



Informe Técnico

Determinación de Mínimo Técnico de Central Térmica Santa María

SUBGERENCIA DE SISTEMAS ELÉCTRICOS

A	05.08.2024	Revisión interna	JL	GN	GN
Rev.	Fecha	Naturaleza de revisión	Preparado	Revisado	Aprobado

Contenido

1. Introducción.....	3
2. Objetivo.....	3
3. Metodología	3
4. Antecedentes	4
4.1 Antecedentes técnicos de diseño.....	4
4.1.1 Manual de operación y mantenimiento.....	5
4.1.2 Diagramas de operación	5
4.2 Recomendaciones del fabricante	6
4.3 Antecedentes nacionales o internacionales de unidades similares	6
4.4 Antecedentes y restricciones operacionales.....	6
4.4.1 Restricciones termodinámicas	6
4.4.2 Restricciones ambientales.....	7
4.4.3 Antecedente de falla en rotor de baja presión de turbina de vapor	7
4.5 Recomendaciones de Black & Veatch.....	8
4.5.1 Mínimo técnico termodinámico.....	9
4.5.2 Mínimo técnico ambiental	9
5. Conclusiones	10
6. Anexos	11
Anexo 1 Informe de estudio realizado por Black & Veatch	11
Anexo 2 Manual de la Caldera	11
Anexo 3 Manual de Molinos	11
Anexo 4 Informe de Performance 2017	11
Anexo 5 Heat Balance	11
Anexo 6 Thermal Kit	11
Anexo 7 Registro de pruebas Julio 2024	11

1. Introducción

El presente documento proporciona los antecedentes técnicos necesarios para actualizar el parámetro de Mínimo Técnico de Central Térmica (CT) Santa María, actualmente de 178 MW brutos aceptado por el Coordinador Eléctrico Nacional (CEN) mediante carta DE 02653-18, de fecha 26 de junio de 2018.

Con el objetivo de aumentar la flexibilidad de CT Santa María, mediante la reducción del valor de mínimo técnico vigente, Colbún S.A. contrató en noviembre de 2023 la asesoría del Consultor Black & Veatch. Esta empresa cuenta con reconocida y vasta experiencia en centrales con esta tecnología, habiendo llevado a cabo este trabajo en compañías como Drax Power UK, Duke Energy, Gainesville Regional Utilities, LGE&KU Utilities, TransAlta Canada, Vistra Energy, además, han hecho trabajos de investigación para el EPRI (Electric Power Research Institute)

Se buscó tener un diagnóstico fundado de factibilidad que asegure la estabilidad, seguridad y confiabilidad de la operación de la unidad a través de la implementación de mejoras y las correspondientes pruebas de corroboración.

2. Objetivo

Actualizar el parámetro de Mínimo Técnico de CT Santa María de acuerdo con lo establecido en el Anexo Técnico "Determinación de Mínimos Técnicos en Unidades Generadoras" de la Norma Técnica de Seguridad y Calidad de Servicio (NTSyCS)

3. Metodología

Para la determinación del Mínimo Técnico de CT Santa María, Colbún S.A. contrató el servicio a la empresa Black & Veatch para revisar los antecedentes técnicos de diseño y operación de los distintos componentes críticos involucrados en el proceso de la central. El objetivo fue identificar las limitaciones que cada uno de estos podría presentar y, a partir de ello, definir e implementar mejoras que permitieran reducir el valor vigente del Mínimo Técnico.

Este estudio determina después de un extenso análisis de transferencia de calor de la caldera, del ciclo agua-vapor, sistema aire-gases y otros, que la caldera y la turbina de CT Santa María pueden reducir su carga mínima desde aproximadamente 178 MW brutos hasta un mínimo de aproximadamente 128 MW brutos. Asimismo se realizan recomendaciones de ajustes en el sistema de control de los drenajes de los calentadores de manera que puedan operar a este valor.

Luego de revisar los antecedentes técnicos y de definir e implementar las mejoras, se realizaron pruebas operacionales para corroborar la factibilidad de las mejoras propuestas y su impacto en actualización del Mínimo Técnico. Estas pruebas fueron programadas con el propósito de reducir sistemáticamente el nivel de generación, controlando los parámetros termodinámicos en diferentes etapas o estados de los equipos principales.

