



Homologación de los modelos dinámicos

ÍNDICE

Introducción

Modelamiento SEP

**Homologación de
Modelos Dinámicos**

**Aspectos
Normativos**





Introducción

INTRODUCCIÓN

HOMOLOGACIÓN DE MODELOS DINÁMICOS DE
INSTALACIONES QUE SE CONECTAN AL SEN

- El objetivo de la homologación de los modelos dinámicos de las instalaciones que se conectan al SEN es proveer al Coordinador oportunamente de modelos **representativos**, **estables** matemáticamente y **respaldados** técnicamente para la realización de los estudios para la programación de la seguridad y calidad de servicio (ECF, EDAC, ECT, ERST, EPSS, EPDCE, etc.).
- Con estos estudios se toman decisiones en cuanto a:
 - Reservas de potencia activa y montos de desconexión de carga para el control de frecuencia
 - Reservas de potencia reactiva para el control de tensión
 - Límites de transmisión (estabilidad angular y de tensión)
 - Oscilaciones locales e interarea
 - Diseño de automatismos



MODELAMIENTO DE UN SISTEMA ELÉCTRICO DE POTENCIA



www.coordinador.cl



[@coord_electrico](https://twitter.com/coord_electrico)



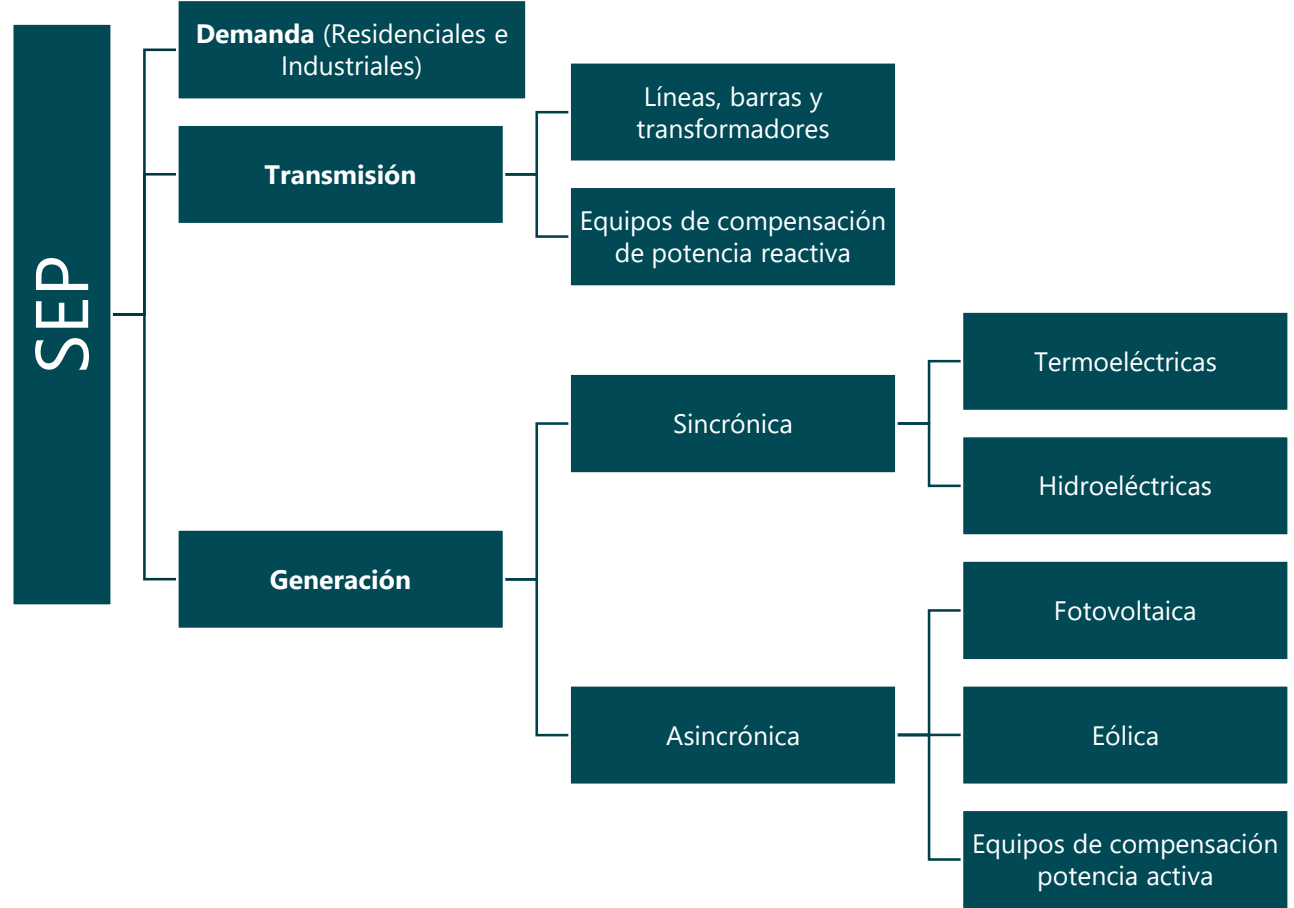
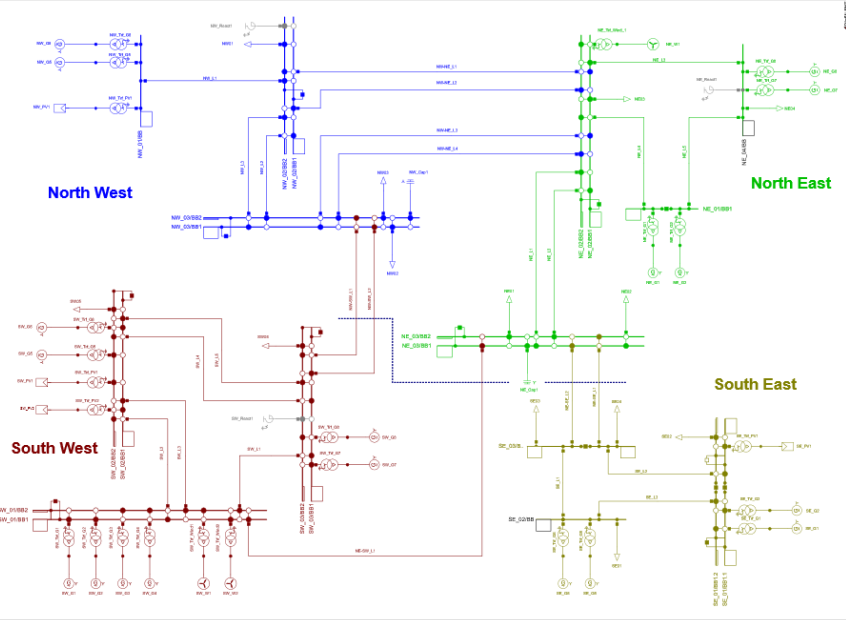
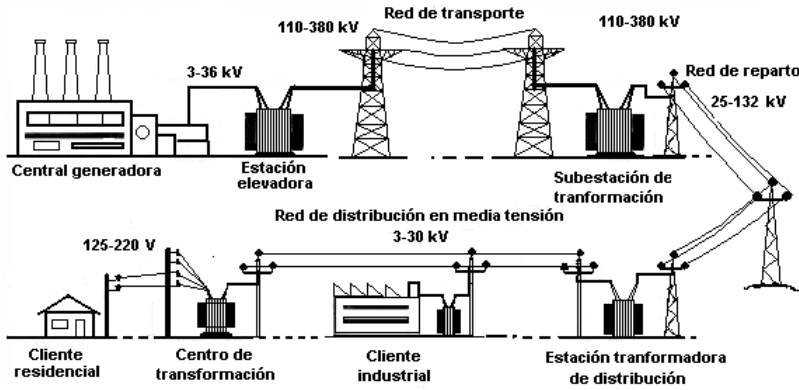
[YouTube](https://www.youtube.com/coord_electrico)



