

Informe de Observaciones Homologación de Modelo EMT

Rev.	Fecha	Elabora	Revisa	Aprueba
1	05/12/2024	Fabián Medina.	Simón Veloso R.	Víctor Velar G.

1. Introducción

El presente informe tiene como objetivo analizar y verificar el modelo EMTP entregado por el Coordinado, dando cumplimiento a lo establecido en la Norma Técnica de Seguridad y Calidad de Servicio (NTSyCS), publicada en septiembre del 2020, y en el “Procedimiento Interno de Modelación y Homologación de Instalaciones del SEN”, publicado en agosto del 2022.

El nuevo documento emitido por el Coordinado debe estar acompañado de una minuta respondiendo a cada una de las observaciones realizadas en el presente informe de observaciones. Asimismo, se deben incluir en el nuevo documento todas las resoluciones indicadas en dicha minuta, cuando corresponda.

Cabe destacar que, dependiendo de las respuestas a las observaciones presentadas en este documento, se podrían incluir comentarios adicionales en informes de observación posteriores a éste.

2. Antecedentes generales

Coordinado	Central Cardones S.A.
Tipo de componente	Central Generadora Sincrónica
Nombre de componente	TER Cardones
Modelo EMTP elaborado por	GME
Fecha de recepción del modelo EMTP	13/11/2023
Tipo de modelo EMTP	Modelo Estándar (Etapa I)

3. Documentación recibida

[1]	DE06864-23pdf
[2]	A 0907- Inkia - Modelo matemático estandar EMT - CT Cardones.pdf
[3]	CT_Cardones_RAT_CARGA_PSSoff.ecf
[4]	CT_Cardones_RAT_CARGA_PSSon.ecf
[5]	CT_Cardones_RAT_VACIO.ecf
[6]	CT_Cardones_RAV_CARGA.pdf
[7]	CT_Cardones_RAV_VACIO
[8]	GME_Banco_CT_Cardones.pfd

4. Revisión de informe y modelo				
Revisión	Item	Cumplimiento	Observaciones	
General	Entrega Informe de homologación de modelos.	Cumple		
	Entrega base de datos DlgSilent Power Factory (verificar con DMAP).	Cumple		
	Entrega base de datos EMTP.	Cumple		
	Entrega los registros de los ensayos realizados.	Pendiente	Adjuntar registros de simulaciones en DlgSILENT PowerFactory, conforme a lo indicado en la sección 8.3 del procedimiento de homologación.	
Informe	Introducción	Menciona la ubicación de la central dentro del SEN, explicitando el punto de conexión al sistema de transmisión, y la describe en general con respecto a tipo de máquina o equipo de compensación, potencial nominal, factor de potencia, velocidad nominal, potencia máxima, mínimo técnico, tensión nominal, etc. Se indican todas las obras que habilitan la conexión del proyecto.	Cumple	
	Ensayos	Se presentan los ensayos y verificaciones solicitados en el informe.	Pendiente	Realizar y presentar en el informe las simulaciones faltantes para cumplir con lo exigido en el procedimiento de homologación.
		Se detalla día y hora en que se realizaron los ensayos.	No Aplica	Modelo EMTP se compara con simulaciones de modelo RMS homologado en DlgSILENT PowerFactory.
		Se detallan las maniobras realizadas, montos de escalones, cambios de consigna, valores de referencia, ajustes realizados, conexiones/desconexiones de instalaciones, etc.	Cumple	
		Se presentan los resultados mostrando variables eléctricas y señales de control.	Cumple	
		Todas las gráficas constan de títulos claros, etiquetas en los ejes, unidades de medida y escalas apropiadas (calidad del formato).	Cumple	
	Modelo Matemático	Se presenta modelo, marca y hoja de datos de los equipos principales.	Cumple	
		Se muestran los diagramas de bloques funcionales de los sistemas de control.	Cumple	
		Se mencionan las protecciones con sus ajustes que pueden operar bajo contingencia (tensión, frecuencia, pérdida de sincronismo, etc)	Cumple	
		Se presenta el plano general de la disposición de la planta para verificación de largo de cables, cantidad de equipos, bloques de generación, etc).	Cumple	
		Se presenta documentación del fabricante utilizada para la modelación.	Cumple	
		Se describe cada modo de control disponible de la central, indicando los límites operacionales para el aporte de activos en el control de carga/velocidad o frecuencia/potencia.	Cumple	
		Se indican los parámetros con los rangos de ajuste por parte del operador.	Cumple	
		Se justifican supuestos y se incorpora toda la información para validar el modelo.	Cumple	
		Se define explícitamente cualquier límite de uso del modelo, especialmente aquellos referidos a los rangos de frecuencia y de SCR, así como razón X/R de la red. Cualquier limitación numérica o de modelación producto de los niveles de fortaleza de la red (baja razón ESCR) es claramente identificada y definida.	No Aplica	
		Se explican los procedimientos para efectuar los cambios de parámetros (la carga del modelo en el software, realización de los casos de simulación y explicación del escalamiento de la instalación).	Cumple	
Forma de curvas (magnitud, fase, valores, valor inicial, valor final y rapidez de respuesta) coinciden con las obtenidas en los ensayos en terreno. Ambas curvas se incluyen en el informe.	Cumple			

