

Factores de Carga, Simultaneidad, Diversidad y Pérdidas

Abordaje que asegura su consistencia

Bogotá, Diciembre 2013

Organizan



Apoyan



- ◆ En los cálculos de redes de distribución para proyectos y operación se caracterizan las cargas impuestas en los diferentes segmentos de la red mediante factores de diseño.
- ◆ Esos factores de diseño son: de carga (FC), de simultaneidad (FS), de diversidad (FD) y de pérdidas (FP). Usualmente tienen formulaciones empíricas de distinto origen que pueden no ser consistentes entre sí.
- ◆ Estos factores varían en distintos segmentos o tramos de la red porque dependen del conjunto de las demandas atendidas “aguas abajo” del tramo considerado. Sin embargo, por carecerse de datos reales confiables, se suelen considerar valores típicos de modo uniforme.
- ◆ Este proceder puede falsear información muy relevante tal como la estimación de pérdidas de energía, la máxima solicitud dimensionante o las condiciones operativas extremas.
- ◆ **Se presenta un abordaje que, reconociendo el carácter estocástico de las variables de interés, permite una formulación consistente del conjunto de factores de diseño.**

◆ **Factor de Carga**

$$FC_x = \frac{\text{Energía que circula anualmente por el segmento de red } X \text{ [kWh/año]}}{8760[\text{h/año}] \times \text{Potencia máxima registrada durante el año en } X \text{ [kW]}}$$

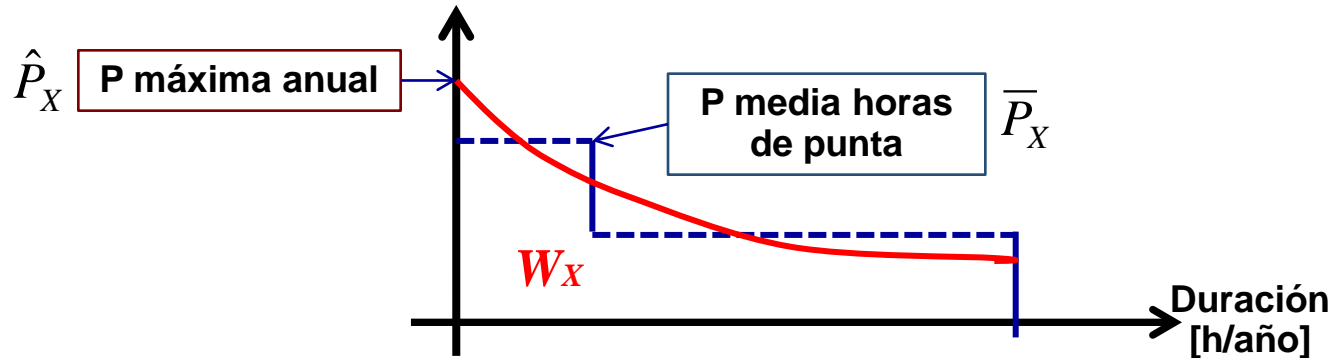
◆ **Factor de Pérdidas**

$$FP_x = \frac{\text{Energía anual de pérdidas en el segmento de red } X \text{ [kWh/año]}}{8760[\text{h/año}] \times \text{Potencia de pérdidas con la máxima del año en } X \text{ [kW]}}$$

◆ **Factor de Simultaneidad**

$$FS_x = \frac{\text{Potencia máxima del año registrada en el segmento de red } X \text{ [kW]}}{\sum \text{Potencias máximas anuales de las cargas servidas "aguas abajo" de } X \text{ [kW]}}$$

Monótona anual de carga en X



Velander (Suecia) $\hat{P}_X = k_1 \cdot W_X + k_2 \cdot \sqrt{W_X} \therefore \frac{1}{FC_X} \cong \frac{1}{FC_S} \left(1 + \frac{K_V}{\sqrt{W_X}} \right)$

$$\frac{1}{FC_S} \cong 8760 k_1 \quad ; \quad K_V = \frac{k_2}{k_1} \approx 330 \text{ [kWh}^{1/2}\text{]}$$

Bochanky (Alemania) $FS_N = \alpha + \frac{(1-\alpha)}{\sqrt{N}}; \quad \alpha \approx 0,1 \dots 0,2$

Willis (USA) $FP_X = a \cdot FC_X + (1-a) \cdot FC_X^2; \quad a \approx 0,3$

- ◆ **Las cargas** se suponen constituidas por el agregado de “unidades de carga” que tienen un comportamiento *estocástico* semejante.
- ◆ **La potencia que circula** por cada segmento X de la red *en el momento de la máxima demanda anual agregada del sistema*, será una *variable estocástica* resultante del agregado de todas las “unidades de carga” que sirve la red “aguas abajo” de X
- ◆ **El valor esperado** \bar{P}_X es directamente proporcional a la energía W_X que anualmente circula por el segmento de red X ; es decir, proporcional a la suma de la energía anual de todas las cargas servidas “aguas abajo” de X
- ◆ **La máxima potencia anual estocástica** \hat{P}_X –dimensionante del segmento de red X – es aquélla que resulta de sumar al valor esperado \bar{P}_X un número k de veces la desviación estándar s_X . El valor de k adoptado es único para toda la red.