[LinkedIn](https://www.linkedin.com/company/coord_electrico)

Coordinamos la Energía de Chile

MODELAMIENTO DE UN SISTEMA ELÉCTRICO DE POTENCIA (SEP)



MODELAMIENTO DE UN SEP

Sincrónica

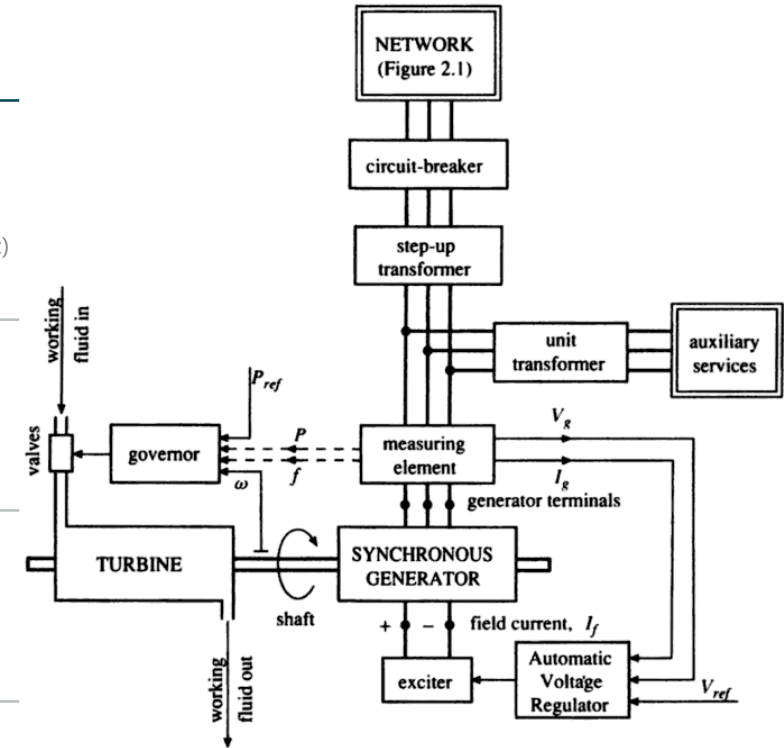
Parámetros electro-mecánicos

Curva de saturación (U_t vs I_{fd})
Reactancias (X_d , X_q , etc)
Constantes de tiempo ($T'd_0$, $T''d_0$, etc)
Inercia (H)

Sistema de excitación

Excitatriz
Regulador (AVR)
Limitadores (UEL, OEL, VHz, etc)
Estabilizador (PSS)

Gobernador - Turbina

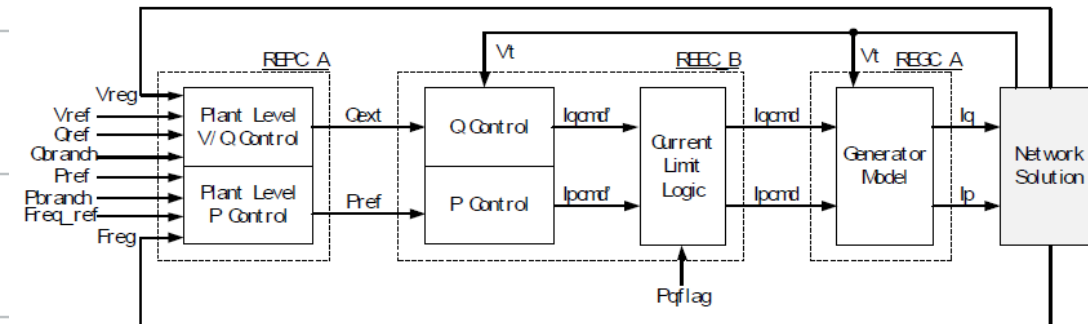


Equivalente eléctrico

Control de frecuencia/potencia

Control de reactivos/tensión

Fault Ride-Through



Asincrónica



HOMOLOGACIÓN DE MODELOS DINÁMICOS

- Ensayos
- Modelación matemática
- Implementación en Simulador



www.coordinador.cl



[@coord_electrico](https://twitter.com/coord_electrico)



[YouTube](https://www.youtube.com/coord_electrico)



