



# COMPENDIO DE INVESTIGACIÓN ACADEMIA JOURNALS LOS MOCHIS 2018

Libro digital publicado en el Portal de Internet [www.AcademiaJournals.com](http://www.AcademiaJournals.com)  
Los Mochis, Sinaloa, México  
ISBN 978-1-939982-41-4

	Título	Autores	Primer Autor	Página
MOX126	Conceptos, aplicaciones y tendencias de la mejora continua en las organizaciones	Ing. Antuna Corrales Jose Javier M.C. Jorge Luis Chigo Gastélum Dra. Lidyeth Azucena Sandoval Barraza	Antuna Corrales	45
MOX079	La responsabilidad social empresarial desde la percepción de los consumidores de las tiendas de autoservicio de la organización Soriana en Monclova y Frontera Coahuila	Zochitl Araiza Garza Verónica de León Estavillo Martha Carolina Sierra Herrera Virginia Hernández Mijares	Araiza Garza	56
MOX074	CONDUCTAS DE RIESGO A LA SALUD POR EXPOSICIÓN A PLAGUICIDAS QUÍMICOS EN TRABAJADORES AGRÍCOLAS DEL VALLE DEL CARRIZO	Dr. Marco Arturo Arciniega Galaviz M.C. Pedro Morales Urbina	Arciniega Galaviz	62
MOX073	Investigación de factores, herramientas y técnicas que permiten aumentar el grado de acierto en la estimación de tiempos de estados en operaciones	Ing. Marilú Argüelles Torres Mtro. Iván Tapia Moreno Ing. Delia Susana Del Valle Grijalva	Argüelles Torres	68
MOX081	Estudio de Caso: Cómo enfrenta el TecNM-ITLM la actividad emprendedora ante los desafíos del Siglo XXI	M.I.I. Yeniba Argüeso Mendoza M. C. Indeliza Armenta Acosta M. I. Francisco Javier Cupa González Ing. Luis Eduardo Ruelas García M. en C. Mario Flores López	Argüeso Mendoza	74
MOX233	Perspectivas actuales del consumo y pesquería del erizo rojo ( <i>Strongylocentrotus franciscanus</i> )	Dr. Joe Luis Arias-Moscoso Dra. Martina Hilda Gracia Valenzuela Biol. Aldo Fraijo Valenzuela M.C. Odilia Azucena Higuera-Barraza M.C. Ramón Gertrudis Valdez Melchor Dra. Dulce Alondra Cuevas-Acuña	Fraijo Valenzuela	79
MOX039	Análisis Trifásico de Redes Eléctricas Desbalanceadas	Jorge Luis Arizpe Islas Carlos Eduardo Díaz Rodríguez Juan Rafael Cervantes Vega	Arizpe Islas	85

# ANÁLISIS TRIFÁSICO DE REDES ELÉCTRICAS DESBALANCEADAS

Jorge Luis Arizpe Islas<sup>1</sup>, Juan Rafael Cervantes Vega<sup>2</sup>, Carlos Eduardo Díaz Rodríguez<sup>3</sup>

**Resumen-**El objetivo de este estudio es calcular los valores de tensión eléctrica mediante flujos de potencia y a partir de estos obtener cualquier variable del Sistema Eléctrico de Potencia (SEP). En este estudio de flujos trifásicos se distinguen los mismos tipos de nodos que en flujos monofásicos (red de secuencia positiva). Salvo que en el estudio de flujos trifásicos permite obtener el comportamiento del SEP en estado estable bajo condiciones de operación específicas. Cuando existe algún elemento desbalanceado en el sistema, el modelo tradicional no es útil por lo que es necesario plantear el problema de flujos en coordenadas de fase *abc*. En la figura 1 se representa el sistema de potencia en el cual se realizara el estudio de flujos trifásicos utilizando el método de desacoplado [1]. Las variables que interesa conocer son los flujos de potencia por fase en los elementos del sistema, la potencia compleja de las unidades generadoras y los valores de tensión eléctrica nodales complejos por fase.

