

# Análisis de la Corriente de Neutro en Sistemas Trifásicos con Polución Armónica

J. A. Suárez, G. F. di Mauro, C. Dimenna, D. Anaut y C. Agüero  
Facultad de Ingeniería Universidad Nacional Mar del Plata  
Grupo LAT (lat@mdp.edu.ar)

**Abstract--** Este trabajo analiza potenciales variables que afectan a la corriente de neutro cuando los receptores conectados presentan características no lineales.

Se simularon en el programa *Alternative Transients Program* distintos escenarios combinando el tipo y número de unidades de cargas, alimentadas sucesivamente con tensiones sinusoidales, simétricas, balanceadas, asimétricas y desbalanceadas. También ha sido estudiado el efecto de armónicos en la tensión de alimentación.

Como producto de las simulaciones con fuentes asimétricas y desbalanceadas se comprobó variaciones en la corriente de neutro de hasta un 5%. Los análisis de los efectos diversidad y atenuación registraron variaciones más importantes: 10% y 20% respectivamente.

Los resultados alcanzados demuestran que las asimetrías y desbalances en las fuentes de alimentación tienen una ligera incidencia en la corriente de neutro, mientras que más preponderante resultaron los efectos diversidad y atenuación.

**Palabras Clave:** corriente de neutro, armónicos, simulación, *Alternative Transients Program*.

## I. NOMENCLATURA

$I_{R(t)}, I_{S(t)}, I_{T(t)}$	Corrientes de fases R, S y T en función del tiempo
$n = 1, 3, 5$	Orden del armónico
$\alpha_n$	Angulo de fase
$k$	$k = 0, 1, 2$
$I_N$	Valor eficaz de la corriente de neutro
$I_f$	Valor eficaz de la corriente total de fase
$m$	Relación porcentual de la carga en la fase T sobre la carga de la fase R.
$THD_U, THD_I$	Índice de distorsión armónica total de tensión, corriente
$Z_{eq}, X_{eq}, R_{eq}$	Impedancia, reactancia, resistencia equivalente de línea
$X_N, R_N$	Reactancia, resistencia del conductor de neutro
$U_R, U_S, U_T$	Valor eficaz de las tensiones de fases R, S y T.
$U_{3,R}$	Valor eficaz del componente armónico de orden 3 de la tensión de fase R
$I_{1,N}, I_{3,N}, I_{9,N}, I_{15,N}, I_{21,N}$	Valor eficaz de los componentes armónicos de corriente de neutro
$I_{1,f}, I_{3,f}, I_{9,f}$	Valor eficaz de los componentes armónicos de corriente de fase
$I_{15,f}, I_{21,f}$	

## II. INTRODUCCION

La proliferación de cargas no lineales como computadoras personales (PCs), lámparas fluorescentes compactas (LFCs), fuentes conmutadas de diferentes equipos electrónicos, etc. se ha incrementado fuertemente en las últimas décadas, provocando una sensible degradación de la calidad de la energía.

Las cargas no lineales demandan corrientes no sinusoidales y debido a la impedancia de cortocircuito de la red, provocan la aparición de armónicos de tensión en el punto de conexión común. El incremento de los armónicos de baja frecuencia en las redes de distribución, que generalmente coinciden con los armónicos dominantes de cargas no lineales, ocasiona problemas para los receptores conectados al mismo punto, como fallos de operación en los equipos de medida, control y protección, además de un aumento de temperatura en conductores y generadores.

Un problema importante a analizar cuando estas cargas son conectadas a sistemas trifásicos tetrafilares, es el nivel de corriente en el conductor de neutro, que suele ser elevado y en algunos casos puede superar a la corriente de fase. Contrariamente al pensamiento tradicional, esfuerzos hechos para balancear las cargas entre las fases pueden contribuir a incrementar la magnitud de la corriente de neutro. La excesiva corriente de neutro en presencia de cargas no lineales es un tema de interés en la investigación de la calidad de la energía ampliamente tratado por la literatura técnica [1]-[5].

En el mismo contexto, este trabajo propone analizar el comportamiento de la corriente de neutro de un sistema trifásico en función de la variación de parámetros inherentes tanto a la carga como a la red de alimentación. Para lograr este objetivo se simularon en el *Alternative Transients Program* (ATP), distintos modelos de cargas combinados con diferentes condiciones en las fuentes de alimentación.