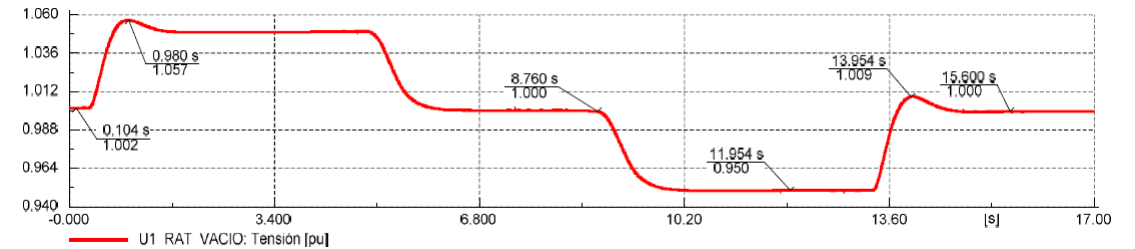
[Linkedin](https://www.linkedin.com/company/coord_electrico)

Coordinamos la Energía de Chile



HOMOLOGACIÓN DE MODELOS DINÁMICOS

Ensayos en terreno



Información técnica

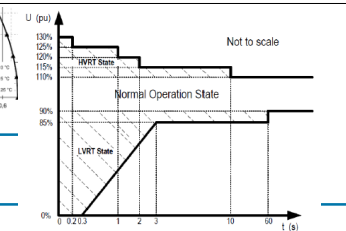
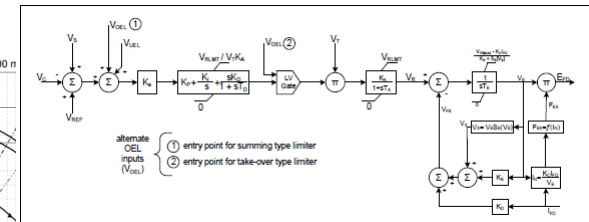
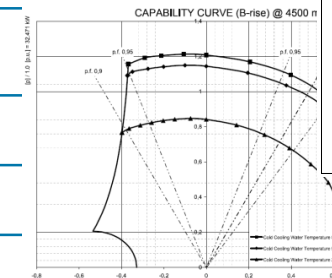
Hojas de datos

Actas de pruebas

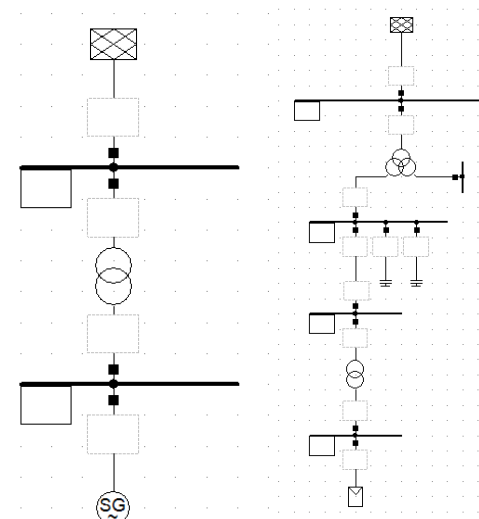
Memorias de cálculo

Diagramas de control

Print-outs



Implementación en Simulador (DIgSILENT PowerFactory)



HOMOLOGACIÓN DE MODELOS DINÁMICOS: ENSAYOS

Coordinado debe presentar un **protocolo específico** con los ensayos necesarios para homologar parámetros y controles de su instalación. Solo en caso que algún ensayo no sea posible de realizar (fault ride-through, sistema de excitación brushless, etc.) se deben proponer medidas alternativas.

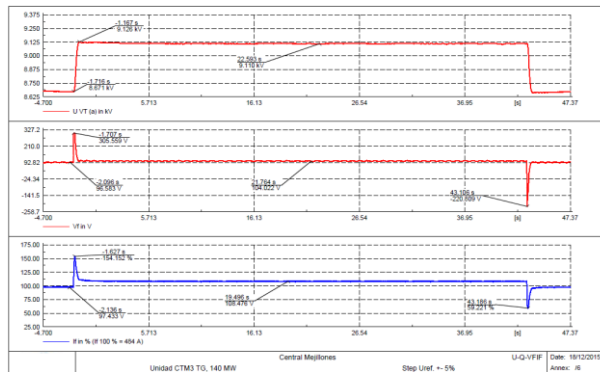


Gráfico 4 - Respuesta de excitación de CTM3 TG en vacío.

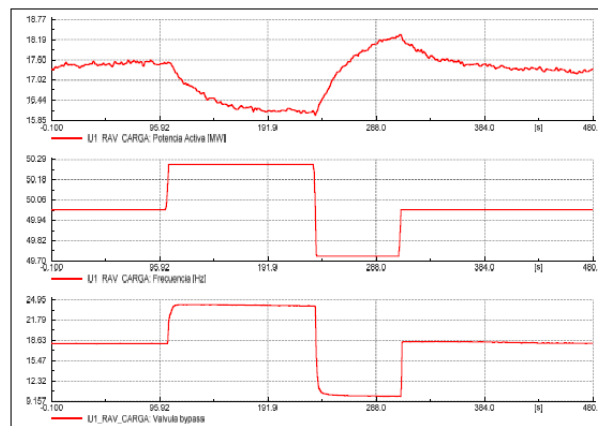


Gráfico 11. Ensayo inyección de error de frecuencia. Unidad 1.

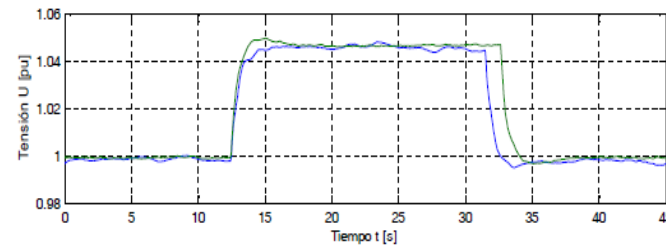
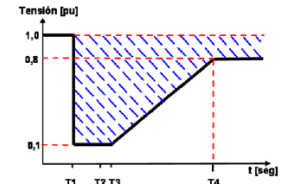


Gráfico 15 - Excitación del modo de oscilación local con y sin PSS U16

4.7 LOW VOLTAGE RIDE THROUGH (LVRT)

The under-voltage behaviour (LVRT) test has been measured according to the Article 3.7 of the standard, Norma Técnica de seguridad y calidad de servicio, at the required voltage levels and active power $P=100\% P_n$



Parameters:

T1 = initial fault time.
T2 = maximum time (120ms).
T3 = T2+20ms.
T4 = 1000ms.

