

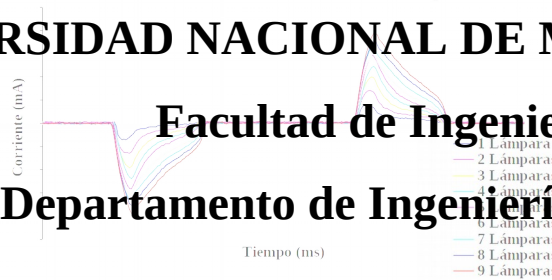


UNIVERSIDAD NACIONAL DE MAR DEL PLATA

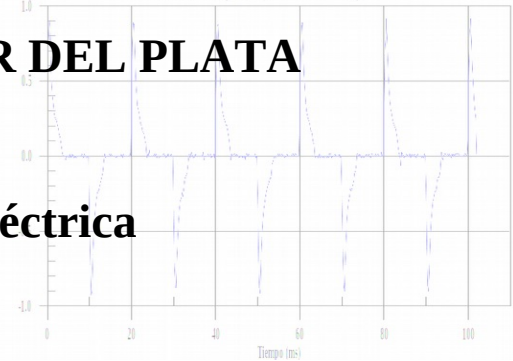
Facultad de Ingeniería

Departamento de Ingeniería Eléctrica

Señales de corriente en el dominio del tiempo

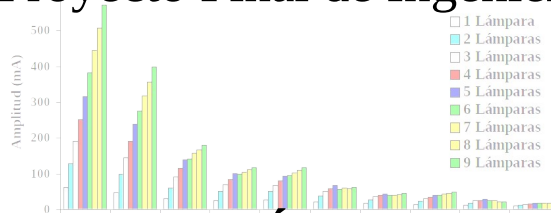


Corrientes consumidas por la carga en el dominio de la frecuencia



Corrientes consumidas por la carga en el dominio de frecuencia

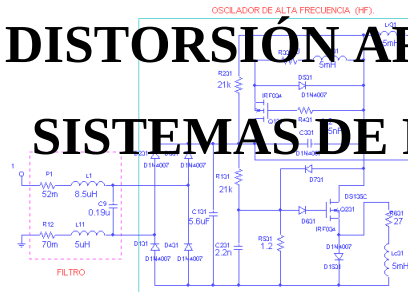
Proyecto Final de Ingeniería Eléctrica



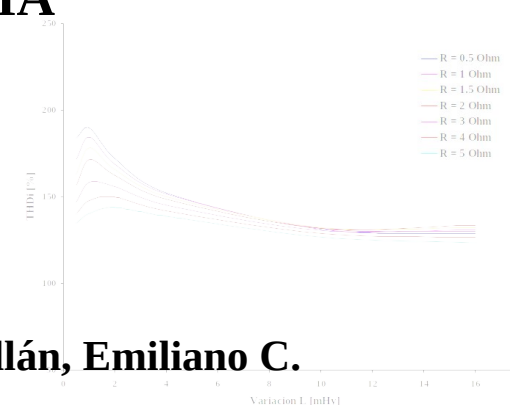
Una fase del Variador de Velocidad



# “PREDICCIÓN DE NIVELES DE LA DISTORSIÓN ARMÓNICA EN SISTEMAS DE POTENCIA”



THDI al variar L y para distintos valores de R (9 LFC)



Señales de corriente en el dominio del tiempo



**Autores:**

**Cerviño, Jorge Raúl B.**

**Ingeniería Eléctrica**

**Matrícula: 7994**

**Santillán, Emiliano C.**

**Ingeniería Eléctrica**

**Matrícula: 9705**

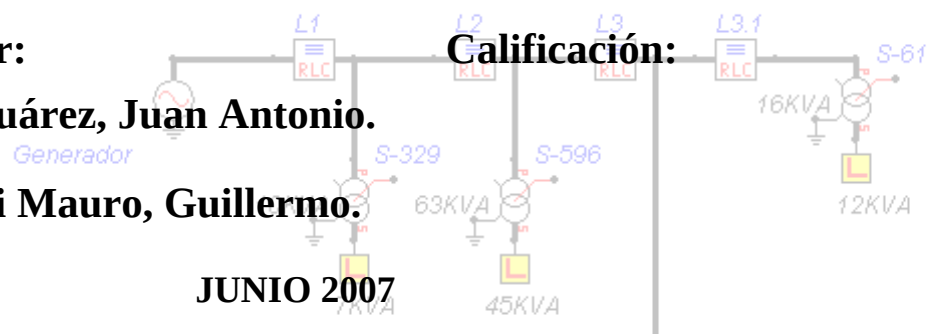
**Tutor y Co-Tutor:**

**Ingeniero Suárez, Juan Antonio.**

**Ingeniero di Mauro, Guillermo.**

**Calificación:**

**JUNIO 2007**





RINFI se desarrolla en forma conjunta entre el INTEMA y la Biblioteca de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional de Mar del Plata.

Tiene como objetivo recopilar, organizar, gestionar, difundir y preservar documentos digitales en Ingeniería, Ciencia y Tecnología de Materiales y Ciencias Afines.

A través del Acceso Abierto, se pretende aumentar la visibilidad y el impacto de los resultados de la investigación, asumiendo las políticas y cumpliendo con los protocolos y estándares internacionales para la interoperabilidad entre repositorios



Esta obra está bajo una [Licencia Creative Commons Atribución-  
NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/).



## Agradecimientos

En primer lugar queremos agradecer a nuestras familias por el apoyo incondicional en todos estos años. A nuestro tutor Ing. Suárez Juan A. y co-tutor Ing. di Mauro Guillermo F. por el tiempo dedicado a la realización de nuestro Proyecto Final.

También queremos hacer mención a todos los profesores del Departamento Eléctrico de la Facultad de Ingeniería por los conocimientos brindados a lo largo de estos años.

A nuestros compañeros ya recibidos Ing. Ángel Juárez y Diego Marini por los buenos momentos de estudio compartidos en la carrera.

**A TODOS ELLOS**

**GRACIAS !!!!!!!!!!!!!**



## Resumen

En los años recientes, los armónicos han sido considerados como uno de los problemas más esenciales en los sistemas de potencia eléctricos.

Este proyecto conceptualiza la problemática que las cargas no lineales ocasionan en la calidad de la energía, por la presencia de distintos niveles de distorsión armónica.

Se comienza con una introducción teórica, donde se describen las consecuencias de las corrientes armónicas, como también la presencia de fenómenos de mitigación de las mismas.

Se incluye un relevamiento experimental de cargas alineales como Lámparas Fluorescentes Compactas (LFC), Variador de Velocidad de un motor de corriente alterna y una concentración de cargas pertenecientes a una fábrica embotelladora, utilizando para ello, instrumentos de medición como lo son el analizador de redes **Hioki 3166**, el osciloscopio digital **Fluke ScopeMeter 97** y el tester de uso industrial marca **PROVA 21 Power Harmonics & Leakage Tester**, obteniéndose de las mismas, las formas de ondas de corriente y tensión, descomposiciones armónicas y niveles de distorsión.

Se analiza los fenómenos de mitigación de armónicos (como por ejemplo el de diversidad y atenuación) para estos tipos de cargas, realizando un estudio más exhaustivo sobre las Lámparas Fluorescentes Compactas (LFC).

Fueron utilizadas herramientas computacionales como **ATPDraw** y **Pspice** para investigar los comportamientos de las tasas de distorsión armónicas de tensión (THDv) en un sistema de distribución de potencia típico (AT/MT/BT) y en un tramo de la red de la ciudad de Balcarce (MT/BT), y de corriente (THDi), variando la impedancia de una red de baja tensión al ingresar en paralelo las cargas anteriormente mencionadas, recurriendo al método de inyección de corrientes y al modelo eléctrico respectivamente.

Las mediciones con LFC efectuadas bajo ensayos prácticos se comparan con la del modelo realizado en **Pspice**, comprobando el poder de predicción mediante simulación.

Finalmente se contrastan todos los resultados recabados por medición y simulación con los solicitados por las normas vigentes del Ente Nacional Regulador de la Electricidad (**ENRE**) y **IEEE 519** en cuestiones de corriente y tensión para el THD, obteniéndose también puntualmente la cantidad lámparas que superan dichos límites permitidos.



## Índice

<b>Resumen</b> .....	1
----------------------	---

### CAPITULO 1

#### Introducción

#### **Análisis sobre la calidad de la energía en redes eléctricas**

Definición de la onda de tensión.....	2
Definición de variaciones de frecuencia.....	3
Causas que se generan.....	3
Consecuencias.....	3
Definición de variaciones lentas de tensión.....	3
Causas que las originan.....	4
Efectos que producen.....	5
Definición de fluctuaciones de tensión y flícker.....	5
Fluctuaciones de tensión.....	5
Flícker.....	6
Índice para la evaluación de flícker.....	7
Causas que las originan.....	7
Efectos que producen.....	7
Definición de huecos de tensión y cortes breves.....	8
Hueco de tensión.....	8
Corte breve de tensión.....	8
Causas que originan la aparición de huecos de tensión.....	9
Definición de impulsos de tensión.....	9
Causas que los originan.....	10
Efectos sobre las cargas.....	10
Definición de desequilibrios de tensión.....	10
Valores de referencia.....	11
Medida.....	11
Causas que los originan.....	11
Efectos que producen.....	11
Definición de distorsión armónica.....	11
Definición del espectro de frecuencias de una señal .....	13
Índices de evaluación.....	14
Índice de distorsión armónica total (THD).....	14
Factor de diversidad (FD).....	15
Factor de atenuación (FA).....	15
Causas que la originan.....	15
Efectos que producen.....	17
Efecto en los cables y conductores.....	17
Efecto en transformadores.....	17
Efecto en interruptores (circuit breakers).....	19
Efecto en las barras de neutros.....	19
Efecto en los bancos de capacitares.....	20



Resonancia en paralelo.....	20
Resonancia serie.....	22
Efecto en los motores de inducción.....	23
Pérdidas en los motores de inducción.....	23
Torque en el motor de inducción.....	23
Efectos en otros equipos.....	23
Recomendaciones para disminuir el efecto de los armónicos.....	24
Filtros.....	24
Filtros Pasivos.....	25
Filtro pasa bajas.....	25
Filtro pasa altos.....	27
Filtro pasa bandas.....	28
Filtro eliminadores de bandas.....	29
Filtros Activos.....	30
Conexión paralelo o shunt.....	31
Conexión serie.....	32
Conexión serie paralelo.....	33
Filtrado híbrido.....	34

## CAPITULO 2

### Herramientas computacionales

Espectro de frecuencia utilizando programa TOP 2000.....	35
Importación de los datos con un macro de Excel.....	37
Programa de simulación Pspice.....	41
Método por inyección con fuentes de corriente (Isin).....	42
Modelo real de una lámpara LFC de 20W.....	45
Programa de simulación EMTP.....	48
Alternative Transients Program (ATPDraw).....	48

## CAPITULO 3

### Estudio de cargas alineales

Procedimiento para el uso del osciloscopio digital Fluke ScopeMeter 97.....	53
Procedimiento para el uso del instrumento PROVA 21.....	54
Procedimiento para el uso analizador de armónicos HIOKI 3166.....	55

## CAPITULO 3.1

### Primer ensayo con Lámparas Fluorescentes Compactas (LFC) de 20W

Una Lámpara Fluorescente Compacta de 20W.....	61
---	----



Dos Lámparas Fluorescentes Compactas de 20W.....	62
Tres Lámparas Fluorescentes Compactas de 20W.....	62
Cuatro Lámparas Fluorescentes Compactas de 20W.....	63
Cinco Lámparas Fluorescentes Compactas de 20W.....	64
Seis Lámparas Fluorescentes Compactas de 20W.....	64
Siete Lámparas Fluorescentes Compactas de 20W.....	66
Ocho Lámparas Fluorescentes Compactas de 20W.....	67
Nueve Lámparas Fluorescentes Compactas de 20W.....	67
Mediciones extraídas por el instrumental HIOKI 3166.....	69
Análisis de los datos relevados.....	71

## **CAPITULO 3.2**

### **Segundo ensayo con Lámparas Fluorescentes Compactas (LFC) de 20W**

Una Lámpara Fluorescente Compacta de 20W.....	73
Nueve Lámparas Fluorescentes Compactas de 20W.....	73
Mediciones realizadas con el instrumental HIOKI 3166.....	75
Análisis de los datos relevados.....	78

## **CAPITULO 3.3**

### **Tercer ensayo con Lámparas Fluorescentes Compactas (LFC) de 20W**

Ensayo en vacío.....	81
Mediciones con el instrumental HIOKI 3166 sin transformador.....	84
Mediciones con el instrumental HIOKI 3166 con transformador.....	87
Análisis de los datos relevados.....	89

## **CAPITULO 3.4**

### **Cuarto ensayo con Lámparas Fluorescentes Compactas (LFC) de 20W**

Primer ensayo.....	103
Segundo ensayo.....	105
Análisis de la influencia del THDv de la red sobre las mediciones.....	109
Efecto de Atenuación.....	110
Comparación con normativas actuales.....	113

## **CAPITULO 3.5**

### **Ensayo con variador de velocidad**

Primer ensayo con medición de una fase.....	116
Segundo ensayo con medición de tres fases.....	118
Análisis de los datos relevados.....	122



## CAPITULO 3.6

### Ensayo en Embotelladora

Primer ensayo (Tablero General).....	123
Segundo ensayo (Tablero 1).....	126
Tercer ensayo (Tablero 2).....	128
Cuarto ensayo (Tablero Compresores).....	130
Análisis de los datos relevados.....	133

## CAPITULO 4

### Distorsión armónica de corriente de LFC mediante simulación

Primera simulación.....	134
Segunda simulación.....	138
Estimación del THDv por dos métodos distintos (Modelo real e Inyección con fuentes de corrientes).....	144

## CAPITULO 5

### Distorsión armónica de tensión en sistemas eléctricos de potencias

Simulación con 1 LFC (General Electric).....	148
Simulación con 20 LFC (General Electric).....	149
Simulación con 20 LFC (distintas marcas).....	149
Simulación con una fase del variador de velocidad.....	150
Simulación con una fase del Tablero General (Embotelladora).....	151
Simulación con 20 LFC (distintas marcas) + una fase del variador de velocidad + una fase del Tablero General (Embotelladora).....	151
Simulación con n LFC (General Electric).....	152

## CAPITULO 6

### Distorsión armónica de tensión en el sistema eléctrico de la ciudad de Balcarce

Primera simulación con cargas aproximadamente lineales.....	159
Segunda simulación con cargas alineales y aproximadamente lineales.....	163
Tercera simulación con LFC (General Electric).....	164





## CAPITULO 7

### Normas y Recomendaciones

Normativa del E.N.R.E (0099/1997. Boletín Oficial n° 28.583).....	166
Calculo de la Distorsión Penalizable Individual de Armónicas.....	167
Normativa del E.N.R.E (0465/1996. Boletín Oficial n° 28.470).....	168
Calculo de la Distorsión Penalizable Individual de Armónicas.....	169
Norma IEEE 519.....	169
Límites de distorsión de corriente.....	170
Límites de distorsión de tensión para distribuidor.....	171
Norma IEC 555-2.....	171
Niveles de armónicas permitidas por otra norma.....	172
Límites de distorsión de tensión.....	173
Límites de distorsión en corriente.....	173
Punto de medición del nivel de armónicas.....	175

### Conclusiones

Sobre ensayos realizados.....	176
Sobre simulaciones con Pspice y ATPDraw.....	177
Propuestas para una instalación existente.....	179

<b>Anexo A-Valores de salida del Pspice.....</b>	<b>181</b>
--	------------

<b>Anexo B-Valores de salida del ATPDraw.....</b>	<b>244</b>
---	------------

<b>Anexo C-Valores de salida del ATPDraw en Red de la ciudad de Balcarse.....</b>	<b>252</b>
---	------------

<b>Anexo D-Fotografías de Ensayos.....</b>	<b>257</b>
--	------------

Referencias Bibliográficas.....	261
---------------------------------	-----



## CAPÍTULO 1- Introducción

### Análisis sobre la calidad de la energía en redes eléctricas

Desde hace unos años, se está registrando en todos los países industrializados una creciente preocupación hacia la “calidad del producto de la energía eléctrica” o, dicho de otra forma, hacia la “calidad de la onda de tensión”.

Las alteraciones de la “calidad de la onda” tienen lugar en los propios procesos de producción, transporte y distribución, así como en su utilización por determinados tipos de receptores, siendo por lo tanto inevitables. Sin embargo, sólo en los últimos años se están convirtiendo en un motivo de preocupación. Y esto es debido a dos causas principales:

- Por un lado, los procesos industriales requieren cada vez más una mayor calidad de todos los productos utilizados, y en particular, de la electricidad, haciéndose más sensibles a las alteraciones que puedan existir.
- Por otro lado, la creciente utilización de receptores que generan perturbaciones hace que el nivel de contaminación general de las redes eléctricas esté aumentando, lo que puede así incidir en el normal funcionamiento de los demás receptores a ellas conectados y, en definitiva, extendiendo el problema.

Las propias empresas eléctricas han de intentar reducir en lo posible el impacto de las alteraciones existentes, asesorando a sus clientes sobre la forma más correcta de utilizar la energía eléctrica, especialmente en receptores que generan perturbaciones.

Los fabricantes de aparatos y receptores, tienen que diseñarlos y fabricarlos para que su utilización no altere la compatibilidad electromagnética entre la red a la que se van a conectar y los equipos a ella conectados.

Los propios usuarios tienen que preparar y explotar sus instalaciones teniendo en cuenta las características de la red a la que se van a conectar, su entorno electromagnético y los requerimientos de inmunidad de sus propias instalaciones.

Finalmente, las Administraciones Públicas competentes deberán organizar el marco legal adecuado que regule las relaciones entre todos ellos.

### Definición de la onda de tensión

La energía eléctrica es suministrada en la forma de un sistema trifásico de tensiones de naturaleza sinusoidal.

Hay cuatro parámetros que caracterizan a la onda de tensión y que permiten medir su grado de pureza:

- Frecuencia.
- Amplitud.
- Forma.
- Simetría.

Las centrales eléctricas producen una onda sinusoidal de 50 ciclos por segundo prácticamente perfecta, por lo que, desde el punto de vista del suministro al cliente, los parámetros mencionados se consideran constantes en la generación.

Sin embargo, en el proceso de transporte y distribución de la energía desde las centrales hasta los puntos de consumo final, que tiene lugar a través de las redes eléctricas, estas magnitudes sufren alteraciones que pueden afectar a determinados usuarios.



Estas alteraciones tienen su origen en las propias instalaciones eléctricas, como consecuencia de maniobras, averías, etc., en fenómenos naturales, descargas atmosféricas y en el funcionamiento normal de determinados receptores, puentes rectificadores, hornos de arco, etc.; que las transmiten a los demás receptores a través de la red eléctrica.

Su eliminación completa resulta, por lo tanto, imposible. Por ello, es necesario adecuar los receptores, con el fin de disminuir al máximo las emisiones que generan y que pueden afectar al funcionamiento de otros receptores, así como reducir en lo posible las repercusiones que pueden tener dichas alteraciones sobre su propio funcionamiento normal.

### **Definición de variaciones de frecuencia**

Se dice que existen variaciones de frecuencia en un sistema eléctrico de corriente alterna cuando se produce una alteración del equilibrio entre carga y generación. La frecuencia, en un sistema eléctrico de corriente alterna, está directamente relacionada con la velocidad de giro, es decir, con el número de revoluciones por minuto de los alternadores.

Dado que la frecuencia es común a toda la red, todos los generadores conectados a ella girarán de manera síncrona, a la misma velocidad angular eléctrica. [1]

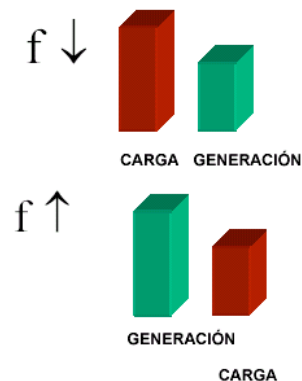
#### **Causas que se generan**

Si la carga es superior a la generación:

- Alternadores pierden velocidad.
- Aumenta la energía mecánica (turbinas).

Si la carga es inferior a la generación:

- Alternadores aumentan velocidad.
- Disminuye la energía mecánica (turbinas).



#### **Consecuencias**

- Motores transmiten menos o más potencia.
- Filtros de armónicos sufren distorsiones.
- Alteración de aquellos procesos de control que utilizan la frecuencia como señal de referencia.
- Turbinas de las centrales sufren vibraciones (fatiga).
- Los relojes eléctricos sincronizados con red, atrasan o adelantan. [2]

### **Definición de variaciones lentas de tensión**

Se produce una variación de tensión cuando hay una alteración en la amplitud y, por lo tanto, en el valor eficaz de la onda de tensión. Una variación de tensión tiene:

- un valor de partida.
- un valor final.
- una duración, es decir, el tiempo que emplea en pasar del valor inicial al valor final (Figura 1).

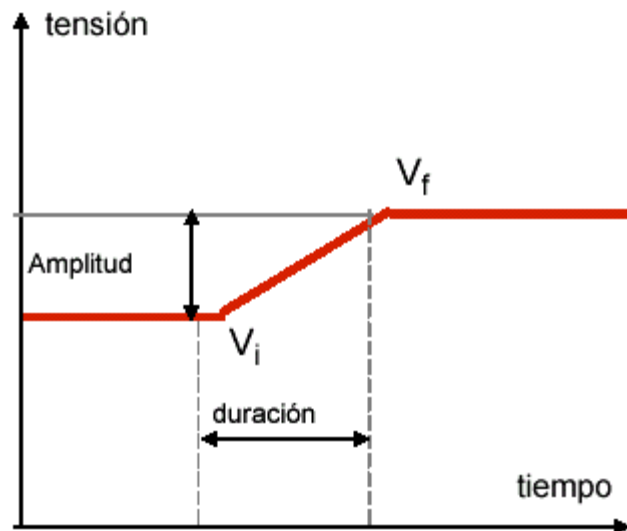


Figura 1[2]- Variaciones lentas de tensión.

En otras palabras, amplitud y duración son los parámetros característicos de una variación de tensión. Pues bien, se considera una variación lenta de tensión a aquella cuya duración es superior a 10 segundos. Cabe distinguir aquí entre las variaciones lentas y las fluctuaciones que se verán más adelante. La diferencia estriba en que, en estas últimas, la duración va desde varios milisegundos hasta los 10 segundos.

En una red eléctrica ideal, la tensión de suministro debería tener un valor concreto y constante igual al de la tensión nominal. Sin embargo, en la práctica, no hay redes ideales, por lo que la tensión de servicio puede presentar valores diferentes en un período de tiempo determinado, si bien cabe esperar que éstos se encuentren casi siempre dentro de unos márgenes razonables de variación respecto de la tensión nominal.

### Causas que las originan

Para analizar las causas que originan las variaciones lentas de tensión, es útil determinar los factores de los cuales depende el valor de la tensión de una red. Desde el punto de vista de la conexión de un receptor, el sistema de distribución de energía eléctrica puede quedar representado mediante el esquema indicado en la Figura 2.

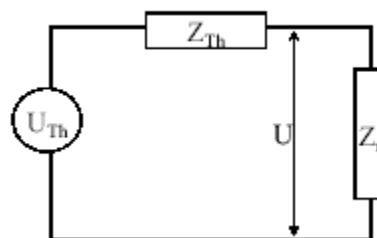


Figura 2 – Circuito equivalente Thevenin.

En este circuito, la tensión en los terminales del receptor responderá a la expresión:

$$U = \frac{Z_r}{Z_{Th} + Z_r} \cdot U_{Th} \quad (1)$$



En consecuencia, el valor de la tensión  $U$  en el receptor depende de los siguientes factores:

- La tensión del generador ( $U_{th}$ ).
- La impedancia en serie de la red ( $Z_{th}$ ).
- El valor de la impedancia del receptor ( $Z_r$ ).

De todos los factores que influyen en las variaciones de tensión, el más importante es la impedancia del receptor, que depende a su vez de la carga conectada. Esta puede variar por diversas razones, entre las cuales cabe destacar las siguientes:

- El consumo de energía no se realiza de forma constante. A lo largo del día, hay períodos de consumo intenso, a los que se denomina "horas pico", y períodos de bajo consumo, a los que se llaman "horas valle".

- Los receptores no son iguales y sus diferencias condicionan asimismo las características del consumo. Así, no es lo mismo que el consumo se concentre en una zona con una importante componente industrial, a que lo haga en una mayoritariamente residencial.

La variación del consumo en un tiempo determinado recibe el nombre de curva de carga. Las variaciones de tensión se encuentran estrechamente ligadas a ella, de forma que es de esperar que la tensión de la red sea mayor en los momentos de bajo consumo, que en los de alto. [1]

### **Efectos que producen**

Motor eléctrico:

- Caída del par de arranque (motor no gira).
- Sufre calentamiento (avería).

Lámparas incandescentes:

- Disminución de intensidad lumínica.

Lámparas de descarga:

- Puede llegar a no encenderse (no se alcanza la tensión de cebado).

Contactores y relés pueden tener funcionamientos incorrectos. [2]

### **Definición de fluctuaciones de tensión y flicker**

#### **Fluctuaciones de tensión**

Se dice que hay fluctuaciones de tensión cuando se producen variaciones periódicas o series de cambios aleatorios en la tensión de la red eléctrica. A su vez, las variaciones de tensión se definen como las variaciones del valor eficaz o valor de pico de tensión entre dos niveles consecutivos que se mantienen durante un tiempo finito no especificado. Su duración va desde varios milisegundos hasta unos 10 segundos y con una amplitud que no supera el  $\pm 10\%$  del valor nominal.

La Comisión Electrotécnica Internacional (CEI) clasifica las fluctuaciones de tensión en cuatro tipos (Figura 3):

- **Tipo a:** Variaciones rectangulares de tensión de período constante. Por ejemplo, las ocasionadas por interrupciones de cargas resistivas.

- **Tipo b:** Escalones de tensión que se presentan de forma irregular en el tiempo y cuya magnitud varía tanto en sentido positivo, como negativo.



- **Tipo c:** Cambios en la tensión claramente separados que no siempre llevan aparejados escalones de tensión. Por ejemplo, las originadas por acoplamientos de cargas no resistivas.
- **Tipo d:** Series de fluctuaciones esporádicas o repetitivas. Por ejemplo, las producidas por cambios cíclicos o aleatorios de cargas.

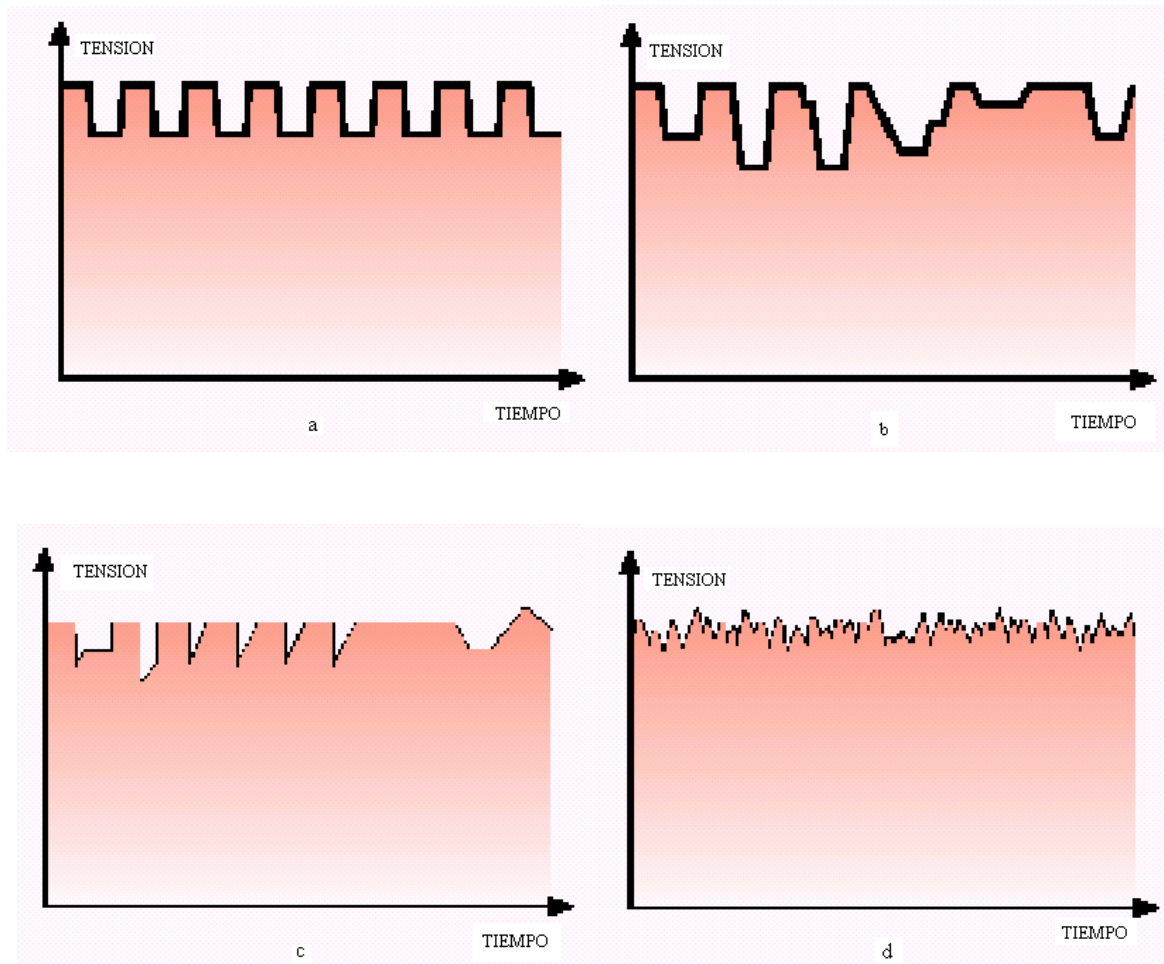


Figura 3-Clasificación de las fluctuaciones de tensión.

### Flícker

Se define el “flícker” como la impresión subjetiva de fluctuación de la luminancia, ocasionada por una serie de variaciones de tensión (Figura 4), o por la variación cíclica de la envolvente de la onda de tensión, originando a quien lo percibe una sensación desagradable.

El “flícker” depende fundamentalmente de la amplitud, frecuencia y duración de las fluctuaciones de tensión que lo causan. Estas oscilan entre los 0,5 y los 30 Hz de frecuencia.

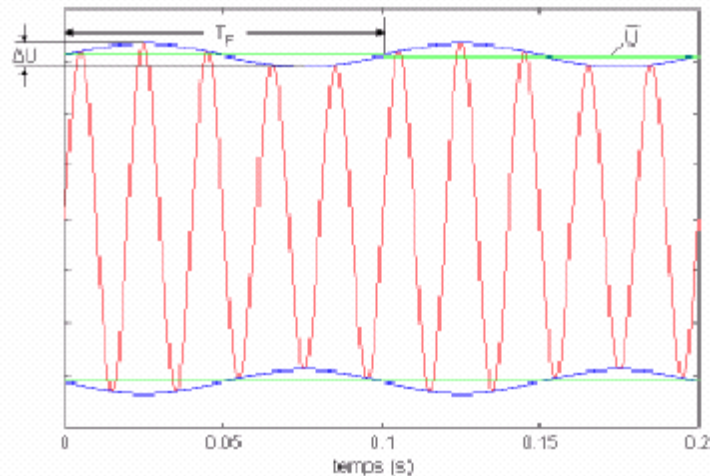


Figura 4[2]-Flicker.

### Índice para la evaluación de “flicker”

Los niveles de referencia para fluctuaciones de tensión, se establecen mediante el índice de severidad del flicker de corta duración (Pst), el cual se define para intervalos de observación base de 10 minutos. Se considera Pst=1 como el umbral de irritabilidad, asociado a la fluctuación máxima de luminancia que puede ser soportada sin molestia por una muestra específica de la población.

Con una probabilidad igual o mayor al 95%, no debe superarse el valor de Pst=1 en baja tensión durante un cierto período de tiempo.

### Causas que las originan

Las fluctuaciones de tensión son originadas por los receptores conectados a la red cuya demanda de potencia no es constante en el tiempo. En determinadas circunstancias, y dependiendo de su punto de conexión, pueden dar lugar a “flicker”.

Los principales dispositivos perturbadores son de tipo industrial:

- Máquinas de soldadura por resistencia.
- Molinos trituradores.
- Ventiladores de minas.
- Hornos de arco.
- Plantas de soldadura por arco.
- Compresores.
- Laminadoras.
- Máquinas herramientas.
- Cargas controladas por impulsos.

### Efectos que producen

Las fluctuaciones de tensión pueden afectar a gran cantidad de consumidores que reciben suministro eléctrico de la misma red.

Estas fluctuaciones de tensión no suelen tener una amplitud superior a  $\pm 10\%$ , por lo que muchos equipos no se ven afectados por ellas.



Los aparatos que producen mayor “flicker” son:

- Lámparas de incandescencia y de descarga.
- Monitores y receptores de televisión.

### **Definición de huecos de tensión y cortes breves**

#### **Hueco de tensión**

Se dice que ha tenido lugar un hueco de tensión en un punto de la red eléctrica cuando la tensión de una o más fases cae repentinamente por debajo de un límite establecido; generalmente el 90%, y se recupera al cabo de un tiempo determinado, que oscila entre los 10 milisegundos y varios segundos (Figura 5).

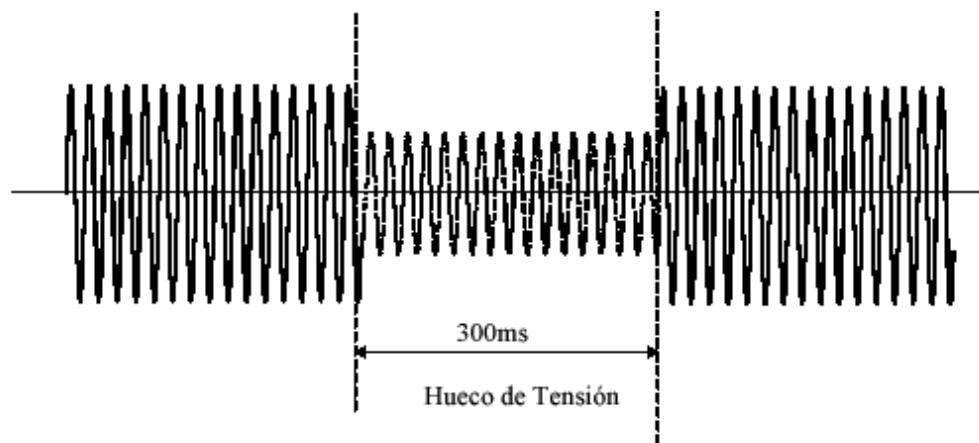


Figura 5[2]- Hueco de tensión.

El límite máximo de este período es el punto más controvertido en la definición de hueco de tensión:

- Si se atiende a la causa más típica que lo produce, la aparición y eliminación de fallas, su duración debiera estar relacionada con el tiempo máximo de permanencia de la falla. Por consiguiente, en el caso de las fallas más habituales, sería razonable establecer ese valor máximo en unos pocos segundos.

- Sin embargo, hay fallas como las que ocasionalmente se derivan del arranque directo de motores asincrónicos, en las que el tiempo de recuperación de la tensión puede llegar a las decenas de segundos. Por ello, algunas definiciones consideran que existen huecos de tensión cuando la duración es de hasta un minuto.

#### **Corte breve de tensión**

Se dice que ha tenido lugar un corte breve de tensión cuando los huecos de tensión y cortes breves producen la desaparición total de la tensión de las tres fases durante un tiempo superior a 10 milisegundos e inferior a 1 minuto (Figura 6). Es equivalente a un hueco de tensión que afecte a las tres fases y tenga una profundidad del 100%.



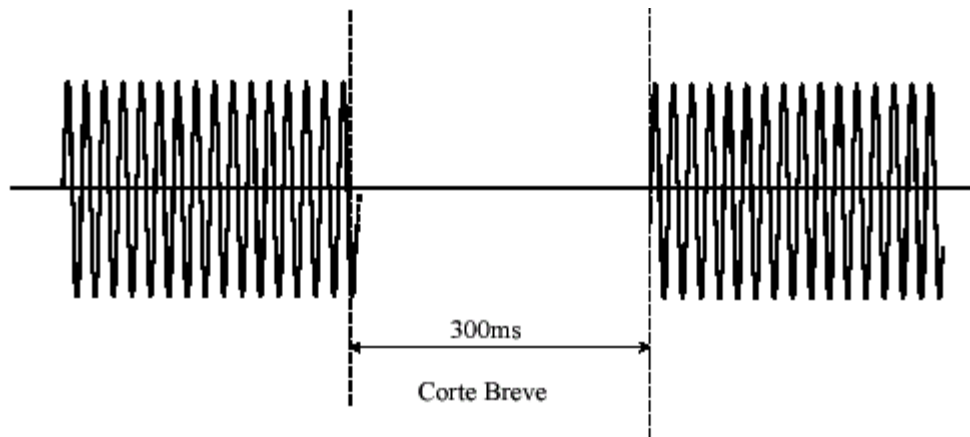
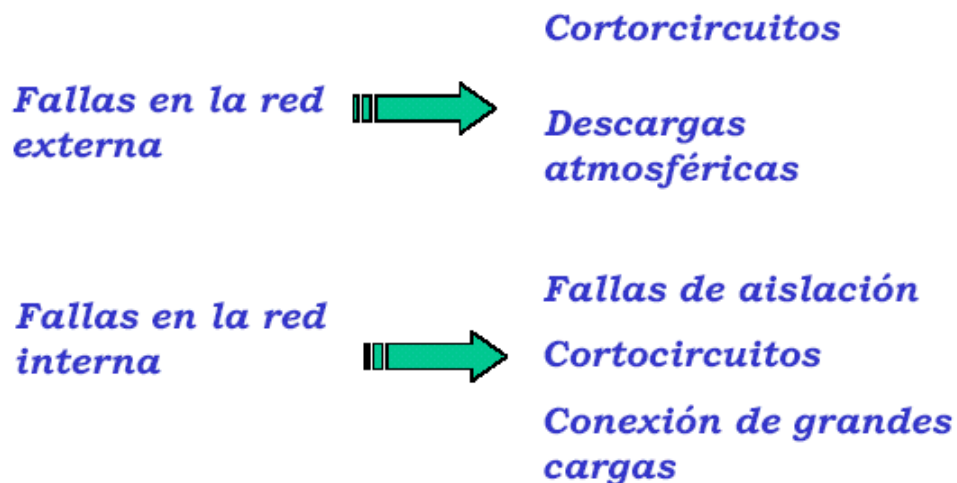


Figura 6[2]- Corte breve de tensión.

Reciben la denominación de cortes breves de corta duración los que no se prolongan más de 0,4 segundos; y cortes breves de larga duración, cuando superan ese límite. [1]

### Causas que originan la aparición de huecos de tensión

Aparecen debido a la presencia de fallas en la red eléctrica, tanto externas a la instalación como dentro de ella. [2]



### Definición de impulsos de tensión

Un impulso de tensión es una variación brusca del valor instantáneo de la amplitud de la tensión. Puede llegar a ser varias veces superior al valor nominal de ésta y su duración oscila entre algunos microsegundos y diez milisegundos, lo que equivale a medio ciclo de la onda sinusoidal.

Por su amplitud y duración, los impulsos de tensión tienen que ser analizados a partir de valores instantáneos de la amplitud de la onda de tensión y no mediante valores promediados, que son los que habitualmente se utilizan para medir otro tipo de perturbaciones que afectan a la amplitud de la onda. Los impulsos de tensión suelen aparecer de forma esporádica, pero es posible también que se repitan a lo largo del tiempo.

Pueden manifestarse en cualquier punto de la red. A partir de éste, tienden a desplazarse a lo largo de la misma con la velocidad de propagación de una onda en un medio



conductor. Por ello, en la práctica, suele considerarse que aparecen en todos los puntos de dicha red en el mismo instante en el que es generado, aunque con parámetros diferentes, especialmente en lo que se refiere al valor de pico y, por tanto, a su energía asociada, que disminuye cuanto más se aleja del punto de generación. En consecuencia, es posible que ciertos impulsos generados en líneas de alta tensión se propaguen por ellas, se transmitan a través del acoplamiento inductivo de los transformadores y aparezcan atenuados en las líneas de tensiones más bajas. [1]

### **Causas que los originan**

Las causas de aparición de los impulsos son múltiples, aunque suelen estar relacionadas con la conexión y desconexión de equipos a la red y a los fenómenos atmosféricos. A continuación se resumen las causas más comunes:

- Impacto directo de un rayo en la red eléctrica.
- Actuación de protecciones.
- Operaciones de conexión y desconexión de líneas eléctricas.
- Conexión de baterías de condensadores.
- Conmutación propia de los convertidores de potencia.
- Conexión y desconexión de transformadores.

### **Efectos sobre las cargas**

- Equipos electrónicos que pueden destruirse si se supera la tensión máxima admisible.
- Sistemas aislantes de máquinas eléctricas rotativas y transformadores pueden verse afectados sufriendo un envejecimiento prematuro. [2]

### **Definición de desequilibrios de tensión**

Se dice que existe desequilibrio de tensión, o que hay un sistema trifásico desequilibrado o asimétrico, cuando los módulos de los tres vectores representativos de las tensiones o los desfases relativos existentes entre ellos no son iguales (Figura 7).

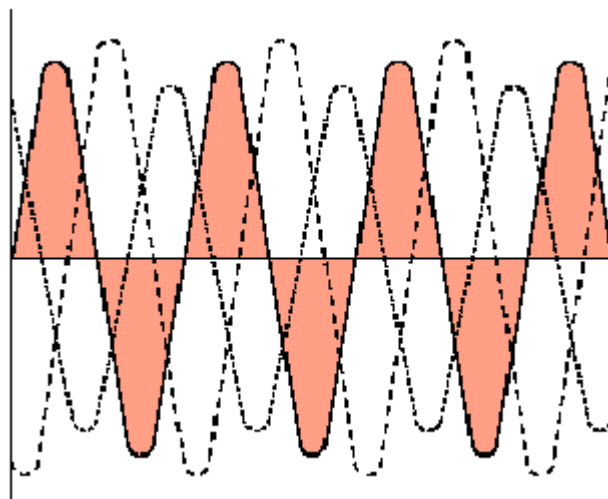


Figura 7- Desequilibrio de tensión.



## Valores de referencia

Las tensiones asimétricas que aparecen en el punto de conexión común (PCC), como consecuencia de la conexión de cargas asimétricas trifásicas o cargas fase-fase, pueden ser calculadas mediante la siguiente expresión:

$$U_{asim} \% = \frac{\text{Potencia aparente de las cargas conectadas}}{\text{Potencia de cortocircuito en el punto PCC}} \quad (2)$$

## Medida

Partiendo de medidas reales de la tensión compuesta de línea, se pueden obtener valores aproximados del grado de asimetría mediante esta fórmula:

$$U_{asim} \% = \frac{\text{Desviación máxima respecto del valor medio de la carga de tensión}}{\text{Valor medio de tensión}} \quad (3)$$

## Causas que los originan

- Distribución no homogénea de cargas monofásicas.
- La presencia en la red de media y alta tensión de cargas conectadas entre dos fases:
  - Hornos de inducción (cuando trabajan a la frecuencia de la red).
  - Hornos de fusión de resistencia.
  - Instalaciones inductivas por calentamiento.
  - Hornos de resistencia para la fabricación de electrodos.
  - Instalaciones de calentamiento por arco voltaico.
  - Máquinas de soldadura por resistencia.
  - Hornos de fusión de acero de arco voltaico.
  - Sistemas de tracción eléctrica, por la conexión fase-tierra. [1][2]

## Efectos que producen

Las tensiones asimétricas producen diferentes efectos según cuál sea el tipo de receptor:

- Transformadores y líneas: para una misma carga activa, la intensidad causada por la asimetría puede ser el doble de la que existiría en situación de simetría.
- En los motores asíncronos: los aumentos de temperatura por calentamiento son significativos para valores de  $U_{asim}$  superiores a un 1%, y son especialmente perjudiciales cuando se llega al 2% en máquinas totalmente cargadas.
- Equipos de regulación y control: como señala la norma CEI 146, deben estar preparados para aceptar un grado de asimetría de hasta el 2%. En caso de que este nivel sea superado, su funcionamiento puede verse afectado de manera significativa.

## Definición de distorsión armónica

Se dice que existe distorsión armónica cuando la onda sinusoidal, prácticamente pura, que generan las centrales eléctricas sufre deformaciones en las redes de alimentación a los usuarios (Figura 8).

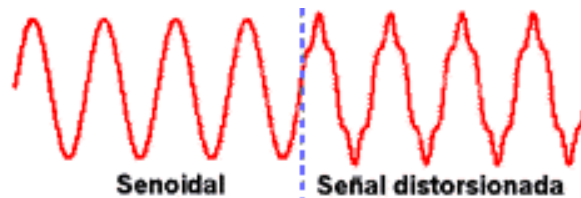


Figura 8[2]-Deformación de la onda sinusoidal.

Para cuantificar el grado de deformación de una onda de tensión o de intensidad que no es sinusoidal pura, aunque sí periódica, con 50 Hz de frecuencia, se recurre a su análisis frecuencial. Este se lleva a cabo normalmente mediante la transformada rápida de Fourier, la cual es un algoritmo de cálculo que nos proporciona los contenidos de las diferentes ondas sinusoidales puras que componen la onda deformada (figura 9).

Estos contenidos se refieren a:

- La componente fundamental de la onda (50 Hz de frecuencia).
- Las componentes de frecuencias armónicas (múltiplos de 50 Hz), que reciben la denominación de armónicos de tensión o de corriente. Su presencia debe limitarse. [1]

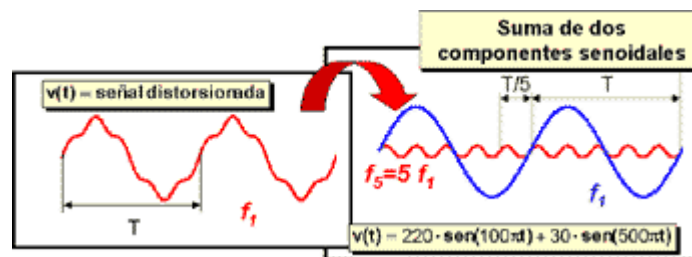


Figura 9[2]-Descomposición por serie de Fourier.

Los armónicos se definen habitualmente con los dos datos mas importantes que les caracterizan, que son:

- **Amplitud:** hace referencia al valor de la tensión o intensidad del armónico.
- **Orden:** hace referencia al valor de su frecuencia referido a la fundamental (50 Hz.).

Así, un armónico de orden tres tiene una frecuencia tres veces superior a la fundamental, es decir  $3 \times 50 \text{ Hz} = 150 \text{ Hz}$ .

El orden del armónico, también referido como el rango del armónico, es la razón entre la frecuencia de un armónico  $f_n$  y la frecuencia fundamental  $f_1$  (50 Hz.).

$$n = \frac{f_n}{f_1} \quad (4)$$

La representación de la serie de Fourier es:

$$y(t) = Y_0 + \sum_{n=1}^{n=\infty} Y_n \sqrt{2} \sin(n\omega t - \varphi_n) \quad (5)$$

Donde:

$Y_0$  = es la componente de corriente directa, la cual es generalmente cero en sistemas eléctricos de distribución.



$Y_n$  = valor eficaz (rms) de la componente  $n$  armónica.

$\varphi_n$  = ángulo de fase de la componente  $n$  armónica cuando  $t = 0$ . [3]

### Definición del espectro de frecuencias de una señal

El espectro de frecuencias de una señal es una representación que permite conocer las amplitudes y ángulos de desfases relativos de cada una de las componentes sinusoidales que integran a la señal distorsionada. Se obtiene mediante la Transformada de Fourier o su aplicación digital denominada FFT ("Fast Fourier Transform"). Esta transformación se puede asimilar de forma muy simplificada a una proyección sobre un plano *amplitud - frecuencia* de las amplitudes de las distintas componentes sinusoidales que integran la señal (Figura 10). [2]

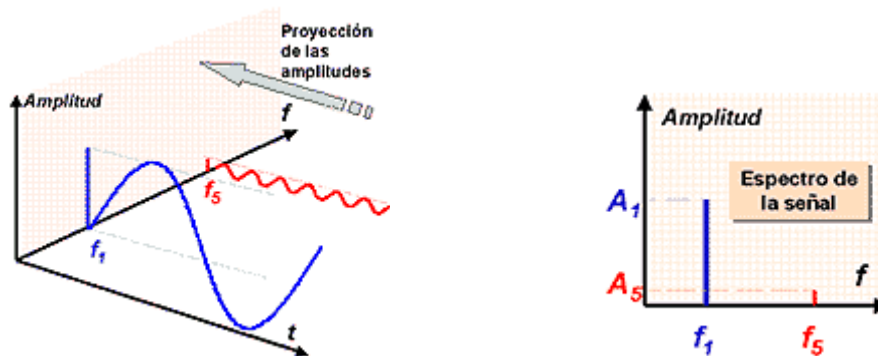


Figura 10[2]-Espectro de frecuencias.

Un ejemplo se muestra en la Figura 11.

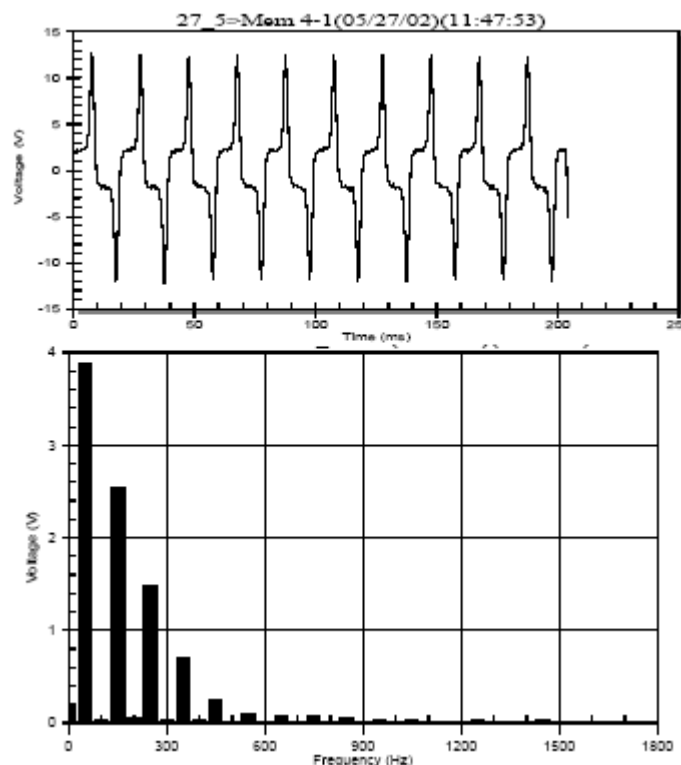


Figura 11- Ejemplo del espectro de frecuencias.



La cantidad de armónicos es generalmente expresada en términos de su valor eficaz (rms), dado que el efecto calorífico depende de este valor de la onda distorsionada.

Para una onda sinusoidal el valor eficaz es el máximo valor dividido por la raíz de dos. Para una onda distorsionada, bajo condiciones de estado estable, la energía disipada por energía Joule es la suma de las energías disipadas por cada una de las componentes armónicas:

$$RI^2t = RI_1^2t + RI_2^2t + \dots + RI_n^2t \quad (6)$$

Donde:

$$I^2 = I_1^2 + I_2^2 + \dots + I_n^2 = \sum_{n=1}^{n=\infty} I_n^2 \quad (\text{Suponiendo } R \text{ constante}) [3] \quad (7)$$

## Índices de evaluación

A continuación se detallan los índices utilizados para cuantificar los niveles de distorsión armónica.

### 1) Índice de distorsión armónica total (THD)

Uno de los índices utilizados en la denominada distorsión armónica total citada en la literatura anglosajona es el THD (Total Harmonic Distortion), y es aplicable tanto para corriente como para tensión. Este índice se define como la relación entre el valor eficaz del total de las componentes armónicas y el valor eficaz correspondiente a la componente fundamental. El THD es usualmente expresado como un porcentaje de la onda fundamental. Así para la onda de corriente será:

$$THD_I = \frac{\sqrt{\sum_{n=2}^{n=\infty} I_n^2}}{I_1} \times 100\% \quad (8)$$

Donde:

$n$  = número de armónica.

$I_n$  = valor eficaz de la armónica  $n$ .

$I_1$  = valor eficaz de la onda fundamental de corriente.

El  $THD_I$  puede variar desde pocas unidades porcentuales hasta superar el 100%, como ocurre en las fuentes de potencia conmutadas.

Aunque las amplitudes de los armónicos de corriente de frecuencias elevadas pueden tener valores pequeños, al ser las reactancias de la línea y de los transformadores proporcionales a la frecuencia, los armónicos de tensión pueden tomar valores significativos.

De forma similar se expresa la distorsión en la tensión:

$$THD_V = \frac{\sqrt{\sum_{n=2}^{n=\infty} V_n^2}}{V_1} \times 100\% \quad (9)$$



## 2) Factor de diversidad (FD)

Las dispersiones en el ángulo de fase de los armónicos de carga individuales provocan una disminución de la corriente armónica en la red. Este efecto conocido como diversidad, se debe principalmente a diferencia en los parámetros del sistema de distribución y a los de la propia carga.

El factor de diversidad de corriente ( $FD_n$ ) se define para cualquier armónico  $n$  y un conjunto de  $m$  cargas en paralelo, como la magnitud del fasor de la corriente de la red, dividido por la suma de magnitudes de las corrientes individuales, para el mismo orden de armónico.

$$FD_n = \frac{\left| \sum_{i=1}^m \vec{I}_{n(i)} \right|}{\sum_{i=1}^m I_{n(i)}} \quad (10)$$

Este factor varía entre 0 y 1. Un bajo valor de este índice implicará una cancelación importante para el armónico bajo análisis.

## 3) Factor de atenuación (FA)

La atenuación es provocada por la propia impedancia del sistema de potencia y por la correspondiente distorsión de tensión que tiende a reducir las corrientes armónicas en la red producida por cargas no lineales.

El factor de atenuación ( $FA_n$ ) para el armónico  $n$  está definido como la magnitud de la corriente total del armónico  $n$ , cuando  $m$  cargas idénticas están conectadas en paralelo, dividida por  $m$  veces la magnitud de la corriente de una única carga:

$$FA_n = \frac{I_{n(m)}}{m \times I_{n(1)}} \quad (11)$$

Donde:

$I_{n(m)}$  = corriente para el armónico  $n$  con  $m$  cargas conectadas en paralelo.

$I_{n(1)}$  = corriente para el armónico  $n$  con una sola carga conectada. [4]

## Causas que la originan

Se puede considerar que, en su mayor parte, los equipos y elementos que componen los sistemas de distribución de energía eléctrica son lineales. En otras palabras, que su característica de intensidad/tensión se mantiene constante.

No obstante, hay algunos equipos que tienen características no lineales, es decir, cuya intensidad demandada no es sinusoidal pura y por tanto generan una onda deformada. Estos equipos emiten armónicos a la red general de alimentación eléctrica en el punto de conexión común (PCC) (Figura 12).

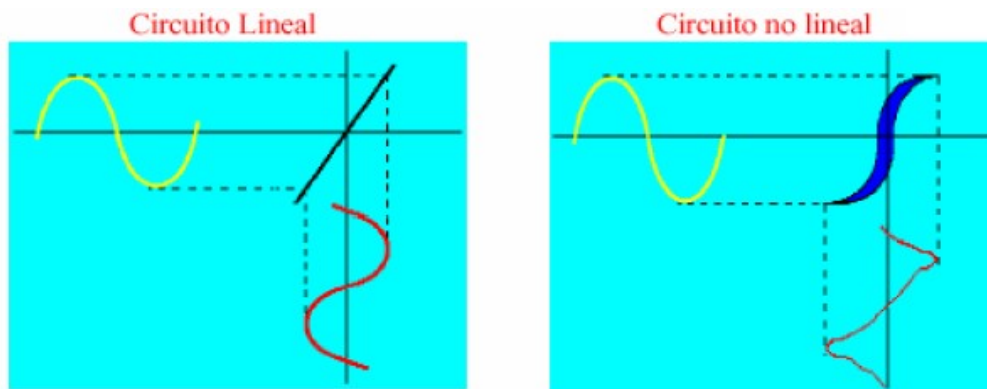


Figura 12[2]- Cargas lineales y no lineales.

Las principales fuentes de intensidades armónicas son:

- **Receptores de uso industrial.**

Entre los que se destacan:

- Los rectificadores: son los equipos mediante los cuales se efectúa el proceso básico de conversión de la energía eléctrica, de corriente alterna a corriente continua.
- Los hornos de inducción y los hornos de arco: las alteraciones de la onda de tensión más características de estos receptores son, además de la distorsión armónica, las fluctuaciones de tensión que, en general, producen “flícker”.

- **Receptores de uso doméstico.**

No poseen una potencia unitaria elevada, pero son en conjunto una importante fuente de armónicos, ya que gran número de ellos suelen ser utilizados simultáneamente durante largos períodos de tiempo. Se destacan:

- Los receptores de televisión.
- Los aparatos controlados mediante elementos electrónicos.
- Las lámparas fluorescentes.
- Las lámparas de descarga de vapor de sodio.

- **Elementos de instalaciones eléctricas.**

Se pueden citar:

- Los dispositivos electrónicos de control y mando que regulan la intensidad absorbida. Estos aparatos interrumpen el paso de ésta en ciertos momentos, produciendo componentes armónicas en el sistema de alimentación.
- Los equipos que poseen núcleos magnéticos. Cuando funcionan en condiciones de saturación, originan armónicos de tensión. Se encuentran, entre ellos, los transformadores de potencia, que sufren situaciones de saturación cuando las tensiones que se aplican son superiores a la nominal.

Cabe subrayar que los armónicos de tensión de una red pueden ser amplificados, incluso en puntos alejados de la carga perturbadora que los origina, si se dan condiciones de





resonancia. Estas pueden aparecer en un punto determinado de la red, cuando son conectados en él condensadores para la corrección del factor de potencia. [5]

### Efectos que producen

Los efectos producidos por las armónicas en los componentes de los sistemas eléctricos han sido analizados tanto para circuitos particulares como para toda una red interconectada, no obstante en algunos casos es muy difícil cuantificarlos en forma específica puesto que dependen de muchos factores. A continuación se presenta una explicación mas detallada de los mismos.

#### a) Efecto en los cables y conductores

Al circular corriente directa a través de un conductor se produce calentamiento como resultado de las perdidas por efecto Joule,  $I^2.R$ , donde R es la resistencia a corriente directa del cable y la corriente esta dada por el producto de la densidad de corriente por el área transversal del conductor. A medida que aumenta la frecuencia de la corriente que transporta el cable (manteniendo su valor eficaz (rms) igual al valor de corriente directa) disminuye el área efectiva por donde ésta circula puesto que la densidad de corriente crece en la periferia exterior, lo cual se refleja como un aumento en la resistencia efectiva del conductor, este efecto se lo conoce como efecto piel “Skin” o también como efecto pelicular (Figura 13).



Figura 13[2]-Densidad de corriente en el conductor.

Por lo tanto, la resistencia a corriente alterna de un conductor es mayor que su valor a corriente directa y aumenta con la frecuencia, y por ende también aumentan las perdidas por calentamiento.

A frecuencias de 50 Hz, este efecto se puede despreciar, no por que no exista, sino por que este factor se considera en la manufactura de los conductores. Sin embargo con corrientes distorsionadas, las pérdidas por efecto Joule son mayores por la frecuencia de las componentes armónicas de la corriente.

#### b) Efecto en transformadores

La mayoría de los transformadores están diseñados para operar con corriente alterna a una frecuencia fundamental (50 Hz), lo que implica que operando en condiciones de carga nominal y con una temperatura no mayor a la temperatura ambiente especificada, el transformador debe ser capaz de disipar el calor producido por sus pérdidas sin sobrecalentarse y sin deteriorar su vida útil.

Las pérdidas en los transformadores consisten en pérdidas sin cargas o de núcleo y pérdidas con carga, que incluyen las pérdidas  $I^2R$ , pérdidas por corrientes de Eddy y pérdidas adicionales en el tanque, sujetadores u otras partes de hierro. De manera individual, el efecto de las armónicas en estas pérdidas se explica a continuación:



- **Pérdidas sin carga o de núcleo:** producidas por el voltaje de excitación en el núcleo. La forma de onda de voltaje en el primario es considerada sinusoidal independientemente de la corriente de carga, por lo que no se considera que aumenten para corrientes de cargas no sinusoidales. Aunque la corriente de magnetización consiste de armónicas, éstas son muy pequeñas comparadas con las de la corriente de carga, por lo que sus efectos en las pérdidas totales son mínimas.

- **Pérdidas  $I^2R$ :** si la corriente de carga contiene componentes armónicas, entonces estas pérdidas también aumentarán por el efecto Skin.

- **Pérdidas por corriente de Eddy:** las corrientes de Eddy son corrientes eléctricas circulantes inducidas por un campo magnético alterno en un conductor aislado. También se le conocen como corrientes parásitas o corrientes de Foucault. Estas pérdidas a frecuencia fundamental son proporcionales al cuadrado de la corriente de carga y al cuadrado de la frecuencia, razón por la cual se puede tener un aumento excesivo de éstas en los devanados que conducen corrientes de carga no sinusoidal (y por lo tanto también en su temperatura).

Estas pérdidas se pueden expresar como:

$$P_e = P_{e,R} \sum_{h=1}^{h=h_{\max}} \left[ \frac{I_h}{I_R} \right]^2 h^2 \quad (12)$$

Donde:

$h$  = armónica.

$I_h$  = corriente de la armónica  $h$ , en amperes.

$I_R$  = corriente nominal en amperes.

$P_{e,R}$  = pérdidas de Eddy a corriente y frecuencia nominal.

- **Pérdidas adicionales:** estas pérdidas aumentan la temperatura en las partes estructurales del transformador, y dependiendo del tipo de transformador contribuirán o no en la temperatura más caliente del devanado. Se considera que varía con el cuadrado de la corriente y la frecuencia, como se muestra en la siguiente expresión:

$$P_{AD} = P_{AD,R} \sum_{h=1}^{h=h_{\max}} \left[ \frac{I_h}{I_R} \right]^2 h \quad (13)$$

Donde:

$P_{AD,R}$  = pérdidas adicionales a corriente y frecuencia nominal.

Asociado a estas pérdidas, algunas cargas no lineales presentan una componente de corriente directa en la corriente de carga. Si éste es el caso, esta componente aumentará las pérdidas de núcleo ligeramente, pero incrementarán substancialmente la corriente de magnetización y el nivel de sonido audible, por lo que este tipo de cargas se debe evitar.

En el caso de transformadores conectados en triángulo-estrella (comúnmente de distribución) que suministran cargas no lineales monofásicas como pueden ser fuentes reguladas por conmutación, las componentes de tercer armónicas (múltiplos de tres) circularán por las fases y el neutro del lado de la estrella, pero no aparecerán del lado del triángulo (caso balaceado), ya que se quedan atrapadas en ésta produciendo sobrecalentamiento de los devanados. Se debe tener especial cuidado al determinar la capacidad de corriente de estos transformadores bajo condiciones de carga no lineal, puesto



que es posible que los volts-amperes medidos en el lado primario sean menores que en el secundario.

Con el constante aumento de cargas no lineales, se han llevado a cabo estudios para disminuir la capacidad nominal de los transformadores ya instalados que suministran energía a este tipo de cargas. Además, en el caso de transformadores que operará bajo condiciones de carga no lineal, es conveniente en lugar de sobredimensionar el transformador, utilizar un transformador con un factor K mayor a uno. Estos transformadores son aprobados por UL (Underwriter's Laboratory) para su operación bajo condiciones de carga no sinusoidal, puesto que operan con menores pérdidas a las frecuencias armónicas. Entre las modificaciones con respecto a los transformadores normales están:

- 1) El tamaño del conductor primario se incrementa para soportar las componentes de tercer armónicas circulantes. Por la misma razón se dobla el conductor neutro secundario.
- 2) Se diseña el núcleo magnético con una densidad de flujo normal, utilizando acero de mayor grado.
- 3) Se utiliza conductores secundarios aislados de menor calibre, devanados en paralelo y transpuestos para reducir el calentamiento por el efecto Skin.

El factor K se puede encontrar mediante un análisis armónico de la corriente de la carga o del contenido armónico estimado de la misma. La ecuación que lo define es:

$$factorK = \sum_{h=1}^{h=h_{max}} [I_{h(pu)}]^2 h^2 \quad (14)$$

Donde:

h = armónica.

$I_{h(pu)}$  = corriente armónica en p.u. tomando como base la corriente Irms.

Con el valor del factor K de la corriente de la carga, se puede escoger el transformador adecuado.

### **c) Efecto en interruptores (circuit breakers)**

Los fusibles e interruptores termomagnéticos operan por el calentamiento producido por el valor rms de la corriente, por lo que protegen de manera efectiva a los conductores de fase y al equipo contra sobrecargas por corrientes armónicas.

Los fusibles de protección pueden sufrir asimismo procesos de calentamiento o, incluso, fusión en situaciones de intensidad normal.

Los interruptores termomagnéticos, en ocasiones, pueden actuar de manera intempestiva, es decir, sin que exista falla, como consecuencia del valor de cresta de la onda resultante o de su desfase respecto al paso por cero.

### **d) Efecto en las barras de neutros**

Dado que este es el primer punto de unión de las cargas monofásicas, en el caso balanceado, las corrientes (fundamental y armónicas) de secuencia positiva y negativa se cancelan aquí. Estas barras pueden llegar a sobrecargarse por el efecto de cancelación de las



componentes armónicas de secuencia positiva y negativa entre los conductores neutros de las diferentes cargas.

En el caso de corrientes armónicas de secuencia cero (componentes de tercer armónicas), estas no se cancelarán en el neutro aun en condiciones balanceadas, por lo que estas barras se pueden sobrecargar por el flujo de estas corrientes. En la realidad, las barras de neutros transportan corrientes de corriente positiva y negativas producidas por el desbalance de cargas más las armónicas de secuencia cero generadas por éstas. Por esta razón las barras que están dimensionadas para soportar la misma corriente de fase pueden sobrecargarse fácilmente en presencia de cargas no lineales.

En el caso de que se estén alimentando cargas no lineales, es recomendable que las barras de neutros tengan una capacidad de corriente igual al doble de la de las fases.

### e) Efecto en los bancos de capacitores

El principal problema que se puede tener al instalar un banco de capacitores en circuitos que alimentan cargas no lineales, es la resonancia tanto serie como paralelo, como se muestra en la Figura 14. A medida que aumenta la frecuencia, la reactancia inductiva del circuito equivalente del sistema de distribución aumenta, en tanto que la reactancia capacitiva de un banco de capacitores disminuye. Existirá entonces al menos una frecuencia en las que las reactancias sean iguales, provocando la resonancia.

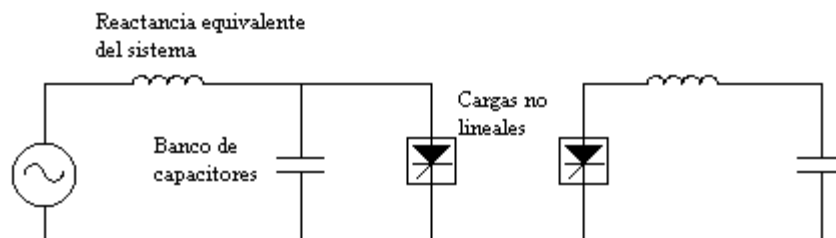
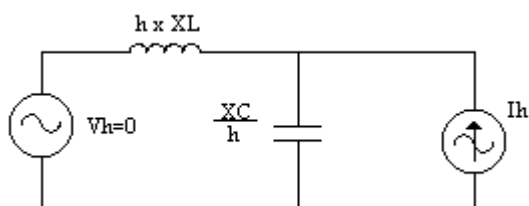


Figura 14[6]- (a) Resonancia paralelo. (b) Resonancia serie.

### Resonancia en paralelo

La figura 14(a) muestra el circuito equivalente para el análisis de la resonancia paralelo en un sistema eléctrico. La carga no lineal inyecta al sistema corrientes armónicas, por lo que el efecto de dichas corrientes se puede analizar empleando el principio de superposición. De esta manera, el circuito equivalente a distintas frecuencias se puede representar como se muestra en la Figura 15.



$X_L$  = reactancia inductiva a frecuencia fundamental.

$X_C$  = reactancia capacitiva a frecuencia fundamental.

Figura 15[6] – Circuito equivalente para el análisis del sistema a frecuencias armónicas.

En general la fuente de voltaje  $V_h$  vale cero (cortocircuito), puesto que solo presenta voltaje a frecuencia fundamental. Entonces a frecuencias armónicas, el circuito equivalente



visto por la carga (fuente de corrientes armónicas) será una inductancia y capacitancia en paralelo (Figura 16).

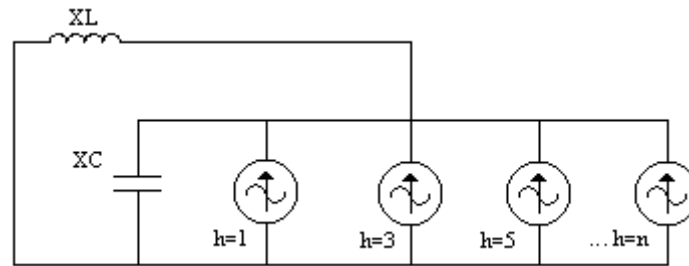


Figura 16[7]- Circuito equivalente mediante inyección de corrientes armónicas.

Por lo que la frecuencia de resonancia es:

$$f = f_1 \sqrt{\frac{X_C}{X_L}} = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}} \quad (15)$$

Donde:

$f_1$  = frecuencia fundamental. [6]

Por ende, a una frecuencia determinada, el valor de la impedancia inductiva del sistema se hace muy elevado. La representación de la impedancia en función de la frecuencia para un sistema que presenta resonancia paralelo se muestra en la Figura 17, donde también se indica la impedancia del sistema sin compensar. [3]

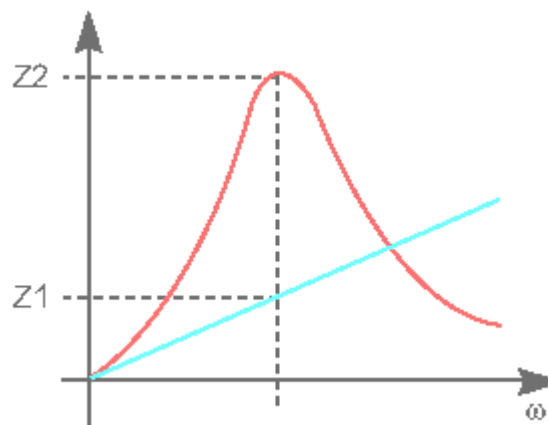


Figura 17[3]- Resonancia paralelo y factor de amplificación.

Donde:

- $Z_1$  = impedancia del sistema sin compensar.
- $Z_2$  = impedancia del sistema con los bancos de capacitores.

La diferencia entre estos dos valores de impedancia es el factor de amplificación. La presencia de un banco de capacitores en una instalación, inclusive la propia capacitancia a tierra de un sistema de distribución no genera armónicos, sin embargo, pueden amplificar los armónicos existentes agravando el problema.



Por otro lado, el condensador es uno de los elementos más sensibles a los armónicos ya que presenta una baja impedancia a frecuencias elevadas y adsorbe las intensidades armónicas más fácilmente que otras cargas, reduciendo considerablemente la vida de los condensadores.

Para comprobar de una forma rápida si en una red puede existir un riesgo importante de que se presente el fenómeno de la amplificación, se debe analizar lo siguiente:

- Que haya armónicos que puedan ser amplificados, es decir, que la frecuencia de resonancia paralelo del sistema coincida con un rango próximo al de los armónicos presentes en la instalación.

- La frecuencia de resonancia también se puede calcular estimativamente con la siguiente expresión:

$$f_{rp} = \sqrt{\frac{S_{cc}}{Q}} \quad (16)$$

Donde:

$f_{rp}$  = frecuencia de resonancia paralelo.

$S_{cc}$  = potencia de cortocircuito en el punto de conexión de los capacitores.

$Q$  = potencia de los capacitores.

- Que el factor de amplificación tenga un valor importante.

$$(17) \quad FA = \frac{\sqrt{Q \times P_{cc}}}{P}$$

Donde:

$FA$  = factor de amplificación.

$P_{cc}$  = potencia de cortocircuito en el punto de conexión de los bancos.

$Q$  = potencia de los capacitores (kVAr).

$P$  = potencia activa de la instalación (kW).

## Resonancia serie

La resonancia serie aparece con la conexión serie de reactancia inductiva y una capacitiva como se muestra en la figura 14(b). Existirá una determinada frecuencia que hará cero la impedancia del conjunto L-C serie.

Bajo condiciones de resonancia en serie, el sistema ofrece una impedancia muy baja a voltajes armónicos de frecuencia igual a la de resonancia. Por lo tanto, voltajes pequeños armónicos en el sistema pueden originar corrientes elevadas de armónicos en los equipos.

Este fenómeno es utilizado para filtrar los armónicos en una instalación. [3]



## f) Efecto en los motores de inducción

Fundamentalmente, las armónicas producen los siguientes efectos en las máquinas de corriente alterna: un aumento en sus pérdidas y la disminución en el torque generado. A continuación se mostrará un estudio simplificado de estos efectos:

**1) Pérdidas en los motores de inducción:** si el voltaje que se alimenta a un motor de inducción contiene componentes armónicas, entonces se incrementa sus pérdidas  $I^2R$  en el rotor y estator, pérdidas de núcleo (Eddy e histéresis) y pérdidas adicionales, en tanto que las pérdidas de fricción y ventilación no son afectadas por las armónicas.

- **Pérdidas  $I^2R$  en el estator:** las pérdidas en el estator son determinadas utilizando la resistencia a corriente directa de la máquina, corregida a la temperatura especificada. Al operar la máquina de inducción con voltaje con contenidos armónicos no solo aumentarían estas pérdidas por el efecto Skin que incrementa el valor de la resistencia efectiva, sino que también aumenta el valor de la corriente de magnetización, incrementándose aun más las pérdidas  $I^2R$ .

- **Pérdidas  $I^2R$  en el rotor:** éstas aumentan de manera más significativa que las anteriores, por el diseño de la jaula en los motores de inducción, que se basa en el aprovechamiento del efecto Skin para el arranque. Esta resistencia aumenta en forma proporcional a la raíz cuadrada de la frecuencia y por ende las pérdidas.

- **Pérdidas de núcleo:** estas pérdidas son función de la densidad de flujo en la máquina. Éstas aumentan con excitación de voltaje no sinusoidal puesto que se tiene densidades de flujo pico más elevadas, sin embargo su aumento es aún menor que el de las pérdidas mencionadas anteriormente e incluso son más difíciles de cuantificar.

- **Pérdidas adicionales:** son muy difíciles de cuantificar aun bajo condiciones de voltaje sinusoidal. Al aplicar voltajes no sinusoidales, éstas aumentan en forma particular para cada máquina.

**2) Torque en el motor de inducción:** las armónicas de secuencia positiva producen en el motor de inducción un torque en el mismo sentido de la dirección de rotación, en tanto que las de secuencia negativa tiene el efecto opuesto. En caso de que se tenga conectado el neutro, el par producido por las componentes de tercer armónico es igual a cero. Dependiendo del contenido armónico del voltaje aplicado, el par promedio de operación puede verse disminuido considerablemente, sin embargo en la mayoría de los casos el efecto producido por las armónicas de secuencia negativa se cancela con el efecto de las de secuencia positiva, por lo que su efecto neto en el par promedio puede despreciarse.

La interacción de las corrientes armónicas del rotor con el flujo en el entrehierro de otra armónica resultan torques pulsantes en los motores, los que pueden afectar la calidad del producto donde las cargas de los motores son sensibles a estas variaciones. Estos torques pulsantes también pueden excitar una frecuencia de resonancia mecánica, lo que resultaría en oscilaciones que pueden causar fatiga de la flecha y otras partes mecánicas conectadas. Por lo general la magnitud de estos torques es generalmente pequeña y su valor promedio es cero.

## g) Efectos en otros equipos

Equipos electrónicos sensibles son susceptibles a operación incorrecta a causa de las armónicas. En algunos casos estos equipos dependen de la determinación precisa del cruce



por cero del voltaje u otros aspectos de la forma de onda del mismo, por lo que condiciones de distorsión puede afectar su operación adecuada.

En lo que respecta a equipo de medición e instrumentación, estos son afectados por las componentes armónicas, principalmente si se tiene condiciones de resonancia que causen altos voltajes armónicos en los circuitos. Para el caso de medidores se puede tener errores positivos o negativos, dependiendo del tipo de medidor y de las armónicas involucradas. [6]

### **Recomendaciones para disminuir el efecto de los armónicos**

Usualmente la solución al problema de armónicos es eliminar los síntomas y no el origen, los aparatos que crean los armónicos generalmente constituyen una pequeña parte de la carga, eliminar su uso no es posible, modificar esos equipos para que no causen armónicos tampoco es factible. Lo que nos queda es reducir los síntomas ya sea incrementando la tolerancia del equipo y del sistema a los armónicos o modificar los circuitos y los sistemas para reducir su impacto, atrapar, o bloquear los armónicos con filtros. Por supuesto hay excepciones. En casos de sobrecarga, daño de equipo o diseño inapropiado, estas causas que generan armónicos pueden ser corregidas, similarmente un aparato o equipo particular que produce un alto nivel de armónicos debe ser modificado o reemplazado.

El primer paso que se recomienda en cualquier investigación sobre el problema de armónicas es inspeccionar el equipo y el circuito eléctrico. Estos problemas son causados o empeorados por cargas desbalanceadas, mala conexión a tierra, problemas con el conductor neutro, por problemas con equipo o por uso inapropiado. Esto puede ser identificado con una inspección cuidadosa con equipo apropiado.

Desde el punto de vista de sobretensiones transitorias y armónicas, disminuyendo la impedancia a tierra e incrementando la capacidad del neutro con frecuencia se resuelven problemas de calidad de la potencia (incluyendo armónicas). Los problemas de puesta a tierra contribuyen de un 33 a un 40% de los problemas relacionados con la calidad de energía. [3]

A continuación se hace referencias a algunos aspectos importantes relacionados con la utilización de los filtros.

### **Filtros**

Los filtros se utilizan para bloquear o atrapar la energía de los armónicos de tal manera que no fluya por los equipos o que no entre al sistema. [3]

Cualquier combinación de elementos pasivos (R, L y C) diseñados para dejar pasar una serie de frecuencias se denominan un filtro. Los filtros son usados para dejar pasar solamente las frecuencias que pudieran resultar ser de alguna utilidad y eliminar cualquier tipo de interferencia o ruido ajeno a ellas.

Existen dos tipos de filtros:

- **Filtros Pasivos:** son aquellos tipos de filtros formados por combinaciones serie o paralelo de elementos R, L o C.

- **Filtros Activos:** son aquellos que emplean dispositivos activos, por ejemplo los transistores o los amplificadores operacionales, junto con elementos R L C. [7]





## Filtros Pasivos

Los filtros pasivos son los más simples, más económicos, pero menos flexibles y efectivos para filtrar armónicos. Son elementos puramente pasivos, usados por las empresas como circuitos en paralelo en la entrada de los servicios con problemas de generación de armónicos, evitando de esta manera, que entren al sistema de distribución. También los filtros pueden instalarse directamente en un equipo particular donde existe un grave problema de generación de armónicos, evitando por consiguiente, que circulen en la propia instalación eléctrica del usuario.

El comportamiento de los filtros pasivos es ser sensitivos a la impedancia del sistema para los cuales ellos fueron ajustados. La impedancia del sistema puede cambiar a lo largo del tiempo, como el equipo altera su comportamiento de volts/var, siendo difícil estimar su exactitud si no se tienen mediciones. Los filtros pasivos con frecuencia no proporcionan un comportamiento satisfactorio, bajo ciertas circunstancias pueden causar problemas de resonancia sobre el sistema donde están conectados. [3]

En general se tienen los siguientes tipos de filtros:

- 1) Pasa bajas.
- 2) Pasa altas.
- 3) Pasa bandas.
- 4) Eliminadores de bandas.

### 1) Filtro pasa bajas

Su funcionamiento es a base de un capacitor y resistencia, este filtro tiene la siguiente configuración (Figura 18-a y 18-b).

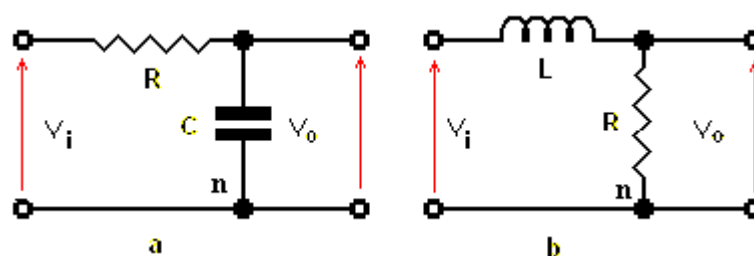


Figura 18[8]- Filtros pasa bajas.

El capacitor se comporta como una resistencia dependiente de la frecuencia por la relación de [7]:

$$X_c = \frac{1}{C(2\pi)f} \quad (18)$$

La impedancia del capacitor  $Z_c$  es grande para bajas frecuencias, entonces  $V_i$  pasa hacia  $V_o$  con poca atenuación. Al revés,  $Z_c$  es pequeño para frecuencias altas, así que las frecuencias altas son efectivamente bloqueadas en la salida. Lo que ocurre es que la señal de



alta frecuencia es cortocircuitada a tierra (el punto n) por el capacitor. (La división entre dominios de alta y baja frecuencia ocurre aproximadamente alrededor de  $\omega = 1/RC$ ). [9]

En cualquier frecuencia se puede determinar la salida por medio de la regla divisora de voltaje:

$$V_o = \frac{Z_C}{Z_R + Z_C} \times V_i \Rightarrow V_o = \frac{X_C \angle -90^\circ}{R - jX_C} \times V_i \quad (19)$$

O para expresarlo en magnitud y en fase:

$$H = \frac{V_o}{V_i} = \frac{X_C \angle -90^\circ}{R - jX_C} \quad (20)$$

Separando en magnitud y fase:

$$H = \frac{X_C \angle -90^\circ}{\sqrt{R^2 + X_C^2} \angle -\tan^{-1}(X_C/R)} \quad (21)$$

$$H = \frac{V_o}{V_i} = \frac{X_C}{\sqrt{R^2 + X_C^2}} (\angle -90^\circ + \tan^{-1}(X_C/R)) \quad (22)$$

Entonces la magnitud queda expresada como:

$$H = \frac{V_o}{V_i} = \frac{X_C}{\sqrt{R^2 + X_C^2}} \quad (23)$$

A un ángulo de fase:

$$\theta = \angle (-90^\circ + \tan^{-1}(X_C/R)) = -\tan^{-1}(X_C/R) \quad (24)$$

La frecuencia de corte es:

$$f_c = \frac{1}{RC2\pi} \quad (25)$$

Por lo que la representación gráfica de la transferencia del sistema en función de la frecuencia queda representada en la Figura 19.

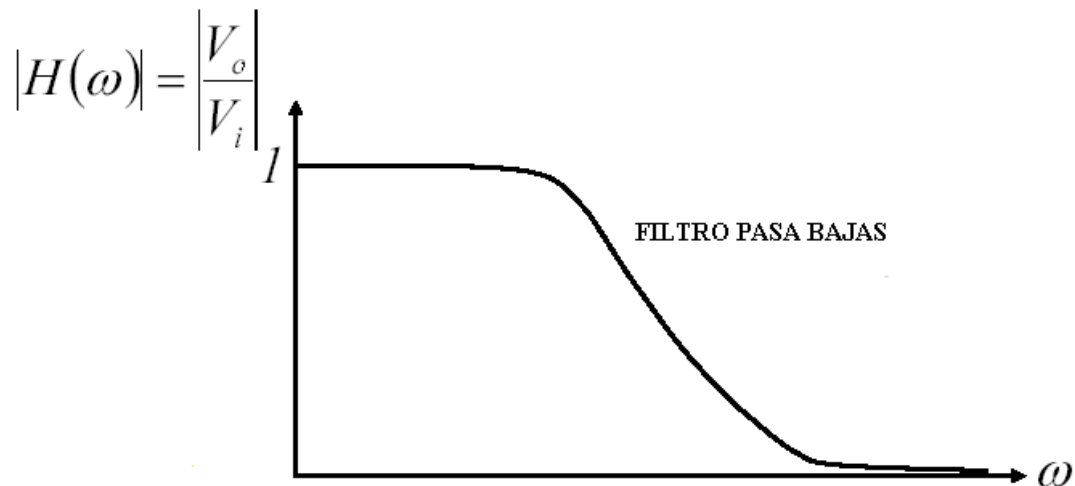


Figura 19[10]- Transferencia del sistema en función de la frecuencia.

## 2) Filtro pasa altos

Este es el segundo de los filtros pasivo, el único cambio que presenta es la conexión de la salida, la cual en vez de tomarse del capacitor se toma de la resistencia (Figura 20-a y 20-b) lo cual nos provoca que en vez de dejar “pasar” las frecuencias bajas pasen las frecuencias altas. [7]

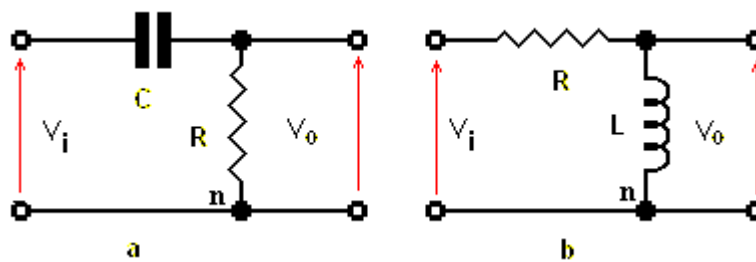


Figura 20[8]- Filtros pasa altos.

Cuando la frecuencia es demasiado baja, la impedancia del capacitor  $Z_c$  es muy grande, produciendo que  $V_i$  se consume casi en su totalidad en el capacitor, por lo que en la salida no se tiene casi voltaje. Cuando la frecuencia aplicada aumenta, provoca que el valor de la impedancia que representa al capacitor  $Z_c$  disminuya, lo cual no genera una caída de tensión en la misma y por lo tanto  $V_i \approx V_o$ . [7]

Estos dos filtros tienen un valor llamado frecuencia de corte, la cual es el valor de la frecuencia a partir del cual se considera que ya está filtrando las señales. Esta frecuencia está determinada como la frecuencia en la que el valor de la salida con respecto a la entrada tiene una atenuación de  $-3\text{dB}$ . Dependiendo de los valores elegidos de resistencia y capacitancia será el valor de la frecuencia de corte, pero para una resistencia fija, el valor de la frecuencia de corte depende del valor del capacitor. [7]



Siguiendo un procedimiento similar al anterior obtenemos que para el filtro pasa altas:

$$H = \frac{V_0}{V_i} = \frac{R}{\sqrt{R^2 + X_c^2}} \quad (26)$$

$$f_c = \frac{1}{RC2\pi} \quad (27)$$

La representación gráfica de la transferencia del sistema en función de la frecuencia se muestra en la Figura 21.

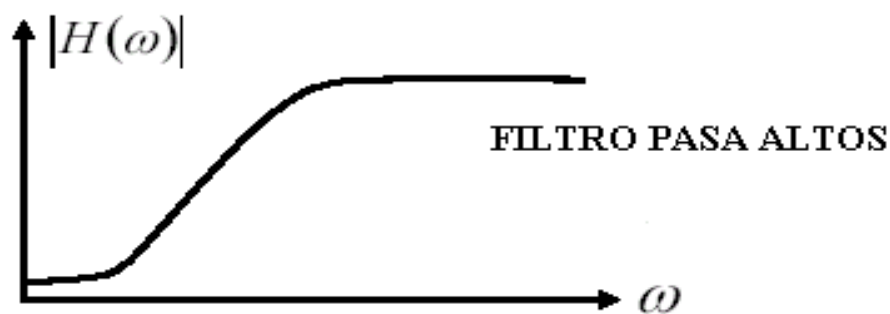


Figura 21[10]- Transferencia del sistema en función de la frecuencia.

### 3) Filtro pasa bandas

Este es un filtro que se compone de un filtro pasa bajas y uno pasa altas conectados en cascada (Figura 22-a y 22-b) [7], permitiendo el paso de un rango determinado de frecuencias y no permitiendo el paso de frecuencias superiores o inferiores al rango que el filtro permite. [8]

Los componentes se deben de seleccionar para que la frecuencia de corte del filtro pasa altas sea menor que la del filtro pasa bajas. [7]

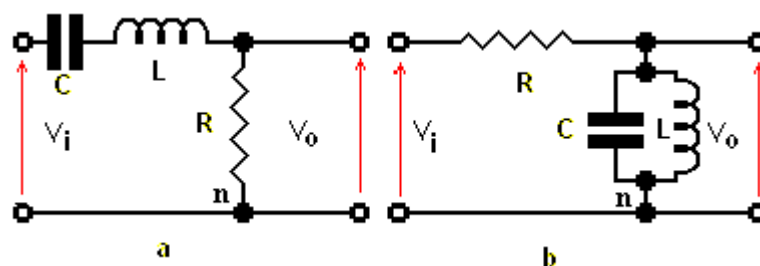


Figura 22[8]- Filtro pasa bandas.

Las frecuencias de corte se pueden calcular con las formulas anteriores.



