

ELC-30524
Sistemas de Potencia II

Anexo 2.1
Criterio de Áreas Iguales
Perturbación Aperiódica
Cambio de Potencia

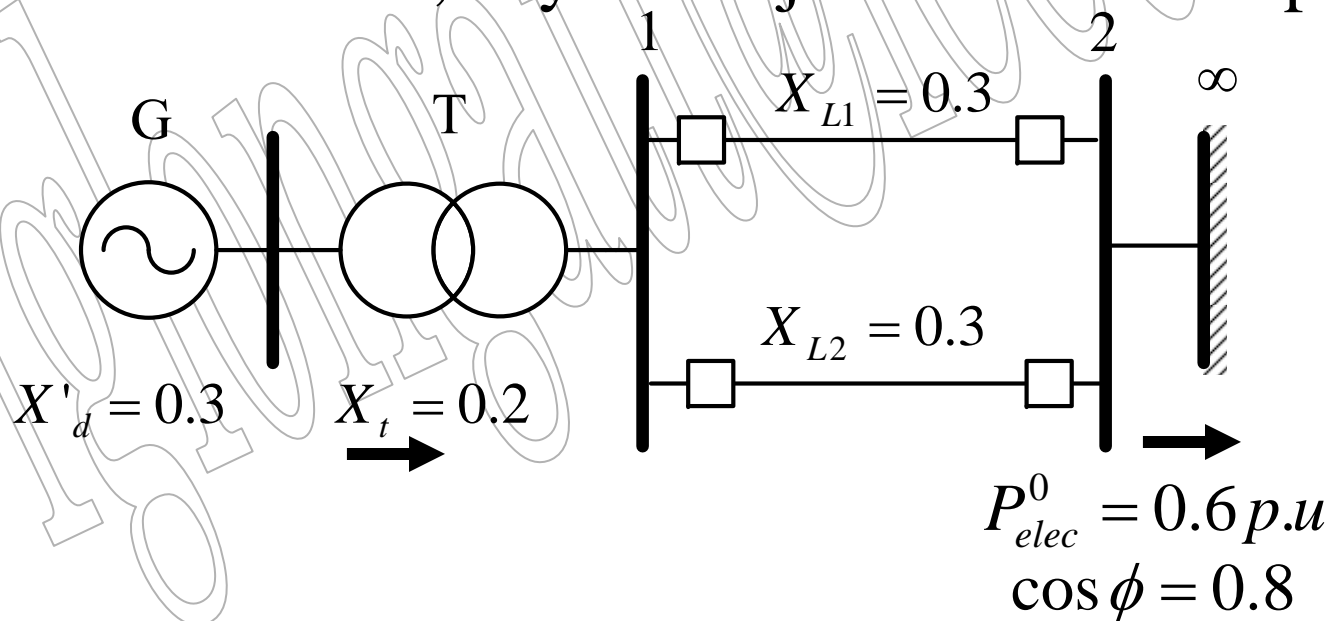
Prof. Francisco M. González-Longatt

fglongatt@ieee.org

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

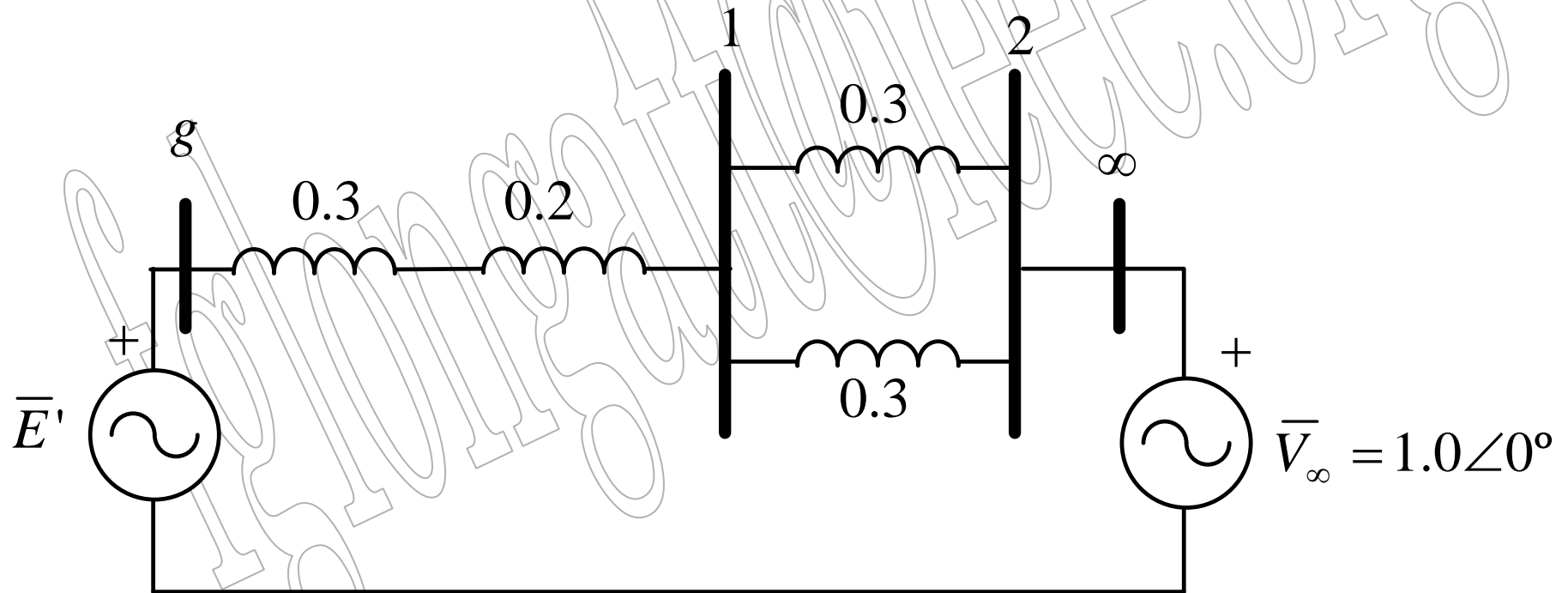
Ejemplo

- Las reactancias marcadas en el diagrama están dadas en una base común.
- El generador entrega una potencia de $P_{elec}^0 = 0.6$ p.u., factor de potencia de 0.8 en atraso a la barra de potencia infinita, cuyo voltaje es $V = 1.0 \angle 0$ p.u.