Phase Output Power	Residual voltage (%) Desired / Measured		Time (ms) Desired / Measured		Reactive current injection (ms) Desired / Measured		Reactive power level (%) Desired / Measured	
Symmetric 3 phases $P=100\%$	10 $\pm$ 9 %	9,5 %	> 140	155	$\geq$ 20	86	100 %	92,4 %
	50 $\pm$ 5 %	49,5 %	> 500	649	$\geq$ 20	591	100 %	99,8 %
	70 $\pm$ 3 %	69,0 %	> 740	891	$\geq$ 20	879	60 %	58,0 %
	80 $\pm$ 2 %	82,0 %	> 1000	1041	$\geq$ 20	1011	40 %	41,1 %
Asymmetric 2 phases $P=100\%$	10 $\pm$ 9 %	9,8 %	> 140	149	$\geq$ 20	72	100 %	91,8 %
	50 $\pm$ 5 %	49,7 %	> 500	641	$\geq$ 20	609	100 %	98,8 %
	70 $\pm$ 3 %	71,6 %	> 740	889	$\geq$ 20	865	60 %	58,2 %
	80 $\pm$ 2 %	82,0 %	> 1000	1047	$\geq$ 20	1052	40 %	39,2 %
Asymmetric 1 phases $P=100\%$	10 $\pm$ 9 %	9,6 %	> 140	159	$\geq$ 20	114	100 %	84,9 %
	50 $\pm$ 5 %	49,4 %	> 500	650	$\geq$ 20	589	100 %	95,4 %
	70 $\pm$ 3 %	72,1 %	> 740	889	$\geq$ 20	866	60 %	57,8 %
	80 $\pm$ 2 %	80,6 %	> 1000	1088	$\geq$ 20	1087	40 %	43,1 %

Maximum Current Deviation: $\pm 10\% \Delta U/U_n$ (2% In for 1% $\Delta U/U_n$)



HOMOLOGACIÓN DE MODELOS DINÁMICOS: MODELAMIENTO MATEMÁTICO

- La modelación tiene que ser **representativa** y **funcional**.
- En caso de utilizar **supuestos**, deben estar justificados.
- La información técnica de **respaldo** es la misma que entregan en etapas previas del proceso:
 - Diagrama de bloques funcionales
 - Hojas de datos y fotos de placa
 - Actas de pruebas de fábrica (fault ride-through)
 - Planos de disposición

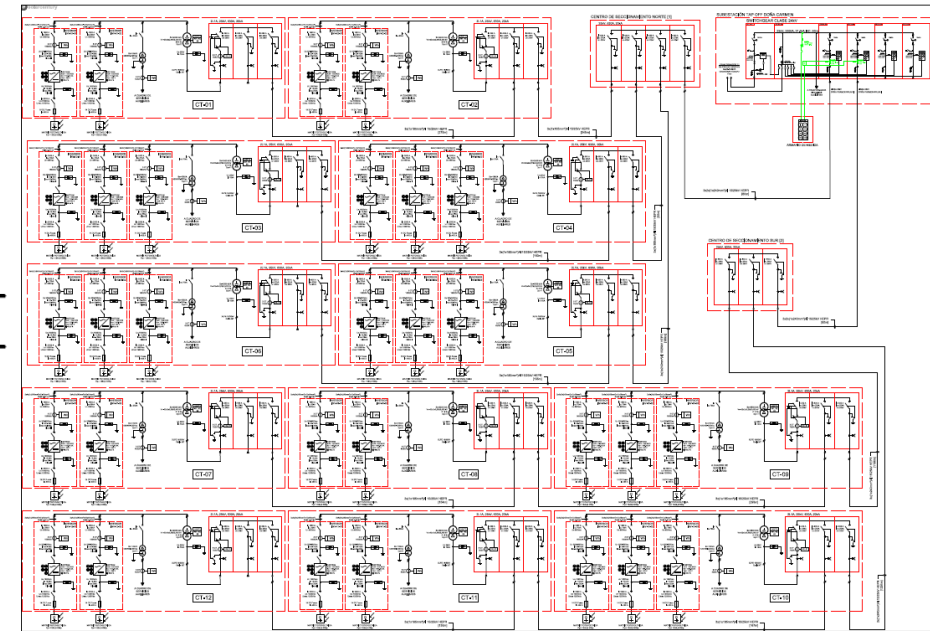
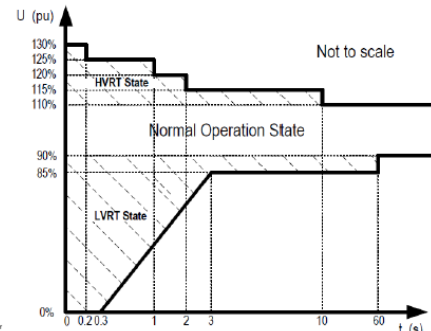
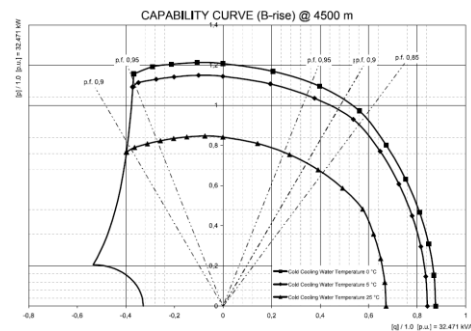
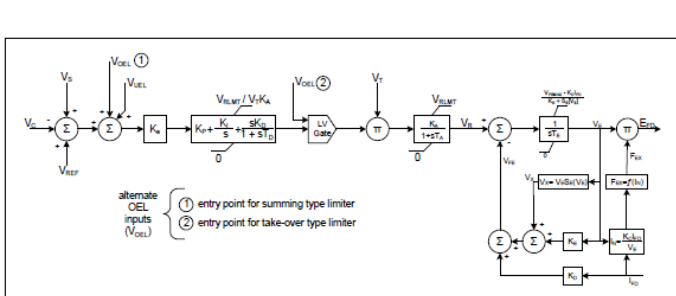


Gráfico 2 - Diagrama unilíneal de la planta solar fotovoltaica Doña Carmen



HOMOLOGACIÓN DE MODELOS DINÁMICOS: MODELAMIENTO MATEMÁTICO – Diagramas de Bloques