Adicionalmente, se buscó asegurar que el mínimo técnico termodinámico determinado cumpliera con todos los límites de emisiones estipulados en el Decreto Supremo (DS) N°13/2011 y la Resolución de Calificación Ambiental (RCA) N° 176/2007. Este valor de

potencia fue identificado como el Mínimo Técnico Ambiental. Las pruebas se llevaron a cabo entre el 22 y el 29 de julio de 2024.

La caldera de CT Santa María cuenta con cuatro pulverizadores o molinos para carbón, de los cuales tres son suficientes para mantener la carga base. Cada molino alimenta un nivel o piso de cuatro quemadores frontales. Durante las pruebas, se evaluaron distintas combinaciones de dos molinos en servicio operando al nuevo mínimo técnico propuesto, con el objetivo de identificar las combinaciones que mejor asegurasen la estabilidad de parámetros operacionales. Además, se buscó garantizar la flexibilidad necesaria para alcanzar el nuevo mínimo técnico con al menos dos combinaciones de molinos operativos. Adicionalmente, se evaluaron las condiciones de operación con y sin el Calentador de Aire a Vapor en servicio. También se ensayaron distintas concentraciones de exceso de oxígeno en la combustión para asegurar estabilidad de llama y el correcto intercambio térmico en evaporador, sobrecalentadores y recalentadores.

4. Antecedentes

La CT Santa María, que entró en funcionamiento el año 2012, tiene una potencia instalada de 370 MW brutos y consta de un generador de vapor (caldera) que utiliza Carbón Bituminoso como combustible.

4.1 Antecedentes técnicos de diseño

A continuación, se muestran los datos de placa del generador:

DATOS DE PLACA DEL GENERADOR UNIDAD SANTA MARÍA		
ITEM	DESCRIPCIÓN	VALOR
1	Nº de Fases	3
2	Potencia nominal	468 MVA
3	Voltaje nominal	18 kV
4	Corriente nominal	15,011 kA
5	Frecuencia nominal	50 Hz
6	Factor de Potencia	0,85
7	Velocidad nominal	3.000 rpm
8	Polos	2
9	Marca	General Electric

Tabla 1: Datos de placa generador.

A continuación, se muestran los datos de placa de la turbina, marca GE modelo D5:

DATOS PLACA DE LA TURBINA UNIDAD SANTA MARÍA		
ITEM	DESCRIPCIÓN	VALOR
1	Central	Santa María
2	Tipo turbina	Vapor
3	Año de construcción	2009
4	Velocidad nominal	3.000 rpm
5	Potencia nominal	369,989 MW

Tabla 2: Datos de placa turbina.

A continuación, se muestran los datos de la Caldera, marca SES Tlmace:

DATOS DE LA CALDERA UNIDAD SANTA MARÍA		
ITEM	DESCRIPCIÓN	VALOR
1	Boiler Maximum Continuous Rating (BMCR)	1215 t/h
2	Nominal pressure of superheated steam	17,2 MPa
3	Nominal temperature of superheated steam	541 °C
4	Nominal temperature of feed water	292 °C
5	Reheated steam outlet rate at BMCR	993,98 t/h
6	Reheated steam pressure at BMCR inlet /	4,47 / 4,25 MPa
7	Reheated steam temperature at BMCR inlet /	347 / 541 °C
8	Minimal boiler rating without stabilization	456 t/h
9	Minimal boiler rating with stabilization (30%)	365 t/h

Tabla 3: Datos de placa Caldera.

4.1.1 Manual de operación y mantenimiento

La central no tiene un único manual de operación y mantenimiento, ya que cada equipo principal tiene uno individualmente y suministrado por su fabricante. Sin embargo, en las secciones siguientes, se presentan antecedentes que son de utilidad para determinar el Mínimo Técnico y que fueron extraídos de los manuales del generador, turbina y caldera (ejemplo la curva PQ y Heat Balance)

4.1.2 Diagramas de operación

En la Figura 1 se muestra el diagrama PQ del generador de CT Santa María, del cual se desprende que no existe un valor mínimo de inyección de potencia activa.

