

## EVALUACION DEL ESPECTRO ARMONICO EN DIFERENTES TIPOS DE USUARIOS. COMPROBACIÓN DE LOS NIVELES RESPECTO A LA NORMATIVA VIGENTE.

## EVALUATION OF HARMONIC SPECTRUM IN DIFFERENT TYPES OF USERS. CHECKING THE LEVELS WITH RESPECT TO CURRENT REGULATIONS.

Franco Torres

Laboratorio de Máquinas y Medidas Eléctricas (LAMyME) (Lavaise 610, Santa Fe), Facultad Regional Santa Fe,  
UTN

[ftorres@frsf.utn.edu.ar](mailto:ftorres@frsf.utn.edu.ar)

Este trabajo ha sido realizado bajo la dirección del Ing. Ulises Manassero e Ing. Andrés Zottico, en el marco del proyecto “Desarrollo de técnicas de gestión de la demanda y programación estacional del parque generador para su aplicación en el concepto de una nueva matriz energética nacional basada en el desplazamiento del consumo de gas residencial por energía eléctrica” (2020 – 2022), código ENUTNFE0007851, dirigido por el Ing. Ulises Manassero

**Resumen:** En el presente trabajo mediante el software ETAP, se desarrolla un estudio sobre las influencias de los diferentes tipos de cargas armónicas sobre una red existente. Dicha red alimenta distintos perfiles tipificados de carga. Se comparan los resultados obtenidos con la legislación vigente para evaluar el producto técnico.

**Palabras claves:** Armónicos, Distorsión armónica total, perfiles de carga, Baja tensión, Media tensión

**Abstract:** the present work, using the ETAP software, a study is developed on the influences of the different types of harmonic loads on an existing network. This network feeds different load typified profiles. The results obtained are compared with current legislation to evaluate the technical product.

**Key words:** Harmonics, Total harmonic distortion, Load profiles, Low voltage, Medium voltage

### Introducción

A lo largo de los años, la búsqueda de mejorar la eficiencia en el consumo de energía eléctrica y la implementación de cargas no lineales, han provocado la introducción de componentes armónicos en la red de distribución de energía eléctrica. La presencia de armónicos dificulta el correcto desempeño de la red, ya que provoca diversos efectos indeseados. Entre los más perjudiciales se encuentran el sobrecalentamiento de cables, transformadores y motores, corrientes excesivas en el neutro y fenómenos de resonancia entre los elementos del circuito (Lemieux, 1990). Cada tipo de usuario aporta en diferente medida, a la alteración de los parámetros normales de la red dependiendo del tipo de cargas y a la simultaneidad con que se

disponen. Estas cargas no lineales contaminan el sistema de distribución de energía eléctrica, mediante la inyección de armónicos de corriente en la red (Anwar et al., 2015). Ello se ha convertido en una problemática cada vez más creciente. A tal punto que con la creciente penetración de la electrónica de potencia, el nivel de contaminación armónica también aumenta en los sistemas de energía eléctrica y es necesario resolverlo (Arrillaga and Watson, 2003). Por este motivo se realiza un estudio armónico en una red para evaluar el impacto que tendrían cargas de este tipo.

Para el presente trabajo se adopta una red de base, en la localidad de Santo Domingo provincia de Santa Fe. Se clasifican los usuarios, según tipo y comportamiento, como también se confeccionan perfiles de cargas diarios. A partir de ellos se realizan estudios de sensibilidad con simulaciones de flujo de cargas armónicas, que permiten conocer la situación en cada punto de la red, con el objeto de evaluar sus niveles respecto de los límites admisibles por la normativa local.