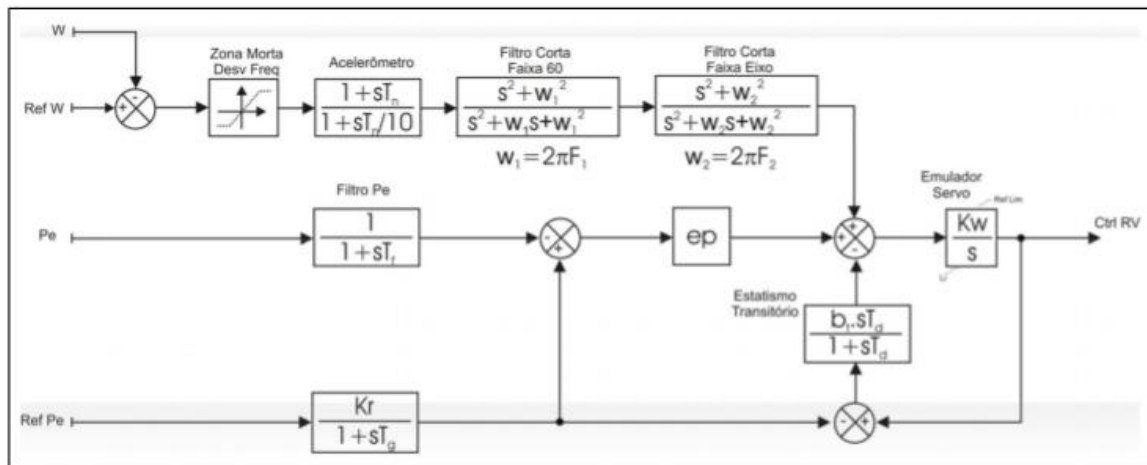


Gráfico 26 - Esquema de control del regulador de velocidad / potencia REIVAX.

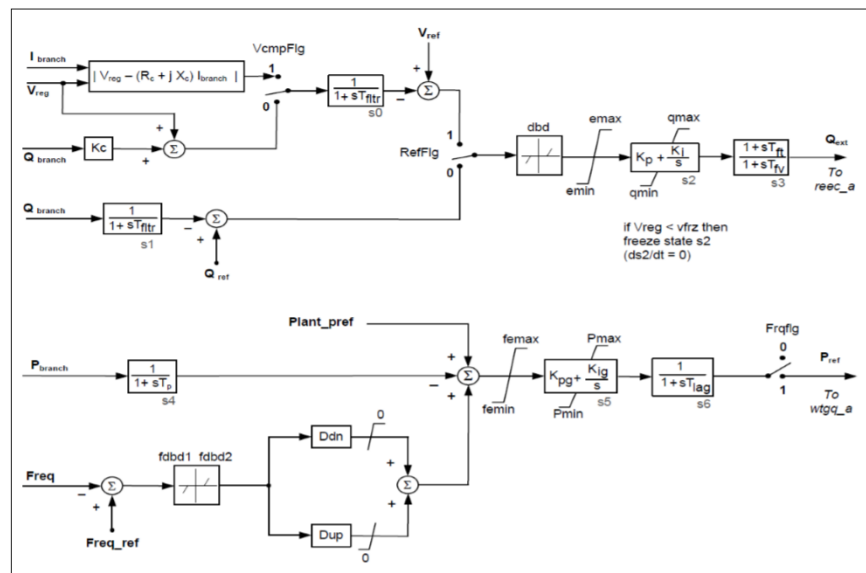
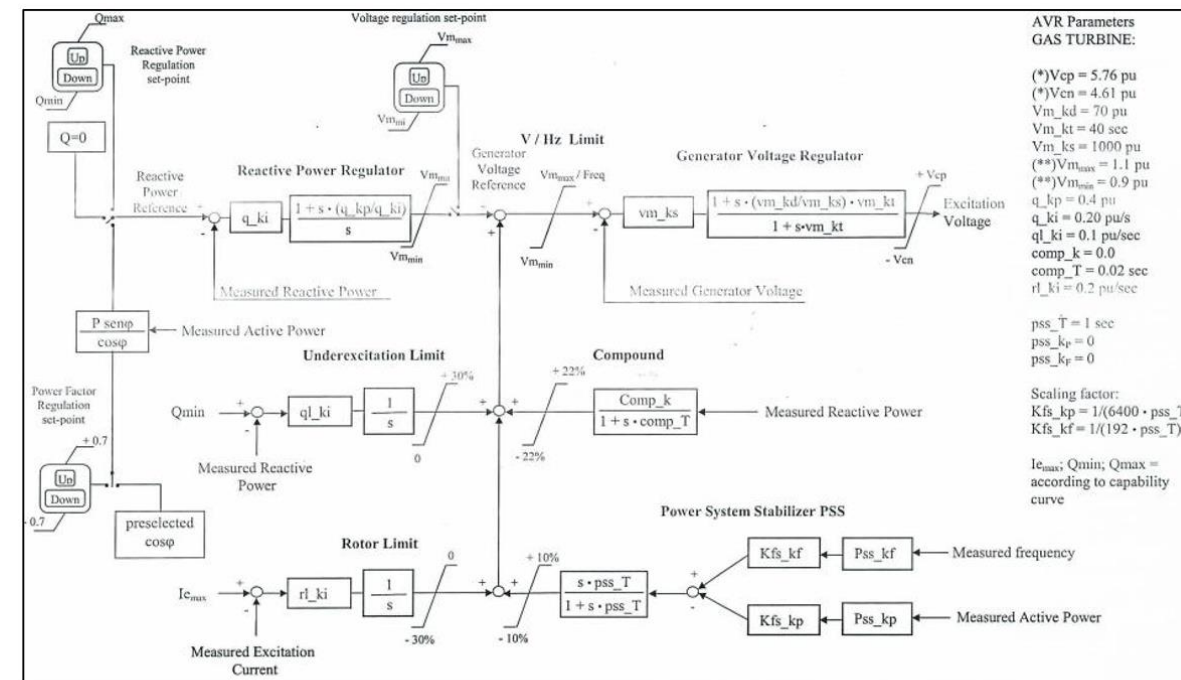
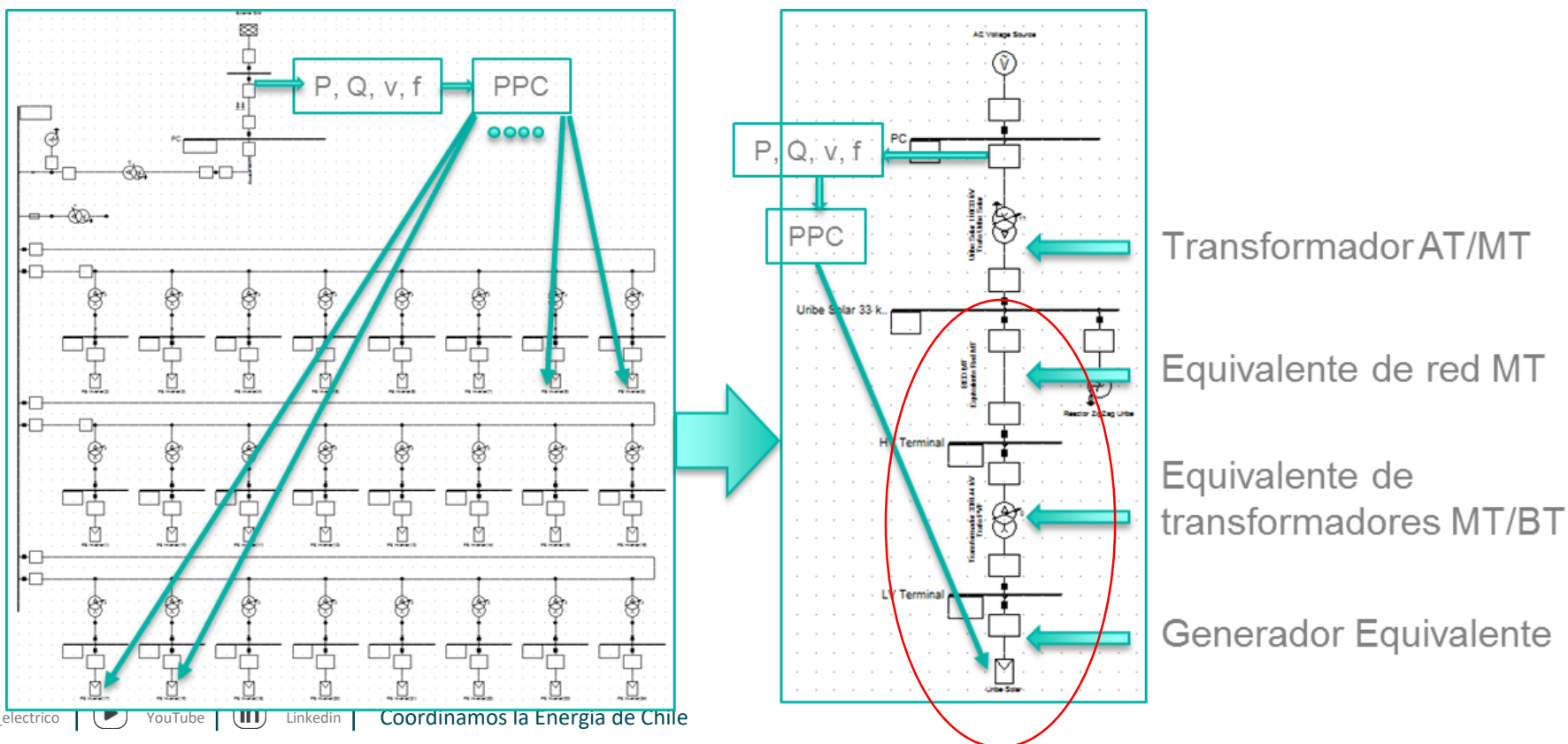


