

Toda copia impresa o informática de este documento, no residente en la Intranet de la empresa, es considerada No Controlada (Excepto aquellas copias que explícitamente tengan el sello "Copia Controlada" en el mismo)

INFORME MÍNIMO TÉCNICO CENTRAL EÓLICA SAN GABRIEL

	Prepara	Revisa	Aprueba
Nombre:	Adrián Alarcon B.	Victor Navarrete A.	Victor Navarrete A.
Fecha:	07-06-2020	12-06-2020	12-06-2020
Firma:			

Registros de Cambios

Rev.	Fecha	Descripción
1	23-09-2019	Primera versión del documento sin revisiones
2	27-10-2019	Segunda versión incluye parámetros de programación SGCS
3	09-01-2020	Tercera versión incluyendo la respuesta a las observaciones del coordinador
4	19-02-2020	Cuarta versión se incluyen medidas de campo
5	25-02-2020	Quinta versión se incluyen respuestas a las observaciones del coordinador
6	07-06-2020	Sexta versión se incluyen respuestas a las observaciones del coordinador

Toda copia impresa o informática de este documento, no residente en la Intranet de la empresa, es considerada No Controlada (Excepto aquellas copias que explícitamente tengan el sello "Copia Controlada" en el mismo)

ÍNDICE

1. OBJETIVO	3
2. ALCANCE	3
3. DISEÑO E INFORMACIÓN TÉCNICA DEL PARQUE EÓLICO SAN GABRIEL.....	3
3.1. DIAGRAMA UNILINEAL DE LA SUBESTACIÓN Y PARQUE EÓLICO SAN GABRIEL.....	3
3.2. DIAGRAMA UNILINEAL DE LA SUBESTACIÓN Y PARQUE EÓLICO SAN GABRIEL.....	4
4. AEROGENERADOR.....	5
4.1. ESPECIFICACIONES DE LAS TURBINAS	5
4.2. LÍMITE DE OPERACIÓN EN RÉGIMEN PERMANENTE	7
4.3. LÍMITE DE OPERACIÓN EN RÉGIMEN TRANSITORIO: PERTURBACIONES TRANSITORIAS DE TENSIÓN	7
4.4. LÍMITE DE OPERACIÓN EN RÉGIMEN TRANSITORIO: INYECCIÓN DE POTENCIA ACTIVA Y REACTIVA EN TRANSITORIOS DE TENSIÓN	8
4.5. LÍMITE DE OPERACIÓN EN RÉGIMEN TRANSITORIO: INYECCIÓN DE POTENCIA ACTIVA Y REACTIVA EN TRANSITORIOS DE TENSIÓN	8
4.6. MODO DE CONTROL DE POTENCIA REACTIVA.....	9
4.7. MODO DE CONTROL DE POTENCIA ACTIVA Y POTENCIA/FRECUENCIA.....	9
5. DETERMINACIÓN DEL MÍNIMO TÉCNICO DEL PARQUE EÓLICO SAN GABRIEL	9
5.1. MÍNIMO TÉCNICO A NIVEL DE AEROGENERADOR	9
5.2. MÍNIMO TÉCNICO A NIVEL DE PARQUE (BRUTO)	12
5.3. MEDICIONES DE CAMPO PARA DETERMINAR EL MÍNIMO TÉCNICO	13
5.4. CÁLCULO DE PERDIDAS ASOCIADAS A LOS SERVICIOS AUXILIARES DEL PARQUE EÓLICO SAN GABRIEL	15
5.5. CONSUMOS DE SERVICIOS AUXILIARES EN LOS AEROGENERADORES DEL PARQUE EÓLICO SAN GABRIEL.....	16
5.6. CÁLCULO DE PERDIDAS ASOCIADA A LA RED DE MEDIA TENSIÓN (33 kV)	16
5.7. CÁLCULO DE PERDIDAS ASOCIADAS AL TRANSFORMADOR ELEVADOR 220/33 kV	18
5.8. MÍNIMO TÉCNICO A NIVEL DE PARQUE (NETO) EN LA BARRA DE 220 kV SAN GABRIEL	19
6. CONCLUSIONES	20
7. REFERENCIAS.....	20

Toda copia impresa o informática de este documento, no residente en la Intranet de la empresa, es considerada No Controlada (Excepto aquellas copias que explícitamente tengan el sello "Copia Controlada" en el mismo)

1. Objetivo

El presente documento tiene como propósito determinar el mínimo técnico de operación del parque eólico San Gabriel y proporcionar la información técnica de los aerogeneradores modelo AW3000, de potencia nominal 3 MW, fabricadas por Acciona WindPower, que componen al parque eólico San Gabriel, con el objeto de justificar los valores obtenidos, los cuales son requeridos de acuerdo a los anexos técnicos y norma técnica vigente a la fecha de entrada en servicio del proyecto.

Además, presenta los resultados de una prueba en campo en la cual, mediante una orden forzada, se logró detener la generación del parque eólico San Gabriel, sin desconectar o dejar de sincronizar sus aerogeneradores. Esta es una prueba en donde se forzó una condición que en la práctica no se alcanza dado que el control centralizado del parque implementa otra estrategia.

2. Alcance

La información y documentos proporcionada se encuentra asociada únicamente al parque eólico San Gabriel y al aerogenerador modelo AW3000 fabricado por Acciona WindPower de acuerdo a los requerimientos del anexo técnico: "Determinación de Mínimos Técnicos en Unidades Generadoras", documento que requiere la siguiente información:

- Antecedentes técnicos de diseño.
- Recomendaciones del fabricante y antecedentes nacionales o internacionales de unidades similares características.
- Antecedentes de operación de la unidad generadora, incluyendo los registros y descripción de los análisis.
- 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.
- Antecedentes técnicos que respalden y expliquen el comportamiento esperado.

3. Diseño e Información Técnica del Parque Eólico San Gabriel

3.1. Diagrama Unilineal de la Subestación y Parque Eólico San Gabriel

A continuación, se muestra el diagrama unilineal de la subestación y parque eólico San Gabriel:

Toda copia impresa o informática de este documento, no residente en la Intranet de la empresa, es considerada No Controlada (Excepto aquellas copias que explícitamente tengan el sello "Copia Controlada" en el mismo)

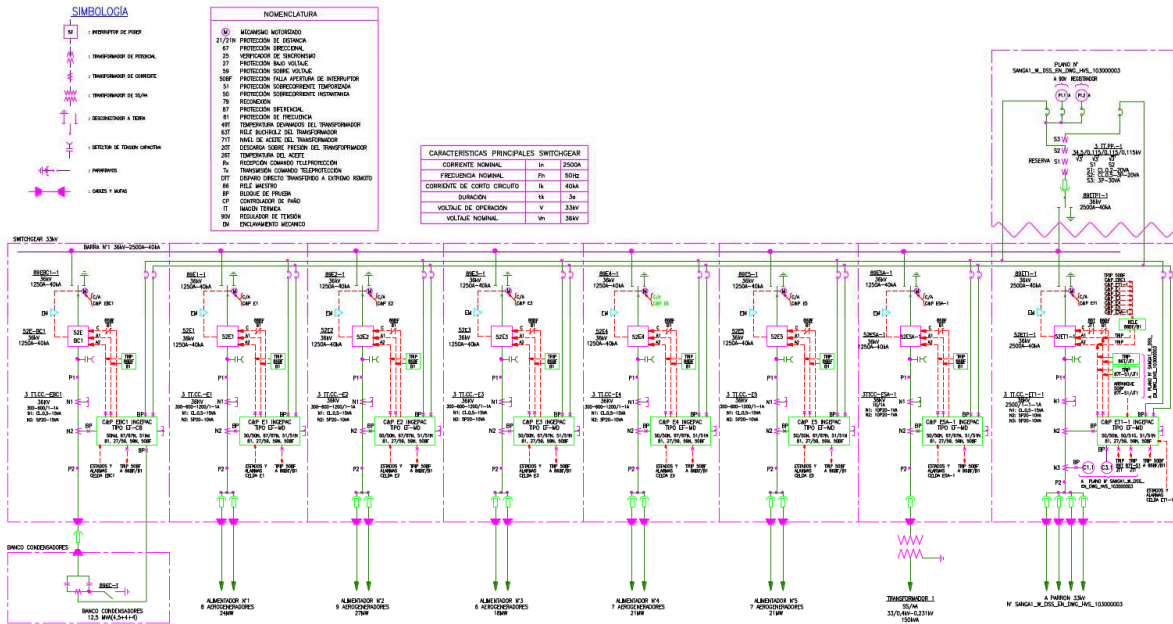


Figura N° 1: Diagrama unilineal parque eólico San Gabriel, lamina 1.

