ELC-30524

Sistemas de Potencia II

Capítulo 2
Criterio de Áreas Iguales

Prof. Francisco M. González-Longatt

fglongatt@ieee.org

http://www.giaelec.org/fglongatt/SP2.htm

Sistemas de Potencia II

Análisis de Estabilidad

Introducción a los Métodos de Análisis

Francisco M. González-Longatt, fglongatt@ieee.org

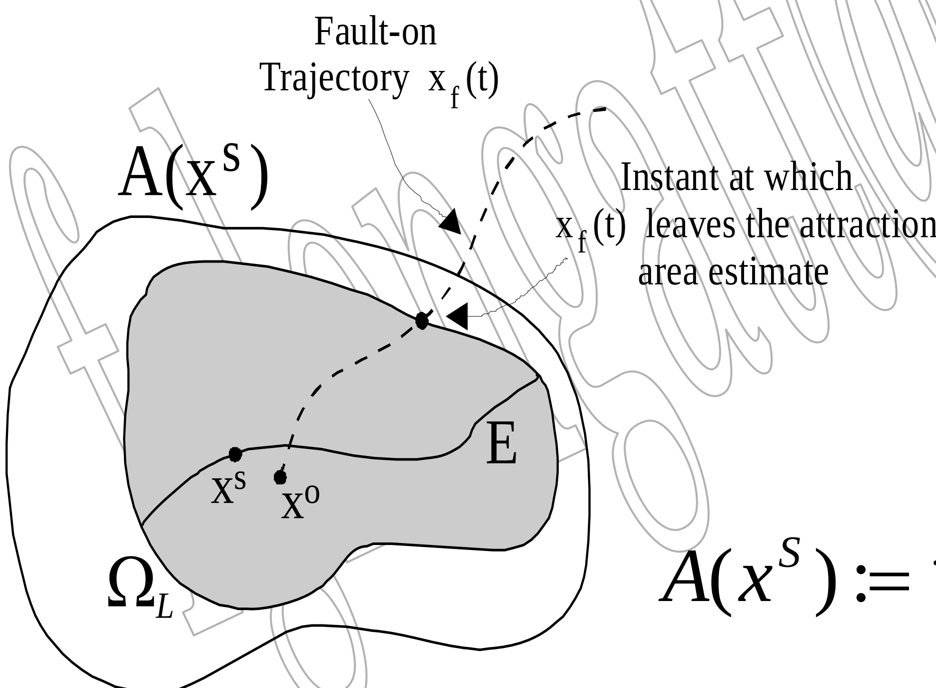
Métodos para el Análisis de Estabilidad

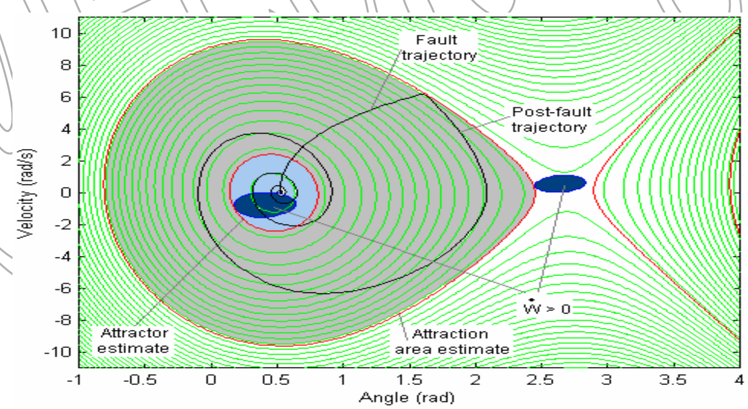
- El análisis de estabilidad transitoria puede emprendido por:
  - Métodos Clásicos.
  - Métodos Directos.
  - Métodos Híbridos
- El primer método directo, fue el *Criterio de Áreas Iguales*, (*Equal Area Criteria*) para una maquina conectada a una barra de potencia infinita (*OMIB One Machine Infinite Bus*).

Francisco M. González-Longatt, fglongatt@ieee.org

Métodos Directos

- Métodos directos más refinados, *Liapunov*, se asocia con el principio de invarianza de LaSelle, el cual es empleado para estimar la región de estabilidad del sistema de potencia (función de Liapunov).





$$A(x^S) := \left\{ x^o \in \Re^n : \lim_{t\to\infty} \Phi(t, x^o) \to x^s \right\}$$

Francisco M. González-Longatt, fglongatt@ieee.org

Métodos Directos

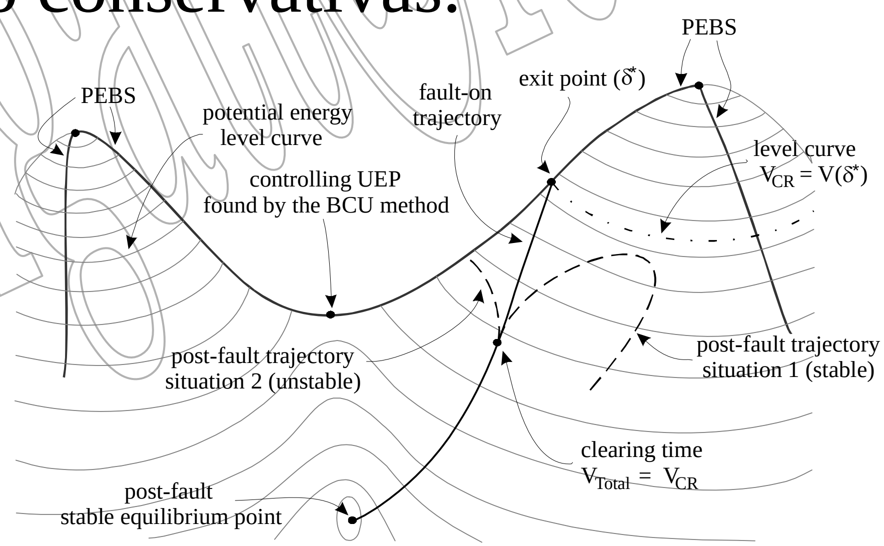
- En 1966, El Abiad y Nagapan, calcularon todos los *Puntos de Equilibrio Inestables* (*UEP Unestable Equilibrium Point*) alrededor de los *Puntos de Equilibrio Estable* (*SEP Stable Equilibrium Point*) bajo investigación.

- En 1979 se implementa el *Control de los Puntos de Equilibrio Inestable* (*Control UEP*) por el uso del criterio de aceleración

Francisco M. González-Longatt, fglongatt@ieee.org

Métodos Directos

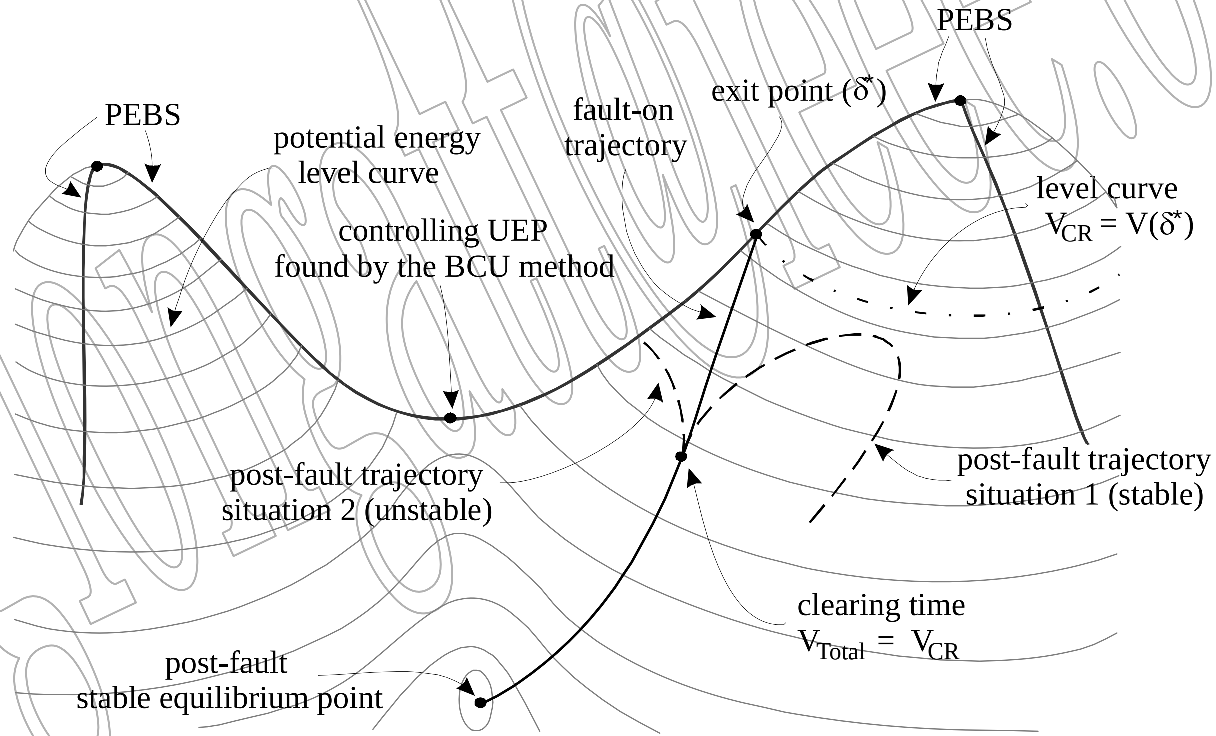
- En 1978, Kakimoto presenta el *Método PEBS Potencial Energy Boundary Surface* o Método de superficies de contorno de energía potencial, posee la ventaja que una estimación de CCT es obtenido sin el calculo de los puntos inestables de equilibrio pero como desventaja en algunos casos provee estimaciones no conservativas.



Francisco M. González-Longatt, fglongatt@ieee.org

Métodos Directos

- En 1994, (*BPU: Boundary Control UEP*) Control de Borde de Puntos de Equilibrio Inestables (Chiang), el cual esta basado en el concepto de controlar los UEP.



Sistemas de Potencia II

Análisis de Estabilidad

Criterio de Áreas Iguales

Francisco M. González-Longatt, fglongatt@ieee.org

Criterio de Áreas Iguales

Generalidades:

- Los *estudios de estabilidad* involucran el tratamiento con la *ecuación de oscilación* de la máquina, la cual en si forma más simple es una *ecuación no lineal*

$$\frac{H_b}{\pi f}\frac{d^2\delta(t)}{dt^2} = P_{acel}$$

Francisco M. González-Longatt, fglongatt@ieee.org

Criterio de Áreas Iguales

Generalidades:

$$\frac{H_b}{\pi f}\frac{d^2\delta(t)}{dt^2} = P_{acel}$$

- La *soluciones formales*, *no se pueden encontrar explícitamente*; bajo las mayores simplificaciones apunta hacia *integrales elípticas*.

- El problema de estabilidad generalizado ha sido enfocado a los *métodos clásicos*, que se basan en la *resolución por métodos numéricos*.

Francisco M. González-Longatt, fglongatt@ieee.org

Criterio de Áreas Iguales

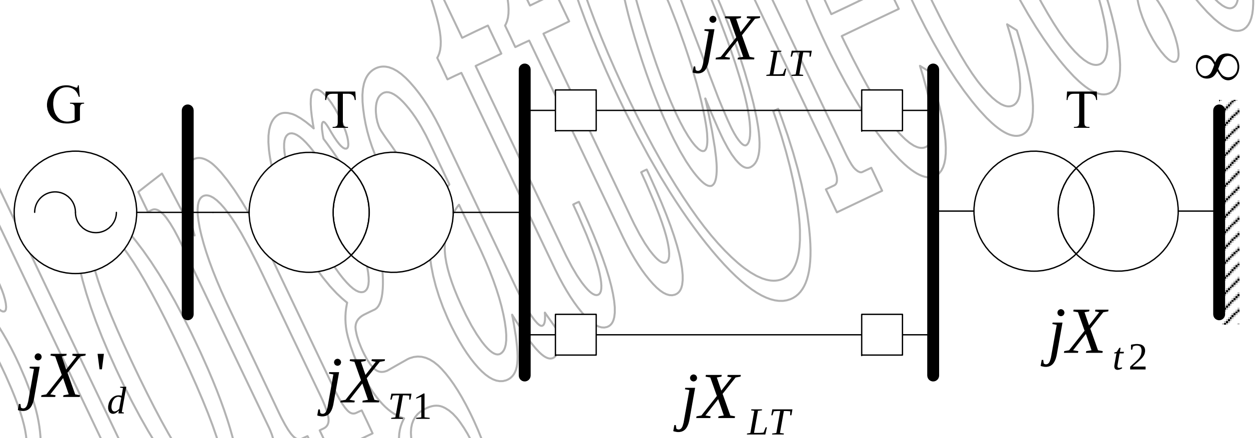
Generalidades:

- En el caso más simple, una máquina contra una barra de potencia infinita (*One Machine Infinite Bus*), o dos máquinas, el estudio de estabilidad puede ser efectuado con métodos que no requieren resolver la ecuación de oscilación, siendo los denominados *métodos directos*.
- El más simple de los métodos directos es el denominado *criterio de áreas iguales*.

Francisco M. González-Longatt, fglongatt@ieee.org

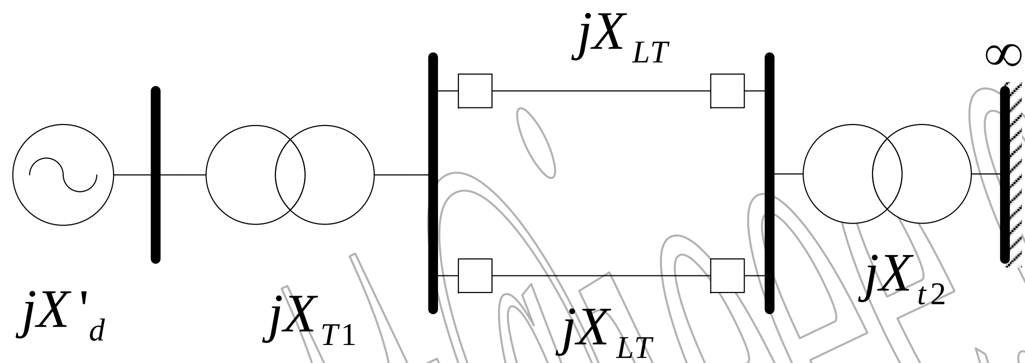
Criterio de Áreas Iguales

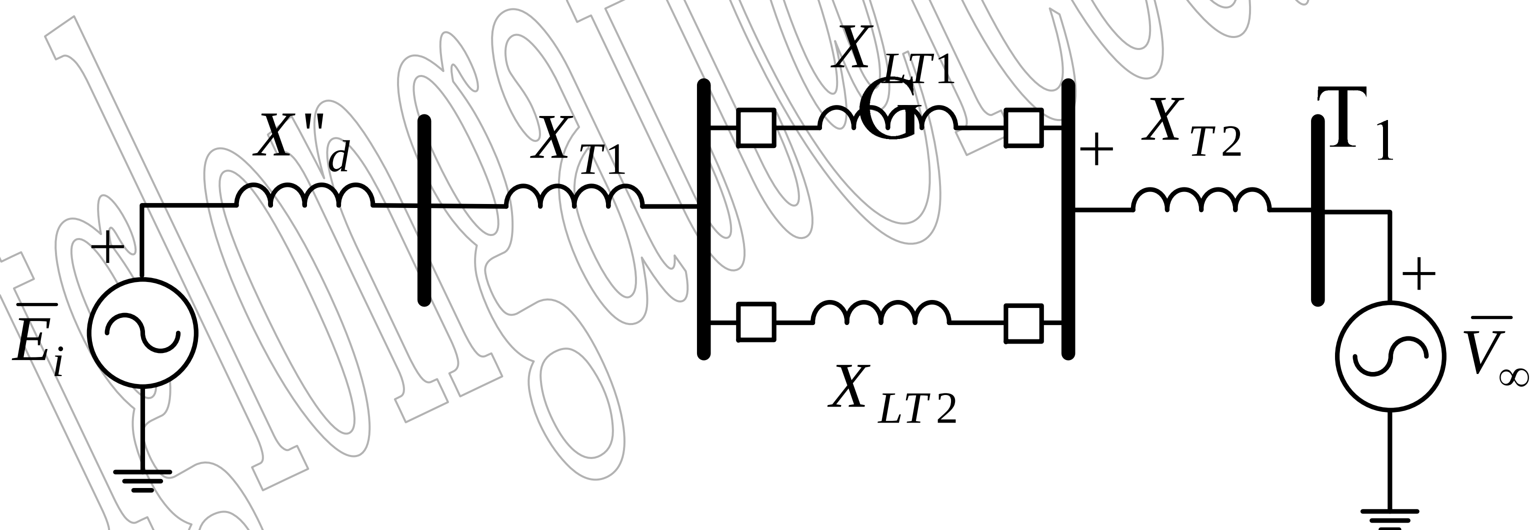
- Para deducir el criterio de áreas iguales se hace para una máquina y una barra de potencia infinita, aunque las consideraciones efectuadas, pueden ser elevadas para el caso de un sistema general de dos máquinas



$$X_{G\infty} = X'_d + X_{T1} + X_{T2} + X_{LT1} // X_{LT2}$$

Criterio de Áreas Iguales





$$X_{G\infty} = X'_d + X_{T1} + X_{T2} + X_{LT1} // X_{LT2}$$

Francisco M. González-Longatt, fglongatt@ieee.org

Criterio de Áreas Iguales

- Esta máquina puede oscilar, respecto a la barra de potencia infinita, cumpliendo con la ecuación de oscilación

$$\frac{2H}{\omega_s}\frac{d^2\delta(t)}{dt^2} = P_{acel} = \left(P_{mec} - P_{elec}\right)$$

- Siendo la velocidad angular relativa del rotor a la velocidad sincrónica, dada por:

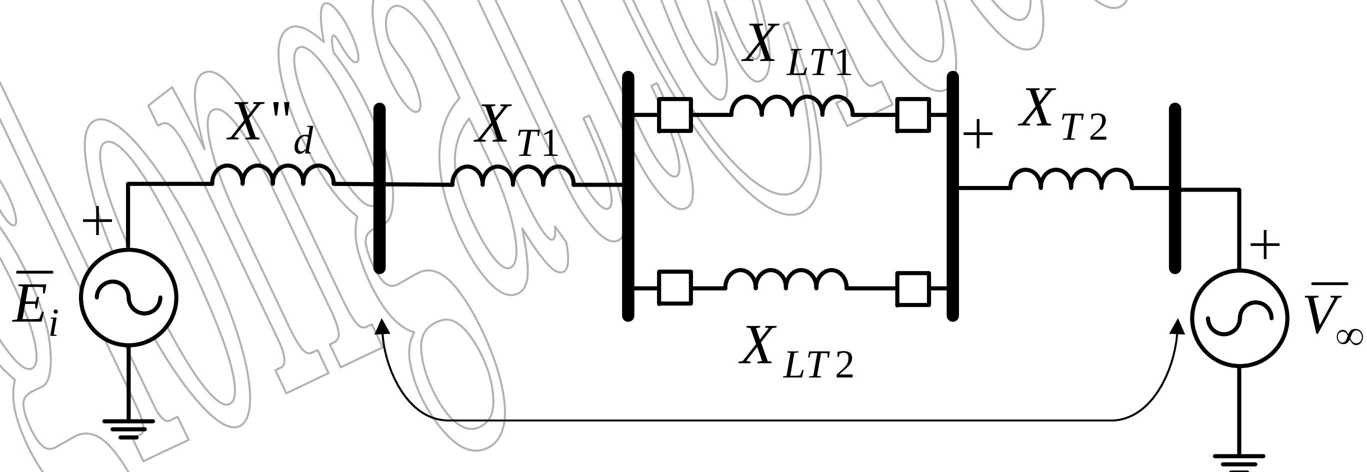
$$\omega_{rel} = \frac{d\delta(t)}{dt} = \omega(t) - \omega_s$$

Francisco M. González-Longatt, fglongatt@ieee.org

Criterio de Áreas Iguales

- La potencia eléctrica (P_{elec}) entregada por la máquina es:

$$P_{elec} = \frac{\left|\overline{E}_i'\right|\left|\overline{V}_\infty\right|}{X_{G\infty}} sen\delta(t)$$



$$X_{G\infty} = X'_d + X_{T1} + X_{T2} + X_{LT1} // X_{LT2}$$

Criterio de Áreas Iguales

- La potencia eléctrica (P_{elec}) entregada por la máquina es:

$$P_{elec} = \frac{\left|\overline{E}_i^{'}\right|\left|\overline{V}_\infty\right|}{X_{G\infty}} sen\delta(t)$$

- Considerando lo anterior la ecuación de oscilación de la máquina conectada a la barra de potencia infinita es:

$$\frac{2H}{\omega_s}\frac{d^2\delta(t)}{dt^2} = M\,\frac{d^2\delta(t)}{dt^2} = P_{acel} = P_{mec} - P_{elec}$$

Francisco M. González-Longatt, fglongatt@ieee.org

Criterio de Áreas Iguales

- Antes de que exista la perturbación en la máquina, ésta se encuentra *operando en estado estable*.
- La potencia mecánica (P_{mec}) inyectada al generador es igual a la potencia eléctrica de salida (P_{elec}), por lo que la *potencia total acelerante es cero* (P_{acel}).
- *Siempre que se desprecie, las pérdidas* por rozamiento mecánica, por fricción del aire, por corriente de Facoult, etc.

Francisco M. González-Longatt, fglongatt@ieee.org

Criterio de Áreas Iguales

- Siempre que se desprecie, las pérdidas por rozamiento mecánica, por fricción del aire, por corriente de Facoult, etc.

$$P_{acel} = P_{mec} - P_{elec}$$

$$P_{acel} = 0$$

$$P_{mec} = P_{elec}$$

Francisco M. González-Longatt, fglongatt@ieee.org

Criterio de Áreas Iguales

- En estas *condiciones estables de operación*, la velocidad real del rotor $\omega(t)$, es igual a la velocidad sincrónica ω_s, de modo que la velocidad relativa del rotor es cero.

- Esta máquina puede oscilar, respecto a la barra de potencia infinita, cumpliendo con la ecuación de oscilación:

$$\frac{2H}{\omega_s}\frac{d^2\delta(t)}{dt^2} = P_{acel} = \left(P_{mec} - P_{elec}\right)$$

Francisco M. González-Longatt, fglongatt@ieee.org

Criterio de Áreas Iguales

- Siendo la velocidad angular relativa del rotor a la velocidad sincrónica, dada por:

$$\omega_{rel} = \frac{d\delta(t)}{dt} = \omega(t) - \omega_s$$

- La potencia eléctrica (P_{elec}) entregada por la máquina puede ser obtenida de la relación potencia ángulo:

$$P_{elec} = \frac{\left|\overline{E}_i'\right|\left|\overline{V}_\infty\right|}{X_{G\infty}} sen\delta(t)$$

Criterio de Áreas Iguales

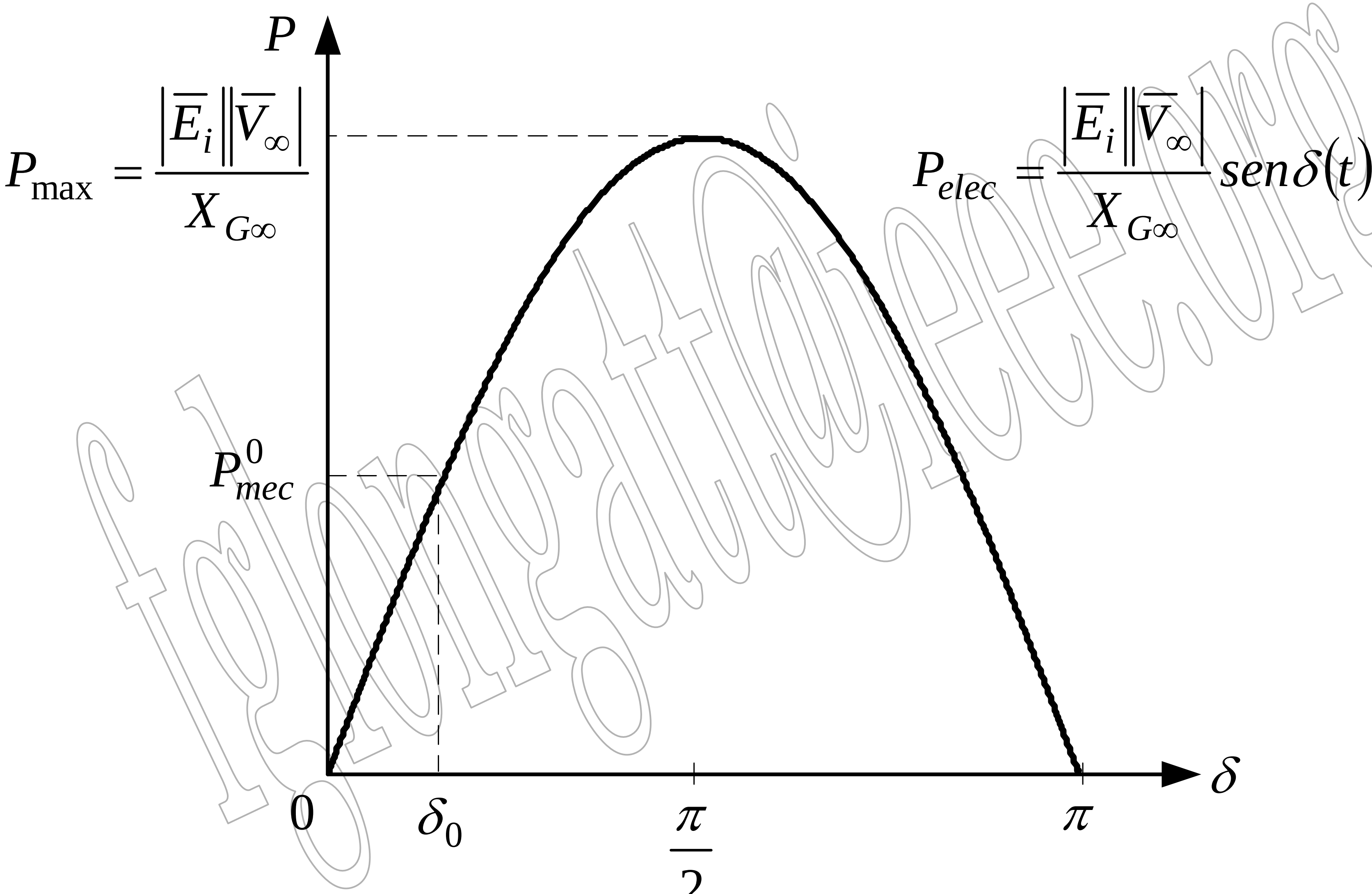
- Considerando lo anterior la ecuación de oscilación de la máquina conectada a la barra de potencia infinita es:

$$\frac{2H}{\omega_s}\frac{d^2\delta(t)}{dt^2} = M\frac{d^2\delta(t)}{dt^2} = P_{acel} = P_{mec} - P_{elec}$$

$$M\frac{d^2\delta(t)}{dt^2} = P_{acel} = P_{mec} - \frac{\left|\overline{E}_i^{'}\right|\left|\overline{V}_\infty\right|}{X_{G\infty}} sen\delta(t)$$

Francisco M. González-Longatt, fglongatt@ieee.org

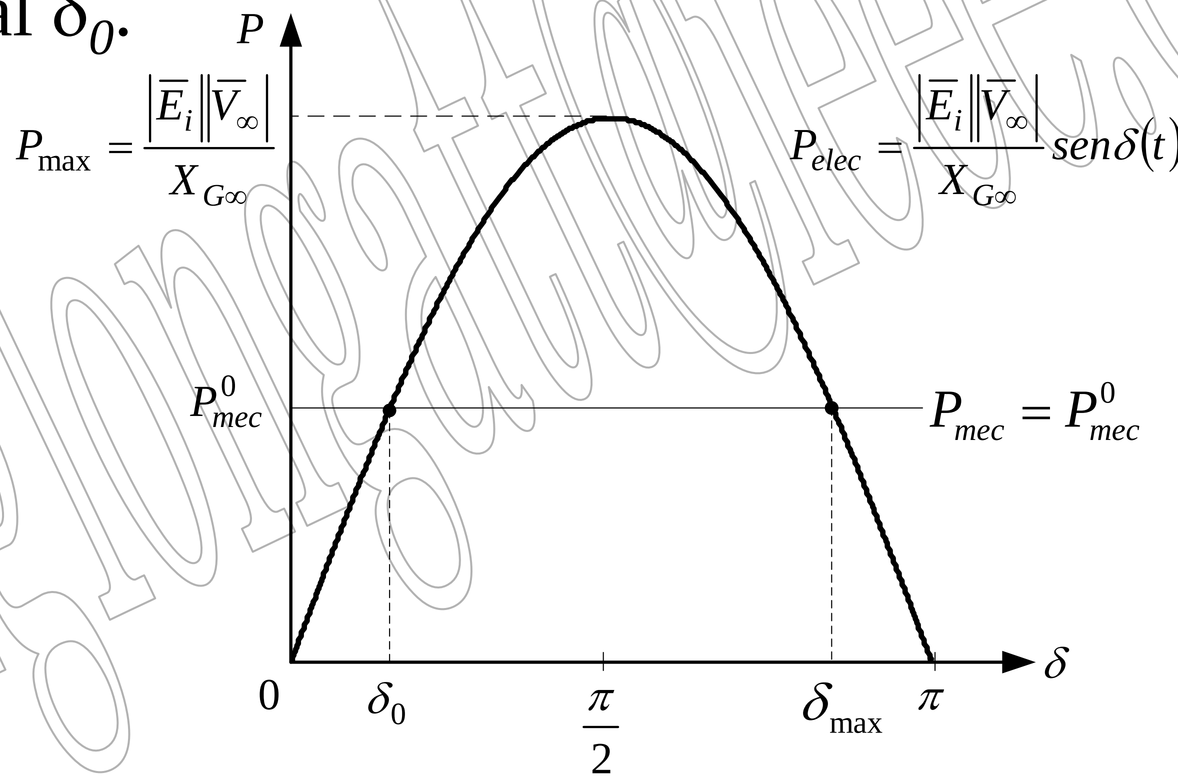
Criterio de Áreas Iguales



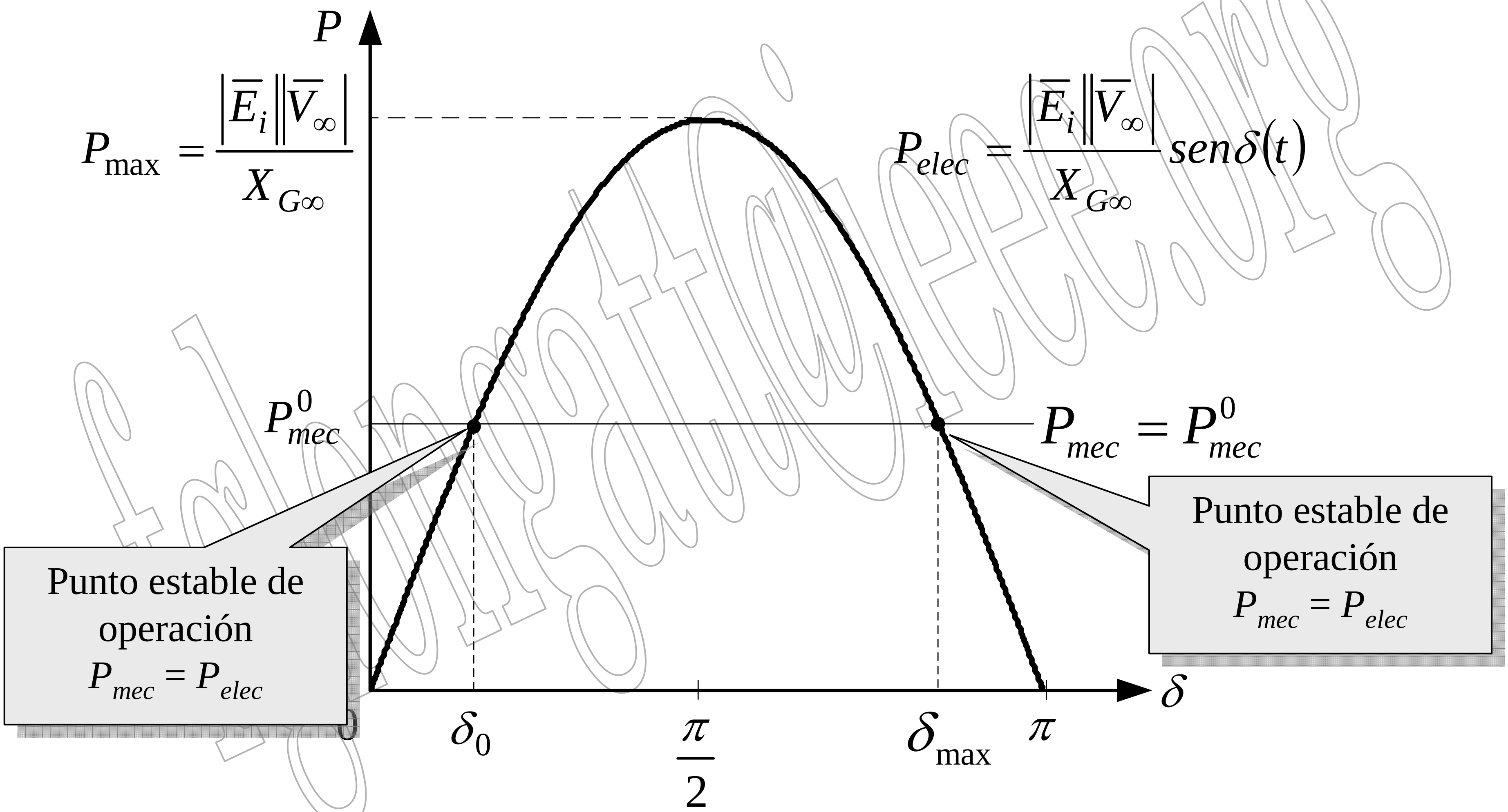
Francisco M. González-Longatt, fglongatt@ieee.org

Criterio de Áreas Iguales

- Supóngase que ésta posición de equilibrio entre las potencias mecánica y eléctrica (despreciando las pérdidas) ocurre para un cierto ángulo de potencia inicial δ_0.



