

# MODELADO Y EVALUACION DE ESPECTRO ARMONICO EN DIFERENTES TIPOS DE USUARIOS. ANALISIS DE SU IMPACTO GLOBAL EN UNA RED DE DISTRIBUCION

## TECHNICAL-E MODELING AND EVALUATION OF HARMONIC SPECTRUM IN DIFFERENT TYPES OF USERS. ANALYSIS OF ITS GLOBAL IMPACT ON A DISTRIBUTION NETWORK

Presentación: 26 y 27 de octubre de 2022

### **Ulises Manassero**

Universidad Tecnológica Nacional – Facultad Regional Santa Fe - Centro de I+D en Ingeniería Eléctrica y Sistemas Energéticos (CIESE) - Argentina  
umanassero@frsf.utn.edu.ar.

### **Andrés Zottico**

Universidad Tecnológica Nacional – Facultad Regional Santa Fe – Laboratorio de Máquinas y Medidas Eléctricas (LAMyME) - Argentina  
azottico@frsf.utn.edu.ar.

### **Franco Torres**

Universidad Tecnológica Nacional – Facultad Regional Santa Fe - Laboratorio de Máquinas y Medidas Eléctricas (LAMyME) - Argentina  
ftorres@frsf.utn.edu.ar.

### **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 la calidad del producto técnico de energía.

**Palabras clave:** distorsión armónica, perfiles de carga, modelo,

### **Abstract**

In 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 assess the quality of the technical energy product.

**Keywords:** Harmonics, THD, load profiles, LV, MV

## 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, 2010: 483-488). 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: 3394-3403). 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 y Watson, 2003:). Por este motivo se realizan estudios armónicos 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 vigente.

## Desarrollo

### Metodología

En la Figura 1 se presenta el flujograma de actividades que conforman la metodología propuesta para el modelado, simulación y verificación de la polución armónica del conjunto de cargas eléctricas de uso final que componen instalaciones eléctricas estándar de usuarios residenciales y comerciales.

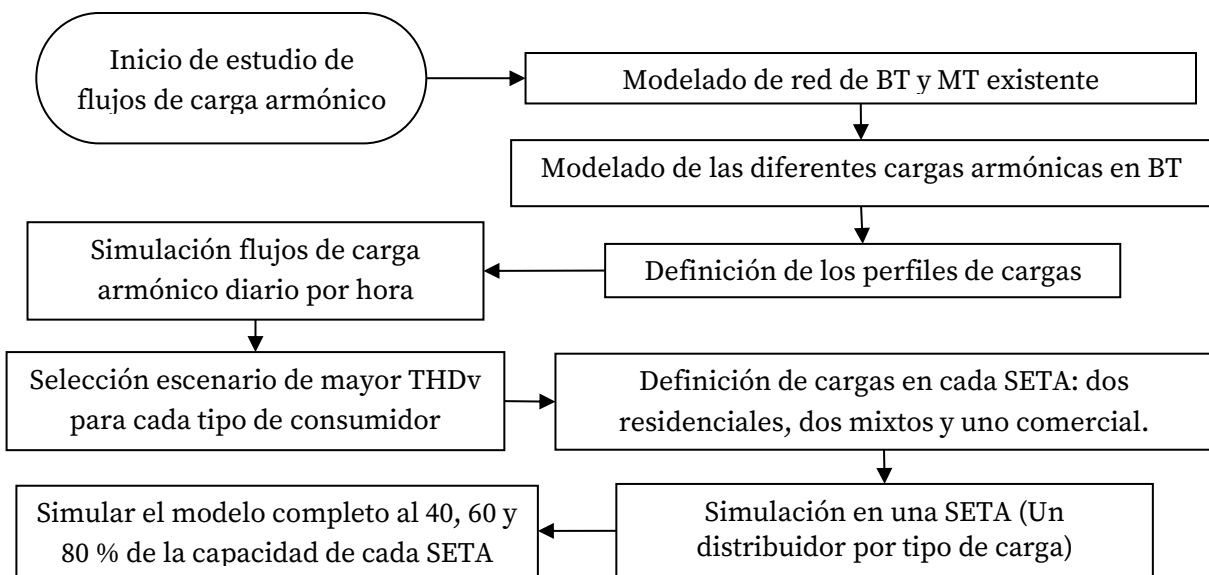


Figura 1 – Metodología implementada para el presente trabajo.