		Indicar explícitamente valores de desempeño, como por ejemplo: tiempos de subida, bajada, oscilaciones, amortiguaciones, bandas muertas y retardos coinciden con los ensayos en terreno. Curvas se incluyen en el informe.	Pendiente	Incluir índices de desempeño en el informe de homologación, según lo indicado en la sub-sección 5.1.4 del procedimiento de homologación.
		Índice de correlación de las curvas simulada y registros de ensayos es mayor o igual al 90%. Valores se incluyen en el informe.	Pendiente	Incluir índices de desempeño en el informe de homologación, según lo indicado en la sub-sección 5.1.4 del procedimiento de homologación.
		Índice de esfuerzo de las curvas simulada y registros de ensayos está entre 90% y 120%. Valores se incluyen en el informe.	Pendiente	Incluir índices de desempeño en el informe de homologación, según lo indicado en la sub-sección 5.1.4 del procedimiento de homologación.
		Error cuadrático medio no superior al 2% para transitorio y no mayor a 1% para el permanente. Aparece el error en el informe.	Pendiente	Incluir índices de desempeño en el informe de homologación, según lo indicado en la sub-sección 5.1.4 del procedimiento de homologación.
		Se presenta la simulación de cortocircuitos en la barra de AT del transformador elevador para diferentes tensiones de operación (ej: 0.95 a 1.05 pu) en base de datos de prueba, despejados en 200 ms.	Pendiente	Presentar en el informe las simulaciones de cortocircuitos requeridas para cumplir con lo establecido en la sub-sección 8.2.1 del procedimiento de homologación.
	Conclusión	Se concluye al respecto del cumplimiento de los requerimientos NTSyCS y los requerimientos para SSCC si aplica.	Pendiente	Concluir respecto a los requerimientos normativos correspondientes, conforme a lo indicado en la sección 8.1 del procedimiento de homologación.
Simulaciones	Base de datos de prueba	El archivo .ecf se abre sin problemas con la versión utilizada por el Coordinador.	Cumple	Mencionar la versión EMTP utilizada para simular los ensayos en las bases de datos de pruebas entregadas.
		La base de pruebas contiene un elemento equivalente, con un SCR y razón X/R característicos, para representar el punto de conexión al sistema de transmisión.	Cumple	
		Parámetros del sistema coinciden con los declarados en el informe (controladores, limitadores, valores nominales de equipos, etc.)	Cumple	
		Modelo admite inicialización a través de un flujo de carga estático, y permite realizar una simulación dinámica plana para cualquier nivel de carga.	Cumple	
		Modelo logra reproducir los ensayos presentados en el informe.	Cumple	
		Simulaciones dinámicas de cortocircuito en la barra de AT del transformador elevador para diferentes tensiones de operación (ej. 0.95 a 1.05 pu), despejados en 200 ms, son estables. Las curvas resultantes coinciden con las entregadas en el informe por el Coordinado.	Pendiente	Presentar en el informe las simulaciones de cortocircuitos requeridas para cumplir con lo establecido en la sub-sección 8.2.1 del procedimiento de homologación.
	Integración a modelo agregado del SEN en EMTP	Modelo admite inicialización a través de un flujo de carga estático, y permite realizar una simulación dinámica plana de 100 segundos para cualquier nivel de carga.	Cumple	
		Respuesta del modelo evidencia variación no nula ante escalones en la tensión de referencia de la central preservando la estabilidad del sistema.	Cumple	
Modelo corre ante un cortocircuito bifásico franco a tierra en la barra de conexión de la central al SEN.		Cumple		