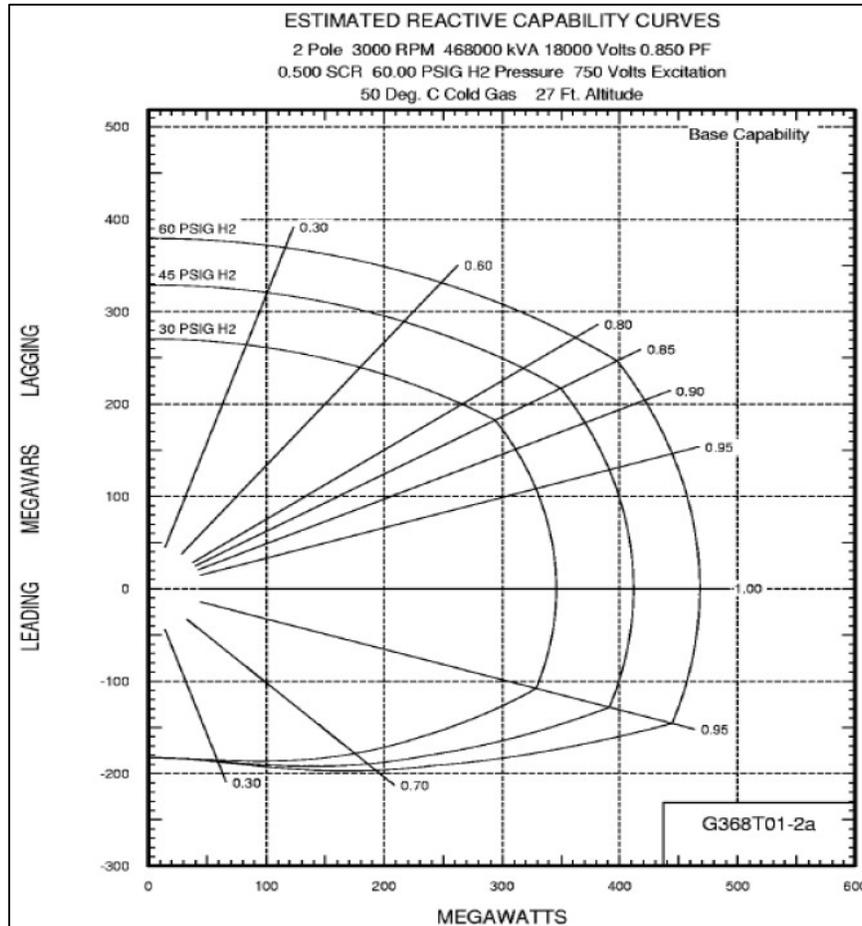


Figura 1: Diagrama PQ generador CT Santa María.

4.2 Recomendaciones del fabricante

Las recomendaciones entregadas por el fabricante General Electric para la operación de generador y turbina de vapor de la central están incluidas en su Thermal Kit y se encuentra en el Anexo 6 del presente informe.

4.3 Antecedentes nacionales o internacionales de unidades similares

CT Santa María es prácticamente idéntica a CT Bocamina 2 de ENEL, unidad retirada del Sistema Eléctrico Nacional. Dicha unidad tenía declarado y aprobado un Mínimo Técnico Térmico de 155 MW brutos y un Mínimo Técnico Ambiental de 175 MW brutos.

4.4 Antecedentes y restricciones operacionales

En este capítulo se repasarán los antecedentes y restricciones operacionales con los que se cuenta actualmente para el valor de Mínimo Técnico vigente.

4.4.1 Restricciones termodinámicas

De acuerdo con lo informado, la restricción actual para operar bajo los 178 MW brutos se debe al funcionamiento de los drenajes de los calentadores de baja presión. Estos no pueden drenar correctamente su condensado al calentador precedente, lo que los obliga a

descargarlo a través del drenaje de emergencia directamente al condensador. Esta situación se considera como una operación de "emergencia" y conlleva el riesgo de que la unidad salga de servicio de la unidad por alto nivel de condensado de alguno de los calentadores. Lo anterior fue corroborado mediante pruebas y se consignó en el informe respectivo que fue aprobado posteriormente por el Coordinador en su oportunidad.

