

CONSEJO NACIONAL DE OPERACIÓN CNO

ACUERDO No. 202
Diciembre 14 de 2001

Por el cual se aprueba el protocolo para la medición de Estatismo de la
Planta Merilétrica

El Consejo Nacional de Operación en uso de sus facultades legales y reglamentarias en especial las conferidas por el Artículo 4° numeral 2° del Acuerdo 157 del 30 de agosto de 2001, el artículo 36 de la Ley 143 de 1994 y el literal g) de la Resolución 80103 del 2 de febrero de 1995 del Ministerio de Minas y Energía y según lo aprobado en la reunión No. 166 del 13 de diciembre de 2001.

ACUERDA:

PRIMERO. Aprobar el protocolos para la medición de estatismo de la planta Merilétrica, a que se refiere el anexo 1 , el cual forma parte integrante del presente Acuerdo..

SEGUNDO: El presente acuerdo rige a partir de la fecha de su expedición.

EL PRESIDENTE,


RAFAEL PÉREZ C.

EL SECRETARIO TÉCNICO


GERMAN CORREDOR A.

Consejo Nacional de Operación CNO

ANEXO 1

PROCEDIMIENTO PARA PRUEBA DE ESTATISMO TURBINA W501F DE MERILECTRICA

REGISTROS DURANTE UN EVENTO REAL

INTRODUCCIÓN

La metodología de este procedimiento esta basada en la medición de velocidad y potencia activa de la máquina durante un evento real de variación de frecuencia. Las definiciones principales se pueden encontrar en la resolución CREG 023-2001.

Variaciones de Frecuencia en la Red

La frecuencia de la red en Colombia es de 60 ciclos. Para que la frecuencia de la red permanezca estable, se requiere un equilibrio entre la potencia eléctrica generada y la consumida. Cuando se presenta un desequilibrio, se presenta una variación en la frecuencia. Entre mayor sea el desequilibrio, mayor será la variación de frecuencia. Cuando se producen grandes desconexiones de cargas o generadores, las variaciones en la frecuencia son mayores, por ejemplo 1.0 – 2.0 Hz o más, dependiendo de la magnitud del evento.

Regulación Primaria

Bajo estas condiciones “anormales” de operación, el generador o los generadores reguladores no están en capacidad de restituir el desequilibrio inmediatamente y es necesario que todos los generadores del Sistema Interconectado modifiquen en un porcentaje la generación de potencia para garantizar la estabilidad del sistema.

Regulación Primaria: Servicio en línea que corresponde a la variación automática, mediante el gobernador de velocidad, de la potencia entregada por la unidad de generación como respuesta a cambios de frecuencia en el

Consejo Nacional de Operación

CNO

sistema. Los tiempos característicos de respuesta están entre 0 y 10 segundos. La variación de carga del generador debe ser sostenible al menos durante los siguientes 30 segundos.

Regulación Secundaria

Se puede decir que la regulación primaria opera durante el evento transitorio y tiene como propósito garantizar la estabilidad del Sistema Interconectado. La regulación secundaria opera posteriormente y tiene como propósito equilibrar el despacho y dejar el sistema en condiciones más estables y seguras de operación.

Banda Muerta de Operación

Es un valor de frecuencia donde no se hace corrección de la potencia generada, es decir, las variaciones de potencia en ese rango no activan la regulación primaria de los generadores. Para Colombia esa banda muerta es de ± 0.03 Hz. Eso significa que entre 59.97 y 60.03 Hz no hay regulación primaria.

Definición presentada en la Resolución CREG 023-2001:

Banda Muerta de Operación: Rango de frecuencia, dentro del cual las unidades de generación no varían automáticamente su potencia.

En el segundo párrafo del Artículo Cuarto de la misma Resolución se indica que:

Para una adecuada calidad de la frecuencia, las unidades generadoras deberán tener una Banda Muerta de respuesta a los cambios de frecuencia menor o igual a 30 mHz. Este valor podrá ser revaluado por el CND cuando lo considere conveniente.

