

Sociedad Eléctrica Santiago S.p.A

**INFORME DE EVALUACIÓN DE MÍNIMO TÉCNICO
CENTRAL LOS VIENTOS**



REVISIONES DEL INFORME DE ANALISIS			
ELABORÓ	REVISÓ	APROBÓ	FECHA
Richard Tapia Hidalgo Jefe O&M LVI.	Richard Tapia Hidalgo Jefe O&M LVI.	Marcelo Arellano Subgerente Producción ESSA, TG's y Laja	17/10/2017

INDICE

Contenidos		Página
Introducción	.....	1
1. Objetivo	.....	2
2. Alcance	.....	2
3. Condiciones Operativas y Criterios Actuales.	.....	3
4. Evaluación Disminución Mínimo Técnico.	.....	4
5. Limites Técnicos y Normativos	.....	9

Introducción

Este documento se informa los valores de los parámetros de mínimo técnico de la central termoeléctrica Los Vientos, para configuración de operación en modo ciclo simple, en funcionamiento con Diésel.

Se analiza y concluye el siguiente valor de interés:

- Mínimo Técnico, correspondiente a la mínima potencia de salida para la cual la turbina de gas exhibe una operación continua y estable, considerando además, el cumplimiento de emisiones.



El informe recoge información técnica relevante, principalmente proporcionada por el fabricante de la turbina, así como también información registrada durante la ejecución de ensayos en campo, realizados a efectos de verificar los valores de interés.

1. Objetivo

El objetivo de este informe técnico es dar a conocer el valor de los parámetros de mínimo técnico de central termoeléctrica Los Vientos, posteriormente evaluar disminuir el valor de potencia activa bruta mínima (Mínimo Técnico) en la cual la central puede operar en forma permanente, segura y estable inyectando energía al sistema interconectado.

En los ensayos se recolectaron toda la información técnica que el CEN solicita a efectos de sustentar los valores que están siendo informados.



Como se indica en el Anexo Técnico: Determinación de Mínimos Técnicos en Unidades Generadoras, incorporado en la Norma Técnica de Seguridad y Calidad de Servicio (NTSyCS), el valor de Mínimo Técnico corresponde a la mínima potencia activa bruta que la unidad generadora puede suministrar continuamente a la red de manera continua, segura y estable.

2. Alcance

Actualizar el valor de mínimo técnico en central Los Vientos consumiendo petróleo Diésel A-1.

Central termoeléctrica Los Vientos es un proyecto que se conecta al Sistema Interconectado Central. El proyecto consta principalmente de una planta tipo ciclo simple, transformador elevador, una subestación en 110 Kv y una línea de transmisión aérea que conecta con subestación Las Vegas.

Las características técnicas generales de las instalaciones principales se describen en la tabla 1.

Tabla 1: Principales características del proyecto Los Vientos

Conformación	Turbina de Gas	Tipo	Turbina de gas	
		N° de Serie	890902	
		Fabricante	General Electric	
		Modelo	GE9171E	
		Combustible	Petróleo Diésel A-1	
		Potencia Térmica	440 MWt	
	Generador TG	141.250 KVA Brush N° serie 909178.010 / PNGE 340x902		
Chimenea	Coordenadas UTM	WGS 84 UTM Huso 19, N.6.364.800 y E 311.600		
	Altura	35162 mm		
	Sección Cilíndrica	6000 mm	Diámetro interior	5700 mm

3. Condiciones Operativas y Criterios Actuales

3.1 Potencia Bruta Mínima: El sistema de inyección de agua a turbina para el abatimiento de NOX, inicia la operación de la primera etapa por sobre los 40 MW y se estabiliza por sobre 50MW aproximadamente. No obstante con esta carga, ante una variación en la frecuencia del sistema interconectado Central, existe el riesgo de ciclado por la habilitación y des habilitación de la inyección de agua (la carga afecta la señal WQR1 Required Wet Low NOx Inyection Flow entre otras), para esto se recomienda aumentar la carga en 10 [MW] como banda muerta. Ddebido a las múltiples variables que afectan el cálculo de la parámetros técnicos (temperatura ambiental CTIM, Humedad Relativa RHUM, entre otras), con esto, se obtiene un margen de seguridad que permite absorber variaciones externas sin poner en riesgo la estabilidad de la unidad por alguna modulación de válvulas

asociada a la pérdida y reposición de inyección de agua de forma no controlada (recomendación en base a la experiencia empírica del departamento de Operaciones y fallas ocurridas). **Considerando lo expuesto en el párrafo anterior se fijó el mínimo técnico en 60MW.**

3.2 Potencia Bruta Máxima: Según lo Indicado en la RCA 293/2005 **corresponde a 136MW.** Se debe tener en cuenta que la potencia bruta de la turbina no es constante y es inversamente proporcional a la temperatura ambiente como se puede ver en la tabla de performance: **“Fuente: Documento Data Performance 501321E2 (09/05) Rev. 1 kj de GE”.**

ESTIMATED PERFORMANCE PG9171 on liquid fuel with water injection operations

Load Condition		BASE	BASE	BASE
Ambient Temperature	deg C	-3.	15.	36.
Fuel Type		Liquid	Liquid	Liquid
Fuel LHV	kJ/kg	43 171	43 171	43 171
Fuel Temperature	deg C	27	27	27
Liquid Fuel H/C Ratio		1.9	1.9	1.9
Output	kW	138 100.	123 900.	106 100.
Heat Rate (LHV)	kJ/kWh	10 790.	10 990.	11 300.
Heat Cons. (LHV)	GJ/hr	1 490.1	1 361.7	1 198.9
Exhaust Flow	x10 ³ kg/hr	1585.3	1470.5	1324.9
Exhaust Temperature	deg C	526.7	539.4	556.1
Exhaust Energy	GJ/hr	894.8	827.4	750.8
Water Flow	kg/hr	25 673.	22 022.	13 408.