Por otra parte, existía una limitación por la seguridad impuesta a la caldera por estabilización automática de llama, según la cual no se podía bajar más la carga de 170 MW ni el consumo de carbón por debajo de 65 t/h. Lo anterior, activaba directamente el aporte de combustible líquido para mantener una adecuada estabilidad de llama, impidiendo la operación del grupo térmico con 100% de carbón por debajo de este valor. Se llevó a cabo una campaña de optimización de parámetros para los procesos de partida y detención de la unidad aceptado por el Coordinador Eléctrico Nacional (CEN) mediante carta DE 01159-24, de fecha 29 de febrero de 2024. En esta oportunidad se hizo ajuste a los quemadores de carbón permitiendo la operación estable de los molinos sin dicha estabilización automática, por lo anterior, ya no es necesaria cuando la unidad opera bajo 170 MW.

4.4.2 Restricciones ambientales

Según establece el Decreto Supremo N°13/2011 del Ministerio del Medio Ambiente, el límite de emisión de Óxidos de Nitrógeno (NO_x) que aplica a CT Santa María operando con carbón bituminoso es de 500 mg NO₂/Nm³. Asimismo, el límite para las emisiones del Material Particulado (MP) es de 50 mg/Nm³ y para el Dióxido de Azufre (SO₂) es de 400 mg SO₂/Nm³.

La Resolución de Calificación Ambiental (RCA) N°176/2007 establece que los límites de emisión másica que aplican a CT Santa María son:

1. 244 g/s de Dióxido de Nitrógeno (NO₂);
2. 59 g/s de Monóxido de Carbono (CO);
3. 151 g/s de Dióxido de Azufre (SO₂); y
4. 15 g/s de Material Particulado (MP).

4.4.3 Antecedente de falla en rotor de baja presión de turbina de vapor

En julio de 2019 la unidad tuvo una falla catastrófica por rotura de álabes en el rotor de baja presión de turbina de vapor. Como consecuencia de lo anterior, se desarmó dicha turbina de baja presión y se reemplazó una etapa completa de álabes rotantes dañados. Adicionalmente se hizo una reparación importante en una etapa estacionaria con daño mayor, siendo la indicación del fabricante General Electric su reemplazo en el próximo desarme de turbina. También se llevaron a cabo tareas de reparación en distintas etapas de álabes móviles y estacionarios que se encontraban con daño.

Después de haber analizado la situación, Colbún decidió hacer un reemplazo completo del rotor comprometido de baja presión, generando el pedido correspondiente para la construcción de este, el cual incluyó varias mejoras, como también el reemplazo de la etapa estacionaria que estaba con daño mayor.

El rotor se terminó de construir y se instaló en el mantenimiento mayor de 2023, donde también se reemplazó por nueva la etapa estacionaria que había sido reparada provisoriamente en 2019.

Estos reemplazos dieron la confianza para poder estudiar y de ser factible realizar cambios operativos en el ciclo agua vapor que aseguraran una operación confiable y segura.

4.5 Recomendaciones de Black & Veatch

Con el fin de analizar si es posible disminuir el valor de Mínimo Técnico vigente y aprobado para CT Santa María, Colbún S.A. encargó al Consultor Black & Veatch en noviembre del 2023 la confección de un estudio que revise los límites de los distintos equipos y sistemas que participan en el proceso de generación de la central, con el objetivo de identificar posibles mejoras que permitan disminuir este valor.

En el informe preparado por el Consultor, presentado en el Anexo 1, se muestra el análisis y los resultados del estudio considerando la revisión de los antecedentes técnicos de diseño y operacionales de los componentes críticos para el proceso de generación de la central. Se verifica que la limitación del Mínimo Técnico nuevo se encuentra en la presión en la turbina de baja presión. El riesgo está en la presencia de condensado de vapor en las últimas etapas de dicha turbina, donde algunas no están preparadas para recibir un porcentaje de agua líquida. Si esto ocurre, se puede generar un daño irreversible e incluso catastrófico en la turbina. Para este análisis se revisó el documento entregado por el fabricante de la turbina (GE Energy) denominado Thermal Kit (Anexo 6), Black & Veatch estudió el caso a través de software especializado y encontró que se podía bajar hasta 128 MW brutos como límite mantenible en el tiempo y en consecuencia seguro para la turbina de baja presión.

