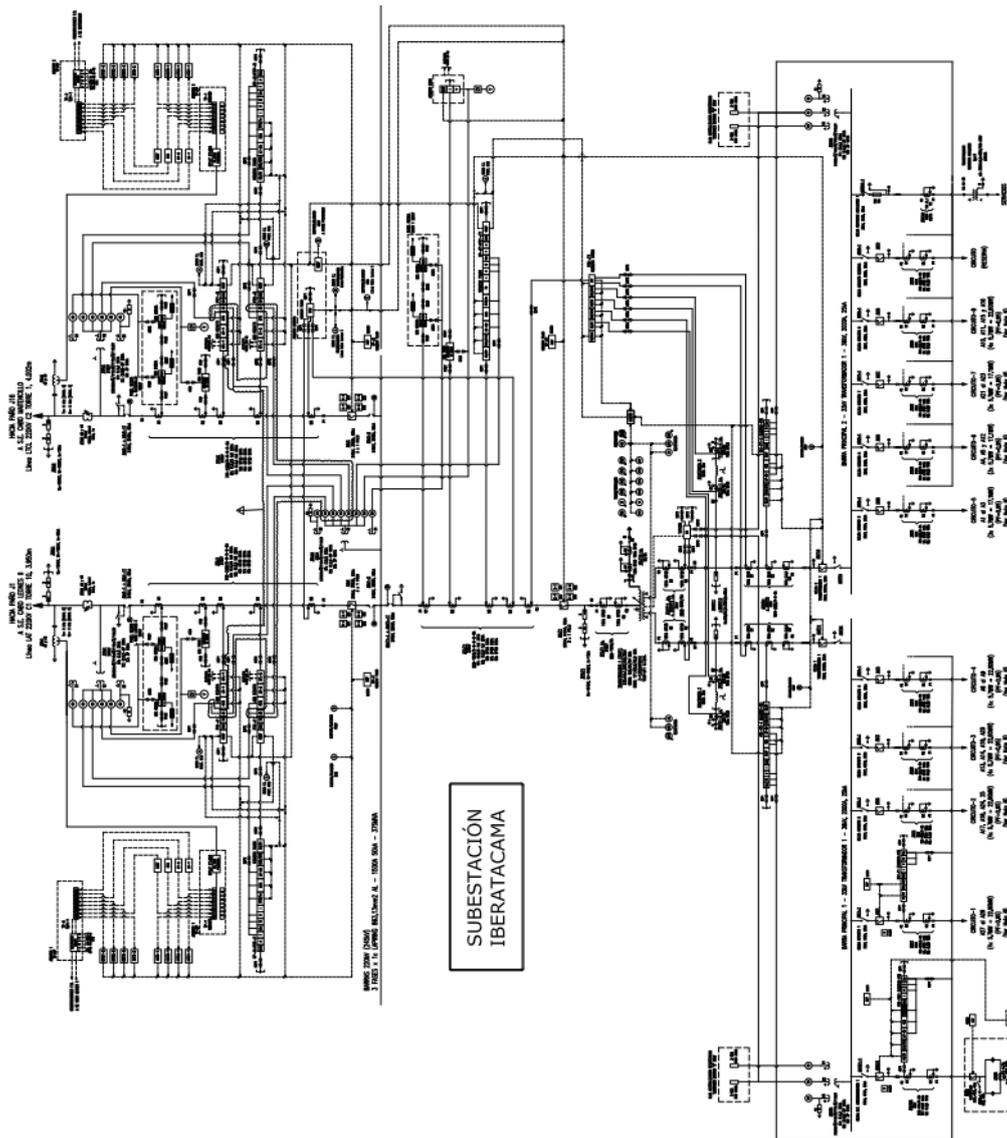


Figura 1. Esquema Unifilar Parque Eólico Atacama.

2.2 Unifilar red de Media Tensión

El Parque Eólico Atacama está compuesto por 29 aerogeneradores N163-5,7MW-TS105 sumando una potencia neta de 165,3 MW. Estos aerogeneradores están distribuidos en 8 circuitos como se muestra en el diagrama unifilar de la red de media tensión. Para la conexión a la red de media tensión los aerogeneradores utilizan un transformador que eleva el voltaje de los 750 V a nivel de generador a los 33 kV a nivel de la red de media tensión. El conjunto del parque esta interconectado al Sistema Eléctrico Nacional por medio del transformador del parque eólico instalado en la subestación elevadora. Este transformador tiene una potencia nominal de 171 MVA y sube el voltaje de 33 kV a 220 kV.

DIAGRAMA DE BLOQUES RED DE MEDIA TENSIÓN

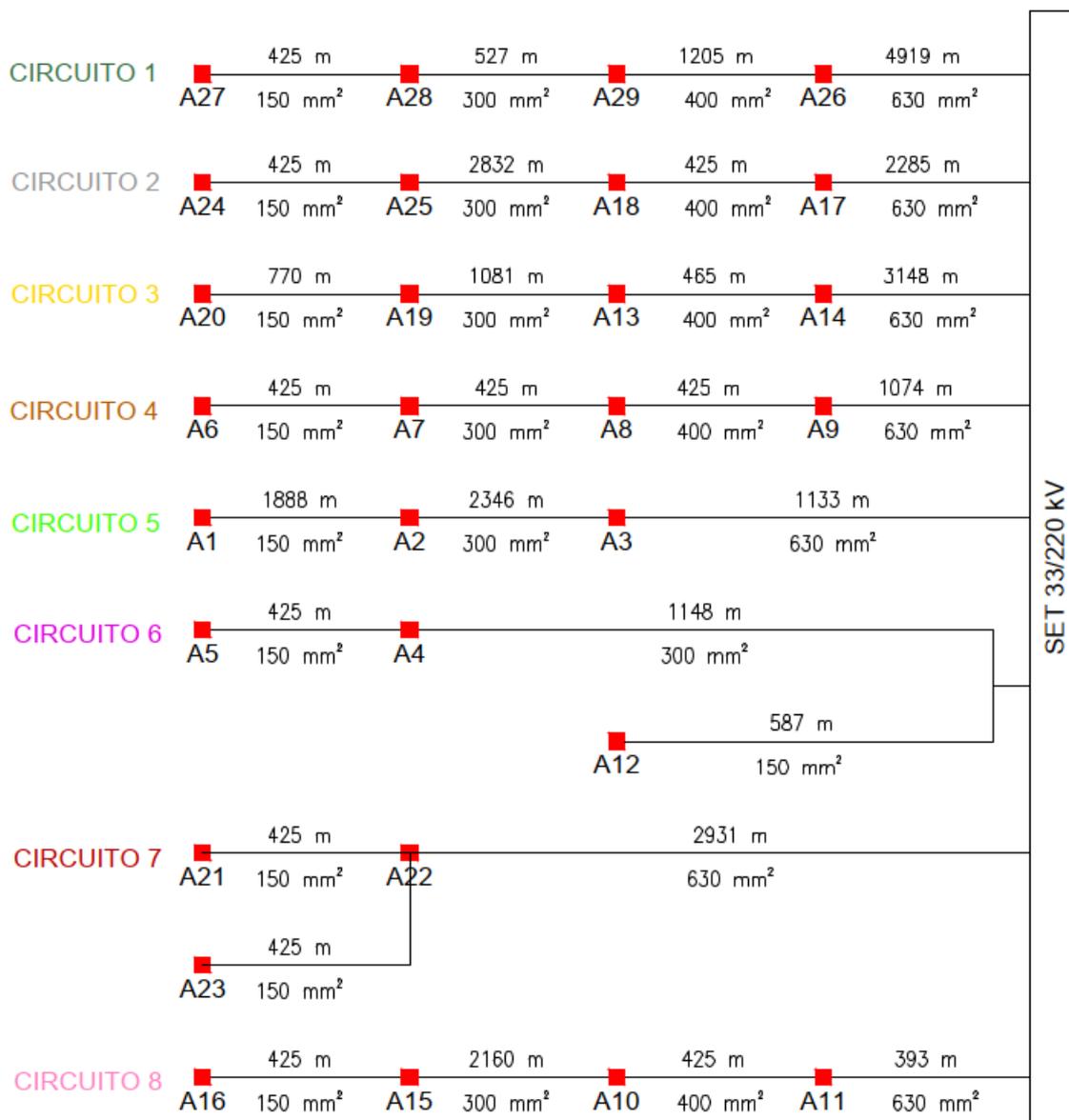


Figura 2. Esquema Sistema Colector Parque Eólico Atacama [5].

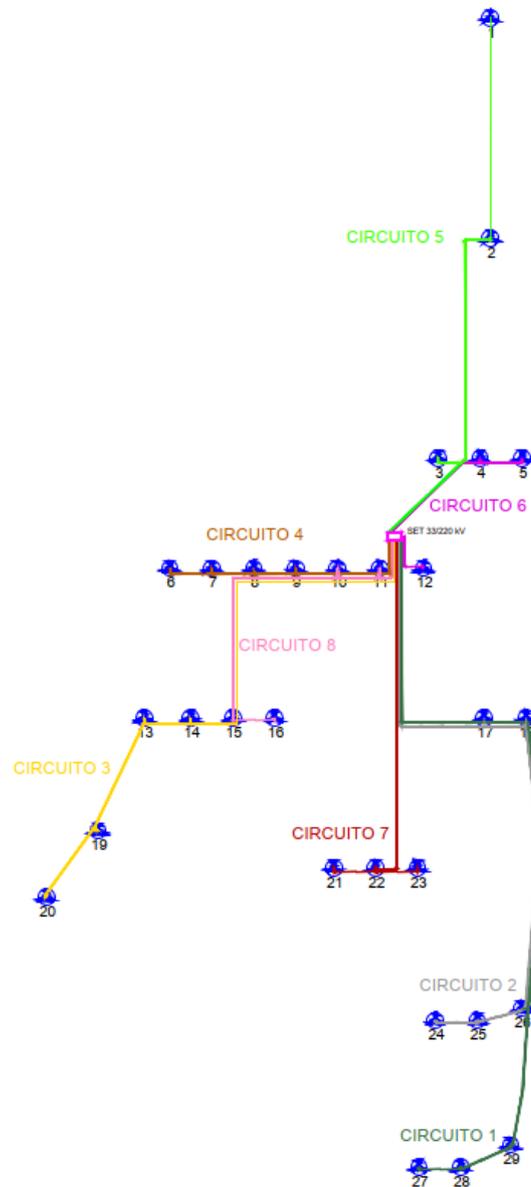


Figura 3. Implantación Sistema colector Parque Eólico Atacama.

El detalle de los conductores utilizados en cada circuito [6], el cual se resume a continuación:

Conductores por circuito	Distancia [m]	Resistencia [ohm/m]	R [ohm]
3x(1x150 mm ²) HEPRZ1 20/35 kV Al	425	0,000206	0,08755
3x(1x300 mm ²) HEPRZ1 20/35 kV Al	527	0,0001	0,0527
3x(1x400 mm ²) HEPRZ1 20/35 kV Al	1205	0,0000778	0,093749
3x(1x630 mm ²) HEPRZ1 20/35 kV Al	4919	0,0000469	0,2307011
3x(1x150 mm ²) HEPRZ1 20/35 kV Al	425	0,000206	0,08755

3x(1x300 mm2) HEPRZ1 20/35 kV Al	2832	0,0001	0,2832
3x(1x400 mm2) HEPRZ1 20/35 kV Al	425	0,000078	0,033065
3x(1x630 mm2) HEPRZ1 20/35 kV Al	2285	0,0000469	0,1071665
3x(1x150 mm2) HEPRZ1 20/35 kV Al	770	0,000206	0,15862
3x(1x300 mm2) HEPRZ1 20/35 kV Al	1081	0,0001	0,1081
3x(1x400 mm2) HEPRZ1 20/35 kV Al	465	0,000078	0,036177
3x(1x630 mm2) HEPRZ1 20/35 kV Al	3148	0,0000469	0,1476412
3x(1x150 mm2) HEPRZ1 20/35 kV Al	425	0,000206	0,08755
3x(1x300 mm2) HEPRZ1 20/35 kV Al	425	0,0001	0,0425
3x(1x400 mm2) HEPRZ1 20/35 kV Al	425	0,0000778	0,033065
3x(1x630 mm2) HEPRZ1 20/35 kV Al	1074	0,0000469	0,0503706
3x(1x150 mm2) HEPRZ1 20/35 kV Al	1888	0,000206	0,388928
3x(1x300 mm2) HEPRZ1 20/35 kV Al	2346	0,0001	0,2346
3x(1x630 mm2) HEPRZ1 20/35 kV Al	1133	0,0000469	0,0531377
3x(1x150 mm2) HEPRZ1 20/35 kV Al	425	0,000206	0,08755
3x(1x300 mm2) HEPRZ1 20/35 kV Al	1148	0,0001	0,1148
3x(1x150 mm2) HEPRZ1 20/35 kV Al	587	0,000206	0,120922
3x(1x150 mm2) HEPRZ1 20/35 kV Al	425	0,000206	0,08755
3x(1x150 mm2) HEPRZ1 20/35 kV Al	425	0,000206	0,08755
3x(1x630 mm2) HEPRZ1 20/35 kV Al	2931	0,0000469	0,1374639
3x(1x150 mm2) HEPRZ1 20/35 kV Al	425	0,000206	0,08755
3x(1x300 mm2) HEPRZ1 20/35 kV Al	2160	0,0001	0,216
3x(1x400 mm2) HEPRZ1 20/35 kV Al	425	0,000078	0,033065
3x(1x630 mm2) HEPRZ1 20/35 kV Al	393	0,0000469	0,0184317

Tabla 1: Parámetros del Sistema Colector

2.2.1 Procedimiento de Cálculo de las Perdidas en el Colector.

Para el cálculo de las pérdidas del sistema colector, se realizó un análisis bajo la Teoría de Circuitos eléctricos en Corriente Alterna, o sea, utilizando las Leyes de Kirchhoff y Ley de Ohm, para resolver las variables eléctricas, por último, para las Perdidas del Sistema Colector, se utilizó la Ley de Joule, esto es:

$$P_{t\acute{e}rmica} = |i|^2 R$$

Donde $|i|^2$ es el modulo de la corriente fasorial al cuadrado y R es la resistencia eléctrica de los conductores de cada uno de los circuitos.