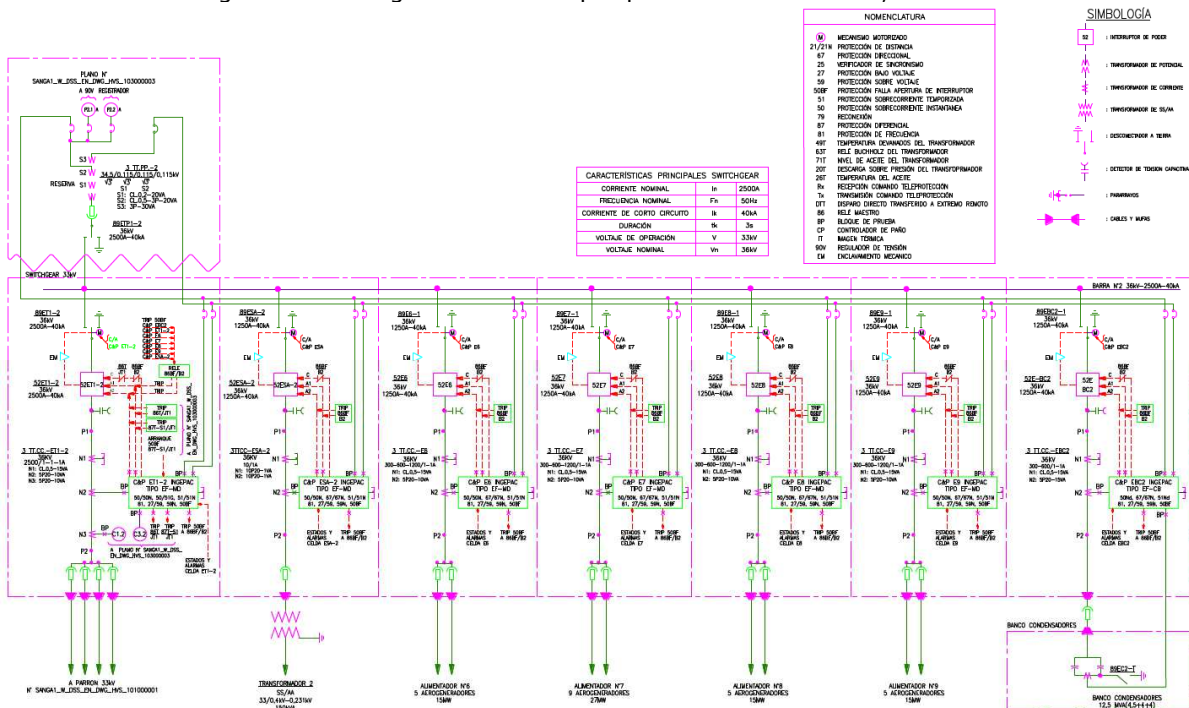


Figura N° 2: Diagrama unilineal parque eólico San Gabriel, lamina 2.

3.2. Diagrama Unilineal de la Subestación y Parque Eólico San Gabriel

El parque eólico San Gabriel está compuesto por 61 aerogeneradores modelo AW3000, con una potencia 3 MW, fabricadas por Acciona WindPower, dado lo anterior la potencia instalada total haciendo a 183 MW. Los aerogeneradores se conectan a una red de 33 kV, mediante 9 circuitos, los cuales se

Toda copia impresa o informática de este documento, no residente en la Intranet de la empresa, es considerada No Controlada (Excepto aquellas copias que explícitamente tengan el sello "Copia Controlada" en el mismo)

unen en una barra colectora y está a su vez se conecta a un transformador elevador de 220/33 kV. La barra de 220 kV de S/E San Gabriel se conecta al sistema a través de 2 tramos de línea aérea de 220 kV (27 km aproximadamente) y un cable subterráneo (170 mts) que conecta con el patio de mufas de la S/E Mulchén 220 kV.

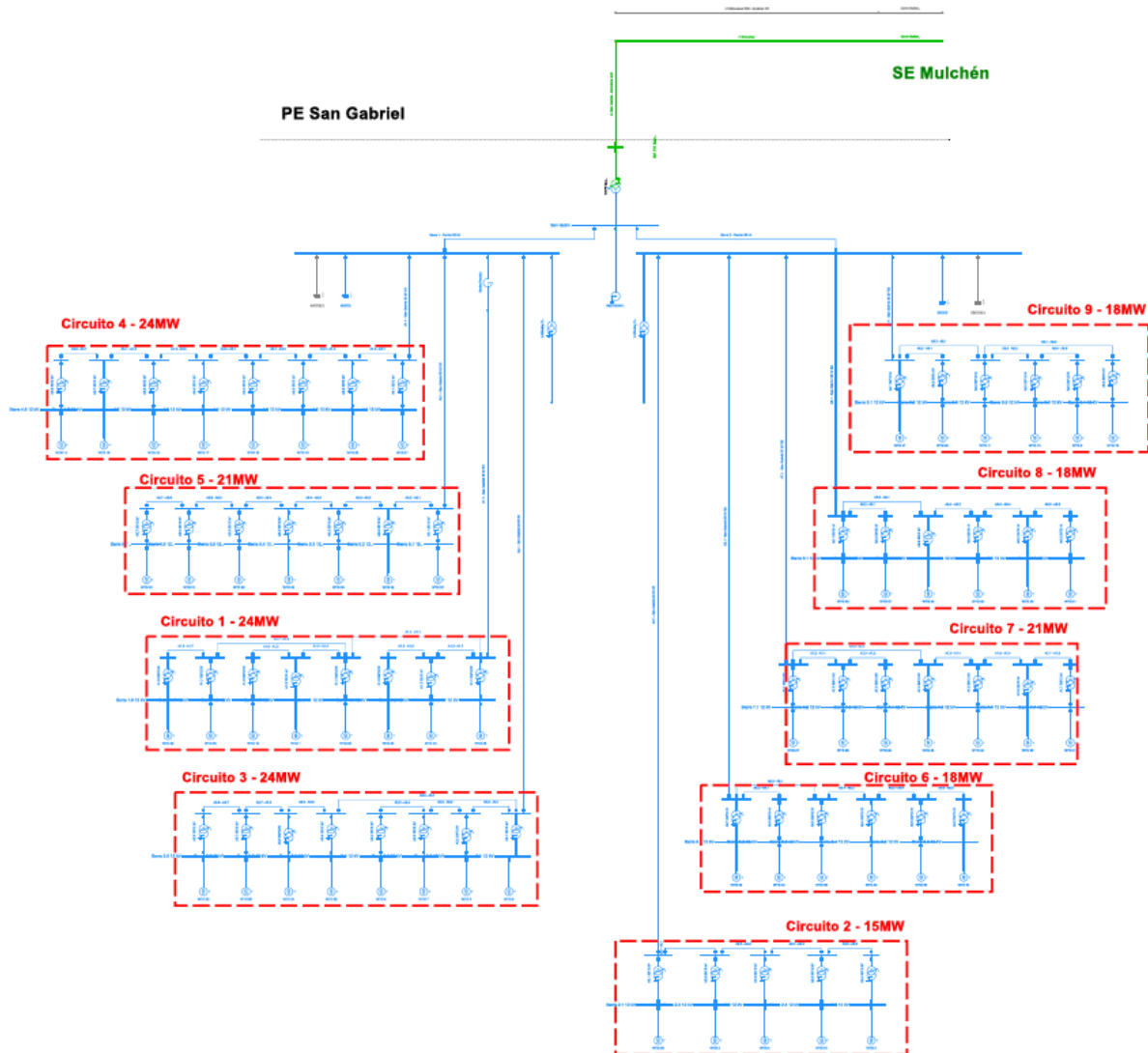


Figura Nº 3: Diagrama unilineal red de 33 kV parque eólico San Gabriel.

4. Aerogenerador

4.1. Especificaciones de las Turbinas

Las turbinas instaladas en el proyecto son fabricadas por Acciona WindPower y corresponden al modelo AW3000, de potencia nominal 3 MW. La turbina eólica utiliza la máquina de inducción doblemente alimentada controlada electrónicamente por las corrientes de alimentación del rotor. La tensión nominal de estator es 12 kV (línea) y la potencia de generación (activa y reactiva) se controla por medio de las corrientes de rotor.

Toda copia impresa o informática de este documento, no residente en la Intranet de la empresa, es considerada No Controlada (Excepto aquellas copias que explícitamente tengan el sello "Copia Controlada" en el mismo)

Las corrientes que alimentan al rotor son producidas mediante un convertidor electrónico de conmutación forzada formado por interruptores de potencia de tipo IGBT. El equipo de potencia se alimenta a 690 V y los servicios auxiliares a 400V utilizando un transformador 12kV/690V/400V.

