

MODELOS DE CONTROL - SEGUIMIENTO A EVENTOS DE FRECUENCIA

CENTRAL TERMOELÉCTRICA
TERMOTASAJERO
UNIDAD 1

**SEGUIMIENTO A EVENTOS DE FRECUENCIA
TERMOTASAJERO U1**

TABLA DE CONTENIDO

1.	OBJETIVO.....	6
2.	ALCANCE DE LOS TRABAJOS.....	6
3.	ANTECEDENTES	6
4.	METODOLOGÍA.....	7
5.	RESULTADOS RESPUESTA REGULACIÓN PRIMARIA MODELOS	7
5.1.	TERMOTASAJERO U1	7
5.2.	CÁLCULO DE INDICADORES	16
6.	AJUSTE FINO MODELO GOBERNADOR.....	18
7.	CONCLUSIONES	21
8.	REFERENCIAS	22

**SEGUIMIENTO A EVENTOS DE FRECUENCIA
TERMOTASAJERO U1**

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Eventos frecuencia evaluados por el CND.....	6
Tabla 2. Comparación índice EC calculado XM vs IEB.....	16
Tabla 3. Índice ECEAMIN, CCL y EC	17
Tabla 4. Parámetros Ajuste Fino Modelo “ACTUADOR” U1 Termotasajero.....	18
Tabla 5. Parámetros Ajuste Fino Modelo “POTENCIA” U1 Termotasajero.....	19
Tabla 6. Parámetros Ajuste Fino Modelo “TURBINA” U1 Termotasajero	20

**SEGUIMIENTO A EVENTOS DE FRECUENCIA
TERMOTASAJERO U1**

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Comparación potencia activa simulada y real, Evento_1_2023_07_31_08_42_55	8
Figura 2. Comparación potencia activa simulada y real, Evento_2_2023_07_29_18_45_00	8
Figura 3. Comparación potencia activa simulada y real, Evento_3_2023_07_29_16_18_33	9
Figura 4. Comparación potencia activa simulada y real, Evento_4_2023_07_29_02_24_20	9
Figura 5. Comparación potencia activa simulada y real, Evento_5_2023_07_28_01_42_45	10
Figura 6. Comparación potencia activa simulada y real, Evento_6_2023_07_27_13_30_44	10
Figura 7. Comparación potencia activa simulada y real, Evento_7_2023_07_27_11_31_38	11
Figura 8. Comparación potencia activa simulada y real, Evento_8_2023_07_27_09_50_50	11
Figura 9. Comparación potencia activa simulada y real, Evento_9_2023_07_26_10_02_55	12
Figura 10. Comparación potencia activa simulada y real, Evento_10_2023_06_23_04_31_30	12
Figura 11. Comparación potencia activa simulada y real, Evento_11_2023_06_22_00_11_20	13
Figura 12. Comparación potencia activa simulada y real, Evento_12_2023_06_06_15_09_30	13
Figura 13. Comparación potencia activa simulada y real, Evento_13_2023_05_22_22_22_20	14
Figura 14. Comparación potencia activa simulada y real, Evento_14_2023_05_19_16_03_00	14
Figura 15. Comparación potencia activa simulada y real, Evento_15_2023_05_19_02_29_00	15
Figura 16. Modelo de control del bloque "ACTUADOR" Acuerdo CNO 1437	18
Figura 17. Modelo de control del bloque "POTENCIA" Acuerdo CNO 1437	19
Figura 18. Modelo de control del bloque "TURBINA" Acuerdo CNO 1437	20

SEGUIMIENTO A EVENTOS DE FRECUENCIA TERMOTASAJERO U1

1. OBJETIVO

Presentar los resultados del ajuste fino realizado al modelo del gobernador de velocidad/potencia de la unidad 1 de generación de la planta Termotasajero, para el cumplimiento de la regulación primaria de frecuencia con la inyección de eventos reales del sistema colombiano.

2. ALCANCE DE LOS TRABAJOS

El presente informe tiene por alcance el ajuste fino del modelo del gobernador de velocidad/potencia de la unidad 1 de la central Termotasajero, para garantizar el cumplimiento de la regulación primaria ante la inyección de eventos de frecuencia.

3. ANTECEDENTES

Según el informe de “*Seguimiento a modelos de control de TERMOTASAJERO ante eventos de frecuencia*” [5] emitido el 21 de septiembre de 2023 por el Centro Nacional de Despacho (CND), el modelo del gobernador de velocidad/potencia de la Unidad 1 de la planta Termotasajero no cumple con las exigencias del seguimiento, siendo el patrón que más se repite el asociado a que la potencia máxima del modelo difiere de la potencia máxima real del generador (eventos ocurridos entre el 19 de mayo de 2023 y 31 de julio de 2023), por lo tanto dicho modelo debe ser revisado y refinado.

Los eventos de frecuencia usados por el CND para la evaluación de los modelos de los gobernadores de velocidad/potencia se listan a continuación:

**Tabla 1. Eventos frecuencia evaluados por el CND
modelo de Gobernador U1 Termotasajero**

Fecha Eventos									
Evento_1	2023	07	31	08	42	55			
Evento_2	2023	07	29	18	45	00			
Evento_3	2023	07	29	16	18	33			
Evento_4	2023	07	29	02	24	20			
Evento_5	2023	07	28	01	42	45			
Evento_6	2023	07	27	13	30	44			
Evento_7	2023	07	27	11	31	38			
Evento_8	2023	07	27	09	50	50			
Evento_9	2023	07	26	10	02	55			
Evento_10	2023	06	23	04	31	30			
Evento_11	2023	06	22	00	11	20			
Evento_12	2023	06	06	15	09	30			
Evento_13	2023	05	22	22	22	20			
Evento_14	2023	05	19	16	03	00			
Evento_15	2023	05	19	02	29	00			

SEGUIMIENTO A EVENTOS DE FRECUENCIA TERMOTASAJERO U1

4. METODOLOGÍA

Tomando como base el modelo del gobernador de velocidad de la unidad 1 de Termotasajero, el cual está aprobado por el acuerdo *CNO 1437 de 2021* [6], se realiza un ajuste fino de su parametrización con el objetivo de mejorar el patrón de la potencia máxima del modelo difiere de la potencia máxima real del generador, ante la inyección de los eventos de frecuencia mostrados en la Tabla 1.

Una vez inyectados los eventos listados en el modelo refinado del gobernador de velocidad, son calculados los indicadores EAMN, CCL y EC con base en el acuerdo CNO 1643 y verificando el cumplimiento.

Se considerará que el modelo es exitoso ante la inyección del evento de frecuencia si se cumple al menos con una de las siguientes condiciones:

- $EC \leq 30 \%$.
- Error absoluto máximo obtenido al comparar las señales simulada y real en toda la ventana de tiempo de análisis, es menor o igual al error de medición siempre y cuando el índice CCL sea mayor a 0.45.

Dado que no se cuenta con el error de medición en Termotasajero, se buscará dar cumplimiento al índice EC.

5. RESULTADOS RESPUESTA REGULACIÓN PRIMARIA MODELOS

5.1. Termotasajero U1

De la Figura 1 a la Figura 15, se presenta la frecuencia asociada al evento y la comparación de la potencia activa del registro (roja) con la obtenida en las simulaciones realizadas (azul), para la unidad Termotasajero 1, después de llevar a cabo el ajuste fino.