Para determinar $|i|$ se toma el módulo de la corriente que circula en los circuitos contribuida por cada aerogenerador acorde a la metodología de resolución de la Teoría de Circuitos, y para determinar R se utiliza la Tabla 1 con los datos del fabricante y el sistema instalado. Luego, se resuelve la formula anterior de la Ley de Joule para cada sección del circuito hasta completar el colector.

Finalmente, al realizar los cálculos para las condiciones de mínima potencia de generación, se determinó que ese valor es de 141 [kW].

Para llegar a ese valor, se simuló en DigSilent Power Factory, en el cual se modeló la central eólica y la subestación. El detalle se encuentra en el Anexo E.

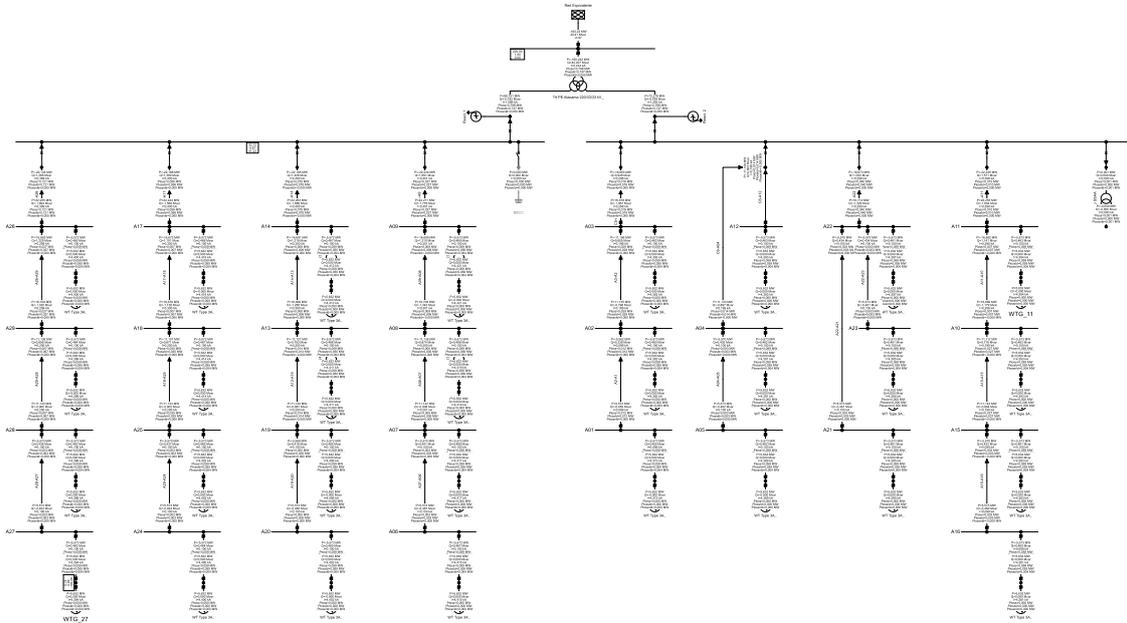


Figura 7. Modelación en DigSilent

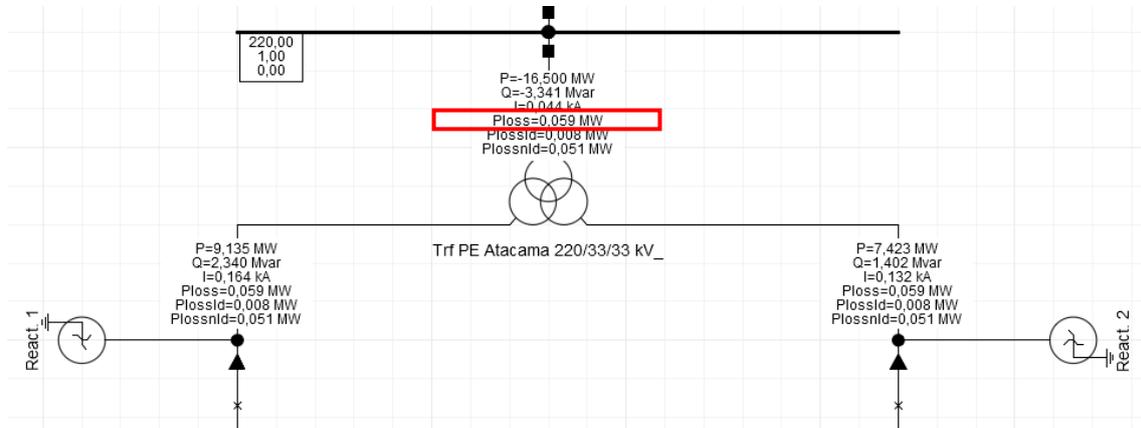
De lo cual se calculó se obtuvo las pérdidas del Sistema Colector y del Transformador de Poder.

Mínimo técnico

Load Flow Calculation				Grid Summary	
AC Load Flow, balanced, positive sequence		Automatic Model Adaptation for Convergence	No		
Automatic tap adjustment of transformers	No	Max. Acceptable Load Flow Error			
Consider reactive power limits	No	Bus Equations(HV)		0,10 kVA	
		Model Equations		0,01 %	
Grid: Grid		System Stage: Grid	Study Case: PE Atacama	Annex:	/ 1
Grid: Grid Summary					
No. of Substations	0	No. of Busbars	61	No. of Terminals	13
No. of 2-w Trfs.	30	No. of 3-w Trfs.	1	No. of syn. Machines	0
No. of Loads	0	No. of Shunts/Filters	1	No. of SVS	0
Generation	= 16,70 MW			16,70 MVA	
External Infeed	= -16,50 MW			16,83 MVA	
Inter Grid Flow	= 0,00 MW				
Load P(U)	= 0,00 MW			0,00 MVA	
Load P(Un)	= 0,00 MW			0,00 MVA	
Load P(Un-U)	= 0,00 MW				
Motor Load	= 0,00 MW			0,00 MVA	
Grid Losses	= 0,20 MW				
Line Charging	=				
Compensation ind.	=				
Compensation cap.	=				
Installed Capacity	= 165,30 MW				
Spinning Reserve	= 0,00 MW				
Total Power Factor:					
Generation	= 1,00 [-]				
Load/Motor	= 0,00 / 0,00 [-]				

Pérdidas Totales=Pérdidas Sistema Colector + Pérdidas Transformador=0,20 MW

Pérdidas Transformador= 0,059 MW



Pérdidas Sistema Colector=0,200 MW – 0,059 MW=0,141 MW

2.3 Servicios Auxiliares

2.3.1 Servicios Auxiliares de la Subestación

Los servicios auxiliares correspondientes a la barra de media tensión de la subestación IberAtacama se alimentan desde un transformador de 250 [kVA] 33000+2,5+5%kV/400-230 V.

BARRA PRINCIPAL 2 – 33kV TRANSFORMADOR 1 – 36kV, 2000A, 25kA

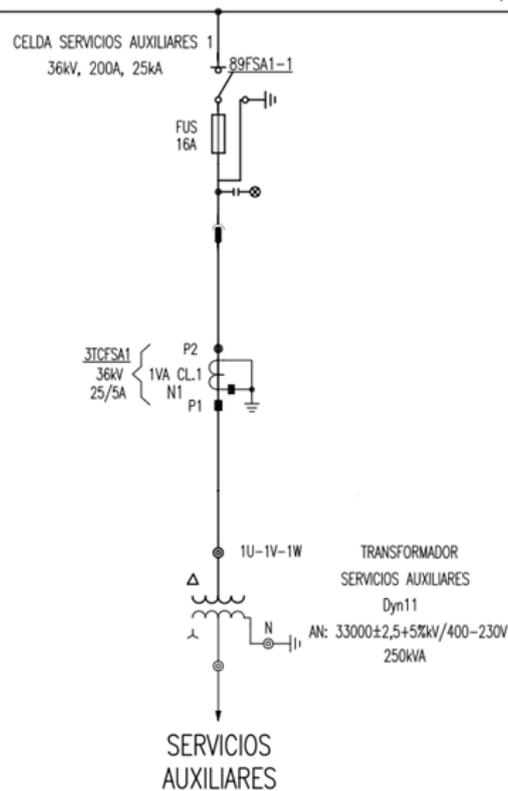


Figura 4. Transformador de SSAA de la subestación.[4]

Respecto a los datos del consumo de SSAA de la central, distinguimos entre el consumo de los aerogeneradores en modo pausa o seguimiento y los consumos propios de la subestación, ya que hay una gran diferencia entre ambos valores. La subestación dispone de un transformador de servicios auxiliares alimentado de media tensión de 250 kVA. Pero disponemos de una indicación visual en el cuadro de Baja tensión y sin posibilidad de extracción de datos, cuyo valor es de 4,91 [kW] Ver Anexo C.

2.3.2 Servicios Auxiliares de los Aerogeneradores

Según lo indicado por el fabricante, la estimación es aproximadamente de 25 [kW] para las condiciones operativas de este informe. Para más detalles, ver Anexo C.

2.2 Transformador de Poder

Según los datos presentados por el fabricante y garantizados mediante ensayos directos al equipo [7][13], el Transformador de Poder presenta los parámetros siguientes:

Ítem	Parámetro
Potencia nominal [MVA]	171/85,5/85,5
Clase de refrigeración	ONAN/ONAF
Voltaje Nominal [kV]	220/33/33
Cambiador de Derivación (lado AT)	(±10x1.25%)
Grupo Vectorial	YNd11d11
Perdidas en carga [kW]	685,2
Corriente en Vacío [%]	0,060
Perdidas en Vacío [kW]	50,7
Perdidas Garantizadas Totales [kW]	735.9

Tabla 2: Parámetros del Transformador de Poder

Mediante el modelamiento del transformador en base al datasheet de la Ref.: [8] y la Tabla 2, y los variables eléctricas registradas en el ensayo, el valor de las pérdidas del transformador en las condiciones de prueba fue de 59 kW.

2.3 Aerogenerador

El aerogenerador instalado en parque tiene diversos modos de funcionamiento y operación, principalmente tiene la capacidad de funcionar de forma automática mediante un sistema de control basado en controladores lógicos programables (PLC), el cual, continuamente está monitoreando los parámetros de operación de interés para el funcionamiento, para ello cuenta con múltiples sensores que entregan las variables programadas para su comparación, para así realizar los ajustes correspondientes correctivos del sistema; y de este modo se emiten las señales de control requeridas para los componentes del aerogenerador. Los parámetros operativos son especificados por Nordex y son adaptados a los requerimientos específicos. Por

último, hay que mencionar que el controlador está ubicado en un gabinete instalado en la base de la torre.

Para situaciones donde cuando no existe presencia de recurso eólico importante, el aerogenerador permanece en modo inactivo. En el modo inactivo, únicamente están operativos diversos tipos de sistemas auxiliares, los cuales serán activados según sea necesario, por ejemplo: calentadores, sistema de lubricación de engranaje, y el PLC que supervisa los datos del sistema de medición del viento. Todos los demás sistemas están apagados y no consumen energía, y el rotor por su parte se encuentra inactivo.

En presencia de recurso eólico suficiente para que la velocidad del viento de corte sea alcanzada, el aerogenerador cambiará a la condición "ready for operation". Todos los sistemas se comienzan a comprobar para su correspondiente posición de arranque, la nacelle se gira y se posiciona en dirección del viento, en el instante donde se alcanza la velocidad importante para el funcionamiento, el generador se conecta a la red y así es como el aerogenerador comienza con la producción de energía eléctrica.

En condiciones de mínimo recurso eólico, el aerogenerador tiene un funcionamiento parcial en su operación. Las palas del rotor se posicionan en el ángulo correspondiente al máximo grado de recurso eólico.

En el instante cuando el recurso eólico alcanza la velocidad nominal de la máquina, el aerogenerador cambia al rango nominal de operación, pero si la velocidad del recurso eólico se mantiene aumentando, el controlador de velocidad de operación del rotor envía la orden de cambiar la posición angular de las palas, con el propósito de mantener constante la potencia generada del aerogenerador y controlar la velocidad del rotor.

El sistema de orientación garantiza que la nacelle se encuentre siempre óptimamente posicionada y alineada con la dirección del viento. Para tal fin, se encuentran dos sistemas de medición de viento separados en la nacelle, y estos monitorean constantemente la dirección del viento. El monitoreo principal lo realiza uno de los sistemas de medición y el segundo sistema trabaja como respaldo del primer sistema de medición, fundamentalmente en caso de falla del primer sistema. Si la dirección del viento medida se desvía demasiado de la alineación con respecto a la nacelle, el controlador enviará la orden de posicionar la nacelle en la nueva dirección del recurso eólico.

La energía eólica absorbida por el rotor se convierte en energía eléctrica mediante una máquina de inducción doblemente alimentada con rotor de anillos rozantes. El estator de la máquina está conectado directamente al sistema eléctrico, en tanto el rotor se encuentra conectado a través de un convertidor de electrónica de potencia, que se encuentra conectado al transformador de media tensión interno de la nacelle. Se debe tener en consideración, que solo una parte de la energía necesita ser transmitida a través del convertidor, lo que permite bajas pérdidas en el sistema eléctrico.