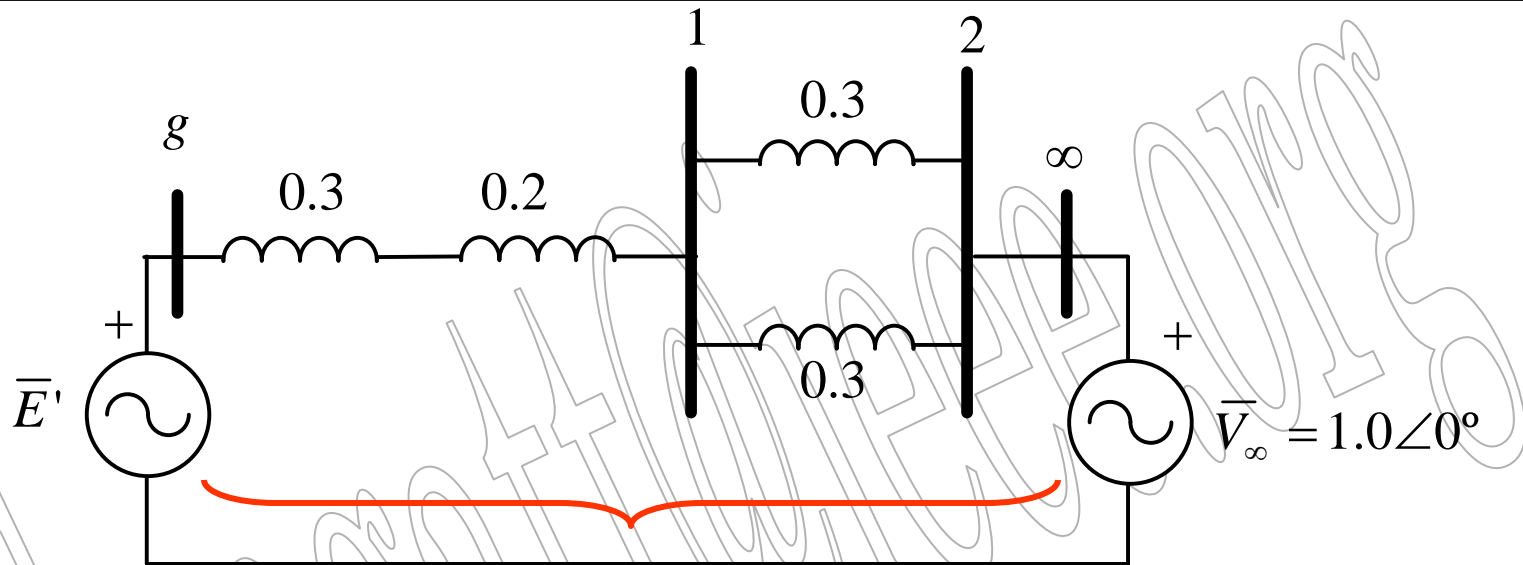


Ejemplo

- La reactancia equivalente entre el voltaje detrás de la reactancia de la maquina y la barra de potencia infinita, $X_{g\infty}$ puede ser fácilmente calculada como:



Ejemplo



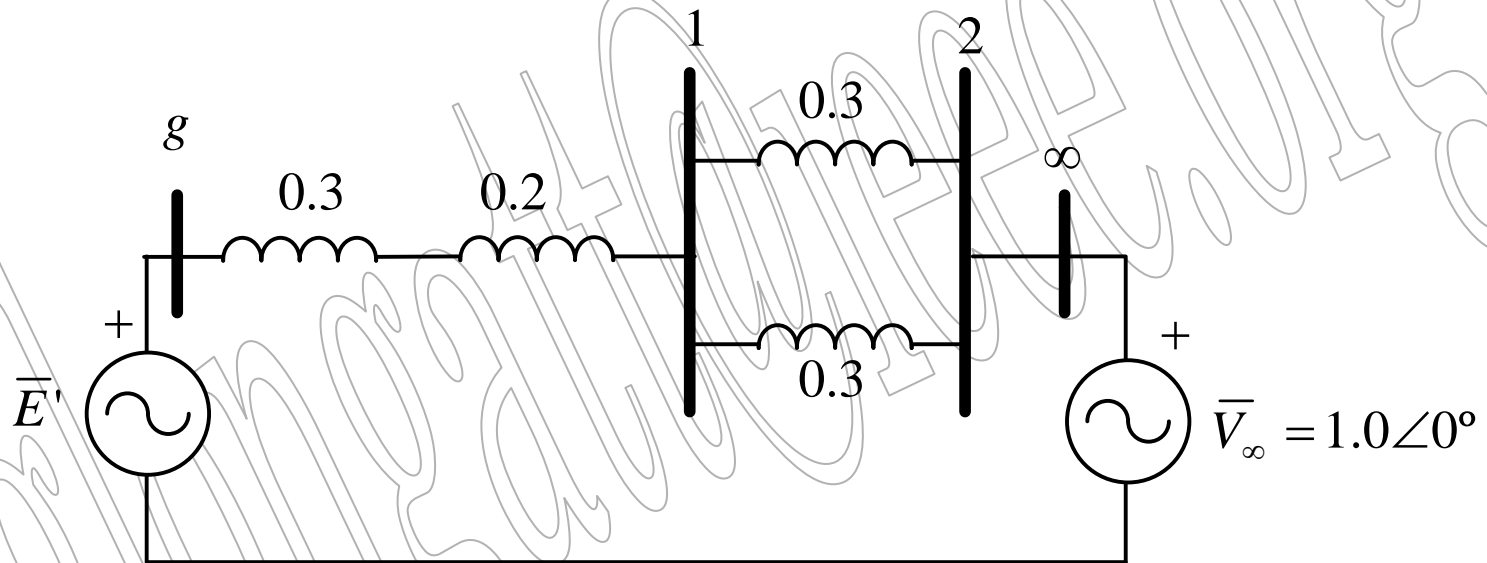
- De modo que resulta:

$$X_{g\infty} = 0.3 + 0.2 + \frac{0.3}{2}$$

$$X_{g\infty} = 0.65 \text{ p.u.}$$

Ejemplo

- Se procede a calcular el voltaje interno de la máquina E' (voltaje de excitación):



Ejemplo

- Considerando que se entrega una potencia en la barra de potencia infinita de:

$$\bar{S} = \frac{0.6 p.u}{0.8} \angle \cos^{-1}(0.8)$$

$$\bar{S} = 0.75 \angle 36.86 p.u$$

- La corriente queda dada por:

$$\bar{I} = \frac{\bar{S}^*}{\bar{V}^*} = \frac{0.75 \angle -36.86}{1.0 \angle 0} = 0.75 \angle -36.86 p.u$$

$$\bar{I} = 0.75 \angle -36.86 p.u$$

Ejemplo

- El voltaje de excitación resulta:

$$\bar{E}' = \bar{V} + jX_{g\infty} \bar{I}$$

$$\bar{E}' = 1 \angle 0 + j0.65(0.75 \angle -36.86)$$

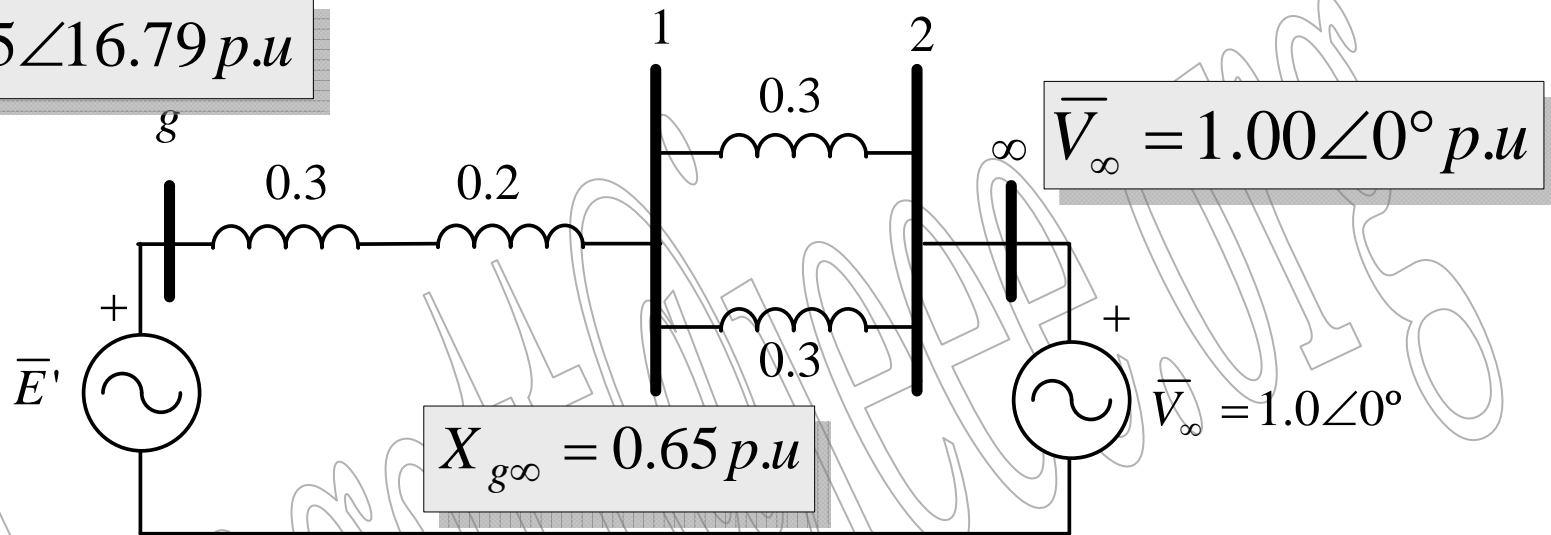
$$\bar{E}' = 1.35 \angle 16.79 \text{ p.u.}$$

- En este caso, como se ha supuesto el voltaje de la barra de potencia infinita a referencia, se obtiene que el ángulo inicial de operación es:

$$\delta_0 = 16.79^\circ$$

Ejemplo

$$\bar{E}' = 1.35 \angle 16.79 \text{ p.u.}$$



$$\bar{V}_\infty = 1.00 \angle 0^\circ \text{ p.u.}$$

$$X_{g\infty} = 0.65 \text{ p.u.}$$

$$\bar{V}_\infty = 1.0 \angle 0^\circ$$

$$\delta_0 = 16.79^\circ$$

$$\bar{E}' = 1.35 \angle 16.79$$

$$\bar{V}_\infty = 1 \angle 0$$

Ejemplo

- La ecuación característica de potencia ángulo queda dada por:

$$P_{elec} = P_{\max} \text{sen} \delta$$

$$P_{elec} = \frac{|\bar{V}_{\infty}| |\bar{E}'|}{X_{g\infty}} \text{sen} \delta$$

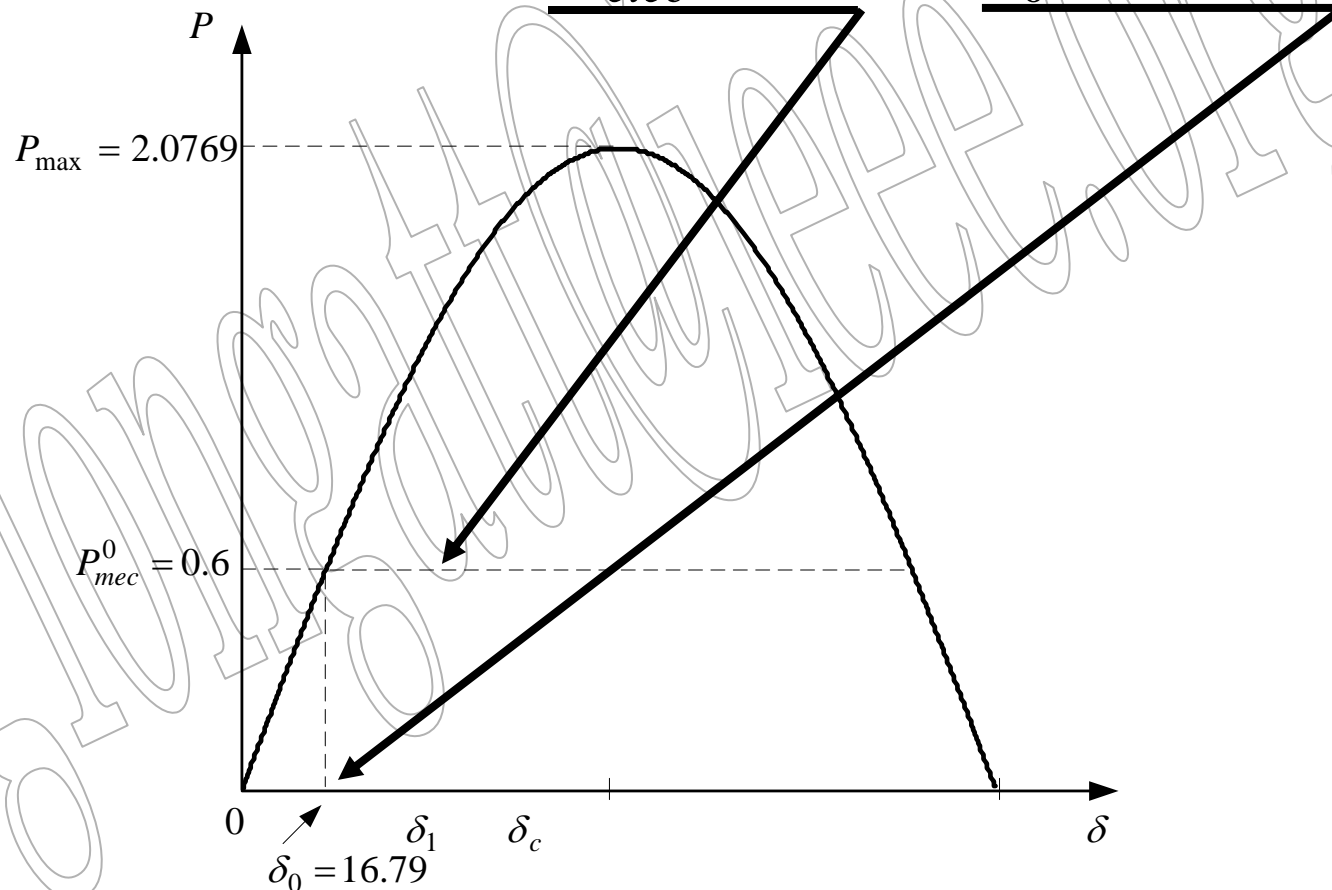
$$P_{elec} = \frac{1.0 \times 1.35}{0.65} \text{sen} \delta$$

$$P_{elec} = 2.0769 \text{sen} \delta$$

$$P_{\max} = 2.0769$$

Ejemplo

- Se conoce que para el punto estable inicial de operación, a, se cumple: $P_{elec} = 0.6$, si $\delta_0 = 16.79^\circ$.