SEGUIMIENTO A EVENTOS DE FRECUENCIA TERMOTASAJERO U1

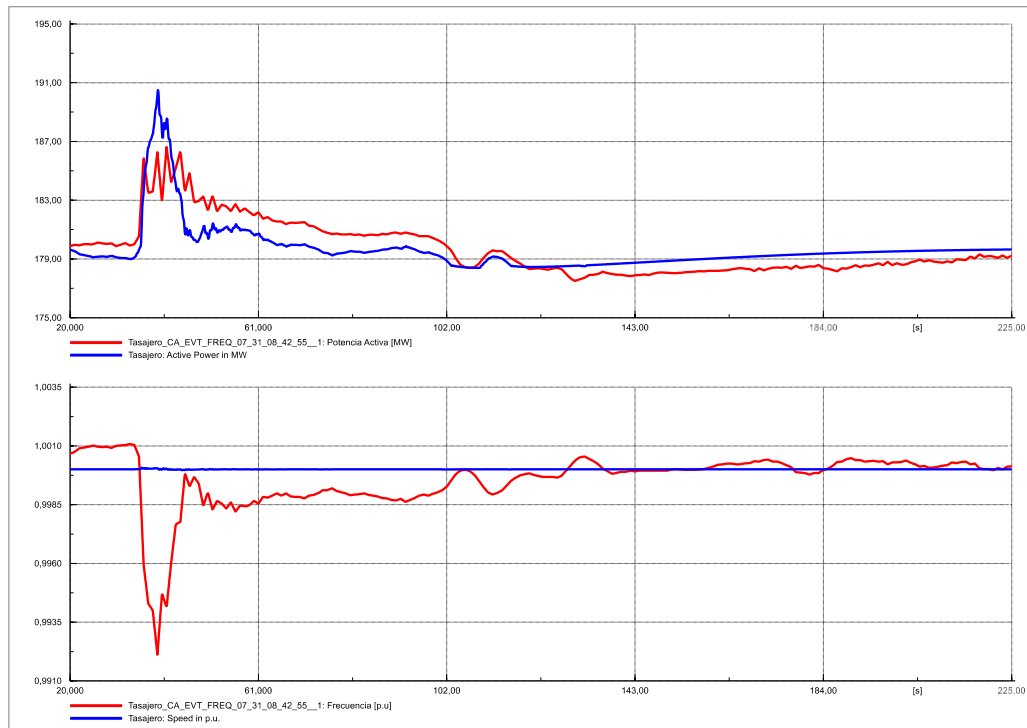


Figura 1. Comparación potencia activa simulada y real, Evento_1_2023_07_31_08_42_55

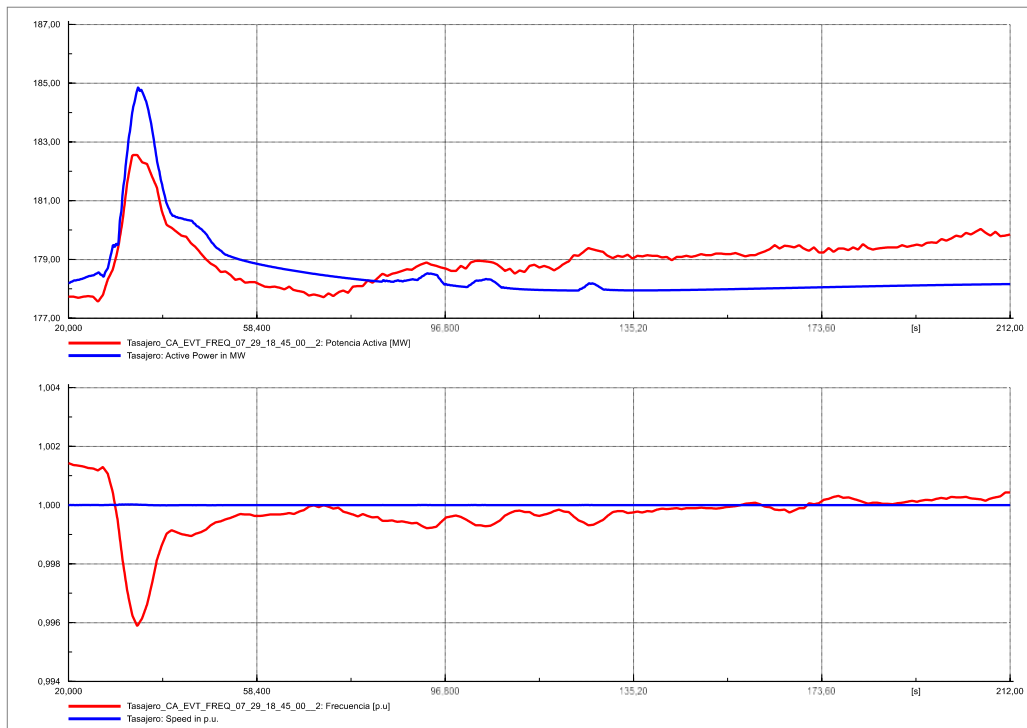


Figura 2. Comparación potencia activa simulada y real, Evento_2_2023_07_29_18_45_00

SEGUIMIENTO A EVENTOS DE FRECUENCIA TERMOTASAJERO U1

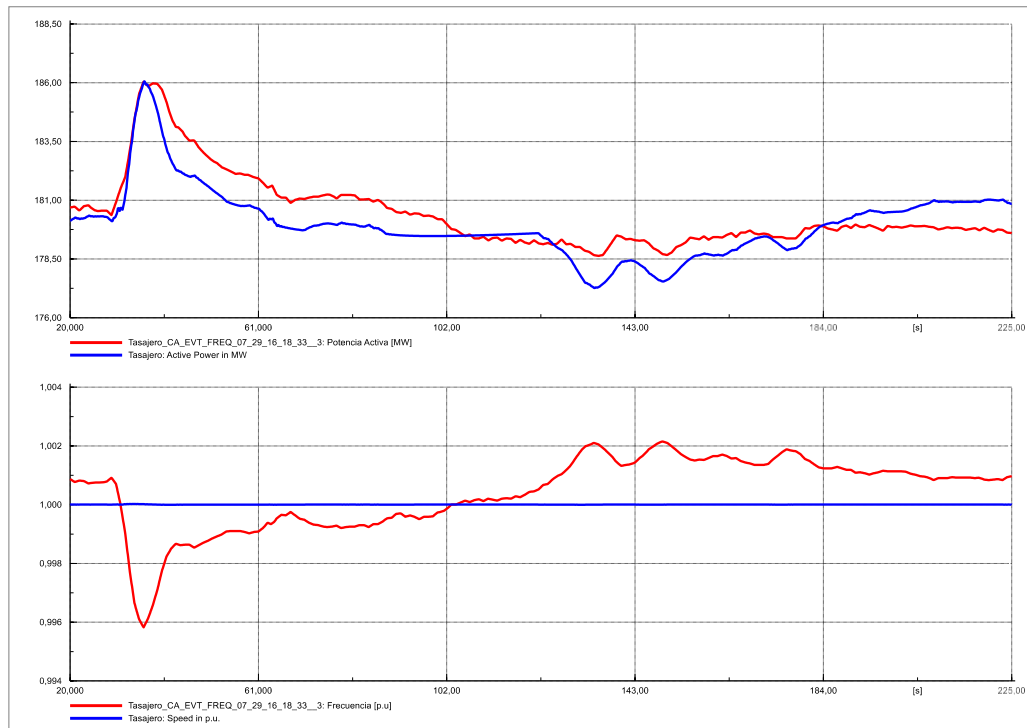


Figura 3. Comparación potencia activa simulada y real, Evento_3_2023_07_29_16_18_33

