

UDELAR-FING-IIE 2016



# SISTEMAS DE PROTECCIÓN

## PROTECCIÓN SISTÉMICA (WAP o SPS)

### ÍNDICE

Esquemas de Protección Sistémica (SPS) o Wide Area Protection (WAP).....	2
Objetivo de la protección sistémica.....	3
Problemas a solucionar o disminuir con SPS. ....	3
¿Para qué SPS?.....	5
Algunas características de los SPS.....	5
Planes de defensa. ....	6
Clasificación de los SPS según las variables de control.....	6
Decisiones del SPS mediante.....	7
Acciones típicas.....	7
Ejemplos de acciones de SPS.....	7
Tiempos que involucran a la s acciones de los SPS.....	8
Algunos requisitos.....	8
Diseño y operación de WAP.....	9
Los SPS y las comunicaciones.....	9

## ESTABILIDAD DE UN SISTEMA ELÉCTRICO DE POTENCIA

La estabilidad de un sistema eléctrico de potencia es la propiedad que le permite permanecer operando en estado de equilibrio en condiciones de operación normal y que le permite luego de ser sometido a una perturbación recuperar a un estado de equilibrio aceptable.

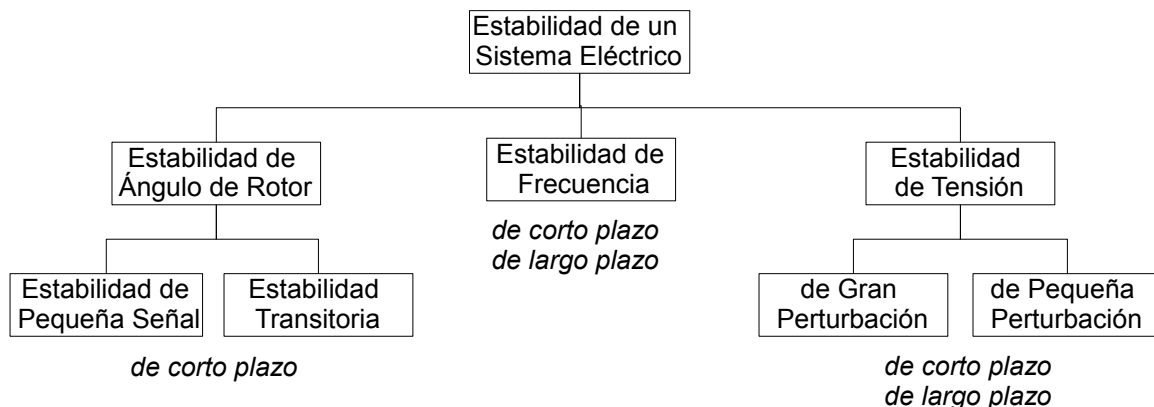
Un sistema de potencia en equilibrio o régimen estacionario opera muy cerca de su frecuencia nominal por ejemplo en un entorno  $(1 \pm 0.5\%)f_N$  y las tensiones de las diferentes barras están cerca de la tensión nominal por ejemplo en un entorno de  $(1 \pm 5\%)U_N$  hasta  $(1 \pm 10\%)U_N$  dependiendo del nivel de tensión y si es en régimen N o N-1.

La estabilidad de un sistema eléctrico es una única cuestión y esto siempre debe recordarse. Sin embargo su estudio no se aborda como un único problema ya que sería inviable por su complejidad.

Como la inestabilidad toma diferentes formas y depende de diversos factores, la estabilidad se clasifica en distintas categorías o tipos para: facilitar su análisis, identificar los principales factores que contribuyen a esa inestabilidad y determinar formas para mejorar ese aspecto de la estabilidad.

Para la clasificación en tipos de estabilidad, se toma en cuenta aspectos como: la naturaleza física de la inestabilidad, el “tamaño” de la perturbación o contingencia, el período de tiempo a considerar, los equipos y procesos involucrados y el método más apropiado de cálculo y predicción de la estabilidad o inestabilidad.

La clasificación en distintos tipos de estabilidad no tiene necesariamente fronteras rigurosas y a veces se superponen.



