

---

## EVALUACIÓN DEL NIVEL DE PERTURBACIONES EN ESTACIONES TRANSFORMADORAS DE 500 KV

**P.E. ISSOURIBEHERE\***  
IITREE FI-UNLP  
Argentina

**J.C. BARBERO**  
IITREE FI-UNLP  
Argentina

**G.A. BARBERA**  
IITREE FI-UNLP  
Argentina

**Resumen** – En diversas Estaciones Transformadoras pertenecientes a un corredor de 500 kV del Sistema Argentino de Interconexión se realizaron mediciones normalizadas de armónicas (según lo establecido en las Normas IEC e IEEE).

La principal razón por la cual se llevaron a cabo dichas mediciones se debió a la necesidad de instalar bancos de compensación de reactivo en derivación en cada una de ellas con la finalidad de optimizar la transmisión de potencia.

Las campañas de mediciones planificadas tuvieron un doble propósito: el primero de ellos fue conocer el grado de contaminación armónica existente en cada Estación Transformadora, y el segundo fue obtener datos experimentales, tanto de perturbaciones como de los modelos de emisión equivalentes, necesarios para la puesta a punto de los modelos de simulación empleados en los estudios eléctricos llevados a cabo para el diseño de los bancos de compensación.

Los registros de armónicas (tanto de tensión como de corriente), fueron en su mayoría de una semana de duración, y se realizaron en los secundarios – barras de instalación de los bancos - de los transformadores existentes en cada ET (tensiones de 132 kV ó 220 kV dependiendo del caso que se trate).

En el Trabajo se presentan en forma detallada los resultados obtenidos en cada uno de los sitios, comparando los valores medidos con los correspondientes niveles establecidos tanto en la normativa Argentina (ENRE) [1] como en la internacional (IEEE) [2].

La presentación de los resultados se efectúa por medio de perfiles temporales de las magnitudes registradas, diagramas de barras y tablas mostrando los parámetros estadísticos típicamente utilizados en este tipo de estudio, esto es valores medios, máximos y  $P_{95}$ . Se realiza además un análisis comparativo entre los niveles registrados en las diferentes Estaciones.

**Palabras clave:** Armónicas – Estación Transformadora – Límites – Nivel de Compatibilidad – THD.

### 1 INTRODUCCIÓN

Cuando se requiere instalar bancos de compensación de reactivo en un sistema de transmisión de energía eléctrica se deben llevar a cabo estudios para determinar a priori tanto el cambio a prever en el perfil de armónicas como para verificar la eventual sobrecarga de los futuros bancos y otros equipos del Sistema. [3]

Los estudios que generalmente se llevan a cabo requieren la realización de mediciones para conocer el contenido armónico previo a la instalación de los bancos y de simulaciones para predecir el funcionamiento del sistema una vez que dichos bancos se encuentren en funcionamiento. Las simulaciones generalmente se utilizan para determinar alguna posible magnificación del contenido armónico preexistente y para advertir un posible impacto sobre la red durante la conexión/desconexión de dichos bancos.

Es por ello que la medición del contenido armónico existente previo a la instalación de los bancos juega un rol fundamental en el diseño de los mismos. De acuerdo a los resultados obtenidos en las mediciones se decide la inclusión o no de algún tipo de filtro para mitigar las armónicas existentes.

Se presentan a continuación los resultados obtenidos en una campaña de medición realizada para tal fin.

## 2 GENERALIDADES

En la Fig. 1 se muestra un esquema eléctrico de los sitios en los cuales se efectuaron las mediciones de armónicas. Las mediciones fueron efectuadas de acuerdo a la normativa vigente y no simultáneamente, es decir, se midió una semana en la ET1, luego en la ET2, y así sucesivamente hasta alcanzar la última de ellas.

