

Pérdidas no técnicas en la medición de la energía eléctrica en baja tensión

César Chilet León

RESUMEN

El presente trabajo emplea el análisis fasorial de los sistemas eléctricos trifásicos con el objeto de dar solución a uno de los problemas que presenta la medición de la energía en las redes de distribución eléctrica de baja tensión de las empresas concesionarias. No es raro encontrar el empleo de dos suministros monofásicos de predios contiguos para alimentar una carga trifásica, conocido comúnmente como el préstamo de fase. Este suceso altera la medición de los contadores de energía; en el caso de los medidores de disco de inducción se puede apreciar el frenado de ellos e incluso la inversión del sentido de giro. Con este análisis se demuestra que la energía dejada de facturar por esta situación depende de dos factores; uno de ellos es el factor de potencia de la carga trifásica y de su potencia respecto al total de las cargas monofásicas. Con los resultados obtenidos la empresa concesionaria podrá estimar la energía dejada de facturar. Finalmente se busca tomar acciones para contrarrestar este problema.

ABSTRACT

The present work use the fasorial analysis of the three-phase electrical systems, with the intention of giving solution to one of the problems that are presented in the measurement of the energy in the networks of electrical distribution in low tension of the concessionary companies. It is not rare to find the use of two single-phase system in contiguous houses to feed a three-phase load, commonly known like the phase loan. This event alters the measurement of the energy counters; in the case of the induction disc measurers, the braking of them can be appreciated and even the investment of the sense of twist.

With this analysis it's demonstrated that the energy left of invoicing for this situation, depends on two factors; one of them is the power factor of the three-phase load and its power with respect to the total of the one phase loads. With the obtained results the concessionary company

will be able to consider the left invoice energy . Finally, actions are searched to resist this problem.

PALABRAS CLAVES

Pérdidas no técnicas, Análisis fasorial, Conexión Aron, Redes de distribución.

KEY WORDS

Non-techniques lost, Fasorial analysis, Aron connection, distribution networks

INTRODUCCIÓN

Las redes de distribución de baja tensión instaladas en el Perú son del tipo trifásicos, tres hilos (R-S-T) a la tensión de 220 voltios y 60 Hz. Las acometidas monofásicas (dos hilos) son a partir de una derivación de esta red y pueden ser cualquiera de estas combinaciones (R-S, S-T o T-R). También se tienen suministros trifásicos para lo cual la derivación es de tres hilos (R-S-T).

En algunas zonas de la ciudad se ha encontrado que de la combinación de dos suministros monofásicos vecinos, se alimentan cargas trifásicas. Esta situación provoca alteración en el registro de los medidores de energía.

Se ha podido apreciar, en medidores de disco de inducción (de los dos suministros monofásicos involucrados), el frenado de su giro, incluso puede ocurrir que se detenga o invierta su sentido. Si la instalación contara con medidores electrónicos, el registro también se altera.

Cabe indicar que esta situación no es considerada una conexión clandestina o fraudulenta, dado que el "préstamo de fase" se efectúa, después del medidor de energía, es decir, en las instalaciones internas de los usuarios.

Una de las tareas importantes, desarrolladas por las empresas de distribución, es la de reducir las pérdidas técni-

cas y no técnicas. Por lo tanto, es de interés encontrar una solución que evite se realicen este tipo de conexiones.

Los medidores de energía monofásicos empleados comúnmente cuentan con una bobina amperimétrica y una voltimétrica. La bobina amperimétrica se encuentra en serie con la carga, mientras que la bobina voltimétrica se encuentra en paralelo con la fuente de alimentación. Ambas bobinas inducen tensiones y corrientes en el disco de inducción creando un par motor que da origen al giro del disco, cuya velocidad de giro es proporcional al consumo de energía. El disco mediante engranajes mueve un sistema numerador para registrar el consumo de energía activa (kW-h). Es decir que el consumo de energía registrada resulta de la integración en el tiempo de la potencia eléctrica que consume la carga.

$$E = P \times t \quad (1)$$

Donde:

- E = energía eléctrica (kW-h)
- P = potencia activa (kW)
- t = tiempo (horas)

La potencia activa (P), se define como la potencia eléctrica que se transforma en otro tipo de potencia, por ejemplo: en calor en los calentadores, en potencia mecánica en los motores, entre otros.

ENSAYOS DE LABORATORIO

Como el consumo de energía es variable en el tiempo, resulta más fácil analizar este problema desde el punto de vista de la potencia activa registrada por el medidor.