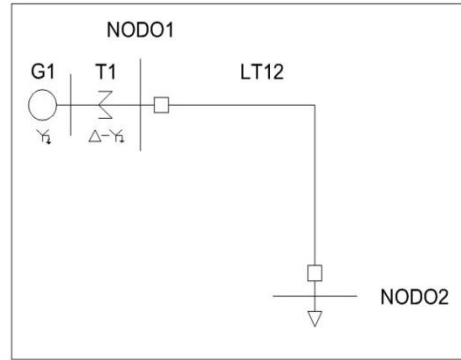


Figura 1. Sistema de potencia de prueba

## Introducción [2]

El objetivo de este trabajo es mostrar como con los flujos de potencia es posible determinar los valores de tensión eléctrica nodales complejos en cada fase y a partir de estos obtener cualquier variable del Sistema Eléctrico de Potencia. En el análisis convencional de sistemas eléctricos de potencia SEP se considera que todos los elementos que los forman son balanceados. Sin embargo una solución más cercana a la realidad será el modelar el sistema en forma desbalanceada [1] [3]. Prácticamente solo algunos elementos del sistema de potencia son balanceados, tales como: los generadores y transformadores. Otros son desbalanceados, como por ejemplo: Líneas de transmisión largas sin transposiciones y cargas desbalanceadas. O bien, estos elementos operan en condiciones desbalanceadas, como lo son: Fases abiertas y cargas monofásicas, Transformadores Trifásicos compuestos por unidades monofásicas distintas y/o con cambiadores de tap independientes para cada fase entre otras. El análisis de los sistemas desbalanceados se realiza en componentes de fase o coordenadas *a, b, c* debido a que es difícil encontrar una matriz de transformación que diagonalice todos los elementos del SEP.

## Descripción del método de Flujos Convencionales

En el análisis convencional de SEP se considera que todos los elementos que los conforman son balanceados, debido a que esto permite reducir el análisis de un sistema trifásico a un sistema monofásico de secuencia positiva, tal y como se muestra en la siguiente notación [4]:

Notación [4]:

$\Delta P_k + j\Delta Q_k =$  desajuste de potencia compleja en el bus *K*

$$\Delta P_k = P_k^{sp} - V_k \sum_{m \in k} V_m (G_{km} \times \cos\theta_{km} + B_{km} \times \text{sen}\theta_{km}) \quad (1)$$

$$\Delta Q_k = Q_k^{sp} - V_k \sum_{m \in k} V_m (G_{km} \times \text{sen}\theta_{km} + B_{km} \times \cos\theta_{km}) \quad (2)$$

$P_k + jQ_k =$  potencia compleja en el bus *K*

$\theta_k, jV_k =$  magnitud de tensión eléctrica y el ángulo en el bus *K*

$\theta_{mk} = \theta_k - \theta_m$

$G_{km} + jB_{km} =$  elemento (*k, m*)th de la matriz de admitancias

$\Delta\theta, \Delta V =$  correcciones de tensión eléctrica y magnitud.

$m \in k =$  significa que el bus *m* está conectado al bus *K*; incluyendo el caso  $m = k$

## Análisis

En el análisis

<sup>1</sup> ING. JORGE LUIS ARIZPE ISLAS, INGENIERO MECÁNICO ELECTRICISTA DE LA FIME-UANL, JORGE.ARIZPEI@UANL.MX

<sup>2</sup> MC. JUAN RAFAEL CERVANTES VEGA, INGENIERO MECÁNICO ELECTRICISTA DE LA FIME-UANL

<sup>3</sup> CARLOS EDUARDO DÍAZ RODRÍGUEZ ESTUDIANTE DE 10º SEMESTRE DE LA CARRERA INGENIERO MECÁNICO ELECTRICISTA DE LA FIME

### Derivación Del Algoritmo Básico

Analizando la ecuación del método de Newton Raphson (3), en el Jacobiano se desacopla  $MW - \theta/MVAR - V$  despreciando el efecto de las submatrices  $N$  y  $J$ , estos nos da dos ecuaciones (4) Y (5)

$$\begin{bmatrix} \Delta P \\ \Delta Q \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} H & N \\ J & L \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \Delta \theta \\ \Delta V/V \end{bmatrix} \quad (3)$$

Donde:

$$\Delta P = [H] \cdot [\Delta \theta] \quad (4)$$

$$H_{km} = L_{KM} = V_K V_m (G_{km} \text{sen} \theta_{km} - B_{km} \text{cos} \theta_{km})$$

$$\Delta P = [L] \cdot [\Delta V/V] \quad (5)$$

$$H_{kk} = -B_{kk} V_k^2 - Q_k \text{ y } L_{kk} = -B_{kk} V_k^2 + Q_k$$

Estas ecuaciones (4) y (5) se pueden resolver en forma alternada como lo hace el método de Newton Raphson, recalculando y retriangularizando las submatrices  $H$  y  $L$  en cada iteración, pero se pueden hacer algunas simplificaciones que se justifican físicamente, por ejemplo en la práctica en un SEP se asumen lo siguiente:

$$\text{cos} \theta_{km} \approx 1; \quad G_{km} \text{sen} \theta_{km} \ll B_{km}; \quad Q_k \ll B_{kk} V_k^2;$$