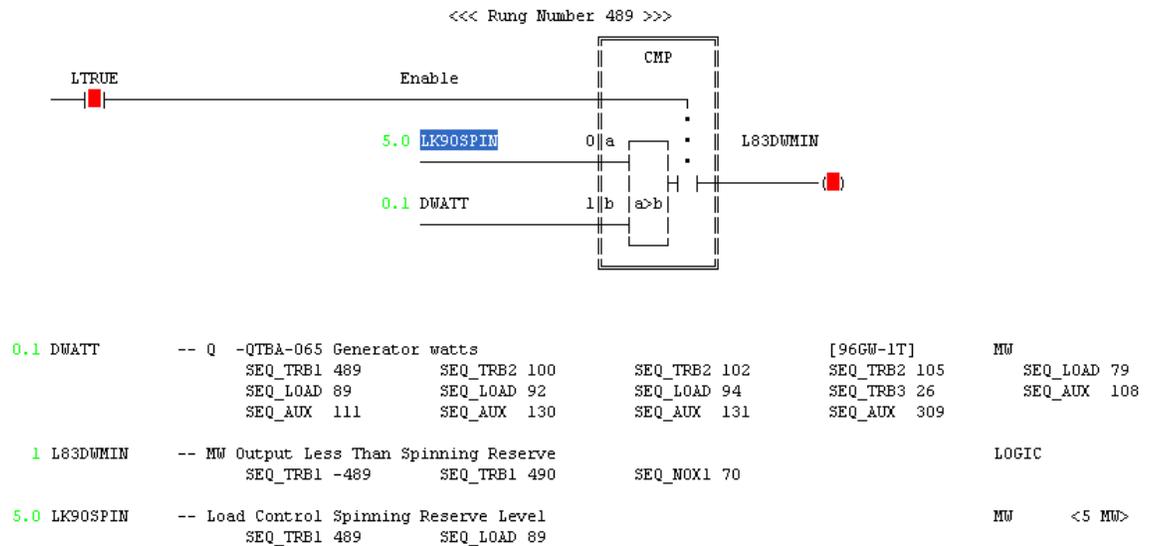
4. Evaluación Disminución Mínimo Técnico

4.1 Lógica de Control

Para la turbina de gas operando con diésel, una vez sincronizada la unidad toma 5MW. Este valor ha sido ajustado en el sistema de control de la turbina de gas Mark V, a través del bloque "Minimum Fuel Control" y señal "G1/LK90SPIN".

El valor de 5 MW se especifica para prevenir la operación del relé de potencia inversa, lo cual redundaría en la apertura del interruptor del generador. El ajuste actual de dicho

parámetro se puede observar a partir del siguiente fragmento de la lista de ajustes de los parámetros de control asociados a la turbina de gas.



Con el objetivo de poder disminuir el mínimo técnico de la TG se procede a realizar registro de parámetros de operación alrededor de 30 MW siguiendo los siguientes criterios:

- Se establece a priori como zona inestable de operación permanente, el rango de potencia entre los 40 y 50 MW, de manera de garantizar que el sistema de inyección de agua opere de manera estable.
- Se toma registro de parámetros operativos instantáneos y tendencias con la TG operando en 30MW por 1 hora sin inyección de agua para abatimientos de NOx.

4.2 Consideraciones para las Pruebas:

Por recomendaciones del fabricante de la turbina se debe tener en consideración en los análisis y pruebas los siguientes criterios para determinar un mínimo técnico sustentable en el tiempo:

- Para proporcionar capacidad de reducir potencia por acción de la Regulación Frecuencia primaria ante condiciones de sobre-frecuencia, la turbina de gas debe operar por sobre el valor de carga mínima según el Minimum Fuel Control más el monto de reserva respectivo (5 MW).

- Con la turbina operando a cargas bajas la llama tiende a aproximarse al inyector y paredes (liners) de las cámaras de combustión generando un calentamiento puntual que disminuye la vida útil de los liners. Se debe asegurar una temperatura y uniformidad de llama que no afecte los liners de combustión verificando las temperaturas de escape homogéneas y mediante Boroscopia periódicas.
- Debido a que la presión de combustible que ingresa a las cámaras de combustión es menor a bajas cargas, en funcionamiento continuo en esta condición genera que las válvulas check de combustible se traben generando fallas en la combustión que pueden dañar severamente a la turbina. Se debe monitorear una presión uniforme de combustible en el divisor de flujos a la entrada de las cámaras e inspeccionar periódicamente la correcta presión de apertura de las válvulas check de diésel de cada cámara de combustión.
- A bajas potencias de generación de la turbina el aire de atomización de diésel baja su temperatura debido a que la presión de descarga del turbocompresor es menor. Se debe monitorear que la temperatura de aire de atomización no llegue al punto de rocío.
- En bajas cargas, la llama de combustión pierde homogeneidad, es débil y genera zonas frías de combustión que se observan por el aumento de niveles de generación de CO. Lo anterior puede ser causante de diferenciales de dilatación en liner que provocan desprendimiento del coating y falla del mismo.

5. Límites Técnicos y Normativos

En resumen se tiene que el mínimo técnico es:

$$Mínimo_{Técnico} = Potencia Activa Bruta TG + Rango de Seguridad$$

Para actualizar el valor de mínimo técnico se considera disminuir ambos valores, la carga y el rango de seguridad.

5.1 Resumen Mínimo Técnico Actual

Carga Mínima TG [MWh]	Rango de seguridad [MWh]	Mínimo Técnico [MWh]
50	10	60

5.2 Límites Emisiones RCA 293/2005 Proyecto Los Vientos

Contaminante	Emisiones a T° Salida (532 °C)		Emisiones estandarizadas (0°C, 1 atm) mg/m3	Cumplimiento Norma Suiza
	Kg/hr	g/s		
Nox	156,5	43,5	127,5	Si
CO	30	8,3	24,4	Si
Compuestos Orgánicos Volátiles (COV)	3,1	0,9	2,5	-
Hidrocarburos no quemados (UHC)	6,4	1,8	5,2	-
Material Particulado	7,7	2,1	6,3	Si
SO2	3,3	0,9	2,7	Si

Contaminantes	Ton/día
NO _x	3.76
SO ₂	0,08
PM10	0,18

Al comparar los valores de emisiones registrados en las pruebas realizadas se observa que los parámetros cumplen el límite normativo.

Condición Operacional	Configuración	Ensayos (MW-Bruto)	Limitación Ambiental RCA Nox (mg/m3N)	Limitación Ambiental DS13 Nox (mg/m3N)	Emisión Ensayos Nox (mg/m3N)
Mínimo Técnico	TG1	30	127,5	200	81

Condición Operacional	Configuración	Ensayos (MW-Bruto)	Limitación Ambiental RCA CO (mg/m3N)	Emisión Ensayos CO (mg/m3N)
Mínimo Técnico	TG1	30	24,4	17,28

Condición Operacional	Configuración	Ensayos (MW-Bruto)	Limitación Ambiental RCA SO2 (mg/m3N)	Emisión Ensayos SO2 (mg/m3N)
Mínimo Técnico	TG1	30	2,7	0,5

5.3 Límites Técnicos de Turbina y Sistemas Auxiliares

Respecto a los límites técnicos al analizar los parámetros de operación durante las pruebas no se observa alteraciones, cambios o inestabilidades que puedan afectar la operación normal o estable de la turbina a las cargas ensayadas. A continuación se analiza el comportamiento de los principales sistemas de la central los cuales se pueden ver afectados por el funcionamiento continuo a baja carga (30MW).