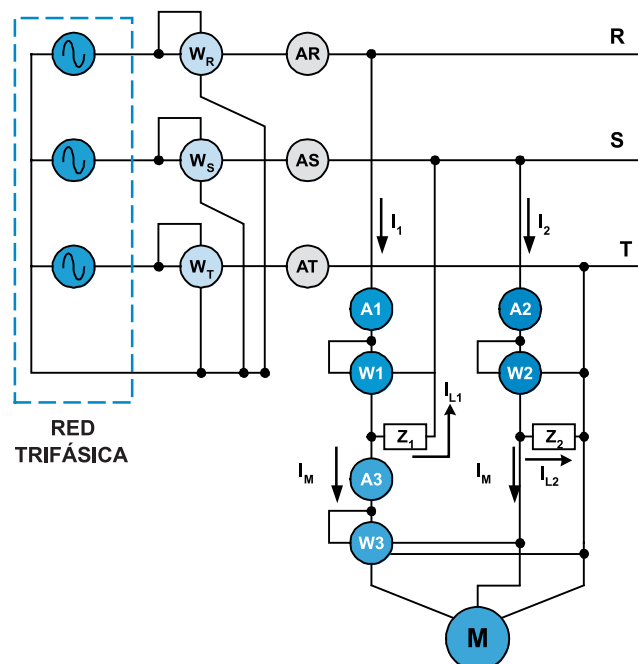


Figura 2 - Circuito de prueba 1.

Recordemos que la potencia activa se calcula con la siguiente relación:

$$P = U \times I \times \cos \varphi \quad (2)$$

Donde:

- P = potencia activa (kW)
- U = tensión eléctrica (V)
- I = intensidad de la corriente eléctrica (A)
- $\cos \varphi$ = factor de potencia

Donde el factor de potencia se considera como el coseno del ángulo que existe entre el fasor tensión y el fasor de la corriente eléctrica, conocido como desfase.

Las cargas domiciliarias tienen un desfase (φ) promedio inferior o igual a 25° .

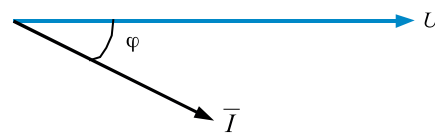


Figura 1 - Diagrama fasorial entre la tensión y la corriente de una carga típica.

Circuito de prueba 1

Este circuito simula el funcionamiento de dos cargas monofásicas consideradas con suministros monofásicos. Adicionalmente conectada se incluye una tercera carga trifásica, conectada de tal forma que una de sus fases se encuentra unida al suministro del "usuario 1" y las otras dos se encuentran conectadas al suministro del "usuario 2".

Para determinar cómo influye esta tercera carga en la lectura de los suministros monofásicos, se ha instalado tres vatímetros monofásicos (W_R , W_S y W_T), conectados de tal manera que operan como un medidor de tres sistemas.

Esta lectura se ha comparado con la suma del consumo registrado por cada usuario (W_1 y W_2).

A manera de registro, también se ha medido el consumo de la carga trifásica, motor en este caso.

Legenda:

- I_1 = A_1 = corriente por el medidor del usuario 1.
- I_2 = A_2 = corriente por el medidor del usuario 2.
- I_{L1} = corriente consumida por el usuario 1.
- I_{L2} = corriente consumida por el usuario 2.
- I_3 = A_3 = corriente consumida por el motor trifásico.
- W_1 = potencia registrada por el medidor del usuario 1.
- W_2 = potencia registrada por el medidor del usuario 2.
- W_3 = potencia consumida por el motor trifásico.
- W_R = potencia medida en la fase "R" de la fuente de suministro.
- W_S = potencia medida en la fase "S" de la fuente de suministro.
- W_T = potencia medida en la fase "T" de la fuente de suministro.
- Z_1 = impedancia de la carga monofásica del usuario 1.
- Z_2 = impedancia de la carga monofásica del usuario 2.
- A_R, A_S, A_T = corrientes de línea en la fuente de alimentación

Para obtener la potencia aparente y luego el factor de potencia; tanto en la fuente, como en la carga, se miden las corrientes y tensiones en cada punto.

Con este circuito se efectuaron 17 mediciones de las cuales en las siete primeras se consideraron que los "usuarios 1 y 2" eran cargas resistivas puras, mientras que en la carga trifásica se reguló su factor de potencia incrementando la potencia al eje.

En las restantes mediciones se consideró para el "usuario 1" una carga resistivo-inductivo, manteniendo de la misma forma variable la carga trifásica (motor).