Estatismo

Consejo Nacional de Operación

CNO

El estatismo es la relación entre la variación de frecuencia y la potencia corregida en la unidad de generación. Entre mayor sea la desviación de frecuencia, mayor debe ser la potencia corregida en la unidad de generación. La fórmula del estatismo es la siguiente:

$$\text{Estatismo}[\%] = \frac{\frac{\Delta \text{Frecuencia}[\text{Hz}]}{\text{Frecuencia Nominal}[\text{Hz}]}}{\frac{\Delta \text{Potencia}[\text{MW}]}{\text{Potencia Nominal}[\text{MW}]}} [\%]$$

Definición presentada en la Resolución CREG 023-2001:

Estatismo: *Característica técnica de una planta y/o unidad de generación, que determina la variación porcentual de la frecuencia por cada unidad de variación porcentual de la carga.*

En el segundo párrafo del Artículo Cuarto de la misma Resolución se indica que: El Estatismo de las unidades generadoras despachadas centralmente debe ser un valor entre el 4% y el 6%, el cual deberá ser declarado por el agente al CND.

Función de Regulación Primaria

La función de regulación primaria para la planta Merilétrica se presenta gráficamente en la Figura No. 1. Se puede observar que la curva está compuesta por una banda muerta y dos pendientes asociadas con el estatismo.

En la planta Merilétrica se seleccionó un estatismo del 6 %. Este valor determina las pendientes de las rectas de la gráfica presentada. Analíticamente se calcularon las pendientes y los cruces con los ejes.

La corrección de potencia activa debe limitarse para evitar sobrecarga cuando se está generando en carga base. Esta potencia se limitó a 16 MW, lo cual corresponde al 10% de la potencia nominal de la unidad W501F.

Consejo Nacional de Operación CNO

En la Ecuación P [MW] es la potencia activa a corregir, f [Hz] es la frecuencia de la red. Las ecuaciones de Regulación Primaria para la Planta Merilétrica son las siguientes:

$P[MW] = 16MW$	<i>para $f \leq 59.64 \text{ Hz}$</i>
$P[MW] = -f \times 48.48 + 2910.35MW$	<i>para $59.64 \leq f \leq 59.97 \text{ Hz}$</i>
$P[MW] = 0$	<i>para $59.97 \leq f \leq 60.03 \text{ Hz}$</i>
$P[MW] = -f \times 48.48 + 2907.25MW$	<i>para $60.03 \leq f \leq 60.36 \text{ Hz}$</i>
$P[MW] = -16MW$	<i>para $f \geq 60.36 \text{ Hz}$</i>

Prueba de Estatismo

La prueba estatismo tiene como objetivo verificar la corrección de potencia de la Turbina de Combustión ante las variaciones de frecuencia en la red.

La función de Regulación Primaria de Frecuencia en la Turbina de Combustión se realiza por medio de un algoritmo de control programado en el WDPF. El WDPF es un Sistema de Control Distribuido.