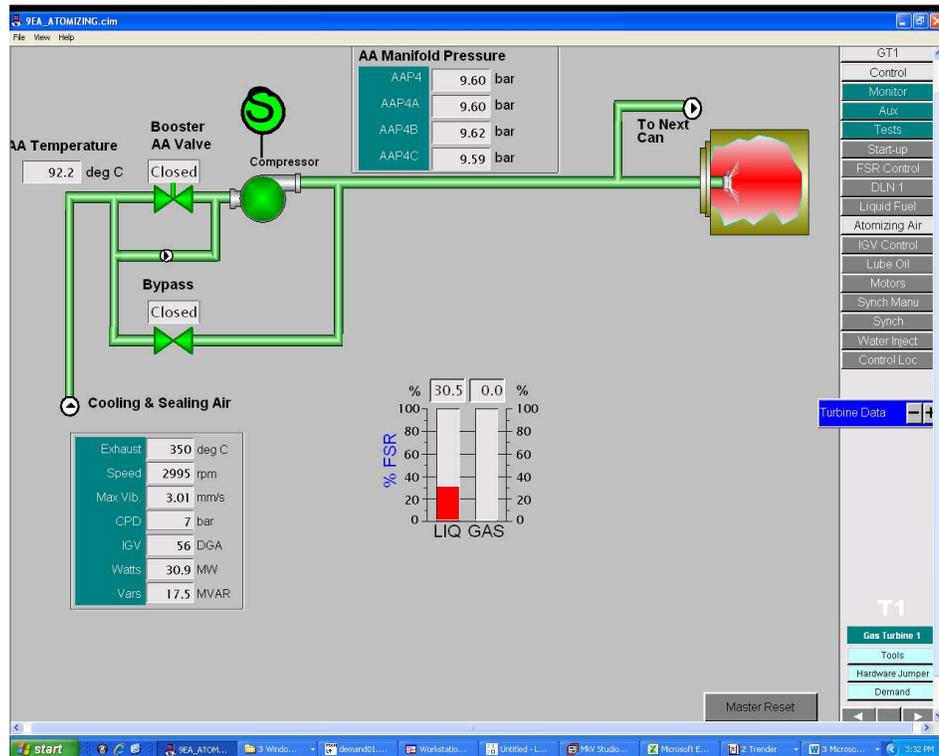
Sistema de Aire de Atomización

Al analizar los parámetros del sistema de atomización se observa que la temperatura del aire es menor que la nominal a plena carga que se registra entre los 105 y 110°C. Por otra parte también se registra que la temperatura del aire atomización a 60MW (Mínimo técnico actual) es del orden de los 95°C.

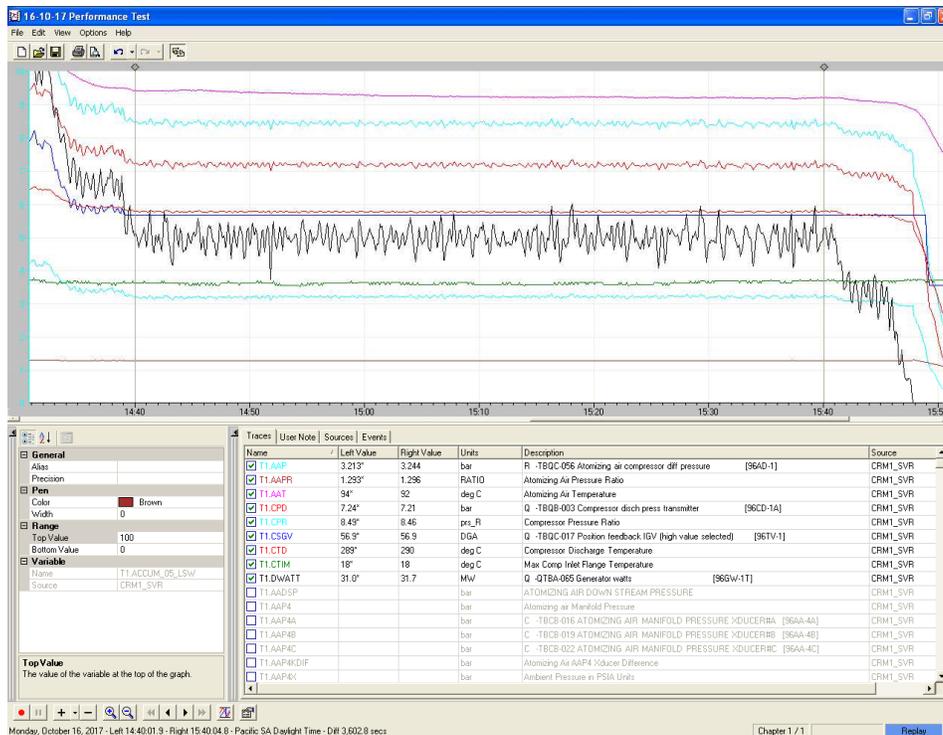
Se debe tener en cuenta que la temperatura del aire de atomización tarda aproximadamente 30 minutos en estabilizarse, por lo que durante las prueba de 1 hora a 30MW se registra una temperatura estable del aire de atomización (AAT) de 92,2°C.

Según el manual del compresor principal de aire de atomización la temperatura mínima del aire de ingreso debe ser de 93°C. Valor que incluye un factor de seguridad de 10°C sobre el punto de rocío a presión de 11Bar, que es la descarga de turbocompresor (CDC). El valor de alarma por sistema es de 90°C Como la presión de la descarga del turbocompresor CDC que alimenta al compresor de atomización es de 7Bar a 30MW, la temperatura de rocío está cercano a los 40°C por lo que la temperatura mínima de aire de atomización a 30MW se debe fijar en 60°C.

Imagen Temperatura Aire Atomización (AA Temperature)



Tendencia Temperatura y Presión Turbocompresor y Aire Atomización



COMPRESSOR START UP

Prior to starting the turbine, the following check list must be verified for atomizing air compressor start-up.

START-UP CHECK LIST

- 200°F (93°C) is the minimum allowable compressor inlet temperature. Atlas Copco recommends an inlet temperature 15 to 20°F (8 to 11°C) greater than the dew point.

NOTE: The dew point at 155 psia (11 bar A) is 195-200°F (90-93°C). At maximum inlet pressure of 155 psia (11 bar A) and an inlet temperature of 215°F (102°C), adequate superheat will be available.