Modelo	Estándar/ Único	El modelo es agregado y escalable, obteniendo una respuesta similar al parque desagregado, estática y dinámicamente ante cambios de consigna y fallas.	Cumple	
		El modelo coincide con lo mostrado en infotecnica.	Cumple	
		Cantidad de unidades modeladas en EMTP coinciden con las existentes en el proyecto (convertidores, unidades generadoras, turbinas, equipos de compensación, etc.)	Cumple	
		El control centralizado es coherente con el modelo agregado (concentrado) de la planta. Es decir, las señales pertinentes deben representar la suma de los modelos agregados (por ejemplo, potencia activa y reactiva).	Cumple	
		Modelo debe participar en el flujo de carga trifásico EMTP e inicializarse en el dominio del tiempo automáticamente.	Cumple	
		Usuario puede cambiar entre modelo detallado (de conmutación) y modelo de valor medio (AVM) del inversor.	No Aplica	
		Modelo puede ejecutarse con paso de tiempo de 50 μ s.	Cumple	
		Variables o comandos de entrada, tales como consignas de potencia, tensión y factor de potencia, están disponibles para aplicar cambios de consigna.	Cumple	
		Permite acceso a parámetros de medición, control y protección específicos de la instalación.	Cumple	
		Permite acceso a variables internas y de salida más importantes.	Cumple	
		El modelo tiene una representación que permite realizar análisis de armónicos (de ser necesario) asociados a los algoritmos de switching de su equipamiento.	No Aplica	
	Único	Cuenta con los modelos del equipamiento en fábrica o laboratorio (encriptado o no).	No Aplica	
		Permite acceso a parámetros clave.	No Aplica	
		Posee el firmware más actualizado para los sistemas de control.	No Aplica	
		Menciona la validación de los equipos de control y protecciones en software a tiempo real y adjunta informe.	No Aplica	