Criterio de Áreas Iguales



Criterio de Áreas Iguales

- Multiplíquese en ambos miembros de la ecuación de oscilación de la máquina por la primera derivada del ángulo de potencia respecto al tiempo, resulta:

$$\frac{d\delta(t)}{dt} M \frac{d^2\delta(t)}{dt^2} = \left(P_{mec} - P_{elec}\right)\frac{d\delta(t)}{dt}$$

- Ahora, se conoce por teoría de calculo diferencial:

$$\frac{d\left(\left[f(t)\right]^2\right)}{dt} = 2f(t)\frac{df(t)}{dt}$$

Criterio de Áreas Iguales

- Ahora, se conoce por teoría de calculo diferencial:

$$\frac{d\left(\left[f(t)\right]^2\right)}{dt} = 2f(t)\frac{df(t)}{dt}$$

- Si se considera:

$$f(t) = \frac{d\delta(t)}{dt}$$

$$\frac{d\left(\left[\frac{d\delta(t)}{dt}\right]^2\right)}{dt} = 2\frac{d\delta(t)}{dt}\frac{d^2\delta(t)}{dt^2}$$

Francisco M. González-Longatt, fglongatt@ieee.org

Criterio de Áreas Iguales

$$\frac{1}{2}\frac{d\left(\left[\frac{d\delta(t)}{dt}\right]^2\right)}{dt}=\frac{d\delta(t)}{dt}\frac{d^2\delta(t)}{dt^2}$$

- El primer térmico de la ecuación anterior, puede ser reescrito, de una manera más simple como:

$$\frac{d\delta(t)}{dt}M\frac{d^2\delta(t)}{dt^2}=\frac{M}{2}\frac{d\left(\left[\frac{d\delta(t)}{dt}\right]^2\right)}{dt}=\left(P_{mec}-P_{elec}\right)\frac{d\delta(t)}{dt}$$

Francisco M. González-Longatt, fglongatt@ieee.org

Criterio de Áreas Iguales

- Multiplicando en ambos miembros de la ecuación por diferencial de tiempo se tiene:

$$d\left(\left[\frac{d\delta(t)}{dt}\right]^2\right) = 2\frac{\left(P_{mec} - P_{elec}\right)}{M}d\delta(t)$$

Francisco M. González-Longatt, fglongatt@ieee.org

Criterio de Áreas Iguales

$$d\left(\left[\frac{d\delta(t)}{dt}\right]^2\right) = 2\frac{\left(P_{mec} - P_{elec}\right)}{M}d\delta(t)$$

- Si se integra con respecto al tiempo:

$$\left[\frac{d\delta(t)}{dt}\right]^2 = \int_{\delta_0}^{\delta_1} 2\frac{\left(P_{mec} - P_{elec}\right)}{M}d\delta(t)$$

$$\left[\frac{d\delta(t)}{dt}\right] = \sqrt{\int_{\delta_0}^{\delta_1} 2\frac{\left(P_{mec} - P_{elec}\right)}{M}d\delta(t)}$$

Criterio de Áreas Iguales

- La integral plantada dentro del radical, se una integral definida evaluada entre el ángulo δ_0, el cual corresponde al ángulo de potencia de la máquina cuando ésta funciona sincrónicamente antes que se produzca la perturbación, es decir $d\delta(t)/dt = 0$.

$$\left[\frac{d\delta(t)}{dt}\right] = \sqrt{\int_{\delta_0}^{\delta_1} 2\frac{\left(P_{mec} - P_{elec}\right)}{M} d\delta(t)}$$

$$\sqrt{\int_{\delta_0}^{\delta_1} 2\frac{\left(P_{mec} - P_{elec}\right)}{M} d\delta(t)} = 0$$

Francisco M. González-Longatt, fglongatt@ieee.org

Criterio de Áreas Iguales

- En general el ángulo de potencia $\delta(t)$ dejará de oscilar y la máquina volverá a funcionar sincrónicamente después de la perturbación cuando $d\delta(t)/dt = 0$, o mejor escrito:

$$\left[\frac{d\delta(t)}{dt}\right]^2 = \sqrt{\int_{\delta_0}^{\delta_1} 2\frac{\left(P_{mec} - P_{elec}\right)}{M} d\delta(t)}$$

Criterio de Áreas Iguales

- Se puede justificar que la máquina no permanecerá estática, respecto a la barra de potencia infinita, la primera vez que $d\delta(t)/dt$ se anule.
- El hecho de que por un instante el ángulo de potencia deje de oscilar, puede ser interpretado como una indicación de estabilidad.
- La interpretación geométrica de la derivada; el hecho de que $d\delta(t)/dt$ se anule, corresponde al punto en que la curva de oscilación de la máquina cuando el ángulo $\delta(t)$ alcanza el máximo y empieza a disminuir.

Sistemas de Potencia II

Análisis de Estabilidad

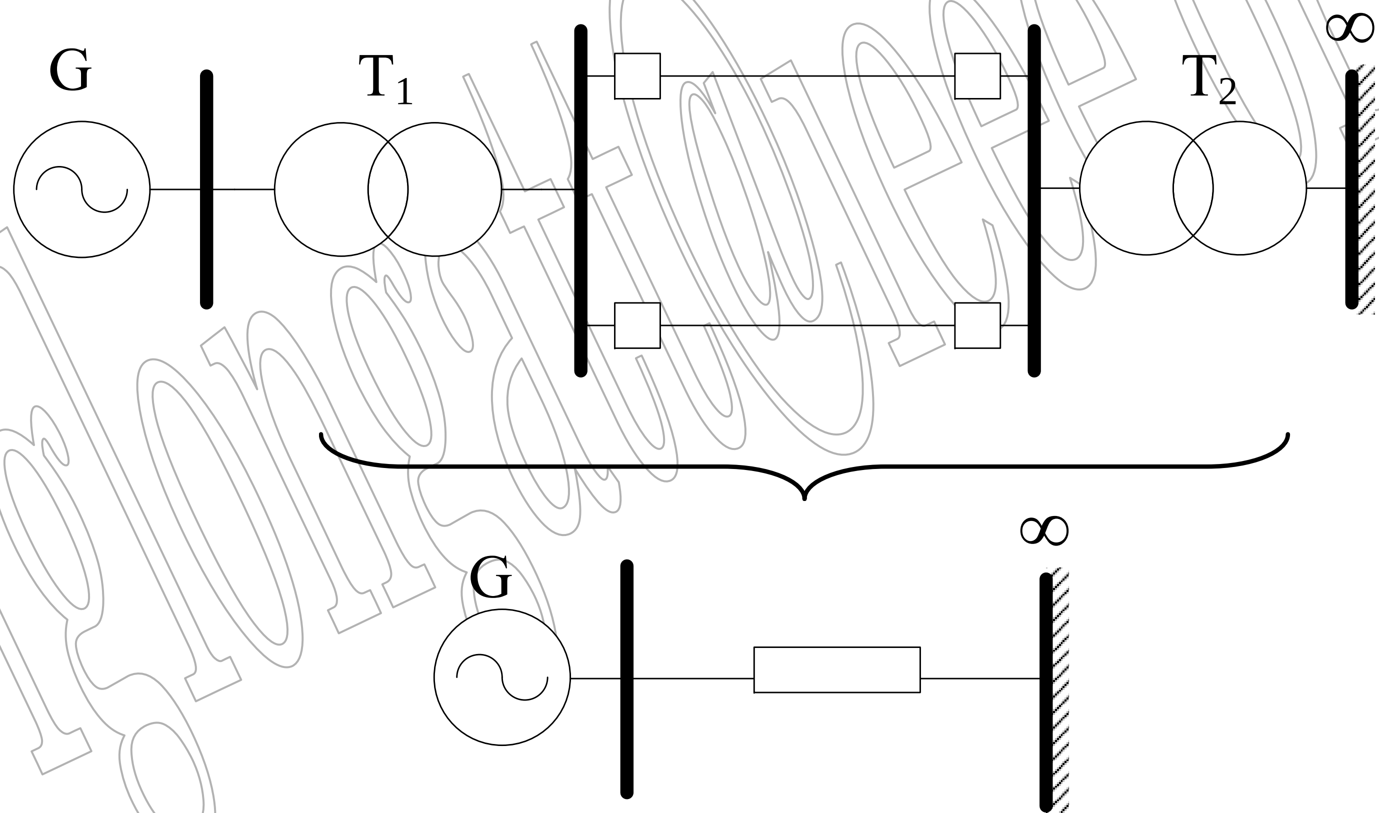
Criterio de Áreas Iguales

- Aplicación Ilustrativa -

Francisco M. González-Longatt, fglongatt@ieee.org

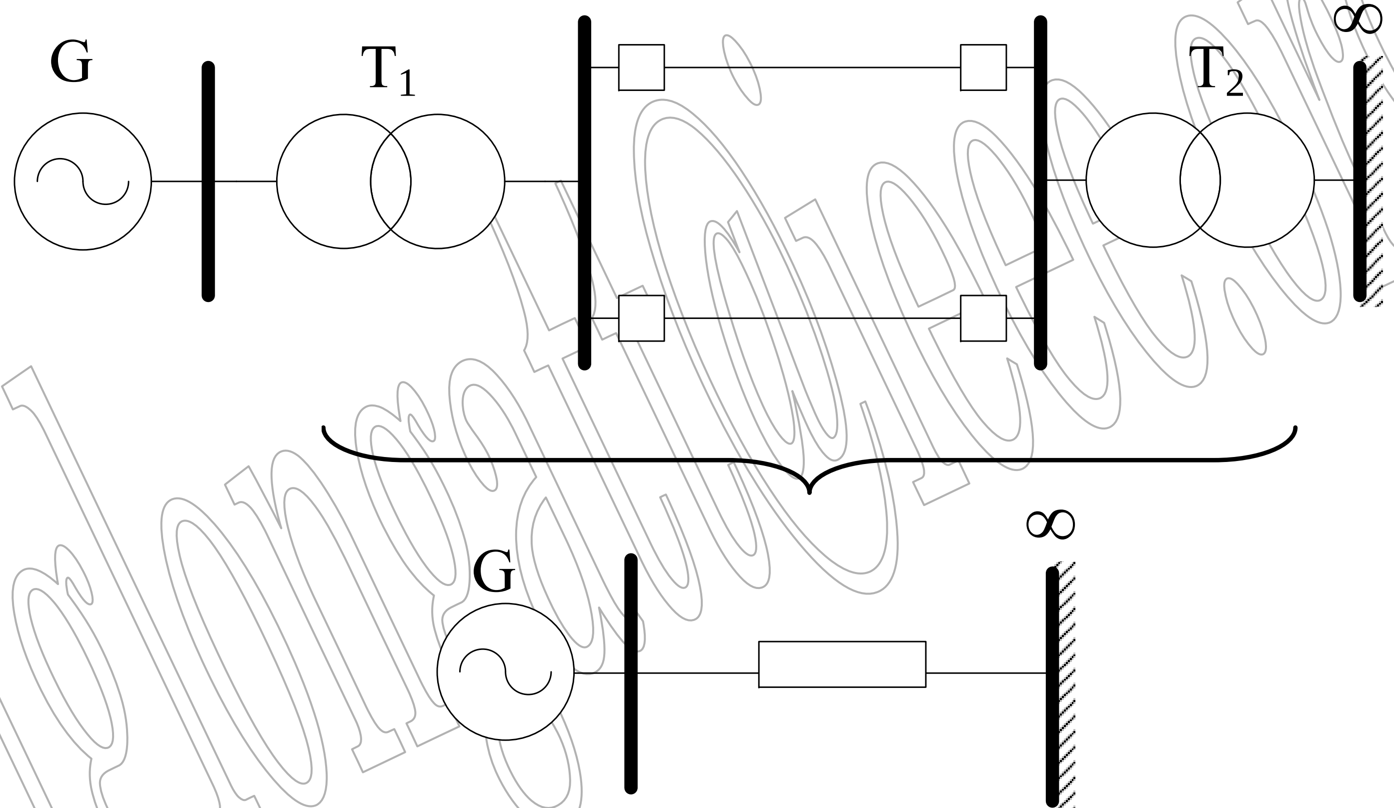
CAI Aplicación Ilustrativa

- Considérese una máquina sincrónica operando como generador conectada a una barra de potencia infinita.



Francisco M. González-Longatt, fglongatt@ieee.org

CAI Aplicación Ilustrativa

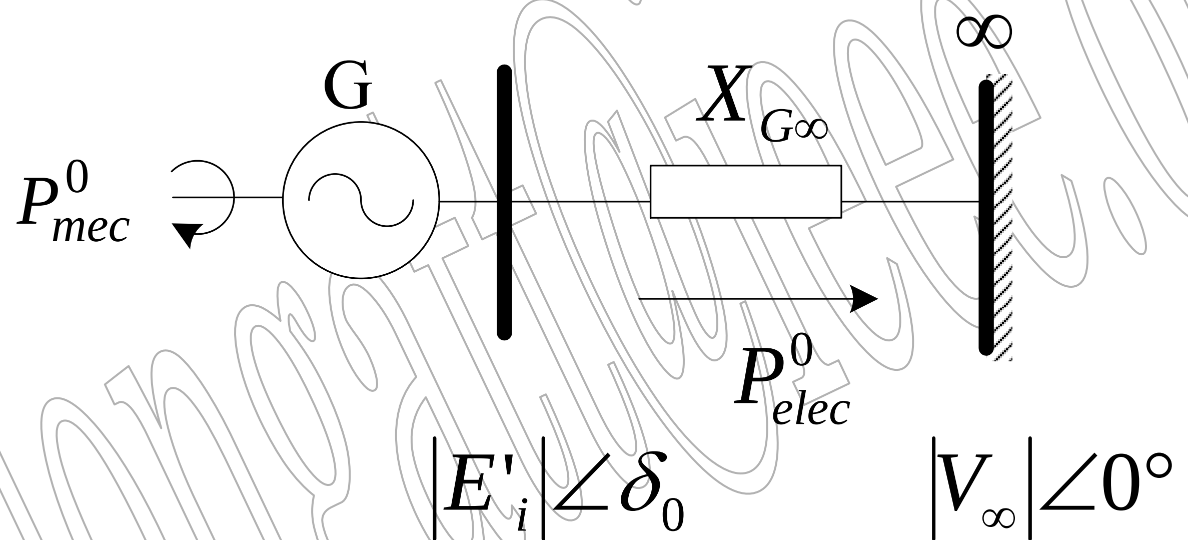


$$X_{G\infty}$$

Francisco M. González-Longatt, fglongatt@ieee.org

CAI Aplicación Ilustrativa

- Considérese una máquina sincrónica operando como generador conectada a una barra de potencia infinita

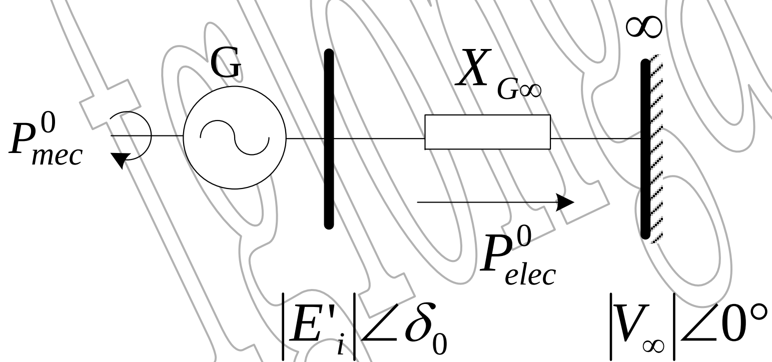


- Funciona en sincronismo con un ángulo de potencia inicial δ_0 para la cual entrega una cierta potencia eléctrica P_{elec}

CAI Aplicación Ilustrativa

- Funciona en sincronismo con un ángulo de potencia inicial δ_0 para la cual entrega una cierta potencia eléctrica que puede ser escrita en forma general como:

$$P_{mec} = P_{elec} = \frac{\left|\overline{E}_i'\right|\left|\overline{V}_\infty\right|}{X_{G\infty}} sen\delta(t)$$



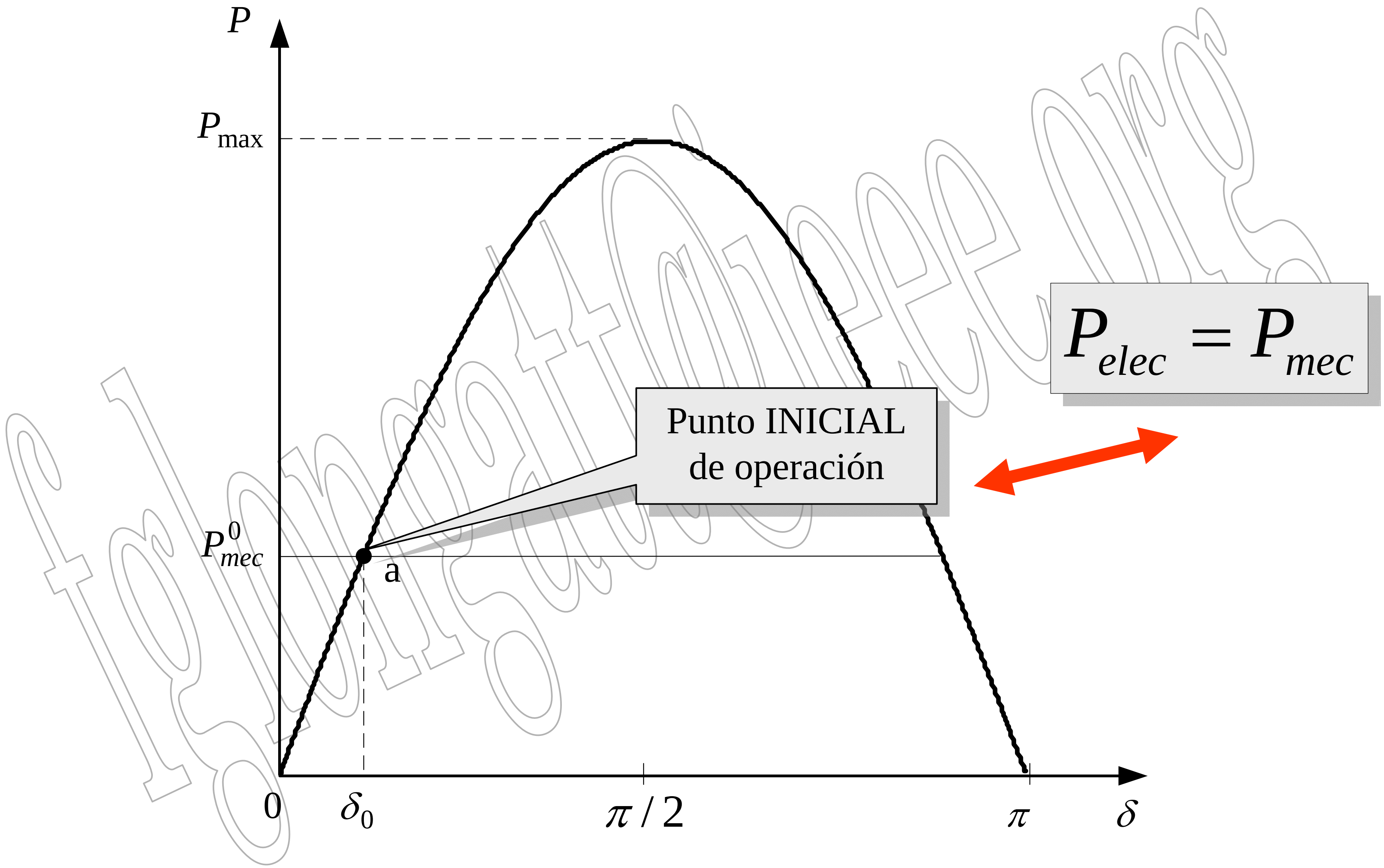
CAI Aplicación Ilustrativa

- Si se consideran despreciables las pérdidas de la máquina, tales como fricción mecánica y roce del aire, además de las corrientes de Facoult, la potencia mecánica (P_{mec0}) y la eléctrica (P_{elec0}) en la máquina son iguales, para un *estado de operación normal*.

