

INFORME TÉCNICO

PRUEBA DE POTENCIA MÁXIMA EN CENTRAL BOCAMINA 2

CLAVE: IN-DDCD-20-004 REV.: 2 N.º Páginas: 20

Realizado	Revisado	Aprobado	Revisado CAL
JGP	MMG	JGP	
Iniciales, Firma y Fecha	Iniciales, Firma y Fecha	Iniciales, Firma y Fecha	Iniciales, Firma y Fecha

MOTIVO DE REVISIÓN DEL DOCUMENTO

Revisión 0 (29/09/2020):

- Edición inicial del documento

Revisión 1 (03/10/2020):

- Inclusión medidas malla O2
- Revisión incertidumbres al alza

Revisión 2 (30/10/2020):

- Corrección de error Temperatura mar en tabla resumen apartado 4

ÍNDICE

	<u>Página</u>
1 RESUMEN EJECUTIVO	5
2 OBJETO DEL ENSAYO.....	6
3 DESCRIPCIÓN TÉCNICA DE LOS EQUIPOS PRINCIPALES	7
4 DESARROLLO Y RESULTADOS DE LA PRUEBA.....	8
5 MEMORIA DE CÁLCULO	10
5.1 CERTIFICADOS DE CALIBRACIÓN	10
5.2 REGISTRO AUTOMÁTICO DE DATOS CON SOLCEP	10
5.3 MEDIDAS DE POTENCIA	10
5.4 MEDIDAS AMBIENTALES	10
5.5 CARBÓN, CENIZAS Y ESCORIAS	10
5.6 MEDIDA DE CAUDAL PRIMARIO	11
5.7 MEDIDAS DE OXIGENO SALIDA PRECALENTADORES	11
5.8 FACTORES DE CORRECCIÓN	11
5.9 ESTABILIDAD	12
5.10 EVALUACIÓN DE LA INCERTIDUMBRE.....	13
5.11 CÁLCULOS Y RESULTADOS.....	13
ANEXO I: DATOS DE PROCESO	14
ANEXO II: CERTIFICADOS DE CALIBRACIÓN ADICIONALES	15
ANEXO III: VALORES MEDIOS DATOS DE PROCESO.....	16
ANEXO IV: CURVAS DE CORRECCIÓN	17
ANEXO V: INFORMES DE RESULTADOS E INCERTIDUMBRES	18
ANEXO VI: RESULTADOS ANÁLISIS CARBÓN, CENIZAS Y ESCORIAS.....	19

ANEXO VII: MEDIDAS MALLA DE O2	20
--------------------------------------	----

1 RESUMEN EJECUTIVO

Prueba de Potencia Máxima de Central Bocamina 2, realizada el día 25-08-2020 entre las 12:30 y las 17:30, 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 POTENCIA MÁXIMA CENTRAL BOCAMINA 2									
ID	FECHA	HORA		POTENCIA BRUTA	POTENCIA NETA	POTENCIA BRUTA CORR.	POTENCIA NETA CORR.	INCERT P. BRUTA CORR.	INCERT P. NETA CORR.
		INICIO	FIN	[MW]	[MW]	[MW]	[MW]	(%)	(%)
PM01	25-08-2020	12:30	17:30	350.88	321.12	349.55	319.79	0.203	0.205

Las condiciones SITIO para la Central de Bocamina 2 son: 1.007 bar, 13.5 °C, y 77 % de humedad relativa para las condiciones ambientales, 12.75 °C para la temperatura del agua de mar y factor de potencia 0.95.

De acuerdo con el Protocolo solo se han aplicado correcciones por temperatura ambiente, temperatura de agua de mar y factor de potencia.

El desarrollo y los resultados de la prueba cumplen todos los requisitos para su aprobación y la actualización del valor de Potencia Máxima.