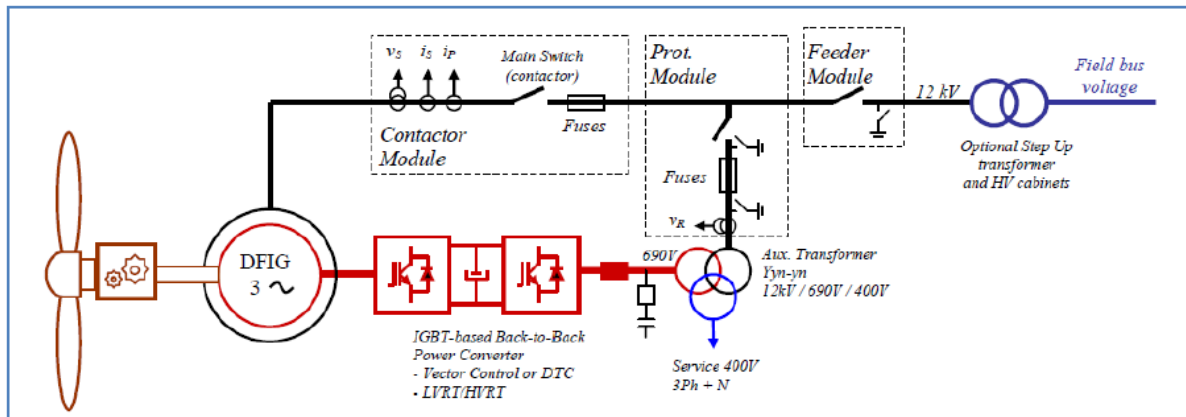


Figura N° 4: Diagrama componentes del aerogenerador modelo AW3000 fabricado por Acciona WindPower.

Característica / Feature	Nominal / Rated
Tensión de línea / Line Voltage	12000 VAC
Frecuencia de red / Grid Frequency	50/60 Hz
Potencia activa / Active Power ⁽¹⁾	3000 kW
Potencia Reactiva / Reactive power ⁽¹⁾⁽²⁾⁽³⁾	1200 kVAr

Figura N° 5: Principales características del aerogenerador modelo AW3000 fabricado por Acciona WindPower.

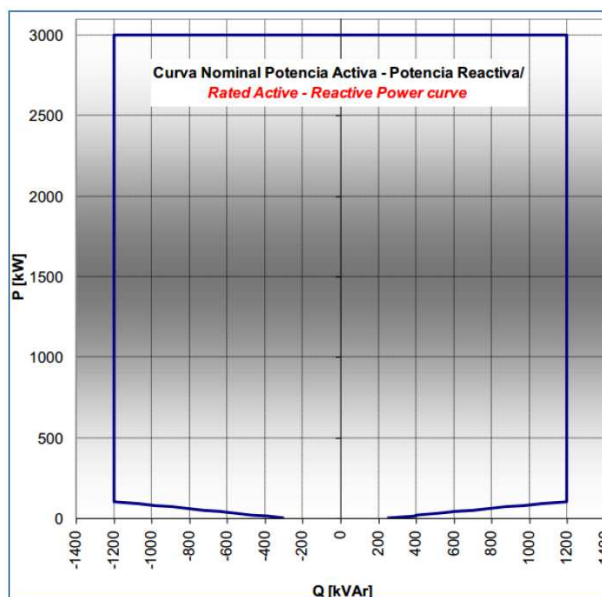


Figura N° 6: Curva nominal de potencia activa y potencia reactiva del aerogenerador modelo AW3000 fabricado por Acciona WindPower.

Toda copia impresa o informática de este documento, no residente en la Intranet de la empresa, es considerada No Controlada (Excepto aquellas copias que explícitamente tengan el sello "Copia Controlada" en el mismo)

4.2. Límite de Operación en Régimen Permanente

El aerogenerador AW3000 puede operar fuera de los márgenes nominales definidos en el apartado 4.1 (figura N° 6), en la siguiente tabla se muestran los valores máximos y mínimos de tensión y frecuencia en los que la turbina puede operar de manera permanente.

	Valor / Value
Máxima tensión de línea / <i>Line maximum voltage</i>	Un+10% (13200V)
Mínima tensión de línea / <i>Line minimum voltage</i>	Un - 10% (10800V)
Frecuencia máxima de red / <i>Maximum grid frequency</i>	
- Versión 50 Hz / <i>50 Hz version</i>	53
- Versión 60 Hz / <i>60 Hz version</i>	63
Frecuencia mínima de red / <i>Minimum grid frequency</i>	
- Versión 50 Hz / <i>50 Hz version</i>	47
- Versión 60 Hz / <i>60 Hz version</i>	57

Figura N° 7: Tabla con límites de operación en régimen permanente del aerogenerador modelo AW3000 fabricado por Acciona WindPower.

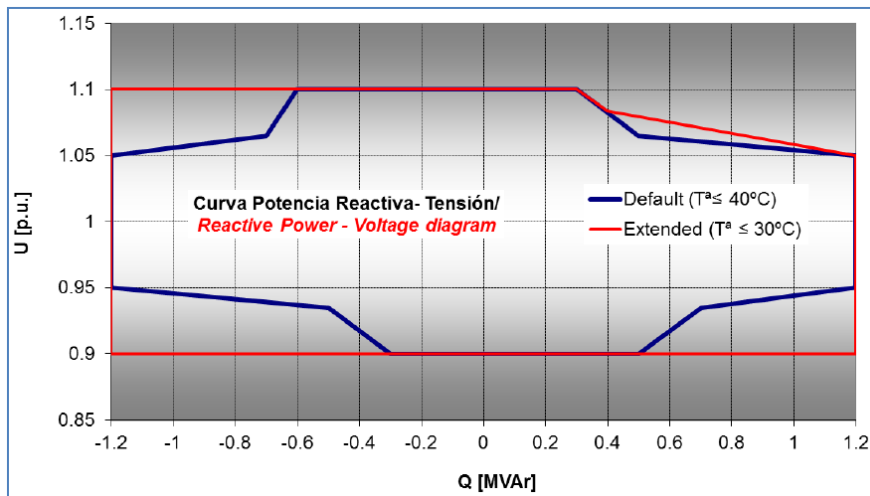


Figura N° 8: Curva nominal de tensión y potencia reactiva del aerogenerador modelo AW3000 fabricado por Acciona WindPower.

La figura 8 muestra el rango de potencia reactiva disponible en función de la tensión local y a potencia nominal. Por debajo del 95% de la tensión nominal o por encima del 105% existe una reducción de capacidades no lineales. Esta capacidad fuera del rango $U_n \pm 5\%$ puede extenderse en el caso de temperatura ambiente exterior igual o inferior a 30°C.

4.3. Límite de Operación en Régimen Transitorio: Perturbaciones Transitorias de Tensión

La turbina AW3000 incluye de manera estándar diversos dispositivos específicos para poder soportar huecos de tensión o sobretensiones de la red eléctrica. Opcionalmente, se pueden añadir componentes hardware específicos que permiten extender la capacidad del aerogenerador para superar perturbaciones de tensión. El sistema está diseñado para adaptarse y poder cumplir con los requerimientos de la normativa vigente. La opción de capacidad extendida es dependiente de la configuración de la red del parque y por lo tanto solo está disponible tras un análisis caso a caso mediante estudios de simulación.

Toda copia impresa o informática de este documento, no residente en la Intranet de la empresa, es considerada No Controlada (Excepto aquellas copias que explícitamente tengan el sello "Copia Controlada" en el mismo)

Después de la falta, el control establece operación normal en unos pocos segundos después de haber estado ayudando a equilibrar la tensión.

La turbina AW3000 está diseñada para poder trabajar en condiciones estacionarias con una sobretensión del 10% respecto a la nominal. Por encima de este límite, el valor de sobretensión admitido depende de la duración del mismo

La figura 9 indica la región de tensión-tiempo máxima donde puede trabajar la turbina, tanto para la versión estándar como para la opción de capacidad extendida. Fuera de estos límites la turbina se desconectará de la red.

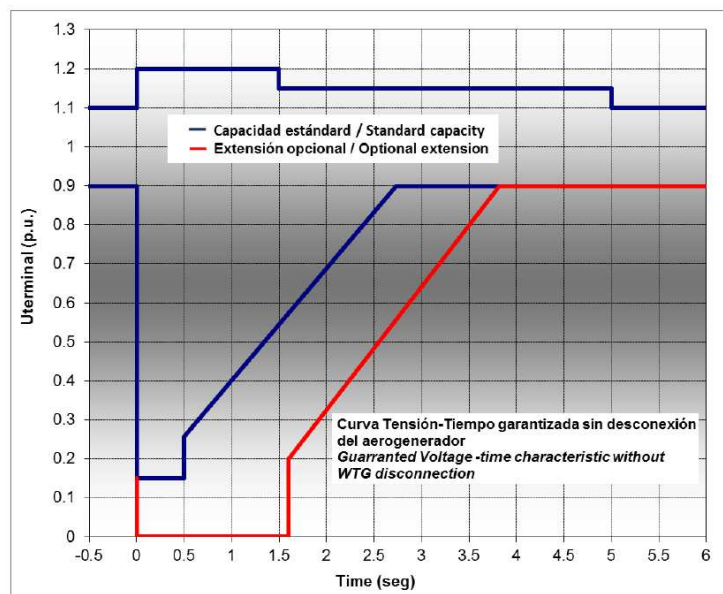


Figura Nº 9: Curva de tensión y tiempo en régimen transitorios del aerogenerador modelo AW3000 fabricado por Acciona WindPower.