## III. REVISIÓN TEÓRICA

Se presenta en esta sección una revisión de conceptos asociados al estudio de las corrientes provocadas por cargas no lineales.

En un sistema eléctrico trifásico, la corriente de neutro es el vector suma de las tres corrientes de líneas. Si el sistema de alimentación es balanceado, con una simetría de sus ondas en 120° eléctricos y con carga lineal trifásica perfectamente balanceada, la corriente de neutro es igual a cero. En la

práctica se espera que en un sistema trifásico de cuatro hilos, medianamente balanceado, la corriente que circula por el neutro sea apenas un 20% de la corriente de fase. Muy distinto es el panorama si las cargas no son lineales. La aparición de los componentes armónicos impares, en particular los múltiplos de tres, inciden en el aumento de la corriente de neutro aunque el sistema se encuentre balanceado.

En un sistema trifásico de cuatro hilos con cargas no lineales balanceadas, la corriente en el neutro dependerá básicamente del contenido armónico de las corrientes de fases.

Si suponemos cargas no lineales con componentes armónicos impares, se puede descomponer a cada una de las corrientes de fase usando la Serie de Fourier:

$$I_R(t) = I_1 \sen(\omega t + \alpha_1) + I_3 \sen(3\omega t + \alpha_3) + I_5 \sen(5\omega t + \alpha_5) + \dots (1)$$

$$I_S(t) = I_1 \sen\left(\omega t - \frac{2\pi}{3} + \alpha_1\right) + I_3 \sen\left(3\left(\omega t - \frac{2\pi}{3}\right) + \alpha_3\right) + \dots \\ + I_5 \sen\left(5\left(\omega t - \frac{2\pi}{3}\right) + \alpha_5\right) + \dots (2)$$

$$I_T(t) = I_1 \sen\left(\omega t - \frac{4\pi}{3} + \alpha_1\right) + I_3 \sen\left(3\left(\omega t - \frac{4\pi}{3}\right) + \alpha_3\right) + \dots \\ + I_5 \sen\left(5\left(\omega t - \frac{4\pi}{3}\right) + \alpha_5\right) + \dots (3)$$

La expresión de la corriente en el neutro en un sistema trifásico simétrico y balanceado puede ser escrita como la sumatoria de las corrientes de las fases.

$$I_{n(t)} = I_{R(t)} + I_{S(t)} + I_{T(t)} = \sum 3I_{6k+3} \sen((6k+3)\omega t + \alpha_{6k+3}) (4)$$

La ecuación (4), muestra que la corriente en el neutro bajo condiciones balanceadas, es producida por las componentes de secuencia cero (3, 9, 15, 21...) de las corrientes de las fases.

Se define con  $\rho_1$  a la relación:

$$\rho_1 = \frac{I_N}{I_f} = \frac{\sqrt{\sum (3I_{6k+3})^2}}{\sqrt{\sum (3I_{6k+1})^2 + \sum (3I_{6k+3})^2 + \sum (3I_{6k+5})^2}} (5)$$

En un circuito simétrico y balanceado, la relación  $\rho_1$  se incrementa con el aumento del armónico de tercer orden y con la disminución del primero y quinto de la corriente de fase.

Si las corrientes de fases solo tienen componentes armónicos impares con  $I_3 = q \cdot I_1$ ,  $I_5 = q^2 \cdot I_1$ ,  $I_7 = q^3 \cdot I_1 \dots$ , se deduce que la relación entre la corriente de neutro y fase resulta [6]:

$$\rho_1 = 3 \frac{q}{\sqrt{1 + q^2 + q^4}} (6)$$

Se demuestra que la corriente de neutro es máxima e igual a  $\sqrt{3}$  veces la corriente de línea cuando  $q=1$ , condición que se cumple cuando todos los componentes armónicos tienen el mismo peso.

La ecuación de  $\rho_1$  en función del índice de distorsión armónica total de corriente ( $THD_I$ ) puede expresarse como [7]:

$$\rho_2 = 3 \frac{THD_I}{\sqrt{1 + THD_I^2}} (7)$$

La Ecuación 7 es válida bajo el supuesto que los armónicos son impares y el de tercer orden es el más preponderante, alcanzando el máximo (1,73) cuando el índice de distorsión de corriente es del 70,7%.