5. Revisión de ensayos y simulaciones

Revisión	Ítem	Estado	Índice de Esfuerzo	Índice de Correlación	Error Cuadrático Medio	Tiempo de reacción	Tiempo de crecimiento	Tiempo de establecimiento	Observaciones		
CENTRAL GENERADORA SINCRÓNICA											
Ensayos	Generador	Verificación de curva de saturación.	Pendiente	Pendiente	Pendiente	Pendiente	No Aplica	No Aplica	No Aplica	Verificar curva de saturación conforme a lo exigido en la sub-sección 6.1.1.1 del procedimiento de homologación.	
		Verificación de puntos de operación	Pendiente	No Aplica	No Aplica	No Aplica	No Aplica	No Aplica	No Aplica	Realizar simulación de verificación conforme a lo exigido en la sub-sección 6.1.1.2 del procedimiento de homologación, con el generador sincronizado a la red.	
		Determinación de constante de inercia.	Pendiente	Pendiente	Pendiente	Pendiente	Pendiente	Pendiente	Pendiente	Realizar simulación para obtener constante de inercia conforme a lo exigido en la sub-sección 6.1.1.3 del procedimiento de homologación.	
		Determinación de relación EFDmax/EFDnom.	Pendiente	No Aplica	No Aplica	No Aplica	No Aplica	No Aplica	No Aplica	No Aplica	Realizar simulación para obtener relación, conforme a lo exigido en la sub-sección 8.1.4.1 del procedimiento de homologación.
	Sistema de excitación	Límites sistema excitación.	Pendiente	Pendiente	Pendiente	Pendiente	Pendiente	Pendiente	Pendiente	Realizar simulación conforme a lo exigido en la sub-sección 6.1.2.1 del procedimiento de homologación.	
		Respuesta temporal del AVR: Generador operando en vacío a velocidad nominal.	Pendiente	Pendiente	Pendiente	Pendiente	Pendiente	Pendiente	Pendiente	Calcular índices de desempeño conforme a lo exigido en la sub-sección 6.1.2.2 del procedimiento de homologación.	
		Respuesta temporal del AVR: - Potencia nominal menor a 10 MW, ensayo a nivel de carga alta.	No Aplica	No Aplica	No Aplica	No Aplica	No Aplica	No Aplica	No Aplica	No Aplica	
		Respuesta temporal del AVR: - Potencia nominal entre 10 y 20 MW, ensayo a nivel de carga media y alta.	No Aplica	No Aplica	No Aplica	No Aplica	No Aplica	No Aplica	No Aplica	No Aplica	
		Respuesta temporal del AVR: - Potencia nominal mayor a 20 MW, ensayo a nivel de carga baja, media y alta.	Pendiente	Pendiente	Pendiente	Pendiente	Pendiente	Pendiente	Pendiente	Pendiente	Realizar simulación para niveles de carga baja y media, conforme a lo exigido en la sub-sección 6.1.2.3 del procedimiento de homologación. Además, se deben calcular los índices de desempeño requeridos.
		Limitador de flujo magnético (V/Hz).	Pendiente	Pendiente	Pendiente	Pendiente	Pendiente	Pendiente	Pendiente	Pendiente	Realizar simulación y calcular índices de desempeño conforme a lo exigido en la sub-sección 6.1.2.3 del procedimiento de homologación.
		Limitador de sobreexcitación (OEL) - Carga baja.	Pendiente	Pendiente	Pendiente	Pendiente	Pendiente	Pendiente	Pendiente	Pendiente	Realizar simulación y calcular índices de desempeño conforme a lo exigido en la sub-sección 6.1.2.3 del procedimiento de homologación.
		Limitador de sobreexcitación (OEL) - Carga media.	Pendiente	Pendiente	Pendiente	Pendiente	Pendiente	Pendiente	Pendiente	Pendiente	Realizar simulación y calcular índices de desempeño conforme a lo exigido en la sub-sección 6.1.2.3 del procedimiento de homologación.
		Limitador de sobreexcitación (OEL) - Carga alta.	Pendiente	Pendiente	Pendiente	Pendiente	Pendiente	Pendiente	Pendiente	Pendiente	Realizar simulación y calcular índices de desempeño conforme a lo exigido en la sub-sección 6.1.2.3 del procedimiento de homologación.
		Limitador de subexcitación (UEL) - Carga baja.	Pendiente	Pendiente	Pendiente	Pendiente	Pendiente	Pendiente	Pendiente	Pendiente	Realizar simulación y calcular índices de desempeño conforme a lo exigido en la sub-sección 6.1.2.3 del procedimiento de homologación.
		Limitador de subexcitación (UEL) - Carga media.	Pendiente	Pendiente	Pendiente	Pendiente	Pendiente	Pendiente	Pendiente	Pendiente	Realizar simulación y calcular índices de desempeño conforme a lo exigido en la sub-sección 6.1.2.3 del procedimiento de homologación.
		Limitador de subexcitación (UEL) - Carga alta.	Pendiente	Pendiente	Pendiente	Pendiente	Pendiente	Pendiente	Pendiente	Pendiente	Realizar simulación y calcular índices de desempeño conforme a lo exigido en la sub-sección 6.1.2.3 del procedimiento de homologación.
Limitador de corriente de estator - Carga baja.	Pendiente	Pendiente	Pendiente	Pendiente	Pendiente	Pendiente	Pendiente	Pendiente	Realizar simulación y calcular índices de desempeño conforme a lo exigido en la sub-sección 6.1.2.3 del procedimiento de homologación.		
Limitador de corriente de estator - Carga media.	Pendiente	Pendiente	Pendiente	Pendiente	Pendiente	Pendiente	Pendiente	Pendiente	Realizar simulación y calcular índices de desempeño conforme a lo exigido en la sub-sección 6.1.2.3 del procedimiento de homologación.		
Limitador de corriente de estator - Carga alta.	Pendiente	Pendiente	Pendiente	Pendiente	Pendiente	Pendiente	Pendiente	Pendiente	Realizar simulación y calcular índices de desempeño conforme a lo exigido en la sub-sección 6.1.2.3 del procedimiento de homologación.		
Limitador de corriente de excitación.	Pendiente	Pendiente	Pendiente	Pendiente	Pendiente	Pendiente	Pendiente	Pendiente	Realizar simulación y calcular índices de desempeño conforme a lo exigido en la sub-sección 6.1.2.3 del procedimiento de homologación.		

