

Informe de Observaciones Homologación de Modelo EMT

Rev.	Fecha	Elabora	Revisa	Aprueba
1	09/12/2024	Benjamín Vega G.	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	OPDENERGY Generación SpA
Tipo de componente	Central Generadora Fotovoltaica o Eólica
Nombre de componente	PFV Sol de Los Andes
Modelo EMTP elaborado por	I-SEP
Fecha de recepción del modelo EMTP	30/10/2023
Tipo de modelo EMTP	Modelo Estándar (Etapa I)

3. Documentación recibida

[1]	DE02376-23.pdf
[2]	DE02899-23.pdf
[3]	DE03242-23.pdf
[4]	DE06735-23.pdf
[5]	23052-00-ES-IT-001-Anexo II_RC.pdf
[6]	23052-00-ES-IT-001-Anexo I_RC.ecf
[7]	23052-00-ES-IT-001_RC.pdf

4. Revisión de informe y modelo				
Revisión	Item		Cumplimiento	Observaciones
General	Entrega Informe de homologación de modelos.		Cumple	
	Entrega base de datos DigSilent PowerFactory (verificar con DMAP).		Pendiente	
	Entrega base de datos EMTP.		Cumple	
	Entrega los registros de los ensayos realizados.		Pendiente	Adjuntar registros de simulaciones en DigSILENT 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 DigSILENT 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).	Pendiente	Mejorar la resolución de los gráficos presentados en el informe.
	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).	No Aplica	
		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.	Pendiente	Mencionar en el informe valores límites de SCR y X/R para los que el modelo funciona correctamente, conforme a lo indicado en la sub-sección 5.1.8 del procedimiento de homologación.
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 subsección 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 subsección 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 subsección 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 subsección 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 simulaciones de cortocircuitos para diferentes tensiones de operación, tal como se establece en la subsección 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
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.	Pendiente	Indicar de dónde provienen los valores utilizados para los parámetros de potencia de cortocircuito e impedancia de Thévenin de la fuente de tensión que representa al resto del SEN.
		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 Coordinador.	Pendiente	Presentar en el informe simulaciones de cortocircuitos para diferentes tensiones de operación, tal como se establece en la subsección 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 inductor.	No Aplica	
		Modelo puede ejecutarse con paso de tiempo de 50 μ s.	Cumple	En el informe se indica que el paso máximo de integración para una correcta convergencia de las simulaciones con el modelo entregado es de 0.03 ms (30 μ s). Al respecto, deben tomarse las medidas correspondientes para garantizar que el modelo converja adecuadamente usando un paso de integración de hasta 50 μ s.
		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.	Cumple		
	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 - NO APLICA										
CENTRAL GENERADORA FOTOVOLTAICA O EOLICA										
