

INFORME
MÍNIMO TÉCNICO: CENTRAL EÓLICA TOLPÁN SUR

CONTROL

ELABORADO	REVISADO	APROBADO
Alejandro Hirschfeld	Alberto Churio Adrián Alarcón	NA

Se dispone del original firmado, custodiado por **ACCIONA**.

INFORME DE DETERMINACIÓN DE MÍNIMO
TÉCNICOS EN UNIDADES GENERADORAS
CENTRAL EÓLICA TOLPÁN SUR

Toda copia impresa o informática de este documento, no residente en los sistemas de ACCIONA, es considerada NO CONTROLADA.
(Excepto aquellas copias que explícitamente tengan el sello COPIA CONTROLADA en el mismo)

REGISTRO DE CAMBIOS

REV.	FECHA	DESCRIPCIÓN
00	10/09/2020	Versión inicial

ÍNDICE

TÍTULO	PÁG
1. OBJETO	2
2. ALCANCE	2
3. DISEÑO E INFORMACIÓN TÉCNICA DEL PARQUE EÓLICO TOLPÁN SUR	3
3.1. Diagrama unilineal de la Subestación y Parque Eólico Tolpán Sur	3
3.2. Diagrama Unilineal de la subestación y Parque Eólico Tolpán sur	3
4. AEROGENERADOR	4
4.1. Especificaciones Técnicas de los Aerogeneradores	4
4.2. Límite de Operación en régimen Permanente	5
4.3. Límite de Operación en Régimen transitorio: Perturbaciones Transitorias de Tensión	6
4.4. Límite de Operación en Régimen Transitorio: Inyección de Potencia Activa y Reactiva en Transitorios de Tensión	7
4.5. Límite de Operación en Régimen Transitorio: Inyección de Potencia Activa y Reactiva en Transitorios de Tensión	7
4.6. Modo de Control de Potencia Reactiva	7
4.7. Modo de Control de Potencia Activa y Potencia/Frecuencia	8
5. DETERMINACIÓN DEL MÍNIMO TÉCNICO DEL PARQUE EÓLICO TOLPÁN SUR	8
5.1. Mínimo Técnico a nivel de aerogenerador	8
5.2. Mínimo Técnico a Nivel de Parque (NETO)	11
5.3. Metodología de Determinación de Mínimo Técnico de Planta (BRUTO)	12
5.3.1. Mediciones de Campo para determinar el mínimo Técnico de Planta	12
5.4. Cálculo de Pérdidas Asociadas al Transformador de Subestación	13
5.5. Cálculo de Perdidas Asociadas a la red de Media Tensión (33 kV)	15
5.6. Consumo de Servicios Auxiliares del Parque Eólico Tolpán Sur	17
5.7. Consumos de Servicios Auxiliares en los Aerogeneradores del Parque Eólico Tolpán Sur	19
5.8. Cálculo de Mínimo Técnico (Bruto) del Parque Eólico Tolpán Sur	19
6. CONCLUSIONES	20
7. BIBLIOGRAFÍA	20

1. OBJETO

El presente documento tiene como propósito determinar el Mínimo Técnico de Operación del parque eólico Tolpán Sur y proporcionar la información técnica de los aerogeneradores del proveedor Nordex-Acciona WindPower modelo AW 3000, de potencia nominal 3MW, que componen el parque eólico Tolpán Sur. Esto, 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.

2. ALCANCE

La información y documentos proporcionada se encuentra asociada únicamente al parque eólico Tolpán Sur y al aerogenerador AW3000 fabricado por Nordex-Acciona WindPower de acuerdo a los requerimientos del anexo técnico “*Determinación de Mínimos Técnicos en Unidades Generadoras*”. Dicho documento 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 precisión 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 TOLPÁN SUR

3.1. DIAGRAMA UNILINEAL DE LA SUBESTACIÓN Y PARQUE EÓLICO TOLPÁN SUR

A continuación, se muestra el diagrama unilineal de la subestación del parque eólico Tolpán Sur:

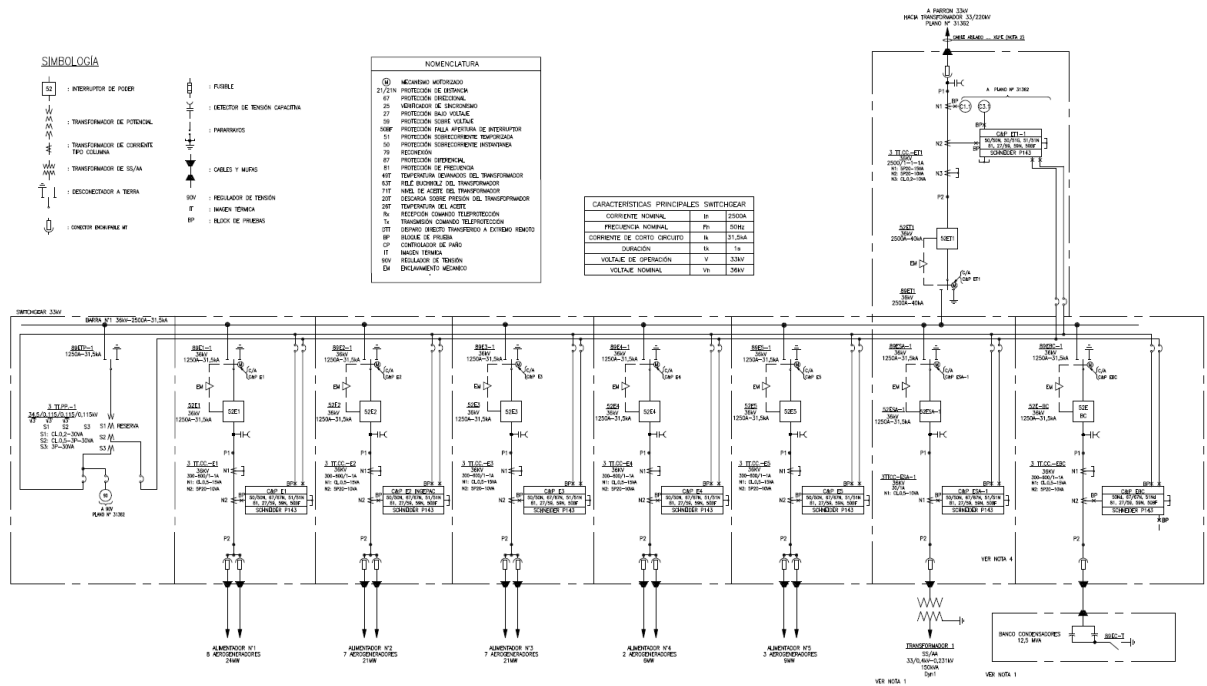


Figura 3.1: Diagrama unilineal de subestación de Tolpán Sur [1].

3.2. DIAGRAMA UNILINEAL DE LA SUBESTACIÓN Y PARQUE EÓLICO TOLPÁN SUR

El parque eólico Tolpán sur compuesto por 28 aerogeneradores modelo AW3000, de potencia nominal de 3MW, fabricados por Nordex-Acciona Windpower. Dado lo anterior, la potencia instalada total asciende a 84 MW.

Los aerogeneradores se conectan a una red colectora de 33 kV, mediante 5 circuitos, los cuales une en una barra colectora y esta a su vez se conecta a un transformador elevador de 220/33 kV. La barra de 220 kV de S/E Tolpán Sur se conecta al sistema a mediante una línea aérea de 220 kV (doble circuito) de 33,08 km de distancia, seguida de un tramo soterrado de 0,17 km que conecta con el patio de mufas de S/E Mulchén 220 kV.