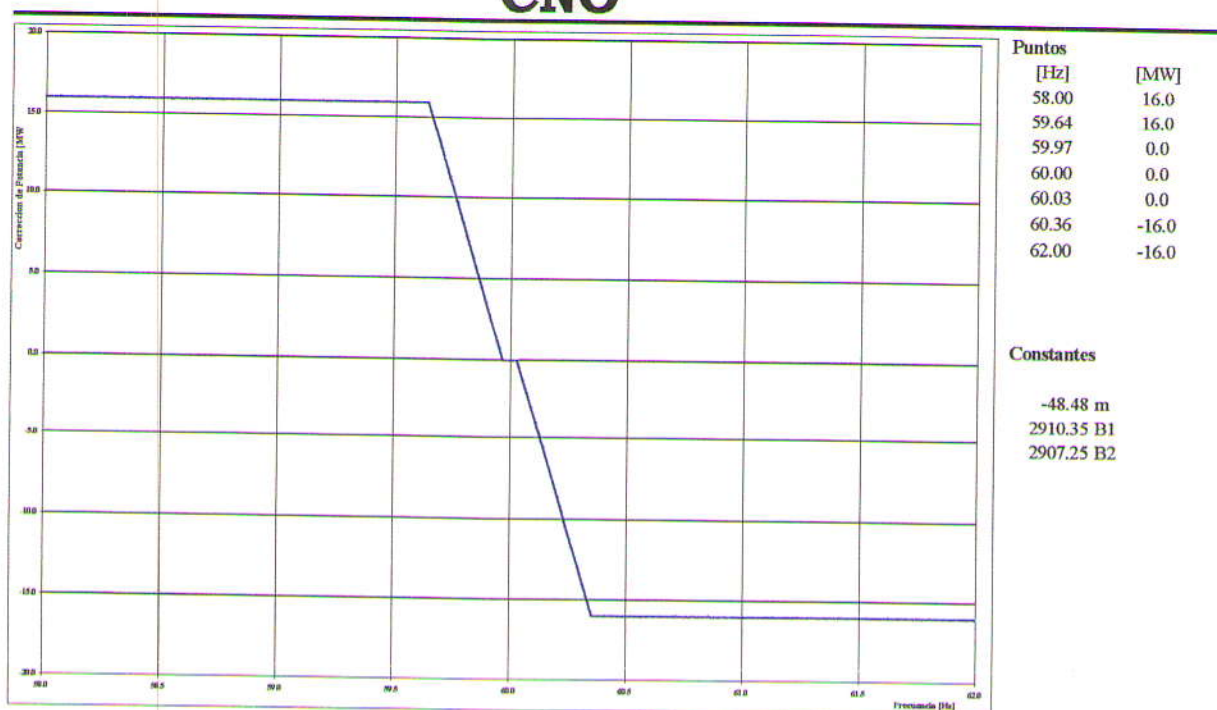
El algoritmo tiene programada la curva de regulación, permanentemente se registra la velocidad de la máquina, la cual es proporcional a la frecuencia de la red. 3600 r.p.m equivalen, a 60 Hz. Cuando la frecuencia sale del rango de banda muerta, es decir, entre 59.97 y 60.03 Hz, el algoritmo calcula la potencia que debe corregir. Por ejemplo, si la máquina esta rodando a 100 MW y se presenta una caída de frecuencia hasta 59.7 Hz, la corrección de potencia activa será:

$$P[MW] = -59.7 \times 48.48 + 2910.35[MW] \qquad P[MW] = 16MW$$

La nueva potencia activa que generaría la máquina sería de 116 MW. Mientras la frecuencia del sistema permanezca igual o menor a 59.7 Hz, la potencia será corregida en 16 MW.

Figura No. 1. FUNCIÓN DE REGULACIÓN PRIMARIA DE FRECUENCIA

Consejo Nacional de Operación CNO



Procedimiento para la medición del Estatismo

A continuación se presenta un procedimiento detallado de la prueba.

Parámetros a Registrar

Se registrarán los siguientes parámetros:

1. Frecuencia de la red o velocidad de la máquina.
2. Potencia Activa a la Salida del Generador.

En el protocolo de pruebas adjunto, se indican las características del generador y del equipo de registro empleado durante la prueba.

Periodo de Pruebas

Consejo Nacional de Operación CNO

El período de prueba lo definirá el CND. Durante ese período se analizarán los eventos de frecuencia más importantes, se elaborará un protocolo de prueba.

Cálculo de los Valores Teóricos de Potencia

En la siguiente Tabla se presentan los valores teóricos de potencia activa dependiendo de la variación de frecuencia simulada. Se ha estimado que para la prueba, la potencia generada en la turbina de combustión sea de 100 MW.

Regulación para Baja Frecuencia Regulación para Alta Frecuencia

Frecuencia [Hz]	P+ [MW]	Po [MW]	PTotal [MW]
60.00	0.00	100,00	100.00
59,97	0.00	100,00	100.00
59,95	3.97	100,00	103.97
59,90	6.40	100,00	106.40
59,85	8.82	100,00	108.82
59,80	11.25	100,00	111.25
59,70	16.00	100,00	116.00
59.60	16.00	100,00	116.00

Frecuencia [Hz]	P+ [MW]	Po [MW]	PTotal [MW]
60,00	0,00	100,00	100.00
60,03	0,00	100,00	100,00
60,05	-3.97	100,00	96.03
60,10	-6.40	100,00	93.60
60,15	-8.82	100,00	91.18
60,20	-11.25	100,00	88.75
60,30	-16.00	100,00	84.00
60,40	-16.00	100,00	84.00

P+ [MW] es la potencia Activa corregida.