Gráfico 23 - Estructura general del sistema de excitación SILCOSTAT D



HOMOLOGACIÓN DE MODELOS DINÁMICOS: MODELAMIENTO MATEMÁTICO – Equivalente Eléctrico

- En el caso de centrales con varias unidades de generación (naves) como los parques eólicos, fotovoltaicos, sistemas de baterías, etc. se deben usar **equivalentes eléctricos para representar su red interna de MT**. Esto con el fin de, entre otras cosas, disminuir tiempos de simulación y analizar el comportamiento dinámico de la central como un todo.



HOMOLOGACIÓN DE MODELOS DINÁMICOS: IMPLEMENTACIÓN

- Base de datos de pruebas:
 - Cada ensayo se modela como un caso de estudio donde los eventos representan las perturbaciones hechas.
 - Se **comparan los registros** de ensayo con las **simulaciones** y se valida modelo.
 - Se analizan cortocircuitos, modos inter-áreas, huecos de tensión, grandes perturbaciones de frecuencia, etc.
 - Se verifica inicialización en todo Diagrama PQ y convergencia ante distintos tipos de perturbaciones.

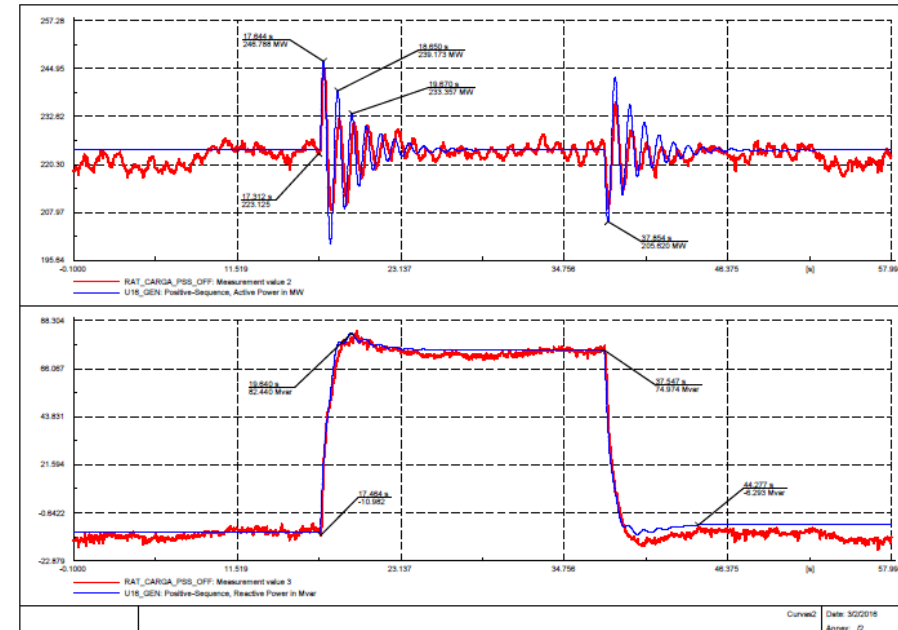
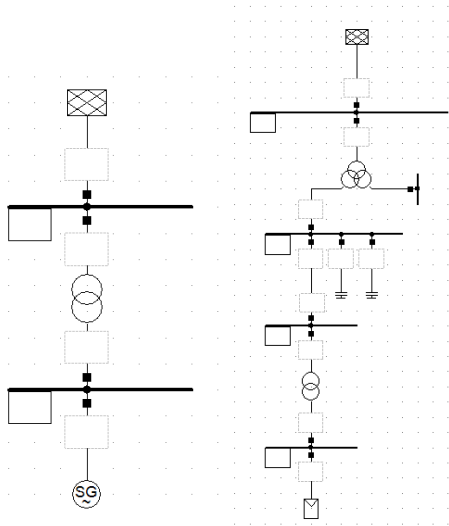