## Metodología

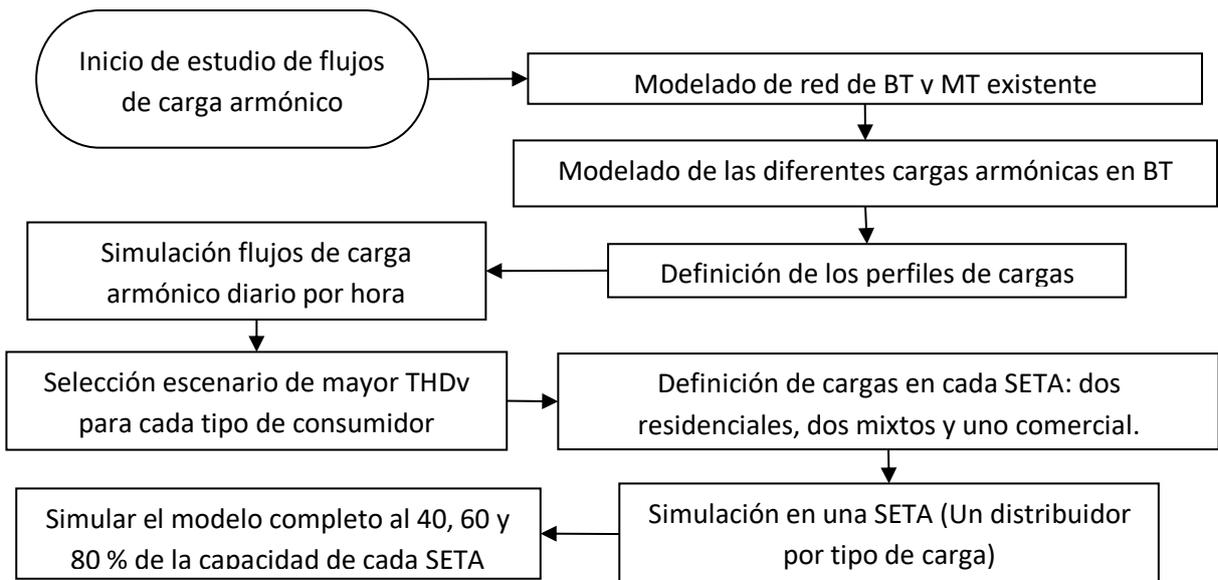


Figura 1 – Metodología implementada para el presente trabajo.

## Hipótesis de Simulación

La evaluación de la calidad del producto técnico armónico, ha sido realizada por la implementación de la normativa del Ente Nacional Regulador de Energía (ENRE) según Resolución N° 184/2000.

Para la realización de las simulaciones de flujos de cargas armónicas, se han supuesto los siguientes tipos de usuarios:

1. Residencial:
  - a. Freelance
  - b. Horario Corrido
  - c. Horario Comercial

los que al mismo tiempo se subdividen en convencionales de invierno (CI), convencionales de verano (CV), electrointensivos de invierno (EI) y electrointensivos de verano (EV).

2. Comercial:
  - a. Local de ropa
  - b. Venta de seguros
  - c. Supermercado
3. Mixto: compuesta por cargas residenciales y comerciales combinadas.

## Descripción de la Red

A continuación, puede observarse el modelado de red utilizado (figura 2).