La salida queda determinada como:

$$V_o = \frac{Z_R}{Z_R + Z_C + Z_L} \times V_i \quad (28)$$

$$\frac{V_o}{V_i} = \frac{R}{j\omega L + \frac{1}{j\omega C} + R} \Rightarrow \frac{V_o}{V_i} = \frac{j\omega RC}{1 - \omega^2 LC + j\omega RC} \quad (29)$$

Entonces:

$$\left| \frac{V_o}{V_i} \right| = \frac{\omega RC}{\sqrt{(1 - \omega^2 LC)^2 + (\omega RC)^2}} \quad (30)$$

La característica más importante de este circuito es el ancho de banda que permitiremos pasar, siendo esta igual a la resta de las frecuencias de corte. [7]

La representación grafica de la transferencia del sistema en función de la frecuencia se muestra en la Figura 23.

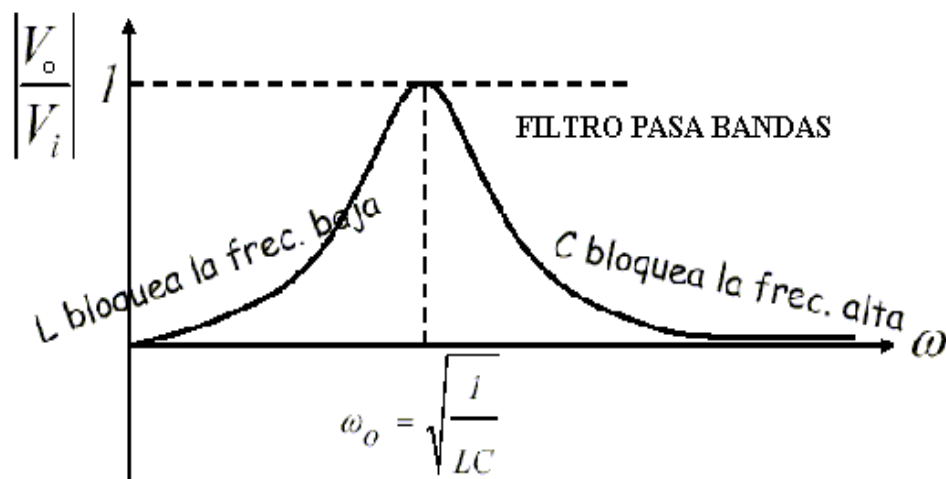


Figura 23[10]- Transferencia del sistema en función de la frecuencia.

#### 4) Filtro eliminadores de bandas

Por último, tenemos en las Figuras 24(a) y 24(b) los ejemplos de filtros eliminadores de banda, denominados también rechazadores de bandas, atrapa bandas, trampas de banda, recortadores de banda o bien, filtros supresores de banda. Estos se encargan de atenuar un rango determinado de frecuencias, permitiendo el paso de frecuencias más altas o más bajas (función contraria al filtro pasa bandas). [8]

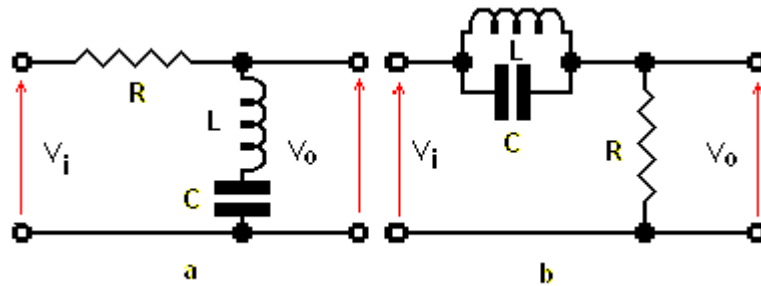


Figura 24[8]- Filtros eliminadores de bandas.

La salida queda determinada como:

$$V_o = \frac{Z_C + Z_L}{Z_R + Z_C + Z_L} \times V_i \quad (31)$$

$$\frac{V_o}{V_i} = \frac{j\omega L + \frac{1}{j\omega C}}{j\omega L + \frac{1}{j\omega C} + R} \Rightarrow \frac{V_o}{V_i} = \frac{1 - \omega^2 LC}{1 - \omega^2 LC + j\omega RC} \Rightarrow \left| \frac{V_o}{V_i} \right| = \frac{1 - \omega^2 LC}{\sqrt{(1 - \omega^2 LC)^2 + (\omega RC)^2}} \quad (32)$$

La representación gráfica de la transferencia del sistema en función de la frecuencia se muestra en la Figura 25.

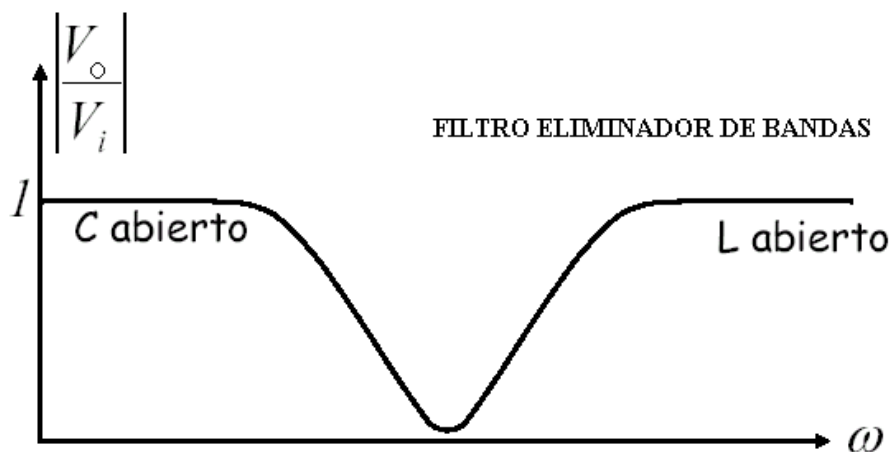


Figura 25[10]- Transferencia del sistema en función de la frecuencia.

## Filtros Activos

La desventaja de los filtros pasivos es que los componentes que los forman consumen o absorben parte de la energía de la señal que deben de dejar pasar. Con filtros activos de potencias (FAP), esta desventaja se corrige, incorporando uno o más amplificadores operacionales, o pueden ser otros componentes que tengan la capacidad de amplificar la señal que se ha filtrado, por esto el nombre de elementos activos. [12]



Dichos filtros trabajan conectados en paralelo para producir corrientes armónicas iguales a las que se encuentran en la corriente de carga. Mediante los algoritmos de control apropiados, actúan como fuentes de corriente o de tensión, cancelando de forma instantánea los armónicos de ambos tipos, adaptándose a las variaciones de los mismos y asegurando que su trayectoria sea la de sacar las corrientes armónicas fuera de la trayectoria del sistema de distribución (Figura 26). La reducción de las armónicas depende sólo de la medición armónica correcta que se está generando en la carga y no es función de la impedancia del sistema. Estos filtros han tenido una mayor aplicación, teniendo la desventaja de ser más caros y de que consumen potencia en cantidades significativas, creando además niveles altos de interferencia electromagnética. [3]



Figura 26[3]- Conexión del filtro activo.

Ambos filtros (activos y pasivos) desvían las corrientes armónicas  $I_h$  por una trayectoria para eliminarlas del sistema, con esto se deja que solo la corriente de carga fluya al sistema. Los filtros pasivos proporcionan una impedancia muy baja en la trayectoria en paralelo, mientras que los activos originan que la corriente armónica fluya con una corriente que ellos mismos generan, esencialmente forzándola por su trayectoria.

Los FAP además de la función de eliminación de armónicos, también se les dota de otras funciones, como son la compensación total o parcial de energía reactiva, el equilibrado de corrientes de fases y la cancelación de la corriente de neutro.

Una posible clasificación de los FAP, según su topología y modo de inserción en la red eléctrica, es la siguiente:

- Conexión paralelo o shunt.
- Conexión serie.
- Conexión serie paralelo.
- Filtrado híbrido.

### 1) Conexión paralelo o shunt

Es la estructura mas conocida y permite además de la cancelación de armónicos, hacer corrección del factor de potencia, equilibrar las corrientes de línea en el caso de conexión de cargas desequilibradas y cancelar la corriente de neutro de la red, en los casos de redes con neutro.

El FAP se sitúa en paralelo con la carga generadora de armónicos en el punto de conexión de la carga (PCC) como muestra la Figura 27. El principio de funcionamiento consiste en inyectar a la red, en este punto y en contrafase, las corrientes armónicas generadas en la carga, de modo que queden absolutamente anuladas por suma de corrientes en el nudo formado.

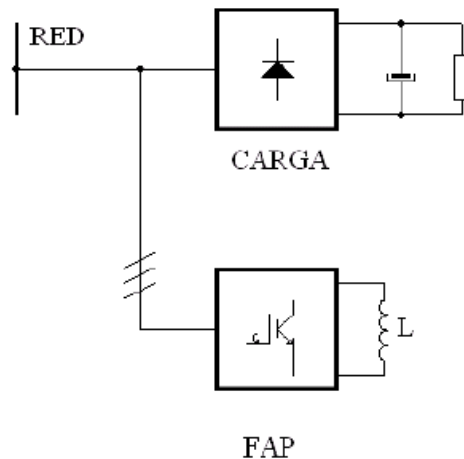


Figura 27[12]- Filtrado activo paralelo con fuente de corriente.

Pero la estructura más utilizada es la basada en un convertidor de tensión, que trabaja en modo de control por corriente, en donde la energía se almacena en un condensador situado en el lado de c.c. del convertidor (Figura 28).

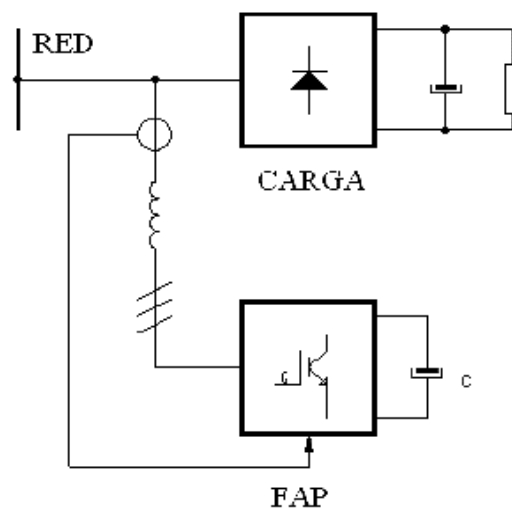


Figura 28[12]- Filtrado activo paralelo con fuente de tensión.

La filosofía de la cancelación sigue siendo la de inyección de corriente en paralelo y en contrafase con los armónicos presentes en la carga, por lo tanto, el método es conceptualmente idéntico al anterior.

## 2) Conexión serie

El filtro activo (Figura 29) se sitúa en serie entre la red y la carga, aportando la tensión necesaria para que la corriente por la línea esté desprovista de armónicos. En realidad el sistema actúa como una impedancia variable, cuyo valor es idealmente nulo para la componente fundamental de corriente e infinita para todas las demás componentes.



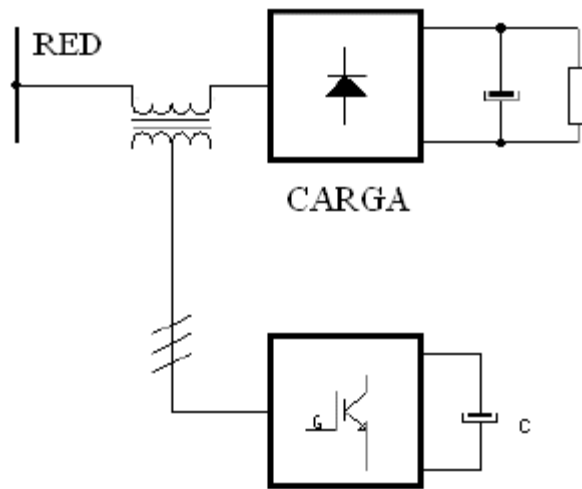


Figura 29[12]- Filtro activo serie.

Hay que destacar que el convertidor está actuando como fuente de tensión, aportando el valor necesario para conseguir la impedancia deseada según el contenido de armónicos de la carga.

Esta topología no es la más utilizada, y en todo caso se acompaña normalmente de un sistema de filtrado pasivo complementario.

### 3) Conexión serie paralelo

Esta topología (Figura 30) es una combinación de los dos filtros anteriores, en donde el filtro paralelo cancela los armónicos de corriente y puede hacer compensación de energía reactiva, mientras que el serie hace la función de desacoplo respecto a la red y puede realizar otras funciones, como regulación de tensión, compensación de flícker y equilibrado de fases en el punto de conexión a la red.

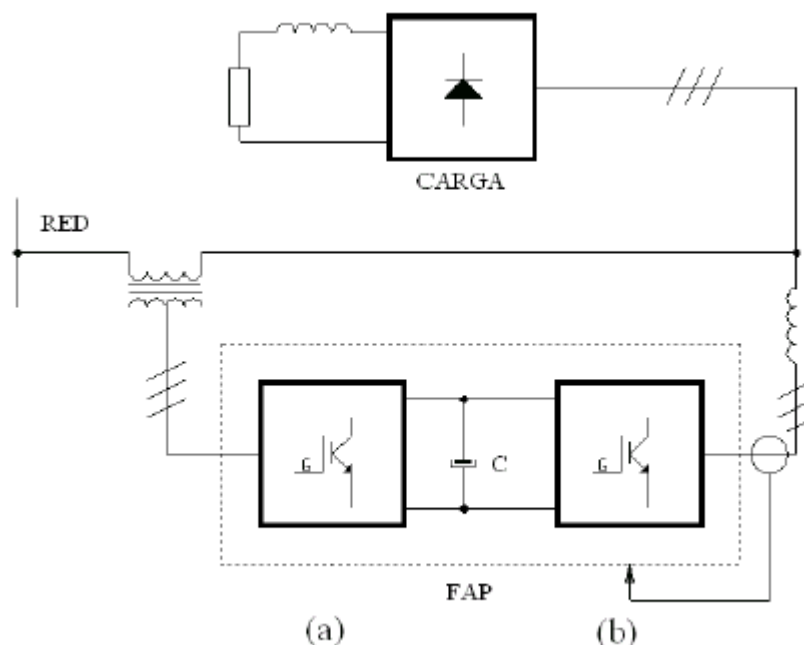


Figura 30[12]- Filtro activo serie-paralelo.



#### 4) Filtrado híbrido

El filtrado híbrido consta de un sistema de filtrado pasivo convencional apoyado por un activo situado en diferentes posiciones en relación al primero. Esta combinación optimiza el sistema de cancelación pasiva, evita los problemas de resonancias entre los componentes del filtro pasivo y la impedancia de línea, y permite potencias de filtrado elevadas a un costo inferior al del filtrado activo puro. [12]

El conexionado del filtro híbrido se ilustra en la siguiente figura 31:

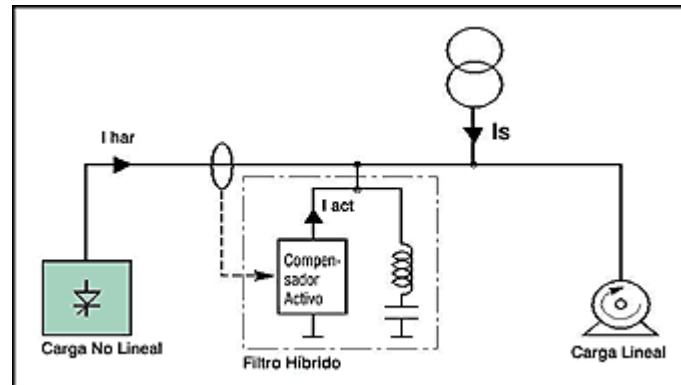


Figura 31[11]- Conexionado del filtro híbrido.



## CAPÍTULO 2- Herramientas computacionales

En el pasado, la mayoría de los equipos eléctricos operaban con un voltaje y una corriente perfectamente sinusoidal. Sin embargo, en los últimos años fueron apareciendo en el mercado productos cuya característica eléctrica no son lineales, es decir, que operan con una corriente que no es perfectamente sinusoidal. Estos dispositivos son la principal fuente de armónicos.

Con la ayuda de programas computacionales es posible extraer los valores de las mediciones realizadas en ensayos prácticos por los distintos instrumentos de medición, ya sea como también las señales en el tiempo. A su vez, se puede representar una onda sinusoidal imperfecta por sus componentes armónicas, que tienen como frecuencia un múltiplo entero de la frecuencia fundamental (50Hz), permitiendo, de esta manera, poder realizar simulaciones mediante fuentes de corriente o modelos reales. De las mismas, también se podrá tener acceso a los valores de distorsión armónica totales, ya sea para la corriente (THDi) como para la tensión (THDv), expresando dicho índice como un porcentaje de la armónica fundamental.

### Espectro de frecuencia utilizando programa TOP 2000

Las señales registradas por el osciloscopio digital **Fluke ScopeMeter 97** se las puede transferir a una computadora para ser analizadas posteriormente por el programa Top 2000. Como el instrumento mide solo de tensión, se puede obtener la señal de corriente dividiendo la tensión por un valor de resistencia (ejemplo  $R=3,8\Omega$ ) conectada en serie en el circuito. Se emplea el programa Top 2000 como se muestra en la Figura 32.

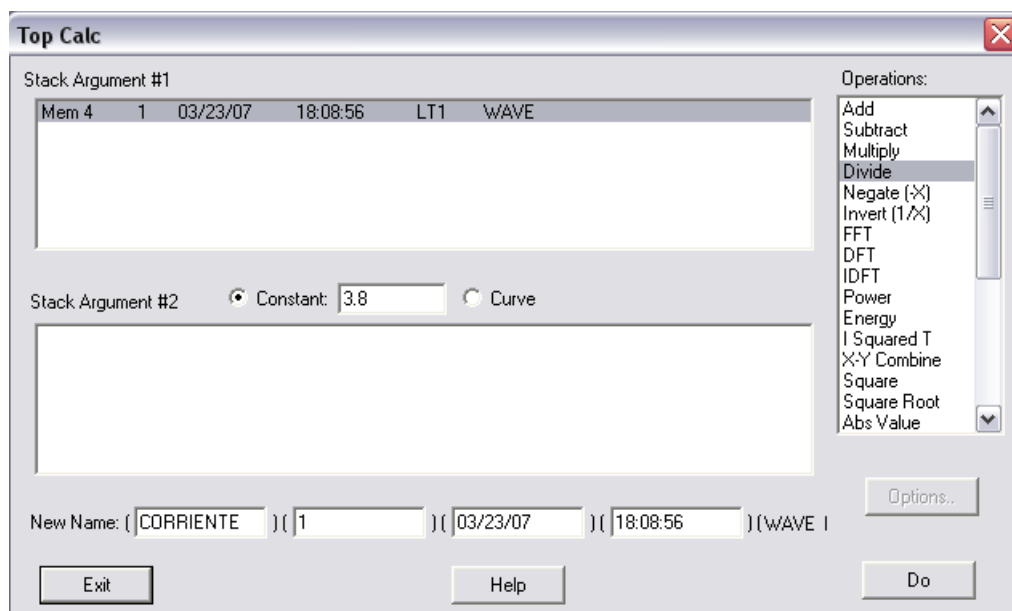


Figura 32-Señal de corriente obtenida con programa TOP 2000.

Para realizar el Espectro de Frecuencia se debe aplicar la Transformada de Fourier haciendo uso de la opción FFT ("Fast Fourier Transform") como se muestra en la Figura 33.

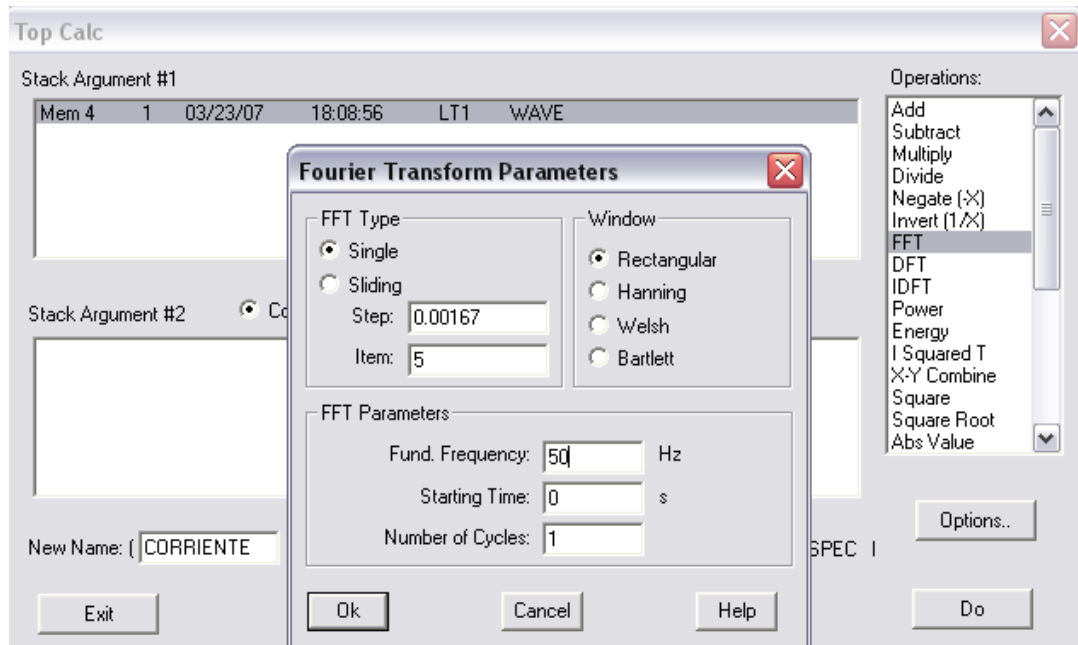


Figura 33-Espectro de frecuencia con programa TOP 2000.

Para obtener los valores de amplitud de cada armónico y el valor de THD, solo es necesario usar el tipo de tabla como la que muestra la siguiente Figura 34.

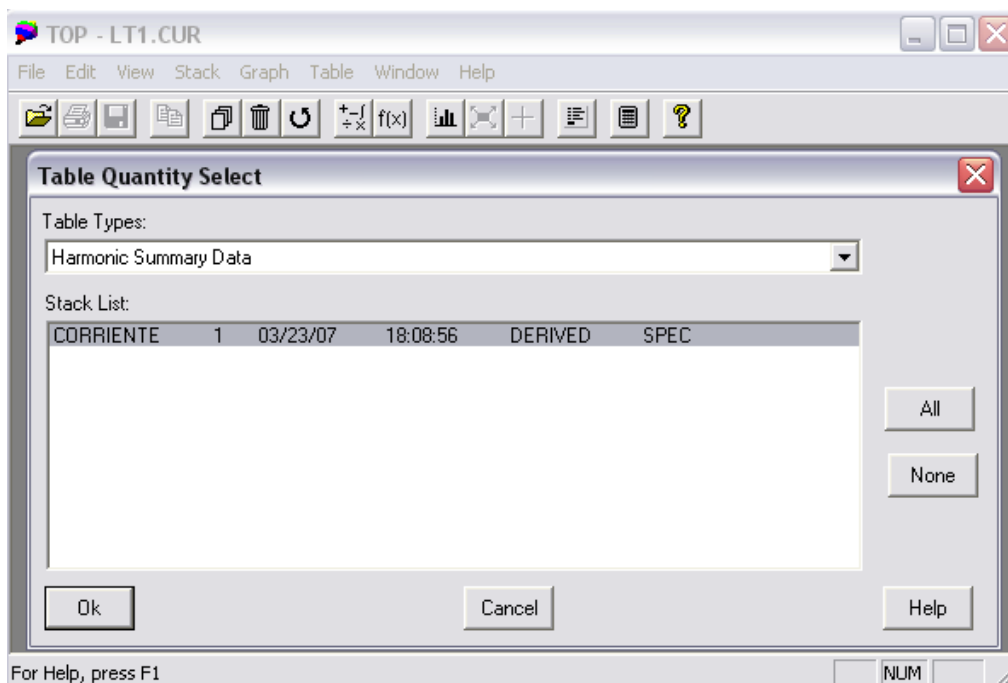


Figura 34-Tabla para determinar la amplitud y THD de los armónicos.

Una vez conseguida dicha tabla, se puede exportar (Figura 35) con un nombre corto L1.CSV para ser extraído (Importado) con un macro de Excel que posteriormente se explicará.



	A	B	C	D	E
1	<b>Name</b>	<b>Freq</b>	<b>Fund</b>	<b>% THD</b>	<b>% RMS</b>
2	DIV	50	0.757757	139.634	171.749

Figura 35-Tabla de amplitud y THD de los armónicos.

Si solo se requiere las amplitudes y ángulos de fase de cada armónico, únicamente es necesario utilizar un tipo de tabla como la mostrada en la siguiente Figura 36.

Table Types:
Frequency Data Points

Stack List:					
Mem 7	1	06/30/06	10:08:00	DERIVED	SPEC

Figura 36-Tabla para determinar la amplitud y ángulo de los armónicos.

### **Importación de los datos de la tabla (Figura 35) con un macro de Excel**

Los pasos para realizar el macro de Excel son:

1) Ingresar al **menú herramientas**, luego **macro**, seguido por **grabar nuevo macro**. Como se muestra en la Figura 37.

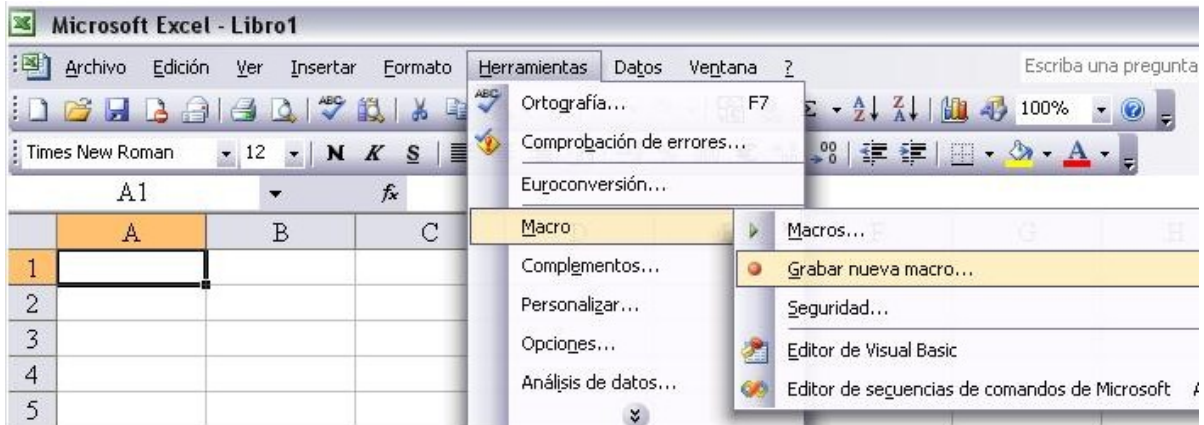


Figura 37- Grabar nuevo macro.

2) Mientras se graba el macro1, realizar los siguientes pasos: **menú datos**, luego **Obtener datos externos**, seguido por **Importar datos**, como se muestra en la Figura 38. Posteriormente se debe buscar la ruta de acceso del archivo que se quiere importar, inmediatamente comienza el asistente de 3 pasos para importar texto, como se indica en las Figuras 39, 40 y 41; aclarando que la configuración avanzada del paso 3 solo se aplica si se toma mal los datos en cuanto al punto y coma de los decimales.

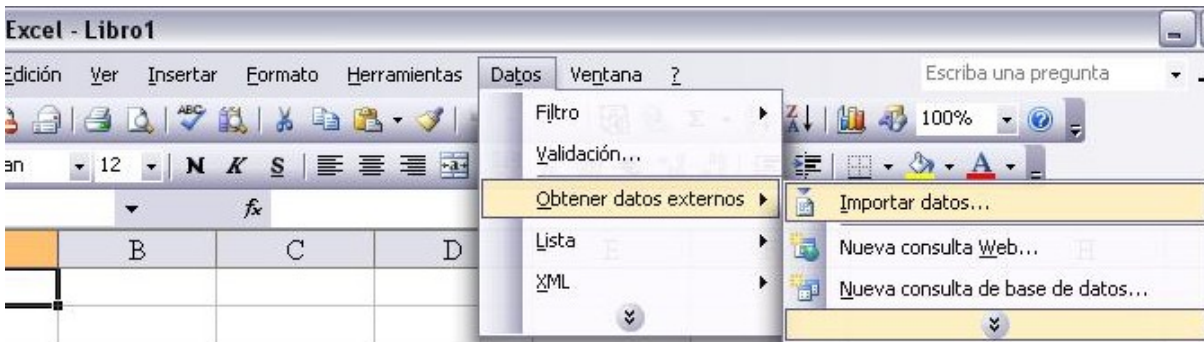


Figura 38- Importar datos del programa Top 2000.

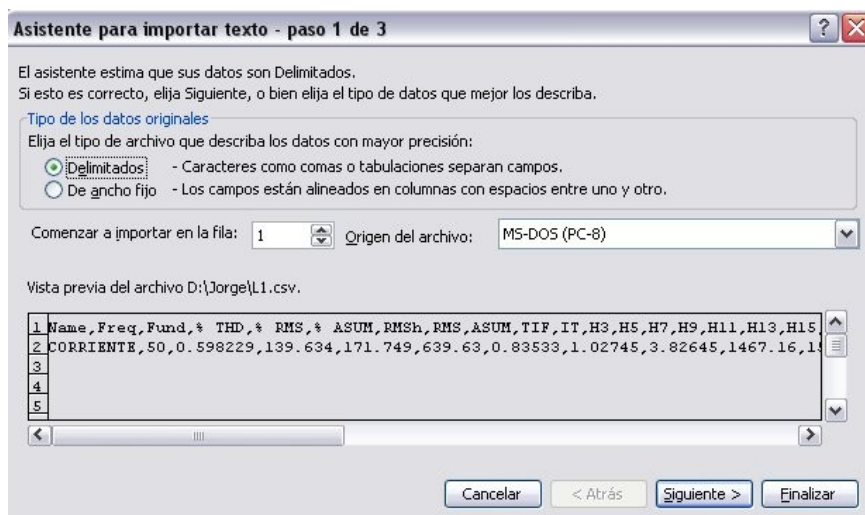


Figura 39- Paso 1 de 3.

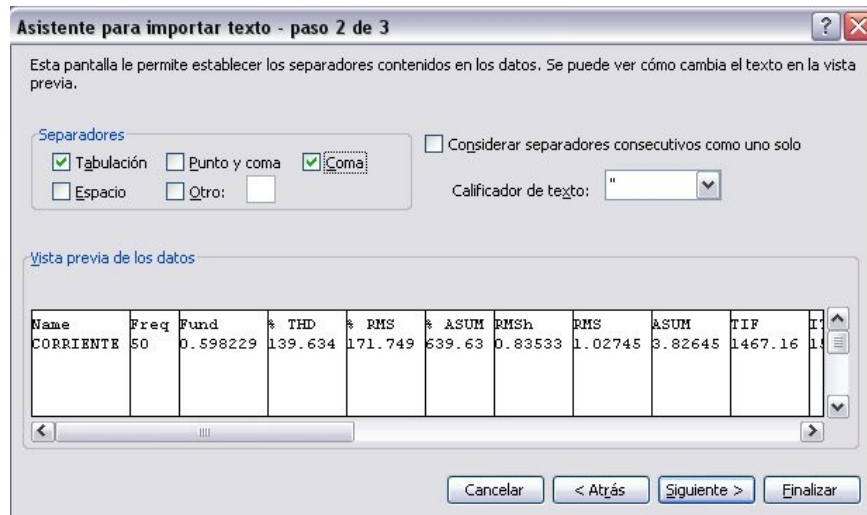


Figura 40- Paso 2 de 3.

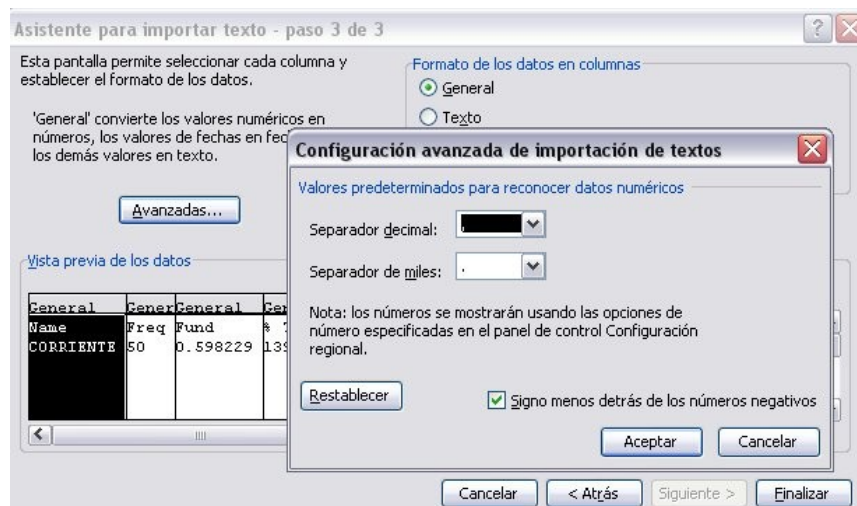


Figura 41- Paso 3 de 3.

3) A continuación, se debe indicar en que celda se ingresan los datos, como es indicado en la Figura 42 y esto es importante si se tuvieran que hacer múltiples importaciones.

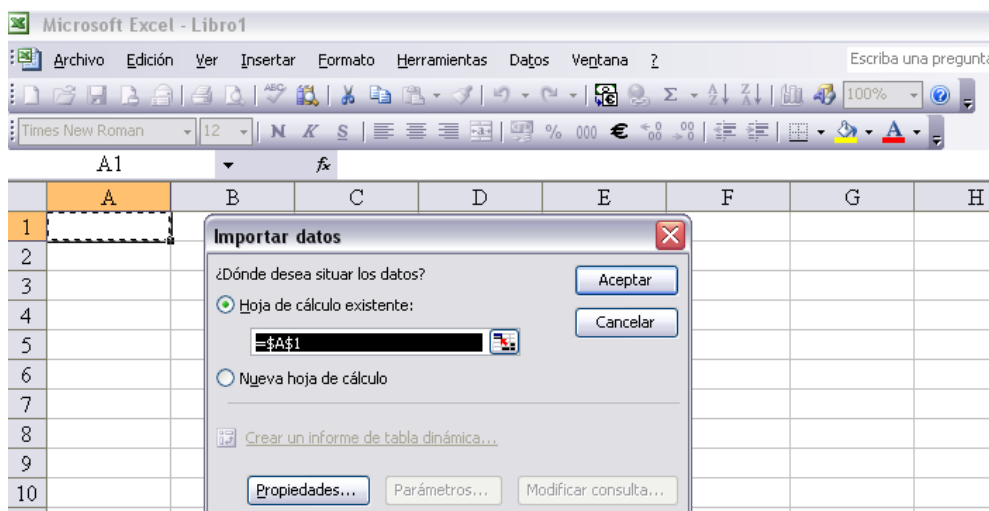


Figura 42- Celda de ingreso de datos.



4) Para finalizar, detener la grabación del macro1.

Como en muchos casos se tiene que hacer muchas extracciones de datos, tanto por los obtenidos por el programa Top 2000 (provenientes del osciloscopio digital Fluke ScopeMeter 97), como también los datos del instrumento Hioki 3166, es conveniente crear un solo macro para cada tipo de extracción y manipular la ruta de acceso y la celda de inserción en el **modulo1** como se muestra en la Figura 44. Para ello, se debe ingresar al **menú herramientas**, luego **macro**, seguido por **Editor de Visual Basic**, como se ve en la Figura 43.

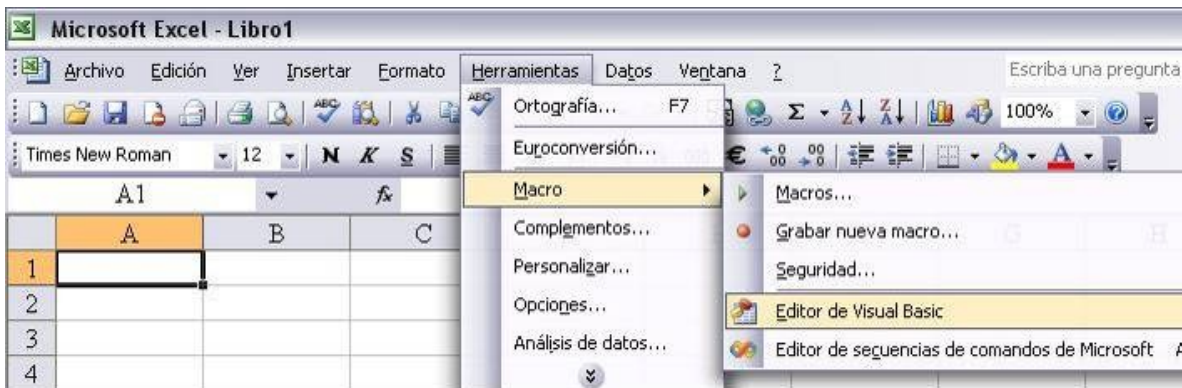


Figura 43- Ejemplo de cómo ingresar al Editor de Visual Basic.

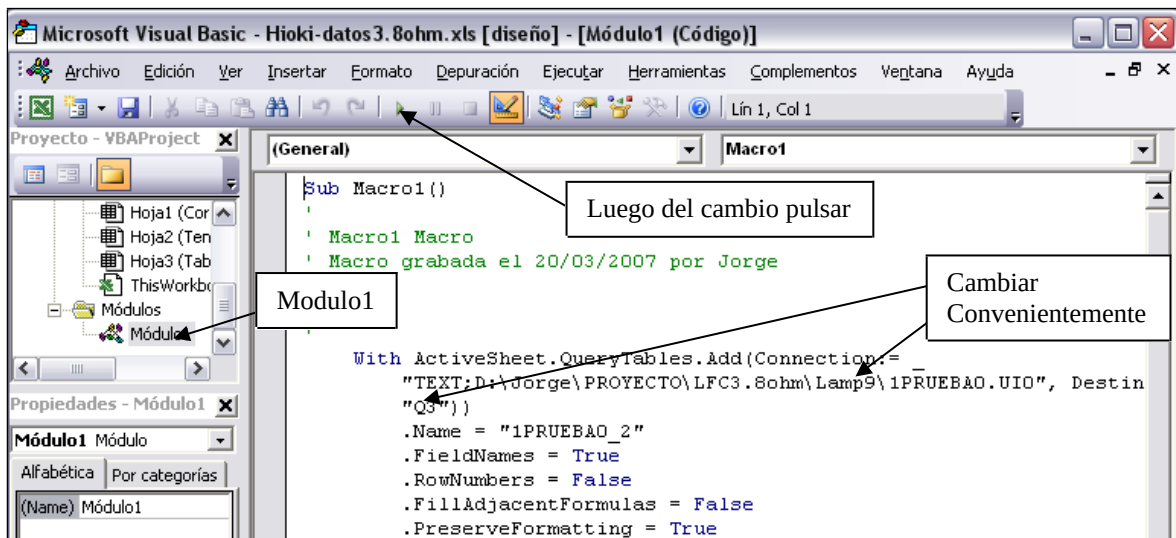


Figura 44- Ejemplo de importación datos del Hioki 3166 (archivo\*.UIO).

Se puede ver en la Figura 45 como se fueron importando rápidamente los datos, cambiando el directorio desde lamp1 a lamp9 y la celda respectivamente, previamente habiendo convertido para este caso los archivos \*.WUI obtenidos por el Hioki 3166 mediante el programa **Wuiconv** (se ejecuta el programa seguido por el nombre que se desea convertir), y luego importando el archivo \*.UIO generado de igual modo, como se explicó anteriormente. Los archivos \*.HRM generados por el Hioki 3166 se pueden importar de forma directa (sin convertir), para luego aplicar un filtro avanzado y visualizar lo necesario como se muestra en la Figura 46.





	K	L	M	N	O	P	Q	
1								
2		6 Lampara	7 Lampara	8 Lampara	9 Lampara			
3	WAVE_U1	WAVE_I1	WAVE_U1	WAVE_I1	WAVE_U1	WAVE_I1	WAVE_U1	WAVE_I1
4	43897	43897	43897	43897	43897	43897	43897	43897
5	0,6823727	0,6823727	0,6849537	0,6849537	0,6871065	0,6871065	0,6891667	0,6891667
6	4,259	-0,02871	1,754	-0,02088	6,012	-0,01566	1,002	-0,01566
7	12	-0,03132	9,068	-0,02349	13,18	-0,02088	8,793	-0,02088
8	19,84	-0,02349	16,86	-0,02088	21,12	-0,02088	16,21	-0,02088
9	27,33	-0,0261	24,25	-0,01827	28,26	-0,02349	23,57	-0,01827
10	34,75	-0,01566	31,56	-0,03132	35,55	-0,02088	31,14	-0,0261

Figura 45- Importación de datos del Hioki 3166 (varios archivos \*.UIO).

	A	B	E	F	G	H	I	J	
1									
2		OUT	ME	M	THDF_U1	THDF_I1	THDR_U1	THDR_I1	TOTAL
3	1 Lampara	43897	0,64792824	--/--	4,09	113,37	4,09	74,07	220,11
5	2 Lampara	43897	0,65545139	--/--	4,23	113,63	4,23	74,79	220,55
7	3 Lampara	43897	0,66693287	--/--	4,26	111,14	4,25	74,16	218,36
9	4 Lampara	43897	0,6693287	--/--	4,23	110,5	4,23	74,02	217,52
11	5 Lampara	43897	0,67170139	--/--	4,36	108,24	4,35	73,36	219,41
13	6 Lampara	43897	0,68237269	--/--	4,34	107,1	4,34	72,98	217,49
15	7 Lampara	43897	0,6849537	--/--	4,41	105,33	4,41	72,46	216,77
17	8 Lampara	43897	0,68710648	--/--	4,45	103,45	4,45	71,86	216,31
19	9 Lampara	43897	0,68916667	--/--	4,55	101,6	4,55	71,25	215,85

Figura 46- Importación de datos del Hioki 3166 (varios archivos \*.HRM).

### Programa de simulación Pspice

El origen del simulador SPICE puede remontarse a hace más de treinta años. A mediados de la década de los 60, IBM desarrolló el programa ECAP, que más tarde serviría como punto de partida para que la Universidad de Berkeley desarrollara el programa CANCER. Hasta principios los años 70 los circuitos electrónicos se analizaban casi exclusivamente de forma manual, mientras que de forma progresiva, la complejidad de éstos iba en aumento.

En ese momento un grupo de la Universidad de Berkeley, tomando como base el programa CANCER, desarrolló la primera versión de **SPICE (Simulation Program with Integrated Circuits Emphasis)**, un simulador de propósito general que permitía analizar



sobre grandes computadoras y estaciones de trabajo, circuitos analógicos sin necesidad de realizarlos físicamente.

En SPICE el circuito y análisis requerido es descrito en un fichero de texto mediante una serie de comandos y declaraciones. A este fichero se le llama fichero del circuito. La sintaxis de las declaraciones permite dejar parámetros sin especificar, con lo que tomarán valores por defecto. El fichero del circuito es leído por SPICE, éste comprueba que no hay errores en las conexiones y sintaxis declaradas, y finalmente hace la simulación.

El éxito alcanzado por el programa, así como su utilización generalizada, ha originado la aparición de numerosas versiones de SPICE.

En 1984 nace de manos de MicroSim Corporation la primera adaptación para ordenadores personales: **PSpice**. Desde entonces, PSpice ha ido renovándose continuamente. Versiones ampliamente extendidas de PSpice son la 8.0 (última desarrollada por MicroSim) y la 9.1 (primera tras la fusión de OrCAD y MicroSim), hasta llegar a la 9.2, la última en el mercado. Esta revisión del simulador es la primera desde la fusión de Cadence y OrCAD.

Pspice incluye varios programas, entre ellos está **Schematics** que es un programa de captura con una interfase directa a otros programas y opciones de Pspice.

Con este programa se pueden realizar varias tareas en un mismo ambiente, entre las que se encuentran:

- Diseño y dibujo de circuitos.
- Simulación de circuitos.
- Análisis de los resultados simulados usando el visualizador de formas de onda de Pspice.

Un importante requisito para construir un esquema es la disponibilidad de los dispositivos necesarios en forma de símbolos. Schematics tiene bibliotecas e incluye un editor de símbolos para circuitos integrados, para crear los propios símbolos o modificar los ya existentes.

Después de realizar la simulación, Pspice grafica a través del modulo PROBE las formas de onda de los resultados, de manera que se pueden visualizar los resultados del comportamiento del circuito y determinar la validez del diseño, así como manipular interactivamente los datos de las señales producidos por la simulación.

Pspice también usa gráficas de alta resolución para poder ver los resultados de una simulación tanto en pantalla como en impresión. En la pantalla, las formas de onda aparecen como gráficas desplegadas a modo de un osciloscopio de software.

La ejecución de una simulación con Pspice corresponde a construir o cambiar diseños eléctricos y analizar las formas de onda como si se tuviera un osciloscopio, de manera que se lleva a cabo un proceso iterativo hasta lograr el refinamiento del diseño.

### **Método por inyección con fuentes de corriente (Isin)**

La siguiente Figura 47 corresponde a una captura realizada sobre la imagen mostrada por Pspice al construirse un determinado circuito mediante fuentes de corriente (Isin).

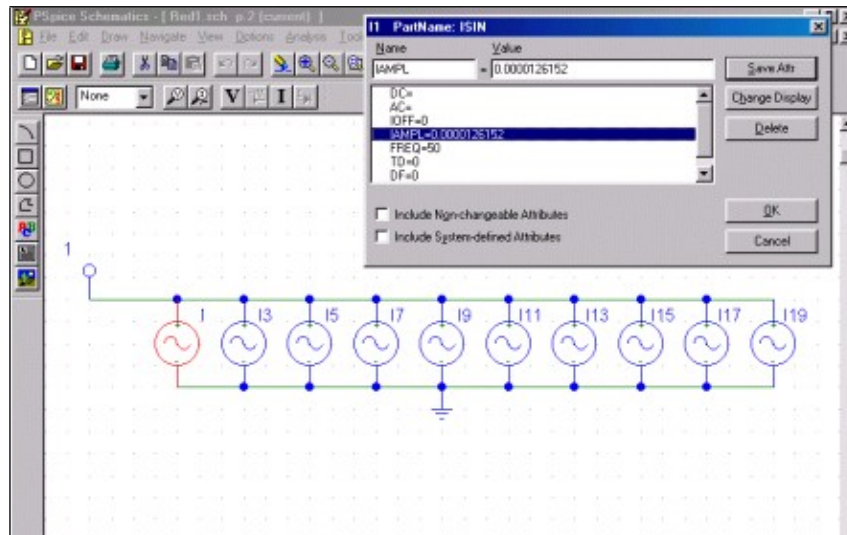


Figura 47-Circuito utilizando Isin y su correspondiente ventana de configuración.

Cada una de estas fuentes representan el valor del armónico considerado y debe ser configurada mínimamente con los siguientes parámetros: amplitud, frecuencia y ángulo de fase.

Antes de realizar la simulación, Schematics permite seleccionar el tipo de análisis que se desea del circuito, así como las opciones para éste desde la ventana **Setup Análisis** (Figura 48). En él encontramos la opción **Transient** (Análisis transitorio), que proporciona la respuesta del circuito en función del tiempo, en el intervalo especificado (Figura 49). Dentro del cuadro **Transient** es importante detallar la frecuencia central y la cantidad de armónicos a evaluar, presentando en el mismo, la posibilidad de identificar las variables de salida que se quieren extraer.

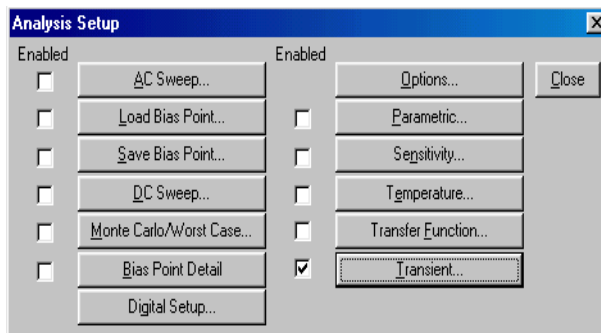


Figura 48-Opción Setup Análisis.

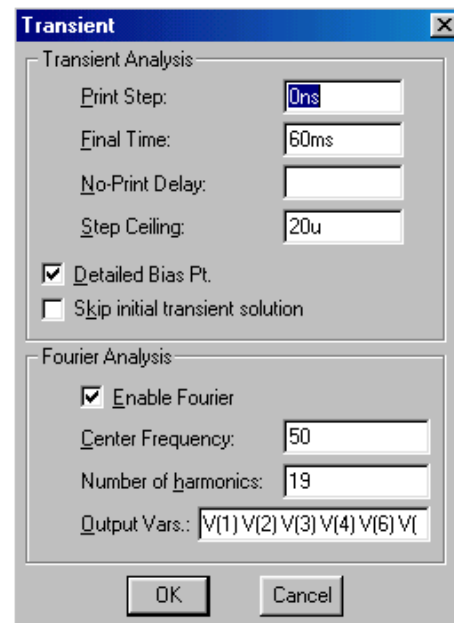


Figura 49-Opción Transient.

Las visualizaciones en el programa son llevadas a cabo por **Probe** en donde se ofrecen más posibilidades en tratado de señales como por ejemplo: el icono **Add trace** (Figura 50), que abre una ventana en la cual se puede seleccionar el parámetro a graficar,



permitiendo también calcular RMS(), SQRT(), P(), S(), ABS(), etc., situando dentro del paréntesis la variable que se quiere evaluar.

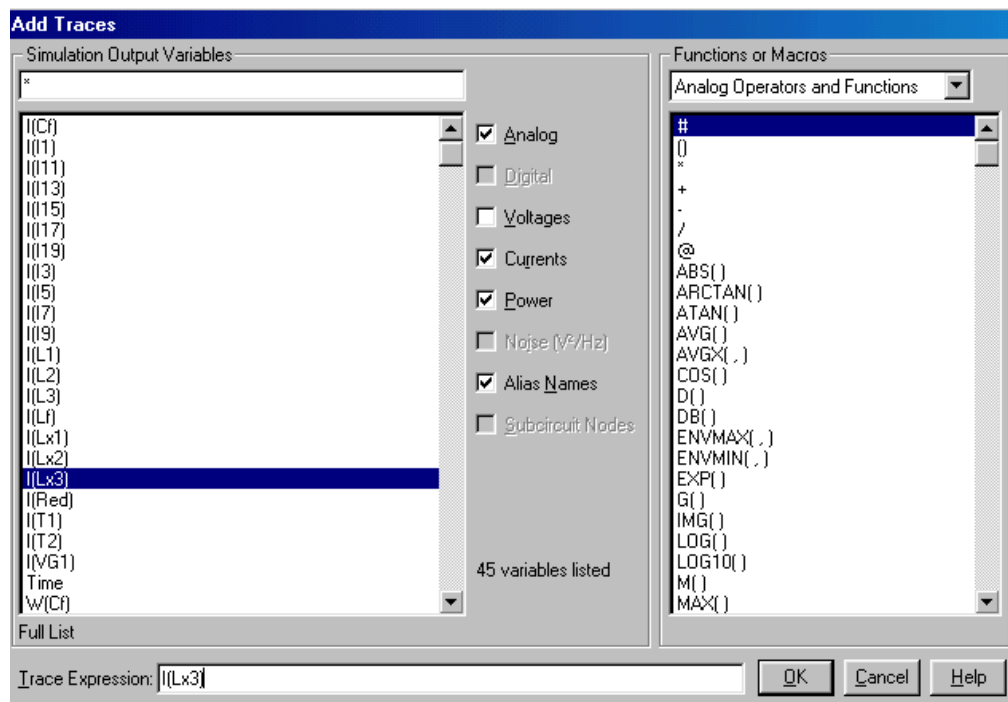


Figura 50-Opción Add trances.

Otro ícono útil es el **toggle cursor**, el cual despliega un par de ejes sobre la figura, permitiendo que la misma pueda ser recorrida punto a punto para evaluar los valores de amplitud y tiempo en cada instante.

La señal de corriente para el modelo generado por el programa Pspice se puede observar a continuación en la Figura 51.

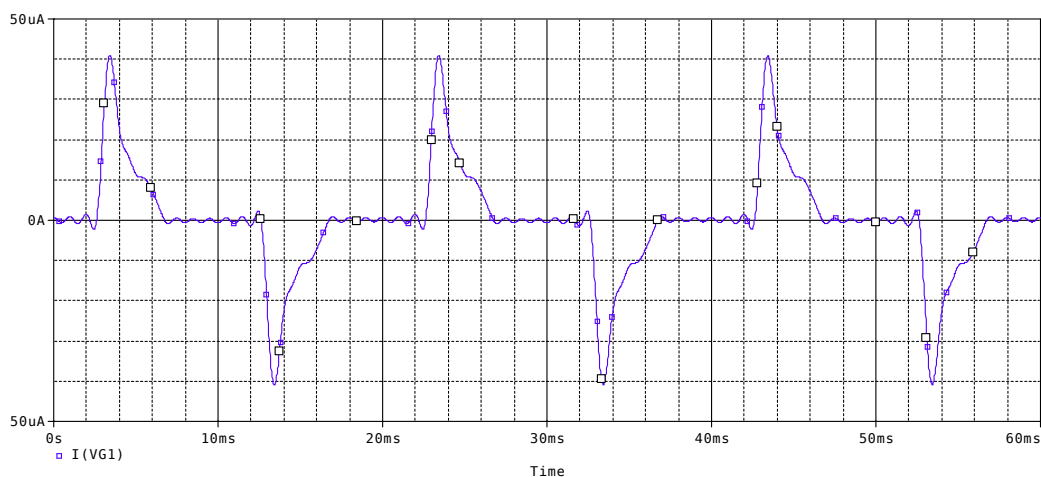


Figura 51. Señal de corriente para el modelo generado.

Para visualizar los resultados del análisis luego de la simulación, es decir los valores de las variables de salida insertadas en el cuadro **Transient**, es necesario seleccionar el ícono **View Simulation Output File** (Figura 52).



FOURIER COMPONENTS OF TRANSIENT RESPONSE V(1)

DC COMPONENT = -2.866992E-04

HARMONIC NO	FREQUENCY (HZ)	FOURIER COMPONENT	NORMALIZED COMPONENT	PHASE (DEG)	NORMALIZED PHASE (DEG)
1	5.000E+01	1.010E+00	1.000E+00	-5.617E-01	0.000E+00
2	1.000E+02	1.224E-03	1.212E-03	-1.198E+02	-1.186E+02
3	1.500E+02	8.977E-03	8.892E-03	7.714E+01	7.883E+01
4	2.000E+02	9.559E-04	9.468E-04	4.637E+01	4.862E+01
5	2.500E+02	1.760E-03	1.744E-03	1.453E+02	1.481E+02
6	3.000E+02	3.358E-04	3.326E-04	3.411E+01	3.748E+01
7	3.500E+02	2.257E-03	2.236E-03	6.270E+01	6.664E+01
8	4.000E+02	2.077E-04	2.057E-04	2.723E+01	3.172E+01
9	4.500E+02	2.322E-03	2.300E-03	-4.678E+01	-4.173E+01
10	5.000E+02	1.522E-04	1.508E-04	2.285E+01	2.847E+01
11	5.500E+02	1.644E-03	1.629E-03	-1.676E+02	-1.614E+02
12	6.000E+02	1.210E-04	1.199E-04	1.994E+01	2.668E+01
13	6.500E+02	1.614E-03	1.599E-03	9.162E+01	9.892E+01
14	7.000E+02	1.009E-04	9.993E-05	1.786E+01	2.573E+01
15	7.500E+02	1.706E-03	1.690E-03	-1.757E+01	-9.149E+00
16	8.000E+02	8.661E-05	8.579E-05	1.632E+01	2.530E+01
17	8.500E+02	1.122E-03	1.111E-03	-1.312E+02	-1.216E+02
18	9.000E+02	7.598E-05	7.526E-05	1.526E+01	2.537E+01
19	9.500E+02	9.827E-04	9.734E-04	1.291E+02	1.398E+02

TOTAL HARMONIC DISTORTION = 1.025737E+00 PERCENT

Figura 52-Descomposición armónica en Pspice.

### Modelo real de una lámpara LFC de 20W

Con las posibilidades que nos brinda el programa de simulación Pspice, podemos realizar la construcción de un circuito electrónico que tenga el mismo comportamiento que el de una lámpara real compacta de bajo consumo (LFC de 20W), lo cual nos permite la simulación de un número grande de unidades sin tener costo alguno y obteniendo muy buenos resultados comparativos para los ensayos requeridos. A continuación, se muestra la captura del circuito empleado Figura 53.

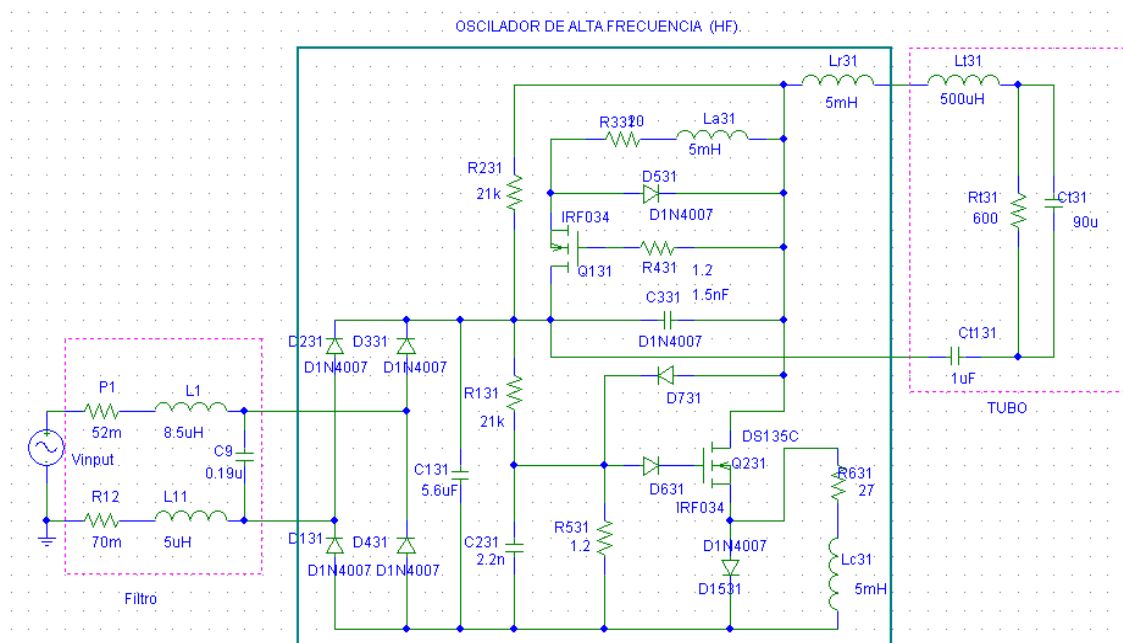


Figura 53- Circuito electrónico de una lámpara LFC 20W.

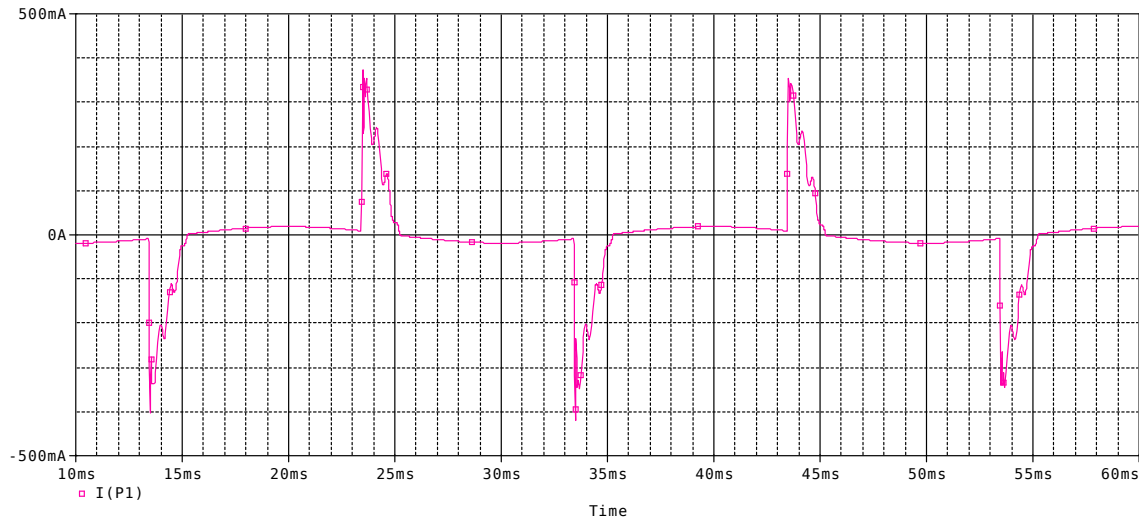


Figura 54- Circuito Electrónico Lámpara LFC 20W.

Como se observa de la Figura 54 anterior, la señal generada por el modelo es muy similar a la señal de una lámpara real, lo que permite obtener los datos de la transformada de Fourier y la tasa de distorsión total de corriente THDi como se muestra en la Figura 55, cuyo valor próximo corresponde a las lámparas LFC de 20W del fabricante GE utilizadas en los ensayos.

```
FOURIER COMPONENTS OF TRANSIENT RESPONSE I(R_P1)
```

DC COMPONENT = 8.813820E-05

HARMONIC NO	FREQUENCY (HZ)	FOURIER COMPONENT	NORMALIZED COMPONENT	PHASE (DEG)	NORMALIZED PHASE (DEG)
1	5.000E+01	6.519E-02	1.000E+00	3.315E+01	0.000E+00
2	1.000E+02	1.825E-04	2.800E-03	-3.538E+01	-1.017E+02
3	1.500E+02	5.351E-02	8.208E-01	-1.276E+02	-2.270E+02
4	2.000E+02	1.946E-04	2.984E-03	-1.643E+02	-2.970E+02
5	2.500E+02	4.675E-02	7.172E-01	8.849E+01	-7.728E+01
6	3.000E+02	1.999E-04	3.066E-03	6.349E+01	-1.354E+02
7	3.500E+02	3.802E-02	5.832E-01	-5.347E+01	-2.856E+02
8	4.000E+02	1.917E-04	2.941E-03	-6.902E+01	-3.343E+02
9	4.500E+02	2.875E-02	4.410E-01	1.682E+02	-1.302E+02
10	5.000E+02	1.736E-04	2.663E-03	1.615E+02	-1.700E+02
11	5.500E+02	2.058E-02	3.157E-01	3.618E+01	-3.285E+02
12	6.000E+02	1.590E-04	2.439E-03	3.761E+01	-3.602E+02
13	6.500E+02	1.508E-02	2.314E-01	-8.674E+01	-5.177E+02
14	7.000E+02	1.617E-04	2.481E-03	-8.395E+01	-5.481E+02
15	7.500E+02	1.289E-02	1.978E-01	1.557E+02	-3.417E+02
16	8.000E+02	1.783E-04	2.735E-03	1.501E+02	-3.804E+02
17	8.500E+02	1.256E-02	1.927E-01	3.397E+01	-5.297E+02
18	9.000E+02	1.919E-04	2.944E-03	1.882E+01	-5.780E+02
19	9.500E+02	1.227E-02	1.882E-01	-9.322E+01	-7.232E+02

TOTAL HARMONIC DISTORTION = 1.409844E+02 PERCENT

Figura 55-Descomposición armónica del modelo real LFC 20W.

Para poder realizar el estudio del efecto atenuación y la variación del THDv y THDi ante los cambios producidos por la relación de impedancia de la red ( $X_L/R$ ), se construye un



circuito elemental de una red de baja tensión, el que permite el conexionado de los modelos de las 9 lámparas LFC de 20W provenientes de otra pagina del programa Pspice por medio de la burbuja 1 (comando BUBBLE). La Figura 56 y 57 muestran los distintos conexionados y circuitos antes mencionados.

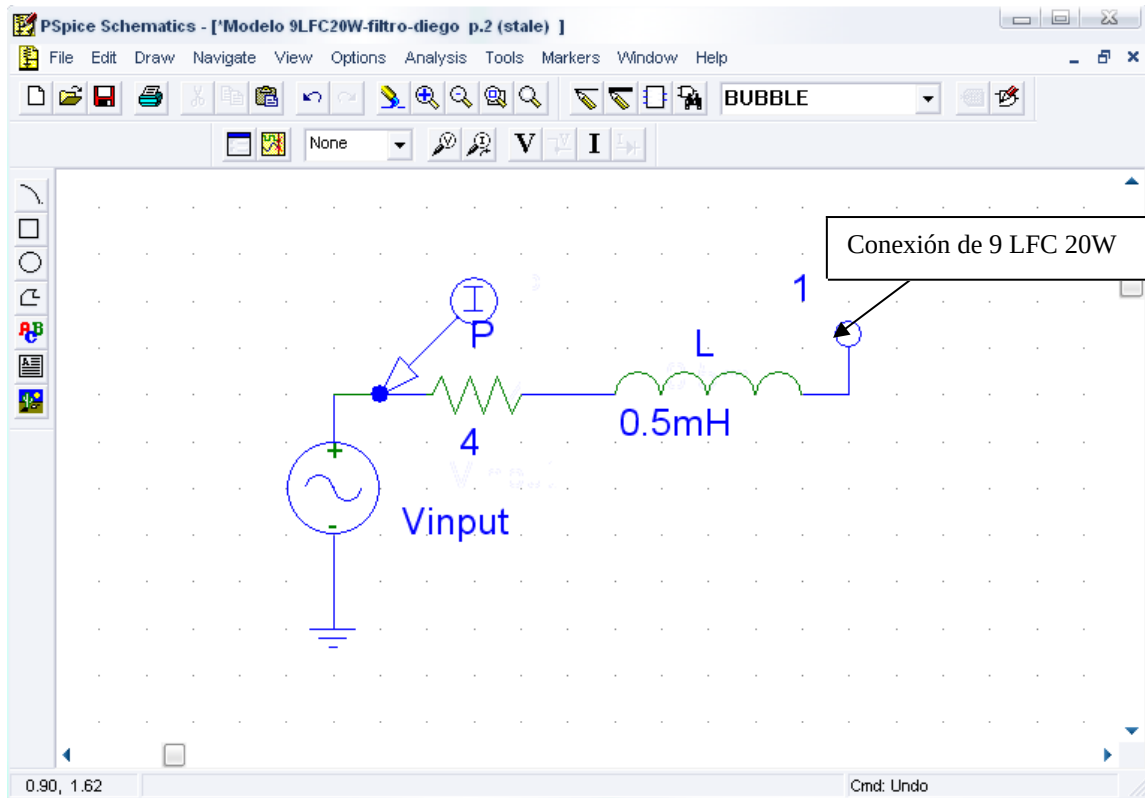


Figura 56-Circuito elemental de una red de baja tensión.

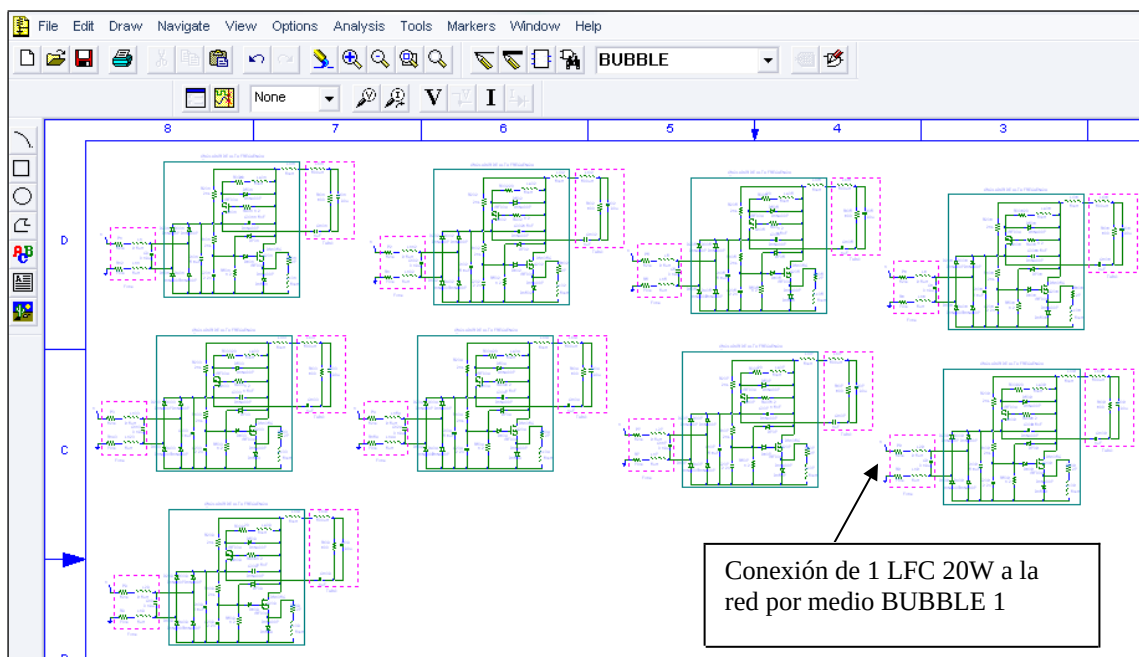


Figura 57- Modelos de 9 LFC de 20W.



## Programa de simulación EMTP.

El programa ATP (Alternative Transients Program) es la versión más difundida del **programa de Transitorios Electromagnéticos (EMTP)**. En gran medida, la gran aceptación del ATP se debe a la facilidad de conseguir el programa, sin pago de regalías, y a su compatibilidad con las computadoras más comunes.

El EMTP fue desarrollado en el dominio público en la BPA (Bonneville Power Administration) antes de la iniciativa comercial emprendida en 1984 por la DCG (Grupo de Coordinación de Desarrollo del EMTP, con el cual la BPA no tiene conexión desde que expiró el acuerdo de asociación el último día de 1987) y el EPRI (Instituto de Investigación de Electricidad de Potencia de Palo Alto, California, EUA).

Aunque el trabajo realizado en el EMTP por la BPA continúa en el dominio público por ley de EUA, el ATP no está en el dominio público, se debe suscribir la licencia y su solicitud debe ser oficialmente autorizada, aunque es sin embargo accesible sin cargo.

### **Alternative Transients Program (ATPDraw)**

El ATP es un programa computacional usado para la simulación de fenómenos transitorios como así también el análisis de redes complejas en sistemas eléctricos de potencia. Mediante éste se pueden predecir variables de interés y funciones en el tiempo, las cuales se inician por distintos desordenes o interferencias.

Básicamente el programa resuelve ecuaciones diferenciales en el dominio del tiempo a través de la regla trapezoidal de integración.

Se pueden analizar eventos simétricos o asimétricos como fallos en la red, descargas atmosféricas o maniobras sobre interruptores.

Para la realización de redes, el ATP posee elementos predeterminados como fuentes, transformadores, resistencias, etc., permitiendo la incorporación de nuevos parámetros a esta librería. A continuación, se muestra un ejemplo de una red (Figura 58).

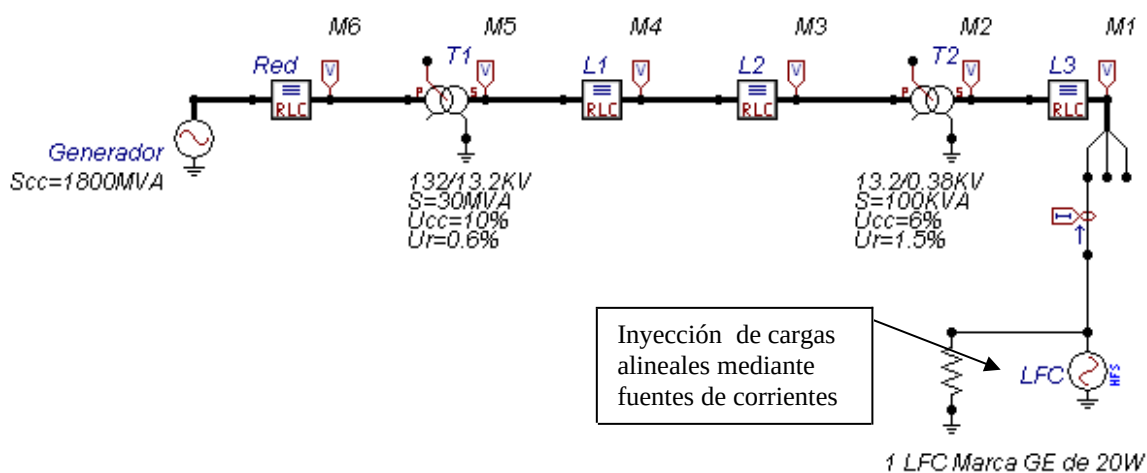


Figura 58- Red trifásica realizada por el ATPDraw.

Para analizar la influencia de cargas alineales en la red (Figura 58), se debe inyectar la misma, previamente cargando cada una de las amplitudes y ángulos de sus respectivos armónicos. Es necesario agregar una resistencia de gran valor en paralelo con las fuentes de corriente para estabilizar el sistema ante transitorios producto de dicha inserción.





Luego de haber ingresado los datos correctos de las impedancias de línea, transformadores, etc. correspondiente a la red en cuestión, conviene revisar la configuración **Settings** (Figura 59) donde está la función (**Xopt =0**), la cual determina que los valores, tanto de las reactancias de línea como transformadores estén en la unidad [**mHy**].

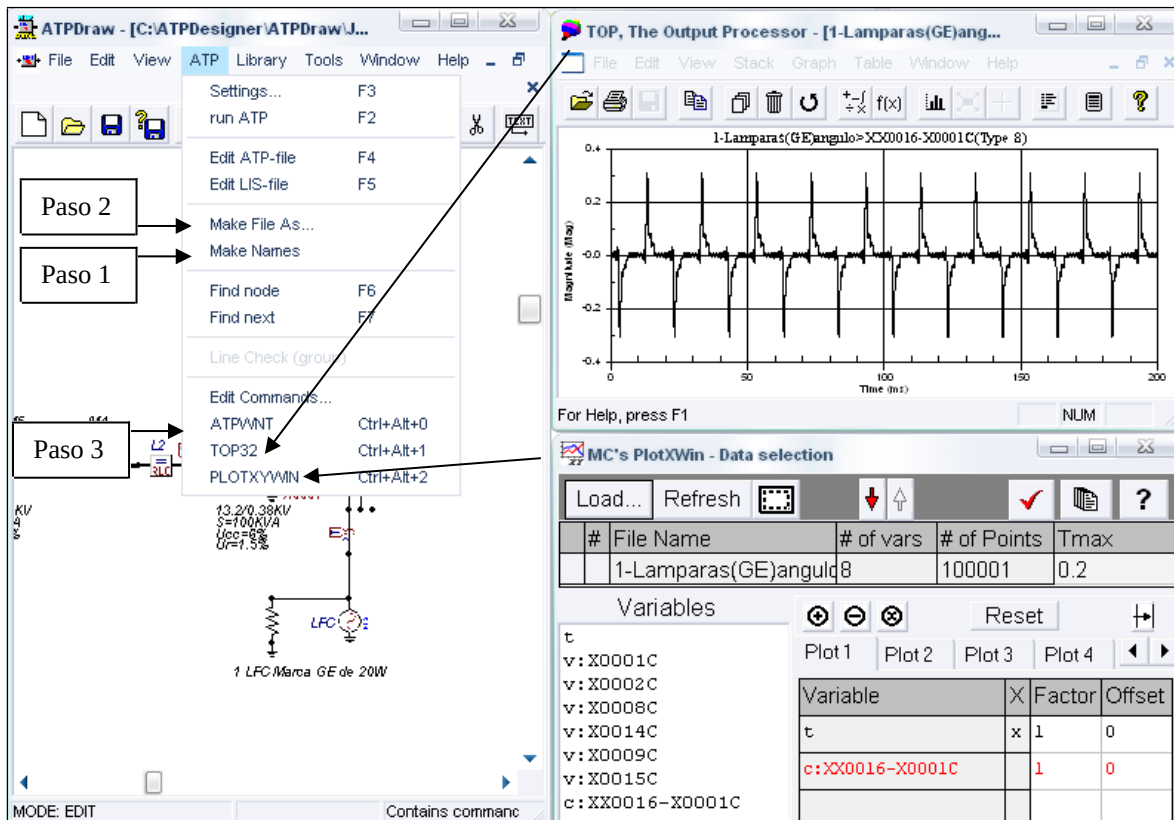


Figura 59- Captura del ATPDraw.

Para efectuar la simulación se deben realizar los pasos 1, 2 y 3 como se indican en la Figura 59. El paso 1 genera nombres a los nodos, el 2 guarda el archivo en el ATP y el último corre el programa.

**Nota:** Si por alguna razón no llega a simular, se recomienda verificar las rutas de acceso por medio del comando **Edit Commands**, como también en el menú **Tools, Options** luego **Directories**.

Terminada la simulación, se puede usar el programa **TOP32** para la extracción de datos o el programa **PlotXWin** (Figura 59) para observar la señal generada y el espectro de frecuencia. Anterior a esto último, se debe elegir el nodo que se quiere visualizar (Figura 60), se puede tener el inconveniente que la señal generada por el **Plot** no sea la correspondiente (Figura 61) a la señal de la inyección por fuente de corriente, debido a que a diferencia del programa **Pspice** que trata a los armónicos con la serie seno, el programa **ATPDraw** lo hace con la serie coseno, solucionando tal problema restando en menos 90 grados el ángulo de cada uno de los armónicos (Figura 62). Lo antes mencionado no produce en gran medida error en cuanto a las simulaciones, debido a que los gráficos del espectro de frecuencia son aproximadamente iguales en amplitud (Figuras 63 y 64).

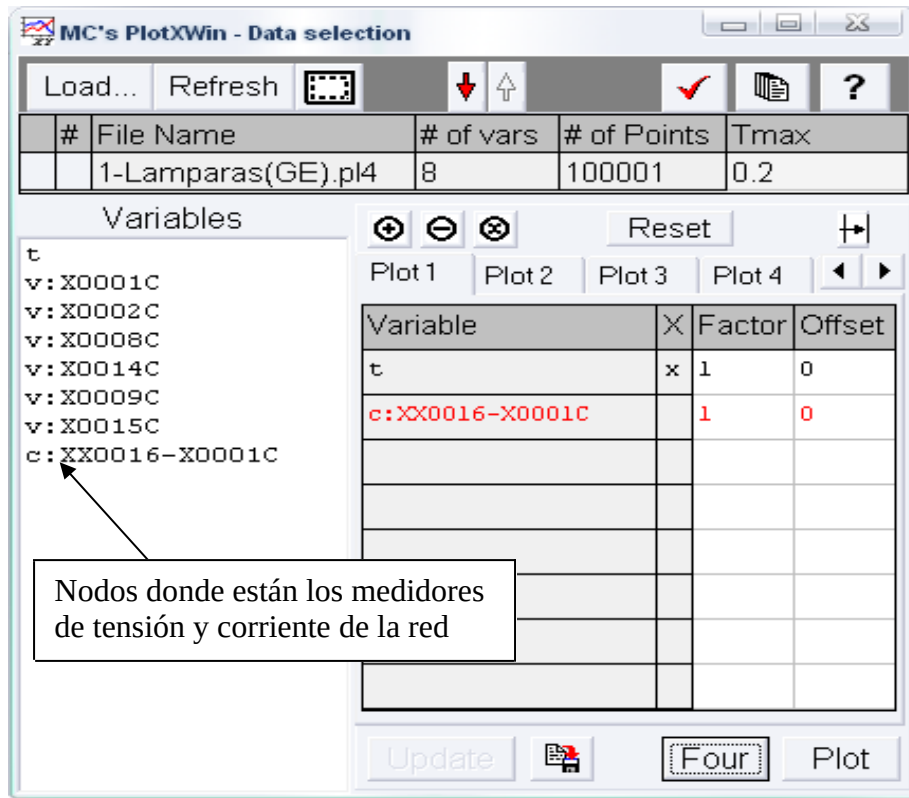


Figura 60- Captura del PlotXWin.

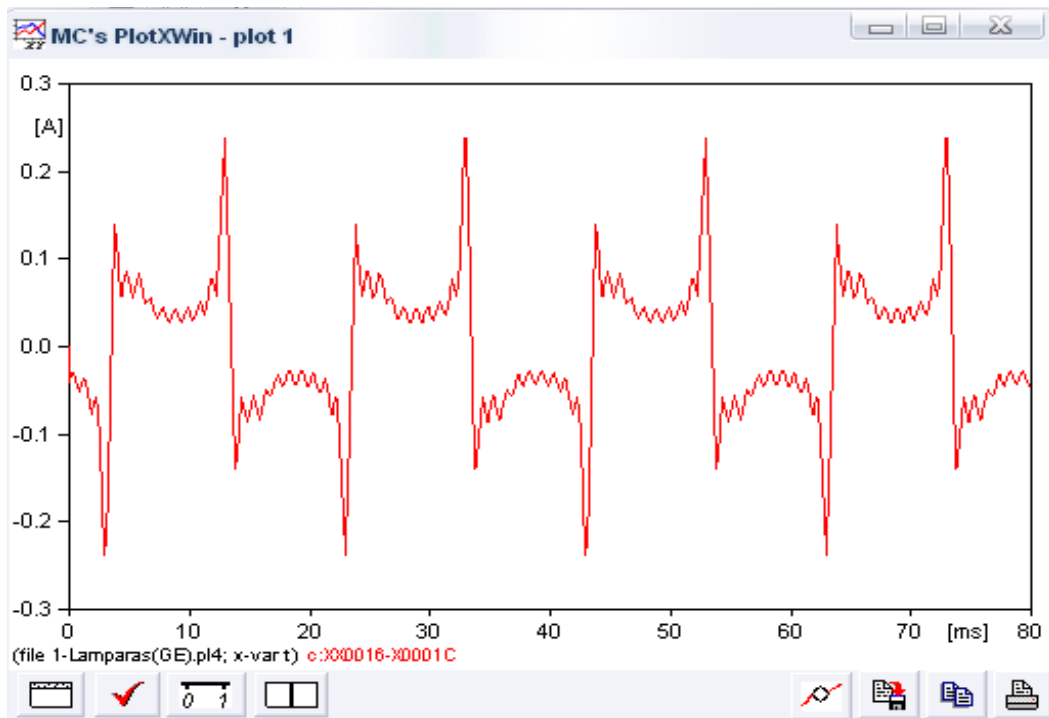


Figura 61- Captura del Plot sin corrección.

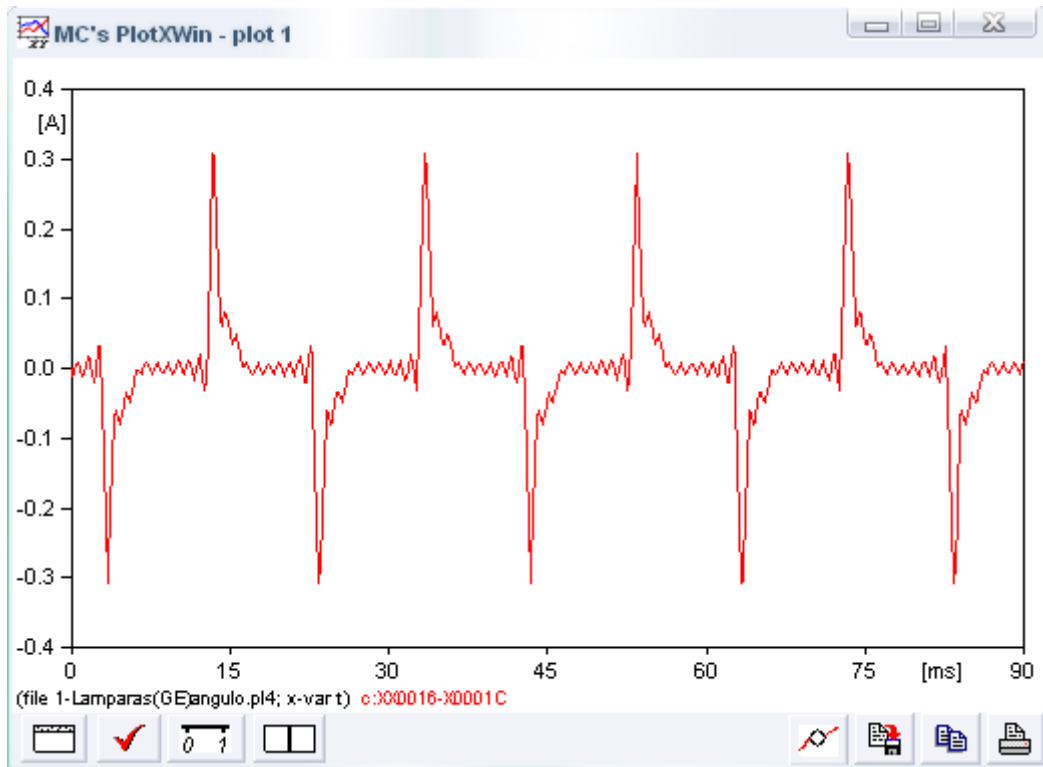


Figura 62- Captura del Plot corregido el ángulo.

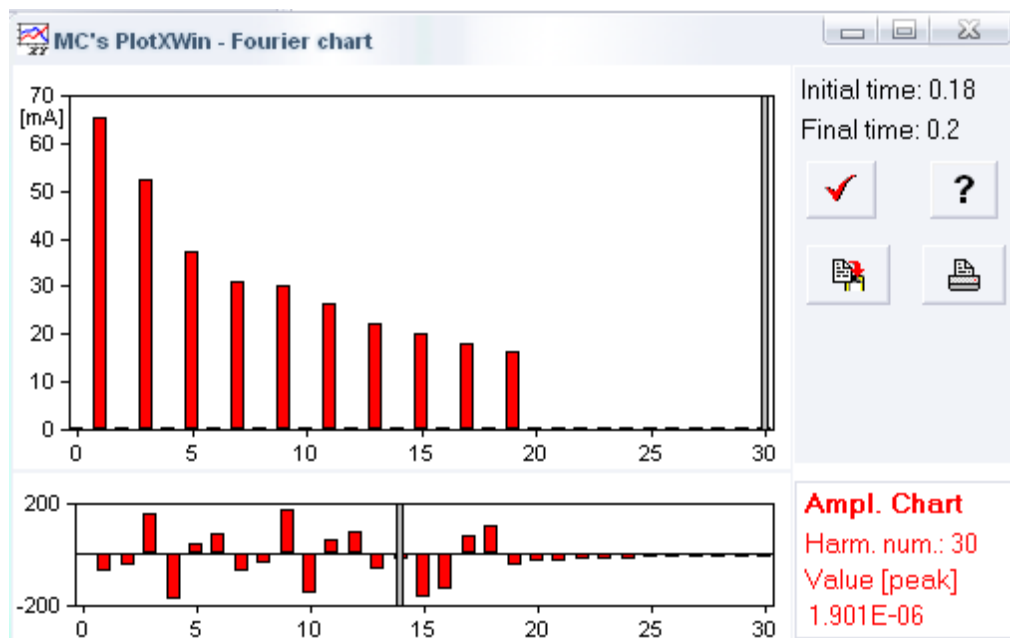


Figura 63- Captura del Four sin corrección.

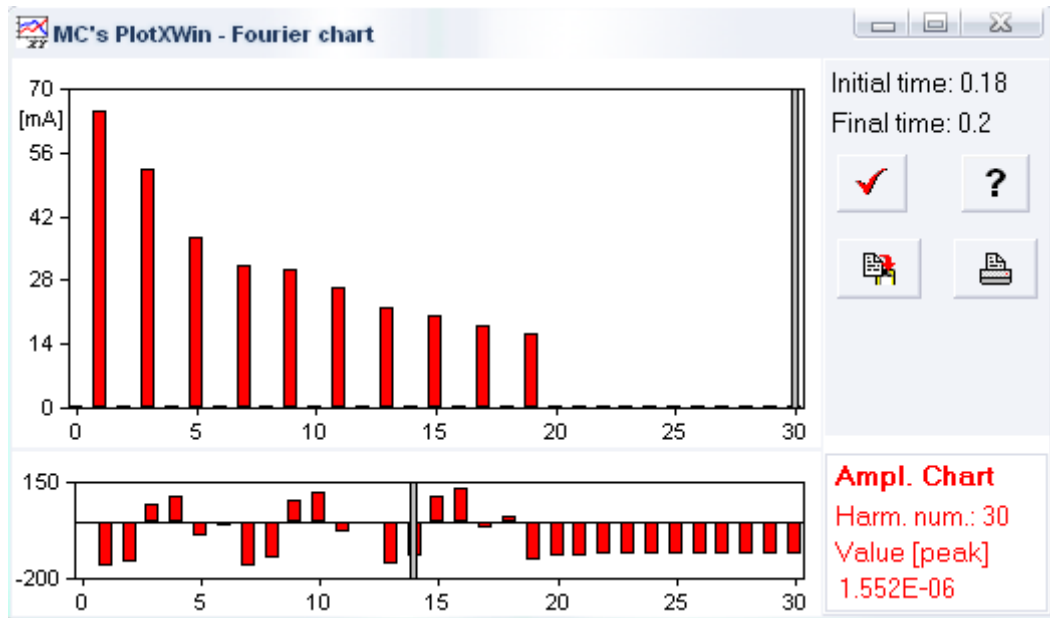


Figura 64- Captura del Four corregido el ángulo.



## CAPÍTULO 3- Estudio de cargas alineales

Con la intención de tener conocimiento de algunas cargas alineales y con el fin de realizar un análisis sobre los mismos, se realizaron distintos tipos de ensayos. Uno de ellos y el cual nos centraremos es el de las lámparas fluorescentes compactas (LFC) de 20W ensayadas en el Laboratorio de Medidas Eléctricas de la Facultad de Ingeniería.

