

## Resultados y Conclusiones

A lo largo de todo el proceso de medición, se obtuvieron los valores de la amplitud en frecuencia de las señales de voltaje y corriente. Los valores medidos de cada uno de los electrodomésticos forman la muestra del comportamiento en frecuencia para cada uno de ellos.

De las muestras obtenidas, se observa claramente que cuatro de los doce electrodomésticos presentan valores en frecuencias que se encuentran en un rango entre 10 KHz y 100 KHz que podrían ser consideradas las más significativas. Los electrodomésticos que presentaron estos valores son los siguientes:

- Para la señal de corriente:

Electrodoméstico	Frecuencia (KHz)	Amplitud (dBm)
Foco Ahorrador	65.2	-57.7
Televisión	15.73	-64.7
Microondas	15.0	-57.9

Tabla RC.1 Muestras significativas para la señal de corriente.

- Para la señal de voltaje:

Electrodoméstico	Frecuencia (KHz)	Amplitud (dBm)
Foco Ahorrador	64.6	-52.66
Taladro	15.4	-51.17

Tabla RC.2 Muestras significativas para la señal de voltaje.

Del análisis estadístico se obtiene que las medias de la señal de corriente del grupo de los doce electrodomésticos estudiados se encuentran en un rango que va de -68.03 dBm hasta -77.95 dBm. Asimismo, los valores de las medias de la señal de voltaje se encuentran en el rango de -67.5 dBm hasta -72.27 dBm.

Debido a que los valores más significativos encontrados se ubican por debajo de los 100 KHz, se considera que las aplicaciones de PLC en este rango de frecuencias, son aplicaciones de banda angosta. Estas aplicaciones trabajan en la banda CENELEC en concordancia con el estándar EN 50065, en el que se especifican los rangos de frecuencias y niveles máximos permitidos (tablas RC.3 y RC.4). En la banda A se define un rango que va de los 9KHz a los 95 KHz y esta destinada para uso de las compañías de distribución eléctrica y sus licencias. Los niveles máximos para la transmisión en esta banda son de 134 dB ( $\mu$ V). [43]

Banda	Rango de Frecuencia	Propósito
	3 KHz - 9 KHz	Sólo para uso de las compañías de distribución eléctrica
A	9 KHz - 95 KHz	Para uso de las compañías de distribución eléctrica y sus licencias
B	95 KHz - 125 KHz	Disponible para consumidores sin restricción
C	125 KHz - 140 KHz	Disponible para consumidores sólo con protocolo de acceso de media
D	140 KHz - 148.5 KHz	Disponible para consumidores sin restricción

Tabla RC.3 Rangos de frecuencia de acuerdo a CENELEC EN 50065-1. [43]

Rango de Frecuencia	Nivel de Transmisión Máximo	Tipo de dispositivos
3 KHz - 95 KHz	134 dB ( $\mu$ V)	
95 KHz - 148.5 KHz	116 dB ( $\mu$ V)	Dispositivos de propósito general
95 KHz - 148.5 KHz	134 dB ( $\mu$ V)	Dispositivos especiales

Tabla RC.4 Niveles de transmisión de acuerdo a CENELEC EN 50065-1. [43]

Las mediciones de la distorsión armónica y su clasificación de acuerdo a la norma CENELEC EN 61000-3-2 de los doce electrodomésticos, se muestra a continuación:

<b>Electrodoméstico</b>	<b>% THD Voltaje</b>	<b>% THD Corriente</b>	<b>Clase</b>
Aspiradora	6.04	11.9	A
Cafetera	5.79	5.84	A
Cargador de Nextel	6.21	232.45	D
Computadora	6.05	159.04	D
Foco	5.95	7.35	C
Foco Ahorrador	6.49	88.19	A
Horno Eléctrico	6.3	6.19	A
Horno de Microondas	15.29	13.7	A
Plancha	6.03	6.01	A
Refrigerador	6.94	7.39	A
Taladro	5.87	18.17	B
Televisión	1.95	115.52	D

Tabla RC.5 THD y clasificación de los electrodomésticos.

Estos son los resultados de mayor importancia obtenidos a lo largo del proceso de medición de esta tesis.

Al observar la distorsión armónica de los electrodomésticos, se tiene que no todos los aparatos cumplen con la recomendación para el porcentaje de THD. Esto puede traer como consecuencia que si existen demasiadas cargas o las suficientes conectadas simultáneamente como para generar una sobretensión en la demanda de energía, la calidad de la misma se verá disminuida o afectada. Finalmente, con base en los resultados presentados se puede concluir lo siguiente:

De acuerdo con la norma EN 60065-1 los niveles de ruido presentados por los electrodomésticos se encuentran por debajo de los límites con los cuales se realizan las transmisiones para las aplicaciones de PLC de banda estrecha. Para las aplicaciones BPL, existen problemas de interferencia con bandas de frecuencia y potencias de transmisión que estaban previamente establecidas. Son los radioaficionados, principalmente, los que se quejan de que la comunicación mediante PLC introduce ruido en las bandas de radio.