El esquema hardware del sistema es el que se muestra a continuación:

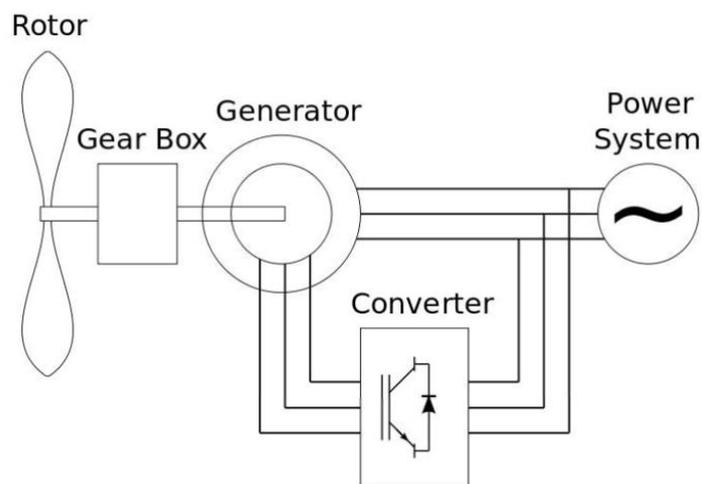


Figura 5. Esquema de hardware del aerogenerador N163-5,7MW-TS105

Sistemas de seguridad:

Los aerogeneradores de Nordex cuentan con equipos y dispositivos técnicos que protegen a las personas y a los sistemas, además aseguran un funcionamiento permanente. Todo el aerogenerador está diseñado de acuerdo con la Directiva de Máquinas 2006/42/EC y certificado según la IEC 61400.

Los principales parámetros para la seguridad del control se encuentran en constante supervisión y monitoreo con el propósito de minimizar las vulneraciones y garantizar una correcta operación. En este escenario, los datos obtenidos por los sensores se transmiten a través de un bus de comunicación al respectivo sistema controlador y se ejecuta la respectiva evaluación de parámetros. En el caso que se excedan los parámetros especificados, el sistema se detiene a través de los respectivos actuadores y se establece en el aerogenerador un estado seguro.

En caso de que exista una desconexión intempestiva, dependiendo del caso, se activan diferentes programas de freno. En el caso de causas externas, como por ejemplo velocidades excesivas del recurso eólico o temperaturas inferiores de funcionamiento, el aerogenerador se frena suavemente mediante el ajuste controlado de las palas del rotor.

Otras funciones de seguridad se utilizan para detener los accionamientos de forma segura principalmente estas funciones están destinadas para los trabajos de mantenimiento.

Protección contra rayos y sobretensiones, compatibilidad electromagnética (EMC):

La protección contra rayos y sobretensiones de la turbina eólica se basa en el concepto de zona de protección, y esto comprende la implementación de medidas internas y externas de protección contra rayos y sobretensiones según la norma IEC 61400-24. El aerogenerador está diseñado según el criterio y la clase de protección contra rayos y sobretensiones I.

La turbina eólica con el equipo eléctrico, los consumidores, la tecnología de medición, control, protección, información y telecomunicaciones cumple con los requisitos de EMC según IEC 61400-1.

Sistema de media tensión:

El sistema de media tensión es el conjunto de los diferentes componentes del que se utilizan para conectar un aerogenerador a la subestación elevadora de parque. La base de la torre contiene la aparamenta de media tensión y consta con; transformadores, interruptores, además de su correspondiente sistema de transmisión en anillo, que puede variar de acuerdo con la topología sistémica del parque eólico. El panel de accionamiento del transformador consta de un disyuntor de vacío y un seccionador con interruptor de toma a tierra. El panel de accionamiento del sistema colector se constituye de un interruptor seccionador con un interruptor de toma a tierra.

Otras características de la aparamenta del sistema de media tensión:

- Las pruebas de rutina de cada aparamenta cuentan con el cumplimiento de acuerdo con la IEC 62271-200.
- Cuenta con sistema de aislamiento de SF6.
- Depósito de SF6: revestido de metal, con envoltura metálica (mín. IP65), independiente de las influencias ambientales.
- Las posiciones del interruptor se muestran "On - Off - Grounded".
- Regleta de terminales de prueba para ensayos secundarios.
- Cuenta con un reducido mantenimiento de acuerdo con la clase E2 (IEC 62271-100).

La protección del sistema de media tensión se logra mediante las siguientes consideraciones:

- Seguridad personal y protección del sistema mejoradas en caso de formación de arco mediante ensayos que cumplen en conformidad con la norma IEC 62271-200.
- Dispositivo de protección alimentado con corriente de convertidor y estabilizado para corriente de activación como relé de protección de sobrecorriente-tiempo (protección de máxima corriente independiente).
- Las aberturas de activación para el tablero de distribución están interbloqueadas para evitar la operación de más de una simultáneamente y se pueden bloquear como opción.
- Protección contra la corrosión de las celdas de la aparamenta mediante galvanización en caliente y superficies pintadas.
- Alivio de presión mediante conducto absorbedor de presión en caso de arco.

El transformador y el convertidor están ubicados en la nacelle. El transformador se ha especificado de acuerdo con IEC 60076-16 y cumple con los requisitos de diseño ecológico de 548/2014/EC.

Los componentes de acero del transformador están dimensionados para la clase de protección contra la corrosión C3 (H).

Medidas de protección adicionales:

- Tanque puesto a tierra (Transformador Ester).
- Protección contra sobretensión con sensor de temperatura y relé.
- Protección hermética (fuga) y protección contra sobrepresión para transformador éster.

Sistema de baja tensión:

La red de baja tensión tiene una tensión nominal de operación de 750 V, este sistema se constituye por elementos y dispositivos eléctricos los cuales permiten la operación y medición de esta red. Los distintos elementos y dispositivos del sistema se encuentran directamente conectados a tierra o mediante cables de conexión equipotencial referidos a la toma a tierra, además, se ha instalado un monitor de aislamiento central como otra medida de protección para la seguridad personal y de la turbina en el sistema 750 V.

La red de baja tensión de 400 V/230 V es el sistema auxiliar de baja tensión del aerogenerador. Tiene su punto neutro puesto a tierra directamente en los transformadores de la red de alimentación como sistema tierra-neutro y sistema trifásico. El conductor de puesta a tierra del equipo y el conductor neutro dispuestos por separado. Los cuerpos de los equipos y consumidores eléctricos, incluida la conexión equipotencial de protección adicional, se conectan directamente, a través de conexiones de conductor de puesta a tierra de protección por los puntos neutros de los transformadores de la red de suministro.

Sistemas auxiliares del aerogenerador:

La baja tensión auxiliar requerida por el aerogenerador en modo stand-by y en modo feed-in la solicitan los siguientes consumidores:

- Control del sistema, incluido el control del convertidor principal.
- Alimentación auxiliar 400 V/230 V del convertidor principal.
- Suministro de servicios auxiliares de 230 V CA, incluido el suministro de 24 V CC.
- Sistema de orientación.
- Sistema de lanzamiento.
- Accionamientos auxiliares como bombas, ventiladores y unidades de lubricación.
- Calefacción e iluminación.
- Sistemas auxiliares como elevador de servicio, luces de obstáculos.

Las mediciones a largo plazo muestran que, carga base anual promedio del sistema auxiliar del aerogenerador en baja tensión de aproximadamente 15 kW. El valor medio promedio de 10 min

y el valor medio máximo de 10 min puede alcanzar hasta 25 kW/32kVA. Estos valores ya están considerados en las curvas de potencia.

Para situaciones con una velocidad media anual del viento de 6,5 m/s aproximadamente, se consume 10 MWh en sistema auxiliar, sin embargo, este valor depende en gran medida de la ubicación del parque.

El consumo auxiliar se define como el consumo de energía del transformador auxiliar de la red de baja tensión, durante un periodo en el que él no suministra corriente a la red.

La información técnica más relevantes del aerogenerador se muestra en las siguientes tablas:

2.3.1 Datos del Generador

Los datos que se presentan a continuación para el Generador Eléctrico de 6 polos son obtenidos de la información entregada por el fabricante:

ítem	Valor
Potencia Nominal [kW]	Sobre 5700; 4450 a $\cos(\phi)=0,86$
Tipo Generador	Generador Asíncrono Doblemente Alimentado
Conexión Estator	Triángulo
Conexión Rotor	Estrella
Número de Polos	6
Sondas Pt100	6 en devanados del estator
Temperatura Ambiente [°C]	-30 a 40
Altitud sobre Nivel del Mar [msnm]	0 a 4000
Frecuencia Nominal [Hz]	50
Velocidad Nominal [rpm]	1010
Rango de Velocidad [rpm]	695-1325
Tensión Nominal [V]	750
Tensión rotor bloqueado [V]	2315
Factor de Potencia	0,86
Grado de Protección (IEC 60034)	IP54 Máquina – IP23**** Cuerpo de anillos – IP55 Caja de terminales
Aislamiento Estator / Rotor	F ó H / F ó H
Peso [kg]	10700

Tabla 3: Parámetros del Generador Eléctrico [8][9]

2.3.2 Datos del Convertidor

Los datos que se presentan a continuación para la unidad convertidora son obtenidos de la información entregada por el fabricante [10]:

ítem	Valor
Tecnología	Back to Back basado en IGBTs
Temperatura funcionamiento [°C]	-30 a 50
Altitud sobre Nivel del Mar [msnm]**	≤2000
Nivel de Protección	Gabinete de control y potencia IP54 – Gabinete de alimentación IP23
Tipo de Refrigeración	Refrigeración por agua para armario eléctrico, aire refrigeración para armario de alimentación, natural refrigeración para armario de control
Temperatura Máxima Aire Refrigeración [°C]	50
Frecuencia Nominal [Hz]	50/60
Tensión Nominal [V]	3AC 750V-10%/+10%
Potencia nominal [kW]	6100

Tabla 4: Parámetros del Convertidor

2.3.3 Transformador de aerogenerador

Los datos que se presentan a continuación para la unidad convertidora son obtenidos de la información entregada por el fabricante [11]:

Ítem	Valor
Potencia [kVA]	6350
Tipo Transformador	Transformador Trifásico, devanado encapsulado seco
Condición de Servicio	Interior
Tipo de Ventilación*	KFWF
Comportamiento frente al Fuego (IEC 60076-11)	F1
Altitud sobre Nivel del Mar [m]**	2000
Tensión Devanados de Baja Tensión [V]	750
Conexión Devanados de Baja Tensión	Estrella (Y)
Tensión Devanados de Media Tensión [kV]	33
Conexión Devanados de Media Tensión	Triángulo (D)
Tomas intermedias Media Tensión	+/-2x2,5%
Grupo de Conexión	Dy5

Frecuencia de Red [Hz]	50/60
Tensión más Elevada para el Material, Um, en Devanado MT/BT (IEC 60076-3) [kV]	36/1
Nivel de Aislamiento Asignado de Corta Duración a Frecuencia Industrial en Devanado MT/BT (IEC 60076-3) [kV]	70/3
Nivel de Aislamiento Asignado a Impulsos Tipo Rayo en Devanado MT (IEC 60076-3) [kV]	170
Sondas Pt-100	1
Dimensiones Máximas (L*W*H) [mm]	2920*980*2490 (valores aproximados)
Peso [kg]	9150

Tabla 5: Parámetros del Transformador del aerogenerador

Mediante la metodología de simulación en DigSilent PowerFactory, en la operación en MT las pérdidas individuales de cada transformador alcanzan en promedio 0,0046 MW y un total de 0,1334 MW (suma de las pérdidas de todos los transformadores de bloques). El detalle se presenta en el Anexo E.

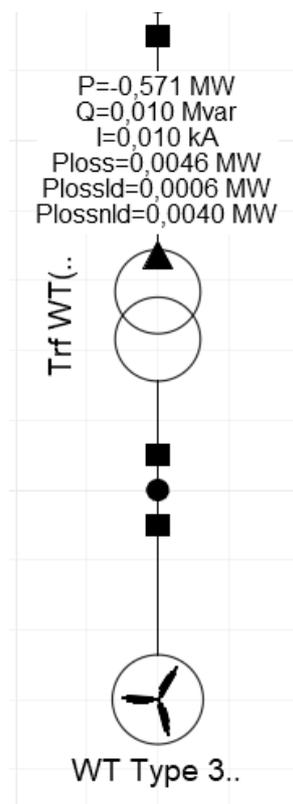


Ilustración 1. Pérdidas Transformador de bloque en MT

2.3.4 Curva de potencia

La siguiente tabla muestra la potencia eléctrica [kW] como función de la velocidad del viento [m/s] horizontal referido a la altura del buje, ponderada en diez minutos, para diferentes densidades de aire [kg/m³]. La curva de potencia no incluye las pérdidas del transformador ni de los cables de alta tensión. La curva de potencia corresponde a la clase S del aerogenerador.

