

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 IEM 1

CLAVE: IN-DDCD-19-003 REV.: 0 N° Páginas: 23

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

MOTIVO DE REVISIÓN DEL DOCUMENTO

Revisión 0 (07/03/2019):

- Edición inicial del documento

ÍNDICE

Página

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 DE DATOS.....	9
5.3	MEDIDAS DE POTENCIA.	9
5.4	MEDIDAS AMBIENTALES	9
5.5	CARBÓN Y CENIZAS	9
5.6	FACTORES DE CORRECCIÓN	9
5.7	ESTABILIDAD	10
5.8	EVALUACIÓN DE LA INCERTIDUMBRE	10
5.9	RESULTADOS	11
	ANEXO I: CAPTURA DATOS DCS ORDENADOR DE PROCESO	12
	ANEXO II: CAPTURA DE DATOS DAS PRUEBA DE GARANTÍA	13
	ANEXO III: DATOS ESTACIÓN METEOROLÓGICA.....	14
	ANEXO IV: MALLA DE O2 FRENTE A INSTRUMENTACIÓN DE PROCESO	15
	ANEXO V: CURVAS DE CORRECCIÓN	16
	ANEXO VI: INFORMES DE RESULTADOS E INCERTIDUMBRES	22
	ANEXO VII: RESULTADOS ANÁLISIS CARBÓN, CENIZAS Y ESCORIAS.....	23

1 RESUMEN EJECUTIVO

Prueba de Potencia Máxima de la Central IEM 1 con combustible Carbón, realizada el día 08-02-2019 entre las 01:30 y las 06:30, siguiendo la metodología recogida en el documento "IN-DDCD-18-110. Protocolo de Pruebas de Potencia Máxima en la central IEM 1. Rev. 3".

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

PRUEBA POT. MAX. CENTRAL IEM 1. CARBÓN									
ID	FECHA	HORA		P.BRUTA [MW]	P.NETA [MW]	P.BRUTA COR. [MW]	P.NETA COR. [MW]	INCERT	INCERT
		INICIO	FIN					P.BRUTA COR (%)	P.NETA COR (%)
PM01	08-02-2019	01:30	06:30	377.907	348.898	376.958	347.949	0.776	0.855

Las condiciones SITIO de la planta son las siguientes:

- Temperatura ambiente = 17.5°C
- Humedad relativa = 78%
- Presión ambiente = 1.020 bar
- Temperatura agua de mar = 18 °C
- Factor de potencia = 0.95

No obstante, solo se realizaron correcciones por Factor de Potencia y Temperatura del Agua de Mar, tal y como se especifica en el Protocolo de Pruebas.

Las dos últimas columnas de la tabla contienen los valores de incertidumbre de los resultados corregidos de potencia máxima bruta y neta.

2 OBJETO DEL ENSAYO

La Prueba de Potencia Máxima tiene como objeto establecer el valor de Potencia Máxima de la unidad generadora IEM 1, parámetro que debe ser informado al Coordinador Eléctrico Nacional conforme a lo señalado en el artículo 6-13 de la NTSyCS.

El combustible empleado en la prueba fue carbón.

3 DESCRIPCIÓN TÉCNICA DE LOS EQUIPOS PRINCIPALES

La Central IEM 1 es una central térmica a carbón que cuenta con una turbina de vapor de Doosan Skoda Power de 354 MW de potencia nominal, con recalentamiento simple y 7 calentadores de agua de alimentación, acoplada a un generador a 3000.rpm, cuyas condiciones nominales son vapor a 178. bara y 568.8°C, presión en el condensador de 0.0419 bar, y una caldera para generación de vapor de fuegos frontales y circulación natural, cuyas condiciones nominales son para el vapor sobrecalentado/recalentado 984.54/832.75 t/h, 568.8°C/568.8°C y 178/39.2 bar, y para el carbón de referencia un consumo de 118. t/h.

La Central IEM 1 dispone de sistemas de abatimiento del NOx ("Selective Catalitic Reduction" o SCR), del SO2 (basado en lechada de caliza) y del material particulado (Filtros de Manga).

La central IEM 1 está refrigerada por agua de mar.