A partir de un sistema desbalanceado, con dos fases (R y S) cargadas al 100% y la tercera (T) con carga variable desde 0 hasta 100%, la Ecuación 7 puede ser reescrita [8]:

$$\rho_3 = \sqrt{(1-m)^2 + (6m+3) \frac{THD_I^2}{100^2 + THD_I^2}} (8)$$

Las gráficas de las Fig. 1 y 2 representan la variación de  $\rho_1$  y  $\rho_3$  en función de "q" y "m" respectivamente.

#### IV. METODOLOGÍA

En este apartado se describen las metodologías empleadas en distintos escenarios en los cuales se variaron las condiciones de carga y alimentación de una red trifásica con conductor de neutro.

El primer paso consistió en ensayar el comportamiento de dos tipos de cargas: una con alta distorsión de corriente ( $THD_I$  del 90%), combinación de computadora y monitor (PC) y una segunda con un  $THD_I$  relativamente bajo (30%) representada por una lámpara fluorescente (LF). De estos ensayos se obtuvieron las amplitudes y ángulos de fase de los componentes armónicos, resumidos en la Tabla I.

Con los datos obtenidos, se modelaron en el ATPDraw (preprocesador gráfico del ATP) los circuitos eléctricos de la fuente trifásica de alimentación y de las cargas seleccionadas (PC y LF).

Uno de los sistemas de alimentación utilizado, es una red trifásica con neutro, cuyo esquema equivalente es el de la Fig. 3 (Sistema 1), empleando fuentes "tipo 14" del ATP, suficientes para el análisis de simetría y desbalance en las tensiones. La impedancia equivalente de la combinación transformador-línea,  $Z_{eq} = R_{eq} + jX_{eq}$ , es igual a  $0.5\Omega + j0.09\Omega$ . La impedancia del neutro  $Z_N = R_N + jX_N$ , es igual a  $0.1\Omega + j0.02\Omega$ .

Para analizar la influencia de armónicos en la tensión, el esquema a simular es el de la Fig. 4 donde las fuentes han sido reemplazadas por las del tipo HFS, Harmonic Frequency Scan (Sistema 2). La tensión de cada una de las fases se ajustó a 220 V eficaz.

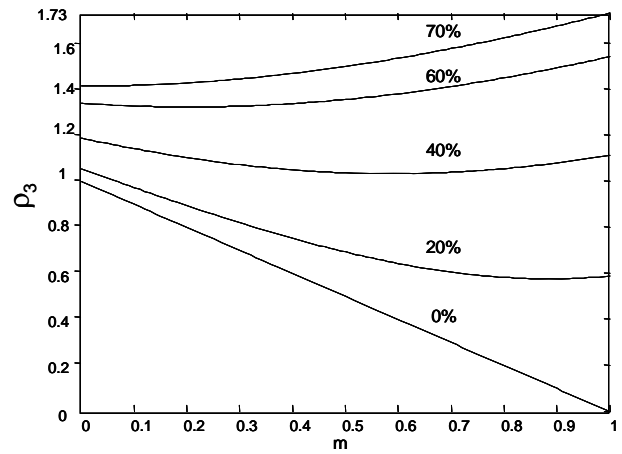
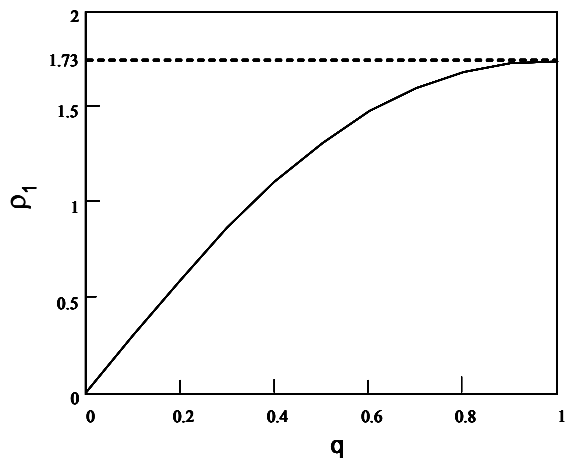


Fig. 1. Relación entre la corriente de neutro y de fase ( $\rho_1$ ) en función de  $q$  ( $I_3/I_1$ ).

Fig. 2. Relación entre la corriente de neutro y de fase ( $\rho_3$ ) en función del parámetro  $m$  relación entre las cargas de las fases T y R.