### 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 (ENRE, 2000).

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

- Residencial: Freelance, Horario Corrido, Horario Comercial. Este tipo de usuarios se subdividen en convencionales de invierno (CI), convencionales de verano (CV), electrointensivos de invierno (EI) y electrointensivos de verano (EV).
- Comercial: Local de ropa, Venta de seguros, Supermercado
- Mixto: compuesta por cargas residenciales y comerciales combinadas.

### Descripción de la Red

La red de estudio 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 baja tensión de las SETAs, posee tres alimentadores secundarios de BT. A continuación, en la figura 2 se muestra el modelado de red de estudio en el software ETAP.

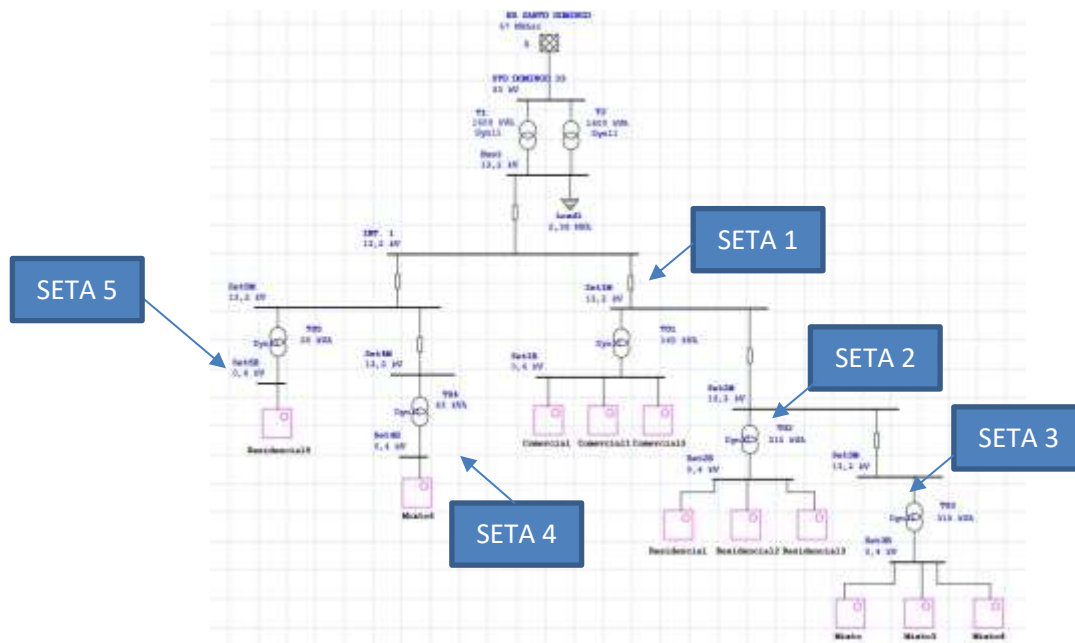


Figura 2 – Red modelo en estudio

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

En otro trabajo previo (Manassero et al, 2022) los autores presentan el resumen de mediciones y caracterización armónica, en diferentes equipos y electrodomésticos, realizados con el analizador de red Power Guía 440S, marca Dranetz.

## Resultados

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

Se elaboran los perfiles de carga por tipo de usuario en base a estudios de campo previos llevados a cabo por otros autores (Ledezma, 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, en la figura 3 se exponen los resultados de la distorsión armónica de tensión (THDv) y de corriente (THDi) obtenida para el caso de un distribuidor “Residencial” del tipo “Freelance”.