$$P_{mec} = P_{elec} = \frac{\left|\overline{E}_i'\right|\left|\overline{V}_\infty\right|}{X_{G\infty}} sen\delta(t)$$

Francisco M. González-Longatt, fglongatt@ieee.org

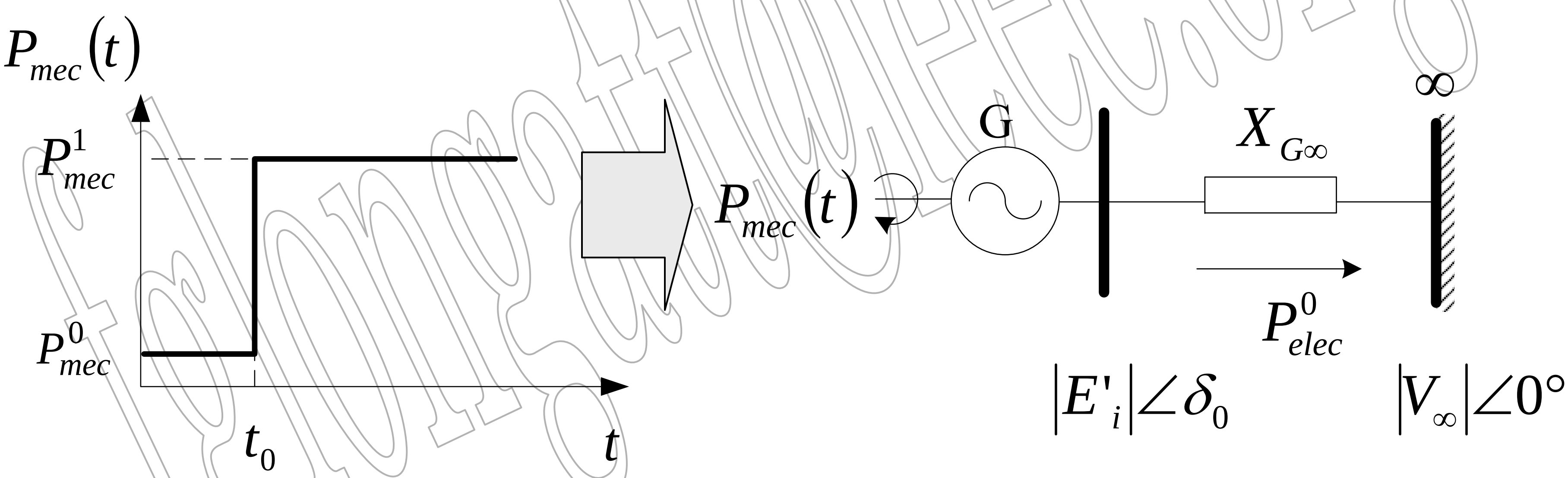
CAI Aplicación Ilustrativa



Francisco M. González-Longatt, fglongatt@ieee.org

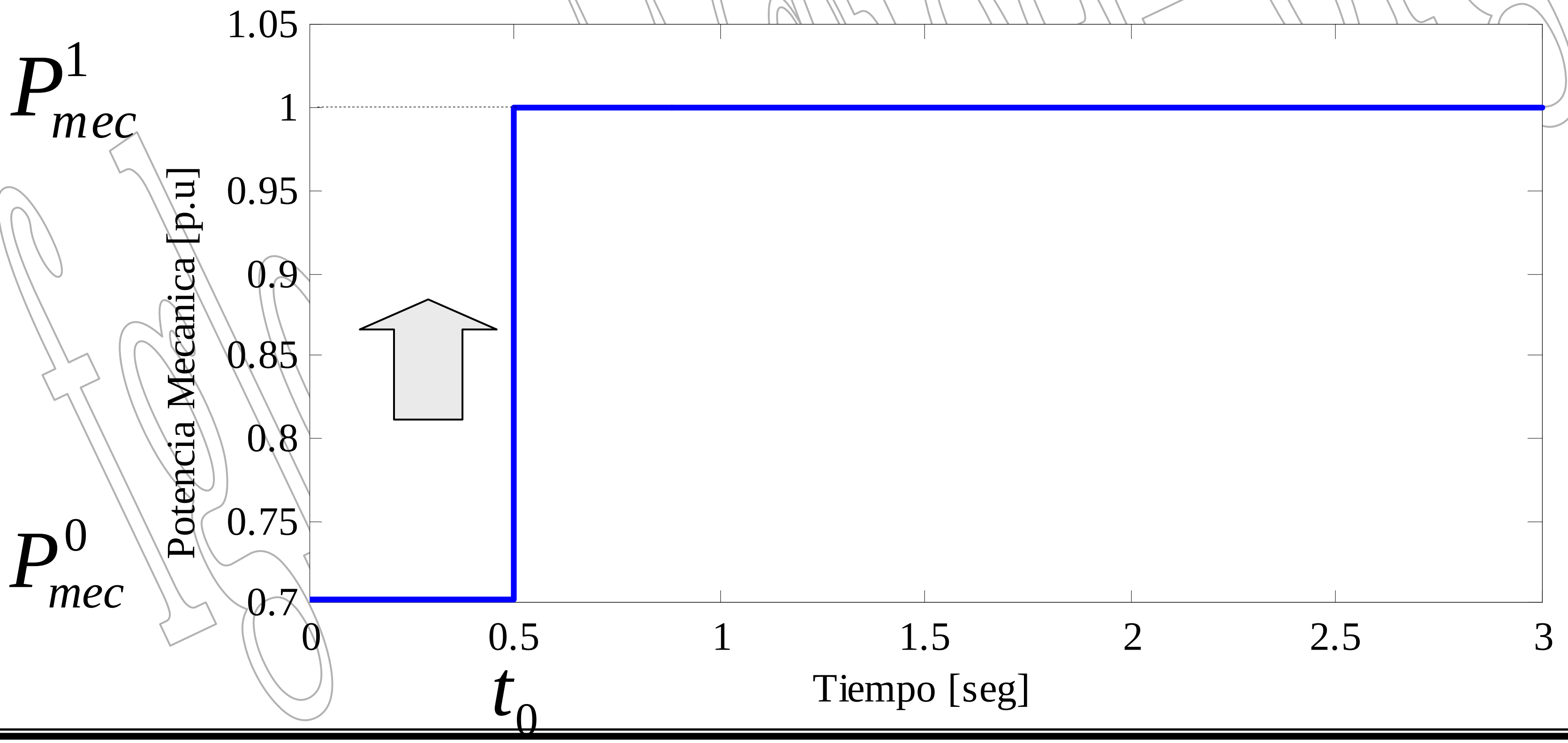
CAI Aplicación Ilustrativa

- Supóngase que la potencia mecánica a la entrada del generador es aumenta bruscamente, pasando instantáneamente de P_{mec0} a P_{mec1}.



CAI Aplicación Ilustrativa

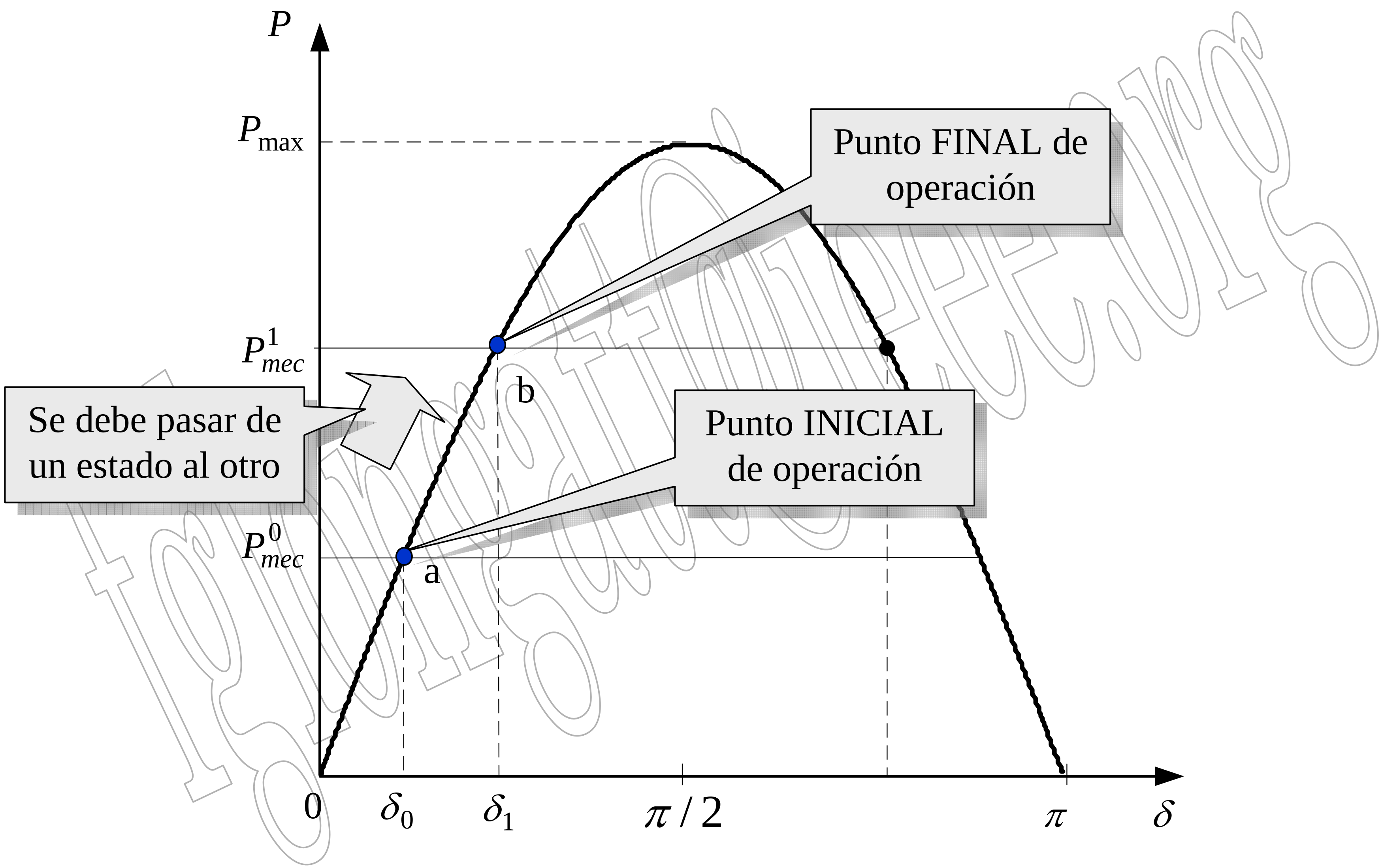
- Supóngase que la potencia mecánica a la entrada del generador es aumenta bruscamente, pasando instantáneamente de P_{mec0} a P_{mec1}.



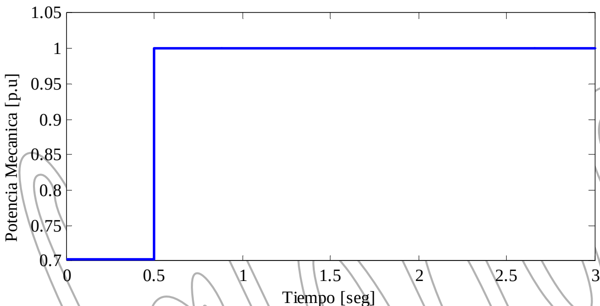
CAI Aplicación Ilustrativa

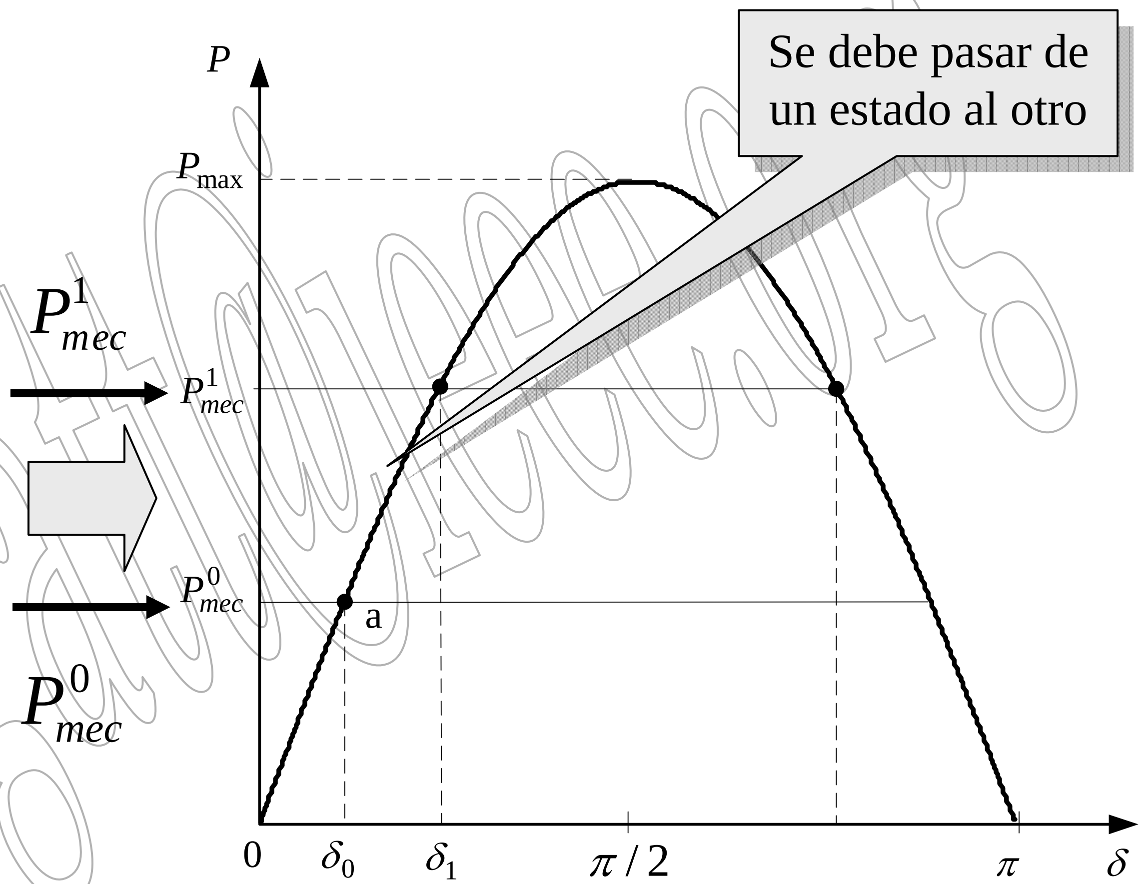
- Evidentemente la barra de potencia infinita no puede absorber cualquier cambio de potencia eléctrica mientras el voltaje y la frecuencia permanezcan constantes.
- La diferencia que existe entre la potencia mecánica y la potencia eléctrica, se traduce en una potencia de aceleración (P_{acel}), que almacena en el rotor en forma de energía cinética; ocasionando un aumento de la velocidad del rotor, con lo que el ángulo de potencia aumenta desde δ_0 hasta un nuevo valor.