Y se obtienen buenas aproximaciones:

$$\Delta P = [V \cdot B' \cdot V] \cdot [\Delta \theta] \quad \Delta P = [V \cdot B'' \cdot V] \cdot [V/V]$$

La derivación de los elementos de las matrices de  $B'$  y  $B''$  son estrictamente los elementos de  $-B$ . El proceso de desacoplado y el algoritmo final se completan con lo siguiente:

$$[\Delta P/V] = [B'] \cdot [\Delta \theta] \quad (8) \quad [\Delta Q/V] = [B''] \cdot [\Delta V] \quad (9)$$

Donde: Ambas matrices  $B'$  y  $B''$  son reales, dispersas y tienen la estructura de  $H$  y  $L$  respectivamente.

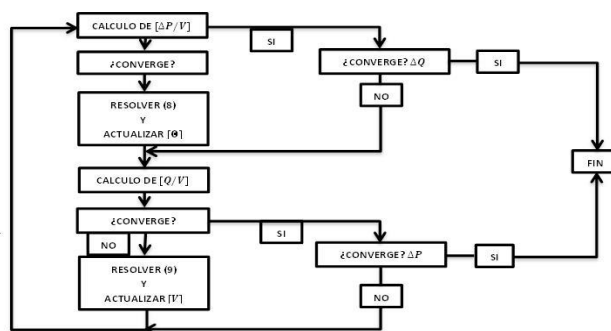


Figura 2. Diagrama de Flujo del Método Desacoplado Rápido [3]

En la figura 2 se muestran las matrices  $B'$  y  $B''$ . Dado que contienen solo admitancias de la red estas matrices son constantes y solo hay que triangularizarlas una vez al inicio de estudio  $B''$  es simétrica por lo que pueden almacenar solo la parte triangular superior y si no hay desfases  $B'$  también es simétrica.

### Ecuaciones de Restricción [5]

Notación:

$$V_k^f = e_k^f + jf_k^f$$

$$I_k^f = a_k^f + jb_k^f$$

$$I_{ko}^f = a_{ko}^f + jb_{ko}^f$$

$$a_k^f = \sum_{i=1}^n \sum_{m=\alpha}^c (G_{ki}^{fm} e_i^m - B_{ki}^{fm} f_i^m)$$

$$a_{ko}^f = \sum_{m=\alpha}^c (G_g^{fm} e_k^m - B_g^{fm} f_k^m)$$

$$b_k^f = \sum_{i=1}^n \sum_{m=\alpha}^c (G_{ki}^{fm} f_i^m + B_{ki}^{fm} e_i^m)$$

$$b_{ko}^f = \sum_{m=\alpha}^c (G_g^{fm} f_k^m + B_g^{fm} e_k^m)$$

Donde:

- $f$  = la fase del nodo  $K$
- $n$  = # de nodos
- $e$  = parte real de tensión eléctrica
- $b$  = parte imaginaria de la corriente
- $f$  = parte imaginaria de tensión eléctrica
- $G$  = conductancia del nodo  $K$
- $\alpha$  = parte real de la corriente
- $B$  = susceptancia del nodo  $K$

**Nodos de Carga:** En estos nodos se especifica el valor de  $P$  y  $Q$  de cada fase, de estas condiciones de operación se obtienen 6 ecuaciones.

$$-S_k^f = V_k^f \cdot (I_k^f)^* \quad \text{para } f = \alpha, b, c$$

$$\Delta P_k^f = 0 = P_k^f + e_k^f a_k^f + f_k^f b_k^f$$

$$\Delta Q_k^f = 0 = Q_k^f - e_k^f b_{ko}^f + f_k^f a_{ko}^f$$

**Nodos de voltaje controlado:** En estos nodos se especifica el valor de  $P$  total entregada al sistema y la magnitud de tensión eléctrica controlada.