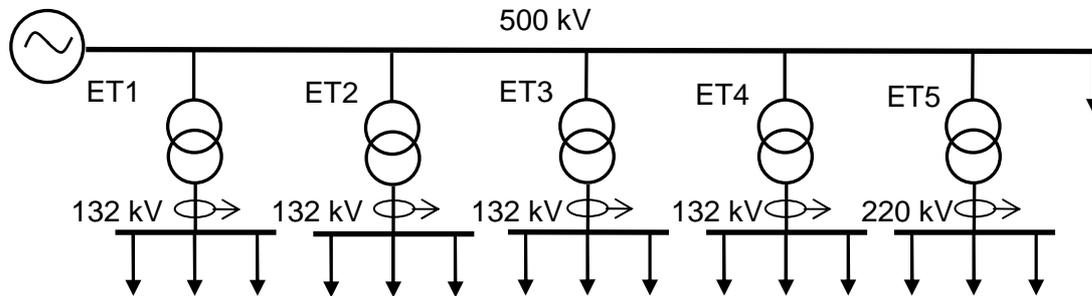


Fig. 1. Sitios en los que se efectuaron las mediciones.

Los registros se llevaron a cabo mediante los transformadores de medición existentes en las salidas de los Transformadores de potencia, es decir 132 kV para las ET1, 2, 3, 4 y 220 kV para la ET5.

Se registraron armónicas en la tensión y la corriente hasta la 40ª, tal como lo exige la normativa argentina. En la Fig. 2 se muestra una de las EETT en las que se llevaron a cabo los estudios.



Fig. 2. Fotografía de una de las cinco EETT donde se efectuaron las mediciones.

Los registros se llevaron a cabo con un instrumento comercial diseñado según Norma IEC para la medición de armónicas. Se trata de un equipo trifásico que registra, procesa y muestra contenidos armónicos de tensiones y corrientes. Las mediciones se realizan por cálculo de FFT en ventanas de varios ciclos. Los registros son almacenados como valores medios de intervalos de integración de 10 min. Detecta eventos transitorios de frecuencia industrial y oscilogramas, valores eficaces, energía, potencia, etc.

En la Fig. 2 se muestra una fotografía de este equipo conectado en las borneras de una de las EETT.

Además de este equipo se utilizó un analizador de armónicas monofásico de mano que mide armónicas y valores eficaces de tensiones, corrientes y potencia. Se utilizó, por un lado, para verificar el conexionado del equipo principal previo al comienzo de su registro y, por otro, para capturar oscilogramas puntuales de tensión y corriente en cada una de las líneas de 500 kV entrantes a la ET y en cada una de las líneas de 132 kV (o 220 kV) salientes de la ET.



Fig. 3. Equipo de registro conectado en una de las EETT.

### 3 PRESENTACIÓN DE RESULTADOS EN LAS DISTINTAS EETT

En lo que sigue, se resumen resultados de las mediciones realizadas en cada ET.

Las figuras 4, 6, 8, 10 y 12 muestran, para cada fase, la evolución temporal de las distorsiones totales de tensión y de corriente.

Las figuras 5, 7, 9, 11 y 13 muestran, las armónicas individuales hasta la 20ª en las tres fases (las de orden superior resultaron despreciables en todos los casos). El valor para cada armónica es el percentil 95 (valor superado por sólo el 5 % de los registros de 10' del intervalo de medición).

La Tabla I muestra los valores numéricos de las armónicas individuales de las tensiones (en la peor de las tres fases) hasta la 20ª. Cada armónica es ponderada a través de los parámetros estadísticos normalmente empleados, que son el valor medio, el P95 y el valor máximo. Estos parámetros son comparados con los niveles exigidos por la Res. ENRE 184/00 y la Norma IEEE 519-1992.

La Tabla II muestra los valores numéricos de las armónicas individuales de las corrientes (en la peor de las tres fases) hasta la 20ª. Cada armónica es ponderada a través de los parámetros estadísticos normalmente empleados, que son el valor medio, el P95 y el valor máximo. Las componentes de orden superior a la 20ª resultaron despreciables.