P [kW]	Densidad [kg/m ³]
Ws [m/s]	1,225
3.0	57
3.5	166
4.0	310
4.5	489
5.0	702
5.5	955
6.0	1255
6.5	1607
7.0	2016
7.5	2485
8.0	3015
8.5	3580
9.0	4149
9.5	4680
10.0	5084
10.5	5370
11.0	5554
11.5	5660
12.0	5700
12.5	5700
13.0	5700
13.5	5700
14.0	5700
14.5	5700

P [kW]	Densidad [kg/m ³]
Ws [m/s]	1,225
15.0	5700
15.5	5700
16.0	5700
16.5	5700
17.0	5700
17.5	5700
18.0	5700
18.5	5700
19.0	5700
19.5	5700
20.0	5700
20.5	5586
21.0	5455
21.5	5307
22.0	5153
22.5	5005
23.0	4856
23.5	4708
24.0	4560
24.5	4418
25.0	4269
25.5	4121
26.0	3973

Tabla 6: Potencia calculada en función de la velocidad del viento a la altura del eje Ws del aerogenerador N163-5,7MW-TS105, para diferentes densidades

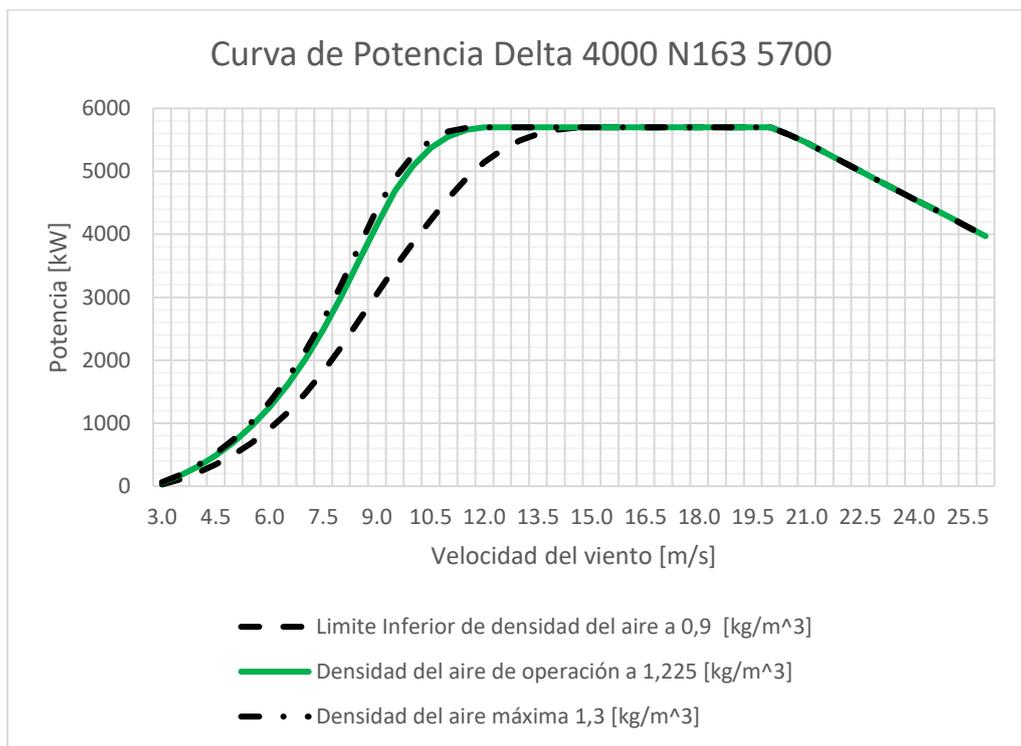


Figura 6. Curva de Potencia del aerogenerador N163-5,7MW-TS105

2.3.5 Nivel Mínimo Técnico de Potencia Activa Nordex N163/5.X TS105-01

Respecto al nivel de mínimo técnico de potencia activa del parque, Nordex señala que éste corresponde al 10% de la capacidad nominal del mismo. Esto guarda relación con dos aspectos:

- El mínimo técnico de cada aerogenerador individual es el 10% de su capacidad nominal, lo que se define en base a sus límites de diseño.
- Si bien el controlador del parque puede admitir una consigna inferior a este nivel, para lograr dicho nivel se requerirá detener unidades. En la práctica, esto implica que los aerogeneradores entren en un ciclo iterativo de arranque y detención, ya que el controlador priorizará la operación de las unidades con mejor recurso, lo que va variando en función de la naturaleza aleatoria del viento. Dicho proceso iterativo implica una carga adicional innecesaria sobre los aerogeneradores, por lo que se le da prioridad a su integridad estructural, a fin de asegurar el cumplimiento de la vida útil de estos.

En un momento determinado, algunos aerogeneradores no cuentan con recurso suficiente para alcanzar su mínimo técnico, por lo que se detienen, mientras otros aerogeneradores se operan a potencia superior al mínimo técnico, a fin de suplir la ausencia de los aerogeneradores detenidos. Si los aerogeneradores detenidos vuelven a contar con recurso suficiente para generar sobre su mínimo técnico, el aerogenerador se conecta nuevamente; lo anterior implica que los aerogeneradores que ya estaban operando deban reducir su inyección de potencia activa. Esto implica que podrían entrar en un ciclo de conexiones y desconexiones sucesivas que también producen una sobrecarga de fatiga al aerogenerador, afectando su vida útil.

2.3.6 Curva de Generación de Potencia Reactiva

La Figura 7 muestra la máxima potencia reactiva Q posible en función de la potencia activa P y tensión de red U en el punto de referencia.

Los datos correspondientes se enumeran en la Tabla 7 de rangos máximos de potencia reactiva. Se aplican las siguientes definiciones:

- $-Q$ = inductivo = subexcitado
- $+Q$ = capacitivo = sobreexcitado

Los porcentajes de tensión se refieren a la tensión nominal U_n .

Cabe señalar que el límite superior de potencia activa y la capacidad máxima la potencia reactiva puede reducirse en función de las condiciones de la red. El límite superior de potencia activa también puede reducirse, si se requieren altos valores de potencia reactiva se priorizará el control del parque eólico.

Capacidades de potencia reactiva dependientes de la tensión y potencia activa dependen de los límites de tensión, y pueden ser interpolados para los voltajes que no se listan en la Tabla 7.

Durante el estado pause del aerogenerador, si la velocidad del viento es inferior a la velocidad de encendido, no se consume ni alimenta potencia reactiva y Q es 0.

Active power P / kW		25	5015	5605	5900
Maximum reactive power range	87 % U_n	-3000	-3000	-	-
	-Q...+Q / kvar	3000	3000	-	-
	90 % U_n	-3000	-3000	-2000	-
	-Q...+Q / kvar	3000	3000	2000	-
	95 % U_n	-3000	-3000	-2634	-1500
	-Q...+Q / kvar	3000	3000	2634	1500
	96...106 % U_n	-3000	-3000	-2761	-2250
	-Q...+Q / kvar	3000	3000	2761	2250
	110 % U_n	-3000	-3000	-2761	-2250
	-Q...+Q / kvar	2400	2400	1900	1600
	115 % U_n	-3000	-3000	-2761	-2250
	-Q...+Q / kvar	900	900	600	300

Tabla 7: Máxima potencia reactiva posible del Modo 1.a1 (5900 kW) en relación con potencia activa y tensión en el punto de referencia.

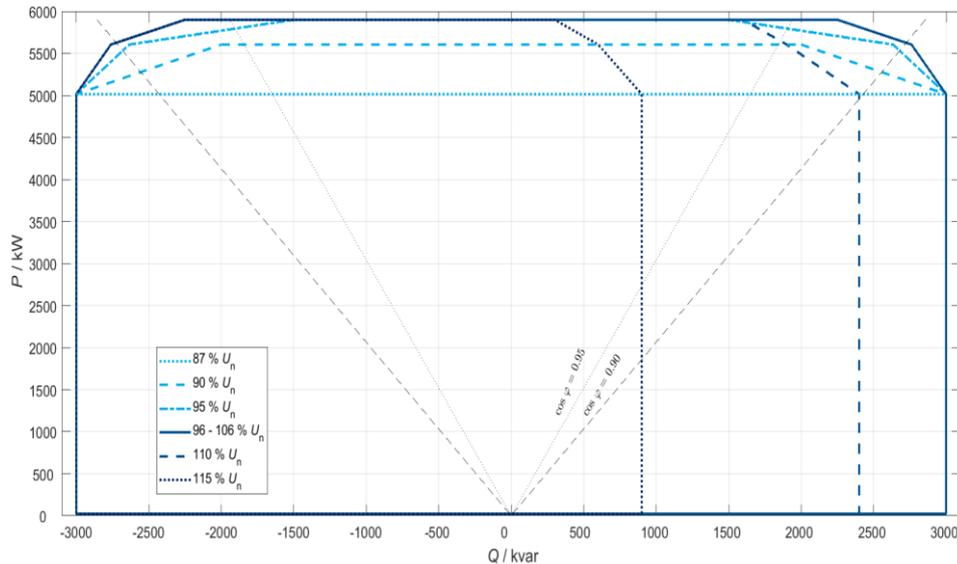


Figura 7. Diagrama Q-P Modo 1.a1 (5900 kW).

2.3.7 Control de Potencia Reactiva en Mínimo Técnico bajo presencia de recurso eólico.

Según lo indicado por el fabricante en la referencia [14] y que se resume en la Figura 6, bajo mínimo técnico, es decir 10% de la Potencia Nominal del aerogenerador, entonces cada aerogenerador puede responder bajo los siguientes parámetros de diseño:

Para cada aerogenerador	Potencia Reactiva
Capacidad Máxima de Absorber reactivos	-3000 [kVAR]
Capacidad Máxima de inyectar reactivos	3000 [kVAR]

Tabla 8: Potencia reactiva máxima por cada aerogenerador funcionando en mínimo técnico, según fabricante a factor de potencia 0.9.

Para el caso del parque y bajo condiciones de mínimo técnico a 10% de la Potencia Nominal, los parámetros de diseño son los siguientes:

Para el parque	Potencia Reactiva
Capacidad Máxima de Absorber reactivos	-87000 [kVAR]
Capacidad Máxima de inyectar reactivos	87000 [kVAR]

Tabla 9: Potencia reactiva máxima por el parque funcionando en mínimo técnico, según criterio de diseño.

En ambos casos, el mínimo capaz de absorber o inyectar, tanto para los aerogeneradores como el parque es ± 3000 [kVAR] y ± 87000 [kVAR].

Cabe mencionar que el parque no posee ninguna limitación a la hora de funcionar a Mínimo Técnico.

Tal como se indicó con anterioridad, el consumo de los servicios auxiliares es de 4,91 [kW]

2.3.8 Control de Potencia Reactiva sin presencia de recurso eólico.

Tal como indica la tabla de la Figura 6, se indica que los aerogeneradores están diseñados por fabricante para responder de la siguiente forma:

Para cada aerogenerador	Potencia Reactiva
Capacidad Máxima de Absorber reactivos	-3000 [kVAR]
Capacidad Máxima de inyectar reactivos	3000 [kVAR]

Tabla 10 Potencia reactiva máxima por cada aerogenerador en ausencia de recurso, según fabricante.

Para el caso del parque y bajo condiciones de mínimo técnico a 10% de la Potencia Nominal, los parámetros de diseño son los siguientes:

Para el parque	Potencia Reactiva
Capacidad Máxima de Absorber reactivos	-87000 [kVAR]
Capacidad Máxima de inyectar reactivos	87000 [kVAR]

Tabla 11 Potencia reactiva máxima por el parque en ausencia de recurso, según criterio de diseño.

En ambos casos, el mínimo capaz de absorber o inyectar, tanto para los aerogeneradores como el parque es ± 3000 [kVAR] y ± 87000 [kVAR].

Al igual que en el caso anterior, el consumo de los servicios auxiliares es de 4,91 [kW]

3 Determinación del Mínimo Técnico del Parque Eólico Atacama

Para la determinación del mínimo técnico de operación del Parque Eólico Atacama se hicieron pruebas el 26 de mayo 2023 en base a lo exigido por el procedimiento del Coordinador Eléctrico Nacional, así como a la información técnica descrita en este documento, la NTSyCS, las condiciones ambientales y los aerogeneradores disponibles.

Para la realización de las mediciones hemos utilizado el SCADA del parque eólico provisto por el fabricante, con el objeto de registrar las variables durante las pruebas realizadas, que permitan analizar el comportamiento de los aerogeneradores y del parque eólico en su conjunto. Por otra parte, para la realización de las mediciones de parámetros eléctricos se ha utilizado el analizador de redes interno de Nordex, instalado de forma permanente en el paño de transformador de 220 kV, en la S/E IberAtacama del Parque Eólico Atacama, siendo este el punto de conexión y medida fiscal del parque eólico.

Para realizar los ensayos se dispuso a que el parque operará con suficiente recurso disponible. Luego se programó la consigna del set-point a Mínimo Técnico como muestra la gráfica a continuación. Dicho set-point viene dado por el 10% de la Potencia Nominal, tal como indica el documento de la Ref. [14] del fabricante del aerogenerador el cual además fue explicado en la sección 2.3.5.

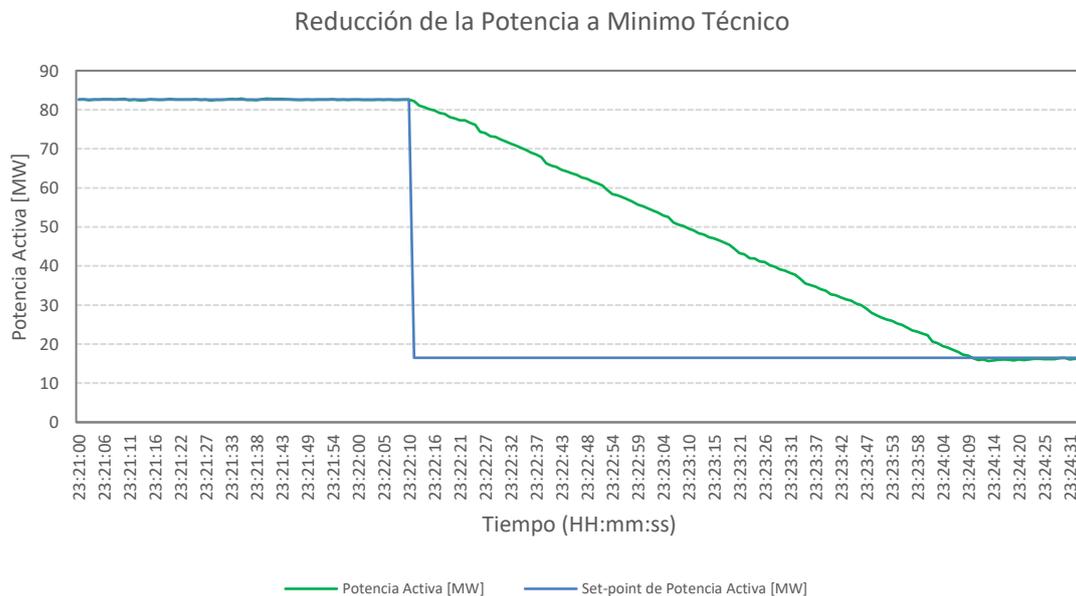


Figura 8. Grafica reducción de potencia activa a mínimo técnico.