Gráfico 34 - Homologación del regulador de tensión en carga, PSS OFF, U16.



HOMOLOGACIÓN DE MODELOS DINÁMICOS: IMPLEMENTACIÓN

- Base de datos del SEN:
 - Se simulan:
 - Cortocircuitos en líneas o barras cercanas
 - Desconexión de un gran bloque de generación o demanda
 - Se analiza inicialización, convergencia matemática y respuesta en P y Q del modelo.

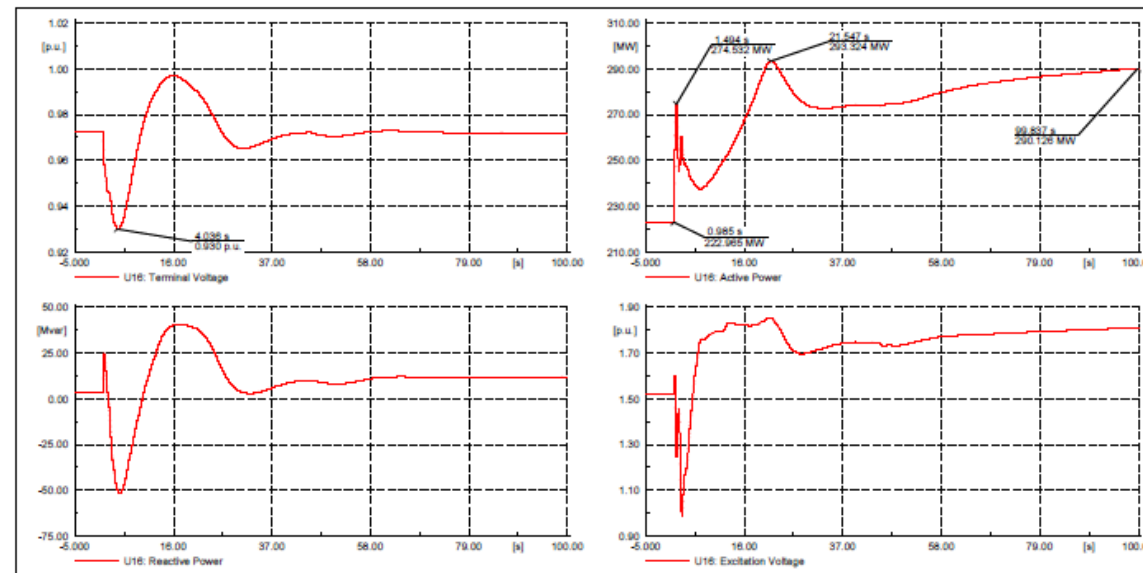


Gráfico 82 – Disparo ANG2. Variables eléctricas.

ASPECTOS NORMATIVOS

- LGSE
- Reglamento de Coordinación y Operación del SEN
- NTSyCS
- Anexos Técnicos: Información Técnica y Requisitos Mínimos
- Guía Técnica: Homologación de Modelos Dinámicos



www.coordinador.cl



[@coord_electrico](https://twitter.com/coord_electrico)



[YouTube](https://www.youtube.com/coord_electrico)



[Linkedin](https://www.linkedin.com/company/coord_electrico)

Coordinamos la Energía de Chile

ASPECTOS NORMATIVOS: LGSE

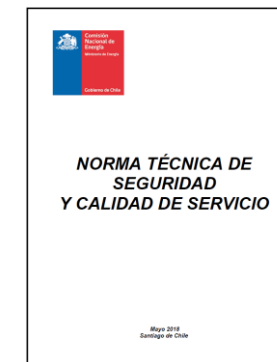


- Art. 72°-2:
 - Los Coordinados estarán obligados a proporcionar **oportunamente** al Coordinador y actualizar toda la información, en forma **cabal, completa y veraz**, que requiera para el cumplimiento de sus funciones.
 - La omisión del deber de información, sea que medie requerimiento de información o cuando proceda sin mediar aquél, así como la entrega de **información falsa, incompleta o manifiestamente errónea, o el incumplimiento** a lo dispuesto en el presente artículo, serán sancionadas por la Superintendencia.
- Art. 72°-8:
 - Será de **responsabilidad del Coordinador** verificar la **completitud, calidad, exactitud y oportunidad** de la información publicada en los respectivos sistemas de información

ASPECTOS NORMATIVOS: Reglamento de la Coordinación y Operación del SEN

- Art. 28:
 - De manera **previa a la puesta en servicio** de un proyecto y en conformidad a lo establecido en la norma técnica, el interesado deberá **acordar con el Coordinador un cronograma de actividades**. Cualquier modificación de dichos plazos deberá ser comunicada al Coordinador quien podrá aprobar o rechazar justificadamente dicha modificación. Todo incumplimiento en los plazos establecidos para el periodo de puesta en servicio deberá ser comunicado por el Coordinador a la Superintendencia pudiendo aplicarse las sanciones que correspondan.
- Art. 184:
 - Similar a Art. 72-8 de la LGSE.