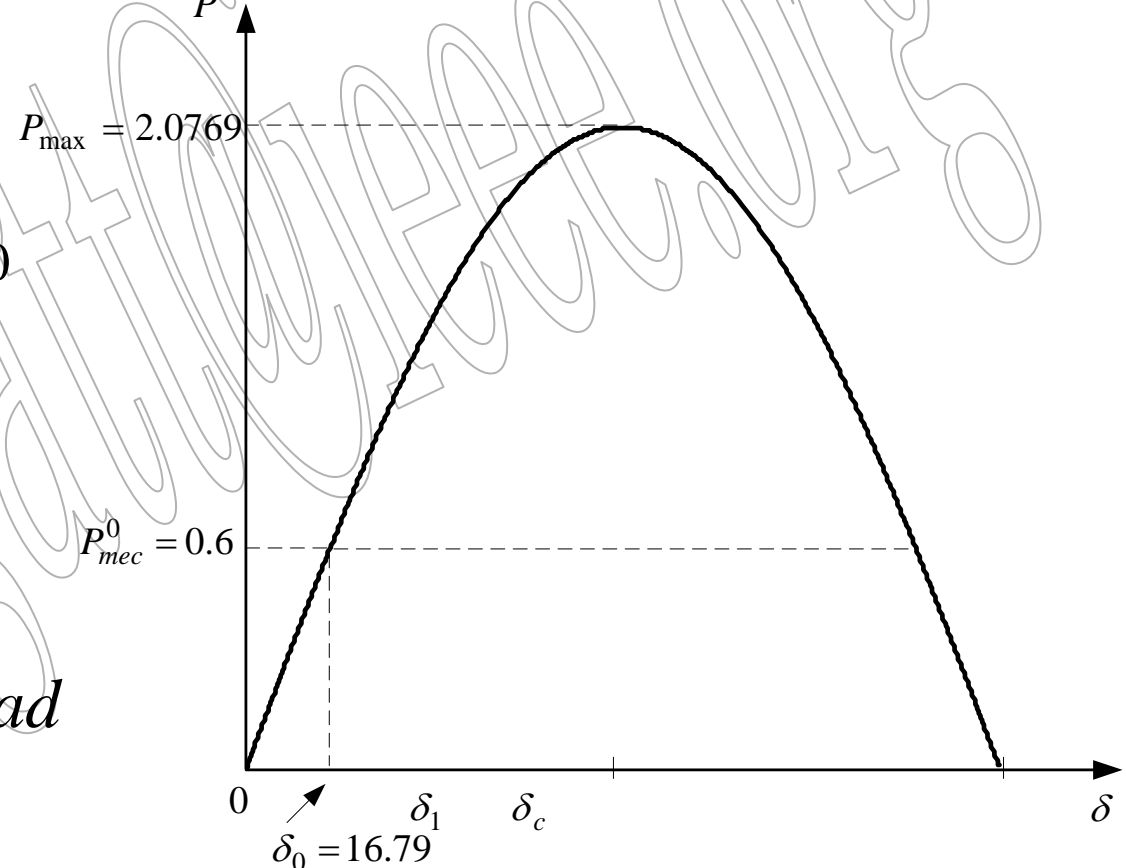
Ejemplo

- Se conoce que para el punto estable inicial de operación, a, se cumple: $P_{pelec} = 0.6$, si $\delta_0 = 16.79^\circ$.

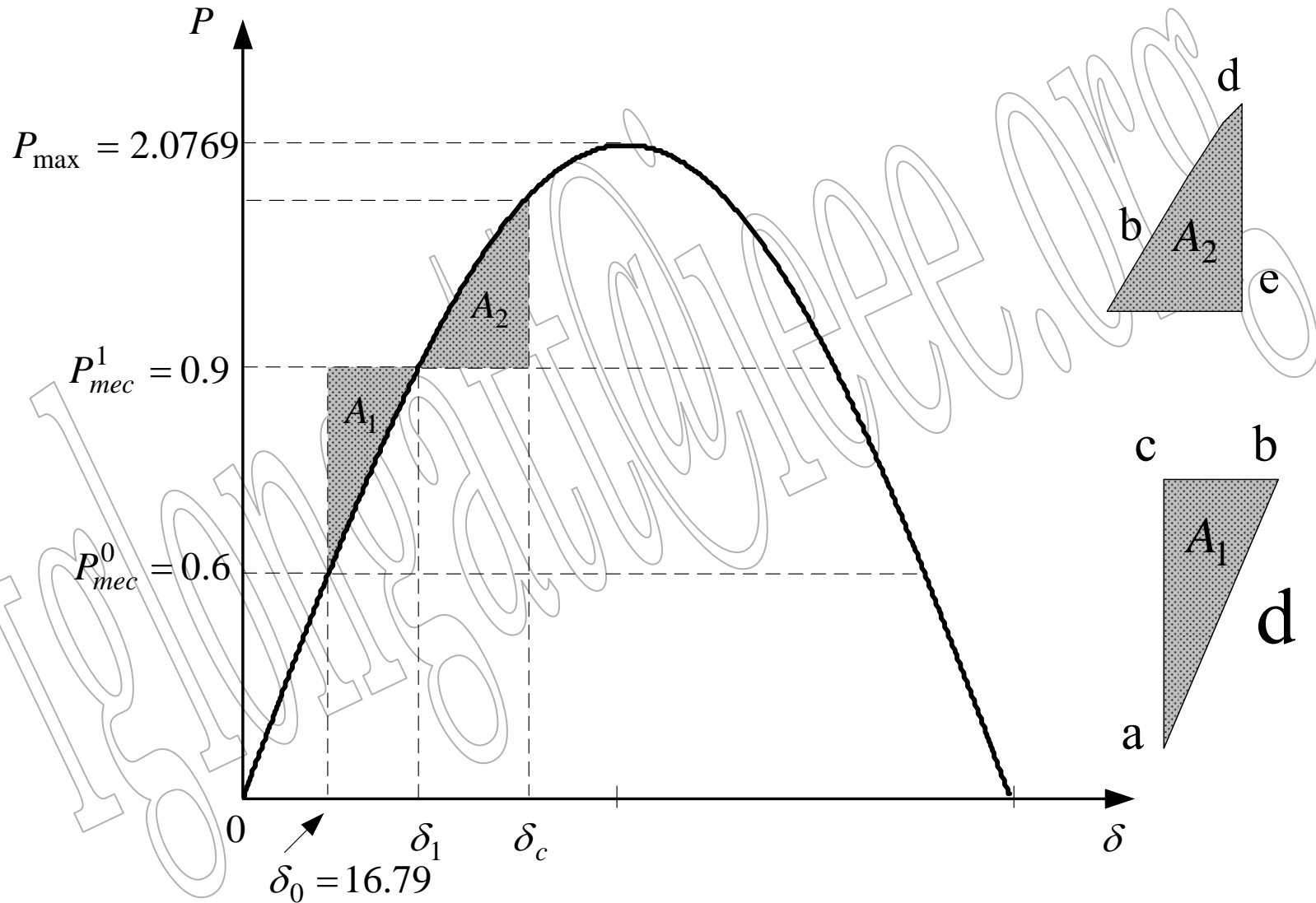
$$0.6 = \frac{1.0 \times 1.35}{0.65} \text{sen} \delta_0$$