Para potencias inferiores al 10% de la potencia activa nominal, los aerogeneradores cambian de estado a “Pausa”, tanto por límites operativos como por protección de los componentes de los propios aerogeneradores. Esto se debe a los esfuerzos presentes en la máquina y a las limitantes

de control del torque, lo cual es especialmente notorio cuando se fija una consigna de potencia activa mucho menor a la potencia generable por los aerogeneradores por el recurso eólico disponible en ese instante. En el momento que la consigna aumente lo suficiente las maquinas desconectadas se volverán a conectar a disponibilidad del recurso eólico.

De acuerdo con información provista por el fabricante, considerando alto recurso eólico y consignas de generación externas al PPC, por medidas de protección del aerogenerador, la potencia activa no puede ser controlada para valores de potencia bajo el 10% de la potencia nominal del aerogenerador, teóricamente esto es 570 [kW]. A nivel de parque se traduce teóricamente en 10% de la potencia nominal, esto es 16.530 [kW].

Considerando lo anterior, durante las pruebas realizadas se registró la operación del parque a potencias inferiores al 10% de la potencia nominal, con el objetivo de observar cómo influye la operación a mínimo técnico sobre la cantidad de aerogeneradores que permanecen conectados y generando.

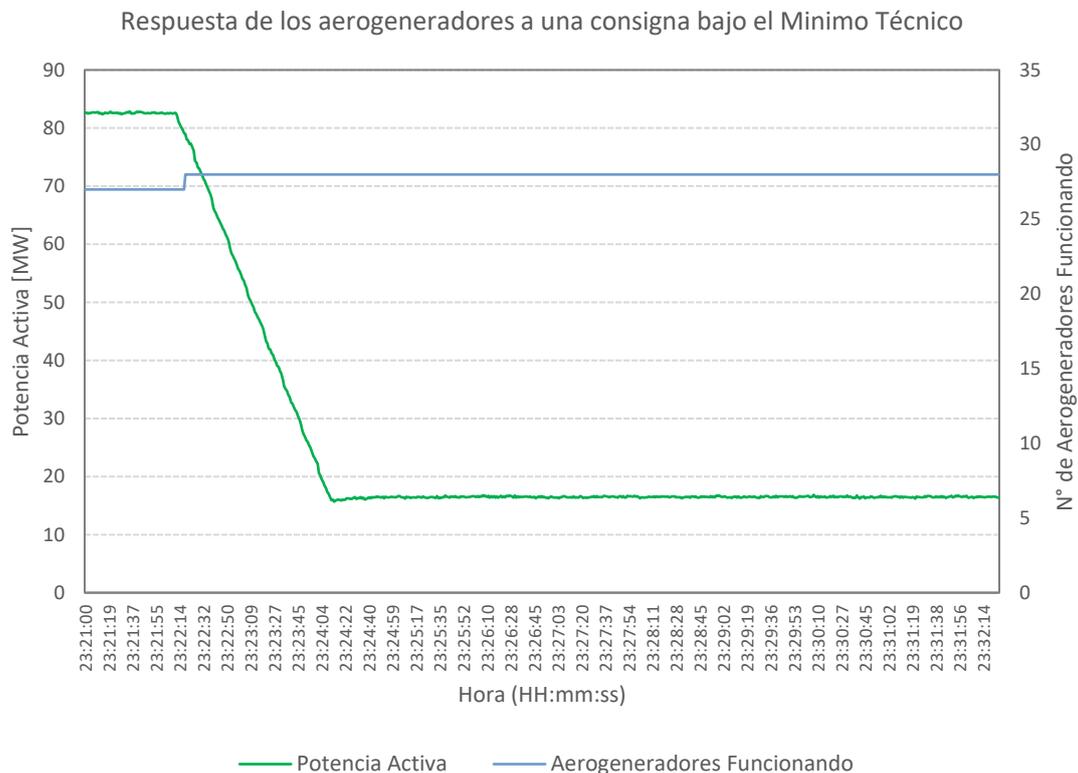


Figura 9. Gráfica aerogeneradores en servicio al reducir la potencia activa por debajo del mínimo técnico.

Como se puede observar en la gráfica, una consigna de generación menor al 10% para régimen de vientos elevados, implica la pausa de aerogeneradores por razones de seguridad de la turbina como se explica a continuación.

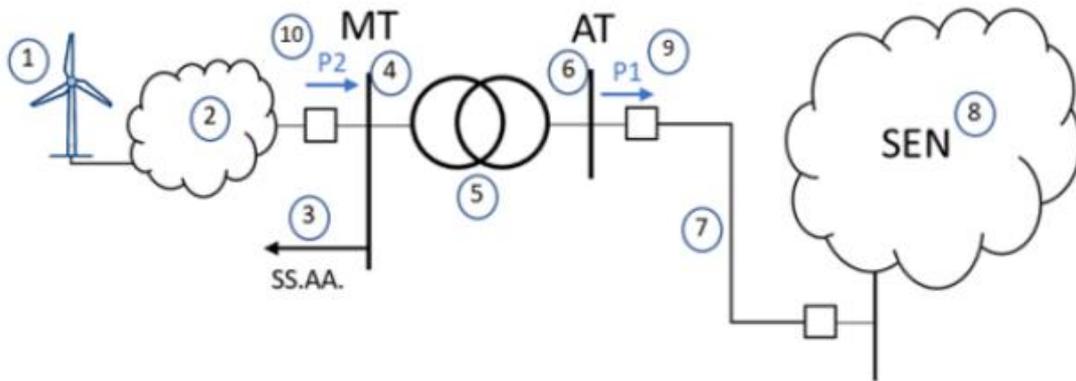
Hay que tener en cuenta que la regulación de potencia del parque eólico se realiza con un sistema de control, por lo que en el caso que el valor de consigna del parque eólico sea igual o

inferior a cero, hace que todos los generadores del parque eólico se envíen a detención a modo preventivo, ya que el sistema no puede operar de forma estable bajo el mínimo técnico del 10%.

Para mantener la operativa estable de los 29 aerogeneradores, la consigna mínima que puede tener el parque es del 10% de la potencia nominal.

3.2 Procedimiento de cálculo del Mínimo Técnico

Dentro de este punto mostraremos los valores de acuerdo con lo solicitado en el Anexo Técnico “Determinación de Mínimos Técnicos en Unidades Generadoras”. Para ello primero se obtendrán las pérdidas de M.T. del parque, que se adjunta como anexo, obteniendo los siguientes resultados:



En donde los componentes se identifican como:

1. Parque Eólico equivalente: Corresponde a la suma de los aportes distribuidos de potencia activa alterna de cada inversor del parque ERNC.
2. Pérdidas en sistema colector del parque: Corresponde a las pérdidas del sistema colector del parque eólico principalmente en cables de baja y media tensión.
3. Servicios Auxiliares (SS.AA.) de la central.
4. Barra de media tensión (MT): Corresponde a la tensión en el lado de baja tensión del transformador de poder.
5. Transformador de Poder: Equipo elevador presente en la subestación de salida del parque ERNC.
6. Barra de alta tensión (AT): Corresponde a la tensión en el lado de alta tensión del transformador de poder.
7. Línea dedicada de la central: Línea de alta tensión que vincula el parque ERNC con el Sistema Eléctrico.
8. Sistema Eléctrico Nacional (SEN).
9. Potencia inyectada por el parque ERNC en la barra de 33kV de tensión.
10. Potencia inyectada por el parque ERNC en la barra de media tensión de su subestación de salida 220kV.

Posteriormente se definen las siguientes variables:

- a) P_1 : Potencia activa inyectada en la barra de alta tensión (AT) de la central [kW].
- b) P_{trafo} : Pérdidas activas en el transformador de poder [kW].
- c) $SS. AA$: Servicios Auxiliares de la central [kW].
- d) $P_{colector}$: Pérdidas en el sistema colector del parque ERNC [kW]

Las Perdidas del transformador de acuerdo con la hoja de datos garantizados es de 386 [kW] [9]

3.3 Cálculo del Mínimo Técnico para el Parque Eólico Atacama

Las perdidas en el sistema colector, en condiciones de mínima potencia de generación, se determinó en 141 kW]

Por lo tanto, si el mínimo técnico fuese un único aerogenerador, como se solicita, la potencia generada sería es de 570 [kW] y el resto de las máquinas estuviesen paradas, las pérdidas del parque eólico hacen como resultado se consuma energía en la barra de 220 [kW].

Hay que tener en cuenta que la regulación de potencia del parque eólico se realiza con un sistema de control, por lo que en el caso que el valor de consigna del parque eólico sea igual al mínimo técnico, como se puede ver en la gráfica 14 se llega a potencia mínima con 28 aerogeneradores funcionando y algunos en modo pause. Por otra parte, para asegurar el funcionamiento permanente de una unidad, es necesario aislar mediante el PPC dicha unidad, ya que el parque no puede funcionar con un único aerogenerador. Por tanto, el mínimo técnico del parque solo puede garantizarse con un conjunto de aerogeneradores que puedan proveer dicha potencia. Por tanto, el mínimo técnico en la barra de alta es el 10% de la Potencia Nominal, o sea 16.530 [kW].

En resumen, el Mínimo Técnico (P_{MT}) en 220 kV de la central quedará definido por:

$$P_{MT-Parque}(220\text{ kV}) = P_1 + P_{trafo} + SS.AA + P_{colector}$$

1.	Mínimo Técnico Parque	17.593,31 [kW]
3.	Consumo de los SSAA Aerogenerador	725 [kW]
	Perdidas del Transformador de Bloque	133,4 [kW]
2.	Pérdidas en el sistema colector ($P_{colector}$)	141 [kW]
3.	Consumo de los SSAA Subestación	4,91 [kW]
5.	Pérdidas activas en Trans. de Poder (P_{trafo})	59 [kW]
6.	Potencia Activa inyectada en la barra AT 220 kV (P_1)	16.530 [kW]
	Mínimo Técnico de la Central (MT)	17,59 [MW]

Tabla 12 Resultados de Mínimo Técnico para el Parque

Para el caso de un aerogenerador es el siguiente calculo:

$$P_{MT-Aero}(220\text{ kV}) = P_1 + P_{trafo} + SS.AA + P_{colector}$$

1.	Mínimo Técnico Aerogeneradores	612,23 [kW]
3.	Consumo de los SSAA	25 [kW]
	Perdidas del Transformador de Bloque	4,6 [kW]
2.	Pérdidas en el sistema colector ($P_{colector}$)	4,86 [kW]
3.	Consumo de los SSAA Subestación	4,91 [kW]
5.	Pérdidas activas en Trans. de Poder (P_{trafo})	4,86 [kW]
6.	Potencia Activa inyectada en la barra AT 220 kV (P_1)	568 [kW]
	Mínimo Técnico de los aerogeneradores (MT)	0,61 [MW]

Tabla 13 Resultados de Mínimo Técnico para el aerogenerador

Mencionamos que el controlador del parque no es capaz de operar en condiciones normales con un solo aerogenerador funcionando, tal como indica el fabricante, esto es por seguridad ya que se compromete la integridad estructural por cargas de fatiga del aerogenerador en el largo plazo.

4 Justificaciones que describen fuentes de inestabilidad del Parque Eólico Atacama

Durante la realización de las pruebas no se registró ninguna inestabilidad en la operación del Parque Eólico Atacama en ninguno de los niveles de generación, de acuerdo con lo descrito en los puntos anteriores las maquinas cambiaron el modo de operación. Basado en lo anterior se confirma que los aerogeneradores N163-5,7MW-TS105 son capaces de operar dentro de los rangos descritos en este documento.