## **ESQUEMAS DE PROTECCIÓN SISTÉMICA (SPS) O WIDE AREA PROTECTION (WAP)**

La protección sistémica tiene varias formas de ser llamada

- SPS (*System Protection Scheme*) antiguamente llamado *Special Protection Scheme*
- SIPS (*System Integrity Protection Scheme*)
- RAS (*Remedial Action Scheme*)
- WAP (*Wide Area Protection*)

dentro de la disciplina más general

- WAMPAC (*Wide Area Monitoring, Protection and Control*)

### **OBJETIVO DE LA PROTECCIÓN SISTÉMICA**

Detectar condiciones anormales del sistema eléctrico y tomar acciones correctivas predeterminadas (que no sean desconectar el equipo en falta) para preservar la integridad del sistema y permitir un desempeño aceptable del sistema

Para saber si estamos ante una protección en sentido clásico (de equipo) o ante un SPS, la pregunta a hacerse es:

¿se está protegiendo a un equipo?

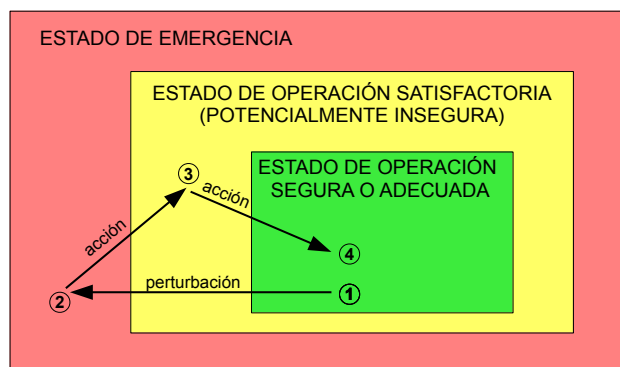
- Si la respuesta es si, es una protección o sistema de protección clásico.
- En caso contrario es protección sistémica

Ejemplo. Protección de frecuencia.

- Si protege al generador sincrónico para evitar daños en la turbina, es protección clásica (función en el sistema de protección del generador)
- Si evita que el sistema colapse, equilibrando generación y carga en el sistema, es un SPS (*load shedding, generator rejection*).

### **PROBLEMAS A SOLUCIONAR O DISMINUIR CON SPS.**

Los SPS apuntan a sacar al sistema eléctrico de un estado de emergencia llevándolo a una condición al menos satisfactoria y si es posible a una condición segura.



Cambios del estado de operación de un sistema eléctrico luego de una perturbación

Los SPS se justifican frecuentemente en casos donde está en juego la integridad del sistema eléctrico.

Eso puede ocurrir ante inestabilidades:

- Transitoria (de ángulo)
- Pequeña señal
- Frecuencia
- Tensión

o ante

- Disparos en cascada

## **ESTABILIDAD TRANSITORIA**

Capacidad del sistema de que sus generadores mantengan sincronismo, ante contingencias severas (cortocircuitos severos o prolongados, pérdida de mucha carga o generación).

Se caracteriza por variaciones en los ángulos relativos entre los rotores de los generadores, variaciones equilibradas en las amplitudes de las tensiones y corrientes (o impedancias), y los flujos de potencia activa y reactiva.

RIESGOS Y CONSECUENCIAS. Oscilaciones inestables.

- Calidad de servicio durante las oscilaciones (tensión, potencias transferidas)
- En los generadores y en el sistema.
- No abrir interruptores cuando el ángulo visto entre generadores es cerca de  $180^\circ$  (riesgo de dañar el interruptor)

ACCIONES POSIBLES.

- Desconectar generación y “*fast valving*”
- Cierre dinámico
- Conmutar reactores cerca de generadores
- Disparo automático de carga
- Otras (ver apuntes sobre “Oscilación de potencia” y más adelante el Anexo “Métodos para mejorar la estabilidad transitoria, que corresponden a Protección (no necesariamente Protección Sistémica)”)

## **ESTABILIDAD EN FRECUENCIA**

Capacidad del sistema de mantener su frecuencia en márgenes aceptables en operación normal o ante contingencias severas que por ej. que hayan causado apertura de líneas en cascada, creación de islas (sistemas aislados), desconexión de generadores, etc.