En todos los casos las componentes de las tensiones se expresan en [%] del valor de la componente fundamental, y las componentes de las corrientes se expresan en [A], tal como lo requieren los Estándares Internacionales.

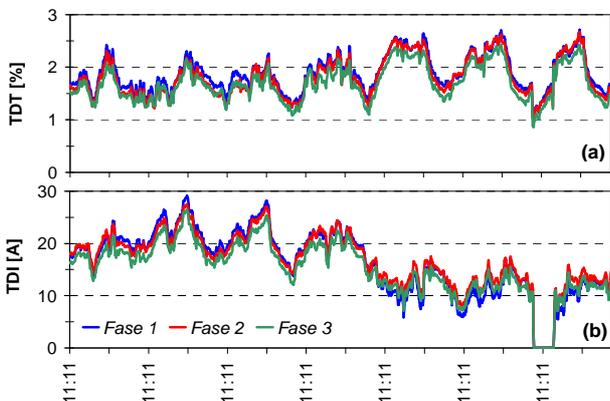


Fig. 4. ET1. Perfil de la distorsión total. (a) tensiones. (b) corrientes.

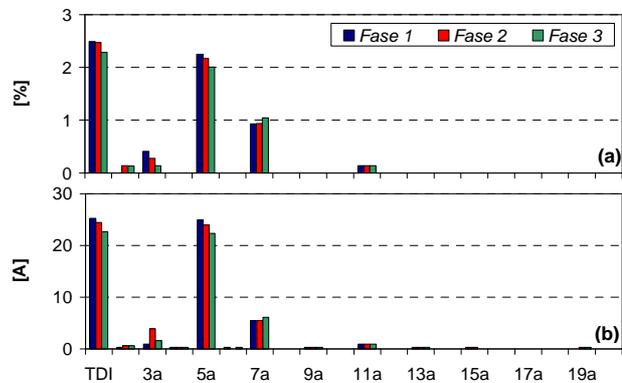


Fig. 5. ET1. Componentes armónicas individuales por fase – valores P95 –. (a) tensiones. (b) corrientes.

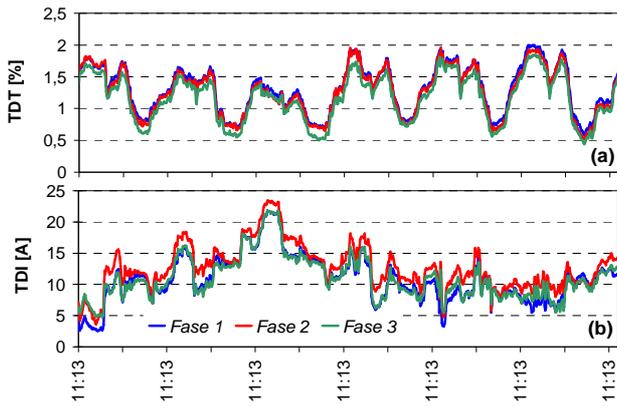


Fig. 6. ET2. Perfil de la distorsión total. (a) tensiones. (b) corrientes.

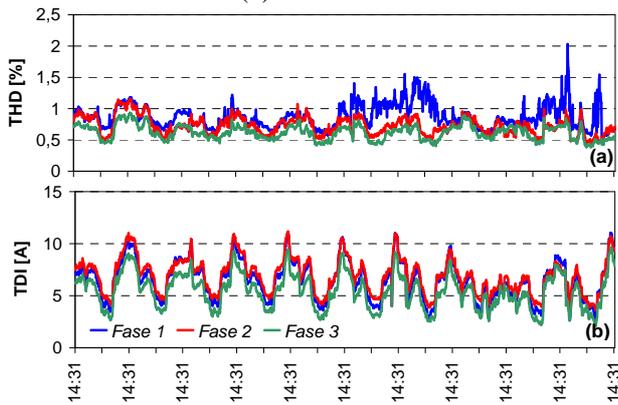


Fig. 8. ET3. Perfil de la distorsión total. (a) tensiones. (b) corrientes.