Ecuación de la potencia activa total:

$$\Delta P_k^f = P_{gk} - \sum_{m=a}^c PL_{km}^f - \sum_{m=a}^c (e_k^f a_{km}^f + f_k^f b_{km}^f)$$

Ecuación de tensión eléctrica controlada:

$$\Delta V^2 = (V_{gk}^a)^2 - (e_k^a)^2 - (f_k^a)^2$$

Ecuaciones de las corrientes internas

$$\begin{aligned} \Delta A1_k &= (\alpha_{ko}^a + \alpha_k^a + AL_k^a) + \frac{1}{2} (\alpha_{ko}^b + \alpha_k^b + AL_k^b) + \frac{\sqrt{3}}{2} (b_{ko}^b + b_k^b + BL_k^b) \\ \Delta B1_k &= (b_{ko}^a + b_k^a + BL_k^a) + \frac{1}{2} (b_{ko}^b + b_k^b + BL_k^b) - \frac{\sqrt{3}}{2} (\alpha_{ko}^b + \alpha_k^b + AL_k^b) \\ \Delta A2_k &= (\alpha_{ko}^a + \alpha_k^a + AL_k^a) + \frac{1}{2} (\alpha_{ko}^c + \alpha_k^c + AL_k^c) - \frac{\sqrt{3}}{2} (b_{ko}^c + b_k^c + BL_k^c) \\ \Delta B2_k &= (b_{ko}^a + b_k^a + BL_k^a) + \frac{1}{2} (b_{ko}^c + b_k^c + BL_k^c) + \frac{\sqrt{3}}{2} (\alpha_{ko}^c + \alpha_k^c + AL_k^c) \end{aligned}$$

**Nodo Compensador:** El nodo compensador es un nodo especial en el cual no se especifica la potencia activa generada, sin embargo se especifica la magnitud y el ángulo de tensión eléctrica controlada.

$$\begin{aligned} \Delta A1_k &= (\alpha_{ko}^a + \alpha_k^a + AL_k^a) + \frac{1}{2} (\alpha_{ko}^b + \alpha_k^b + AL_k^b) + \frac{\sqrt{3}}{2} (b_{ko}^b + b_k^b + BL_k^b) \\ \Delta B1_k &= (b_{ko}^a + b_k^a + BL_k^a) + \frac{1}{2} (b_{ko}^b + b_k^b + BL_k^b) - \frac{\sqrt{3}}{2} (\alpha_{ko}^b + \alpha_k^b + AL_k^b) \\ \Delta A2_k &= (\alpha_{ko}^a + \alpha_k^a + AL_k^a) + \frac{1}{2} (\alpha_{ko}^c + \alpha_k^c + AL_k^c) - \frac{\sqrt{3}}{2} (b_{ko}^c + b_k^c + BL_k^c) \\ \Delta B2_k &= (b_{ko}^a + b_k^a + BL_k^a) + \frac{1}{2} (b_{ko}^c + b_k^c + BL_k^c) + \frac{\sqrt{3}}{2} (\alpha_{ko}^c + \alpha_k^c + AL_k^c) \end{aligned}$$

### Matriz de admitancia "Y" Nodal Sistema(abc) [3] [5] [6]

1. Modelo del Generador

$$I_g^{abc} - Y_g^{abc} V_k^{abc} + I_{kg}^{abc}$$

2. Modelo del Transformador

$$\begin{bmatrix} Y_{t1}^{abc} & Y_{t12}^{abc} \\ Y_{t21}^{abc} & Y_{t2}^{abc} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_1^{abc} \\ V_2^{abc} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} i_1^{abc} \\ i_2^{abc} \end{bmatrix}$$

3. Modelo de Línea de transmisión

$$i_{23}^{abc} = (Y_1^{abc} + Y_{2c}^{abc})V_2^{abc} - Y_1^{abc} V_3^{abc}$$

$$i_{23}^{abc} = -Y_1^{abc} V_2^{abc} + (Y_1^{abc} + Y_{3c}^{abc})V_3^{abc}$$

4. Modelado de la carga con los valores de  $S$  y tensión eléctrica consideran una carga balanceada. Aplicando LCK para el sistema de prueba para cada nodo se tiene la matriz de admitancia nodal en secuencia abc

$$\begin{aligned} [Y^{abc}] \begin{bmatrix} V_1^{abc} \\ V_2^{abc} \\ V_3^{abc} \end{bmatrix} &= \begin{bmatrix} i_g^{abc} \\ 0 \\ -i_d^{abc} \end{bmatrix} \\ \begin{bmatrix} Y_g^{abc} & Y_{t12}^{abc} & 0 \\ Y_{t21}^{abc} & Y_{t2}^{abc} + Y_1^{abc} & Y_1^{abc} \\ 0 & -Y_1^{abc} & Y_1^{abc} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_1^{abc} \\ V_2^{abc} \\ V_3^{abc} \end{bmatrix} &= \begin{bmatrix} i_g^{abc} \\ 0 \\ -i_d^{abc} \end{bmatrix} \end{aligned}$$