- Failure to maintain the specified compressor inlet conditions will result in the following problems:
 - A temperature too low will cause excess water to be blown across the high pressure buffer seal and will cause rapid erosion of the seal, followed by excessive leakage.
 - Small droplets of water at high inlet velocity will cause impeller erosion.
 - Slugs of water from low points in the air supply system can cause abrupt failure of the compressor.
 - Inlet temperatures in excess of 250°F (121°C)

may cause the impeller to become separated from the compressor shaft.

- To prevent accumulation of condensate verify that the pre-cooler low point drain is not plugged and that there are no low points downstream of the pre-cooler where condensate could collect.

The pre-cooler drain must remain open at all times during operation.

Any low points must be drained before start-up to prevent damage to the compressor.

- To prevent impeller and housing erosion by solid particles, the blowdown line from the cyclone separator should remain open.
- Adequate oil supply pressure and temperature must be provided to the compressor before starting the turbine:

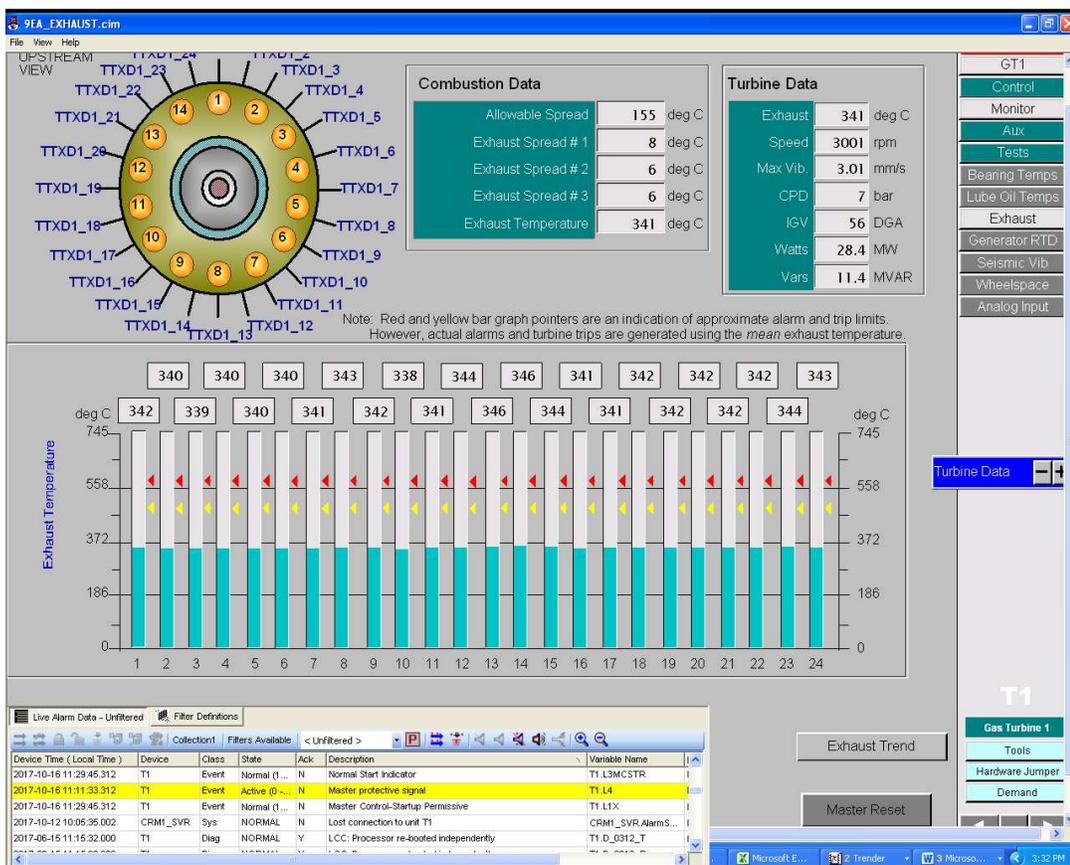
25 - 30 psig (1.7 - 2.1 bar g)
100°F min. (38°C)
145°F max. (63°C)

Warning: If the compressor is tested on a customer test skid, i.e. not connected to turbine, the inlet pressure should simulate the turbine start-up speed vs inlet pressure profile or it may be started at an inlet pressure of 3-4 psig. Then, once the compressor reaches design speed, inlet pressure should be gradually raised to the required design pressure/