Circuito de prueba 2

En este caso, se quiere determinar si un medidor de dos sistemas puede apreciar correctamente el consumo de las dos cargas monofásicas y la carga trifásica, independientemente de la magnitud y factor de potencia de las cargas. Para ello se conectaron dos vatímetros monofásicos en conexión aron y se le comparó con la lectura que arroja un medidor de tres sistemas.

Igual que en el caso anterior se midió el consumo de cada carga monofásica en forma individual, su corriente y tensión a fin de determinar su factor de potencia y el consumo de potencia reactiva.

WA y WB = Vatímetros en conexión Aron, haciendo las veces de un medidor trifásico de dos sistemas.

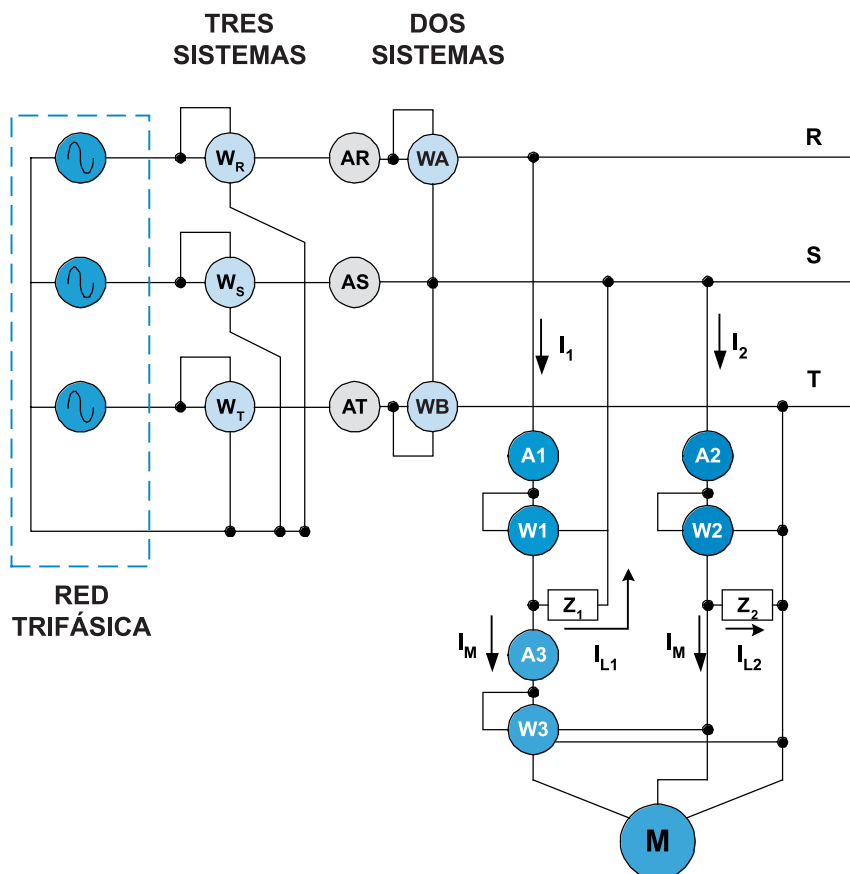


Figura 3 - Circuito de prueba 2.

RESULTADOS OBTENIDOS

Donde:

Los resultados del primer y segundo circuitos se muestran a continuación: en las Tabla 1 y Tabla 2, para diferentes tipos de carga.