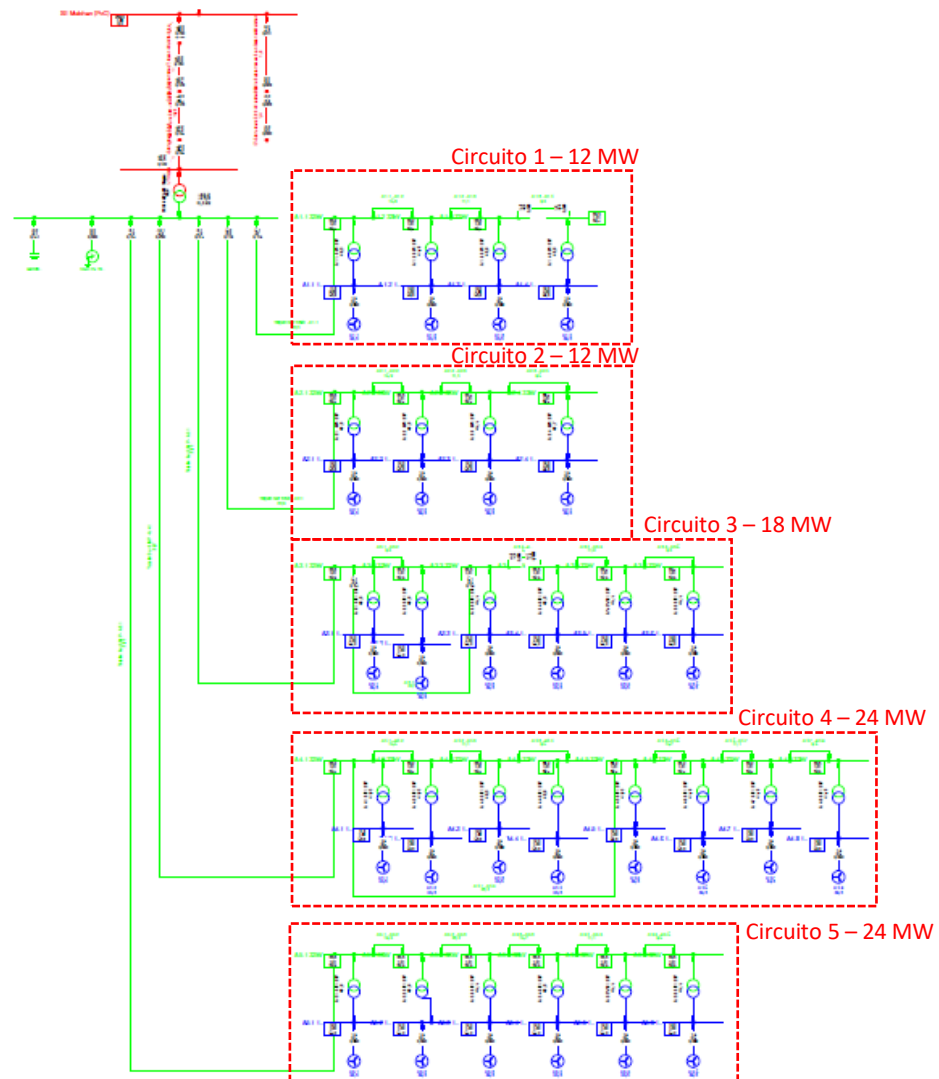


Figura 3.2: Diagrama unilineal de la red del parque eólico Tolpán Sur [2].

4. AEROGENERADOR

4.1. ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DE LOS AEROGENERADORES

Las turbinas instaladas en el proyecto son modelo AW3000, de potencia nominal 3 MW, fabricadas por Nordex-Acciona WindPower. El generador eólico utiliza la tecnología Tipo 3 o DFIG (del inglés, Doubly-Fed Induction Generator”) un generador de inducción doblemente alimentada, controlada electrónicamente por las corrientes de alimentación del rotor. La tensión nominal del estator es de 12 kV (línea) y la potencia de generación (activa y reactiva) se controla por medio de las corrientes del rotor.

Las corrientes que alimentan al rotor son producidas por un convertidor electrónico de conmutación forzada formado por interruptores de potencia, tipo IGBT. El equipo de potencia se alimenta a 690 V y los servicios auxiliares a 400 v utilizando un transformador de tres devanados, 12/0,69/0,4 kV.

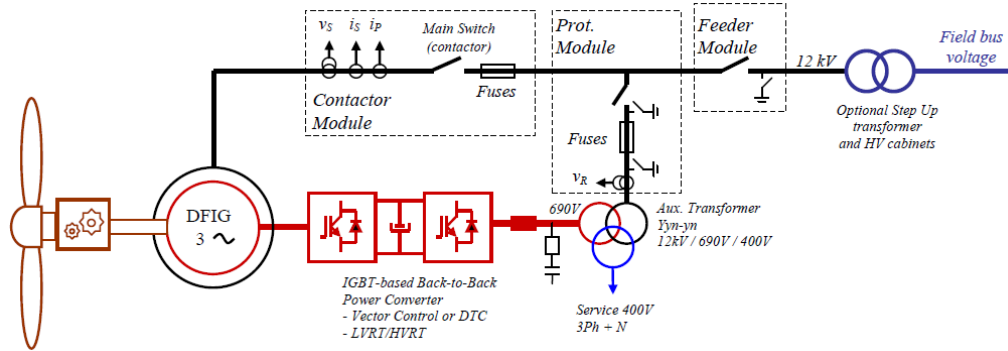


Figura 4.1: Diagrama de componentes del aerogenerador AW3000 [3].

Característica / Feature	Nominal / Rated
Tensión de línea / Line Voltage	12000 VAC
Frecuencia de red / Grid Frequency	50/60 Hz
Potencia activa / Active Power ⁽¹⁾⁽⁴⁾⁽⁵⁾⁽⁶⁾	3000 kW
Potencia Reactiva / Reactive power ⁽¹⁾⁽²⁾⁽³⁾⁽⁴⁾⁽⁶⁾	1200 kVAr

Tabla 4.1: Características nominales del aerogenerador AW3000 [3].

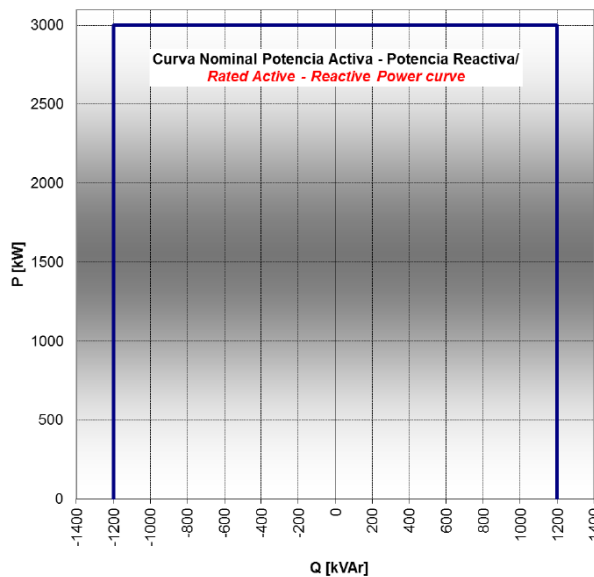


Figura 4.2: Curva de capacidad de reactiva nominal del aerogenerador modelo AW3000 [3].

4.2. LÍMITE DE OPERACIÓN EN RÉGIMEN PERMANENTE

El aerogenerador AW3000 es capaz de operar fuera de los márgenes nominales definidos en el apartado 4.1 (Figura 4.2). En la tabla a continuación, se presentan los valores máximos y mínimos, de tensión y frecuencia en los que la turbina es capaz de operar de forma permanente.

Característica / Feature	Valor / Value
Máxima tensión de línea / Line maximum voltage	Un+10% (13200V)
Mínima tensión de línea / Line minimim voltage	Un - 10% (10800V)
Frecuencia máxima de red / Maximum grid frequency	
- Versión 50 Hz / 50 Hz version	53
- Versión 60 Hz / 60 Hz version	63.6
Frecuencia mínima de red / Minimum grid frequency	
- Versión 50 Hz / 50 Hz version	47
- Versión 60 Hz / 60 Hz version	56.4

Tabla 4.2: Límites de operación de tensión y frecuencia del aerogenerador AW3000 [3].

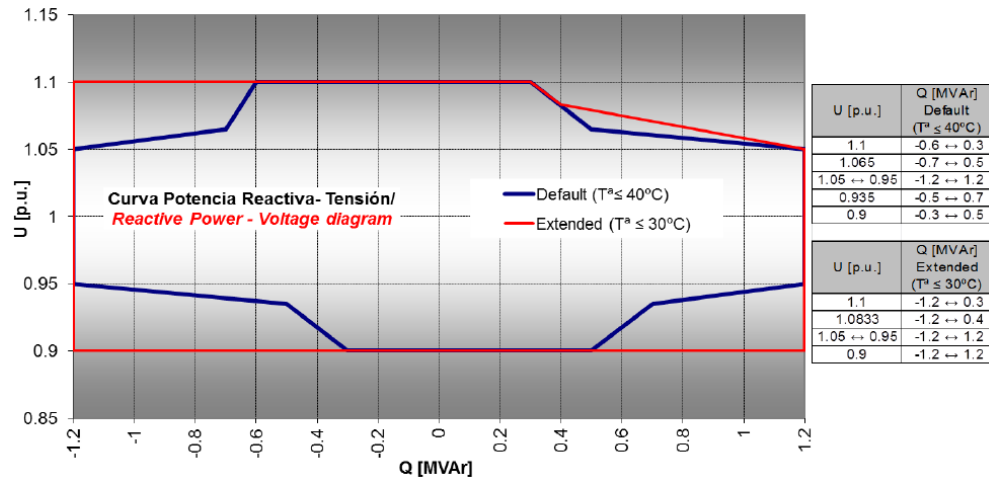


Figura 4.3: Curva característica de potencia reactiva-tensión del aerogenerador AW3000 [3].