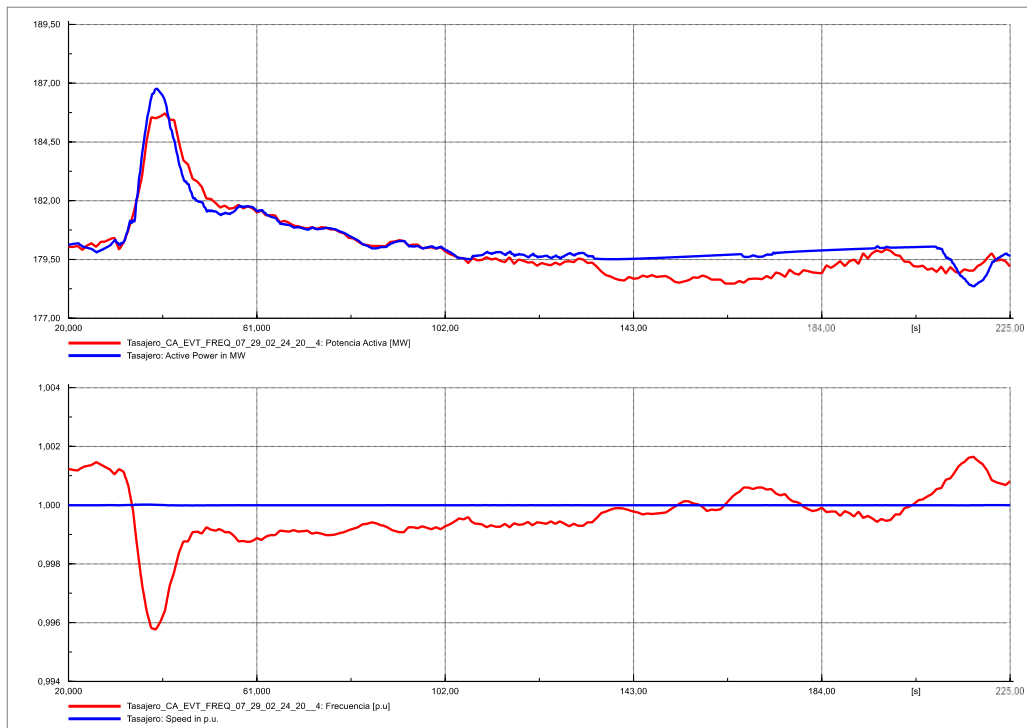


Figura 4. Comparación potencia activa simulada y real, Evento_4_2023_07_29_02_24_20

SEGUIMIENTO A EVENTOS DE FRECUENCIA TERMOTASAJERO U1

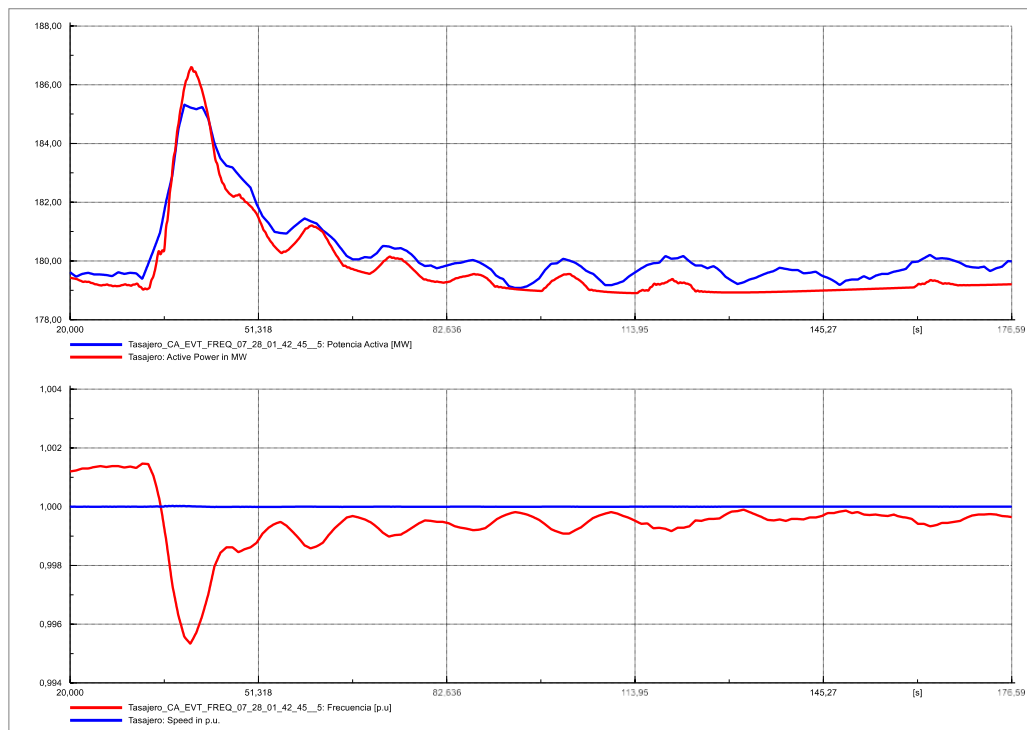


Figura 5. Comparación potencia activa simulada y real, Evento_5_2023_07_28_01_42_45

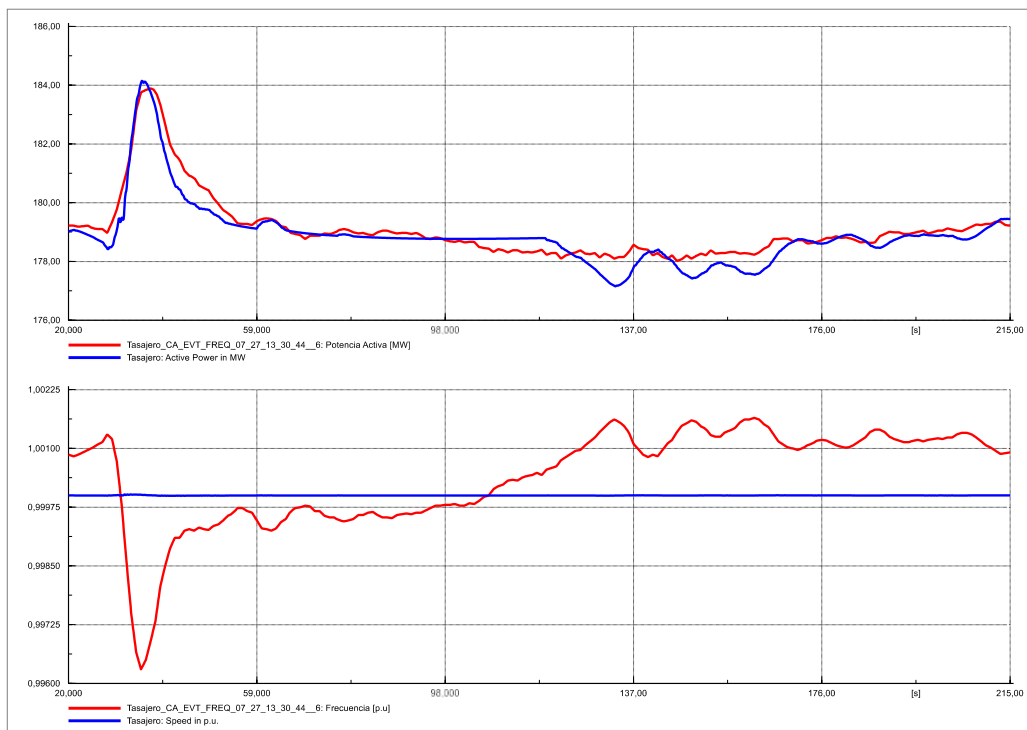


Figura 6. Comparación potencia activa simulada y real, Evento_6_2023_07_27_13_30_44

