



Situación Problema: Modelo real de elementos pasivos

Contextualización con el problema

Los sistemas eléctricos se ven afectados por [perturbaciones electromagnéticas](#) que pueden ser de origen natural o artificial. Estas perturbaciones alteran parámetros eléctricos como la amplitud, la frecuencia y la forma de onda de tensión y corriente.

Con el ánimo de entender cómo se generan, propagan y solucionan las perturbaciones electromagnéticas resulta necesario realizar la clasificación de las perturbaciones de [calidad de potencia](#) según su duración, para el presente texto se acoge a la Norma Técnica Colombiana NTC 5001 (NTC 5001, 2008, pág. 8).

Tabla 1 Clasificación de perturbaciones de calidad de potencia según su duración	
Perturbaciones	Tipo
Larga duración o permanentes	Variación de Tensión de estado estable
	Desbalance de Tensión
	Flicker
	Interrupción de larga duración (duración ≥ 1 min)
	Armónicos de alta tensión
	Armónicos de corriente
	Muestras de tensión
	Variación de tensión de larga duración (subtensiones y sobretensiones)
Lentas	Interrupción de corta duración (duración ≤ 1 min)
	Hundimientos (Sags)
	Elevaciones (Swells)
	Variación de frecuencia
Rápidas	Sobretensiones transitorias

Tabla 1. Clasificación de perturbaciones de calidad de potencia según su duración

Teniendo en cuenta nuestro interés por modelar los [elementos pasivos](#) en función de la frecuencia, para este caso en particular se hará mención de dos tipos de perturbaciones en ambientes industriales, como lo son: la [variación de la frecuencia](#) y las sobretensiones transitorias.

La [frecuencia](#) es una variable fundamental en el desempeño óptimo de las máquinas y los dispositivos electrónicos. En Colombia, la frecuencia nominal de tensión en la red eléctrica es 60Hz, la cual depende de la velocidad de rotación de los generadores de energía eléctrica que se encuentran en las plantas hidráulicas o térmicas.

Las [fluctuaciones](#) de frecuencia son desviaciones de la frecuencia de operación, debido a las características de las cargas y a la capacidad de generación disponible. Cuando ocurre un cambio dinámico de estas características, cambia de manera inmediata la frecuencia de operación. Los efectos más comunes de la fluctuación de frecuencia son (NTC 5001, 2008, pág. 29):

- Errores de sincronización de frecuencia, en usuarios que tienen cargas con grandes rectificadores.
- Comportamiento erróneo en equipos electrónicos.



SITUACIÓN PROBLEMA DE MODELO REAL DE ELEMENTOS PASIVOS

- Interrupciones del servicio y variaciones de tensión por deslastre de carga.

Por otro lado, las **sobretensiones transitorias** son perturbaciones de corta duración que deterioran el aislamiento de los equipos o componentes eléctricos. Las sobretensiones son debidas a maniobras en las líneas y equipos del sistema, descargas atmosféricas, fallas en interruptores, desconexión y arranque de cargas de alto consumo de energía. Por lo tanto los efectos más comunes debidos a estas perturbaciones son (NTC 5001, 2008, pág. 31):

- Ruptura del aislamiento en el equipo eléctrico tales como maquinaria rotatoria, transformadores, condensadores, cables, transformadores de tensión y de corriente y demás dispositivos de la subestación.
- Disparos molestos de los variadores de velocidad ajustables.

Los niveles de frecuencia se dividen en fuentes transitorias de impulso y oscilatorio, que afectan el funcionamiento de los equipos electrónicos:

NIVELES DE FRECUENCIA	
FUENTES	FRECUENCIA (kHz)
Transitorio de impulso	
Descargas atmosféricas	5 - 500
Transitorio oscilatorio	
Baja frecuencia	
Energización de bancos de condensadores de la red de distribución	< 5
Media frecuencia	
Descargas atmosféricas	5 - 500
Energización de banco de condensadores	
Alta frecuencia	
Maniobras en líneas y equipos del sistema	500 - 5000

Tabla 2. Niveles de frecuencia

En los cursos de Análisis de circuitos I y II, asignaturas que forman parte del plan de estudio de la carrera de Tecnología en Electricidad, se presume que los elementos pasivos como **resistencias**, **inductores** y **capacitores** se modelan de manera ideal, sin embargo si se tiene en cuenta su forma constructiva y al ser sometidos a variaciones de **tensión** y frecuencia, presentan un comportamiento que sea aleja del ideal lo que puede perjudicar la eficiencia de los equipos electrónicos.