$$\text{sen}^{-1} \left(\frac{1.0 \times 1.35}{0.65 \times 0.6} \right) = \delta_0$$

$$\delta_0 = 16.79 = 0.2930 \text{ rad}$$

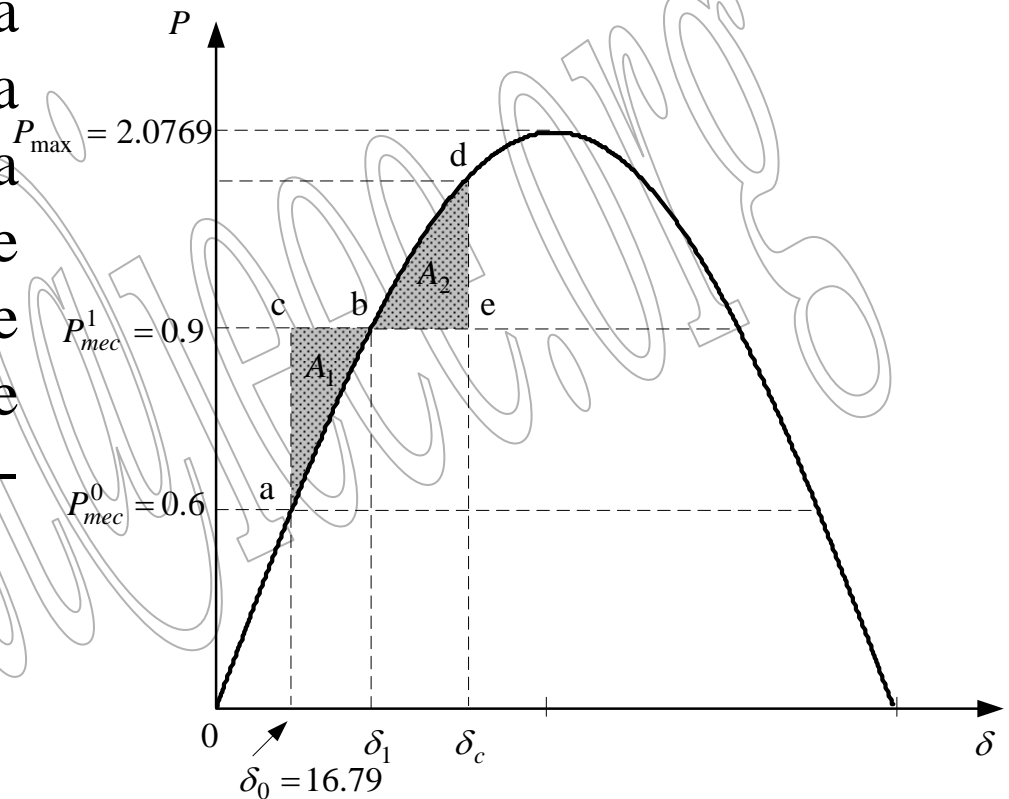


Ejemplo



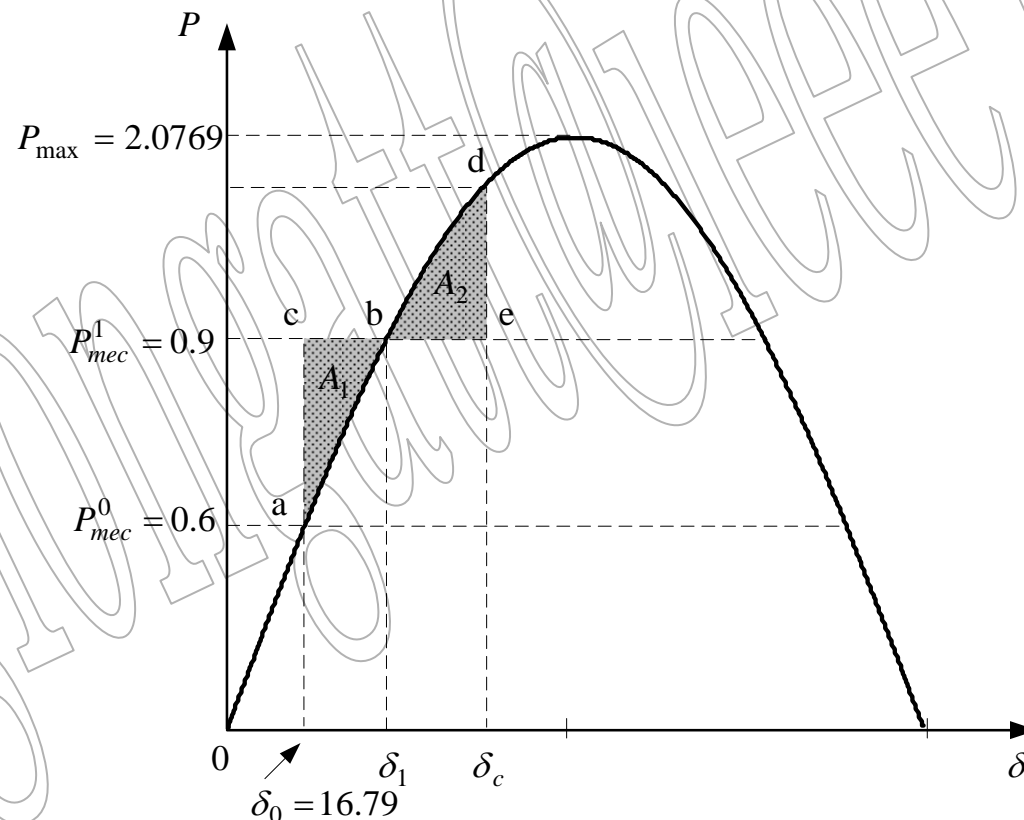
Ejemplo

- Es importante visualizar la situación, correspondiente a la perturbación ocasionada dentro del sistema de potencia por el cambio de potencia, mediante el uso de un diagrama de potencia-ángulo:



Ejemplo

- Se observa que en caso de que exista estabilidad, el nuevo punto de operación corresponde a un ángulo δ_1 .