SEGUIMIENTO A EVENTOS DE FRECUENCIA TERMOTASAJERO U1

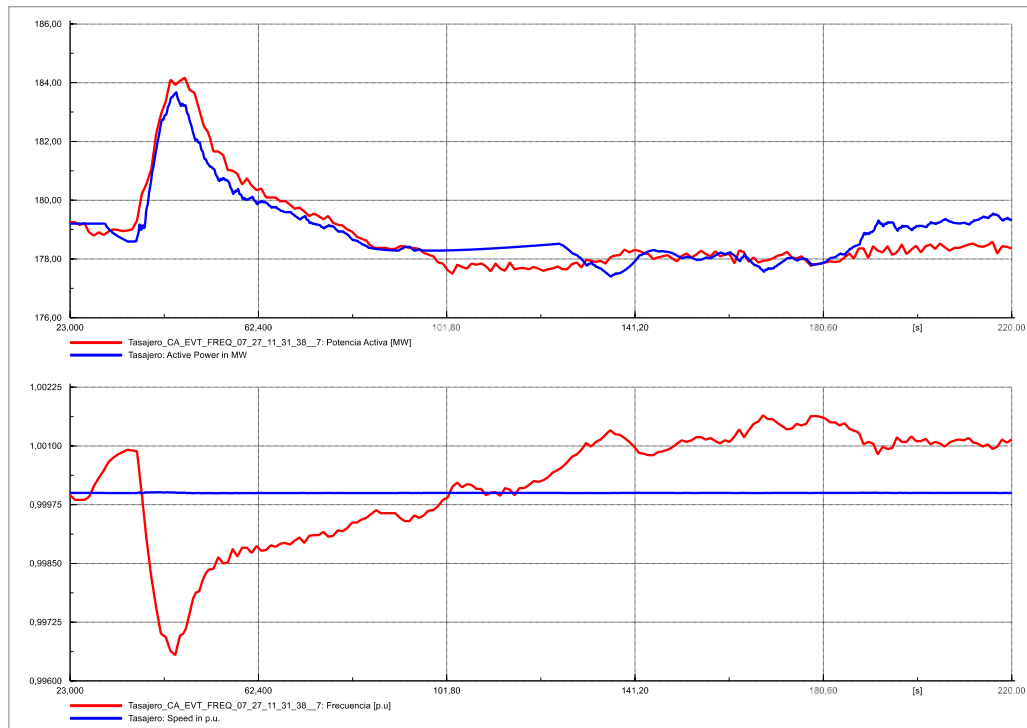


Figura 7. Comparación potencia activa simulada y real, Evento_7_2023_07_27_11_31_38

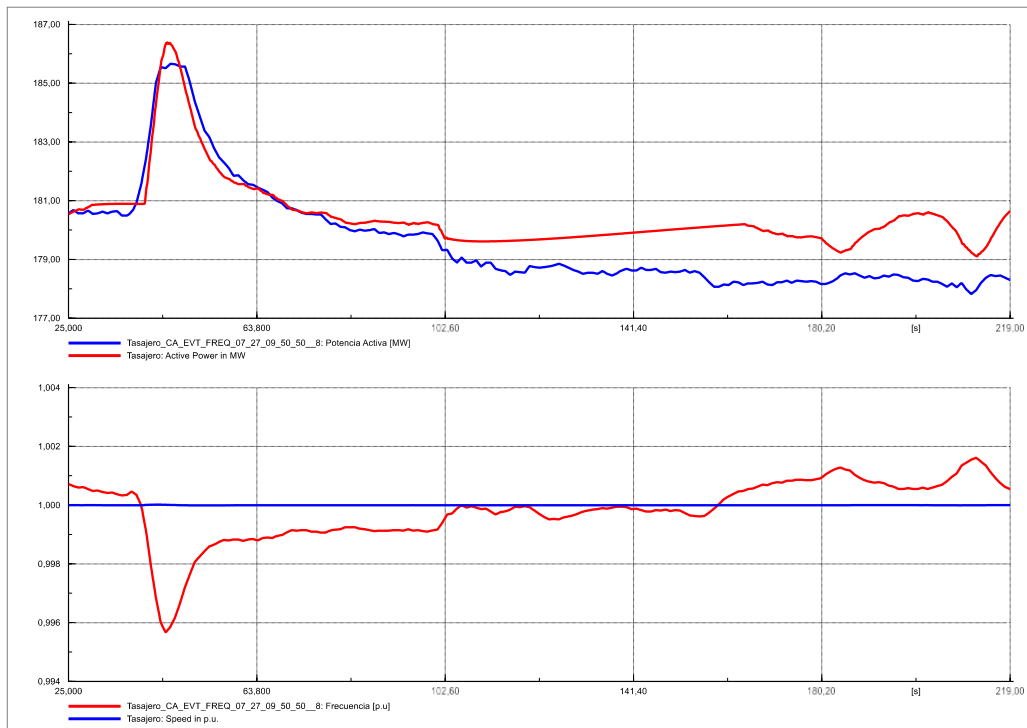


Figura 8. Comparación potencia activa simulada y real, Evento_8_2023_07_27_09_50_50

SEGUIMIENTO A EVENTOS DE FRECUENCIA TERMOTASAJERO U1

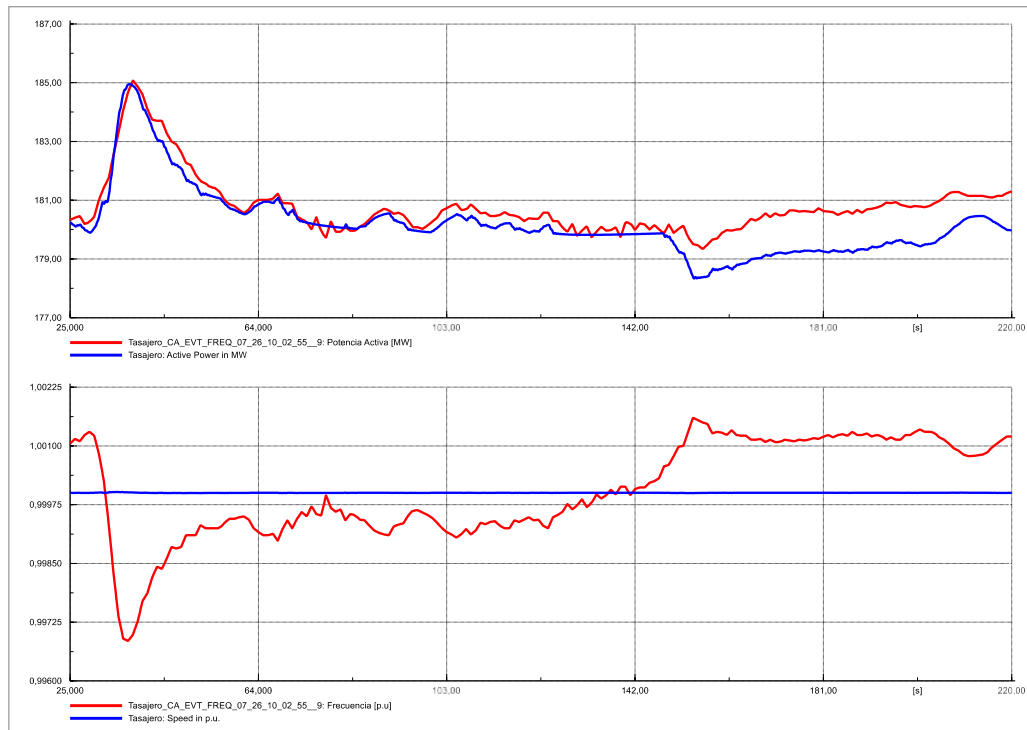


Figura 9. Comparación potencia activa simulada y real, Evento_9_2023_07_26_10_02_55

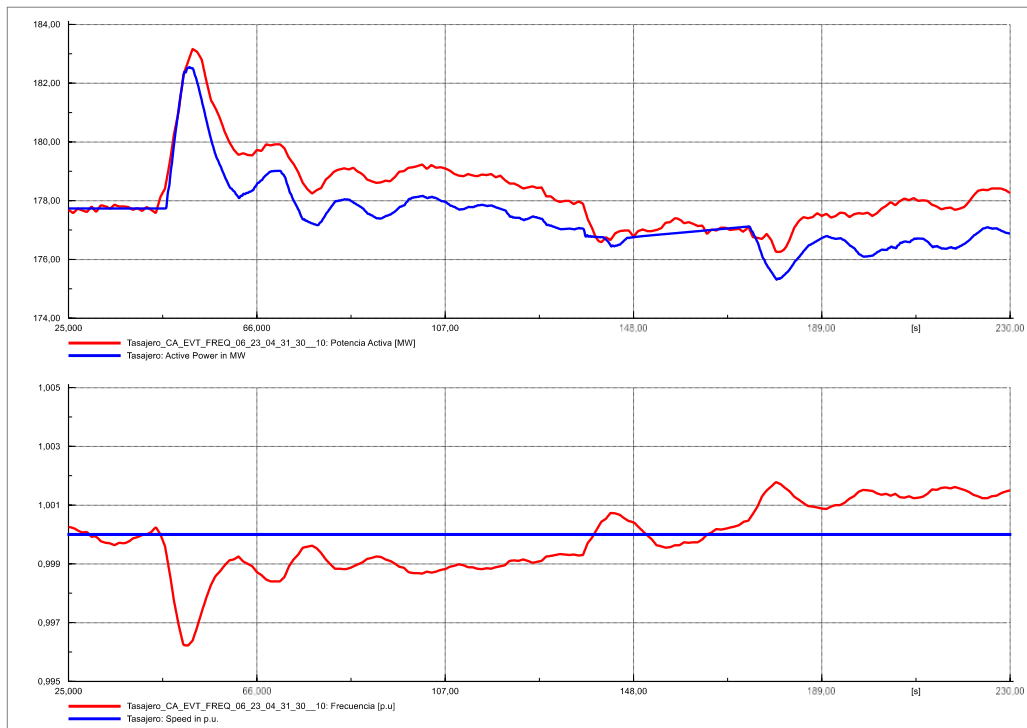


Figura 10. Comparación potencia activa simulada y real, Evento_10_2023_06_23_04_31_30