		Estabilizadores de potencia (PSS) - ensayo de oscilación modo local.	Pendiente	Pendiente	Pendiente	Pendiente	Pendiente	Pendiente	Pendiente	Realizar simulación y calcular índices de desempeño conforme a lo exigido en la sub-sección 6.1.2.3 del procedimiento de homologación.	
		Estabilizadores de potencia (PSS) - ensayo de ganancia máxima del PSS.	Pendiente	Pendiente	Pendiente	Pendiente	Pendiente	Pendiente	Pendiente	Realizar simulación y calcular índices de desempeño conforme a lo exigido en la sub-sección 6.1.2.3 del procedimiento de homologación.	
		Estabilizadores de potencia (PSS) - ensayo de reducción rápida de la potencia mecánica.	Pendiente	Pendiente	Pendiente	Pendiente	Pendiente	Pendiente	Pendiente	Realizar simulación y calcular índices de desempeño conforme a lo exigido en la sub-sección 6.1.2.3 del procedimiento de homologación.	
		Cuando la instalación en estudio participa en los modos de oscilación inter-área, se simula en la base de datos de prueba un escalón entre el 2% y 5% en la referencia de tensión, con la unidad generadora en potencia máxima y sub-excitada, con una reactancia equivalente del sistema que permita excitar un modo inter-área de 0.2 Hz - Caso con PSS	No Aplica	No Aplica	No Aplica	No Aplica	No Aplica	No Aplica	No Aplica	No Aplica	
			Cuando la instalación en estudio participa en los modos de oscilación inter-área, se simula en la base de datos de prueba un escalón entre el 2% y 5% en la referencia de tensión, con la unidad generadora en potencia máxima y sub-excitada, con una reactancia equivalente del sistema que permita excitar un modo inter-área de 0.2 Hz - Caso sin PSS	No Aplica	No Aplica						
	Sistema de control de carga/velocidad	Ensayo de respuesta temporal - Unidad en vacío.	Pendiente	Pendiente	Pendiente	Pendiente	Pendiente	Pendiente	Pendiente	Pendiente	Calcular índices de desempeño
		Ensayo de respuesta temporal - Carga baja.	Pendiente	Pendiente	Pendiente	Pendiente	Pendiente	Pendiente	Pendiente	Pendiente	Realizar simulaciones para nivel de carga baja y calcular índices de desempeño, conforme a lo exigido en la sub-sección 6.1.3 del procedimiento de homologación.
		Ensayo de respuesta temporal - Carga media.	Pendiente	Pendiente	Pendiente	Pendiente	Pendiente	Pendiente	Pendiente	Pendiente	Realizar simulaciones para nivel de carga media y calcular índices de desempeño, conforme a lo exigido en la sub-sección 6.1.3 del procedimiento de homologación.
		Ensayo de respuesta temporal - Carga alta.	Pendiente	Pendiente	Pendiente	Pendiente	Pendiente	Pendiente	Pendiente	Pendiente	Calcular índices de desempeño
		Operación de la unidad en control de frecuencia - Carga baja.	Pendiente	Pendiente	Pendiente	Pendiente	Pendiente	Pendiente	Pendiente	Pendiente	Realizar simulaciones para nivel de carga baja y calcular índices de desempeño, conforme a lo exigido en la sub-sección 6.1.3 del procedimiento de homologación.
		Operación de la unidad en control de frecuencia - Carga media.	Pendiente	Pendiente	Pendiente	Pendiente	Pendiente	Pendiente	Pendiente	Pendiente	Realizar simulaciones para nivel de carga media y calcular índices de desempeño, conforme a lo exigido en la sub-sección 6.1.3 del procedimiento de homologación.
		Operación de la unidad en control de frecuencia - Carga alta.	Pendiente	Pendiente	Pendiente	Pendiente	Pendiente	Pendiente	Pendiente	Pendiente	Calcular índices de desempeño
		Determinación de tasa de toma y bajada de carga.	Pendiente	Pendiente	Pendiente	Pendiente	Pendiente	Pendiente	Pendiente	Pendiente	Determinar el gradiente MW/minutos de toma de carga de la unidad en base a las simulaciones, conforme a lo establecido en la sub-sección 6.1.3 del procedimiento de homologación.
		Solo centrales hidroeléctricas: determinación de constante de tiempo del agua o de la tubería.	No Aplica	No Aplica	No Aplica	No Aplica	No Aplica	No Aplica	No Aplica	No Aplica	
Solo centrales térmicas, geotérmicas y de concentración solar: verificación de operación de limitadores de potencia.		Pendiente	Pendiente	Pendiente	Pendiente	Pendiente	Pendiente	Pendiente	Pendiente	Realizar simulación conforme a lo indicado en la sub-sección 6.1.3.2 del procedimiento de homologación.	
Validación de control carga/velocidad: Simulación de escalón de +200 mHz y +700 mHz para carga baja.	Pendiente	Pendiente	Pendiente	Pendiente	Pendiente	Pendiente	Pendiente	Pendiente	Efectuar escalones de +700 mHz, además de calcular índices de desempeño conforme a lo exigido en la sub-sección 8.1.4.2 del procedimiento de homologación.		
Validación de control carga/velocidad: Simulación de escalón de +200 mHz y +700 mHz para carga media.	Pendiente	Pendiente	Pendiente	Pendiente	Pendiente	Pendiente	Pendiente	Pendiente	Efectuar escalones de +700 mHz, además de calcular índices de desempeño conforme a lo exigido en la sub-sección 8.1.4.2 del procedimiento de homologación.		
Validación de control carga/velocidad: Simulación de escalón de +200 mHz y +700 mHz para carga alta.	Pendiente	Pendiente	Pendiente	Pendiente	Pendiente	Pendiente	Pendiente	Pendiente	Efectuar escalones de +700 mHz, además de calcular índices de desempeño conforme a lo exigido en la sub-sección 8.1.4.2 del procedimiento de homologación.		