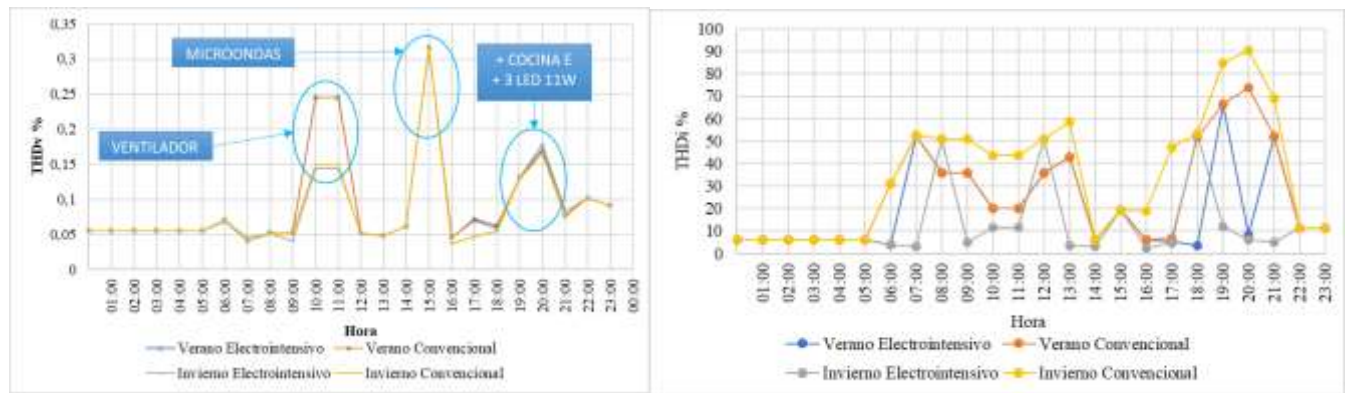


Figura 3 – Resultados de THDv y THDi para el usuario tipo Residencial Freelance.

De cada perfil de carga armónico se filtra el valor de distorsión 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, tal como se presenta en la tabla 1.

DISTRIBUIDOR	USUARIO	CONDICIÓN	HORA	Demanda [A]	THDv [%]	THDi [%]
<b>Residencial</b>	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
<b>Comercial</b>	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 baja tensión

Para el estudio en los alimentadores secundarios, se supuso un escenario en donde se encontraban conectadas todos los tipos de usuarios definidos, y en los momentos de mayor perjuicio a la red según la tabla 1 anterior. En el primero distribuidor, una carga residencial, en el segundo una comercial y en el tercero una mixta (ver tabla 2).

DISTRIBUIDOR	Condición (EV, CV, EI o CI)	Hora	Demanda [A]	THD <sub>i</sub>
RESIDENCIAL	EV	15:00	112,21	15,68
COMERCIAL	N/A	N/A	32	27,58
MIXTO	N/A	N/A	57,1	10,71

Tabla 2. Niveles de THDi para cada tipo de distribuidor de baja tensión

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).

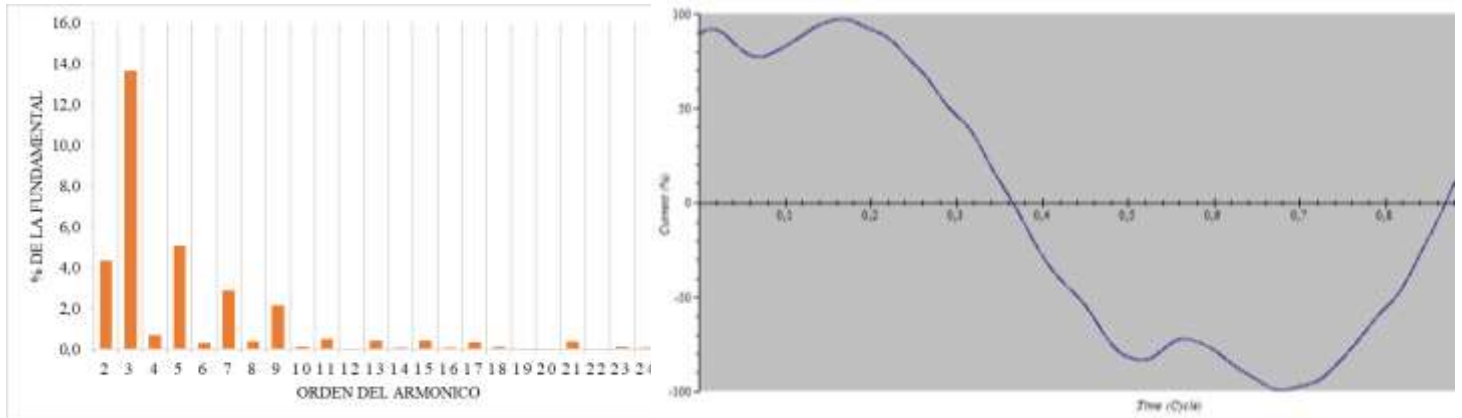


Figura 4 – Espectro de carga armónico y forma de onda de corriente en alimentador secundario residencial.