En la Figura 4.3 se presenta el rango de potencia reactiva disponible en función de la tensión local del aerogenerador (bornes 12 kV) y la potencia nominal. Al superar una desviación del 5% de la tensión nominal, comienza a evidenciarse una reducción de la capacidad. Agregado a esto, en el caso de estar a una temperatura ambiente igual o inferior a 30 °C se evidencia una extensión de la capacidad.

4.3. LÍMITE DE OPERACIÓN EN RÉGIMEN TRANSITORIO: PERTURBACIONES TRANSITORIAS DE TENSIÓN

Acorde al artículo 3-7 de la NTSyCS, el aerogenerador debe permanecer conectado a la red durante las fallas y seguido de ellas.

El aerogenerador 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 específicos que permiten extender la capacidad del aerogenerador para superar perturbaciones de tensión. El sistema está diseñado para daptarse y así poder cumplir con los requerimientos de la normativa vigente. La opción de capacidad extendida es dependiente de la configuración del a red paqrue y por lo tanto solo está disponible tras un análisis caso a caso mediante estudios de simulación.

Después de una falta, el control establece la operación normal en unos pocos segundos después de haber contribuido a reestablecer la tensión.

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

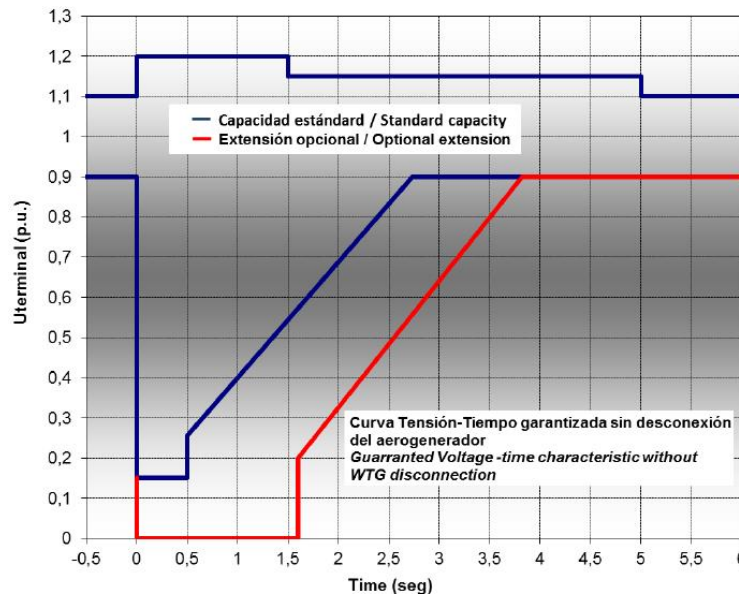


Figura 4.4: Característica tensión-tiempo (régimen transitorio) en bornes de 12 kV del aerogenerador AW3000 [3].

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 durante la 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 la Tabla 4.2. Dentro de dicho rango, el tiempo en el cual el aerogenerador es capaz de mantener su operación depende de la tensión de la red. Para cada caso, se puede parametrizar o ajustar los valores para obtener un comportamiento deseado.

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 al aerogenerador (consigna fija de tensión, potencia reactiva o factor de potencia) 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, y 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 la Tabla 4.2, se dispone de controles de potencia activa y frecuencia a nivel de parque. Estos controles se deben solicitar al fabricante, son configurables, y pueden ser utilizados para cumplir con las exigencias normativas tales como control de frecuencia, de limitación de potencia, rampa y etc.

5. DETERMINACIÓN DEL MÍNIMO TÉCNICO DEL PARQUE EÓLICO TOLPÁN SUR

5.1. MÍNIMO TÉCNICO A NIVEL DE AEROGENERADOR

El aerogenerador AW3000 posee una curva de potencia calculada en función de la velocidad de viento, como la presentada en la Figura 5.1. En dicha figura, se puede observar que a medida que aumenta la velocidad del viento aumenta la potencia activa, hasta superar los 10 m/s, desde ese punto en adelante la potencia activa se mantiene constante en un valor de 3000 kW.

El aerogenerador puede mantener constante su potencia activa con una velocidad de viento superior a 10 m/s mediante la combinación de las estrategias de regulación de potencia en base al cambio en el ángulo de la pala (pitch) y el control de potencia inyectada/extraída desde los devanados del rotor del generador de inducción del aerogenerador.

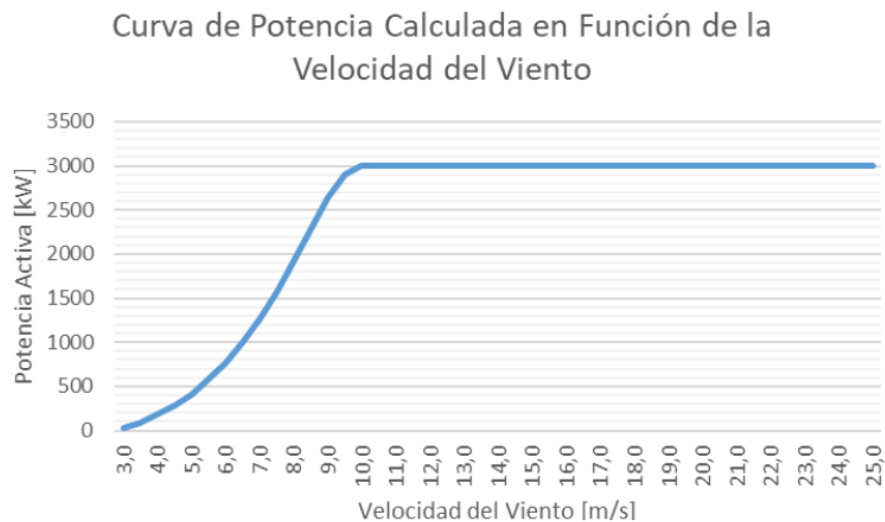


Figura 5.1: Curva de potencia calculada en función de la velocidad de viento para el aerogenerador AW3000.

Para reducir la potencia activa que entrega a la red el aerogenerador AW3000, sin desconectarse de la red, el aerogenerador puede reducir su potencia activa de salida desde el nivel de potencia disponible del viento hasta un 5% de la misma. El 95% de capacidad de reducción lo hace mediante las mismas estrategias de regulación indicadas en el párrafo anterior (regulación de pitch y la potencia en los devanados del rotor del generador de inducción).

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 100% de su potencia nominal (entregar 0 MW).

A medida que la velocidad del viento sigue aumentando por sobre 10 m/s, la capacidad de reducir la potencia activa entregada a la red se restringe a un valor de 5% de su potencia nominal (es capaz de restringir hasta 150 kW), lo anterior basado en la figura a continuación [4].

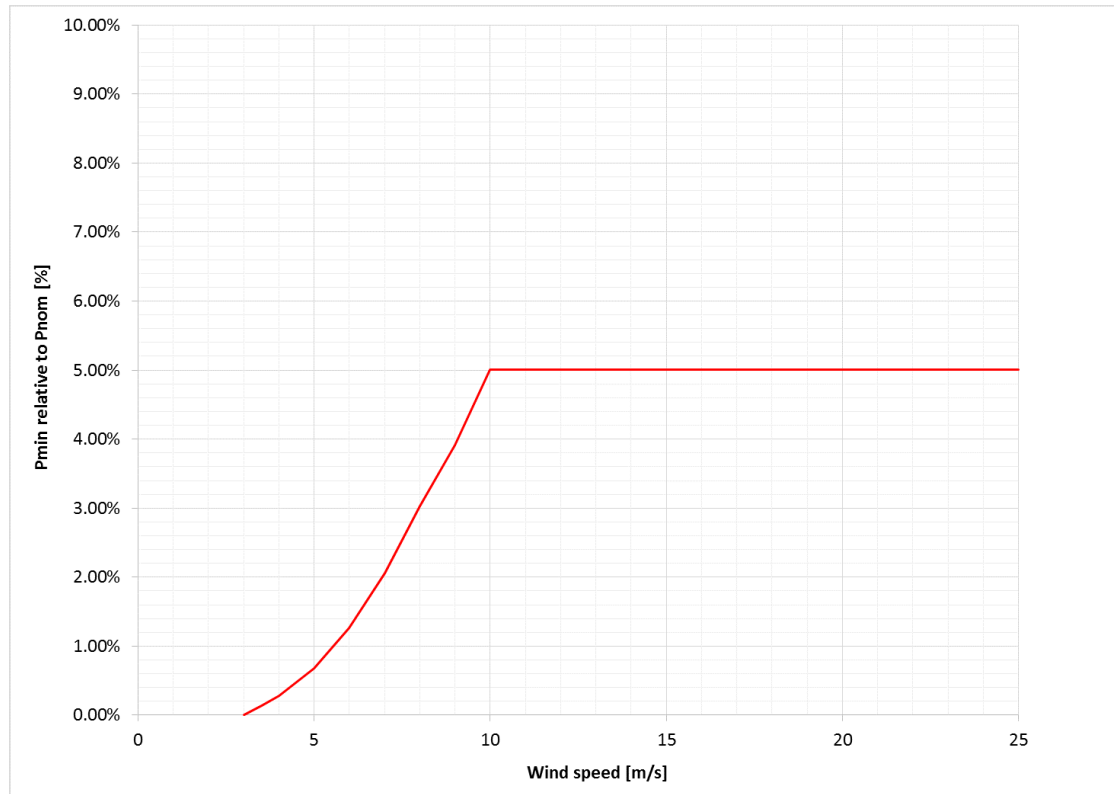


Figura 5.2: Relación de potencia mínima referida a la potencia nominal frente a la velocidad de viento [4].

