

ESTE DOCUMENTO CONTIENE INFORMACIÓN CONFIDENCIAL
SE ENTREGA ÚNICAMENTE AL DESTINATARIO CON EL OBJETIVO
QUE SE ESPECIFICA EN LA CARTA DE ACOMPAÑAMIENTO.
QUEDA PROHIBIDA SU TRANSMISIÓN Y REPRODUCCIÓN
TOTAL O PARCIAL, SIN PERMISO ESCRITO DE TECNATOM.

INFORME TÉCNICO

PRUEBA DE POTENCIA MÁXIMA EN CENTRAL BOCAMINA 2

CLAVE: IN-DDCD-19-009 REV.: 0 N° Páginas: 19

Realizado	Revisado	Aprobado	Revisado CAL
MMG	AGR	JGP	
20/06/2019	24/06/2019	24/06/2019	
Iniciales, Firma y Fecha	Iniciales, Firma y Fecha	Iniciales, Firma y Fecha	Iniciales, Firma y Fecha

MOTIVO DE REVISIÓN DEL DOCUMENTO

Revisión 0:

- Edición inicial del documento

ÍNDICE

	<u>Página</u>
1 RESUMEN EJECUTIVO	4
2 OBJETO DEL ENSAYO.....	5
3 DESCRIPCIÓN TÉCNICA DE LOS EQUIPOS PRINCIPALES	6
4 DESARROLLO Y RESULTADOS DE LA PRUEBA.....	7
5 MEMORIA DE CÁLCULO	9
5.1 CERTIFICADOS DE CALIBRACIÓN	9
5.2 REGISTRO AUTOMÁTICO DE DATOS CON SOLCEP	9
5.3 MEDIDAS DE POTENCIA	9
5.4 MEDIDAS AMBIENTALES	9
5.5 COMBUSTIBLE, CENIZAS Y ESCORIAS	10
5.6 FACTORES DE CORRECCIÓN	10
5.7 ESTABILIDAD	10
5.8 EVALUACIÓN DE LA INCERTIDUMBRE	11
5.9 RESULTADOS	12
ANEXO I: CAPTURA DATOS DE PROCESO.....	13
ANEXO II: CONSUMO ELÉCTRICO PLANTA DE AGUA, PARQUE DE CARBÓN Y EDIFICIOS	14
ANEXO III: VALORES MEDIOS DATOS DE PROCESO.....	15
ANEXO IV: CURVAS DE CORRECCIÓN	16
ANEXO V: EVALUACIÓN RESULTADOS E INCERTIDUMBRES.....	17
ANEXO VI: RESULTADOS ANÁLISIS CARBÓN, CENIZAS Y ESCORIAS.....	18
ANEXO VII: CERTIFICADOS Y MEDIDAS AGUA DE MAR	19

1 RESUMEN EJECUTIVO

Prueba de Potencia Máxima de Central Bocamina 2, realizada el día 04-06-2019 entre las 12:40 y las 17:40, siguiendo la metodología recogida en el Protocolo IN-DDCD-18-097.

La siguiente tabla recoge el resumen de resultados de Potencia Máxima Bruta y Neta, medidas y corregidas a condiciones de SITIO.

PRUEBA POT. MAX. BOCAMINA 2									
ID	FECHA	HORA		P.BRUTA	P.NETA	P.BRUTA	P.NETA	INCERT	INCERT
		INICIO	FIN	[MW]	[MW]	COR. [MW]	COR. [MW]	P.BRUTA COR (%)	P.NETA COR (%)
PM01	04-06-2019	12:40	17:40	348.38	318.92	347.54	318.07	0.2086	0.2108

Las condiciones SITIO para la Central de Bocamina 2 son: 1.012 bar, 15.°C, y 90% de humedad relativa para las condiciones ambientales, 14°C para la temperatura del agua de mar y factor de potencia 0.95

2 OBJETO DEL ENSAYO

La Prueba de Potencia Máxima tiene como objetivo verificar el valor de Potencia Máxima de la unidad Bocamina 2, parámetro que debe ser informado al Coordinador Eléctrico Nacional conforme a lo señalado en el artículo 6-13 de la NTSyCS.

3 DESCRIPCIÓN TÉCNICA DE LOS EQUIPOS PRINCIPALES

La Central de Bocamina 2 es una central térmica de carbón pulverizado que cuenta con una caldera para generación de vapor de fuegos frontales y una turbina de vapor modelo GE 270T772, acoplada a un generador modelo GE 290T772 a 3000 rpm

Condiciones nominales: para el vapor sobrecalentado/recalentado 1141/930 t/h, 541/541°C y 171.1/40.5 bar, y para el carbón 123.84 t/h.

El transformador de la turbina de vapor es del tipo trifásico con 480 MVA y relación de transformación 18/220 KV.