- Sistema con Carga Balanceada y Red Balanceada
- Las corridas se realizaron con el esquema de control de la tensión eléctrica de la fase a
- En los estudios de flujo de potencia convencionales no se considera los cambios de fase ocasionados por los transformadores en conexión delta estrella, esto equivale a utilizar transformadores en conexión estrella estrella equivalente

### Resultados Análisis Trifásicos de los Flujos

Para el sistema de prueba mostrado en la Figura 1 se realizó un estudio de flujos trifásicos utilizando el método de desacoplado. Los datos de redes de secuencia se presentan en la Tabla 1. Se determinaron las magnitudes de tensión eléctrica y ángulos en las fases de cada nodo del sistema. También se reportó la potencia activa y reactiva del generador y los flujos en la línea de transmisión, así como las pérdidas activas en la transmisión.

Para la solución del estudio se tomaron en cuentas las siguientes consideraciones:  
-Se consideró una carga de 15 MW y 5 MVAR en cada fase del nodo y se comparó la solución con un estudio convencional  
-Se modeló una carga de 20MW y 10MVAR en la fase *a* y de 25 MW y 5 Mvar en la fase *b* del nodo 3.  
-Se resolvieron los casos anteriores considerando una conexión Delta-Estrella del transformador y una conexión Estrella-Estrella del transformador

**Tabla 1. Datos del Sistema**

ELEMENTO	CAPACIDAD NOM.[MVA]	TENSIÓN NOM [KV]	X1 (P.U.)	X2 (P.U.)	X0 (P.U.)
G1	100	25	0.20	0.20	0.05
T1	100	25/230	0.05	0.05	0.05
TL12	100	230	0.10	0.10	0.30

En las siguientes dos Tablas 2 y 3 se muestran las magnitudes de tensión eléctrica y los ángulos en las fases de cada nodo del sistema en Corriente alterna y corriente directa.

**Tabla 2. Resultados CA Y CD (TOPOLOGÍA DE Y BUS CON 7 ELEMENTOS)**

DE 1 NODO1	MW	MVAR	MVA	TAP	1.00000	0.00	1	MW	GRADOS
GENERADOR	45.0	18.5R	48.7					45.0	
A 2 NODO2	45.01	18.54R	48.7	0.00000	TR			45.0	1.29
DE 2 NODO2	MW	MVAR	MVA	TAP	1.00000	0.00	1	MW	GRADOS
A 1 NODO1	-45.0	17.35	48.2	1.00000	TR			-45.0	1.29
A 3 NODO3	45.0	-17.35	48.2	0.00000				45.0	2.58
DE 3 NODO3	MW	MVAR	MVA	TAP	0.97453	-3.97	3	MW	GRADOS
A CARGA	-45.0	15.0	47.4		TR			45.0	
A 2 NODO2	-44.94	14.99	47.4	0.00000				45.0	2.58

- Se consideró una carga de 15 MW y 5 MVAR en cada fase del NODO3 y se determinó las magnitudes de tensión eléctrica y ángulos de cada fase del sistema en Conexión Delta- Estrella (Balanceado) y Estrella Estrella (Balanceado)

**Caso Delta-Estrella (Balanceado)**

*Iter0 maxdes: 0.1500; Iter1 maxdes: .00038; Iter2 maxdes: 0.0001*

En la Tabla 3 y 4 se anexan los resultados del reporte nodal en el caso (Delta-Estrella Balanceado).