CAI Aplicación Ilustrativa



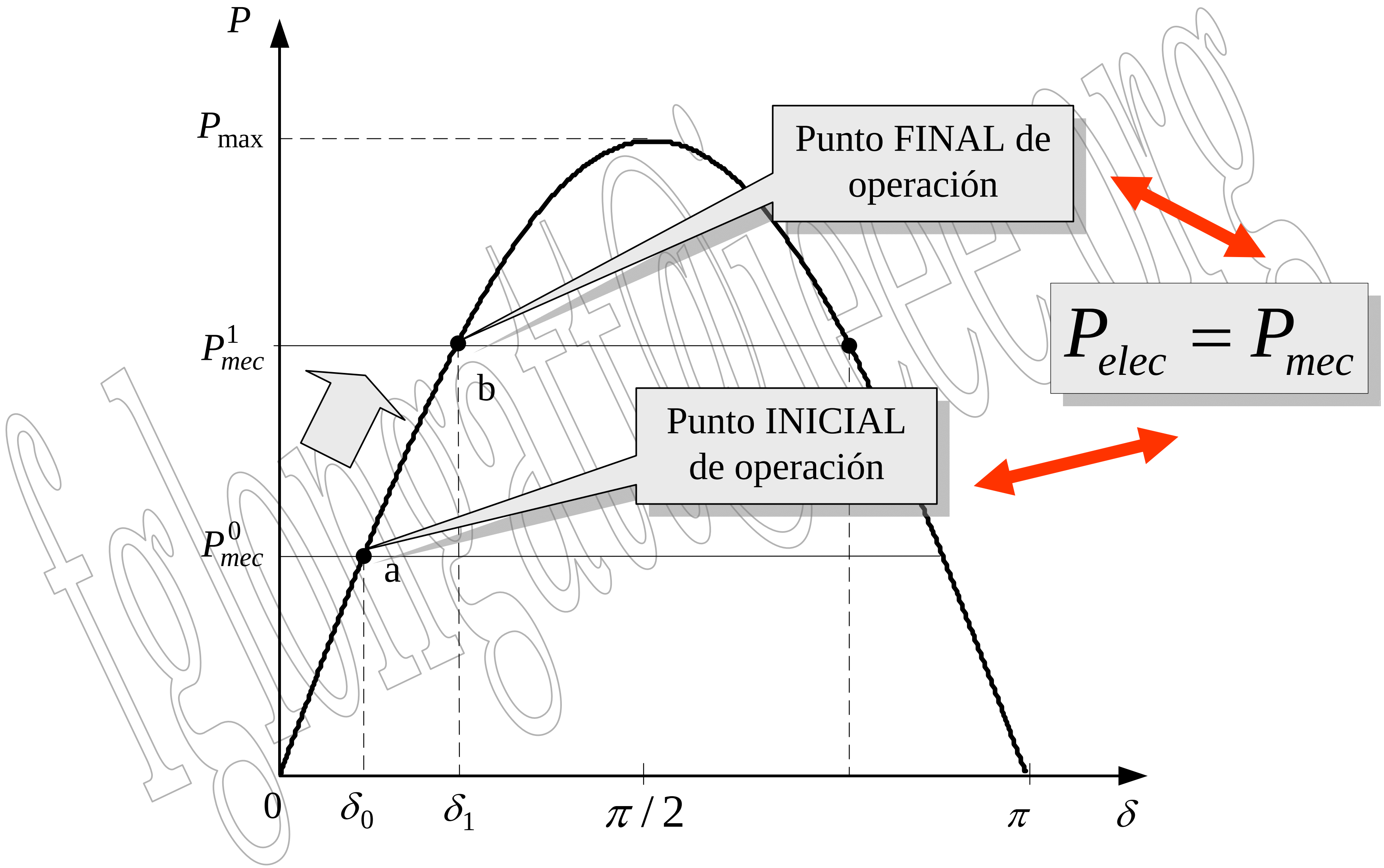
CAI Aplicación Ilustrativa





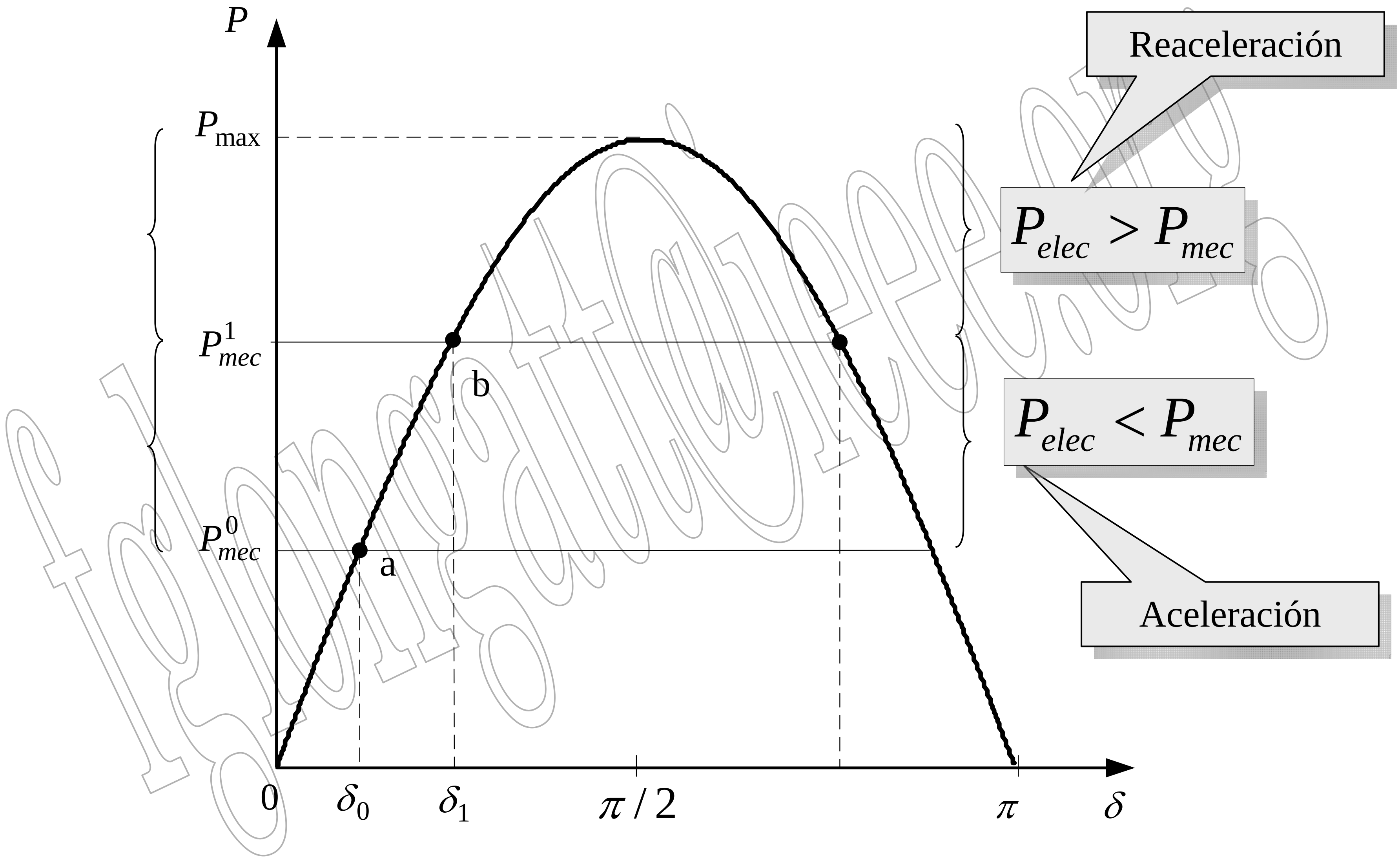
Francisco M. González-Longatt, fglongatt@ieee.org

CAI Aplicación Ilustrativa



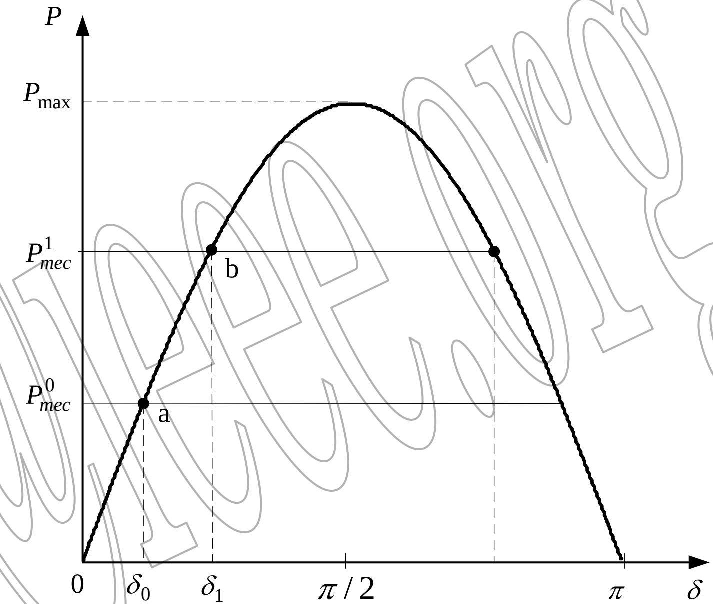
Francisco M. González-Longatt, fglongatt@ieee.org

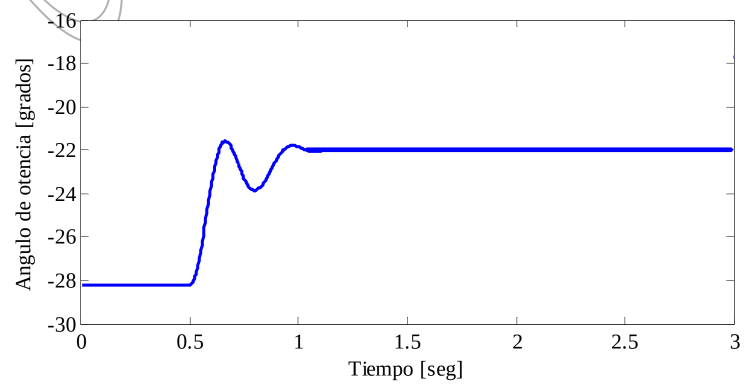
CAI Aplicación Ilustrativa



CAI Aplicación Ilustrativa

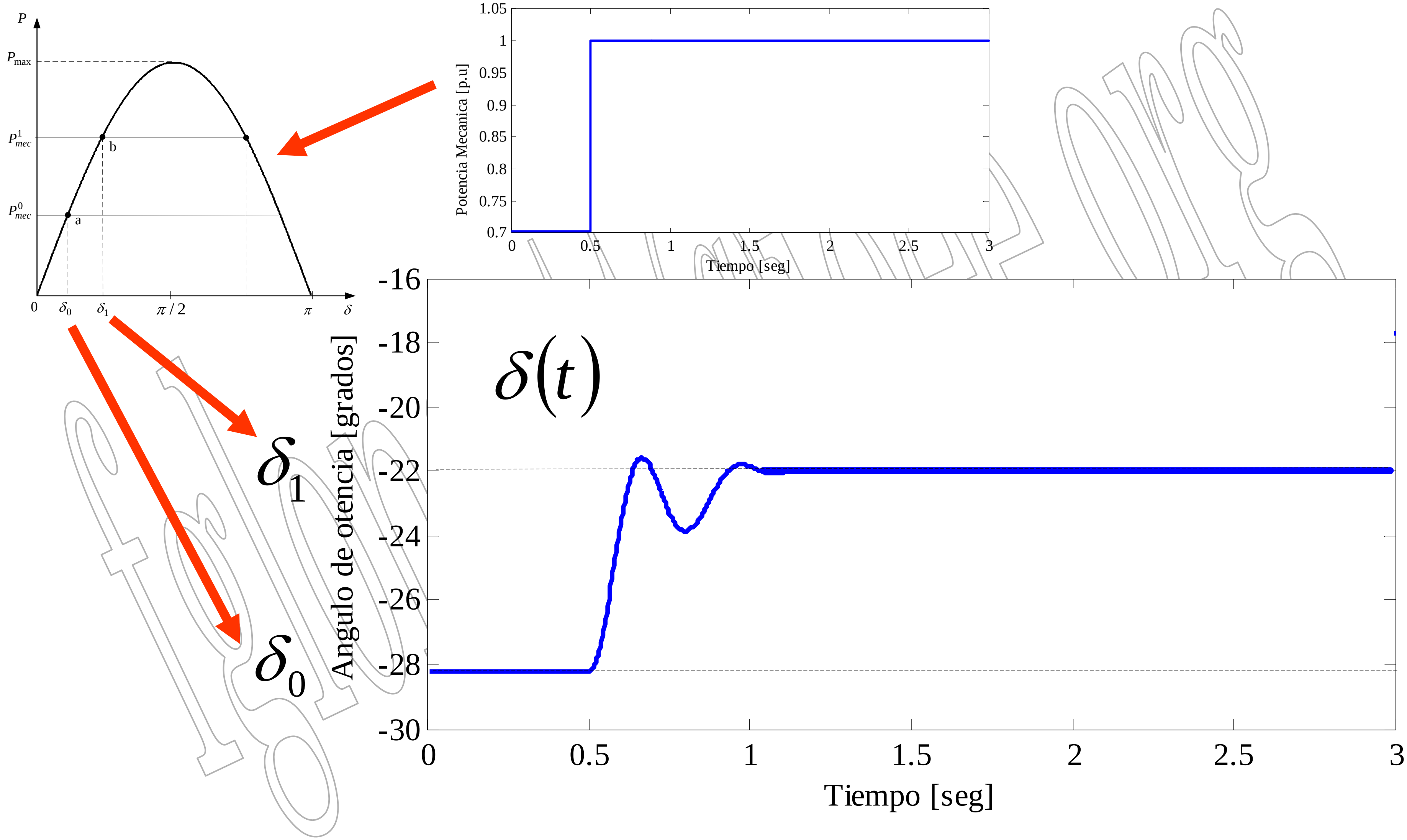
- El sistema giratorio rotórico, continuará en aceleración siempre que la potencia mecánica inyectada en el eje del rotor sea mayor que la potencia eléctrica entregada en el generador, es decir desde el punto "a", hasta el punto "b"; con lo que se aumenta el ángulo de potencia desde δ_0 hasta δ_1.





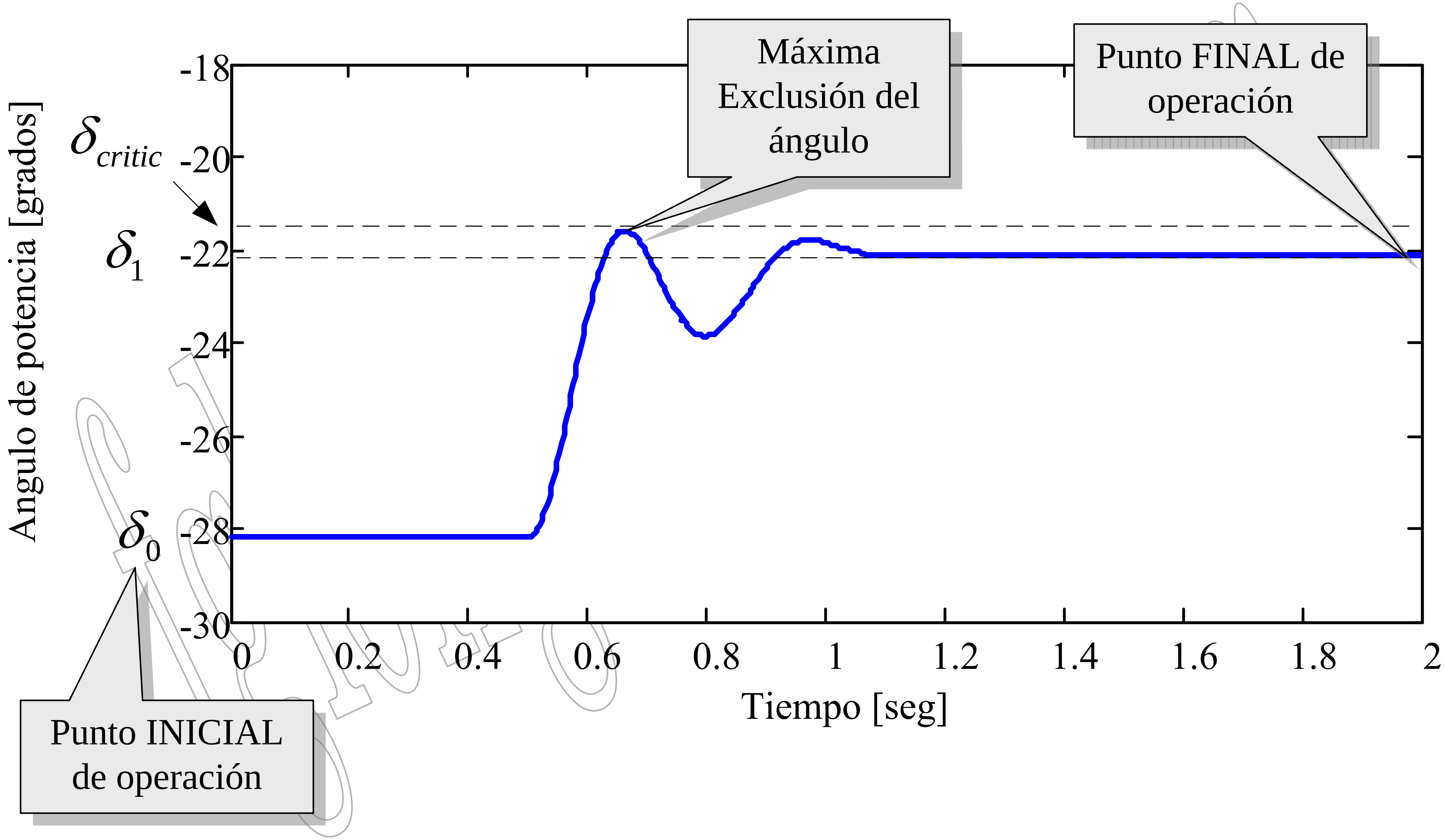
Francisco M. González-Longatt, fglongatt@ieee.org

CAI Aplicación Ilustrativa



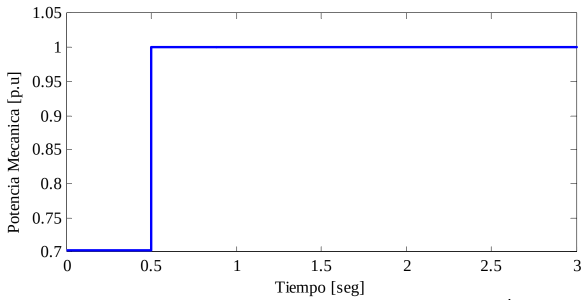
Francisco M. González-Longatt, fglongatt@ieee.org