La potencia neta nominal de la planta es de 377.4 MW (potencia bruta 388. MW) y consumo específico nominal de 6536. kJ/kWh (1561. kcal/kWh).

La central tiene informada al “Coordinador” una única configuración.

4 DESARROLLO Y RESULTADOS DE LA PRUEBA

La prueba se ha realizado sin incidencias entre las 12:40 y las 17:40 horas del día 04-06-2019.

La operación normal de la unidad es con factor de potencia muy próximo a la unidad, para realizar la prueba en las condiciones más similares posibles a las de referencia de SITIO, se ha ajustado el factor de potencia a 0.95 antes del comienzo de la prueba.

No se ha considerado un periodo de estabilización específico para la prueba al llevar la unidad varios días operando a máxima carga, no obstante, antes de dar por comenzada la prueba se ha verificado la estabilidad de los parámetros principales y que la toma de datos funcionaba correctamente.

La unidad opera bajo una Resolución de Calificación Ambiental (RCA) según la cual no puede sobrepasar en ninguna hora de operación los 350 MWh, que unido a la carencia de un control coordinado obliga a operar en modo “turbina sigue”, con un control manual de la alimentación de carbón. Por estas razones se produce una variabilidad tanto en potencia bruta como en algunas otras magnitudes que supera los límites estrictos de la normativa ASME PTC6. Se ha analizado si la división del periodo total de 5 horas en periodos horarios supondría una reducción en la fluctuación, pero tampoco en ese caso se llegarían a cumplir los límites.

Por todo ello se ha analizado la prueba en un solo bloque, la mayor fluctuación, lógicamente se traduce en un ligero incremento de la incertidumbre asociada a los resultados.

Durante la prueba se ha comprobado que no se producía ninguna incidencia en el sistema de adquisición de datos online.

Las condiciones recogidas en el apartado 3.3 del Protocolo se cumplen en su mayoría con las salvedades siguientes, recogidas en el Acta de la prueba:

- El calentador 8 está fuera de servicio, no afecta a esta prueba de potencia máxima porque la potencia está limitada por RCA.
- Los setpoints temperatura de vapor están reducidos por limitación en temperatura de metal, no afecta a esta prueba de potencia máxima porque la potencia está limitada por RCA.
- La prueba no se realiza en condición de válvula de turbina totalmente abierta, no afecta a esta prueba de potencia máxima porque la potencia está limitada por RCA.
- Se ha autorizado mediante correo electrónico por parte del Coordinador Eléctrico, que la prueba se realice en condición normal de operación. La variación de la carga durante la prueba ha superado el límite establecido. No obstante, se considera válida la prueba teniendo en cuenta lo anterior

A continuación, se adjunta una tabla resumen con los resultados de la prueba. En ella, se pueden observar los parámetros principales medidos en la prueba, así como algunos calculados:

PRUEBA POTENCIA MÁXIMA BOCAMINA 2

PROMEDIO

04/06/2019 12:40

04/06/2019 17:40

PARÁMETROS Y CONDICIONES DE REFERENCIA

Temperatura Ambiente.	°C	15
Humedad Relativa	%	90
Presión Ambiente	bar	1.012
Temperatura Agua de Mar	°C	14
Factor de potencia de referencia	-	0.95

MEDIDAS AMBIENTALES

Temperatura ambiente	°C	12.90
Humedad relativa	%	96.84
Presión atmosférica	bar	1.0017
Temperatura de Agua de Mar	°C	13.02

MEDIDAS ELÉCTRICAS

TV		
Potencia bruta contador	MW	348.38
Potencia neta contador	MW	318.57
Factor de potencia	-	0.9509

CONSUMOS AUXILIARES

Consumo planta de agua	kW	52.155
Consumo Edificios Administrativos	kW	21.83
Consumo Parque de Carbón	kW	275.18
Potencia Neta CEN	MW	318.92

CORRECCIONES APLICABLES

Temperatura Agua de Mar	%	-0.24019
Perdidas Generador @FP.Medido	MW	3.051924
Perdidas Generador @FP.Referencia	MW	3.056679

RESULTADOS CORREGIDOS

Potencia bruta corregida	MW	347.54
Potencia neta corregida	MW	318.07

5 MEMORIA DE CÁLCULO

5.1 CERTIFICADOS DE CALIBRACIÓN

Los certificados de calibración de los instrumentos empleados en la prueba se han recogido y se pueden consultar en el Protocolo IN-DDCD-18-097.

5.2 REGISTRO AUTOMÁTICO DE DATOS CON SOLCEP

Como sistema de recogida de los datos instrumentados online se ha empleado el sistema SOLCEP instalado en la Unidad.