Las turbinas de los generadores sincrónicos no pueden estar a frecuencia muy distinta de la nominal por mucho tiempo. Es más crítico en los generadores térmicos y en especial en turbinas de vapor (rangos menores).

## **DISPARO EN CASCADA DE LÍNEAS.**

Por una contingencia severa, las oscilaciones de potencia y variaciones en la tensión, así como las sobrecargas, pueden llevar a la operación de protecciones y controles que produzcan salidas de líneas en cascada.

Esto puede afectar la interconexión de regiones, especialmente si hay centros de carga y centros de generación.

Pueden también ocurrir aperturas múltiples de líneas por defectos en líneas paralelas, defectos cercanos a subestaciones con muchas líneas o generadores.

También por disparo indeseado de protecciones ante faltas externas, disparos de las funciones de distancia ante oscilación de potencia, nuevo punto de funcionamiento dentro de alguna zona de distancia (luego de apertura de líneas), disparo de sobrecorriente temporizada de fases (respaldo), funciones de sobrecarga (más largo plazo), etc.

#### ACCIONES POSIBLES.

- Adecuada coordinación (márgenes, protecciones de selectividad relativa, teleprotección).
- Disparo preventivo de carga ante ciertas configuraciones (líneas abiertas)
- Arranque de turbinas de gas
- Bloqueo por oscilación de potencia.

### **SITUACIÓN ACTUAL DE LOS SISTEMAS ELÉCTRICOS.**

- Mercado eléctrico
- Importancia de la calidad (del suministro-producto, de los procesos, etc.)
- Importancia de los clientes (calidad, satisfacer requerimientos)
- Redes trabajando cerca de sus límites técnicos.
- Obtener los mayores beneficios económicos de los equipos
- ¿Retraso en las inversiones?

### **¿PARA QUÉ SPS?**

- Mejorar la operación del sistema
- Operar más cerca de los límites del sistema
- Aumentar los límites de transferencia de potencia, con la misma seguridad
- Aumentar la seguridad del sistema, especialmente ante contingencias extremas que llevarían al colapso

### **ALGUNAS CARACTERÍSTICAS DE LOS SPS.**

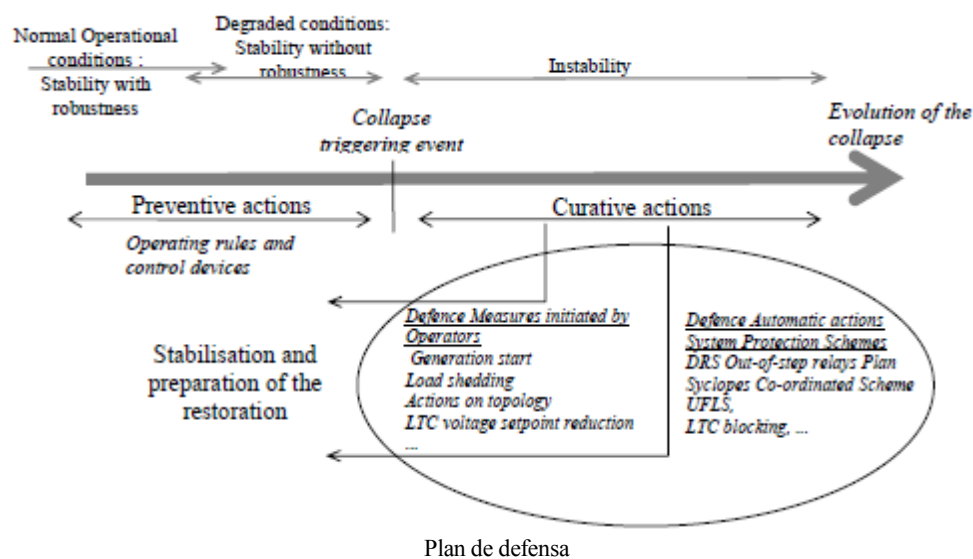
- Protección para algunas contingencias seleccionadas y “raras” (fuera de los rango de diseño y operación normal del sistema)
- Sistemas que (con fines deseados) aumentan el riesgo de operación, y que no sean funciones clásicas de protección
- Sistemas con medidas y/o acciones en múltiples lugares, con acción coordinada
- No son equipos estándar con funciones estándar, sino que son **sistemas que se diseñan a medida**

## PLANES DE DEFENSA.

Los SPS no pueden predecir o prevenir todas las contingencias posibles que llevan al colapso a un sistema de potencia.