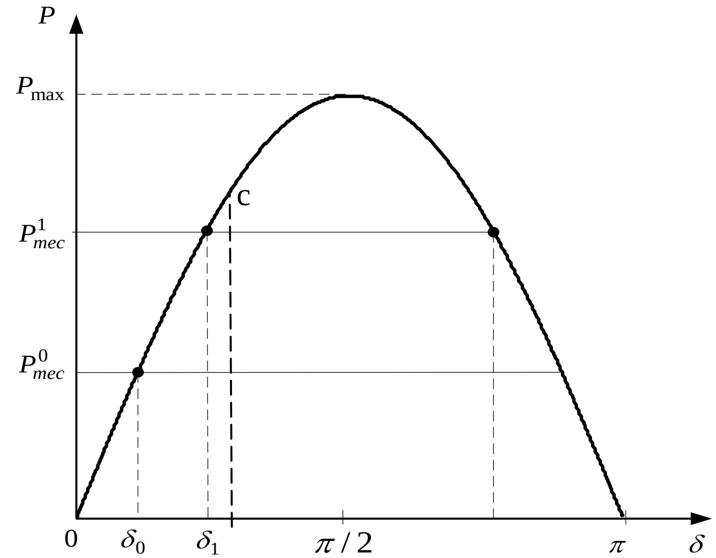
CAI Aplicación Ilustrativa

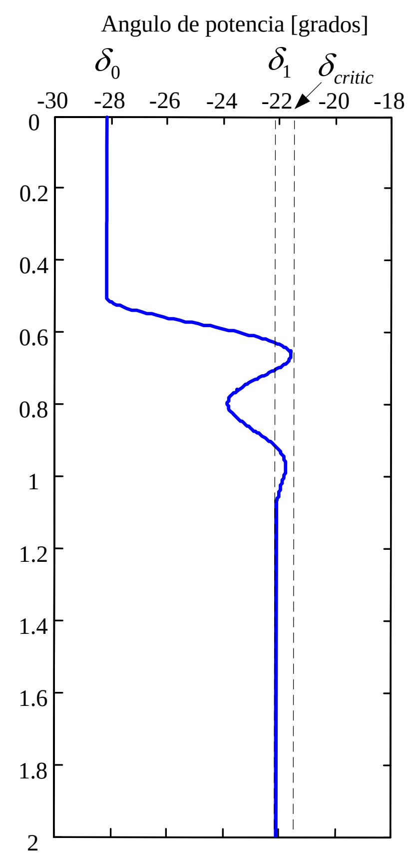


Francisco M. González-Longatt, fglongatt@ieee.org

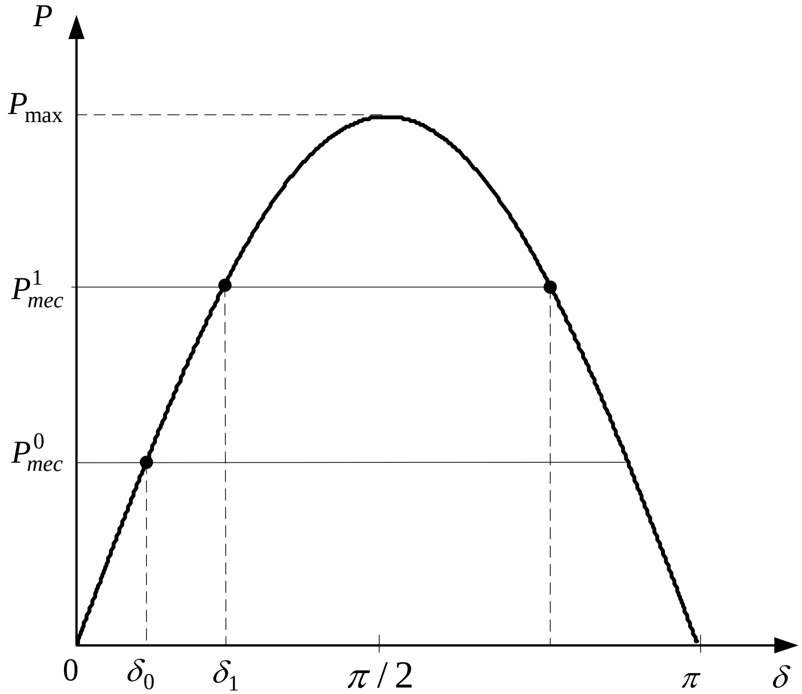
$$P_{mec}(t)$$



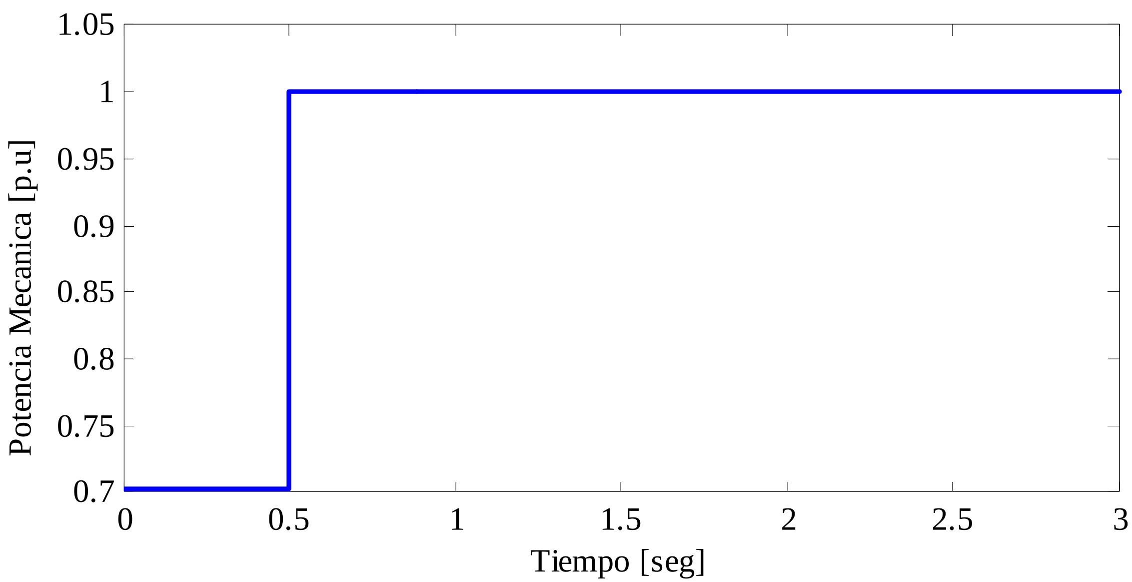




$$\delta(t)$$

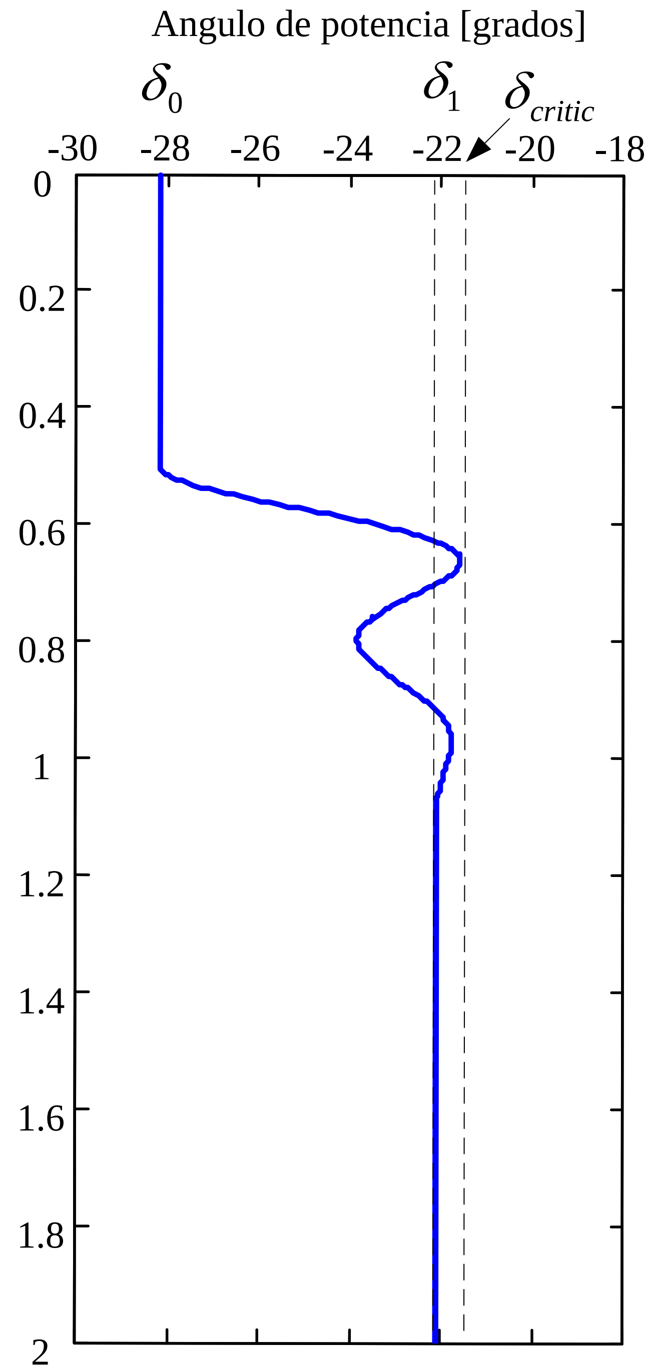


P
P_{max}
P^1_{mec}
P^0_{mec}
0
δ_0
δ_1
$\pi / 2$
π
δ



Potencia Mecanica [p.u]
1.05
1
0.95
0.9
0.85
0.8
0.75
0.7
0
0.5
1
1.5
2
2.5
3
Tiempo [seg]

b



Angulo de potencia [grados]
δ_0
δ_1
δ_{critic}
-30
-28
-26
-24
-22
-20
-18
0
0.2
0.4
0.6
0.8
1
1.2
1.4
1.6
1.8
2

CAI Aplicación Ilustrativa

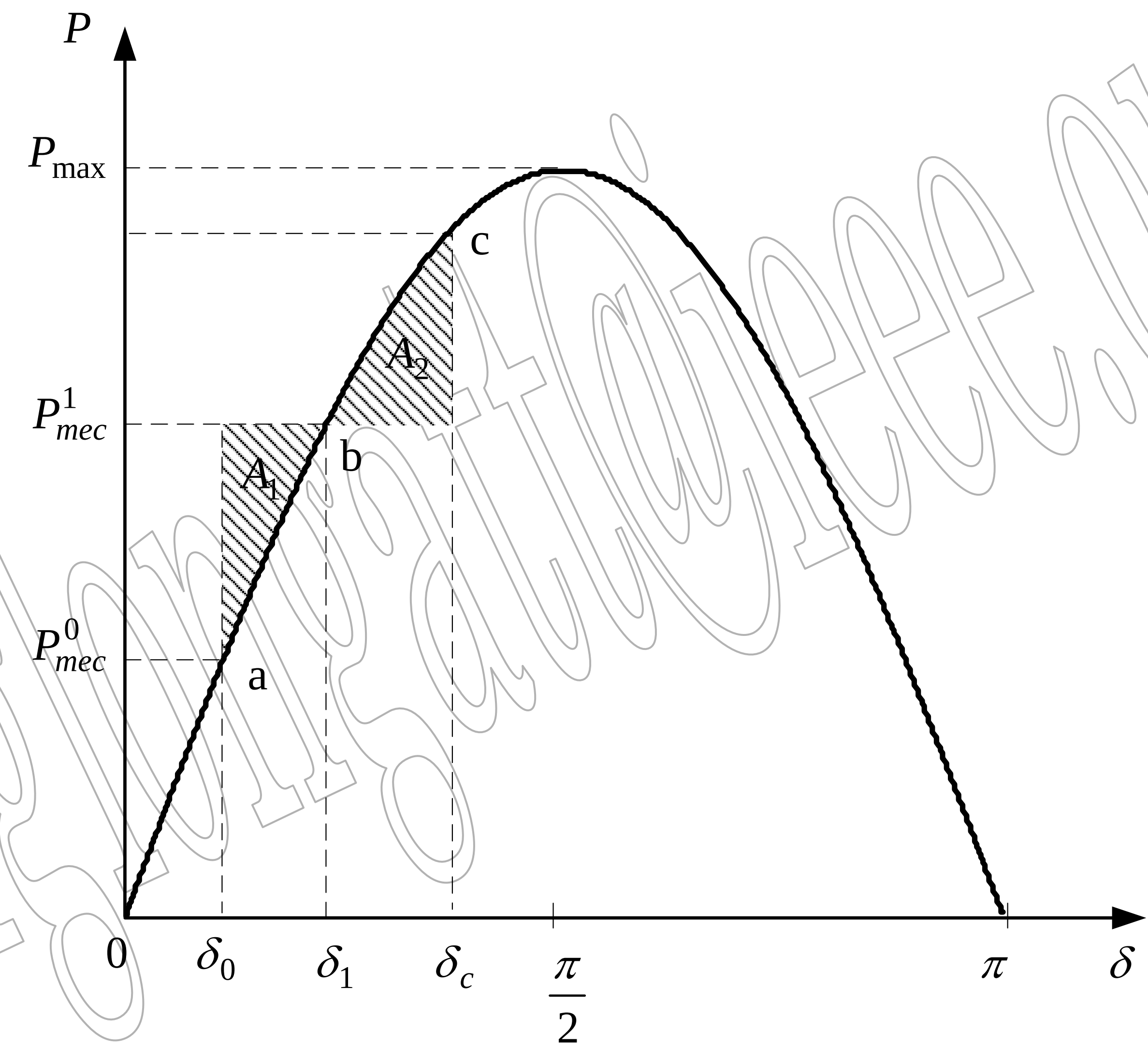
- Evidentemente la barra de potencia infinita no puede absorber cualquier cambio de potencia eléctrica mientras el voltaje y la frecuencia permanezcan constantes.
- La diferencia que existe entre la potencia mecánica y la potencia eléctrica, se traduce en una potencia de aceleración (P_{acel}), que almacena en el rotor en forma de energía cinética; ocasionando un aumento de la velocidad del rotor, con lo que el ángulo de potencia aumenta desde δ_0 hasta un nuevo valor.

Francisco M. González-Longatt, fglongatt@ieee.org

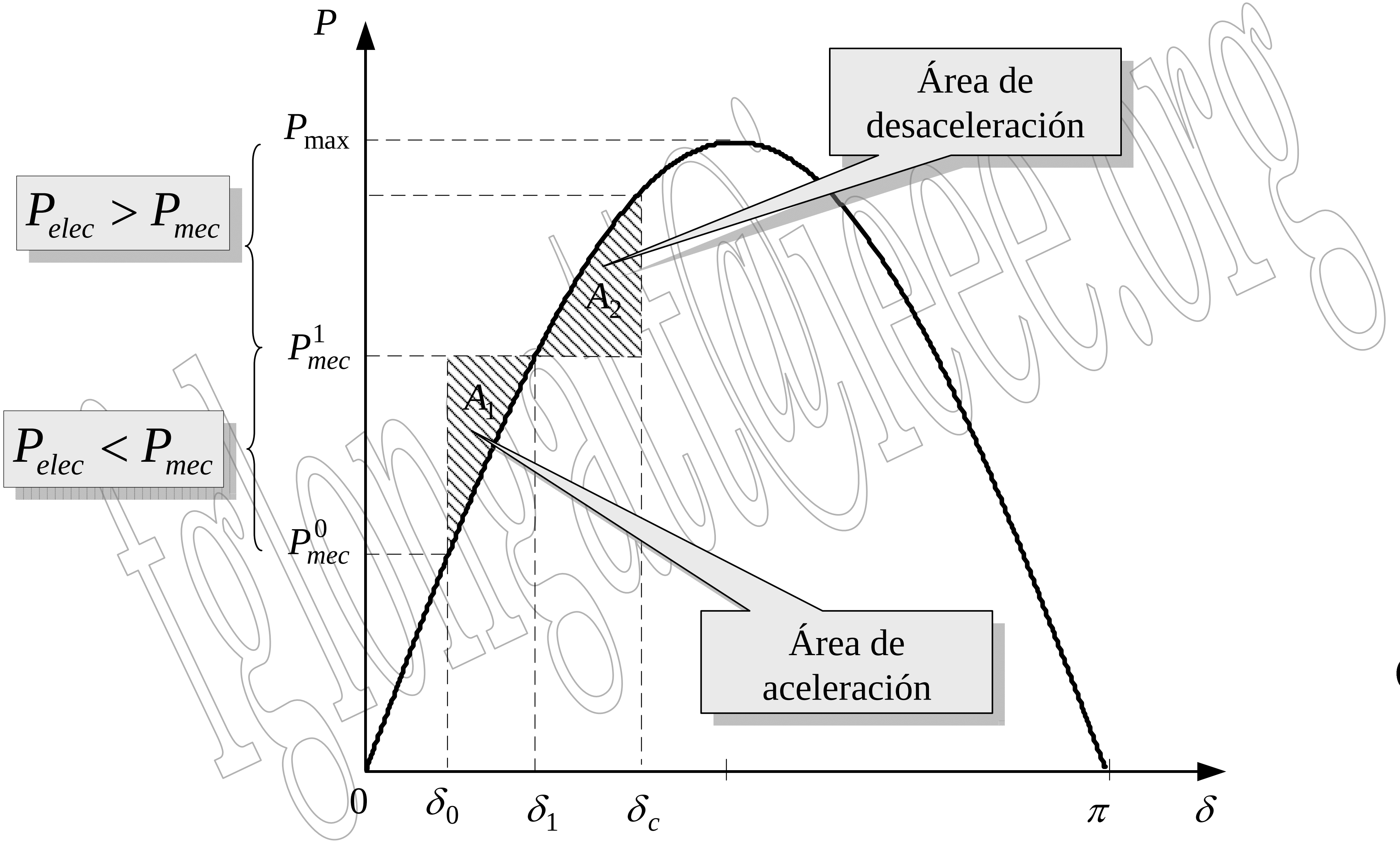
CAI Aplicación Ilustrativa

- El sistema giratorio rotorico, continuará en aceleración siempre que la potencia mecánica inyectada en el eje del rotor sea mayor que la potencia eléctrica entregada en el generador, es decir desde el punto "a", hasta el punto "b"; con lo que se aumenta el ángulo de potencia desde δ_0 hasta δ_1.