También se efectuaron mediciones en otros edificios, como por ejemplo en el Centro de Abastecimiento Szpyrnal (C.A.S) perteneciente a la Empresa Obras Sanitarias aplicado sobre un variador de velocidad y en Fábrica de Embotelladora aplicado en tableros de dicha instalación.

Para poder registrar las formas de onda de corriente y tensión solicitada por la carga alineal y otras magnitudes como potencia y  $\cos \varphi$ , fue utilizado un analizador de red marca **HIOKI 3166**. Como instrumentos de respaldo fueron utilizados un osciloscopio digital **Fluke ScopeMeter 97** y un tester de uso industrial marca **PROVA 21 Power Harmonics & Leakage Tester**.

### Procedimiento para el uso del osciloscopio digital Fluke ScopeMeter 97

El procedimiento a seguir para registrar las formas de onda de corriente en el osciloscopio digital Fluke es la siguiente:

1) Como el instrumento mide niveles de tensión, se necesita intercalar una resistencia **R** en serie con el circuito, conectando las puntas de prueba en paralelo sobre la misma, para poder obtener lectura sobre el equipo.

2) Se enciende el instrumento con la tecla **on/off**.

3) Se emplea la opción **Scope** para seleccionar el modo de osciloscopio.

4) Para ajustar la escala de presentación se utiliza la tecla **Autoset** (función de auto-ajuste).

5) Debajo de la traza se puede ver una indicación de 5 ms/DIV AUTO, que es la base de tiempos horizontal más lenta de la traza. La base de 5 ms/DIV es la más lenta que se utiliza en el modo AUTO. Para seleccionar manualmente una base de tiempos aún más lenta se pulsa la tecla **S TIME** permitiendo mejorar la apreciación de la señal.

6) Se puede aumentar o disminuir la amplitud de la señal utilizando la opción **V** y **mV** respectivamente.

7) Para grabar la forma de onda se utiliza la tecla **Wave Form**, permitiendo de este modo, que en la parte inferior de la pantalla aparezca la opción **copy**. A continuación se presiona el botón que se encuentra debajo de esta última, accediendo a un menú en donde deben ser elegidos los canales y el número de memoria en donde quiere ser grabada la forma de onda.

8) Por ultimo, se presiona la tecla **enter** para guardar la señal medida en la memoria seleccionada.

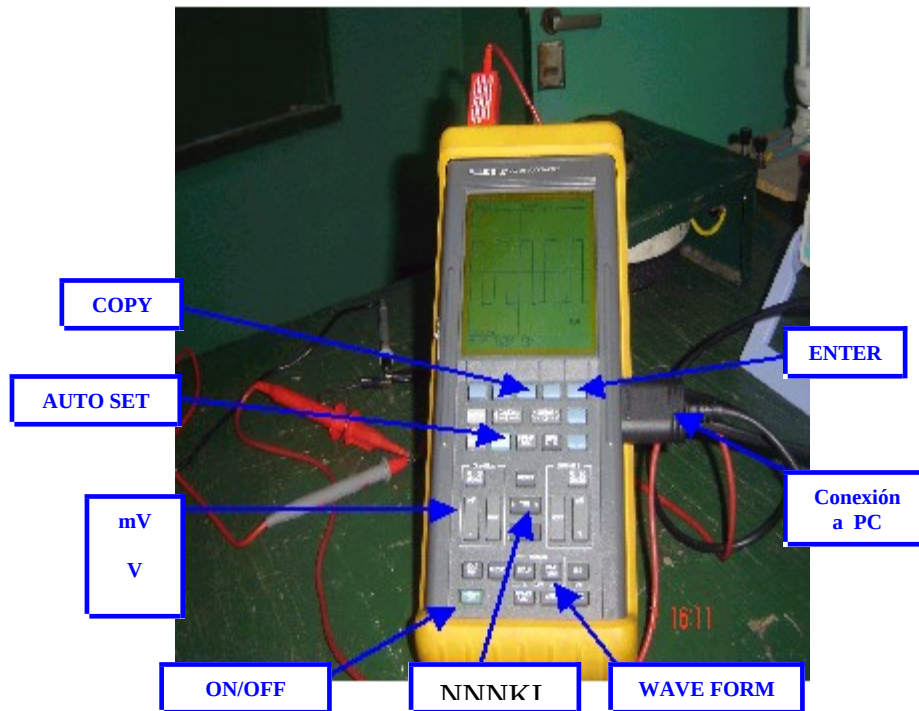


Figura 65- Osciloscopio digital Fluke ScopeMeter 97.

### Procedimiento para el uso del instrumento PROVA 21 Power Harmonics & Leakage Tester

El instrumento es utilizado para medir valores eficaces de tensión (usando las puntas) o de corriente (usando la pinza amperométrica). También es útil para medir las amplitudes de los distintos armónicos y el índice de distorsión armónica total (THD).

El procedimiento a seguir para determinar las amplitudes de una señal es la siguiente:

- 1) Primero es necesario seleccionar la unidad a medir usando la opción **OFF/ mA/A/V/WmA/WA**.
- 2) Se mide la señal de corriente o de tensión usando la pinza amperométrica o las puntas.
- 3) Presionando la tecla **FUNC** se va seleccionando las distintas opciones de medición, como por ejemplo el de medir las amplitudes de los distintos armónicos, medir el THD, etc.
- 4) Con la tecla **OPCIÓN** se va verificando la lectura de cada una de las amplitudes de los distintos armónicos.

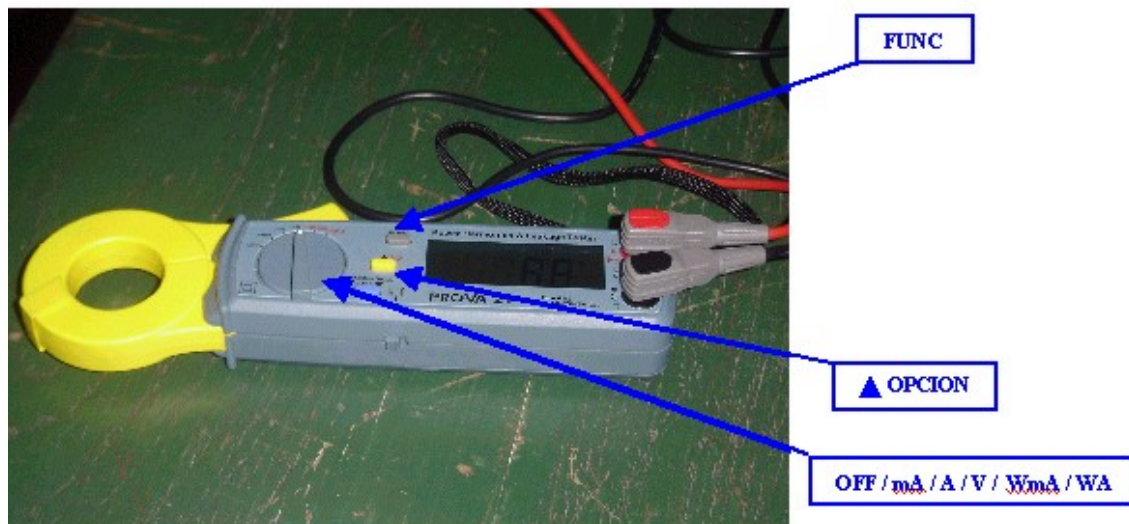


Figura 66- Instrumental PROVA 21 Power Harmonics & Leakage Tester.

### Procedimiento para el uso analizador de armónicos HIOKI 3166

El analizador de armónicos es utilizado para determinar las amplitudes de los distintos armónicos de una señal, con su respectivo THDv y THDi. El instrumental tiene la posibilidad de conectarse siete pinzas sensoras (3 de corrientes y 4 de tensión), es decir, puede ser utilizado para una carga monofásica como para trifásica.

El procedimiento a seguir para determinar los valores anteriormente mencionados es el siguiente:

1) Una vez conectado las pinzas sensoras en el circuito, primero es necesario usar la tecla **WIRING** para seleccionar las líneas a testear. Presionando esta tecla, aparecerán distintas configuraciones que dependerán del circuito a utilizar para su correcto funcionamiento.

Ejemplo:

- Simple fase-dos cables conectados = **1p2w**.
- Simple fase-tres cables conectados = **1p3w**.
- Tres fases-tres cables, dos mediciones de corrientes = **3p3w**.
- Tres fases-tres cables, tres mediciones de corrientes = **3p3w3i**.
- Tres fases-cuatro cables, tres mediciones de corrientes = **3p4w**.

2) Con la tecla **CHECK** es posible verificar el modo correcto del testeo, es decir, si ha sido bien seleccionado el paso anterior.

3) Con la tecla **U** e **I** se puede determinar el rango de medición para la tensión y la corriente que se desea testear.

4) Las teclas del **CURSOR KEY** son usadas para desplazarse en la pantalla de ítem en ítem. Presionando **▲▶▼◀** es posible moverse en la dirección correcta en la pantalla.



5) En el caso de medir simultáneamente señales de corrientes y tensión, aparecerá en la parte inferior de la pantalla la opción **ITEM** (ésta podrá ser seleccionada usando las teclas de **FUNCTION KEYS**). La opción **ITEM** permitirá cambiar el canal de medición para poder tomar lectura de las líneas testeadas.

6) La tecla **SAVE** permite grabar en un disquette las mediciones recabadas por el instrumento HIOKI 3166.

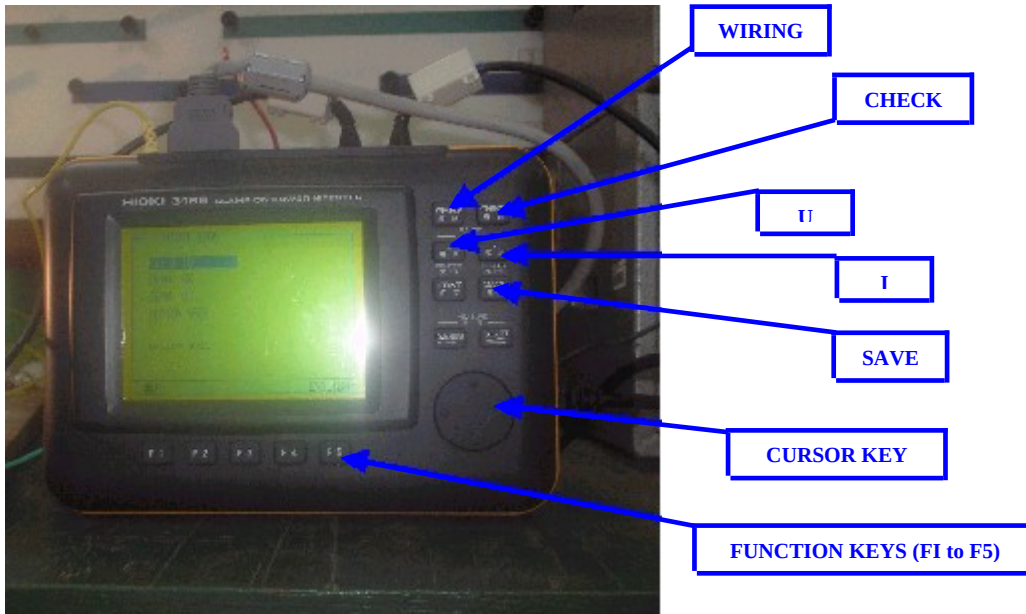


Figura 67- Analizador de Armónicos HIOKI 3166.





## CAPÍTULO 3.1- Primer ensayo con Lámparas Fluorescentes Compactas (LFC) de 20w

Con la finalidad de analizar el comportamiento de cargas alineales, se realiza el ensayo correspondiente a nueve Lámparas Fluorescentes Compactas (LFC) de 20W conectadas en paralelo, cuya marca son **GE FLE20 TBX/1/840/E27** (Figura 68).



Figura 68-LFC de 20W - General Electric FLE20 TBX/1/840/E27.

El ensayo se realiza en el Laboratorio de Mediciones Eléctricas de la Facultad de Ingeniería, y para ello se utilizó un osciloscopio digital **Fluke ScopeMeter 97**, un analizador de armónicos **HIOKI 3166** y una pinza amperométrica de medición de armónicos **PROVA 21 Power Harmonics & Leakage Tester** (Figura 69).

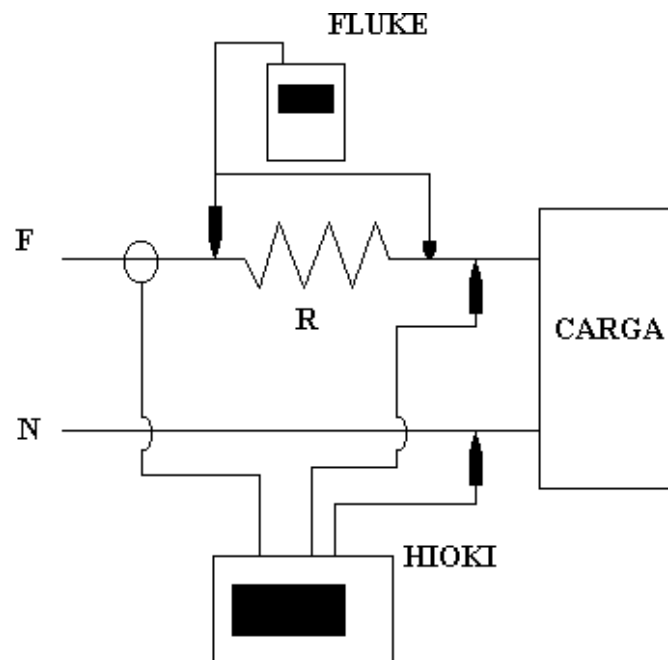


Figura 69-Conexión del ensayo con cargas de 1 a 9 LFC.



Primeramente se procede a medir el valor eficaz de la tensión de alimentación con sus respectivas amplitudes de los armónicos provenientes de la red (solo hasta el armónico 11). Para ello se utiliza el instrumental **PROVA 21 Power Harmonics & Leakage Tester**. Los resultados relevados son mostrados en las siguientes Tablas 1 y 2.

Tensión(V)	THDv(%)
222.8	3.7

Tabla 1-Medición de amplitud y distorsión de la tensión de alimentación.

Armónico	Frecuencia	Amplitud(V)	Amplitud(%)
1	50	220.7	100
2	100	0	0.3
3	150	5.1	2.5
4	200	0	0.3
5	250	4.2	2.2
6	300	0	0
7	350	0	2.9
8	400	0	0
9	450	0	3.7
10	500	0	0
11	550	0	3.1

Tabla 2-Medición de las amplitudes de los armónicos de la señal de alimentación.

La señal registrada por el osciloscopio digital **Fluke ScopeMeter 97** es la siguiente (Figura 70).

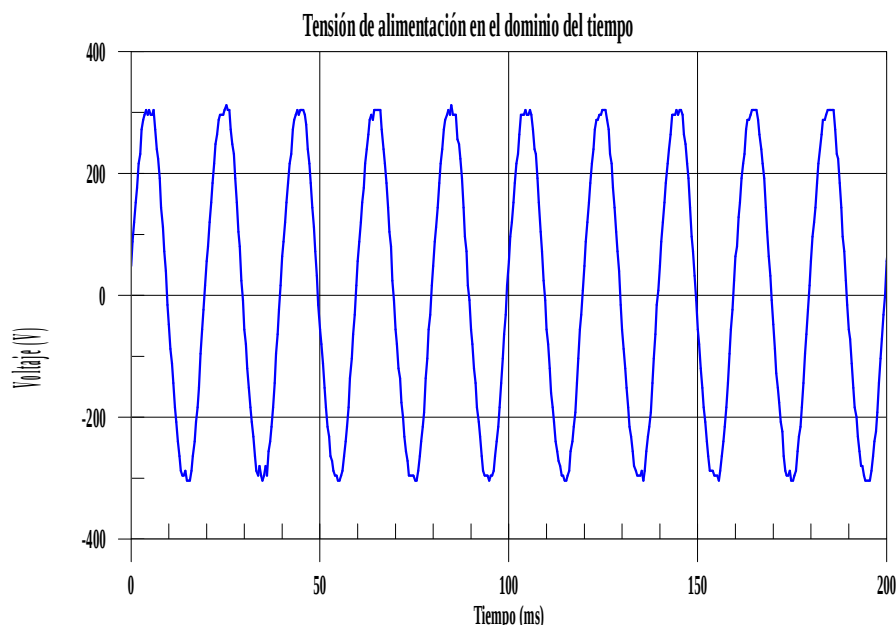


Figura 70-Señal de la tensión de alimentación.

Con la señal de la Figura 70 provista por el osciloscopio digital, se calcula con el programa TOP 2000 su espectro de frecuencia, obteniéndose las siguientes Tablas 3 y 4.



Tensión(V)	THDv(%)
219,306	3,715

Tabla 3-Medición de amplitud y distorsión de la tensión de alimentación.

Armónico	Frecuencia	Amplitud(V)	Ángulo(°)
1	50	219,155	-82,065
3	150	4,342	9,069
5	250	3,933	100,513
7	350	2,768	-20,028
9	450	1,869	-178,92
11	550	1,084	-40,613
13	650	1,16	1,568
15	750	0,604	141,236
17	850	0,251	-111,462
19	950	1,07	117,974
21	1050	0,291	-67,369

Tabla 4-Medición de las amplitudes de los armónicos de la señal de alimentación.

La representación gráfica de la señal de alimentación en el dominio de frecuencia es la que se muestra a continuación (Figura 71).

Tensión de alimentación en el dominio de frecuencia

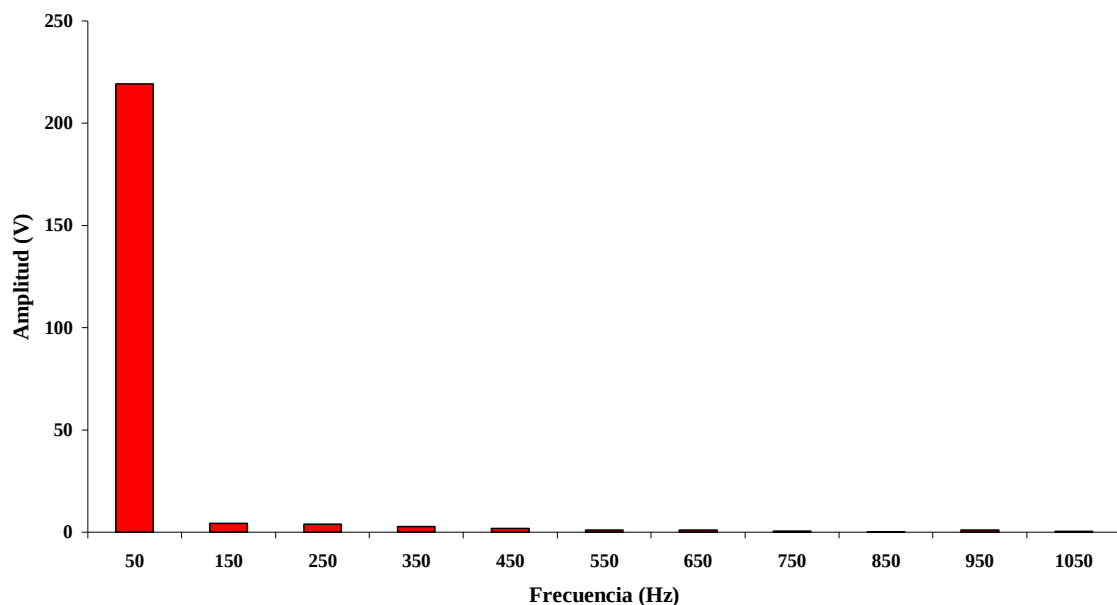


Figura 71- Espectro de frecuencia de la tensión de alimentación.

Ahora se procede con la medición de la corriente consumida por la carga al ir conectando cada una de las lámparas fluorescentes compactas (LFC). Para ello se utilizó como respaldo el instrumental **PROVA 21**, registrándose los valores de amplitud de cada armónico, su THDi y THDv, y su corriente eficaz (Irms). Tales mediciones se detallan a continuación en las Tablas 5, 6 y 7.

Número:		1 Lámpara		2 Lámparas		3 Lámparas	
Armón.	Frec.(Hz)	Amp.(mA)	Amp.(%)	Amp.(mA)	Amp.(%)	Amp.(mA)	Amp.(%)



1	50	60.6	100	126.4	100	192	100
3	150	46.7	76.8	94.8	75.2	142	74.3
5	250	30	48.7	58.5	48.5	90	46.9
7	350	24.3	39.4	49.8	38.2	72	38
9	450	24.1	39.2	48.6	37.5	68	35.6
11	550	19.6	32.8	36.9	28.5	52	27.5
13	650	15.5	25.3	28.3	21.5	38	19.8
15	750	14.3	23.1	24.4	19.5	33	17.9
17	850	12.4	19.8	18.9	15.1	0	0
19	950	10.6	16.5	14.2	10.7	0	0
		<b>THDi(%)</b>	<b>THDv(%)</b>	<b>THDi(%)</b>	<b>THDv(%)</b>	<b>THDi(%)</b>	<b>THDv(%)</b>
		122.6	4.3	114.2	4.4	110.2	4.6
		<b>I(mA)</b>	95.5	<b>I(mA)</b>	191.4	<b>I(mA)</b>	286

Tabla 5-Medición recabadas de 1 hasta 3 LFC.

Número:		4 Lámparas		5 Lámparas		6 Lámparas	
Armón.	Frec.(Hz)	Amp.(mA)	Amp.(%)	Amp.(mA)	Amp.(%)	Amp.(mA)	Amp.(%)
1	50	255	100	318	100	383	100
3	150	198	77.2	240	75.4	275	71.8
5	250	123	47.9	142	43.9	144	37.1
7	350	89	33.5	100	31.3	102	26
9	450	83	32	94	29.2	97	24.9
11	550	66	25.2	67	19.8	60	14.9
13	650	46	16.9	43	13	43	10.9
15	750	39	15	41	12.1	43	11
17	850	32	12.3	30	8.7	0	6.3
19	950	0	5.7	0	4.3	0	4.5
		<b>THDi(%)</b>	<b>THDv(%)</b>	<b>THDi(%)</b>	<b>THDv(%)</b>	<b>THDi(%)</b>	<b>THDv(%)</b>
		104.7	4.8	100.5	5.1	91.1	5.9
		<b>I(mA)</b>	376	<b>I(mA)</b>	452	<b>I(mA)</b>	518

Tabla 6-Medición recabadas de 4 hasta 6 LFC.

Número:		7 Lámparas		8 Lámparas		9 Lámparas	
Armón.	Frec.(Hz)	Amp.(mA)	Amp.(%)	Amp.(mA)	Amp.(%)	Amp.(mA)	Amp.(%)
1	50	447	100	509	100	572	100
3	150	320	70.9	360	70.5	396	69.3
5	250	158	35	171	33.7	177	31.3
7	350	107	23.4	112	21.8	119	20.6
9	450	104	22.7	110	21.6	119	20.5
11	550	61	13.1	60	11.9	62	10.4
13	650	43	8.8	43	8.1	46	8
15	750	44	9.5	46	8.9	48	8.4
17	850	0	5.4	0	4.4	0	3.4
19	950	0	4	0	3.4	0	3.9
		<b>THDi(%)</b>	<b>THDv(%)</b>	<b>THDi(%)</b>	<b>THDv(%)</b>	<b>THDi(%)</b>	<b>THDv(%)</b>
		88.3	6.3	85.9	6.6	82.9	6.9
		<b>I(mA)</b>	597	<b>I(mA)</b>	671	<b>I(mA)</b>	742

Tabla 7-Medición recabadas de 7 hasta 9 LFC.

Para analizar la señal de corriente, se registra el valor de tensión que posee la resistencia **R** en el osciloscopio digital para cada LFC, y una vez hecho esto, se lo divide en el programa TOP 2000 por esta constante para obtener la señal de corriente. Cabe mencionar



que el valor de la resistencia  $R$ , fue seleccionada de manera tal de poder obtener una señal legible en el instrumento **Fluke ScopeMeter 97** y de no afectar en forma significativa la tensión de la carga. Primero se optó por una resistencia de  $15.5\Omega$  y las señales registradas son las siguientes:

### 1) Una Lámpara Fluorescente Compacta de 20W

La caída de tensión sobre la resistencia  $R$  registrada por el osciloscopio digital es la que se muestra a continuación en la Figura 72.

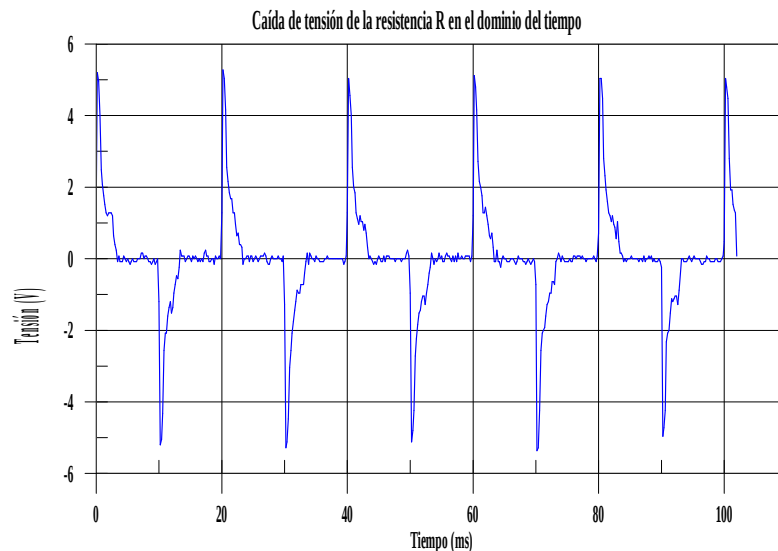


Figura 72-Señal de la tensión en la resistencia  $R$  con una LFC.

Dividiendo la señal de la tensión anterior por su resistencia  $R= 15.5\Omega$  se obtiene la señal de corriente que consume la carga, como se muestra en la Figura 73.

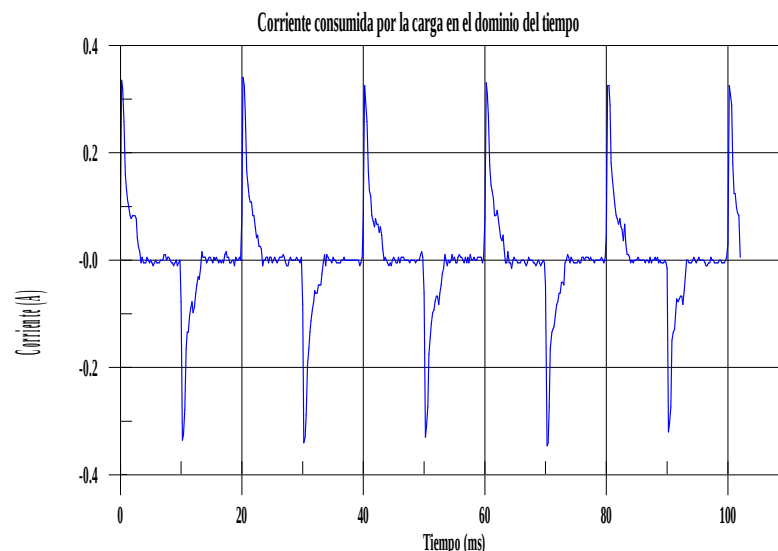


Figura 73-Corriente consumida por una LFC.

Realizando el mismo razonamiento anterior se obtienen la representación gráfica de la corriente en el dominio del tiempo para las demás lámparas conectadas en paralelo (desde la segunda a la novena).



## 2) Dos Lámparas Fluorescentes Compactas de 20W

La señal de corriente en el dominio del tiempo que consumen dos lámparas fluorescentes compactas de 20W cada una, conectadas en paralelo, es la siguiente (Figura 74).

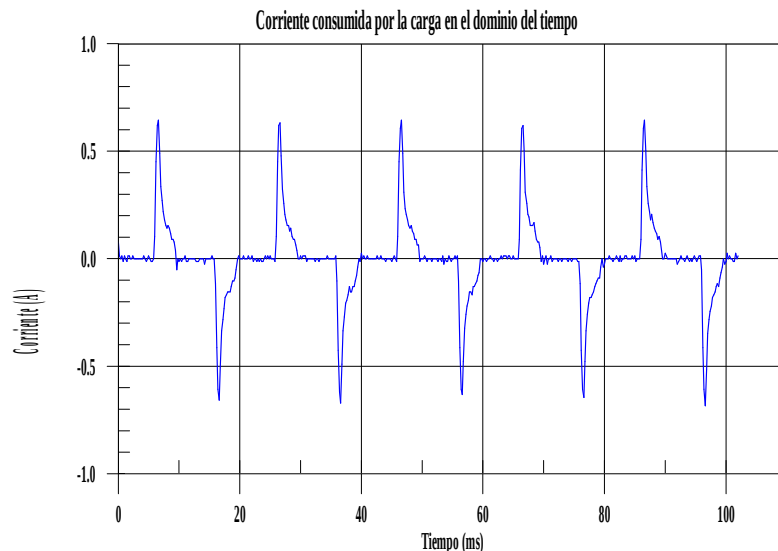


Figura 74-Corriente consumida por dos LFC.

## 3) Tres Lámparas Fluorescentes Compactas de 20W

La señal de corriente en el dominio del tiempo que consumen tres lámparas fluorescentes compactas de 20W cada una, conectadas en paralelo, es la siguiente (Figura 75).

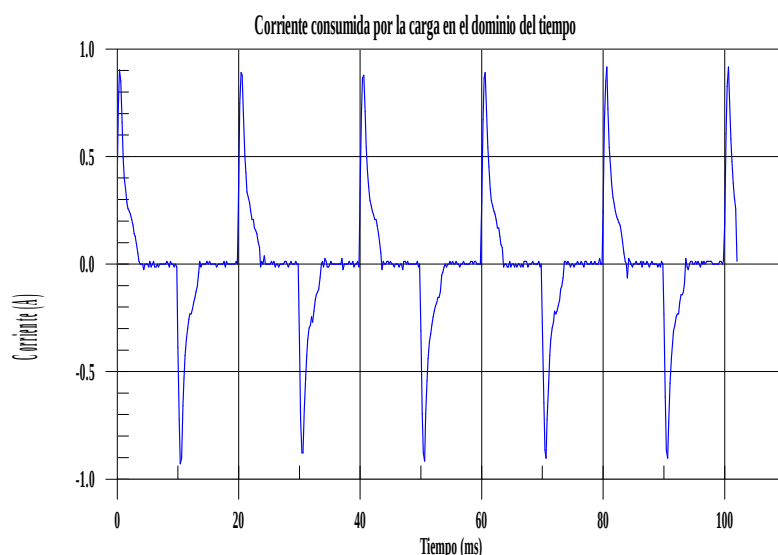


Figura 75-Corriente consumida por tres LFC.

Con las señales de las Figuras 73, 74 y 75 provista por el osciloscopio digital, se calcula con el programa TOP 2000 sus espectros de frecuencias, obteniéndose la siguiente Tabla 8.



Número:		1-Lámpara		2-Lámparas		3-Lámparas	
Nº Arm.	Frec.(Hz)	Amp.(mA)	Ángulo(°)	Amp.(mA)	Ángulo(°)	Amp.(mA)	Ángulo(°)
1	50	56.73	-17.13	118.09	-126.69	182.58	-18.88
3	150	44.13	-50.88	90.84	-20.21	137.21	-53.41
5	250	25.91	-67.47	55.56	104.13	82.93	-69.51
7	350	19.75	-61.21	46.86	-109.32	67.30	-68.48
9	450	21.65	-68.59	47.85	14.51	61.36	-83.19
11	550	18.58	-89.97	33.39	137.11	45.57	-98.75
13	650	14.08	-97.66	24.99	-79.36	32.53	-102.91
15	750	11.74	-98.49	22.46	44.82	27.05	-109.87
17	850	9.72	-106.53	15.12	178.24	19.36	-119.59
19	950	8.62	-113.34	11.77	-31.36	13.62	-119.37
<b>Mediciones</b>		<b>I(mA)</b>	<b>THDi(%)</b>	<b>I(mA)</b>	<b>THDi(%)</b>	<b>I(mA)</b>	<b>THDi(%)</b>
		88.17	118.96	180.63	115.74	268.54	107.85

Tabla 8-Valores obtenidos con el programa TOP 2000 de 1 a 3 LFC.

El espectro de frecuencia de las señales anteriores, es la que se muestra a continuación (Figura 76).

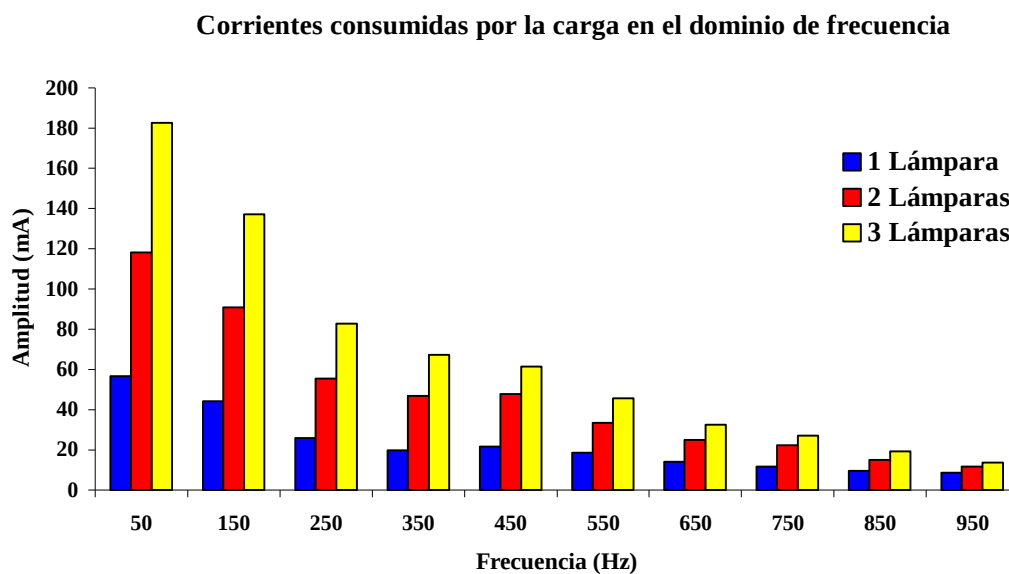


Figura 76- Espectro de frecuencia de 1 a 3 LFC.

#### 4) Cuatro Lámparas Fluorescentes Compactas de 20W

La señal de corriente en el dominio del tiempo que consumen cuatro lámparas fluorescentes compactas de 20W cada una, conectadas en paralelo, es la siguiente (Figura 77).

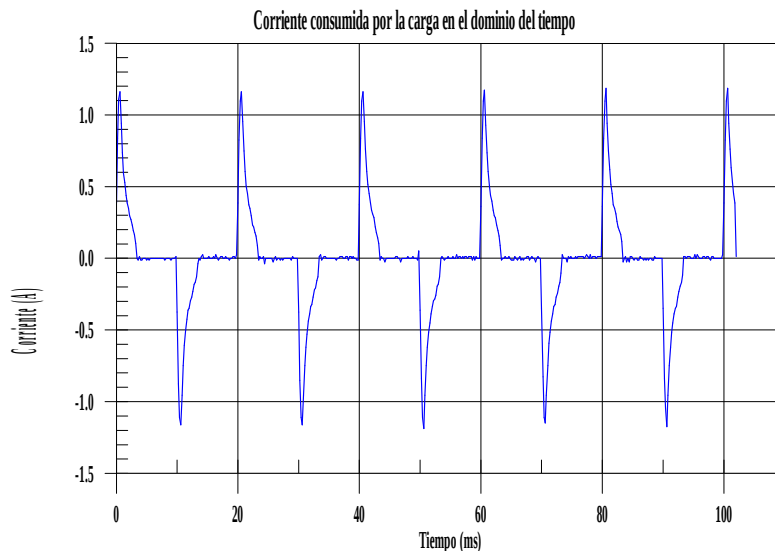


Figura 77-Corriente consumida por cuatro LFC.

### 5) Cinco Lámparas Fluorescentes Compactas de 20W

La señal de corriente en el dominio del tiempo que consumen cinco lámparas fluorescentes compactas de 20W cada una, conectadas en paralelo, es la siguiente (Figura 78).

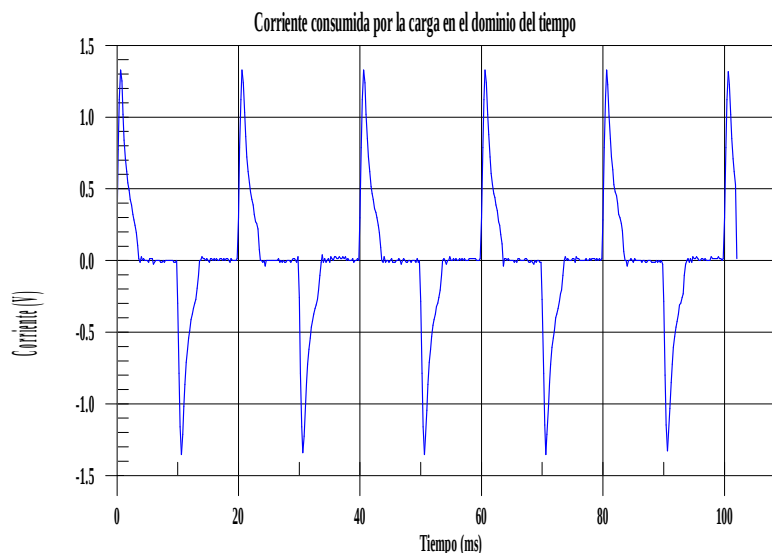


Figura 78-Corriente consumida por cinco LFC.

### 6) Seis Lámparas Fluorescentes Compactas de 20W

La señal de corriente en el dominio del tiempo que consumen seis lámparas fluorescentes compactas de 20 W cada una, conectadas en paralelo, es la siguiente (Figura 79).



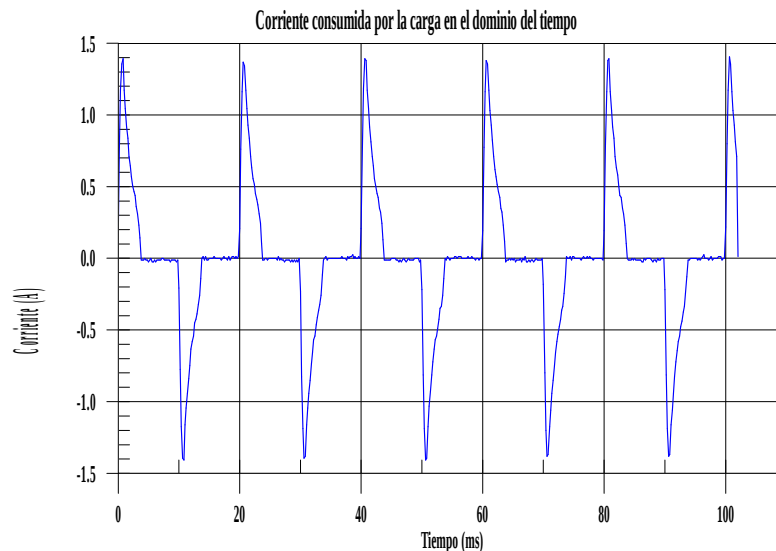


Figura 79-Corriente consumida por seis LFC.

Con las señales de las Figuras 77, 78 y 79 provista por el osciloscopio digital, se calcula con el programa TOP 2000 sus espectros de frecuencias, obteniéndose la siguiente Tabla 9.

Número:		4-Lámparas		5-Lámparas		6-Lámparas	
Nº Arm.	Frec.(Hz)	Amp.(mA)	Ángulo(°)	Amp.(mA)	Ángulo(°)	Amp.(mA)	Ángulo(°)
1	50	239.82	-19.19	300.81	-21.70	363.39	-24.20
3	150	184.34	-55.82	224.82	-63.32	259.97	-71.34
5	250	112.75	-77.59	131.92	-89.28	133.75	-99.10
7	350	82.21	-79.06	90.72	-90.92	94.13	-98.44
9	450	75.36	-91.54	83.38	-106.57	87.46	-118.22
11	550	55.17	-110.33	57.45	-129.51	52.17	-140.97
13	650	38.68	-115.62	37.96	-133.31	37.54	-131.95
15	750	33.55	-121.11	33.57	-139.39	36.23	-148.66
17	850	23.68	-134.72	23.51	-166.19	21.26	-170.00
19	950	15.70	-138.44	11.69	-161.39	15.37	-159.82
<b>Mediciones</b>		<b>I(mA)</b>	<b>THDi(%)</b>	<b>I(mA)</b>	<b>THDi(%)</b>	<b>I(mA)</b>	<b>THDi(%)</b>
		351.34	107.07	424.75	99.70	490.56	90.69

Tabla 9-Valores obtenidos con el programa TOP 2000 de 4 a 6 LFC.

El espectro de frecuencia de las señales anteriores, es la que se muestra a continuación (Figura 80).



### Corrientes consumidas por la carga en el dominio de frecuencia

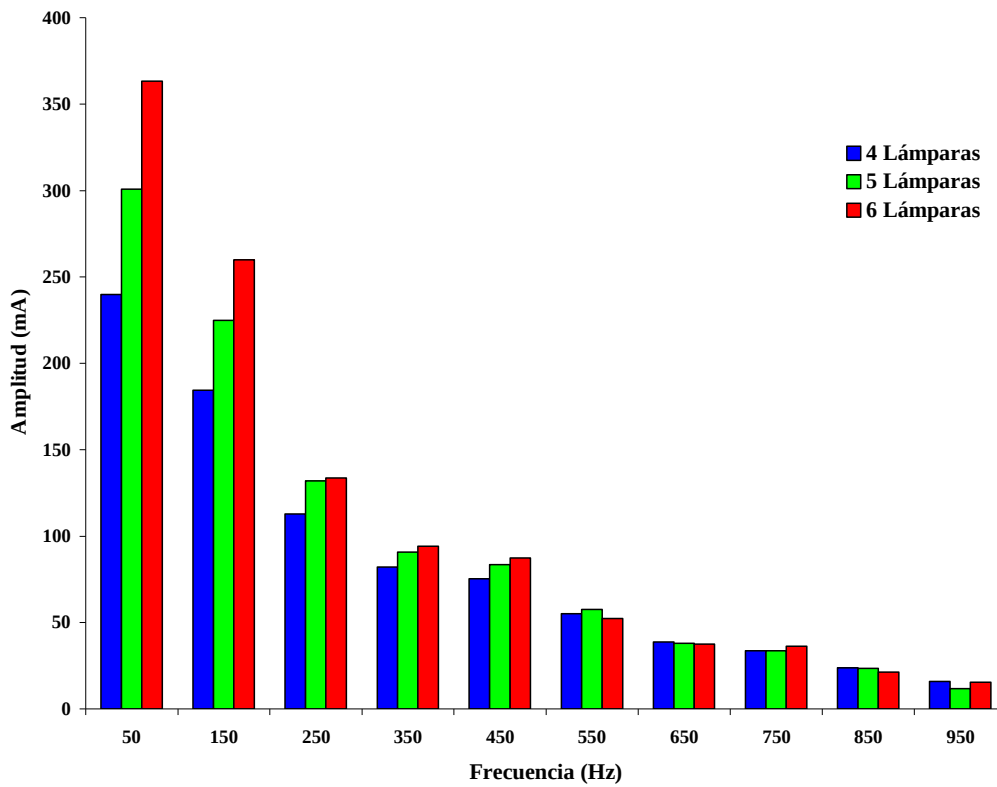


Figura 80- Espectro de frecuencia de 4 a 6 LFC.

### 7) Siete Lámparas Fluorescentes Compactas de 20W

La señal de corriente en el dominio del tiempo que consumen siete lámparas fluorescentes compactas de 20W cada una, conectadas en paralelo, es la siguiente (Figura 81).

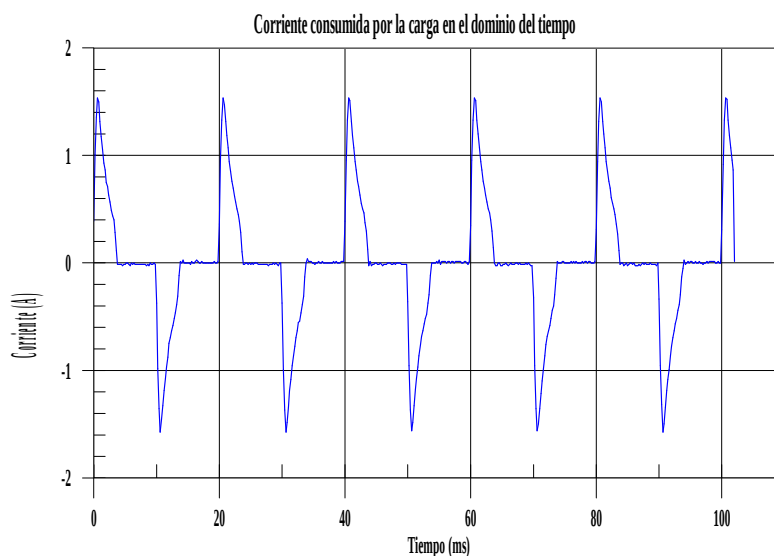


Figura 81-Corriente consumida por siete LFC.



### 8) Ocho Lámparas Fluorescentes Compactas de 20W

La señal de corriente en el dominio del tiempo que consumen ocho lámparas fluorescentes compactas de 20W cada una, conectadas en paralelo, es la siguiente (Figura 82).

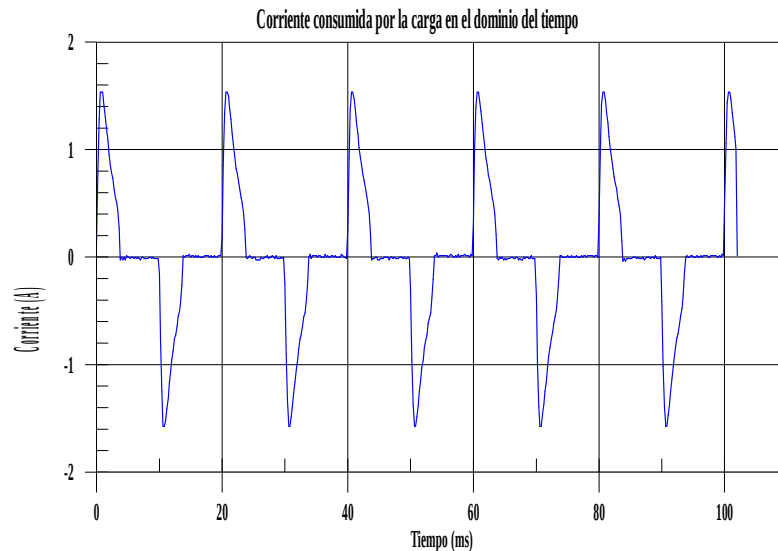


Figura 82-Corriente consumida por ocho LFC.

### 9) Nueve Lámparas Fluorescentes Compactas de 20W

La señal de corriente en el dominio del tiempo que consumen nueve lámparas fluorescentes compactas de 20W cada una, conectadas en paralelo, es la siguiente (Figura 83).

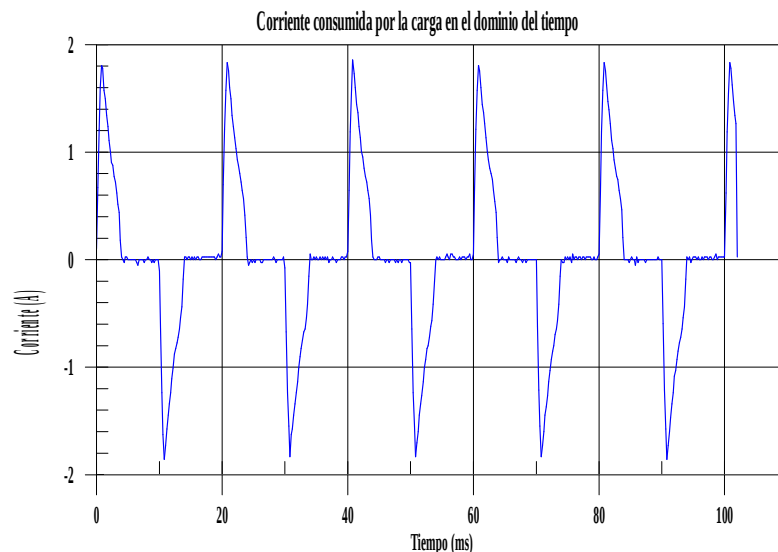


Figura 83-Corriente consumida por nueve LFC.

Con las señales de las Figuras 81, 82 y 83 provista por el osciloscopio digital, se calcula con el programa TOP 2000 sus espectros de frecuencias, obteniéndose la siguiente Tabla 10.



Número:		7-Lámparas		8-Lámparas		9-Lámparas	
Nº Arm.	Frec.(Hz)	Amp.(mA)	Ángulo(°)	Amp.(mA)	Ángulo(°)	Amp.(mA)	Ángulo(°)
1	50	422.78	-24.14	475.01	-26.74	542.14	-28.24
3	150	299.64	-71.39	335.94	-79.15	370.30	-84.13
5	250	148.14	-99.48	159.29	-114.34	167.43	-118.87
7	350	99.87	-91.37	98.31	-105.99	112.94	-111.14
9	450	96.58	-111.63	95.48	-129.26	110.22	-141.19
11	550	54.39	-131.79	50.17	-157.08	54.78	-168.96
13	650	39.74	-118.10	35.67	-133.56	42.80	-148.76
15	750	38.17	-135.67	38.61	-157.12	43.17	-178.24
17	850	20.48	-153.77	18.37	-175.57	18.23	159.62
19	950	15.84	-129.50	18.45	-146.88	18.85	174.47
<b>Mediciones</b>		<b>I(mA)</b>	<b>THDi(%)</b>	<b>I(mA)</b>	<b>THDi(%)</b>	<b>I(mA)</b>	<b>THDi(%)</b>
		562.95	87.92	624.03	85.20	701.38	82.08

Tabla 10-Valores obtenidos con el programa TOP 2000 de 7 a 9 LFC.

El espectro de frecuencia de las señales anteriores, es la que se muestra a continuación (Figura 84).

#### Corrientes consumidas por la carga en el dominio de frecuencia

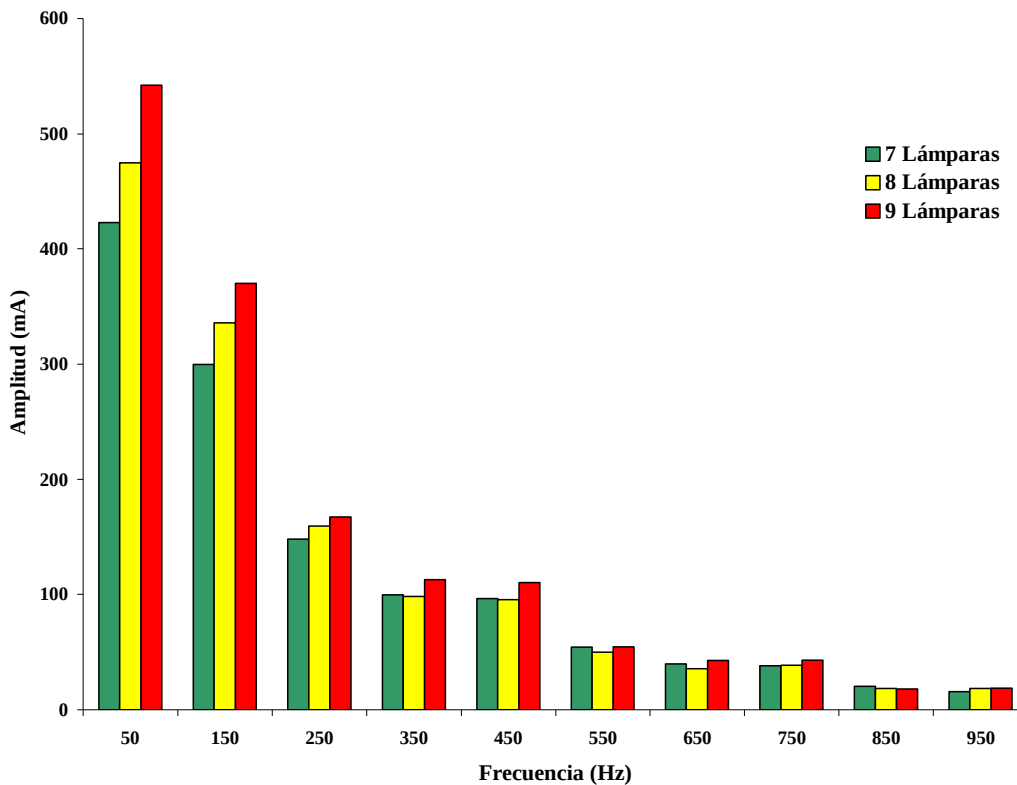


Figura 84- Espectro de frecuencia de 7 a 9 LFC.

A continuación se representa en un mismo gráfico (Figura 85) el espectro de frecuencia de todas las cargas en paralelo (desde 1 hasta 9 lámparas).



### Corrientes consumidas por la carga en el dominio de frecuencia

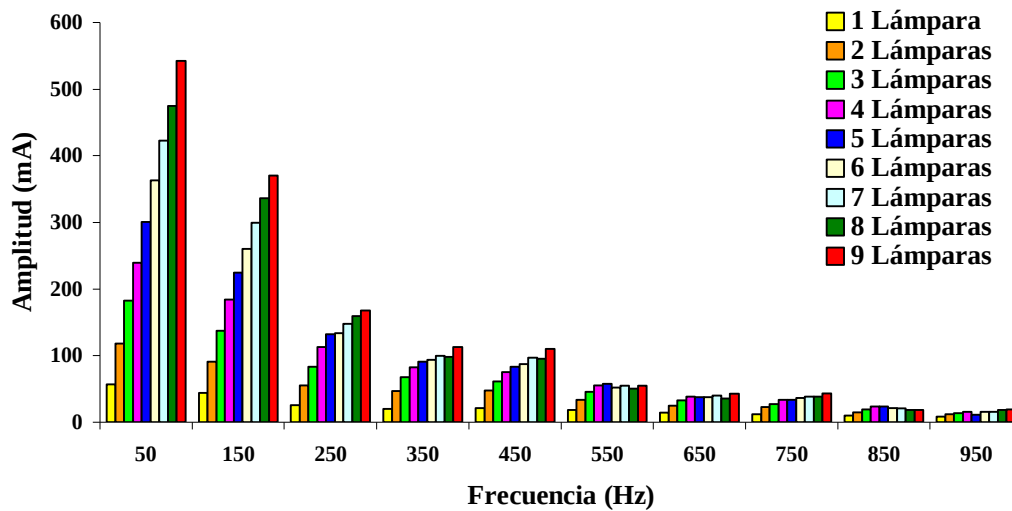


Figura 85-Espectro de frecuencia de 1 a 9 LFC.

La Figura 85, detalla claramente la gran diferencia que presentan, entre las “n” lámparas, las amplitudes de los armónicos 1º, 3º y 5º, mientras que, los de ordenes superiores la discrepancia es menor. Esto es importante conocer, ya que de este modo, se determinan cuales son los armónicos que presentan mas pesos en el aumento de la corriente eficaz, y por ende, en los cambios de THDi.

### Mediciones extraídas por el instrumental HIOKI 3166

Las mediciones extraídas por el instrumental HIOKI 3166 al conectar en paralelo cada una de las lámparas fluorescentes compactas (LFC), se detallan a continuación en las Tablas 11,12 y 13. En la Figura 86 se muestra Las señales de corriente en el dominio del tiempo obtenidas por el Analizador de armónicos HIOKI 3166.

Número:		1 Lámpara		2 Lámparas		3 Lámparas	
Armón.	Frec.(Hz)	Amp.(mA)	Ángulo(°)	Amp.(mA)	Ángulo(°)	Amp.(mA)	Ángulo(°)
1	50	62	18.91	128	18.01	190	17.29
3	150	47	-119.89	98	-122.87	146	-125.92
5	250	31	118.46	61	113.19	91	105.89
7	350	26	10.87	50	4.78	70	-3.80
9	450	27	-107.11	50	-114.73	67	-124.01
11	550	21	130.58	37	119.70	51	109.15
13	650	17	20.17	28	7.57	36	-1.99
15	750	15	-96.30	24	-107.26	31	-117.42
17	850	13	148.58	18	132.95	25	118.95
19	950	10	36.35	12	21.10	15	14.70
		<b>THDi(%)</b>	<b>THDv(%)</b>	<b>THDi(%)</b>	<b>THDv(%)</b>	<b>THDi(%)</b>	<b>THDv(%)</b>
		125.33	4.25	115.36	4.34	112.13	4.5
		<b>I(mA)</b>	93	<b>I(mA)</b>	192	<b>I(mA)</b>	286

Tabla 11-Medición recabadas de 1 hasta 3 LFC.



Número:		4 Lámparas		5 Lámparas		6 Lámparas	
Armón.	Frec.(Hz)	Amp.(mA)	Ángulo(°)	Amp.(mA)	Ángulo(°)	Amp.(mA)	Ángulo(°)
1	50	251	16.22	316	15.93	383	-166.56
3	150	191	-129.2	238	-130.28	275	42.62
5	250	115	100.86	139	99.7	142	-89.69
7	350	84	-7.66	101	-7.1	100	170.11
9	450	81	-128.01	94	-127.17	95	45.57
11	550	59	104.26	67	105.33	56	-79.45
13	650	40	-6.45	43	-2.36	41	-175.96
15	750	35	-119.94	40	-115.23	41	64.92
17	850	26	114.33	29	118.21	25	-60.06
19	950	16	5.19	17	22.01	19	-148.49
		<b>THDi(%)</b>	<b>THDv(%)</b>	<b>THDi(%)</b>	<b>THDv(%)</b>	<b>THDi(%)</b>	<b>THDv(%)</b>
		106.15	4.73	102.27	4.93	91.59	5.96
		<b>I(mA)</b>	366	<b>I(mA)</b>	453	<b>I(mA)</b>	520

Tabla 12-Medición recabadas de 4 hasta 6 LFC.

Número:		7 Lámparas		8 Lámparas		9 Lámparas	
Armón.	Frec.(Hz)	Amp.(mA)	Ángulo(°)	Amp.(mA)	Ángulo(°)	Amp.(mA)	Ángulo(°)
1	50	445	-167.55	508	-168.26	571	-168.68
3	150	318	39.59	356	37.45	399	35.86
5	250	157	-95.03	167	-98.07	180	-100.9
7	350	105	166.49	111	168.22	118	168.26
9	450	102	42.17	109	41.87	118	41.38
11	550	61	-85.7	59	-87.25	62	-88.31
13	650	41	-175.05	42	-170.08	46	-167
15	750	44	63.57	45	64.05	49	62.55
17	850	25	-62.26	22	-61.96	22	-65.54
19	950	19	-144.81	19	-131.33	22	-131.02
		<b>THDi(%)</b>	<b>THDv(%)</b>	<b>THDi(%)</b>	<b>THDv(%)</b>	<b>THDi(%)</b>	<b>THDv(%)</b>
		88.82	6.17	85.29	6.57	83.98	6.81
		<b>I(mA)</b>	595	<b>I(mA)</b>	667	<b>I(mA)</b>	745

Tabla 13-Medición recabadas de 7 hasta 9 LFC.

Señales de corriente en el dominio del tiempo

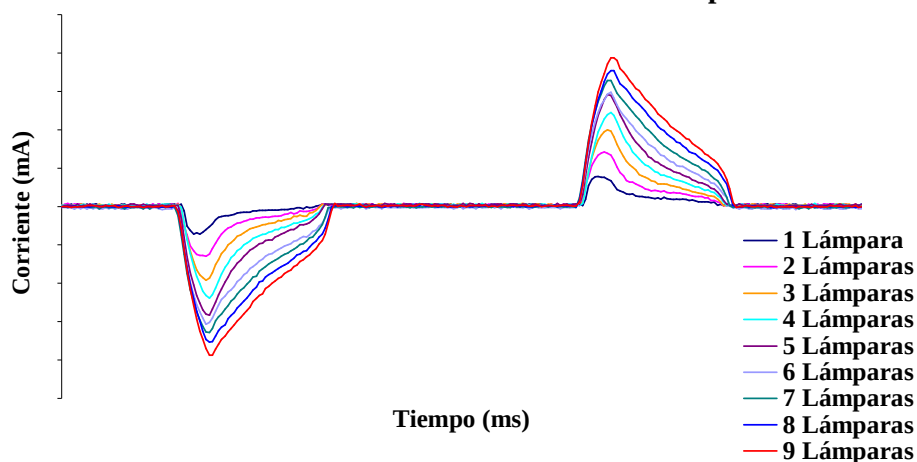


Figura 86-Señales de corrientes en el dominio del tiempo.



La representación de las señales de corrientes en el dominio de frecuencia se muestra a continuación en la Figura 87.

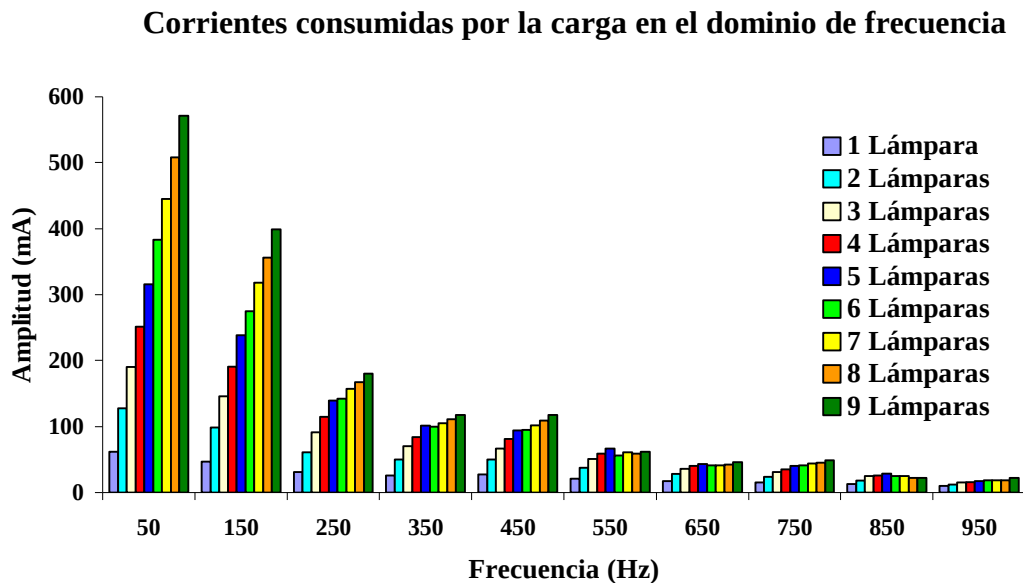


Figura 87- Espectro de frecuencia de 1 a 9 LFC.

### Análisis de los datos relevados

Procedemos a examinar el efecto que produce la conexión de cargas idénticas en paralelo. Para ello, veremos los índices de distorsión armónica totales de las señales de corriente (THDi), extraídos de los distintos instrumentos de medición utilizados en el ensayo anterior (LFC), al ir introduciendo de a una, las nueve lámparas en paralelo (Tabla 14,15 y 16). La comparación de los instrumentos se puede apreciar en la Figura 88.

#### 1) Instrumental PROVA 21 Power Harmonics & Leakage Tester

Ensayo lámparas LFC 20W									
Lámparas Conectadas	1	2	3	4	5	6	7	8	9
THDi[%]	122.6	114.20	110.20	104.7	100.5	91.1	88.3	85.9	82.9

Tabla 14-THDi con el aumento de la carga.

#### 2) Osciloscopio digital Fluke ScopeMeter 97

Ensayo lámparas LFC 20W									
Lámparas Conectadas	1	2	3	4	5	6	7	8	9
THDi[%]	118.96	115.74	107.85	107.07	99.7	90.69	87.92	85.2	82.08

Tabla 15-THDi con el aumento de la carga.



### 3) Analizador de Armónicos HIOKI 3166

Ensayo lámparas LFC 20W									
Lámparas Conectadas	1	2	3	4	5	6	7	8	9
THDi[%]	125.33	115.36	112.13	106.15	102.27	91.59	88.82	85.29	83.98

Tabla 16-THDi con el aumento de la carga.

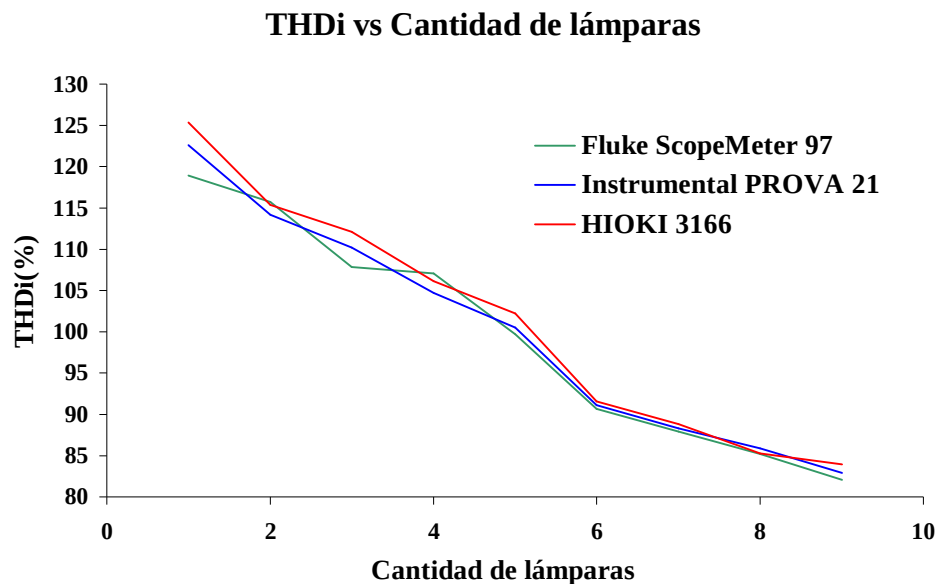


Figura 88-THDi en función de la cantidad de LFC.

Primero podemos asegurar del gráfico anterior (Figura 88) que los instrumentos utilizados como respaldo (**PROVA 21** y **Fluke ScopeMeter 97**) registraron valores que no se alejan, en mayor medida, del instrumento mas adecuado para analizar los distintos tipos de armónicos generados por cargas alineales (**HIOKI 3166**). Se puede apreciar claramente que en las primeras mediciones (lámpara 1 a 5) los instrumentos presentan diferencias en los valores registrados. Esto último es debido a que los instrumentos de respaldo no poseen la misma exactitud para corrientes del orden del mili-Amper (siendo su error aproximadamente de  $\pm 5\%$ ), pero igualmente se considera aceptable para las mediciones realizadas. Cabe señalar que el osciloscopio digital (**Fluke ScopeMeter 97**) mide la caída de tensión sobre la resistencia **R**, pero siendo la corriente que consume la carga de valor muy pequeño, trae aparejado que la señal de tensión registrada por el mismo es muy baja. En segundo lugar, se puede observar que con un incremento en el número de lámparas conectadas en paralelo, trae aparejado una reducción de THDi(%). Tal disminución puede ser debido al efecto de diversidad (explicado anteriormente en capítulo 1), que es generado cuando varias cargas son alimentadas por un mismo transformador, produciendo que el contenido de armónico resultante se vea disminuido por la dispersión en el ángulo de fase de las armónicas de cargas individuales [13]. Para confirmar esto, se procederá mas adelante a realizar ensayos más exhaustivos para las cargas en cuestión, aclarando aun más el concepto del efecto producente.





## CAPÍTULO 3.2- Segundo ensayo con Lámparas Fluorescentes Compactas (LFC) de 20W

Anteriormente se realizó el ensayo correspondiente a nueve lámparas fluorescente compacta (LFC) de 20W cada una y para un conexionado en paralelo, habiendo incorporado en su circuito una resistencia  $R = 15.5 \Omega$ . Ahora haciendo hincapié en este valor, insertaremos una resistencia menor de  $R = 3.8 \Omega$  para analizar la influencia de la misma sobre el circuito.

Para la realización del nuevo ensayo se utilizaron como instrumentos de medición, el osciloscopio digital **Fluke ScopeMeter 97** y el analizador de armónicos **HIOKI 3166**.

Realizando el mismo razonamiento para las mediciones registradas por el osciloscopio digital, se obtienen la representación gráfica de la corriente en el dominio del tiempo para una y todas las lámparas conectadas en paralelo.

### 1) Una Lámpara Fluorescente Compacta de 20W

La señal de corriente en el dominio del tiempo que consume una lámpara fluorescente compacta de 20W es la siguiente (Figura 89).

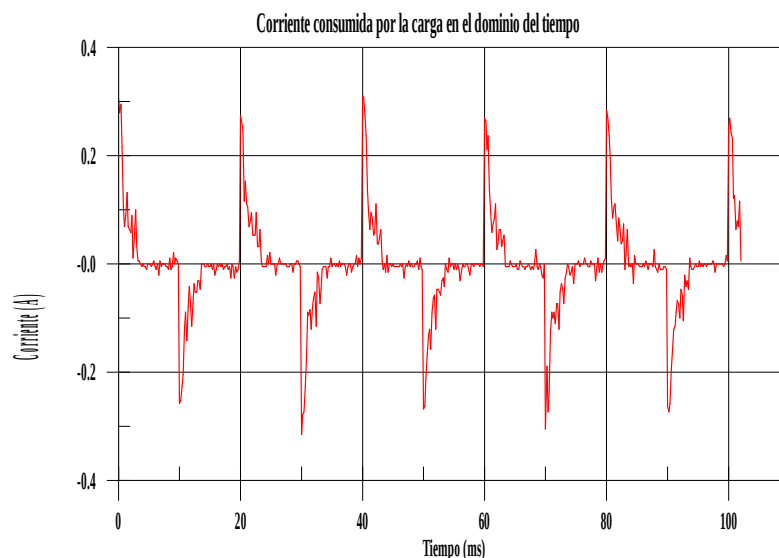


Figura 89-Corriente consumida por una LFC.

### 2) Nueve Lámparas Fluorescentes Compactas de 20W

La señal de corriente en el dominio del tiempo que consumen nueve lámparas fluorescentes compactas de 20W cada una, conectadas en paralelo, es la siguiente (Figura 90). Luego se calcula con el programa **TOP 2000** los espectros de frecuencias de la inserción de cada lámpara (Figura 91), obteniéndose las siguientes Tablas 17,18 y 19.

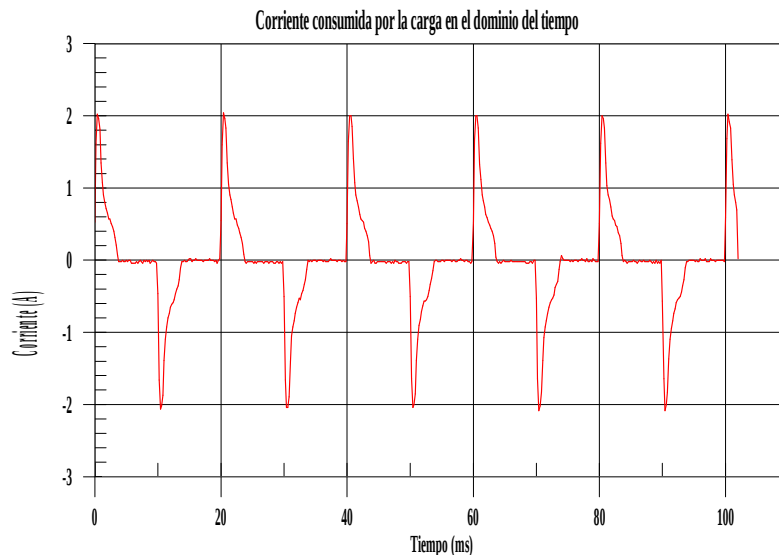


Figura 90-Corriente consumida por nueve LFC.

Número:		1 Lámpara		2 Lámparas		3 Lámparas	
Nº Arm.	Frec.(Hz)	Amp.(mA)	Ángulo(°)	Amp.(mA)	Ángulo(°)	Amp.(mA)	Ángulo(°)
1	50	52.04	-19.16	101.21	-19.24	153.81	-20.07
3	150	38.24	-48.63	73.81	-53.64	106.41	-55.55
5	250	23.01	-54.24	44.80	-68.55	65.23	-68.50
7	350	21.89	-42.06	37.21	-66.32	58.02	-65.87
9	450	20.21	-55.21	35.38	-73.42	54.74	-82.63
11	550	15.95	-56.22	29.08	-86.35	40.85	-94.69
13	650	13.33	-53.56	24.64	-92.49	35.46	-99.72
15	750	12.64	-65.61	23.64	-104.45	32.66	-112.01
17	850	9.40	-64.34	20.26	-123.43	24.20	-126.90
19	950	7.00	-60.04	14.89	-130.64	17.27	-124.30
<b>Mediciones</b>		<b>I(mA)</b> 81.85	<b>THDi(%)</b> 121.39	<b>I(mA)</b> 152.80	<b>THDi(%)</b> 113.12	<b>I(mA)</b> 227.02	<b>THDi(%)</b> 108.56

Tabla 17-Valores obtenidos con el programa TOP 2000 de 1 a 3 LFC.

Número:		4-Lámparas		5-Lámparas		6-Lámparas	
Nº Arm.	Frec.(Hz)	Amp.(mA)	Ángulo(°)	Amp.(mA)	Ángulo(°)	Amp.(mA)	Ángulo(°)
1	50	204.11	-18.92	260.83	-18.13	310.35	-18.41
3	150	147.57	-53.23	181.45	-51.63	222.47	-52.64
5	250	84.34	-66.12	103.83	-58.98	128.60	-62.34
7	350	72.32	-57.06	96.13	-51.22	118.58	-58.06
9	450	68.75	-73.17	87.73	-65.00	108.98	-75.01
11	550	49.21	-82.41	61.51	-72.01	73.62	-87.98
13	650	41.92	-80.67	53.07	-69.54	58.18	-81.99
15	750	35.97	-93.01	45.24	-79.23	49.00	-90.68
17	850	25.41	-103.35	32.92	-84.84	33.42	-94.26
19	950	19.66	-93.72	27.93	-70.35	26.70	-85.72
<b>Mediciones</b>		<b>I(mA)</b> 296.52	<b>THDi(%)</b> 105.38	<b>I(mA)</b> 376.38	<b>THDi(%)</b> 104.03	<b>I(mA)</b> 451.12	<b>THDi(%)</b> 105.49

Tabla 18-Valores obtenidos con el programa TOP 2000 de 4 a 6 LFC.

Número:		7-Lámparas		8-Lámparas		9-Lámparas	
---------	--	------------	--	------------	--	------------	--



Nº Arm.	Frec.(Hz)	Amp.(mA)	Ángulo(°)	Amp.(mA)	Ángulo(°)	Amp.(mA)	Ángulo(°)
1	50	355.97	-19.59	405.73	-22.16	456.59	-20.94
3	150	257.19	-54.30	293.07	-63.36	327.76	-60.90
5	250	148.02	-67.65	167.49	-82.44	188.12	-77.50
7	350	128.85	-63.57	145.39	-83.16	155.69	-77.11
9	450	120.30	-80.45	133.29	-105.26	146.87	-96.12
11	550	77.11	-91.75	90.84	-122.96	98.42	-113.13
13	650	65.68	-87.31	72.10	-124.52	73.12	-116.21
15	750	57.79	-96.08	65.69	-140.21	63.61	-126.74
17	850	36.30	-104.33	40.73	-155.19	39.55	-142.00
19	950	29.49	-97.43	34.95	-148.28	29.66	-134.12
<b>Mediciones</b>		<b>I(mA)</b> 513.99	<b>THDi(%)</b> 104.16	<b>I(mA)</b> 584.55	<b>THDi(%)</b> 103.72	<b>I(mA)</b> 648.69	<b>THDi(%)</b> 100.92

Tabla 19-Valores obtenidos con el programa TOP 2000 de 7 a 9 LFC.

### Corrientes consumidas por la carga en el dominio de frecuencia

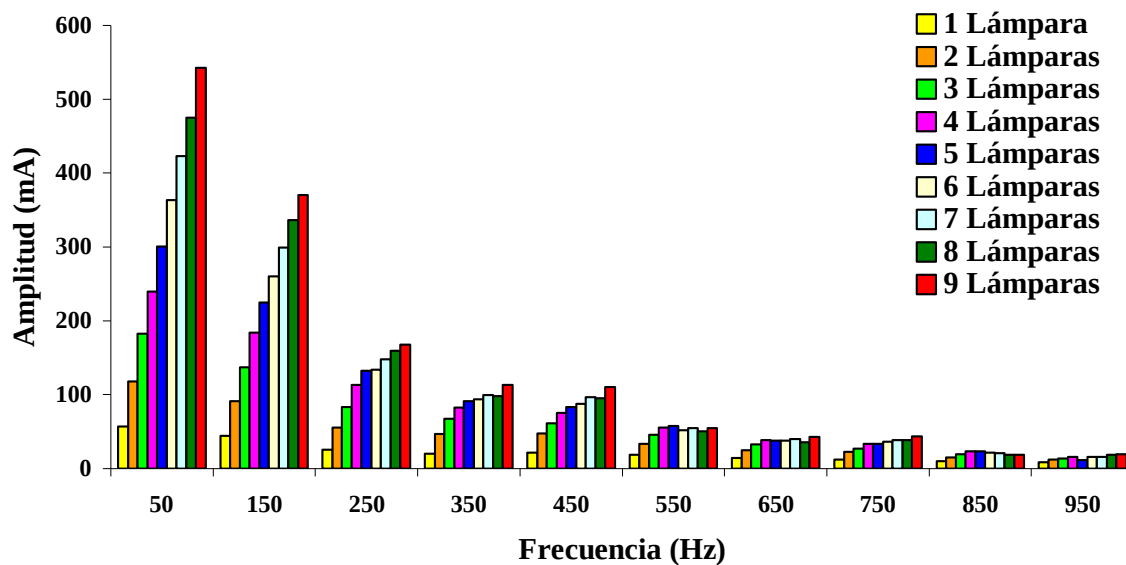


Figura 91-Espectro de frecuencia de 1 a 9 LFC.

Al igual que la Figura 85 del primer ensayo, el gráfico 91 muestra que las mayores discrepancias existentes entre las amplitudes de cada lámpara, pertenecen a los armónicos 1º, 3º y 5º.

### Mediciones realizadas con el instrumental HIOKI 3166

Las mediciones recabadas con el instrumental **HIOKI 3166** se muestran en las siguientes Tablas 20, 21 y 22.

Número:	1 Lámpara	2 Lámparas	3 Lámparas
---------	-----------	------------	------------



Armón.	Frec.(Hz)	Amp.(mA)	Ángulo(°)	Amp.(mA)	Ángulo(°)	Amp.(mA)	Ángulo(°)
1	50	67	-160.41	127	-160.99	193	-161.46
3	150	47	61.98	91	60.63	137	59.77
5	250	28	-50.69	54	-53.74	79	-54.01
7	350	26	-148.01	50	-152.81	73	-152.50
9	450	25	91.95	48	86.37	70	87.56
11	550	20	-19.91	36	-28.96	52	-26.49
13	650	16	-125.16	31	-134.40	48	-130.26
15	750	15	120.91	30	112.01	45	111.97
17	850	12	7.60	23	-4.34	33	-3.00
19	950	9	-96.41	18	-112.19	27	-106.95
		<b>THDi(%)</b>	<b>THDv(%)</b>	<b>THDi(%)</b>	<b>THDv(%)</b>	<b>THDi(%)</b>	<b>THDv(%)</b>
		113.37	4.09	113.63	4.23	111.14	4.26
		<b>I(mA)</b>	102	<b>I(mA)</b>	193	<b>I(mA)</b>	290

Tabla 20-Medición recabadas de 1 hasta 3 LFC.

Número:		4 Lámparas		5 Lámparas		6 Lámparas	
Armón.	Frec.(Hz)	Amp.(mA)	Ángulo(°)	Amp.(mA)	Ángulo(°)	Amp.(mA)	Ángulo(°)
1	50	258	-161.61	318	-162.32	387	-162.12
3	150	185	58.97	228	56.82	278	57.60
5	250	106	-56.69	132	-60.83	162	-58.97
7	350	96	-155.09	118	-161.60	147	-160.84
9	450	93	84.69	112	76.33	136	76.44
11	550	69	-30.43	81	-40.94	96	-40.67
13	650	61	-133.91	69	-144.69	78	-142.67
15	750	58	108.36	64	97.35	70	100.77
17	850	43	-8.74	45	-19.02	49	-13.07
19	950	33	-111.01	35	-120.08	39	-111.57
		<b>THDi(%)</b>	<b>THDv(%)</b>	<b>THDi(%)</b>	<b>THDv(%)</b>	<b>THDi(%)</b>	<b>THDv(%)</b>
		110.50	4.23	108.24	4.36	107.10	4.34
		<b>I(mA)</b>	385	<b>I(mA)</b>	469	<b>I(mA)</b>	569

Tabla 21-Medición recabadas de 4 hasta 6 LFC.

Número:		7 Lámparas		8 Lámparas		9 Lámparas	
Armón.	Frec.(Hz)	Amp.(mA)	Ángulo(°)	Amp.(mA)	Ángulo(°)	Amp.(mA)	Ángulo(°)
1	50	450	-162.44	514	-162.90	575	-163.20
3	150	324	56.19	370	54.86	413	53.90
5	250	186	-62.65	213	-65.10	234	-66.71
7	350	162	-163.35	184	-167.48	200	-168.88
9	450	153	74.41	171	68.84	185	67.20
11	550	107	-44.30	115	-51.12	123	-53.24
13	650	85	-146.69	89	-153.10	95	-154.23
15	750	78	98.20	81	90.92	86	88.38
17	850	56	-16.64	53	-23.81	56	-27.47
19	950	43	-115.48	42	-119.46	43	-122.99
		<b>THDi(%)</b>	<b>THDv(%)</b>	<b>THDi(%)</b>	<b>THDv(%)</b>	<b>THDi(%)</b>	<b>THDv(%)</b>
		105.33	4.41	103.45	4.45	101.60	4.55
		<b>I(mA)</b>	654	<b>I(mA)</b>	740	<b>I(mA)</b>	819

Tabla 22-Medición recabadas de 7 hasta 9 LFC.

Las señales de corriente en el dominio del tiempo obtenidas por el Analizador de armónicos **HIOKI 3166**, se muestra en la siguiente Figura 92.



### Señales de corriente en el dominio del tiempo

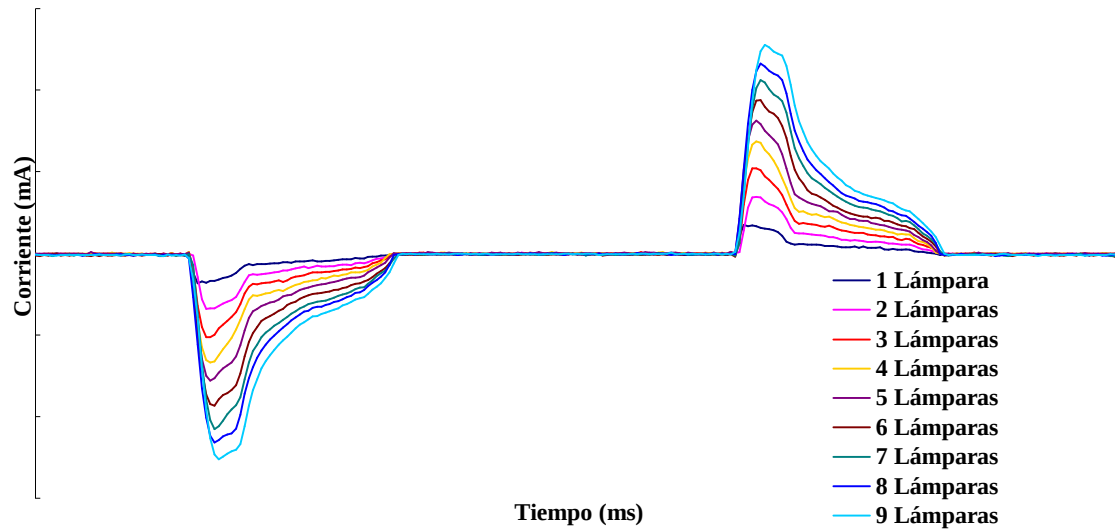


Figura 92-Señales de corrientes en el dominio del tiempo.

La representación de las señales de corrientes en el dominio de frecuencia se muestra a continuación en la Figura 93.

### Corrientes consumidas por la carga en el dominio de frecuencia

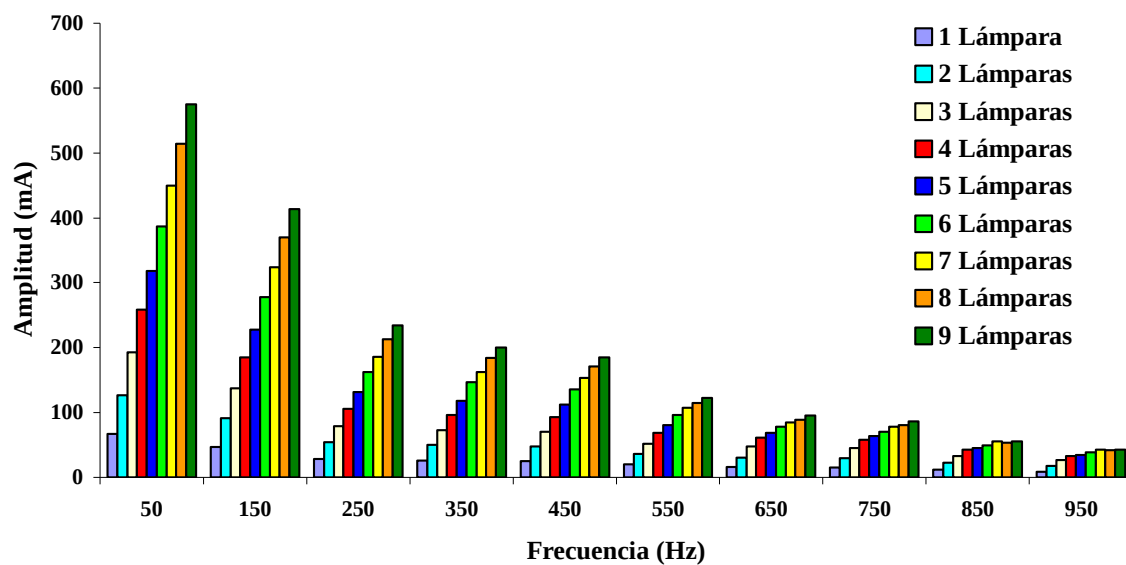


Figura 93-Espectro de frecuencia de 1 a 9 LFC.

### Análisis de los datos relevados



Realizando una comparación exhaustiva entre los valores hallados del primer ensayo (con  $R = 15.5 \Omega$ ) y la del segundo (con  $R = 3.8 \Omega$ ), podemos analizar las diferencias que se han observado sobre las mediciones de THDv con el analizador de armónicos **HIOKI 3166** (Tabla 23).

Comparación de los THDv obtenidos por instrumental HIOKI									
Ensayo lámparas LFC 20W con $R = 15,5 \Omega$									
Lámparas Conectadas	1	2	3	4	5	6	7	8	9
HIOKI THDv[%]	4.25	4.34	4.5	4.73	4.93	5.96	6.17	6.57	6.81
Ensayo lámparas LFC 20W con $R = 3,8 \Omega$									
Lámparas Conectadas	1	2	3	4	5	6	7	8	9
HIOKI THDv[%]	4.09	4.23	4.26	4.23	4.36	4.34	4.41	4.45	4.55

Tabla 23-Comparación de los THDv del 1er y 2do ensayo.

Para notar con mayor claridad las diferencias existentes entre los dos ensayos, se representa en un mismo gráfico los dos índices de distorsión armónicas totales de tensión (THDv) recabados por el instrumental anteriormente mencionado (Figura 94).

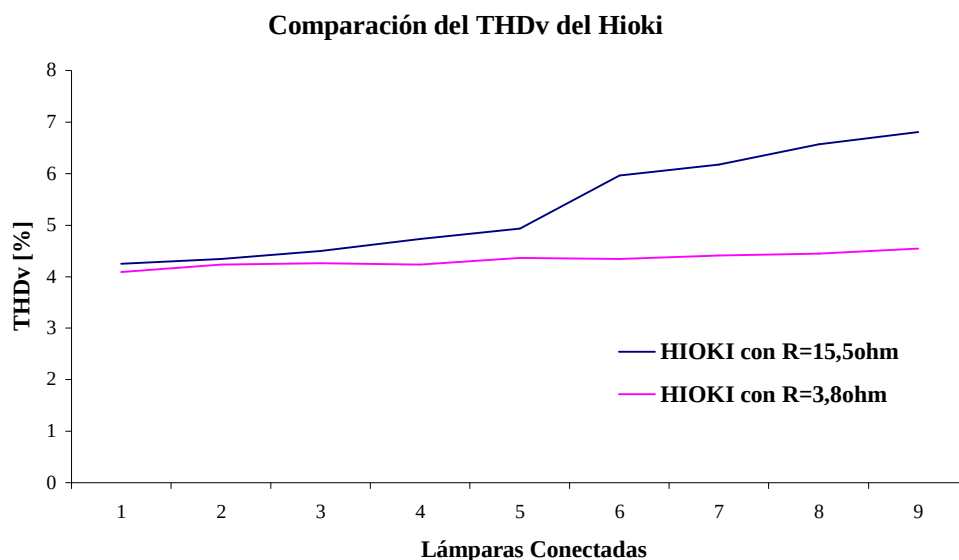


Figura 94- Comparación de los THDv del 1er y 2do ensayo.