TABLA I  
ANÁLISIS DEL ESPECTRO DE FRECUENCIAS DE PC+MONITOR Y LFC

Armónico	Computadora + monitor (PC)		Lámpara Fluorescente Compacta (LFC)	
	Amplitud [A]	Angulo [°]	Amplitud [A]	Angulo [°]
Fundamental	0,660	-25	0,0580	-46
3	0,420	-88	0,0420	-52
5	0,150	-158	0,0200	-61
7	0,040	-18	0,0230	-81
9	0,100	-93	0,0170	-104
11	0,042	-152	0,0120	-106
13	0,019	-54	0,0100	-118
15	0,037	-93	0,0054	-129
17	0,018	-127	0,0045	-112
19	0,004	-126	0,0046	-127
21	0,011	-141	0,0043	-124

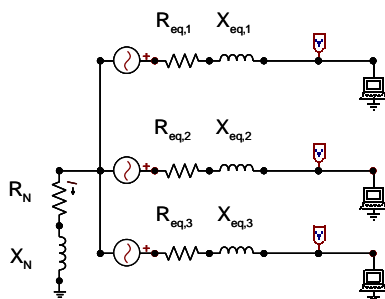


Fig. 3. Sistema 1, utilizando fuentes de tensión del tipo 14 del ATP

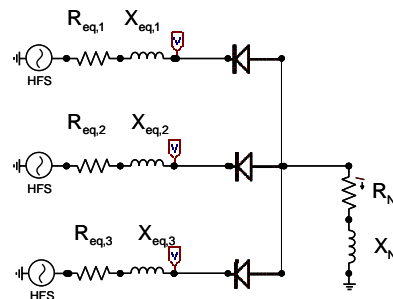


Fig. 4. Sistema 2, utilizando fuentes de tensión del tipo HFS

## V. SIMULACIÓN Y RESULTADOS

Las simulaciones en el ATP se realizan con distintas condiciones de cargas para regímenes balanceados y desbalanceados.

### *Alimentación balanceada y simétrica con cargas balanceadas*

Para analizar el comportamiento de la corriente de neutro ante distintos tipos de cargas no lineales, a cada una de las fases de la red trifásica del Sistema 1, se las cargó sucesivamente con una PC, y luego con una LF. En cada una de las simulaciones se registraron las corrientes de  $I_f$  y  $I_N$  con sus respectivos espectros armónicos y se calcularon las relaciones  $I_N/I_f$  definidas en Ecuación 6 y 7 junto a la simulada ( $\rho_s$ ). Los valores obtenidos se resumen en la Tabla II

De la Tabla II se deduce:

- Para la carga PC,  $\rho_2$  se aproxima al valor simulado, puesto que el 90% del  $THD_I$  está provocado por una alta componente de tercer orden, condición necesaria para que la Ecuación 7 sea válida. Más del 85% del valor eficaz de la suma de todos los componentes armónicos pertenece al de orden 3.

- En el otro extremo para las LFs, encontramos  $\rho_1$  más próximo a  $\rho_s$ , puesto que en este caso el armónico 3 no es tan preponderante en la composición del  $THD_I$  con tan solo un 22% de la componente fundamental.

### *Red balanceada y simétrica con cargas desbalanceadas*

A la misma configuración de la red trifásica del Sistema 1, se alimentó las fases R y S con diez unidades idénticas, primero con PCs y luego con LFs. La carga en la fase T se incrementó de a dos unidades, desde cero hasta 10.

Del resultado de las simulaciones se grafican en la Fig.5,  $I_N/I_f$  en función del porcentaje de carga en la fase T. Como se observa los valores de  $\rho_s$  pertenecientes a la cargas con distorsión de corriente superior al 70% (PCs) aumentan con el incremento del porcentaje de la carga T y su curva se aproxima a los máximos obtenidos con la Ecuación 8.

Por el contrario, para las LFs los valores de corriente de neutro, sensiblemente inferiores a los máximos teóricos, disminuyen en la medida que el sistema se equilibra.

### *Red de alimentación desbalanceada*

Para estudiar la influencia en la corriente de neutro que provoca el desbalance en las tensiones de fases y la asimetría entre sus fasores se utilizó como carga, para cada una de las fases del Sistema 1, un modelo de rectificador monofásico del tipo puente, con una potencia de 300 W y un  $THD_I$  del 87%, que representa la corriente de consumo de muchos tipos de cargas no lineales.