5 Conclusiones

Se concluye de los resultados lo siguiente:

- **Mínimo Técnico [MW]:** 17,59 [MW]
- **SS/AA [MW]:** 0,73 [MW]

Desglose:

- Consumo de los SSAA Aerogenerador 725 [kW]
- Consumo de los SSAA Subestación 4,91 [kW]

- **Pérdidas en la Central [MW]:** 0,11 [MW]

Desglose:

- Consumo de los SSAA Aerogenerador 725 [kW]
- Pérdidas del Transformador de Bloque 133,4 [kW]
- Pérdidas en el sistema colector 141 [kW]
- Consumo de los SSAA Subestación 4,91 [kW]
- Pérdidas activas en Trans. de Poder 59 [kW]

- **Potencia Mínima Neta [MW]:** 16,53 [MW]

6 Referencias

- [1] Comisión Nacional de Energía (2020). Norma Técnica de Seguridad y Calidad de Servicio. Recuperado de <https://www.cne.cl/wp-content/uploads/2020/09/NTSyCS-Sept20.pdf>
- [2] Comisión Nacional de Energía (2019). Anexo Técnico: Determinación de Mínimos Técnicos en Unidades Generadoras. Recuperado de <https://www.cne.cl/wp-content/uploads/2019/12/DETERMINACI%C3%93N-DE-M%C3%8DNIMOS-T%C3%89CNICOS-EN-UNIDADES-GENERADORAS.pdf>
- [3] Coordinador Eléctrico Nacional (2019). Puesta en Servicio de Unidades Generadoras– Aplicación de Anexos Técnicos- Recuperado de <https://www.coordinador.cl/wp-content/uploads/2019/03/PES-de-UUGG-Aplicaci%C3%B3n-de-Anexos-T%C3%A9cnicos.pdf>
- [4] SIEMSA, Grupo Ibereólica Renovables (2022). SET IberAtacama 33/220 kV. Cod.: 1ATA2UNX0-R8
- [5] Grupo Ibereólica Renovables (2021). Recorrido de Lineas del Sistema Colector de 33 kV. Diagrama de Bloques, Secciones y Longitudes. Cod.: PEAT-5
- [6] Prysmian. Cables tipo EPROTENAX COMPACT (aislamiento de HEPR).
- [7] Siemens Energy (2021). Test Report. Cod.: NO.STCL/TC-21.812492
- [8] Siemens (2020). Technical data generator. Cod.: 2011951IN-en
- [9] Nordex (2020). Technical description Delta4000 – N163/5.X. Cod.: 2000627EN – Rev.4
- [10] Vertiv (2020). Vertiv 5.XMW DFIG converter – Características Eléctricas del Convertidor. Cod.: 2003513EN-Rev.1.2
- [11] SBG (2020). Características Generales del Transformador. Cod.: VEARW864
- [12] Nordex (2021). Noise level, power curves, thrust curves N163/5.X TS105-01 @ Mode 0. Cod.: SEE_CL109406_756- Rev.2
- [13] Siemens Energy (2021). Datos de Placa. Cod.: C0530918-01-Rev.A
- [14] Nodex (2023). Nota Técnica Parque Eólico Atacama Aclaraciones de las Características Eléctricas Aerogenerador N163/5.x TS105-01. Cod.: NCL-ATAC-01_NT Rev. 00
- [15] Camille Bauer. Test Report SINEAX CAM. Suiza.
- [16] Camille Bauer. Operating Instructions Universal Measuring Unit for Heavy Current Variables SINEAX CAM. Suiza.
- [17] Parque Eólico Atacama SpA (2023). MAI-PEAT-010 A3 Rev 5 Unifilar General Maitencillo CL y Atacama-Modelo

[18] Nordex (2023). Aclaraciones de las Características Eléctricas. Cod.: NCL-ATAC-01_NT Rev. 00

[19] Grupo IBEREÓLICA Renovables (2023). Base de datos del Sistema Colector.

1. Anexo A: Pérdidas de Transformador del Aerogenerador

Se adjunta un cuadro resumen de las pérdidas del transformador del aerogenerador, para más detalles revisar archivo 11 del anexo, de la Ref. [11]

Losses			
No-load losses:	2.720 W		
impedance losses:	68.000 W		
Efficiency (PEI):	99,572 %		
Impedance voltage:	9,00 %	Tolerance:	10,0 %
Reference Temp. uk / Pk:	75 °C		
Sound power:	80 dB	Tolerance:	0,0 dB

Tabla 14. Pérdidas de vacío

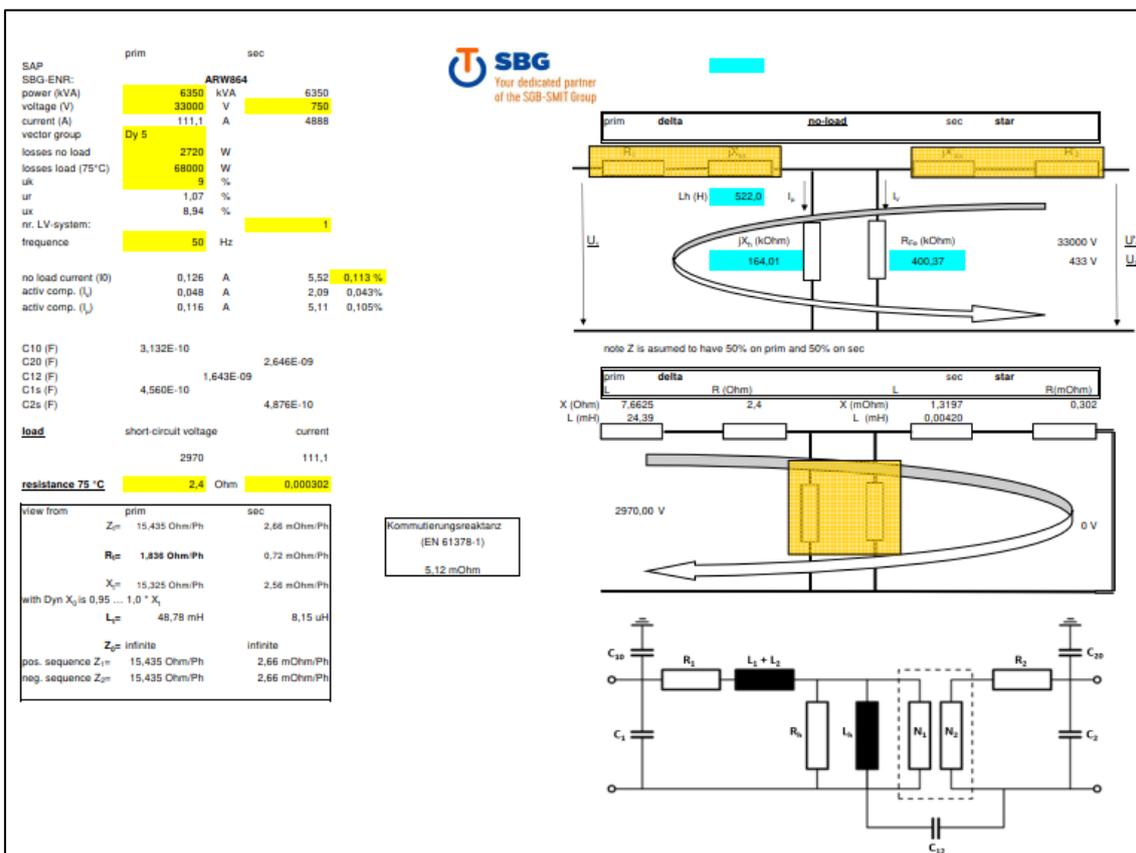


Tabla 15. Pérdidas bajo carga

2. Anexo B: Tabla con el registro de la potencia mínima medida en cada uno de los aerogeneradores que participaron en la prueba

Time UTC-0	db01wea907	db02wea907	db03wea907	db04wea907	db05wea907	db06wea907	db07wea907	db08wea907	db09wea907	db10wea907	db11wea907	db12wea907	
45072,7014	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	762,443	0
45072,7083	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	780,772	0
45072,7153	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	773,631	0
45072,7222	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	756,51	0
45072,7292	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	757,854	0
45072,7361	5774,35	5725,67	5492,11	5163,73	5717,22	5662,08	5660,26	5669,08	5725,08	5762,65	5696,46	5719,37	0
45072,7431	5753,17	5739,44	5707,36	5158,87	5722,24	5720,1	5730,52	5713,82	5739,89	5744,22	5708,19	5656,5	0
45072,75	5760,48	5765,08	5702,52	5167,28	5712,71	5719,36	5735,55	5712,95	5754,59	5745,66	5371,24	5731,75	0
45072,7569	5728,42	5737,16	5283,77	5138,32	5734,55	5703,43	5682,74	5696,59	5717,59	5617,05	4993,38	5256,65	0
45072,7639	5755,24	5769,38	5712,67	5142,13	5697,03	5724,38	5729,49	5717,51	5721,55	5384,03	5702,62	5295,04	0
45072,7708	5751,93	5788,16	5644,69	5140,95	5718,49	5747,35	5678,99	5688,41	5616,55	5212,38	5330,1	5712,01	0
45072,7778	3797,07	3792,78	3797,8	3828,1	3784,4	3792,06	3791,46	3779,27	3775,15	3847,1	3768,36	3846,42	0
45072,7847	3107,38	3085,32	3089,17	3117,59	3121,34	3068,41	3073,31	3099,83	3102,36	3109,06	3078,37	3096,99	0
45072,7917	3209,5	3195,37	3070,43	3218,45	3224,64	3189,65	3197,95	3187,84	3189,78	3229,35	3181,36	3201,95	0
45072,7986	3191,81	3203,24	2827,06	3206,4	3194,66	3179,88	3180,66	3164,81	3175,13	3192,65	3165,6	3199,93	0
45072,8056	3219,78	3210,15	2281,71	3204,15	3183,81	3172,83	3166,46	3175,9	3169,21	3185,14	3172,67	3205,42	0
45072,8125	698,506	681,297	673,729	724,121	764,089	763,764	778,097	793,464	897,513	961,494	1054,42	1009,52	0
45072,8194	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5350,73	0
45072,8264	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5182,72	0
45072,8333	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5134,27	0
45072,8403	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4745,25	0
45072,8472	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
45072,8542	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
45072,8611	5583,78	3687,23	3182,79	1758,98	831,992								
45072,8681	1081,73	1100,03	1077,59	1087,35	1024,26	841,548	794,981	727,238	638,632	0	0	0	0
45072,875	5704,1	5701,94	4359,29	4597,47	4518,64	4312,89	4701,94	4772,55	4960,54	4784,6	5085,39	4361,1	0
45072,8819	5737,76	5644,24	4719,34	4642,99	4953,88	4180,23	4568,75	4921,86	4563,46	4312,21	5004,31	4248,51	0
45072,8889	5751,66	5678,36	4215,55	4679,89	4761,61	4118,1	4652,92	4983,77	5511,46	3969,33	4239,19	4295,23	0
45072,8958	5759,14	5726,2	3984,7	5020,19	4760,89	4115,29	4618,55	5237,31	4691,35	4124,94	4365,63	3952,06	0
45072,9028	5715,18	5694,42	4271,88	4566,91	4806,58	4949,2	5144,95	5401,61	4798,38	3804,58	4466,72	4279,16	0
45072,9097	5735,71	5170,78	4354,7	4520,54	4493,41	4805,62	5311,11	5185,41	4727,53	3751,69	4679,37	4922,15	0
45072,9167	5687,96	5163	3851,75	4336,51	4449,99	4658,79	4940,92	5032,13	4506,67	3428,25	3826,86	4367,49	0
45072,9236	5695,2	4790,2	3724,57	4542,93	4017,1	3950,31	4268,88	4675,42	3540,48	3393,4	3940,55	3931,86	0
45072,9306	5692,67	4908,61	3854,73	4012,78	3823,61	4221,67	4604,64	4976,19	3329,55	3461,54	3832,7	4154,74	0
45072,9375	5699,2	4625,38	3429,25	3529,58	3827,98	5002,14	5387,1	5314,74	4003,96	3590,36	4169,51	4344,34	0
45072,9444	5585,12	4360,95	3657,3	4367,65	4080,69	4859	5306,84	5238,38	3321,1	3635,78	4159,24	3720,09	0
45072,9514	5219,34	4098,93	3945,03	3847,5	4485,42	4692,86	5272,28	5024,23	4253,69	3492,46	3864,5	4184,15	0
45072,9583	4691,77	3441,14	3202,56	3241,09	3373,09	4039,8	4762,73	4455,06	3515	2545,99	3442,2	3633,63	0
45072,9653	5069,66	3293,4	2797,28	2998,82	3026,71	4223,79	4671,42	3706,11	4036,25	2632,52	2892,24	3426,38	0
45072,9722	4832,65	3006,79	3160,83	2805,02	2424,72	3951,22	4113,08	3366,76	3909,41	2593,34	2797,22	2979,27	0
45072,9792	4914,14	2789,27	2258,16	2195,58	1844,71	3736,8	3273,87	2508,28	4122,15	2344,53	2198,79	2486,71	0
45072,9861	4812,93	2351,69	1815,16	2267,84	1746,52	3490,86	2529,69	2338,23	4102,1	2577,96	1886,22	2375,96	0
45072,9931	4277,05	2677,94	2490,77	2909,2	2400,55	2831,03	1910,38	1951,2	3976,91	2700,82	2138,35	2332,72	0