Del gráfico anterior (Figura 94), se puede observar claramente que si bien ambos ensayos demuestran que el THDv mantiene una tendencia en aumento al incrementar el número de lámparas fluorescentes compactas en paralelo, se denota también que existe una diferencia apreciable en la forma en que ambas curvas acrecientan su valor. Vemos que para el primer ensayo, en la cual se utiliza una resistencia  $R = 15.5 \Omega$  en serie con la carga, la variación de los valores de THDv es más abrupta que para el segundo ensayo (resistencia  $R = 3.8 \Omega$ ). La diferencia surge en el hecho en que a mayor resistencia  $R$ , la caída de tensión de la misma es más grande, y por ende, el THDv vista desde el lado de la alimentación con respecto al de la carga presenta mayor discrepancia, produciendo que los índices de distorsión de tensión (THDv) presenten cambios más significativos al aumentar el número de lámparas. Caso contrario, a menor resistencia  $R$ , la caída de tensión disminuye, y los valores de THDv



vistos desde la carga son muy próximos a los de la alimentación, siendo su tendencia más constante.

Si ahora realizamos una comparación de los THDi recabados con el osciloscopio digital **Fluke ScopeMeter 97** y el analizador de armónicos **HIOKI 3166** (Tabla 24), podemos representar en un mismo gráfico las cuatro mediciones correspondientes a los dos ensayos (Figura 95).

Comparación de los THDi obtenidos por todos los instrumentos de medición									
Ensayo lámparas LFC 20W con R = 15,5 Ω									
Lámparas Conectadas	1	2	3	4	5	6	7	8	9
<b>FLUKE THDi[%]</b>	118.96	115.74	107.85	107.07	99.7	90.69	87.92	85.2	82.08
<b>HIOKI THDi[%]</b>	125.33	115.36	112.13	106.15	102.27	91.59	88.82	85.29	83.98
Ensayo lámparas LFC 20W con R = 3,8 Ω									
Lámparas Conectadas	1	2	3	4	5	6	7	8	9
<b>FLUKE THDi[%]</b>	121.39	113.12	108.56	105.38	104.03	105.49	104.16	103.72	100.92
<b>HIOKI THDi[%]</b>	113.37	113.63	111.14	110.5	108.24	107.1	105.33	103.45	101.6

Tabla 24-Comparación de los THDi del 1er y 2do ensayo.

#### Comparación THDi de los instrumentos

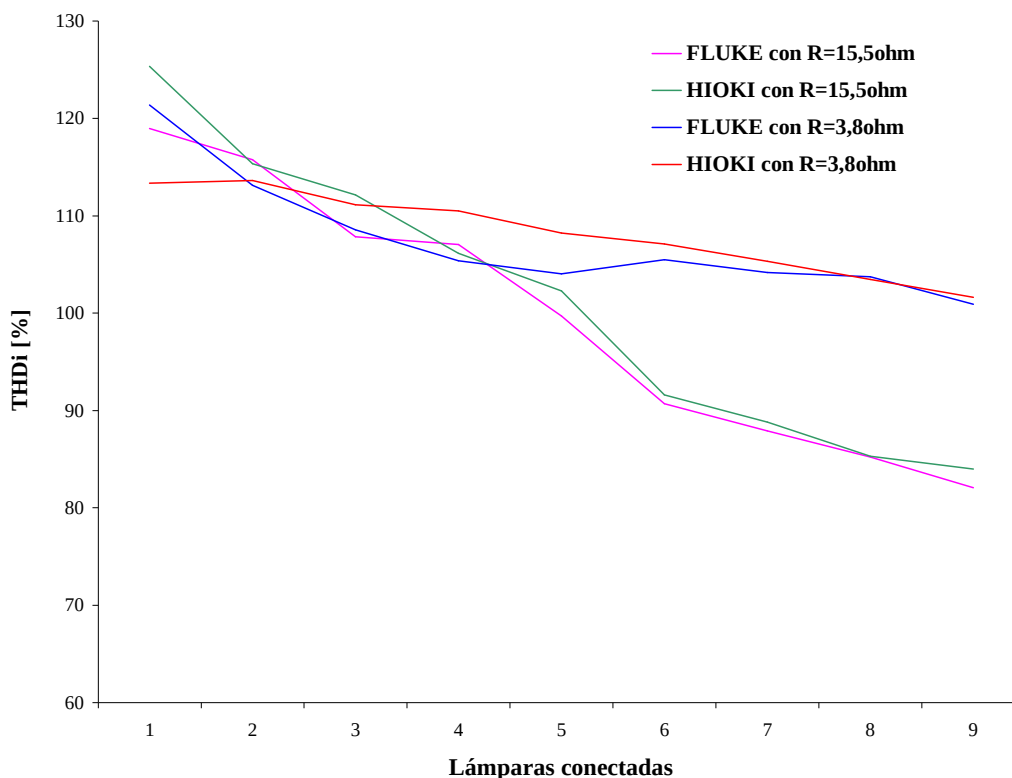


Figura 95-Comparación de los THDi del 1er y 2do ensayo.

Como se muestra en la Figura 95, los THDi utilizando como instrumento de medición el analizador de armónico **HIOKI 3166**, presenta una diferencia apreciable entre los dos



ensayos realizados, ya que, para el primero ( $R = 15.5 \Omega$ ), la característica del THDi al aumentar el número de lámparas es mas pronunciada que para el segundo ( $R = 3.8 \Omega$ ). El hecho deriva de la explicación realizada anteriormente para la Figura 94 sobre los THDv obtenidos, puesto que, a cambios más significativos en los valores de estos últimos (1er ensayo), la característica de THDi al incrementar la carga también cambiará de la misma forma; y por ende, para cambios mas constantes o menos significativos de los valores de THDv (2do ensayo), la característica de THDi también no presentará prácticamente grandes variaciones.

De la Figura 95, también podemos observar, como las mediciones realizadas con el osciloscopio digital **Fluke ScopeMeter 97** se alejan del analizador de armónicos **HIOKI 3166** en las primeras mediciones realizadas para los dos ensayo, mientras que, a mayor número de lámparas, las mediciones obtenidas por el primero se acerca a los del segundo. Esto último, como ya fue explicado de la Figura 88, es debido a que el instrumento de respaldo (**Fluke ScopeMeter 97**) no posee la misma exactitud para corrientes bajas.





## CAPÍTULO 3.3-Tercer ensayo con Lámparas Fluorescentes Compactas (LFC) de 20W

A los efectos de estudiar las cargas no lineales independiente de la impedancia de la red, tratamos de efectuar los ensayos con un transformador de potencia de 1,2 KVA (relación 1:1). A partir de la construcción del mismo (Figura 96), realizado por el Departamento de Ingeniería Eléctrica, se procedió a efectuar un ensayo en vacío para determinar si en condiciones de trabajo se encuentra saturado o no.



Figura 96-Transformador 220/220V de 1.2KVA.

### Ensayo en vacío

El conexionado del transformador en vacío se muestra en la Figura 97.

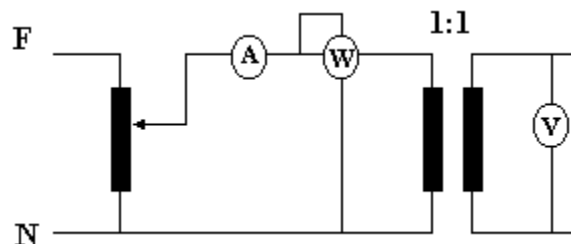


Figura 97-Ensayo en vacío.

Se utiliza un variac cuya característica es:

- **Modelo:** T6.
- **Entrada:** 220V.
- **Salida:** 0-250V.
- **Imax:** 6A.
- **KVA:** 4,5.

El único instrumento de medición utilizado para registrar la corriente, potencia y tensión es el **PROVA 21 Power Harmonics & Leakage Tester**.

El brazo excitador modela las pérdidas en el transformador; de forma tal que la conductancia  $G_0$  representa a las pérdidas de potencia producidas en el núcleo, entonces por ella circula la componente de histéresis más Foucault de la corriente de vacío. De la misma



forma la susceptancia  $B_0$  representa las fugas de flujo dentro del núcleo del trafo, de forma tal que por  $B_0$  circule la corriente magnetizante.

El circuito equivalente para este ensayo se muestra en la Figura 98.

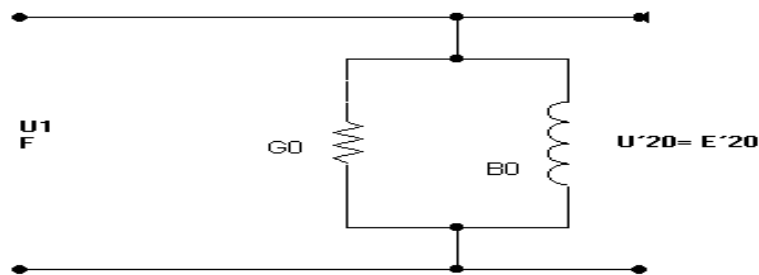


Figura 98: Circuito equivalente simplificado.

Se puede suponer, para facilitar los cálculos sin cometer demasiado error, ya que la corriente de vacío es muy pequeña, que la potencia indicada por el vatímetro es la pérdida de potencia en el hierro, despreciando la componente de pérdida del cobre cuya magnitud está dada por:

$$P_0 = I_0^2 R_1 \tag{33}$$

Entonces se tiene que:

$$I_{h+f} = \frac{P_0}{U_1} \tag{34}$$

Luego la corriente magnetizante es la diferencia entre la corriente de vacío y la componente de histéresis más Foucoul:

$$I_\mu = \sqrt{I_0^2 - I_{h+f}^2} \tag{35}$$

Los valores recabados por este ensayo se muestran a continuación en las Tablas 25 y 26.

Tensión sec.[V]	I0[A]	P0[W]	Ih+f[A]	Im[A]
0	0	0	0	0
10	0.03192	0.121	0.01210	0.02954
20	0.04334	0.435	0.02175	0.03749
30	0.05283	0.926	0.03087	0.04287
40	0.06093	1.552	0.03880	0.04698
50	0.06906	2.27	0.04540	0.05204
60	0.07639	3.06	0.05100	0.05687
70	0.08537	4.08	0.05829	0.06238
80	0.09389	5.06	0.06325	0.06939
90	0.1039	6.3	0.07000	0.07678
100	0.1136	7.47	0.07470	0.08559
110	0.1258	8.9	0.08091	0.09633
120	0.1406	10.43	0.08692	0.11052

Tabla 25-Medición recabadas del ensayo en vacío (desde 0 a 120V).



Tensión sec.[V]	I0[A]	P0[W]	Ih+f[A]	Im[A]
130	0.1639	12.24	0.09415	0.13416
140	0.191	13.84	0.09886	0.16343
150	0.2326	16.01	0.10673	0.20667
160	0.2865	17.6	0.11000	0.26454
170	0.3522	19.3	0.11353	0.33340
180	0.4328	21.61	0.12006	0.41582
190	0.552	19.1	0.10053	0.54277
200	0.682	19.8	0.09900	0.67478
210	0.857	20.3	0.09667	0.85153
220	0.997	21.3	0.09682	0.99229
230	1.342	20.6	0.08957	1.33901
240	1.522	18.6	0.07750	1.52003
250	1.92	18.7	0.07480	1.91854

Tabla 26-Medición recabadas del ensayo en vacío (desde 130 a 250V).

La siguiente Figura 99 representa la  $E1 \cong E2$  en función de la corriente magnetizante  $I_m$ .

#### Característica de vacío

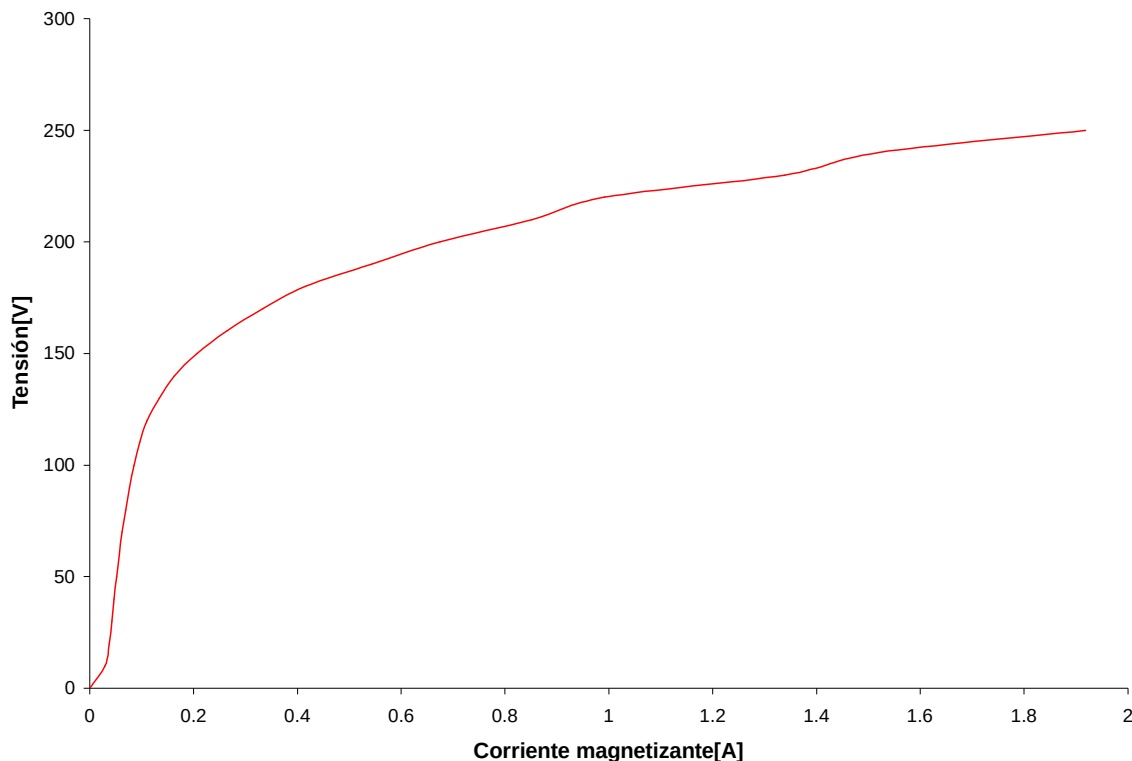


Figura 99-Característica de vacío del transformador.

Como se puede observar de la Figura 99, el comportamiento de la característica en vacío no es lineal a medida que se incrementa la tensión, por lo que se demuestra que en condiciones de trabajo (220V) el transformador se encuentra saturado.

Ahora bien, como se mencionó en un principio, una de las principales fuentes de intensidades armónicas son los equipos que poseen núcleos magnéticos cuando funcionan en condiciones de saturación, originando armónicos de tensión, por lo que se procederá a analizar los valores de THDv y THDi al incorporar un transformador de estas características a



un circuito. Para ello, se realizará un nuevo ensayo en la que se conectarán en paralelo las lámparas fluorescentes compactas (LFC) con  $R = 3.8\Omega$ , pero insertando cada carga con y sin la adición del transformador de relación 1:1.

Cabe mencionar que se vuelve a realizar el ensayo en el mismo día, con  $R = 3.8\Omega$  (sin el transformador) para no tener cambios en el THDv de la alimentación.

Como instrumento de medición se utiliza el analizador de armónicos **HIOKI 3166** (Figuras 100 y 101).

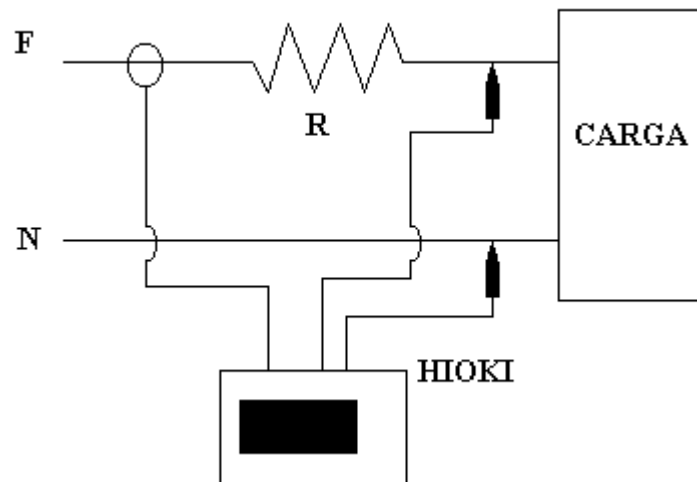


Figura 100-Conexión con LFC sin la incorporación del transformador.

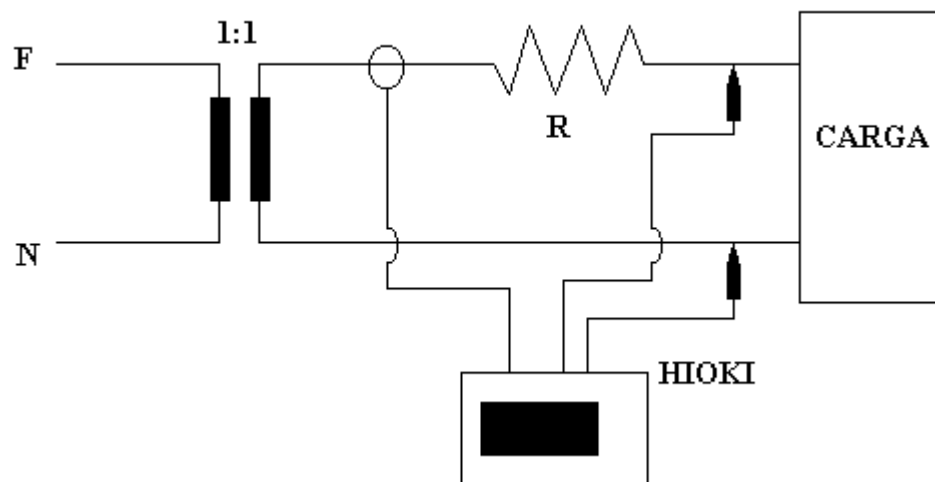


Figura 101-Conexión con LFC con la incorporación del transformador.

### Mediciones con el instrumental HIOKI 3166 sin transformador

Las mediciones recabadas con el instrumental **HIOKI 3166** se muestran en las siguientes Tablas 27, 28 y 29.

Número:	1 Lámpara	2 Lámparas	3 Lámparas
---------	-----------	------------	------------



Armón.	Frec.(Hz)	Amp.(mA)	Ángulo(°)	Amp.(mA)	Ángulo(°)	Amp.(mA)	Ángulo(°)
1	50	66	22.17	133	21.92	193	21.49
3	150	53	-112.29	106	-112.13	156	-113.63
5	250	38	125.73	74	126.82	110	123.60
7	350	30	17.16	61	19.61	88	14.30
9	450	29	-95.81	59	-95.19	85	-100.63
11	550	25	143.99	51	144.72	73	137.83
13	650	21	29.21	40	32.09	58	22.34
15	750	18	-81.92	36	-78.63	51	-89.18
17	850	17	160.86	32	163.51	45	152.64
19	950	14	48.05	24	47.56	35	33.59
		<b>THDi(%)</b>	<b>THDv(%)</b>	<b>THDi(%)</b>	<b>THDv(%)</b>	<b>THDi(%)</b>	<b>THDv(%)</b>
		138.06	3.66	134.91	3.75	135.09	3.92
		<b>I(mA)</b>	112	<b>I(mA)</b>	223	<b>I(mA)</b>	325

Tabla 27-Medición recabadas de 1 hasta 3 LFC.

Número:		4 Lámparas		5 Lámparas		6 Lámparas	
Armón.	Frec.(Hz)	Amp.(mA)	Ángulo(°)	Amp.(mA)	Ángulo(°)	Amp.(mA)	Ángulo(°)
1	50	263	21.41	323	20.93	396	21.04
3	150	215	-113.92	264	-115.54	326	-115.42
5	250	152	121.89	187	118.73	232	118.27
7	350	119	11.54	144	6.91	176	5.31
9	450	113	-103.1	137	-107.83	162	-109.36
11	550	99	135.41	119	129.62	140	128.6
13	650	78	18.66	92	11.53	106	10.76
15	750	66	-92.25	77	-100.25	87	-99.56
17	850	60	150.81	69	142.98	77	144.64
19	950	47	31.54	53	22.26	60	24.44
		<b>THDi(%)</b>	<b>THDv(%)</b>	<b>THDi(%)</b>	<b>THDv(%)</b>	<b>THDi(%)</b>	<b>THDv(%)</b>
		134.76	3.78	133.34	3.73	131.45	3.77
		<b>I(mA)</b>	442	<b>I(mA)</b>	538	<b>I(mA)</b>	654

Tabla 28-Medición recabadas de 4 hasta 6 LFC.

Número:		7 Lámparas		8 Lámparas		9 Lámparas	
Armón.	Frec.(Hz)	Amp.(mA)	Ángulo(°)	Amp.(mA)	Ángulo(°)	Amp.(mA)	Ángulo(°)
1	50	456	20.83	528	20.37	590	20.13
3	150	379	-116.53	434	-117.66	484	-118.42
5	250	270	115.31	305	113.91	337	112.56
7	350	199	0.58	223	-0.42	242	-1.87
9	450	178	-113.47	198	-114.77	215	-115.72
11	550	155	124.55	169	123.22	183	122.22
13	650	117	5.67	125	5.43	133	4.11
15	750	92	-104.63	100	-103.62	105	-104.72
17	850	83	141.19	91	140.54	94	140.38
19	950	65	19.47	70	18.3	71	18.86
		<b>THDi(%)</b>	<b>THDv(%)</b>	<b>THDi(%)</b>	<b>THDv(%)</b>	<b>THDi(%)</b>	<b>THDv(%)</b>
		129.68	3.81	126.21	3.85	124.01	4.01
		<b>I(mA)</b>	747	<b>I(mA)</b>	850	<b>I(mA)</b>	940

Tabla 29-Medición recabadas de 7 hasta 9 LFC.

Las señales de corriente en el dominio del tiempo obtenidas por el Analizador de armónicos **HIOKI 3166**, se muestra en la siguiente Figura 102. La representación de las señales de corrientes en el dominio de frecuencia se muestra a continuación en la Figura 103.



### Señales de corriente en el dominio del tiempo

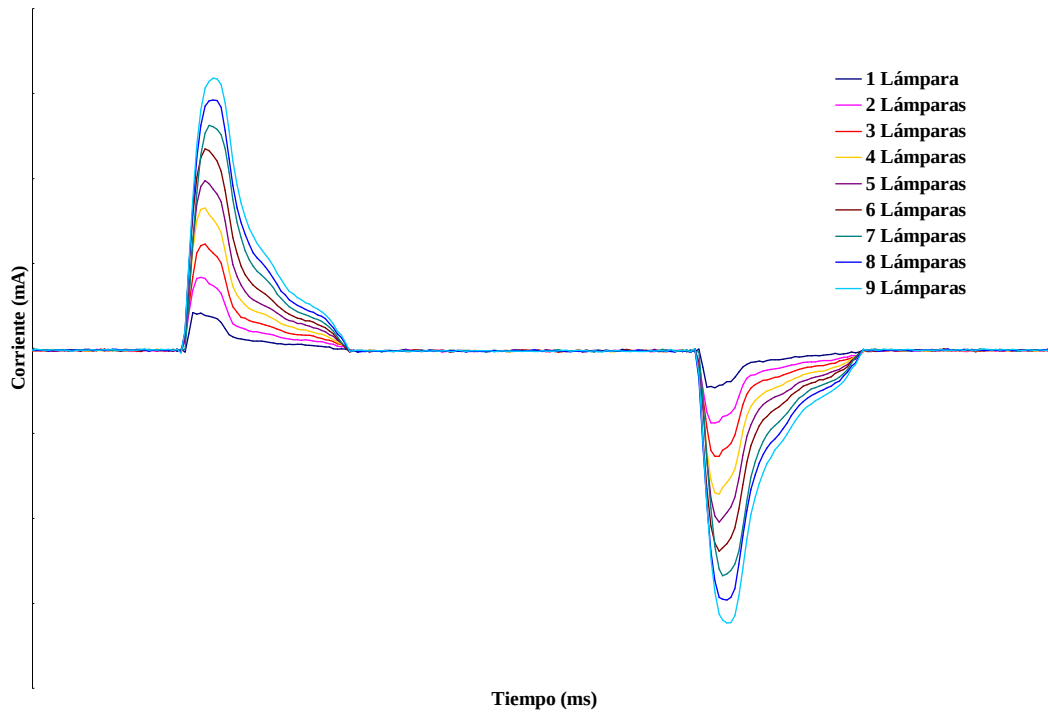


Figura 102-Señales de corrientes en el dominio del tiempo.

### Corriente consumida por la carga en el dominio de frecuencia

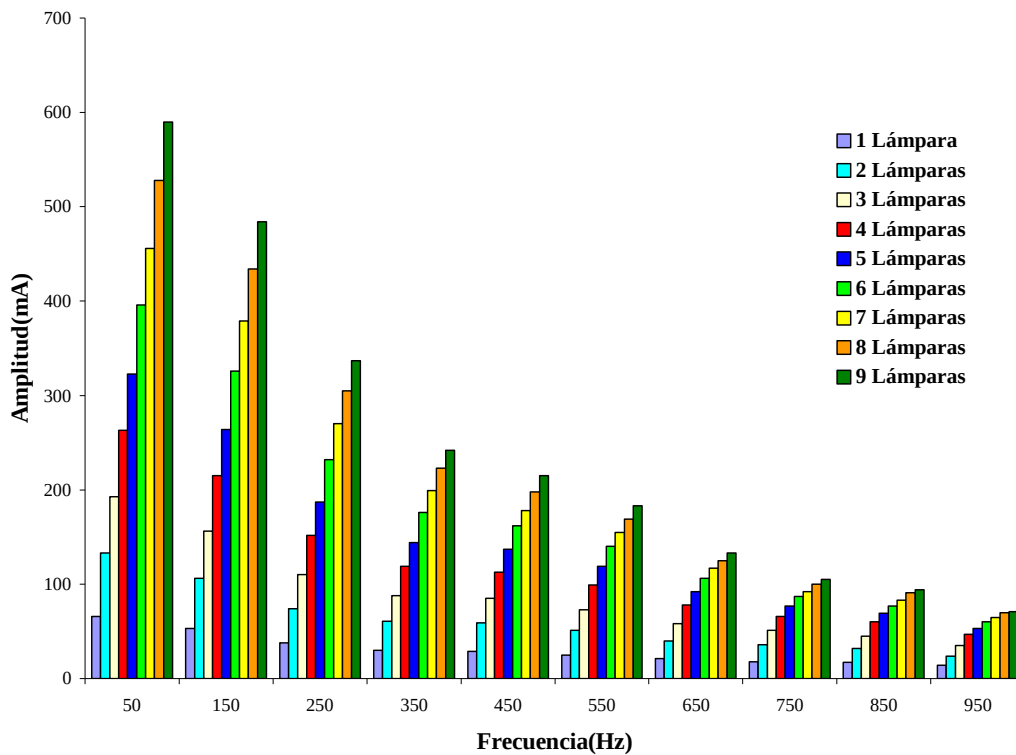


Figura 103-Espectro de frecuencia de 1 a 9 LFC.

### Mediciones con el instrumental HIOKI 3166 con transformador

Las mediciones recabadas con el instrumental **HIOKI 3166** se muestran en las siguientes Tablas 30, 31 y 32.



Número:		1 Lámpara		2 Lámparas		3 Lámparas	
Armón.	Frec.(Hz)	Amp.(mA)	Ángulo(°)	Amp.(mA)	Ángulo(°)	Amp.(mA)	Ángulo(°)
1	50	66	21.64	131	21.07	200	20.72
3	150	54	-114.19	105	-115.03	164	-115.67
5	250	39	121.66	76	122.42	120	120.23
7	350	33	9.63	64	12.22	103	7.65
9	450	32	-105.45	64	-105.84	103	-111.68
11	550	30	131.81	58	131.68	97	122.89
13	650	25	13.24	51	14.25	85	-0.52
15	750	24	-101.65	49	-103.49	78	-123.46
17	850	22	137.88	46	132.02	70	107.40
19	950	20	14.79	39	5.61	53	-23.58
		<b>THDi(%)</b>	<b>THDv(%)</b>	<b>THDi(%)</b>	<b>THDv(%)</b>	<b>THDi(%)</b>	<b>THDv(%)</b>
		156.79	3.99	151.17	4.03	154.25	4.2
		<b>I(mA)</b>	126	<b>I(mA)</b>	238	<b>I(mA)</b>	368

Tabla 30-Medición recabadas de 1 hasta 3 LFC.

Número:		4 Lámparas		5 Lámparas		6 Lámparas	
Armón.	Frec.(Hz)	Amp.(mA)	Ángulo(°)	Amp.(mA)	Ángulo(°)	Amp.(mA)	Ángulo(°)
1	50	256	19.98	329	19.84	390	19.27
3	150	211	-118.06	275	-118.61	327	-120.48
5	250	155	115.51	206	113.21	246	110
7	350	132	0.53	175	-4.54	208	-9.68
9	450	133	-121.15	175	-127.66	205	-135.49
11	550	125	109.65	162	100.58	186	90.83
13	650	106	-18.6	131	-31.84	144	-43.21
15	750	88	-145.82	99	-159.78	101	-171.3
17	850	71	83.78	73	73.46	73	64.15
19	950	50	-48.33	51	-54.98	51	-62.32
		<b>THDi(%)</b>	<b>THDv(%)</b>	<b>THDi(%)</b>	<b>THDv(%)</b>	<b>THDi(%)</b>	<b>THDv(%)</b>
		149.65	4.17	149.62	4.23	146.59	4.29
		<b>I(mA)</b>	462	<b>I(mA)</b>	593	<b>I(mA)</b>	693

Tabla 31-Medición recabadas de 4 hasta 6 LFC.

Número:		7 Lámparas		8 Lámparas		9 Lámparas	
Armón.	Frec.(Hz)	Amp.(mA)	Ángulo(°)	Amp.(mA)	Ángulo(°)	Amp.(mA)	Ángulo(°)
1	50	463	19.04	526	18.46	596	18.08
3	150	392	-121.49	447	-123.47	505	-124.65
5	250	300	106.68	343	102.69	382	100.29



7	350	249	-16.67	278	-23.06	298	-26.25
9	450	232	-143.94	251	-151.8	257	-154.69
11	550	200	81.33	209	72.8	205	70.51
13	650	144	-53.12	145	-61.76	134	-62.77
15	750	94	-178.82	90	174.15	79	177.84
17	850	67	61.7	66	57.18	59	64.98
19	950	49	-64.25	48	-68.36	42	-63.28
		<b>THDi(%)</b>	<b>THDv(%)</b>	<b>THDi(%)</b>	<b>THDv(%)</b>	<b>THDi(%)</b>	<b>THDv(%)</b>
		143.97	4.31	139.58	4.38	132.97	4.56
		<b>I(mA)</b>	808	<b>I(mA)</b>	904	<b>I(mA)</b>	992

Tabla 32-Medición recabadas de 7 hasta 9 LFC.

Las señales de corriente en el dominio del tiempo obtenidas por el Analizador de armónicos **HIOKI 3166**, se muestra en la siguiente Figura 104.

#### Señales de corriente en el dominio del tiempo

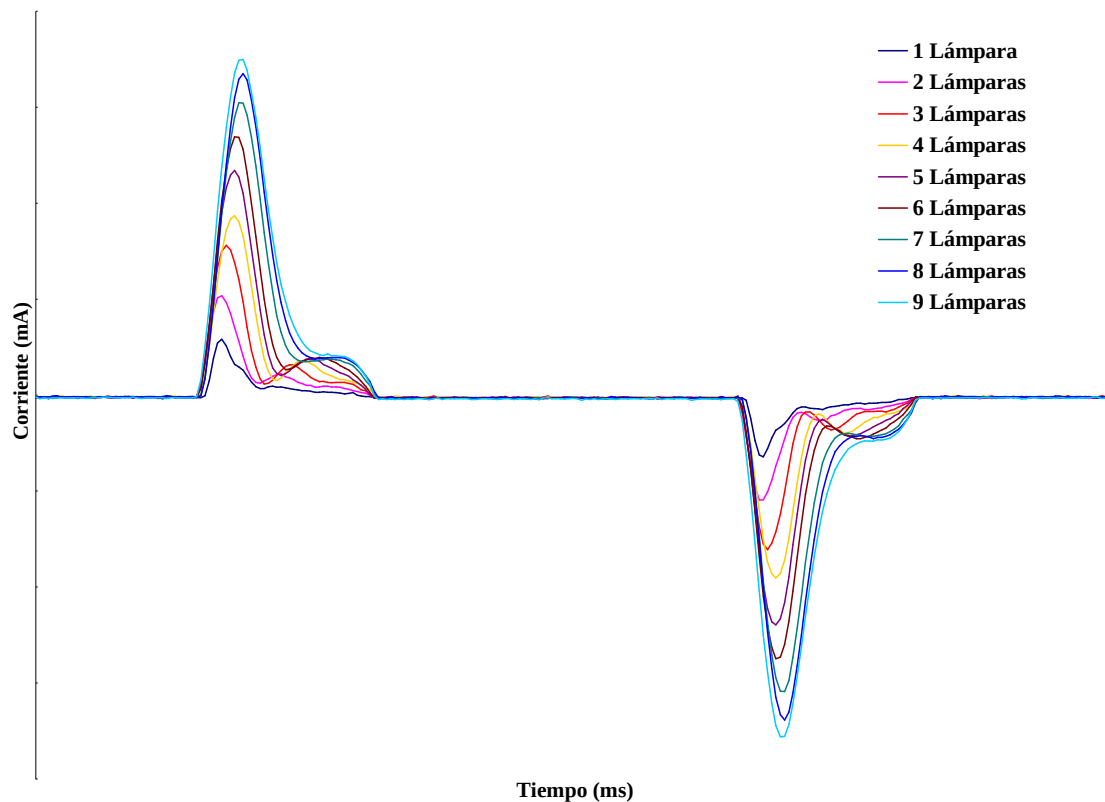


Figura 104-Señales de corrientes en el dominio del tiempo.

La representación de las señales de corrientes en el dominio de frecuencia se muestra a continuación en la Figura 105.





Corriente consumida por la carga en el dominio de frecuencia

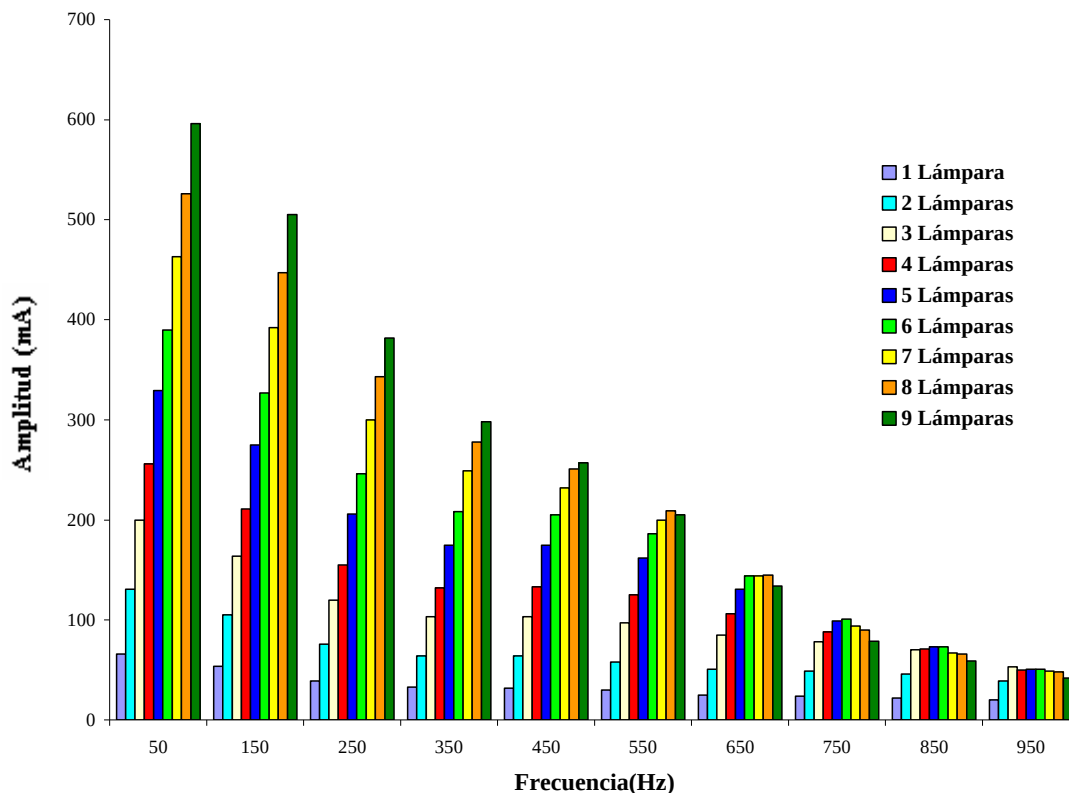


Figura 105-Espectro de frecuencia de 1 a 9 LFC.

**Análisis de los datos relevados**

Se procede a realizar una comparación entre los valores de THDv y THDi, sin y con la incorporación del transformador con las lámparas LFC de 20W y con  $R=3,8\Omega$ . Ambos THDv recabados con el analizador de armónicos **HIOKI 3166** se muestran a continuación en la Tabla 33.

Comparación de los THDv obtenidos por instrumental HIOKI									
Ensayo lámparas LFC 20W con $R = 3,8 \Omega$									
Lámparas Conectadas	1	2	3	4	5	6	7	8	9
HIOKI THDv[%]	3.66	3.75	3.92	3.78	3.73	3.77	3.81	3.85	4.01
Ensayo lámparas LFC 20W con $R = 3,8 \Omega$ y Trafo 1,2KVA									
Lámparas Conectadas	1	2	3	4	5	6	7	8	9
HIOKI THDv[%]	3.99	4.03	4.2	4.17	4.23	4.29	4.31	4.38	4.56

Tabla 33-Comparación de THDv.

Para visualizar con mayor claridad el comportamiento de los THDv al ingresar cada una de las LFC en paralelo, se representa en una misma gráfica dichos índices de distorsión (Figura 106).

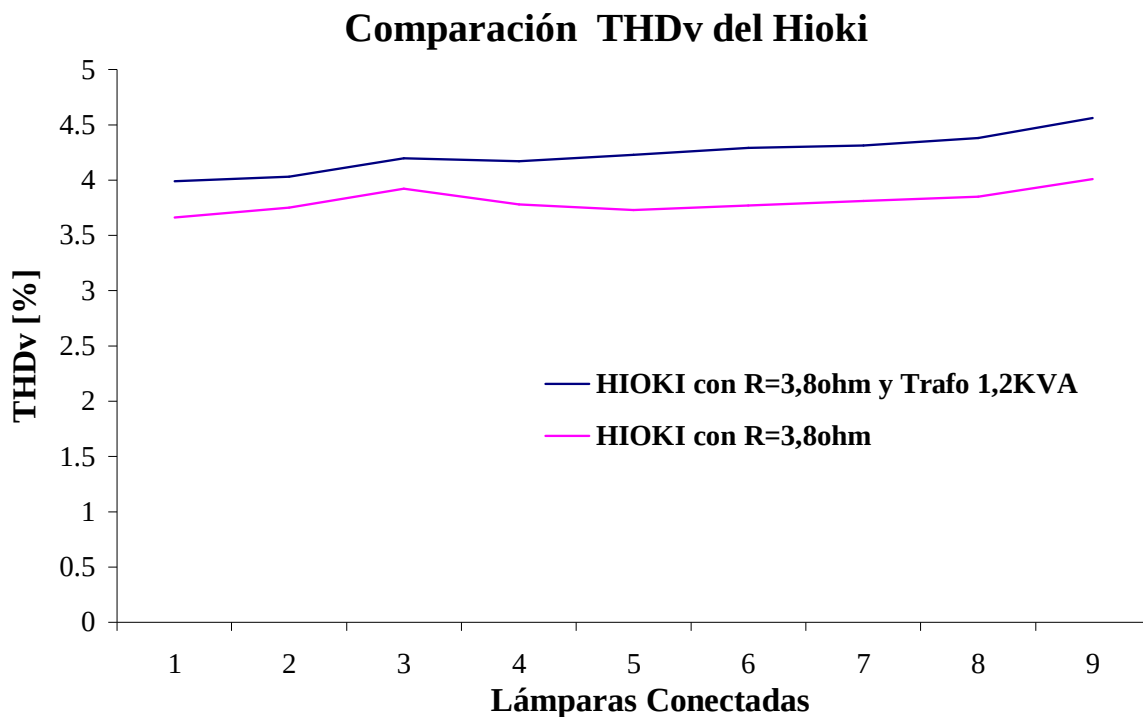


Figura 106- Comparación de los THD<sub>v</sub> con y sin transformador de 1,2KVA.

La comparación de los valores de THDi recabadas con el instrumental de medición se muestra en la siguiente Tabla 34.

Comparación de los THDi obtenidas por instrumental HIOKI									
Ensayo lámparas LFC 20W con R = 3,8 Ω									
Lámparas Conectadas	1	2	3	4	5	6	7	8	9
HIOKI THDi[%]	138.06	134.91	135.09	134.76	133.34	131.45	129.68	126.21	124.01
Ensayo lámparas LFC 20W con R = 3,8 Ω y Transformador 1:1/1KVA									
Lámparas Conectadas	1	2	3	4	5	6	7	8	9
HIOKI THDi[%]	156.79	151.17	154.25	149.65	149.62	146.59	142.97	139.58	132.97

Tabla 34-Comparación de THDi.

La siguiente Figura 107 muestra ambos comportamientos de THDi al ingresar cada una de las LFC en paralelo.



### Comparación THDi del Hioki

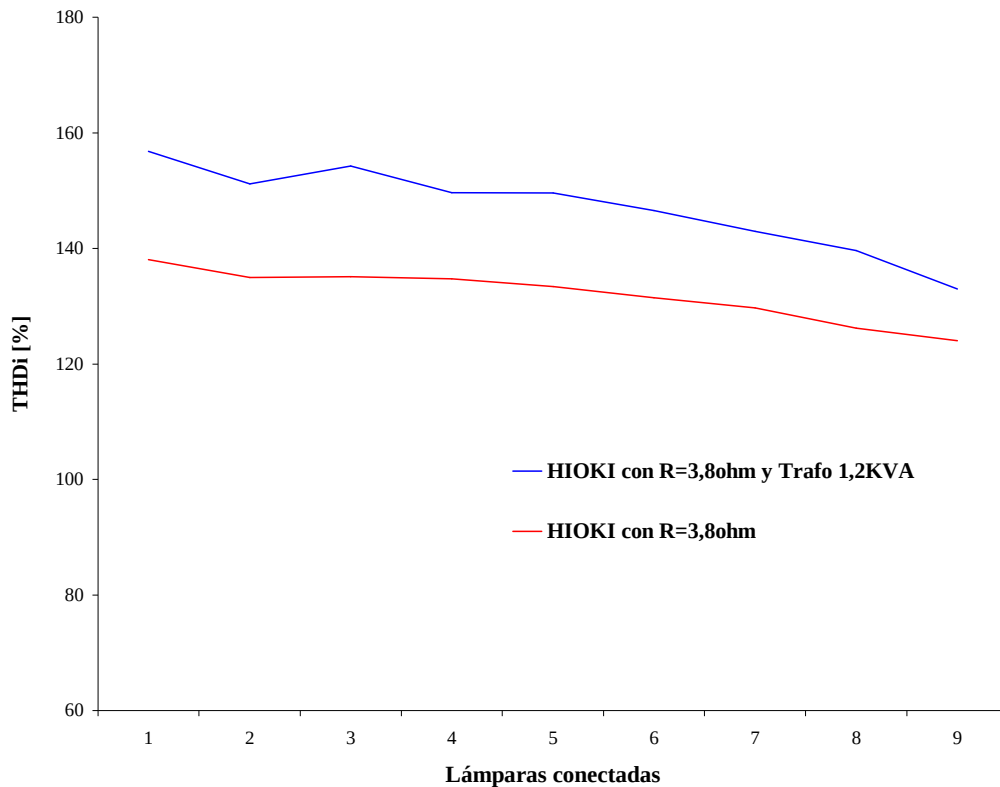


Figura 107- Comparación de los THDi con y sin transformador de 1,2KVA.

Como se puede observar de las Figuras 106 y 107, y confirmando lo dicho anteriormente, la incorporación de un transformador trabajando en condiciones de saturación origina un mayor índice de distorsión de tensión (THDv) y de corriente (THDi), principalmente afectado por los cambios de amplitudes de armónicos de órdenes superiores (comparación entre espectros de frecuencias de Figuras 103 y 105).

De las gráficas anteriores también se puede visualizar que las características de dichas distorsiones poseen un comportamiento similar para ambas condiciones (con y sin transformador), por lo que se nota de la comparación de ambos ensayos, que los incrementos de dichas tasas conservan casi las mismas proporciones al ingresar una lámpara que al ingresar nueve.



## CAPÍTULO 3.4-Cuarto ensayo de Lámparas Fluorescentes Compactas (LFC) de 20W

Con la finalidad de validar los dos primeros ensayos sobre las nueve LFC de 20W cada una, se procederá a realizar un nuevo ensayo que consistirá en analizar como afecta la caída de tensión (RMS) sobre el índice de distorsión armónica de corriente (THDi), aplicada a una sola lámpara (basándonos en un trabajo realizado por **Arshad Mansoor** [14]). Para ello, se anulará la resistencia **R** (sin la medición con el **Fluke ScopeMeter 97**), y se utilizará un variac nuevo provisto por el Laboratorio de Medidas, el cual no incorpora tasas de distorsión tanto de tensión como de corriente (verificado a través del instrumental de respaldo **PROVA 21 Power Harmonics & Leakage Tester**). Las características del Autotransformador son:

- **Marca:** Varitrans.
- **Tensión de entrada:** 220 V.
- **Tensión de salida:** 0-250 V.
- **Nº Serie:** 073-06.
- **Intensidad Máxima:** 6 A.
- **Potencia:** 1,5 KVA.

El conexionado del nuevo ensayo se muestra a continuación en la Figura 108.

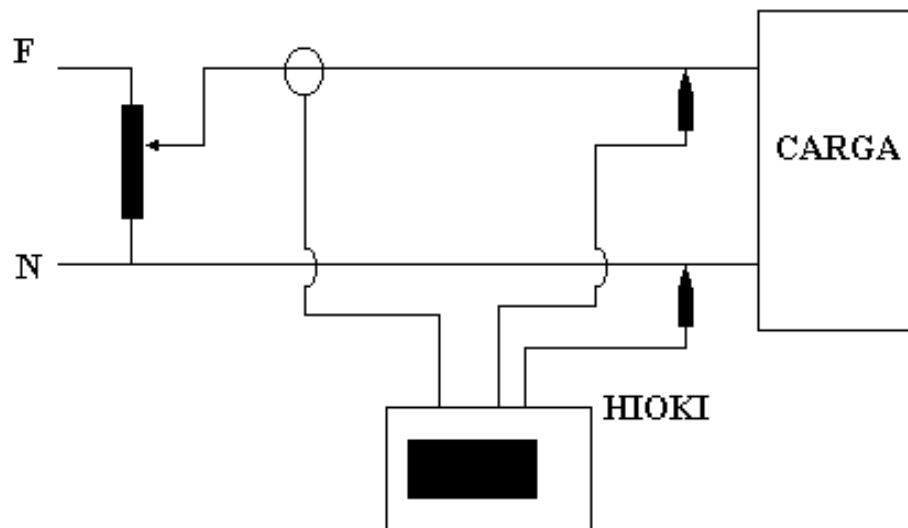


Figura 108-Conexionado del ensayo con 1 LFC.

Se varía la tensión (RMS) de alimentación de la lámpara, desde 190 a 230V. Los valores extraídos por el instrumental de medición (Tablas 35, 36 y 37) y los gráficos correspondientes a dichos índices (Figura 109 y 110) se muestran a continuación.



**1 Lámpara de 20 W**



Tensión [V]		190		195		200	
Ar.	Frec.(Hz)	Amp.(mA)	Ángulo(°)	Amp.(mA)	Ángulo(°)	Amp.(mA)	Ángulo(°)
1	50	66	21	65	21	64	20
3	150	46	-113	46	-113	47	-115
5	250	28	141	28	139	29	134
7	350	28	43	27	40	27	32
9	450	25	-75	26	-78	26	-87
11	550	19	176	18	175	18	159
13	650	17	81	17	71	17	55
15	750	15	-38	14	-41	15	-57
17	850	11	-141	11	-148	11	-169
19	950	9	120	9	115	9	92
		<b>THDi(%)</b>	<b>THDv(%)</b>	<b>THDi(%)</b>	<b>THDv(%)</b>	<b>THDi(%)</b>	<b>THDv(%)</b>
		115.37	4.55	117.09	4.59	119.64	4.52
		<b>I(mA)</b>	101	<b>I(mA)</b>	100	<b>I(mA)</b>	101

Tabla 35-Medición recabadas para 1LFC con 190-200V.

Tensión [V]		205		210		215	
Ar.	Frec.(Hz)	Amp.(mA)	Ángulo(°)	Amp.(mA)	Ángulo(°)	Amp.(mA)	Ángulo(°)
1	50	64	20	64	20	64	20
3	150	46	-114	46	-115	47	-116
5	250	29	135	28	134	30	129
7	350	27	34	27	33	27	28
9	450	26	-85	27	-85	26	-92
11	550	19	164	20	157	20	152
13	650	17	57	17	57	17	45
15	750	16	-57	16	-56	16	-69
17	850	12	-166	12	-167	13	178
19	950	10	89	10	87	10	72
		<b>THDi(%)</b>	<b>THDv(%)</b>	<b>THDi(%)</b>	<b>THDv(%)</b>	<b>THDi(%)</b>	<b>THDv(%)</b>
		120.95	4.64	121	4.7	123.16	4.63
		<b>I(mA)</b>	101	<b>I(mA)</b>	100	<b>I(mA)</b>	101

Tabla 36-Medición recabadas para 1LFC con 205-215V.

Tensión [V]		220		225		230	
Ar.	Frec.(Hz)	Amp.(mA)	Ángulo(°)	Amp.(mA)	Ángulo(°)	Amp.(mA)	Ángulo(°)
1	50	65	20	66	20	65	20
3	150	47	-116	49	-116	48	-116
5	250	30	130	30	129	30	129
7	350	27	28	28	26	28	27
9	450	27	-92	28	-93	27	-92
11	550	21	150	22	149	21	151
13	650	18	46	18	44	18	45
15	750	16	-67	17	-70	17	-70
17	850	13	180	13	174	14	176
19	950	11	71	11	70	11	67
		<b>THDi(%)</b>	<b>THDv(%)</b>	<b>THDi(%)</b>	<b>THDv(%)</b>	<b>THDi(%)</b>	<b>THDv(%)</b>
		123.03	4.6	123.66	4.58	124.14	4.76
		<b>I(mA)</b>	102	<b>I(mA)</b>	105	<b>I(mA)</b>	104

Tabla 37-Medición recabadas para 1LFC con 220-230V.



### THDv de 1 Lámpara al variar la tensión aplicada

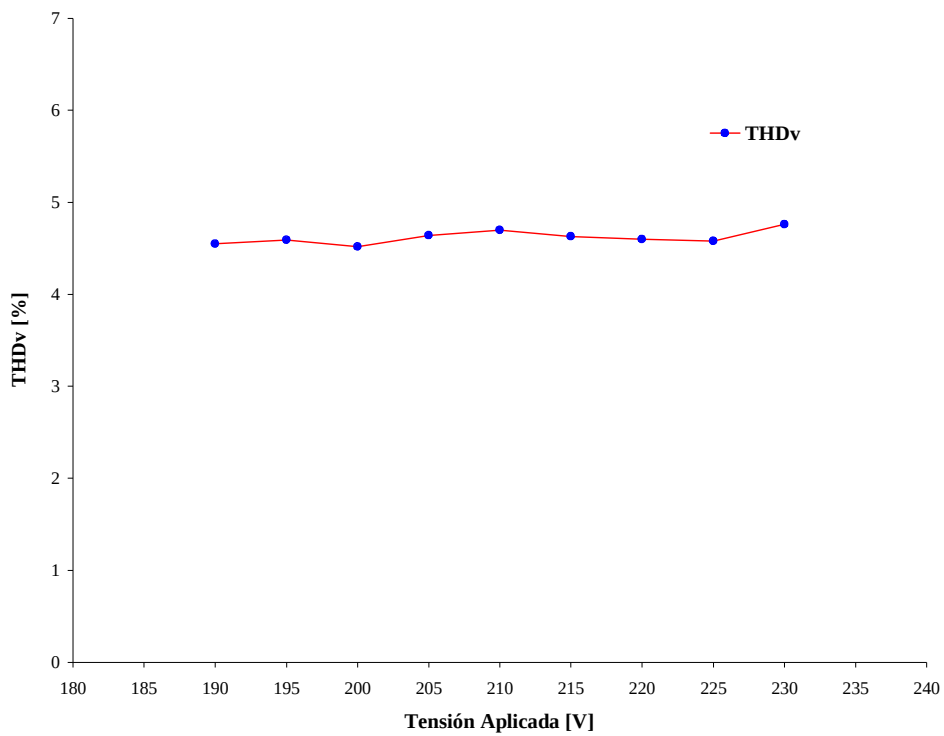


Figura 109-THDv en función de la tensión aplicada.

### THDi de 1 Lámpara al variar la tensión aplicada

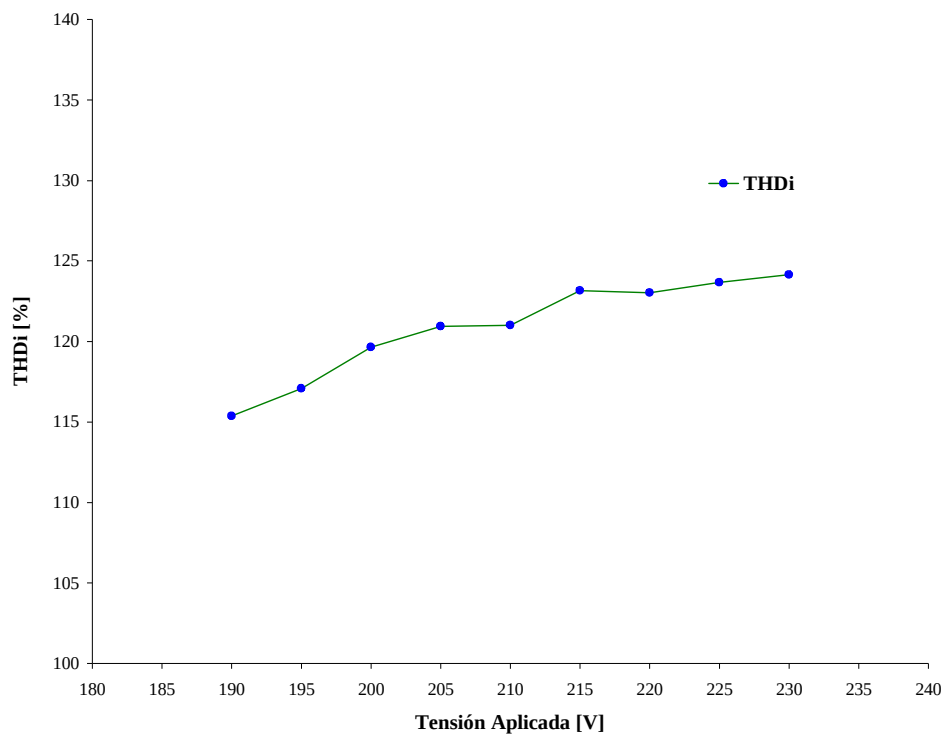


Figura 110-THDi en función de la tensión aplicada.



Analizando el comportamiento del gráfico anterior (Figura 110) y observando como afecta la variación de tensión a la tasa de distorsión de corriente (THDi), se procede a replantear las conclusiones elaboradas en los dos primeros ensayos. La cuestión es si en realidad las disminuciones en los valores de THDi son productos del efecto diversidad (ya mencionado anteriormente) o debido a la caída de tensión provocada por la propia resistencia **R** utilizada en el circuito. Por esta inquietud, se decide realizar un nuevo ensayo de igual manera que en los dos primeros, pero manteniendo la tensión (RMS) lo mas constante posible (utilizando el variac nuevo) y sin la incorporación de la resistencia **R** en el mismo (**R=0**).

Los valores recabados con el analizador de armónico **HIOKI 3166** se muestran en las siguientes Tablas 38, 39 y 40.

Número:		1 Lámpara		2 Lámparas		3 Lámparas	
Armón.	Frec.(Hz)	Amp.(mA)	Ángulo(°)	Amp.(mA)	Ángulo(°)	Amp.(mA)	Ángulo(°)
1	50	65	-158	133	-159	195	-159
3	150	52	68	105	67	156	65
5	250	37	-53	73	-53	109	-57
7	350	31	-160	62	-160	93	-166
9	450	30	84	62	82	92	76
11	550	26	-35	53	-39	79	-47
13	650	22	-150	43	-153	64	-162
15	750	20	100	39	95	57	85
17	850	18	-17	34	-23	50	-35
19	950	16	-136	26	-138	40	-153
		<b>THDi(%)</b>	<b>THDv(%)</b>	<b>THDi(%)</b>	<b>THDv(%)</b>	<b>THDi(%)</b>	<b>THDv(%)</b>
		141.78	3.7	138.15	3.74	139.41	3.81
		<b>I(mA)</b>	113	<b>I(mA)</b>	226	<b>I(mA)</b>	335

Tabla 38-Medición recabadas de 1 hasta 3 LFC.

Número:		4 Lámparas		5 Lámparas		6 Lámparas	
Armón.	Frec.(Hz)	Amp.(mA)	Ángulo(°)	Amp.(mA)	Ángulo(°)	Amp.(mA)	Ángulo(°)
1	50	258	-159.14	325	-159.01	387	-159.26
3	150	206	65.18	259	65.35	311	64.66
5	250	145	-56.39	182	-56.31	218	-57.61
7	350	124	-165.21	155	-165.16	185	-167.14
9	450	123	76.32	154	76.31	183	74.48
11	550	106	-46.96	132	-46.67	159	-49.04
13	650	85	-162.97	106	-162.66	127	-165.8
15	750	76	84	95	84.36	114	80.74
17	850	68	-35.1	85	-34.92	102	-39.13
19	950	54	-152.46	67	-153.52	81	-157.65
		<b>THDi(%)</b>	<b>THDv(%)</b>	<b>THDi(%)</b>	<b>THDv(%)</b>	<b>THDi(%)</b>	<b>THDv(%)</b>
		140.28	3.71	139.75	3.79	140.36	3.77
		<b>I(mA)</b>	445	<b>I(mA)</b>	558	<b>I(mA)</b>	658

Tabla 39-Medición recabadas de 4 hasta 6 LFC.

Número:	7 Lámparas	8 Lámparas	9 Lámparas
---------	------------	------------	------------





Armón.	Frec.(Hz)	Amp.(mA)	Ángulo(°)	Amp.(mA)	Ángulo(°)	Amp.(mA)	Ángulo(°)
1	50	455	-158.87	516	-158.95	584	-159.05
3	150	367	65.67	416	65.51	473	64.98
5	250	259	-56.57	293	-56.69	336	-58.16
7	350	218	-166.1	247	-166.04	281	-168.95
9	450	215	76.55	245	76.39	275	73.13
11	550	188	-46.39	215	-46.79	240	-50.52
13	650	151	-162.98	173	-163.31	193	-167.89
15	750	135	84.07	156	83.48	171	78.06
17	850	122	-35.06	142	-36.22	154	-42.26
19	950	97	-154.93	113	-156.34	121	-162.94
		<b>THDi(%)</b>	<b>THDv(%)</b>	<b>THDi(%)</b>	<b>THDv(%)</b>	<b>THDi(%)</b>	<b>THDv(%)</b>
		141.16	3.8	141.83	3.84	140.85	3.78
		<b>I(mA)</b>	<b>788</b>	<b>I(mA)</b>	<b>895</b>	<b>I(mA)</b>	<b>1009</b>

Tabla 40-Medición recabadas de 7 hasta 9 LFC.

Las señales de corriente obtenidas en el dominio del tiempo se muestran en la siguiente Figura 111.

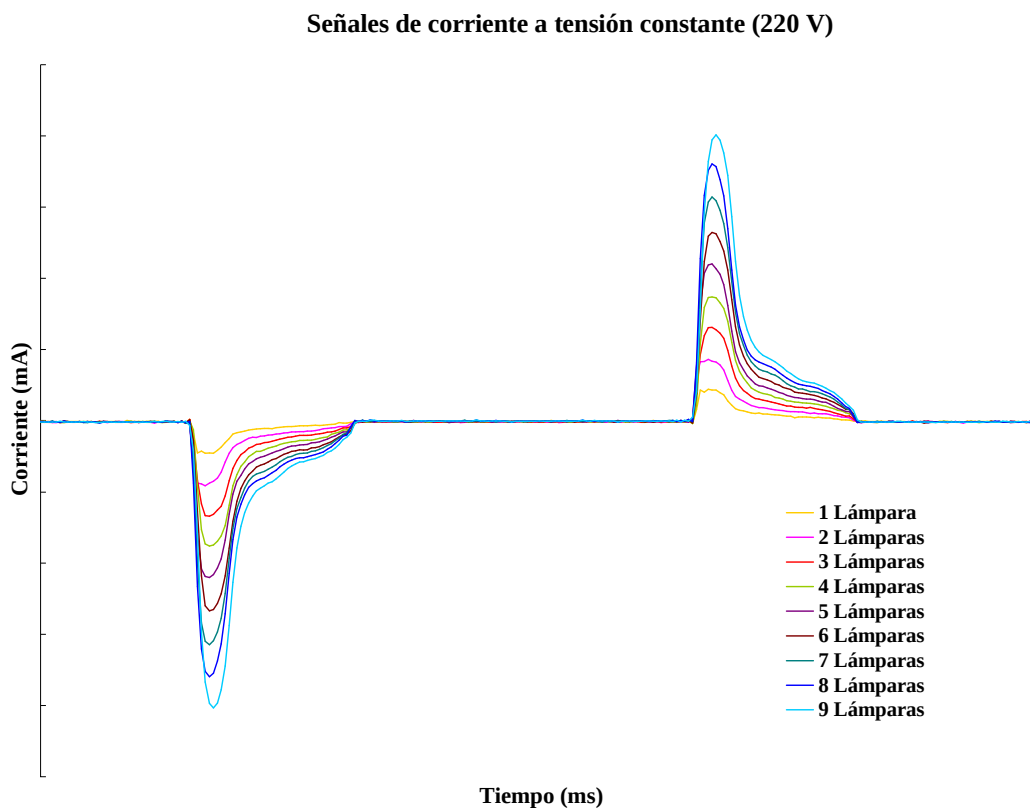


Figura 111-Señales de corrientes en el dominio del tiempo.

Los espectros de frecuencia de las señales anteriores, es la que se muestra a continuación (Figura 112).

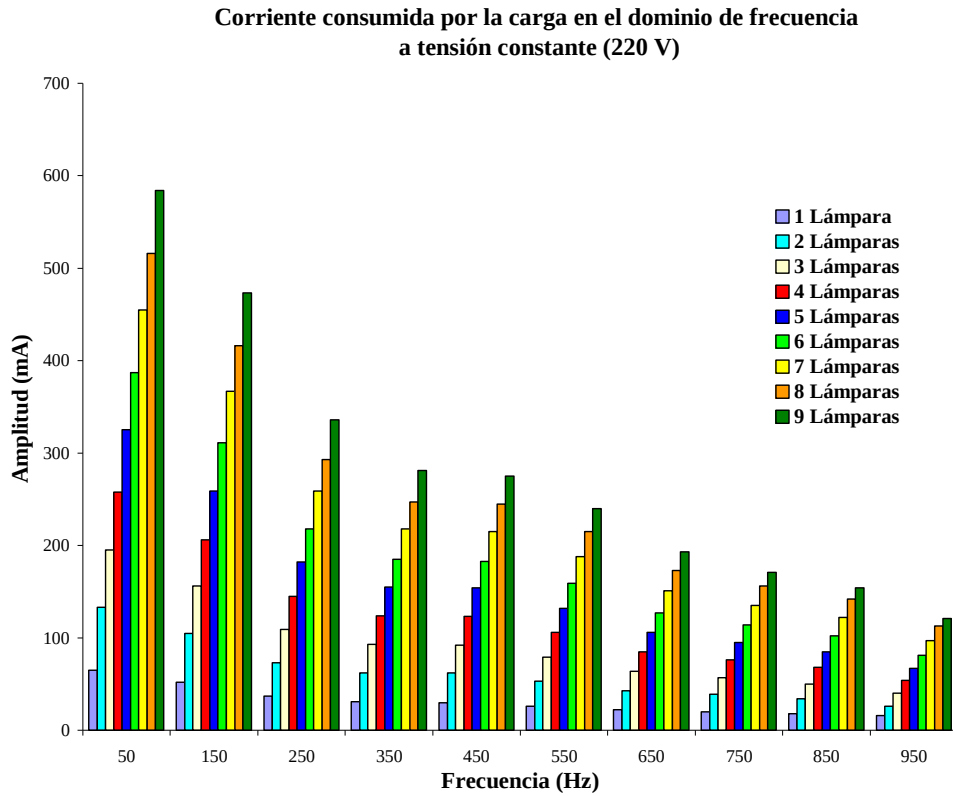


Figura 112-Espectro de frecuencia de 1 a 9 LFC.

A continuación se representa los valores de THDv y THDi, analizando su comportamiento (Figura 113 y 114).

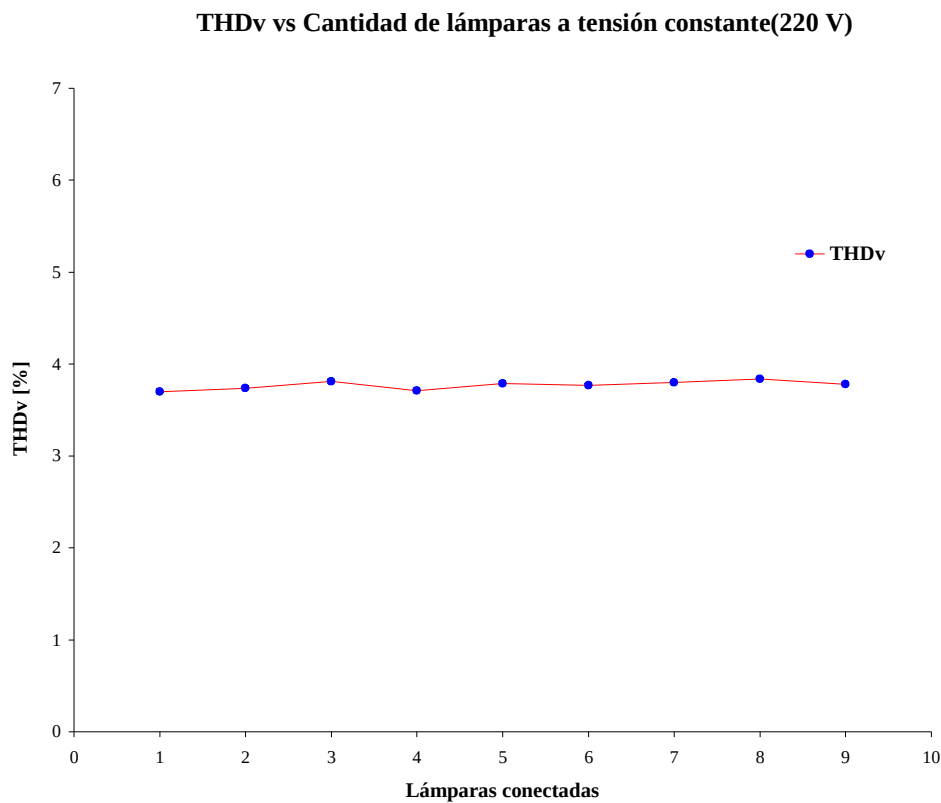


Figura 113-THDv en función de la cantidad de lámparas.

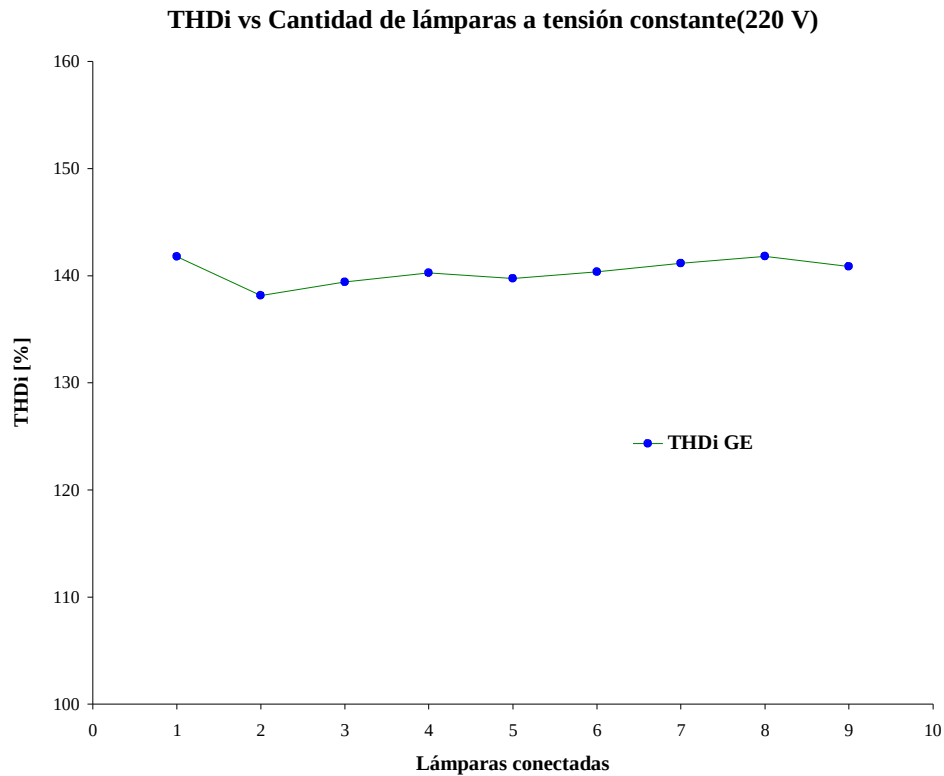


Figura 114-THDi en función de la cantidad de lámparas.

Debido a la inexistencia de **R**, y por ende, de la correspondiente caída de tensión, se puede observar de las gráficas anteriores (Figuras 113 y 114), que no existe un cambio apreciable en cuanto al efecto diversidad. Ésto nos lleva a confirmar que en los dos primeros ensayos (**R=15,5** y **R=3,8Ω**), la apreciación en la disminución de la tasa de distorsión total de corriente (THDi), se debía fundamentalmente a la variación de la tensión (RMS) aplicada a las lámparas en paralelo, que al efecto diversidad.

Ahora bien, analizando los datos extraído y sabiendo que las nueve lámparas pertenecen al mismo fabricante (**General Electric**), es de suponer que las mismas generan igual tasa de distorsión, es decir, una misma señal. Para justificar ésto, nos basamos en la Figura 111 (“Señales de corrientes en el dominio del tiempo”), notando que todas las señales son iguales pero en distintas proporción, por lo que el índice de distorsión no cambia en gran medida. Como una aproximación, se puede dividir por nueve a la señal de corriente perteneciente al total de las lámparas en paralelo, llegando a la conclusión de que la misma mantiene una igualdad a la señal suministrada por una lámpara (demostrando la semejanza en los valores de THDi perteneciente al mismo fabricante), como se muestra en la siguiente Figura 115.



### Aproximación dividiendo la señal de 9 LFC por 9

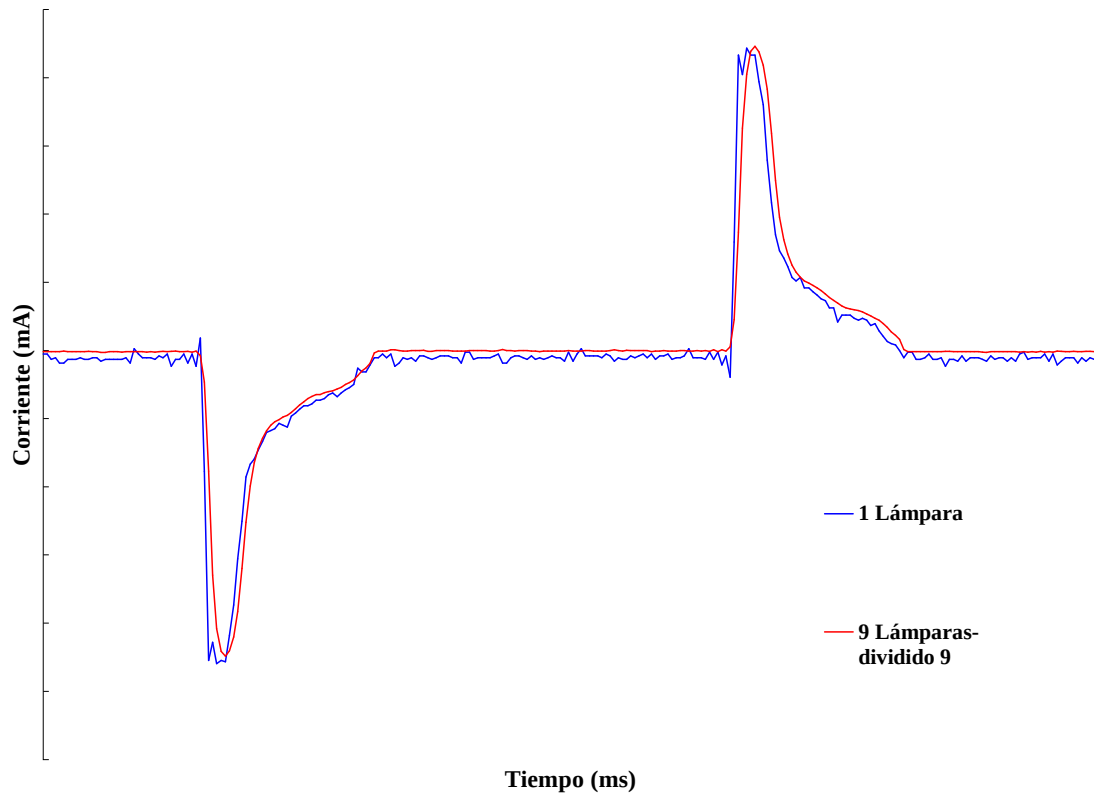


Figura 115- Comparación de las señales de 1 LFC y 9 LFC dividido 9.

Para ampliar el análisis de lo anteriormente mencionado, se procede a realizar el mismo estudio para 4 lámparas de las mismas características (LFC de 20W) pero de distinta marca (**Alic**) a la anterior (**General Electric**), como se muestra en la siguiente Figura 116.



Figura 116-LFC de 20W (**Alic**).



Los valores recabados con el analizador de armónico se detallan a continuación en la Tabla 41.

Número:		1 Lámpara		2 Lámparas		3 Lámparas		4 Lámparas	
Ar.	f (Hz)	Amp.(mA)	Áng(°)	Amp.(mA)	Áng(°)	Amp.(mA)	Áng(°)	Amp.(mA)	Áng(°)
1	50	86	23	164	23	251	23	339	23
3	150	55	-102	108	-103	164	-102	221	-102
5	250	34	168	65	163	99	165	134	165
7	350	35	70	66	66	101	68	135	68
9	450	26	-38	51	-45	76	-43	101	-43
11	550	21	-129	36	-137	53	-133	71	-132
13	650	18	129	32	126	48	129	63	129
15	750	11	33	21	26	30	32	39	32
17	850	9	-50	17	-52	24	-44	32	-43
19	950	7	-145	13	-142	19	-133	26	-134
		<b>THDi(%)</b>	<b>THDv(%)</b>	<b>THDi(%)</b>	<b>THDv(%)</b>	<b>THDi(%)</b>	<b>THDv(%)</b>	<b>THDi(%)</b>	<b>THDv(%)</b>
		100.31	4.56	100.65	4.51	99.19	4.52	98.66	4.44
		<b>I(mA)</b>	121	<b>I(mA)</b>	232	<b>I(mA)</b>	354	<b>I(mA)</b>	476

Tabla 41-Medición recabadas de 1 hasta 4 LFC (Alic).

Las señales de corriente en el dominio del tiempo obtenidas con el analizador de armónicos **HIOKI 3166**, se muestra en la siguiente Figura 117.

#### Señales de corriente a tensión constante(220 V)

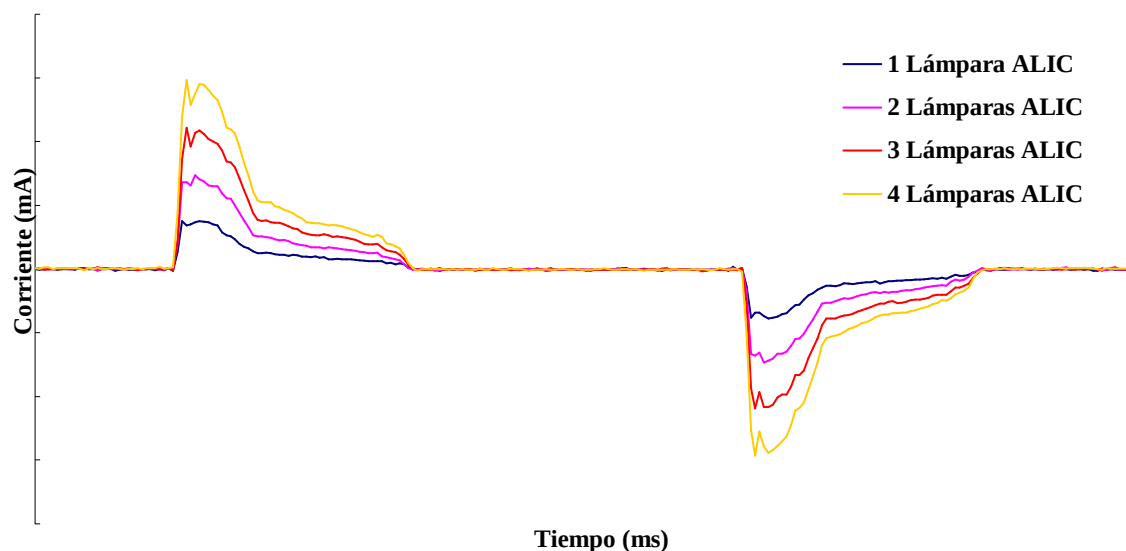


Figura 117-Señales de corrientes en el dominio del tiempo.



A continuación se representa en un mismo gráfico (Figura 118) el espectro de frecuencia de todas las cargas en paralelo.

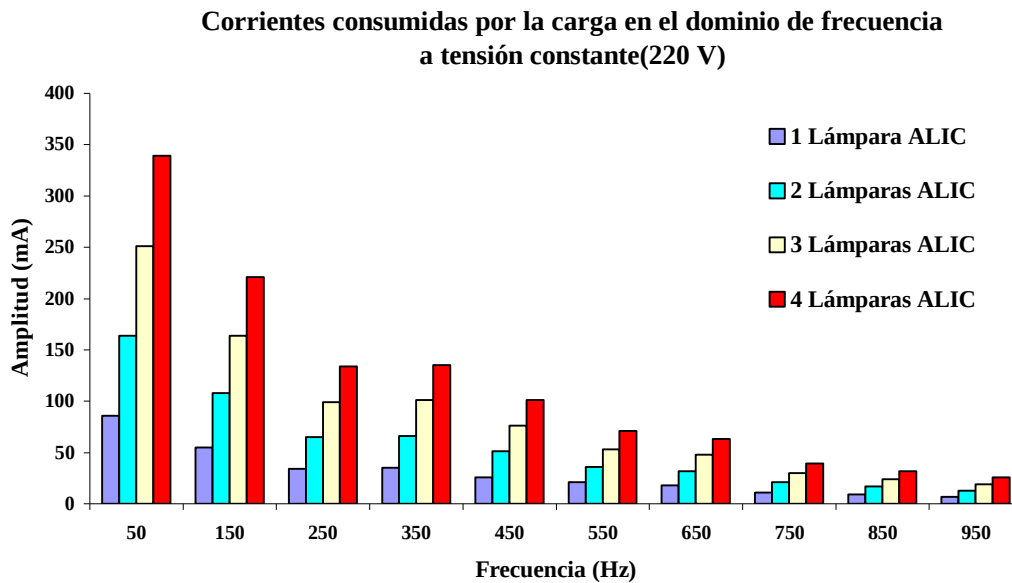


Figura 118-Espectro de frecuencia de 1 a 4 LFC.

Para analizar los valores de THD<sub>v</sub> y THD<sub>i</sub> obtenidas de estas 4 lámparas, se realizan las siguientes gráficas (Figuras 119 y 120).

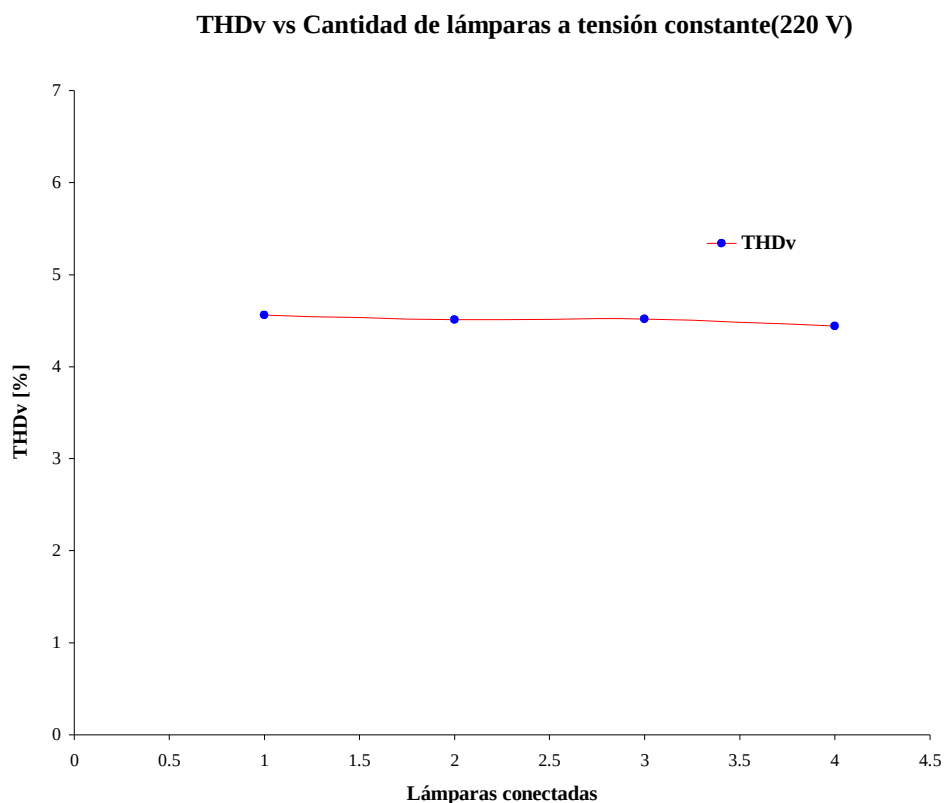


Figura 119-THD<sub>v</sub> en función de la cantidad de lámparas.

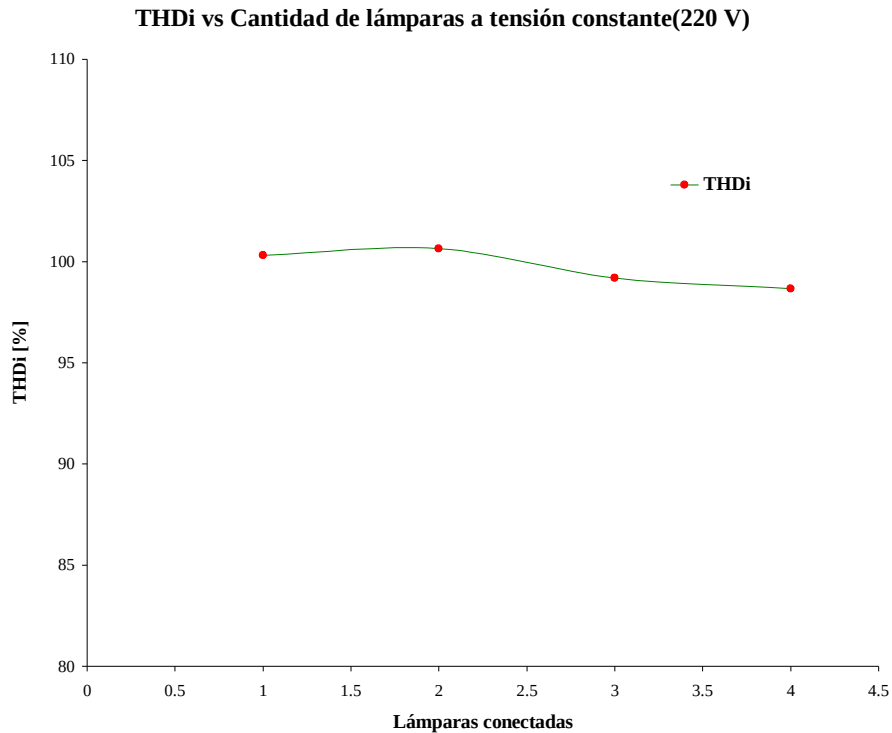
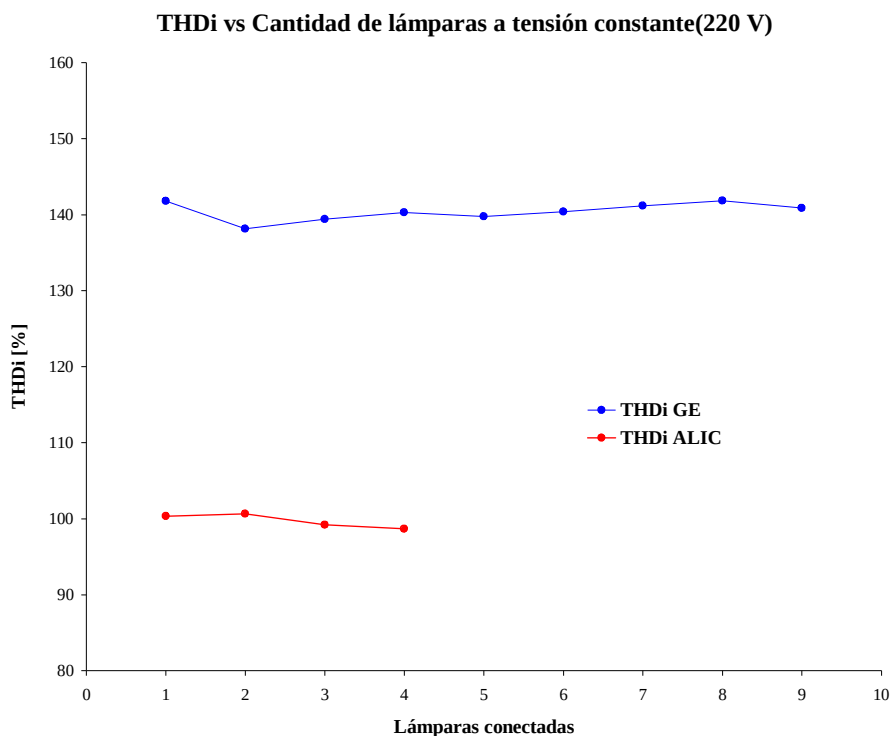


Figura 120-THDi en función de la cantidad de lámparas.

Con este último ensayo se puede comprobar que lámparas de un mismo fabricante generan casi la misma tasa de distorsión armónica, con lo que el efecto diversidad es poco apreciable. Cabe destacar que en comparación con las lámparas utilizadas en un primer momento (**General Electric**), estas últimas poseen una menor THDi (Figura 121) y otra forma de señal de corriente.

Figura 121-Comparación en la THDi entre LFC Alic y **General Electric**.



Como hasta el momento no se puede apreciar el comportamiento del efecto diversidad y quedando en la duda de que el mismo se produce, se propone realizar dos nuevos ensayos, en la cual se contará con 4 lámparas de las mismas características (LFC de 20W cada una), pero de diferentes marcas (**General Electric, Alic, Eurolamp, Osram**), como se muestran en la Figura 122.



Figura 122- LFC de 20W (**Osram y Eurolamp**).

**Primer ensayo**

En el primer ensayo, se mide la tasa de distorsión de corriente individual (THDi) de cada lámpara a tensión constante (nuevo variac a 220V), utilizando el analizador de armónicos **HIOKI 3166**. Los valores obtenidos con el instrumento de medición se muestran a continuación en la siguiente Tabla 42.

Marcas:		GE		EUROLAMP		ALIC		OSRAM	
Ar.	f (Hz)	Amp.(mA)	Áng(°)	Amp.(mA)	Áng(°)	Amp.(mA)	Áng(°)	Amp.(mA)	Áng(°)
1	50	60	20	80	21	87	25	101	25
3	150	47	-118	61	-115	61	-100	67	-98
5	250	32	120	40	126	37	160	39	168
7	350	26	13	34	23	33	65	35	75
9	450	25	-104	32	-94	25	-48	23	-33
11	550	22	134	27	146	14	-140	12	-109
13	650	17	21	20	38	12	134	11	169
15	750	16	-94	19	-73	7	39	7	99
17	850	14	149	15	171	6	-7	9	34
19	950	10	37	11	69	8	-90	9	-72
		<b>THDi(%)</b>	<b>THDv(%)</b>	<b>THDi(%)</b>	<b>THDv(%)</b>	<b>THDi(%)</b>	<b>THDv(%)</b>	<b>THDi(%)</b>	<b>THDv(%)</b>
		129.45	3.85	123.92	3.83	99.95	3.76	91.23	3.78
		<b>I(mA)</b>	100	<b>I(mA)</b>	128	<b>I(mA)</b>	124	<b>I(mA)</b>	138

Tabla 42-Medición recabadas de 1 LFC de cada fabricante.





Comparando los distintos índices de distorsión de corriente individuales (Figura 123), podemos observar que de las 4 lámparas ensayadas, el que presenta menor THDi es el de marca **Osram**, garantizando una mejor calidad del producto.