Parte del problema de la emisión electromagnética se puede resolver, o al menos mejorar, inyectando señales de menor potencia e implementando nuevas y distintas técnicas de modulación para la transmisión de datos e información por medio de PLC. Una posible solución para reducir las interferencias sería la colocación masiva de filtros de radiofrecuencia, pero esto encarecería el servicio y disminuiría la rentabilidad. [10]

En concordancia con la norma EN 55022 y su equivalente norteamericana FCC parte 15 sección 107, el límite para las emisiones conducidas para la clase B son [29]:

<b>Frecuencia</b>	<b>Promedio Límite</b>
0.15 MHz a 0.5 MHz	56 dB $\mu$ V a 46 dB $\mu$ V
0.5 MHz a 5 MHz	46 dB $\mu$ V
5 MHz a 30 MHz	50 dB $\mu$ V

Tabla RC.6 Rango de frecuencias y promedio límite de radiación conducida [29]

En el rango de los 5 a 30 MHz la potencia equivalente es de -56.98 dBm, esta potencia es mayor que la potencia media que se observó en las mediciones realizadas,

ya que estas se encuentran en  $-68.03$  y  $-67.5$  dBm para las muestras de corriente y voltaje respectivamente.

Con base en los datos anteriores, y tomando en cuenta que la información transmitida mediante los equipos PLC suele trabajar en el rango de frecuencia de 1.7 a 30 MHz, se concluye que es poco probable que el ruido generado por los electrodomésticos represente problemas de interferencia para la transmisión de los datos en un sistema BPL de interior.

De acuerdo a la actualización de la regulación europea [24], las emisiones conducidas causadas por PLC se encuentran por de bajo de los límites estándar, por lo que otros dispositivos electrodomésticos no se ven afectados a causa de PLC, pues se manejan señales de  $-30\dots-20$  dBm @ 1kHz de ancho de banda. Esto concuerda con las conclusiones obtenidas de este trabajo, puesto que existe una amplia separación entre las señales que se manejan para PLC y los niveles de ruido encontrados.

Los resultados de esta tesis indican que las señales de ruido de los electrodomésticos que se encuentran en el orden de 29 a 90  $\mu$ V no representan ningún problema para PLC y BPL, sin embargo resultaría muy interesante poder hacer más pruebas bajo mejores condiciones.

El trabajo a futuro que se puede desprender de esta tesis, sería en primer lugar el diseño y realización de un filtro de armónicos. Esto debido a que la señal de energía eléctrica proporcionada por CFE suele contaminarse a lo largo del proceso de

transportación y distribución, y el consumidor final no recibe la señal tan pura o tan limpia como es deseado. Con el uso de un filtro de armónicos, se puede “limpiar” o mejorar la señal eliminando el ruido que trae la línea y que suele ser generado por agentes ajenos al consumidor final. Todo esto con el fin de poder realizar las mediciones sobre la red eléctrica de una casa u oficina que es el canal real donde trabaja PLC.

Una vez que se disponga del filtro de armónicos, resultaría interesante volver a realizar las mediciones presentadas en este trabajo, así como diseñar un nuevo experimento en donde se puedan realizar pruebas y mediciones con un conjunto de cargas trabajando simultáneamente de forma que se pueda conocer el comportamiento de la respuesta en frecuencia de todo el conjunto y no sólo de los electrodomésticos por separado. Esto debido a que una de las limitaciones que se encontró en la realización del presente experimento, fue que al conectar tres o más cargas simultaneas, el funcionamiento de las mismas ya no era el adecuado; así que por protección del equipo sólo se realizaron las mediciones individuales de cada electrodoméstico.

Finalmente sería bueno también realizar pruebas y observar el comportamiento de forma simultánea tanto de un grupo de electrodomésticos como de los datos transmitidos por PLC por la misma red eléctrica de una casa u oficina. Aunque en México aún no se cuenta con el servicio PLC de manera comercial, existen módems que toman la señal de un equipo ADSL y lo transmiten por el tendido eléctrico de una casa u oficina. Con este equipo debería ser suficiente para comprobar si los datos transmitidos por el módem PLC a través del tendido eléctrico, son afectados por el ruido generado

por los electrodomésticos conectados a la misma red. Por último, también se podría realizar las mediciones pertinentes para conocer hasta qué punto estos equipos PLC introducen ruido a otras bandas de frecuencia.