A veces algunos SPS pueden ser suficientes para proteger el sistema adecuadamente. Pero cuanto más grande y complejo es el sistema, más complejas son las acciones necesarias.

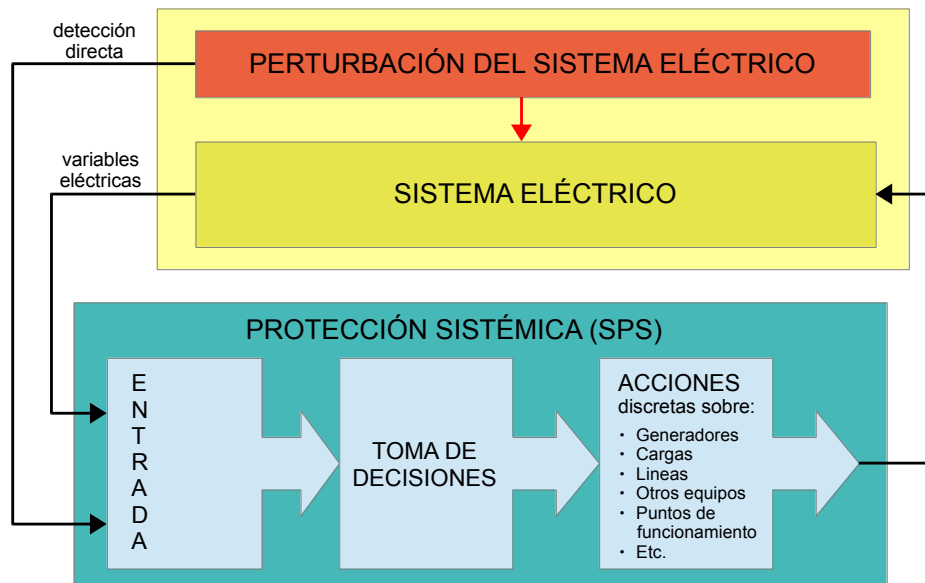
Para ello es necesario que existan Planes de Defensa, en los que los SPS formen parte de dichos Planes. Sin embargo a veces se pueden tomar algunas acciones básicas mediante SPS para los cuales no es necesario que exista un Plan de Defensa (disparo de carga, o generación, etc.)



## CLASIFICACIÓN DE LOS SPS SEGÚN LAS VARIABLES DE CONTROL.

Los SPS pueden estar basados en:

- La respuesta del sistema (medida de variables eléctricas p. ej. tensión, frecuencia)
  - Más generales, pues no importa el origen de la contingencia (perturbación)
  - Pueden servir para contingencias no estudiadas explícitamente.
- Eventos (o combinación de eventos, por ej. apertura de líneas)
  - Buenos para casos en que los eventos críticos son pocos y se pueden identificar
  - Son más rápidos pues no se debe esperar a la respuesta del sistema ante el evento
  - Requieren ser diseñados para todas los conjuntos de eventos



Estructura general de una protección sistémica

### **DECISIONES DEL SPS MEDIANTE.**

- Lógicas y algoritmos predeterminados (determinísticos)
- Matrices predeterminadas (determinísticas) según la condición o estado previo del sistema (casos finitos, rangos de las variables)
- Redes neuronales artificiales. *Artificial neural networks* (ANN)
- Lógica difusa. *Fuzzy logic*
- Algoritmos genéticos. *Genetic algorithms*
- Sistemas expertos. *Expert systems*

### **ACCIONES TÍPICAS.**

- Cambios en la carga (p ej. *load shedding*) DAC
- Cambios en la generación, DAG
- Cambios en la interconexión entre sistemas DAD
- Cambios en la configuración del sistema