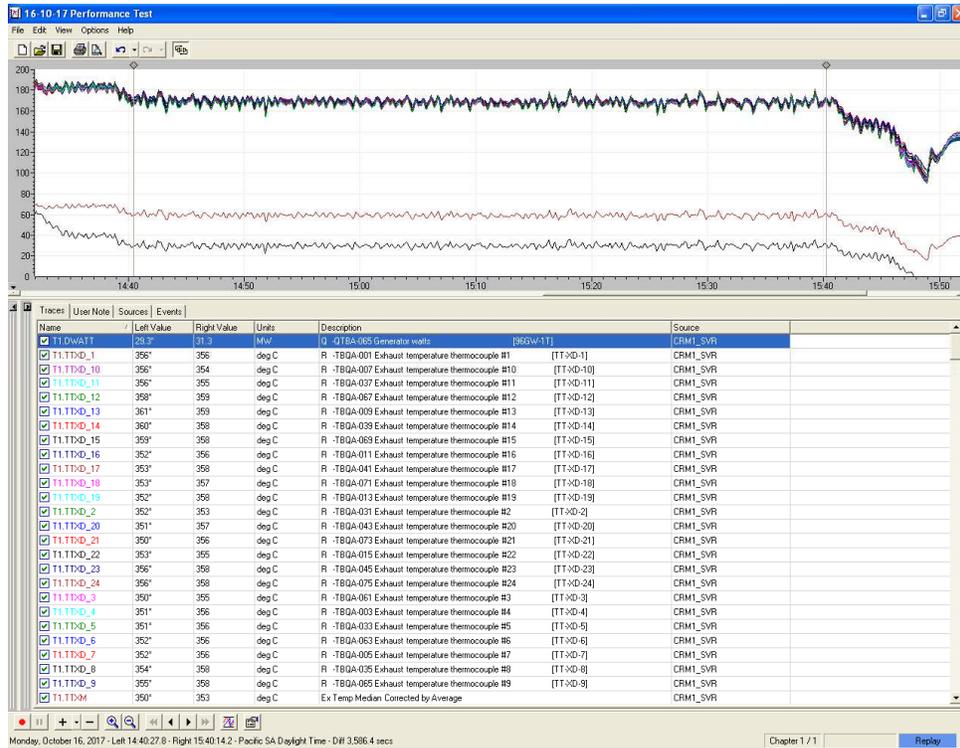
Sistema de Cámaras de Combustión

Se puede observar con la unidad en 30MW que el monitoreo de las diferencias de temperatura de las cámaras de combustión (Spread 1, 2 y 3) no exceden entre sí de 2°C y a su vez el Spread N°1 no excede el máximo admisible (Allowable Spread TTXSP) que establece el sistema de control en 155°C. En concreto en la condición indicada para la turbina el valor del spread varía entre 6°C y 8°C, valores muy lejanos a los 155°C. Teniendo en cuenta que a plena carga el spread N°1 (diferencia de temperatura entre cámara más alta y la más baja) es 33°C y el admisible es 68°C se puede considerar que la turbina a 30MW opera estable y con una holgura respecto a la diferencia de temperatura entre las cámaras de combustión. Con la central a 30MW también se puede constatar la poca diferencia de temperatura (8°C) entre las cámaras de combustión, al observar los valores de temperatura de las 24 termocuplas de escape de gases de la turbina que en promedio miden 341°C, mientras que a plena carga de la turbina ronda los 550°C.

Imagen Spreads y Temperaturas Escape Gases Turbina (TTXM Exhaust Temperature)

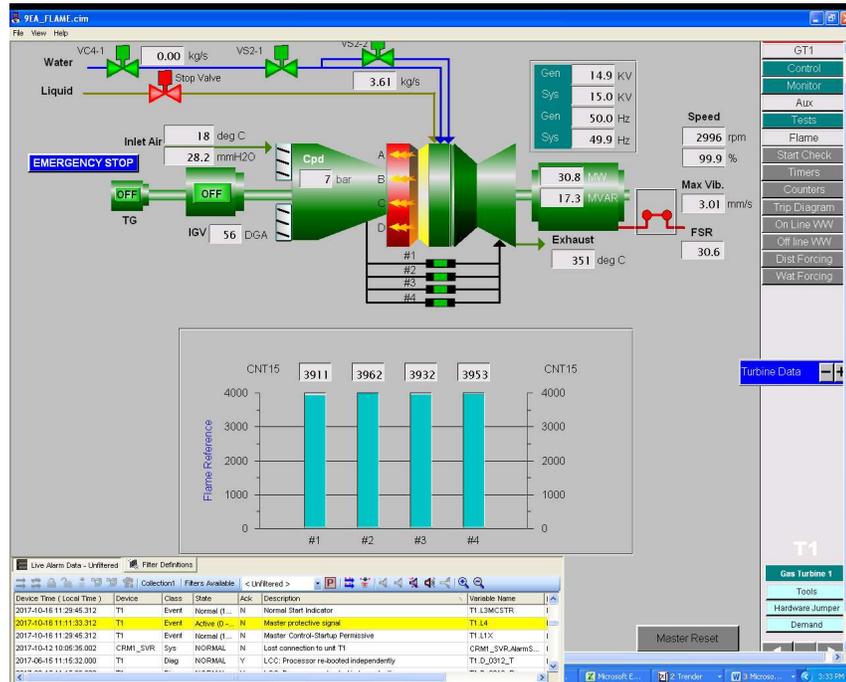


Tendencias Temperaturas Escape Gases Turbina (TTXM y TTXD_1 a 24)



Por otra parte se puede observar que la intensidad de flama en 30MW, registrada por los 4 detectores es estable y homogénea rondando los 3900 a la referencia 4000.

Imagen Intensidad de Flama en Cámaras Combustión (FD_INTENS)