SEGUIMIENTO A EVENTOS DE FRECUENCIA TERMOTASAJERO U1

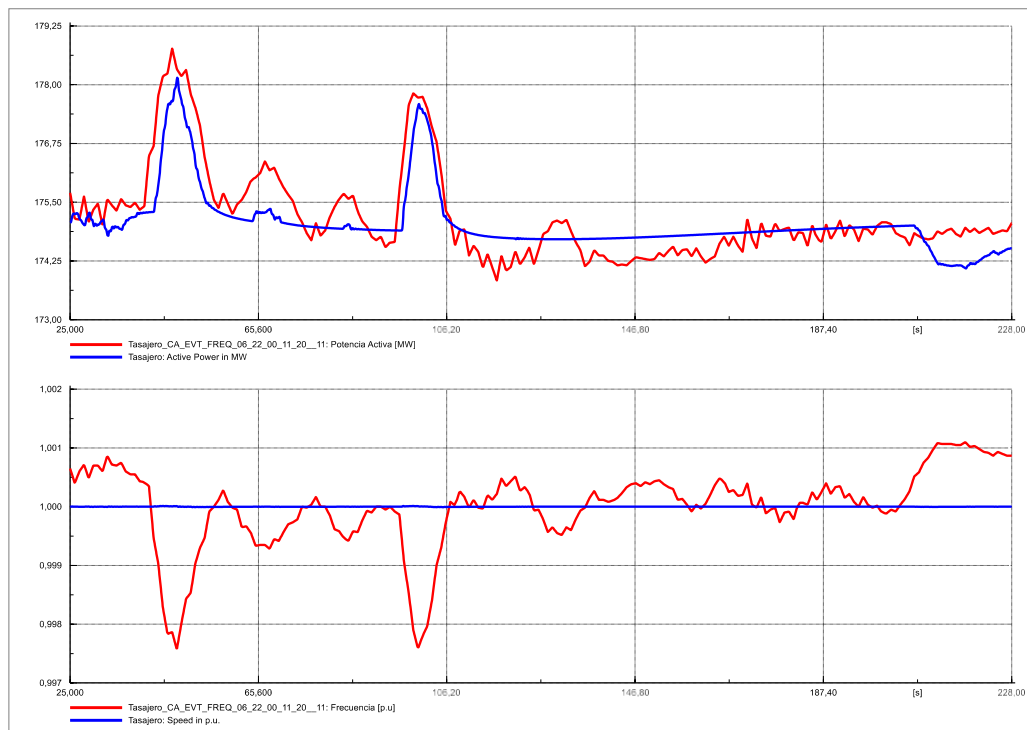


Figura 11. Comparación potencia activa simulada y real, Evento_11_2023_06_22_00_11_20

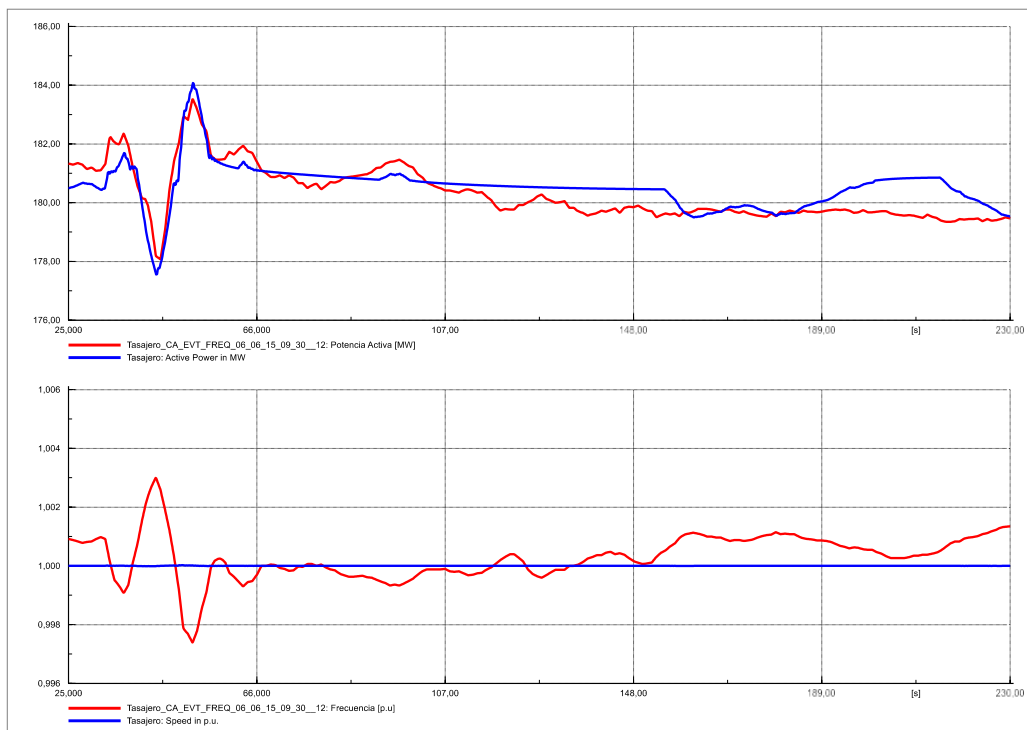


Figura 12. Comparación potencia activa simulada y real, Evento_12_2023_06_06_15_09_30

SEGUIMIENTO A EVENTOS DE FRECUENCIA TERMOTASAJERO U1

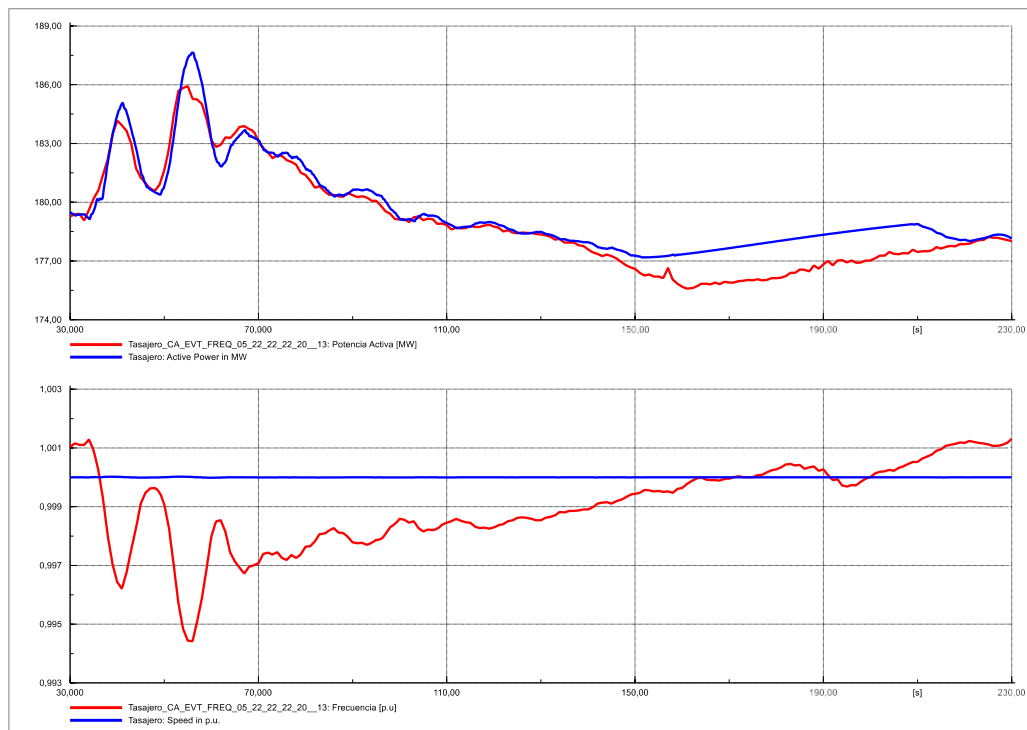


Figura 13. Comparación potencia activa simulada y real, Evento_13_2023_05_22_22_20