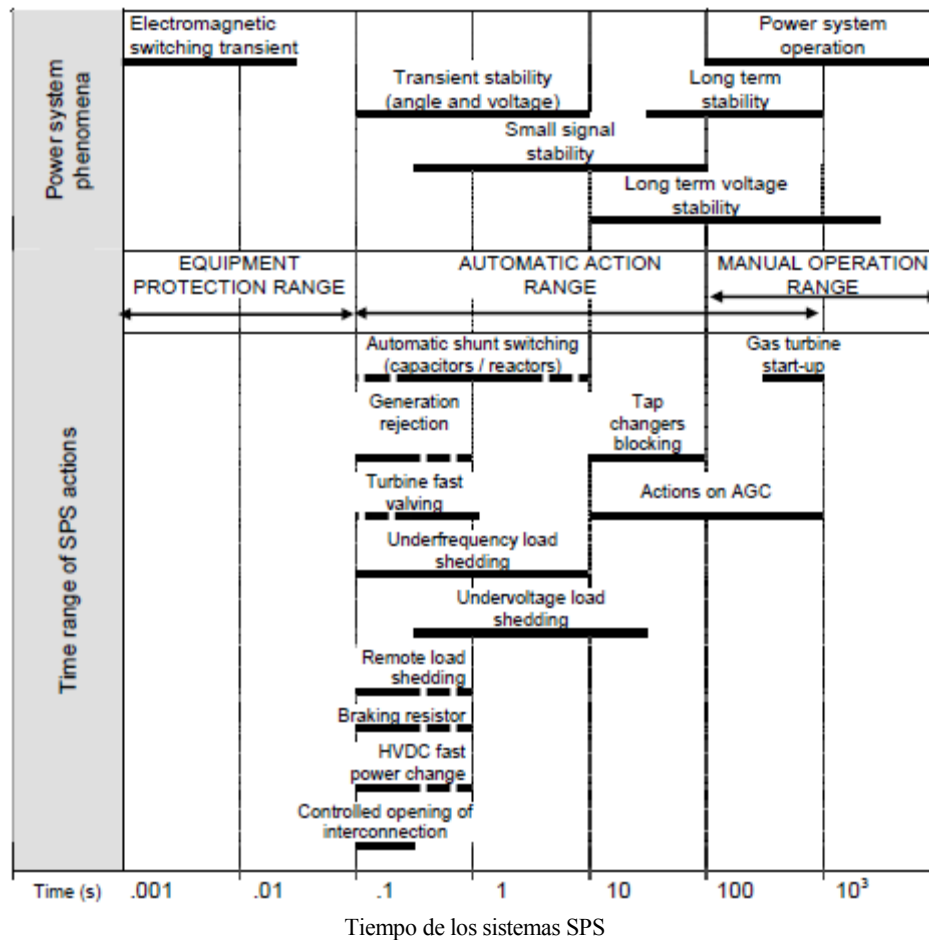
para mantener:

- La estabilidad del sistema
- Voltajes aceptables
- Frecuencia aceptable
- Flujos de potencia aceptables.

### **EJEMPLOS DE ACCIONES DE SPS.**

- Disparo de carga (*underfrequency load shedding*)
- Disparo remoto de generación, ante la pérdida de capacidad de transmisión (*generation rejection*)
- Disparos ante posible colapso de tensión
- Disparos ante pérdida de sincronismo.