#### Comparación de las Tasa individuales de distorsión de corriente

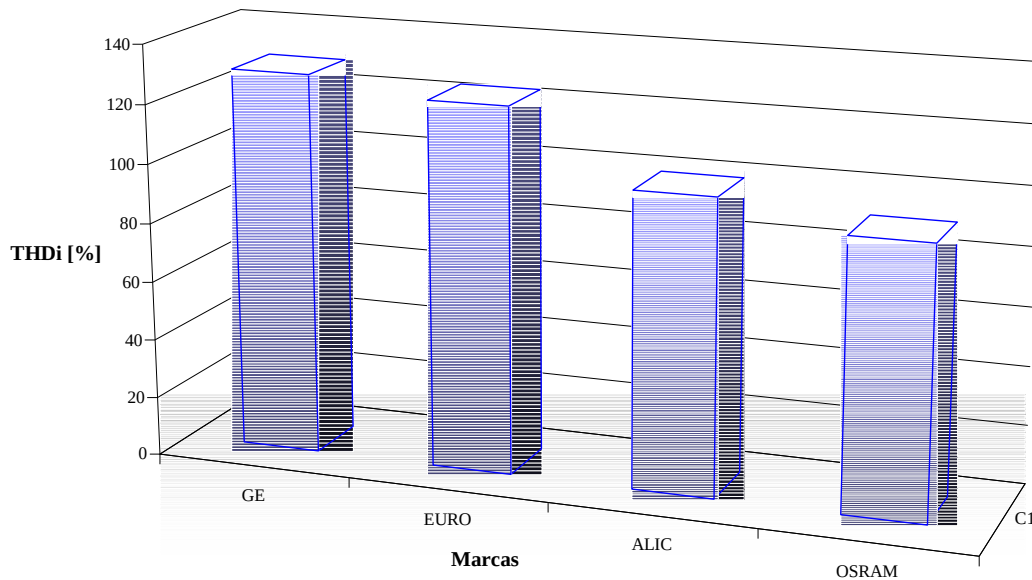


Figura 123- THDi de 1 LFC de cada fabricante.

Las señales de corriente en el dominio del tiempo de cada lámpara se muestra en la siguiente Figura 124.

#### Señales de corrientes de las distintas marcas de lámparas LFC 20W a tensión constante(220 V)

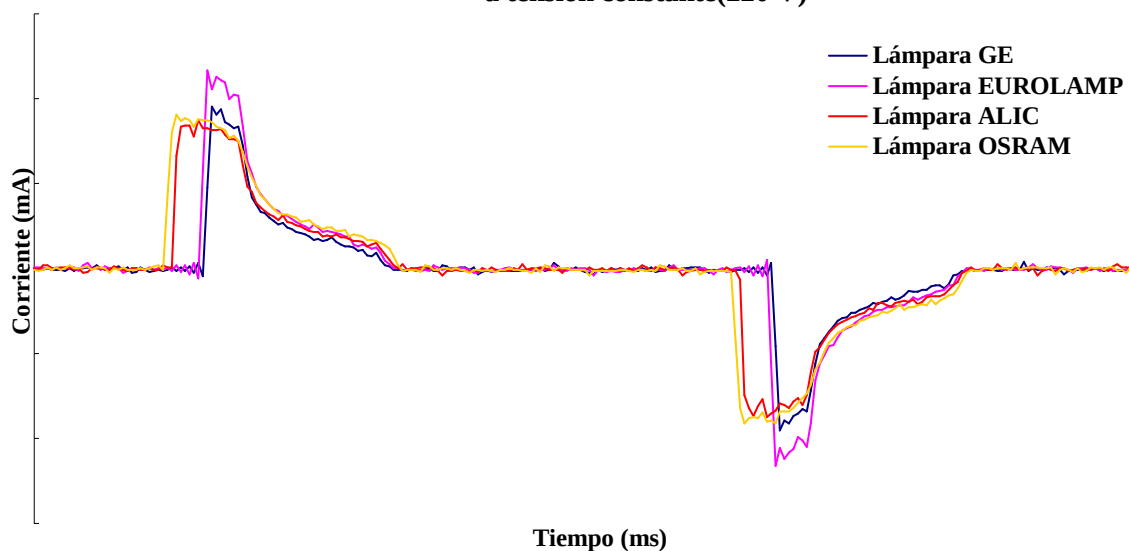


Figura 124-Señales de corrientes en el dominio del tiempo.



Se representa en un mismo gráfico (Figura 125) el espectro de frecuencia de cada una de las lámparas de los distintos fabricantes.

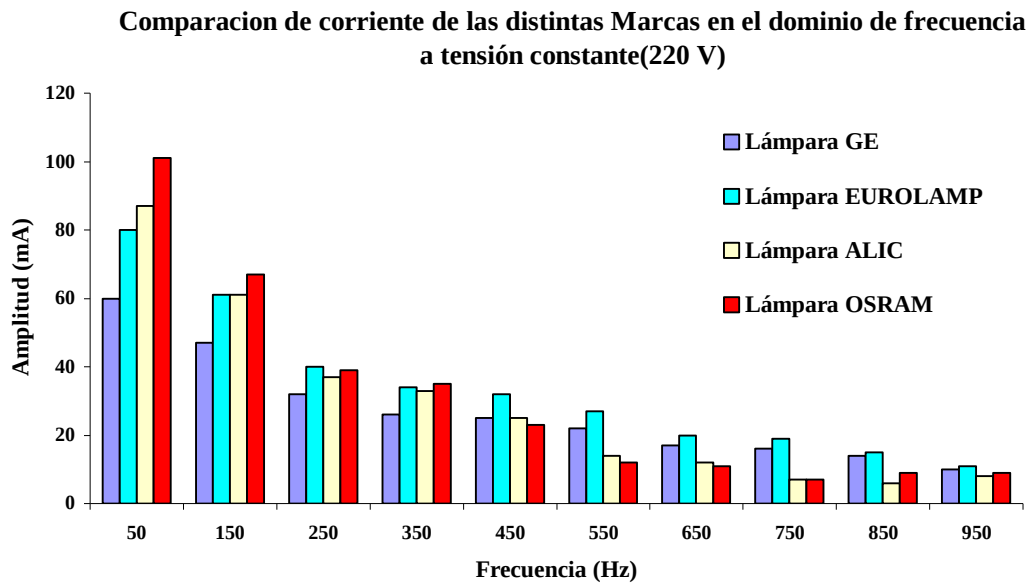


Figura 125-Espectro de frecuencia de cada marca.

**Segundo ensayo**

Con la finalidad de visualizar con mayor claridad el efecto diversidad, se propone un nuevo ensayo, en la que se irá insertando de a una, cada lámpara perteneciente a distinta marca (1 **GE**, 1 **Eurolamp**, 1 **Alic**, 1 **Osram**) hasta completar las cuatro lámparas en paralelo. Se lo realiza en una secuencia determinada, sin ninguna resistencia **R** en el circuito y a una tensión constante (220V), proporcionada por el nuevo variac anteriormente mencionado (Marca **Varitrans**). Como instrumento de medición se utiliza el analizador de armónico **HIOKI 3166**. Los valores recabados se muestran a continuación en la siguiente Tabla 43.

Número:	1 Lámpara		2 Lámparas		3 Lámparas		4 Lámparas	
Ar. f (Hz)	Amp.(mA)	Áng(°)	Amp.(mA)	Áng(°)	Amp.(mA)	Áng(°)	Amp.(mA)	Áng(°)
1	50	60	145	20	233	22	332	23
3	150	47	112	-118	171	-111	237	-108
5	250	32	74	120	106	136	140	143
7	350	26	63	13	91	35	118	44
9	450	25	62	-104	81	-85	95	-77
11	550	22	50	134	55	154	53	162
13	650	17	38	21	37	46	29	55
15	750	16	34	-94	31	-74	23	-81
17	850	14	27	149	22	153	20	117
19	950	10	19	37	13	33	17	-14
	<b>THDi(%)</b>	<b>THDv(%)</b>	<b>THDi(%)</b>	<b>THDv(%)</b>	<b>THDi(%)</b>	<b>THDv(%)</b>	<b>THDi(%)</b>	<b>THDv(%)</b>
	129.45	3.85	124.8	3.95	107.46	3.88	98.03	3.81
	<b>I(mA)</b>	100	<b>I(mA)</b>	233	<b>I(mA)</b>	342	<b>I(mA)</b>	465

Tabla 43-Medición recabadas de 1 hasta 4 LFC de 20W (distintas marcas).



Las señales de corriente en el dominio del tiempo de la incorporación de cada lámpara al circuito, se muestran en la siguiente Figura 126.

#### Corrientes en el dominio del tiempo a tensión constante(220 V)

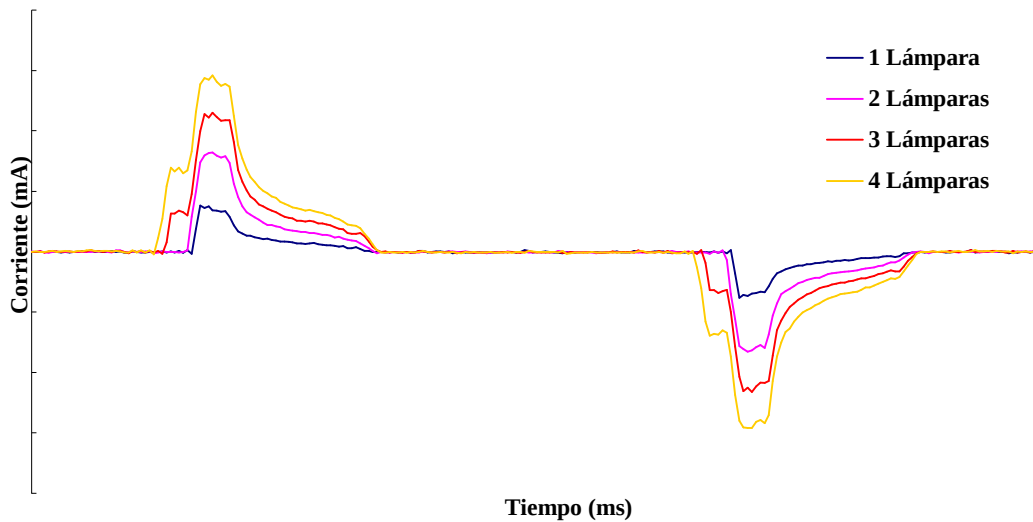


Figura 126-Señales de corrientes en el dominio del tiempo.

Se representa en un mismo gráfico (Figura 127) los espectros de frecuencia de la carga.

#### Corrientes consumidas por la carga en el dominio de frecuencia a tensión constante(220 V)

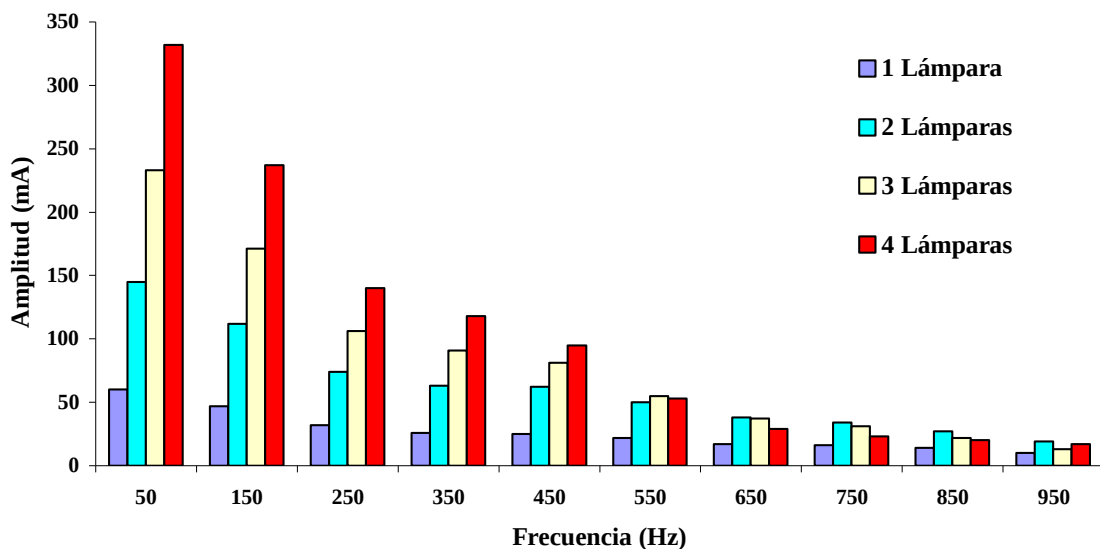


Figura 127-Espectro de frecuencia de 1 hasta 4 LFC.

A continuación (Figuras 128 y 129) se muestra el comportamiento del THDv y THDi (efecto diversidad).



### THDv vs Cantidad de lámparas a tensión constante(220 V)

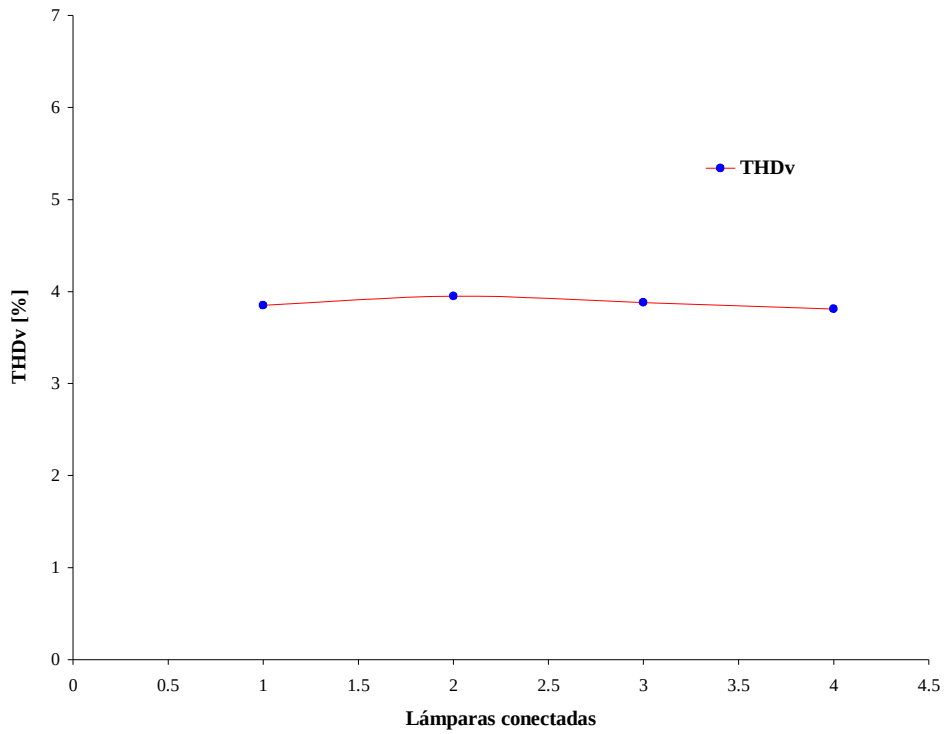


Figura 128-THDv en función de la cantidad de lámparas.

### THDi vs Cantidad de lámparas a tensión constante(220 V)

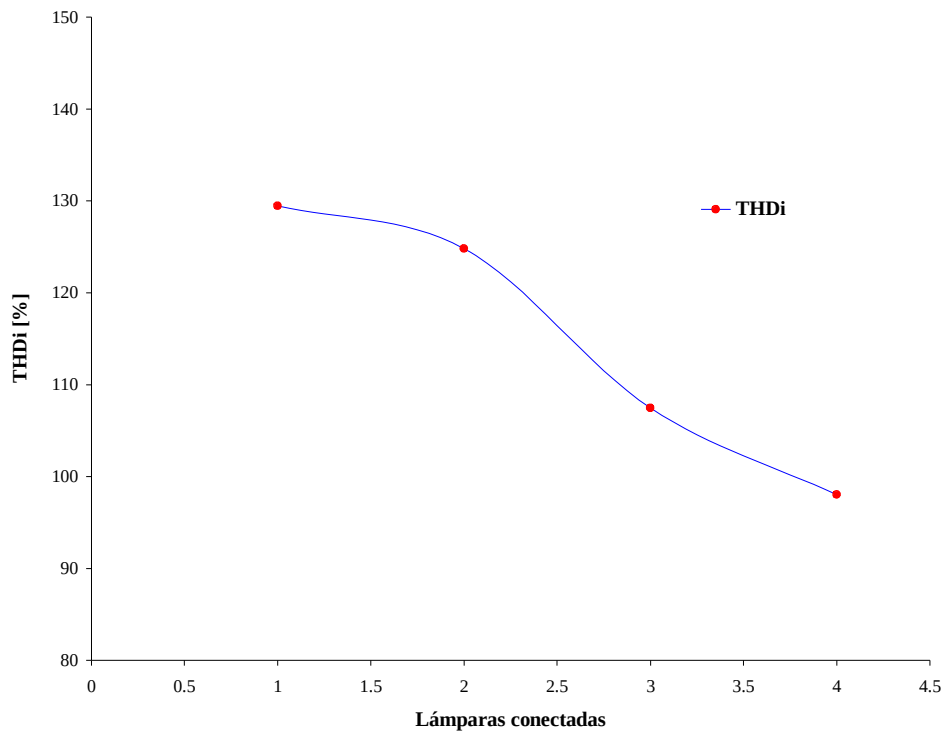


Figura 129-THDi en función de la cantidad de lámparas.



En esta última Figura 129 se puede apreciar con claridad el efecto diversidad, esto es debido a que en este caso la señal de cada lámpara y el THDi son distintas, por lo que facilita que el contenido de armónico resultante sea menor por la dispersión en el ángulo de fase de las armónicas de cargas individuales. Cabe mencionar que el valor final del THDi de las 4 lámparas conectadas (THDi=98,03%) de la última experiencia realizada, no va a ser inferior al del THDi mas pequeño individual (THDi=91,23%), ni superior al del THDi mayor individual (THDi=129,45%).

A continuación, se calcula el factor diversidad para éstas 4 lámparas (Tabla 44), permitiendo de esta manera, analizar cuales son los armónicos que presentan una cancelación importante.

Factor de diversidad de 4 lámparas LFC 20W (distintas marcas)										
Nº armónico	1	3	5	7	9	11	13	15	17	19
FD	1	0.996	0.946	0.922	0.905	0.707	0.483	0.469	0.455	0.447

Tabla 44-Factor diversidad para 4 LFC de 20W cada una.

La representación gráfica del factor diversidad (FD) se muestra a continuación en la Figura 130.

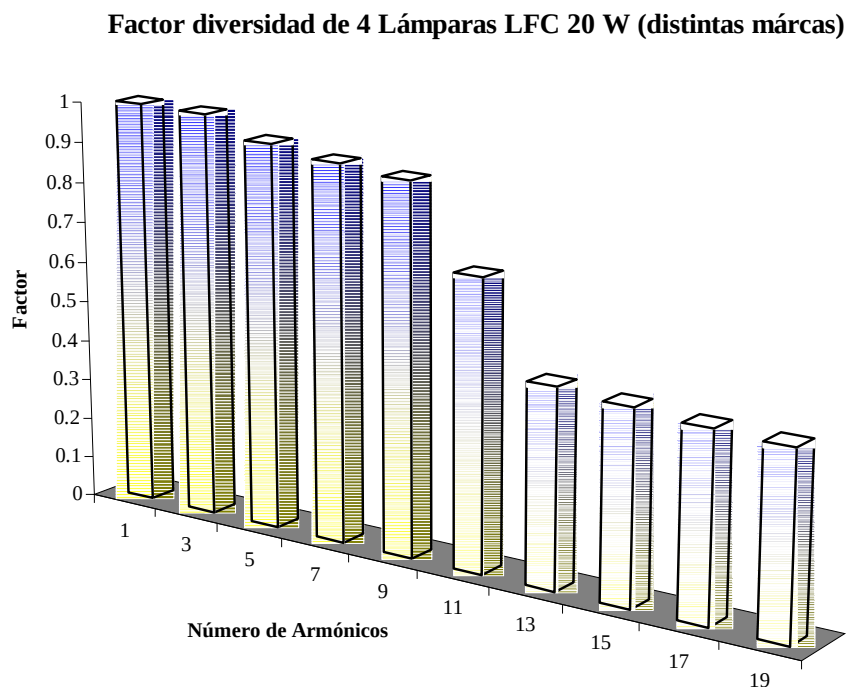


Figura 130-Factor diversidad para 4 LFC de 20W cada una.

De la gráfica anterior (Figura 130) se observa que el efecto de diversidad es insignificante en la evaluación de las armónicas 3, 5, 7, 9 y 11, mientras que, para las de orden superior tienen una incidencia más significativa (reducción de mas del 50%).



### Análisis de la influencia del THDv de la red sobre las mediciones

Habiendo anteriormente analizado como influye la variación de la tensión (RMS) de la carga en las mediciones recabadas, ahora estudiaremos como afecta la variación del THDv de la red sobre las mediciones del THDi, manteniendo la tensión constante (220V). Para ello, se utilizaron los datos extraídas de distintos ensayos realizados en los diferentes días, sobre una misma lámpara (**General Electric**) y empleando siempre el nuevo variac (Marca **Varitrans**). De esta manera, se confecciona la siguiente Tabla 45.

1 Lámpara GE a tensión constante (220V)			
Tipo de ensayo	THDv	THDi	Tensión aprox. [V]
Ensayo 4GE y 4ALIC	4.5	113.41	220.71
Ensayo 4 distintas	3.85	129.45	220.49
Ensayo 1 a 9 LFC GE	3.7	141.78	220.03

Tabla 45- Influencia del THDv de la red sobre el THDi de la carga.

Cabe aclarar que los valores de THDv, son productos de las variaciones provenientes de la misma red, es decir, que la influencia de la carga en cuestión sobre la red es poco significativa (verificado con y sin la carga utilizando el instrumental **PROVA 21 Power Harmonics & Leakage Tester**).

En el siguiente gráfico (Figura 131) se representa los valores de la Tabla 45.

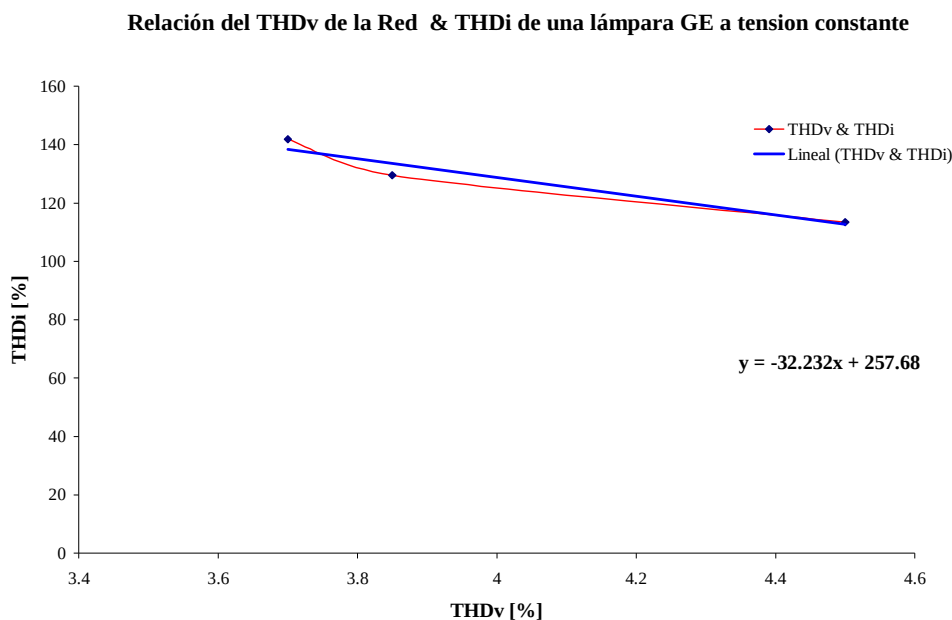


Figura 131- THDi en función de THDv.

En la gráfica anterior (Figura 131), se observa que los valores obtenidos tienen un comportamiento aproximadamente lineal, lo que nos permite obtener la ecuación de la recta. Esto es, solo válido para tal lámpara y manteniendo la tensión constante (220V). También, se puede visualizar como una pequeña discrepancia del THDv provoca una mayor variación del THDi. Es importante tener en cuenta este análisis para la realización de los ensayos, debido a que, si tanto el THDv como la tensión (RMS) de la red oscilan, las mediciones pueden tener errores significativos. Además lo trascendente de la experiencia realizada con este tipo de



lámpara, es que si la distorsión de tensión es menor, el THDi provocada por la lámpara es mayor.

### Efecto de Atenuación

Hasta aquí solo se ha estudiado el efecto diversidad sin considerar el efecto de atenuación. Éste último aparece al conectar un número significativo de cargas idénticas no lineales a una fuente de alimentación, generando una distorsión de la onda aplicada, debido a que la caída de tensión en la impedancia de la red es no lineal. La existencia de armónicos de tensión y de corriente genera una interacción entre ambos, reduciendo la contribución total respecto a la individual.

Para observar la existencia del efecto atenuación, es que se utilizan los valores extraídos del ensayo con nueve LFC GE de 20W cada una. Como se estudió en su momento, el efecto diversidad utilizando lámparas iguales (misma marca) era insignificante, por lo que es útil para analizar este nuevo fenómeno (Tabla 46 y Figura 132).

1 a 9 LFC marca GE a tensión constante				
Ar.	f (Hz)	FA 3 LFC	FA 6 LFC	FA 9 LFC
1	50	1.00	0.99	1.00
3	150	1.00	1.00	1.01
5	250	0.98	0.98	1.01
7	350	1.00	0.99	1.01
9	450	1.02	1.02	1.02
11	550	1.01	1.02	1.03
13	650	0.97	0.96	0.97
15	750	0.95	0.95	0.95
17	850	0.93	0.94	0.95
19	950	0.83	0.84	0.84

Tabla 46-Factor de atenuación para 3, 6 y 9 LFC (GE) a tensión constante.

#### Factor de Atenuación de 1 a 9 LFC (GE) a Tensión constante

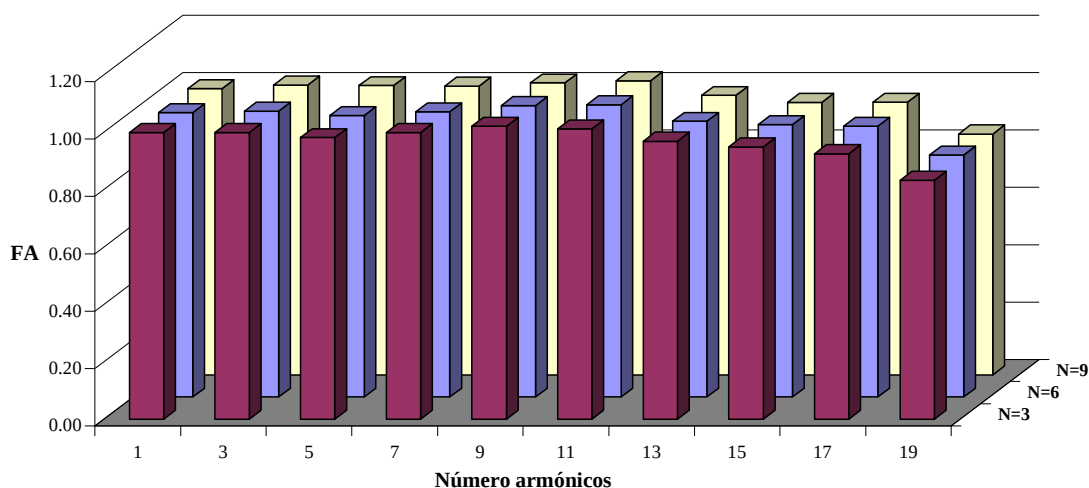


Figura 132-Factor de atenuación para 3, 6 y 9 LFC (GE) a tensión constante.



Como se puede observar de la figura anterior, la atenuación recién es apreciable a partir de la armónica 13, y a su vez, tal tendencia no se ve incrementada con N, por lo que para confirmar lo expuesto anteriormente se utilizan los valores medidos con las resistencias  $R=15,5$  y  $3,8\Omega$ , como se muestran en las siguientes Tablas 47, 48 y Figuras 133, 134.

1 a 9 LFC con $R=15,5$ Ohm marca GE				
Ar.	f (Hz)	FA 3 LFC	FA 6 LFC	FA 9 LFC
1	50	1.02	1.03	1.02
3	150	1.04	0.98	0.94
5	250	0.98	0.76	0.65
7	350	0.90	0.64	0.50
9	450	0.83	0.59	0.49
11	550	0.81	0.44	0.33
13	650	0.71	0.40	0.30
15	750	0.69	0.46	0.36
17	850	0.64	0.32	0.19
19	950	0.50	0.32	0.24

Tabla 47-Factor de atenuación para 3, 6 y 9 LFC (GE) con  $R=15,5\Omega$ .

1 a 9 LFC con $R=3,8$ Ohm marca GE				
Ar.	f (Hz)	FA 3 LFC	FA 6 LFC	FA 9 LFC
1	50	0.96	0.96	0.95
3	150	0.97	0.99	0.98
5	250	0.94	0.96	0.93
7	350	0.94	0.94	0.85
9	450	0.93	0.91	0.82
11	550	0.87	0.80	0.68
13	650	1.00	0.81	0.66
15	750	1.00	0.78	0.64
17	850	0.92	0.68	0.52
19	950	1.00	0.72	0.53

Tabla 48- Factor de atenuación para 3, 6 y 9 LFC (GE) con  $R=3,8\Omega$ .

Factor de Atenuación de 1 a 9 LFC (GE) con  $R=15,5\text{ohm}$

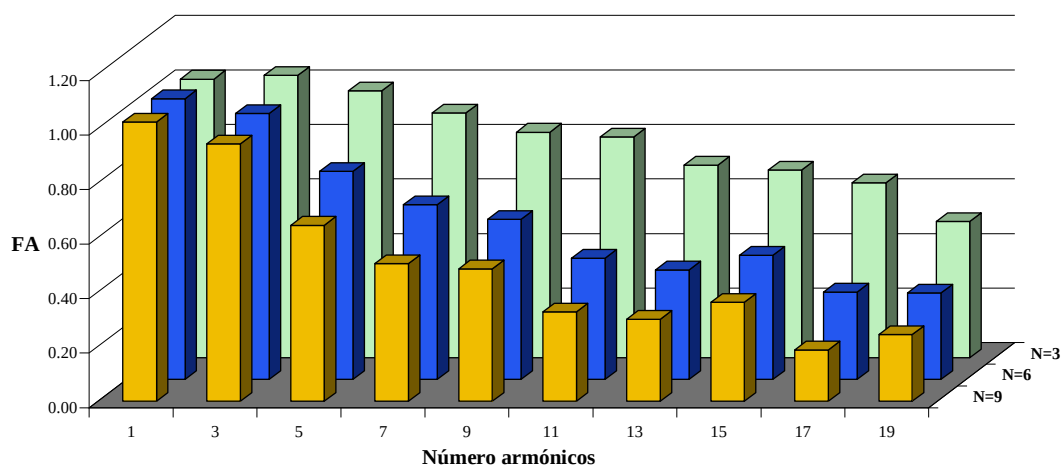
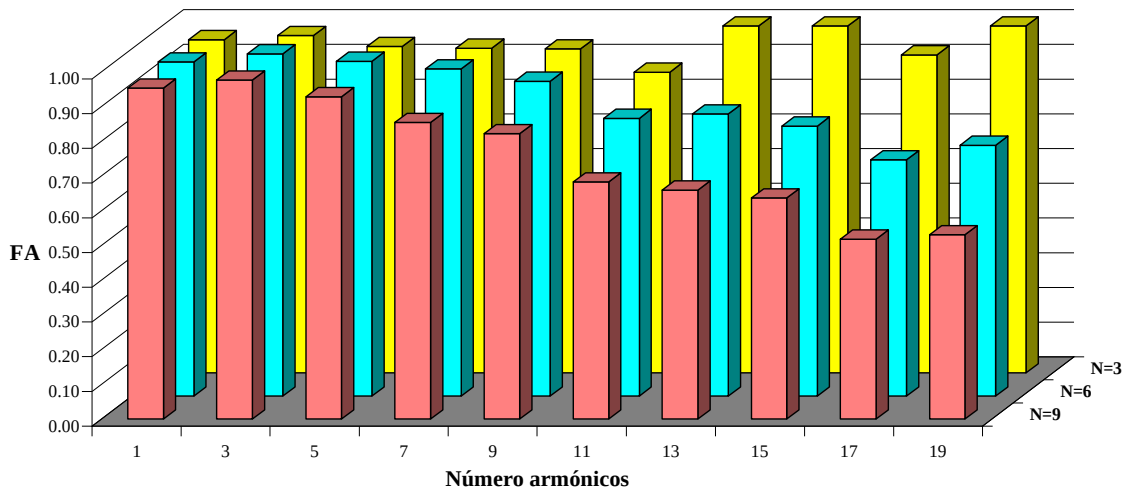


Figura 133-Factor de atenuación para 3, 6 y 9 LFC (GE) con  $R=15,5\Omega$ .



Factor de Atenuación de 1 a 9 LFC (GE) con  $R=3,8\Omega$ Figura 133-Factor de atenuación para 3, 6 y 9 LFC (GE) con  $R=3,8\Omega$ .

De esta manera, se observa con claridad el fenómeno de atenuación y como éste aumenta con  $N$ . Este comportamiento es debido a que al agregarle una resistencia, lo que se está haciendo es incrementar la impedancia del sistema visto desde el punto PCC, por lo que se distorsiona aun más la tensión vista por la carga (debido a la caída de tensión producto de las resistencias).

También es posible realizar un análisis más exhaustivo observando este nuevo efecto en lámparas fluorescentes compactas de igual potencia pero de distinta marca. Para ello se utilizará los valores extraídos del ensayo con 4 LFC de 20W cada una (**GE, Alic, Eurolamp, Osram**), como se muestra a continuación en la Tabla 49 y Figura 134.

1 a 4 LFC de distintas marcas a tensión constante				
Ar.	f (Hz)	FA 2 LFC	FA 3 LFC	FA 4 LFC
1	50	1.21	1.29	1.38
3	150	1.19	1.21	1.26
5	250	1.16	1.10	1.09
7	350	1.21	1.17	1.13
9	450	1.24	1.08	0.95
11	550	1.14	0.83	0.60
13	650	1.12	0.73	0.43
15	750	1.06	0.65	0.36
17	850	0.96	0.52	0.36
19	950	0.95	0.43	0.43

Tabla 49-Factor de atenuación para 2, 3 y 4 LFC de distintas marcas.

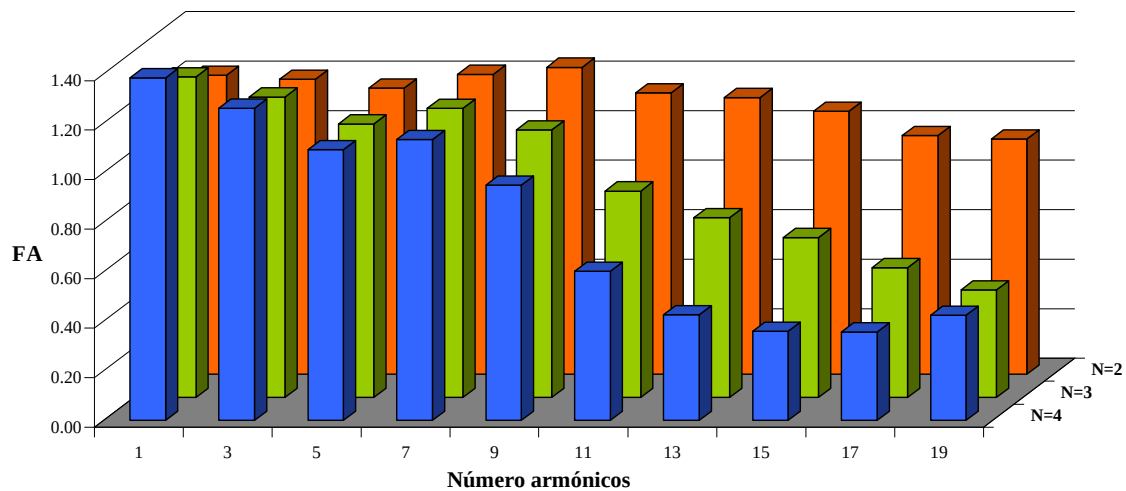
**Factor de Atenuación de 1 a 4 LFC (distintas marcas) a Tensión constante**

Figura 134-Factor de atenuación para 2, 3 y 4 LFC con distintas marcas.

De la gráfica anterior (Figura 134) se puede visualizar, al igual que en el efecto de diversidad, que la apreciación de la atenuación es significativo y que a mayor cantidad de lámparas conectadas en paralelo, éste fenómeno es más apreciable. El hecho radica en que aunque las lámparas sean idénticas en potencia, al ser distintas en marca, sus valores de THDi no son similares, provocando que tanto el efecto diversidad como el de atenuación se acentúen aun más.

**Comparación con normativas actuales**

De todo el estudio realizado para las lámparas fluorescentes compactas de 20W, ya sea para la marca General Electric, Alic, Eurolamp y Osram, las cuales poseen una tasa de distorsión total de corriente desde un THDi= 90% a 144%, se notan que superan ampliamente los límite permitidos por la norma vigentes del Ente Nacional Regulador de la Electricidad cuyas resoluciones son **ENRE 0099/1997. Boletín Oficial n° 28.583**. Comparando también los valores de THDv producto de la superposición de la distorsión propia de la red mas las generadas por las lámparas, desde un THDv= 3.7% a 4.6%, se observa que se hallan por debajo de los límites establecidos por las normas **ENRE 0465/1996. Boletín Oficial n° 28.470** y **IEEE 519** (ver detalle en el capítulo de Normas y Recomendaciones).



## CAPÍTULO 3.5-Ensayo con variador de velocidad

Siguiendo con el estudio de cargas alineales, se procederá a analizar el comportamiento de otra fuente de intensidad de armónicas como los son los variadores de velocidad de motores. Como se mencionó en un principio, estos equipos son generadores de armónicos debido a su constitución mediante elementos electrónicos y en ellos nos basaremos.

Gracia a la posibilidad brindada por la Empresa Obras Sanitarias Mar del Plata – Sociedad de Estado, se procederá a realizar un ensayo con un variador de velocidad conectado sobre una carga puntual en dicha instalación.

Dicho establecimiento municipal, tiene a su cargo la prestación, administración, explotación, mantenimiento, control, ampliación, renovación, construcción, estudios, investigación y aplicación de nuevas tecnologías de los servicios de provisión de agua potable, desagües domiciliarios, cloacales, industriales y/o de cualquier otro carácter y en general del saneamiento básico en el partido de Gral. Pueyrredón, así como la explotación, captación y utilización de las aguas destinadas a tal fin. Para la reparación y reclamos, Mar del Plata se divide en dos zonas, estableciéndose para ello la Base Sur (ubicada en Av.Mario Bravo y Cabrerías) y la Base Norte (calle French 6737). Ésta última sede se inaugura en el mes de diciembre del año 1998 y detrás de la misma se pone en marcha el Centro de Abastecimiento Szpyrnal (C.A.S) con capacidad para 20.000.000 litros de agua (Figura 135). En él se centra el agua proveniente del acueducto Norte y su función es la de suministrar tal efluente a los distintos barrios de la zona a través dos electrobombas (Figuras 136 y 137).



Figura 135- Centro de Abastecimiento Szpyrnal (C.A.S).



Figura 136-Electrobombas (C.A.S).



Figura 137-Electrobomba (C.A.S).

Las características de chapa de ambos motores son:

- **Marca:** Siemens.
- **Nº:** 9LAG-310-4AA64-Z.
- **Potencia:** 121 KW.
- **Corriente nominal:** 215 A.
- **cosφ:** 0,86.
- **1/min:** 1484.
- **Frecuencia:** 50 Hz.
- **D:** 400V/ **Y:** 690V.

El variador de velocidad correspondiente a la Electrobomba de la Figura 137 se muestra a continuación (Figura 138).



Figura 138-Variador de velocidad.

Las características del variador de velocidad son:

- **Marca:** ABB - ACS 600.
- **Tipo:** ACS 607-0170-3.
- **Nº:** 14856/20.
- **Tensión:** 380 - 415V.
- **Corriente nominal:** 259 - 299A.
- **Frecuencia:** 48 - 63 Hz.

### **Primer ensayo con medición de una fase**

El primer ensayo consistirá en conectar una pinza sensora de corriente del analizador de armónico **HIOKI 3166** sobre una de las tres fases y dos de tensión sobre dos fases, como muestra la siguiente Figura 139.

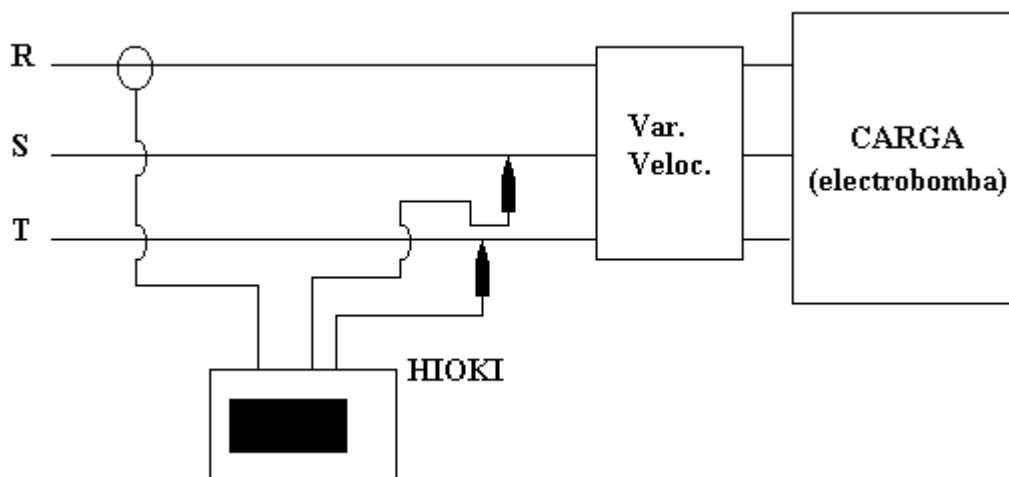


Figura 139-Conexión del ensayo con variador de velocidad (1 fase).



Los valores recabados por el instrumental de medición se muestran a continuación en la Tabla 50.

Número:		Fase R(I1)	
Armón.	Frec.(Hz)	Amp.(A)	Ángulo(°)
1	50	86.84	15.87
3	150	11.47	120.11
5	250	45.31	-82.86
7	350	17.36	109.33
9	450	2.9	-7.49
11	550	12.37	-118.8
13	650	4.91	84.02
15	750	2.15	116.18
17	850	2.32	-151.04
19	950	1.91	23.6
		<b>THDi(%)</b>	<b>THDv(%)</b>
		51.3	4.48
		<b>I(A)</b>	101.18

Tabla 50-Mediciones recabadas del primer ensayo.

Las señales de tensión y corriente en el dominio del tiempo obtenidas con el analizador de armónicos **HIOKI 3166**, se muestra en la siguiente Figura 140.

#### Una fase del Variador de Velocidad

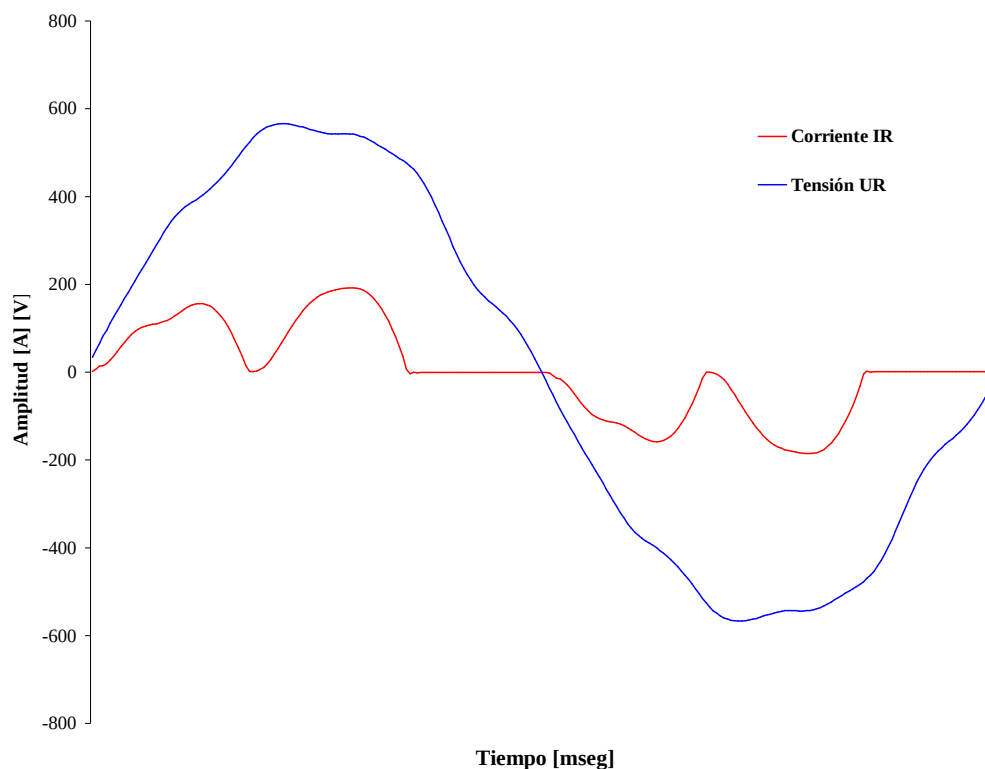


Figura 140-Señales de tensión y corriente el dominio del tiempo.



La representación de la señal de corriente en el dominio de frecuencia se muestra a continuación en la Figura 141.

#### Corriente IR del Variador de Velocidad en el dominio de frecuencia

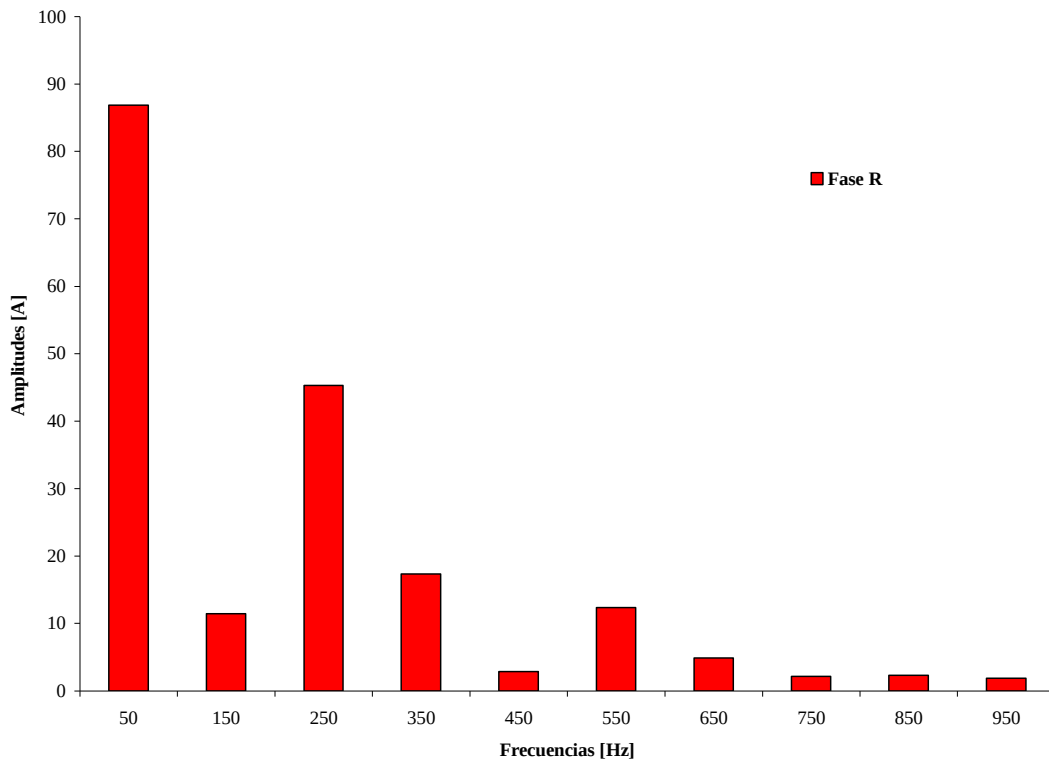


Figura 141-Espectro de frecuencia de la señal de corriente.

#### Segundo ensayo con medición de tres fases

El segundo ensayo consistirá en conectar las tres pinzas sensoras de corriente y de tensión del analizador de armónico **HIOKI 3166** sobre cada una de las tres fases como muestra la siguiente Figura 142.

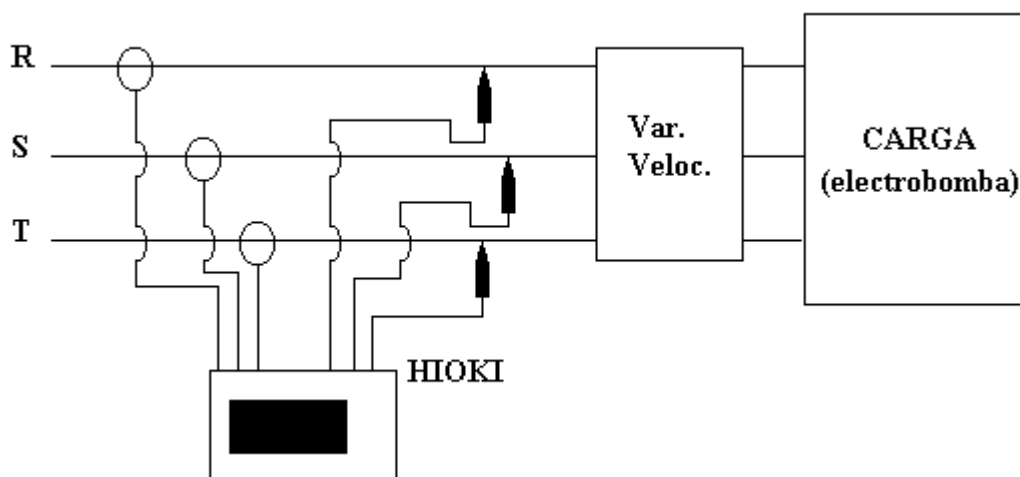


Figura 142-Conexión del ensayo con variador de velocidad (3 fases).



Los valores recabados con el instrumental de medición se muestran a continuación en la Tabla 51.

Número:		Fase R(I1)		Fase S(I2)		Fase T(I3)	
Armón.	Frec.(Hz)	Amp.(A)	Ángulo(°)	Amp.(A)	Ángulo(°)	Amp.(A)	Ángulo(°)
1	50	90.06	-48.49	69.98	-159.74	86.84	15.87
3	150	18.27	-41.37	2.59	-98.05	11.47	120.11
5	250	46.59	-22.77	35.12	97	45.31	-82.86
7	350	18.28	55.42	13.09	-62.68	17.36	109.33
9	450	1.82	168.6	1.12	158.61	2.9	-7.49
11	550	11.16	-88.16	9.58	59.43	12.37	-118.8
13	650	6.53	-3.91	6.98	-104.9	4.91	84.02
15	750	2.52	-110.5	1.06	52.94	2.15	116.18
17	850	2.37	-100.55	1.86	47.61	2.32	-151.04
19	950	2.28	-64.16	1.66	-158.94	1.91	23.6
		<b>THDi(%)</b>	<b>THDv(%)</b>	<b>THDi(%)</b>	<b>THDv(%)</b>	<b>THDi(%)</b>	<b>THDv(%)</b>
		61.23	3.43	56.65	3.43	51.3	4.48
		<b>I(A)</b>	105.6	<b>I(A)</b>	80.4	<b>I(A)</b>	101.18

Tabla 51-Mediciones recabadas del segundo ensayo.

Las señales de tensión y corriente en el dominio del tiempo obtenidas con el analizador de armónicos **HIOKI 3166**, se muestran en las siguientes Figuras 143, 144, 145 y 146. La representación de las señales de corrientes en el dominio de frecuencia se muestra en la Figura 147.

#### Tensiones Trifásicas del Variador de Velocidad

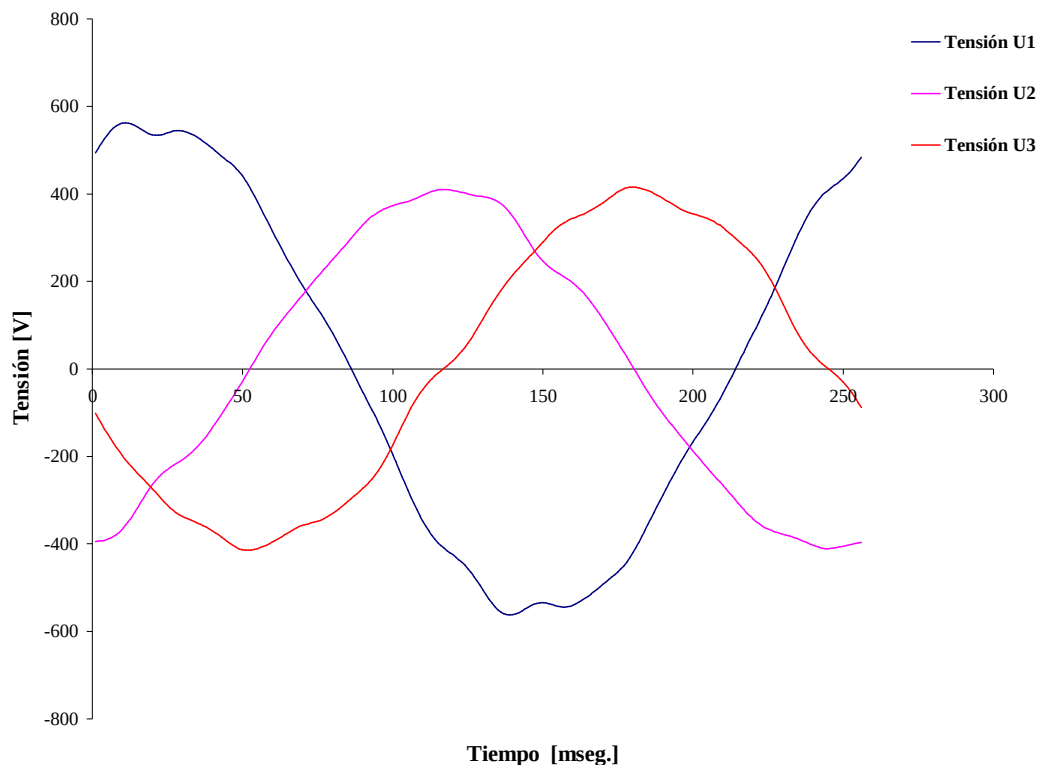
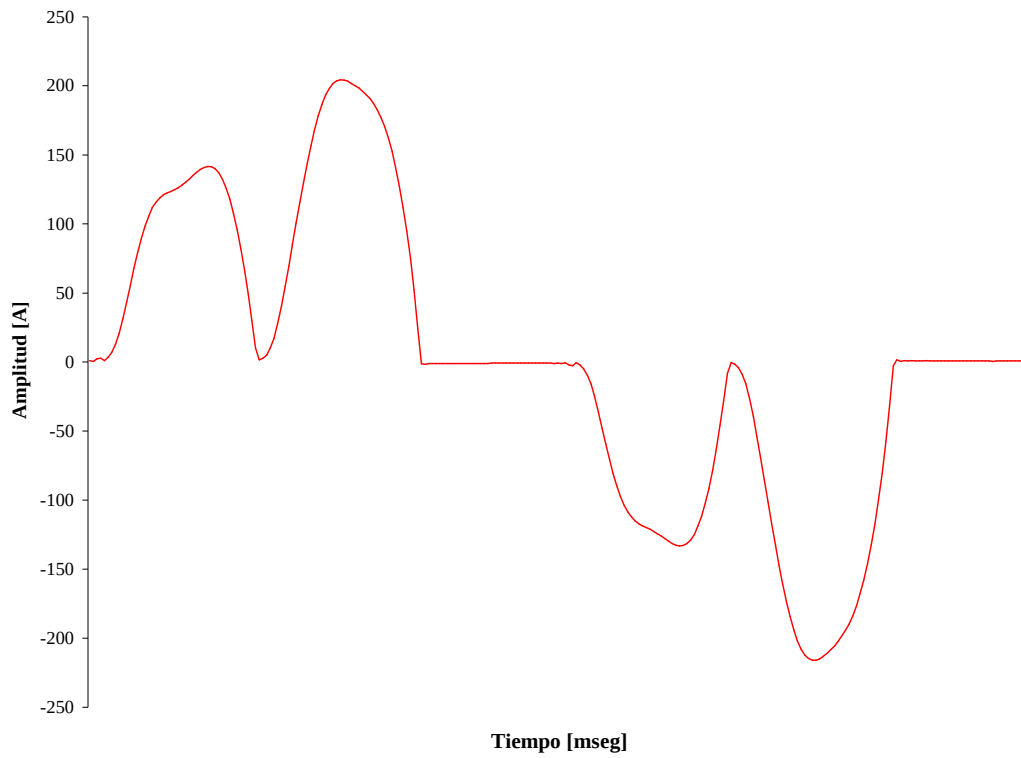


Figura 143-Señales de tensión en el dominio del tiempo.  
Figura 144-Señal de corriente  $I_R$  en el dominio del tiempo.





### Corriente IR del Variador de Velocidad



### Corriente IS del Variador de Velocidad

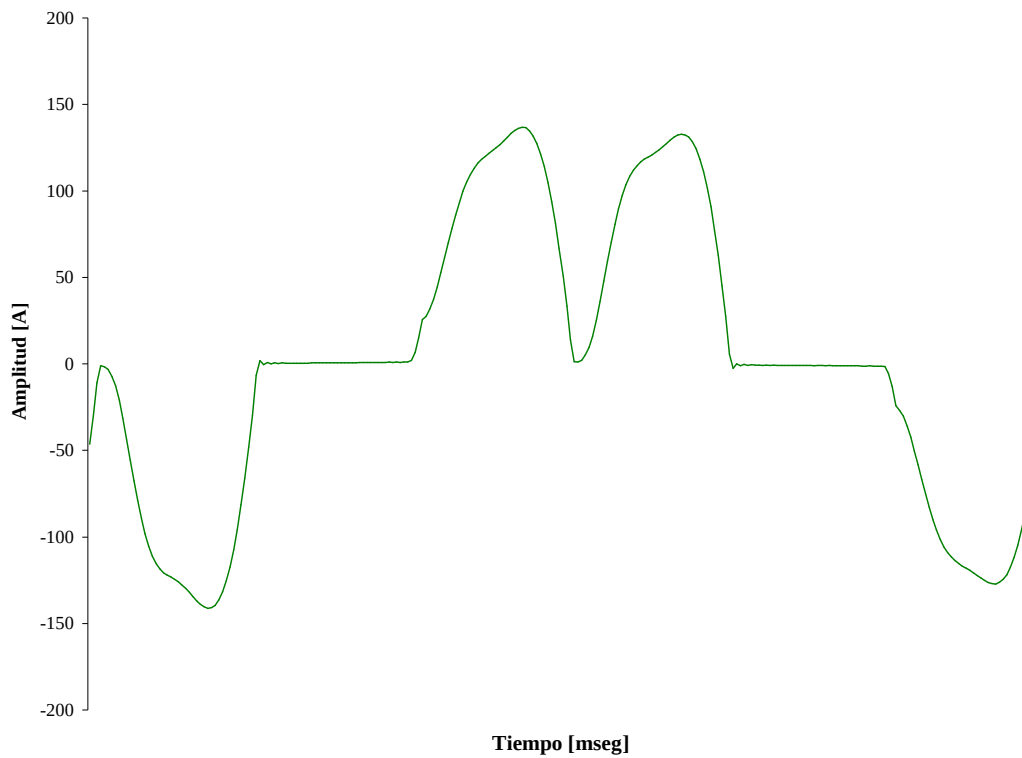
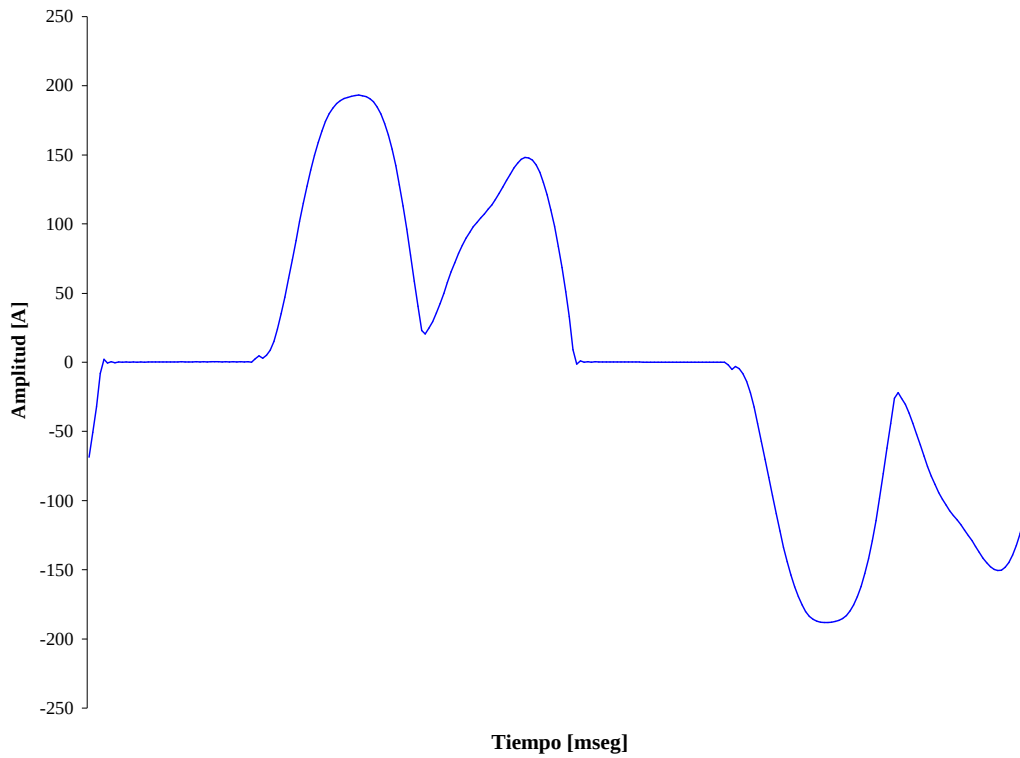


Figura 145-Señal de corriente  $I_S$  en el dominio del tiempo.  
Figura 146-Señal de corriente  $I_T$  en el dominio del tiempo.



### Corriente IT del Variador de Velocidad



### Corrientes Trifasicas del Variador de Velocidad en el dominio de frecuencia

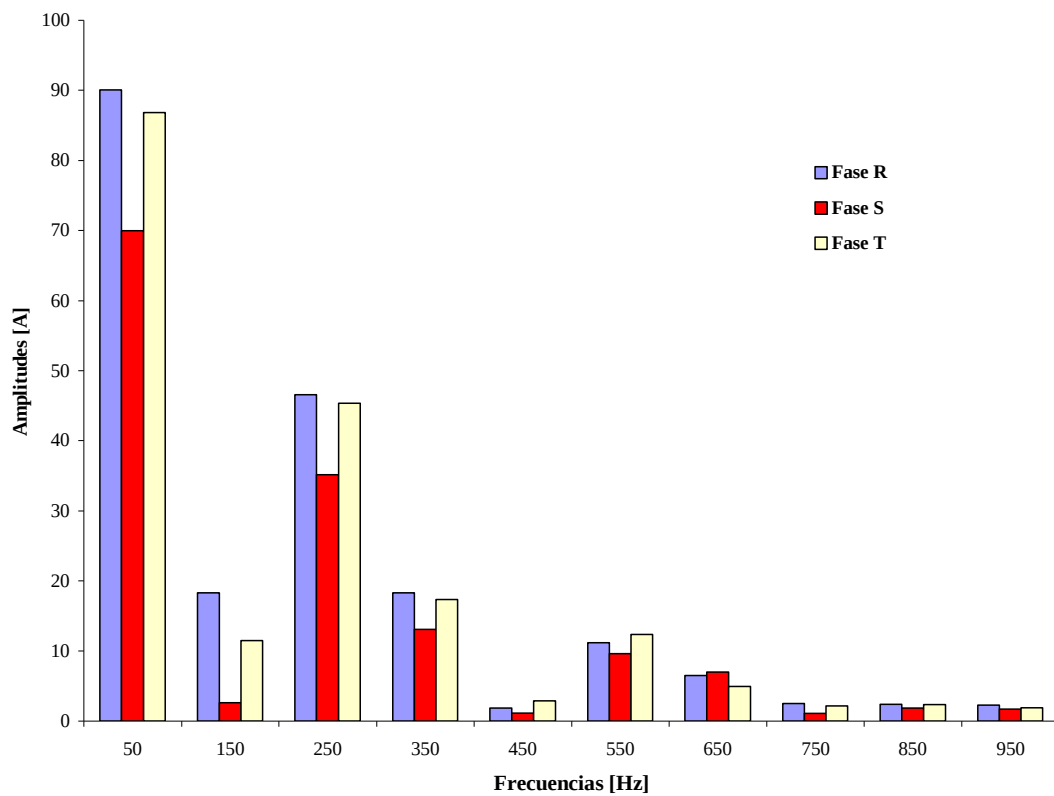


Figura 147-Espectros de frecuencia de las señales de corrientes trifásicas.

### Análisis de los datos relevados



Observando los valores recabados con el instrumental de medición (**HIOKI 3166**) de los dos ensayos realizados, podemos notar que los índices más significativos de distorsión total de corriente y de tensión fue para el ensayo trifásico (**Fase R**) con **THDi=61.23%**. y (**Fase T**) con **THDv=4.48%**. Comparando estas tasas con las normas vigentes del Ente Nacional Regulador de la Electricidad cuyas resoluciones son **ENRE 0099/1997. Boletín Oficial n° 28.583** y **ENRE 0465/1996. Boletín Oficial n° 28.470** (Detalladas en el capítulo de Normas y Recomendaciones) y teniendo en cuenta que la empresa Obras Sanitarias pertenece a una categoría **T3** (MT 1 kV<U<66 kV ), se puede determinar que el THDi del variador de velocidad supera el límite máximo permitido por dicha norma (THDi=20%). Debido ésto, es que dicha instalación podría estar en presencia de de una posible penalización, no así en cuanto al THDv, el cual se encuentra por debajo del índice permitido para la categoría MT (8%).



## CAPÍTULO 3.6-Ensayo en Embotelladora

Con la finalidad de seguir estudiando cargas alineales, es que se realiza una visita a una embotelladora ubicada en la cercanía de la Facultad de Ingeniería. En ella se realizarán mediciones de señales de corriente y tensión utilizando el instrumental **HIOKI 3166**. La embotelladora consta de cuatro tableros, uno principal y dos secundario (Tablero General, Tablero 1 y Tablero 2) y uno independiente perteneciente a los compresores (Tablero compresores), como se muestra a continuación (Figura 148).

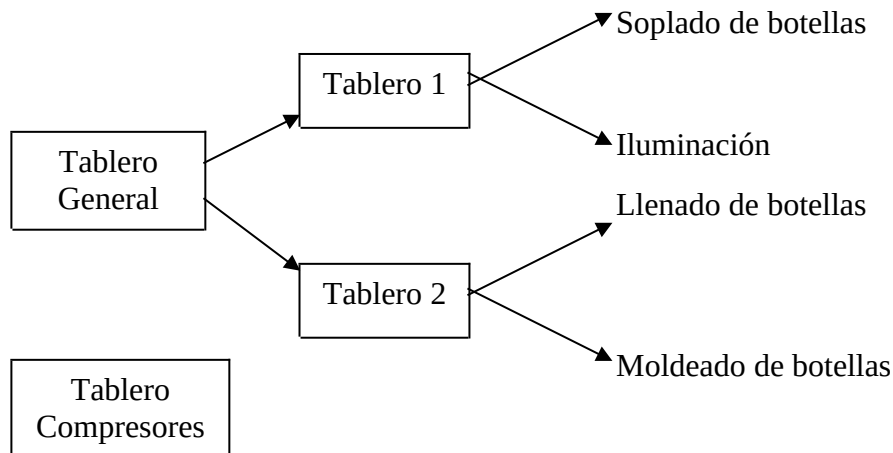


Figura 148- Disposición de tableros (Embotelladora).

### Primer ensayo (Tablero General)

El primer ensayo se realizará en el Tablero General (Figura 149) y consistirá en conectar las tres pinzas sensoras de corriente y tensión del **HIOKI 3166** sobre las tres fases perteneciente a la entrada de la fábrica, obteniéndose los siguientes resultados (Tabla 52).



Figura 149-Tablero General.



Tablero General (T1-T2)							
Número:		Fase R(I1)		Fase S(I2)		Fase T(I3)	
Armón.	Frec.(Hz)	Amp.(A)	Ángulo(°)	Amp.(A)	Ángulo(°)	Amp.(A)	Ángulo(°)
1	50	167.79	-119.75	173.51	-51.11	153.19	-177.44
3	150	26.44	172.11	11.37	59.34	17.13	-20.79
5	250	3.72	137.31	7.96	-72.52	4.82	128.32
7	350	5.47	161.72	1.17	174.38	3.13	33.02
9	450	0.44	143.42	1.16	-171.84	2.92	-165.08
11	550	1.03	-166.59	0.86	-11.79	2.2	47.4
13	650	1.69	-88.39	1.03	129.41	2.68	-101.64
15	750	2.45	-126.37	1.87	-17.58	1.77	103.9
17	850	1.71	-127.29	2.47	164.58	1.99	-33.54
19	950	2.17	-133.18	1.15	28.18	0.96	-179.55
		<b>THDi(%)</b>	<b>THDv(%)</b>	<b>THDi(%)</b>	<b>THDv(%)</b>	<b>THDi(%)</b>	<b>THDv(%)</b>
		16.63	1.53	8.49	1.59	12.64	1.49
		<b>I(A)</b>	170.11	<b>I(A)</b>	174.15	<b>I(A)</b>	154.42

Tabla 52- Medición recabada del primer ensayo.

Las señales de tensión y corriente en el dominio del tiempo se muestran a continuación en las Figuras 150 y 151. La representación de las señales de corrientes en el dominio de frecuencia se muestra en la Figura 152.

#### Tensiones Trifasicas del Tablero General

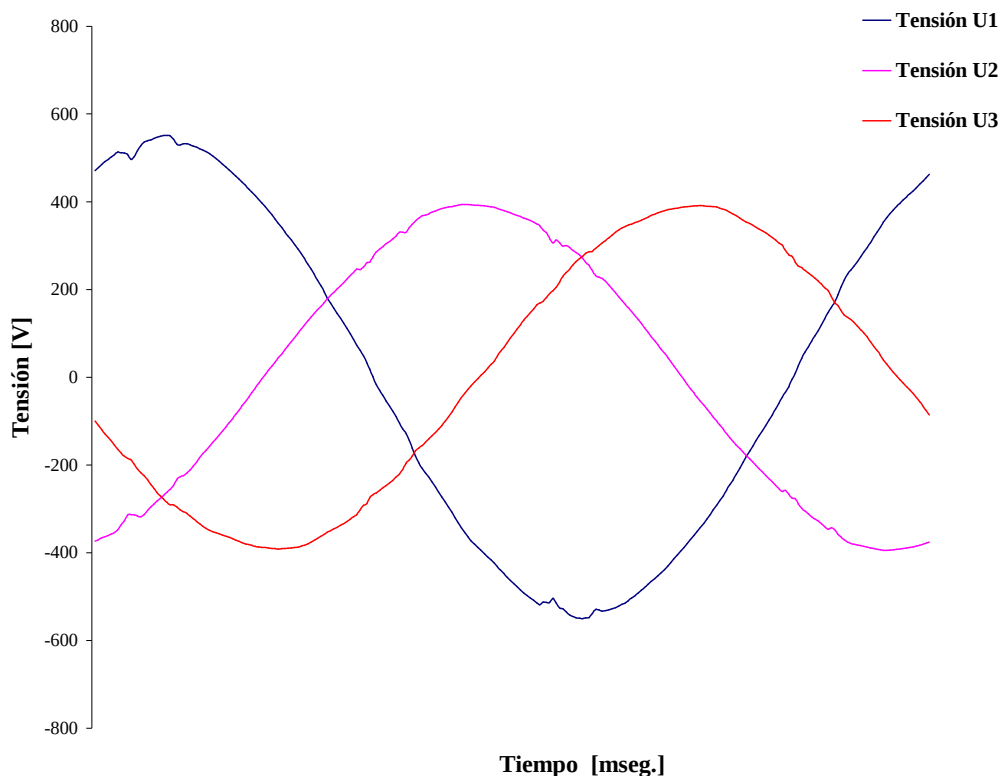


Figura 150-Señales de tensión en el dominio del tiempo.



### Corriente IR-IS-IT del Tablero General

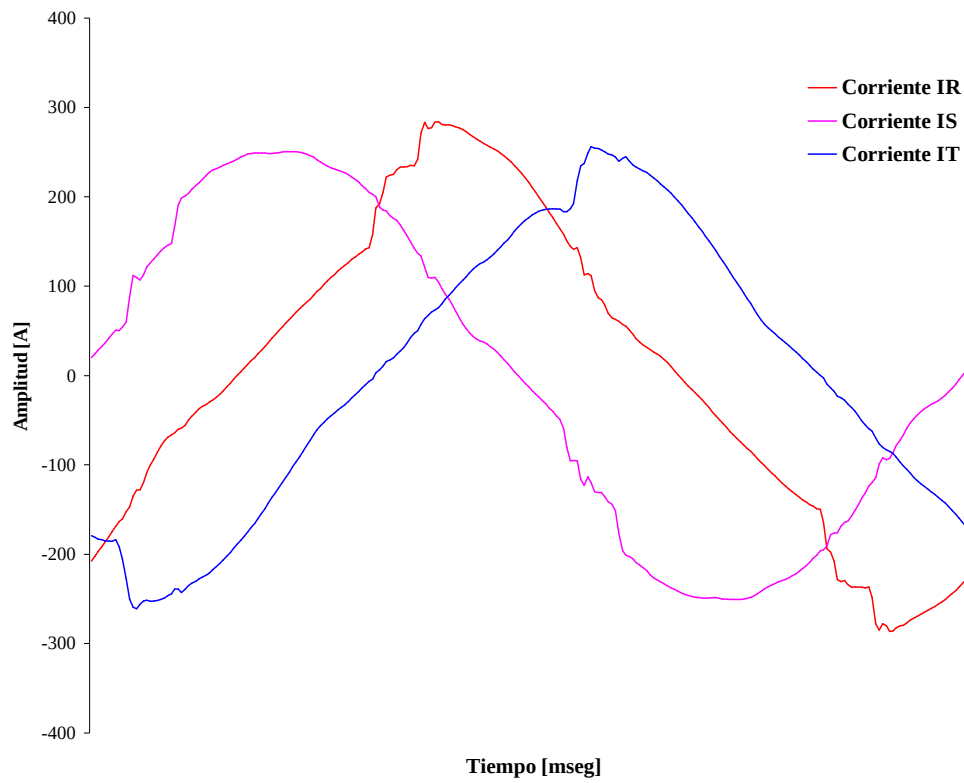


Figura 151-Señales de corriente en el dominio del tiempo.

### Corrientes Trifasicas del Tablero General en el dominio de frecuencia

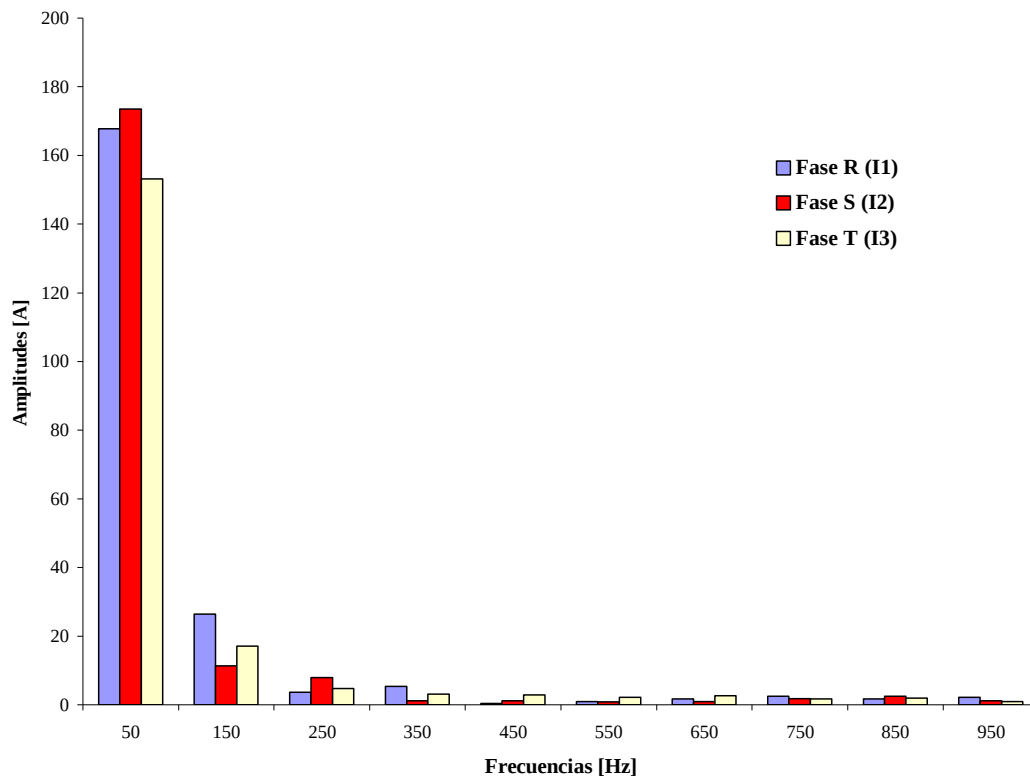


Figura 152-Espectros de frecuencia de las señales de corrientes trifásicas.



### Segundo ensayo (Tablero 1)

Procedemos a realizar un ensayo similar al anterior, pero ahora en el Tablero 1 (Figura 153). Los valores obtenidos por el instrumental de medición se muestran en la siguiente Tabla 53.



Figura 153-Tablero 1 (soplado de botellas e iluminación).

Tablero 1 (T1)							
Número:		Fase R(I1)		Fase S(I2)		Fase T(I3)	
Armón.	Frec.(Hz)	Amp.(A)	Ángulo(°)	Amp.(A)	Ángulo(°)	Amp.(A)	Ángulo(°)
1	50	62.81	-129.75	36.96	-20.31	63.3	128.72
3	150	29.37	171.5	17.97	148.97	11.74	-115.41
5	250	6.62	155.02	7.05	-29.39	6.63	111.04
7	350	5.56	165.03	4.78	-160.26	1.65	-31.47
9	450	1	-170.76	4.04	34.88	1.02	30.95
11	550	1.61	-131.66	2.66	-111.64	1.01	-172.37
13	650	2.4	-86.54	2.52	98.38	1.37	-7.09
15	750	2.62	-112.68	1.69	-55.26	2.19	-169.57
17	850	2.4	-101.12	1.45	162.06	1.5	23.78
19	950	2.39	-117.68	1.13	3.61	1.56	-151
		<b>THDi(%)</b>	<b>THDv(%)</b>	<b>THDi(%)</b>	<b>THDv(%)</b>	<b>THDi(%)</b>	<b>THDv(%)</b>
		50.15	1.45	57.54	1.45	22.58	1.72
		<b>I(A)</b>	70.3	<b>I(A)</b>	42.66	<b>I(A)</b>	64.93

Tabla 53- Medición recabada del segundo ensayo.

Las señales de tensión y corriente en el dominio del tiempo se muestran a continuación en las Figuras 154 y 155.



### Tensiones Trifasicas del Tablero 1

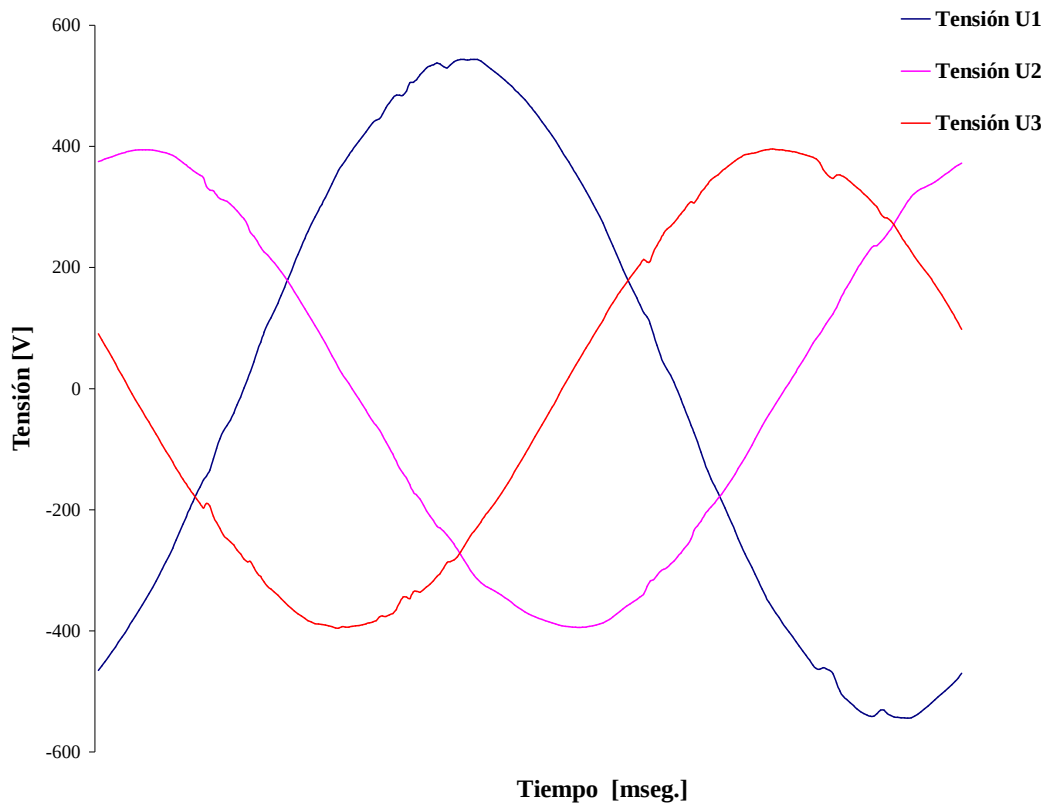


Figura 154-Señales de tensión en el dominio del tiempo.

### Corriente IR-IS-IT del Tablero 1

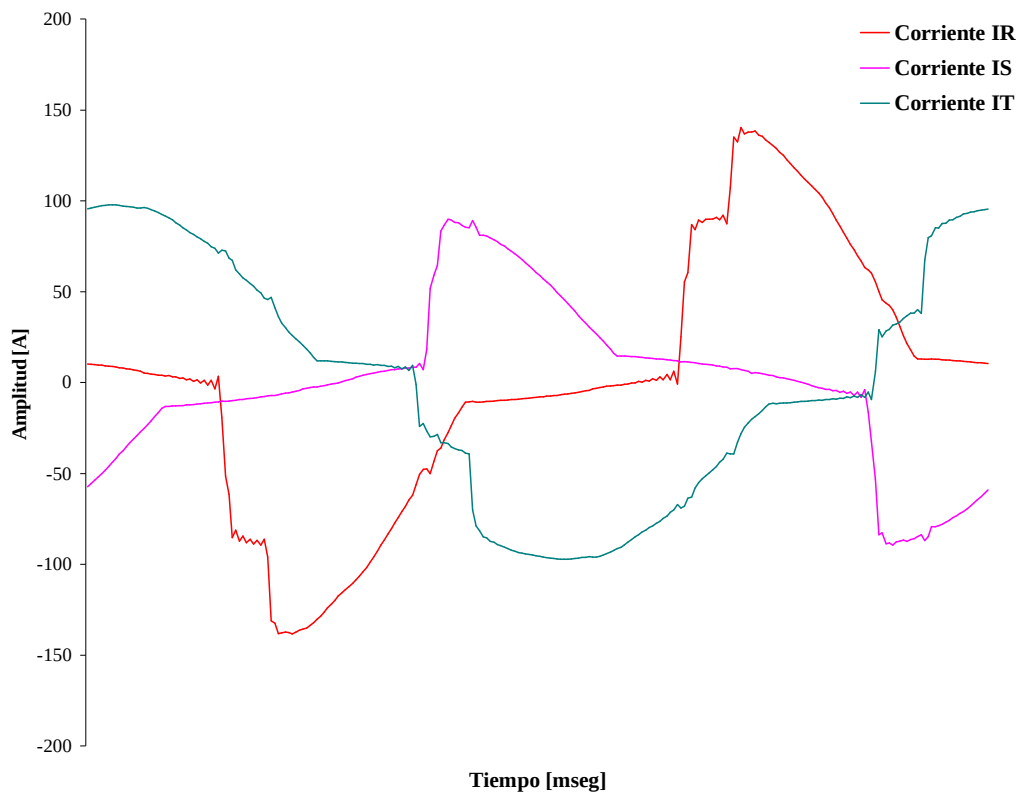


Figura 155-Señales de corriente en el dominio del tiempo.





Las señales de corrientes en el dominio de frecuencia se muestran a continuación en la Figura 156.

#### Corrientes Trifásicas del Tablero 1 en el dominio de frecuencia

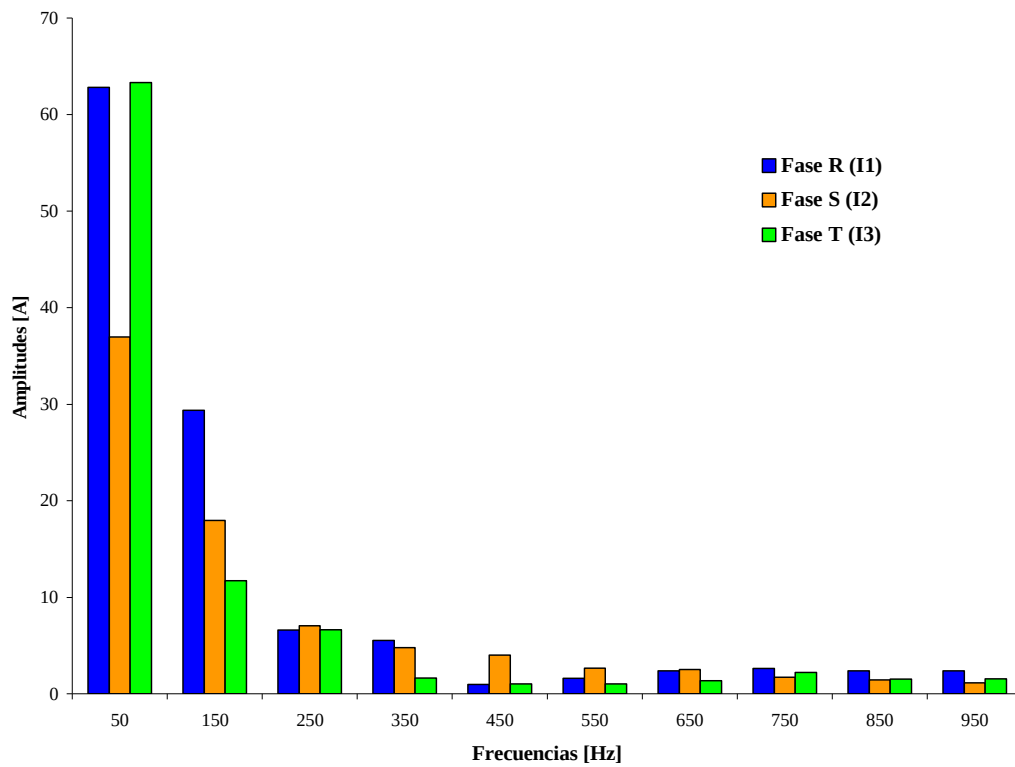


Figura 156-Espectros de frecuencia de las señales de corrientes trifásicas.

#### Tercer ensayo (Tablero 2)

Nos proponemos realizar un nuevo ensayo en el Tablero 2 (Figura 157), cuyo procedimiento es igual a los anteriores (primer y segundo ensayo) pero con la diferencia de que el nivel de tensión no es medido debido a la ausencia de borneras de fácil acceso.

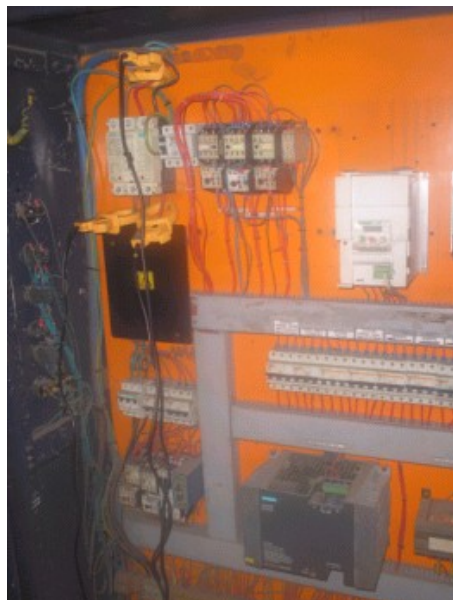


Figura 157-Tablero 2 (llenado y moldeado de botellas).



Los valores registrados con el analizador de armónicos son los siguientes (Tabla 54).

Tablero 2 (T2)							
Número:		Fase R(I1)		Fase S(I2)		Fase T(I3)	
Armón.	Frec.(Hz)	Amp.(A)	Ángulo(°)	Amp.(A)	Ángulo(°)	Amp.(A)	Ángulo(°)
1	50	69.73	112	65.08	-126	72.32	-5
3	150	0.19	110	0.89	-9	1.96	-136
5	250	1.36	-9	1.11	-57	2.01	127
7	350	0.9	65	0.32	-2	0.94	-65
9	450	0.75	171	0.02	-171	0.91	135
11	550	0.6	-83	0.12	-98	0.61	-2
13	650	0.42	-12	0.08	16	0.41	173
15	750	0.2	118	0.19	-67	0.19	-28
17	850	0.39	-48	0.11	-157	0.21	137
19	950	0.07	45	0.29	-150	0.24	-63
		<b>THDi(%)</b>		<b>THDi(%)</b>		<b>THDi(%)</b>	
		2.97		2.43		4.57	
		<b>I(A)</b>	69.77	<b>I(A)</b>	65.1	<b>I(A)</b>	69.09

Tabla 54- Medición recabada del tercer ensayo.