Cuatro simulaciones fueron realizadas para analizar el impacto del desbalance. Se varió el valor eficaz de cada una de las tensiones de fases desde 0 hasta  $\pm 10\%$  de la referencia (220 V).

Los datos de la Tabla III permiten demostrar que prácticamente las diferencias relativas porcentuales en la

corriente de neutro ( $\Delta_r\%$ ) respecto al valor con tensión balanceada, apenas alcanzan el -1%. Esto es debido a que una pequeña disminución del tercer armónico en la corriente del neutro ( $I_{3,N}$ ) se compensa con un ligero aumento de la componente de primer orden ( $I_{1,N}$ ).

### *Red de alimentación asimétrica*

Utilizando la configuración anterior, ahora manteniendo el sistema balanceado en 220V, realizamos simulaciones modificando la asimetría de las fuentes, con variaciones de ángulos entre  $\pm 2.5\%$  a  $\pm 10\%$ .

En la Tabla IV se resumen los valores de variación porcentual de la corriente de neutro en función de la asimetría de la tensión de alimentación. En la misma observamos disminuciones poco significativas en  $I_N$  y justificaciones muy similares a las del ensayo anterior: leves disminuciones del tercer armónico en la corriente de neutro se contrarrestan con pequeños aumentos de  $I_{1,N}$ .

### *Red con armónicos de tensión*

Para investigar los efectos que producen los componentes armónicos de tensión de la fuente trifásica de alimentación en la corriente  $I_N$ , se utilizó el Sistema 2. A cada una de las tensiones de fase se le incorporó un armónico de tercer orden de 10 V de valor eficaz y con un ángulo de fase inicial  $\beta_3=0^\circ$ , respecto al componente fundamental de la tensión.

Usando como carga el mismo modelo de rectificador de 300 W se realizaron tres simulaciones distintas variando el ángulo de fase  $\beta_3$  en  $0^\circ$ ,  $90^\circ$  y  $180^\circ$ .

Los resultados son resumidos en la Tabla V. Las mayores fluctuaciones se registran para  $\beta_3=0^\circ$  y  $\beta_3=180^\circ$ , provocadas por aumento y disminución del tercer armónico de corriente en correspondencia con la mayor y menor amplitud de la onda de tensión respectivamente.

### *Análisis del efecto de diversidad*

Para el analizar el impacto que el efecto diversidad provoca en la corriente de neutro se realizaron simulaciones en dos escenarios distintos:

#### Escenario 1:

Para esta evaluación se conectaron seis modelos idénticos del rectificador puente con una potencia individual de 265 W, a cada una de las fases del Sistema 1, teniendo como objetivo analizar el comportamiento de la corriente de neutro. A los efectos de no superponer el efecto atenuación, fue despreciada la impedancia  $Z_{eq}$ .

#### Escenario 2:

A cada rectificador se le varió el nivel de potencia en valores de  $\pm 35\%$ , a partir de un valor medio de 265 W, modificando la resistencia de carga. Las variaciones en el nivel de potencia de cada uno de los convertidores provocan diferencias en los ángulos de fase de los componentes armónicos.

TABLA II  
VALORES  $\rho_1, \rho_2, \rho_3$  PARA LAS CARGAS SIMULADAS

Carga	THD <sub>I</sub> [%]	$q=I_3/I_1$	$\rho_1$	$\rho_2$	$\rho_3$
1 x LF	30.49	0.221	0.647	0.875	0.679
1 x PC	90.04	0.770	1.657	1.732	1.726

TABLA III  
VARIACIÓN PORCENTUAL DE LA CORRIENTE DE NEUTRO EN FUNCIÓN DEL DESBALANCE DE LA TENSIÓN DE ALIMENTACIÓN

Variación de Amplitud de Tensión	$U_R$ [V]	$U_S$ [V]	$U_T$ [V]	$I_N$ [A]	$I_{1,N}$ [A]	$I_{3,N}$ [A]	$\Delta_r\%$
±0%	220	220	220	2.341	0.0005	2.3407	0
±2.5%	226	215	220	2.339	0.0446	2.3264	-0.61
±5%	209	231	220	2.34	0.0934	2.326	0.63
±10%	242	198	220	2.337	0.1877	2.3164	-1.04

