



fcfm

Ingeniería Eléctrica
FACULTAD DE CIENCIAS
FÍSICAS Y MATEMÁTICAS
UNIVERSIDAD DE CHILE

ingendesa



EL57A – SISTEMAS ELÉCTRICOS DE POTENCIA I



Pablo Medina Cofré

10-08-2010



Ingeniería Eléctrica
FACULTAD DE CIENCIAS
FÍSICAS Y MATEMÁTICAS
UNIVERSIDAD DE CHILE

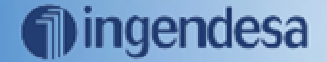


EQUIPO DOCENTE

- Prof. Cátedra: Pablo Medina Cofré
 - pamc@ingendesa.cl
 - Fono directo: 6308401
 - Celular: 77660201
 - Consultas:
 - A través de cualquiera de los medios mencionados.
 - Reuniones en algún horario a definir, de preferencia 9:30 AM martes y jueves y viernes a partir de las 4:00 PM.
- Prof. Auxiliares y ayudantes:
 - Eduardo Zamora.
 - Miguel Neicún.



Ingeniería Eléctrica
FACULTAD DE CIENCIAS
FÍSICAS Y MATEMÁTICAS
UNIVERSIDAD DE CHILE

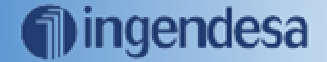


ÍNDICE BÁSICO... ¡BÁSICO NO DE SENCILLO!

- Introducción.
 - Conceptos matemáticos básicos para el estudio de sistemas trifásicos.
 - Componentes de los sistemas eléctricos de potencia.
 - Estudio de sistemas de potencia en estado estacionario.
 - Operación económica de sistemas eléctricos de potencia.
 - Fallas en sistemas eléctricos de potencia.
 - Estabilidad.
 - Control de frecuencia-carga.
-
- A lo largo del curso, se comentarán otros temas de sistemas, siempre relacionados con lo antes señalado.
 - Las clases de cátedra serán expositivas, con múltiples casos de estudio reales o inspirados en hechos reales.



Ingeniería Eléctrica
FACULTAD DE CIENCIAS
FÍSICAS Y MATEMÁTICAS
UNIVERSIDAD DE CHILE



MATERIAS NO ABORDADAS EN SEP.

- **Técnicas de alta tensión.**
 - **Mallas de puesta a tierra.**
 - **Circuitos resonantes.**
 - **Proyectos eléctricos.**
-
- **Si bien no es el objetivo del curso, temas en particular de proyectos eléctricos serán tratados con el fin de “aterrizar” los conceptos y desarrollar la capacidad de modelación.**



Ingeniería Eléctrica
FACULTAD DE CIENCIAS
FÍSICAS Y MATEMÁTICAS
UNIVERSIDAD DE CHILE

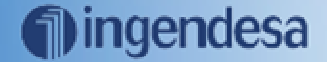


OBJETIVOS SECUNDARIOS.

- **Formar desde un punto de vista “industrial” a la nueva generación de ingenieros.**
 - La teoría es una excelente herramienta para afrontar problemas de la vida real, pero hay que aterrizarla.
- **Desarrollar habilidades comunicacionales útiles en los jóvenes profesionales.**
 - Las discusiones en el curso se darán entre colegas... habrá que aprender a decir las cosas, y dejar el miedo a un lado, pero siempre en un ambiente responsable y respetuoso.
- **Desarrollar y entrenar la capacidad de cálculo numérico.**
 - Es inconcebible que un ingeniero eléctrico no pueda entregar un valor numérico como respuesta.



Ingeniería Eléctrica
FACULTAD DE CIENCIAS
FÍSICAS Y MATEMÁTICAS
UNIVERSIDAD DE CHILE



EVALUACIONES

- 2 controles (C1, C2).
- 2 ejercicios obligatorios (E1, E2) y uno recuperativo (E3).
- Al menos una tarea computacional y máximo 2 (T1 y T2), y una visita a terreno (T3).
- 1 examen (E)
- $NP=0.6 \text{ NC}+0.25 \text{ NE}+0.15 \text{ NT}$
- Eximición: $\text{NC}, \text{NE y NT} \geq 4$ y $NP \geq 5.5$
- Fechas: a definir por secretaría docente, y serán publicadas en U-Cursos.