Verificación diagrama PQ		Pendiente	No Aplica	No Aplica	No Aplica	No Aplica	No Aplica	No Aplica	Verificar diagrama PQ conforme a lo exigido en la sub-sección 6.2.1 del procedimiento de homologación.	
	Control de potencia activa	Medición de tasa de toma y bajada de carga.	Pendiente	Pendiente	Pendiente	Pendiente	Pendiente	Pendiente	Pendiente	Calcular tasa de toma y bajada de carga en [MW/min], conforme a lo indicado en la sub-sección 6.2.2 del procedimiento de homologación.
		Reducción controlada de potencia.	Pendiente	Pendiente	Pendiente	Pendiente	Pendiente	Pendiente	Pendiente	Realizar ensayo para esquema de reducción de carga por sobrefrecuencia, conforme a lo indicado en la sub-sección 6.2.2 del procedimiento de homologación.
		Ensayos respuesta temporal de la planta operando en control de frecuencia - Carga baja.	Pendiente	Pendiente	Pendiente	Pendiente	Pendiente	Pendiente	Pendiente	Realizar ensayo para esquema de control de potencia activa/frecuencia, conforme a lo indicado en la sub-sección 6.2.2 del procedimiento de homologación.
		Ensayos respuesta temporal de la planta operando en control de frecuencia - Carga media.	Pendiente	Pendiente	Pendiente	Pendiente	Pendiente	Pendiente	Pendiente	Calcular índices de desempeño.
		Ensayos respuesta temporal de la planta operando en control de frecuencia - Carga alta.	Pendiente	Pendiente	Pendiente	Pendiente	Pendiente	Pendiente	Pendiente	Realizar ensayo para esquema de control de potencia activa/frecuencia, conforme a lo indicado en la sub-sección 6.2.2 del procedimiento de homologación.
		Operación de la unidad en control de frecuencia - Carga baja.	Pendiente	Pendiente	Pendiente	Pendiente	Pendiente	Pendiente	Pendiente	Realizar ensayo y calcular índices de desempeño, conforme a lo indicado en la sub-sección 6.2.2 del procedimiento de homologación.
		Operación de la unidad en control de frecuencia - Carga media.	Pendiente	Pendiente	Pendiente	Pendiente	Pendiente	Pendiente	Pendiente	Calcular índices de desempeño.
		Operación de la unidad en control de frecuencia - Carga alta.	Pendiente	Pendiente	Pendiente	Pendiente	Pendiente	Pendiente	Pendiente	Realizar ensayo y calcular índices de desempeño, conforme a lo indicado en la sub-sección 6.2.2 del procedimiento de homologación.
	Se muestran los resultados de tiempo de retardo, crecimiento y establecimiento, frecuencias de activación y desactivación, tasa de toma y bajada de carga y estatismo.	Pendiente	Pendiente	Pendiente	Pendiente	Pendiente	Pendiente	Pendiente	Pendiente	Calcular índices de desempeño.
	Control de potencia reactiva/tensión - Control central de la planta	Se aplica escalón de ±3% en la consigna de tensión - Carga baja.	Pendiente	Pendiente	Pendiente	Pendiente	Pendiente	Pendiente	Pendiente	Realizar ensayo para nivel de carga baja y calcular índices de desempeño, conforme a lo indicado en la sub-sección 6.2.3 del procedimiento de homologación.
		Se aplica escalón de ±3% en la consigna de tensión - Carga media.	Pendiente	Pendiente	Pendiente	Pendiente	Pendiente	Pendiente	Pendiente	Calcular índices de desempeño.