TABLA IV  
VARIACIÓN PORCENTUAL DE LA CORRIENTE DE NEUTRO EN FUNCIÓN DE LA ASIMETRÍA DE LA TENSIÓN DE ALIMENTACIÓN

Variación de Ángulo de la tensión	$\phi_R$ [°]	$\phi_S$ [°]	$\phi_T$ [°]	$I_N$ [A]	$I_{1,N}$ [A]	$I_{3,N}$ [A]	$\Delta_r\%$
0%	0	120	240	2.341	0.001	2.341	0.00
±2.5%	0	123	243	2.337	0.055	2.322	-0.17
±5%	0	126	246	2.326	0.110	2.301	-0.64
±10%	0	132	252	2.283	0.219	2.222	-2.49

TABLA V  
CORRIENTE DE NEUTRO Y SUS COMPONENTES ARMÓNICOS EN FUNCIÓN DE LA VARIACIÓN DEL ÁNGULO DE FASE DEL ARMÓNICO DE TENSIÓN

Componente Armónico Tensión		THD <sub>U</sub>	THD <sub>I</sub>	$I_N$	$I_{3,N}$	$I_{9,N}$	$I_{15,N}$	$\Delta_r\%$
$\beta_3$ [°]	$U_{3,R}$ [V]	[%]	[%]	[A]	[A]	[A]	[A]	
0	0	0	87	2.34	2.34	0.21	0.09	0.00
0	10	4.53	95	2.55	2.54	0.07	0.02	8.76
90	10	4.53	89	2.38	2.37	0.18	0.08	1.77
180	10	4.53	76	2.09	2.07	0.29	0.10	-10.61

Los datos finales de las simulaciones en los dos escenarios, comparando las corrientes de fase y neutro se resumen en la Tabla VI. El factor diversidad provoca en la corriente de neutro y para las condiciones analizadas, una reducción de 11.1 A a 9.7 A.

#### Análisis del efecto atenuación

Para analizar la influencia de la impedancia de línea de alimentación en la corriente de neutro, nueve modelos de rectificadores con una potencia individual media de 420 W son conectados a cada una de las fases del Sistema 1.

Como referencia corremos una primera simulación sin conectar impedancia alguna en la línea. Posteriormente manteniendo el valor de  $R_{eq}$  constante e igual a  $0.5\Omega$ , variamos la  $X_{eq}$ , obteniendo simulaciones con una relación de  $X_{eq}/R_{eq}$  desde 0 hasta 2.5.

En la Tabla VII se resumen para cada una de las relaciones  $X_{eq}/R_{eq}$  los valores de corrientes de neutro obtenidos. Un aumento de la relación  $X_{eq}/R_{eq}$  produce una mayor deformación en la onda de tensión, que provoca una reducción del tercer armónico y por ende una menor corriente en el neutro.

## VI. CONCLUSIONES

Con simulaciones realizadas en el programa ATP, se han analizado los diferentes factores que pueden impactar en la corriente de neutro.

A partir de las simulaciones con modelos de PCs en el esquema del Sistema 1, se concluye que cuando una red trifásica alimenta cargas no lineales con un fuerte contenido del tercer armónico, la corriente en el neutro se aparta del máximo teórico (1.73 veces la corriente de línea), disminuyendo cuanto más desbalanceado es el sistema de

cargas. La influencia de una red con tensiones desbalanceadas o asimétricas tiene poca incidencia en la corriente de neutro, registrando ligeras fluctuaciones entre 1% y 2.5%, conclusiones coincidentes a las obtenidas con modelos matemáticos de rectificadores [9].

El impacto de una tensión distorsionada ha sido analizado, inyectando un componente de tercer orden a la red, con una amplitud de 14 V y con distintos ángulos de fase ( $0^\circ$ ,  $90^\circ$  y  $180^\circ$ ). Para un defasaje de  $0^\circ$  la corriente del neutro aumenta un 9% y disminuye un poco más del 10% para un ángulo de  $180^\circ$ . Se concluye que el valor eficaz de la corriente de neutro es afectada tanto más cuanto mayor sea el ángulo de de fase del armónico.

Los análisis de los efectos diversidad y atenuación reflejan siempre disminuciones en la corriente de neutro que depende y en mucho de la cantidad de unidades similares de cargas no lineales conectadas. Por un lado el efecto diversidad conectando 6 PCs, con ligeras variaciones en su nivel de potencia, impactaron en más de un 10% en la disminución de la corriente en el neutro, registrando las mayores variaciones en armónicos de orden 9,15 y 21.