4 DESARROLLO Y RESULTADOS DE LA PRUEBA

La prueba se ha realizado sin incidencias de acuerdo al horario acordado en reunión mantenida el día previo a las pruebas. En esta reunión se propuso realizar las pruebas en horario nocturno, debido a restricciones en la demanda de la red y por el aporte importante proveniente de energías renovables, que limitan la capacidad de la red para absorber la potencia generada por la central a máxima carga.

Antes de dar comienzo a la prueba se verificaron que los criterios de estabilidad se habían alcanzado durante el periodo de estabilización. Esta apreciación se realizó de manera visual sobre un gráfico, realizado en un terminal del sistema de control, con las variables especificadas en el protocolo.

Durante el transcurso de las 5 horas de la prueba se comprobó en varias ocasiones que se mantenían los criterios de estabilidad.

El registro de datos por las distintas fuentes: DCS, DAS de las pruebas de aceptación y estación meteorológica, funcionó adecuadamente.

Se verificó el cumplimiento de las condiciones recogidas en el apartado 3.3 del Protocolo, con las salvedades siguientes:

- La prueba se realizó a un punto de consigna fijo de 378 MW por recomendación del Líder de Turbina de ENGIE. El motivo es evitar señal de “runback” por alta presión en la Primera etapa de TV, debida a eventuales oscilaciones en la presión de vapor sobrecalentado.
- Las purgas del domo permanecieron cerradas durante toda la prueba, ya que no fue necesaria su apertura para el control manual del Sílice en el domo.
- El soplado de caldera se había realizado el 06/02/2019 permaneciendo inactivo desde ese momento.
- El Aporte de Agua al condensador permaneció abierto en control automático. El caudal de agua de aporte medio durante la prueba fue de 16.5 t/h, que podría ser indicativo de la existencia de fugas incontroladas de vapor.
- No hubo consumo de Edificios Administrativos, de Planta de Agua que permaneció inactiva, ni del Parque de Carbón que permaneció inactivo.
- La frecuencia de la red tuvo una variación superior a lo habitual, pero no lo suficiente como para invalidar la prueba.

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

PRUEBA POTENCIA MÁXIMA CENTRAL IEM 1. CARBÓN		
FECHA INICIO PRUEBA	08/02/2019 1:30	
FECHA FIN PRUEBA	08/02/2019 6:30	
PARÁMETROS Y CONDICIONES SITIO		
Temperatura Ambiente.	°C	17.5
Humedad Relativa	%	78
Presión Ambiente	bar	1.02
Temperatura Agua Mar	°C	18
Factor de potencia de referencia	-	0.95
MEDIDAS AMBIENTALES		
Temperatura ambiente	°C	20.679
Presión atmosférica	bar	1.00714
Humedad relativa	%	86.048
Temperatura agua mar	°C	17.5
MEDIDAS ELÉCTRICAS		
Potencia bruta watímetro	MW	377.907
Potencia neta watímetro	MW	348.898
Factor de potencia	-	0.99746
AUXILIARES ELÉCTRICOS A DESCONTAR		
Consumo planta de agua	kW	0
Consumo Edificios Administrativos	kW	0
Consumo Parque Carbón	kW	0
FACTORES DE CORRECCIÓN		
Factor corrección Tmar	-	1.0018456
Factor de corrección FP	-	1.00066913
RESULTADOS CORREGIDOS		
Potencia bruta corregida	MW	376.959
Potencia neta corregida	MW	347.950

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 documento "IN-DDCD-18-110. Protocolo de Pruebas de Potencia Máxima en la central IEM 1. Rev. 3".

5.2 REGISTRO DE DATOS

El registro de datos de la instrumentación se realizó de manera automática desde tres fuentes:

- El computador de control de planta (DCS).
- El sistema de adquisición de datos (DAS) utilizado en las pruebas de garantía
- La estación meteorológica

La frecuencia de extracción de datos del DCS y del DAS fue de 10 s. La frecuencia de registro de datos por la estación meteorológica fue de 1 minuto.

Los ficheros de datos registrados se recogen en los Anexos I, II, III y IV.

5.3 MEDIDAS DE POTENCIA.

Las medidas de Potencia Bruta y Neta se realizaron con watímetros clase 02.

Loa auxiliares de planta a descontar: Planta de Agua y Parque de Carbón estuvieron inactivos. La central de IEM 1 no dispone de edificios administrativos.