Ingeniería Eléctrica
FACULTAD DE CIENCIAS
FÍSICAS Y MATEMÁTICAS
UNIVERSIDAD DE CHILE

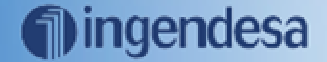


EN LOS CONTROLES Y EJERCICIOS ...

- **Sólo se permitirán consultas de enunciado.**
 - El objetivo del control es medir la capacidad de resolver un problema, lo cual entra en abierta contradicción con el hecho de consultar la forma de cómo enfrentarlo.
- **Se trabajará dentro de un ambiente de plena transparencia.**
 - No se permitirá el uso de celulares ni otros equipos de comunicación sin previa autorización del cuerpo docente.
- **Un problema se responde de manera satisfactoria cuando se entrega un resultado concreto.**
 - Uso de cuatro cifras decimales, truncando en cada paso.



Ingeniería Eléctrica
FACULTAD DE CIENCIAS
FÍSICAS Y MATEMÁTICAS
UNIVERSIDAD DE CHILE



ACTIVIDADES ADICIONALES: VISITA A TERRENO

- **Actividad obligatoria, coordinada con secretaría de estudios.**
- **Requisitos:**
 - Zapatos de seguridad (de preferencia “punto azul”).
 - Casco.
 - Gafas protectoras.
 - Tiendas:
 - Jacel (www.jacel.cl), Blanco esquina Ejército.
 - Homecenter (www.homecenter.cl)
 - Easy (www.easy.cl).
- **La nota de esta actividad es el promedio de dos informes “breves”.**



Ingeniería Eléctrica
FACULTAD DE CIENCIAS
FÍSICAS Y MATEMÁTICAS
UNIVERSIDAD DE CHILE

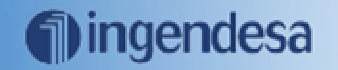
ACTIVIDADES ADICIONALES: INSIDE THE ACTORS STUDIO

- **Conversaciones con invitados especialistas en diversas áreas:**
 - Equipos eléctricos.
 - Líneas de transmisión.
 - Operador de sistemas eléctricos.
 - Posiblemente otros.
- **Conversaciones son materia a evaluar.**





Ingeniería Eléctrica
FACULTAD DE CIENCIAS
FÍSICAS Y MATEMÁTICAS
UNIVERSIDAD DE CHILE



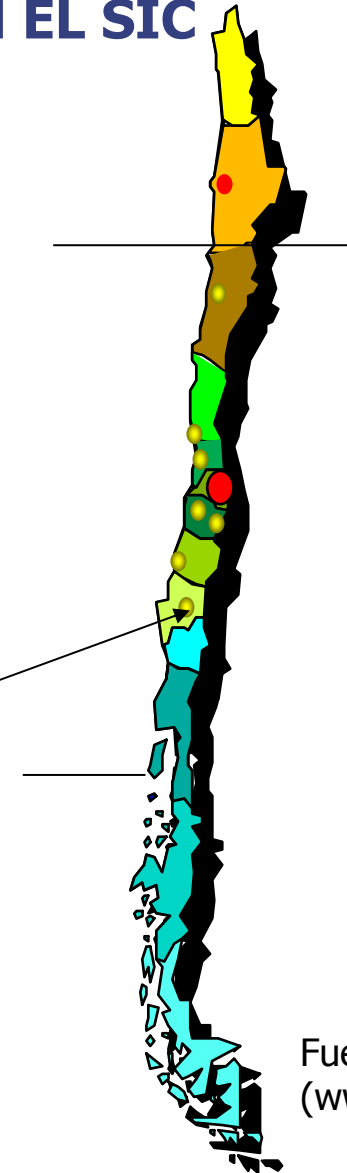
¿DUDAS?