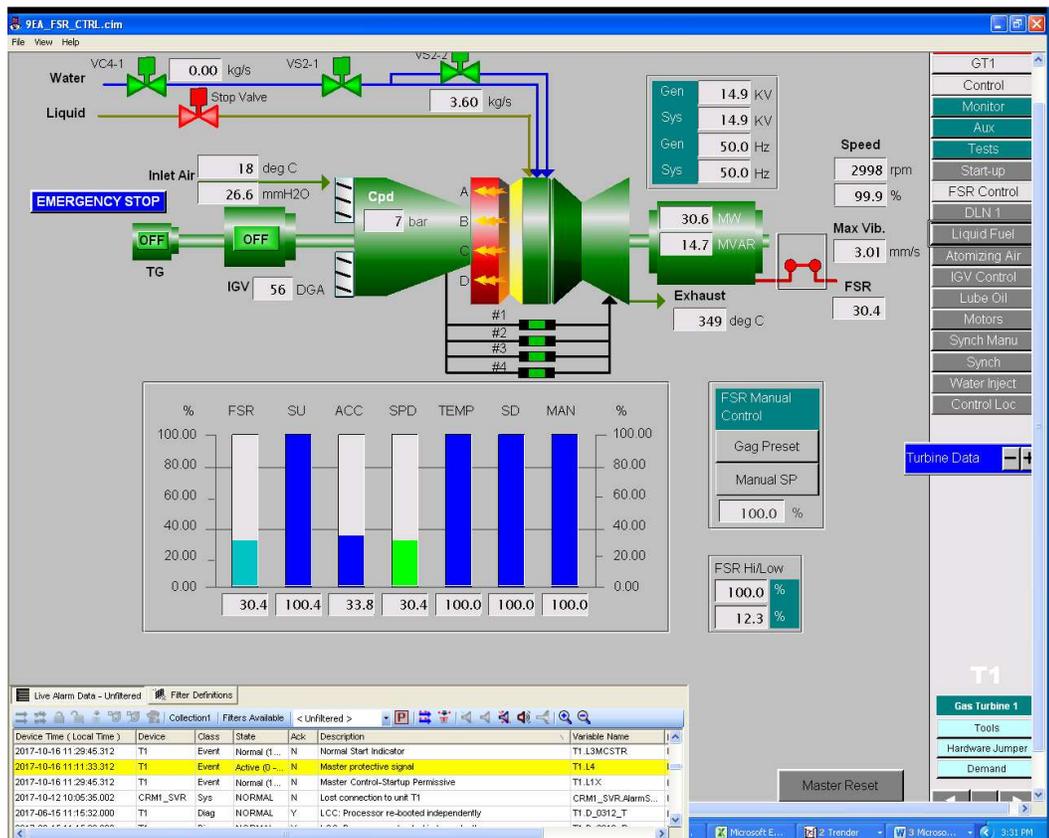


Sistema Inyección de Combustible Diésel

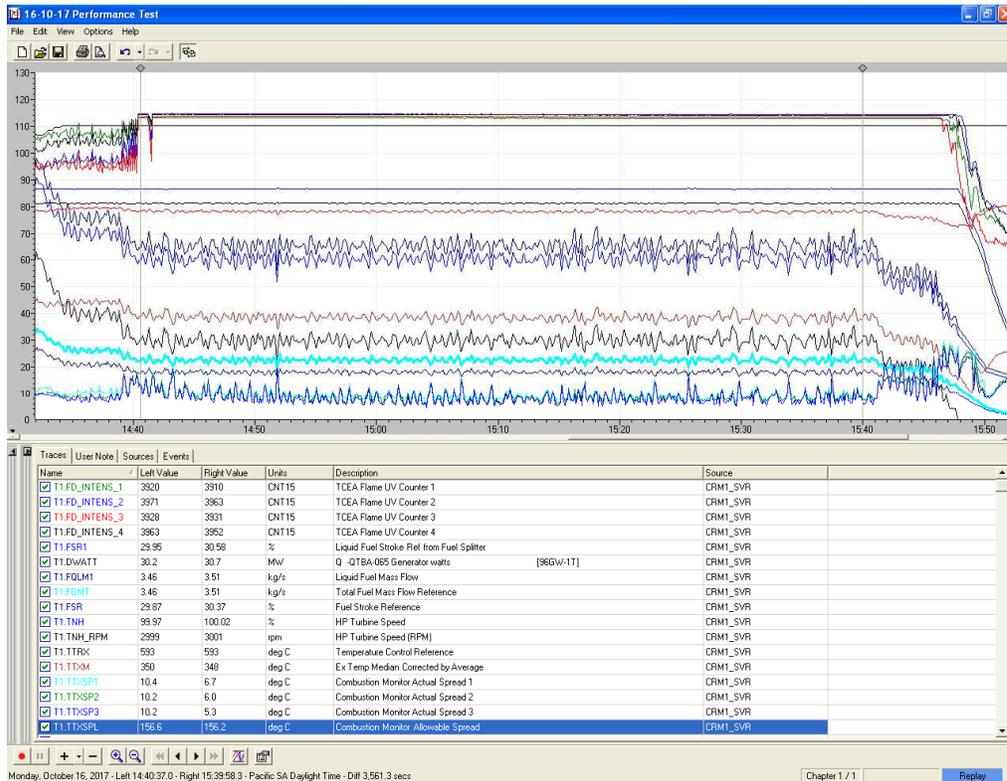
Se puede observar que el flujo de combustible (FQLM1) que consume la turbina a 30MW es de aproximadamente 3,6 (Kg/s) y se muestra estable y muy ajustado a la referencia de flujo (FQMT) que solicita el sistema de control. Relacionado con esto está el modo de control de la inyección de combustible (FSR1) que refleja la posición de la válvula de control de combustible y que se ve posicionada en 30,4%. El valor indicado se ajusta de buena forma a la referencia (FSR) que solicita el sistema de control. La diferencia entre los valores de FSR es de 0,2% app al igual que cuando la turbina está a plena carga.

Al verificar las presiones de combustible que ingresan a las 14 cámaras de combustión en el divisor de flujo, se registran 20(bar) en todas las cámaras con la turbina a 30MW, condición que demuestra estabilidad y homogeneidad en el ingreso de combustible. La presión de combustible en las cámaras es de 26(bar) a 60MW y de 43(bar) a plena carga. Por su parte en terreno se verifica que la válvula de control de combustible (VS1) no presenta algún tipo de oscilación o inestabilidad en su operación.

Imagen Flujo de Combustible y Apertura Válvula Combustible (FQLM1 y FSR1)



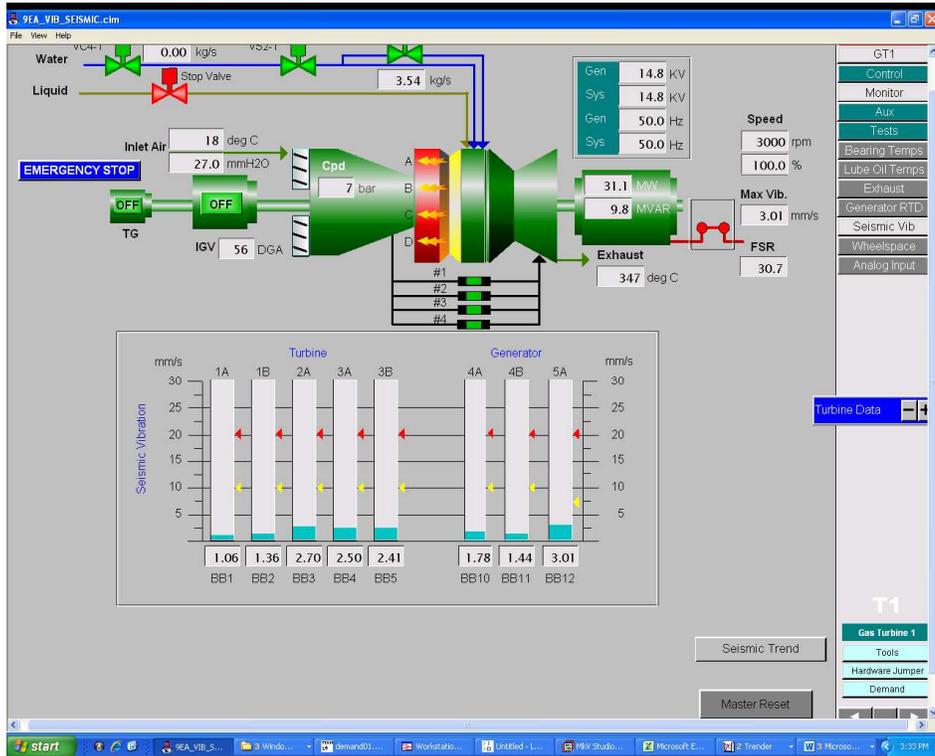
Tendencias Flujo de Combustible, Válvula Combustible, Spread e Intensidad Llama