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 pruebas a nivel de aerogenerador, durante el 31/08/2020, registrando las variables de potencia activa, velocidad de viento y tensión en la barra de 12 kV del aerogenerador. De esta forma, se puede determinar la potencia activa equivalente al mínimo técnico del aerogenerador AW3000 fabricado por Acciona WindPower. En las siguientes figuras se puede observar los resultados de dichas pruebas:

Toda copia impresa o informática de este documento, no residente en los sistemas de ACCIONA, es considerada NO CONTROLADA.
 (Excepto aquellas copias que explícitamente tengan el sello COPIA CONTROLADA en el mismo)

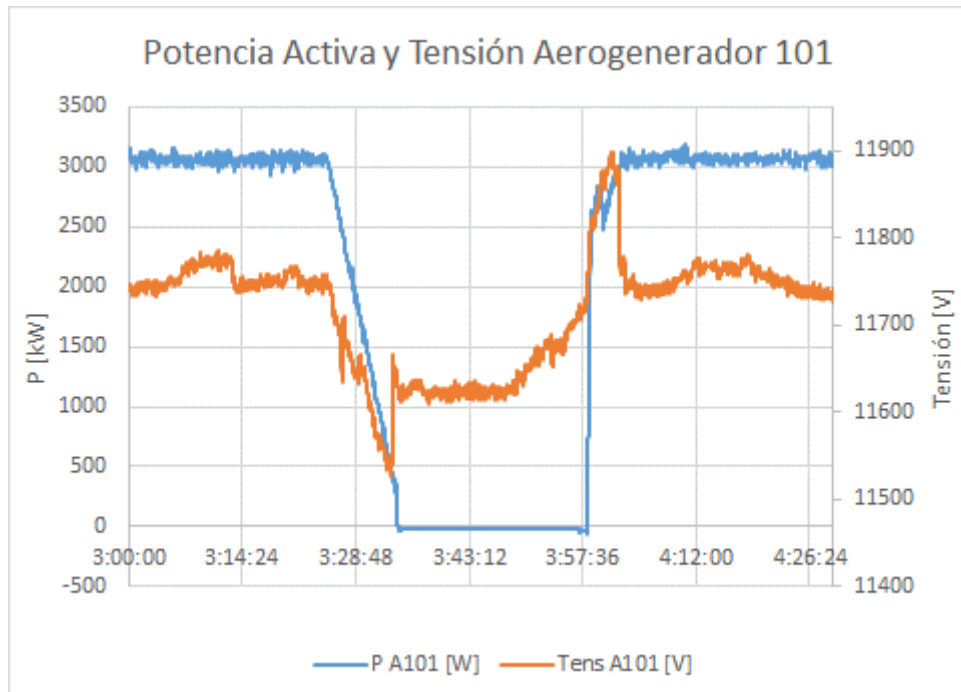


Figura 5.3: Gráfico de potencia activa (ordenada izquierda) y tensión (ordenada derecha) del aerogenerador 101 durante la prueba de mínimo técnico del parque eólico Tolpán Sur – fecha de realización 31/08/2020.

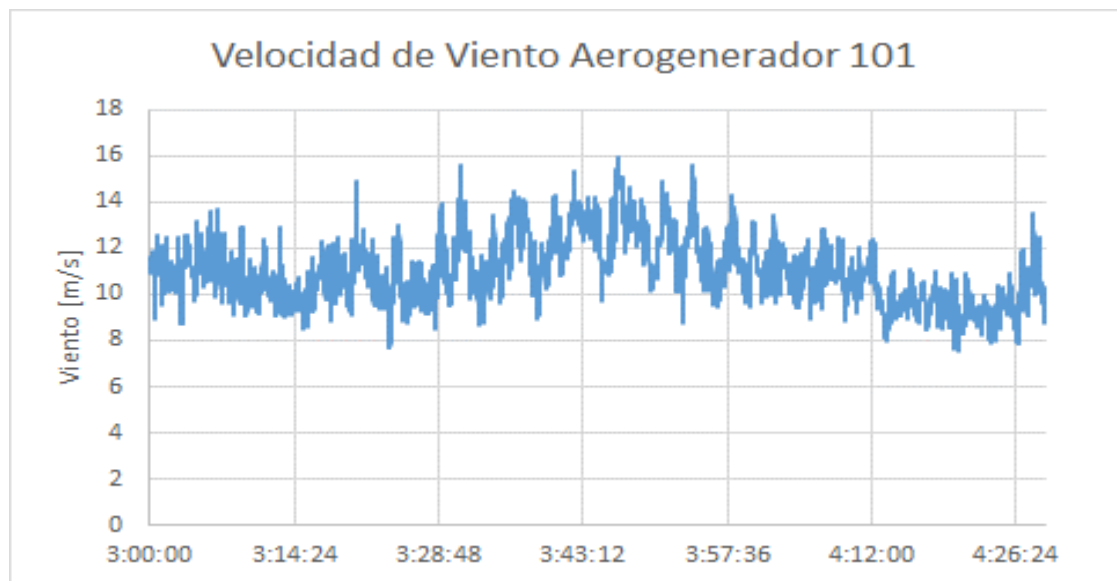


Figura 5.4: Gráfico de velocidad del viento del aerogenerador 101 durante la prueba de mínimo técnico del praque eólico Tolpán Sur – fecha de realización 31/08/2020-.

En la Figura 5.3 se puede observar que el aerogenerador reduce su generación hasta un valor de 0 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 5.4 se observa que la velocidad del viento que sufre múltiples variaciones dentro del período de pruebas (entre las 3:00:00 y las 4:30:00 horas) en torno a un valor de 10,84 m/s. Sin perjuicio de lo anterior, durante el período en que el aerogenerador permanece sin entregar potencia activa a la red (entre las 3:30:00 y las 4:00:00 aproximadamente) la velocidad del viento promedio alcanza un valores superiores a los 10 m/s (velocidad a la cual el aerogenerador puede alcanzar su potencia activa

nominal de 3000 kW) por lo cual se puede concluir que a pesar de la variabilidad del recurso primario (el viento y su velocidad), durante las pruebas el mismo se encuentra en condiciones para la generar su potencia nominal.

En base a las mediciones realizadas en campo y lo detallado en este apartado el mínimo técnico del aerogenerador AW3000 se puede establecer en:

EQUIPO	MÍNIMO TÉCNICO (MW)	VELOCIDAD DE VIENTO (m/s)
AEROGENERADOR 101	0	12,09

Tabla 5.1: Resultados del mínimo técnico por aerogenerador.

5.2. MÍNIMO TÉCNICO A NIVEL DE PARQUE (NETO)

En función de la consigna de potencia activa recibida del operador, el SGCS 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 los aerogeneradores. El arranque o detención de los 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 detención 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 dar orden de arranque a los aerogeneradores que pudiesen estar detenidos.

La estrategia combinada de consigna de potencia y ordenes de parada/arranque 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 (8,4 MW en función de las condiciones de viento en el parque) se comience a parar aerogeneradores. Para el escenario de todos los aerogeneradores pausados menos uno y con suficiente recurso de viento tal que podría generar una potencia de entorno a la nominal, se establece una referencia mínima de 0.4 MW, que supone un 13.33% de la potencia disponible de la turbina en marcha.

A continuación, se muestra el fichero de parametrización del SGCS del parque eólico Tolpán Sur, mediante el cual queda configurado el parámetro 17 del subsistema de control de potencia activa con un valor de 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 wigs (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_StopTurbsLev
2	(INFO)						
3	Windfarm = Tolpán						
4	FileName = PMSPPC077.200.03						
5	Checksum = 4654.593						
6	ParamCount = 218						
165	pm_act_17 =			0.9			
166	pm_act_17_lo =			0.1			
167	pm_act_17_hi =			1			

Figura 5.5: Parámetros de programación del SGCS para limitar la potencia activa del praque eólico Tolpán Sur [4].

Sin perjuicio de lo anterior, en estado excepcional y mediante una orden forzada se puede establecer una consigna de 0 MW en el SGCS de tal forma que todos los aerogeneradores dejen de entregar

potencia al sistema y permanezcan en un estado de “stand-by”, teniendo sus barras energizadas y estando sincronizados a la frecuencia del sistema.