**Tabla 3. Reporte Nodal según el estudio (Delta-Estrella Balanceado).**

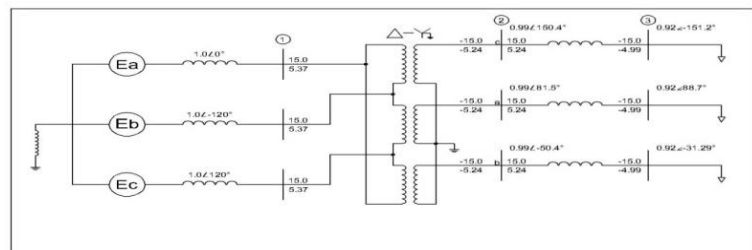
F	N	V(pu)	A(grad)	Pg(MW)	Qg(MVAR)	Pd(MW)	Qd(MVAR)
(a)	1	1.0000	0.0000	15.0000	5.3750	0.0000	0.0000
(b)	1	1.0000	-120.0000	15.0000	5.3750	0.0000	0.0000
(c)	1	1.0000	-120.0000	15.0000	5.3750	0.0000	0.0000
(a)	2	0.9973	89.5961	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
(b)	2	0.9973	-30.4309	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
(c)	2	0.9973	-150.4309	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
(a)	3	0.9922	88.7006	0.0000	0.0000	15.0000	5.0000
(b)	3	0.9922	-31.2994	0.0000	0.0000	15.0000	5.0000
(c)	3	0.9922	-151.2994	0.0000	0.0000	15.0000	5.0000

**Tabla 4. Flujos en Líneas y Generación**

		N1	N2	S12	S21	
(a)	1	2	15.0000	5.3750	-15.0000	5.2481
(b)	1	2	15.0000	5.3750	-15.0000	5.2481
(c)	1	2	15.0000	5.3750	-15.0000	5.2481
(a)	2	3	15.0000	5.2481	-15.0000	-4.9942
(b)	2	3	15.0000	5.2481	-15.0000	-4.9942
(c)	2	3	15.0000	5.2481	-15.0000	-4.9942

	(MW)	(MVAR)
Generación (3F)	45.0000	16.1250
Demanda (3F)	45.0000	15.0000
Perdidas (3F)	-0.0000	1.1250



**Figura 3. Caso Delta-Estrella (Balanceado)**

En la Figura 3 se muestra el diagrama trifásico y los resultados del caso Delta-Estrella (Balanceado).

**Caso Estrella-Estrella (Balanceado)**

*Iter 0 maxdes: 0.1500; Iter 1 maxdes: 0.0038; Iter 2 maxdes: 0.0001*

En la Tabla 5 y 6 se anexan los resultados del reporte nodal en el caso (Estrella -Estrella Balanceado).

**Tabla 5.** Reporte Nodal según el estudio (Estrella-Estrella Balanceado).

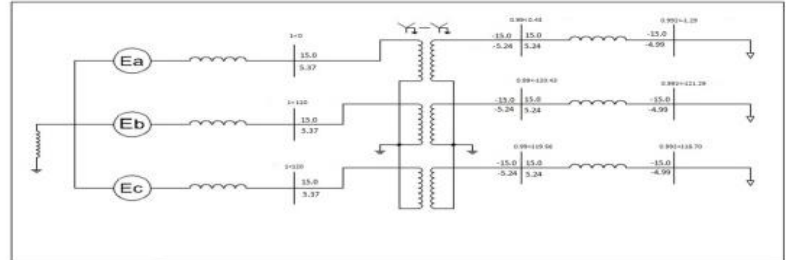
F	N	V(pu)	A(grad)	Pg(MW)	Qg(MVAR)	Pd(MW)	Qd(MVAR)
(a)	1	1.0000	0.0000	15.0000	5.3750	0.0000	0.0000
(b)	1	1.0000	-120.0000	15.0000	5.3750	0.0000	0.0000
(c)	1	1.0000	120.0000	15.0000	5.3750	0.0000	0.0000
(a)	2	0.9973	-0.4309	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
(b)	2	0.9973	-120.4309	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
(c)	2	1.0122	119.5961	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
(a)	3	0.9222	-1.2994	0.0000	0.0000	15.0000	5.0000
(b)	3	0.9222	-121.2994	0.0000	0.0000	15.0000	5.0000
(c)	3	0.9222	118.7006	0.0000	0.0000	15.0000	5.0000

**Tabla 6.** Flujos en Líneas y Generación

		N1	N2	S12	S21
(a)	2	15.0000	5.3750	-15.0000	-5.2481
(b)	2	15.0000	5.3750	-15.0000	-5.2481
(c)	1	15.0000	5.3750	-15.0000	-5.2481
(a)	3	15.0000	5.2481	-15.0000	-4.9942
(b)	3	15.0000	5.2481	-15.0000	-4.9942
(c)	3	15.0000	5.2481	-15.0000	-4.9942

	(MW)	(MVAR)
Generación (3F)	45.0000	16.1250
Demanda (3F)	45.0000	15.0000
Perdidas (3F)	-0.0000	1.1250



**Figura 4 .** Caso Estrella-Estrella (Balanceado)

En la Figura 4 se muestra el diagrama trifásico y los resultados del caso Estrella-Estrella (Balanceado).