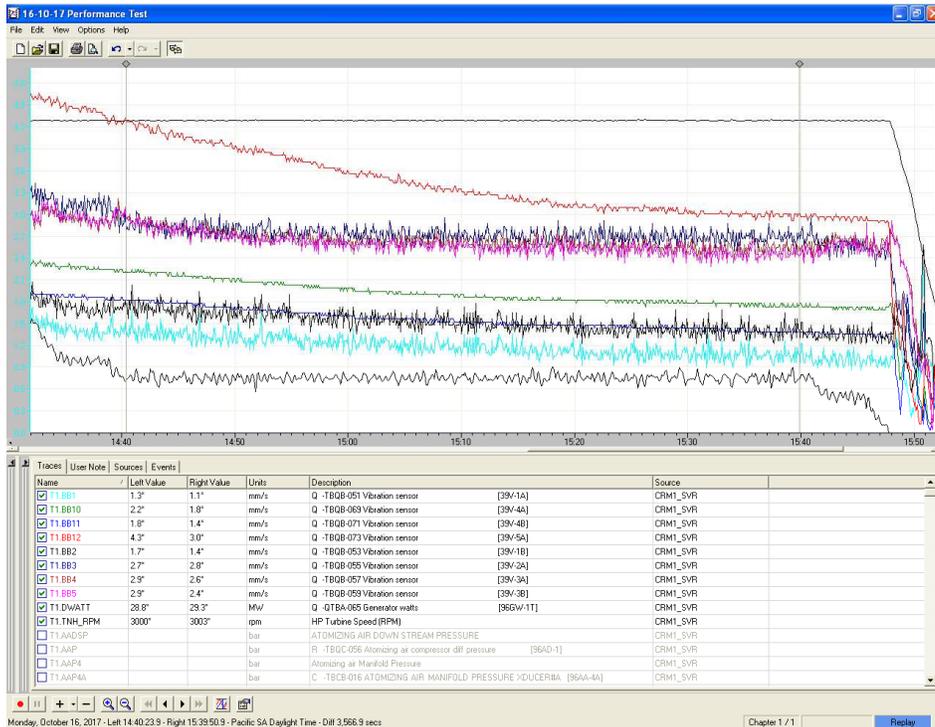
Turbina a Gas y Turbocompresor

El grupo turbocompresor operando a 30MW presenta **vibraciones sísmicas** de carcasas y orbitales de rotor, bajo el rango máximos permisibles. El máximo registro de vibración sísmica a 30MW es de 4,3(mm/s) y a plena carga es de 5,21(mm/s), lo que indica que el equipo en ambas condiciones de carga se comporta bajo los umbrales máximos de 25(mm/s).

Imagen Acelerómetros de Vibraciones Sísmicas de Carcasas (BB)



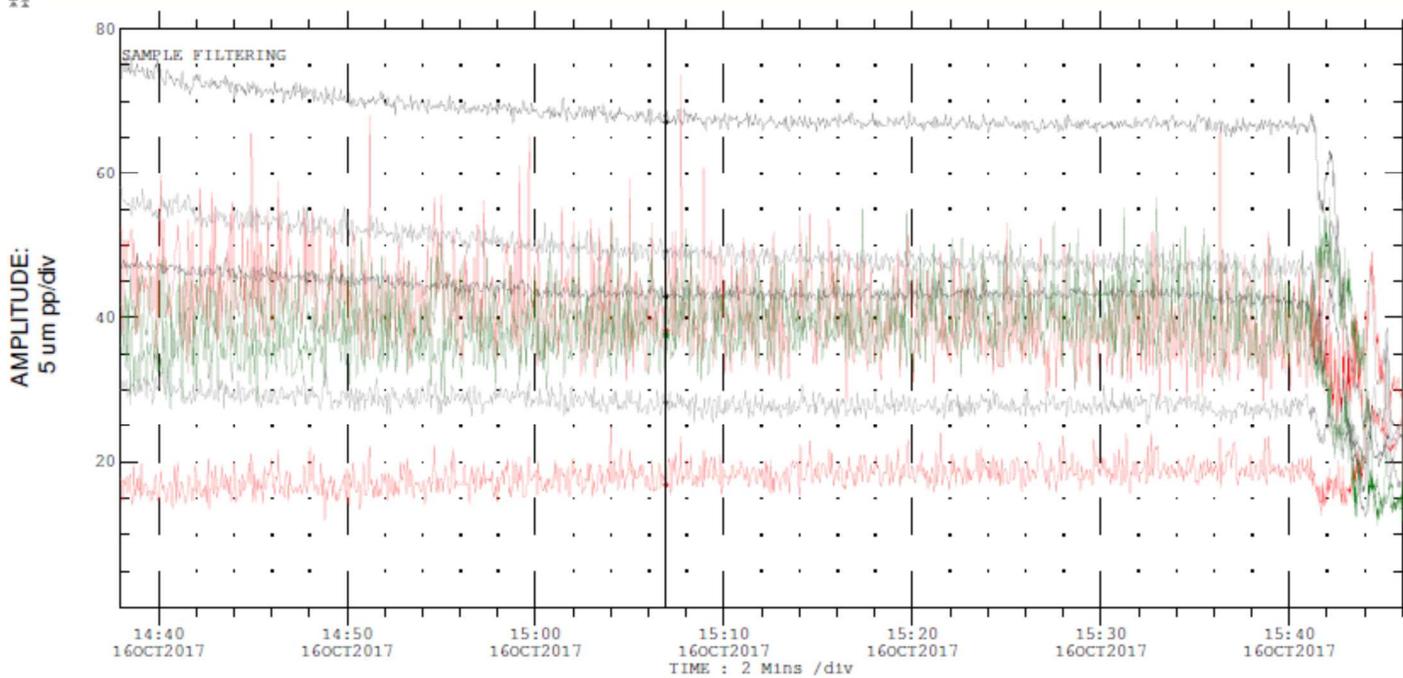
Tendencia Acelerómetros de Vibraciones Sísmicas de Carcasas (BB)



Respecto a las **vibraciones orbitales** del rotor estas se muestran estables con un valor máximo de 67(um pp) bajo el límite máximo de 150 (um pp). Se debe tener como referencia que el valor máximo de vibración con la unidad en plena carga es 95 (um pp).