4.4. Límite de Operación en Régimen Transitorio: Inyección de Potencia Activa y Reactiva en Transitorios de Tensión

La capacidad de inyección de corriente reactiva para el soporte de la tensión durante transitorios de la misma depende de los siguientes factores:

- Nivel de tensión remanente.
- Tipo de falta y su asimetría.
- Tiempo de control requerido.

Dicha inyección de corriente reactiva en falta es parametrizable y puede ser ajustada dependiendo de las condiciones exigidas en cada emplazamiento.

4.5. Límite de Operación en Régimen Transitorio: Inyección de Potencia Activa y Reactiva en Transitorios de Tensión

Los límites de frecuencia en operación se han definido en el apartado 4.1. Dentro de este rango, el tiempo en que el aerogenerador puede mantener su operación depende de la tensión de red. Para cada caso, se puede parametrizar o ajustar los valores para obtener un comportamiento deseado.

Toda copia impresa o informática de este documento, no residente en la Intranet de la empresa, es considerada No Controlada (Excepto aquellas copias que explícitamente tengan el sello "Copia Controlada" en el mismo)

4.6. Modo de Control de Potencia Reactiva

La potencia reactiva intercambiada con la red puede ser controlada en tiempo real mediante el convertidor de frecuencia dentro de los límites definidos en los apartados anteriores. Este control puede ser local (consigna fija de tensión, potencia reactiva o factor de potencia para el aerogenerador) o remoto. El control remoto exige la instalación de un control de planta para el parque (SGCS), y permite implementar a nivel de subestación distintos controles de reactiva, los más comunes son:

- Control de la tensión de parque en el punto de medida del SGCS.
- Control de factor de potencia en parque en el punto de medida del SGCS.
- Control de potencia reactiva en parque en el punto de medida del SGCS.

4.7. Modo de Control de Potencia Activa y Potencia/Frecuencia

Dentro del rango nominal de frecuencia definido en el punto 4.1, se dispone de controles de potencia activa y frecuencia a nivel de parque. Estos controles se deben solicitar al fabricante. Dichos controles son configurables y pueden ser utilizados para cumplir con las exigencias normativas tales como controles de frecuencia, de limitación de potencia y rampa, etc.

5. Determinación del Mínimo Técnico del Parque Eólico San Gabriel

5.1. Mínimo técnico a nivel de aerogenerador

El aerogenerador AW3000 posee una curva de potencia calculada como la que se observa en la figura Nº 10, en función de la velocidad del viento. En dicha figura se puede observar que a medida que aumenta la velocidad del viento aumenta la potencia activa, hasta que la velocidad del viento supera los 10 m/s, desde ese punto la potencia se mantiene constante en un valor de 3000 kW. El aerogenerador puede mantener constante su potencia activa con una velocidad del viento superior a 10 m/s gracias a la combinación de las estrategias de regulación de potencia en base al cambio en el ángulo pitch (ángulo de la pala) y el control de potencia inyectada o extraída desde los devanados del rotor del generador de inducción que es parte del aerogenerador.

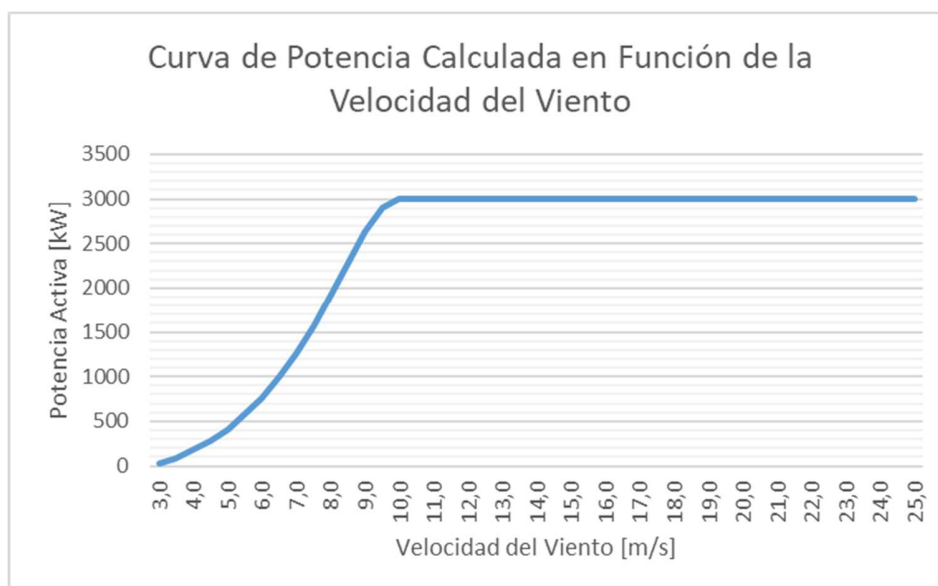


Figura Nº 10: Curva de potencia calculada en función de la velocidad del viento para aerogenerador modelo AW3000 fabricado por Acciona WindPower.

Toda copia impresa o informática de este documento, no residente en la Intranet de la empresa, es considerada No Controlada (Excepto aquellas copias que explícitamente tengan el sello "Copia Controlada" en el mismo)

Para reducir la potencia activa que entrega a la red el aerogenerador AW3000, sin desconectarse de la red, utiliza las mismas estrategias de regulación de potencia activa indicadas en el párrafo anterior, en base a la regulación o modificación del ángulo de pitch de la pala y al control de la potencia en los devanados del rotor de generador de inducción que es parte del aerogenerador. Dado lo anterior, a medida que aumenta la velocidad del viento la capacidad de reducción de potencia activa en el aerogenerador disminuye, por lo cual cuando la velocidad del viento es menor o cercana a los 10 m/s el aerogenerador puede disminuir la potencia activa entregada a la red en un valor de 100 % de su potencia nominal (entrega 0 kW), sin embargo tomando como base lo indicado por el coordinador eléctrico nacional en sus observaciones, se limita la potencia mínima entregada a un valor de 600 kW **"De tal forma que la potencia mínima neta sea mayor a 0 MW"**.

A medida que la velocidad del viento sigue aumentando por sobre el 10 m/s la capacidad de reducir la potencia activa entregada a la red se restringe a un valor de 95 % de su potencia nominal (150 kW), lo anterior basado en el documento "IAC0365B Mínimo técnico P.E. San Gabriel". Cuando la velocidad del viento supera los 25 m/s el aerogenerador se frena (sistemas mecánicos) y se desconecta de la red para resguardar la seguridad del equipo.

Para complementar el contexto teórico descrito en los párrafos anteriores, se realizaron nuevas pruebas a nivel de aerogenerador, durante el 29 de mayo de 2020, registrando las variables de potencia activa, velocidad del viento y tensión en la barra de 12 kV del aerogenerador. Como se observa en la figura se ha limitado el mínimo técnico del aerogenerador a 600 kW, considerando que el recurso primario o viento se encuentra a máxima disponibilidad, de esta forma se evita que en caso de que solo un aerogenerador se encuentre funcionando, con los restantes en pausa, el parque entregue una potencia positiva (no consuma energía del sistema) pero muy cercana a 0 MW.