La influencia del efecto atenuación, analizadas con nueve rectificadores por fase registraron reducciones del 20% en la corriente de neutro. Estudios sobre el comportamiento de 124 unidades de PCs, conectados sobre una misma fase, se observaron reducciones de hasta un 50% en el tercer armónico de la corriente de línea [10].

Si bien en presencia de cargas no lineales con altos contenidos de armónicos y conectadas a una red trifásica, el nivel de la corriente de neutro puede ser importante, la suma de las causas estudiadas logra un significativo efecto de mitigación.

TABLA VI  
VALORES EFICACES DE LOS COMPONENTES ARMÓNICOS DE CORRIENTES DE FASE Y NEUTRO PARA CARGAS IDÉNTICAS Y DISTINTAS

Tipo Simulación	$I_f$ [A]	$I_N$ [A]	$I_{3,f}$ [A]	$I_{3,N}$ [A]	$I_{9,f}$ [A]	$I_{9,N}$ [A]	$I_{15,f}$ [A]	$I_{15,N}$ [A]	$I_{21,f}$ [A]	$I_{21,N}$ [A]
Cargas Iguales	7.58	11.13	3.703	11.1	0.194	0.584	0.119	0.358	0.029	0.088
Cargas Distintas	7.23	9.7	3.222	9.67	0.065	0.19	0.083	0.248	0.004	0.011

TABLA VII  
COMPORTAMIENTO DE LA CORRIENTE DE NEUTRO POR VARIACIÓN DE LA IMPEDANCIA DE LÍNEA

$R_{eq}$ [ $\Omega$ ]	$X_{eq}$ [ $\Omega$ ]	$X_{eq}/R_{eq}$	$I_N$ [A]	THD <sub>1</sub> [%]	$\Delta$ ,%
0.5	0	0	32.95	105	0
0.5	0.63	1.26	30.66	82	-7.47
0.5	1.26	2.5	25.94	71	-21.27

## VII. REFERENCIAS

- [1] Paraiso, D., É. Ngandui, M. de Montigny y P. Siccard; Characterization of neutral and line current harmonics in three-phase computer power systems, Industrial Electronics Society, Actas del 31<sup>o</sup> Conferencia Anual de la IEEE- IECON, Raleigh, USA 6 al 10 de noviembre (2005).
- [2] Batrinu F. y otros seis autores; Experimental evaluation of unbalance and distortion indicators in three-phase Systems with Neutral, Actas del IEEE Power Tech, Lausanne, Suiza 1 al 5 de julio (2007).
- [3] Chan M., K. Lee y M. Fung; A case study of harmonic currents generated from a computer centre in a office building, Architectural Science Review; 50(3), 274-280 (2007).
- [4] Chicco G., P. Postolache y C. Toader; Analysis of three-phase systems with neutral under distorted and unbalanced conditions in the symmetrical component-based framework, IEEE Transactions On Power Delivery; 22(1), 674-683, (2007).
- [5] Demoulias C, Z. Kampouri y K. Gouramanis; Natural canceling of current harmonics in office loads and its effect upon the transmission capacity of distribution cables, Actas del IEEE International Symposium on Industrial Electronics, Cambridge, Reino Unido 30 de junio al 2 de julio (2008).
- [6] Desmet J. y otros cuatro autores; Analysis of the neutral conductor current in a three phase supplied network with non-linear single phase loads, Actas del Electric Machines and Drives Conference, IEMDC IEEE International, Cambridge, USA 17 al 20 de junio (2001).
- [7] Arthur R. y R.A. Shanahan, Neutral Currents in Three Phase Wye Systems, Actas del IEEE, 7th. International Conference on Harmonics and Quality of Power, Las Vegas, USA 16 al 18 de Octubre (1996).
- [8] Cadavid D y L. Gallego; Armónicos y problemas de "power quality" en el conductor de neutro en sistemas trifásicos, Scientia Et Technica; 22(9), 19-24 (2003).
- [9] Sainz L., J. Pedra, J. y J. Mesas; Study of neutral conductor current in three-phase networks with single-phase converters, IEEE Transactions on Power Delivery; 21(3), 1466-1476 (2006).
- [10] Moore P. e I. Portugués; The influence of personal computer processing modes on line current harmonics, IEEE Transactions on Power Delivery; 18(4), 1363 – 1368, (2003).