$$U_{RN}, U_{SN}, U_{TN} = \text{tensiones de fase (V)}$$

$$I_{R'}, I_{S'}, I_{T'} = \text{corrientes de línea (A)}$$

TABLA N° 01

Característica	MEDICIONES DE ENTRADA										CONSUMO REAL										MEDICIONES USUARIO 1										MEDICIONES USUARIO 2										MOTOR TRIFÁSICO										DIFERENCIA DE MEDICIONES									
	URN	USN	UTN	AR	AS	AT	WR	WS	WT	P real	S real	Cos real	Q real	Q/P	A1	W1	S1	Cos1	A2	W2	S2	UST	SZ	Cos2	A3	W3	S3	Cos3	P medida	Diferencia	Diferencia %																													
USUARIOS	128.2	124.7	124.1	1.92	2.93	1.48	210	369	148	727	795.94	0.913	324.0	0.446	1.91	415	418.3	0.992	1.48	315	216.5	318.2	0.990	0	0.0	0	730	-3	-0.41																															
1	128.1	125.8	124.2	2.06	3.28	2.25	260	395	200	855	956.09	0.894	427.9	0.500	2.04	388	448.6	0.865	1.49	270	216.5	323.2	0.835	1.033	148.5	397.0	0.374	658	197	23.04																														
Y	128.2	126.3	124.9	2.70	3.97	2.83	345	480	280	1105	1201.02	0.920	470.6	0.426	2.68	505	590.7	0.855	2.12	390	217.5	461.2	0.846	1.425	390	548.1	0.712	895	210	19.00																														
2	128.15	125.75	124.1	3.55	4.83	3.66	450	585	380	1415	1516.51	0.933	545.5	0.386	3.58	640	787.2	0.813	3.02	520	216.4	653.5	0.796	2.24	720	861.2	0.636	1160	255	18.02																														
RESISTIVOS	129.1	127.7	127	2.49	3.32	2.29	313	370	210	893	1036.25	0.862	525.7	0.589	2.51	400	558.2	0.717	1.55	290	220.6	342.6	0.847	1	120	387.3	0.310	690	203	22.73																														
Puros	128.6	127.1	126.1	3.09	3.89	2.81	390	445	280	1115	1246.13	0.895	556.4	0.499	3.10	510	686.5	0.743	2.15	400	219.3	471.4	0.848	1.345	360	518.9	0.694	910	205	18.39																														
128.8	127.2	126.2	3.95	4.77	3.65	495	550	380	1425	1576.13	0.904	673.5	0.473	3.91	635	866.9	0.733	2.97	528	219.5	651.8	0.810	2.101	675	811.8	0.631	1163	262	18.39																															
USUARIO "1"	128.3	130.2	128.1	2.94	2.38	1.56	300	120	160	580	887.17	0.654	671.3	1.157	2.96	245	660.4	0.371	1.56	347.8	223.7	347.8	1.000	0	0.0	0	592.8	-12.8	-2.21																															
RESISTIVO	128.1	130.1	125.2	3.62	3.22	2.26	325	155	190	670	1172.38	0.571	962.1	1.436	3.63	188	811.7	0.232	1.61	305	223.7	359.5	0.848	0.838	60	322.0	0.186	493	177	26.42																														
INDUCTIVO	128.7	131.1	129	3.72	3.28	2.35	341	171	207	719	1211.92	0.593	975.6	1.357	3.72	210	837.0	0.251	1.74	335	225.3	392.4	0.854	0.863	105	333.2	0.315	545	174	24.20																														
USUARIO "2"	128.2	130.5	128.2	4.19	3.61	2.84	420	250	280	950	1372.35	0.692	990.4	1.043	4.21	320	943.2	0.339	2.34	450	224	524.3	0.858	1.256	360	483.1	0.745	770	180	18.95																														
RESISTIVO	128.2	130.5	128.5	5.13	4.46	3.83	540	390	405	1325	1731.85	0.765	1115.2	0.842	5.13	470	1149.3	0.409	3.35	605	224.3	751.4	0.805	2.8	720	1076.9	0.669	1075	250	18.87																														
USUARIO "1"	128.2	130.5	126.2	2.22	1.326	1.55	160	45	160	365	653.26	0.559	541.8	1.484	2.23	20	499.6	0.040	1.55	343.7	222.3	343.7	1.000	0	0.0	0.000	363.68	1.32	0.36																															
PREDOMINANTE	128.4	130.7	126.7	3.05	2.22	2.18	190	70	180	440	957.98	0.459	851.0	1.934	3.04	-19	682.1	-0.028	1.59	290	222.9	354.0	0.819	0.845	90	325.5	0.277	271	169	38.41																														
INDUCTIVO	128.4	130.6	126.9	3.08	2.22	2.27	205	90	196	491	973.47	0.504	840.6	1.712	3.08	0	690.8	0.000	1.71	315	223	382.2	0.824	0.887	135	341.7	0.395	315	176	35.85																														
USUARIO "2"	128.4	130.8	127.1	3.48	2.55	2.80	285	180	279	744	1136.25	0.655	888.8	1.154	3.49	121	783.4	0.154	2.36	440	223.3	527.1	0.835	1.325	390	510.4	0.764	561	183	24.60																														
RESISTIVO	128.2	130.3	126.7	4.60	3.64	4.01	430	330	420	1180	1572.08	0.751	1038.8	0.880	4.58	294	1025.3	0.287	3.56	620	222.6	792.3	0.792	2.47	825	950.0	0.868	914	266	22.54																														