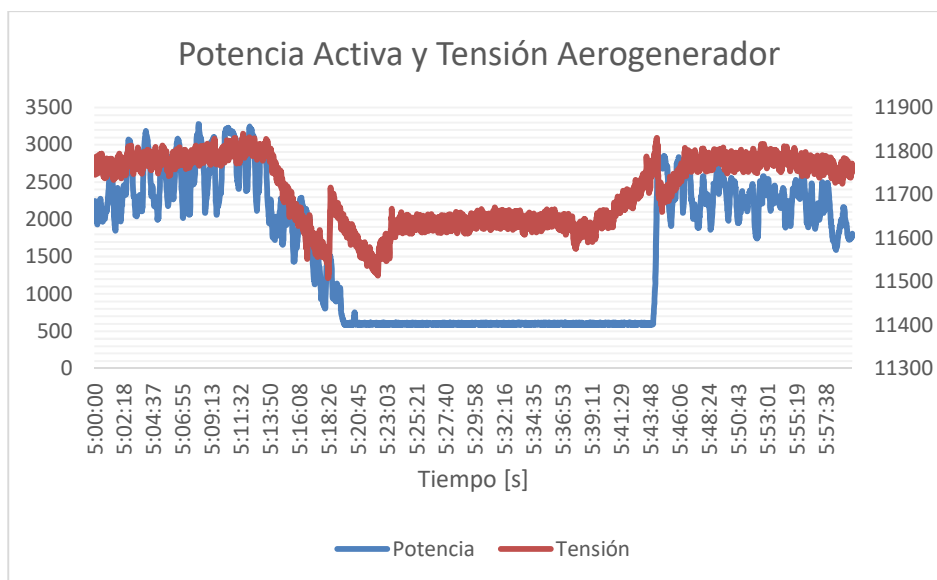


Figura N° 11: Gráfico de potencia activa (eje vertical izquierdo) y tensión (eje vertical derecho) del aerogenerador durante la prueba de mínimo técnico del parque eólico San Gabriel.

Toda copia impresa o informática de este documento, no residente en la Intranet de la empresa, es considerada No Controlada (Excepto aquellas copias que explícitamente tengan el sello "Copia Controlada" en el mismo)

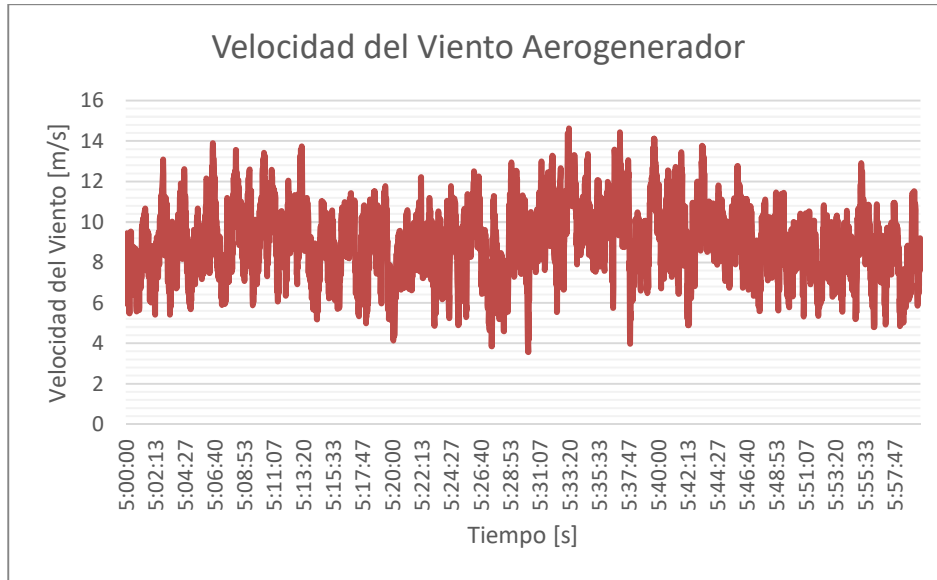


Figura N° 12: Gráfico de velocidad del viento del aerogenerador durante la prueba de mínimo técnico del parque eólico San Gabriel.

Aun cuando el aerogenerador tiene la capacidad de regular la potencia activa que entrega en presencia de la máxima disponibilidad del viento (recurso primario) en alrededor de 100%, pudiendo entregar 0 MW con velocidades del viento de alrededor de 10 m/s, existen ciertas limitaciones que regulan el mínimo técnico que puede entregar el aerogenerador, como se indica en el documento "IAC0365B Mínimo técnico P.E. San Gabriel" la primera limitación es impuesta por el control de planta o SGCS en un 10% de la potencia nominal del aerogenerador. Por último existe una limitante indicada por el coordinador eléctrico nacional en el documento "COR-GO-DCO-MT- PE San Gabriel-V3" en el ítem c) literal ii) en donde se indica que el mínimo técnico del aerogenerador debe ser **"de tal forma que la Potencia Mínima Neta sea mayor o igual a cero, es decir, que el parque eólico no consuma potencia activa de la red"**, dado lo anterior en la figura N° 13 se muestra Curva de potencia activa mínima controlable dependiendo de la velocidad del viento del aerogenerador, la cual en color azul muestra la limitación de potencia activa que fija el control de planta o SGCS y en color rojo la limitación indicada por el coordinador eléctrico nacional.

Toda copia impresa o informática de este documento, no residente en la Intranet de la empresa, es considerada No Controlada (Excepto aquellas copias que explícitamente tengan el sello "Copia Controlada" en el mismo)

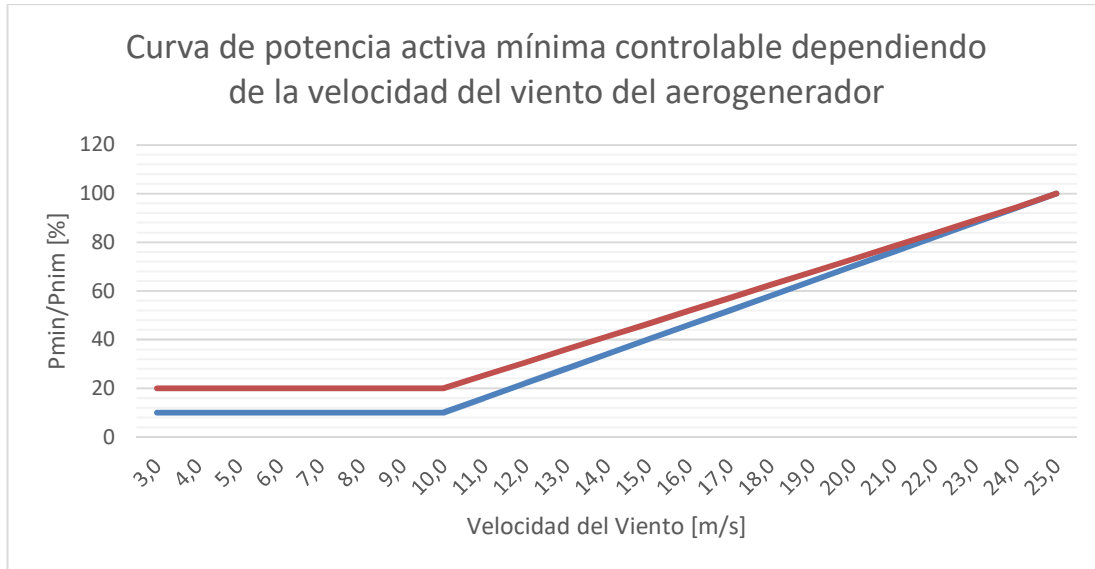


Figura N° 13: Curva de potencia activa mínima controlable dependiendo de la velocidad del viento del aerogenerador.

En la figura N° 11 se puede observar que el aerogenerador reduce su generación hasta un valor de 0,6 kW (línea de color azul), lo anterior sin desconectarse de la red ya que la tensión de la barra de 12 kV del aerogenerador permanece con tensión (línea de color naranja), lo que da cuenta de que el aerogenerador permanece sincronizado a la red. En la figura N° 12 se observa la velocidad del viento que sufre múltiples variaciones dentro del periodo de pruebas (entre las 05:00:00 y las 06:00:00 horas).

En base a las mediciones realizadas en campo y lo detallado en los párrafos anteriores el mínimo técnico del aerogenerador AW3000 fabricado por Acciona WindPower se puede establecer en:

Equipo	Mínimo Técnico [MW]	Velocidad del Viento [m/s]
Aerogenerador	0,6	9,39

Tabla N° 1: Resultados del mínimo técnico por aerogenerador.

5.2. Mínimo técnico a nivel de parque (bruto)

El SGCS por su parte, en función de la consigna de potencia activa recibida del operador, establece la consigna de cada uno de los aerogeneradores, variando el nivel de potencia con el objetivo de ajustar la potencia medida en el punto de conexión e incluso ordena arrancar o parar a los aerogeneradores. El arranque y parada de aerogeneradores, se emplea para asegurar en todo momento la capacidad de variación de potencia activa con consigna de potencia desde SGCS.

De acuerdo con lo indicado por el fabricante, cuando el nivel de potencia activa demandada a los aerogeneradores es igual o inferior al 10% de la potencia disponible de aquellos que se encuentran en marcha, el SGCS comienza a dar la orden de detenerse a los aerogeneradores necesarios para ampliar el margen de regulación de potencia activa. Del mismo modo, cuando la potencia es igual al 80% de la potencia disponible de los aerogeneradores en marcha, comienza a arrancar los aerogeneradores

Toda copia impresa o informática de este documento, no residente en la Intranet de la empresa, es considerada No Controlada
 (Excepto aquellas copias que explícitamente tengan el sello "Copia Controlada" en el mismo)

que pudieran estar detenidos.