5.4 MEDIDAS AMBIENTALES

Se utilizó la estación meteorológica de Mejillones para el registro de presión, temperatura, humedad relativa, velocidad y dirección del viento.

5.5 CARBÓN Y CENIZAS

Aunque las propiedades del carbón, las cenizas y las escorias no se emplean en el cálculo de la potencia máxima ni en el cálculo del valor corregido a condiciones de Sitio, se realizaron muestreos para su análisis y su utilización en los cálculos del consumo específico a potencia máxima.

Se tomaron muestras de carbón al final de la segunda hora de la prueba, y muestras de cenizas y escorias al final de la tercera hora de la prueba, ya que la segunda y tercera hora son las que se utilizarán para la determinación del CEN a máxima potencia.

En el Anexo VII se adjuntan los resultados de los análisis del carbón, cenizas y escorias muestreados en la prueba. Estos análisis fueron realizados por un laboratorio independiente.

5.6 FACTORES DE CORRECCIÓN

Las curvas de corrección empleadas se recogen en el anexo V.

Las condiciones SITIO para la Central San Isidro 2 son: 1.020 bar, 17.5°C, y 78% de humedad relativa para las condiciones ambientales, 18°C para la temperatura del agua de mar y factor de potencia 0.95.

Se realizaron correcciones por Factor de Potencia y Temperatura del Agua de Mar, tal y como se especifica en el Protocolo de Pruebas.

La Potencia Bruta o Neta Corregida se calcula a partir de la Potencia medida con ayuda de los factores corrección de potencia (f_{cp_i}).

$$PotCR = Pot / \prod f_{cp_i}$$

Estas curvas se han incluido en el Informe de cálculo de la prueba desarrollado con el software SOLCEP.

5.7 ESTABILIDAD

La siguiente tabla recoge los valores medios, la fluctuación en las mismas unidades, y la fluctuación y desviación típica porcentual de las variables establecidas como criterio de estabilidad.

CRITERIOS DE ESTABILIDAD		Promedio	Fluctuación	Fluctuación (%)	Desviación típica (%)
Potencia bruta watímetro	MW	377.907	6.1	1.60	0.35
Potencia neta watímetro	MW	348.898	4.3	1.24	0.39
Voltaje	KV	19.345	0.1	0.65	0.34
Factor de potencia	-	-0.998	0.0	0.15	0.08
Velocidad	rpm	2998.7	9.6	0.32	0.11
Temperatura mar	°C	17.5	1.1	6.33	0.55

5.8 EVALUACIÓN DE LA INCERTIDUMBRE

Con ayuda del Informe “IncertPotMax” del software 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 Test Uncertainty”:

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

Donde

Inc_R = incertidumbre total

R = Variable de salida para la que se calcula la incertidumbre

x = señal

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

B_{xi} = 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 “PruebaPotMax”, cada variable en una cantidad igual a B_{xi} y evaluando la variación en el resultado. Este proceso se activa con una opción del software SOLCEP que permite hacerlo de manera automática.

En el Anexo VI se recoge el resultado del informe “IncertPotMax”.

5.9 RESULTADOS

En el Anexo VI se recogen los resultados del informe de cálculo desarrollado con el software SOLCEP que se emplean para el cálculo de los resultados y de la incertidumbre. Estos informes leen de manera automática los datos registrados durante la prueba y almacenados en ficheros.

El modelo completo de cálculo se ha recogido en el documento “IN-DDCD-18-110. Protocolo de Pruebas de Potencia Máxima en la central IEM 1. Rev. 3”.

ANEXO I: CAPTURA DATOS DCS ORDENADOR DE PROCESO

CAPTURA DATOS DCS ORDENADOR DE PROCESO

Abrir el fichero incrustado



RD378_total.xlsx

ANEXO II:

CAPTURA DE DATOS DAS PRUEBA GARANTÍA

Abrir ficheros incrustados



DSPW_DAS_2019_0
2_08_NT_375 MW.XL



PIEM_NT#5 375MW
Data Sheet_2019020



SeeWaterTemp_DAS
_375MW.xlsx

ANEXO III:

DATOS ESTACIÓN METEOROLÓGICA

Abrir el fichero incrustado



Data meteorologia
Estacion Mejillones

ANEXO IV:

MALLA DE O2 FRENTE A INSTRUMENTACIÓN DE PROCESO

Abrir el fichero incrustado



DAS_GridO2.xlsx

ANEXO V:

CURVAS DE CORRECCIÓN

Pruebas de Potencia Máxima Central IEM 1

Curva Pérdidas del Generador

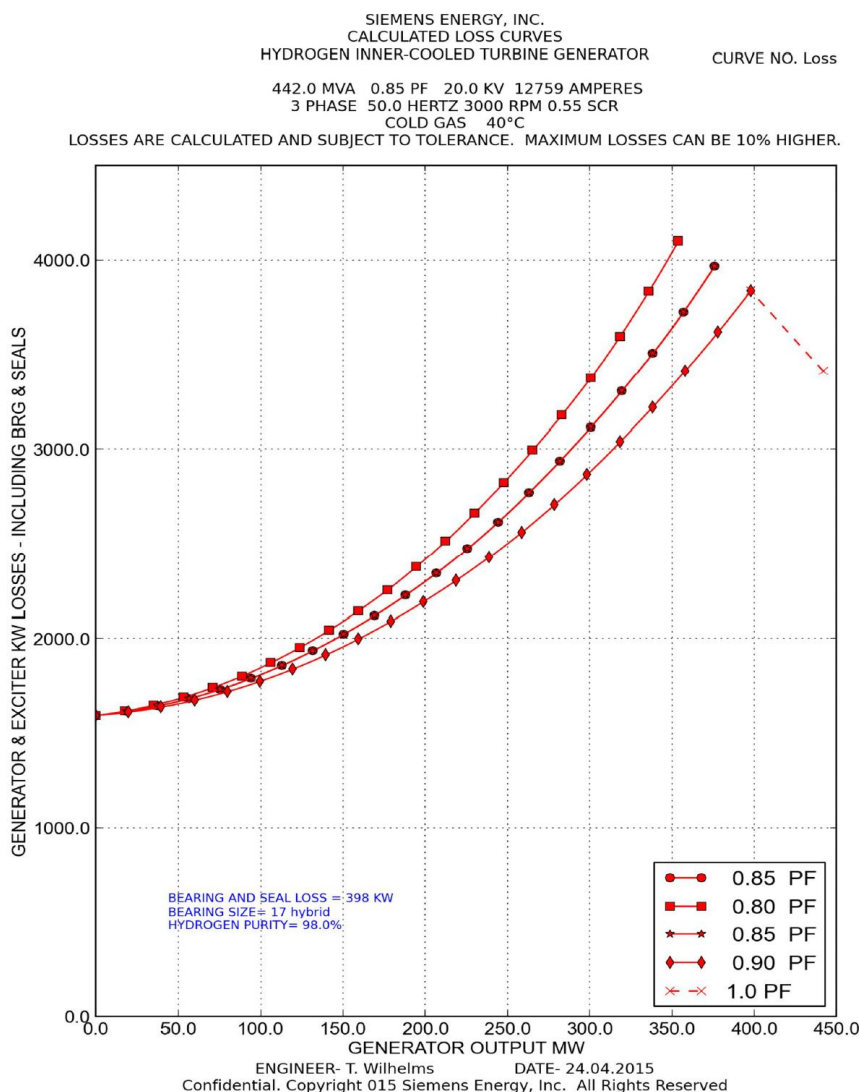
- 1) En los antecedentes, Documento “PIEM-34100-E-SE-SKO-05-001 GENERATOR_power factor loss curve.pdf”, aparecen las curvas de pérdidas del generador en función de la Potencia y del factor de potencia.