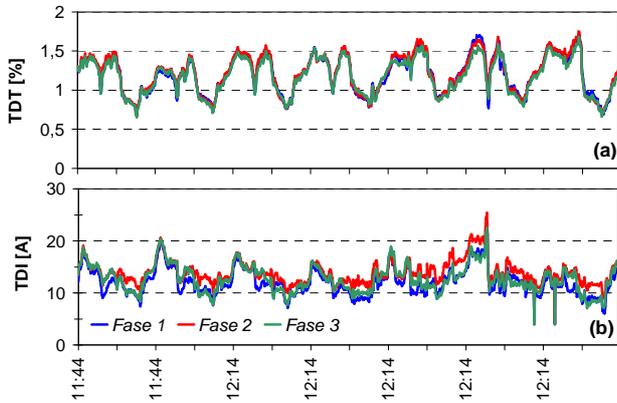


Fig. 10. ET4. Perfil de la distorsión total. (a) tensiones. (b) corrientes.

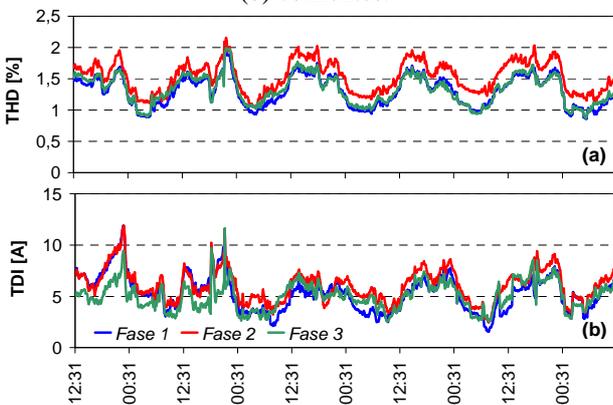


Fig. 12. ET5. Perfil de la distorsión total. (a) tensiones. (b) corrientes.

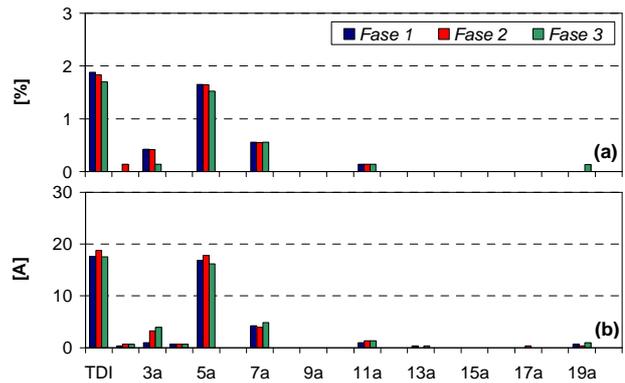


Fig. 7. ET2. Componentes armónicas individuales por fase – valores P95 –. (a) tensiones. (b) corrientes.

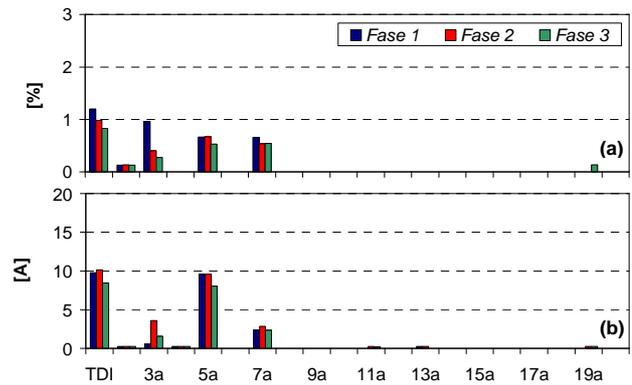


Fig. 9. ET3. Componentes armónicas individuales por fase – valores P95 –. (a) tensiones. (b) corrientes.