Time UTC-0	db13wea907	db14wea907	db15wea907	db16wea907	db17wea907	db18wea907	db19wea907	db20wea907	db21wea907	db22wea907	db24wea907	db25wea907	db26wea907	db27wea907	db28wea907	db29wea907
45072,7014	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
45072,7083	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
45072,7153	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
45072,7222	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
45072,7292	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
45072,7361	5724,92	5708,12	5724,95	5734,27	5703,07	5303,71	5777,5	5710,18		5733,66	5392,21	5689,69	5653,43	5741,06	5722,31	5713
45072,7431	5723,27	5722,37	5763,56	5781,04	5714,27	5713,47	5782,78	5735,25		5719,84	5635,52	5602,35	5739,27	5745,89	5709,18	5705,52
45072,75	5734,73	5743,98	5739	5728,8	5716,43	5722,67	5781,64	5708,67		5775,55	5667,75	5446,74	5725,66	5760,05	5728,5	5697,71
45072,7569	5723,77	5742,73	5709,52	5727,23	5669,86	5662,2	5776,22	5712,54		5674,28	5379,92	4780,49	5676,11	5712,6	5704,51	5676,94
45072,7639	5713,39	5716,72	5738,81	5710,67	5715,02	5545,4	5778,63	5730,02		5399,18	5697,51	4193,23	5639,17	5722,11	5728,77	5673,64
45072,7708	5697,62	5693,78	5733,17	5636,65	5689,71	5676,28	5756,51	5721,82		5415,89	5518,04	4378,84	5089,2	5527,34	5730,85	5688,26
45072,7778	3809,59	3818,38	3814,29	3790,04	3811,41	3824,46	3839,61	3821,94		3380,67	3809,04	3571,28	3812,75	3773,99	3766,77	3770,27
45072,7847	3084,94	3078,71	3080,65	3076,26	3078,72	3112,68	3144,04	3071,68		3081,77	3072,15	3084,84	3116,74	3097,19	3087,61	3064,3
45072,7917	3191,82	3191,77	3189,64	3222,82	3207,36	3216,52	3249,56	3190,15		3191,58	3237,35	3195,03	3184,99	3180,5	3178,83	3179,75
45072,7986	3180,59	3191,1	3192,25	3182,79	3185,18	3176,85	3234,07	3183,7		3178,11	3181,48	3186,59	3186,37	3184,86	3191,43	3164,21
45072,8056	3166,94	3187,04	3183,19	3164,87	3178,82	3195,41	3229,4	3190,67		3162,96	3186,81	3180,2	3175,4	3173,46	3169,08	3160,42
45072,8125	1049,54	1037,86	1050,97	1049,09	1054,69	1073,28	1105,21	1048,69		1049,79	1034,1	1065,85	1050,23	1047,78	1042,45	1045,12
45072,8194	1035,02	1101,86	1176,62	1214,21	1361,54	1437,63	1595,08	1712,57		1899,6	2214,63	2428,77	3559,46	2797,76	3555,69	4404,44
45072,8264	0	0	0	0	0	0	0	0		0	0	0	0	0	0	0
45072,8333	0	0	0	0	0	0	0	0		0	0	0	0	0	0	0
45072,8403	0	0	0	0	0	0	0	0		0	0	0	0	0	0	0
45072,8472	0	0	0	0	0	0	0	0		0	0	0	0	0	0	0
45072,8542	0	0	0	0	0	0	0	0		0	0	0	0	0	0	0
45072,8611	0	0	0	0	0	0	0	0		0	0	0	0	0	0	0
45072,8681	0	0	0	0	0	0	0	0		0	0	0	0	0	0	0
45072,875	4957,5	4102,76	4070,4	4520,72	4092,32	3805,52	5600,22	5670,69		5034,55	4891,82	4502,04	4094,37	4344,46	4436,17	4368,33
45072,8819	4755,54	3855,1	4053,8	4258,44	4519,53	3506,77	5631,22	5663,9		4732,83	4622,29	3866,19	3974,37	3945,4	4273,96	4207,64
45072,8889	5040,33	3804,69	4153,85	4417,9	4049,17	3543,06	5398,31	5261,26		4193,64	3944,02	3198,04	3769,47	3424,51	3398,35	3211,66
45072,8958	4914,37	4322,79	4626	4717,64	3702,27	3644,61	5190,86	5123,11		3390,85	3859,33	3461,64	3141,01	3282,94	3225,72	2988,14
45072,9028	5327,37	4827,65	4874,54	4966,95	4292,4	4155,45	5447,92	5192,11		4431,71	4233,78	3295,78	3967,46	4073,97	4019,6	3989,21
45072,9097	5405,07	4874,95	5110,43	5319,22	4575,69	4138,06	5165,8	5120,83		4349,6						

3. Anexo C: Consumo de los SSAA.

3.1 Consumo de los SSAA de los Aerogeneradores

Según lo indicado en la Ref. [9] Nordex (2020). Technical description Delta4000 – N163/5.X. Cod.: 2000627EN – Rev.4, se indica que el consumo de los aerogeneradores en todo momento (desde el modo stand by, partida, marcha y detención) son únicamente el de los SSAA. Dicho consumo está considerado ya dentro de la medición de la curva de potencia (neteado), ya que este sistema no es independiente o de un fabricante distinto a Nordex, sino que es interno del aerogenerador, no obstante, según lo indicado por el fabricante la estimación es de 25 [kW] por aerogenerador.

Se adjunta párrafo:

2.5 Auxiliary power of the wind turbine

The auxiliary low voltage required by the wind turbine in stand-by mode and feed-in mode is requested by the following consumers:

- System control including main converter control
- 400 V/230 V auxiliary power of the main converter
- 230 V AC UPS supply including 24 V DC supply
- Yaw system
- Pitch system
- Auxiliary drives such as pumps, fans and lubrication units
- Heating and lighting
- Auxiliary systems such as service lift, obstacle lights

Long-term measurements show that the average annual base load of the low-voltage auxiliary power plant in WT feed-in operation is approx. 15 kW in the average 10 min mean value and the maximum 10 min mean value can reach up to 25 kW/32kVA. These values are already included in the power curves.
For locations with an average annual wind speed of 6.5 m/s approx. 10 MWh auxiliary consumption arise, however, this value is greatly dependent on location.

Auxiliary consumption is defines as the energy consumption of the WT from the grid for a period during which the WT does not supply current to the grid.

Para más detalles, revisar el anexo de la Ref.: [9]

3.2 Consumo de los SSAA de la S/E IberAtacama

Los consumos de los SSAA medidos durante la prueba corresponde a 4,91 [kW] tanto para el ensayo conjunto como el individual.



4. Anexo D: Certificado de Calibración de los Medidores.

Se adjunta el Certificado de Calibración de los Medidores en la Ref.: [15] Camille Bauer. Test Report SINEAX CAM. Suiza. Y el Manual de Uso de estos en la Ref.: [16] Camille Bauer. Operating Instructions Universal Measuring Unit for Heavy Current Variables SINEAX CAM. Suiza.

En la siguiente imagen se muestra la caratula firmada del certificado.



CAMILLE BAUER
Rely on us

Test report SINEAX CAM

Order no.: 4000531 Pos: 010 Item: 1

Order Code : CAM-1121 111E 011
 Display : without
 Application : 4-wire, 3-phase asymmetric load
 Input U : 400.00 V 45..50/60..65 Hz
 Input I : 5.00
 Power supply : 24..60V DC
 Bus : Modbus/TCP MAC-ID 00:12:34:CA:01:96

I/O 1 : ANOUT 20.00 mA
 I/O 2 : ANOUT 20.00 mA
 I/O 3 : ANOUT 20.00 mA
 I/O 4 : ANOUT 20.00 mA

NORDEX FREIGABE

AST 6847

Doc: NAU21-037897-EN

21.11.2011 [Signature]

Datum Prüfer

activated options
- alarm, event, operator list

Identification
 Input : 391249921 V 1.06 V 1.37
 Bus : 900023 V 1.20
 I/O 1 : 388825118 V 1.02
 I/O 2 : 388825091 V 1.02
 I/O 3 : 388825096 V 1.02
 I/O 4 : 388825100 V 1.02
 Display 1 : 0 V 0.00

Teststation : ATE2010B Program : CAM Rprf Version : 1.04

Modbus Test: passed
 RTC Test: passed
 Relais1 Test: passed
 Relais2 Test: passed
 Modbus/TCP Test: passed

Measuring	[V]	[A]	[°]	[Hz]	[Up[V]]	Input	Desired	Actual	Dev[%]	Tolerance
Rng1 F	31.8	0.50	0	55.0	24.0	55.0000Hz	55.0000Hz	55.0020Hz	pass	+0.01Hz
Rng1 U1	31.8	0.50	0	55.0	24.0	31.7500V	31.7500V	31.7539V	0.012	+0.10%
Rng1 U2	31.8	0.50	0	55.0	24.0	31.7500V	31.7500V	31.7461V	-0.012	+0.10%
Rng1 U3	31.8	0.50	0	55.0	24.0	31.7500V	31.7500V	31.7500V	0.000	+0.10%
Rng1 I1	31.8	0.50	0	55.0	24.0	0.5000A	0.5000A	0.5000A	0.000	+0.15%
Rng1 I2	31.8	0.50	0	55.0	24.0	0.5000A	0.5000A	0.5000A	0.000	+0.15%
Rng1 I3	31.8	0.50	0	55.0	24.0	0.5000A	0.5000A	0.5001A	0.012	+0.15%
Rng1 IN	31.8	0.50	0	55.0	24.0	0.5000A	0.5000A	0.5000A	0.000	+0.15%
Rng1 QF	31.8	0.50	0	55.0	24.0	0.0000	0.0000	0.0000	0.000	+0.40%
Rng1 QF1	31.8	0.50	0	55.0	24.0	0.0000	0.0000	0.0000	-0.0001	+0.40%
Rng1 QF2	31.8	0.50	0	55.0	24.0	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	+0.40%
Rng1 QF3	31.8	0.50	0	55.0	24.0	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	+0.40%
Rng1 U12	31.8	0.50	0	55.0	24.0	54.9926V	54.9926V	54.9859V	-0.012	+0.10%
Rng1 U23	31.8	0.50	0	55.0	24.0	54.9926V	54.9926V	54.9859V	-0.012	+0.10%
Rng1 U31	31.8	0.50	0	55.0	24.0	54.9926V	54.9926V	54.9939V	0.012	+0.10%
Rng1 U1	63.5	1.00	0	55.0	24.0	63.5000V	63.5000V	63.5039V	0.006	+0.10%
Rng1 U2	63.5	1.00	0	55.0	24.0	63.5000V	63.5000V	63.5039V	0.006	+0.10%
Rng1 U3	63.5	1.00	0	55.0	24.0	63.5000V	63.5000V	63.5116V	0.018	+0.10%
Rng1 I1	63.5	1.00	0	55.0	24.0	1.0000A	1.0000A	1.0000A	0.000	+0.10%
Rng1 I2	63.5	1.00	0	55.0	24.0	1.0000A	1.0000A	1.0001A	0.012	+0.10%
Rng1 I3	63.5	1.00	0	55.0	24.0	1.0000A	1.0000A	1.0001A	0.006	+0.10%
Rng1 IN	63.5	1.00	0	55.0	24.0	1.0000A	1.0000A	0.9999A	-0.006	+0.10%
Rng1 F	63.5	1.00	0	55.0	24.0	190.5000W	190.5000W	190.5233W	0.012	+0.20%
Rng1 P1	63.5	1.00	0	55.0	24.0	63.5000W	63.5000W	63.5039W	0.006	+0.20%
Rng1 P2	63.5	1.00	0	55.0	24.0	63.5000W	63.5000W	63.5116W	0.018	+0.20%
Rng1 P3	63.5	1.00	0	55.0	24.0	63.5000W	63.5000W	63.5116W	0.018	+0.20%
Rng1 Q	63.5	1.00	0	55.0	24.0	0.0000var	0.0000var	0.0116var	0.006	+0.40%
Rng1 Q1	63.5	1.00	0	55.0	24.0	0.0000var	0.0000var	0.0078var	0.012	+0.40%
Rng1 Q2	63.5	1.00	0	55.0	24.0	0.0000var	0.0000var	0.0078var	0.012	+0.40%
Rng1 Q3	63.5	1.00	0	55.0	24.0	0.0000var	0.0000var	0.0000var	0.000	+0.40%
Rng1 S	63.5	1.00	0	55.0	24.0	190.5000W	190.5000W	190.5349W	0.018	+0.20%
Rng1 S1	63.5	1.00	0	55.0	24.0	63.5000W	63.5000W	63.5039W	0.006	+0.20%
Rng1 S2	63.5	1.00	0	55.0	24.0	63.5000W	63.5000W	63.5116W	0.018	+0.20%
Rng1 S3	63.5	1.00	0	55.0	24.0	63.5000W	63.5000W	63.5116W	0.018	+0.20%

L10116 Rev AD File: 40100018101010
 Allgemeine 7 Rev: 11/2010 01/10/11
 CE 116/01/01 www.mel.com
 Indico-Code info@mel.com

Traceability to the national standard for all test instruments used for the calibration is guaranteed.

Page 1/8

5. Anexo D: Mínimo Técnico de Potencia Activa

Se adjunta sección de la Ref.: [18]

NCL-ATAC-01_NT Rev. 00 2023-06-13	Aclaraciones de las Características Eléctricas	
---	--	---

Nivel Mínimo Técnico de Potencia Activa
Nordex N163/5.X TS105-01

Respecto al nivel de mínimo técnico de potencia activa del parque, Nordex señala que éste corresponde al 10% de la capacidad nominal del mismo. Esto guarda relación con dos aspectos:

- El mínimo técnico de cada aerogenerador individual es el 10% de su capacidad nominal, lo que se define en base a sus límites de diseño.
- Si bien el controlador del parque puede admitir una consigna inferior a este nivel, para lograr dicho nivel se requerirá detener unidades. En la práctica, esto implica que los aerogeneradores entren en un ciclo iterativo de arranque y detención, ya que el controlador priorizará la operación de las unidades con mejor recurso, lo que va variando en función de la naturaleza aleatoria del viento. Dicho proceso iterativo implica una carga adicional innecesaria sobre los aerogeneradores, por lo que se le da prioridad a su integridad estructural, a fin de asegurar el cumplimiento de la vida útil de estos.

6. Anexo E: Modelación en DIgSilent

Se adjunta base de datos en la Ref. [19]

6.2 Modelamiento del Transformador de Poder

A continuación, se muestra la modelación del transformador del PE Atacama en el programa PowerFactory.

The screenshot displays the configuration for a transformer model in PowerFactory. The main configuration area includes:

- Name:** Trf 171/85.5/85.5 MVA 220/33 kV
- Technology:** Three Phase Transformer
- Rated Power:** HV-Side: 171.0 MVA, MV-Side: 85.5 MVA, LV-Side: 85.5 MVA
- Rated Voltage:** HV-Side: 220.0 kV, MV-Side: 33.0 kV, LV-Side: 33.0 kV
- Vector Group:** HV-Side: YN, MV-Side: D, LV-Side: D; Phase Shift: 0.0, 11.0, 11.0 *30deg
- Tap HV-Side:** Add. Voltage per Tap: 1.25%, Phase of du: 0.0 deg, Neutral Position: 0, Min. Position: -10, Max. Position: 10
- Magnetising Impedance:** Position: Star Point, No Load Current: 0.06%, No Load Losses: 50.7 kW
- Tap MV-Side:** Add. Voltage per Tap: 0.0%, Phase of du: 0.0 deg, Neutral Position: 0, Min. Position: 0, Max. Position: 0
- Tap LV-Side:** Add. Voltage per Tap: 0.0%, Phase of du: 0.0 deg, Neutral Position: 0, Min. Position: 0, Max. Position: 0
- Positive Sequence Impedance:** Short-Circuit Voltage uk: HV-MV: 17.47%, MV-LV: 33.165%, LV-HV: 17.575%; Copper Losses: HV-MV: 353.4 kW, MV-LV: 627.8 kW, LV-HV: 357.4 kW
- Zero Sequence Impedance:** Short-Circuit Voltage uk0: HV-MV: 17.227%, MV-LV: 32.704%, LV-HV: 17.331%; SHC-Voltage, Real Part: HV-MV: 0.0%, MV-LV: 0.0%, LV-HV: 0.0%
- Tap Modelled at:** Star Point

Hint: The short-circuit voltages refer to the corresponding min. rated Powers e.g. uk(HV-MV) is referred to the minimum of Sr(HV) and Sr(MV)

Figura 6.A. Modelación de transformador elevador en PowerFactory.