Report No.: DPTRP-70035867 Rev. B

Page: 15 of 19

Protection class: Restricted

Total Losses vs. Apparent Power and Power Factor



Siemens AG - Energy Sector

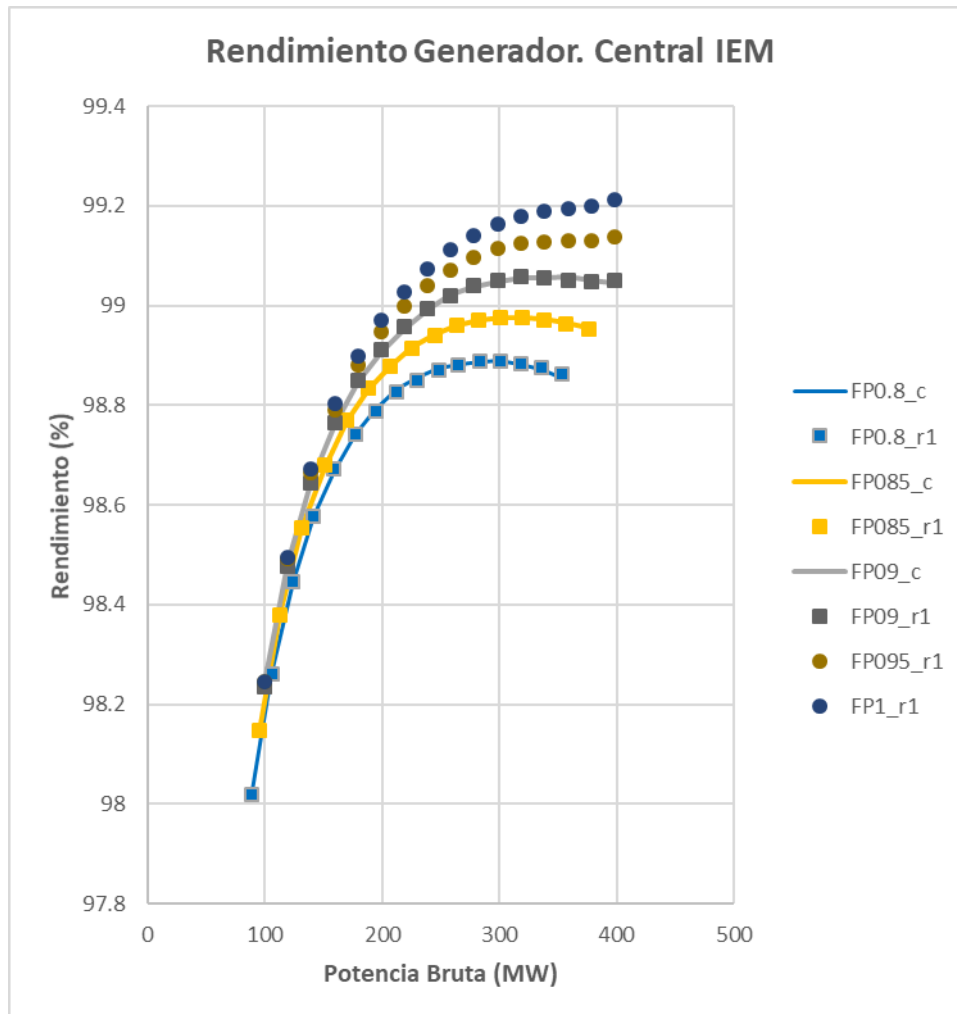
Transmittal, reproduction, dissemination and/or editing of this document as well as utilization of its contents and communication thereof to others without express authorization are prohibited. Offenders will be held liable for payment of damages. All rights created by patent grant or registration of a utility model or design patent are reserved.

normal.dotm SCF 2011-01

La digitalización de estas curvas y su regresión da como resultado la siguiente curva de rendimiento del generador en función de la Potencia Bruta y del factor de Potencias

$$\begin{aligned} \text{Rendimiento (\%)} = & 92.9893 + 5.833508e-2 * ':\text{Potb}' - 4.1507e-4 * ':\text{Potb}'^2 + 1.4446e-6 * \\ & ':\text{Potb}'^3 - 2.5737e-9 * ':\text{Potb}'^4 + 1.8367e-12 * ':\text{Potb}'^5 + 4.398533 * \\ & ':\text{FP}' - 2.537094 * ':\text{FP}'^2 + 5.16369e-3 * ':\text{FP}' * ':\text{Potb}' \end{aligned}$$

Con un Coeficiente de determinación $R^2 = 0.999792747$, cuya extensión a los FP=0.95 y FP=1 puede verse en la siguiente gráfica