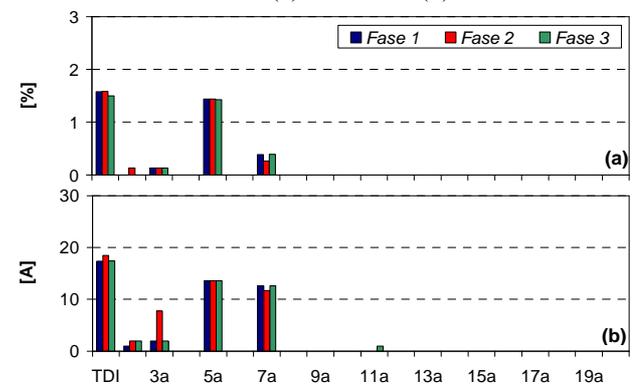


Fig. 11. ET4. Componentes armónicas individuales por fase – valores P95 –. (a) tensiones. (b) corrientes.

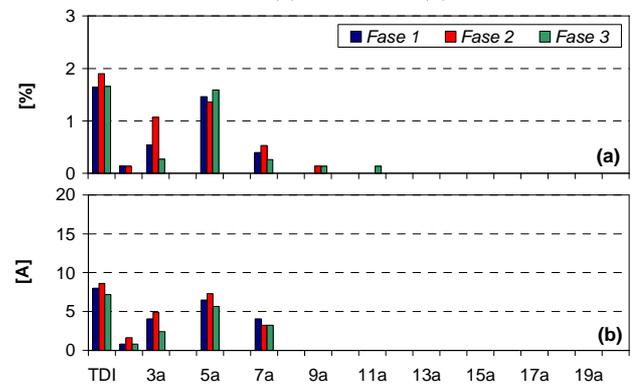


Fig. 13. ET5. Componentes armónicas individuales por fase – valores P95 –. (a) tensiones. (b) corrientes.

TABLA I. ARMÓNICAS EN LA TENSIÓN PARA LA PEOR FASE.

		THD	2 <sup>a</sup>	3 <sup>a</sup>	4 <sup>a</sup>	5 <sup>a</sup>	6 <sup>a</sup>	7 <sup>a</sup>	8 <sup>a</sup>	9 <sup>a</sup>	10 <sup>a</sup>	11 <sup>a</sup>	12 <sup>a</sup>	13 <sup>a</sup>	14 <sup>a</sup>	15 <sup>a</sup>	16 <sup>a</sup>	17 <sup>a</sup>	18 <sup>a</sup>	19 <sup>a</sup>	20 <sup>a</sup>
		[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]
<b>Límites IEEE</b>		2.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5
<b>Límites ENRE</b>		3	1.5	1.5	1	2	0.5	2	0.2	1	0.2	1.5	0.2	1.5	0.2	0.3	0.2	1	0.2	1	0.2
ET1	Medio	1.81	0.02	0.24	0.00	1.63	0.00	0.41	0.00	0.00	0.00	0.05	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	P95	2.47	0.14	0.27	0.00	2.17	0.00	0.94	0.00	0.00	0.00	0.14	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	Máximo	2.67	0.27	0.41	0.14	2.40	0.00	1.07	0.00	0.00	0.00	0.14	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.13
ET2	Medio	1.31	0.01	0.30	0.00	1.10	0.00	0.28	0.00	0.00	0.03	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00
	P95	1.88	0.00	0.42	0.00	1.65	0.00	0.55	0.00	0.00	0.14	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	Máximo	2.00	0.27	0.56	0.14	1.79	0.00	0.70	0.00	0.00	0.14	0.00	0.00	0.00	0.00	0.14	0.00	0.14	0.00	0.14	0.00
ET3	Medio	0.87	0.01	0.53	0.00	0.30	0.00	0.32	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	P95	1.20	0.13	0.96	0.00	0.67	0.00	0.66	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	Máximo	2.03	0.27	1.63	0.13	0.95	0.00	0.81	0.00	0.14	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
ET4	Medio	0.87	0.01	0.53	0.00	0.30	0.00	0.32	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	P95	1.20	0.13	0.96	0.00	0.67	0.00	0.66	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	Máximo	2.03	0.27	1.63	0.13	0.95	0.00	0.81	0.00	0.14	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
ET5	Medio	1.53	0.08	0.94	0.00	0.99	0.00	0.30	0.00	0.06	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	P95	1.90	0.13	1.07	0.00	1.36	0.00	0.53	0.00	0.13	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	Máximo	2.15	0.27	1.21	0.13	1.60	0.00	0.66	0.00	0.13	0.00	0.13	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