5.3. METODOLOGÍA DE DETERMINACIÓN DE MÍNIMO TÉCNICO DE PLANTA (BRUTO)

Como se indicó en el párrafo anterior, las limitaciones que fijan el mínimo técnico del parque eólico Tolpán Sur 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 de 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 de viento o la disponibilidad del recurso primario, por lo cual la única forma de limitar la generación y disminuirla es 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 de 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 red o sincronizado con la red.

5.3.1. MEDICIONES DE CAMPO PARA DETERMINAR EL MÍNIMO TÉCNICO DE PLANTA

Por lo tanto, para determinar el mínimo técnico de planta se realizó una prueba mediante el SGCS en el día 31/08/2020. Dicha prueba consistió en el cambio de consigna de la generación de potencia activa hasta 0 MW durante un lapso de tiempo, mientras que en forma simultánea se estaban registrando las medidas en el PoC para determinar la mínima potencia inyectada por el parque. Luego de esto se reestableció la consigna de máxima potencia del parque. El lapso de tiempo de la prueba fue desde 3:00:00 a hasta las 4:30:00.

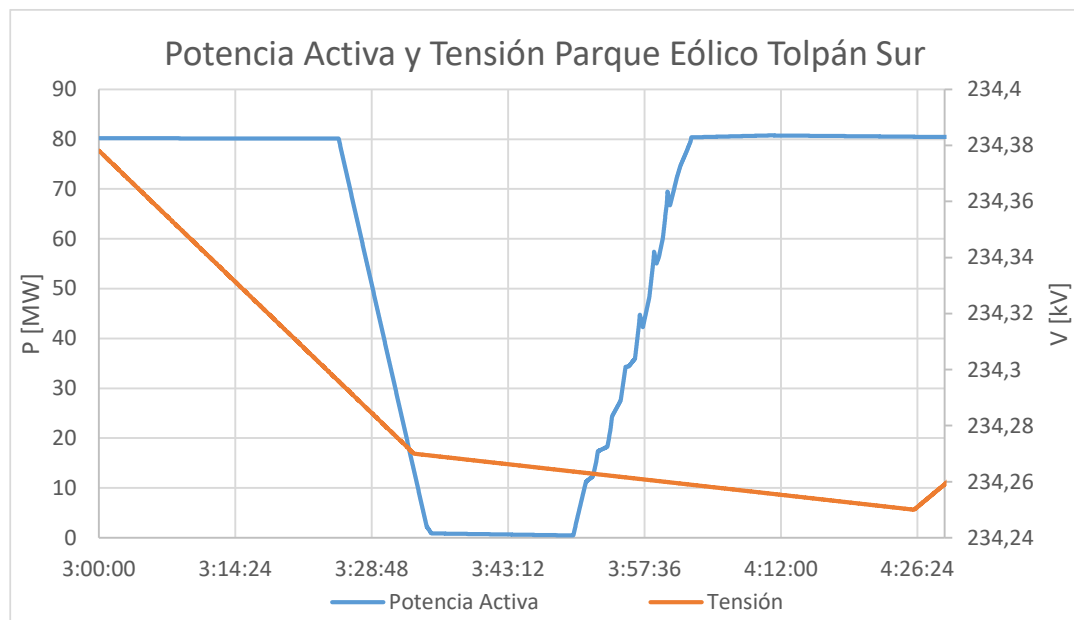


Figura 5.6: Gráfico de potencia activa (eje vertical izquierdo) y tensión (eje vertical derecho) durante la prueba de mínimo técnico del parque eólico Tolpán sur, fecha de realización 31/08/2020.

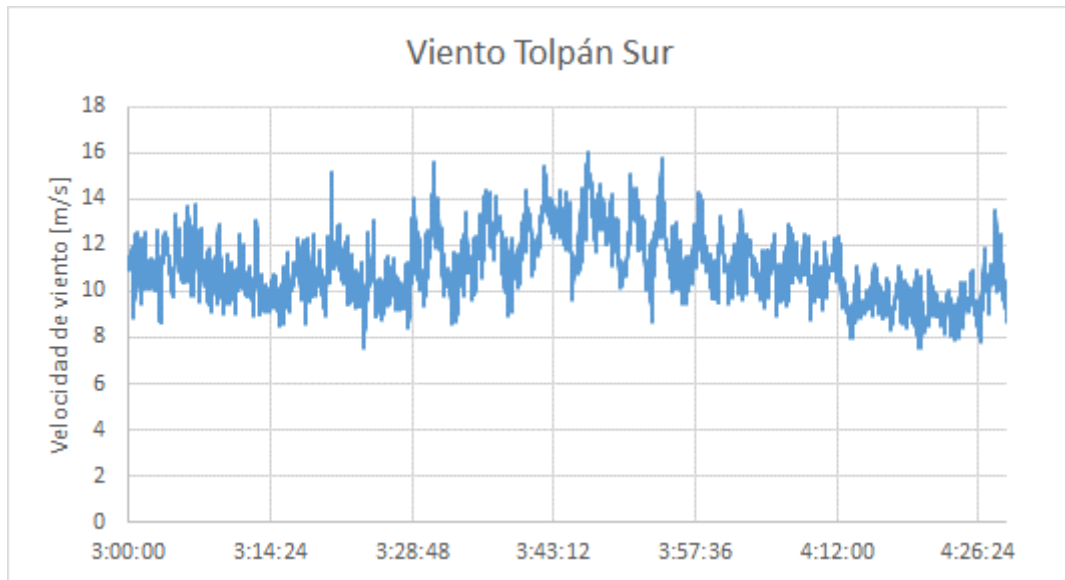


Figura 5.7: Gráfico de velocidad de viento durante la prueba de mínimo técnico del parque eólico Tolpán sur, fecha de realización 31/08/2020.

Como se evidencia en las figuras anteriores, durante la prueba de mínimo técnico realizada en el praque se fuerza para que el control de planta entregue una orden de generar 0 MW con lo cual decae rápidamente la generación del praque 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. Esto se respalda al poder ver tensión en su barra. De acuerdo a la figura Figura 5.7 la velocidad del viento para el período de pruebas (03:00:00 hasta 04:30:00) alcanza un valor promedio de 10,84 m/s, valor superior cercano a la velocidad de viento a la cual los aerogeneradores alcanzan su potencia nominal de 3 MW (10 m/s).

Para determinar el mínimo técnico de generación del campo eólico de la planta, se toma en cuenta los componentes que introducen pérdidas a la potencia generada por el parque eólico tales como:

- Red de media tensión, compuesta por 5 circuitos de cable subterráneo de 33 kv, en el cual se transmite la energía generada por cada estación de potencia a la barra colectora de 33 kV.
- Transformador elevador de 220/33 kV.
- Servicios Auxiliares de planta.
- Servicios Auxiliares de aerogeneradores.

Para poder calcular las pérdidas de los elementos anteriormente nombrados, y poder obtener la potencia nínima bruta de la planta se procede a considerar la simulación de flujos de potencia sobre la base de datos modelada [2] en el software PowerFactory de DigSilent.

5.4. CÁLCULO DE PÉRDIDAS ASOCIADAS AL TRANSFORMADOR DE SUBESTACIÓN

Considerando la simulación del flujo de potencia nombrada en el punto 5.3 se pueden determinar las pérdidas de potencia asociadas al transformador elevador de 220/33 kV, restando la potencia recibida por la barra colectora de 33 kV y la entregada a la salida del transformador en su lado de 220 kV, estas magnitudes se **destacan** en la siguiente figura Figura 5.10.