		Se aplica escalón de ±3% en la consigna de tensión - Carga alta.	Pendiente	Pendiente	Pendiente	Pendiente	Pendiente	Pendiente	Pendiente	Realizar ensayo para nivel de carga alta y calcular índices de desempeño, conforme a lo indicado en la sub-sección 6.2.3 del procedimiento de homologación.
		Se aplica escalón de ±10% en la consigna de potencia reactiva - Carga baja.	Pendiente	Pendiente	Pendiente	Pendiente	Pendiente	Pendiente	Pendiente	Realizar ensayo para nivel de carga baja y calcular índices de desempeño, conforme a lo indicado en la sub-sección 6.2.3 del procedimiento de homologación.
		Se aplica escalón de ±10% en la consigna de potencia reactiva - Carga media.	Pendiente	Pendiente	Pendiente	Pendiente	Pendiente	Pendiente	Pendiente	Calcular índices de desempeño.
		Se aplica escalón de ±10% en la consigna de potencia reactiva - Carga alta.	Pendiente	Pendiente	Pendiente	Pendiente	Pendiente	Pendiente	Pendiente	Realizar ensayo y calcular índices de desempeño, conforme a lo indicado en la sub-sección 6.2.3 del procedimiento de homologación.
		Se aplica escalón en la consigna del factor de potencia que produzca una variación del ±10% en la potencia reactiva - Carga baja.	Pendiente	Pendiente	Pendiente	Pendiente	Pendiente	Pendiente	Pendiente	Realizar ensayo para nivel de carga baja y calcular índices de desempeño, conforme a lo indicado en la sub-sección 6.2.3 del procedimiento de homologación.
		Se aplica escalón en la consigna del factor de potencia que produzca una variación del ±10% en la potencia reactiva - Carga media.	Pendiente	Pendiente	Pendiente	Pendiente	Pendiente	Pendiente	Pendiente	Calcular índices de desempeño.
	Se aplica escalón en la consigna del factor de potencia que produzca una variación del ±10% en la potencia reactiva - Carga alta.	Pendiente	Pendiente	Pendiente	Pendiente	Pendiente	Pendiente	Pendiente	Realizar ensayo para nivel de carga alta y calcular índices de desempeño, conforme a lo indicado en la sub-sección 6.2.3 del procedimiento de homologación.	
	Se muestran los resultados de tiempo de retardo, crecimiento y establecimiento, sobreesoscilación, bandas muertas y estatismo de potencia reactiva.	Pendiente	Pendiente	Pendiente	Pendiente	Pendiente	Pendiente	Pendiente	Pendiente	Calcular índices de desempeño.
	Ensayos	Se aplica escalón de ±3% en la consigna de tensión - Carga baja.	Pendiente	Pendiente	Pendiente	Pendiente	Pendiente	Pendiente	Pendiente	Realizar ensayo y calcular índices de desempeño, conforme a lo indicado en la sub-sección 6.2.3 del procedimiento de homologación.
		Se aplica escalón de ±3% en la consigna de tensión - Carga media.	Pendiente	Pendiente	Pendiente	Pendiente	Pendiente	Pendiente	Pendiente	Realizar ensayo y calcular índices de desempeño, conforme a lo indicado en la sub-sección 6.2.3 del procedimiento de homologación.
		Se aplica escalón de ±3% en la consigna de tensión - Carga alta.	Pendiente	Pendiente	Pendiente	Pendiente	Pendiente	Pendiente	Pendiente	Realizar ensayo y calcular índices de desempeño, conforme a lo indicado en la sub-sección 6.2.3 del procedimiento de homologación.