Nota: En la ET1 el P<sub>95</sub> de la 5<sup>a</sup> armónica resultó superior al establecido en la reglamentación Argentina.

TABLA II. ARMÓNICAS EN LA CORRIENTE PARA LA PEOR FASE.

		THD	2 <sup>a</sup>	3 <sup>a</sup>	4 <sup>a</sup>	5 <sup>a</sup>	6 <sup>a</sup>	7 <sup>a</sup>	8 <sup>a</sup>	9 <sup>a</sup>	10 <sup>a</sup>	11 <sup>a</sup>	12 <sup>a</sup>	13 <sup>a</sup>	14 <sup>a</sup>	15 <sup>a</sup>	16 <sup>a</sup>	17 <sup>a</sup>	18 <sup>a</sup>	19 <sup>a</sup>	20 <sup>a</sup>
		[A]	[A]	[A]	[A]	[A]	[A]	[A]	[A]	[A]	[A]	[A]	[A]	[A]	[A]	[A]	[A]	[A]	[A]	[A]	[A]
ET1	Medio	16.22	0.24	0.43	0.18	15.6	0.04	3.39	0.00	0.17	0.00	0.55	0.00	0.23	0.00	0.04	0.00	0.02	0.00	0.01	0.00
	P95	25.27	0.32	0.97	0.32	25.0	0.32	5.50	0.00	0.32	0.00	0.97	0.00	0.32	0.00	0.32	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	Máximo	29.14	0.65	1.29	0.32	28.8	0.32	7.12	0.00	0.65	0.00	0.97	0.00	0.65	0.00	0.32	0.32	0.32	0.00	0.32	0.00
ET2	Medio	12.69	0.35	1.81	0.34	12.1	0.00	1.68	0.00	0.00	0.00	0.71	0.00	0.01	0.00	0.01	0.00	0.02	0.00	0.28	0.00
	P95	18.80	0.65	3.24	0.65	17.8	0.00	3.88	0.00	0.00	0.00	1.29	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.32	0.00	0.32	0.00
	Máximo	23.45	1.29	3.88	0.97	22.7	0.32	4.86	0.00	0.00	0.00	1.62	0.00	0.32	0.00	0.32	0.32	0.32	0.00	0.32	0.00
ET3	Medio	6.90	0.24	2.69	0.23	5.6	0.00	1.22	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.08	0.00
	P95	10.16	0.26	3.59	0.26	9.6	0.00	2.85	0.00	0.00	0.00	0.26	0.00	0.26	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.26	0.00
	Máximo	11.19	1.04	4.14	0.52	10.6	0.26	4.14	0.00	0.00	0.00	0.26	0.00	0.26	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.26	0.00
ET4	Medio	13.92	1.02	6.48	0.02	8.0	0.00	6.8	0.00	0.00	0.00	0.02	0.00	0.03	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	P95	18.49	1.94	7.77	0.00	13.6	0.00	11.6	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	Máximo	25.44	3.88	8.74	0.97	23.3	0.97	12.6	0.00	0.00	0.00	0.97	0.00	0.97	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
ET5	Medio	6.05	0.62	2.48	0.01	3.98	0.00	1.47	0.00	0.00	0.00	0.04	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	P95	8.61	1.62	4.86	0.00	7.28	0.00	3.24	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	Máximo	11.86	2.43	5.66	0.81	10.5	0.00	4.05	0.00	0.00	0.00	0.81	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

#### 4 COMPARACIÓN DE LOS RESULTADOS

En la Fig. 14 se comparan los resultados obtenidos en cada ET y, al mismo tiempo, éstos se comparan con los límites existentes en la Argentina y con aquellos propuestos por la IEEE.