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 Bocamina 2 es una central térmica a carbón que cuenta con una turbina de vapor General Electric 270T772 de 370 MW de potencia nominal, con recalentamiento simple y 7 calentadores de agua de alimentación, acoplada a un generador a 3000.rpm. Sus condiciones nominales de operación son vapor a 166.7 bar y 538°C/538°C, presión en el condensador de 0.0491 bar, y una caldera para generación de vapor de fuegos frontales y circulación natural, cuyas condiciones nominales son para el vapor sobrecalentado/recalentado 1141/930 t/h, 541/541°C y 171.1/40.5 bar, y para el carbón un consumo de 123.84 t/h.

La Central Bocamina 2 dispone de sistemas de abatimiento del SO₂ (basado en lechada de caliza) y del material particulado (Filtros de Manga).

La central Bocamina 2 está refrigerada por agua de mar.

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

Aunque la central de Bocamina 2 comenzó su operación el 28/10/2012, nunca se realizaron pruebas de aceptación. Los valores de diseño muestran los siguientes valores al 100% de carga: capacidad 370. MW de potencia bruta, un consumo específico del ciclo de TV de 1852.3 kcal de vapor/kWh bruto, y un rendimiento de caldera sobre PCS del 88.9%. El consumo específico neto de diseño a plena carga es de 0.3543 kg de carbón (de 6350.kcal_PCS/kg) / kWh neto, que equivale a 2250 kcal/kWh en base PCS a 25°C.

4 DESARROLLO Y RESULTADOS DE LA PRUEBA

La prueba se ha realizado sin incidencias entre las 12:30 y las 17:30 horas del día 25-08-2020.

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 ajustó el factor de potencia a 0.95 antes del comienzo de la prueba.

Tras un periodo de aumento de carga y estabilización, y antes de dar por comenzada la prueba, se verificó la estabilidad de los parámetros principales y que la toma de datos funcionaba correctamente.

La prueba cumplió razonablemente con los criterios de estabilidad recogidos en el Protocolo como se explica en la sección 5.7.

Durante la prueba no se produjo ninguna incidencia en el sistema de adquisición de datos online. Una de las señales de temperatura de vapor recalentado se perdió durante 4 minutos y fue remplazada por una señal redundante.

Las condiciones de la prueba establecidas en el Protocolo se cumplieron con las salvedades siguientes, que no afectan a los resultados, y que fueron recogidas en el Acta de la prueba:

- La prueba no se realizó en condición de válvula de turbina totalmente abierta. La unidad opera bajo una Resolución de Calificación Ambiental (RCA) según la cual no puede sobrepasar en ninguna hora de operación los 350 MWh
- La purga continua del domo estuvo abierta en valores testimoniales de 0.2%.
- El Aporte de Agua al condensador permaneció abierto en control automático.
- Se midieron los consumos de los Edificios Administrativos, de la Planta de Agua y del Parque de Carbón con la instrumentación de planta.
- El calentador 6 permaneció fuera de servicio.
- Las temperaturas de vapor sobrecalentado y recalentado fueron controladas en manual, limitando sus puntos de consigna para evitar el aumento de probabilidad de rotura en los tubos de caldera por alta temperatura del metal.

El desarrollo y los resultados de la prueba cumplen todos los requisitos para su aprobación y la actualización del valor de Potencia Máxima.

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

PRUEBA POTENCIA MÁXIMA CENTRAL BOCAMINA 2		
ESCALON		PotMax
FECHA/HORA INICIO PRUEBA		25/08/2020 12:30
FECHA/HORA FIN PRUEBA		25/08/2020 17:30
PARÁMETROS Y CONDICIONES SITIO		
Temperatura Ambiente.	°C	13.5
Humedad Relativa	%	77
Presión Ambiente	bar	1.007
Temperatura Agua Mar	°C	12.75
Factor de potencia de referencia	-	0.95
MEDIDAS AMBIENTALES		
Temperatura ambiente	°C	13.237
Presión atmosférica	bar	1.00270
Humedad relativa	%	66.513
Temperatura Agua Mar	°C	11.2345
MEDIDAS ELÉCTRICAS		
Potencia bruta watímetro	MW	350.880
Potencia neta watímetro	MW	320.880
Factor de potencia	-	0.95388
AUXILIARES ELÉCTRICOS A DESCONTAR		
Consumo planta de agua	kW	54.4
Consumo Edificios Administrativos	kW	10.486
Consumo Parque Carbón	kW	193
FACTORES DE CORRECCIÓN DE LA POTENCIA BRUTA		
Factor corrección Tmar	-	1.003732
Factor de corrección FP	-	1.000061
RESULTADOS CORREGIDOS		
Potencia Bruta	MW	349.550
Potencia Neta	MW	319.790