Po [MW] es el ajuste original de Potencia Activa

P Total [MW] es la Potencia Activa que debe entregar la máquina durante las variaciones de frecuencia simuladas.

Estos cálculos están basados en el algoritmo A011X092. El registro de este algoritmo se presenta a continuación.

```
XFCTGEN/ 2, NAME = \A011X092\, TUNABLE = YES,
      'GAIN: ' = 1.00000,
      'BIAS: ' = 0.00000,
      'SCALE TOP:' = 16.0000,
      'SCALE BOT:' = -16.0000,
```

Consejo Nacional de Operación CNO

```
'TRK RATE: ' = 2.50000,  
'BREAKPTS: ' = 6,  
'X-COORD-1:' = 3816.00,  
'Y-COORD-1:' = 16.0000,  
'X-COORD-2:' = 3621.60,  
'Y-COORD-2:' = 16.0000,  
'X-COORD-3:' = 3601.80,  
'Y-COORD-3:' = 0.00000,  
'X-COORD-4:' = 3598.20,  
'Y-COORD-4:' = 0.00000,  
'X-COORD-5:' = 3578.40,  
'Y-COORD-5:' = -16.0000,  
'X-COORD-6:' = 3398.40,  
'Y-COORD-6:' = -16.0000,  
'X-COORD-7:' = 0.00000,  
'Y-COORD-7:' = 0.00000,  
'X-COORD-8:' = 0.00000,  
'Y-COORD-8:' = 0.00000,  
'X-COORD-9:' = 0.00000,  
'Y-COORD-9:' = 0.00000,  
*CAS: ' = \1SE3925S\  
*TRACK IN: ' = \U011X094\  
*MODE IN: ' = \N011X094\  
*OUTPUT: ' = \O011X092\  
*CMODE OUT:' = \M011X092\  
*TRACK OUT:' = \T011X092\
```

Medición del Estatismo

De acuerdo a la definición el estatismo, los cálculos del estatismo se realizarán con base en los registros obtenidos.

Consejo Nacional de Operación CNO

Registradores

Para realizar esta prueba se requiere de un registrador que esté en capacidad de almacenar información cuando la frecuencia varíe dentro de unos rangos predeterminados.

En la planta Merilétrica se cuenta con la posibilidad de tomar registros a través del WDPF con un tiempo de muestreo de un segundo. Otra opción es instalar un equipo de registro durante el periodo de prueba. Las características de los registradores a emplear serían las siguientes:

Período de muestreo: 100 ms máximo.

Precisión : 5% máximo.

La precisión no es un factor crítico, ya que el cálculo de estatismo se realiza sobre variaciones de los parámetros registrados y no sobre valores exactos.

Resultados y Conclusiones

Los resultados de las pruebas y los registros se tabularán y se graficarán tal como se presenta en el protocolo anexo.