Y la potencia de pérdidas se calculará mediante

$$\text{Pérdidas (MW)} = (100 / \text{Rendimiento} - 1) * \text{Potb}$$

La corrección aditiva a la Potencia Bruta que se mida en las pruebas se obtendrá de estas curvas por diferencia entre: el valor de pérdidas para el FP medido en la prueba y el valor para el FP de referencia SITIO (0.95).

$$\text{Potb_FPref} = \text{Potb_meas} + \text{GenLoss_FPmeas} - \text{GenLoss_FPref}$$

Curva Corrección Potencia por temperatura agua mar

En el documento "Correction curve for Boiler-STG-Surface condenser.pdf" entregado con los Antecedentes e Información Técnica, aparecen 2 curvas de corrección del "heat rate" por presión de escape de la turbina de vapor, una a TMCR y otra a MCR, se ha construido una regresión para ambas en función de la presión de escape y de la Carga Térmica del Condensador, que será la utilizada en las Pruebas de Potencia Máxima para corregir a la Temperatura de mar de referencia SITIO.

$$\Delta HR (\%) = a * 'P_{Cond}'^2 + b * 'P_{Cond}' + c$$

Donde

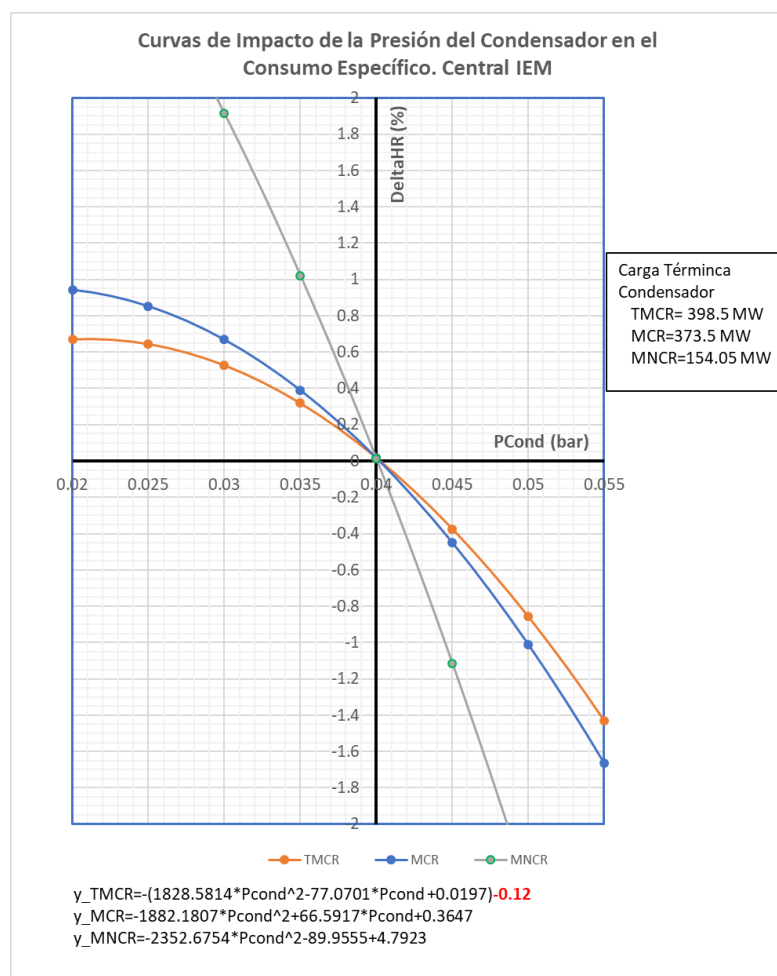
$$a = -2682.95 + 2.14397 * 'Q_{COND}'$$

$$b = -89.9556 + 0.419136 * 'Q_{COND}'$$

$$c = 7.9004 - 0.020176 * 'Q_{COND}'$$

PCond es la presión del condensador en bar y QCOND la carga térmica del condensador en MW.

La siguiente figura muestra las curvas de impacto del documento y la extendida al MNCR.



La utilización de estas curvas requiere disponer de un modelo de comportamiento del condensador que para los datos de entrada: caudal de refrigeración, carga térmica, y temperatura de entrada, calcule la

presión objetivo del condensador. Igualmente se debe disponer de un modelo para calcular la carga térmica del condensador a partir de las medidas efectuadas en la prueba.