La estrategia combinada de consigna de potencia y órdenes de parada por parte del control de planta (SGCS) a los aerogeneradores, programación implementada por el fabricante para evitar daños a las turbinas y realizar las acciones de regulación de potencia, requiere que al nivel del 10% de la potencia disponible (18.3MW en función de las condiciones de viento en el parque) se comience a parar aerogeneradores. Por este motivo se establece una referencia **mínima de 21MW (mínimo técnico bruto)**, que supone un 11.47% de la potencia disponible y asegura que no se realizarán paradas de turbinas.

A continuación, se muestra el fichero de parametrización del controlador SGCS del parque eólico San Gabriel mediante el cual queda configurado el parámetro 17 del subsistema de control de potencia activa con valor 0.9, esto asegura que no va a detener ninguna máquina que esté recibiendo un setpoint de reducción de potencia activa inferior al 90% de su potencia disponible:

pm_act_017	Nivel de reducción para comenzar apagado de wtgs (pu)	Dep	pm_act_001	0,1	0 (pm_act_001 = 1) 0.9 (pm_act_001 = 2) 0.9 (pm_act_001 = 3)	1	pm_impActPow_StopTurbstlev
------------	---	-----	------------	-----	--	---	----------------------------


```

2 (INFO)
3 Windfarm = San Gabriel
4 FileName = PMS03B_056_103_R05
5 Checksum = 4908.975
6 ParamCount = 194
165 pm_act_17 = 0.9
166 pm_act_17_lo = 0.1
167 pm_act_17_hi = 1
  
```

Figura N° 14: Parámetros de programación del SGCS para limitar la potencia activa del parque eólico San Gabriel.

Sin perjuicio de lo indicado en los párrafos anteriores, en estado excepcional y mediante una orden forzada se puede establecer una consigna de 0 MW en el control de planta (SGCS) de tal forma de que todos los aerogeneradores dejen de entregar potencia al sistema y permanecen en un estado de "pausa", teniendo su barra energizada y estando sincronizados a la frecuencia del sistema.

5.3. Mediciones de campo para determinar el mínimo técnico

Como se indicó anteriormente las limitaciones que fijan el mínimo técnico del parque eólico San Gabriel se encuentran en la estrategia de control del SGCS o control de planta del parque y limitan la generación en base a mediciones de velocidad del viento y disponibilidad del recurso primario. Dado lo anterior cuando se requiere realizar una prueba de mínimo técnico en campo no se puede simular las condiciones de velocidad del viento o la disponibilidad del recurso primario por lo cual la única forma de limitar la generación y disminuirla es mediante forzar en la programación del control de planta la consigna de potencia activa a un valor de 0 MW o cercano a dicho valor, con esto el control de planta envía la orden de no generar a los aerogeneradores sin dar la orden detenerse o desconectarse de la red, esto se puede verificar ya que la barra de cada aerogenerador permanece energizada con una tensión cercana a la nominal y a frecuencia de la red o sincronizado con la red.

Lo anterior se puede observar en las siguientes figuras en donde se observa como disminuye la generación del parque eólico San Gabriel a un valor de 0 MW sin desconectar sus aerogeneradores:

Toda copia impresa o informática de este documento, no residente en la Intranet de la empresa, es considerada No Controlada (Excepto aquellas copias que explícitamente tengan el sello "Copia Controlada" en el mismo)

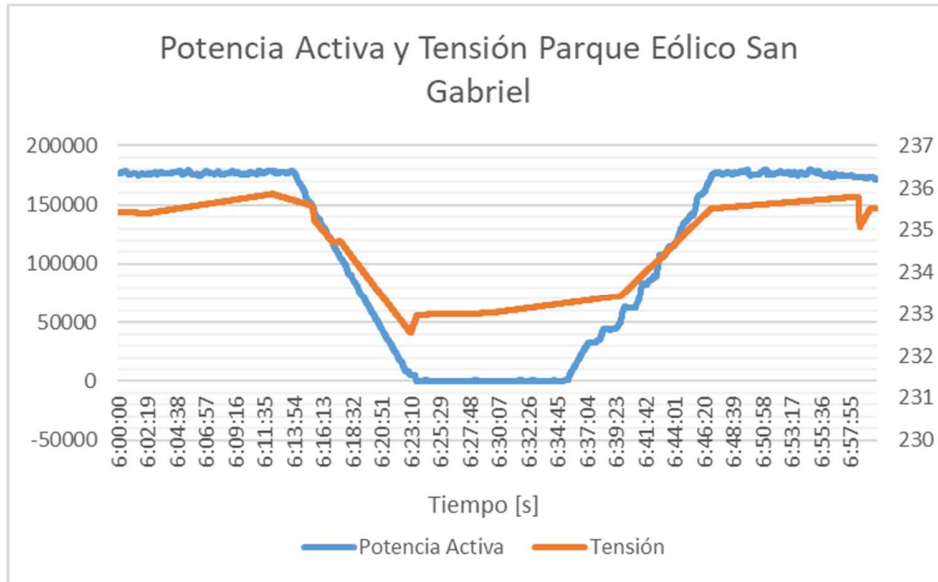


Figura N° 15: Grafico de potencia activa (eje vertical izquierdo) y tensión (eje vertical derecho) del parque eólico San Gabriel durante la prueba de mínimo técnico.

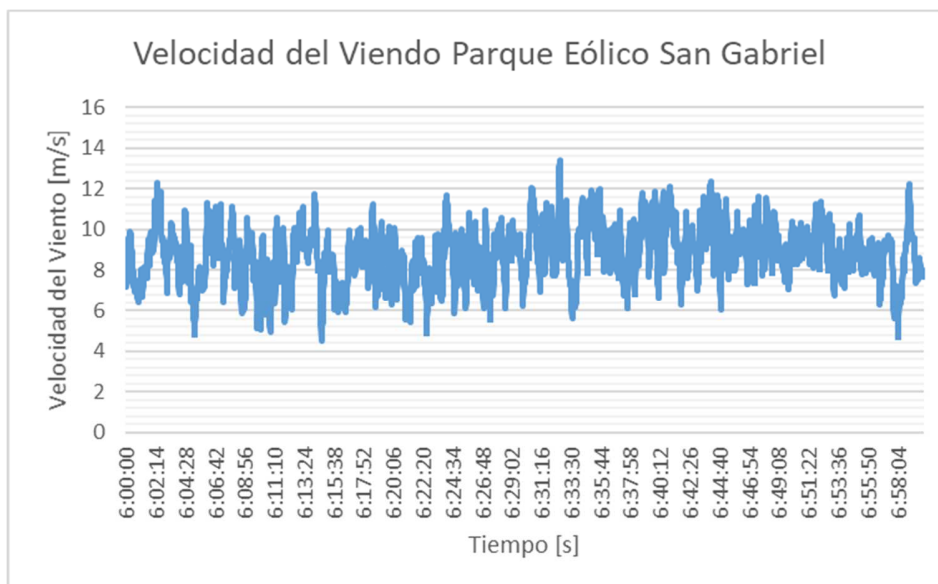


Figura N° 16: Grafico de velocidad del viento del parque eólico San Gabriel durante la prueba de mínimo técnico.

Como se pueden observar en las figuras anteriores durante la prueba de mínimo técnico realizada en el parque se fuerza para que el control de planta entregue una orden de generar 0 MW con lo cual decae rápidamente la generación del parque y por consiguiente la de cada aerogenerador, como es una orden forzada y no depende de las mediciones del recurso primario, el aerogenerador deja de producir energía. Se observa que el aerogenerador no se desconecta del sistema, aun cuando deja de generar, ya que continua la tensión presente en su barra. De acuerdo a la figura N° 16 la velocidad del viento para el periodo de pruebas (entre 06:00:00 y 07:00:00 horas) alcanza un valor promedio de

Toda copia impresa o informática de este documento, no residente en la Intranet de la empresa, es considerada No Controlada (Excepto aquellas copias que explícitamente tengan el sello "Copia Controlada" en el mismo)

8,78 m/s, valor cercano a la velocidad del viento a la cual los aerogeneradores alcanzan su potencia nominal de 3000 kW valor correspondiente a 10 m/s.

Esta es una prueba forzada para verificar las características de los aerogeneradores, pero no representa el comportamiento de la estrategia de control ya que esta depende de condiciones ambientales como la velocidad del viento y la disponibilidad del recurso primario, condiciones que no pueden ser simuladas para obtener la respuesta real.

Las mediciones se extraen desde los registros históricos del sistema SCADA de Acciona Energía.