CAI Aplicación Ilustrativa



CAI Aplicación Ilustrativa



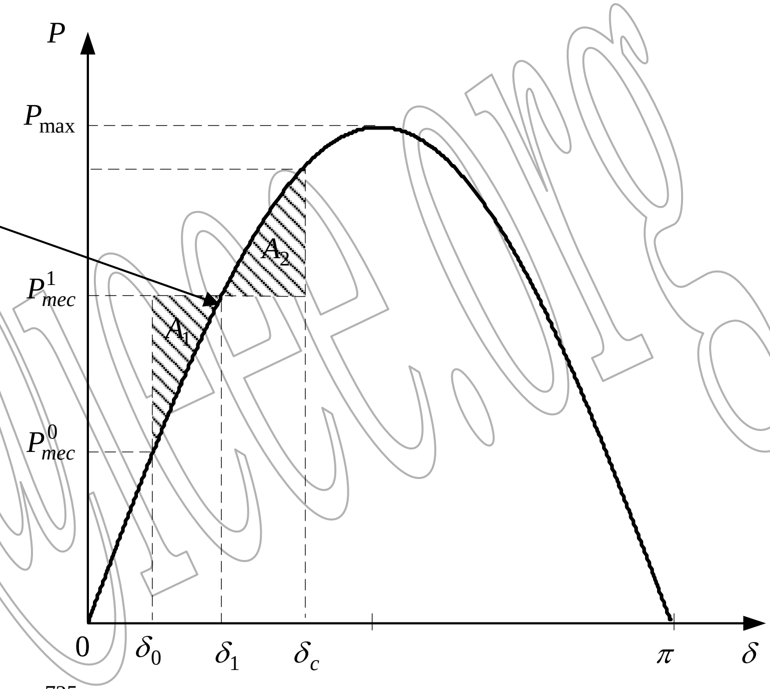
c

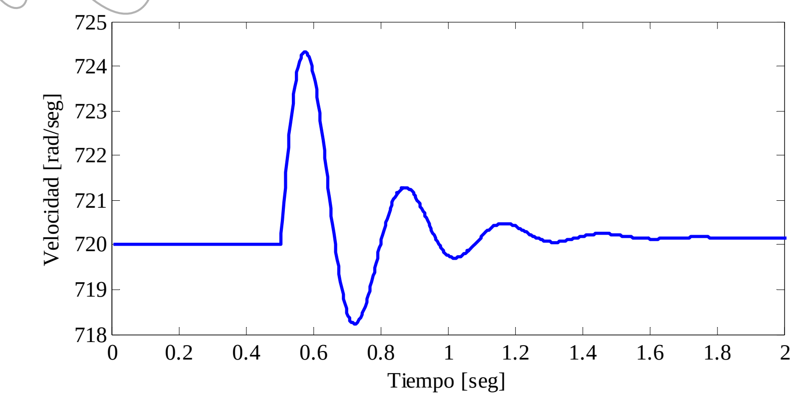
CAI Aplicación Ilustrativa

- En el punto "b" de la grafica corresponde donde la máquina termina de acelerar pero su velocidad rotorica es aun mayor que la velocidad de sincronismo:

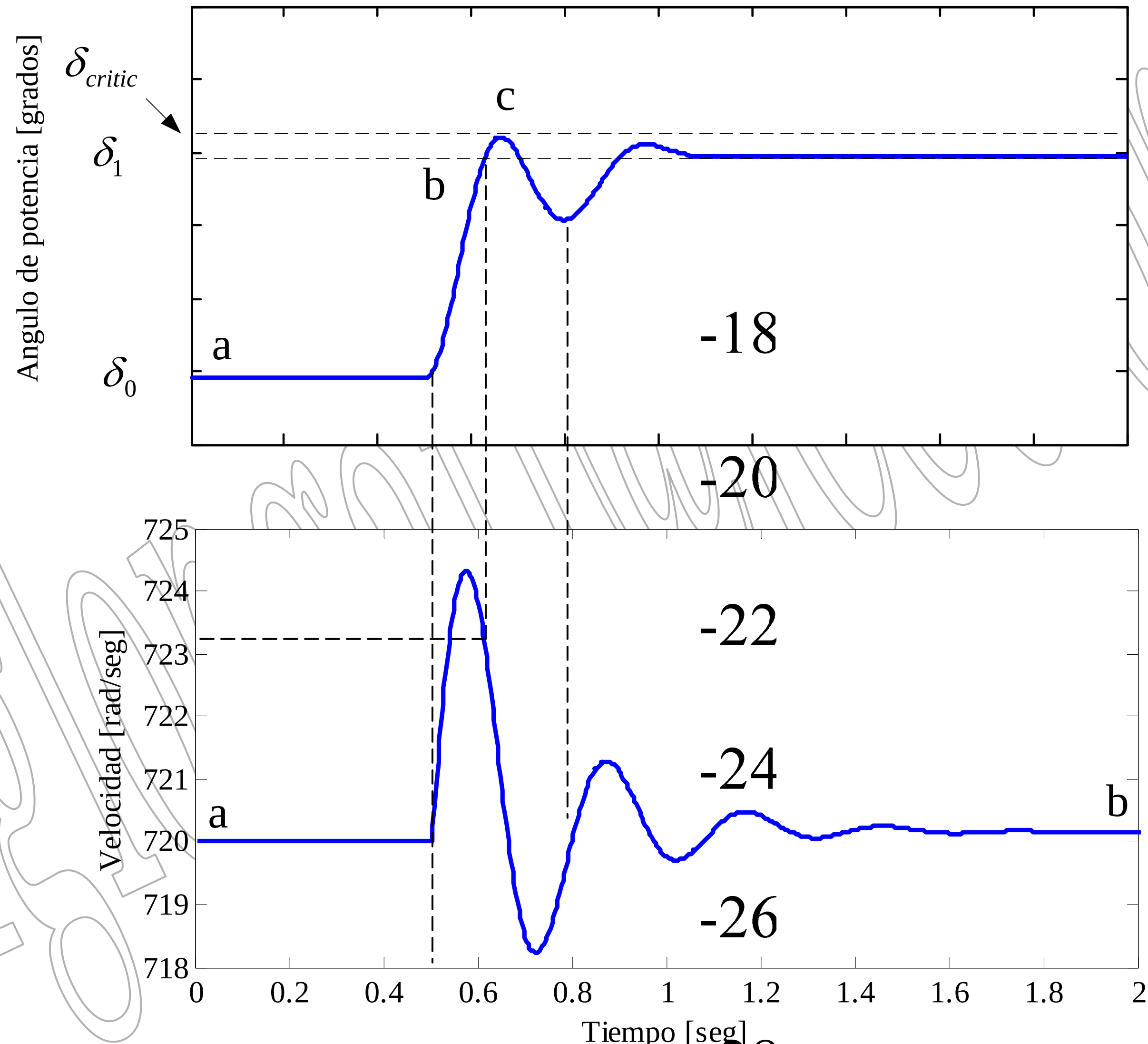
$$\omega(t) \geq \omega_s$$

- Por lo que el ángulo de potencia continua aumentando





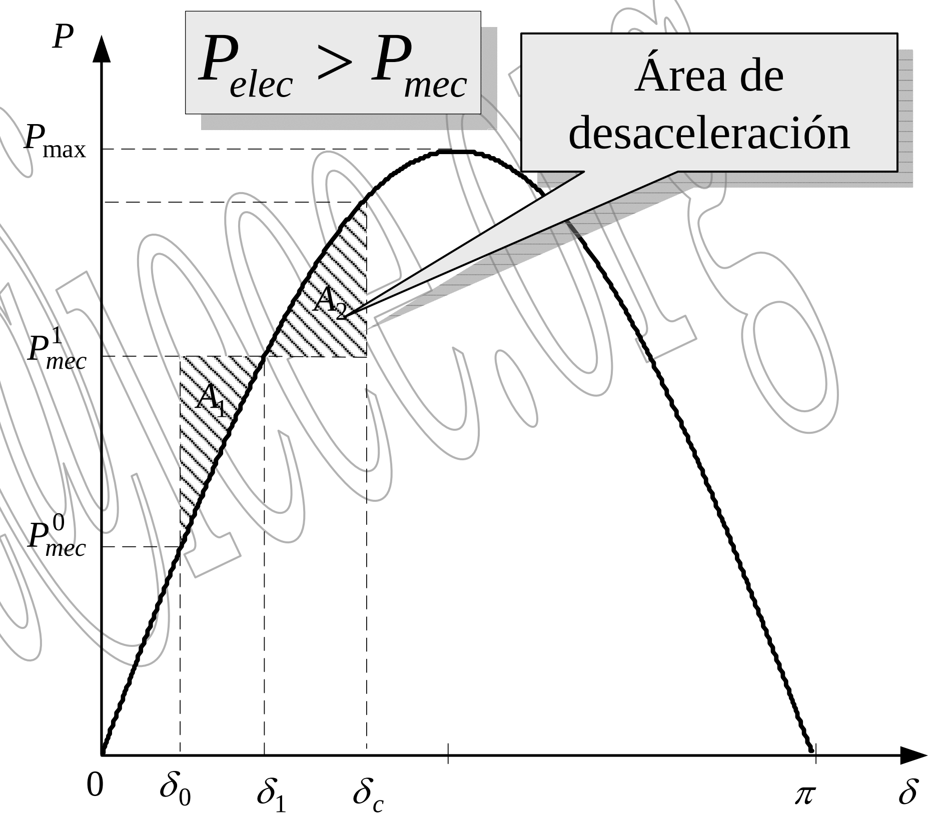
CAI Aplicación Ilustrativa



Francisco M. González-Longatt, fglongatt@ieee.org

CAI Aplicación Ilustrativa

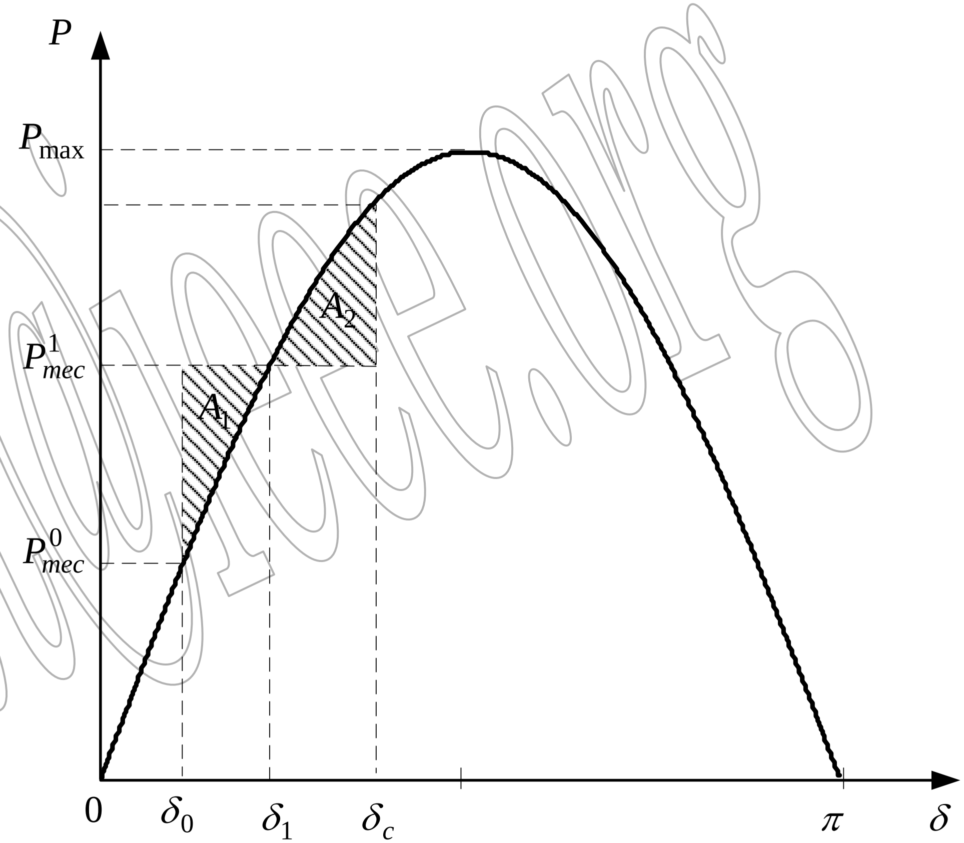
- En el espacio comprendido entre el punto "b" y "c" la velocidad rotorica permanece por encima de la de sincronismo, la potencia eléctrica es mayor que la potencia mecánica, por lo que se hace presenta una *potencia desacelerante*, que es entregada por la energía cinética almacenada en el rotor, perdiendo velocidad el rotor, pero el ángulo de potencia continúa aumentando
- La zona marcada por "A_2", denota *la potencia de desaceleración*



Francisco M. González-Longatt, fglongatt@ieee.org

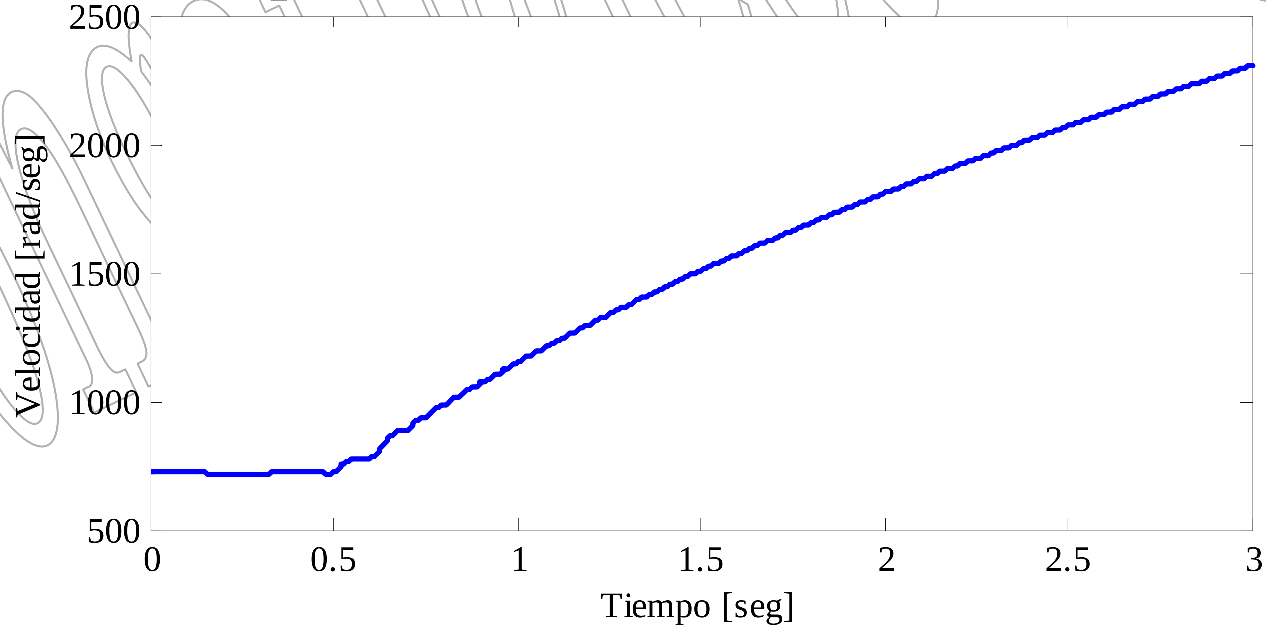
CAI Aplicación Ilustrativa

- Se predice que en este proceso habrá estabilidad alrededor del punto "b" con el nuevo ángulo de potencia δ_1 *si el área de desaceleración es igual al área de aceleración* ($A_1 = A_2$).