Cada elemento pasivo se puede modelar mediante un circuito equivalente que presenta los parámetros reales presentes como lo son la capacidad e inductancia parasitas.

La Figura 1 muestra el circuito equivalente ideal y real de un inductor de núcleo de aire (A) y también el modelo de un capacitor (B), dichos elementos son comunes en los circuitos electrónicos.



SITUACIÓN PROBLEMA DE MODELO REAL DE ELEMENTOS PASIVOS

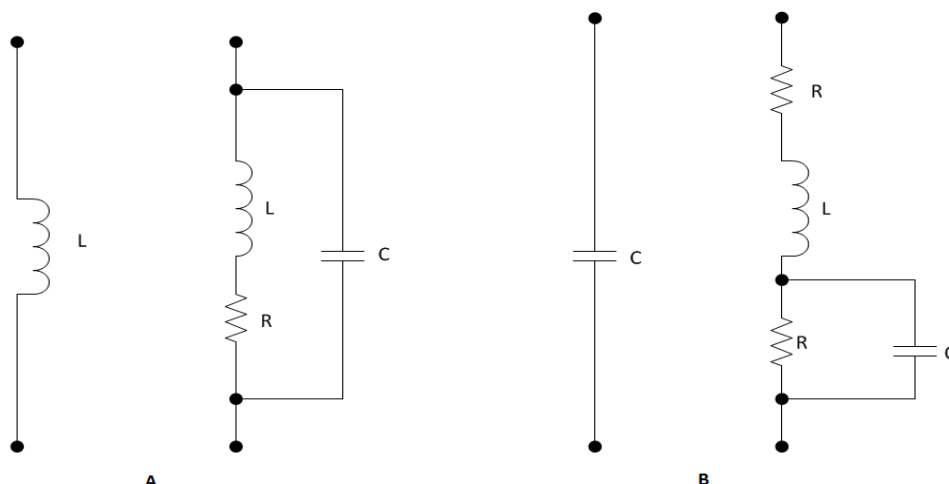


Figura 1. Circuito equivalente Ideal y Real de un inductor de núcleo de aire (A) y capacitor (B). Tomado de (Rodríguez, Introducción a las medidas eléctricas, 2011)

Como se muestra en la Figura 1, las bobinas de núcleo de aire involucran otros parámetros que difieren en su comportamiento al ser sometidos a fluctuaciones de tensión y frecuencia, estos parámetros presentes en las bobinas son la resistencia y capacitancia que deben tenerse en cuenta para obtener una medida real en su impedancia.

También el capacitor involucra otros parámetros que difieren en el comportamiento al ser sometidos a fluctuaciones de tensión y frecuencia, estos parámetros presentes en el capacitor son la inductancia y resistencia que deben tenerse en cuenta para obtener una medida real en su impedancia, de igual manera, las resistencias se pueden modelar mediante un circuito eléctrico equivalente.

En las industrias de Colombia las perturbaciones electromagnéticas son un problema que afecta el funcionamiento de las máquinas y equipos electrónicos.

Situación problema

En los procesos de fabricación es importante la continua producción de los bienes que serán llevados a la venta, por lo tanto es primordial el correcto funcionamiento de las máquinas y equipos de automatización que intervienen en la manufactura de un producto.

Challenger es una empresa que fabrica y vende electrodomésticos para el hogar, se encuentra ubicada en la ciudad de Bogotá. Cuenta con plantas de producción de refrigeración, mueblería y metalmecánica.

En la planta de Refrigeración, desde hace un tiempo la unidad de control de una de las bandas transportadoras presenta un funcionamiento inadecuado provocando que en ocasiones que la línea de producción se detenga. Ante tal eventualidad el ingeniero José Fernando Hernández encargado del departamento de producción, realiza un seguimiento al problema durante una semana, concluyendo que el daño de la unidad de control fue provocado por una serie de perturbaciones de tipo electromagnético originadas por la constante conmutación de las máquinas de troquelado de la planta.