5.4. Cálculo de pérdidas asociadas a los servicios auxiliares del parque eólico San Gabriel

De acuerdo a lo indicado en la memoria "Determinación de Consumos de SS/AA S/E San Gabriel" [1], se estiman los consumos asociados a los servicios auxiliares de corriente alterna y de corriente continua de forma conservadora para considerar el caso más desfavorable. Las pérdidas por concepto de SS/AA asociadas al parque eólico se pueden observar en las siguientes tablas de acuerdo a lo que se indica en [1]:

N°	Consumos Esenciales	kW	Factor de Demanda	kW Total
1	Cargador de baterías N° 1	9,00	0,50	4,50
2	Cargador de baterías N° 2	9,00	0,50	4,50
3	Alimentación Alumbrado y Calefacción Equipos de Patio	2,85	1,00	2,85
4	Alimentación Alumbrado y Calefacción Ar,- C&P y Tableros Sala	3,00	1,00	3,00
5	Alimentación Sistema de Seguridad y Televigilancia	1,50	1,00	1,50
6	Alimentación Alumbrado y Fuerza Tablero Sala Esencial	3,00	0,90	2,70
7	Alimentación Alumbrado y Fuerza Tablero Patio Esencial	8,00	1,00	8,00
8	Aire Acondicionado Casa SS/AA	6,00	0,70	4,20
9	Alimentación Sistema de Detección de Incendio	1,00	1,00	1,00
10	Alimentación Servicios Grupo Electrónico	1,00	1,00	1,00
11	Alimentación Edificio O&M (Alumbrado, Calefacción y Computación)	26,70	1,00	26,70
12	Alimentación Alumbrado y Calefacción Switchgear 1	2,00	1,00	2,00
13	Alimentación Alumbrado y Calefacción Switchgear 2	2,00	1,00	2,00
14	Alimentación y Control Ventilador Transformador N° 1	5,00	1,00	5,00
15	CTBC Transformador N° 1	2,00	1,00	2,00
16	Alimentación Motor Desconectores	5,70	1,00	5,70
Total				76,7

Tabla N° 2: Consumos de SS/AA de C.A. y C.C. asociados a la barra de servicios esenciales del parque eólico San Gabriel.

N°	Consumos No Esenciales	kW	Factor de Demanda	kW Total
1	Tablero de Alumbrado y Fuerza Sala No Esencial	3,00	0,90	2,70
2	Tablero de Alumbrado y Fuerza Patio No Esencial	8,10	1,00	8,10
3	Aire Acondicionado Casa SS/AA	8,00	0,70	5,60

Toda copia impresa o informática de este documento, no residente en la Intranet de la empresa, es considerada No Controlada (Excepto aquellas copias que explícitamente tengan el sello "Copia Controlada" en el mismo)

N°	Consumos No Esenciales	kW	Factor de Demanda	kW Total
4	Alimentación Edificio de O&M (P. TAS y P. TAP)	25,00	1,00	25,00
Total				41,4

Tabla N° 3: Consumos de SS/AA de C.A. y C.C. asociados a la barra de servicios no esenciales del parque eólico San Gabriel.

El valor total de perdidas asociados a los SS/AA del parque eólico San Gabriel haciende a 41.4 kW + 76.7 kW = 118.1 kW.

5.5. Consumos de servicios auxiliares en los aerogeneradores del parque eólico San Gabriel

De acuerdo al documento "DG200404 Potencia de Servicios Auxiliares AW3000" [5] el consumo máximo de servicios auxiliares del aerogenerador AW3000 construido por Acciona WindPower haciende a un valor máximo de 113,5 kW por aerogenerador, sin embargo, este valor no es real ya que en sus distintas etapas de operación (pausa, arranque, operación normal, etc.) los sistemas del aerogenerador no funcionan al mismo tiempo. En base a lo informado por el fabricante en su correo electrónico "Correo consumos SSAA AW3000 Windpower" [6] podemos establecer que en estado de pausa el equipo consume 20 kW y en estado de marcha normal consume 50 kW, lo anterior se puede observar en los registros del sistema SCADA durante las pruebas de mínimo técnico ya que mientras el aerogenerador permaneces sin inyectar potencia activa a la red, pero con tensión en su barra de 12 kV y sincronizado, consume alrededor de 20 kW. Al iniciar su operación normal comienzan a aumentar sus consumos elevándose hasta un valor de 45 kW, por lo tanto, los valores de consumos auxiliares para el aerogenerador AW3000 se pueden resumir como indica la siguiente tabla:

Equipo	Consumos en Estado de Pausa [kW]	Consumos en Estado de Marcha [kW]
Aerogenerador	20	50

Tabla N° 4: Consumos de SS/AA aerogenerador AW3000 del parque eólico San Gabriel.

5.6. Cálculo de perdidas asociada a la red de media tensión (33 kV)

Para poder calcular las perdidas asociadas a la red de media tensión de 33 kV del parque eólico San Gabriel, se procedió a realizar una simulación de flujos de potencia sobre la base de datos modelada en el software Digsilent en base al documento SANGA1_W_ESY_EN_DWG_ELE_200000328_2.2, esta base de datos se utilizó para elaborar los estudios eléctricos aprobados por el coordinador eléctrico nacional, esta modelación se puede visualizar en el punto 3.2. De acuerdo a lo solicitado por el coordinador eléctrico nacional en su documento "Observaciones al Informe de Mínimo Técnico del Parque Eólico San Gabriel" código de documento COR-GO-DCO-MT-PE San Gabriel -V2 se procedió a determinar las perdidas en la red de media tensión dejando fuera de servicio todos los generadores menos uno, considerando en este último un despacho de potencia de 3000 kW.

Toda copia impresa o informática de este documento, no residente en la Intranet de la empresa, es considerada No Controlada (Excepto aquellas copias que explícitamente tengan el sello "Copia Controlada" en el mismo)

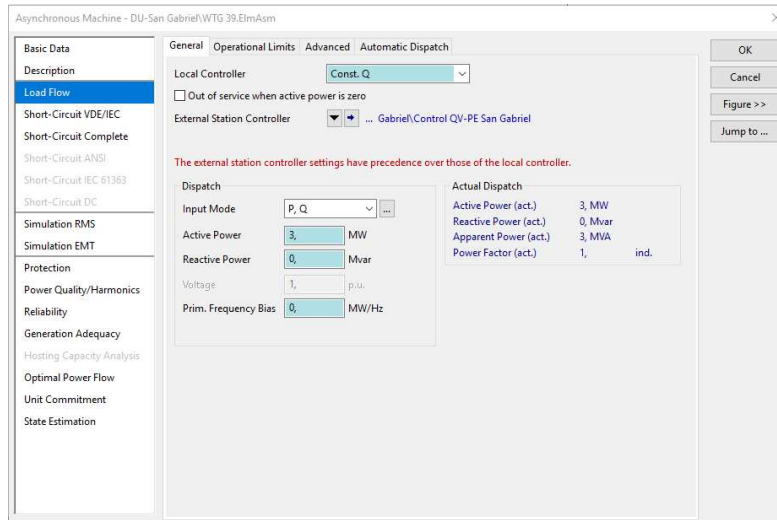


Figura Nº 17: Parámetros del despacho para la simulación de flujo de potencia del único aerogenerador en servicio para determinar las pérdidas en la red de media tensión del parque eólico San Gabriel.

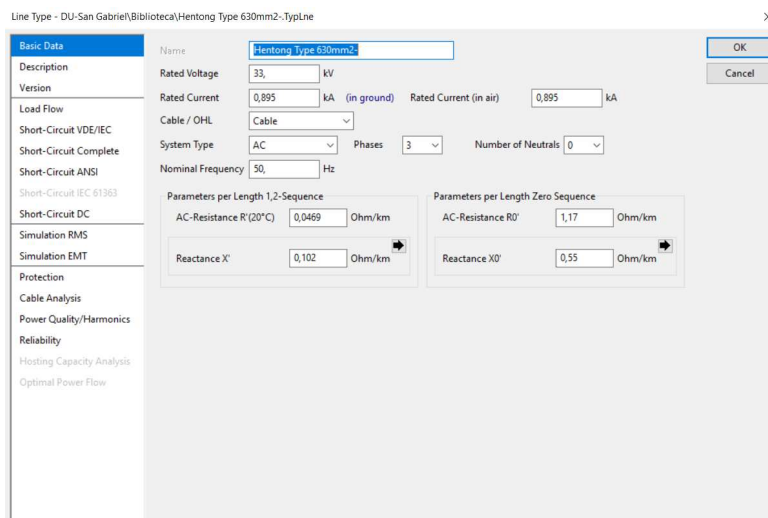


Figura Nº 18: Modelo del cable subterráneo que permite evacuar la generación de los aerogeneradores hasta la barra colectora de 33 kV del parque eólico San Gabriel.