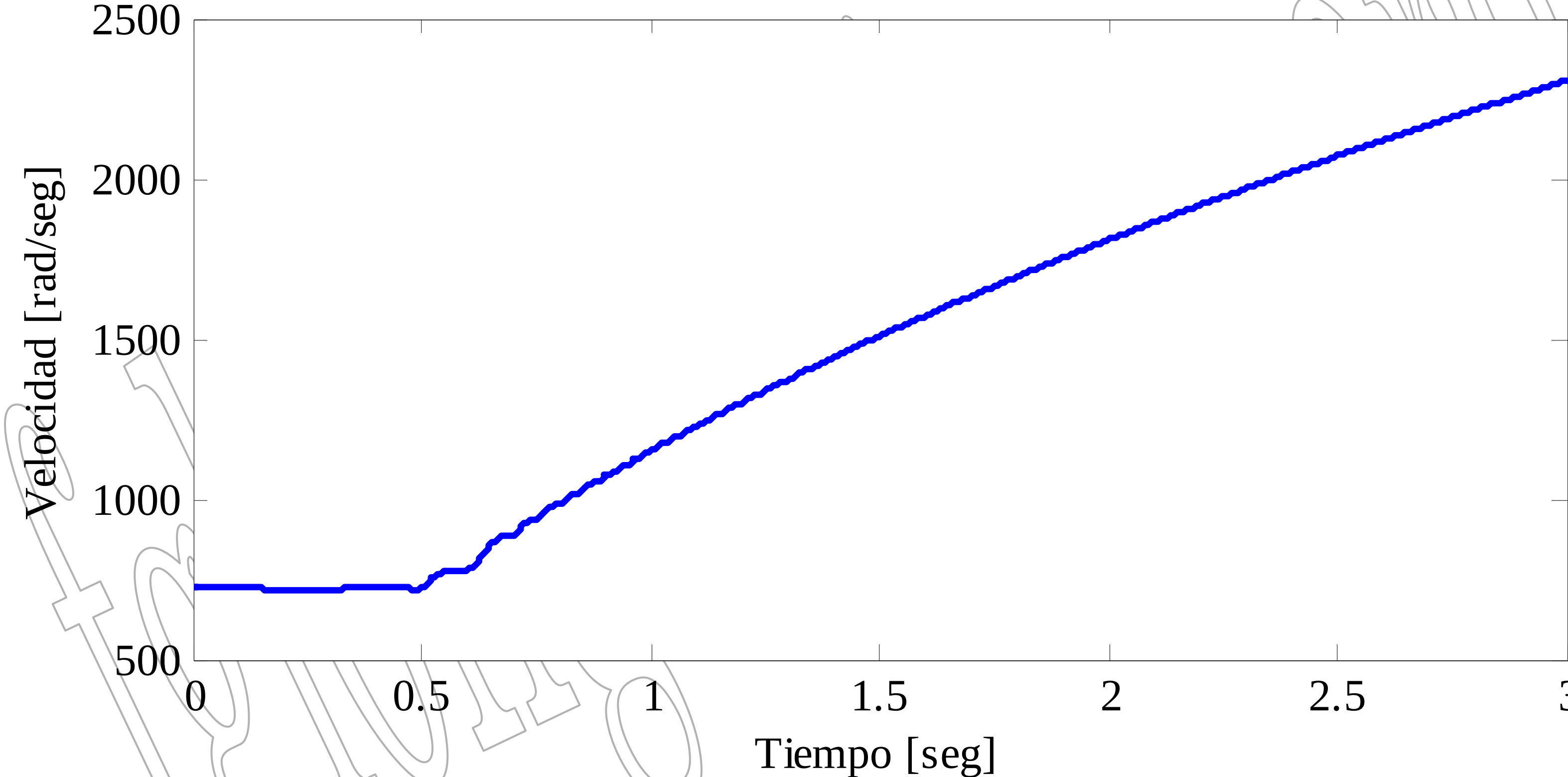


CAI Aplicación Ilustrativa

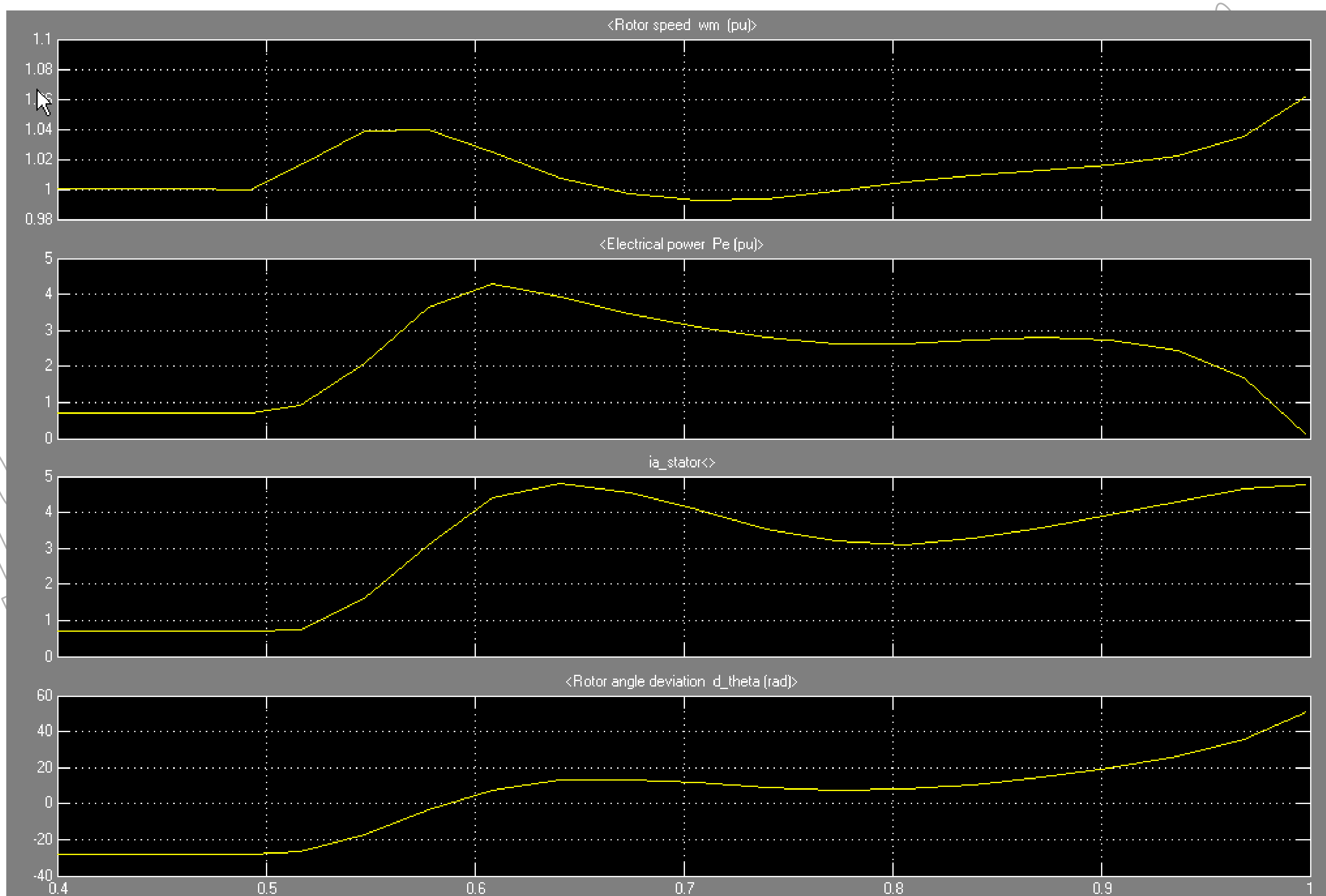
- Es importante mencionar que si durante el proceso de oscilación el rotor no puede entregar toda la energía cinética almacenada en el, su velocidad rotorica nunca disminuirá y el ángulo de potencia aumentará indefinidamente, *perdiendo el sincronismo la máquina*.



CAI Aplicación Ilustrativa



CAI Aplicación Ilustrativa



Francisco M. González-Longatt, fglongatt@ieee.org

CAI Aplicación Ilustrativa

- Es necesario que *el área de desaceleración debe ser igual al área de aceleración.*
- El ángulo de potencia que determina la mayor área de aceleración sin que la máquina pierda el sincronismo, es el llamado *ángulo crítico* $\delta_{critic.}$
- El tiempo que corresponde para alcanzar el ángulo crítico se le denomina *tiempo crítico* t_{critic}.

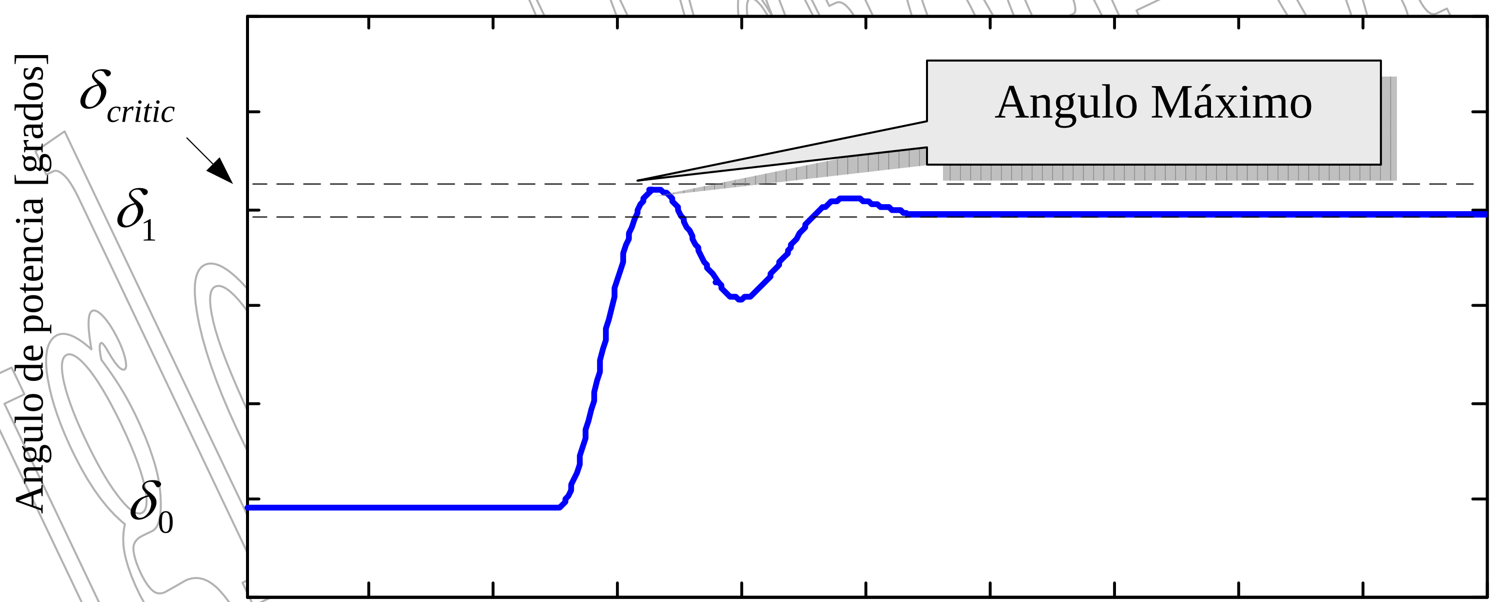
Francisco M. González-Longatt, fglongatt@ieee.org

CAI Aplicación Ilustrativa

- El *tiempo critico* se define como el tiempo máximo entre el inicio y el despeje de una falla, de manera que el sistema sea transitoriamente estable.

CAI Aplicación Ilustrativa

- El ángulo de oscilación máxima δmax, se satisface cuando el ángulo de potencia del rotor alcanza máximo y $d\delta(t)/dt = 0$



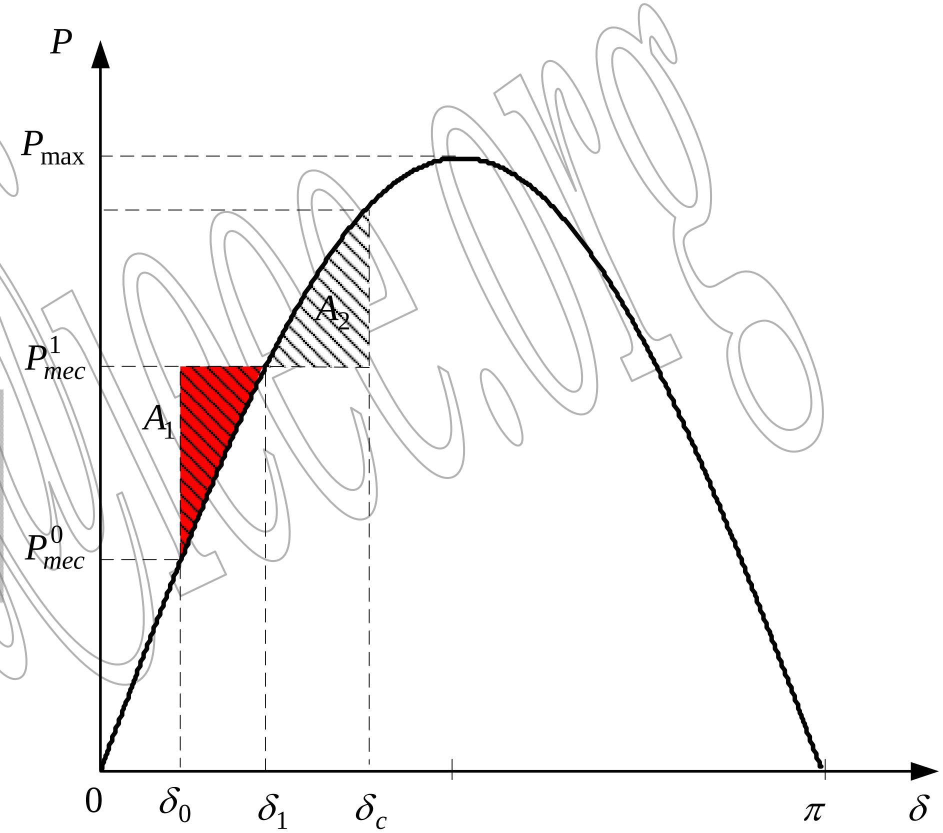
-18

Francisco M. González-Longatt, fglongatt@ieee.org

CAI Aplicación Ilustrativa

- Geométricamente se puede estimar el *área acelerante* "A_1" a través de la expresión:

$$\mathrm{A}_1 = \int_{\delta_0}^{\delta_1} \left(P_{mec} - P_{elec} \right) d\delta$$

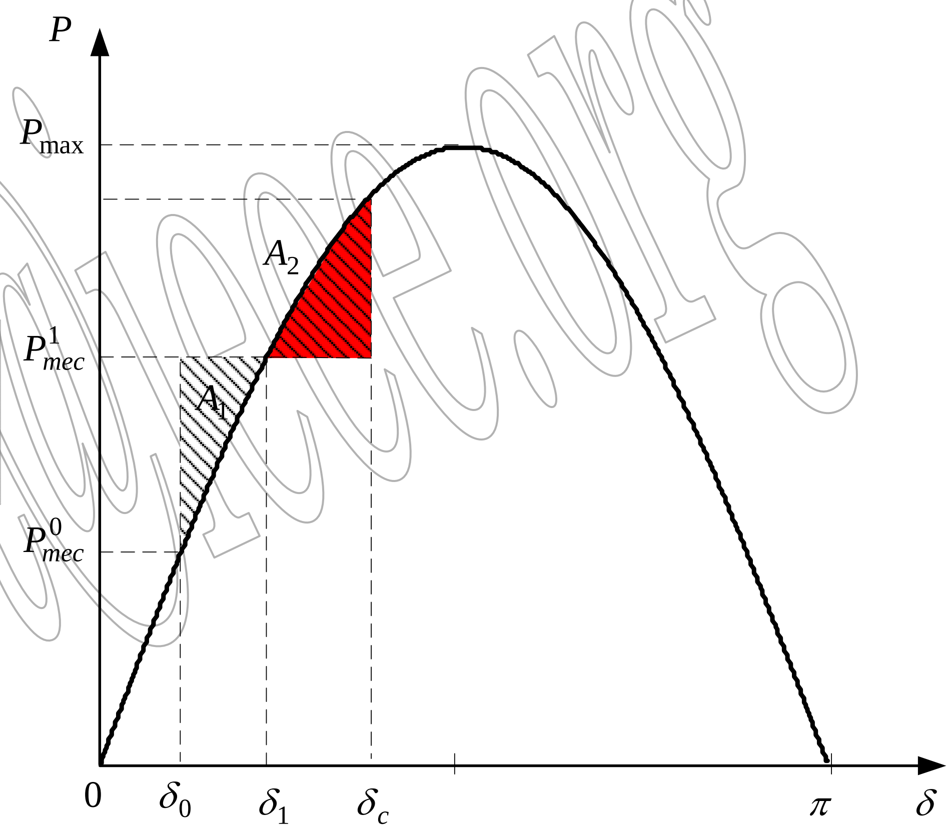


Francisco M. González-Longatt, fglongatt@ieee.org

CAI Aplicación Ilustrativa

- El área de la *zona desacelerante* "A_2" puede ser escrita por:

$$A_2 = \int_{\delta_1}^{\delta_{\max}} \left(P_{elec} - P_{mec}\right) d\delta$$



Francisco M. González-Longatt, fglongatt@ieee.org

CAI Aplicación Ilustrativa

- Restando ambas zonas "A_1 - A_2" se obtiene:

$$A_1 - A_2 = \int_{\delta_0}^{\delta_1} \left(P_{mec} - P_{elec}\right) d\delta - \int_{\delta_1}^{\delta_{\max}} \left(P_{elec} - P_{mec}\right) d\delta$$

$$A_1 - A_2 = \int_{\delta_0}^{\delta_{\max}} \left(P_{mec} - P_{elec}\right) d\delta$$

Francisco M. González-Longatt, fglongatt@ieee.org

CAI Aplicación Ilustrativa

$$A_1 - A_2 = \int_{\delta_0}^{\delta_{\max}} \left(P_{mec} - P_{elec}\right) d\delta$$

- La ecuación anterior se satisface que $d\delta(t)/dt = 0$, cuando las *áreas acelerante y desacelerante son iguales* $A_1 = A_2$
- Comprender el fenómeno de la máquina, demuestra que la energía ganada cuando el rotor se acelera y el ángulo $\delta(t)$ crece hasta $\delta 1$ se pierde cuando el rotor se frena cuando alcanza el valor $\delta_{\max.}$

CAI Aplicación Ilustrativa

- La potencia acelerante de la máquina al ser perturbada se demostró que se puede escribir como:

$$\frac{d^2\delta(t)}{dt^2} = \frac{P_{acel}}{M}$$

$$\boxed{P_{acel} = M\,\frac{d^2\delta(t)}{dt^2}}$$

Francisco M. González-Longatt, fglongatt@ieee.org

CAI Aplicación Ilustrativa

- Considerando que la velocidad angular del rotor es cero en el momento de comenzar la perturbación, pero después de "t" segundos esta velocidad es :

$$\frac{d\delta(t)}{dt} = \int_0^t \frac{P_{acel}}{M} dt = \frac{P_{acel}}{M} t$$

- Resultando que el desplazamiento angular rotorico en ese tiempo es:

$$\delta(t) = \delta_0 + \int_0^t \frac{P_{acel}}{M} t dt = \frac{P_{acel}}{2M} t^2 + \delta_0$$

CAI Aplicación Ilustrativa

- El ángulo crítico corresponde al tiempo crítico:

$$\delta_c = \delta_0 + \frac{P_{acel}}{2M} t_c^2$$

- Se tiene el tiempo critico finalmente:

$$\boxed{t_c = \sqrt{\frac{2M\left(\delta_c - \delta\right)}{P_{acel}}}}$$

Francisco M. González-Longatt, fglongatt@ieee.org

Limite de Estabilidad Transitoria

- El *límite de estabilidad transitoria* se refiere al valor de *potencia que puede ser transmitida con estabilidad cuando el sistema es sujeto a un perturbación aperíodica* (*aperiodic disturbance*).
- Por perturbación aperiodica significa una que *no se produce con regularidad* y solo después de intervalos tales que el sistema alcanza una condición de equilibrio entre perturbaciones.

Limite de Estabilidad Transitoria

- Los tres principales tipos de perturbaciones o disturbios transitorios que reciben consideración en los estudios de estabilidad, en orden de incremento de importancia son:

1. Incrementos de Carga
2. Operaciones de maniobra (*Switching Operations*)
3. Fallas con subsecuentes aislamiento de circuitos (*circuit isolation*)

Francisco M. González-Longatt, fglongatt@ieee.org