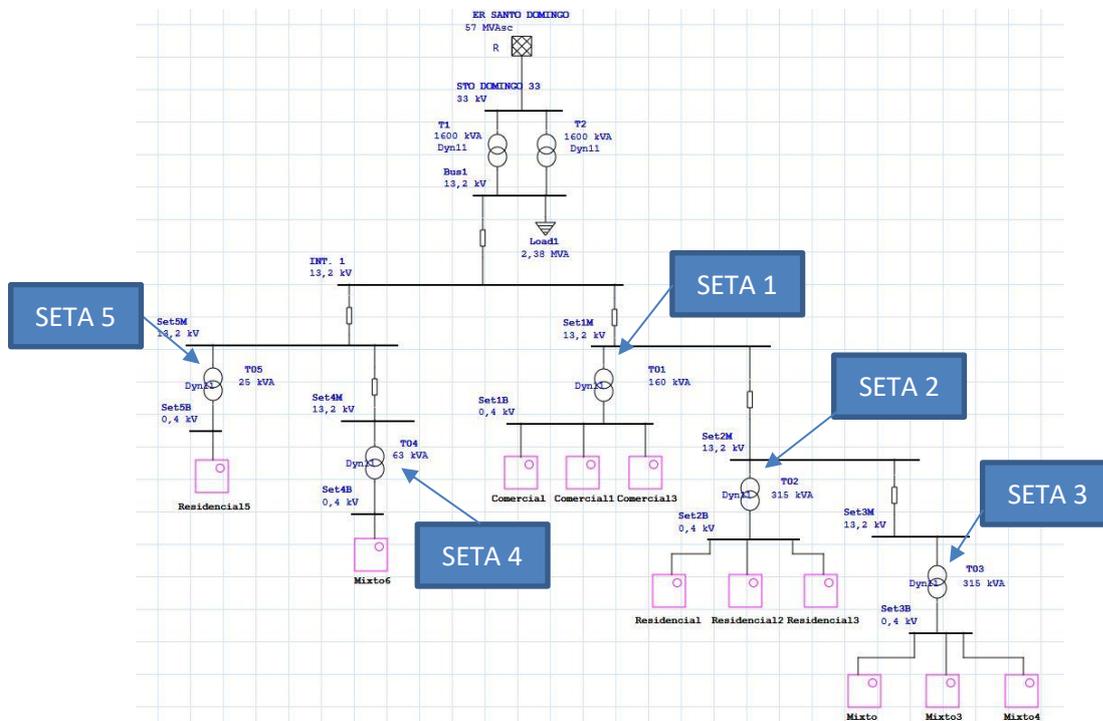


Figura 2 – Red modelo en estudio

La red se conforma por una estación de rebaje (E.R.), con dos transformadores 33/13,2 [kV], y dos salidas de distribución primaria de 13,2 [kV]. El estudio se ha enfocado en el alimentador que abastece cinco

subestaciones transformadoras aéreas (SETA) de 13,2/0,4 [kV], en zona urbana. En este sentido, el otro alimentador se ha modelado como carga concentrada. Cada una de las barras de BT de las SETAs, posee tres alimentadores secundarios de BT.

### Caracterización Armónica de Cada Equipo y/o Electrodoméstico

Para la medición y caracterización armónica, se han realizado multiplicidades de mediciones en diferentes equipos y/o electrodomésticos con el analizador de red Power Guía 440S, marca Dranetz (Colombero, 2022).

### Resultados

#### Niveles de Contenido Armónico en Curvas de Cargas Diarias por Tipo de Usuario

Se elaboran los perfiles de carga por tipo de usuario (Ledesma, 2019). En este sentido, se realizan sucesivas simulaciones por cada carga y hora del día, lo cual arroja un total de 408 simulaciones. A partir de la base de datos obtenida, se han construido curvas de cargas diarias armónicas para cada tipo de usuario.

A modo de ejemplo se exponen los resultados, para el caso de un distribuidor “Residencial” del tipo “Freelance” – figura 3 -.

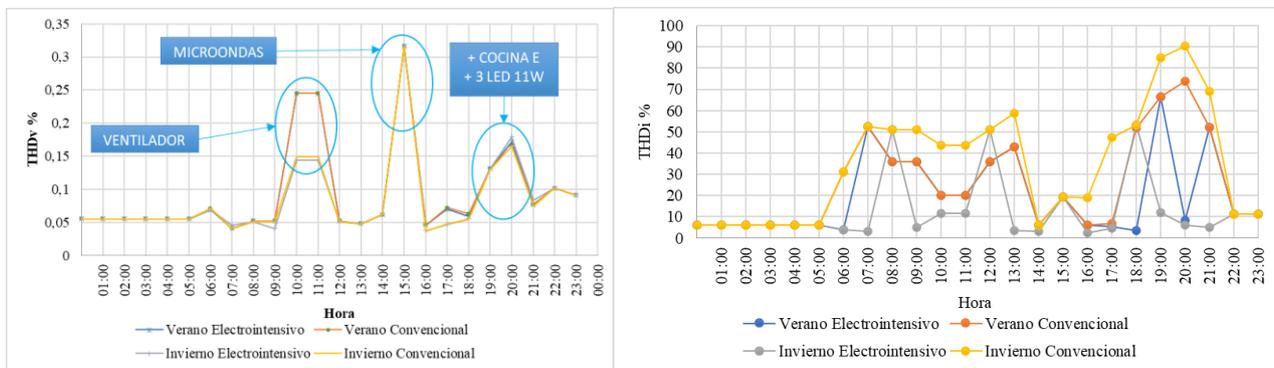


Figura 3 – Resultados de THDv y THDi para el usuario tipo Residencial Freelance.

De todas ellas se extrae la magnitud más desfavorable, es decir la de mayores niveles de THD, (ejemplo a las 15 hs según figura 3) y se confecciona un resumen de los resultados obtenidos (ver tabla 1).

DISTRIBUIDOR	USUARIO	CONDICIÓN	HORA	Demanda [A]	THDv [%]	THDi [%]
--------------	---------	-----------	------	-------------	----------	----------

Residencial	Freelance	EV	15:00	4,70	0,316	19,38
	H. Corrido	EI	15:00	5,20	0,271	15,46
	H. Comercial	EI	15:00	4,80	0,299	18,04
Comercial	Local de Ropa	V	-	2,50	0,242	26,41
	Venta de Seguros	V	-	3,20	0,532	49,45
	Supermercado	-	-	10,40	0,816	20,70

Tabla 1. Resultados de THDv y THDi por tipo de carga y régimen de demanda

### Flujo de Carga Armónico en Cada Distribuidor Secundario de BT

Para el estudio en los alimentadores secundarios de BT, se supuso un escenario en donde se encontraban conectadas todos los diversos tipos de carga, y en los momentos de mayor perjuicio a la red según la tabla 1 anterior. En el primero una carga residencial, en el segundo una comercial y en el tercero una mixta.