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 “Anexo I del Protocolo de Prueba de Potencia Máxima IN-DDCD-18-097” y en el “Anexo 9 del Protocolo de Pruebas de Consumo Específico E-18-I-133-JS”.

En el Anexo II se recogen certificados de calibración adicionales: Potencias de Auxiliares a Descontar, Estación meteorológica, CEMS, Temperatura y O₂ de proceso a la salida del precalentador de aire, y Malla de O₂.

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.

Los datos se reciben en SOLCEP desde el Servidor de Datos de Planta (sistema PI), con una periodicidad de 10 segundos. El ANEXO I contiene el fichero de referencia con los valores registrados de todas las señales.

5.3 MEDIDAS DE POTENCIA

Se dispone de las medidas de Energía 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. Estos instrumentos son de clase 02 calibrados.

A la potencia neta de la TV se le ha sumado la potencia de los consumos eléctricos auxiliares de Edificios Administrativos, Planta de Agua y Parque de Carbón, para calcular la Potencia Neta de la Unidad de acuerdo con el Protocolo.

Los consumos eléctricos de Edificios Administrativos, Planta de Agua y Parque de Carbón se miden con instrumentos clase 02, y sus señales están integradas en el Servidor de Datos de Planta.

5.4 MEDIDAS AMBIENTALES

Las medidas de la estación meteorológica y del agua de mar están integradas en el Servidor de Datos de Planta.

5.5 CARBÓN, 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
- 2 muestras de cenizas durante la prueba

- 2 muestras de escorias durante la prueba

En el Anexo VI se adjuntan los resultados de los análisis del carbón, cenizas y escorias muestreados durante la prueba. Los análisis de carbón fueron realizados por un laboratorio independiente. Los análisis de inquemados en cenizas y escorias fueron realizados en el laboratorio propio de la Planta.

5.6 MEDIDA DE CAUDAL PRIMARIO

Como caudal primario se ha utilizado la tobera de agua de alimentación a caldera, que incluye los caudales de atemperación de vapor sobrecalentado.

Se realiza un cálculo ASME de la tobera partiendo del diferencial de presión, temperatura y presión en la línea y los datos de diseño de la tobera.

5.7 MEDIDAS DE OXIGENO SALIDA PRECALENTADORES

Durante las pruebas se instaló una malla de medidas para determinar el contenido de O₂ en los gases de salida de los precalentadores de aire. Los resultados se recogen en el Anexo VII.

5.8 FACTORES DE CORRECCIÓN

Los resultados de la prueba CEN se han corregido a condiciones de Referencia SITIO. Las condiciones SITIO para la Central de Bocamina 2 son: 1.007 bar, 13.5°C, y 77% de humedad relativa para las condiciones ambientales, 12.75°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. Las curvas de corrección empleadas se recogen en el anexo IV.

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

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

Donde GenLoss es la pérdida del generador estimada a los factores de potencia medido y de referencia, y FC_{aguamar} es el factor de corrección por temperatura del agua de mar

La Potencia Neta Corregida se calcula como:

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

Siendo

$$PotAux = Potb - PotRed$$

el consumo total de auxiliares calculado por diferencia entre las medidas de potencia bruta y potencia neta.

La Potencia Bruta CEN corregida se puede expresar también a partir de la Potencia Bruta medida mediante los factores corrección de Potencia (f_{chp_i}).

$$PotbCR = Potb / \prod f_{cp_i}$$

$$f_{chp_{Tmar}} = \left(1 - \frac{FC_{aguamar}}{100}\right)$$

$$f_{chr_{FP}} = \frac{Potb}{(Potb + GenLoss_m - GenLoss_{ref})}$$

5.9 ESTABILIDAD

La estabilidad de los datos durante la prueba se comprobó 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.