SITUACIÓN PROBLEMA DE MODELO REAL DE ELEMENTOS PASIVOS

Una vez aislado el problema se procede a reparar la unidad de control, cuya labor es encargada a un grupo de practicantes de la Universidad Distrital, quienes determinan que la pieza a reparar de la unidad de control es un elemento pasivo. Previamente el ingeniero José realizó una prueba con un Puente RLC de la marca Fluke, al elemento de la unidad de control.

La figura 2 y 3 muestra los resultados de la prueba al someter el elemento pasivo de la unidad de control a varias frecuencias:

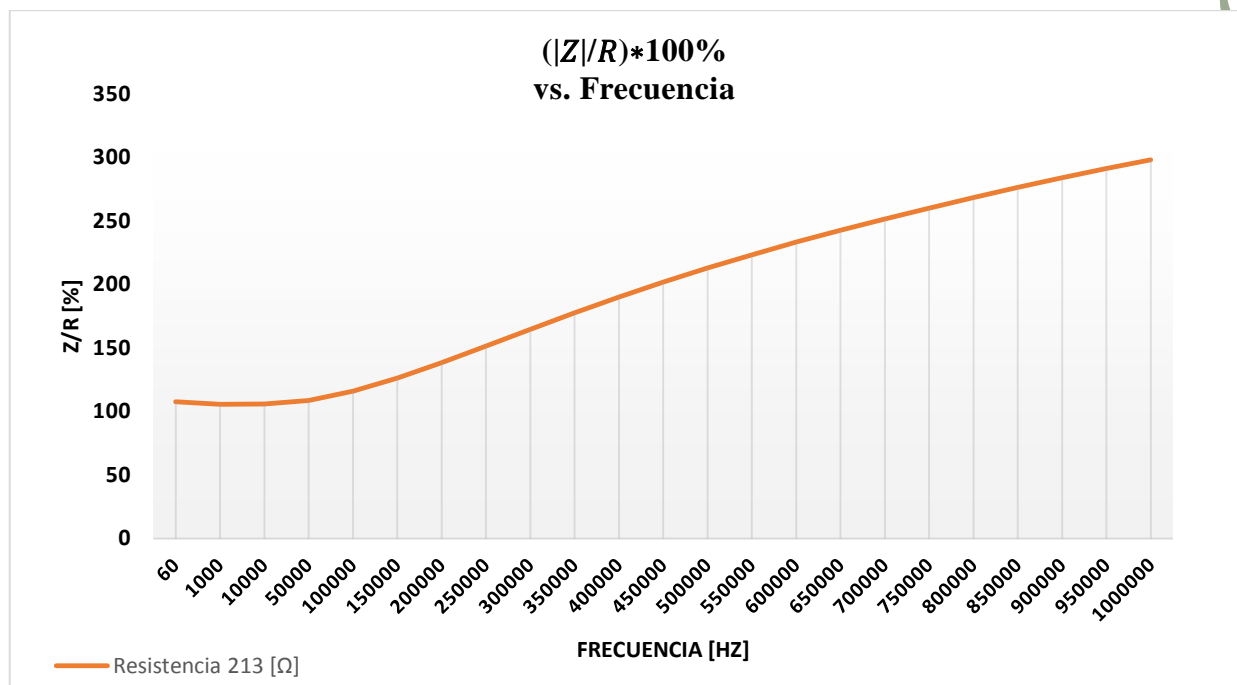


Figura 2. $|Z|/R\%$ vs. Frecuencia.