Ejemplo

- Se observa que en caso de que exista estabilidad, el nuevo punto de operación corresponde a un ángulo δ_1 , el cual viene dado por:

$$P_{elec}^1 = P_{mec}^1 = 2.0769 \text{sen} \delta_1$$

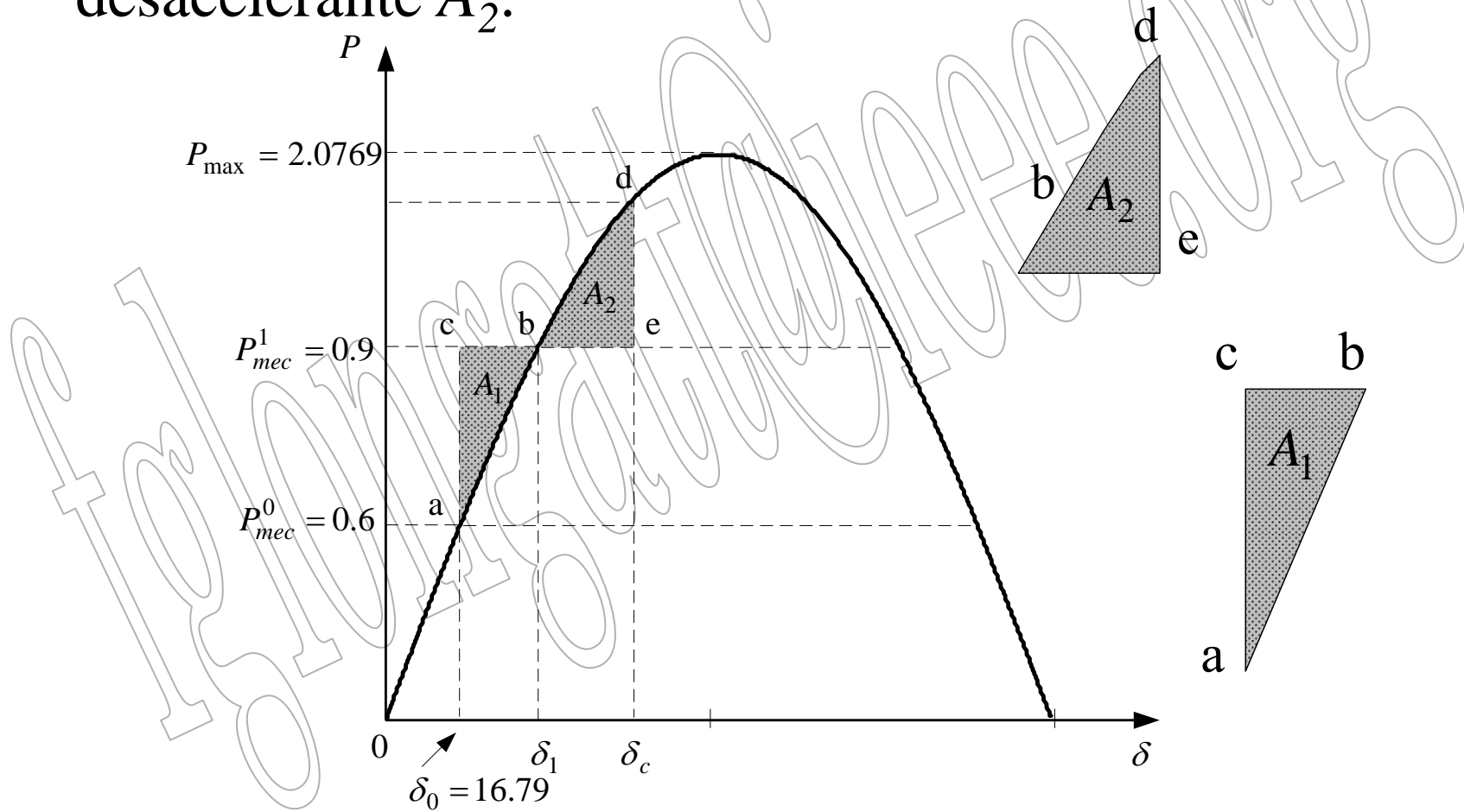
- Despejando se tiene:

$$0.9 = 2.0769 \text{sen} \delta_1$$

$$\delta_1 = 25.6796 = 0.4482 \text{rad}$$

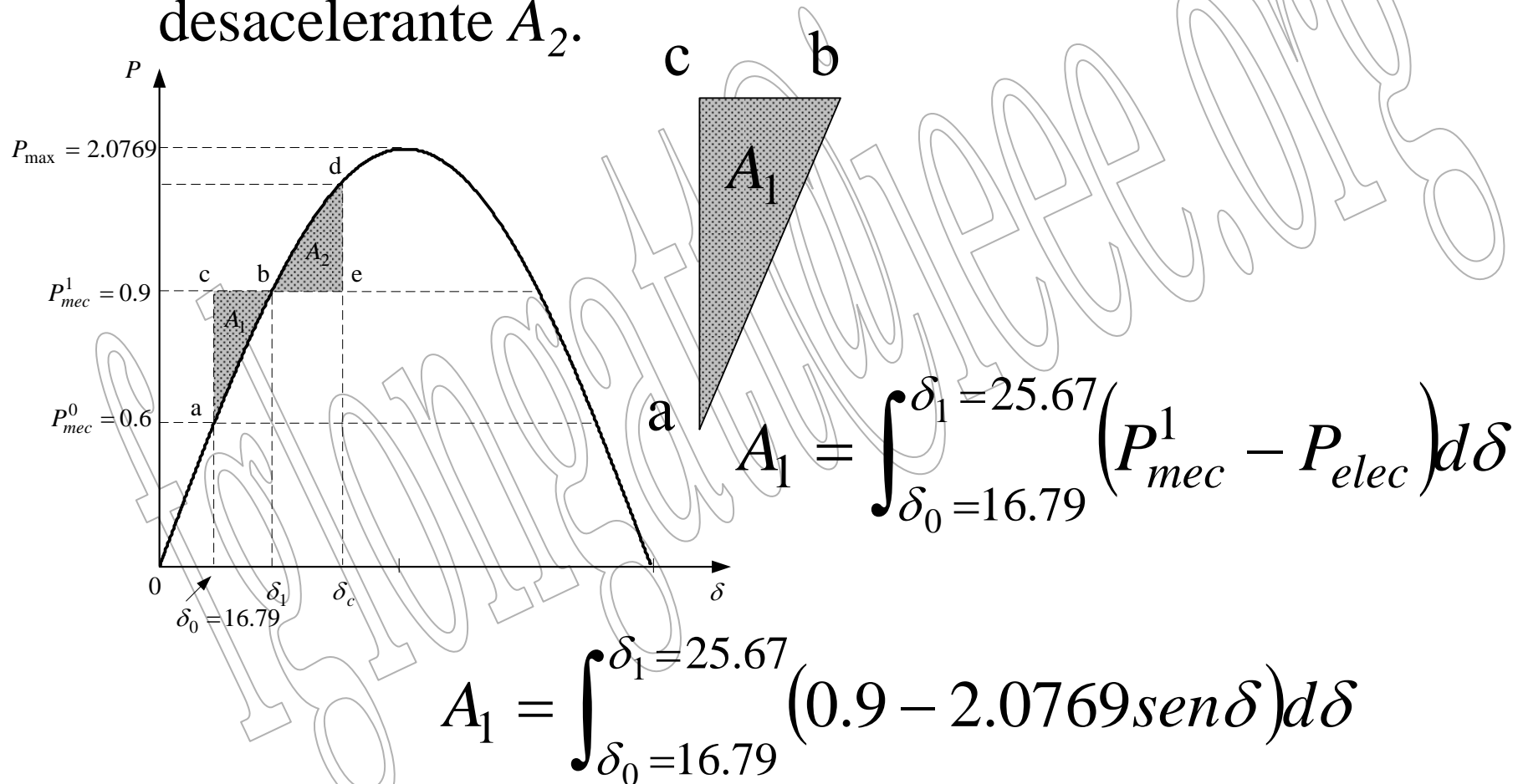
Ejemplo

- En esta se muestran las áreas acelerantes A_1 , y desacelerante A_2 .



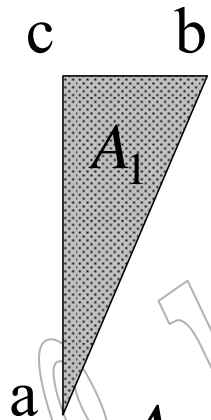
Ejemplo

- En esta se muestran las áreas acelerantes A_1 , y desacelerante A_2 .



Ejemplo

- La integral del ara acelerante A_1 , resulta ser una integral definida donde sus limites son conocidos.



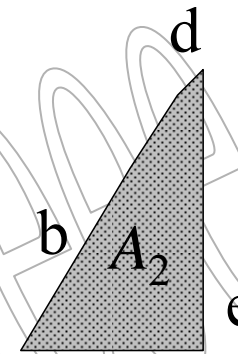
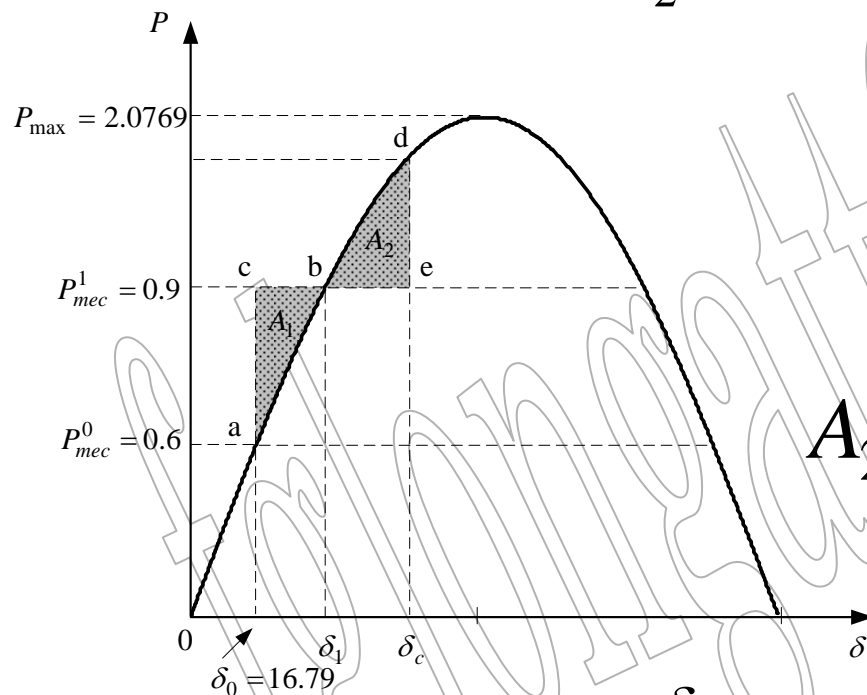
$$A_1 = \int_{\delta_0 = 16.79}^{\delta_1 = 25.67} (0.9 - 2.0769 \operatorname{sen} \delta) d\delta$$

$$A_1 = \frac{873}{6250} + \frac{20769}{10000} \cos\left(\frac{2241}{5000}\right) - \frac{20769}{10000} \cos\left(\frac{293}{1000}\right)$$

$$A_1 = 0.0231$$

Ejemplo

- En esta se muestran las áreas acelerantes A_1 , y desacelerante A_2 .



$$A_2 = \int_{\delta_1 = 25.67}^{\delta_{\max}} (P_{elec} - P_{mec}^1) d\delta$$

$$A_2 = \int_{\delta_1 = 25.67}^{\delta_{\max}} (2.0769 \text{sen} \delta - 0.9) d\delta$$

Ejemplo

- Esta integral, posee en su límite superior el máximo ángulo de oscilación, el cual ha de ser determinado.

$$A_2 = -\frac{9}{10} \delta_{\max} - \frac{20769}{10000} \cos(\delta_c) + \frac{20169}{50000} + \frac{20769}{10000} \cos\left(\frac{2241}{5000}\right)$$

$$A_2 = -0.9\delta_{\max} - 2.0769\cos\delta_c + 2.2751$$

- Ahora bien, el criterio de las áreas iguales, establece que se el sistema lograra estabilidad si $A_1 = A_2$

Ejemplo

- Ahora bien, el criterio de las áreas iguales, establece que se el sistema lograra estabilidad si $A_1 = A_2$.