Las señales de corriente en el dominio del tiempo se muestran a continuación en la Figura 158.

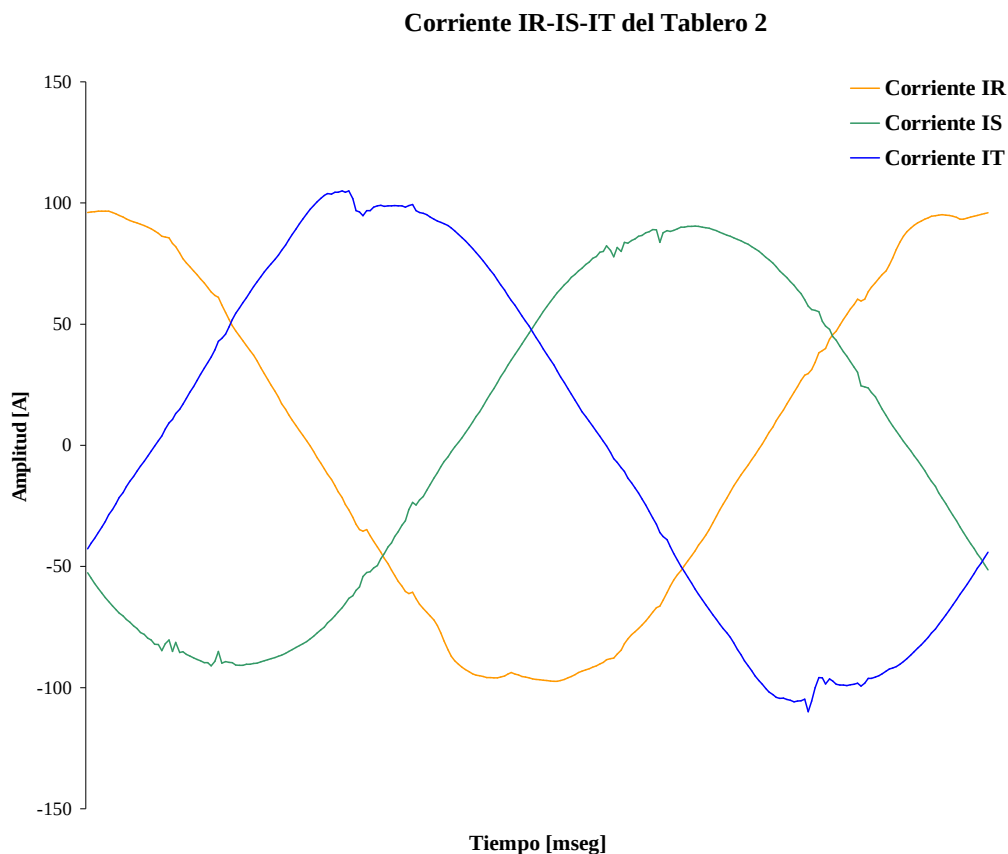


Figura 158-Señales de corriente en el dominio del tiempo.



Las señales de corrientes en el dominio de frecuencia se muestran a continuación en la Figura 159.

**Corrientes Trifasicas del Tablero 2 en el dominio de frecuencia**

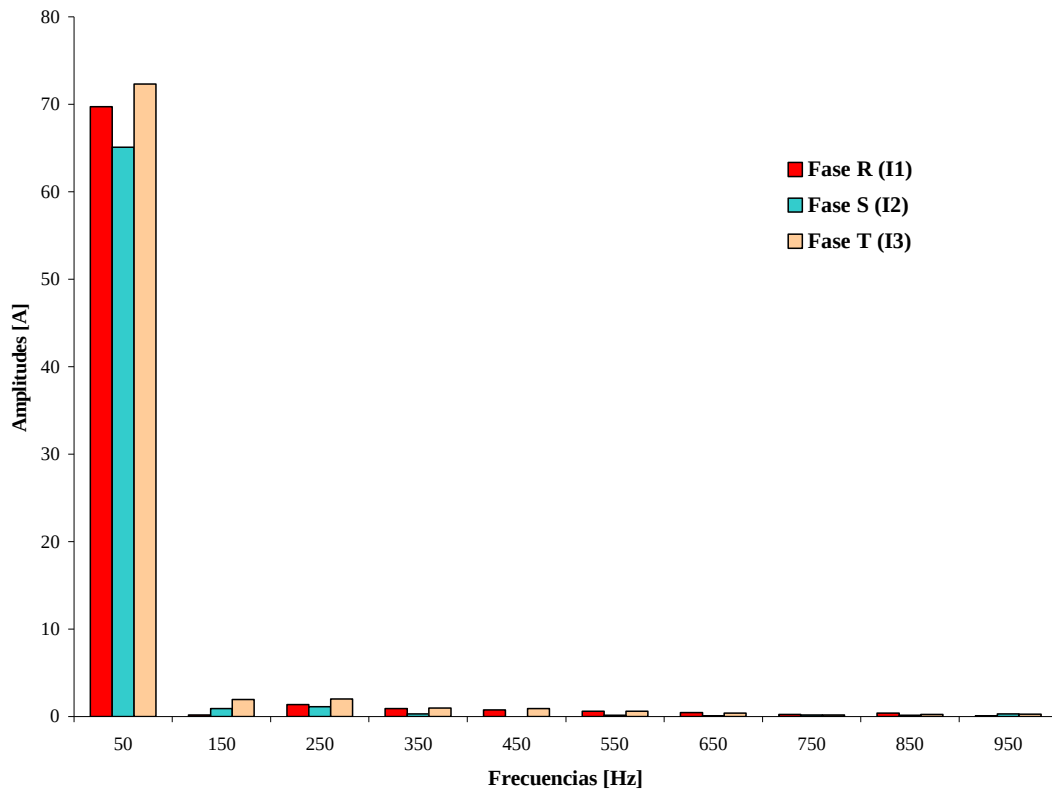


Figura 159-Espectros de frecuencia de las señales de corrientes trifásicas.

#### Cuarto ensayo (Tablero Compresores)

Por último se procede a realizar un ensayo en el Tablero Compresores (Figura 160). Éste tablero es independiente del Tablero General y alimenta a cuatro compresores cuyas características son las siguientes (Tabla 55).

3 Compresores		1 Compresor	
Marca	KAESER	Marca	KAESER
Tensión [V]	400	Tensión [V]	400
I [A]	39	I [A]	53
f [Hz]	50	f [Hz]	50
Potencia [KVA]	16	Potencia [KVA]	22
Presión [Kg]	10	Presión [Kg]	30

Tabla 55- Compresores alimentados por el Tablero independiente.



Figura 160- Tablero para compresores.

El conexionado del instrumento de medición es el mismo que en el ensayo anterior (Tercer ensayo), presentando también el inconveniente de conectar las pinzas sensoras de tensión, por lo que solamente se midió señales de corrientes. Los valores recabados con el analizador de armónicos **HIOKI 3166** es el siguiente (Tabla 56).

Tablero de los Compresores							
Número:		Fase R(I1)		Fase S(I2)		Fase T(I3)	
Armón.	Frec.(Hz)	Amp.(A)	Ángulo(°)	Amp.(A)	Ángulo(°)	Amp.(A)	Ángulo(°)
1	50	107.16	-54	109.17	-171	110.15	-115
3	150	1.17	126	2.02	-67	1.12	-100
5	250	1.62	-55	0.6	41	1.48	-27
7	350	1.56	63	1.24	-59	1.45	11
9	450	0.29	-176	0.18	-68	0.31	-138
11	550	0.36	54	0.57	-151	0.31	175
13	650	0.42	-9	0.7	-122	0.67	-85
15	750	0.55	158	0.35	-47	0.28	-171
17	850	0.63	150	0.34	-25	0.3	145
19	950	0.69	13	0.67	-168	0.04	20
		<b>THDi(%)</b>		<b>THDi(%)</b>		<b>THDi(%)</b>	
		3.37		3.1		2.51	
		<b>I(A)</b>	107.24	<b>I(A)</b>	109.24	<b>I(A)</b>	110.2

Tabla 56- Medición recabada del cuarto ensayo.

Las señales de corriente en el dominio del tiempo se muestran a continuación en la Figura 161. Las señales de corrientes en el dominio de frecuencia se muestran en la Figura 162.

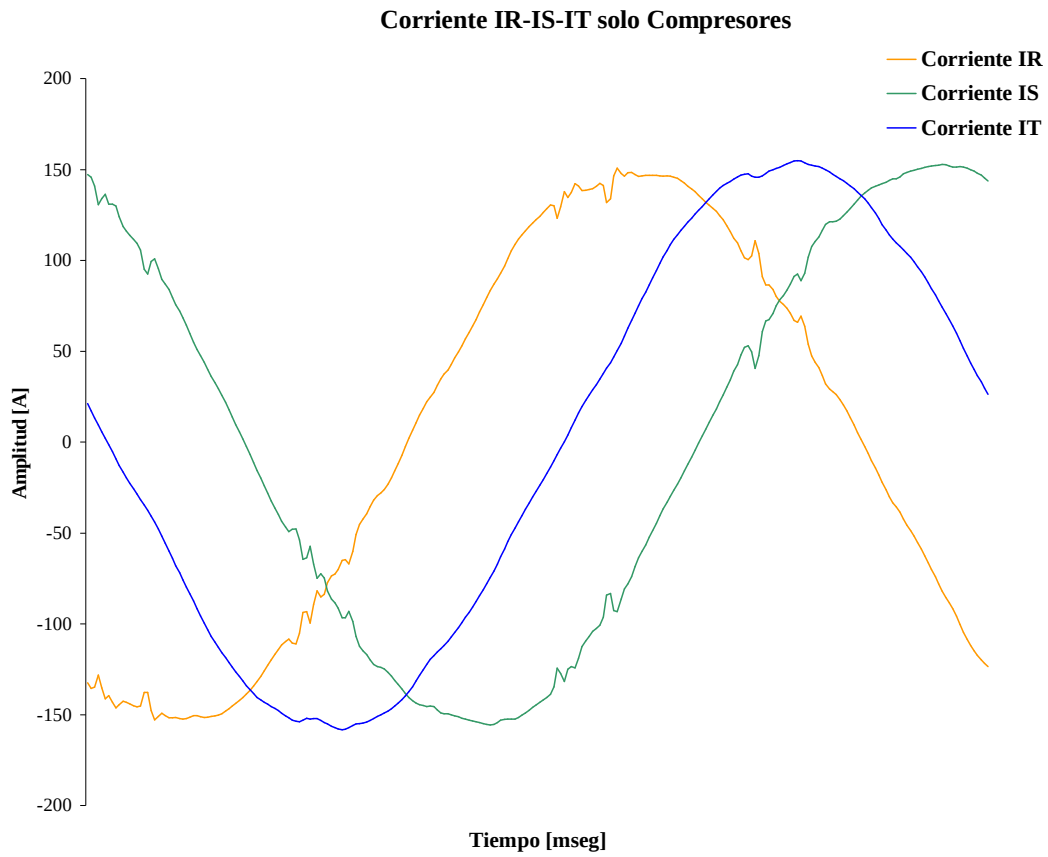


Figura 161-Señales de corriente en el dominio del tiempo.

### Corrientes Trifasicas del Tablero de Compresores en el dominio de frecuencia

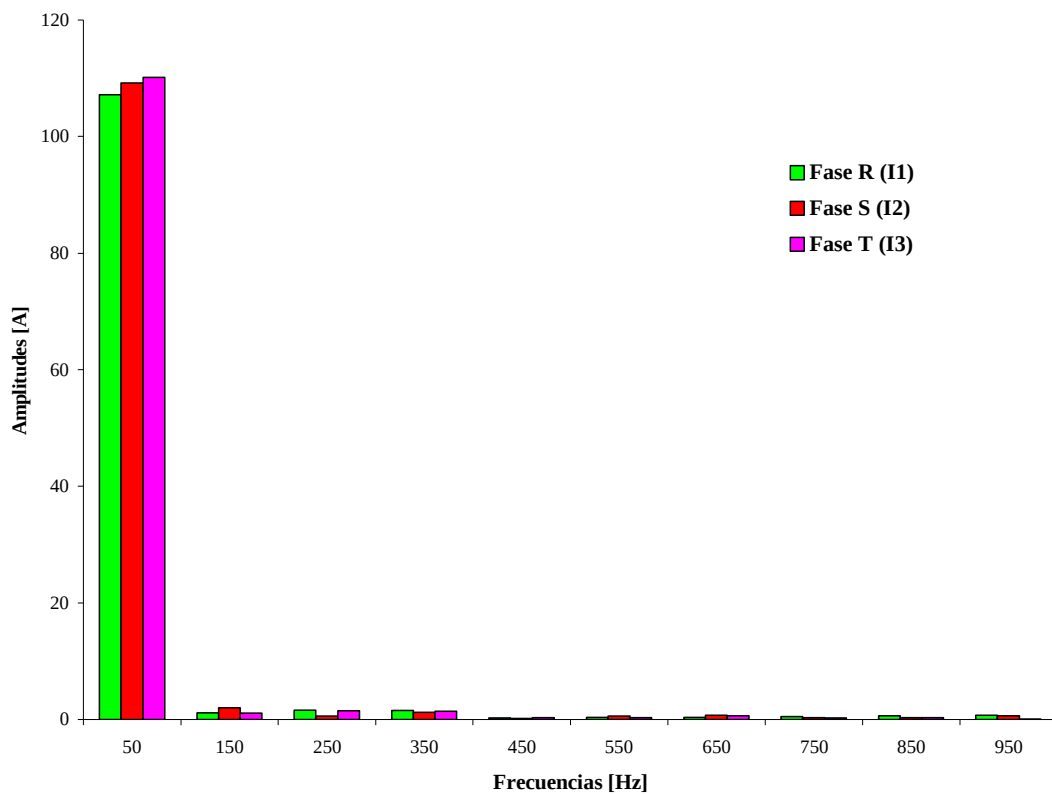


Figura 162-Espectros de frecuencia de las señales de corrientes trifásicas.



### Análisis de los datos relevados

De todas las experiencias realizadas en la fábrica de embotelladora, podemos apreciar que las amplitudes de los armónicos presentes son insignificantes (con la excepción de las mediciones efectuadas en el Tablero 1, predominando en gran medida la fundamental en todas ellas).

Haciendo una comparación de las mediciones extraídas de cada uno de los ensayos, se puede notar claramente que las señales de corriente pertenecientes a la máquina de soplado de botellas e iluminación (Tablero 1) son las que presentan los mayores índices de distorsión (THDi). Ahora bien, es posible observar que el índice de distorsión de corriente se ve disminuido en el Tablero General, por lo que estamos principalmente en presencia del efecto diversidad (analizado anteriormente en capítulo 3.4 para LFC). Debido al desconocimiento del total de cargas idénticas en funcionamiento, es que no se puede justificar fehacientemente el efecto atenuación, pero lo que podemos percibir, es que debido a los bajos valores de THDv y a la cercanía del transformador de potencia a la instalación (Figura 163), la impedancia de la red no genera una gran caída de tensión que hace que éste sea significativo.



Figura 163-Transformador de potencia cercano a la instalación (20 metros).

Si se compara las máximas tasas de distorsión totales del Tablero General, tanto de tensión (THDv=1.59%) como de corriente (THDi=16.63%), se puede apreciar que ambas se encuentran por debajo de los límites máximos permitidos por las normas vigentes del Ente Nacional Regulador de la Electricidad (**ENRE**) para cualquier categoría de MT/BT (THDv=8% y THDi=20%) y por la norma **IEEE 519** (THDv=5%), detalladas en el capítulo de Normas y Recomendaciones.



## CAPÍTULO 4-Distorsión armónica de corriente de LFC mediante simulación

Se propone investigar en un sistema eléctrico de potencia típico (Figura 164) como se ve afectada la distorsión armónica de corriente (THDi) de las LFCs al variar la impedancia de la red.

Para ello es necesario, utilizando el programa Pspice, realizar el modelado de una lámparas fluorescente compacta de 20W (Figura 165).

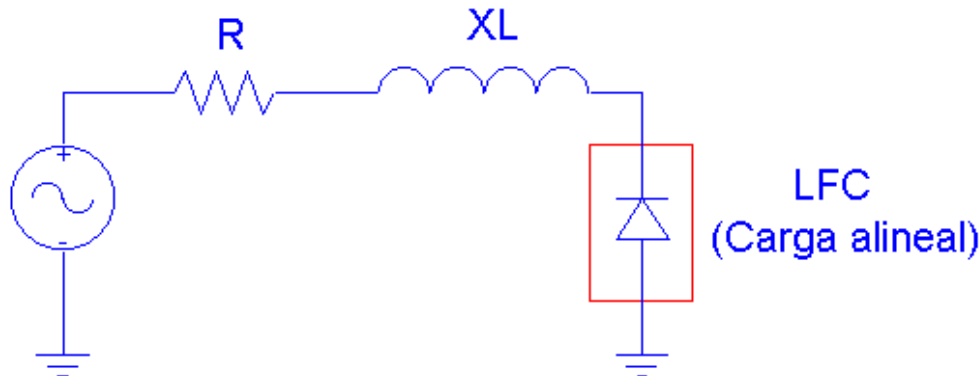


Figura 164- Sistema eléctrico de potencia.

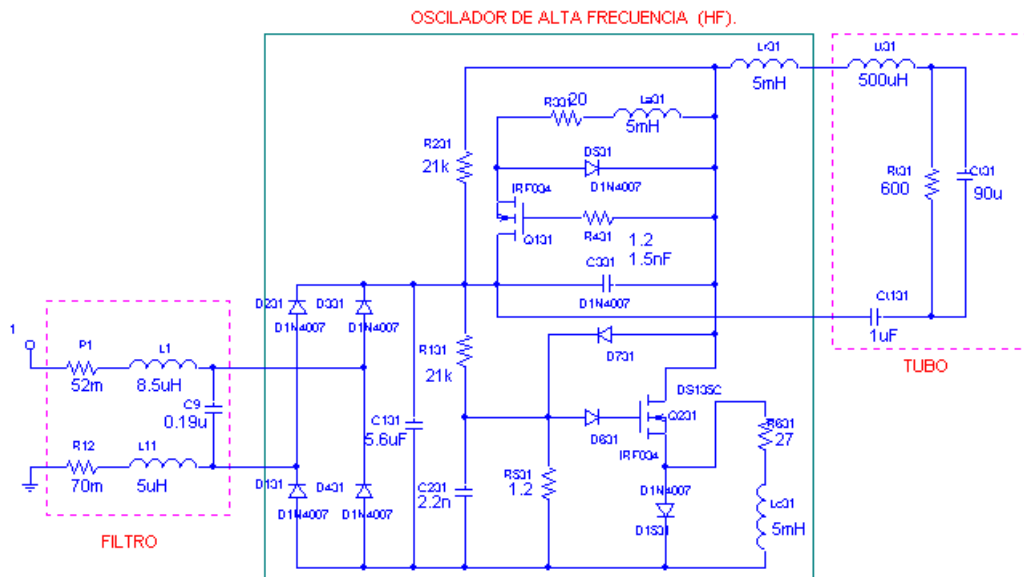


Figura 165- Modelado de una LFC de 20W.

### Primera simulación

Al modelado de la Figura 165 para una LFC se lo conecta en serie con el sistema eléctrico de la Figura 164. Se procede ahora a variar la relación  $\rho = \frac{X_L}{R}$  de la impedancia de la red, dejando la resistencia R constante y variando la inductancia L, analizando su influencia en el valor de THDi proporcionado por la carga alineal.



De las simulaciones realizadas (resultados en Anexo A) se confecciona la siguiente Tabla 57.

1 LFC				
$\rho$ [XL/R]	XL [ohm]	R [ohm]	L [mHy]	THDi [%]
0.31	0.16	0.5	0.5	144.20
0.63	0.31	0.5	1	145.62
1.26	0.63	0.5	2	159.65
2.51	1.26	0.5	4	192.41
6.28	3.14	0.5	10	190.97
10.05	5.03	0.5	16	177.30
0.16	0.16	1	0.5	144.16
0.31	0.31	1	1	145.96
0.63	0.63	1	2	158.45
1.26	1.26	1	4	191.01
3.14	3.14	1	10	190.52
5.03	5.03	1	16	176.18
0.10	0.16	1.5	0.5	144.2
0.21	0.31	1.5	1	145.86
0.42	0.63	1.5	2	157.78
0.84	1.26	1.5	4	188.48
2.09	3.14	1.5	10	190.39
3.35	5.03	1.5	16	175.61
0.08	0.16	2	0.5	144.29
0.16	0.31	2	1	146.37
0.31	0.63	2	2	157.17
0.63	1.26	2	4	186.9
1.57	3.14	2	10	190.03
2.51	5.03	2	16	175.61
0.05	0.16	3	0.5	144.37
0.10	0.31	3	1	146.48
0.21	0.63	3	2	156.52
0.42	1.26	3	4	182.72
1.05	3.14	3	10	188.93
1.68	5.03	3	16	175.07
0.04	0.16	4	0.5	143.83
0.08	0.31	4	1	146.62
0.16	0.63	4	2	155.84
0.31	1.26	4	4	179.56
0.79	3.14	4	10	187.53
1.26	5.03	4	16	174.65
0.03	0.16	5	0.5	143.97
0.06	0.31	5	1	146.61
0.13	0.63	5	2	155.12
0.25	1.26	5	4	175.96
0.63	3.14	5	10	186.46
1.01	5.03	5	16	173.84

Tabla 57- Valores obtenidos de simulaciones con una LFC al variar XL.





A continuación se representa en una misma gráfica (Figura 166) los valores obtenidos de la tabla anterior (Tabla 57).

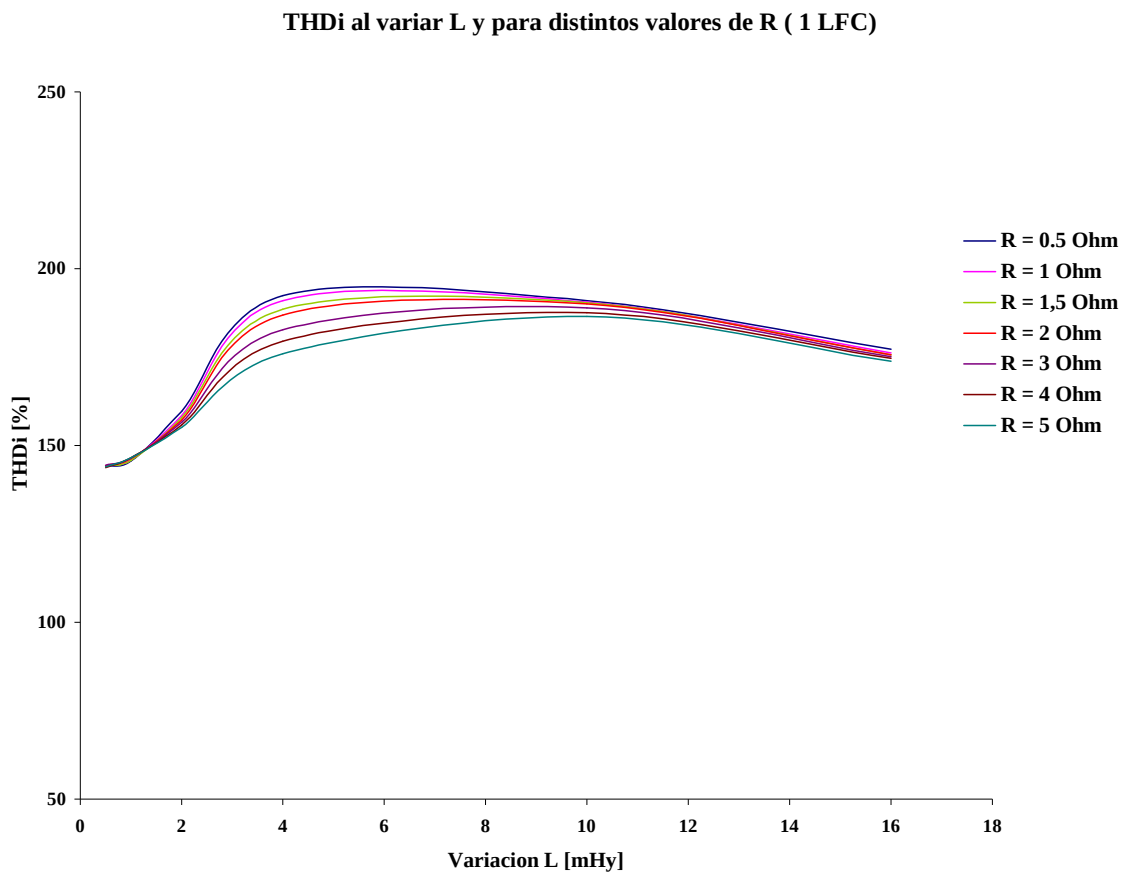


Figura 166- THDi al variar la inductancia de la red.

Como se puede observar de la gráfica anterior (Figura 166), para pequeñas variaciones en inductancias de poco valor (desde 0,5 a 2 mHy), la oscilación del THDi puede ser muy significativa. También se observa que a medida que la inductancia L aumenta (desde 4 a 16 mHy), o mejor dicho que  $\rho$  se incrementa, el valor de THDi disminuye en forma moderada para cualquiera de las resistencias constantes bajo estudio.

Realizando el mismo estudio anterior pero para nueve LFC, dejando de igual manera constante la resistencia R y variando la inductancia L de la red (resultados en Anexo A), es posible obtener la siguiente Tabla 58.

9 LFC				
$\rho$ [XL/R]	XL [ohm]	R [ohm]	L [mHy]	THDi [%]
0.31	0.16	0.5	0.5	183.96
0.63	0.31	0.5	1	189.49
1.26	0.63	0.5	2	171.91
2.51	1.26	0.5	4	152.1
6.28	3.14	0.5	10	131.17
10.05	5.03	0.5	16	128.65

Tabla 58- Valores obtenidos de simulaciones con nueve LFC al variar XL (parte I).



**9 LFC**



$\rho[XL/R]$	XL [ohm]	R [ohm]	L [mHy]	THDi [%]
0.16	0.16	1	0.5	171.84
0.31	0.31	1	1	184.2
0.63	0.63	1	2	168.56
1.26	1.26	1	4	151.47
3.14	3.14	1	10	131.72
5.03	5.03	1	16	129.81
0.10	0.16	1.5	0.5	163.24
0.21	0.31	1.5	1	178.04
0.42	0.63	1.5	2	165.48
0.84	1.26	1.5	4	150.05
2.09	3.14	1.5	10	132.15
3.35	5.03	1.5	16	132.19
0.08	0.16	2	0.5	156.75
0.16	0.31	2	1	171.39
0.31	0.63	2	2	162.22
0.63	1.26	2	4	148.45
1.57	3.14	2	10	131.74
2.51	5.03	2	16	133.46
0.05	0.16	3	0.5	147.14
0.10	0.31	3	1	158.23
0.21	0.63	3	2	155.76
0.42	1.26	3	4	145.02
1.05	3.14	3	10	130.47
1.68	5.03	3	16	130.89
0.04	0.16	4	0.5	140.19
0.08	0.31	4	1	147.77
0.16	0.63	4	2	149.66
0.31	1.26	4	4	141.77
0.79	3.14	4	10	128.75
1.26	5.03	4	16	126.38
0.03	0.16	5	0.5	134.82
0.06	0.31	5	1	140.29
0.13	0.63	5	2	143.77
0.25	1.26	5	4	138.61
0.63	3.14	5	10	126.62
1.01	5.03	5	16	123.36



Tabla 58- Valores obtenidos de simulaciones con nueve LFC al variar XL (parte II).

En el siguiente gráfico (Figura 167), se representa los valores de THDi simulados al variar la inductancia L de la red.

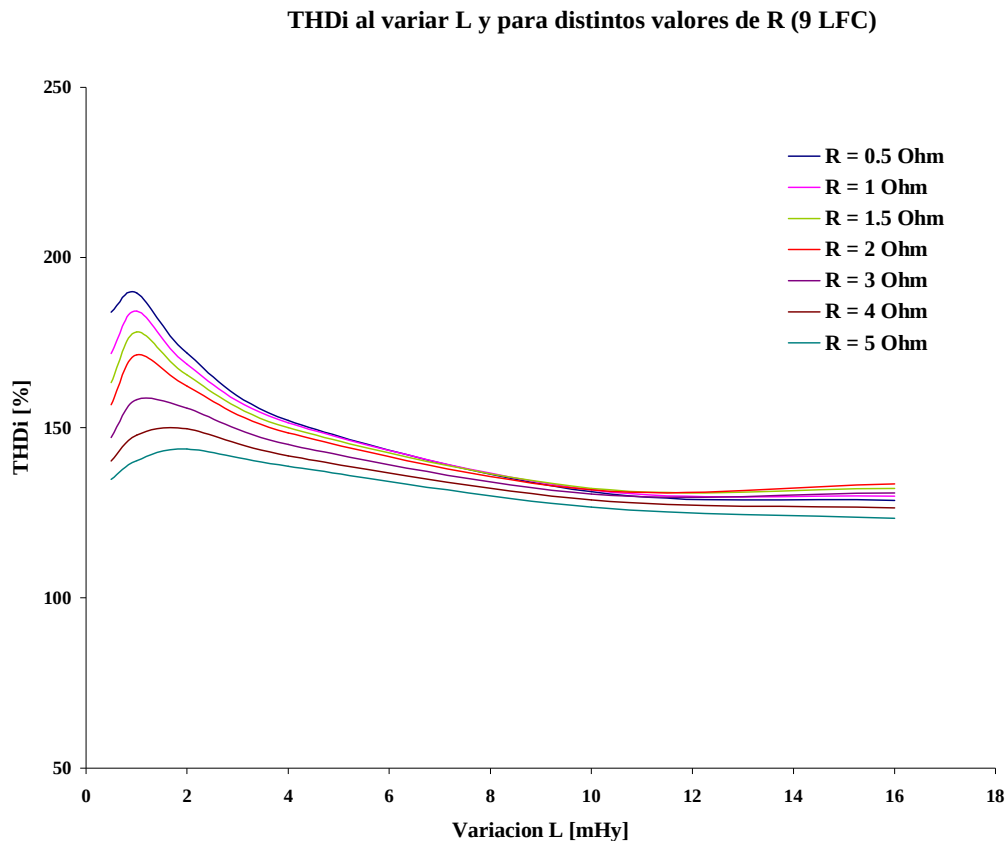


Figura 167- THDi al variar la inductancia de la red.

De la gráfica anterior (Figura 167), se observa que para pequeños valores de inductancias, el THDi presenta un acrecentamiento no tan pronunciado como en el caso de una sola LFC. Luego a medida que la inductancia L aumenta (desde 2 a 16 mHy), el THDi disminuye mas abruptamente comparando dichas características con la de una LFC, para cualquiera de las resistencias constantes bajo estudio. Por lo tanto se puede demostrar que a mayor cantidad de cargas similares conectadas en paralelo entre sí y en serie con un sistema eléctrico de potencia, el incremento de la inductancia de la red, manteniendo la resistencia constante, produce una disminución en el valor del THDi cada vez más significativa, el cual posee un comportamiento análogo al proyecto realizado por **Ehab El-Saadany** [15], aplicado a una combinación de cargas alineales de distintas características (basado este análisis solo para el tipo de carga LFC).

### **Segunda simulación**

En una segunda simulación se pretende analizar el comportamiento de la tasa de distorsión armónica de corriente (THDi) derivado de las lámparas fluorescentes compactas de 20W, pero ahora manteniendo constante la inductancia L de la red y variando la resistencia R de la misma. El estudio se efectuará para una sola y nueve LFC.



Utilizando los valores de salida extraídos de la primera simulación, es posible confeccionar la siguiente Tabla 59 para a una LFC.

1 LFC				
$\rho$ [XL/R]	XL [ohm]	R [ohm]	L [mHy]	THDi [%]
0.31	0.16	0.5	0.5	144.20
0.16	0.16	1	0.5	144.16
0.10	0.16	1.5	0.5	144.20
0.08	0.16	2	0.5	144.29
0.05	0.16	3	0.5	144.37
0.04	0.16	4	0.5	143.83
0.03	0.16	5	0.5	143.97
0.63	0.31	0.5	1	145.62
0.31	0.31	1	1	145.96
0.21	0.31	1.5	1	145.86
0.16	0.31	2	1	146.37
0.10	0.31	3	1	146.48
0.08	0.31	4	1	146.62
0.06	0.31	5	1	146.61
1.26	0.63	0.5	2	159.65
0.63	0.63	1	2	158.45
0.42	0.63	1.5	2	157.78
0.31	0.63	2	2	157.17
0.21	0.63	3	2	156.52
0.16	0.63	4	2	155.84
0.13	0.63	5	2	155.12
2.51	1.26	0.5	4	192.41
1.26	1.26	1	4	191.01
0.84	1.26	1.5	4	188.48
0.63	1.26	2	4	186.90
0.42	1.26	3	4	182.72
0.31	1.26	4	4	179.56
0.25	1.26	5	4	175.96
6.28	3.14	0.5	10	190.97
3.14	3.14	1	10	190.52
2.09	3.14	1.5	10	190.39
1.57	3.14	2	10	190.03
1.05	3.14	3	10	188.93
0.79	3.14	4	10	187.53
0.63	3.14	5	10	186.46
10.05	5.03	0.5	16	177.30
5.03	5.03	1	16	176.18
3.35	5.03	1.5	16	175.61
2.51	5.03	2	16	175.61
1.68	5.03	3	16	175.07
1.26	5.03	4	16	174.65
1.01	5.03	5	16	173.84

Tabla 59- Valores obtenidos de simulaciones con una LFC al variar R.

En la siguiente Figura 168 se representa los valores de THDi simulados al variar la resistencia R de la red para una LFC.

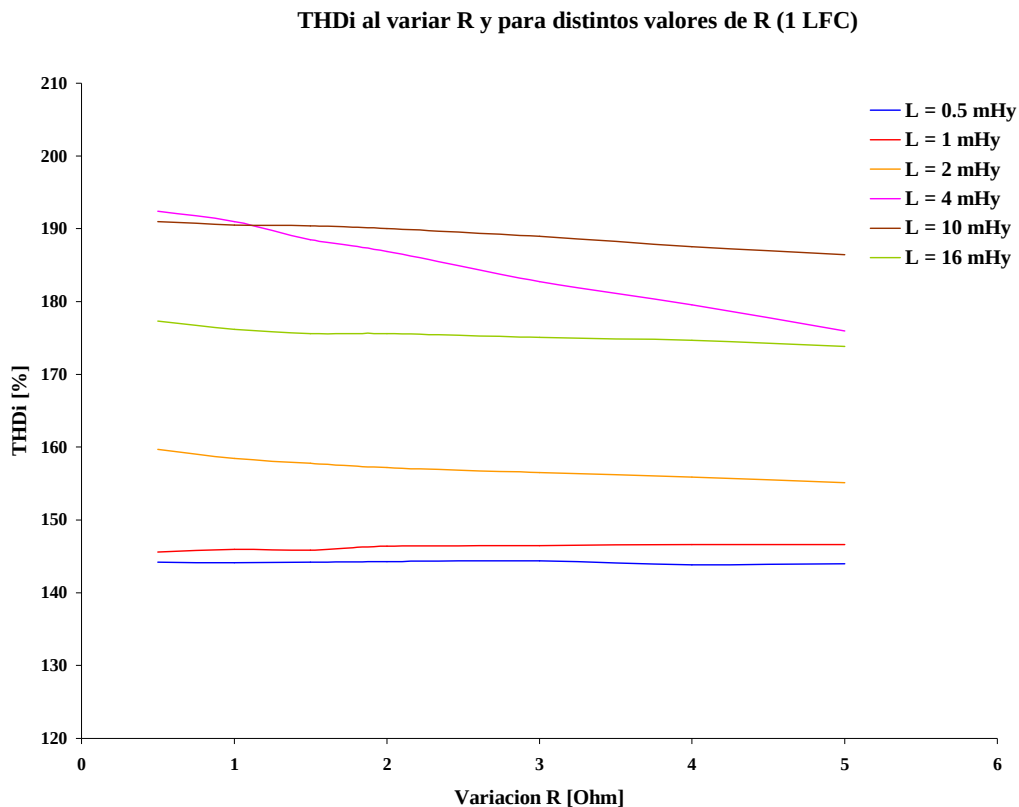


Figura 168- THDi al variar la resistencia de la red.

Como se puede observar de la gráfica anterior para una LFC (Figura 168), la variación de la resistencia R de la red no afecta en gran medida al THDi propio de la carga (con la excepción al utilizar  $L = 4$  mHy en la cual se presume un estado resonante). Lo que sí es notorio, es que para distintos valores de inductancia, proporciona un índice de distorsión armónica de corriente constante (apreciable a través de distintas curvas de nivel), por lo que se demuestra que para una única carga, dicha tasa de distorsión depende en mayor grado del parámetro inductivo que del resistivo de la red.

Realizando el mismo procedimiento para nueve LFC ( $L = \text{constante}$  y  $R = \text{variable}$ ) se obtiene la siguiente Tabla 60.

9 LFC				
$\rho[XL/R]$	XL [ohm]	R [ohm]	L [mHy]	THDi [%]
0.31	0.16	0.5	0.5	183.96
0.16	0.16	1	0.5	171.84
0.10	0.16	1.5	0.5	163.24
0.08	0.16	2	0.5	156.75
0.05	0.16	3	0.5	147.14
0.04	0.16	4	0.5	140.19
0.03	0.16	5	0.5	134.82

Tabla 60- Valores obtenidos de simulaciones con nueve LFC al variar R (parte I).



9 LFC				
$\rho$ [XL/R]	XL [ohm]	R [ohm]	L [mHy]	THDi [%]
0.63	0.31	0.5	1	189.49
0.31	0.31	1	1	184.20
0.21	0.31	1.5	1	178.04
0.16	0.31	2	1	171.39
0.10	0.31	3	1	158.23
0.08	0.31	4	1	147.77
0.06	0.31	5	1	140.29
1.26	0.63	0.5	2	171.91
0.63	0.63	1	2	168.56
0.42	0.63	1.5	2	165.48
0.31	0.63	2	2	162.22
0.21	0.63	3	2	155.76
0.16	0.63	4	2	149.66
0.13	0.63	5	2	143.77
2.51	1.26	0.5	4	152.10
1.26	1.26	1	4	151.47
0.84	1.26	1.5	4	150.05
0.63	1.26	2	4	148.45
0.42	1.26	3	4	145.02
0.31	1.26	4	4	141.77
0.25	1.26	5	4	138.61
6.28	3.14	0.5	10	131.17
3.14	3.14	1	10	131.72
2.09	3.14	1.5	10	132.15
1.57	3.14	2	10	131.74
1.05	3.14	3	10	130.47
0.79	3.14	4	10	128.75
0.63	3.14	5	10	126.62
10.05	5.03	0.5	16	128.65
5.03	5.03	1	16	129.81
3.35	5.03	1.5	16	132.19
2.51	5.03	2	16	133.46
1.68	5.03	3	16	130.89
1.26	5.03	4	16	126.38
1.01	5.03	5	16	123.36

Tabla 60- Valores obtenidos de simulaciones con nueve LFC al variar R (parte II).

En la siguiente Figura 169 se representa los valores de THDi simulados al variar la resistencia R de la red para nueve LFC.



THDi al variar R y para distintos valores L (9 LFC)

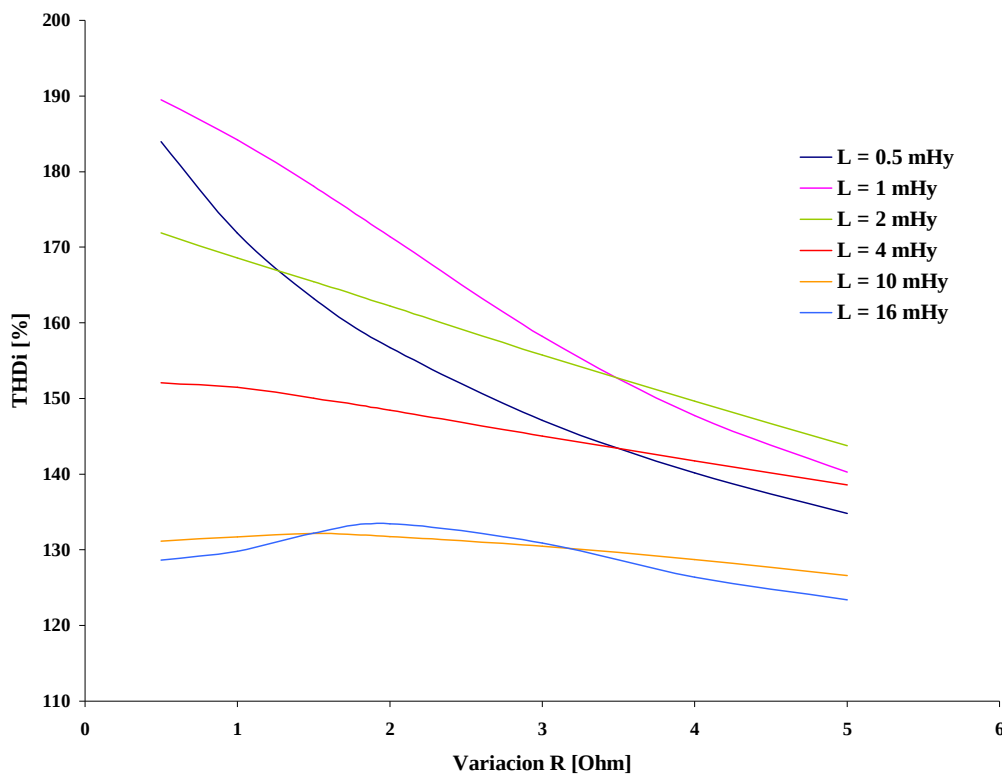


Figura 169- THDi al variar la resistencia de la red

La Figura 169 muestra claramente como la variación de la resistencia de la red comienza a tener una mayor influencia en la determinación del THDi (caso contrario al de 1 LFC). Al igual que en el análisis para una lámpara, el valor de la inductancia es ampliamente predominante en la determinación de la tasa de distorsión armónica de corriente, pero sabiendo que a mayor cantidad de carga similares, el aumento del parámetro resistivo proporciona una apreciable disminución de dicha tasa.

Conociendo los THDi de los ensayos realizados para una y nueve lámparas General Electric de 20W, es posible determinar aproximadamente los parámetros de la red a través de las simulaciones efectuadas para las variaciones de  $\rho$  (tablas anteriores). Observando las tablas obtenidas de las extracciones del Pspice, se llega a que  $R=4\Omega$  y  $L=0.5\text{mHy}$ .

Con el conocimiento de la impedancia de la red, es posible determinar el factor de atenuación para nueve LFC (Tabla 61).

Factor de Atenuación para 9 LFC ( $R = 4 \Omega$ y $L = 0.5 \text{ mHy}$ )				
Número:		1 Lámpara	9 Lámparas	FA
Ar.	f (Hz)	Amp.(mA)	Amp.(mA)	
1	50	66	576	0.97
3	150	54	481	0.99
5	250	48	420	0.98
7	350	39	340	0.97





9	450	30	254	0.95
---	-----	----	-----	------

Tabla 61-Factor de atenuación para 9 LFC basándose en simulaciones (parte I).

Factor de Atenuación para 9 LFC (R = 4 Ω y L = 0.5 mHy)				
Número:		1 Lámpara	9 Lámparas	FA
Ar.	f (Hz)	Amp.(mA)	Amp.(mA)	
11	550	22	176	0.91
13	650	16	118	0.82
15	750	14	89	0.70
17	850	14	80	0.62
19	950	14	73	0.57
		<b>THDi(%)</b> 143.83	<b>THDi(%)</b> 140.19	
		<b>THDv(%)</b> 0.13	<b>THDv(%)</b> 1.08	

Tabla 61-Factor de atenuación para 9 LFC basándose en simulaciones (parte II).

La representación gráfica del factor de atenuación se muestra a continuación en la Figura 170.

**Factor de Atenuación para 9 LFC**

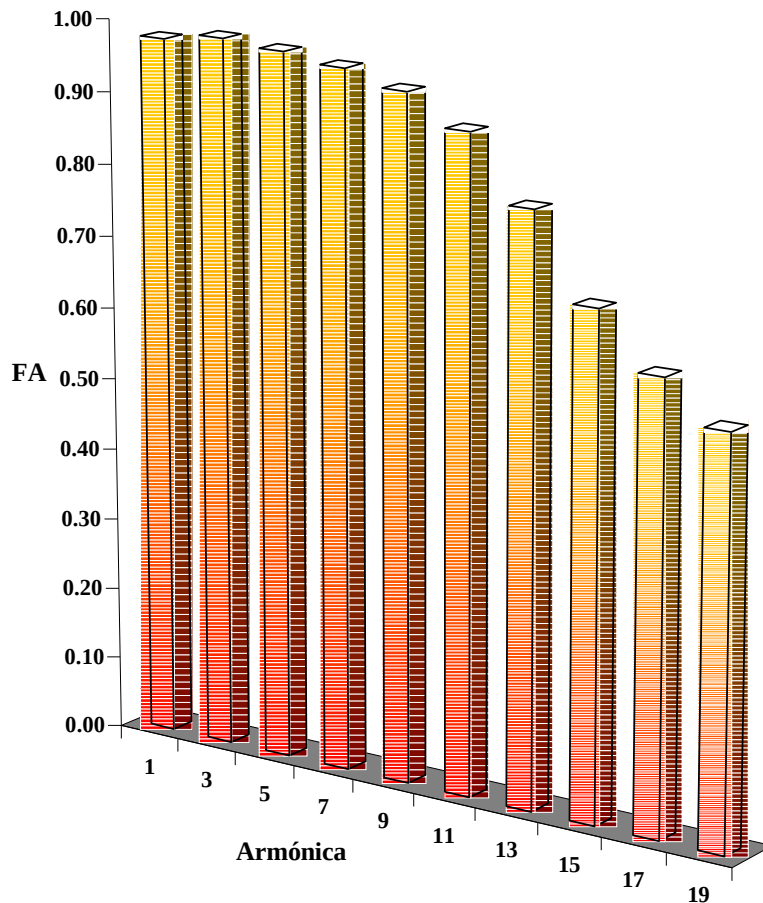


Figura 170- Factor de atenuación para 9 LFC basándose en simulación.



Del gráfico del factor de atenuación de las simulaciones y de los ensayos realizados, se nota una igualdad en la forma en que dicho factor se atenúa y en la frecuencia en que los grandes cambios son ocasionados. Pero comparando sus resultados, se observa discrepancias debido a dos factores:

- Los THDi de una y nueve LFC con  $R=4\Omega$  y  $L=0.5mHy$  no son perfectamente similares a los medidos en forma práctica.
- En el ensayo se mantuvo la tensión constante a medida que se conectaban las  $n$  lámparas en paralelo.

### Estimación del THDv por dos métodos distintos (Modelo real e Inyección con fuentes de corrientes)

Con el fin de determinar el comportamiento de la tasa de distorsión de tensión, para una red  $R = 4 \Omega$  y  $L = 0.5 mHy$  (cuyo comportamiento es aproximado a la red del ensayo), se realizaron simulaciones con el modelo de una LFC de 20W incrementado en una unidad hasta completar un total de 9 modelos, utilizando una fuente puramente sinusoidal.

Con la misma temática, se emplearon los datos de las Tablas 38, 39 y 40 (capítulo 3.4) del ensayo 1 a 9 lámparas LFC de 20W (GE) a tensión constante, con lo que se construyeron las fuentes de corrientes con sus respectivas amplitudes y ángulos para luego ser inyectada a la misma red anteriormente mencionada.

De ambos métodos se compararon tanto el THDv y THDi (resultados en Anexo A) obteniéndose la siguiente Tabla 62.

<b>Simulación Pspice con modelos real LFC 20W</b>									
<b>THDv y THDi para la RED <math>R=4\Omega</math> y <math>L=0.5mHy</math></b>									
<b>Lámparas Conectadas</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>	<b>7</b>	<b>8</b>	<b>9</b>
<b>THDv[%]</b>	0,13	0,26	0,38	0,51	0,64	0,75	0,87	0,98	1,08
<b>THDi[%]</b>	143,92	145,6	146,56	146,69	146,06	144,97	143,51	141,86	140,14
<b>Simulación Pspice por inyección con fuentes de corrientes (GE) LFC 20W</b>									
<b>THDv y THDi para la RED <math>R=4\Omega</math> y <math>L=0.5mHy</math></b>									
<b>Lámparas Conectadas</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>	<b>7</b>	<b>8</b>	<b>9</b>
<b>THDv[%]</b>	0,12	0,24	0,36	0,48	0,60	0,72	0,85	0,96	1,09
<b>THDi[%]</b>	138,02	134,41	136,46	137,24	136,48	137,33	138,12	138,64	138,24

Tabla 62-Comparación con modelo real y método por inyección con fuentes de corriente.

Las representaciones gráficas de la comparación del THDi y THDv de ambos métodos se muestran a continuación en las Figuras 171 y 172.

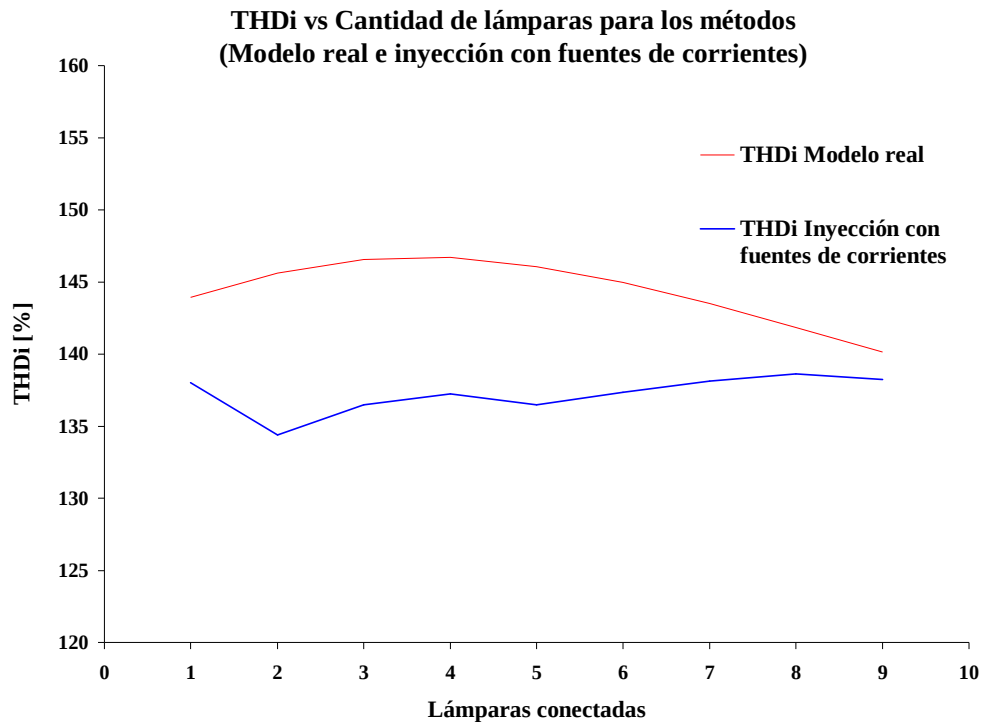


Figura 171-Comparación del THDi con modelo real y método por inyección con fuentes de corriente.

De la gráfica anterior (Figura 171), es posible observar la diferencia existente entre los dos métodos antes mencionados. Esta discrepancia es debido a que en el modelo real, la impedancia de la red ocasiona una caída de tensión a la carga que modifica el THDi provocada por ésta, caso contrario al de inyección con fuentes de corrientes cuyo valor de THDi son propios del ensayo y no de la simulación.

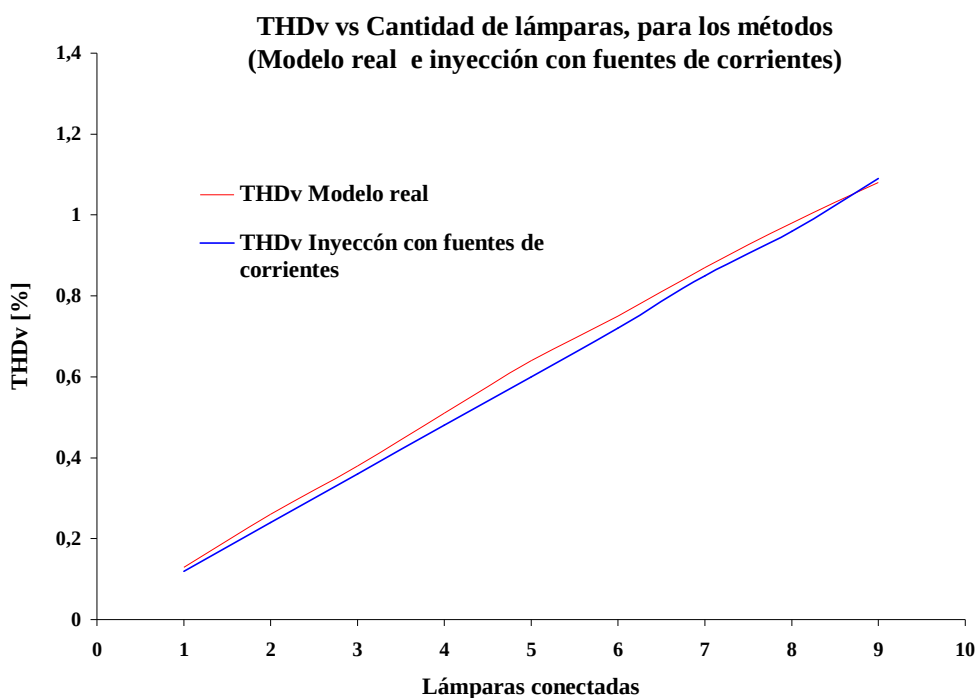


Figura 172-Comparación del THDv con modelo real y método por inyección con fuentes de corriente



De la gráfica anterior (Figura 172) se visualiza la semejanza en los valores de THDv para ambos métodos. Cabe aclarar que contrariamente a lo analizado para ambos casos sobre los resultados de THDi, la tasa de distorsión total de tensión es producto de las simulaciones para la determinada red en cuestión. También es importante observar que aunque existan diferencias apreciables en la comparación del THDi, la discrepancia del THDv es mínima.

Para ambos comportamientos de THDv, se obtienen las ecuaciones de la recta de tendencia (Tabla 63).

<b>Ecuación de la recta tendencia del THDv con el modelo real</b>
<b>1) <math>Y = 0.1197 X + 0.0239</math></b>
<b>Ecuación de la recta tendencia del THDv por inyección con fuentes de corriente</b>
<b>2) <math>Y = 0.121 X - 0.0028</math></b>

Tabla 63-Ecuaciones de rectas de tendencia para ambos métodos.

Con las ecuaciones anteriormente halladas, es posible estimar para cuantas LFC de 20W (General Electric) se supera los límites permitidos de distorsión de tensión de las normas **IEEE 519** y **E.N.R.E (0465/1996. Boletín Oficial n° 28.470)**, detalladas en el capítulo de Normas y Recomendaciones, como se muestran a continuación en la Tabla 64.

<b>Ecuación N°</b>	<b>1</b>	<b>2</b>
<b>Norma IEEE 519 (THDv=5%)</b>	42 Lámparas	41 Lámparas
<b>Norma E.N.R.E (THDv=8%)</b>	67 Lámparas	66 Lámparas

Tabla 64- Cantidad de LFC de 20W que superan los límites de distorsión de tensión.

Es necesario aclarar que la cantidad de lámparas obtenidas anteriormente (Tabla 64) son puntualmente para la misma marca y red en cuestión. Es de suponer que ante la presencia de distintos fabricantes o potencias, el número de lámparas a insertar a la red para superar tales límites, serían mayores que los mencionados (debido al efecto diversidad y atenuación).



## CAPÍTULO 5-Distorsión armónica de tensión en sistemas eléctricos de potencia

Se propone investigar en un sistema eléctrico de potencia, la distorsión de tensión provocada por la concentración de las cargas no lineales (las ya estudiadas anteriormente en capítulo 3). Dichas cargas originan corrientes armónicas que se propagan en las redes de transmisión y distribución eléctrica, afectando los índices de calidad de suministro. Esto puede ser peligroso para algunos equipos y cargas sensibles (ej: dispositivos de protección, banco de capacitores, motores, computadoras, etc), además de los problemas de calentamiento que se originan en las líneas y transformadores de distribución debido al aumento de corrientes distorsionadas.

Utilizando la configuración de la red de distribución de la Figura 173 y conectando los distintos tipos de cargas alineales a una barra en común (**punto de acometida común C**), analizamos la influencia de las impedancias de dicho sistema sobre los valores de THDv.

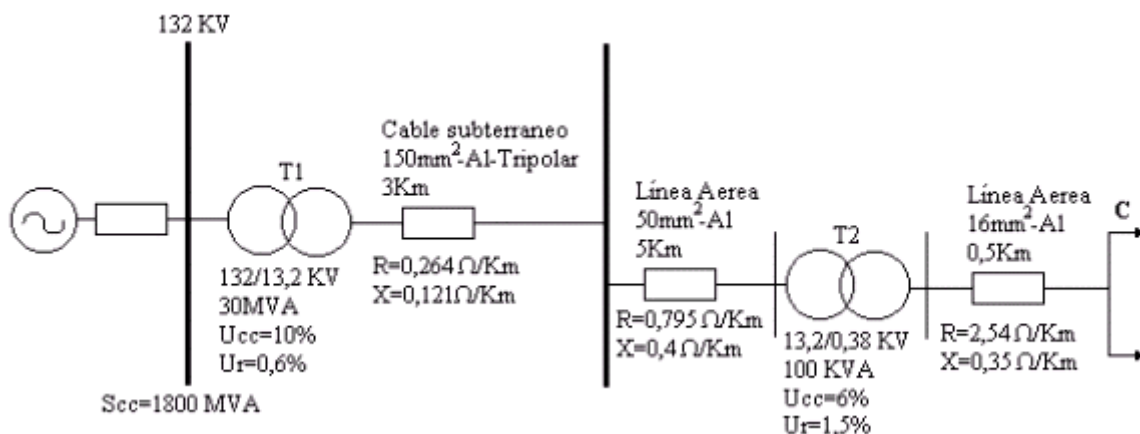


Figura 173-Esquema unifilar del sistema eléctrico de potencia.

Las impedancias de tal sistema eléctrico de potencia son las siguientes:

### • Impedancia del transformador 1

$$Z_t = U_{cc} \% \frac{U_N^2}{S_t} \Rightarrow Z_t = 0,1 \cdot \frac{(13,2KV)^2}{30MVA} \Rightarrow Z_t = 0,581\Omega$$

$$R_t = U_r \% \frac{U_N^2}{S_t} \Rightarrow R_t = 0,006 \cdot \frac{(13,2KV)^2}{30MVA} \Rightarrow R_t = 0,035\Omega$$

$$X_t = \sqrt{Z_t^2 - R_t^2} \Rightarrow X_t = \sqrt{(0,581)^2 - (0,035)^2} \Rightarrow X_t = 0,579\Omega \Rightarrow L_t = 1,84mHy$$

### • Impedancia del transformador 2

$$Z_t = U_{cc} \% \frac{U_N^2}{S_t} \Rightarrow Z_t = 0,06 \cdot \frac{(0,38KV)^2}{100KVA} \Rightarrow Z_t = 0,0866\Omega$$

$$R_t = U_r \% \frac{U_N^2}{S_t} \Rightarrow R_t = 0,015 \cdot \frac{(0,38KV)^2}{100KVA} \Rightarrow R_t = 0,0217\Omega$$



$$X_t = \sqrt{Z_t^2 - R_t^2} \Rightarrow X_t = \sqrt{(0,0866)^2 - (0,0217)^2} \Rightarrow X_t = 0,0839\Omega \Rightarrow L_t = 0,267mHy$$

• **Inductancia de la red(Ω)**

$$S_{cc} = \frac{U^2}{X_r} \Rightarrow X_r = \frac{U^2}{S_{cc}} \Rightarrow X_r = \frac{(132KV)^2}{1800MVA} \Rightarrow X_r = 9,68\Omega \Rightarrow L_r = 30,812mHy$$

• **Impedancia Línea 1**

$$R_1 = LR_1 \Rightarrow R_1 = 3Km.0,264\Omega / Km \Rightarrow R_1 = 0,792\Omega$$

$$X_1 = LX_1 \Rightarrow X_1 = 3Km.0,121\Omega / Km \Rightarrow X_1 = 0,363\Omega \Rightarrow L_1 = 1,155mHy$$

• **Impedancia Línea 2**

$$R_2 = LR_2 \Rightarrow R_2 = 5Km.0,795\Omega / Km \Rightarrow R_2 = 3,975\Omega$$

$$X_2 = LX_2 \Rightarrow X_2 = 5Km.0,4\Omega / Km \Rightarrow X_2 = 2\Omega \Rightarrow L_2 = 6,366mHy$$

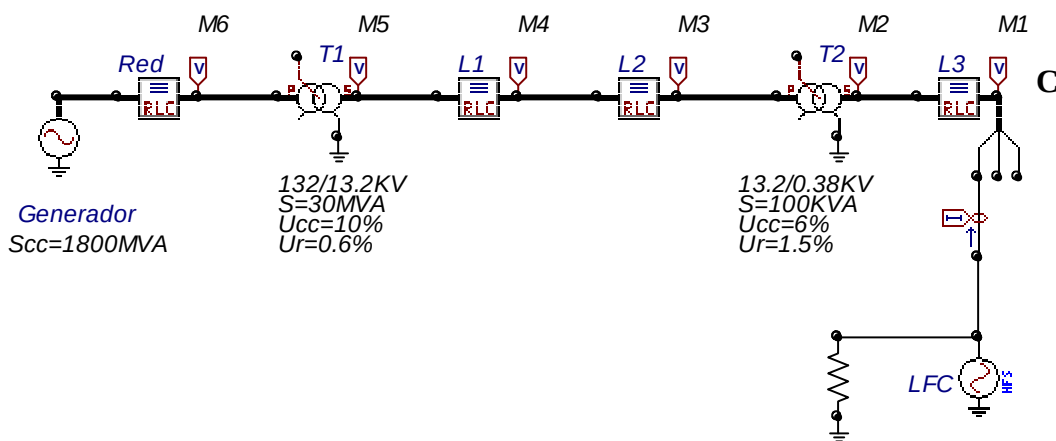
• **Impedancia Línea 3**

$$R_3 = LR_3 \Rightarrow R_3 = 0,5Km.2,54\Omega / Km \Rightarrow R_3 = 1,27\Omega$$

$$X_3 = LX_3 \Rightarrow X_3 = 0,5Km.0,35\Omega / Km \Rightarrow X_3 = 0,175\Omega \Rightarrow L_3 = 0,557mHy$$

**Simulación con 1LFC (General Electric)**

Con la utilización del programa ATPDraw, se insertará en la barra C del sistema eléctrico anteriormente mencionado, la señal de corriente perteneciente a una LFC de 20W (General Electric) obtenida del ensayo práctico (Figura 174).



1 LFC Marca GE de 20W

Figura 174-Inyección de la señal de corriente de 1LFC de 20W (GE).



Realizando la simulación de dicha inserción (resultados en Anexo B), es posible obtener la tasa de distorsión armónica de tensión (THDv) en los distintos puntos de la red (desde M1 a M6), mostradas en la Tabla 65.

THDv(%) obtenidas de simulación para 1LFC de 20W (GE)						
Medidor	M1	M2	M3	M4	M5	M6
THDv(%)	0.08213	0.02881	0.00144	0.00140	0.00139	0.00138

Tabla 65-THDv de cada medidor de tensión con 1LFC de 20W (GE).

De la Tabla 65 se observa la disminución del THDv a medida que nos desplazamos hacia el generador.

### **Simulación con 20 LFC (General Electric)**

Realizando el mismo razonamiento anterior (1 LFC), se procede a insertar en paralelo en el mismo sistema eléctrico de potencia (barra C), la señal de corriente perteneciente a 1 LFC de 20W hasta completar las 20 LFC (todas de marca **General Electric**).

De la simulación correspondiente (resultados en Anexo B), se determina los valores de THDv de cada medidor (Tabla 66).

THDv(%) obtenidas de simulación para 20 LFC de 20W c/u (GE)						
Medidor	M1	M2	M3	M4	M5	M6
THDv(%)	1.65	0.575	0.00809	0.00331	0.00253	0.00139

Tabla 66- THDv de cada medidor de tensión con 20 LFC de 20W c/u (GE).

De ésta última tabla, se nota al igual que en el caso anterior (simulación con 1LFC) el decrecimiento del THDv en dirección al generador.

### **Simulación con 20 LFC (distintas marcas)**

Realizando el mismo procedimiento que en los casos anteriores, se procede a incorporar en paralelo en la barra C, la señal de corriente perteneciente a 1 LFC de 20W hasta completar las 20 LFC pero de distintas marcas (5 **General Electric**, 5 **Eurolamp**, 5 **Osram** y 5 **Alic**).

De la simulación correspondiente (resultados en Anexo B), se determina los valores de THDv de cada medidor (Tabla 67).

THDv(%) obtenidas de simulación para 20 LFC de 20W c/u (distintas marcas)						
Medidor	M1	M2	M3	M4	M5	M6
THDv(%)	0.634	0.199	0.00313	0.00173	0.00173	0.00138

Tabla 67- THDv de cada medidor de tensión con 20 LFC de 20W c/u (distintas marcas).



Efectuando una comparación entre los valores de THD<sub>v</sub> de las dos simulaciones anteriores (20 LFC **General Electric** y 20 LFC de **distintas marcas**), se nota que la incorporación de lámparas de distintas marcas a una red típica, presenta un THD<sub>v</sub> inferior para todas las mediciones (M1 a M6). Tal fenómeno como ya se estudió en su momento, es debido al efecto de diversidad y atenuación. Observando gráficamente dicha comparación (Figura 175) también se aprecia que tal disminución es significativa para los primeros dos medidores (correspondiente a la red de baja tensión).

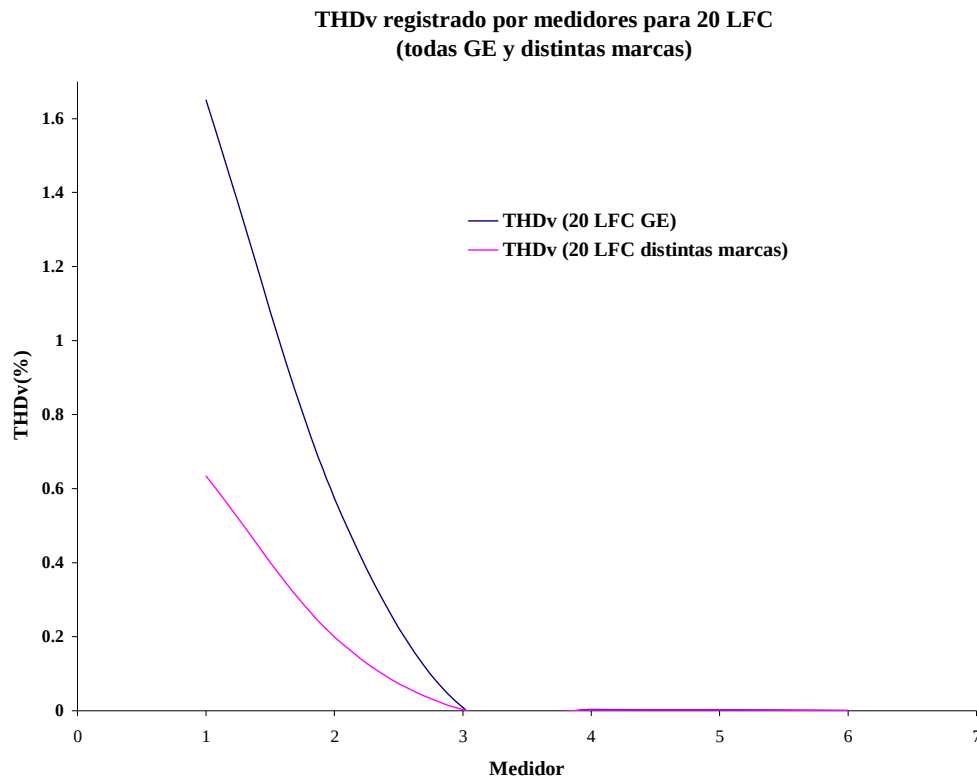


Figura 175- Comparación entre 20 LFC (GE) y 20 LFC (distintas marcas).

### Simulación con una fase del variador de velocidad

Se procede a insertar en la barra **C** del sistema eléctrico de potencia, la señal de corriente perteneciente a una fase del variador de velocidad marca: **ABB - ACS 600**. Cabe destacar que las amplitudes de dicha señal es de línea (380 V), por la que se la divide por  $\sqrt{3}$  para poder obtener la de fase (220 V). Ésto último, es debido a que más adelante se estudiará la combinación de dicha señal con la de LFC (220 V), conservando de esta manera el mismo nivel de tensión para ambos.

Realizando la simulación de dicha inserción (resultados en Anexo B), se determina los valores de THD<sub>v</sub> de cada medidor (Tabla 68).

THD <sub>v</sub> (%) obtenidas de simulación para una fase del variador de velocidad						
Medidor	M1	M2	M3	M4	M5	M6
THD <sub>v</sub> (%)	21.565	6.611	0.0947	0.0351	0.0246	0.0021

Tabla 68- THD<sub>v</sub> de cada medidor de tensión con una fase del Variador de velocidad.



**Simulación con una fase del Tablero General (Embotelladora)**

Al igual que en el caso anterior (simulación con una fase del variador de velocidad), se inserta en la barra **C**, la señal de corriente de fase (dividiendo amplitudes por  $\sqrt{3}$ ) del Tablero General (Embotelladora).

De la simulación correspondiente (resultados en Anexo B), se determina los valores de THDv de cada medidor (Tabla 69).

<b>THDv(%) obtenidas de simulación para una fase del Tablero General</b>						
<b>Medidor</b>	<b>M1</b>	<b>M2</b>	<b>M3</b>	<b>M4</b>	<b>M5</b>	<b>M6</b>
<b>THDv(%)</b>	5.338	1.621	0.0236	0.00886	0.00627	0.00144

Tabla 69- THDv de cada medidor de tensión con una fase del Tablero General (Embotelladora).

**Simulación con 20 LFC (distintas marcas) + una fase del variador de velocidad + una fase del Tablero General (Embotelladora)**

Ahora bien, se realiza una nueva simulación inyectando en la misma barra **C** del sistema eléctrico de potencia, la señal de corriente perteneciente a 1 LFC de 20W hasta completar las 20 LFC pero de distintas marcas (5 **General Electric**, 5 **Eurolamp**, 5 **Osram** y 5 **Alic**), más la señal de corriente de fase perteneciente al variador de velocidad marca: **ABB - ACS 600**, más la señal de corriente de fase del Tablero General (Embotelladora).

De la simulación correspondiente (resultados en Anexo B), se determina los valores de THDv de cada medidor (Tabla 70).

<b>THDv(%) obtenidas de simulación para 20 LFC de 20W c/u (distintas) + una fase del variador de velocidad + una fase del Tablero General</b>						
<b>Medidor</b>	<b>M1</b>	<b>M2</b>	<b>M3</b>	<b>M4</b>	<b>M5</b>	<b>M6</b>
<b>THDv(%)</b>	20.695	6.858	0.101	0.0376	0.0263	0.00218

Tabla 70- THDv de cada medidor de tensión con 20 LFC (distintas) + Var.V + T.G.

Observando la tabla anterior (Tabla 70), podemos notar la disminución en los valores de THDv en dirección al generador. De la visualización de la misma y comparándola con la Tabla 68, se puede distinguir en primer lugar, que la tasa de distorsión de tensión es impuesta principalmente por el variador de velocidad debido a su elevado THDv y a su gran amplitud de corriente con respecto a las demás cargas. En segundo lugar, de la comparación de ambas tablas (Tablas 68 y 70), se observa que el THDv del medidor 1 en el agrupamiento de cargas es inferior al del predominante variador de velocidad y por ende también su THDi, atribuyendo tal disminución al efecto diversidad existente en la inserción de distintas cargas alineales. Cabe mencionar que el resto de los medidores no se contrastan entre ambas tablas (68 y 70) para evidenciar tal fenómeno, debido a la discrepancia en las caídas de tensión de las impedancias, producto de las diferentes amplitudes de corrientes inyectadas.

Para demostrar todo esto dicho, a continuación además se muestran las tasas de distorsión de corriente de ambas simulaciones (Tabla 71).

<b>Número:</b>	<b>Var. Veloc.</b>	<b>20 LFC+Var.Veloc.+T.G.</b>
----------------	--------------------	-------------------------------



Nº Arm.	Frec.(Hz)	Amp.(A)	Ángulo(°)	Amp.(A)	Ángulo(°)
1	50	36.763	132	107.769	130
3	150	7.453	139	7.988	170
5	250	19.014	157	20.992	150
7	350	7.460	-125	7.487	-121
9	450	0.742	-11	1.067	2
11	550	4.554	92	4.715	95
13	650	2.666	176	2.323	-175
15	750	1.025	70	1.211	109
17	850	0.962	79	1.285	32
19	950	0.926	116	1.046	140
<b>Simulación</b>		<b>I(A)</b> 43.074	<b>THDi(%)</b> 61.065	<b>I(A)</b> 110.488	<b>THDi(%)</b> 22.605

Tabla 71-Comparación del THDi del Var.V. con el agrupamiento de cargas.

De la tabla anterior (Tabla 71) se nota claramente la disminución del THDi producto del efecto diversidad.

### Simulación con n LFC (General Electric)

El objetivo de esta nueva simulación es el de conocer la cantidad **n** de lámparas fluorescentes compactas (LFC) de 20W cada una (**General Electric**) conectadas en paralelo, para la cual con el sistema eléctrico de potencia bajo estudio, se supera el límite de distorsión de tensión establecido por las normas **IEEE 519** y **E.N.R.E (0465/1996. Boletín Oficial n° 28.470)**.

Luego de varias simulaciones se llega a que **n = 60 LFC** para la norma **IEEE 519** y **n = 96 LFC** para la norma **E.N.R.E** (resultados en Anexo B), como se muestra a continuación en las Tablas 72 y 73.

<b>THDv(%) obtenidas de simulación para 60 LFC de 20W c/u (GE)</b>						
<b>Medidor</b>	<b>M1</b>	<b>M2</b>	<b>M3</b>	<b>M4</b>	<b>M5</b>	<b>M6</b>
<b>THDv(%)</b>	<b>5.0008</b>	1.728	0.0239	0.00912	0.00648	0.00144

Tabla 72- THDv de cada medidor de tensión con 60 LFC de 20W c/u (GE).

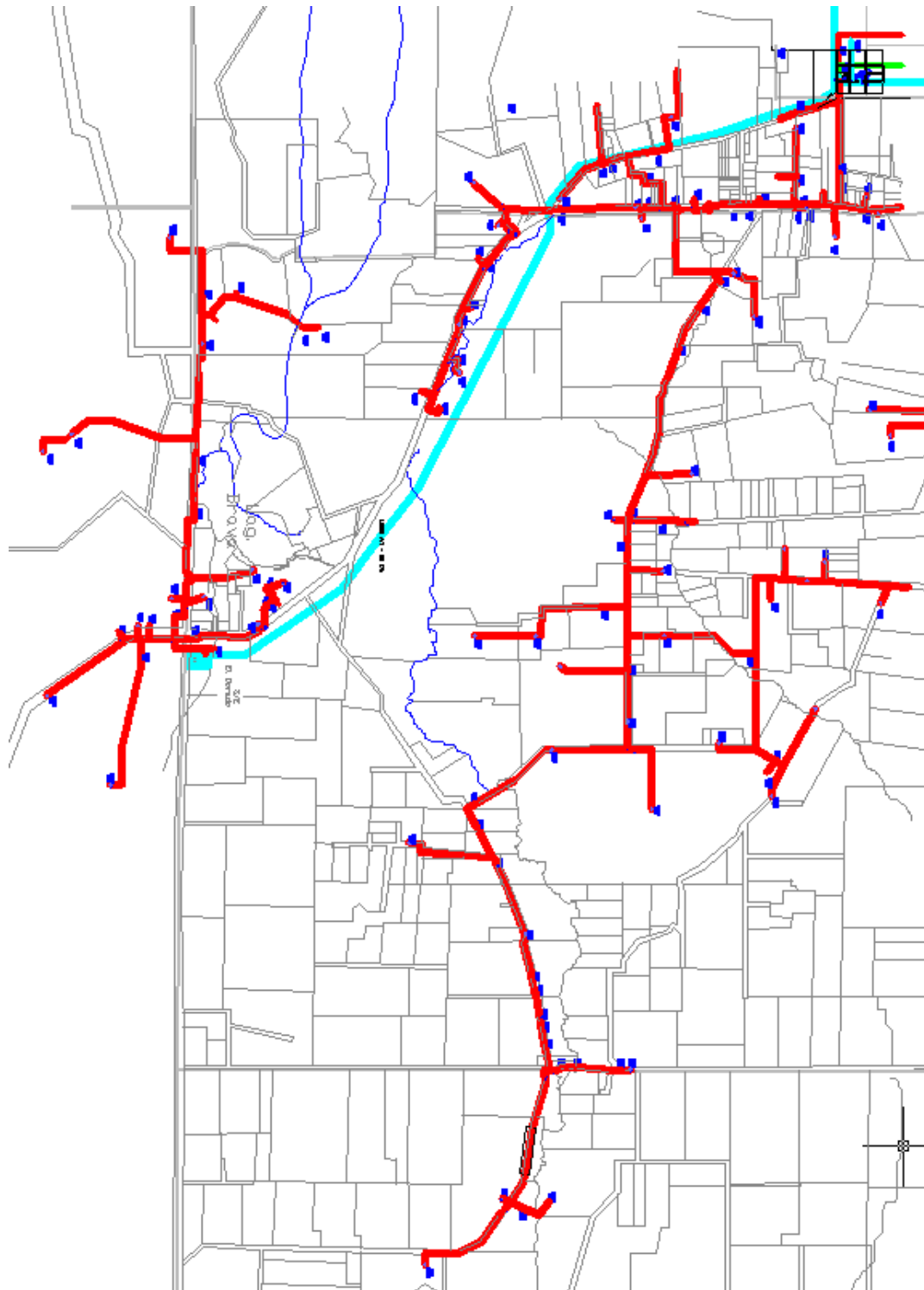
<b>THDv(%) obtenidas de simulación para 96 LFC de 20W c/u(GE)</b>						
<b>Medidor</b>	<b>M1</b>	<b>M2</b>	<b>M3</b>	<b>M4</b>	<b>M5</b>	<b>M6</b>
<b>THDv(%)</b>	<b>8.075</b>	2.767	0.0382	0.0144	0.01020	0.00153

Tabla 73- THDv de cada medidor de tensión con 96 LFC de 20W c/u (GE).



## CAPÍTULO 6-Distorsión armónica de tensión en el sistema eléctrico de la ciudad de Balcarce

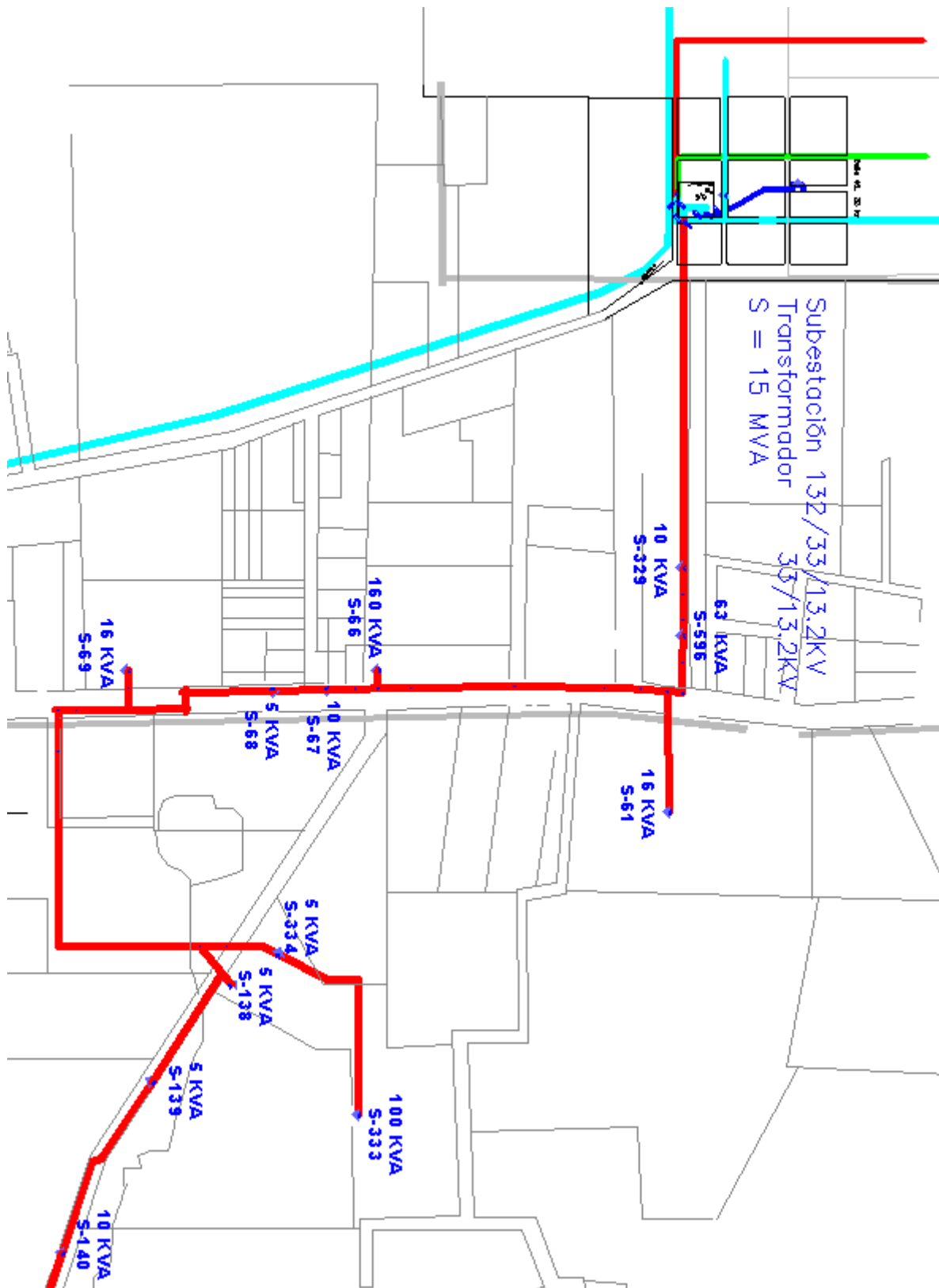
Se procedió a realizar un análisis sobre los valores de distorsión armónica de tensión (THDv) en un tramo de la red perteneciente a la ciudad de Balcarce (Figura 176).



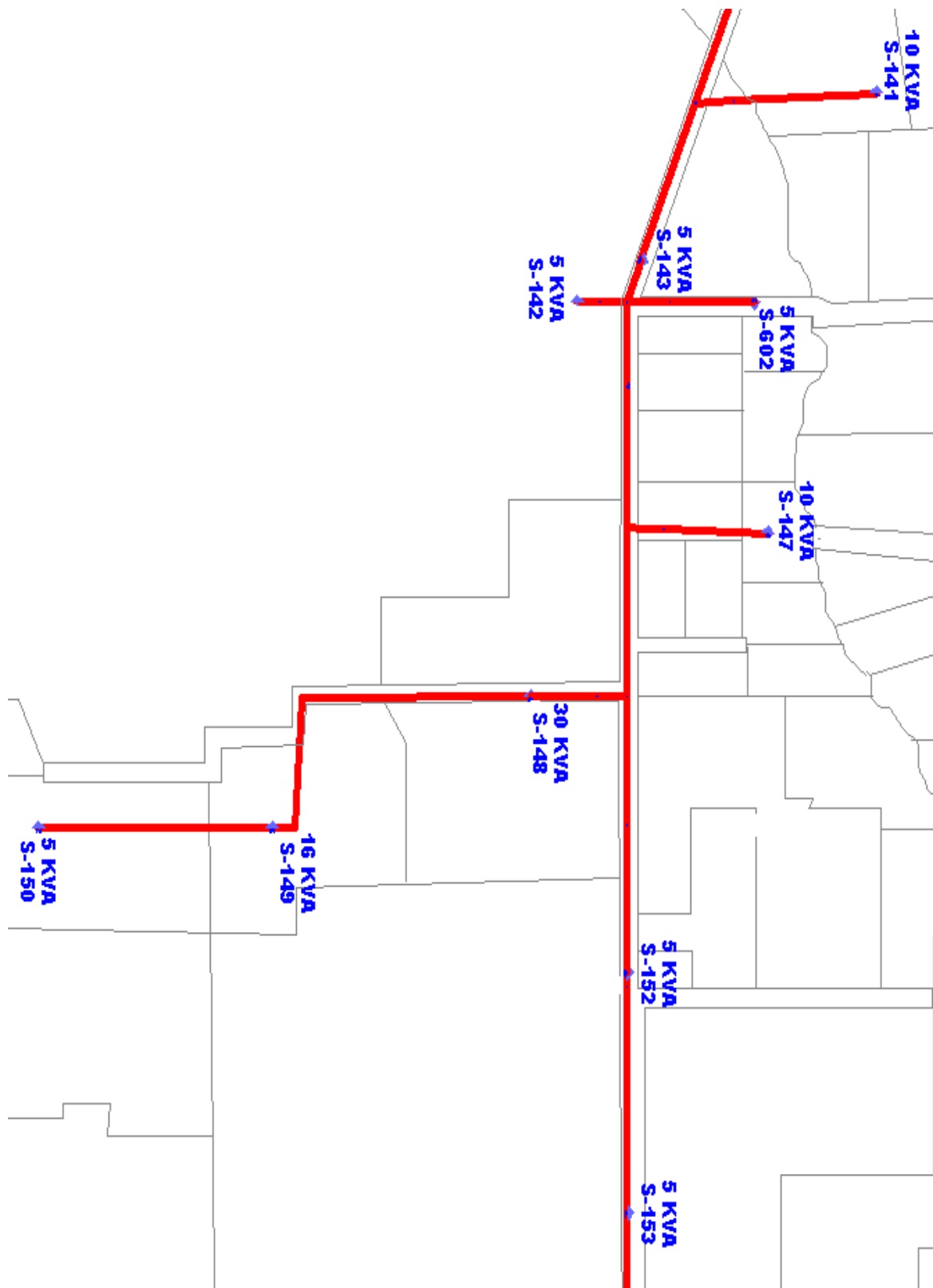
Figuras 176-Zona sur de media tensión de la ciudad de Balcarce.