TABLA N° 02

URN	USN	UTN	AR	AS	AT	WR	WS	WT	P real	S real	Cos real	Q real	A1	W1	S1	Cos1	A2	W2	S2	UST	SZ	Cos2	A3	W3	S3	Cos3	P medida	Diferencia	Diferencia %	WB	P aron	Diferencia	Diferencia %
128.1	129.8	126.3	2.21	1.313	1.55	160	45	160	365	649.29	0.56	536.99	2.21	18	493.60	0.04	1.538	347	341.11	1.017	0	0	0.00	0	0.00	25	340	365	0	0	0	0	0
128.2	130.5	126.8	3.12	2.27	212	92	182	486	982.75	0.49	854.17	2.22	10	497.37	0.02	1.542	318	343.60	0.925	0.86	120	330.76	0.363	328	158	32.51	8	485	493	-7	-1.44		
128.1	130.3	126.8	3.44	2.5	2.69	275	160	260	695	1107.51	0.63	862.29	2.21	105	494.56	0.21	1.536	415	342.00	1.213	1.179	315	453.09	0.695	520	175	25.18	108	590	698	-3	-0.43	
128.4	128.6	128.0	4.09	4.12	2.79	475	365	275	1115	1412.11	0.79	866.50	2.99	505	665.48	0.76	1.532	415	340.44	1.219	1.281	360	493.44	0.730	920	195	17.49	500	610	1110	5	0.45	

Tabla 1, 2 - Resultados de los circuitos de prueba 1 y 2, respectivamente.

$P_{\text{REAL}} = W_R + W_S + W_T$	=	potencia activa total entregada por la fuente a las cargas (W).
S_{REAL}	=	potencia aparente total entregada por la fuente a las cargas (VA).
Q_{REAL}	=	potencia reactiva total entregada por la fuente a las cargas (VA).
$\text{Cos}\phi_{\text{REAL}}$	=	factor de potencia total del conjunto.
A1	=	corriente por el medidor del "usuario 1".
W1	=	potencia activa registrada en el "suministro 1".
S1	=	potencia aparente en el "suministro 1".
$\text{Cos}\phi_1$	=	factor de potencia en el "suministro 1".
A2	=	corriente por el medidor del "usuario 2".
W2	=	potencia activa registrada en el "suministro 2".
S2	=	potencia aparente en el "suministro 2".
$\text{Cos}\phi_2$	=	factor de potencia en el "suministro 2".
A3	=	corriente por el motor trifásico.
W1	=	potencia activa consumida por el motor trifásico.
S1	=	potencia aparente consumida por el motor trifásico.
$\text{Cos}\phi_3$	=	factor de potencia del motor trifásico.

$P_{\text{MEDIDA}} = W1 + W2$ = potencia registrada por los medidores de los usuarios 1 y 2.

Diferencia = $P_{\text{REAL}} - P_{\text{MEDIDA}}$ = diferencia entre las lecturas, potencia activa real consumida y potencia activa registrada por los medidores de los usuarios 1 y 2.

Diferencia % = diferencia entre las lecturas expresado como porcentaje de la potencia activa real.

ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS

ANÁLISIS DEL PRIMER CIRCUITO

En la tabla 1 podemos apreciar que existe una diferencia entre la potencia real suministrada por la red y la suma de los consumos registrada por los medidores de cada "usuario".

También se aprecia que para bajos factores de potencia esta diferencia es mayor (ver columnas $\text{Cos}\phi$ y Diferencia %).

Es importante señalar que cualquier medidor puede girar en sentido contrario, dependiendo fundamentalmente del valor de la potencia y factor de potencia del motor y de la carga del usuario. Por ejemplo en la medición N°14, la carga del usuario era resistiva-inductiva y el motor tenía un factor de potencia de 0,277 en atraso, lográndose que el sentido de giro del disco se invierta.

Las condiciones típicas de operación serán evaluadas según un análisis fasorial que a continuación desarrollamos.

- Caso A. Sin la carga trifásica conectada.
- Caso B. Con una carga trifásica de 0,8 de factor de potencia en atraso.
- Caso C. Con una carga trifásica de 0,5 de factor de potencia en atraso.
- Caso D. Con una carga trifásica de 0,26 de factor de potencia en atraso.

Caso A

Este es el caso donde el motor trifásico no está presente por lo tanto su corriente (I_M) es cero.

La corriente por el medidor es I_1 , que para esta condición es igual a la corriente que toma el "usuario 1" (I_{L1}).