$$A_1 = 0.0231$$

$$A_2 = -0.9\delta_{\max} - 2.0769\cos\delta_c + 2.2751$$

- Igualando se tiene, que la ecuación a resolver es:

$$0.0231 = -0.9\delta_{\max} - 2.0769\cos\delta_c + 2.2751$$

Ejemplo

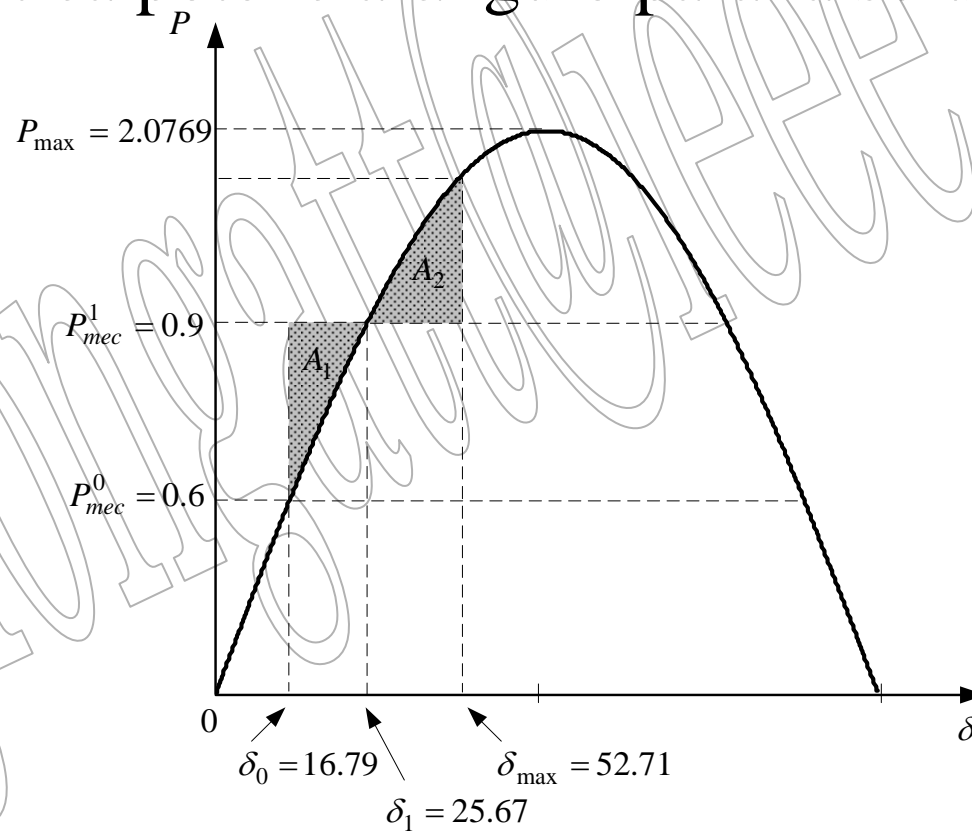
$$0.0231 = -0.9\delta_{\max} - 2.0769\cos\delta_c + 2.2751$$

- Como se observa se trata de una ecuación no lineal, cuya solución por métodos numéricos arroja:

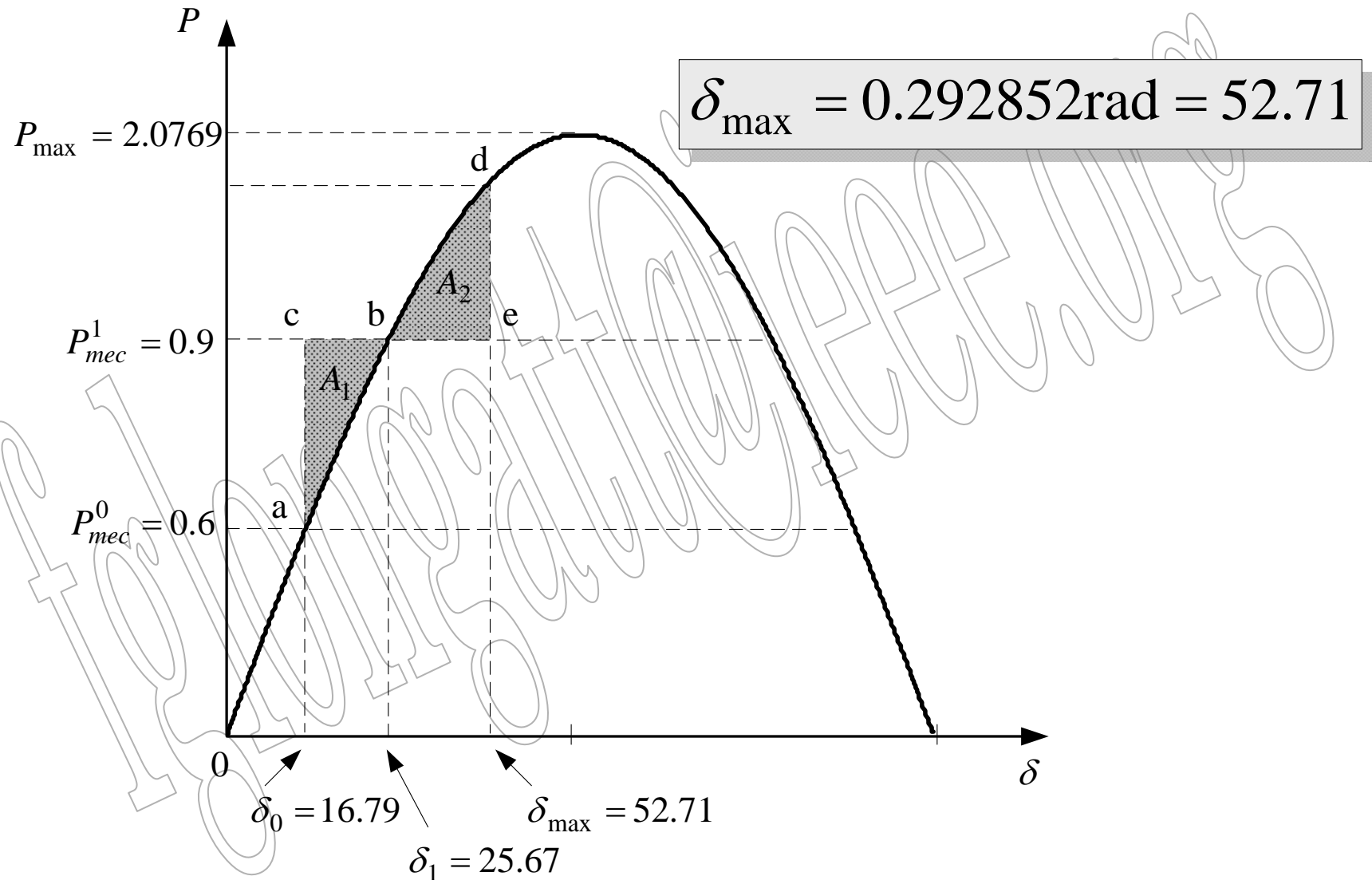
$$\delta_{\max} = 0.292852\text{rad} = 52.71$$

Ejemplo

- Una vez obtenido, el valor del ángulo de la máxima oscilación, se procede a construir la curva característica potencia-ángulo para la solución:



Ejemplo



Ejemplo

- Ante la perturbación, el sistema oscilara, alcanzado una amplitud máxima de ángulo:

$$\delta_{\max} = 0.292852\text{rad} = 52.71$$

- Finalmente se estabilizara en función a cierto ángulo:

$$\delta_1 = 25.6796 = 0.4482\text{rad}$$