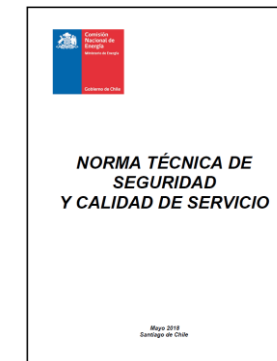
ASPECTOS NORMATIVOS: NTSyCS



- Art. 6-21: **Simulador apto** para:
 - Flujos de carga, cortocircuitos, coordinación de protecciones, armónicos y **transitorios electromecánicos**
- Art. 6-23: **Simulador** con capacidad de representar adecuadamente **respuesta dinámica** de
 - Generación (y controles)
 - Transmisión
 - Protecciones y relés especiales.
 - Variación de demanda con tensión y frecuencia.
- Art. 6-24: **Acceso público** y transparencia
 - BD públicas en WEB. Formato debe permitir modelar sistema en otra herramienta => acceso abierto a modelos dinámicos.



ASPECTOS NORMATIVOS: NTSyCS



- Art. 6-22: Representación **fenómenos dinámicos**:
 - Máquinas sincrónicas: sistemas de excitación y sus limitadores, PSS y gobernador-turbina.
 - Automatismos (EDAC, ERAG, etc.) y relés especiales.
 - Equipos de compensación (SVC, STATCOM, BESS, etc.).
 - Plantas solares y eólicas (control de tensión/reactivos y frecuencia/potencia).
- Art. 9-14: Ensayos en terreno – Entrada en operación
 - **Demostrar representatividad de modelación mediante ensayos.** Toda componente que entre al sistema deberá cumplir este hito para EO.



ASPECTOS NORMATIVOS: AT NTSyCS

REQUISITOS TÉCNICOS MÍNIMOS

ANEXO TÉCNICO:
REQUISITOS TÉCNICOS
MÍNIMOS DE
INSTALACIONES QUE SE
INTERCONECTAN AL SI

ANEXO TÉCNICO:
Información Técnica De
Instalaciones y
Equipamiento

- Art. 2: Alcances
 - Los requerimientos aplican a todo tipo de instalaciones que estén sujetas a la coordinación del Coordinador o Nuevas Instalaciones que deseen interconectarse al SI. Los requisitos técnicos mínimos establecidos en el presente Anexo Técnico no limitan ni reemplazan los requisitos, exigencias, o cualquier tipo de responsabilidad establecida en la normativa vigente, en particular la NT. Asimismo, **no limitan la facultad del Coordinador de establecer requisitos complementarios**, en función de las características particulares de las instalaciones y/o el resultado de eventuales estudios y/o antecedentes técnicos solicitados por el Coordinador o terceros involucrados en la interconexión.
- Art. 10: Proceso para la interconexión o modificación relevante de instalaciones
 - En etapa de PES, propietario debe **validar información técnica con ensayos** en terreno y declarar cumplimiento de NT.



ASPECTOS NORMATIVOS: AT NTSyCS

REQUISITOS TÉCNICOS MÍNIMOS

ANEXO TÉCNICO:
REQUISITOS TÉCNICOS
MÍNIMOS DE
INSTALACIONES QUE SE
INTERCONECTAN AL SI

ANEXO TÉCNICO:
Información Técnica De
Instalaciones y
Equipamiento

- Título V: Puesta en servicio

- Art. 20: Realizar **pruebas** que permitan obtener **representación dinámica** de las instalaciones.
- Art. 22, 23, 24 y 26: Se debe **informar el programa de pruebas y el protocolo de pruebas**. Coordinador debe informar conformidad en 2 días. Si cambia el programa se debe informar y justificar. Coordinador debe evaluar nueva propuesta en 3 días.
- Art. 25: Se deben realizar solicitudes de trabajo acorde.
- Art. 27: Validación final mediante “Informe Técnico de Pruebas”. **Coordinador tiene 20 días hábiles (solo 5 para Tx) para observar modelación**. Propietario tiene 20 días para responder. Si Coordinador no están conforme con respuestas se tienen 15 días hábiles (solo 5 para Tx) para observar.
- Art. 28: Propietario deberá informar cumplimiento con NT para entrada en operación, para lo cual necesita el Informe Técnico de Pruebas aprobado por el Coordinador.



ASPECTOS PRÁCTICOS: GUÍA TÉCNICA HOMOLOGACIÓN DE MODELOS DINÁMICOS

Guía de Ensayos

- Unidades sincrónica: hidro y termo
- Plantas eólicas y fotovoltaicas
- Equipos de compensación de potencia activa y reactiva

Requisitos

- Ensayos
- Modelación
- Implementación
- Desempeño

Entregables

- Informe: ensayos, modelos, homologación y análisis
- Bases de datos: de prueba y del SEN
- Registros de ensayos



ASPECTOS PRÁCTICOS: RECOMENDACIONES y CONSIDERACIONES

Preparativos

- Asegurar que fabricante entregará toda la información necesaria para poder desarrollar el modelo matemático.
- Asegurar que los sistemas de control se pueden perturbar y se pueden registrar las señales de control y las variables eléctricas/mecánicas/termodinámicas de interés.
- Asegurar que durante los ensayos hay personal del fabricante especialista en control/instrumentación para atender cualquier problema que pueda surgir.

Otros

- Desde que el Consultor realiza los ensayos hasta que entrega todos los antecedentes suelen transcurrir entre 2 a 5 semanas.
- El Coordinador realiza una revisión de completitud de los antecedentes cuyo objetivo es asegurarse que se disponen de todos los necesarios para la revisión.
- Las respuestas por parte de Consultores a las observaciones hechas por el Coordinador toma entre 1 a 4 semanas.



ASPECTOS PRÁCTICOS: RECOMENDACIONES y CONSIDERACIONES

Cumplimiento NT Capítulo 3 Diseño de instalaciones y otros

- A pesar de que no es el objetivo de la homologación de modelos dinámicos, si se detecta algún incumplimiento normativo en cuanto a las exigencias mínimas de diseño, un comportamiento que no brinda apoyo a la recuperación dinámica del sistema o que es anómalo, esto queda registrado como una consideración, ya que muchas veces esto solo se puede detectar al hacer los ensayos.





PREGUNTAS?



GRACIAS