#### 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 niveles de THDi y THDv presentados en la figura 5.

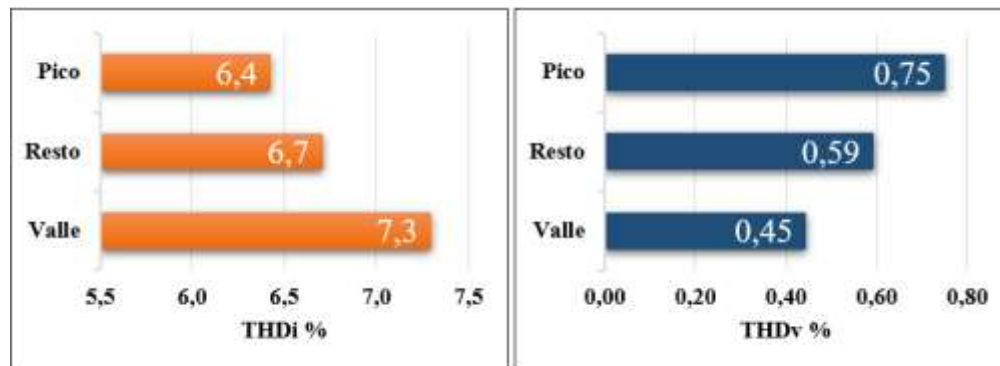


Figura 5 – Comparativa entre THDi y THDv en barra de 13,2 kV

#### 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.

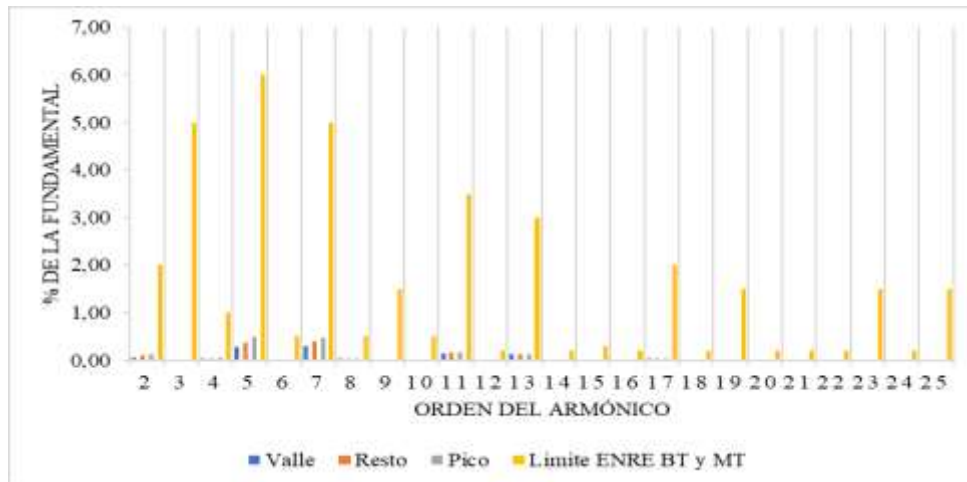


Figura 6. Comparativa de componentes armónicos con normativa ENRE en barra 13,2 kV

## Conclusiones

Como se puede apreciar, el THDi en baja tensión resulta mayor que en media tensión. 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. Las magnitudes en las barras de la ER resultan aceptables cumpliendo con la normativa.

## Referencias

- Lemieux, G. (2010) "Power System Harmonic Resonance - A Documented Case", IEEE Transactions on Industry Applications, pp: 483-488.
- Anwar, S., Elrayyah A., Sozer, Y. (2015). "Efficient Single-Phase Harmonics Elimination Method for Microgrid Operations", IEEE Transactions on Industry Applications, pp: 3394-3403.
- Arrillaga, J. and Watson, N.R. (2003). "Power System Harmonics", Second Edition, John Wiley and Sons Ltd, USA.
- Ledesma, N. (2019). "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". Tesis final de grado para recibir el título de ingeniero electricista. UTN, Facultad Regional Santa Fe.
- Ente Nacional Regulador de la Energía (ENRE). (2000). "Resolución 184/2000: Base Metodológica para el Control de la Calidad del Producto Técnico. Etapa 2".
- Manassero, U.; Zóttico, A.; Ponti, F.; Fernández, J. P.; Steinmann, I. "Monitoreo y Análisis de Armónicos de Corriente en Cargas Eléctricas Residenciales". Jornadas de Ciencia y Tecnología, UTN San Francisco.