Como base para la comparación se adoptó el THD y la 5<sup>a</sup> armónica, que resultó ser la más crítica en términos de cumplimiento, como es típico en los sistemas de transmisión.

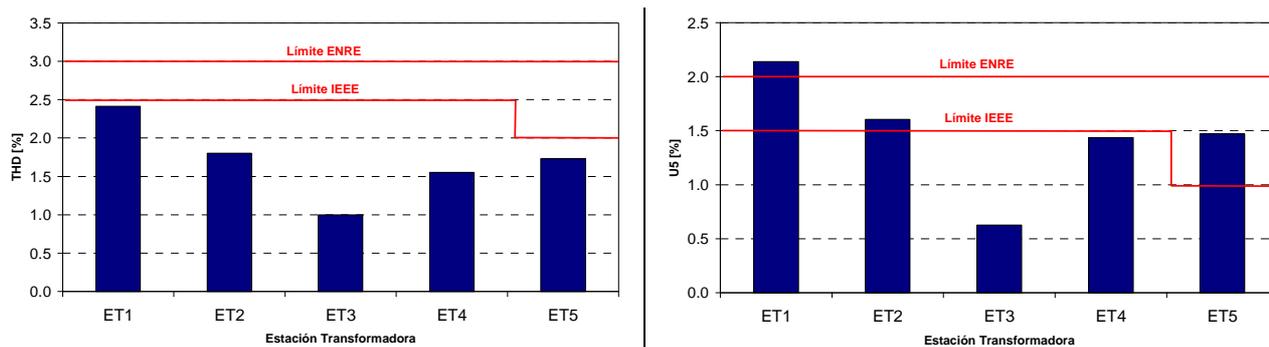


Fig. 14. Comparación de THD y 5ª armónica en la tensión – valor P<sub>95</sub>.

Se hace notar que en la ET5 el secundario del transformador de potencia es de 220 kV en lugar de 132 kV, por ello en el gráfico de la derecha de la Fig. 13 el límite existente para la 5ª armónica en la IEEE es menor.

Se encontró que los límites existentes en la reglamentación Argentina solamente son transgredidos en la ET1, por la 5ª armónica.

## 5 CONCLUSIONES

- Se realizaron mediciones de armónicas en cinco Estaciones Transformadoras de un corredor del SADI que permitieron conocer la contaminación armónica existente, previa a la instalación de bancos de compensación reactiva.
- Los valores de armónicas registrados con procedimientos normalizados en la tensión, en general, cumplieron con los niveles establecidos en la Argentina.
- Los resultados presentados en el presente trabajo fueron utilizados como información de base para los estudios llevados a cabo en el diseño de los bancos, particularmente en cuanto a la solicitud por armónicas a las que tales instalaciones son particularmente propensas.
- Estos resultados, además, servirán como valores de referencia para eventuales estudios que se lleven a cabo en futuras instalaciones similares.

## 6 CITAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] “*Base Metodológica para el Control de la Calidad del Producto Técnico. Etapa 2*”. Ente Nacional Regulador de la Electricidad. Resolución ENRE 184/00.
- [2] “*IEEE Recommended Practices and Requirements for Harmonics Control in Electrical power Systems*”. IEEE Std. 519-1992.
- [3] “*Procedimiento optimizado para el cálculo de armónicas en la inclusión de bancos de compensación de reactivo en sistemas de potencia de AT*”. Pedro E. Issouribehere, F. Issouribehere, V. F. Corasaniti. Artículo N° 104. XI Encuentro Regional Iberoamericano de CIGRÉ. 22 al 26 de mayo de 2005, Ciudad del Este, Paraguay.