Modelo Estocástico vs. Relaciones Empíricas



- ◆ El comportamiento estocástico de la “unidad de carga” se describe por su **valor esperado** \bar{P}_u y su **varianza** s_u^2 (coeficiente de variación $cv_u = s_u / \bar{P}_u$)

- ◆ Una dada carga \bar{P}_X se considera conformada por x “unidades de carga” de modo que:

$$\bar{P}_X = x \cdot \bar{P}_u \quad ; \quad (s_X)^2 = x \cdot (s_u)^2 \quad ; \quad \hat{P}_X = \bar{P}_X + k \cdot s_X$$

- ◆ Así, el Factor de Simultaneidad de las “unidades de carga” en X resulta : $FS_X = \alpha + \frac{(1-\alpha)}{\sqrt{x}}$; con $\alpha = (1 + k \cdot cv_u)^{-1} \cong FS_S$

- ◆ Se encuentra asimismo que: $\frac{K_V}{\sqrt{FC_S \cdot 8760}} \cong k \cdot cv_u \cdot \sqrt{\bar{P}_u} = K_u$

- ◆ Determinando la constante del sistema: $K_u = (\hat{P}_X - \bar{P}_X) / \sqrt{\bar{P}_X}$

- ◆ Cálculo de flujos de potencia en condiciones de **carga media anual en horas de punta** con:
 - \bar{P}_s en el nodo fuente (s : origen del Sistema)
 - $\bar{P}_n = \bar{P}_s \cdot (W_n / W_s)$ en cada nodo n de carga
 - $\cos\phi$ estándar en todos los nodos
- ◆ Resultados del cálculo:
 - Potencia media de pérdidas en cada tramo X “en las condiciones medias de punta”
 - Las pérdidas obtenidas deben ajustarse por el factor de pérdidas equivalentes
 - Tensión media en cada nodo n , se debe ajustar para obtener las tensiones mínimas

- ◆ Potencia máxima *estocástica* por tramo X :

$$\hat{P}_X = \bar{P}_X + K_u \cdot \sqrt{\bar{P}_X};$$

con $K_u = (\hat{P}_S - \bar{P}_S) / \sqrt{\bar{P}_S}$

- ◆ Tensión mínima *estocástica* en el nodo n :

$$\tilde{u}_n = \bar{u}_n - k' \cdot s_{un}$$

- ◆ Son conocidos :
 - la curva de duración anual de demandas para la carga agregada en el nodo s (fuente, origen)
 - y el correspondiente factor de pérdida FP_s

- ◆ Del cálculo de flujos de carga se tiene para cada tramo X la potencia de pérdida \bar{p}_X con la transitada \bar{P}_X

- ◆ Se determina la pérdida de energía anual en el tramo X

$$Wp_X = \bar{p}_X \cdot FP'_X \cdot 8760$$

$$FP'_X = FP_S \cdot \left(1 + \frac{K_u^2 / k^2}{\bar{P}_X} \right)$$

- ◆ Dados una red MT y sus transformadores MT/BT
¿cuál es su capacidad para distribuir la Demanda agregada?
- ◆ Se adoptan
 - K_u La constante del modelo estocástico (ej.: $K_u^2 = 10 \text{ kW}$)
 - FU El *Factor de Utilización* de la capacidad de los transformadores (ej.: $FU=0,8$)
- ◆ Al n -ésimo transformador de capacidad nominal S_n se asigna
 - La máxima carga anual $\hat{P}_n = FU \cdot S_n = \bar{P}_n + K_u \sqrt{\bar{P}_n}$; de la que se deduce
 - La media anual en horas de punta $\bar{P}_n = \hat{P}_n + \frac{K_u^2}{2} - \sqrt{K_u^2 \cdot \hat{P}_n + \frac{K_u^4}{4}}$
- ◆ Del cálculo convencional de flujos de potencia con las cargas \bar{P}_n , en el nodo s origen del sistema MT resultan
 - $\sum \bar{P}_n + \text{pérdidas} = \bar{P}_s$ La media anual de potencia en las horas de punta
 - $\bar{P}_s + K_u \sqrt{\bar{P}_s} = \hat{P}_s$ La **máxima Demanda agregada** anual o punta anual
- ◆ Se define así el Factor de Diversidad sobre la capacidad instalada MT/BT

$$FD = \frac{\sum \hat{P}_n}{\hat{P}_s} = \frac{\sum S_n}{\hat{P}_s / FU}$$

- ◆ El concepto de un ***modelo estocástico de las cargas*** permite:
 - una explicación de fórmulas empíricas de uso difundido para los factores de diseño que se usan en los estudios de redes de distribución: de carga (FC), de simultaneidad (FS), de diversidad (FD), de pérdidas (FP).
 - asegurar la consistencia entre los distintos factores de diseño al revelar sus interrelaciones implícitas.
 - perfeccionar los resultados de los cálculos de flujos de carga a partir de los modelos de computación convencionales, potenciando su valor explicativo.
 - reconocer en esos cálculos las diferencias de los factores de diseño en diferentes partes de la red

¡Gracias por su atención!

Jean Riubrugent - Alejandro A. Arnau Sarmiento
MERCADOS ENERGÉTICOS CONSULTORES S.A.
Buenos Aires, Argentina
jriubrugent@consultoresindependientes.com
(54 11) 4383 7378 ext.123 – (54 9 221) 454 6461