Previamente al comienzo de la prueba se ha programado una captura de todos los datos que SOLCEP está solicitando al sistema PI, con una periodicidad de 10 segundos. El fichero con la captura de datos, que incluye todas las señales empleadas por dicho sistema, se ha recuperado una vez finalizada la prueba, quedando recogido en el ANEXO I como elemento de referencia de los resultados obtenidos.

Los datos no incluidos en el sistema SOLCEP se han recibido a posteriori tras la extracción de los resultados desde los respectivos equipos, corresponden a los datos meteorológicos y a los contadores de energía auxiliar.

5.3 MEDIDAS DE POTENCIA

Tal como se recoge en el protocolo todos los consumos eléctricos de la Planta deben ser considerados. La alimentación a Edificios Administrativos, Planta de Agua y Parque de Carbón se han registrado con medidores portátiles instalados para esta prueba.

Los datos de consumos eléctricos registrados se pueden consultar en el ANEXO II.

Se dispone por tanto de las medidas Bruta y Neta correspondientes a la Turbina de Vapor, con las que se calculan las Potencias Bruta y Neta de la unidad y la Potencia Auxiliar consumida total, que incluye también las pérdidas por transformación. A la potencia neta de la TV se le ha sumado la potencia de los consumos eléctricos auxiliares citados anteriormente para calcular la Potencia Neta de la Unidad.

5.4 MEDIDAS AMBIENTALES

Para esta prueba de Potencia Máxima, dado que solo se considera corrección por Temperatura de agua de mar y por factor de potencia, no son necesarias medidas ambientales adicionales.

Con posterioridad a la fecha de la prueba la central a aportado certificados de calibración de medidores de Temperatura de Agua de Mar a la entrada y salida de la unidad, que se consideran más precisas, al estar sometidas a calibraciones más frecuentes dado que son las empleadas como oficiales en la evaluación ambiental. Estos certificados se adjuntan en el

Anexo VII. Los valores registrados para estas variables se han tomado del servidor PI de la Planta y también se incluyen en el anexo VII.

5.5 COMBUSTIBLE, CENIZAS Y ESCORIAS

Aunque las propiedades del combustible y productos de la combustión no se emplean en el cálculo de la potencia máxima ni en el cálculo del valor corregido a condiciones de Sitio, para que quede constancia completa de las condiciones de la prueba se han recogido para su posterior análisis:

- 3 muestras de carbón durante la prueba
- 5 muestras de cenizas al final de cada hora
- 1 muestra de escorias al final de la prueba

Las propiedades de combustible, cenizas y escorias no han sido suministradas por Enel en la fecha de entrega de este Informe, no obstante, se emite este Informe, dado que los resultados no variarán en función de estos resultados de análisis. Cuando se reciban los citados análisis se incluirán en el Anexo VI.

5.6 FACTORES DE CORRECCIÓN

Para la corrección de los resultados de la prueba a condiciones de SITIO aplican las curvas de corrección recogidas en el anexo IV.

Las condiciones SITIO para la Central de Bocamina 2 son: 1.012 bar, 15.°C, y 90% de humedad relativa para las condiciones ambientales, 14°C para la temperatura del agua de mar y factor de potencia 0.95.

De las curvas referidas, y según lo especificado en el protocolo de pruebas, solo son de aplicación las referidas a temperatura de agua de mar y factor de potencia. Estas curvas se han incluido en el informe de Prueba de Potencia Máxima definido en SOLCEP

La Potencia Bruta Corregida se calcula a partir de la Potencia medida como:

$$PotbCR = Potb + (GenLoss_m - GenLoss_{ref}) / (1 - \frac{FC_{aguamar}}{100})$$

La Potencia Neta Corregida se calcula como:

$$PotNetaCR = PotbCR - PotAux + PotAuxEdif + PotAuxPTA + PotAuxPC$$

5.7 ESTABILIDAD

La estabilidad de los datos durante la prueba se comprueba con un informe definido en SOLCEP que calcula para las variables online seleccionadas los valores medios, la fluctuación respecto a esos valores medios y la desviación típica.

A continuación, se recoge la fluctuación y la desviación típica de las variables establecidas en el protocolo como criterio de estabilidad, los valores en amarillo superan el límite, no obstante, teniendo en cuenta lo comentado en el apartado 4 sobre el funcionamiento de la unidad bajo RCA, se da por válida la prueba:

PRUEBA POTENCIA MÁXIMA BOCAMINA 2						
CRITERIOS DE ESTABILIDAD		Promedio	Fluctuación (-)	Fluctuación (%)	Desviación típica (%)	Límite
Presión de Vapor	Bar	165.58		0.068	0.022486	0.25 %
Temperatura Vapor SH	°C	513.31	1.865 °C	0.3633	0.21549	4 °C
Temperatura Vapor RH	°C	494.86	1.532 °C	0.3097	0.10614	4 °C
Caudal AA	t/h	1103.5		2.1973	0.74096	1%
Presión Condensador	kPa	3.7914	0.132 kPa	3.4876	2.0416	0.14 kPa
Potencia bruta TV watímetro	MW	348.37		0.93927	0.38503	0.25 %
Potencia neta TV watímetro	MW	318.56		1.0304	0.4017	0.25 %
Voltaje Generador	KV	18.396		0.79367	0.3734	
Factor de potencia	-	0.9508		0.15105	0.0544	1 %
Velocidad Turbina	rpm	2999.4		0.252	0.0979	0.25 %

5.8 EVALUACIÓN DE LA INCERTIDUMBRE

Con ayuda del Informe “Incertidumbre Prueba PotMax” de SOLCEP se ha evaluado la incertidumbre en el resultado de la Potencia Bruta y Neta y de sus valores corregidos.

Este modelo permite calcular la incertidumbre total, a partir de la incertidumbre de cada señal, teniendo en cuenta tanto la incertidumbre sistemática debida al instrumento como la incertidumbre temporal debida a la variabilidad de la señal, para ello se ha utilizado la metodología incluida en el código ASME-PTC-19.1 /4/:

$$Inc_R = (Inc_{S_R}^2 + Inc_{B_R}^2)^{1/2} = \left((t_{v,0.025})^2 \cdot \sum_{i=1}^k \left(\frac{\partial R}{\partial x_i} S_{x_i} \right)^2 + \sum_{i=1}^k \left(\frac{\partial R}{\partial x_i} B_{x_i} \right)^2 \right)^{1/2}$$

Donde

Inc_R = incertidumbre total

R = potencia térmica calculada (desde el lado primario o el secundario)

x = señal

S_{x_i} = índice de precisión (desviación típica)

B_{x_i} = límite de “bias” (error sistemático)

$(t_{v,0.025})$ = t de Student para un nivel de confianza del 95%

$\frac{\partial R}{\partial x_i}$ = peso de la variación de la variable x_i en el resultado

Los valores de $\frac{\partial R}{\partial x_i}$ se calculan haciendo variar, en el informe “Prueba Potencia Máxima”, cada variable en una cantidad igual a B_{x_i} y evaluando la variación en el resultado. Este proceso se automatiza con una opción de SOLCEP que permite hacerlo de manera automática.

En el Anexo V se recoge el resultado del informe “Incertidumbres Prueba PotMax”.

5.9 RESULTADOS

En el Anexo V se recogen los informes completos que se emplean para la evaluación de la de los resultados y de la incertidumbre. Estos informes recogen de manera automática los datos online almacenados durante la prueba, e incorporan la lectura de los datos no instrumentados desde los ficheros externos correspondientes a contadores de energía y a datos meteorológicos.

ANEXO I:

CAPTURA DATOS DE PROCESO

Abrir fichero incrustado



ANEXO II:

CONSUMO ELÉCTRICO PLANTA DE AGUA, PARQUE DE CARBÓN Y EDIFICIOS

Abrir ficheros incrustados

00BBA01GS001 K03 (EDIFICIO MEDIA TENSION NIV 1) 

00BBA02GS001 K11 (EDIFICIO MEDIA TENSION NIV 1) 

20BJG01GS001 ACOMETIDA (PLANTA DEMI) 

20BLA INTERRUPTOR OFICINA TECNIMONT (EDIFICIO MEDIA TENSION NIV 0) 

LPN08GW001-6N03 (EDIFICIO MEDIA TENSION NIV 0) 

RESUMEN CONSUMOS AUXILIARES 

ANEXO III:

VALORES MEDIOS DATOS DE PROCESO

Abrir ficheros incrustados



Anexo III a. Valores
medios Datos de Proc



Anexo III b.
Comprobación estal

ANEXO IV:

CURVAS DE CORRECCIÓN

Abrir fichero incrustado



Anexo IV Curvas de
Corrección PotMax E

ANEXO V:

EVALUACIÓN RESULTADOS E INCERTIDUMBRES

Abrir ficheros incrustados



Anexo V a.
Resultado PotMax B



Anexo V b.
Incertidumbre PotM

ANEXO VI:

RESULTADOS ANÁLISIS CARBÓN, CENIZAS Y ESCORIAS

Pendiente de recepción de los resultados

ANEXO VII:

CERTIFICADOS Y MEDIDAS AGUA DE MAR

Certificados:

2470 - MPB SENSOR T° ENTRADA Y SALIDA AGUA DE MAR 
2567 - MPB SENSOR T° ENTRADA Y SALIDA AGUA DE MAR 
2604 - MPB SENSOR TEMPERATURA ENTRADA Y SALIDA AGUA DE MAR 
Calibrador de Temperatura Serie nº1611371 Certificado 245694 

DatosTemperaturaAguaMar