INFORME

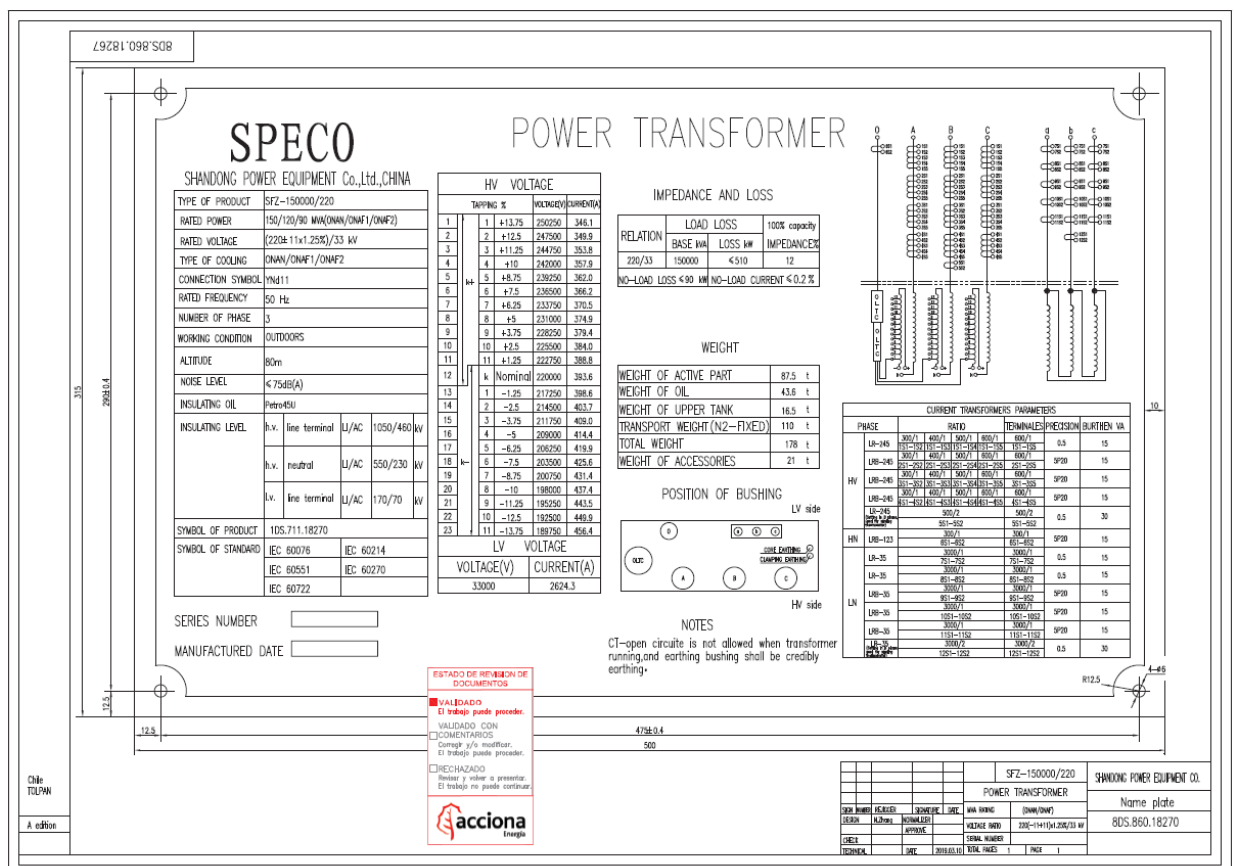
MÍNIMO TÉCNICO: CENTRAL EÓLICA TOLPÁN SUR

La modelación del transformador elevador consideró los datos ingresados en la plataforma infotécnica del coordinador eléctrico nacional. La configuración del transformador en la base de datos de PowerFactory y la placa de datos del transformador se puede observar en las siguientes figuras:

2-Winding Transformer Type - Templates\Template PE Tolpan\Library\Equipment Type Library\Biblioteca\150 MVA_TypAT-MT_PE Tolpan.TypTr2

Basic Data	Name	150 MVA_TypAT-MT_PE Tolpan	OK	
Description	Technology	Three Phase Transformer	Cancel	
Version	Rated Power	150, MVA		
Load Flow	Nominal Frequency	50, Hz		
Short-Circuit VDE/IEC	Rated Voltage		Vector Group	
Short-Circuit Complete	HV-Side	220, kV	HV-Side	YN
Short-Circuit ANSI	LV-Side	33, kV	LV-Side	D
Short-Circuit IEC 61363	Positive Sequence Impedance		Phase Shift	11, *30deg
Short-Circuit DC	Short-Circuit Voltage uk	11,6 %	Name	YNd11
Simulation RMS	Copper Losses	423,9 kW		
Simulation EMT	Zero Sequence Impedance			
Protection	Short-Circuit Voltage uk0	11,53 %		
Power Quality/Harmonics	SHC-Voltage (Re(uk0)) uk0r	0, %		
Reliability				
Hosting Capacity Analysis				
Optimal Power Flow				

Figura 5.8: Modelado del transformador elevador de 220/33 kV del parque eólico Tolpán Sur.



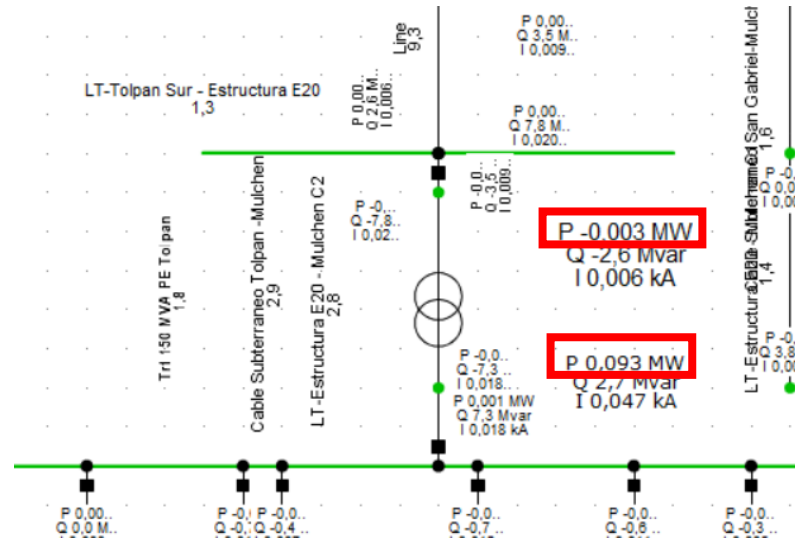


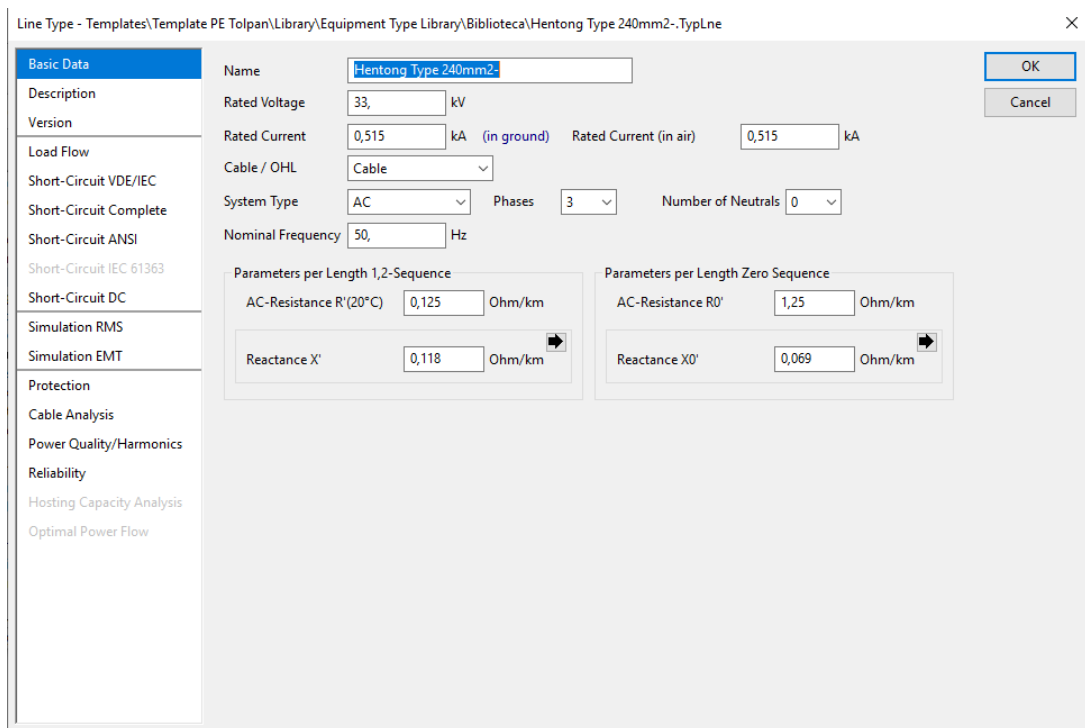
Figura 5.10: Cálculo de flujo de potencia en la línea de transmisión de 220 entre S/E Tolpán Sur y S/E Mulchén.

$$\text{Perdidas transformador elevador } 220/33 \text{ kV} = 0,093 \text{ MW} - 0,003 \text{ MW} = 90 \text{ kW}$$

5.5. CÁLCULO DE PERDIDAS ASOCIADAS A LA RED DE MEDIA TENSIÓN (33 KV)

Para poder calcular las pérdidas asociadas a la red de media tensión de 33 kV del parque eólico Tolpán Sur, se procedió a realizar una simulación de flujos de potencia sobre la base de datos modelada [2] en el software PowerFactory de DigSilent.