CENTRAL GENERADORA FOTOVOLTAICA O EÓLICA - NO APLICA

EQUIPO DE COMPENSACIÓN DE REACTIVOS - NO APLICA

EQUIPO DE ALMACENAMIENTO DE ENERGÍA - NO APLICA

SISTEMAS HVDC - NO APLICA

6. Anexos

Base de datos de prueba

En este apartado se verifica el funcionamiento de las bases de datos EMTP de prueba entregadas por el Coordinado [3]-[7].

Se deben realizar y presentar en el informe todos los ensayos y simulaciones faltantes que se establecen en el procedimiento de homologación, agregando los limitadores V/Hz, UEL, OEL, limitador de corriente en el estator y de excitación. Además, se deben considerar los niveles de carga baja, carga media y carga alta allí definidos según corresponda.

Adicionalmente, realizar simulaciones faltantes del PSS, siendo éstos el ensayo de oscilación de modo local, ganancia máxima del PSS y el de reducción rápida de potencia mecánica.

Integración a modelo agregado del SEN en EMTP

En este apartado se verifica la incorporación del modelo dinámico EMTP entregado por el Coordinado para TER Cardones, a la base de datos del Sistema Eléctrico Nacional (SEN) en EMTP.

Al incorporar el modelo dinámico entregado por el Coordinado para TER Cardones en la base de datos del SEN en EMTP, se mantiene la estabilidad del sistema para una simulación plana, la simulación de escalones en la referencia de tensión y ante un cortocircuito bifásico a tierra.