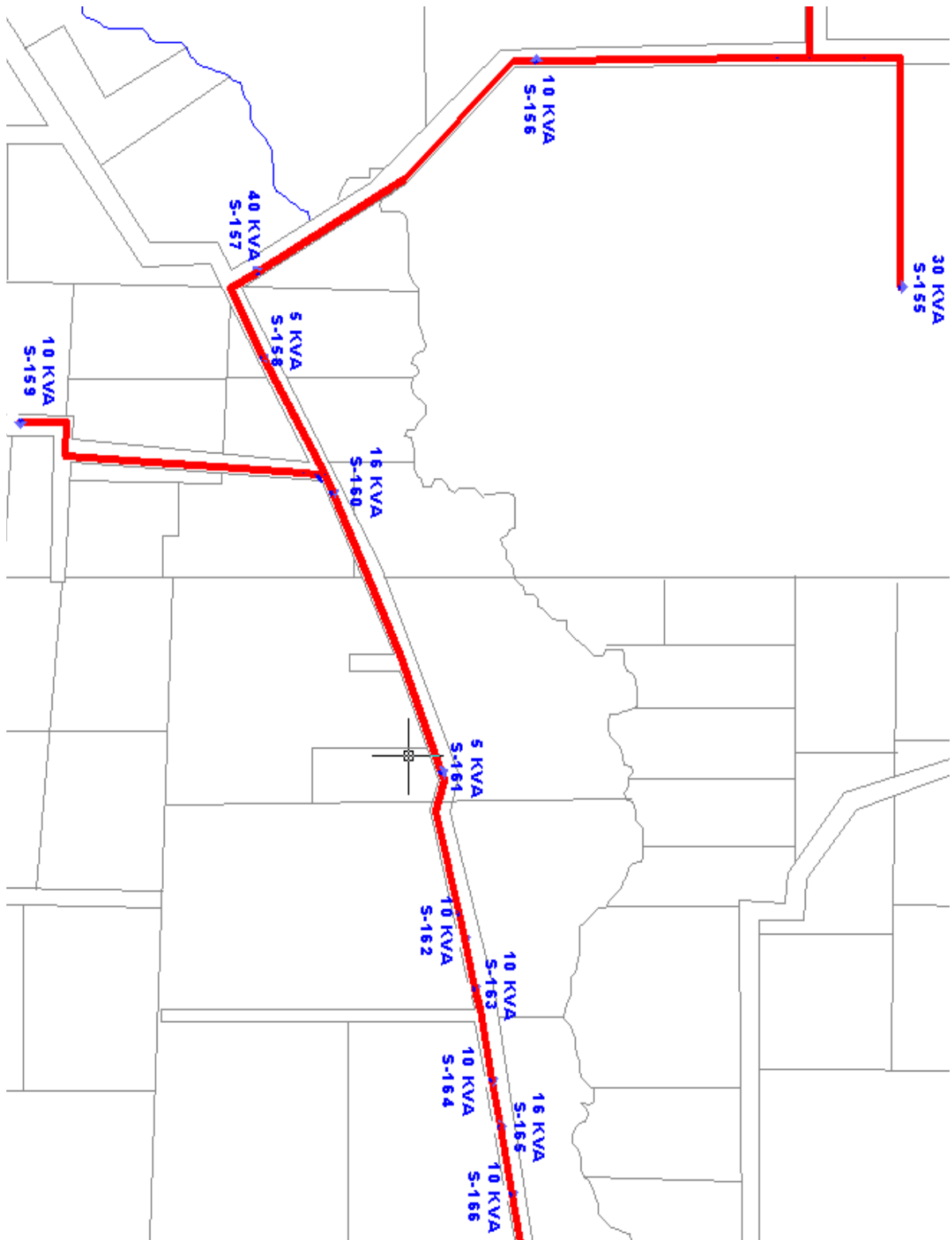
A continuación se muestran ampliaciones del tramo bajo estudio (Figuras 177, 178, 179 y 180)



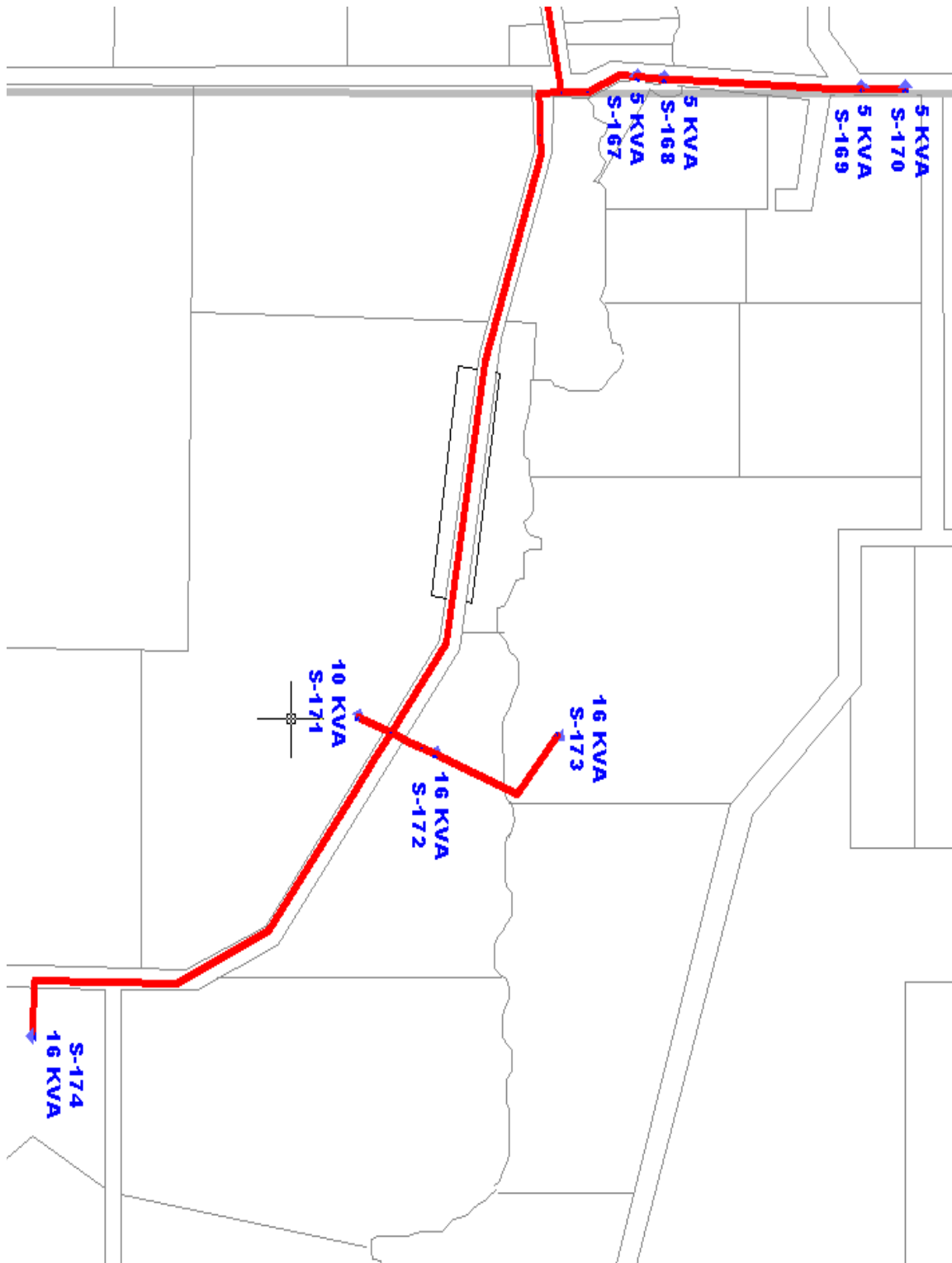
Figuras 177- Ampliación de la primera parte del tramo bajo estudio.



Figuras 178- Ampliación de la segunda parte del tramo bajo estudio.



Figuras 179- Ampliación de la tercera parte del tramo bajo estudio.



Figuras 180- Ampliación de la cuarta parte del tramo bajo estudio.



La red en cuestión consta de un transformador de distribución de 33/13.2 KV (15 MVA) y 41 transformadores rurales de 13.2/0.4 KV (cuyas potencias varían entre 5, 10, 16, 30, 40, 63, 100 y 160 KVA).

Con la ayuda del programa ATPDraw es posible armar tal tramo de red, cargando en la misma todos sus parámetros (subestación, transformadores e impedancias de líneas), permitiendo efectuar distintos tipos de simulaciones que son de interés para dicho estudio.

Las impedancias de cada fase de línea se muestran a continuación en la Tabla 74.

Líneas	DIST.[Km]	R [Ohm]	X [Ohm]	L[mHy]
1	2.80	1.59	0.60	1.92
2	0.50	0.28	0.11	0.34
3	0.60	0.34	0.13	0.41
3.1	1.00	0.57	0.22	0.68
4	2.35	1.93	0.53	1.69
5	0.40	0.33	0.09	0.29
6	0.40	0.33	0.09	0.29
7	1.25	1.03	0.28	0.90
7.1	0.30	0.25	0.07	0.22
8	3.50	5.39	0.86	2.73
9	0.65	1.00	0.16	0.51
10	1.75	2.69	0.43	1.36
11	0.35	0.54	0.09	0.27
11.1	1.00	1.54	0.25	0.78
12	1.60	2.46	0.39	1.25
13	4.00	6.16	0.98	3.12
14	1.45	2.23	0.36	1.13
15	1.15	1.77	0.28	0.90
16	0.30	0.46	0.07	0.23
17	1.00	1.54	0.25	0.78
18	0.40	0.62	0.10	0.31
19	1.50	2.31	0.37	1.17
20	1.10	1.69	0.27	0.86
21	1.15	1.77	0.28	0.90
21.1	2.00	3.08	0.49	1.56
22	0.75	1.15	0.18	0.58
23	2.75	4.23	0.67	2.14
24	1.90	2.92	0.47	1.48
25	1.65	2.54	0.40	1.29

Tabla 74-Impedancias de líneas (parte I).





Líneas	DIST.[Km]	R [Ohm]	X [Ohm]	L[mHy]
26	0.85	1.31	0.21	0.66
27	2.50	3.85	0.61	1.95
28	2.35	3.62	0.58	1.83
29	3.00	4.62	0.74	2.34
30	0.90	1.39	0.22	0.70
31	1.00	1.54	0.25	0.78
31.1	0.25	0.38	0.06	0.19
32	2.85	4.39	0.70	2.22
33	2.40	3.69	0.59	1.87
34	1.25	1.92	0.31	0.97
35	0.50	0.77	0.12	0.39
36	0.75	1.15	0.18	0.58
37	0.50	0.77	0.12	0.39
38	0.50	0.77	0.12	0.39
39	0.90	1.39	0.22	0.70
40	0.60	0.92	0.15	0.47
41	0.15	0.23	0.04	0.12
42	1.50	2.31	0.37	1.17
43	0.35	0.54	0.09	0.27
44	4.35	6.69	1.07	3.39
44.1	0.25	0.38	0.06	0.19
45	3.50	5.39	0.86	2.73
46	0.35	0.54	0.09	0.27
47	1.05	1.62	0.26	0.82

Tabla 74-Impedancias de líneas (parte II).

### **Primera simulación con cargas aproximadamente lineales**

La primera simulación consistirá en insertar a cada transformador de la red una carga trifásica con  $\cos\varphi = 0,9$ , las cuales poseen muy poca distorsión armónica de corriente (THDi=6%) considerándolas prácticamente lineales (Figura 181). Cabe destacar que la potencia de carga representa entre un 70 y 90 % de la del transformador.

Para el dimensionamiento de los transformadores se utiliza el programa **Tradim**, creado por **Jorge Sachi** (profesor del Departamento Electrotecnia de la U.N.L.P), el cual permite cambiar los valores de relación de tensión y potencia mediante un **archivo.DAT**, y de esa manera, se obtienen todos los parámetros requeridos para el programa ATPDraw.

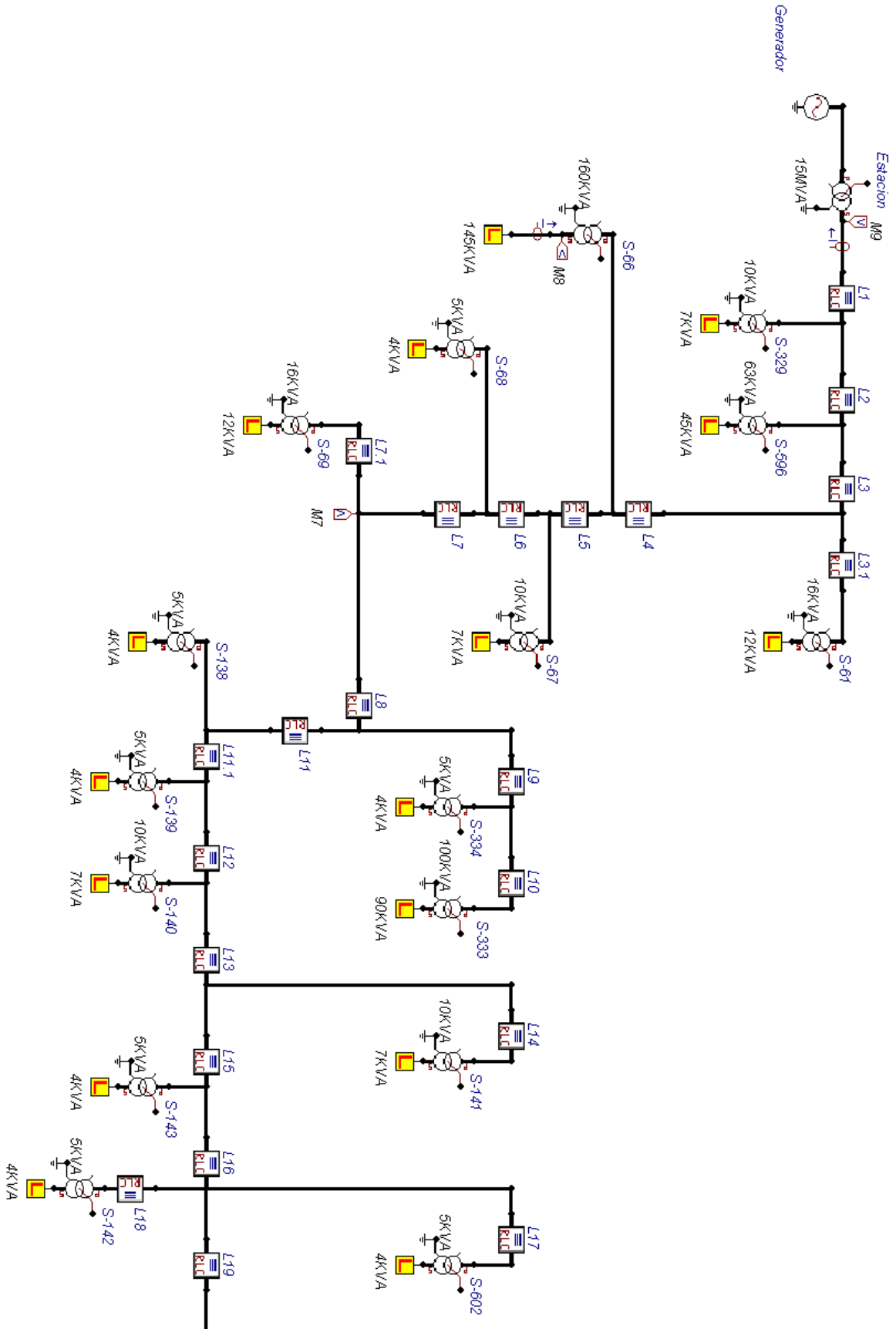


Figura 181- Primera parte de red bajo estudio con programa ATPDraw.

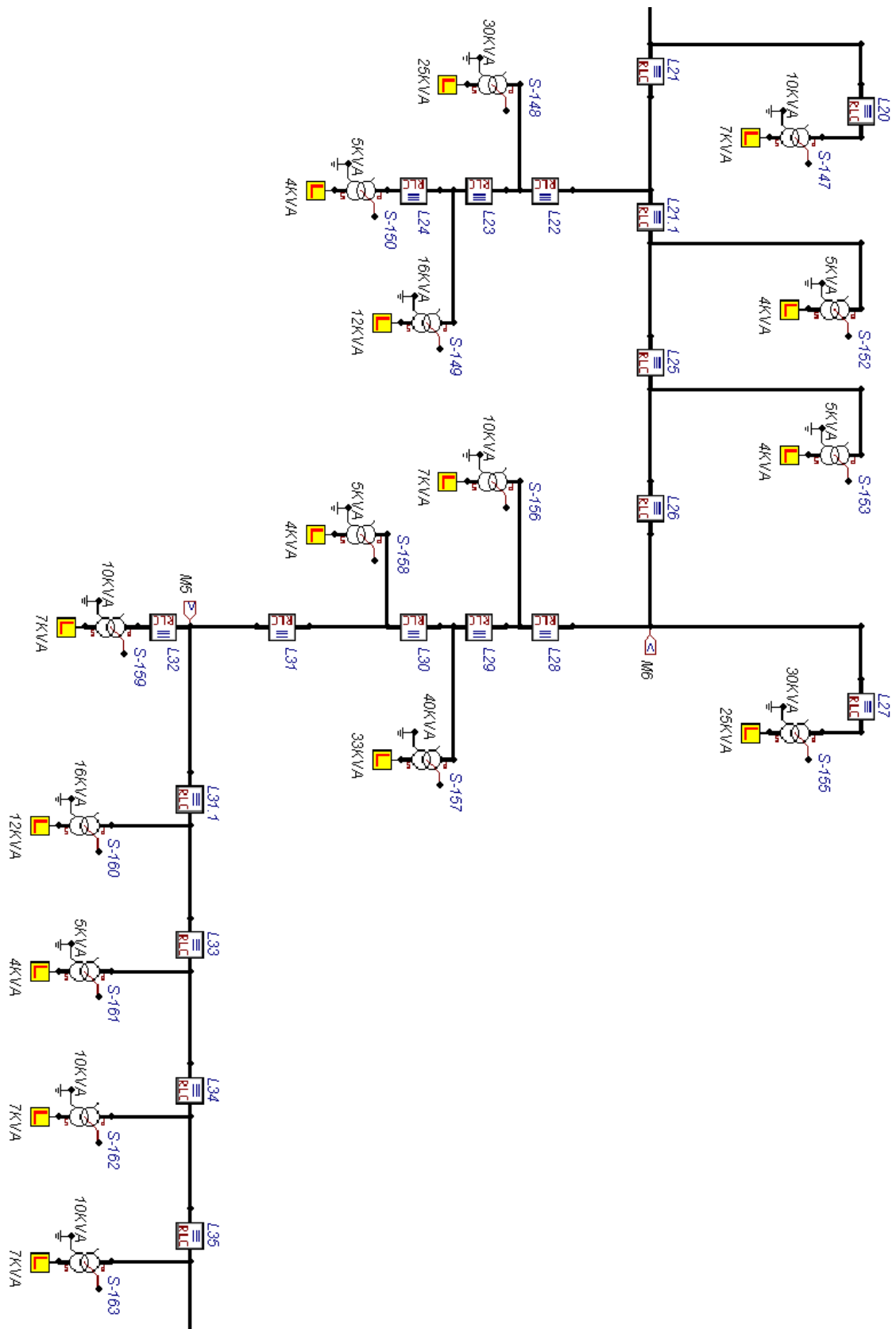


Figura 181- Segunda parte de red bajo estudio con programa ATPDraw.

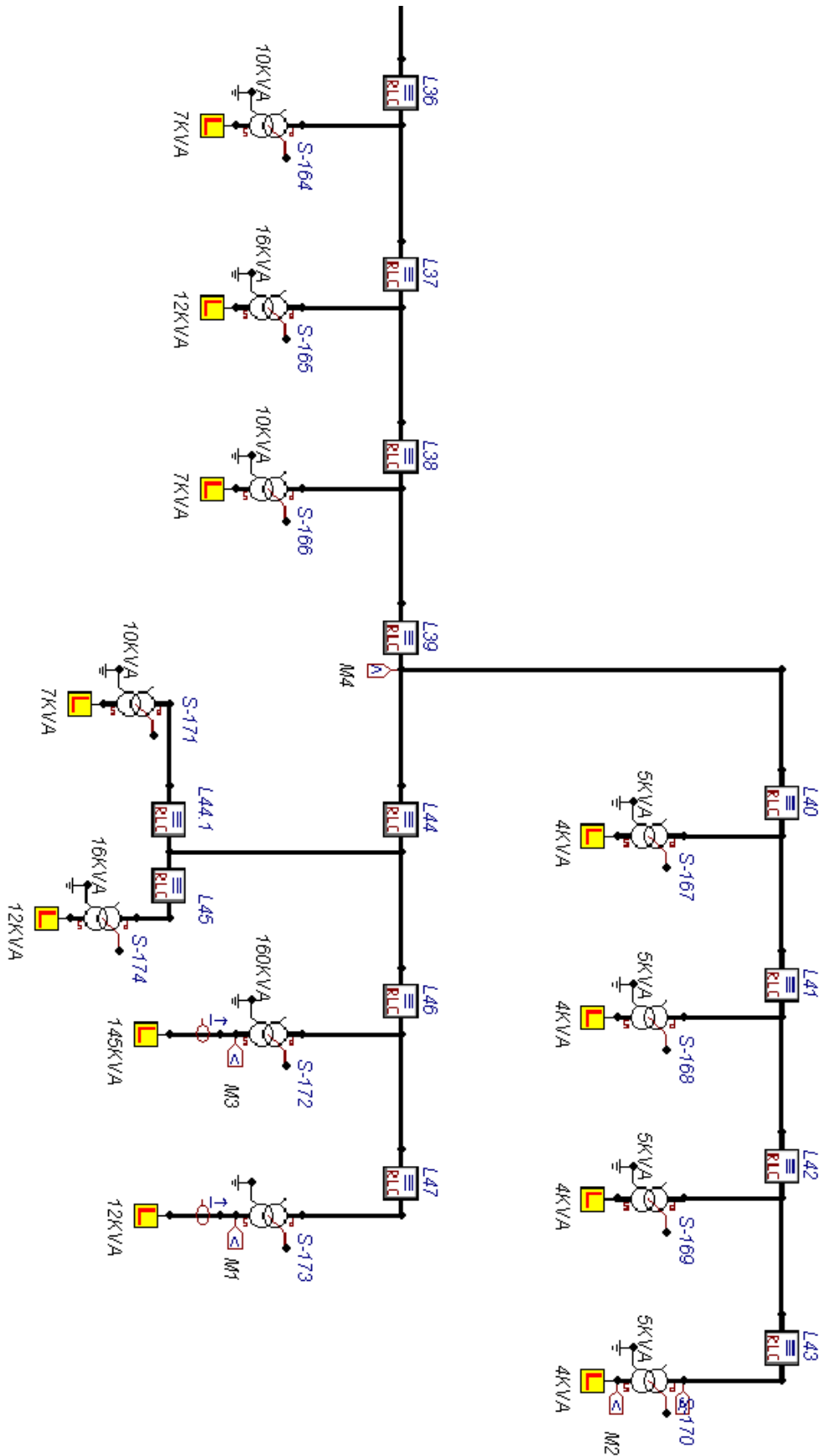


Figura 181- Tercera parte de red bajo estudio con programa ATPDraw.



Realizando las simulaciones de dicha inserción (resultados en Anexo C), es posible obtener la tasa de distorsión armónica de tensión (THDv) en distintos puntos de la red (desde M1 a M9), mostradas en la Tabla 75.

<b>THDv(%) obtenidas de simulación con todas cargas aproximadamente lineales</b>									
<b>Medidor</b>	<b>M1</b>	<b>M2</b>	<b>M3</b>	<b>M4</b>	<b>M5</b>	<b>M6</b>	<b>M7</b>	<b>M8</b>	<b>M9</b>
<b>THDv(%)</b>	6.926	6.978	6.983	4.689	4.22	3.558	0.828	0.862	0.0475

Tabla 75-THDv de cada medidor de tensión con cargas aproximadamente lineales.

Se puede observar de la tabla anterior (Tabla 75), el decrecimiento de los niveles de distorsión armónica de tensión en dirección al generador, siendo los tres medidores mas alejados de la generación (M1, M2 y M3) los que poseen distorsiones de tensión que superan el límite establecido por la norma **IEEE 519** (THDv=5%) debido a su gran impedancia alineal hasta el punto de medición, y no sobrepasando en ninguno de los casos a la del **E.N.R.E** para media tensión (THDv=8%). También se puede destacar que dicha distorsión es inferior a la expuesta por la norma más exigente en el M4.

En el medidor M4 es posible determinar la suma de las señales de corrientes (resultados en Anexo C) con su distorsión armónica (THDi), provenientes una de la línea L40 y otra de la línea L44. A continuación en la Tabla 76 se muestra los valores de THDi recabadas de las simulaciones.

<b>THDi de cada señal de corriente y su suma</b>			
<b>Medidor Corriente:</b>	<b>línea 44</b>	<b>línea 40</b>	<b>suma de señales(línea 39)</b>
<b>THDi(%)</b>	28.41	45.07	29.91

Tabla 76-THDi de cada señal de corriente y su suma.

Como se puede observar de la Tabla 76, queda expuesto como la suma de ambas señales de corriente trae como consecuencia una disminución en la tasa de distorsión armónica de corriente comparándola con la proveniente de la línea 40, debido al ya explicado efecto diversidad.

### Segunda simulación con cargas alineales y aproximadamente lineales

Se analizará ahora la influencia en los valores de THDv al inyectar algunas cargas alineales (ya estudiadas en capítulos anteriores) en puntos determinados de la red bajo estudio, manteniendo las mismas cargas prácticamente lineales en el resto de los transformadores de 13.2/0.4 KV.

Las cargas alineales a conectar son:

- 200 LFC General Electric de 20W cada una en el transformador S-170 de 5 KVA.
- 100 LFC Alic de 20W cada una en el transformador S-161 de 5 KVA.



- 100 LFC Eurolamp de 20W cada una en el transformador S-158 de 5 KVA.
- 100 LFC General Electric de 20W cada una en el transformador S-148 de 30 KVA.
- 100 LFC Osram de 20W cada una en el transformador S-69 de 16 KVA.
- Variador de velocidad marca ABB-ACS 600 en el transformador S-172 de 160 KVA.
- Tablero General de Embotelladora en el transformador S-66 de 160 KVA.

Realizando las simulaciones al conectar las cargas alineales (resultados en Anexo C), se obtiene la tasa de distorsión armónica de tensión (THDv) en los mismos puntos que en el caso anterior (desde M1 a M9), como se muestran en la Tabla 77.

<b>THDv(%) obtenidas de simulación con cargas lineales y alineales</b>									
<b>Medidor</b>	<b>M1</b>	<b>M2</b>	<b>M3</b>	<b>M4</b>	<b>M5</b>	<b>M6</b>	<b>M7</b>	<b>M8</b>	<b>M9</b>
<b>THDv(%)</b>	6.314	6.615	5.763	4.467	4.098	3.483	0.78	0.654	0.047

Tabla 77-THDv de cada medidor de tensión con cargas lineales y alineales.

Comparando la Tabla 75 y 77 es posible visualizar como los niveles de distorsión armónica de tensión (THDv) disminuyen con el agregado de cargas alineales en el tramo del sistema eléctrico de potencia de la ciudad de Balcarce bajo estudio. Este fenómeno de mitigación de armónicos es producto de la diversidad generada por las distintas cargas (lineales y alineales) en paralelo.

### **Tercera simulación con LFC (General Electric)**

La tercera simulación consistirá en determinar la cantidad de lámparas fluorescentes compactas de marca General Electric necesarias para superar los límites establecidos de THDv de las normas **IEEE 519** (THDv=5%) y **E.N.R.E** (THDv=8%). El estudio es realizado en un transformador puntual, como en el caso del S-155 de 30 KVA, logrando también hallar de la misma manera, la potencia de la carga necesaria con respecto a la del transformador para superar tales límites.

Las tasas de distorsión armónica de tensión con el transformador S-155 en vacío y con la conexión de la carga lineal de 25KVA, se muestran a continuación en la Tabla 78.

<b>THDv(%) obtenidas de simulación sin carga y con carga lineal</b>		
<b>Medidor tensión:</b>	<b>VACIO</b>	<b>CARGA 25 KVA</b>
<b>THDv(%)</b>	3.26	5.02
<b>% de la carga con respecto a la del transformador S-155 de 30 KVA</b>	0%	83%

Tabla 78-THDv con el S-155 en vacío y con carga lineal de 25 KVA conectada.



Luego de varias simulaciones se llega a que la cantidad **n** de lámparas y la potencia de la carga necesaria con respecto a la del transformador para superar los límites de THD<sub>v</sub> establecidos por ambas normas, se muestran en la siguiente Tabla 79.

<b>THD<sub>v</sub>(%) obtenidas de simulación con carga alineal (LFC)</b>		
<b>Medidor tensión:</b>	<b>102 LFC (GE)</b>	<b>194 LFC (GE)</b>
<b>THD<sub>v</sub>(%)</b>	5.03	8.02
<b>% de la carga con respecto a la del transformador S-155 de 30 KVA</b>	8%	14%

Tabla 79-THD<sub>v</sub> con **n** LFC de 20W cada una conectadas en el S-155.

De la tabla anterior (Tabla 79), se puede observar como con tal poca potencia de carga comparada con la del transformador, se superan los límites establecidos por las normas **IEEE 519** (THD<sub>v</sub>=5%) y **E.N.R.E** (THD<sub>v</sub>=8%).



## CAPÍTULO 7-Normas y Recomendaciones

### Normativa del E.N.R.E (0099/1997. Boletín Oficial n° 28.583)

El Límite de emisión individual asignado a un usuario conectado a una red se obtiene para cada intensidad armónica y se determina en función de su potencia contratada, y el nivel de tensión (BT, MT o AT).

- T-1 ( $P < 10$  kW).
- T-2 ( $10 \text{ kW} \leq P < 50$  kW).
- T-3 ( $P \geq 50$  kW).

En la Tabla 80 se fijan las intensidades armónicas como valores en unidad de corriente (A) para usuarios con tarifa T1. Para usuarios en tarifas T2 y T3, se fijan como valores porcentuales respecto de la intensidad de carga contratada por el usuario (para cada banda horaria según corresponda), y considerando un  $\cos \varphi$  de 0,85. Lo dicho es para T-1, T-2 conectados en BT y T-3 conectados en BT ( $U \leq 1\text{kV}$ ), MT ( $1\text{kV} < U < 66\text{kV}$ ) o AT ( $66 \text{ kV} \leq U \leq 220 \text{ kV}$ ).

Orden de la Armónica (n)	Usuario T1	Usuarios T2 Y T3 en BT y MT	Usuarios T3 en AT
	Intensidad armónica máxima [A]	Intensidad armónica máxima, como % de la corriente de carga contratada	Intensidad armónica máxima, como % de la corriente de carga contratada
<b>IMRARES NO MULTIPLOS DE 3</b>			
5	2.28	12	6
7	1.54	8.5	5.1
11	0.66	4.3	2.9
13	0.42	3	2.2
17	0.26	2.7	1.8
19	0.24	1.9	1.7
23	0.2	1.6	1.1
25	0.18	1.6	1.1
>25	4.5/n	$0.2+0.8*25/n$	0.4
<b>IMRARES MULTIPLOS DE 3</b>			
3	4.6	16	7.5
9	0.8	2.2	2.2
15	0.3	0.6	0.8
21	0.21	0.4	0.4
>21	4.5/n	0.3	0.4

Tabla 80-Límites de emisión individuales de intensidades armónicas para usuarios con tarifas T-1, T-2 y T-3 (parte I).

	<b>Usuario T1</b>	<b>Usuarios T2 Y T3</b>	<b>Usuarios T3 en AT</b>
--	-------------------	-------------------------	--------------------------





Orden de la Armónica (n)	en BT y MT		
	Intensidad armónica máxima [A]	Intensidad armónica máxima, como % de la corriente de carga contratada	Intensidad armónica máxima, como % de la corriente de carga contratada
<b>PARES</b>			
2	2.16	10	10
4	0.86	2.5	3.8
6	0.6	1	1.5
8	0.46	0.8	0.5
10	0.37	0.8	0.5
12	0.31	0.4	0.5
>12	3.68/n	0.3	0.5
<b>TDTI(%)</b>		<b>20</b>	<b>12</b>

Tabla 80-Límites de emisión individuales de intensidades armónicas para usuarios con tarifas T-1, T-2 y T-3 (parte II).

### Cálculo de la Distorsión Penalizable Individual de Armónicas para un usuario

Se define como Distorsión Penalizable de Armónicas (DPIA) a la distorsión armónica detectada en cada intervalo de medida, por encima de los límites de emisión individuales establecidos, según la siguiente expresión:

$$DPIA_k = \text{Max} \left[ 0, \frac{TDTI(k) - TDTI}{TDTI} \right] + \frac{1}{3} \sum_{n=2}^{40} \text{Max} \left[ 0, \frac{In(k) - In}{In} \right] \quad (36)$$

Donde:

- **TDTI (k)** es la tasa de distorsión total en corriente registrada en el intervalo de medición k (10 minutos), referida a la corriente contratada por el usuario.

$$TDTI(K) = \sqrt{\sum_{n=2}^{40} \left( \frac{In(k)}{Ic} \right)^2} \quad (37)$$

- **TDTI:** es el límite de emisión en corriente para la distorsión total definido en la Tabla 80 para el caso de usuarios encuadrados en tarifas T2 y T3. Para usuarios en tarifa T1, no se considera la tasa de distorsión total a los fines de la determinación de la distorsión penalizable de armónicas (**DPIA**).

- **In (k):** es el valor de la intensidad armónica n en el intervalo de medición k que inyecta el usuario en la red. El límite y las intensidades medidas deben ser expresados en valores absolutos de corrientes o en valores porcentuales con respecto a la intensidad de carga correspondiente con la potencia contratada por el usuario, según la categoría tarifaria.

- **In:** es el límite de emisión individual de la intensidad armónica n.



El **DPIA<sub>k</sub>** se calcula para cada intervalo  $k$  del período de medición, registrándose la energía consumida por el usuario  $E(k)$  durante cada intervalo  $k$ .

A efectos del cálculo de **TDTI(k)** e **In(k)** para la evaluación de la **DPIA**, sólo se considerarán los valores de **In(k)** registrados con flujo de potencia activa desde el usuario hacia la red de alimentación, que es cuando las instalaciones del usuario están emitiendo la perturbación de dicha armónica.

Hay penalización en un punto de medición, si durante más del 5 % del tiempo de medida se ha superado alguno de los límites de emisión individuales asignados al usuario.

### **Normativa del E.N.R.E (0465/1996. Boletín Oficial n° 28.470)**

En la Tabla 81 se muestran los niveles de referencia para tensiones armónicas para puntos de suministro en BT ( $U \leq 1\text{kV}$ ), MT ( $1\text{kV} < U < 66\text{kV}$ ) y AT ( $66\text{kV} \leq U \leq 220\text{kV}$ ), durante más de un 5 % del tiempo total del período de medición.

Orden de la Armónica (n)	Nivel de Referencia de la armónica (en % con respecto a la fundamental)		
	BT( $U \leq 1\text{kV}$ )	MT ( $1\text{kV} < U < 66\text{kV}$ )	AT ( $66\text{kV} \leq U \leq 220\text{kV}$ )
<b>IMRARES NO MULTIPLOS DE 3</b>			
5	6	6	2
7	5	5	2
11	3.5	3.5	1.5
13	3	3	1.5
17	2	2	1
19	2	1.5	1
23	1.5	1.5	0.7
25	1.5	1.5	0.7
>25	$0.2+0.5 \times 15/n$	$0.2+0.5 \times 15/n$	$0.1+2/5n$
<b>IMRARES MULTIPLOS DE 3</b>			
3	5	5	0.5
9	1.5	1.5	1
15	0.3	0.3	0.3
21	0.2	0.2	0.2
>21	0.2	0.2	0.2
<b>PARES</b>			
2	2	2	1.5
4	1	1	1
6	0.5	0.5	0.5
8	0.5	0.5	0.2
10	0.5	0.5	0.2
12	0.5	0.2	0.2
>12	0.2	0.2	0.2
<b>TDIv(%)</b>	<b>8%</b>	<b>8%</b>	<b>3%</b>

Tabla 81- Niveles de referencia para tensiones armónicas.

Para redes de EAT ( $U > 220\text{kV}$ ) se considerarán como niveles de referencia para las armónicas de tensión, valores mitad de los indicados en la Tabla 81 para redes de AT ( $66\text{kV} \leq U \leq 220\text{kV}$ ).



### Cálculo de la Distorsión Penalizable Individual de Armónicas para un usuario

Se define como Distorsión Penalizable de Armónicas (**DPA**) a la distorsión armónica encontrada en cada intervalo de medida, por encima de los niveles de referencia y normalizada por estos mismos, según la siguiente expresión:

$$DPA_k = \text{Max} \left[ 0, \frac{TDT(k) - TDT}{TDT} \right] + \frac{1}{3} \sum_{n=2}^{40} \text{Max} \left[ 0, \frac{U_i(k) - U_i}{U_i} \right] \quad (38)$$

Donde:

- **TDT(k)**: es la tasa de distorsión total registrada en el intervalo de medición k (10min.).

- **TDT**: es el nivel de distorsión total de referencia.

$$TDT = \sqrt{\sum_{i=2}^{40} \left( \frac{U_i}{U_1} \right)^2} \quad (39)$$

Donde:

- **Ui**: es la amplitud de la tensión de la armónica de orden i.
- **U1**: es la amplitud de la tensión fundamental.

- **Ui(k)**: es el valor de la tensión armónica i en el intervalo de medición k.

- **Ui**: es el nivel de referencia de la tensión armónica i definido.

El **DPA<sub>k</sub>** se calcula para cada intervalo k del período de medición, registrándose la energía suministrada E(k) durante cada intervalo k.

### Norma IEEE 519

En los Estados Unidos de América la norma **IEEE 519** “ Prácticas recomendadas y requerimientos para el control de armónicas en sistemas eléctricos de potencia ” define entre sus puntos los valores máximos de distorsión permisible.

El respeto estricto a estas recomendaciones no siempre evitaría problemas, particularmente cuando son aproximados a los límites. Es razonable considerar que el sistema cambia a menudo, justificando una nueva reexaminación. Mediciones de armónicas deberían ser ejecutadas periódicamente, para determinar el comportamiento del sistema y el rendimiento de los equipos. El cliente debería confirmar:

- Que condensadores para corregir el factor de potencia o filtros de armónicas no sean sobrecargados por un exceso de armónicas.



- Que las perjudiciales resonancias series o paralelas, no están presentes.
- Que el nivel de armónicas en PCC y en los puntos de utilización no sea excesivo.

Los límites mostrados en las tablas de distorsión de corriente deben ser usados como valores de “peor caso” para operaciones normales (condiciones válidas por más de 1 hora). Para períodos cortos, durante partidas o condiciones inusuales, los límites pueden ser excedidos en un 50 %.

### Límites de distorsión de corriente

Las Tablas 82, 83, 84 son aplicables para rectificadores de 6 pulsos y situaciones generales de distorsión. Sin embargo, cuando se usan convertidores con número de pulsos ( $q$ ) de más de 6, los límites para las armónicas características son incrementados por un factor equivalente a:

$$\sqrt{\frac{q}{6}} \quad (40)$$

con tal que las amplitudes de las armónicas no-características sean menores que el 25 % de los límites especificados en las siguientes tablas.

<b>ARMONICAS INDIVIDUALES(IMPARES)</b>						
<b>Isc/Im</b>	<b>h&lt;11</b>	<b>11&lt;=h&lt;17</b>	<b>17&lt;=h&lt;23</b>	<b>23&lt;=h&lt;35</b>	<b>35&lt;=h</b>	<b>THD</b>
<20	4	2	1.5	0.6	0.3	5
20-50	7	3.5	2.5	1	0.5	5
50-100	10	4.5	4	1.5	0.7	12
100-1000	12	5.5	5	2	1	15
>1000	15	7	6	2.5	1.4	20

Tabla 82-Límites de distorsión de corriente para sistemas de distribución general (120[V] a 69[KV]).

<b>ARMONICAS INDIVIDUALES(IMPARES)</b>						
<b>Isc/Im</b>	<b>h&lt;11</b>	<b>11&lt;=h&lt;17</b>	<b>17&lt;=h&lt;23</b>	<b>23&lt;=h&lt;35</b>	<b>35&lt;=h</b>	<b>THD</b>
<20	2	3.5	0.75	0.3	0.15	2.5
20-50	3.5	2.75	1.25	0.5	0.25	4
50-100	5	2.25	2	0.75	0.35	6
100-1000	6	2.75	2.5	1	0.5	7.5
>1000	7.5	3.5	3	1.25	0.7	10

Tabla 83-Límites de distorsión de corriente para sistemas de subtransmisión general (>69 [KV] a 161 [KV]).

<b>ARMONICAS INDIVIDUALES(IMPARES)</b>						
<b>Isc/Im</b>	<b>h&lt;11</b>	<b>11&lt;=h&lt;17</b>	<b>17&lt;=h&lt;23</b>	<b>23&lt;=h&lt;35</b>	<b>35&lt;=h</b>	<b>THD</b>
<50	2	1	0.75	0.3	0.15	2.5
>=50	3	1.5	1.15	0.45	0.22	3.75

Tabla 84-Límites de distorsión de corriente para sistemas de transmisión general(>161 [KV]).



Las siguientes observaciones rigen para las tablas mostradas anteriormente:

- Las armónicas pares están limitadas al 25% de los valores para armónicas impares mostrados en las tablas anteriores.
- No son admisibles distorsiones de corriente que generen corriente continua.
- **Isc:** Máxima corriente de cortocircuito en el PCC, el punto de acoplamiento común y corresponde al lugar en que se interconectan el convertidor (carga no lineal) con los otros consumidores.
- **Im:** Máxima corriente demandada por la carga en el PCC (componente de frecuencia fundamental).

### Límites de distorsión de tensión para distribuidor

Los límites de distorsión de tensión para distribuidor se muestran en la siguiente Tabla 85.

TENSION DE BARRA A PAC	DISTORSION INDIVIDUAL DE TENSION [%]	DISTORSION TOTAL DE TENSION %]
Menores de 69 [KV] inc.	3	5
De 69 [KV] a 161 [KV]	1.5	2.5
Más de 161 [KV]	1	1.5

Tabla 85-Límites de distorsión de tensión.

### Norma IEC 555-2

En el pasado los equipos de baja potencia no encontraban prácticamente ninguna limitación para conectarse a la red. Esto permitió que equipos como televisores se conectaran indiscriminadamente a la red, generando una importante cantidad de armónicas. Para corregir esta situación, la Comisión Electrotécnica Internacional (IEC, por su nombre en inglés) puso en vigencia a partir de 1995 la norma IEC 555-2, destinada precisamente a los equipos de baja potencia.

Esta norma define, entre otras, la categoría de equipos clase D, que son todos aquellos equipos que tienen una corriente de entrada contenida dentro de la “forma de onda especial” mostrada en la siguiente Figura 182.

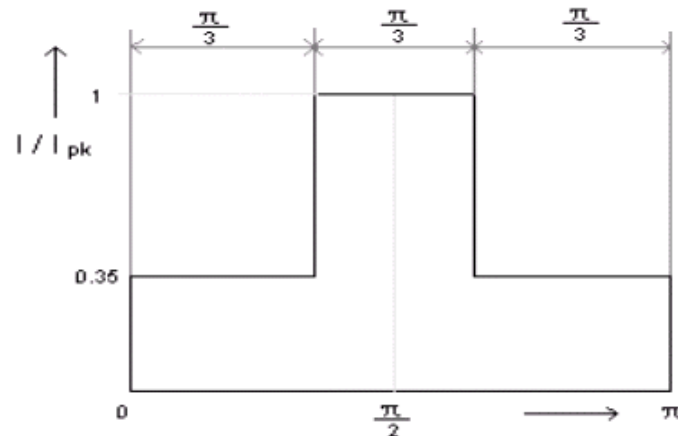


Figura 182- Forma de onda especial definida para equipos clase D.

Esta definición está claramente dirigida a los equipos que tienen un rectificador con filtrado capacitivo, abarcando principalmente equipos electrónicos. Los equipos clase D pueden inyectar las corrientes armónicas mostradas a continuación en la Tabla 86.

ORDEN DE LA ARMONICA (n)	INTENSIDAD ARMONICA MAXIMA ADMISIBLE [A]
<b>ARMONICAS IMPARES</b>	
3	2.3
5	0.14
7	0.77
9	0.4
11	0.33
13	0.21
15 ≤ n ≤ 39	0.15(15/n)
<b>ARMONICAS PARES</b>	
2	1.08
4	0.43
6	0.3
8 ≤ n ≤ 40	0.23(8/n)

Tabla 86-Límites de corrientes armónicas para equipos clase D.

La aplicación de estos límites trae como consecuencia que un rectificador puente monofásico de diodos, con un factor de cresta FC=8 (FC = corriente máxima / corriente efectiva), THD = 133% y factor de potencia FP = 0,6 pueda quedar fuera de norma.

### Niveles de armónicas permitidas por otra norma

En México existe la especificación **CFE L0000-45** denominada “ Perturbaciones permisibles en las formas de onda de tensión y corriente del suministro de energía eléctrica” concerniente a la distorsión armónica permisible.

La normatividad está diseñada para limitar las corrientes armónicas de cada usuario en lo individual de forma que los niveles armónicos en voltaje en la totalidad del sistema de potencia sean aceptables, siendo su cumplimiento una responsabilidad compartida entre suministrador y usuarios.



• **Suministrador:** Es su responsabilidad que en la acometida, la distorsión armónica total en voltaje THD<sub>v</sub> se encuentre dentro de los límites establecidos, por lo que debe asegurarse que condiciones de resonancia en el sistema de generación, transmisión o distribución no ocasionen niveles inaceptables de distorsión en voltaje, aun si los usuarios se encuentran dentro de los límites de generación armónica en corriente.

• **Usuarios:** Deben de asegurar que en la acometida, la generación de armónicas en corriente se ubique dentro de los límites establecidos, tanto para componentes armónicas individuales como para la Distorsión de Demanda Total TDD, especificándose dichos límites como porcentaje de la demanda promedio de corriente del usuario en lugar de la corriente fundamental instantánea, con el fin de proporcionar una base común de evaluación a lo largo del tiempo.

### Límites de distorsión de tensión

Los límites de distorsión de tensión se muestran en la siguiente Tabla 87.

CFE L0000-45		
Límites de distorsión armónica en voltaje en % del voltaje nominal		
Nivel de tensión en la acometida (V <sub>n</sub> )	Distorsión armónica individual	Distorsión armónica total THD V <sub>n</sub>
V <sub>n</sub> <1 kv	5%	8%
1 Kv<V <sub>n</sub> <69 kV	3.0%	5.0%
69 Kv<V <sub>n</sub> <138 kV	2%	2.5%
V <sub>n</sub> >138 kV	1%	1.50%

Tabla 87-Límites de distorsión de tensión.

Donde:

$$THD_{V_n} = \frac{\sqrt{\sum_{h=2}^{\infty} V_h^2}}{V_n} \quad (41)$$

- **V<sub>h</sub>:** magnitud de la componente armónica individual.
- **h:** orden armónico.
- **V<sub>n</sub>:** voltaje nominal fundamental del sistema.

### Límites de distorsión en corriente

Las corrientes armónicas para cada usuario son evaluadas en la acometida y los límites se establecen en base a la relación entre la corriente de cortocircuito y la demanda máxima de corriente de la carga del usuario.

A continuación se muestra los límites de distorsión armónica en corriente en la acometida (Tabla 88).



CFE L0000-45						
Límites de la distorsión armónica en corriente en la acometida						
V <sub>n</sub> ≤ 69 kV						
I <sub>cc</sub> /I <sub>L</sub>	TDD	h<11	11≤h<17	17≤h<23	23≤h<35	h≥35
<20	5%	4%	2%	1.5%	0.6%	0.3%
20-50	6%	7%	3.5%	2.5%	1%	0.5%
50-100	12%	10%	4.5%	4%	1.5%	0.7%
100-1000	15%	12%	5.5%	5%	2%	1%
≥1000	20%	15%	7%	6%	2.5%	1.4%
69 kV < V <sub>n</sub> ≤ 161 kV						
<20	2.5%	2%	1%	0.75%	0.3%	0.15%
20-50	4%	3.5%	1.75%	1.25%	0.5%	0.25%
50-100	6%	5%	2.25%	2%	0.75%	0.35%
100-1000	7.5%	6%	2.75%	2.50%	1%	0.5%
≥1000	10%	7.5%	3.5%	3%	1.25%	0.7%
V <sub>n</sub> > 161 kV						
<50	2.5%	2%	1%	0.75%	0.3%	0.15%
≥50	3.75%	3%	1.5%	1.15%	0.45%	0.22%

Tabla 88- Límites de distorsión de corriente.

• **I<sub>cc</sub>**: Debe utilizarse aquella que bajo condiciones normales de operación, resulte en la mínima corriente de cortocircuito en la acometida, ya que este valor reduce la relación **I<sub>cc</sub>/I<sub>L</sub>** y la evaluación es más severa.

• **I<sub>L</sub>**: Es la demanda máxima de la corriente fundamental en la acometida y puede calcularse como el promedio de las demandas máximas de corriente mensuales de los últimos 12 meses o puede estimarse para usuarios que inician su operación.

• Los límites son más estrictos para los usuarios que representan mayor carga al sistema, ya que la relación **I<sub>cc</sub>/I<sub>L</sub>** es menor.

Los sistemas más robustos pueden transmitir mayores niveles de corrientes armónicas sin producir una distorsión excesiva de voltaje que los sistemas más débiles.

• Para las armónicas pares, los límites son el 25% de los valores especificados en la tabla anterior.

• Los límites deben ser usados como el caso más desfavorable de operación normal. Para arranque de hornos eléctricos de arco, que toman un tiempo máximo de un minuto, se permite exceder los límites en 50% .

• No se permiten corrientes de carga con componentes de corriente directa.

La distorsión de demanda total TDD está definida como:

$$TDD = \frac{\sqrt{\sum_{h=2}^{\infty} I_h^2}}{I_L} \times 100\% \quad (42)$$

Donde:

- **I<sub>h</sub>**: magnitud de la armónica individual.
- **I<sub>L</sub>**: demanda máxima de la corriente fundamental de la carga.
- **h**: orden armónico impar.





### Punto de medición del nivel de armónicas

Los límites establecidos en la norma **IEEE 519-1992** deben aplicarse en la acometida, es decir en el punto donde el suministrador entrega la energía al usuario en cuestión y a partir de ahí puede alimentar a otro usuario (Figura 183).

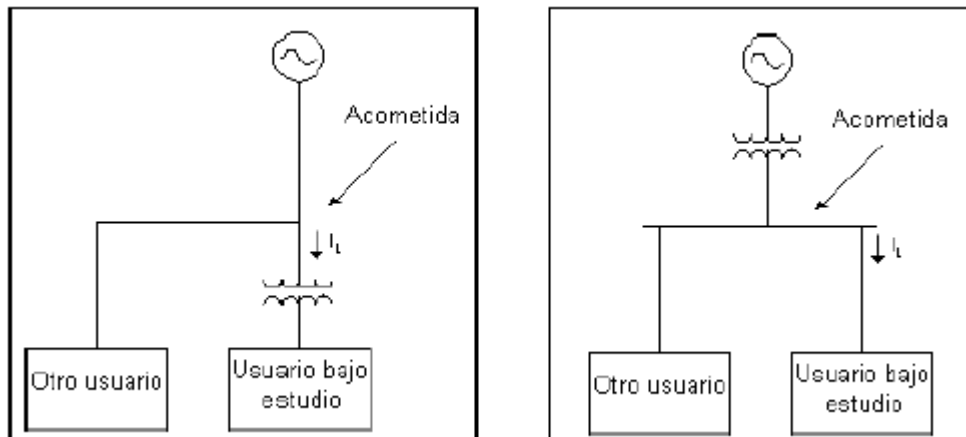


Figura 183-Acometida para aplicación de límites establecidos.

La norma puede aplicarse usando el mismo procedimiento por los usuarios para evaluar otros puntos dentro de su instalación, pero diferentes límites de distorsión podrían aplicarse en estos casos ya que aunque en un punto dado los límites se excedan, la interacción de diversas cargas puede producir cancelaciones de armónicas que arrojen valores dentro de los límites en la acometida.



## Conclusiones

Indicaremos conclusiones en grandes rasgos sobre dos temas basados en el análisis de nuestro proyecto:

### Sobre ensayos realizados

- Se realizó un estudio exhaustivo sobre una carga puntual de característica alinear, como son las lámparas fluorescentes compactas, las cuales se le efectuaron distintos tipos de ensayos en el Laboratorio de Medidas Eléctrica de la Facultad de Ingeniería. De los instrumentos utilizados en dichos ensayos, se determina que el más eficiente es el analizador de redes **HIOKI 3166**, ya que el osciloscopio digital **Fluke ScopeMeter 97** y el tester **PROVA 21** se alejan del primero para valores muy pequeños de corrientes.
- El trabajar con transformadores en condiciones de saturación origina un mayor índice de distorsión de tensión (THDv) y de corriente (THDi), principalmente afectado por los cambios de amplitudes de armónicos de órdenes superiores. Tal incremento de tasas conservan la misma proporción al ingresar mayor cantidad de lámparas idénticas en paralelo.
- Como la utilización del osciloscopio digital **Fluke ScopeMeter 97** requiere la inserción de una resistencia **R** en serie con la carga alinear (LFC), de los estudios realizados se llega a que la disminución de la tasa de distorsión de corriente es producto principalmente de la variación de la caída de tensión (RMS) aplicada a dicha carga, que al efecto diversidad y atenuación.
- Sin la incorporación de una resistencia **R** en serie con la carga (LFC) y manteniendo la tensión constante, se nota que el efecto diversidad no es apreciable cuando se utilizan cargas idénticas y de igual fabricante. Caso contrario al contar con lámparas de distintas marcas, en la cual se aprecia una disminución de la distorsión de corriente debido a la dispersión en el ángulo de fase de las armónicas de cargas individuales.
- Con el análisis de la influencia de la tasa de distorsión armónica de tensión (THDv) de la red sobre las mediciones con LFC, se pudo observar como una pequeña discrepancia del THDv provoca una mayor variación del THDi.
- El efecto atenuación se estudió para el caso con LFC y se observó que no es apreciable cuando se trabaja con cargas idénticas de igual fabricante. Contrariamente utilizando lámparas de distintas marcas, dicho fenómeno es claramente notorio.



- También se demostró a través de sus espectros de frecuencias cuales son los armónicos más preponderantes en la determinación de las distorsiones armónicas de otras cargas alineales, ensayadas fuera de la dependencia de la Facultad de Ingeniería. Así se realizaron ensayos en el Centro de Abastecimiento Szpyrnal (C.A.S) sobre un variador de velocidad y fábrica de embotelladora (ubicada en cercanía de nuestra Facultad) en sus tableros correspondientes. Llegando a la conclusión que las fases que presentan mayor índice de distorsión de corriente y tensión son la **Fase R** con **THDi=61.23%**. y **Fase T** con **THDv=4.48%** para el variador de velocidad (C.A.S) y **la Fase S** con **THDi=57.54%** y **Fase T** con **THDv=1.72%** para el Tablero 1 (soplado de botellas e iluminación) de la fábrica de embotelladora.
- Con los valores obtenidos del Tablero General de la fábrica de embotelladora, se pudo constatar la presencia del efecto diversidad en dicha instalación (disminución de THDi del Tablero 1 al Tablero General).
- Se realizó una comparación de las tasas de distorsión armónica de corriente y tensión para las tres cargas alineales bajo estudio (LFC, variador de velocidad y Tablero General de embotelladora) con las máximas tasas de distorsión totales permitidos por las normas del Ente Nacional Regulador de la Electricidad (**ENRE**) y **IEEE 519**, obteniendo que:
  - Las LFC y variador de velocidad, superan ampliamente los límites permitidos de corrientes armónicas de ambas normas.
  - Ninguna de las cargas bajo estudio, superan las máximas tasas de distorsión armónica de tensión permitidos por ambas normas.

### Sobre simulaciones con Pspice y ATPDraw

- Ambos programas utilizados, tanto **Pspice** como **ATPDraw** manifestaron ser herramientas poderosas y versátiles, en éste caso el **Pspice** se destacó por la facilidad de su manejo y aptitudes.
- La importancia de la realización de un modelo eléctrico del cual se puedan obtener datos confiables, se fundamenta en la predicción del comportamiento de un sistema. Puede destacarse que lo más laborioso es la realización del modelo eléctrico de la carga bajo estudio (LFC), que valide su comportamiento con las respectivas mediciones realizadas en el Laboratorio de Medidas de la Facultad de Ingeniería.
- Con el modelado de la LFC y con la ayuda del programa Pspice se efectuaron distintas simulaciones variando la relación  $\rho = \frac{X_L}{R}$  de la red, dejando alguno de los dos parámetros constante y variando el otro, arribando a la conclusión que a mayor  $\rho$  las



tasas de distorsión armónica de corriente (THDi) son menores. También se observó que, el valor de la inductancia es ampliamente predominante en la determinación de la tasa de distorsión armónica de corriente (debido a su dependencia con la frecuencia), pero sabiendo que a mayor cantidad de cargas similares, la variación del parámetro resistivo comienza a tener una mayor influencia en la determinación de dicha tasa.

- Fue posible a través de simulaciones con los modelos eléctricos de LFC, obtener aproximadamente los parámetros de la red empleada en los ensayos prácticos, obteniendo que  $R=4\Omega$  y  $L=0.5mHy$ . Con el conocimiento de la impedancia de la red se efectuó la comparación del factor atenuación bajo simulación y bajo mediciones prácticas, manifestándose discrepancias debido a dos factores:
  - Los THDi de una y nueve LFC con  $R=4\Omega$  y  $L=0.5mHy$  no son perfectamente similares a los medidos en forma práctica.
  - En el ensayo se mantuvo la tensión constante a medida que se conectaban las  $n$  lámparas en paralelo.
- La utilización de fuentes de corriente es una alternativa al modelo eléctrico, sin embargo trae como consecuencia una sobreestimación en el THDv, si se emplea la distorsión de una carga y se multiplica por  $n$  veces para obtener la fuente equivalente. Para ello se efectuó una comparación entre ambas alternativas utilizando la impedancia de la red conocida ( $R=4\Omega$  y  $L=0.5mHy$ ), logrando apreciar que en el modelo real, los valores de THDi proporcionados por la carga, se modifican debido a la presencia de dicha impedancia alineal, caso contrario con fuentes de corrientes cuyos valores de THDi son propios del ensayo y no de la simulación. Bajo este estudio se pudo comprobar que los valores de THDv no se alejan en gran medida entre ambos métodos (debido a que las fuentes equivalentes fueron un múltiplo de los valores recabados de las nueve LFC conectadas en paralelo), permitiendo a su vez obtener mediante regresión lineal la cantidad de lámparas que superan los límites permitidos de distorsión de tensión de las normas **IEEE 519** y **E.N.R.E** de la red en cuestión:
  - **Modelo real:** 42 y 67 lámparas respectivamente.
  - **Inyección con fuentes de corriente:** 41 y 66 lámparas respectivamente.
- Empleando el programa **ATPDraw**, se inyectó en una red típica (AT/MT/BT) las señales de corriente de las cargas de característica alineal bajo estudio (LFC, variador de velocidad y Tablero General de embotelladora). Permitiendo demostrar bajo simulaciones la disminución de la tasa de distorsión de tensión (THDv) proveniente de dicha carga en dirección al generador, al atravesar cada impedancia del sistema. Se pudo verificar el efecto de diversidad al conectar las distintas cargas en el punto de acometida común (barra C) correspondiente al transformador de 100 KVA. También a través de varias simulaciones se encontró la cantidad de lámparas fluorescentes compactas (LFC) que superan los límites permitidos de distorsión de tensión de las normas **E.N.R.E** y **IEEE 519** de la red en cuestión:



- 96 LFC para la norma **E.N.R.E** (2% correspondiente a la potencia del transformador).
- 60 LFC para la norma **IEEE 519** (1,2% correspondiente a la potencia del transformador).
- Con la utilización del programa **ATPDraw**, se construyó un tramo del sistema eléctrico de potencia de la ciudad de Balcarce. Se estudió la diferencia entre la inserción de cargas lineales y luego algunas alineales (LFC, variador de velocidad y Tablero General de embotelladora) en puntos determinados de la red, observado la disminución en los valores de THD<sub>v</sub>, debido al fenómeno de mitigación de armónicos producto de la diversidad generada por las distintas cargas (lineales y alineales) en paralelo.  
También se determinó la cantidad de LFC (General Electric) necesarias para superar los límites establecidos de THD<sub>v</sub> de las normas **IEEE 519** y **E.N.R.E** en el transformador S-155 de 30 KVA, logrando también establecer la potencia de carga necesaria con respecto a la del transformador para superar tales límites:
  - 194 LFC (General Electric) para la norma **E.N.R.E**, correspondiente a un 14 % de la potencia del transformador.
  - 102 LFC (General Electric) para la norma **IEEE 519**, correspondiente a un 8 % de la potencia del transformador.
- Por último haciendo hincapié a los resultados obtenidos de la publicación “**The effect of compact fluorescent lights on voltage distortion**”, **IEEE** Transactions on Power Delivery, Vol. 8, No. 3, July 1993, por **Pileggi, Gentile** y **Emmanuel**, la cual afirma que para un transformador de 10 MVA y tensión 15 KV, la potencia máxima de LFC para no superar el THD<sub>v</sub> =5% (norma **IEEE 519**) es de 100 KW, es decir, el 1 % de la potencia del transformador. Este trabajo asegura que la instalación de dos o tres lámparas LFC por casa, son suficientes para superar el límite THD<sub>v</sub> del 5%, considerando un total de 3000 a 4000 usuarios residenciales. Comparando lo expuesto en la publicación con nuestro Proyecto Final, podemos notar que la afirmación es muy genérica y limitada, debido a que los valores de THD<sub>v</sub> son dependientes de la red a considerar (impedancias), como así también el grado de carga conectado a los distintos puntos de la línea. Cabe aclarar, que si se tienen en cuenta los distintos efectos anteriormente analizados (diversidad y atenuación), el tipo de LFC a insertar (igual o con distinto fabricante) también es influyente en la determinación del THD<sub>v</sub>.

#### **Propuestas para una instalación existente.**

- Se recomienda realizar un estudio de cada una de las cargas alineales, observando cuales son los armónicos más preponderantes en la determinación de la tasa de distorsión.
- Agrupar las cargas de forma convenientes, es decir, distintas marcas y potencias, reduciéndose de esta forma la distorsión provocada.



- Mantener los niveles de tensión (RMS) lo más constante posible en todos los puntos de la red, con una apropiada regulación de los transformadores.
- No permitir que los transformadores trabajen en el codo de saturación.
- Si bien el estudio de filtros de armónicos escapa el alcance de este trabajo, el conocimiento de las componentes armónicas presentes en un sistema es fundamental para una correcta elección de los mismos.  
Los filtros pueden ser pasivos, son los más económicos pero menos flexibles y efectivos. A su vez un inadecuado cálculo o variación de las condiciones del sistema pueden provocar problemas de resonancia.  
Los filtros activos producen corrientes armónicas iguales a las de carga, de modo que su trayectoria anule los armónicos del sistema. Tienen como desventaja ser más costosos, consumo propio de potencia y creación de altos niveles de interferencia electromagnética.



## ANEXO A-Valores de salida del Pspice

**1) Los valores de salida del Pspice de las simulaciones realizadas para 1 LFC al variar la inductancia L y dejando cantante la resistencia R de la red son:**

**•R = 0.5  $\Omega$  y L = 0.5 mHy**

FOURIER COMPONENTS OF TRANSIENT RESPONSE I(R\_P)

DC COMPONENT = -1.272374E-04

HARMONIC NO	FREQUENCY (HZ)	FOURIER COMPONENT	NORMALIZED COMPONENT	PHASE (DEG)	NORMALIZED PHASE (DEG)
1	5.000E+01	6.557E-02	1.000E+00	3.307E+01	0.000E+00
2	1.000E+02	2.543E-04	3.878E-03	1.415E+02	7.536E+01
3	1.500E+02	5.406E-02	8.245E-01	-1.276E+02	-2.268E+02
4	2.000E+02	2.558E-04	3.901E-03	1.347E+01	-1.188E+02
5	2.500E+02	4.753E-02	7.249E-01	8.842E+01	-7.691E+01
6	3.000E+02	2.618E-04	3.993E-03	-1.143E+02	-3.127E+02
7	3.500E+02	3.897E-02	5.943E-01	-5.367E+01	-2.851E+02
8	4.000E+02	2.740E-04	4.178E-03	1.172E+02	-1.473E+02
9	4.500E+02	2.971E-02	4.532E-01	1.679E+02	-1.297E+02
10	5.000E+02	2.894E-04	4.414E-03	-1.266E+01	-3.433E+02
11	5.500E+02	2.144E-02	3.270E-01	3.603E+01	-3.277E+02
12	6.000E+02	3.031E-04	4.622E-03	-1.440E+02	-5.408E+02
13	6.500E+02	1.602E-02	2.443E-01	-8.602E+01	-5.159E+02
14	7.000E+02	3.107E-04	4.739E-03	8.397E+01	-3.790E+02
15	7.500E+02	1.435E-02	2.189E-01	1.568E+02	-3.392E+02
16	8.000E+02	3.114E-04	4.750E-03	-4.778E+01	-5.768E+02
17	8.500E+02	1.469E-02	2.240E-01	3.372E+01	-5.284E+02
18	9.000E+02	3.092E-04	4.715E-03	-1.785E+02	-7.737E+02
19	9.500E+02	1.475E-02	2.250E-01	-9.549E+01	-7.238E+02

TOTAL HARMONIC DISTORTION = 1.442002E+02 PERCENT

**•R = 0.5  $\Omega$  y L =1 mHy**

FOURIER COMPONENTS OF TRANSIENT RESPONSE I(R\_P)

DC COMPONENT = -1.243414E-04

HARMONIC NO	FREQUENCY (HZ)	FOURIER COMPONENT	NORMALIZED COMPONENT	PHASE (DEG)	NORMALIZED PHASE (DEG)
1	5.000E+01	6.548E-02	1.000E+00	3.266E+01	0.000E+00
2	1.000E+02	2.497E-04	3.814E-03	1.368E+02	7.152E+01
3	1.500E+02	5.394E-02	8.238E-01	-1.289E+02	-2.269E+02
4	2.000E+02	2.467E-04	3.767E-03	3.250E+00	-1.274E+02
5	2.500E+02	4.721E-02	7.211E-01	8.651E+01	-7.677E+01
6	3.000E+02	2.413E-04	3.686E-03	-1.281E+02	-3.241E+02
7	3.500E+02	3.860E-02	5.895E-01	-5.565E+01	-2.842E+02
8	4.000E+02	2.485E-04	3.796E-03	1.016E+02	-1.596E+02
9	4.500E+02	2.967E-02	4.532E-01	1.665E+02	-1.274E+02
10	5.000E+02	2.638E-04	4.029E-03	-3.106E+01	-3.576E+02
11	5.500E+02	2.227E-02	3.402E-01	3.558E+01	-3.236E+02
12	6.000E+02	2.742E-04	4.188E-03	-1.655E+02	-5.574E+02
13	6.500E+02	1.793E-02	2.738E-01	-8.814E+01	-5.127E+02
14	7.000E+02	2.777E-04	4.241E-03	6.003E+01	-3.972E+02



15	7.500E+02	1.646E-02	2.513E-01	1.494E+02	-3.404E+02
16	8.000E+02	2.757E-04	4.211E-03	-7.336E+01	-5.959E+02
17	8.500E+02	1.601E-02	2.444E-01	2.361E+01	-5.316E+02
18	9.000E+02	2.750E-04	4.200E-03	1.556E+02	-4.322E+02
19	9.500E+02	1.541E-02	2.353E-01	-1.034E+02	-7.239E+02

TOTAL HARMONIC DISTORTION = 1.456214E+02 PERCENT

•R = 0.5  $\Omega$  y L = 2 mHy

FOURIER COMPONENTS OF TRANSIENT RESPONSE I(R\_P)

DC COMPONENT = -2.082961E-05

HARMONIC NO	FREQUENCY (HZ)	FOURIER COMPONENT	NORMALIZED COMPONENT	PHASE (DEG)	NORMALIZED PHASE (DEG)
1	5.000E+01	6.555E-02	1.000E+00	3.261E+01	0.000E+00
2	1.000E+02	4.893E-05	7.464E-04	1.322E+02	6.701E+01
3	1.500E+02	5.455E-02	8.322E-01	-1.291E+02	-2.269E+02
4	2.000E+02	4.781E-05	7.294E-04	-2.307E+01	-1.535E+02
5	2.500E+02	4.859E-02	7.413E-01	8.586E+01	-7.721E+01
6	3.000E+02	3.093E-05	4.719E-04	-1.589E+02	-3.546E+02
7	3.500E+02	4.056E-02	6.188E-01	-5.719E+01	-2.855E+02
8	4.000E+02	4.313E-05	6.580E-04	8.411E+01	-1.768E+02
9	4.500E+02	3.167E-02	4.832E-01	1.638E+02	-1.297E+02
10	5.000E+02	5.442E-05	8.302E-04	-7.867E+01	-4.048E+02
11	5.500E+02	2.379E-02	3.630E-01	3.263E+01	-3.261E+02
12	6.000E+02	3.287E-05	5.014E-04	1.207E+02	-2.706E+02
13	6.500E+02	1.975E-02	3.014E-01	-8.775E+01	-5.117E+02
14	7.000E+02	2.951E-05	4.502E-04	3.443E+01	-4.221E+02
15	7.500E+02	2.125E-02	3.241E-01	1.525E+02	-3.367E+02
16	8.000E+02	5.828E-05	8.891E-04	-1.227E+02	-6.445E+02
17	8.500E+02	2.568E-02	3.918E-01	2.200E+01	-5.324E+02
18	9.000E+02	5.726E-05	8.735E-04	6.449E+01	-5.225E+02
19	9.500E+02	2.998E-02	4.574E-01	-1.168E+02	-7.365E+02

TOTAL HARMONIC DISTORTION = 1.596487E+02 PERCENT

•R = 0.5  $\Omega$  y L = 4 mHy

FOURIER COMPONENTS OF TRANSIENT RESPONSE I(R\_P)

DC COMPONENT = 2.309915E-06

HARMONIC NO	FREQUENCY (HZ)	FOURIER COMPONENT	NORMALIZED COMPONENT	PHASE (DEG)	NORMALIZED PHASE (DEG)
1	5.000E+01	6.558E-02	1.000E+00	3.243E+01	0.000E+00
2	1.000E+02	6.220E-05	9.485E-04	1.257E+00	-6.361E+01
3	1.500E+02	5.477E-02	8.352E-01	-1.293E+02	-2.266E+02
4	2.000E+02	8.598E-05	1.311E-03	-1.467E+02	-2.764E+02
5	2.500E+02	4.969E-02	7.578E-01	8.670E+01	-7.547E+01
6	3.000E+02	1.370E-04	2.090E-03	7.025E+01	-1.244E+02
7	3.500E+02	4.421E-02	6.742E-01	-5.430E+01	-2.813E+02
8	4.000E+02	1.891E-04	2.884E-03	-9.046E+01	-3.499E+02
9	4.500E+02	4.025E-02	6.138E-01	1.676E+02	-1.243E+02
10	5.000E+02	1.993E-04	3.040E-03	1.101E+02	-2.142E+02
11	5.500E+02	3.867E-02	5.898E-01	3.012E+01	-3.267E+02
12	6.000E+02	1.901E-04	2.899E-03	-4.677E+01	-4.360E+02





13	6.500E+02	3.861E-02	5.888E-01	-1.098E+02	-5.314E+02
14	7.000E+02	1.389E-04	2.118E-03	1.582E+02	-2.959E+02
15	7.500E+02	3.837E-02	5.852E-01	1.069E+02	-3.796E+02
16	8.000E+02	8.089E-05	1.234E-03	3.679E+01	-4.822E+02
17	8.500E+02	3.660E-02	5.581E-01	-3.934E+01	-5.907E+02
18	9.000E+02	1.020E-04	1.555E-03	-7.638E+01	-6.602E+02
19	9.500E+02	3.283E-02	5.006E-01	1.730E+02	-4.432E+02

TOTAL HARMONIC DISTORTION = 1.924044E+02 PERCENT

•R = 0.5  $\Omega$  y L = 10 mHy

FOURIER COMPONENTS OF TRANSIENT RESPONSE I(R\_P)

DC COMPONENT = -2.401010E-05

HARMONIC NO	FREQUENCY (HZ)	FOURIER COMPONENT	NORMALIZED COMPONENT	PHASE (DEG)	NORMALIZED PHASE (DEG)
1	5.000E+01	6.577E-02	1.000E+00	2.770E+01	0.000E+00
2	1.000E+02	7.218E-05	1.097E-03	1.384E+02	8.295E+01
3	1.500E+02	5.814E-02	8.840E-01	-1.452E+02	-2.283E+02
4	2.000E+02	8.202E-05	1.247E-03	-7.705E+01	-1.879E+02
5	2.500E+02	5.534E-02	8.413E-01	5.786E+01	-8.065E+01
6	3.000E+02	5.797E-05	8.814E-04	-1.731E+02	-3.393E+02
7	3.500E+02	5.127E-02	7.795E-01	-9.908E+01	-2.930E+02
8	4.000E+02	1.008E-04	1.532E-03	2.300E+01	-1.986E+02
9	4.500E+02	4.637E-02	7.049E-01	1.041E+02	-1.452E+02
10	5.000E+02	1.463E-04	2.224E-03	-1.284E+02	-4.054E+02
11	5.500E+02	4.100E-02	6.233E-01	-5.312E+01	-3.578E+02
12	6.000E+02	2.454E-04	3.731E-03	5.707E+01	-2.754E+02
13	6.500E+02	3.507E-02	5.332E-01	1.490E+02	-2.111E+02
14	7.000E+02	1.741E-04	2.647E-03	-9.551E+01	-4.833E+02
15	7.500E+02	2.894E-02	4.400E-01	-9.465E+00	-4.250E+02
16	8.000E+02	1.992E-04	3.029E-03	8.530E+01	-3.579E+02
17	8.500E+02	2.277E-02	3.462E-01	-1.685E+02	-6.395E+02
18	9.000E+02	1.024E-04	1.556E-03	-6.668E+01	-5.653E+02
19	9.500E+02	1.702E-02	2.588E-01	3.139E+01	-4.949E+02

TOTAL HARMONIC DISTORTION = 1.909704E+02 PERCENT

•R = 0.5  $\Omega$  y L = 16 mHy

FOURIER COMPONENTS OF TRANSIENT RESPONSE I(R\_P)

DC COMPONENT = -1.153107E-04

HARMONIC NO	FREQUENCY (HZ)	FOURIER COMPONENT	NORMALIZED COMPONENT	PHASE (DEG)	NORMALIZED PHASE (DEG)
1	5.000E+01	6.524E-02	1.000E+00	2.379E+01	0.000E+00
2	1.000E+02	1.628E-04	2.496E-03	6.342E+01	1.584E+01
3	1.500E+02	5.825E-02	8.929E-01	-1.576E+02	-2.290E+02
4	2.000E+02	2.252E-04	3.452E-03	-1.062E+02	-2.013E+02
5	2.500E+02	5.441E-02	8.340E-01	3.705E+01	-8.190E+01
6	3.000E+02	1.851E-04	2.838E-03	8.542E+01	-5.732E+01
7	3.500E+02	4.905E-02	7.519E-01	-1.284E+02	-2.950E+02
8	4.000E+02	3.647E-04	5.590E-03	-6.610E+01	-2.564E+02
9	4.500E+02	4.251E-02	6.516E-01	6.598E+01	-1.481E+02
10	5.000E+02	2.998E-04	4.595E-03	1.192E+02	-1.187E+02



11	5.500E+02	3.548E-02	5.439E-01	-1.003E+02	-3.620E+02
12	6.000E+02	4.688E-04	7.186E-03	-5.266E+01	-3.381E+02
13	6.500E+02	2.818E-02	4.319E-01	9.222E+01	-2.170E+02
14	7.000E+02	2.358E-04	3.615E-03	1.424E+02	-1.906E+02
15	7.500E+02	2.117E-02	3.245E-01	-7.651E+01	-4.334E+02
16	8.000E+02	1.516E-04	2.323E-03	5.871E+00	-3.748E+02
17	8.500E+02	1.480E-02	2.268E-01	1.127E+02	-2.918E+02
18	9.000E+02	1.986E-04	3.044E-03	-1.568E+02	-5.850E+02
19	9.500E+02	9.576E-03	1.468E-01	-6.231E+01	-5.143E+02

TOTAL HARMONIC DISTORTION = 1.772985E+02 PERCENT

•R = 1 Ω y L = 0.5 mHy

FOURIER COMPONENTS OF TRANSIENT RESPONSE I(R\_P)

DC COMPONENT = 4.816370E-05

HARMONIC NO	FREQUENCY (HZ)	FOURIER COMPONENT	NORMALIZED COMPONENT	PHASE (DEG)	NORMALIZED PHASE (DEG)
1	5.000E+01	6.531E-02	1.000E+00	3.307E+01	0.000E+00
2	1.000E+02	9.785E-05	1.498E-03	-8.100E+01	-1.471E+02
3	1.500E+02	5.383E-02	8.242E-01	-1.278E+02	-2.270E+02
4	2.000E+02	9.775E-05	1.497E-03	1.115E+02	-2.079E+01
5	2.500E+02	4.735E-02	7.249E-01	8.810E+01	-7.725E+01
6	3.000E+02	8.701E-05	1.332E-03	-5.237E+01	-2.508E+02
7	3.500E+02	3.884E-02	5.947E-01	-5.414E+01	-2.856E+02
8	4.000E+02	5.861E-05	8.974E-04	1.452E+02	-1.194E+02
9	4.500E+02	2.964E-02	4.539E-01	1.672E+02	-1.304E+02
10	5.000E+02	1.167E-05	1.787E-04	-3.357E+01	-3.643E+02
11	5.500E+02	2.139E-02	3.275E-01	3.508E+01	-3.287E+02
12	6.000E+02	5.095E-05	7.802E-04	1.529E+01	-3.816E+02
13	6.500E+02	1.592E-02	2.438E-01	-8.731E+01	-5.172E+02
14	7.000E+02	1.145E-04	1.753E-03	-1.486E+02	-6.115E+02
15	7.500E+02	1.417E-02	2.170E-01	1.555E+02	-3.405E+02
16	8.000E+02	1.660E-04	2.542E-03	4.735E+01	-4.818E+02
17	8.500E+02	1.451E-02	2.222E-01	3.275E+01	-5.295E+02
18	9.000E+02	1.952E-04	2.988E-03	-1.209E+02	-7.162E+02
19	9.500E+02	1.468E-02	2.248E-01	-9.639E+01	-7.247E+02

TOTAL HARMONIC DISTORTION = 1.441564E+02 PERCENT

•R = 1 Ω y L = 1 mHy

FOURIER COMPONENTS OF TRANSIENT RESPONSE I(R\_P)

DC COMPONENT = -2.425088E-05

HARMONIC NO	FREQUENCY (HZ)	FOURIER COMPONENT	NORMALIZED COMPONENT	PHASE (DEG)	NORMALIZED PHASE (DEG)
1	5.000E+01	6.560E-02	1.000E+00	3.264E+01	0.000E+00
2	1.000E+02	4.741E-05	7.227E-04	1.439E+02	7.858E+01
3	1.500E+02	5.409E-02	8.245E-01	-1.289E+02	-2.268E+02
4	2.000E+02	4.962E-05	7.564E-04	2.300E+01	-1.076E+02
5	2.500E+02	4.738E-02	7.223E-01	8.654E+01	-7.667E+01
6	3.000E+02	6.145E-05	9.367E-04	-1.015E+02	-2.974E+02
7	3.500E+02	3.876E-02	5.909E-01	-5.567E+01	-2.842E+02



8	4.000E+02	7.795E-05	1.188E-03	1.242E+02	-1.369E+02
9	4.500E+02	2.980E-02	4.543E-01	1.664E+02	-1.274E+02
10	5.000E+02	9.105E-05	1.388E-03	-1.611E+01	-3.425E+02
11	5.500E+02	2.232E-02	3.403E-01	3.540E+01	-3.237E+02
12	6.000E+02	9.600E-05	1.463E-03	-1.580E+02	-5.497E+02
13	6.500E+02	1.792E-02	2.732E-01	-8.815E+01	-5.125E+02
14	7.000E+02	9.243E-05	1.409E-03	6.267E+01	-3.943E+02
15	7.500E+02	1.652E-02	2.519E-01	1.498E+02	-3.399E+02
16	8.000E+02	8.644E-05	1.318E-03	-6.940E+01	-5.917E+02
17	8.500E+02	1.626E-02	2.479E-01	2.383E+01	-5.311E+02
18	9.000E+02	9.521E-05	1.451E-03	1.657E+02	-4.219E+02
19	9.500E+02	1.580E-02	2.409E-01	-1.040E+02	-7.242E+02

TOTAL HARMONIC DISTORTION = 1.459605E+02 PERCENT

•R = 1 Ω y L = 2 mHy

FOURIER COMPONENTS OF TRANSIENT RESPONSE I(R\_P)

DC COMPONENT = 2.121936E-05

HARMONIC NO	FREQUENCY (HZ)	FOURIER COMPONENT	NORMALIZED COMPONENT	PHASE (DEG)	NORMALIZED PHASE (DEG)
1	5.000E+01	6.551E-02	1.000E+00	3.260E+01	0.000E+00
2	1.000E+02	2.571E-05	3.925E-04	-8.712E+01	-1.523E+02
3	1.500E+02	5.451E-02	8.322E-01	-1.292E+02	-2.270E+02
4	2.000E+02	9.866E-06	1.506E-04	-5.117E+01	-1.816E+02
5	2.500E+02	4.856E-02	7.414E-01	8.566E+01	-7.732E+01
6	3.000E+02	3.051E-05	4.658E-04	1.377E+02	-5.792E+01
7	3.500E+02	4.054E-02	6.188E-01	-5.757E+01	-2.857E+02
8	4.000E+02	4.028E-05	6.150E-04	1.610E+01	-2.447E+02
9	4.500E+02	3.159E-02	4.822E-01	1.631E+02	-1.303E+02
10	5.000E+02	8.321E-05	1.270E-03	-1.200E+02	-4.459E+02
11	5.500E+02	2.354E-02	3.593E-01	3.151E+01	-3.271E+02
12	6.000E+02	1.196E-04	1.825E-03	8.067E+01	-3.105E+02
13	6.500E+02	1.920E-02	2.931E-01	-8.887E+01	-5.126E+02
14	7.000E+02	1.177E-04	1.797E-03	-7.687E+01	-5.332E+02
15	7.500E+02	2.044E-02	3.120E-01	1.523E+02	-3.367E+02
16	8.000E+02	1.006E-04	1.536E-03	1.382E+02	-3.833E+02
17	8.500E+02	2.480E-02	3.786E-01	2.247E+01	-5.317E+02
18	9.000E+02	9.458E-05	1.444E-03	-7.401E+00	-5.941E+02
19	9.500E+02	2.909E-02	4.441E-01	-1.161E+02	-7.355E+02

TOTAL HARMONIC DISTORTION = 1.584518E+02 PERCENT

•R = 1 Ω y L = 4 mHy

FOURIER COMPONENTS OF TRANSIENT RESPONSE I(R\_P)

DC COMPONENT = 7.063871E-05

HARMONIC NO	FREQUENCY (HZ)	FOURIER COMPONENT	NORMALIZED COMPONENT	PHASE (DEG)	NORMALIZED PHASE (DEG)
1	5.000E+01	6.537E-02	1.000E+00	3.233E+01	0.000E+00
2	1.000E+02	1.290E-04	1.973E-03	-9.043E+01	-1.551E+02
3	1.500E+02	5.455E-02	8.344E-01	-1.298E+02	-2.268E+02
4	2.000E+02	1.065E-04	1.629E-03	7.707E+01	-5.226E+01
5	2.500E+02	4.931E-02	7.543E-01	8.586E+01	-7.579E+01



6	3.000E+02	1.085E-04	1.660E-03	-1.274E+02	-3.214E+02
7	3.500E+02	4.363E-02	6.675E-01	-5.531E+01	-2.816E+02
8	4.000E+02	1.358E-04	2.077E-03	4.769E+01	-2.110E+02
9	4.500E+02	3.951E-02	6.044E-01	1.667E+02	-1.243E+02
10	5.000E+02	1.730E-04	2.646E-03	-1.137E+02	-4.371E+02
11	5.500E+02	3.792E-02	5.801E-01	2.942E+01	-3.262E+02
12	6.000E+02	2.348E-04	3.591E-03	8.798E+01	-3.000E+02
13	6.500E+02	3.802E-02	5.815E-01	-1.104E+02	-5.307E+02
14	7.000E+02	2.722E-04	4.164E-03	-7.684E+01	-5.295E+02
15	7.500E+02	3.796E-02	5.807E-01	1.062E+02	-3.788E+02
16	8.000E+02	2.418E-04	3.699E-03	1.211E+02	-3.962E+02
17	8.500E+02	3.636E-02	5.562E-01	-4.028E+01	-5.899E+02
18	9.000E+02	1.914E-04	2.927E-03	-2.851E+01	-6.105E+02
19	9.500E+02	3.275E-02	5.010E-01	1.716E+02	-4.427E+02

TOTAL HARMONIC DISTORTION = 1.910036E+02 PERCENT

•R = 1 Ω y L = 10 mHy

FOURIER COMPONENTS OF TRANSIENT RESPONSE I(R\_P)

DC COMPONENT = -2.768746E-05

HARMONIC NO	FREQUENCY (HZ)	FOURIER COMPONENT	NORMALIZED COMPONENT	PHASE (DEG)	NORMALIZED PHASE (DEG)
1	5.000E+01	6.574E-02	1.000E+00	2.769E+01	0.000E+00
2	1.000E+02	1.159E-04	1.763E-03	2.801E+01	-2.736E+01
3	1.500E+02	5.793E-02	8.811E-01	-1.451E+02	-2.281E+02
4	2.000E+02	1.822E-04	2.772E-03	1.483E+02	3.754E+01
5	2.500E+02	5.518E-02	8.393E-01	5.828E+01	-8.015E+01
6	3.000E+02	2.126E-04	3.234E-03	-3.938E+01	-2.055E+02
7	3.500E+02	5.134E-02	7.809E-01	-9.854E+01	-2.923E+02
8	4.000E+02	2.239E-04	3.406E-03	1.400E+02	-8.152E+01
9	4.500E+02	4.644E-02	7.063E-01	1.044E+02	-1.448E+02
10	5.000E+02	2.160E-04	3.286E-03	4.929E+00	-2.719E+02
11	5.500E+02	4.084E-02	6.212E-01	-5.279E+01	-3.573E+02
12	6.000E+02	2.025E-04	3.080E-03	-1.603E+02	-4.925E+02
13	6.500E+02	3.480E-02	5.293E-01	1.495E+02	-2.104E+02
14	7.000E+02	3.388E-04	5.153E-03	5.910E+01	-3.285E+02
15	7.500E+02	2.863E-02	4.355E-01	-8.437E+00	-4.237E+02
16	8.000E+02	2.243E-04	3.411E-03	-1.108E+02	-5.538E+02
17	8.500E+02	2.262E-02	3.441E-01	-1.676E+02	-6.383E+02
18	9.000E+02	2.027E-04	3.083E-03	1.102E+02	-3.882E+02
19	9.500E+02	1.688E-02	2.568E-01	3.250E+01	-4.935E+02

TOTAL HARMONIC DISTORTION = 1.905174E+02 PERCENT

•R = 1 Ω y L = 16 mHy

FOURIER COMPONENTS OF TRANSIENT RESPONSE I(R\_P)

DC COMPONENT = 3.143182E-05

HARMONIC NO	FREQUENCY (HZ)	FOURIER COMPONENT	NORMALIZED COMPONENT	PHASE (DEG)	NORMALIZED PHASE (DEG)
1	5.000E+01	6.501E-02	1.000E+00	2.410E+01	0.000E+00
2	1.000E+02	1.109E-04	1.706E-03	-7.930E+01	-1.275E+02
3	1.500E+02	5.788E-02	8.903E-01	-1.571E+02	-2.294E+02



4	2.000E+02	2.658E-04	4.088E-03	7.528E+01	-2.112E+01
5	2.500E+02	5.414E-02	8.327E-01	3.778E+01	-8.271E+01
6	3.000E+02	2.878E-04	4.426E-03	-1.139E+02	-2.584E+02
7	3.500E+02	4.867E-02	7.486E-01	-1.276E+02	-2.963E+02
8	4.000E+02	2.909E-04	4.474E-03	7.087E+01	-1.219E+02
9	4.500E+02	4.196E-02	6.454E-01	6.704E+01	-1.499E+02
10	5.000E+02	2.625E-04	4.038E-03	-9.598E+01	-3.370E+02
11	5.500E+02	3.496E-02	5.377E-01	-9.889E+01	-3.640E+02
12	6.000E+02	1.960E-04	3.014E-03	1.344E+02	-1.547E+02
13	6.500E+02	2.766E-02	4.255E-01	9.398E+01	-2.193E+02
14	7.000E+02	2.268E-04	3.488E-03	-4.433E+01	-3.817E+02
15	7.500E+02	2.082E-02	3.202E-01	-7.497E+01	-4.365E+02
16	8.000E+02	2.255E-04	3.469E-03	-1.798E+02	-5.653E+02
17	8.500E+02	1.428E-02	2.196E-01	1.142E+02	-2.955E+02
18	9.000E+02	7.469E-05	1.149E-03	3.995E+01	-3.938E+02
19	9.500E+02	9.231E-03	1.420E-01	-6.192E+01	-5.198E+02

TOTAL HARMONIC DISTORTION = 1.761826E+02 PERCENT

•R = 1.5 Ω y L = 0.5 mHy

FOURIER COMPONENTS OF TRANSIENT RESPONSE I(R\_P)

DC COMPONENT = 8.507196E-05

HARMONIC NO	FREQUENCY (HZ)	FOURIER COMPONENT	NORMALIZED COMPONENT	PHASE (DEG)	NORMALIZED PHASE (DEG)
1	5.000E+01	6.553E-02	1.000E+00	3.302E+01	0.000E+00
2	1.000E+02	1.721E-04	2.627E-03	-3.909E+01	-1.051E+02
3	1.500E+02	5.404E-02	8.246E-01	-1.278E+02	-2.268E+02
4	2.000E+02	1.766E-04	2.694E-03	-1.692E+02	-3.012E+02
5	2.500E+02	4.752E-02	7.251E-01	8.811E+01	-7.696E+01
6	3.000E+02	1.799E-04	2.746E-03	5.989E+01	-1.382E+02
7	3.500E+02	3.898E-02	5.948E-01	-5.411E+01	-2.852E+02
8	4.000E+02	1.809E-04	2.760E-03	-7.101E+01	-3.351E+02
9	4.500E+02	2.977E-02	4.542E-01	1.672E+02	-1.299E+02
10	5.000E+02	1.818E-04	2.774E-03	1.591E+02	-1.710E+02
11	5.500E+02	2.150E-02	3.281E-01	3.504E+01	-3.281E+02
12	6.000E+02	1.866E-04	2.847E-03	2.980E+01	-3.664E+02
13	6.500E+02	1.598E-02	2.438E-01	-8.751E+01	-5.167E+02
14	7.000E+02	1.961E-04	2.993E-03	-1.004E+02	-5.626E+02
15	7.500E+02	1.416E-02	2.161E-01	1.554E+02	-3.399E+02
16	8.000E+02	2.065E-04	3.152E-03	1.277E+02	-4.005E+02
17	8.500E+02	1.450E-02	2.213E-01	3.288E+01	-5.284E+02
18	9.000E+02	2.128E-04	3.248E-03	-5.172E+00	-5.994E+02
19	9.500E+02	1.476E-02	2.253E-01	-9.615E+01	-7.234E+02

TOTAL HARMONIC DISTORTION = 1.442015E+02 PERCENT

•R = 1.5 Ω y L = 1 mHy

FOURIER COMPONENTS OF TRANSIENT RESPONSE I(R\_P)