A los fines demostrativos, se exponen los resultados obtenidos de participación porcentual del orden armónico en el THDi y de forma de onda de un usuario residencial (ver figura 4).

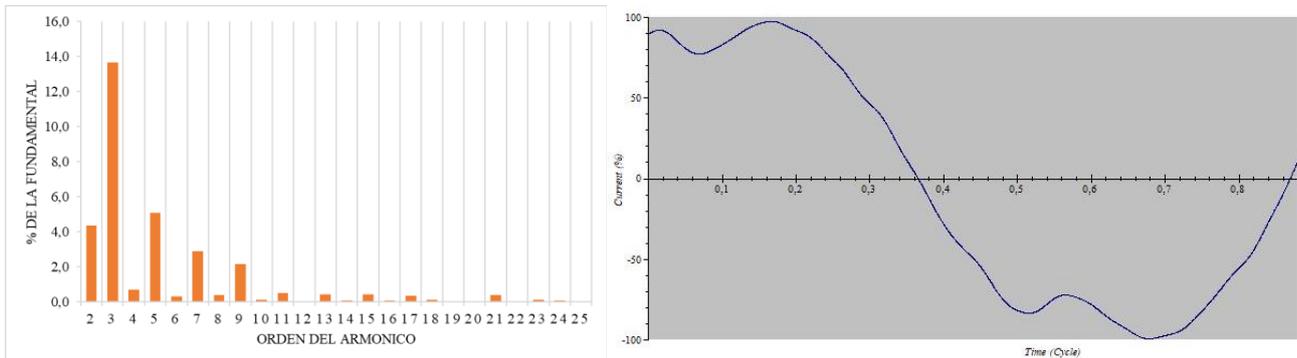


Figura 4 – Espectro de carga armónico y forma de onda de corriente en alimentador secundario BT residencial.

### Impacto de la Polución Armónica en Barra de MT

Se han simulado escenarios de carga pico, resto y valle en barras de 13,2 kv, lo cual han arrojado los siguientes niveles de THDi y THDv (figura 5).

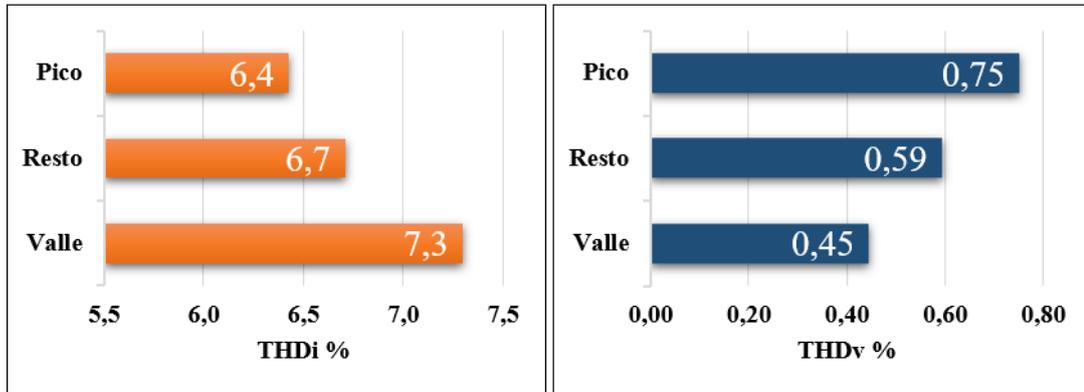


Figura 5 – Comparativa entre THDi y THDv en barra de 13,2 kv

### Comparativa con la Reglamentación Vigente

Los límites establecidos por la resolución del ENRE 0184/2000, resultan los mismos para todas las tensiones menores a 66 [kV] y para los órdenes menores al 25. Estos límites no son superados en ningún escenario en la barra de 13,2 [kV]. Estos datos se muestran en la figura 6.