Por lo tanto, se concluye que la potencia consumida por el usuario 1 es registrada por el medidor correctamente. Como podemos ver en la tabla, son las mediciones 1, 8 y 13. Las pequeñas diferencias se deben a errores de medida.

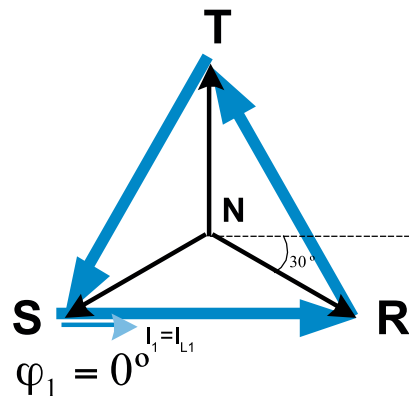


Figura 4 - Diagrama fasorial caso A.

Caso B

Se incluye la carga trifásica I_M con un factor de potencia de 0,8 en atraso ($\phi_M = 30^\circ$) como es el caso de un motor trifásico trabajando a plena carga.

La corriente por el medidor "1" será:

$$I_1 = I_{L1} + I_M$$

Vemos a continuación el diagrama fasorial respectivo.

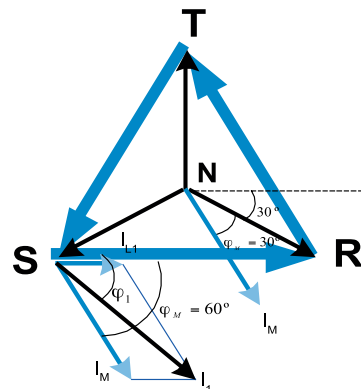


Figura 5 - Diagrama fasorial caso B.

Potencia medida por el medidor del "usuario 1":

$$W_1 = I_1 x U_{RS} x \cos \varphi_1 + I_M x U_{RN} x \cos 60^\circ$$

$$\varphi_1 = 0^\circ$$

$$W_1 = I_1 x U_{RS} x 1 + I_M x \frac{1}{2} x U_{RN}$$

$$W_1 = \left(I_1 + \frac{I_M}{2\sqrt{3}} \right) x U_{RS}$$

$$W_1 = \left(I_1 + \frac{I_M}{2\sqrt{3}} \right) x 220$$

Potencia medida por el medidor del "usuario 2":

$$W_2 = I_2 x U_{ST} x \cos \varphi_2 + I_M x U_{RN} x \cos 60^\circ$$

$$\varphi_2 = 0^\circ$$

$$W_2 = I_2 x U_{ST} x 1 + I_M x \frac{1}{2} x U_{RN}$$

$$W_2 = \left(I_2 + \frac{I_M}{2\sqrt{3}} \right) x U_{ST}$$

$$W_2 = \left(I_2 + \frac{I_M}{2\sqrt{3}} \right) x 220$$

La potencia real consumida por los dos usuarios es:

$$P_{REAL} = I_1 x U_{RS} x \cos \varphi_1 + I_2 x U_{ST} x \cos \varphi_2 + \sqrt{3} x I_M x U_{RS} x \cos 30^\circ$$

$$\varphi_1 = \varphi_2 = 0^\circ$$

$$P_{REAL} = I_1 x 220 x 1 + I_2 x 220 x 1 + \sqrt{3} x I_M x \cos 30^\circ x 220$$

$$P_{REAL} = (I_1 + I_2 + 1,5 x I_M) x 220$$

La suma de las potencias que registran los consumos W_1 y W_2 es:

$$W_1 + W_2 = \left(I_1 + I_2 + \frac{I_M}{\sqrt{3}} \right) x 220$$

La diferencia entre lo consumido y lo registrado es:

$$\text{Diferencia} = P_{REAL} - (W_1 + W_2) = 203 \cdot I_M$$

Vemos que el valor $(W_1 + W_2)$ es menor que la potencia real (P_{REAL}) , en $203 x I_M$ (vatios).

Es decir que la POTENCIA QUE SE ESTÁ REGISTRANDO ES MENOR QUE LA POTENCIA REAL CONSUMIDA.

Caso C

Ahora se varía el factor de potencia del motor a 0,5 en atraso ($\varphi_M = 60^\circ$), por lo tanto la corriente de la carga trifásica I_M está en atraso en 60° respecto a U_{RN} . Este es el caso típico de un motor operando a media carga.