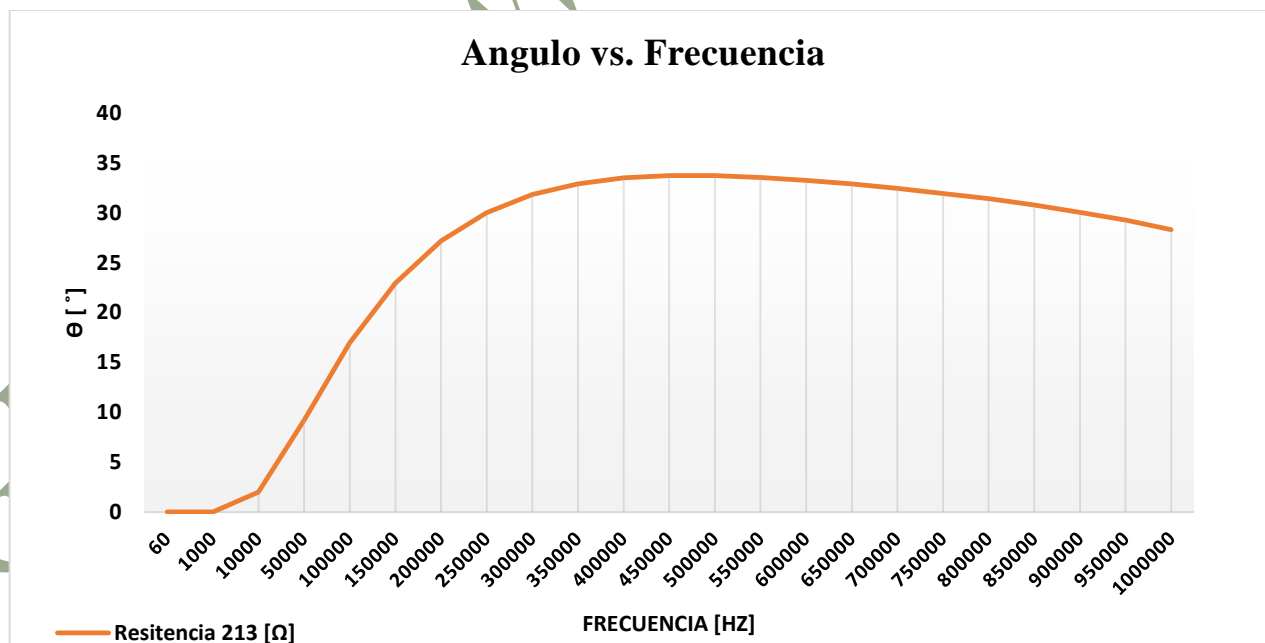


Figura 3. Angulo vs. Frecuencia



SITUACIÓN PROBLEMA DE MODELO REAL DE ELEMENTOS PASIVOS

Por lo tanto los estudiantes deciden realizar un estudio a una resistencia de valor comercial de hilo bobinado o de composición de carbón para comprobar su comportamiento en frecuencia.

- Estos son los criterios requeridos por el ingeniero para identificar el comportamiento de la resistencia:
 1. La resistencia debe ser de un valor comercial.
 2. Diseñar un sistema de medida para determinar el comportamiento gráfico y las componentes parásitas de la resistencia seleccionada.
 3. Elaborar un informe que corrobore las pruebas realizadas y conclusiones del trabajo.

Como parte de las actividades de aprendizaje de los practicantes, el ingeniero José les pide responder las siguientes preguntas:

- *¿Qué tipo de interferencias electromagnéticas están involucradas en el problema?*
- *¿Cómo es el comportamiento de los elementos pasivos ante la variación de frecuencia?*
- *¿Qué instrumentos de medida son los más adecuados para la medición?*
- *¿Es necesario el cambio del elemento pasivo teniendo en cuenta los datos obtenidos por los equipos de medida?*
- *¿El elemento pasivo presentan las mismas características al ser conectado a una fuente y variar su frecuencia?*

Documentación complementaria de la situación problema

- [Datasheet de las resistencias de composición de carbón.](#)
- [Datasheet de las resistencias de película metálica.](#)
- [Datasheet de las resistencias de hilo bobinado.](#)

Bibliografía

- Balcells, J., Fransesc, D., Esparza, R., & Pallas, R. (1992). Interferencias electromagnéticas en sistemas electrónicos. Barcelona.
- Charles K, A., & Sadiku, M. (2006). Fundamentos de circuitos eléctricos. Mexico, D.F.: Mc Graw-Hill Interamericana.
- ICONTEC Internacional. (2013). Calidad de potencia eléctrica -CPE- Definiciones y términos fundamentales. Bogotá: ICONTEC.
- NTC 5001. (2008). Calidad de la potencia eléctrica. Límites y metodología de evaluación en punto de conexión común. Bogotá: ICONTEC.
- Rodríguez, M. (2011). Introducción a las medidas eléctricas. Bogotá: ASEUC.
- Seymour, J., & Horsley, T. (2005). Los siete tipos de problemas en el suministro eléctrico. APC Legendary Reliability.