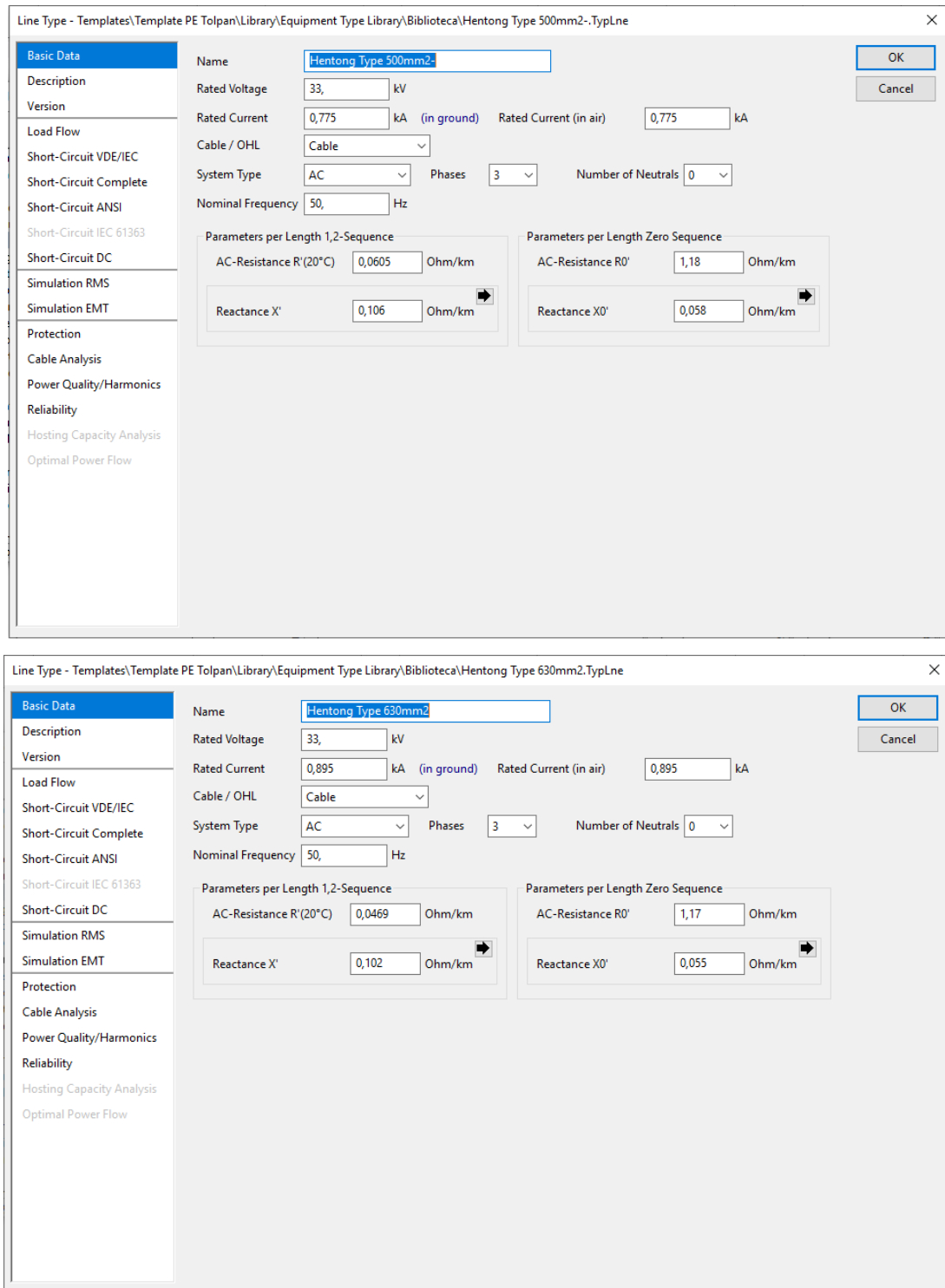
Tomando la base de datos nombrada anteriormente, se impuso el mínimo técnico determinado por medidas de campo en POC, para establecer a la planta en la situación presentada en el apartado 5.2.



Toda copia impresa o informática de este documento, no residente en los sistemas de ACCIONA, es considerada NO CONTROLADA. (Excepto aquellas copias que explícitamente tengan el sello COPIA CONTROLADA en el mismo)

INFORME

MÍNIMO TÉCNICO: CENTRAL EÓLICA TOLPÁN SUR



The figure shows two screenshots of a software interface for defining cable models. Both windows have a sidebar on the left with categories like 'Basic Data', 'Short-Circuit VDE/IEC', 'Simulation RMS', etc.

Top Window: Hentong Type 500mm2

- Name: Hentong Type 500mm2
- Rated Voltage: 33 kV
- Rated Current (in ground): 0,775 kA
- Rated Current (in air): 0,775 kA
- Cable / OHL: Cable
- System Type: AC
- Phases: 3
- Number of Neutrals: 0
- Nominal Frequency: 50 Hz
- Parameters per Length 1,2-Sequence:
 - AC-Resistance R' (20°C): 0,0605 Ohm/km
 - Reactance X': 0,106 Ohm/km
- Parameters per Length Zero Sequence:
 - AC-Resistance R0': 1,18 Ohm/km
 - Reactance X0': 0,058 Ohm/km

Bottom Window: Hentong Type 630mm2

- Name: Hentong Type 630mm2
- Rated Voltage: 33 kV
- Rated Current (in ground): 0,895 kA
- Rated Current (in air): 0,895 kA
- Cable / OHL: Cable
- System Type: AC
- Phases: 3
- Number of Neutrals: 0
- Nominal Frequency: 50 Hz
- Parameters per Length 1,2-Sequence:
 - AC-Resistance R' (20°C): 0,0469 Ohm/km
 - Reactance X': 0,102 Ohm/km
- Parameters per Length Zero Sequence:
 - AC-Resistance R0': 1,17 Ohm/km
 - Reactance X0': 0,055 Ohm/km

Figura 5.11: Modelos del cable subterráneo que permiten evacuar la generación de los aerogeneradores hasta la barra colectora de 33 kV del prauqe eólico Tolpán Sur.

De la simulación de flujos de potencia en el software de Digsilent, PowerFactory, tomando el modelo provisto por el fabricante del aerogenerador y considerando el modelado de la red de media tensión de 33 kV; modelando los 5 circuitos de media tensión y los circuitos que conectan los aerogeneradores entre sí, se determina la potencia que el parque entrega a la barra colectora de 33 kV (se **destaca** en la siguiente figura), con lo cual se determinana las pérdidas que genera la red de media tensión.

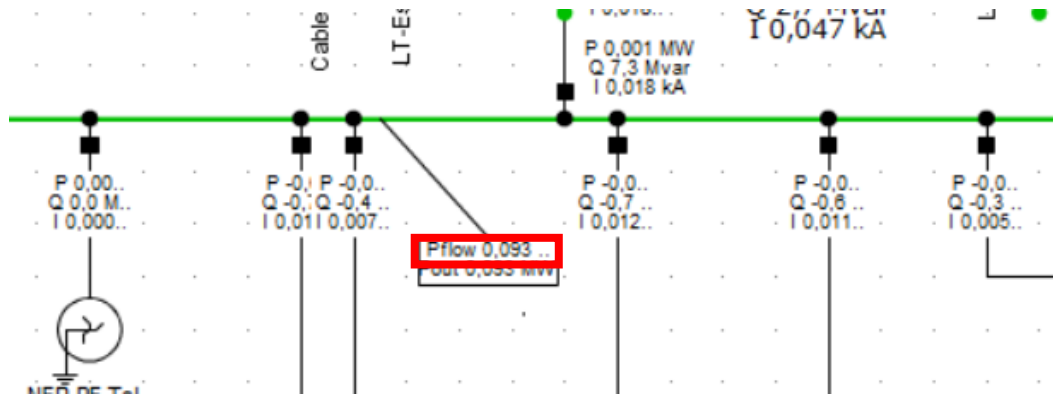


Figura 5.12: Cálculo de flujo de potencia en la barra colectora de 33 kV del parque eólico Tolpán Sur, considerando la modelación de la red de media tensión de 33 kV.