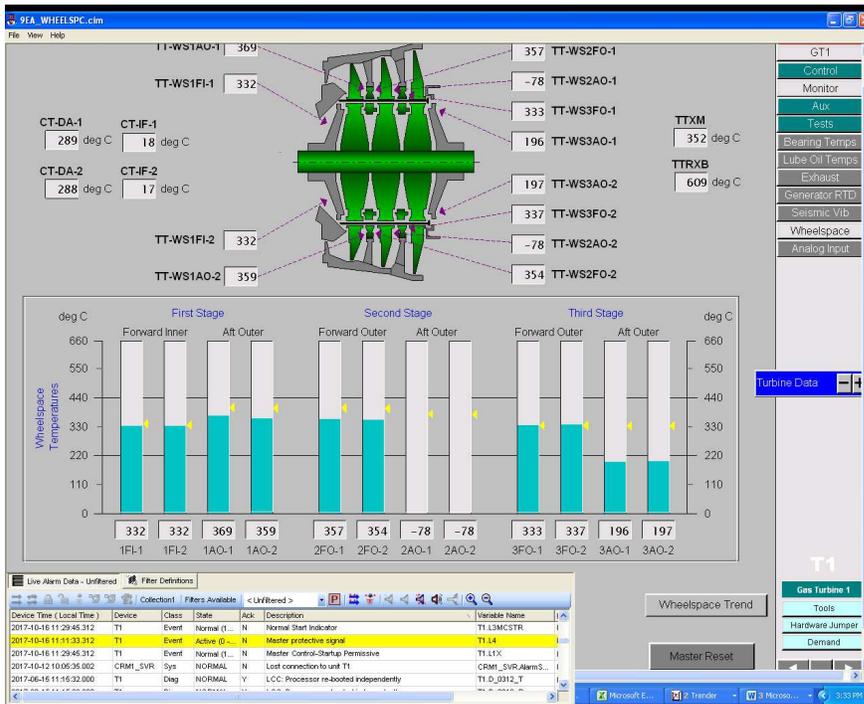
Tendencia Proximitors de Vibraciones Orbitales de Rotor(VS)

COMPANY : AES GENER	PLANT : Los Vientos			
ENTERPRISE :	JOB REFERENCE : GE 9001E			
39VS-11	45° Left Direct	16OCT2017 15:06:55.943	16.82 um pp	2997 rpm
Compressor	From 16OCT2017 10:34:27 To 16OCT2017 16:06:2			
39VS-12	45° Right Direct	16OCT2017 15:06:55.943	38.20 um pp	2997 rpm
Compressor	From 16OCT2017 10:34:27 To 16OCT2017 16:06:2			
39VS-31	45° Right Direct	16OCT2017 15:06:55.943	37.79 um pp	2997 rpm
Turbine	From 16OCT2017 10:34:27 To 16OCT2017 16:06:2			
39VS-32	45° Left Direct	16OCT2017 15:06:55.943	37.39 um pp	2997 rpm
Turbine	From 16OCT2017 10:34:27 To 16OCT2017 16:06:2			
39VS-91	45° Right Direct	16OCT2017 15:06:55.943	48.13 um pp	2997 rpm
Generator D	From 16OCT2017 10:34:27 To 16OCT2017 16:06:2			
39VS-92	45° Left Direct	16OCT2017 15:06:55.943	28.28 um pp	2997 rpm
Generator D	From 16OCT2017 10:34:27 To 16OCT2017 16:06:2			
39VS-101	45° Right Direct	16OCT2017 15:06:55.943	67.07 um pp	2997 rpm
Generator N	From 16OCT2017 10:34:27 To 16OCT2017 16:06:2			
39VS-102	45° Left Direct	16OCT2017 15:06:55.943	42.86 um pp	2997 rpm
Generator N	From 16OCT2017 10:34:27 To 16OCT2017 16:06:2			

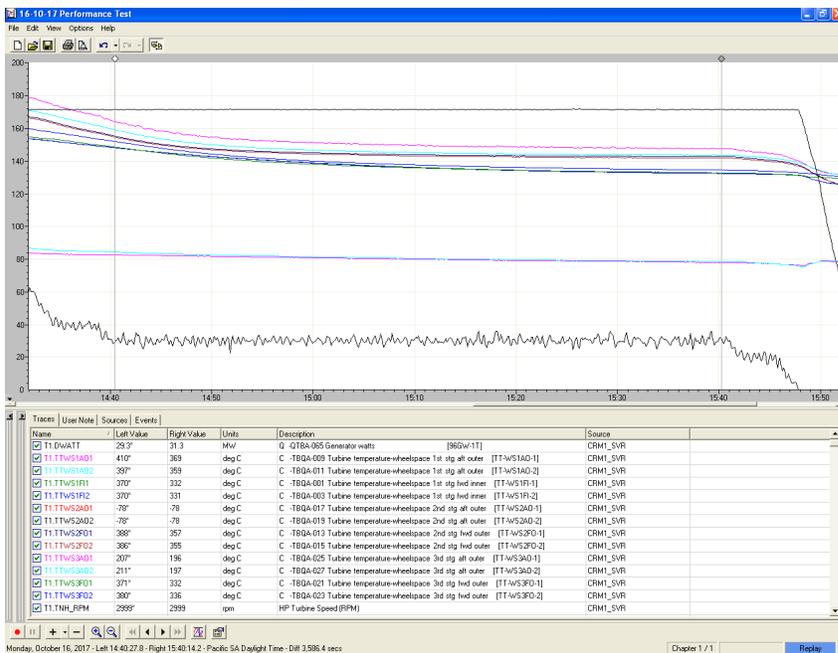


Finalmente analizando las **temperaturas de los espacios entre ruedas de la turbina** se determina que al estar en 30MW, la turbina registra la máxima de 369 °C en etapa 1, mientras que en plena carga la etapa 1 está en 463°C. Se observa estabilidad térmica.

Imagen Termocuplas Entre-ruedas Turbina (TTWS)



Tendencia Termocuplas Entreruedas Turbina (TTWS)



5.4 Propuesta Nuevo Mínimo Técnico

Carga Mínima [MWh]	TG	Rango de seguridad Operativo [MWh]	Mínimo Técnico [MWh]	Rango Inestabilidad por Inyección agua [MWh]	Rango2 Generación Con agua [MWh]
5		25	30	40-50	60-133

Analizando las tendencias y valores instantáneos de los parámetros ambientales y técnicos medidos durante las pruebas, no se observa inestabilidad operativa ni parámetros de emisiones que superen los límites establecidos en la RCA aplicable a Central Los Vientos.

Los Criterios para definir la operación sustentable de la TG son:

- Carga mínima de 5 MW (Reserva en giro) ajustada en el sistema de control debido a que a una carga menor está el riesgo de que el generador se desconecte por protección potencia inversa.
- Se aplica un rango de seguridad (banda muerta) a la carga mínima de 25 MW para garantizar cumplimiento de límites operativos, normativos de emisiones, garantizar que las temperaturas el interior de las cámaras de combustión sean homogéneas y capacidad ante fluctuaciones del sistema.
- Modificaciones Operativas: hasta antes de 40MW se debe mantener el sistema de inyección de agua en OFF debido a que la bomba es inestable a esa potencia.
- No se puede operar con una carga mayor a 40MW sin inyectar agua a la combustión debido a que las emisiones de NOx se acercan demasiado al límite permitido.
- No se puede mantener la TG entre 40 y 50MW con la inyección de agua operando debido a la inestabilidad del sistema a las cargas indicadas.