Ingeniería Eléctrica
FACULTAD DE CIENCIAS
FÍSICAS Y MATEMÁTICAS
UNIVERSIDAD DE CHILE

CASO DE ESTUDIO: APAGÓN DEL 14.03.10 EN EL SIC

- **SIC: Sistema interconectado Central.**
- **Potencia Instalada: 9.910,7 MW**
- **Generación Anual: 41.869,0 GWh**
- **Demanda Máxima: 6.147,1 MW**
- **Cobertura: Regiones II a X, Región XIV y Región Metropolitana.**
- **Población: 92,25%**
- **SE Charrúa: Ubicada a 7 km. de Cabrero, Región del Bío-Bío**



Fuente: CDEC-SIC
(www.cdec-sic.cl)



fcfm

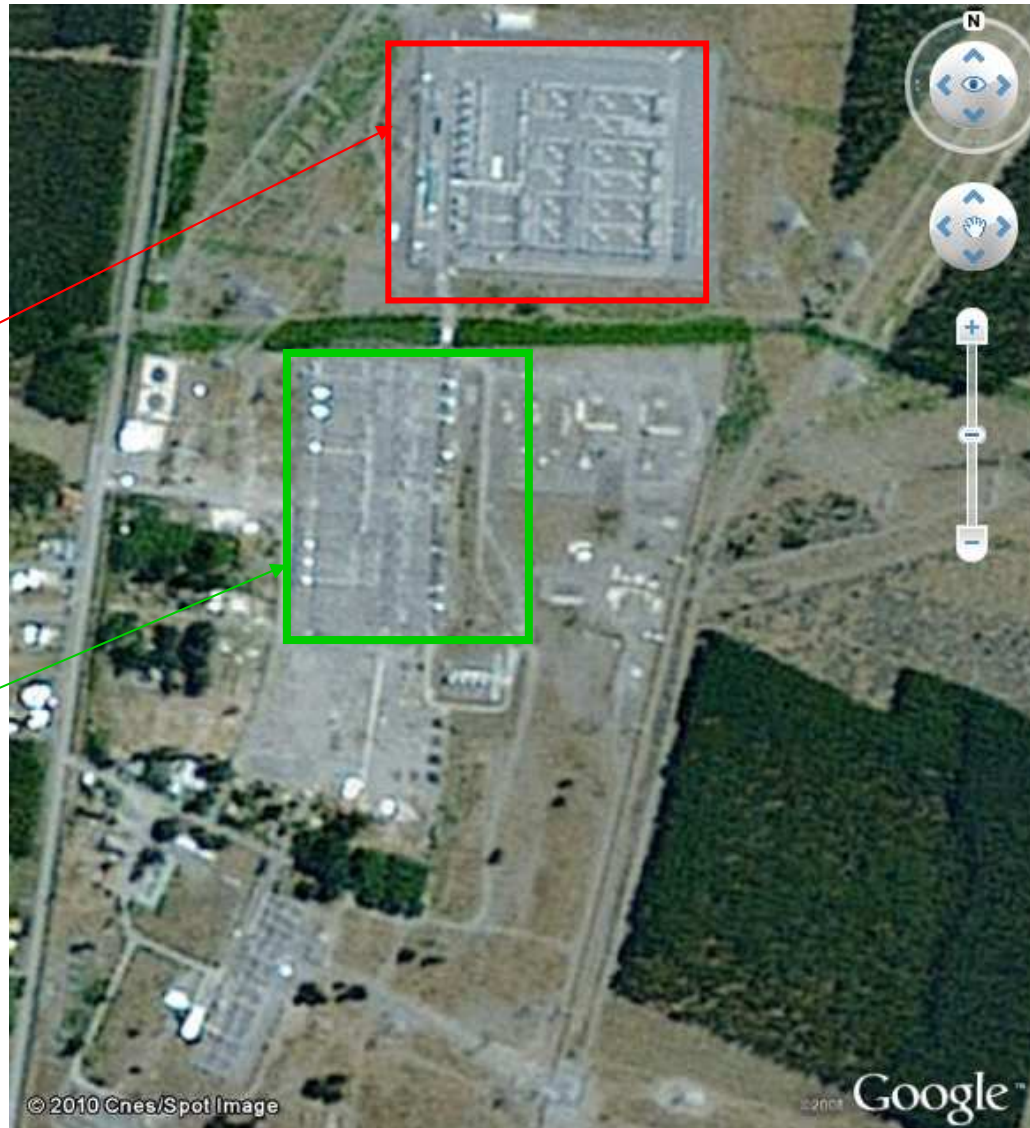
Ingeniería Eléctrica
FACULTAD DE CIENCIAS
FÍSICAS Y MATEMÁTICAS
UNIVERSIDAD DE CHILE

ingendesa

CASO DE ESTUDIO: APAGÓN DEL 14.03.10 EN EL SIC

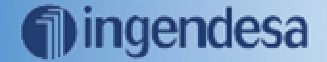
Patio 500 kV

Patio 220 kV





Ingeniería Eléctrica
FACULTAD DE CIENCIAS
FÍSICAS Y MATEMÁTICAS
UNIVERSIDAD DE CHILE