## TIEMPOS QUE INVOLUCRAN A LAS ACCIONES DE LOS SPS.

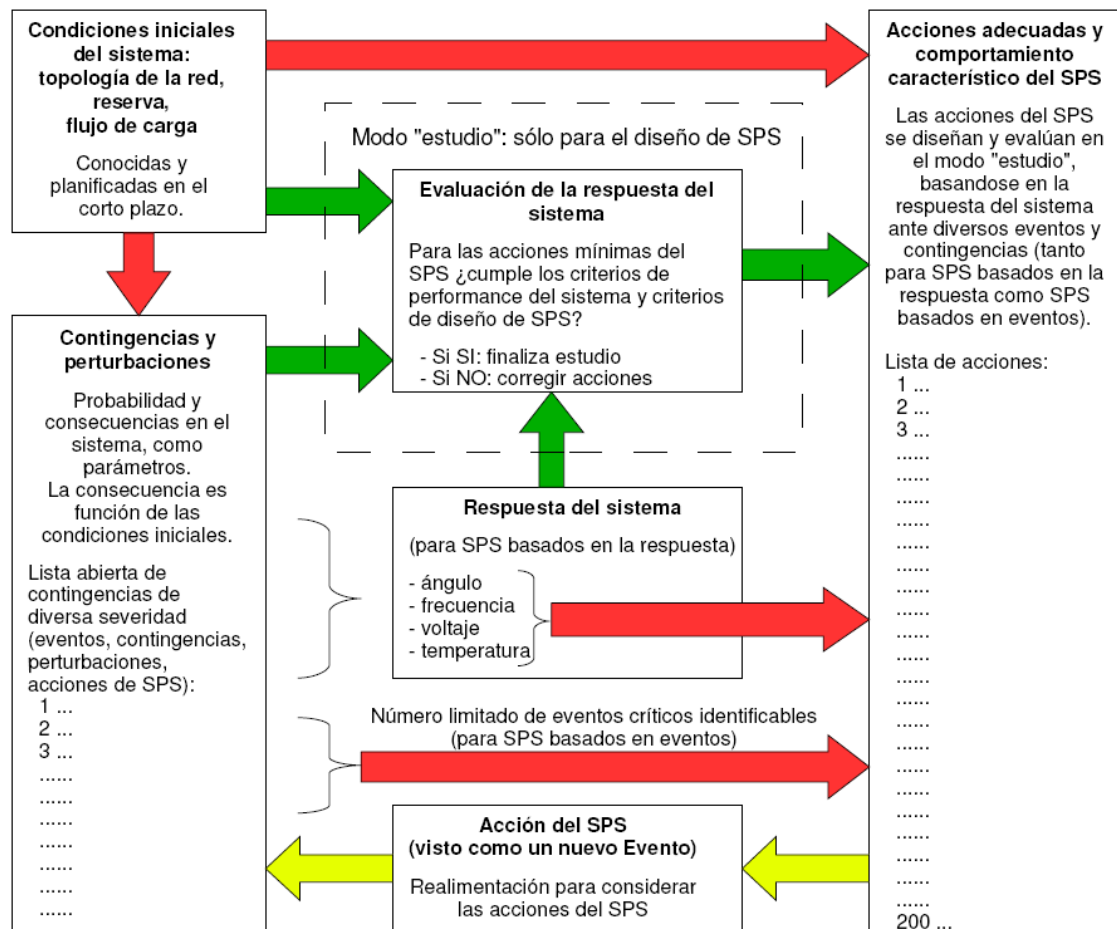


### ALGUNOS REQUISITOS.

- Confiabilidad (Fiabilidad, *Reliability*).
  - *Dependability* (operar correctamente)
  - *Security* (no operar incorrectamente)
- Velocidad
- Disponibilidad
- Flexibilidad
- Coordinación (con los demás SPS y protecciones principales y respaldos)
- Pensar en el Ciclo de Vida considerando no sólo Diseño y Obra, sino la Explotación (Operación y Mantenimiento). Por ej. considerar cambios en:
  - Sistema eléctrico (expansión, etc.)
  - Criterios (reglamentos, normas, etc.)
  - Requerimientos (clientes, actores, involucrados, gerencia, técnicos, etc.)
  - Explotación (mantenimiento, operación)
- Conocer la probabilidad de ocurrencia de los eventos, y gravedad de las consecuencias (el riesgo)



## DISEÑO Y OPERACIÓN DE WAP.



Procedimiento de diseño y operación de WAP.

## Los SPS Y LAS COMUNICACIONES.

SPS pueden ser:

- Equipos y acciones locales (coordinados a partir de estudios de todo el sistema)
- Sistema basado en la comunicación entre equipos.

Para SPS basados en comunicación (ya sea para la medida o para la ejecución de acciones) la comunicación debe tener las siguientes características:

- rápida,
- buen ancho de banda (mucho información),
- confiable, con redundancia (separación física, no puede caer por un evento simple)
- adecuada señal durante contingencias
- con formas de verificar su desempeño
- con formas de monitoreo para evaluar equipos y la disponibilidad de los canales
- que evite operaciones indeseadas (por equipos o personas)

Para WAP que usa sincrofasores (PMUs) por supuesto que esto es crítico.