Por otro lado, está el problema del inadecuado funcionamiento de los drenajes de los calentadores de baja presión (especialmente del LP3, que se encuentra sin capacidad de regulación). Esto dado que no pueden drenar correctamente su condensado al calentador precedente y lo hacen a través del drenaje de emergencia directamente al condensador. Esta condición, en caso de alguna inestabilidad que se puede dar en el ciclo agua vapor, puede hacer que una válvula de emergencia abra al 100% quedando sin margen de regulación y el nivel del calentador suba hasta producir el cierre alguna extracción de turbina que vaya a un calentador. Si se alcanza un nivel superior aún en el calentador, se arriesga disparo de turbina de vapor.

Por otra parte, en el mismo estudio se menciona que después de un extenso análisis de transferencia de calor de la caldera, del ciclo agua-vapor, sistema aire-gases y otros, se determinó que la caldera y la turbina de CT Santa María pueden reducir su carga mínima desde aproximadamente 178 MW brutos hasta un mínimo de aproximadamente 128 MW brutos.

En este contexto el Consultor hizo recomendaciones de ajustes en el sistema de control de los drenajes de los calentadores de manera que puedan operar a la carga de 128 MW propuesta. Para cumplir con esto se llevaron a cabo cambios en las lógicas de control y ajuste posterior durante las pruebas efectivas realizadas en todos los calentadores con especial énfasis en el LP3 entre el 22 y 29 de julio del año 2024). El resultado final fue exitoso, ya que se pudo alcanzar este nuevo valor de mínimo técnico y mantener una

operación de la central de manera estable y segura por varias horas y para distintas configuraciones operativas.

A continuación, se describen los resultados obtenidos para los valores de Mínimo Técnico Termodinámico y Ambiental:

4.5.1 Mínimo técnico termodinámico

El Mínimo Técnico Termodinámico alcanzado fue de 128 MW brutos, equivalente al 34% de la Potencia Máxima Bruta (370 MW), el cual resultó ser estable para las distintas condiciones de operación probadas. Se pudo comprobar que la recomendación del cambio en el sistema de control de los drenajes de los calentadores fue exitosa y permite alcanzar la carga establecida por el Consultor como segura para la turbina de vapor.

Por otra parte, se realizaron pruebas de regulación de frecuencia en este estado de carga las que también resultaron satisfactorias. En algunos momentos se alcanzaron valores menores a 128 MW por eventos de sobrefrecuencia, los cuales son transitorios y no provocarían ningún tipo de daño en la turbina, generando una operación estable y continua bajo el valor recomendado por el Consultor.

En el Anexo N°7 se encuentran disponibles las variables que se monitorearon en las pruebas para determinar la estabilidad de la central, en las cuales se encuentran potencia, velocidad, presiones, temperaturas, entre otras, junto con el registro de emisión de gases durante las pruebas.

4.5.2 Mínimo técnico ambiental

En las pruebas realizadas a finales de julio de 2024, durante toda la transición desde el Mínimo Técnico vigente 178 MW brutos hasta el nuevo valor propuesto no se superaron los límites de emisión impuestos por el DS N° 13/2011 ni por la RCA N°176/2007 de CT Santa María.

5. Conclusiones

Actualmente, el Mínimo Técnico vigente para CT Santa María es de 178 MW brutos. Sin embargo, según el estudio realizado por el Consultor Black & Veatch, cuyas recomendaciones ya han sido implementadas, y con base en las pruebas realizadas, se concluye que es posible disminuir el **Mínimo Técnico a 128 MW brutos**, garantizando una operación segura y confiable. Este nuevo valor corresponde tanto al Mínimo Termodinámico como al Mínimo Ambiental. Adicionalmente, es importante destacar que, en este estado de carga, la central puede participar del Control Primario de Frecuencia.

6. Anexos

Anexo 1 Informe de estudio realizado por Black & Veatch

Anexo 2 Manual de la Caldera

Anexo 3 Manual de Molinos

Anexo 4 Informe de Performance 2017

Anexo 5 Heat Balance

Anexo 6 Thermal Kit

Anexo 7 Registro de pruebas Julio 2024