Asimismo, la corriente por el medidor del "usuario 1" será:

$$I_1 = I_{L1} + I_M$$

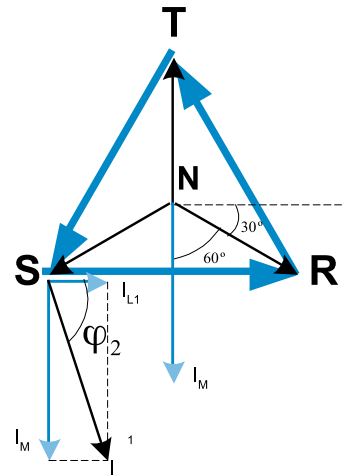


Figura 6 - Diagrama fasorial caso C.

Potencia medida por el medidor del "usuario 1" es:

$$W_1 = I_1 x U_{RS} x \cos \varphi_1 + I_M x U_{RN} x \cos 90^\circ$$

$$\varphi_1 = 0^\circ$$

$$W_1 = I_1 x U_{RS} x 1 + I_M x 0 x U_{RN}$$

$$W_1 = (I_1 + 0) x U_{RS}$$

$$W_1 = (I_1 + 0) x 220$$

Potencia medida por el medidor del "usuario 2":

$$W_2 = I_2 x U_{ST} x \cos \varphi_2 + I_M x U_{RN} x \cos 90^\circ$$

$$\varphi_2 = 0^\circ$$

$$W_2 = I_2 x U_{ST} x 1 + I_M x 0 x U_{RN}$$

$$W_2 = (I_2 + 0) x U_{ST}$$

$$W_2 = (I_2 + 0) x 220$$

La potencia real consumida por los dos usuarios es:

$$P_{REAL} = I_1 x U_{RS} x \cos \varphi_1 + I_2 x U_{ST} x \cos \varphi_2 + \sqrt{3} x I_M x U_{RS} x \cos 60^\circ$$

$$\varphi_1 = \varphi_2 = 0^\circ$$

$$P_{REAL} = I_1 x 220 x 1 + I_2 x 220 x 1 + \sqrt{3} x I_M x \cos 60^\circ x 220$$

$$P_{REAL} = \left(I_1 + I_2 + \frac{\sqrt{3}}{2} x I_M \right) x 220$$

La suma de las potencias W_1 y W_2 es:

$$W_1 + W_2 = (I_1 + I_2) x 220$$

La diferencia entre lo consumido y lo registrado es:

$$\text{Diferencia} = P_{REAL} - (W_1 + W_2) = 190,5 \cdot I_M$$

Vemos que este valor es menor que la potencia real (P_T) , en $190,5 x I_M$ (vatios).

Como podemos notar, los medidores de los usuarios "1" y "2", NO REGISTRAN NINGÚN CONSUMO DE LA CARGA TRIFÁSICA.

Caso D

Ahora consideramos que el motor trifásico está operando con factor de potencia de 0,26 en atraso ($\varphi_M = 75^\circ$). Este puede ser el caso de un motor operando en vacío. Como sabemos :

$$I_1 = I_{L1} + I_M$$

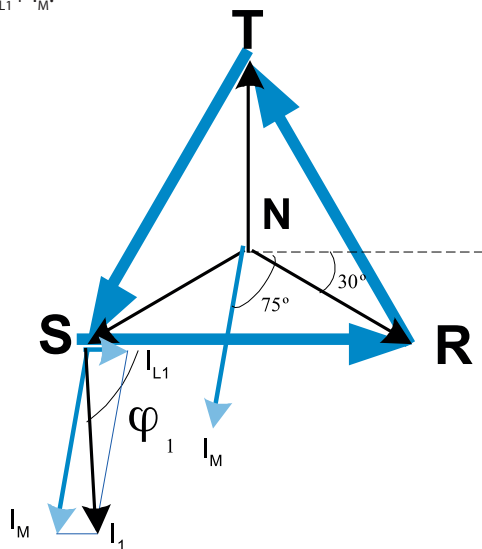


Figura 7 - Diagrama fasorial caso D.