De la simulación se aprecia que la generación por el campo eólico total es:

$$\text{Generación Eólica} = 0,007 \text{ MW} * 28 = 0,196 \text{ MW}$$

Por lo que las pérdidas en la red de media tensión resultan ser:

$$\text{Pérdidas red MT} = 0,196 \text{ MW} - 0,093 \text{ MW} = 0,1030 \text{ MW}$$

5.6. CONSUMO DE SERVICIOS AUXILIARES DEL PARQUE EÓLICO TOLPÁN SUR

De acuerdo a lo indicado en la memoria “Memoria de Calculo Dimensionamiento SS/AA S/E Tolpán” [6], se estiman los consumos asociados a los servicios auxiliares de corriente alterna y corriente continua de forma conservadora para considerar el caso más desfavorable. Por lo tanto, las pérdidas por concepto de SS/AA asociadas al querque eólico se presentan en las siguientes tablas de acuerdo a lo indicado en [6]:

INFORME
MÍNIMO TÉCNICO: CENTRAL EÓLICA TOLPÁN SUR

A.- CONSUMO C1, CARGAS PERMANENTES							
SISTEMAS DE CONTROL Y PROTECCIONES							
Paño	Ítem	Descripción	Cant.	Potencia Unitaria (W)	Factor de eficiencia	Potencia Total (W)	Corriente (A)
52JT1 (PAÑO TOLPÁN)	1	Protección 87T	1	40	1	40	0,38
	2	Protección 87L	1	40	1	40	0,38
	3	Protección 21/21N	1	40	1	40	0,38
	4	Protección 51/51N	1	40	1	40	0,38
	5	Equipo controlador CP	1	40	1	40	0,38
	6	Equipo facturación	2	40	1	80	0,75
	7	Relés auxiliares (Global)	1	20	1	20	0,19
	8	Alarmas	1	15	1	15	0,14
	9	Otros	1	10	1	10	0,09
	10	Switch de comunicación	1	20	1	20	0,19
	11	Equipos de Teleprotección	1	75	1	75	0,71
	12	Instrumentacion Transformador	1	40	1	40	0,38
	13	90V	1	40	1	40	0,38
	14	Osciloperturbografo	1	45	1	45	0,42
	15	protección Zig-Zag	1	40	1	40	0,38
SWITCHGEAR 33 KV	1	Equipo Proteccion con funcion de control	8	40	1	320	3,01
	2	Relés auxiliares (Global)	1	20	1	20	0,19
	3	Alarmas	1	15	1	15	0,14
	4	Otros	1	10	1	10	0,09
CONTROLADOR SS/AA	1	Equipo controlador CP	1	40	1	40	0,38
	2	Switch de comunicación	1	20	1	20	0,19
	3	Relés auxiliares (Global)	1	20	1	20	0,19
	4	Alarmas	1	15	1	15	0,14
	5	Otros	1	10	1	10	0,09
ARMARIO SCADA COMUNICACIÓN	1	Concentrador de datos	2	300	1	600	5,65
	2	HMI	1	130	1	130	1,22
	3	Switch comunicación	2	20	1	40	0,38
	4	Router/Firewall	2	25	1	50	0,47
TOTAL CONSUMO C 1						1875	17,65

Tabla 5.2: Consumos de SS/AA de C.C. de tiempo permanente [6].

Alimentador	CONSUMOS ESENCIALES	kW	Factor de Demanda	kW Total
CA2-1	Cargador de baterías N°1	9,00	0,5	4,50
CA2-2	Cargador de baterías N°2	9,00	0,5	4,50
CA2-3	Alimentación Alumbrado y Calefacción Equipos de Patio	2,85	1	2,85
CA2-4	Alimentación Alumbrado y Calefacción Arm. C&P y Tableros Sala	3,00	1	3,00
CA2-5	Alimentación sistema de seguridad y televigilancia	1,50	1	1,50
CA2-6	Alimentación Alumbrado y Fuerza Tablero Sala Esencial	3,16	1	3,16
CA2-7	Alimentación Alumbrado y Fuerza Tablero Patio Esencial	4,99	1	4,99
CA2-8	Alimentación Aire Acondicionado Esencial	6,00	0,7	4,20
CA2-9	Alimentación Sistema de Deteccion de Incendios	1,00	1	1,00
CA2-10	Alimentación Servicios Grupo Electrógeno	1,00	1	1,00
CA2-11	Alimentación Edificio control parque esencial	10,00	1	10,00
CA2-12	Alimentación Alumbrado y Calef. Switchgear	2,00	1	2,00
CA2-13	Alimentación y Control Ventilación Transformador N°1	5,00	1	5,00
CA2-14	Alimentación CTBC Transformador N°1	2,00	1	2,00
CA2-15	Alimentación Motor Desconectador	5,70	1	5,70
CA2-16	Reserva	0,00	0	0,00
CA2-17	Reserva	0,00	0	0,00
CA2-18	Reserva	0,00	0	0,00
CA2-19	Reserva	0,00	0	0,00
TOTAL CONSUMO				55,4

Tabla 5.3: Consumos de SS/AA de C.A. y C.C asociados a la barra de servicios esenciales del parque eólico Tolpán Sur [6].

INFORME

MÍNIMO TÉCNICO: CENTRAL EÓLICA TOLPÁN SUR

Alimentador	CONSUMOS NO ESENCIALES	kW	Factor de Demanda	kW
				Total
CA1-1	Tablero de alumbrado y Fuerza Sala No Esencial	2,59	1	2,59
CA1-2	Tablero de alumbrado y Fuerza Patio No Esencial	4,83	1	4,83
CA1-3	Aire Acondicionado Casa SS/AA	8,00	0,7	5,60
CA1-4	Alimentación edificio control parque no esencial	15,00	1	15,00
CA1-5	Reserva	0	0	0,00
CA1-6	Reserva	0	0	0,00
CA1-7	Reserva	0	0	0,00
CA1-8	Reserva	0	0	0,00
TOTAL CONSUMO				28,02

Tabla 5.4: consumos de SS/AA de C.A. y C.C. asociados a la barra de servicios no esenciales del parque eólico Tolpán sur [6].

En su totalidad:

$$\text{Consumo de SS. AA. de la Central} = 1875 \text{ W} + 55,4 \text{ kW} + 28,02 \text{ kW} = 85,295 \text{ kW}$$

5.7. CONSUMOS DE SERVICIOS AUXILIARES EN LOS AEROGENERADORES DEL PARQUE EÓLICO TOLPÁN SUR

De acuerdo al documento "DG200404 Potencia de Servicios Auxiliares AW3000" [7], el consumo máximo de servicios auxiliares del aerogenerador AW3000 construido por Nordex-Acciona WindPower haciendo a un valor máximos de 113, 5 kW por aerogenerador, sin embargo, este valor no es real ya que en sus distintas etapas de operación (stand-by, partida, 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" [8] se puede establecer que en estado de pausa el equipo consume 20 kW mientras que en estado de marcha normal consume 50 kW, lo anterior se puede observar en los registros del sistema SCADA durante las pruebas de mínimo ya que mientras el aerogenerador permanece sin inyectar potencia activa a la red, pero con su barra de 12 kV energizada, 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:

CONSUMOS EN STAND-BY/PAUSA	CONSUMOS EN OPERACIÓN
20 kW	50 kW

Tabla 5.5: Consumos de SS.AA. del aerogenerador AW3000 del parque eólico Tolpán Sur [8].

Por lo que el consumo SS.AA. del total de aerogeneradores del parque durante el mínimo técnico es de:

$$\text{Consumo total SS. AA. aeros.} = 20 \text{ kW} \times 27 + 50 \text{ kW} = 590 \text{ kW}$$

5.8. CÁLCULO DE MÍNIMO TÉCNICO (BRUTO) DEL PARQUE EÓLICO TOLPÁN SUR

A partir de los cálculos antes descritos se puede determinar el mínimo técnico bruto del parque eólico Tolpán Sur:

ELEMENTO	CONSUMO/ PÉRDIDA
Potencia activa inyectada en la barra de 220 kV (AT) de la central	0,003 MW
Potencia activa inyectada en la barra de 33 kV (MT) de la central	0,093 MW
Pérdidas en el transformador de poder de la central	90 kW

INFORME
MÍNIMO TÉCNICO: CENTRAL EÓLICA TOLPÁN SUR

Servicios Auxiliares Totales (central + aerogeneradores)	675,295 kW
Pérdidas en el sistema colector del parque ERNC	0,1030 MW

Por lo tanto, tomando en consideración todo lo anterior se tiene que el mínimo técnico de generación del parque previo al sistema de colección:

$$P_{MT} = 0,003 \text{ MW} + 0,090 \text{ MW} + 0,675295 \text{ MW} + 0,1030 \text{ MW} = 0,87 \text{ MW}$$

6. CONCLUSIONES

En este informe se revisan los antecedentes técnicos de los aerogeneradores que componen el parque eólico Tolpán Sur, describiendo su funcionamiento y comportamiento en régimen permanente y transitorio, con el objetivo final de describir la estrategia de control implementada en el aerogenerador que fija los valores mínimos de potencia (mínimo técnico).

Se confirma, mediante el uso de control de planta, que el **mínimo técnico (bruto) del parque eólico Tolpán sur es de 0,87 MW.**

7. BIBLIOGRAFÍA

- [1] 31363 - *Diagrama Unilineal General 33kV - R3.0.pdf.*
- [2] Acciona Energía, *PE Tolpan Detallado 200401.pfd.*
- [3] *DG200032_N_AW3000_Electrical datasheet.pdf.*
- [4] *IAC0420 Mínimo técnico P.E.Tolpan.pdf.*
- [5] SHANDONG POWER EQUIPMENT CO., *4-18270-Name plate-20190403-Validado.pdf.*
- [6] Acciona Energía, *TOLPAN_W_DSS_EN_CST_HVS_101000012.pdf.*
- [7] *DG200404_A Potencia servicios auxiliares.pdf.*
- [8] *Correo consumos SSAA AW3000 Windpower".pdf.*

NOTA. Completar la tabla con la documentación, legislación, normativa, etc. que esté relacionada con el documento.