Dado que la ubicación de los aerogeneradores no es uniforme y no se encuentran a la misma distancia desde la barra de media tensión se determinó las pérdidas de la red de media tensión con un aerogenerador en servicio para los dos casos más representativos que son el "más cercano" y el "más lejano" y a partir de dichos valores se determina un promedio lo cual representa las pérdidas en la red de media tensión para el escenario de simulación considerando un único aerogenerador en servicio:

Toda copia impresa o informática de este documento, no residente en la Intranet de la empresa, es considerada No Controlada (Excepto aquellas copias que explícitamente tengan el sello "Copia Controlada" en el mismo)

Aerogenerador	Distancia [km]	Potencia inyectada [kW]	Potencia en barra MT [kW]	Perdidas red MT [kW]
Más cercano	1,319	3000	2867	133
Más lejano	14,668	3000	2863	137
Perdidas promedio de la red de media tensión				135

Tabla N° 5: Perdidas en la red de media tensión del parque eólico San Gabriel.

5.7. Cálculo de perdidas asociadas al transformador elevador 220/33 kV

Considerando la simulación del flujo de potencia del punto 5.6 se pueden determinar las pérdidas de potencia asociadas al transformador elevador de 220/33 kV, restando la potencia que recibe la barra colectora de 33 kV y la que se encuentra a la salida del transformador de 220/33 kV en su lado de 220 kV. De la misma forma que en el punto 5.6 se determinaron las pérdidas para los dos casos más representativos, considerando un único aerogenerador en servicio el "más lejano" y el "más cercano", con estos valores se determinaron un promedio que es el valor que representa las perdidas en el transformador, en la siguiente tabla se pueden observar estos resultados:

Aerogenerador	Distancia [km]	Potencia en barra MT [kW]	Potencia en barra AT [kW]	Perdidas transformador [kW]
Más cercano	1,319	2867	2652	215
Más lejano	14,668	2863	2645	218
Perdidas promedio del transformador elevador				216,5

Tabla N° 6: Perdidas en el transformador elevador del parque eólico San Gabriel.

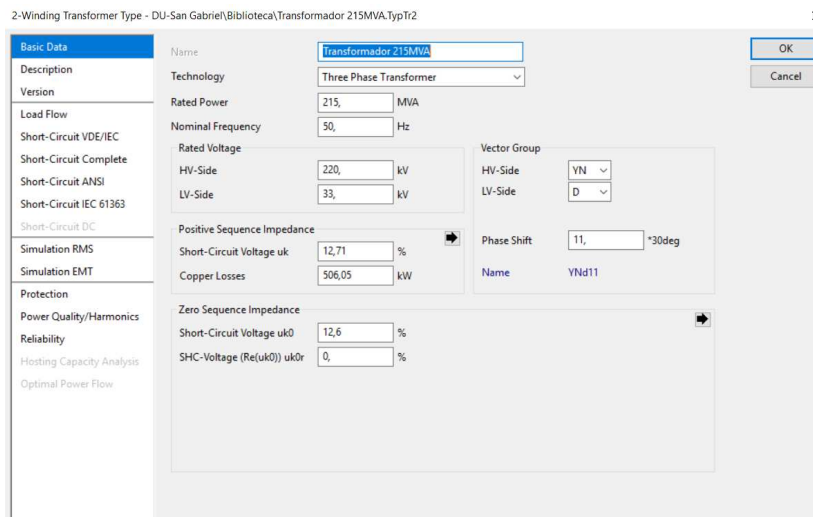


Figura N° 19: Modelo del transformador elevador de 220/33 kV del parque eólico San Gabriel en el software Digsilent.

Toda copia impresa o informática de este documento, no residente en la Intranet de la empresa, es considerada No Controlada (Excepto aquellas copias que explícitamente tengan el sello "Copia Controlada" en el mismo)

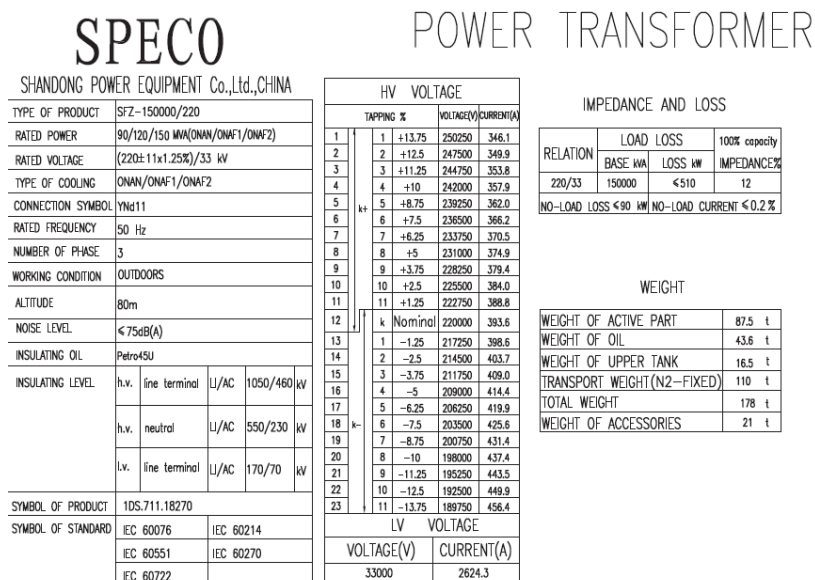


Figura N° 20: Placa característica del transformador elevador de 220/33 kV del parque eólico San Gabriel.

5.8. Mínimo técnico a nivel de parque (neto) en la barra de 220 kV San Gabriel

De lo anterior se puede calcular una potencia mínima neta, en este caso se determinarán dos posibles valores, el primero considerando la estrategia de control que se detalló en el punto 5.2 y el segundo valor a partir de las mediciones en campo indicadas en el punto 5.3. las pérdidas asociadas a los SSAA se consideraron los consumos propios de la subestación del parque tales como alumbrado, gabinetes de control, protecciones y automatización, sistemas de calefacción, sistemas de corriente continua, alimentación de equipos primarios, etc., adicionalmente se incorpora los consumos correspondientes a los aerogeneradores que permanecen en servicio. También se incorporar las pérdidas asociadas a la central que es la suma de las pérdidas de la red de media tensión con las pérdidas del transformador elevador. Para ambos tipos de pérdidas se consideró que un único aerogenerador permanece en servicio.

Central	Mínimo Técnico [MW]	SS.AA. [kW]	Pérdidas en la central [kW]	Potencia Mínima Neta [MW]
PE San Gabriel	21	168,1	351,5	20,48

Tabla N° 7: Resultados del mínimo técnico a nivel parque, valor neto descontando las pérdidas por SS.AA., pérdidas por la red de media tensión y pérdidas por el transformador elevador en la barra de 220 kV de S/E San Gabriel, considerando la estrategia de control indicada en el punto 5.2.

Toda copia impresa o informática de este documento, no residente en la Intranet de la empresa, es considerada No Controlada (Excepto aquellas copias que explícitamente tengan el sello "Copia Controlada" en el mismo)

Central	Mínimo Técnico [MW]	SS.AA. [kW]	Pérdidas en la central [kW]	Potencia Mínima Neta [MW]
PE San Gabriel	0,6	168,1	351,5	0,0804

Tabla N° 8: Resultados del mínimo técnico a nivel parque, valor neto descontando las pérdidas por SS.AA., perdidas por la red de media tensión y perdidas por el transformador elevador en la barra de 220 kV de S/E San Gabriel, considerando las mediciones indicadas en el punto 5.3.

En la tabla N° 8 se asumió un nivel de generación para un solo aerogenerador en funcionamiento, los restantes en pausa, en donde se considera que genera una potencia de 600 kW para obtener una potencia a la salida del parque positiva pero muy cercana a 0 MW. Cabe destacar que no se puede ajustar el valor de generación de un aerogenerador exactamente igual a la potencia perdida por el parque, por lo cual se aproxima a un valor cercano.

6. Conclusiones

En este informe se revisan los antecedentes técnicos de los aerogeneradores que componen el parque eólico San Gabriel, describiendo su funcionamiento y comportamiento en régimen permanente y transitorio, con el objetivo final de describir la estrategia de control implementada en el control de planta (SGCS) que fija los valores mínimos de potencia (mínimo técnico) que se puede generar el conjunto del parque.

7. Referencias

- [1] SANGA1_W_DSS_EN_MEM_HVS_101000008_2.0_Determinación de consumos de SS/AA de S/E San Gabriel, Dessau Ingeniería SPA
- [2] DG200032_CHARACTERISTICAS RED ELECTRICA AW3000
- [3] DG200732-B_STATEMENT OF COMPLIANC
- [4] DG200837-A_CERTIFICATE
- [5] DG200404 Potencia de Servicios Auxiliares AW3000
- [6] Correo consumos SSAA AW3000 Windpower