Potencia medida por el medidor del "usuario 1" es:

$$W_1 = I_1 \times U_{RS} \times \cos \varphi_1 + I_M \times U_{RN} \times \cos 105^\circ$$

$$\varphi_1 = 0^\circ$$

$$W_1 = I_1 \times U_{RS} \times 1 - I_M \times 0,26 \times U_{RN}$$

$$W_1 = (I_1 - 0,15) \times U_{RS}$$

$$W_1 = (I_1 - 0,15) \times 220$$

Potencia medida por el medidor del "usuario 2":

$$W_2 = I_2 \times U_{ST} \times \cos \varphi_2 + I_M \times U_{RN} \times \cos 105^\circ$$

$$\varphi_2 = 0^\circ$$

$$W_2 = I_2 \times U_{ST} \times 1 + I_M \times 0,26 \times U_{RN}$$

$$W_2 = (I_2 - 0,15) \times U_{ST}$$

$$W_2 = (I_2 - 0,15) \times 220$$

La potencia real consumida por los dos usuarios es:

$$P_{REAL} = I_1 \times U_{RS} \times \cos \varphi_1 + I_2 \times U_{ST} \times \cos \varphi_2 + \sqrt{3} \times I_M \times U_{RS} \times \cos 75^\circ$$

$$\varphi_1 = \varphi_2 = 0^\circ$$

$$P_{REAL} = I_1 \times 220 \times 1 + I_2 \times 220 \times 1 + \sqrt{3} \times I_M \times \cos 75^\circ \times 220$$

$$P_{REAL} = (I_1 + I_2 + 0,448 \times I_M) \times 220$$

La suma de las potencias W_1 y W_2 es:

$$W_1 + W_2 = (I_1 + I_2 - 0,299 \times I_M) \times 220$$

La diferencia entre lo consumido y lo registrado es:

$$\text{Diferencia} = P_{REAL} - (W_1 + W_2) = 164,4 \cdot I_M$$

Vemos que el valor de $(W_1 + W_2)$ es menor que la potencia real (P_{REAL}), en $164,4 \times I_M$. Es más, existe la posibilidad que la suma $W_1 + W_2$ sea cero cuando $(I_1 + I_2) = 0,299 I_M$ (disco del contador detenido), y negativo si $(I_1 + I_2) < 0,299 I_M$, entonces el disco del contador de energía giraría en sentido contrario.

ANÁLISIS DEL SEGUNDO CIRCUITO

Como podemos apreciar de los resultados de la tabla 2, un medidor de dos sistemas, puede medir satisfactoriamente el consumo de los "usuarios 1 y 2" y la del motor trifásico incluido.

CONCLUSIONES

- El consumo de una carga trifásica no prevista, compartiendo fases entre dos suministros monofásicos no es registrada en su totalidad por los medidores de energía de dichos suministros monofásicos, influyendo negativamente en el registro del consumo de las cargas monofásicas.
- Asimismo, de los resultados obtenidos podemos afirmar que la diferencia entre el consumo real y el consumo registrado (en los dos suministros monofásicos) es mayor cuanto menor es el factor de potencia de la carga trifásica como lo es, un motor trifásico en vacío o con baja carga.
- El giro del disco de inducción del medidor de energía se puede detener o invertir su sentido para factores de potencia inferiores a 0,5 en atraso. Cabe indicar que depende de la potencia del motor respecto a la carga del usuario.
- La conexión de un medidor trifásico de dos sistemas puede medir correctamente el consumo de las cargas ya sea monofásicas, trifásicas o combinando estas.
- Este tipo de conexión presenta corriente homopolar dado que la sumatoria de las corrientes de línea no es cero.
- La corriente homopolar medida en estos casos sería la corriente de línea del motor trifásico.

RECOMENDACIONES

- Este tipo de conexiones se puede detectar empleando interruptores diferenciales con sensibilidades del orden de los 500mA.

- Asesorar a los usuarios con suministro monofásico y que cuenten con pequeñas cargas trifásicas (de hasta 2 kW), a crear una tercera fase, a partir de una derivación de una de las líneas y un condensador.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- 1 Wolfgang Muller – Schwarz, Fundamentos de Electrotecnia; Siemens AG, 1975; 188-200.
- 2 García J, Moreno A, Circuitos Eléctricos – Problemas y ejercicios resueltos.
- 3 González B, López E, Sistemas Polifásicos, Ed. Paraninfo.
- 4 Castejón A, Santamaría G, Tecnología Eléctrica, Ed. Mc Graw - Hill.

Campus Arequipa

Urb. Monterrey Lote D-8 José Luis Bustamante y Rivero. Arequipa, Perú

T: (54)426610 - F: (54)426654

MAIL: principal@tecsup-aqp.edu.pe

Campus Lima

Av. Rodolfo Beeck Navarro 2221 Santa Anita. Lima 43, Perú

T: (51)317-3900 - F: (51-1)317-3901

MAIL: informes@tecsup.edu.pe

www.tecsup.edu.pe



TECSUP