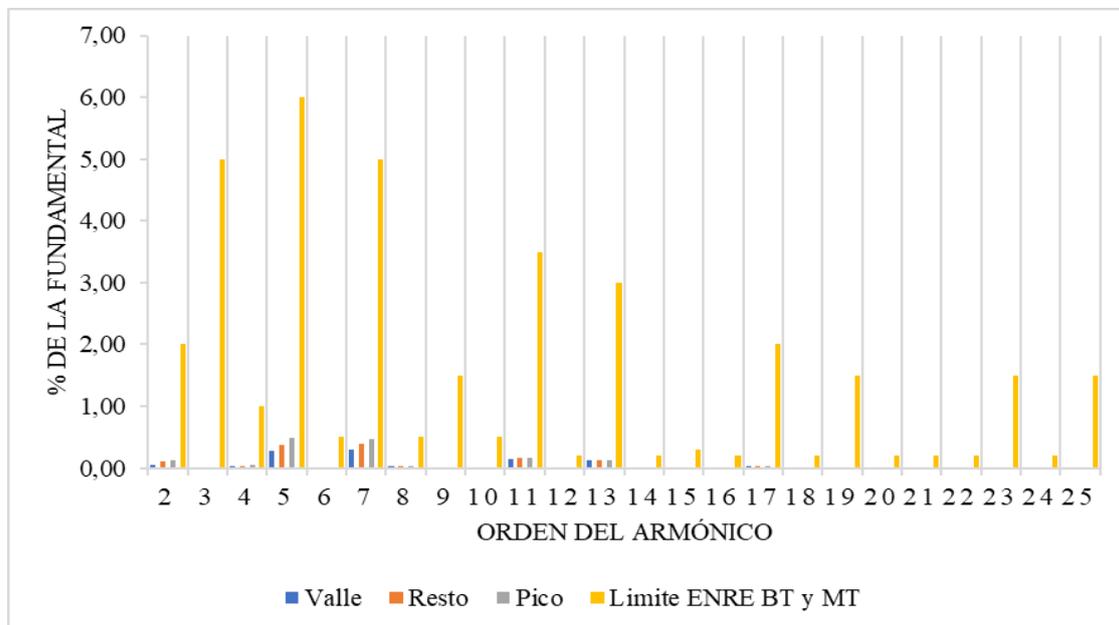


Figura 6. Comparativa de componentes armónicos con normativa ENRE en barra 13,2 kv

### Conclusiones

Como se puede apreciar, el THDi en BT resulta mayor que en MT. Estos niveles de mitigación en BT se consiguen por la conexión estrella-delta del transformador. Esto hace que los armónicos homopolares (3, 6, 9, 12, 3n...) no estén presentes en el devanado de media tensión, ya que se encuentra conectado en triángulo. Por otra parte se ha detectado niveles de THDv cercanos a los límites establecidos, como ha sido el caso del armónico de orden 15 en una de las barras de 13,2 kV de una SETA. En los distintos escenarios simulados, se observa que al aumentar el nivel de carga en el sistema, la magnitud de THDi disminuye aproximadamente un 1%, desde el escenario de valle al de pico. En contraposición, aumenta el THDv desde un valor mínimo de 0,45 % en el valle, hasta un valor máximo de 0,75 % en el escenario pico. Esto es debido al aumento de magnitud de corriente total, que ocasionan aumentos importantes de caídas de tensión, las cuales son magnificadas dado que los armónicos se refieren en términos porcentuales de la fundamental. Teniendo en cuenta los distintos escenarios de carga que se presentan en toda la red en estudio, las magnitudes en las barras de la ER que arrojan cada simulación resultan aceptables y se encuentran dentro de los parámetros cumpliendo con la normativa local.

## Referencias

Lemieux, G., "Power System Harmonic Resonance - A Documented Case", IEEE Transactions on Industry Applications, 483-488, (1990).

Anwar, S., Elrayyah A., Sozer, Y., "Efficient Single-Phase Harmonics Elimination Method for Microgrid Operations", IEEE Transactions on Industry Applications, 3394-3403, (2015)

Arrillaga, J. and Watson, N.R., "Power System Harmonics", Second Edition, John Wiley and Sons Ltd, USA, (2003).

Colombero, N., "Análisis Técnico Económico de la Contribución de Diferentes Tipos de Usuarios Residenciales al Nivel de Polución Armónica de una Red de Distribución y Propuesta de Estrategias para su Mitigación, (2022).

Ledesma, N. "Propuesta de técnicas de gestión de la demanda en usuarios residenciales y análisis de su impacto técnico en una red de distribución primaria de 13,2 kV" (2019).