- Se modeló una carga de 20MW y 10MVAR en la fase *a* y de 25 MW y 5 Mvar en la fase *b* del nodo 3 y se determinó las magnitudes de tensión eléctrica y ángulos de cada fase del sistema en Conexión Delta-Estrella (Desbalanceado) y Estrella-Estrella (Desbalanceado)

**Caso Delta-Estrella (Desbalanceado)**

*Iter 0 maxdes: 0.2500; Iter 1 maxdes: 0.0163; Iter 2 maxdes: 0.0005*

En la Tabla 7 y 8 se anexan los resultados del reporte nodal (Delta-Estrella Desbalanceado).

**Tabla 7.** Reporte Nodal según el estudio (Delta-Estrella Desbalanceado).

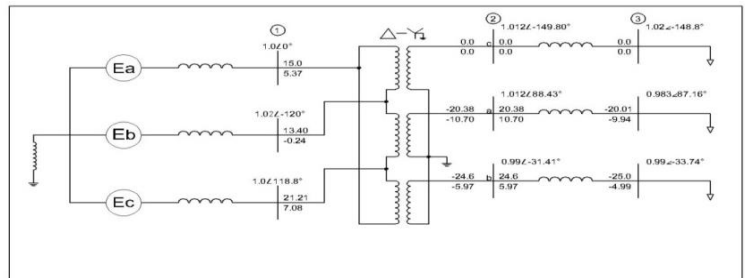
F	N	V(pu)	A(grad)	Pg(MW)	Qg(MVAR)	Pd(MW)	Qd(MVAR)
(a)	1	1.0000	0.0000	10.3999	10.4210	0.0000	0.0000
(b)	1	1.0212	-120.3057	13.4014	-0.2435	0.0000	0.0000
(c)	1	1.0061	118.8002	21.2135	7.0888	0.0000	0.0000
(a)	2	1.0129	88.4389	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
(b)	2	0.9938	-31.4149	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
(c)	2	1.0122	149.8081	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
(a)	3	0.9831	87.1657	0.0000	0.0000	20.0000	10.0000
(b)	3	0.9988	-33.7498	0.0000	0.0000	25.0000	5.0000
(c)	3	1.0211	-148.8328	0.0000	0.0000	15.0000	5.0000

**Tabla 8.** Flujos en Líneas y Generación

		N1	N2	S12	S21
(a)	2	10.3999	10.4210	-20.3865	-10.7048
(b)	2	13.4014	-0.2435	-24.6283	-5.9779
(c)	1	21.2135	7.0888	-0.0000	-0.0000
(a)	3	20.3865	10.7048	-20.0147	-9.9486
(b)	3	24.6283	5.9779	-25.0002	-4.9993
(c)	3	-0.0000	0.0000	0.0000	-0.0000

	(MW)	(MVAR)
Generación (3F)	45.0148	17.2663
Demanda (3F)	45.0000	15.0000
Perdidas (3F)	-0.0148	2.2663



**Figura 5 .** Caso Delta- Estrella (Desbalanceado)

En la Figura 5 se muestra el diagrama trifásico y los resultados del caso Delta- Estrella (Desbalancea).

**Caso Estrella-Estrella (Desbalanceado)**

*Iter 0 maxdes: 0.2500 Iter 1 maxdes: 0.0137 Iter 2 maxdes: 0.0006*

En la Tabla 9 y 10 se anexan los resultados del reporte nodal en el caso (Estrella- Estrella Desbalanceado).