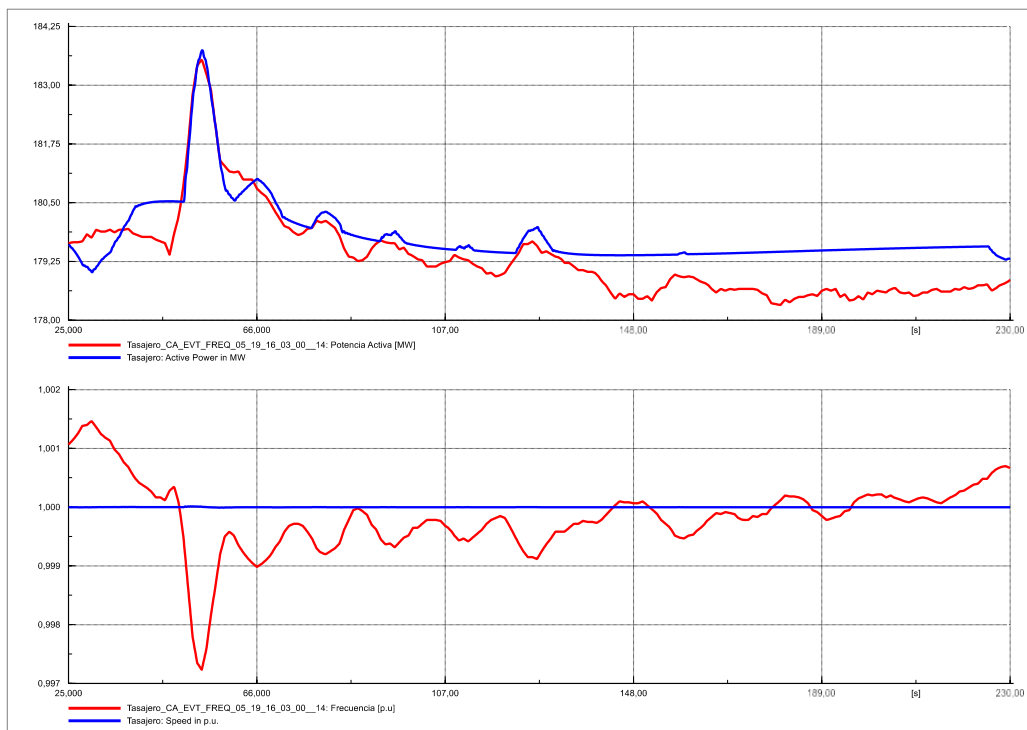


Figura 14. Comparación potencia activa simulada y real, Evento_14_2023_05_19_16_03_00

SEGUIMIENTO A EVENTOS DE FRECUENCIA TERMOTASAJERO U1

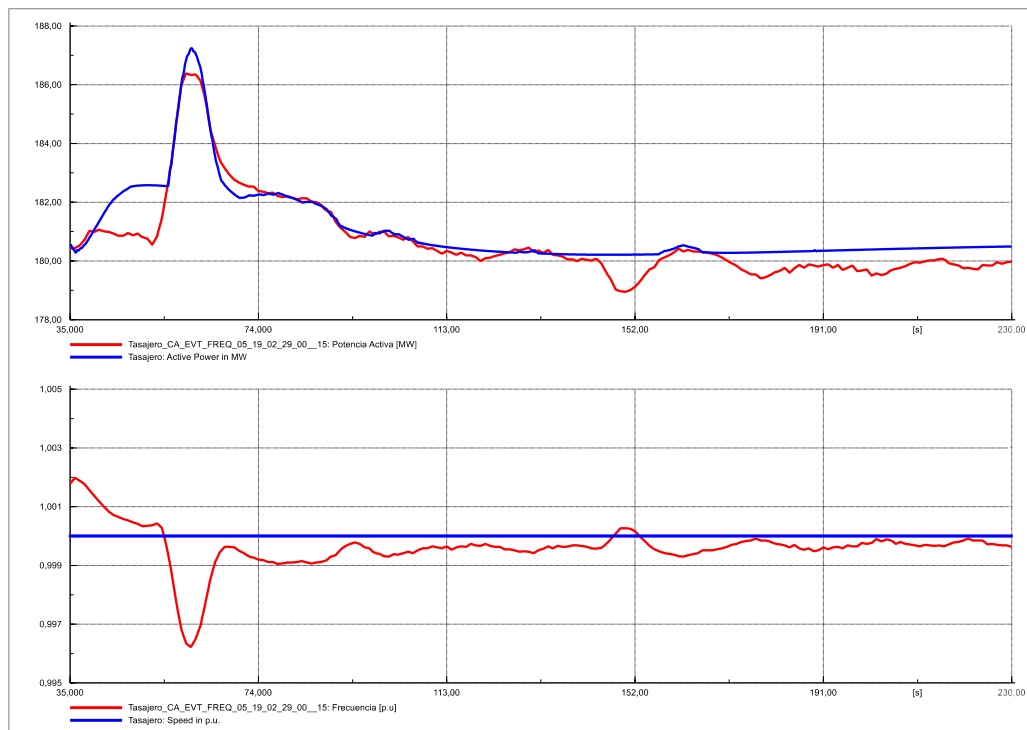


Figura 15. Comparación potencia activa simulada y real, Evento_15_2023_05_19_02_29_00

SEGUIMIENTO A EVENTOS DE FRECUENCIA TERMOTASAJERO U1

5.2. Cálculo de Indicadores

En la Tabla 2 se presenta una comparativa del indicador EC calculado por XM y por IEB para el desempeño del modelo del gobernador de la unidad 1 de Termotasajero, aprobado según el acuerdo CNO 1437, sin ajuste fino, ante la inyección de los eventos listados en la Tabla 1.

En la Tabla 3 se muestran los resultados del cálculo de los indicadores EAMN, CCL y EC para el modelo del gobernador de la unidad 1 de Termotasajero, habiendo realizado el ajuste fino, ante la inyección de los eventos.