<p>Control de potencia reactiva/tensión - Inversor cercano a subestación elevadora</p> <p>Control de potencia reactiva/tensión - Inversor lejano a subestación elevadora</p> <p>Otros</p>	Se aplica escalón de $\pm 10\%$ en la consigna de potencia reactiva - Carga baja.	Pendiente	Realizar ensayo y calcular índices de desempeño, conforme a lo indicado en la sub-sección 6.2.3 del procedimiento de homologación.							
	Se aplica escalón de $\pm 10\%$ en la consigna de potencia reactiva - Carga media.	Pendiente	Realizar ensayo y calcular índices de desempeño, conforme a lo indicado en la sub-sección 6.2.3 del procedimiento de homologación.							
	Se aplica escalón de $\pm 10\%$ en la consigna de potencia reactiva - Carga alta.	Pendiente	Realizar ensayo y calcular índices de desempeño, conforme a lo indicado en la sub-sección 6.2.3 del procedimiento de homologación.							
	Se aplica escalón en la consigna del factor de potencia que produzca una variación del $\pm 10\%$ en la potencia reactiva - Carga baja.	Pendiente	Realizar ensayo y calcular índices de desempeño, conforme a lo indicado en la sub-sección 6.2.3 del procedimiento de homologación.							
	Se aplica escalón en la consigna del factor de potencia que produzca una variación del $\pm 10\%$ en la potencia reactiva - Carga media.	Pendiente	Realizar ensayo y calcular índices de desempeño, conforme a lo indicado en la sub-sección 6.2.3 del procedimiento de homologación.							
	Se aplica escalón en la consigna del factor de potencia que produzca una variación del $\pm 10\%$ en la potencia reactiva - Carga alta.	Pendiente	Realizar ensayo y calcular índices de desempeño, conforme a lo indicado en la sub-sección 6.2.3 del procedimiento de homologación.							
	Se muestran los resultados de tiempo de retardo, crecimiento y establecimiento, sobreoscilación, bandas muertas y estatismo de potencia reactiva.	Pendiente	Calcular índices de desempeño.							
	Se aplica escalón de $\pm 3\%$ en la consigna de tensión - Carga baja.	Pendiente	Realizar ensayo y calcular índices de desempeño, conforme a lo indicado en la sub-sección 6.2.3 del procedimiento de homologación.							
	Se aplica escalón de $\pm 3\%$ en la consigna de tensión - Carga media.	Pendiente	Realizar ensayo y calcular índices de desempeño, conforme a lo indicado en la sub-sección 6.2.3 del procedimiento de homologación.							
	Se aplica escalón de $\pm 3\%$ en la consigna de tensión - Carga alta.	Pendiente	Realizar ensayo y calcular índices de desempeño, conforme a lo indicado en la sub-sección 6.2.3 del procedimiento de homologación.							
	Se aplica escalón de $\pm 10\%$ en la consigna de potencia reactiva - Carga baja.	Pendiente	Realizar ensayo y calcular índices de desempeño, conforme a lo indicado en la sub-sección 6.2.3 del procedimiento de homologación.							
	Se aplica escalón de $\pm 10\%$ en la consigna de potencia reactiva - Carga media.	Pendiente	Realizar ensayo y calcular índices de desempeño, conforme a lo indicado en la sub-sección 6.2.3 del procedimiento de homologación.							
	Se aplica escalón de $\pm 10\%$ en la consigna de potencia reactiva - Carga alta.	Pendiente	Realizar ensayo y calcular índices de desempeño, conforme a lo indicado en la sub-sección 6.2.3 del procedimiento de homologación.							
	Se aplica escalón en la consigna del factor de potencia que produzca una variación del $\pm 10\%$ en la potencia reactiva - Carga baja.	Pendiente	Realizar ensayo y calcular índices de desempeño, conforme a lo indicado en la sub-sección 6.2.3 del procedimiento de homologación.							
	Se aplica escalón en la consigna del factor de potencia que produzca una variación del $\pm 10\%$ en la potencia reactiva - Carga media.	Pendiente	Realizar ensayo y calcular índices de desempeño, conforme a lo indicado en la sub-sección 6.2.3 del procedimiento de homologación.							
	Se aplica escalón en la consigna del factor de potencia que produzca una variación del $\pm 10\%$ en la potencia reactiva - Carga alta.	Pendiente	Realizar ensayo y calcular índices de desempeño, conforme a lo indicado en la sub-sección 6.2.3 del procedimiento de homologación.							
	Se muestran los resultados de tiempo de retardo, crecimiento y establecimiento, sobreoscilación, bandas muertas y estatismo de potencia reactiva.	Pendiente	Calcular índices de desempeño.							
	Maniobras de conexión/desconexión de convertidores o ramas colectoras.	No Aplica								
	Desconexión de un banco de capacitores shunt instalados en la red.	No Aplica								
Respuesta frente a variaciones de la tensión de red ante maniobras operativas.	No Aplica	No Aplica	No Aplica	No Aplica	No Aplica	No Aplica	No Aplica	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 la base de datos EMTP de prueba entregada por el Coordinado [6].

Para cumplir con lo exigido en el procedimiento de homologación, se deben realizar las simulaciones requeridas para todos los niveles de carga definidos en el procedimiento de homologación. De la misma forma, se debe presentar en el informe las simulaciones de cortocircuitos en la barra de AT del transformador elevador para diferentes tensiones de operación, para así cumplir con lo exigido en el procedimiento de homologación.

Integración a modelo agregado del SEN en EMTP

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

Al incorporar el modelo dinámico entregado por el Coordinado para PFV Sol de Los Andes 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.