Alternativamente pueden utilizarse las curvas de vacío que aparecen en el documento entregado con los Antecedentes "Correction curve for Boiler-STG-Surface condenser.pdf", pero perdiendo la variabilidad con el caudal de agua de refrigeración.

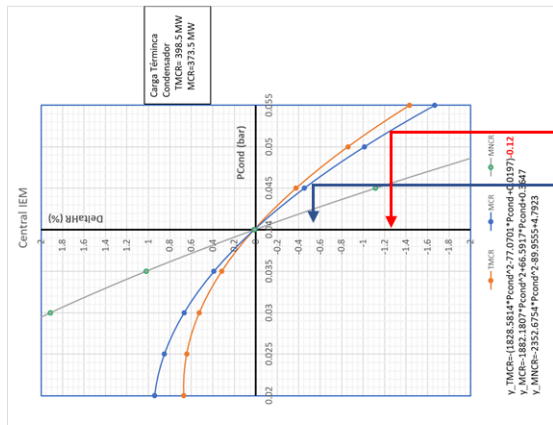
Con la aplicación repetida del modelo de condensador (o de las curvas de vacío) y de las curvas de impacto, partiendo de la temperatura del mar medida en las pruebas y de la temperatura de referencia sitio, se obtendrán dos impactos cuya diferencia será el impacto a aplicar para corregir la potencia bruta.

Resumiendo, el impacto en CEN o Potmax debe obtenerse en 3 pasos:

- Para la temperatura mar actual obtener la presión objetivo actual con un modelo de condensador. Entrar en las curvas (regresión) y obtener el impacto para Tmar_meas
- Para la temperatura mar referencia obtener la presión objetivo de referencia con un modelo de condensador. Entrar en las curvas (regresión) y obtener el impacto para Tmar_Ref
- El impacto sobre el HR de la turbina de vapor a aplicar para corregir a condiciones de referencia será la diferencia entre los dos impactos anteriores.

La siguiente figura representa los pasos a seguir.

CONSUMO ESPECÍFICO CICLO TURBINA CORREGIDO



$$\Delta HR(\%) = \Delta HR(P_{Cond_ref}) - \Delta HR(P_{CondP})$$

$$CEC_{corr} = CEC_{actual} / (1 + \Delta HR / 100)$$

$$CEN_{corr} = CEC_{corr} / (EF_{corr} * 100 * Potb_{corr} / (PotRed_{corr} * QrO' * 1e-6) / CTCC)$$

CEN Consumo específico de la unidad

CEC Consumo específico ciclo TV

EF rendimiento de caldera

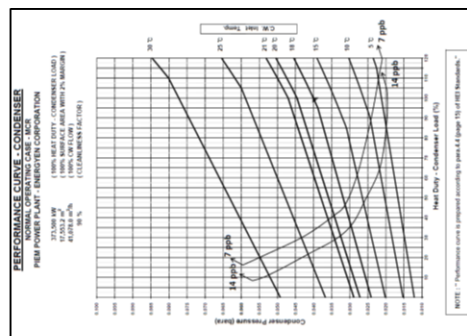
Potb Potencia bruta

PotRed Potencia neta

QrO Potencia cedida por caldera al ciclo TV

CTCC Potencia cedida por caldera turbinada

QrO-CTCC= auxiliares de vapor



$$Carga\ Térmica\ condensador = MrWCIR * Cp * \Delta T$$

Temperatura mar actual

Presión objetivo en condiciones actuales = PCondP

• Curvas de vacío

$$Carga\ Térmica\ condensador = MrWCIR * Cp * \Delta T$$

Temperatura mar referencia

Presión objetivo en condiciones referencia = PCondP_ref

• Curvas de vacío

ANEXO VI:

INFORMES DE RESULTADOS E INCERTIDUMBRES

Abrir el fichero incrustado



PruebaPotMax_IEM
1_DatosyResultados

Abrir el fichero incrustado



PruebaPotMax_IEM
1_Incertidumbres.pc

ANEXO VII:

RESULTADOS ANÁLISIS CARBÓN, CENIZAS Y ESCORIAS

Abrir ficheros incrustados



EECS- 61_Coal.pdf



EECS-
63_BottomAsh.pdf



EECS-
62_FlyAsh.pdf