**Tabla 2. Comparación índice EC calculado XM vs IEB
Modelo Gobernador U1 Sin Ajuste Fino**

Evento	Índice EC XM	Índice EC IEB	Cumplimiento
2023_07_31_08_42_55_EVT_1_	27,839	28,656	SI
2023_07_29_18_45_00_EVT_2_	48,291	53,329	NO
2023_07_29_16_18_33_EVT_3_	49,049	52,811	NO
2023_07_29_02_24_20_EVT_4_	32,901	40,612	NO
2023_07_28_01_42_45_EVT_5_	37,429	44,525	NO
2023_07_27_13_30_44_EVT_6_	46,080	47,162	NO
2023_07_27_11_31_38_EVT_7_	35,122	35,194	NO
2023_07_27_09_50_50_EVT_8_	33,271	34,843	NO
2023_07_26_10_02_55_EVT_9_	70,849	83,330	NO
2023_06_23_04_31_30_EVT_10_	30,561	32,752	NO
2023_06_22_00_11_20_EVT_11_	19,207	19,138	SI
2023_06_06_15_09_30_EVT_12_	85,612	96,092	NO
2023_05_22_22_22_20_EVT_13_	19,826	24,887	SI
2023_05_19_16_03_00_EVT_14_	50,122	52,415	NO
2023_05_19_02_29_00_EVT_15_	46,466	48,348	NO

**SEGUIMIENTO A EVENTOS DE FRECUENCIA
TERMOTASAJERO U1**

**Tabla 3. Índice EAMN, CCL y EC
Modelo Gobernador U1 Con Ajuste Fino**

Evento	Índice ANTES de Ajuste Fino	Cumplimiento ANTES de Ajuste Fino	Índices DESPUES de Ajuste Fino			Cumplimiento DESPUES de Ajuste Fino
	EC		EAMN	CCL	EC	
2023_07_31_08_42_55_EVT_1_	27,839	SI	14,792	0,769	18,946	SI
2023_07_29_18_45_00_EVT_2_	48,291	NO	20,076	0,624	28,814	SI
2023_07_29_16_18_33_EVT_3_	49,049	NO	15,391	0,850	15,219	SI
2023_07_29_02_24_20_EVT_4_	32,901	NO	7,822	0,944	6,700	SI
2023_07_28_01_42_45_EVT_5_	37,429	NO	9,528	0,974	6,066	SI
2023_07_27_13_30_44_EVT_6_	46,080	NO	6,757	0,945	6,131	SI
2023_07_27_11_31_38_EVT_7_	35,122	NO	9,758	0,935	8,133	SI
2023_07_27_09_50_50_EVT_8_	33,271	NO	19,300	0,920	13,640	SI
2023_07_26_10_02_55_EVT_9_	70,849	NO	12,824	0,900	11,435	SI
2023_06_23_04_31_30_EVT_10_	30,561	NO	17,597	0,908	13,380	SI
2023_06_22_00_11_20_EVT_11_	19,207	SI	13,076	0,875	12,790	SI
2023_06_06_15_09_30_EVT_12_	85,612	NO	15,336	0,778	18,775	SI
2023_05_22_22_22_20_EVT_13_	19,826	SI	10,689	0,959	7,387	SI
2023_05_19_16_03_00_EVT_14_	50,122	NO	13,967	0,902	11,866	SI
2023_05_19_02_29_00_EVT_15_	46,466	NO	7,074	0,944	6,356	SI

De la tabla anterior, se observa como el ajuste fino propuesto en el modelo de gobernador de la unidad 1 de Termotasajero mejora el desempeño de este ante la inyección de eventos de frecuencia, lo anterior se valida por medio del cumplimiento del índice EC el cual en todos los casos es inferior a 30%.

SEGUIMIENTO A EVENTOS DE FRECUENCIA TERMOTASAJERO U1

6. AJUSTE FINO MODELO GOBERNADOR

Se realizó un ajuste fino al modelo del gobernador de velocidad de la unidad 1 de Termotasajero con el objetivo de mejorar el desempeño en respuesta a eventos de inyección de frecuencia reales. Los resultados de este ajuste se presentan en la Tabla 4 a la Tabla 6 y los diagramas de bloque de cada control en la Figura 16 a la Figura 18. Es importante destacar que, durante este proceso, no fue necesario realizar cambios estructurales en ninguno de los controles asociados al Regulador de Velocidad.

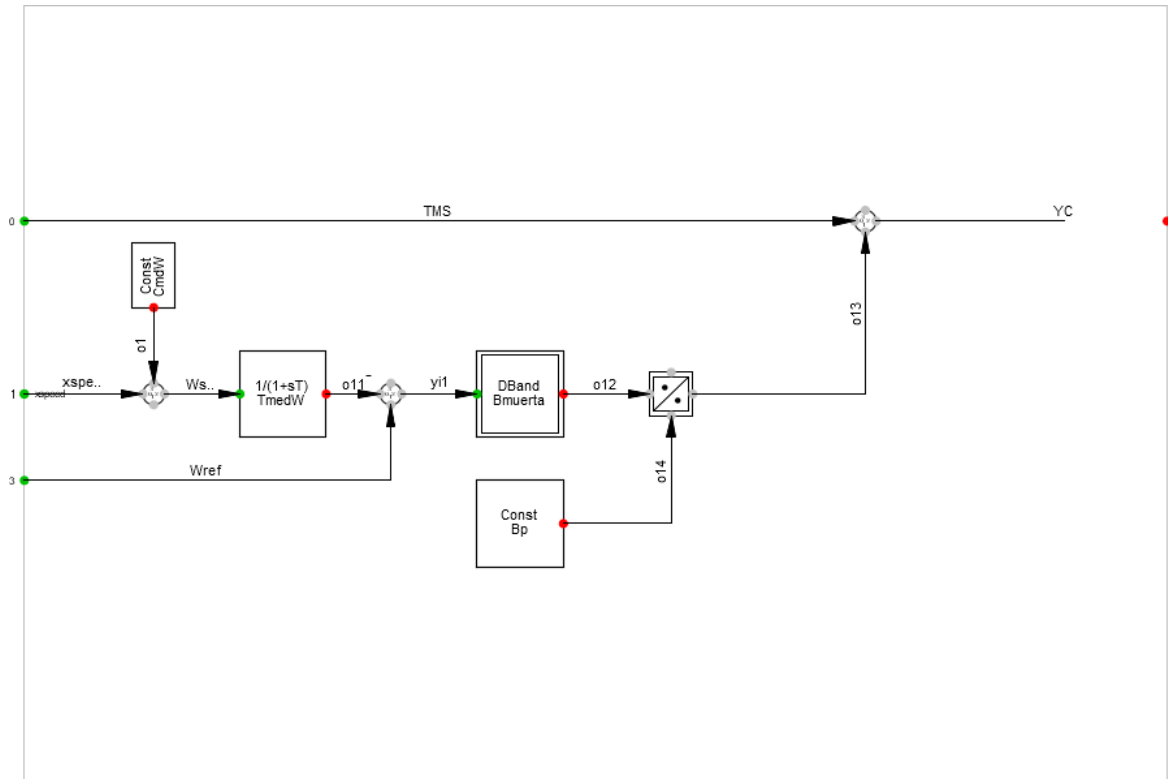


Figura 16. Modelo de control del bloque “ACTUADOR” Acuerdo CNO 1437

Tabla 4. Parámetros Ajuste Fino Modelo “ACTUADOR” U1 Termotasajero

Parámetro	Valor Anterior	Valor Nuevo
TmedW	0,05	0
Bmuerta*	0,00083333	0,0005
Bp*	0,05	0,0533
CmdW	0	0

Nota *: La Banda Muerta – Bmuerta y Estatismo – Bp, fueron ajustados según información PARATEC.