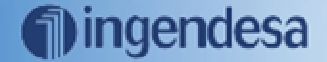


CASO DE ESTUDIO: APAGÓN DEL 14.03.10 EN EL SIC

- En un primer momento, se informa que el apagón se originó por la “falla” de un autotransformador de 500 kV.
- Lo anterior habría afectado el normal funcionamiento de todo el sistema interconectado central.
- El resultado... conocido por todos (ver [info](#))



Ingeniería Eléctrica
FACULTAD DE CIENCIAS
FÍSICAS Y MATEMÁTICAS
UNIVERSIDAD DE CHILE



CASO DE ESTUDIO: APAGÓN DEL 14.03.10 EN EL SIC

- **Información y opiniones:**
 - **Diagrama unilineal del SIC**
 - https://www.cdec-sic.cl/imagenes/contenidos/File/documentos/mapa_sic.pdf
 - **CDEC-SIC:**
 - <http://www.cdec-sic.cl>
 - **Diario El Mercurio:**
 - http://diario.elmercurio.com/2010/03/18/economia_y_negocios/negocios/noticias/14FB738B-7997-4176-BC41-C5F6CA2E8C80.htm?id={14FB738B-7997-4176-BC41-C5F6CA2E8C80}
 - **Diario El Mostrador:**
 - <http://www.elmostrador.cl/noticias/pais/2010/03/19/la-obsolencia-del-modelo-electrico-que-desnudo-el-apagon/>



Ingeniería Eléctrica
FACULTAD DE CIENCIAS
FÍSICAS Y MATEMÁTICAS
UNIVERSIDAD DE CHILE



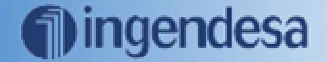
CASO DE ESTUDIO: APAGÓN DEL 14.03.10 EN EL SIC

Secuencia del apagón según INGENDESA (C. Bennett, P. Medina).

- **Comentarios son sólo "especulaciones". Juicio técnico responsable amerita revisar los datos de NTCyS.**
 - **Las protecciones de uno de los bancos de autotransformadores de 500 kV operan erróneamente, debido a que un cable de control se soltó, dando información errónea al sistema.**
 - **Al desconectarse el primer banco, el segundo banco salió por sobrecarga actuando alguna protección de sobrecorriente.**
 - **Al producirse esta desconexión, el sistema al sur de Charrúa quedó intempestivamente con un excedente de generación de 1200 MW.**
 - **Esto produjo un rechazo de carga generalizado en todas las centrales existentes al sur de Charrúa lo que llevó a la desconexión de todas ellas.**
 - **Al norte de Charrúa ocurrió lo contrario, es decir se produjo un déficit de potencia que no pudo ser absorbido por las centrales presentes al momento de la falla, lo que las llevó a la salida de todas ellas.**
 - **Lo que llama la atención es el largo tiempo que tomó la recuperación del servicio**



Ingeniería Eléctrica
FACULTAD DE CIENCIAS
FÍSICAS Y MATEMÁTICAS
UNIVERSIDAD DE CHILE



CASO DE ESTUDIO: APAGÓN DEL 14.03.10 EN EL SIC

- **Conceptos nuevos:**
 - Generación distribuida.
 - Norma Técnica de calidad y suministro (NTCyS).
 - Sobrecorriente.
 - Control en sistemas eléctricos de potencia.
- **Preguntas:**
 - ¿Qué se consideró como falla? ¿Corresponde al concepto que se estudia en SEP?
 - Si hay control en SEP's. ¿Existe "teleco" en SEP?
 - ¿Es esperable que una falla ocasione un apagón?
 - ¿Es "bueno" tener un sistema interconectado?