La siguiente tabla recoge la fluctuación y la desviación típica de las variables establecidas en el protocolo como criterio de estabilidad. En amarillo se resaltan las que no cumplen el límite establecido.

Las variables resaltadas solo superan ligeramente el límite. No obstante, teniendo en cuenta la gran duración de la prueba y la variabilidad de la frecuencia que viene impuesta por la red, se consideran valores aceptables. En cualquier caso, la variabilidad de estos parámetros está considerada en el término de variabilidad del cálculo de incertidumbres.

PRUEBA POTENCIA MÁXIMIA CENTRAL BOCAMINA 2						
25/08/2020 12:30						
25/08/2020 17:30		PROMEDIO	FLUCTUACIÓN	FLUCTUACIÓN	SIGMA	Límite
Variable	Unidad	-	-	%	%	
Presión de Vapor	bar	165.7	1.18	0.71	0.24	0.30%
Temperatura vapor sobrecalentado	°C	499.34	2.24	0.45	0.10	5°C
Temperatura vapor recalentado	°C	505.87	1.10	0.22	0.10	5°C
Caudal agua de alimentación	t/h	1234.9	10.63	0.86	0.39	3%
Presión del Condensador	bar	0.033791	0.0007	2.20	0.84	0.0014bar
Potencia bruta watímetro	MW	350.87	0.46	0.13	0.04	0.25%
Potencia neta watímetro	MW	320.86	0.62	0.19	0.07	0.25%
Voltaje Generador	kV	18.434	0.11	0.62	0.26	1%
Potencia reactiva	MVAR	110.424	1.21	1.10	0.45	1%
Frecuencia	Hz	50	0.15	0.30	0.12	0.25%
Contenido O2 entrada precalentador	%	3.35	0.19	5.67	2.44	0.5puntos
Contenido O2 salida precalentador	%	5.77	0.18	3.10	1.06	0.5puntos

5.10 EVALUACIÓN DE LA INCERTIDUMBRE

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

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/:

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

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 activa con una opción del software SOLCEP que permite hacerlo de manera automática.

La incertidumbre asignada por Bias es la extraída de los certificados de calibración y en su defecto por los valores recomendados en las normas ASME.

La incertidumbre por Variabilidad o desviación típica es la calculada con los datos registrados.

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

5.11 CÁLCULOS Y RESULTADOS

En el Anexo V se recoge el informe de cálculo desarrollado con el software SOLCEP que se emplea para el cálculo de los resultados y de la incertidumbre. Este informe lee de manera automática los datos registrados durante la prueba y almacenados en la base de datos de SOLCEP, realiza los cálculos y muestra los resultados.

El modelo de cálculo de SOLCEP fue recogido en el Protocolo de las Pruebas.

ANEXO I:

DATOS DE PROCESO



Datos_BO2_25-08-20
20_Potmax.txt



ANEXO II:

CERTIFICADOS DE CALIBRACIÓN ADICIONALES



CertificadosCalibraci
ónAdicionales_BO2.pc



ANEXO III:

VALORES MEDIOS DATOS DE PROCESO



Valoresmedios_BO2_
25-08-2020_Potmax.pdf



Estabilidad_BO2_25-0
8-2020_Potmax.pdf



ANEXO IV:

CURVAS DE CORRECCIÓN



Curvas de Corrección
PotMax Boc2.pdf



ANEXO V:

INFORMES DE RESULTADOS E INCERTIDUMBRES



Resultados_BO2_25-0
8-2020_Potmax_rev1.p



Incetidumbre_BO2_2
5-08-2020_Potmax_rev



ANEXO VI:

RESULTADOS ANÁLISIS CARBÓN, CENIZAS Y ESCORIAS



Inquemados_BO2_25-
08-2020_Potmax.pdf



Carbon_BO2_25-08-2
020_Potmax.pdf



ANEXO VII:

MEDIDAS MALLA DE O2



Inf01E2.M-20-121.Ens
ayo.CEN.Enel.U2.fsb.p