SEGUIMIENTO A EVENTOS DE FRECUENCIA TERMOTASAJERO U1

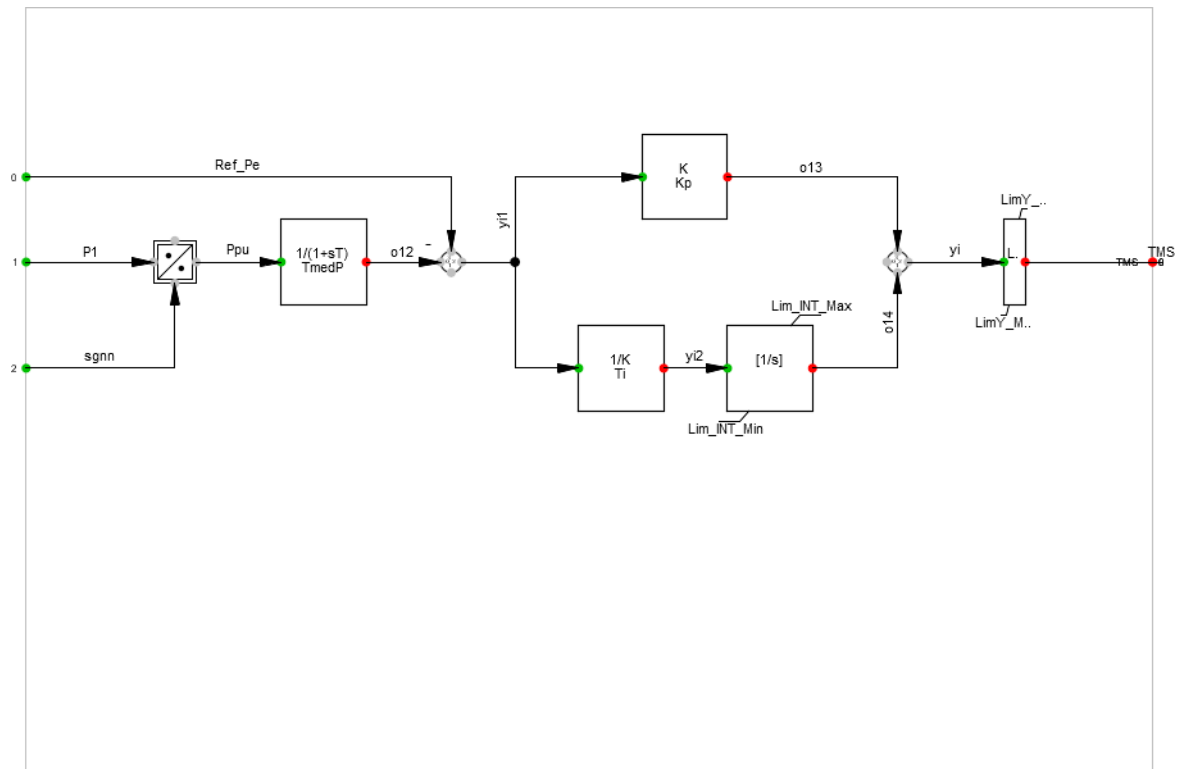


Figura 17. Modelo de control del bloque “POTENCIA” Acuerdo CNO 1437

Tabla 5. Parámetros Ajuste Fino Modelo “POTENCIA” U1 Termotasajero

Parámetro	Valor Anterior	Valor Nuevo
TmedP	0	0
Kp	0,15	0,15
Ti	60	20
Lim_INT_Min	-10	-10
LimY_Min	0	0
Lim_INT_Max	120	120
LimY_Max	0,86	0,91

SEGUIMIENTO A EVENTOS DE FRECUENCIA TERMOTASAJERO U1

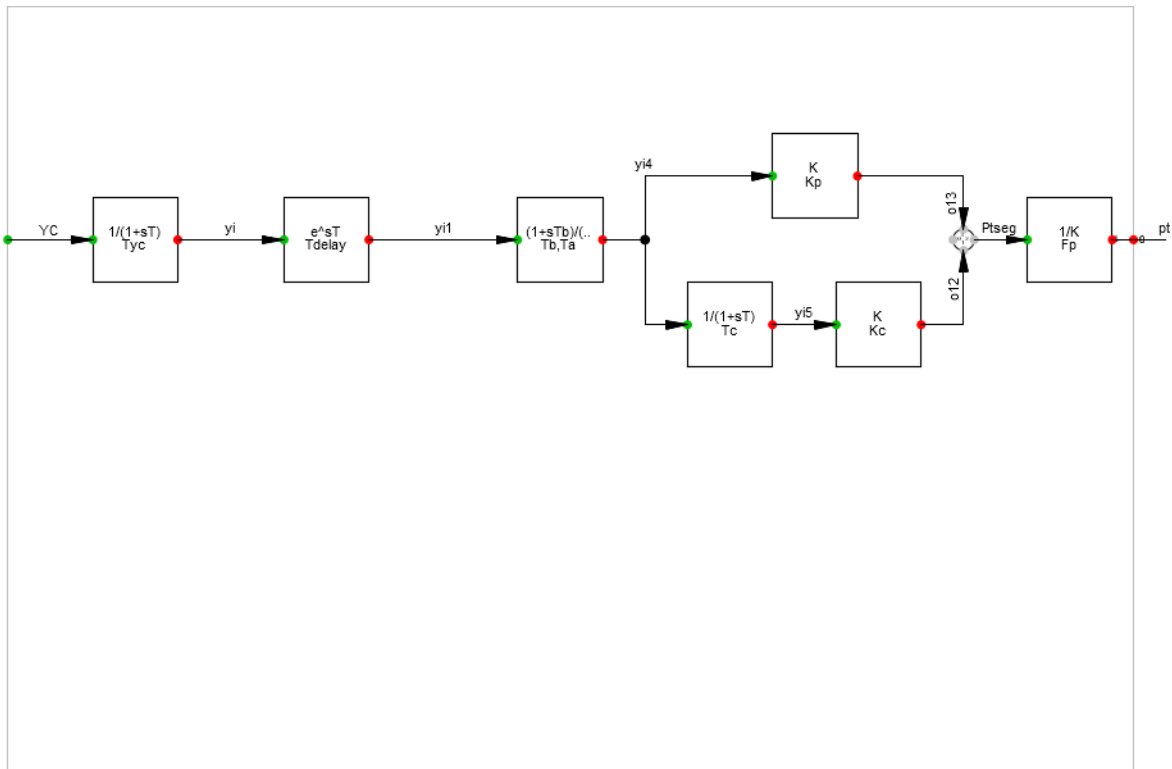


Figura 18. Modelo de control del bloque “TURBINA” Acuerdo CNO 1437

Tabla 6. Parámetros Ajuste Fino Modelo “TURBINA” U1 Termotasajero

Parámetro	Valor Anterior	Valor Nuevo
Tyc	1,75	0,02
Tdelay	0,3	0
Tb	20	24
Ta	30	53
Kp	0,7	0,7
Tc	3	3
Kc	0,3	0,3
Fp	0,85	0,85

SEGUIMIENTO A EVENTOS DE FRECUENCIA TERMOTASAJERO U1

7. CONCLUSIONES

- 1) Los resultados obtenidos muestran, que una vez realizado el ajuste fino en el modelo del gobernador de la unidad 1 de Termotasajero, y ante la inyección de los eventos de frecuencia presentados en la Tabla 1, se cumple con el indicador $EC < 30\%$, por lo tanto, se concluye que el cambio realizado mejora el desempeño dinámico del modelo en cuanto al patrón asociado a que la potencia máxima del modelo difiere de la potencia máxima real del generador
- 2) En la implementación del ajuste fino del modelo de gobernador de velocidad, aprobado según el acuerdo CNO 1437 para la Unidad 1 de Termotasajero, no fue necesario realizar cambios estructurales en los diagramas de bloques asociados a este control.

**SEGUIMIENTO A EVENTOS DE FRECUENCIA
TERMOTASAJERO U1**

8. REFERENCIAS

- [1]. KUNDUR, Prabha, "Power System Stability and Control", McGraw-Hill, NewYork, 1994.
- [2]. Resolución CREG 025. Por la cual se establece el Código de Redes, como parte del Reglamento de Operación del Sistema Interconectado Nacional, julio 1995.
- [3]. Resolución CREG 135. Por la cual se modifica la Resolución CREG 025 de 1995 que establece el Reglamento de Operación del Sistema Interconectado Nacional, septiembre 2013.
- [4]. Acuerdo 1643, " Por el cual se establecen los requerimientos para la obtención y validación de parámetros del generador y los modelos del sistema de excitación, control de velocidad/potencia y estabilizadores de sistemas de potencia de las unidades de generación sincrónicas del SIN despachadas centralmente, y se definen las pautas para las pruebas y reajustes de los controles de generación", Consejo Nacional de Operación CNO, noviembre de 2022.
- [5]. Centro Nacional de Despacho, "Seguimiento a modelos de control de TERMOTASAJERO ante eventos de frecuencia", CND, septiembre de 2023.
- [6]. Acuerdo 1437, "Por el cual se aprueba la incorporación de un cambio de los modelos del generador asociados a las plantas de generación Tasajero I y Tasajero II", Consejo Nacional de Operación CNO, junio de 2021.