**Tabla 9.**Reporte Nodal según el estudio (Estrella Estrella Desbalanceado)

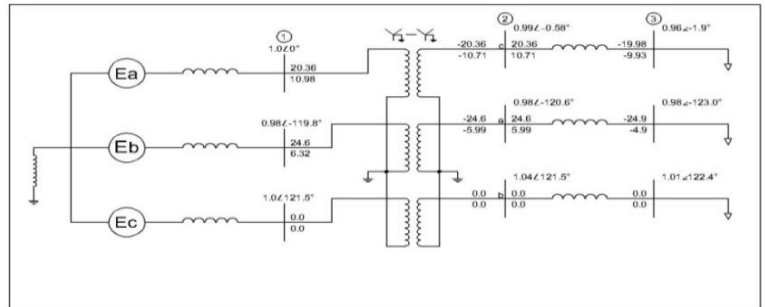
F	N	V(pu)	A(grad)	Pg(MW)	Qg(MVAR)	Pd(MW)	Qd(MVAR)
(a)	1	1.0000	0.0000	20.3675	10.9866	0.0000	0.0000
(b)	1	0.9861	-119.8972	24.6073	6.3275	0.0000	0.0000
(c)	1	1.0013	121.5006	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
(a)	2	0.9946	-0.5867	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
(b)	2	0.9830	-120.6244	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
(c)	2	1.0013	121.5006	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
(a)	3	0.9644	-1.9091	0.0000	0.0000	20.0000	10.0000
(b)	3	0.9891	-123.0062	0.0000	0.0000	25.0000	5.0000
(c)	3	1.0103	122.4958	0.0000	0.0000	15.0000	5.0000

**Tabla 10.** Flujos en Líneas y Generación

		N1	N2	S12	S21
(a)	2	20.3675	10.9866	-20.3675	-10.7188
(b)	1	24.6073	6.3275	-24.6073	-5.9956
(c)	1	0.0000	0.0000	-0.0000	-0.0000
(a)	3	20.3675	10.7188	-19.9854	-9.9357
(b)	2	24.6073	5.9956	-24.9894	-4.9986
(c)	2	-0.0000	0.0000	-0.0000	-0.0000

	(MW)	(MVAR)
Generación (3F)	44.9748	17.3148
Demanda (3F)	45.0000	15.0000
Perdidas (3F)	-0.0252	2.3141



**Figura 6.** Caso Estrella-Estrella (Desbalanceado)

En la Figura 6 se muestra el diagrama trifásico y los resultados del caso Estrella- Estrella (Desbalanceado).

**CONCLUSIONES**

Cuando existe algún elemento desbalanceado en el sistema, el modelo tradicional no es útil, y es necesario plantear el problema de flujos en coordenadas de fase abc.

En el caso de flujos trifásicos la tensión que se controla puede ser el de la fase a o la tensión de secuencia positiva en terminales del generador y por lo tanto debe modelarse de manera diferente que el caso de flujos balanceados.

En la formulación de flujos trifásicos se debe considerar el efecto de la conexión del transformador para los valores de tensión eléctrica nodales iniciales en el método de Newton por lo tanto del método de desacoplado rápido.

En el caso de tener un sistema desbalanceado, se tienen mayores pérdidas que en el caso balanceado. Y existe un efecto de desbalance más notable en los nodos de carga.

La formulación del problema de flujos trifásicos requiere mayor esfuerzo computacional que el caso de flujos balanceados, por lo que se requiere de técnicas eficientes para el almacenamiento y manejo del problema.

Hay que observar los efectos mutuos en las líneas de transmisión que van del nodo 2 al 3 ya tiene su efecto que hace el flujo de potencia real sea uno del nodo 3 al nodo 2 y otro del nodo 2 al 3 aun y cuando no hay pérdidas.

La respuesta del inciso b) se obtiene comparando los resultados arrojados por el programa “sisp” (no descrito en este trabajo) son los obtenidos en el inciso a) y nos podemos dar cuenta que se obtienen los mismos resultados en MW y muy aproximados en MVAR. Por lo que se debe observar que los resultados de flujos de CD del “sisp” son también los mismos.

**BIBLIOGRAFÍAS**

[1] F. Aboytes G. J.M. Garcia Análisis trifásico de redes desbalanceadas. Stagg., A H El- Abiad Computer methods in power system Analysis. 1968 (memoria del 9 curso Avanzado Análisis de sistemas de Potencia, marzo 1999). FIME-UANL.

[2] G.W.

[3] S. Acha.D

[4] B. Stott, O. Alsac Fast Decoupled Load Flow. IEE paper T73 463-7

[5] J.M.

García M. Análisis de sistemas desbalanceados para la operación y diseño de redes electricas. 1989.

[6] F. Aboytes G. Análisis de sistemas de Potencia CENACE-CFE. FIME-UANL

[7] J. J.

Grainger., W.D. Stevenson. Análisis de sistemas de potencia. 1998

[8] J. Arrillagaga, C.P.

Arnold. Computer modelling of electrical Power Systems John Wiley & Sons, 1983.