Consejo Nacional de Operación CNO

		MERILECTRICA					
		PROTOCOLO PARA PRUEBA DE ESTATISMO					
		Unidad:		W501F			
		Fecha:		Diciembre 11 de 2001			
1. DATOS GENERALES							
1.1 UNIDAD				1.2 EQUIPO DE REGISTRO			
Potencia Nominal [MW]		156		Tipo de Registro		Digital. DCS	
Velocidad Nominal [R.P.M] (a 60 Hz)		3600		Marca		WDPF	
Estatismo [%]		6		Tiempo de Muestreo [s]		1.0	
Banda Muerta, [mHz]		+/- 30		Precision Registro de Potencia [%]		0.5	
Combustible		Gas Natural		Resolucion Registro de Potencia - MW		0.1	
				Precision Registro de Velocidad [%]		0.5	
				Resolucion Registro de Velocidad - R.P.M.		0.5	
2. REGISTROS				3. CALCULOS			
Hora	Velocidad [R.P.M]	Potencia [MW]	Velocidad [p.u.]	Potencia [p.u.]	Δ Velocidad [p.u.]	Δ Potencia [p.u.]	Estatismo [%]
12:21:30	3600.0	100.00	1.00000	1.00000	0.00000	0.00000	-
12:21:31	3600.5	99.77	1.00014	0.99765	0.00014	-0.00235	5.910%
12:21:32	3601.0	99.53	1.00028	0.99530	0.00028	-0.00470	5.910%
12:21:33	3601.5	99.30	1.00042	0.99295	0.00042	-0.00705	5.910%
12:21:34	3602.0	99.06	1.00056	0.99060	0.00056	-0.00940	5.910%
12:21:35	3602.5	98.83	1.00069	0.98825	0.00069	-0.01175	5.910%
12:21:36	3603.0	98.59	1.00083	0.98590	0.00083	-0.01410	5.910%
12:21:37	3603.5	98.36	1.00097	0.98355	0.00097	-0.01645	5.910%
12:21:38	3604.0	98.12	1.00111	0.98120	0.00111	-0.01880	5.910%
12:21:39	3604.5	97.89	1.00125	0.97885	0.00125	-0.02115	5.910%
12:21:40	3605.0	97.65	1.00139	0.97650	0.00139	-0.02350	5.910%
12:21:41	3605.5	97.42	1.00153	0.97415	0.00153	-0.02585	5.910%
12:21:42	3606.0	97.18	1.00167	0.97180	0.00167	-0.02820	5.910%
12:21:43	3606.5	96.95	1.00181	0.96945	0.00181	-0.03055	5.910%
12:21:44	3607.0	96.71	1.00194	0.96710	0.00194	-0.03290	5.910%
12:21:45	3607.5	96.48	1.00208	0.96475	0.00208	-0.03525	5.910%
12:21:46	3608.0	96.24	1.00222	0.96240	0.00222	-0.03760	5.910%
12:21:47	3608.5	96.01	1.00236	0.96005	0.00236	-0.03995	5.910%
12:21:48	3609.0	95.77	1.00250	0.95770	0.00250	-0.04230	5.910%
12:21:49	3609.5	95.54	1.00264	0.95535	0.00264	-0.04465	5.910%
12:21:50	3610.0	95.30	1.00278	0.95300	0.00278	-0.04700	5.910%

Consejo Nacional de Operación CNO

12:21:51	3610.5	95.07	1.00292	0.95065	0.00292	-0.04935	5.910%
12:21:52	3611.0	94.83	1.00306	0.94830	0.00306	-0.05170	5.910%
12:21:53	3611.5	94.60	1.00319	0.94595	0.00319	-0.05405	5.910%
12:21:54	3612.0	94.36	1.00333	0.94360	0.00333	-0.05640	5.910%
12:21:55	3612.5	94.13	1.00347	0.94125	0.00347	-0.05875	5.910%
12:21:56	3613.0	93.89	1.00361	0.93890	0.00361	-0.06110	5.910%
12:21:57	3613.5	93.66	1.00375	0.93655	0.00375	-0.06345	5.910%
12:21:58	3614.0	93.42	1.00389	0.93420	0.00389	-0.06580	5.910%
12:21:59	3614.5	93.19	1.00403	0.93185	0.00403	-0.06815	5.910%
12:22:00	3615.0	92.95	1.00417	0.92950	0.00417	-0.07050	5.910%
12:22:01	3615.5	92.72	1.00431	0.92715	0.00431	-0.07285	5.910%
12:22:02	3616.0	92.48	1.00444	0.92480	0.00444	-0.07520	5.910%

CONCLUSIONES Y OBSERVACIONES

This image shows a single sheet of white paper with horizontal blue ruling lines. The lines are evenly spaced and run across the width of the page. There is no handwriting or other markings on the paper.

Consejo Nacional de Operación CNO