## **ANEXO.**

### **MÉTODOS PARA MEJORAR LA ESTABILIDAD TRANSITORIA, QUE CORRESPONDEN A PROTECCIÓN (NO NECESARIAMENTE DE PROTECCIÓN SISTÉMICA).**

Las empresas eléctricas deben tomar medidas en el momento del diseño del sistema eléctrico de potencia para evitar salidas de equipamiento en cascada y apagones.

Las acciones son tendientes a lograr los siguientes efectos:

- Minimizar la severidad de las faltas y su duración
- Aumentar las fuerzas sincronizantes
- Reducir los pares acelerantes (control de la potencia mecánica y aplicación de cargas artificiales)

Algunos de los métodos utilizados para mejorar la estabilidad transitoria del sistema son:

- Despejar los defectos rápidamente
  - Funciones de protección instantáneas y de alta velocidad, (recordar el tiempo crítico de despeje de las faltas y los tiempos inherentes a los relés numéricos).
  - Disminuyendo el tiempo que los cortocircuitos permanecen en el sistema, disminuye la energía cinética que gana los rotores de los generadores.
- Usar protecciones de falla interruptor (breaker failure).
  - Minimiza el tiempo que permanece una falta en el sistema, si un interruptor disparado no abre. Para el caso de falla de un interruptor, esta función es preferible a tener sólo respaldos locales o remotos ya que sus tiempos de respaldo son mayores.
- Disparo monopolar de interruptores (recierre monopolar).
  - Durante el tiempo muerto de un recierre con apertura monopolar (para defectos fase-tierra), buena parte de la potencia de prefalta se sigue transfiriendo por las fases “sanas” de la línea, lo que reduce el embalaje de los generadores.
- Cierre dinámico (insertar cargas cerca de los generadores)
  - El forzar un consumo de potencia activa durante el transitorio, reduce o evita la aceleración de los generadores durante perturbaciones.
- Fast Valving
  - Es para el caso de turbinas a vapor, y consiste en reducir la potencia mecánica de los generadores ante ciertas perturbaciones, como mejor alternativa que sacarlos de servicio.
- Disparo de generadores.
  - Puede llegar a ser útil disparar generadores cuando hay problemas de estabilidad transitoria, como oscilaciones inestables de potencia.
  - Esto protege al generador pero no necesariamente al sistema, ya que puede estarse aumentando el desbalance de potencias en el sistema.
- Disparo controlado.
  - Disparo ante Oscilación de Potencia (OST), de manera de preservar el sistema convirtiéndolo en islas con balance entre generación y carga.

- Para ello, además del OST también puede ser necesario disparar carga (load shedding)
- Uso de Sistemas Especiales de Protección (SPS) o Wide Area Protection (WAP) o Protecciones Sistémicas.
- Reducción de la reactancia del sistema.
  - Inserción momentánea de capacitores serie en líneas o subestaciones aumentan el margen de estabilidad al aumentar la potencia máxima transferible  $P_e = \frac{E_R E_S}{X_T}$
- Recierre rápido.
  - No es bueno que los recierres sean lentos
  - Pero no necesariamente cuanto más rápido es el recierre, mejor es para la estabilidad del sistema.

## **BIBLIOGRAFÍA MÁS RELEVANTE.**

- Apuntes de los cursos de Estabilidad de Sistemas Eléctricos de Potencia de FING de los años 2003, 2005, 2007. Ver: <http://iie.fing.edu.uy/ense/assign/esep/>, en particular los capítulos de estabilidad transitoria y protecciones (este último preparado en 2005 por Ing. Verónica Azevedo).
- Power System Stability and Control; P. Kundur
- Apuntes del curso sobre Protecciones de FING, Ing. Jorge Alonso.
- Definition and Classification of Power System Stability.
- IEEE/CIGRE Joint Task Force on Stability Terms and Definition. Prabha Kundur, John Paserba y otros, May 2004.
- IEEE C37.118-2005. Synchrophasors for Power Systems.
- Protective Relays Theory and Applications, Walter A. Elmore
- Protective Relaying, Principles and Applications, J. Lewis Blackburn,
- The Art and Science of Protective Relaying, C.R. Mason, John Wiley 1956
- Manuales y cursos relés SEL y SIEMENS.