6.3 Modelamiento del Aerogenerador

En función de la información que se indica en la Sección 2. Se modela el aerogenerador N163-5,7MW-TS105 en PowerFactory.

Ratings	
Nominal Apparent Power	5,7 MVA
Power Factor	1,

Fault Contribution	
Subtransient Short-Circuit Level	24,808 MVA
Transient Short-Circuit Level	0, MVA
Steady-State Short-Circuit Level	0, MVA
R to X" ratio	0,1

Time Constants	
Td''	0,03 s
Td'	1,2 s

Figura 6.B. Modelación Unidad Generadora.



Figura 6.C. Modelación Curva PQ

6.4 Modelación Transformadores de Bloque 33/0,75 kV

El PE Atacama se modela con 29 transformadores de bloque. Los parámetros utilizados para modelar dichos transformadores se indican en la siguiente tabla, conforme a lo detallado en la Sección 2.

A continuación, se muestra la modelación de los transformadores de bloque del PE Atacama en el programa PowerFactory.

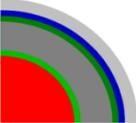
Name	6.35MVA_30kV_SpecTrafo	
Technology	Three Phase Transformer	
Rated Power	6.35	MVA
Nominal Frequency	50	Hz
Rated Voltage		
HV-Side	33	kV
LV-Side	0.75	kV
Vector Group		
HV-Side	D	
LV-Side	Y	
Phase Shift	5	*30deg
Name	Dy5	
Positive Sequence Impedance		
Short-Circuit Voltage uk	9	%
Copper Losses	68	kW
Zero Sequence Impedance		
Short-Circuit Voltage uk0	9	%
SHC-Voltage (Re(uk0)) uk0r	0	%

Figura 6.D. Modelación Transformador de Bloque

6.4.1 Modelación Cables y Conductores de MT del PE Atacama

Según lo que se indica en la sección 2, se muestra la modelación de los cables de MT del PE Atacama en el programa PowerFactory:

Name: AL-HEPRZ1 630 mm²
Rated Voltage: 35.0 kV
Core: Compact
Shape: Compact
Outer Diameter: 29.8 mm
Frequency Characteristic (Ohm/km): [v] [a]



Conducting Layers:

Exists	Material	Resistivity (uOhm*cm)	Relative Perm...	Thickness mm	Filling Factor %	DC-Resista... Ohm/km
<input checked="" type="checkbox"/>	Aluminium	2.8264	1.	14.9	86.4049	0.0469
<input checked="" type="checkbox"/>	Copper	1.7241	1.	0.1	100.	1.207465
<input type="checkbox"/>	Unknown	2.84	1.	1.	100.	0.

Insulation Layers:

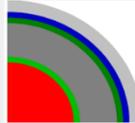
Exists	Material	Dielectric Los...	Relative Perm...	Thickness mm	
<input checked="" type="checkbox"/>	EPR (> 18/30[...)		0.	3.	6.425
<input checked="" type="checkbox"/>	PE (HD/LD)		0.	2.3	2.575
<input type="checkbox"/>	Unknown	0.02	3.	1.	

Semiconducting Layers:

Exists	Thickness mm	Advanced	Resistivity uOhm*cm	Relative Permeab...	Relative Permittiv...
<input checked="" type="checkbox"/>	0.675	<input checked="" type="checkbox"/>	1000000	1.	3.
<input checked="" type="checkbox"/>	0.675	<input checked="" type="checkbox"/>	1000000	1.	3.

Advanced definition of semi-conducting layers
Overall Cable Diameter: 50.7 mm

Name: AL-HEPRZ1 400 mm²
Rated Voltage: 35.0 kV
Core: Compact
Shape: Compact
Outer Diameter: 23.4 mm
Frequency Characteristic (Ohm/km): [v] [a]



Conducting Layers:

Exists	Material	Resistivity (uOhm*cm)	Relative Perm...	Thickness mm	Filling Factor %	DC-Resista... Ohm/km
<input checked="" type="checkbox"/>	Aluminium	2.8264	1.	11.7	84.47582	0.0778
<input checked="" type="checkbox"/>	Copper	1.7241	1.	0.1	100.	1.394648
<input type="checkbox"/>	Unknown	2.84	1.	1.	100.	0.

Insulation Layers:

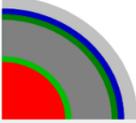
Exists	Material	Dielectric Los...	Relative Perm...	Thickness mm	
<input checked="" type="checkbox"/>	EPR (> 18/30[...)		0.	3.	6.575
<input checked="" type="checkbox"/>	PE (HD/LD)		0.	2.3	2.325
<input type="checkbox"/>	Unknown	0.02	3.	1.	

Semiconducting Layers:

Exists	Thickness mm	Advanced	Resistivity uOhm*cm	Relative Permeab...	Relative Permittiv...
<input checked="" type="checkbox"/>	0.675	<input checked="" type="checkbox"/>	1000000	1.	3.
<input checked="" type="checkbox"/>	0.675	<input checked="" type="checkbox"/>	1000000	1.	3.

Advanced definition of semi-conducting layers
Overall Cable Diameter: 44.1 mm

Name: AL-HEPRZ1 300 mm²
Rated Voltage: 35.0 kV
Core: Compact
Shape: Compact
Outer Diameter: 20.6 mm
Frequency Characteristic (Ohm/km): [v] [a]



Conducting Layers:

Exists	Material	Resistivity (uOhm*cm)	Relative Perm...	Thickness mm	Filling Factor %	DC-Resista... Ohm/km
<input checked="" type="checkbox"/>	Aluminium	2.8264	1.	10.3	84.80262	0.1
<input checked="" type="checkbox"/>	Copper	1.7241	1.	0.1	100.	1.5015
<input type="checkbox"/>	Unknown	2.84	1.	1.	100.	0.

Insulation Layers:

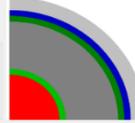
Exists	Material	Dielectric Los...	Relative Perm...	Thickness mm	
<input checked="" type="checkbox"/>	EPR (> 18/30[...)		0.	3.	6.575
<input checked="" type="checkbox"/>	PE (HD/LD)		0.	2.3	2.225
<input type="checkbox"/>	Unknown	0.02	3.	1.	

Semiconducting Layers:

Exists	Thickness mm	Advanced	Resistivity uOhm*cm	Relative Permeab...	Relative Permittiv...
<input checked="" type="checkbox"/>	0.675	<input checked="" type="checkbox"/>	1000000	1.	3.
<input checked="" type="checkbox"/>	0.675	<input checked="" type="checkbox"/>	1000000	1.	3.

Advanced definition of semi-conducting layers
Overall Cable Diameter: 41.1 mm

Name: AL-HEPRZ1 150 mm²
Rated Voltage: 35.0 kV
Core: Compact
Shape: Compact
Outer Diameter: 13.9 mm
Frequency Characteristic (Ohm/km): [v] [a]



Conducting Layers:

Exists	Material	Resistivity (uOhm*cm)	Relative Perm...	Thickness mm	Filling Factor %	DC-Resista... Ohm/km
<input checked="" type="checkbox"/>	Aluminium	2.8264	1.	6.95	90.41634	0.206
<input checked="" type="checkbox"/>	Copper	1.7241	1.	0.1	100.	1.750547
<input type="checkbox"/>	Unknown	2.84	1.	1.	100.	0.

Insulation Layers:

Exists	Material	Dielectric Los...	Relative Perm...	Thickness mm	
<input checked="" type="checkbox"/>	EPR (> 18/30[...)		0.	3.	7.325
<input checked="" type="checkbox"/>	PE (HD/LD)		0.	2.3	2.025
<input type="checkbox"/>	Unknown	0.02	3.	1.	

Semiconducting Layers:

Exists	Thickness mm	Advanced	Resistivity uOhm*cm	Relative Permeab...	Relative Permittiv...
<input checked="" type="checkbox"/>	0.675	<input checked="" type="checkbox"/>	1000000	1.	3.
<input checked="" type="checkbox"/>	0.675	<input checked="" type="checkbox"/>	1000000	1.	3.

Advanced definition of semi-conducting layers
Overall Cable Diameter: 35.5 mm

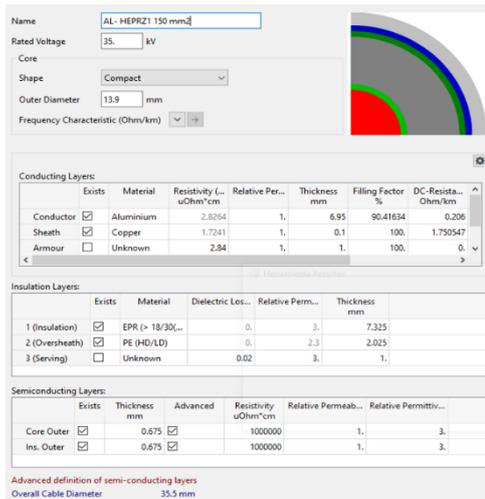


Figura 6.D. Modelado del cable 150 mm², 300 mm²,400 mm², 500 mm² y 630 mm².

Los tramos del sistema de cables se muestran en la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia..** Cada circuito representa un subgrupo de cables trifásicos, teniéndose disposiciones solo de circuitos simples.

DIAGRAMA	TRAMO	X1 [m]	X2 [m]	X3 [m]	Y1 [m]	Y2 [m]	Y3 [m]
	Circuito 3x1x150 [mm ²]	-0,003	0,003	0	1,1	1,1	1,05
	Circuito 3x1x300 [mm ²]	-0,003	0,003	0	1,1	1,1	1,05
	Circuito 3x1x400 [mm ²]	-0,003	0,003	0	1,1	1,1	1,05
	Circuito 3x1x500 [mm ²]	-0,003	0,003	0	1,1	1,1	1,05

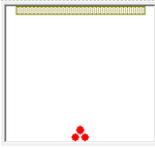
	Circuito	-0,003	0,003	0	1,1	1,1	1,05
	3x1x630 [mm2]						

Tabla 6.A. Disposición de los tramos con cables enterrados del PE Atacama.

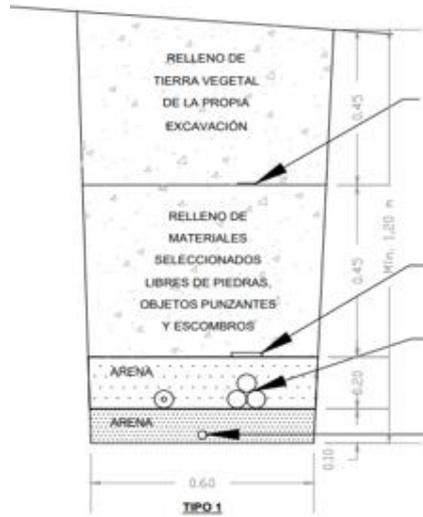


Figura 6.E. Zanja para los conductores de MT

6.4.2 Modelación Transformador SSAA

Los parámetros utilizados para modelar dicho transformador se indican en la siguiente figura:

Name	Trafo SSAA	
Technology	Three Phase Transformer	
Rated Power	0.25	MVA
Nominal Frequency	50.	Hz
Rated Voltage		
HV-Side	33.	kV
LV-Side	0.42	kV
Vector Group		
HV-Side	D	
LV-Side	YN	
Phase Shift		
	11.	*30deg
Name		
	Dyn11	
Positive Sequence Impedance		
Short-Circuit Voltage uk	4.66	%
Copper Losses	3.409	kW
Zero Sequence Impedance		
Short-Circuit Voltage uk0	3.961	%
SHC-Voltage (Re(uk0)) uk0r	0.	%

Figura 6.F. Zanja para los conductores de MT

Con lo cual, se calcula lo siguiente para cada aerogenerador:

Name	Losses (total)
	MW
Trf WT(29)	0,0046
Trf WT(30)	0,0046
Trf WT(31)	0,0046
Trf WT(32)	0,0046
Trf WT(33)	0,0046
Trf WT(34)	0,0046
Trf WT(35)	0,0046
Trf WT(36)	0,0046
Trf WT(37)	0,0046
Trf WT(38)	0,0046
Trf WT(39)	0,0046
Trf WT(40)	0,0046
Trf WT(41)	0,0046
Trf WT(42)	0,0046
Trf WT(43)	0,0046
Trf WT(44)	0,0046
Trf WT(45)	0,0046
Trf WT(46)	0,0046
Trf WT(47)	0,0046
Trf WT(48)	0,0046
Trf WT(49)	0,0046
Trf WT(50)	0,0046
Trf WT(51)	0,0046
Trf WT(52)	0,0046
Trf WT(53)	0,0046
Trf WT(54)	0,0046
Trf WT(55)	0,0046
Trf WT(56)	0,0046
Trf WT(57)	0,0046
TOTAL	0,1334

Ilustración 2. Cálculo de las Perdidas de los Transformadores de Bloque