DC COMPONENT = 1.007695E-04

HARMONIC NO	FREQUENCY (HZ)	FOURIER COMPONENT	NORMALIZED COMPONENT	PHASE (DEG)	NORMALIZED PHASE (DEG)
1	5.000E+01	6.556E-02	1.000E+00	3.261E+01	0.000E+00



2	1.000E+02	1.875E-04	2.859E-03	-5.267E+01	-1.179E+02
3	1.500E+02	5.407E-02	8.248E-01	-1.290E+02	-2.268E+02
4	2.000E+02	1.529E-04	2.332E-03	1.700E+02	3.959E+01
5	2.500E+02	4.739E-02	7.229E-01	8.628E+01	-7.677E+01
6	3.000E+02	1.220E-04	1.861E-03	4.530E+01	-1.504E+02
7	3.500E+02	3.880E-02	5.917E-01	-5.611E+01	-2.844E+02
8	4.000E+02	1.266E-04	1.931E-03	-7.247E+01	-3.334E+02
9	4.500E+02	2.982E-02	4.548E-01	1.657E+02	-1.278E+02
10	5.000E+02	1.564E-04	2.386E-03	1.570E+02	-1.691E+02
11	5.500E+02	2.226E-02	3.396E-01	3.438E+01	-3.243E+02
12	6.000E+02	1.784E-04	2.722E-03	1.506E+01	-3.763E+02
13	6.500E+02	1.773E-02	2.705E-01	-8.929E+01	-5.132E+02
14	7.000E+02	1.765E-04	2.692E-03	-1.318E+02	-5.883E+02
15	7.500E+02	1.628E-02	2.483E-01	1.489E+02	-3.403E+02
16	8.000E+02	1.494E-04	2.278E-03	8.072E+01	-4.410E+02
17	8.500E+02	1.607E-02	2.452E-01	2.310E+01	-5.313E+02
18	9.000E+02	1.064E-04	1.623E-03	-6.174E+01	-6.487E+02
19	9.500E+02	1.569E-02	2.394E-01	-1.051E+02	-7.247E+02

TOTAL HARMONIC DISTORTION = 1.458568E+02 PERCENT

•R = 1.5 Ω y L = 2 mHy

FOURIER COMPONENTS OF TRANSIENT RESPONSE I(R\_P)

DC COMPONENT = 1.684907E-06

HARMONIC NO	FREQUENCY (HZ)	FOURIER COMPONENT	NORMALIZED COMPONENT	PHASE (DEG)	NORMALIZED PHASE (DEG)
1	5.000E+01	6.546E-02	1.000E+00	3.256E+01	0.000E+00
2	1.000E+02	3.694E-05	5.643E-04	-1.558E+02	-2.209E+02
3	1.500E+02	5.447E-02	8.321E-01	-1.293E+02	-2.270E+02
4	2.000E+02	6.316E-05	9.649E-04	4.483E+01	-8.542E+01
5	2.500E+02	4.852E-02	7.413E-01	8.542E+01	-7.738E+01
6	3.000E+02	7.919E-05	1.210E-03	-1.063E+02	-3.017E+02
7	3.500E+02	4.052E-02	6.190E-01	-5.797E+01	-2.859E+02
8	4.000E+02	9.484E-05	1.449E-03	1.057E+02	-1.548E+02
9	4.500E+02	3.153E-02	4.818E-01	1.624E+02	-1.306E+02
10	5.000E+02	1.065E-04	1.627E-03	-4.662E+01	-3.722E+02
11	5.500E+02	2.336E-02	3.569E-01	3.054E+01	-3.276E+02
12	6.000E+02	9.860E-05	1.506E-03	1.588E+02	-2.320E+02
13	6.500E+02	1.885E-02	2.880E-01	-8.977E+01	-5.131E+02
14	7.000E+02	6.842E-05	1.045E-03	1.104E+01	-4.448E+02
15	7.500E+02	1.997E-02	3.051E-01	1.519E+02	-3.365E+02
16	8.000E+02	3.799E-05	5.804E-04	-1.062E+02	-6.272E+02
17	8.500E+02	2.430E-02	3.712E-01	2.251E+01	-5.310E+02
18	9.000E+02	4.465E-05	6.822E-04	1.686E+02	-4.175E+02
19	9.500E+02	2.862E-02	4.373E-01	-1.159E+02	-7.346E+02

TOTAL HARMONIC DISTORTION = 1.577831E+02 PERCENT

•R = 1.5 Ω y L = 4 mHy

FOURIER COMPONENTS OF TRANSIENT RESPONSE I(R\_P)

DC COMPONENT = -2.113361E-06

HARMONIC NO	FREQUENCY (HZ)	FOURIER COMPONENT	NORMALIZED COMPONENT	PHASE (DEG)	NORMALIZED PHASE (DEG)
-------------	----------------	-------------------	----------------------	-------------	------------------------



1	5.000E+01	6.538E-02	1.000E+00	3.208E+01	0.000E+00
2	1.000E+02	4.299E-05	6.577E-04	-9.321E+00	-7.348E+01
3	1.500E+02	5.439E-02	8.319E-01	-1.305E+02	-2.268E+02
4	2.000E+02	5.150E-05	7.877E-04	1.532E+02	2.491E+01
5	2.500E+02	4.883E-02	7.469E-01	8.482E+01	-7.558E+01
6	3.000E+02	2.744E-05	4.197E-04	-5.009E+01	-2.426E+02
7	3.500E+02	4.283E-02	6.551E-01	-5.645E+01	-2.810E+02
8	4.000E+02	8.669E-06	1.326E-04	4.814E+01	-2.085E+02
9	4.500E+02	3.845E-02	5.882E-01	1.659E+02	-1.229E+02
10	5.000E+02	6.413E-06	9.809E-05	-1.288E+02	-4.496E+02
11	5.500E+02	3.690E-02	5.645E-01	2.914E+01	-3.237E+02
12	6.000E+02	2.497E-05	3.819E-04	1.183E+02	-2.667E+02
13	6.500E+02	3.727E-02	5.701E-01	-1.104E+02	-5.274E+02
14	7.000E+02	4.462E-05	6.825E-04	-4.948E+01	-4.986E+02
15	7.500E+02	3.751E-02	5.738E-01	1.060E+02	-3.752E+02
16	8.000E+02	5.384E-05	8.235E-04	1.529E+02	-3.604E+02
17	8.500E+02	3.612E-02	5.526E-01	-4.080E+01	-5.862E+02
18	9.000E+02	6.617E-05	1.012E-03	-4.739E+00	-5.822E+02
19	9.500E+02	3.263E-02	4.992E-01	1.705E+02	-4.390E+02

TOTAL HARMONIC DISTORTION = 1.884844E+02 PERCENT

•R = 1.5  $\Omega$  y L = 10 mHy

FOURIER COMPONENTS OF TRANSIENT RESPONSE I(R\_P)

DC COMPONENT = -2.562512E-05

HARMONIC NO	FREQUENCY (HZ)	FOURIER COMPONENT	NORMALIZED COMPONENT	PHASE (DEG)	NORMALIZED PHASE (DEG)
1	5.000E+01	6.571E-02	1.000E+00	2.778E+01	0.000E+00
2	1.000E+02	3.145E-05	4.787E-04	-8.915E+01	-1.447E+02
3	1.500E+02	5.797E-02	8.821E-01	-1.448E+02	-2.281E+02
4	2.000E+02	2.402E-05	3.656E-04	-1.693E+01	-1.281E+02
5	2.500E+02	5.520E-02	8.400E-01	5.865E+01	-8.025E+01
6	3.000E+02	1.057E-04	1.608E-03	-1.236E+02	-2.902E+02
7	3.500E+02	5.128E-02	7.804E-01	-9.803E+01	-2.925E+02
8	4.000E+02	1.307E-04	1.989E-03	1.589E+01	-2.063E+02
9	4.500E+02	4.631E-02	7.047E-01	1.052E+02	-1.448E+02
10	5.000E+02	8.602E-05	1.309E-03	-1.630E+02	-4.408E+02
11	5.500E+02	4.083E-02	6.214E-01	-5.188E+01	-3.575E+02
12	6.000E+02	7.557E-05	1.150E-03	-4.683E+01	-3.802E+02
13	6.500E+02	3.472E-02	5.284E-01	1.507E+02	-2.104E+02
14	7.000E+02	1.333E-05	2.028E-04	8.390E+01	-3.050E+02
15	7.500E+02	2.852E-02	4.341E-01	-7.210E+00	-4.239E+02
16	8.000E+02	8.913E-05	1.356E-03	-1.321E+02	-5.766E+02
17	8.500E+02	2.248E-02	3.420E-01	-1.658E+02	-6.381E+02
18	9.000E+02	2.276E-05	3.464E-04	-6.978E+01	-5.698E+02
19	9.500E+02	1.670E-02	2.542E-01	3.447E+01	-4.934E+02

TOTAL HARMONIC DISTORTION = 1.903898E+02 PERCENT



•R = 1.5 Ω y L = 16 mHy

FOURIER COMPONENTS OF TRANSIENT RESPONSE I(R\_P)

DC COMPONENT = -9.249038E-05

HARMONIC NO	FREQUENCY (HZ)	FOURIER COMPONENT	NORMALIZED COMPONENT	PHASE (DEG)	NORMALIZED PHASE (DEG)
1	5.000E+01	6.512E-02	1.000E+00	2.415E+01	0.000E+00
2	1.000E+02	1.465E-04	2.250E-03	1.032E+02	5.495E+01
3	1.500E+02	5.790E-02	8.891E-01	-1.569E+02	-2.293E+02
4	2.000E+02	1.510E-04	2.320E-03	-4.945E+01	-1.460E+02
5	2.500E+02	5.415E-02	8.317E-01	3.838E+01	-8.236E+01
6	3.000E+02	1.429E-04	2.195E-03	-1.750E+02	-3.199E+02
7	3.500E+02	4.853E-02	7.453E-01	-1.268E+02	-2.958E+02
8	4.000E+02	1.972E-04	3.028E-03	1.105E+01	-1.821E+02
9	4.500E+02	4.196E-02	6.443E-01	6.810E+01	-1.492E+02
10	5.000E+02	1.786E-04	2.743E-03	-1.669E+02	-4.084E+02
11	5.500E+02	3.488E-02	5.356E-01	-9.772E+01	-3.633E+02
12	6.000E+02	1.454E-04	2.232E-03	3.779E+01	-2.520E+02
13	6.500E+02	2.751E-02	4.225E-01	9.545E+01	-2.185E+02
14	7.000E+02	8.008E-05	1.230E-03	-1.003E+02	-4.383E+02
15	7.500E+02	2.060E-02	3.164E-01	-7.335E+01	-4.356E+02
16	8.000E+02	1.329E-04	2.041E-03	1.269E+02	-2.595E+02
17	8.500E+02	1.410E-02	2.165E-01	1.156E+02	-2.949E+02
18	9.000E+02	1.630E-04	2.503E-03	-8.129E+01	-5.159E+02
19	9.500E+02	8.832E-03	1.356E-01	-6.009E+01	-5.189E+02

TOTAL HARMONIC DISTORTION = 1.756078E+02 PERCENT

•R = 2 Ω y L = 0.5 mHy

FOURIER COMPONENTS OF TRANSIENT RESPONSE I(R\_P)

DC COMPONENT = -2.664418E-05

HARMONIC NO	FREQUENCY (HZ)	FOURIER COMPONENT	NORMALIZED COMPONENT	PHASE (DEG)	NORMALIZED PHASE (DEG)
1	5.000E+01	6.552E-02	1.000E+00	3.296E+01	0.000E+00
2	1.000E+02	5.266E-05	8.038E-04	1.280E+02	6.204E+01
3	1.500E+02	5.404E-02	8.249E-01	-1.280E+02	-2.268E+02
4	2.000E+02	5.135E-05	7.838E-04	-1.047E+01	-1.423E+02
5	2.500E+02	4.753E-02	7.255E-01	8.778E+01	-7.701E+01
6	3.000E+02	5.120E-05	7.816E-04	-1.432E+02	-3.409E+02
7	3.500E+02	3.901E-02	5.954E-01	-5.457E+01	-2.853E+02
8	4.000E+02	5.471E-05	8.351E-04	8.947E+01	-1.742E+02
9	4.500E+02	2.982E-02	4.551E-01	1.666E+02	-1.300E+02
10	5.000E+02	6.404E-05	9.775E-04	-3.503E+01	-3.646E+02
11	5.500E+02	2.158E-02	3.293E-01	3.425E+01	-3.283E+02
12	6.000E+02	8.306E-05	1.268E-03	-1.596E+02	-5.551E+02
13	6.500E+02	1.607E-02	2.452E-01	-8.868E+01	-5.171E+02
14	7.000E+02	1.170E-04	1.786E-03	7.203E+01	-3.894E+02
15	7.500E+02	1.419E-02	2.166E-01	1.537E+02	-3.407E+02
16	8.000E+02	1.680E-04	2.563E-03	-6.257E+01	-5.899E+02
17	8.500E+02	1.443E-02	2.202E-01	3.098E+01	-5.293E+02
18	9.000E+02	2.316E-04	3.534E-03	1.574E+02	-4.359E+02
19	9.500E+02	1.459E-02	2.227E-01	-9.801E+01	-7.242E+02





TOTAL HARMONIC DISTORTION = 1.442865E+02 PERCENT

• $R = 2 \Omega$  y  $L = 1 \text{ mHy}$

FOURIER COMPONENTS OF TRANSIENT RESPONSE I(R\_P)

DC COMPONENT = 4.533006E-05

HARMONIC NO	FREQUENCY (HZ)	FOURIER COMPONENT	NORMALIZED COMPONENT	PHASE (DEG)	NORMALIZED PHASE (DEG)
1	5.000E+01	6.555E-02	1.000E+00	3.264E+01	0.000E+00
2	1.000E+02	9.919E-05	1.513E-03	-3.797E+01	-1.032E+02
3	1.500E+02	5.410E-02	8.254E-01	-1.289E+02	-2.268E+02
4	2.000E+02	1.158E-04	1.766E-03	-1.751E+02	-3.057E+02
5	2.500E+02	4.750E-02	7.246E-01	8.635E+01	-7.683E+01
6	3.000E+02	1.283E-04	1.958E-03	3.934E+01	-1.565E+02
7	3.500E+02	3.896E-02	5.944E-01	-5.610E+01	-2.846E+02
8	4.000E+02	1.310E-04	1.999E-03	-1.140E+02	-3.751E+02
9	4.500E+02	2.999E-02	4.576E-01	1.655E+02	-1.282E+02
10	5.000E+02	1.239E-04	1.890E-03	8.232E+01	-2.440E+02
11	5.500E+02	2.237E-02	3.412E-01	3.397E+01	-3.250E+02
12	6.000E+02	1.210E-04	1.846E-03	-9.515E+01	-4.868E+02
13	6.500E+02	1.774E-02	2.706E-01	-8.971E+01	-5.140E+02
14	7.000E+02	1.500E-04	2.288E-03	8.206E+01	-3.749E+02
15	7.500E+02	1.631E-02	2.488E-01	1.488E+02	-3.408E+02
16	8.000E+02	2.146E-04	3.274E-03	-9.051E+01	-6.127E+02
17	8.500E+02	1.628E-02	2.483E-01	2.304E+01	-5.318E+02
18	9.000E+02	2.947E-04	4.496E-03	1.064E+02	-4.810E+02
19	9.500E+02	1.610E-02	2.457E-01	-1.058E+02	-7.259E+02

TOTAL HARMONIC DISTORTION = 1.463748E+02 PERCENT

• $R = 2 \Omega$  y  $L = 2 \text{ mHy}$

FOURIER COMPONENTS OF TRANSIENT RESPONSE I(R\_P)

DC COMPONENT = -3.506840E-07

HARMONIC NO	FREQUENCY (HZ)	FOURIER COMPONENT	NORMALIZED COMPONENT	PHASE (DEG)	NORMALIZED PHASE (DEG)
1	5.000E+01	6.548E-02	1.000E+00	3.252E+01	0.000E+00
2	1.000E+02	2.393E-06	3.655E-05	1.100E+02	4.497E+01
3	1.500E+02	5.450E-02	8.323E-01	-1.295E+02	-2.270E+02
4	2.000E+02	4.908E-06	7.496E-05	-4.824E+01	-1.783E+02
5	2.500E+02	4.855E-02	7.415E-01	8.518E+01	-7.741E+01
6	3.000E+02	2.860E-06	4.367E-05	-1.729E+02	-3.680E+02
7	3.500E+02	4.051E-02	6.188E-01	-5.835E+01	-2.860E+02
8	4.000E+02	1.322E-05	2.020E-04	1.354E+02	-1.247E+02
9	4.500E+02	3.149E-02	4.809E-01	1.619E+02	-1.308E+02
10	5.000E+02	3.855E-05	5.887E-04	-1.777E+01	-3.430E+02
11	5.500E+02	2.323E-02	3.548E-01	2.973E+01	-3.280E+02
12	6.000E+02	6.876E-05	1.050E-03	-1.740E+02	-5.643E+02
13	6.500E+02	1.857E-02	2.837E-01	-9.062E+01	-5.134E+02
14	7.000E+02	9.699E-05	1.481E-03	3.293E+01	-4.223E+02
15	7.500E+02	1.958E-02	2.990E-01	1.515E+02	-3.363E+02
16	8.000E+02	1.239E-04	1.892E-03	-1.162E+02	-6.365E+02
17	8.500E+02	2.387E-02	3.645E-01	2.241E+01	-5.304E+02
18	9.000E+02	1.538E-04	2.349E-03	9.484E+01	-4.905E+02
19	9.500E+02	2.817E-02	4.303E-01	-1.160E+02	-7.339E+02



TOTAL HARMONIC DISTORTION = 1.571749E+02 PERCENT

•R = 2 Ω y L = 4 mHy

FOURIER COMPONENTS OF TRANSIENT RESPONSE I(R\_P)

DC COMPONENT = -1.880489E-05

HARMONIC NO	FREQUENCY (HZ)	FOURIER COMPONENT	NORMALIZED COMPONENT	PHASE (DEG)	NORMALIZED PHASE (DEG)
1	5.000E+01	6.529E-02	1.000E+00	3.195E+01	0.000E+00
2	1.000E+02	4.109E-05	6.293E-04	6.804E+01	4.137E+00
3	1.500E+02	5.426E-02	8.312E-01	-1.310E+02	-2.269E+02
4	2.000E+02	5.367E-05	8.221E-04	-1.252E+02	-2.530E+02
5	2.500E+02	4.851E-02	7.430E-01	8.399E+01	-7.577E+01
6	3.000E+02	7.237E-05	1.109E-03	5.452E+01	-1.372E+02
7	3.500E+02	4.221E-02	6.465E-01	-5.740E+01	-2.811E+02
8	4.000E+02	9.231E-05	1.414E-03	-1.123E+02	-3.679E+02
9	4.500E+02	3.764E-02	5.766E-01	1.652E+02	-1.224E+02
10	5.000E+02	1.204E-04	1.844E-03	8.686E+01	-2.327E+02
11	5.500E+02	3.613E-02	5.534E-01	2.888E+01	-3.226E+02
12	6.000E+02	1.465E-04	2.244E-03	-7.892E+01	-4.623E+02
13	6.500E+02	3.671E-02	5.623E-01	-1.104E+02	-5.258E+02
14	7.000E+02	1.402E-04	2.147E-03	1.119E+02	-3.354E+02
15	7.500E+02	3.721E-02	5.700E-01	1.059E+02	-3.734E+02
16	8.000E+02	9.572E-05	1.466E-03	-5.332E+01	-5.646E+02
17	8.500E+02	3.601E-02	5.515E-01	-4.131E+01	-5.845E+02
18	9.000E+02	4.097E-05	6.275E-04	1.680E+02	-4.072E+02
19	9.500E+02	3.254E-02	4.984E-01	1.695E+02	-4.375E+02

TOTAL HARMONIC DISTORTION = 1.869028E+02 PERCENT

•R = 2 Ω y L = 10 mHy

FOURIER COMPONENTS OF TRANSIENT RESPONSE I(R\_P)

DC COMPONENT = -2.002144E-05

HARMONIC NO	FREQUENCY (HZ)	FOURIER COMPONENT	NORMALIZED COMPONENT	PHASE (DEG)	NORMALIZED PHASE (DEG)
1	5.000E+01	6.564E-02	1.000E+00	2.791E+01	0.000E+00
2	1.000E+02	5.609E-05	8.546E-04	9.639E+01	4.057E+01
3	1.500E+02	5.787E-02	8.817E-01	-1.444E+02	-2.282E+02
4	2.000E+02	3.878E-05	5.909E-04	-2.447E+01	-1.361E+02
5	2.500E+02	5.517E-02	8.406E-01	5.908E+01	-8.049E+01
6	3.000E+02	5.032E-05	7.667E-04	1.534E+02	-1.405E+01
7	3.500E+02	5.119E-02	7.799E-01	-9.747E+01	-2.929E+02
8	4.000E+02	5.834E-05	8.888E-04	-1.154E+02	-3.387E+02
9	4.500E+02	4.616E-02	7.033E-01	1.059E+02	-1.454E+02
10	5.000E+02	9.018E-05	1.374E-03	-5.853E+01	-3.377E+02
11	5.500E+02	4.051E-02	6.173E-01	-5.088E+01	-3.579E+02
12	6.000E+02	1.081E-04	1.647E-03	8.922E+01	-2.457E+02
13	6.500E+02	3.451E-02	5.257E-01	1.520E+02	-2.108E+02
14	7.000E+02	9.026E-05	1.375E-03	-1.036E+02	-4.944E+02
15	7.500E+02	2.839E-02	4.325E-01	-5.701E+00	-4.244E+02
16	8.000E+02	1.128E-04	1.719E-03	1.468E+02	-2.998E+02



17	8.500E+02	2.234E-02	3.404E-01	-1.643E+02	-6.388E+02
18	9.000E+02	1.461E-04	2.226E-03	-4.462E+01	-5.471E+02
19	9.500E+02	1.659E-02	2.527E-01	3.607E+01	-4.943E+02

TOTAL HARMONIC DISTORTION = 1.900297E+02 PERCENT

•R = 2 Ω y L = 16 mHy

FOURIER COMPONENTS OF TRANSIENT RESPONSE I(R\_P)

DC COMPONENT = -3.066956E-05

HARMONIC NO	FREQUENCY (HZ)	FOURIER COMPONENT	NORMALIZED COMPONENT	PHASE (DEG)	NORMALIZED PHASE (DEG)
1	5.000E+01	6.512E-02	1.000E+00	2.424E+01	0.000E+00
2	1.000E+02	9.190E-05	1.411E-03	5.908E+01	1.060E+01
3	1.500E+02	5.799E-02	8.905E-01	-1.566E+02	-2.293E+02
4	2.000E+02	1.441E-04	2.213E-03	-1.046E+02	-2.016E+02
5	2.500E+02	5.411E-02	8.309E-01	3.874E+01	-8.246E+01
6	3.000E+02	1.785E-04	2.740E-03	4.267E+01	-1.028E+02
7	3.500E+02	4.858E-02	7.459E-01	-1.261E+02	-2.957E+02
8	4.000E+02	2.174E-04	3.338E-03	1.783E+02	-1.560E+01
9	4.500E+02	4.199E-02	6.448E-01	6.908E+01	-1.491E+02
10	5.000E+02	1.302E-04	1.999E-03	-8.364E+01	-3.260E+02
11	5.500E+02	3.488E-02	5.357E-01	-9.672E+01	-3.634E+02
12	6.000E+02	1.396E-04	2.144E-03	1.755E+01	-2.733E+02
13	6.500E+02	2.747E-02	4.219E-01	9.664E+01	-2.185E+02
14	7.000E+02	1.667E-04	2.560E-03	1.630E+02	-1.763E+02
15	7.500E+02	2.037E-02	3.128E-01	-7.145E+01	-4.350E+02
16	8.000E+02	7.965E-05	1.223E-03	-1.231E+02	-5.110E+02
17	8.500E+02	1.414E-02	2.171E-01	1.180E+02	-2.941E+02
18	9.000E+02	4.920E-05	7.554E-04	-1.139E+02	-5.502E+02
19	9.500E+02	8.860E-03	1.360E-01	-5.821E+01	-5.188E+02

TOTAL HARMONIC DISTORTION = 1.756142E+02 PERCENT

•R = 3 Ω y L = 0.5 mHy

FOURIER COMPONENTS OF TRANSIENT RESPONSE I(R\_P)

DC COMPONENT = -2.068927E-05

HARMONIC NO	FREQUENCY (HZ)	FOURIER COMPONENT	NORMALIZED COMPONENT	PHASE (DEG)	NORMALIZED PHASE (DEG)
1	5.000E+01	6.559E-02	1.000E+00	3.282E+01	0.000E+00
2	1.000E+02	3.998E-05	6.096E-04	1.299E+02	6.427E+01
3	1.500E+02	5.413E-02	8.254E-01	-1.284E+02	-2.268E+02
4	2.000E+02	3.671E-05	5.597E-04	-8.035E+00	-1.393E+02
5	2.500E+02	4.759E-02	7.256E-01	8.712E+01	-7.696E+01
6	3.000E+02	3.341E-05	5.093E-04	-1.430E+02	-3.399E+02
7	3.500E+02	3.905E-02	5.954E-01	-5.547E+01	-2.852E+02
8	4.000E+02	3.196E-05	4.874E-04	8.276E+01	-1.798E+02
9	4.500E+02	2.986E-02	4.553E-01	1.655E+02	-1.298E+02
10	5.000E+02	3.176E-05	4.842E-04	-5.519E+01	-3.834E+02
11	5.500E+02	2.165E-02	3.301E-01	3.289E+01	-3.281E+02
12	6.000E+02	3.104E-05	4.733E-04	1.609E+02	-2.329E+02
13	6.500E+02	1.616E-02	2.464E-01	-9.046E+01	-5.171E+02



14	7.000E+02	2.855E-05	4.353E-04	1.195E+01	-4.475E+02
15	7.500E+02	1.426E-02	2.175E-01	1.513E+02	-3.409E+02
16	8.000E+02	2.462E-05	3.754E-04	-1.410E+02	-6.661E+02
17	8.500E+02	1.444E-02	2.201E-01	2.821E+01	-5.297E+02
18	9.000E+02	2.061E-05	3.143E-04	6.477E+01	-5.259E+02
19	9.500E+02	1.458E-02	2.223E-01	-1.011E+02	-7.246E+02

TOTAL HARMONIC DISTORTION = 1.443723E+02 PERCENT

•R = 3 Ω y L = 1 mHy

FOURIER COMPONENTS OF TRANSIENT RESPONSE I(R\_P)

DC COMPONENT = -5.380076E-05

HARMONIC NO	FREQUENCY (HZ)	FOURIER COMPONENT	NORMALIZED COMPONENT	PHASE (DEG)	NORMALIZED PHASE (DEG)
1	5.000E+01	6.534E-02	1.000E+00	3.265E+01	0.000E+00
2	1.000E+02	1.070E-04	1.637E-03	1.373E+02	7.198E+01
3	1.500E+02	5.396E-02	8.258E-01	-1.291E+02	-2.270E+02
4	2.000E+02	1.064E-04	1.628E-03	5.583E+00	-1.250E+02
5	2.500E+02	4.745E-02	7.262E-01	8.603E+01	-7.720E+01
6	3.000E+02	1.079E-04	1.651E-03	-1.252E+02	-3.210E+02
7	3.500E+02	3.900E-02	5.969E-01	-5.670E+01	-2.852E+02
8	4.000E+02	1.131E-04	1.731E-03	1.040E+02	-1.572E+02
9	4.500E+02	3.004E-02	4.597E-01	1.645E+02	-1.293E+02
10	5.000E+02	1.210E-04	1.852E-03	-2.832E+01	-3.548E+02
11	5.500E+02	2.228E-02	3.410E-01	3.233E+01	-3.268E+02
12	6.000E+02	1.291E-04	1.975E-03	-1.621E+02	-5.538E+02
13	6.500E+02	1.745E-02	2.670E-01	-9.155E+01	-5.160E+02
14	7.000E+02	1.357E-04	2.077E-03	6.364E+01	-3.934E+02
15	7.500E+02	1.595E-02	2.441E-01	1.475E+02	-3.422E+02
16	8.000E+02	1.411E-04	2.159E-03	-7.031E+01	-5.927E+02
17	8.500E+02	1.609E-02	2.462E-01	2.191E+01	-5.331E+02
18	9.000E+02	1.474E-04	2.256E-03	1.564E+02	-4.312E+02
19	9.500E+02	1.612E-02	2.466E-01	-1.078E+02	-7.281E+02

TOTAL HARMONIC DISTORTION = 1.464774E+02 PERCENT

•R = 3 Ω y L = 2 mHy

FOURIER COMPONENTS OF TRANSIENT RESPONSE I(R\_P)

DC COMPONENT = 2.795504E-05

HARMONIC NO	FREQUENCY (HZ)	FOURIER COMPONENT	NORMALIZED COMPONENT	PHASE (DEG)	NORMALIZED PHASE (DEG)
1	5.000E+01	6.539E-02	1.000E+00	3.256E+01	0.000E+00
2	1.000E+02	5.945E-05	9.091E-04	-3.445E+01	-9.958E+01
3	1.500E+02	5.444E-02	8.324E-01	-1.294E+02	-2.271E+02
4	2.000E+02	7.573E-05	1.158E-03	-1.624E+02	-2.926E+02
5	2.500E+02	4.853E-02	7.421E-01	8.528E+01	-7.754E+01
6	3.000E+02	1.033E-04	1.579E-03	5.763E+01	-1.377E+02
7	3.500E+02	4.056E-02	6.203E-01	-5.824E+01	-2.862E+02
8	4.000E+02	1.264E-04	1.933E-03	-9.123E+01	-3.517E+02
9	4.500E+02	3.166E-02	4.842E-01	1.619E+02	-1.312E+02
10	5.000E+02	1.340E-04	2.049E-03	1.186E+02	-2.071E+02
11	5.500E+02	2.353E-02	3.598E-01	2.925E+01	-3.289E+02



12	6.000E+02	1.300E-04	1.988E-03	-2.771E+01	-4.185E+02
13	6.500E+02	1.874E-02	2.866E-01	-9.240E+01	-5.157E+02
14	7.000E+02	1.271E-04	1.943E-03	-1.705E+02	-6.264E+02
15	7.500E+02	1.923E-02	2.941E-01	1.490E+02	-3.394E+02
16	8.000E+02	1.245E-04	1.904E-03	4.518E+01	-4.758E+02
17	8.500E+02	2.292E-02	3.505E-01	2.022E+01	-5.334E+02
18	9.000E+02	1.122E-04	1.716E-03	-9.951E+01	-6.856E+02
19	9.500E+02	2.664E-02	4.074E-01	-1.177E+02	-7.364E+02

TOTAL HARMONIC DISTORTION = 1.565173E+02 PERCENT

•R = 3 Ω y L = 4 mHy

FOURIER COMPONENTS OF TRANSIENT RESPONSE I(R\_P)

DC COMPONENT = -1.217701E-05

HARMONIC NO	FREQUENCY (HZ)	FOURIER COMPONENT	NORMALIZED COMPONENT	PHASE (DEG)	NORMALIZED PHASE (DEG)
1	5.000E+01	6.527E-02	1.000E+00	3.179E+01	0.000E+00
2	1.000E+02	1.745E-05	2.673E-04	9.828E+01	3.469E+01
3	1.500E+02	5.425E-02	8.312E-01	-1.316E+02	-2.270E+02
4	2.000E+02	9.997E-06	1.532E-04	-1.719E+01	-1.444E+02
5	2.500E+02	4.836E-02	7.409E-01	8.295E+01	-7.602E+01
6	3.000E+02	2.222E-05	3.404E-04	-1.380E+02	-3.288E+02
7	3.500E+02	4.176E-02	6.398E-01	-5.896E+01	-2.815E+02
8	4.000E+02	3.651E-05	5.593E-04	5.134E+01	-2.030E+02
9	4.500E+02	3.669E-02	5.621E-01	1.633E+02	-1.229E+02
10	5.000E+02	3.104E-05	4.755E-04	-1.157E+02	-4.336E+02
11	5.500E+02	3.461E-02	5.302E-01	2.738E+01	-3.224E+02
12	6.000E+02	3.493E-05	5.351E-04	1.261E+02	-2.555E+02
13	6.500E+02	3.488E-02	5.344E-01	-1.111E+02	-5.244E+02
14	7.000E+02	6.687E-05	1.025E-03	-3.819E+01	-4.833E+02
15	7.500E+02	3.542E-02	5.427E-01	1.060E+02	-3.709E+02
16	8.000E+02	7.259E-05	1.112E-03	1.413E+02	-3.675E+02
17	8.500E+02	3.451E-02	5.287E-01	-4.074E+01	-5.812E+02
18	9.000E+02	4.859E-05	7.445E-04	-2.571E+01	-5.980E+02
19	9.500E+02	3.149E-02	4.824E-01	1.702E+02	-4.339E+02

TOTAL HARMONIC DISTORTION = 1.827193E+02 PERCENT

•R = 3 Ω y L = 10 mHy

FOURIER COMPONENTS OF TRANSIENT RESPONSE I(R\_P)

DC COMPONENT = -1.298738E-05

HARMONIC NO	FREQUENCY (HZ)	FOURIER COMPONENT	NORMALIZED COMPONENT	PHASE (DEG)	NORMALIZED PHASE (DEG)
1	5.000E+01	6.560E-02	1.000E+00	2.805E+01	0.000E+00
2	1.000E+02	3.065E-05	4.672E-04	-1.675E+02	-2.236E+02
3	1.500E+02	5.770E-02	8.796E-01	-1.440E+02	-2.281E+02
4	2.000E+02	1.087E-04	1.657E-03	-3.949E+01	-1.517E+02
5	2.500E+02	5.493E-02	8.374E-01	5.998E+01	-8.029E+01
6	3.000E+02	7.832E-05	1.194E-03	1.179E+02	-5.045E+01
7	3.500E+02	5.101E-02	7.775E-01	-9.622E+01	-2.926E+02
8	4.000E+02	6.144E-05	9.366E-04	-7.001E+01	-2.944E+02
9	4.500E+02	4.602E-02	7.015E-01	1.075E+02	-1.450E+02



10	5.000E+02	5.525E-05	8.422E-04	9.165E+01	-1.889E+02
11	5.500E+02	4.032E-02	6.147E-01	-4.921E+01	-3.578E+02
12	6.000E+02	3.360E-05	5.123E-04	-1.459E+02	-4.825E+02
13	6.500E+02	3.407E-02	5.193E-01	1.540E+02	-2.107E+02
14	7.000E+02	1.944E-05	2.964E-04	-1.206E+02	-5.133E+02
15	7.500E+02	2.783E-02	4.243E-01	-3.214E+00	-4.240E+02
16	8.000E+02	5.182E-05	7.900E-04	-1.099E+02	-5.588E+02
17	8.500E+02	2.177E-02	3.318E-01	-1.611E+02	-6.381E+02
18	9.000E+02	7.484E-05	1.141E-03	4.801E+01	-4.570E+02
19	9.500E+02	1.610E-02	2.454E-01	3.977E+01	-4.933E+02

TOTAL HARMONIC DISTORTION = 1.889297E+02 PERCENT

•R = 3 Ω y L = 16 mHy

FOURIER COMPONENTS OF TRANSIENT RESPONSE I(R\_P)

DC COMPONENT = -1.147894E-05

HARMONIC NO	FREQUENCY (HZ)	FOURIER COMPONENT	NORMALIZED COMPONENT	PHASE (DEG)	NORMALIZED PHASE (DEG)
1	5.000E+01	6.509E-02	1.000E+00	2.429E+01	0.000E+00
2	1.000E+02	4.763E-05	7.317E-04	-2.964E+01	-7.822E+01
3	1.500E+02	5.794E-02	8.902E-01	-1.563E+02	-2.292E+02
4	2.000E+02	1.406E-04	2.160E-03	-5.894E+01	-1.561E+02
5	2.500E+02	5.403E-02	8.301E-01	3.907E+01	-8.237E+01
6	3.000E+02	1.594E-04	2.449E-03	1.078E+02	-3.795E+01
7	3.500E+02	4.851E-02	7.452E-01	-1.255E+02	-2.955E+02
8	4.000E+02	2.140E-04	3.288E-03	-7.066E+01	-2.650E+02
9	4.500E+02	4.184E-02	6.428E-01	6.957E+01	-1.490E+02
10	5.000E+02	1.555E-04	2.389E-03	1.313E+02	-1.116E+02
11	5.500E+02	3.466E-02	5.324E-01	-9.590E+01	-3.631E+02
12	6.000E+02	1.139E-04	1.749E-03	-2.833E+01	-3.198E+02
13	6.500E+02	2.718E-02	4.175E-01	9.763E+01	-2.181E+02
14	7.000E+02	1.047E-04	1.609E-03	-1.570E+02	-4.971E+02
15	7.500E+02	2.008E-02	3.086E-01	-7.004E+01	-4.344E+02
16	8.000E+02	3.770E-05	5.792E-04	9.323E+01	-2.954E+02
17	8.500E+02	1.373E-02	2.109E-01	1.201E+02	-2.928E+02
18	9.000E+02	2.047E-04	3.144E-03	-7.608E+01	-5.133E+02
19	9.500E+02	8.579E-03	1.318E-01	-5.590E+01	-5.174E+02

TOTAL HARMONIC DISTORTION = 1.750668E+02 PERCENT

•R = 4 Ω y L = 0.5 mHy

FOURIER COMPONENTS OF TRANSIENT RESPONSE I(R\_P)

DC COMPONENT = 5.040077E-05

HARMONIC NO	FREQUENCY (HZ)	FOURIER COMPONENT	NORMALIZED COMPONENT	PHASE (DEG)	NORMALIZED PHASE (DEG)
1	5.000E+01	6.528E-02	1.000E+00	3.275E+01	0.000E+00
2	1.000E+02	1.074E-04	1.645E-03	-3.524E+01	-1.007E+02
3	1.500E+02	5.386E-02	8.251E-01	-1.288E+02	-2.271E+02
4	2.000E+02	1.199E-04	1.837E-03	-1.665E+02	-2.975E+02
5	2.500E+02	4.733E-02	7.250E-01	8.633E+01	-7.742E+01
6	3.000E+02	1.270E-04	1.945E-03	5.782E+01	-1.387E+02
7	3.500E+02	3.880E-02	5.943E-01	-5.661E+01	-2.859E+02



8	4.000E+02	1.234E-04	1.891E-03	-7.820E+01	-3.402E+02
9	4.500E+02	2.962E-02	4.537E-01	1.640E+02	-1.308E+02
10	5.000E+02	1.133E-04	1.735E-03	1.497E+02	-1.778E+02
11	5.500E+02	2.140E-02	3.278E-01	3.088E+01	-3.294E+02
12	6.000E+02	1.076E-04	1.648E-03	2.346E+01	-3.695E+02
13	6.500E+02	1.586E-02	2.429E-01	-9.291E+01	-5.187E+02
14	7.000E+02	1.159E-04	1.775E-03	-1.022E+02	-5.607E+02
15	7.500E+02	1.387E-02	2.124E-01	1.487E+02	-3.425E+02
16	8.000E+02	1.324E-04	2.028E-03	1.260E+02	-3.980E+02
17	8.500E+02	1.395E-02	2.137E-01	2.558E+01	-5.312E+02
18	9.000E+02	1.445E-04	2.213E-03	-1.120E+01	-6.007E+02
19	9.500E+02	1.402E-02	2.148E-01	-1.038E+02	-7.260E+02

TOTAL HARMONIC DISTORTION = 1.438307E+02 PERCENT

•R = 4 Ω y L = 1 mHy

FOURIER COMPONENTS OF TRANSIENT RESPONSE I(R\_P)

DC COMPONENT = 6.785762E-05

HARMONIC NO	FREQUENCY (HZ)	FOURIER COMPONENT	NORMALIZED COMPONENT	PHASE (DEG)	NORMALIZED PHASE (DEG)
1	5.000E+01	6.538E-02	1.000E+00	3.258E+01	0.000E+00
2	1.000E+02	1.349E-04	2.064E-03	-4.486E+01	-1.100E+02
3	1.500E+02	5.404E-02	8.266E-01	-1.293E+02	-2.270E+02
4	2.000E+02	1.329E-04	2.033E-03	-1.797E+02	-3.100E+02
5	2.500E+02	4.758E-02	7.278E-01	8.566E+01	-7.724E+01
6	3.000E+02	1.296E-04	1.982E-03	4.566E+01	-1.498E+02
7	3.500E+02	3.917E-02	5.991E-01	-5.732E+01	-2.854E+02
8	4.000E+02	1.252E-04	1.914E-03	-8.884E+01	-3.495E+02
9	4.500E+02	3.021E-02	4.620E-01	1.635E+02	-1.297E+02
10	5.000E+02	1.199E-04	1.835E-03	1.368E+02	-1.890E+02
11	5.500E+02	2.237E-02	3.422E-01	3.078E+01	-3.276E+02
12	6.000E+02	1.138E-04	1.740E-03	2.667E+00	-3.883E+02
13	6.500E+02	1.736E-02	2.655E-01	-9.354E+01	-5.171E+02
14	7.000E+02	1.067E-04	1.632E-03	-1.314E+02	-5.875E+02
15	7.500E+02	1.573E-02	2.406E-01	1.456E+02	-3.431E+02
16	8.000E+02	9.883E-05	1.512E-03	9.503E+01	-4.262E+02
17	8.500E+02	1.588E-02	2.429E-01	2.026E+01	-5.336E+02
18	9.000E+02	9.012E-05	1.378E-03	-3.809E+01	-6.245E+02
19	9.500E+02	1.602E-02	2.450E-01	-1.097E+02	-7.287E+02

TOTAL HARMONIC DISTORTION = 1.466238E+02 PERCENT

•R = 4 Ω y L = 2 mHy

FOURIER COMPONENTS OF TRANSIENT RESPONSE I(R\_P)

DC COMPONENT = -5.921467E-05

HARMONIC NO	FREQUENCY (HZ)	FOURIER COMPONENT	NORMALIZED COMPONENT	PHASE (DEG)	NORMALIZED PHASE (DEG)
1	5.000E+01	6.522E-02	1.000E+00	3.259E+01	0.000E+00
2	1.000E+02	1.130E-04	1.732E-03	1.264E+02	6.126E+01
3	1.500E+02	5.427E-02	8.322E-01	-1.294E+02	-2.272E+02
4	2.000E+02	9.950E-05	1.526E-03	-1.355E+01	-1.439E+02
5	2.500E+02	4.842E-02	7.425E-01	8.520E+01	-7.776E+01



6	3.000E+02	8.509E-05	1.305E-03	-1.464E+02	-3.419E+02
7	3.500E+02	4.055E-02	6.218E-01	-5.837E+01	-2.865E+02
8	4.000E+02	8.061E-05	1.236E-03	8.897E+01	-1.718E+02
9	4.500E+02	3.177E-02	4.872E-01	1.616E+02	-1.317E+02
10	5.000E+02	9.421E-05	1.445E-03	-3.588E+01	-3.618E+02
11	5.500E+02	2.373E-02	3.638E-01	2.841E+01	-3.301E+02
12	6.000E+02	1.237E-04	1.896E-03	-1.701E+02	-5.612E+02
13	6.500E+02	1.882E-02	2.885E-01	-9.441E+01	-5.181E+02
14	7.000E+02	1.591E-04	2.440E-03	4.680E+01	-4.095E+02
15	7.500E+02	1.883E-02	2.887E-01	1.463E+02	-3.426E+02
16	8.000E+02	1.916E-04	2.937E-03	-1.018E+02	-6.233E+02
17	8.500E+02	2.193E-02	3.363E-01	1.795E+01	-5.361E+02
18	9.000E+02	2.149E-04	3.295E-03	1.064E+02	-4.803E+02
19	9.500E+02	2.516E-02	3.858E-01	-1.193E+02	-7.386E+02

TOTAL HARMONIC DISTORTION = 1.558429E+02 PERCENT

•R = 4 Ω y L = 4 mHy

FOURIER COMPONENTS OF TRANSIENT RESPONSE I(R\_P)

DC COMPONENT = -6.095841E-06

HARMONIC NO	FREQUENCY (HZ)	FOURIER COMPONENT	NORMALIZED COMPONENT	PHASE (DEG)	NORMALIZED PHASE (DEG)
1	5.000E+01	6.523E-02	1.000E+00	3.165E+01	0.000E+00
2	1.000E+02	2.310E-05	3.541E-04	8.398E+01	2.068E+01
3	1.500E+02	5.423E-02	8.313E-01	-1.322E+02	-2.271E+02
4	2.000E+02	5.194E-05	7.962E-04	-1.010E+02	-2.276E+02
5	2.500E+02	4.816E-02	7.383E-01	8.191E+01	-7.633E+01
6	3.000E+02	8.642E-05	1.325E-03	8.064E+01	-1.092E+02
7	3.500E+02	4.124E-02	6.323E-01	-6.042E+01	-2.820E+02
8	4.000E+02	1.133E-04	1.737E-03	-8.825E+01	-3.414E+02
9	4.500E+02	3.577E-02	5.483E-01	1.617E+02	-1.231E+02
10	5.000E+02	1.360E-04	2.085E-03	1.140E+02	-2.025E+02
11	5.500E+02	3.334E-02	5.112E-01	2.622E+01	-3.219E+02
12	6.000E+02	1.708E-04	2.618E-03	-4.148E+01	-4.212E+02
13	6.500E+02	3.348E-02	5.133E-01	-1.115E+02	-5.229E+02
14	7.000E+02	2.032E-04	3.115E-03	1.578E+02	-2.853E+02
15	7.500E+02	3.417E-02	5.239E-01	1.061E+02	-3.686E+02
16	8.000E+02	2.025E-04	3.104E-03	-7.138E+00	-5.135E+02
17	8.500E+02	3.356E-02	5.145E-01	-4.051E+01	-5.785E+02
18	9.000E+02	1.571E-04	2.409E-03	-1.675E+02	-7.372E+02
19	9.500E+02	3.083E-02	4.727E-01	1.703E+02	-4.310E+02

TOTAL HARMONIC DISTORTION = 1.795554E+02 PERCENT

•R = 4 Ω y L = 10 mHy

FOURIER COMPONENTS OF TRANSIENT RESPONSE I(R\_P)

DC COMPONENT = -2.716114E-05

HARMONIC NO	FREQUENCY (HZ)	FOURIER COMPONENT	NORMALIZED COMPONENT	PHASE (DEG)	NORMALIZED PHASE (DEG)
1	5.000E+01	6.560E-02	1.000E+00	2.820E+01	0.000E+00
2	1.000E+02	1.325E-05	2.019E-04	1.427E+02	8.631E+01
3	1.500E+02	5.764E-02	8.786E-01	-1.436E+02	-2.282E+02





4	2.000E+02	8.001E-05	1.220E-03	-1.935E+01	-1.322E+02
5	2.500E+02	5.478E-02	8.350E-01	6.066E+01	-8.035E+01
6	3.000E+02	1.031E-04	1.572E-03	1.651E+02	-4.127E+00
7	3.500E+02	5.071E-02	7.730E-01	-9.525E+01	-2.927E+02
8	4.000E+02	1.216E-04	1.853E-03	-1.796E+01	-2.436E+02
9	4.500E+02	4.559E-02	6.949E-01	1.088E+02	-1.450E+02
10	5.000E+02	1.310E-04	1.997E-03	1.582E+02	-1.238E+02
11	5.500E+02	3.991E-02	6.083E-01	-4.735E+01	-3.576E+02
12	6.000E+02	8.645E-05	1.318E-03	-4.309E+01	-3.815E+02
13	6.500E+02	3.371E-02	5.139E-01	1.560E+02	-2.106E+02
14	7.000E+02	3.535E-05	5.388E-04	-1.139E+02	-5.087E+02
15	7.500E+02	2.731E-02	4.162E-01	-1.011E+00	-4.240E+02
16	8.000E+02	4.992E-05	7.609E-04	1.069E+01	-4.405E+02
17	8.500E+02	2.117E-02	3.226E-01	-1.584E+02	-6.378E+02
18	9.000E+02	2.461E-05	3.752E-04	8.300E-01	-5.068E+02
19	9.500E+02	1.549E-02	2.362E-01	4.323E+01	-4.926E+02

TOTAL HARMONIC DISTORTION = 1.875296E+02 PERCENT

•R = 4 Ω y L = 16 mHy

FOURIER COMPONENTS OF TRANSIENT RESPONSE I(R\_P)

DC COMPONENT = 6.612698E-05

HARMONIC NO	FREQUENCY (HZ)	FOURIER COMPONENT	NORMALIZED COMPONENT	PHASE (DEG)	NORMALIZED PHASE (DEG)
1	5.000E+01	6.497E-02	1.000E+00	2.447E+01	0.000E+00
2	1.000E+02	1.498E-04	2.305E-03	-1.329E+02	-1.819E+02
3	1.500E+02	5.777E-02	8.892E-01	-1.560E+02	-2.294E+02
4	2.000E+02	1.198E-04	1.843E-03	3.163E+01	-6.624E+01
5	2.500E+02	5.394E-02	8.303E-01	3.971E+01	-8.262E+01
6	3.000E+02	1.438E-04	2.214E-03	-1.701E+02	-3.169E+02
7	3.500E+02	4.831E-02	7.436E-01	-1.248E+02	-2.960E+02
8	4.000E+02	3.226E-05	4.966E-04	2.003E+01	-1.757E+02
9	4.500E+02	4.164E-02	6.409E-01	7.066E+01	-1.495E+02
10	5.000E+02	7.300E-05	1.124E-03	8.104E+00	-2.366E+02
11	5.500E+02	3.445E-02	5.303E-01	-9.456E+01	-3.637E+02
12	6.000E+02	1.003E-04	1.545E-03	1.469E+02	-1.467E+02
13	6.500E+02	2.699E-02	4.154E-01	9.927E+01	-2.188E+02
14	7.000E+02	1.131E-04	1.741E-03	2.669E+01	-3.158E+02
15	7.500E+02	1.984E-02	3.054E-01	-6.804E+01	-4.350E+02
16	8.000E+02	6.860E-05	1.056E-03	-1.768E+02	-5.683E+02
17	8.500E+02	1.352E-02	2.081E-01	1.218E+02	-2.942E+02
18	9.000E+02	7.285E-05	1.121E-03	1.057E+02	-3.347E+02
19	9.500E+02	8.234E-03	1.268E-01	-5.324E+01	-5.181E+02

TOTAL HARMONIC DISTORTION = 1.746459E+02 PERCENT

•R = 5 Ω y L = 0.5 mHy

FOURIER COMPONENTS OF TRANSIENT RESPONSE I(R\_P)

DC COMPONENT = 2.360001E-05

HARMONIC NO	FREQUENCY (HZ)	FOURIER COMPONENT	NORMALIZED COMPONENT	PHASE (DEG)	NORMALIZED PHASE (DEG)
1	5.000E+01	6.532E-02	1.000E+00	3.265E+01	0.000E+00



2	1.000E+02	4.977E-05	7.620E-04	-4.033E+01	-1.056E+02
3	1.500E+02	5.393E-02	8.256E-01	-1.291E+02	-2.271E+02
4	2.000E+02	5.451E-05	8.346E-04	-1.754E+02	-3.060E+02
5	2.500E+02	4.740E-02	7.256E-01	8.583E+01	-7.744E+01
6	3.000E+02	5.718E-05	8.754E-04	4.696E+01	-1.490E+02
7	3.500E+02	3.886E-02	5.949E-01	-5.734E+01	-2.859E+02
8	4.000E+02	5.697E-05	8.722E-04	-8.874E+01	-3.500E+02
9	4.500E+02	2.966E-02	4.541E-01	1.630E+02	-1.309E+02
10	5.000E+02	5.878E-05	9.000E-04	1.402E+02	-1.863E+02
11	5.500E+02	2.142E-02	3.280E-01	2.969E+01	-3.295E+02
12	6.000E+02	6.870E-05	1.052E-03	8.716E+00	-3.831E+02
13	6.500E+02	1.589E-02	2.433E-01	-9.429E+01	-5.188E+02
14	7.000E+02	8.496E-05	1.301E-03	-1.302E+02	-5.874E+02
15	7.500E+02	1.394E-02	2.134E-01	1.470E+02	-3.428E+02
16	8.000E+02	9.935E-05	1.521E-03	8.333E+01	-4.391E+02
17	8.500E+02	1.402E-02	2.147E-01	2.320E+01	-5.319E+02
18	9.000E+02	1.032E-04	1.581E-03	-6.821E+01	-6.560E+02
19	9.500E+02	1.403E-02	2.147E-01	-1.068E+02	-7.272E+02

TOTAL HARMONIC DISTORTION = 1.439733E+02 PERCENT

•R = 5 Ω y L = 1 mHy

FOURIER COMPONENTS OF TRANSIENT RESPONSE I(R\_P)

DC COMPONENT = 1.286003E-05

HARMONIC NO	FREQUENCY (HZ)	FOURIER COMPONENT	NORMALIZED COMPONENT	PHASE (DEG)	NORMALIZED PHASE (DEG)
1	5.000E+01	6.512E-02	1.000E+00	3.254E+01	0.000E+00
2	1.000E+02	2.527E-05	3.880E-04	-5.055E+01	-1.156E+02
3	1.500E+02	5.382E-02	8.265E-01	-1.296E+02	-2.273E+02
4	2.000E+02	2.436E-05	3.741E-04	1.705E+02	4.040E+01
5	2.500E+02	4.738E-02	7.276E-01	8.504E+01	-7.765E+01
6	3.000E+02	2.459E-05	3.776E-04	3.414E+01	-1.611E+02
7	3.500E+02	3.899E-02	5.988E-01	-5.826E+01	-2.860E+02
8	4.000E+02	2.825E-05	4.338E-04	-1.023E+02	-3.626E+02
9	4.500E+02	3.003E-02	4.612E-01	1.622E+02	-1.307E+02
10	5.000E+02	3.705E-05	5.690E-04	1.160E+02	-2.094E+02
11	5.500E+02	2.214E-02	3.400E-01	2.894E+01	-3.290E+02
12	6.000E+02	5.128E-05	7.876E-04	-3.189E+01	-4.223E+02
13	6.500E+02	1.701E-02	2.613E-01	-9.576E+01	-5.187E+02
14	7.000E+02	7.026E-05	1.079E-03	1.765E+02	-2.790E+02
15	7.500E+02	1.527E-02	2.345E-01	1.434E+02	-3.446E+02
16	8.000E+02	9.164E-05	1.407E-03	2.390E+01	-4.967E+02
17	8.500E+02	1.538E-02	2.362E-01	1.817E+01	-5.350E+02
18	9.000E+02	1.111E-04	1.707E-03	-1.281E+02	-7.137E+02
19	9.500E+02	1.550E-02	2.381E-01	-1.121E+02	-7.303E+02

TOTAL HARMONIC DISTORTION = 1.461168E+02 PERCENT

•R = 5 Ω y L = 2 mHy

FOURIER COMPONENTS OF TRANSIENT RESPONSE I(R\_P)

DC COMPONENT = -9.641357E-07

HARMONIC NO	FREQUENCY (HZ)	FOURIER COMPONENT	NORMALIZED COMPONENT	PHASE (DEG)	NORMALIZED PHASE (DEG)
-------------	----------------	-------------------	----------------------	-------------	------------------------



1	5.000E+01	6.532E-02	1.000E+00	3.254E+01	0.000E+00
2	1.000E+02	5.216E-06	7.985E-05	5.472E+01	-1.036E+01
3	1.500E+02	5.437E-02	8.323E-01	-1.295E+02	-2.271E+02
4	2.000E+02	9.740E-06	1.491E-04	-1.053E+02	-2.354E+02
5	2.500E+02	4.849E-02	7.422E-01	8.509E+01	-7.761E+01
6	3.000E+02	1.376E-05	2.106E-04	9.970E+01	-9.554E+01
7	3.500E+02	4.061E-02	6.217E-01	-5.850E+01	-2.863E+02
8	4.000E+02	1.622E-05	2.483E-04	-5.622E+01	-3.165E+02
9	4.500E+02	3.188E-02	4.880E-01	1.614E+02	-1.315E+02
10	5.000E+02	1.621E-05	2.482E-04	1.458E+02	-1.796E+02
11	5.500E+02	2.392E-02	3.662E-01	2.793E+01	-3.300E+02
12	6.000E+02	1.311E-05	2.006E-04	-1.516E+01	-4.056E+02
13	6.500E+02	1.898E-02	2.905E-01	-9.586E+01	-5.189E+02
14	7.000E+02	7.604E-06	1.164E-04	1.729E+02	-2.827E+02
15	7.500E+02	1.863E-02	2.851E-01	1.439E+02	-3.442E+02
16	8.000E+02	4.397E-06	6.731E-05	-6.399E+01	-5.846E+02
17	8.500E+02	2.117E-02	3.241E-01	1.558E+01	-5.376E+02
18	9.000E+02	1.113E-05	1.703E-04	9.187E+01	-4.939E+02
19	9.500E+02	2.383E-02	3.649E-01	-1.212E+02	-7.395E+02

TOTAL HARMONIC DISTORTION = 1.551191E+02 PERCENT

•R = 5 Ω y L = 4 mHy

FOURIER COMPONENTS OF TRANSIENT RESPONSE I(R\_P)

DC COMPONENT = -7.151473E-06

HARMONIC NO	FREQUENCY (HZ)	FOURIER COMPONENT	NORMALIZED COMPONENT	PHASE (DEG)	NORMALIZED PHASE (DEG)
1	5.000E+01	6.512E-02	1.000E+00	3.148E+01	0.000E+00
2	1.000E+02	1.511E-05	2.320E-04	5.606E+01	-6.902E+00
3	1.500E+02	5.406E-02	8.301E-01	-1.328E+02	-2.272E+02
4	2.000E+02	1.435E-05	2.204E-04	-1.484E+02	-2.744E+02
5	2.500E+02	4.782E-02	7.344E-01	8.089E+01	-7.651E+01
6	3.000E+02	9.852E-06	1.513E-04	-4.818E+00	-1.937E+02
7	3.500E+02	4.064E-02	6.240E-01	-6.185E+01	-2.822E+02
8	4.000E+02	1.094E-05	1.680E-04	9.710E+01	-1.547E+02
9	4.500E+02	3.475E-02	5.336E-01	1.601E+02	-1.232E+02
10	5.000E+02	1.979E-05	3.039E-04	-1.209E+02	-4.357E+02
11	5.500E+02	3.197E-02	4.909E-01	2.511E+01	-3.212E+02
12	6.000E+02	2.507E-05	3.850E-04	3.448E+01	-3.433E+02
13	6.500E+02	3.205E-02	4.922E-01	-1.120E+02	-5.212E+02
14	7.000E+02	2.618E-05	4.021E-04	-1.776E+02	-6.184E+02
15	7.500E+02	3.284E-02	5.042E-01	1.059E+02	-3.663E+02
16	8.000E+02	2.818E-05	4.328E-04	-3.251E+01	-5.362E+02
17	8.500E+02	3.235E-02	4.968E-01	-4.068E+01	-5.759E+02
18	9.000E+02	2.732E-05	4.195E-04	1.286E+02	-4.381E+02
19	9.500E+02	2.979E-02	4.575E-01	1.699E+02	-4.282E+02

TOTAL HARMONIC DISTORTION = 1.759581E+02 PERCENT



•R = 5  $\Omega$  y L = 10 mHy

FOURIER COMPONENTS OF TRANSIENT RESPONSE I(R\_P)

DC COMPONENT = 4.048552E-05

HARMONIC NO	FREQUENCY (HZ)	FOURIER COMPONENT	NORMALIZED COMPONENT	PHASE (DEG)	NORMALIZED PHASE (DEG)
1	5.000E+01	6.551E-02	1.000E+00	2.835E+01	0.000E+00
2	1.000E+02	7.203E-05	1.100E-03	-7.238E+01	-1.291E+02
3	1.500E+02	5.747E-02	8.773E-01	-1.431E+02	-2.282E+02
4	2.000E+02	8.425E-05	1.286E-03	1.004E+02	-1.299E+01
5	2.500E+02	5.461E-02	8.336E-01	6.145E+01	-8.032E+01
6	3.000E+02	6.546E-05	9.993E-04	-1.008E+02	-2.710E+02
7	3.500E+02	5.050E-02	7.708E-01	-9.414E+01	-2.926E+02
8	4.000E+02	6.231E-05	9.512E-04	3.527E+01	-1.916E+02
9	4.500E+02	4.536E-02	6.924E-01	1.101E+02	-1.451E+02
10	5.000E+02	5.935E-05	9.059E-04	1.599E+02	-1.236E+02
11	5.500E+02	3.948E-02	6.026E-01	-4.580E+01	-3.577E+02
12	6.000E+02	2.447E-05	3.735E-04	-4.648E+01	-3.867E+02
13	6.500E+02	3.319E-02	5.066E-01	1.580E+02	-2.106E+02
14	7.000E+02	9.401E-06	1.435E-04	-1.286E+02	-5.256E+02
15	7.500E+02	2.678E-02	4.088E-01	1.388E+00	-4.239E+02
16	8.000E+02	1.182E-05	1.804E-04	1.508E+02	-3.029E+02
17	8.500E+02	2.062E-02	3.147E-01	-1.557E+02	-6.378E+02
18	9.000E+02	5.282E-05	8.063E-04	-3.343E+01	-5.438E+02
19	9.500E+02	1.501E-02	2.291E-01	4.626E+01	-4.925E+02

TOTAL HARMONIC DISTORTION = 1.864580E+02 PERCENT

•R = 5  $\Omega$  y L = 16 mHy

FOURIER COMPONENTS OF TRANSIENT RESPONSE I(R\_P)

DC COMPONENT = 5.866322E-05

HARMONIC NO	FREQUENCY (HZ)	FOURIER COMPONENT	NORMALIZED COMPONENT	PHASE (DEG)	NORMALIZED PHASE (DEG)
1	5.000E+01	6.497E-02	1.000E+00	2.452E+01	0.000E+00
2	1.000E+02	9.760E-05	1.502E-03	-1.201E+02	-1.692E+02
3	1.500E+02	5.768E-02	8.878E-01	-1.557E+02	-2.293E+02
4	2.000E+02	1.039E-05	1.600E-04	1.515E+02	5.341E+01
5	2.500E+02	5.373E-02	8.271E-01	4.023E+01	-8.239E+01
6	3.000E+02	4.731E-05	7.282E-04	-6.004E+01	-2.072E+02
7	3.500E+02	4.813E-02	7.408E-01	-1.240E+02	-2.956E+02
8	4.000E+02	3.635E-05	5.594E-04	1.174E+02	-7.884E+01
9	4.500E+02	4.141E-02	6.374E-01	7.170E+01	-1.490E+02
10	5.000E+02	7.690E-05	1.184E-03	2.115E+01	-2.241E+02
11	5.500E+02	3.422E-02	5.267E-01	-9.321E+01	-3.630E+02
12	6.000E+02	6.035E-05	9.289E-04	1.278E+02	-1.665E+02
13	6.500E+02	2.675E-02	4.117E-01	1.010E+02	-2.178E+02
14	7.000E+02	3.783E-05	5.822E-04	1.347E+02	-2.087E+02
15	7.500E+02	1.966E-02	3.026E-01	-6.630E+01	-4.342E+02
16	8.000E+02	7.788E-05	1.199E-03	-8.513E+01	-4.775E+02
17	8.500E+02	1.319E-02	2.029E-01	1.241E+02	-2.928E+02
18	9.000E+02	5.259E-05	8.094E-04	9.477E+01	-3.467E+02
19	9.500E+02	7.996E-03	1.231E-01	-5.005E+01	-5.160E+02

TOTAL HARMONIC DISTORTION = 1.738377E+02 PERCENT



2) Los valores de salida del Pspice de las simulaciones realizadas para 9 LFC al variar la inductancia L y dejando constante la resistencia R de la red son:

•R = 0.5  $\Omega$  y L = 0.5 mHy

FOURIER COMPONENTS OF TRANSIENT RESPONSE I(R\_P)

DC COMPONENT = 1.327220E-04

HARMONIC NO	FREQUENCY (HZ)	FOURIER COMPONENT	NORMALIZED COMPONENT	PHASE (DEG)	NORMALIZED PHASE (DEG)
1	5.000E+01	5.874E-01	1.000E+00	3.190E+01	0.000E+00
2	1.000E+02	2.276E-04	3.875E-04	-7.133E+01	-1.351E+02
3	1.500E+02	4.909E-01	8.359E-01	-1.313E+02	-2.270E+02
4	2.000E+02	1.106E-04	1.884E-04	1.008E+02	-2.681E+01
5	2.500E+02	4.431E-01	7.544E-01	8.312E+01	-7.639E+01
6	3.000E+02	1.745E-04	2.970E-04	-1.553E+02	-3.467E+02
7	3.500E+02	3.899E-01	6.639E-01	-5.947E+01	-2.828E+02
8	4.000E+02	4.632E-04	7.886E-04	3.515E+01	-2.201E+02
9	4.500E+02	3.481E-01	5.927E-01	1.610E+02	-1.261E+02
10	5.000E+02	8.897E-04	1.515E-03	-1.271E+02	-4.462E+02
11	5.500E+02	3.267E-01	5.563E-01	2.251E+01	-3.284E+02
12	6.000E+02	1.324E-03	2.253E-03	6.706E+01	-3.158E+02
13	6.500E+02	3.197E-01	5.443E-01	-1.181E+02	-5.328E+02
14	7.000E+02	1.570E-03	2.673E-03	-9.759E+01	-5.442E+02
15	7.500E+02	3.119E-01	5.311E-01	9.767E+01	-3.809E+02
16	8.000E+02	1.663E-03	2.831E-03	1.030E+02	-4.074E+02
17	8.500E+02	2.918E-01	4.968E-01	-4.960E+01	-5.919E+02
18	9.000E+02	1.780E-03	3.030E-03	-5.514E+01	-6.294E+02
19	9.500E+02	2.559E-01	4.356E-01	1.612E+02	-4.449E+02

TOTAL HARMONIC DISTORTION = 1.839606E+02 PERCENT

•R = 0.5  $\Omega$  y L = 1 mHy

FOURIER COMPONENTS OF TRANSIENT RESPONSE I(R\_P)

DC COMPONENT = -2.995451E-04

HARMONIC NO	FREQUENCY (HZ)	FOURIER COMPONENT	NORMALIZED COMPONENT	PHASE (DEG)	NORMALIZED PHASE (DEG)
1	5.000E+01	5.907E-01	1.000E+00	2.926E+01	0.000E+00
2	1.000E+02	2.673E-04	4.526E-04	9.825E+01	3.974E+01
3	1.500E+02	5.175E-01	8.762E-01	-1.403E+02	-2.281E+02
4	2.000E+02	5.686E-04	9.627E-04	-1.955E+01	-1.366E+02
5	2.500E+02	4.928E-01	8.343E-01	6.601E+01	-8.027E+01
6	3.000E+02	8.273E-04	1.401E-03	1.695E+02	-6.050E+00
7	3.500E+02	4.578E-01	7.750E-01	-8.762E+01	-2.924E+02
8	4.000E+02	9.561E-04	1.619E-03	1.096E+01	-2.231E+02
9	4.500E+02	4.144E-01	7.016E-01	1.186E+02	-1.447E+02
10	5.000E+02	1.240E-03	2.099E-03	-1.537E+02	-4.462E+02
11	5.500E+02	3.651E-01	6.181E-01	-3.528E+01	-3.571E+02
12	6.000E+02	1.162E-03	1.968E-03	4.001E+01	-3.111E+02
13	6.500E+02	3.116E-01	5.276E-01	1.705E+02	-2.098E+02
14	7.000E+02	9.700E-04	1.642E-03	-1.299E+02	-5.395E+02
15	7.500E+02	2.568E-01	4.347E-01	1.600E+01	-4.229E+02
16	8.000E+02	2.721E-04	4.606E-04	1.149E+02	-3.532E+02
17	8.500E+02	2.030E-01	3.437E-01	-1.391E+02	-6.364E+02



18	9.000E+02	9.048E-04	1.532E-03	-5.717E+00	-5.323E+02
19	9.500E+02	1.523E-01	2.578E-01	6.505E+01	-4.908E+02

TOTAL HARMONIC DISTORTION = 1.894929E+02 PERCENT

•R = 0.5  $\Omega$  y L = 2 mHy

FOURIER COMPONENTS OF TRANSIENT RESPONSE I(R\_P)

DC COMPONENT = -3.628534E-04

HARMONIC NO	FREQUENCY (HZ)	FOURIER COMPONENT	NORMALIZED COMPONENT	PHASE (DEG)	NORMALIZED PHASE (DEG)
1	5.000E+01	5.822E-01	1.000E+00	2.350E+01	0.000E+00
2	1.000E+02	1.428E-03	2.452E-03	1.393E+02	9.230E+01
3	1.500E+02	5.184E-01	8.904E-01	-1.593E+02	-2.298E+02
4	2.000E+02	1.323E-03	2.273E-03	-5.166E+01	-1.457E+02
5	2.500E+02	4.807E-01	8.257E-01	3.434E+01	-8.314E+01
6	3.000E+02	4.451E-04	7.645E-04	1.444E+02	3.390E+00
7	3.500E+02	4.286E-01	7.362E-01	-1.321E+02	-2.966E+02
8	4.000E+02	1.249E-03	2.146E-03	1.180E+02	-7.000E+01
9	4.500E+02	3.668E-01	6.300E-01	6.097E+01	-1.505E+02
10	5.000E+02	2.325E-03	3.993E-03	-7.938E+01	-3.144E+02
11	5.500E+02	2.982E-01	5.122E-01	-1.066E+02	-3.651E+02
12	6.000E+02	2.294E-03	3.940E-03	8.670E+01	-1.953E+02
13	6.500E+02	2.292E-01	3.937E-01	8.505E+01	-2.204E+02
14	7.000E+02	1.724E-03	2.961E-03	-1.064E+02	-4.354E+02
15	7.500E+02	1.643E-01	2.822E-01	-8.530E+01	-4.378E+02
16	8.000E+02	6.866E-04	1.179E-03	4.106E+01	-3.349E+02
17	8.500E+02	1.069E-01	1.835E-01	1.016E+02	-2.979E+02
18	9.000E+02	3.202E-04	5.500E-04	1.376E+02	-2.853E+02
19	9.500E+02	6.183E-02	1.062E-01	-7.949E+01	-5.259E+02

TOTAL HARMONIC DISTORTION = 1.719152E+02 PERCENT

•R = 0.5  $\Omega$  y L = 4 mHy

FOURIER COMPONENTS OF TRANSIENT RESPONSE I(R\_P)

DC COMPONENT = 3.399723E-03

HARMONIC NO	FREQUENCY (HZ)	FOURIER COMPONENT	NORMALIZED COMPONENT	PHASE (DEG)	NORMALIZED PHASE (DEG)
1	5.000E+01	5.739E-01	1.000E+00	1.867E+01	0.000E+00
2	1.000E+02	8.333E-03	1.452E-02	-5.733E+01	-9.468E+01
3	1.500E+02	5.122E-01	8.924E-01	-1.748E+02	-2.308E+02
4	2.000E+02	9.136E-03	1.592E-02	1.541E+02	7.944E+01
5	2.500E+02	4.531E-01	7.894E-01	8.122E+00	-8.523E+01
6	3.000E+02	1.079E-02	1.880E-02	-1.389E+01	-1.259E+02
7	3.500E+02	3.766E-01	6.562E-01	-1.697E+02	-3.004E+02
8	4.000E+02	1.012E-02	1.764E-02	-1.740E+02	-3.233E+02
9	4.500E+02	2.893E-01	5.040E-01	1.077E+01	-1.573E+02
10	5.000E+02	8.715E-03	1.518E-02	1.598E+01	-1.707E+02
11	5.500E+02	2.047E-01	3.567E-01	-1.706E+02	-3.759E+02
12	6.000E+02	7.148E-03	1.246E-02	-1.607E+02	-3.848E+02
13	6.500E+02	1.317E-01	2.295E-01	3.127E+00	-2.396E+02
14	7.000E+02	2.587E-03	4.507E-03	1.176E+01	-2.496E+02
15	7.500E+02	7.601E-02	1.324E-01	1.681E+02	-1.120E+02



16	8.000E+02	6.267E-04	1.092E-03	1.033E+02	-1.954E+02
17	8.500E+02	4.418E-02	7.699E-02	-4.693E+01	-3.643E+02
18	9.000E+02	2.213E-03	3.856E-03	-1.044E+02	-4.405E+02
19	9.500E+02	3.817E-02	6.651E-02	9.126E+01	-2.635E+02

TOTAL HARMONIC DISTORTION = 1.521013E+02 PERCENT

•R = 0.5  $\Omega$  y L = 10 mHy

FOURIER COMPONENTS OF TRANSIENT RESPONSE I(R\_P)

DC COMPONENT = 2.107353E-02

HARMONIC NO	FREQUENCY (HZ)	FOURIER COMPONENT	NORMALIZED COMPONENT	PHASE (DEG)	NORMALIZED PHASE (DEG)
1	5.000E+01	5.523E-01	1.000E+00	1.319E+01	0.000E+00
2	1.000E+02	4.157E-02	7.527E-02	-8.070E+01	-1.071E+02
3	1.500E+02	4.800E-01	8.690E-01	1.663E+02	1.267E+02
4	2.000E+02	3.388E-02	6.135E-02	1.080E+02	5.528E+01
5	2.500E+02	3.850E-01	6.971E-01	-2.568E+01	-9.162E+01
6	3.000E+02	2.627E-02	4.756E-02	-6.844E+01	-1.476E+02
7	3.500E+02	2.796E-01	5.063E-01	1.392E+02	4.689E+01
8	4.000E+02	1.489E-02	2.696E-02	1.174E+02	1.192E+01
9	4.500E+02	1.892E-01	3.426E-01	-6.015E+01	-1.788E+02
10	5.000E+02	7.057E-03	1.278E-02	-7.988E+01	-2.118E+02
11	5.500E+02	1.056E-01	1.913E-01	9.620E+01	-4.887E+01
12	6.000E+02	3.680E-03	6.662E-03	-6.851E+00	-1.651E+02
13	6.500E+02	4.489E-02	8.127E-02	-1.342E+02	-3.057E+02
14	7.000E+02	4.251E-03	7.696E-03	1.586E+02	-2.604E+01
15	7.500E+02	5.771E-02	1.045E-01	-4.231E+01	-2.401E+02
16	8.000E+02	6.876E-03	1.245E-02	-5.197E+01	-2.630E+02
17	8.500E+02	8.179E-02	1.481E-01	1.124E+02	-1.118E+02
18	9.000E+02	2.255E-03	4.083E-03	2.392E+01	-2.135E+02
19	9.500E+02	7.214E-02	1.306E-01	-8.259E+01	-3.332E+02

TOTAL HARMONIC DISTORTION = 1.311747E+02 PERCENT

•R = 0.5  $\Omega$  y L = 16 mHy

FOURIER COMPONENTS OF TRANSIENT RESPONSE I(R\_P)

DC COMPONENT = -1.650089E-02

HARMONIC NO	FREQUENCY (HZ)	FOURIER COMPONENT	NORMALIZED COMPONENT	PHASE (DEG)	NORMALIZED PHASE (DEG)
1	5.000E+01	5.310E-01	1.000E+00	1.334E+01	0.000E+00
2	1.000E+02	3.202E-02	6.029E-02	8.195E+01	5.527E+01
3	1.500E+02	4.314E-01	8.124E-01	1.630E+02	1.230E+02
4	2.000E+02	2.382E-02	4.486E-02	-1.069E+02	-1.603E+02
5	2.500E+02	3.017E-01	5.681E-01	-3.494E+01	-1.016E+02
6	3.000E+02	1.570E-02	2.956E-02	6.582E+01	-1.421E+01
7	3.500E+02	1.970E-01	3.710E-01	1.155E+02	2.210E+01
8	4.000E+02	6.040E-03	1.137E-02	-1.325E+02	-2.392E+02
9	4.500E+02	1.352E-01	2.546E-01	-9.945E+01	-2.195E+02
10	5.000E+02	1.385E-03	2.607E-03	1.037E+02	-2.972E+01
11	5.500E+02	7.967E-02	1.500E-01	4.921E+01	-9.751E+01
12	6.000E+02	5.934E-03	1.117E-02	4.430E+01	-1.158E+02
13	6.500E+02	3.595E-02	6.769E-02	1.273E+02	-4.611E+01



14	7.000E+02	4.770E-03	8.983E-03	-1.656E+02	-3.524E+02
15	7.500E+02	1.000E-01	1.884E-01	-1.089E+02	-3.090E+02
16	8.000E+02	5.902E-03	1.111E-02	5.213E+01	-1.613E+02
17	8.500E+02	1.578E-01	2.972E-01	5.977E+01	-1.670E+02
18	9.000E+02	2.449E-02	4.612E-02	1.563E+01	-2.245E+02
19	9.500E+02	2.956E-01	5.566E-01	6.715E+01	-1.863E+02

TOTAL HARMONIC DISTORTION = 1.286469E+02 PERCENT

•R = 1  $\Omega$  y L = 0.5 mHy

FOURIER COMPONENTS OF TRANSIENT RESPONSE I(R\_P)

DC COMPONENT = 1.240360E-04

HARMONIC NO	FREQUENCY (HZ)	FOURIER COMPONENT	NORMALIZED COMPONENT	PHASE (DEG)	NORMALIZED PHASE (DEG)
1	5.000E+01	5.845E-01	1.000E+00	3.144E+01	0.000E+00
2	1.000E+02	3.326E-04	5.690E-04	-2.622E+01	-8.910E+01
3	1.500E+02	4.879E-01	8.348E-01	-1.331E+02	-2.275E+02
4	2.000E+02	4.459E-04	7.628E-04	-1.709E+02	-2.967E+02
5	2.500E+02	4.367E-01	7.472E-01	7.993E+01	-7.728E+01
6	3.000E+02	4.504E-04	7.707E-04	3.045E+01	-1.582E+02
7	3.500E+02	3.767E-01	6.446E-01	-6.421E+01	-2.843E+02
8	4.000E+02	3.391E-04	5.801E-04	-1.415E+02	-3.930E+02
9	4.500E+02	3.238E-01	5.539E-01	1.551E+02	-1.279E+02
10	5.000E+02	2.612E-04	4.469E-04	1.051E+01	-3.039E+02
11	5.500E+02	2.897E-01	4.957E-01	1.685E+01	-3.290E+02
12	6.000E+02	4.343E-04	7.430E-04	1.675E+02	-2.098E+02
13	6.500E+02	2.737E-01	4.683E-01	-1.223E+02	-5.310E+02
14	7.000E+02	6.709E-04	1.148E-03	-1.327E+00	-4.415E+02
15	7.500E+02	2.629E-01	4.498E-01	9.518E+01	-3.765E+02
16	8.000E+02	8.429E-04	1.442E-03	-1.587E+02	-6.618E+02
17	8.500E+02	2.446E-01	4.185E-01	-5.093E+01	-5.855E+02
18	9.000E+02	9.025E-04	1.544E-03	5.104E+01	-5.149E+02
19	9.500E+02	2.131E-01	3.646E-01	1.604E+02	-4.370E+02

TOTAL HARMONIC DISTORTION = 1.718416E+02 PERCENT

•R = 1  $\Omega$  y L = 1 mHy

FOURIER COMPONENTS OF TRANSIENT RESPONSE I(R\_P)

DC COMPONENT = 2.874710E-05

HARMONIC NO	FREQUENCY (HZ)	FOURIER COMPONENT	NORMALIZED COMPONENT	PHASE (DEG)	NORMALIZED PHASE (DEG)
1	5.000E+01	5.884E-01	1.000E+00	2.975E+01	0.000E+00
2	1.000E+02	1.234E-04	2.097E-04	4.439E+01	-1.512E+01
3	1.500E+02	5.124E-01	8.709E-01	-1.388E+02	-2.281E+02
4	2.000E+02	3.713E-04	6.310E-04	-9.717E+01	-2.162E+02
5	2.500E+02	4.863E-01	8.265E-01	6.859E+01	-8.018E+01
6	3.000E+02	7.676E-04	1.305E-03	9.513E+01	-8.340E+01
7	3.500E+02	4.490E-01	7.631E-01	-8.406E+01	-2.923E+02
8	4.000E+02	8.866E-04	1.507E-03	-7.665E+01	-3.147E+02
9	4.500E+02	4.025E-01	6.841E-01	1.232E+02	-1.446E+02
10	5.000E+02	6.966E-04	1.184E-03	1.216E+02	-1.759E+02
11	5.500E+02	3.493E-01	5.936E-01	-2.965E+01	-3.570E+02





12	6.000E+02	5.526E-04	9.392E-04	-7.061E+00	-3.641E+02
13	6.500E+02	2.925E-01	4.971E-01	1.774E+02	-2.094E+02
14	7.000E+02	7.760E-04	1.319E-03	-1.472E+02	-5.637E+02
15	7.500E+02	2.352E-01	3.997E-01	2.428E+01	-4.220E+02
16	8.000E+02	9.031E-04	1.535E-03	4.847E+01	-4.276E+02
17	8.500E+02	1.800E-01	3.060E-01	-1.291E+02	-6.349E+02
18	9.000E+02	6.154E-04	1.046E-03	-1.195E+02	-6.551E+02
19	9.500E+02	1.294E-01	2.200E-01	7.700E+01	-4.883E+02

TOTAL HARMONIC DISTORTION = 1.842044E+02 PERCENT

•R = 1 Ω y L = 2 mHy

FOURIER COMPONENTS OF TRANSIENT RESPONSE I(R\_P)

DC COMPONENT = -5.768058E-04

HARMONIC NO	FREQUENCY (HZ)	FOURIER COMPONENT	NORMALIZED COMPONENT	PHASE (DEG)	NORMALIZED PHASE (DEG)
1	5.000E+01	5.824E-01	1.000E+00	2.401E+01	0.000E+00
2	1.000E+02	1.354E-03	2.326E-03	1.122E+02	6.415E+01
3	1.500E+02	5.160E-01	8.861E-01	-1.577E+02	-2.297E+02
4	2.000E+02	1.186E-03	2.037E-03	-7.587E+01	-1.719E+02
5	2.500E+02	4.767E-01	8.186E-01	3.710E+01	-8.293E+01
6	3.000E+02	1.114E-03	1.914E-03	1.416E+02	-2.421E+00
7	3.500E+02	4.218E-01	7.243E-01	-1.283E+02	-2.963E+02
8	4.000E+02	1.068E-03	1.834E-03	-2.861E+01	-2.207E+02
9	4.500E+02	3.571E-01	6.132E-01	6.604E+01	-1.500E+02
10	5.000E+02	9.770E-04	1.678E-03	1.629E+02	-7.712E+01
11	5.500E+02	2.869E-01	4.926E-01	-1.002E+02	-3.643E+02
12	6.000E+02	8.153E-04	1.400E-03	4.519E+01	-2.429E+02
13	6.500E+02	2.166E-01	3.720E-01	9.263E+01	-2.194E+02
14	7.000E+02	1.122E-03	1.927E-03	-1.245E+02	-4.606E+02
15	7.500E+02	1.512E-01	2.597E-01	-7.618E+01	-4.363E+02
16	8.000E+02	7.405E-04	1.272E-03	6.063E+01	-3.235E+02
17	8.500E+02	9.423E-02	1.618E-01	1.115E+02	-2.966E+02
18	9.000E+02	4.073E-04	6.995E-04	-1.143E+02	-5.464E+02
19	9.500E+02	5.039E-02	8.652E-02	-6.898E+01	-5.251E+02

TOTAL HARMONIC DISTORTION = 1.684599E+02 PERCENT

•R = 1 Ω y L = 4 mHy

FOURIER COMPONENTS OF TRANSIENT RESPONSE I(R\_P)

DC COMPONENT = 2.093960E-03

HARMONIC NO	FREQUENCY (HZ)	FOURIER COMPONENT	NORMALIZED COMPONENT	PHASE (DEG)	NORMALIZED PHASE (DEG)
1	5.000E+01	5.714E-01	1.000E+00	1.905E+01	0.000E+00
2	1.000E+02	6.058E-03	1.060E-02	-5.913E+01	-9.724E+01
3	1.500E+02	5.099E-01	8.924E-01	-1.739E+02	-2.311E+02
4	2.000E+02	7.063E-03	1.236E-02	1.530E+02	7.683E+01
5	2.500E+02	4.515E-01	7.902E-01	9.680E+00	-8.558E+01
6	3.000E+02	7.215E-03	1.263E-02	-1.851E+01	-1.328E+02
7	3.500E+02	3.739E-01	6.544E-01	-1.674E+02	-3.008E+02
8	4.000E+02	6.617E-03	1.158E-02	-1.732E+02	-3.256E+02
9	4.500E+02	2.858E-01	5.002E-01	1.401E+01	-1.574E+02



10	5.000E+02	5.840E-03	1.022E-02	2.620E+00	-1.879E+02
11	5.500E+02	1.999E-01	3.499E-01	-1.663E+02	-3.759E+02
12	6.000E+02	4.342E-03	7.599E-03	-1.522E+02	-3.808E+02
13	6.500E+02	1.253E-01	2.194E-01	8.402E+00	-2.393E+02
14	7.000E+02	2.011E-03	3.520E-03	-6.160E+00	-2.729E+02
15	7.500E+02	6.887E-02	1.205E-01	1.740E+02	-1.118E+02
16	8.000E+02	2.578E-04	4.513E-04	1.453E+02	-1.596E+02
17	8.500E+02	3.996E-02	6.994E-02	-4.522E+01	-3.691E+02
18	9.000E+02	2.136E-03	3.738E-03	-1.051E+02	-4.480E+02
19	9.500E+02	3.818E-02	6.682E-02	9.170E+01	-2.703E+02

TOTAL HARMONIC DISTORTION = 1.514745E+02 PERCENT

•R = 1 Ω y L = 10 mHy

FOURIER COMPONENTS OF TRANSIENT RESPONSE I(R\_P)

DC COMPONENT = 3.400952E-02

HARMONIC NO	FREQUENCY (HZ)	FOURIER COMPONENT	NORMALIZED COMPONENT	PHASE (DEG)	NORMALIZED PHASE (DEG)
1	5.000E+01	5.579E-01	1.000E+00	1.333E+01	0.000E+00
2	1.000E+02	6.483E-02	1.162E-01	-8.838E+01	-1.150E+02
3	1.500E+02	4.879E-01	8.744E-01	1.673E+02	1.274E+02
4	2.000E+02	5.258E-02	9.423E-02	9.154E+01	3.824E+01
5	2.500E+02	3.938E-01	7.058E-01	-2.319E+01	-8.982E+01
6	3.000E+02	3.769E-02	6.755E-02	-8.821E+01	-1.682E+02
7	3.500E+02	2.835E-01	5.081E-01	1.437E+02	5.046E+01
8	4.000E+02	2.053E-02	3.680E-02	8.584E+01	-2.076E+01
9	4.500E+02	1.823E-01	3.268E-01	-5.394E+01	-1.739E+02
10	5.000E+02	8.317E-03	1.491E-02	-1.095E+02	-2.428E+02
11	5.500E+02	9.619E-02	1.724E-01	9.891E+01	-4.767E+01
12	6.000E+02	4.885E-03	8.756E-03	-1.696E+01	-1.769E+02
13	6.500E+02	4.473E-02	8.018E-02	-1.401E+02	-3.134E+02
14	7.000E+02	3.409E-03	6.110E-03	1.148E+02	-7.175E+01
15	7.500E+02	6.046E-02	1.084E-01	-3.148E+01	-2.314E+02
16	8.000E+02	4.006E-03	7.180E-03	-6.038E+01	-2.736E+02
17	8.500E+02	7.330E-02	1.314E-01	1.202E+02	-1.063E+02
18	9.000E+02	4.084E-03	7.320E-03	-1.452E+01	-2.544E+02
19	9.500E+02	6.468E-02	1.159E-01	-7.976E+01	-3.329E+02

TOTAL HARMONIC DISTORTION = 1.317206E+02 PERCENT

•R = 1 Ω y L = 16 mHy

FOURIER COMPONENTS OF TRANSIENT RESPONSE I(R\_P)

DC COMPONENT = -4.343534E-02

HARMONIC NO	FREQUENCY (HZ)	FOURIER COMPONENT	NORMALIZED COMPONENT	PHASE (DEG)	NORMALIZED PHASE (DEG)
1	5.000E+01	5.238E-01	1.000E+00	1.368E+01	0.000E+00
2	1.000E+02	8.431E-02	1.609E-01	8.431E+01	5.694E+01
3	1.500E+02	4.275E-01	8.161E-01	1.627E+02	1.216E+02
4	2.000E+02	6.057E-02	1.156E-01	-1.020E+02	-1.568E+02
5	2.500E+02	3.006E-01	5.738E-01	-3.431E+01	-1.027E+02
6	3.000E+02	4.189E-02	7.997E-02	7.211E+01	-1.000E+01



7	3.500E+02	1.970E-01	3.760E-01	1.164E+02	2.064E+01
8	4.000E+02	1.313E-02	2.507E-02	-1.179E+02	-2.274E+02
9	4.500E+02	1.289E-01	2.461E-01	-9.813E+01	-2.213E+02
10	5.000E+02	2.608E-03	4.980E-03	1.107E+02	-2.610E+01
11	5.500E+02	8.002E-02	1.528E-01	4.823E+01	-1.023E+02
12	6.000E+02	1.456E-02	2.780E-02	5.389E+01	-1.103E+02
13	6.500E+02	3.765E-02	7.187E-02	1.278E+02	-5.014E+01
14	7.000E+02	8.414E-03	1.606E-02	-1.613E+02	-3.529E+02
15	7.500E+02	8.986E-02	1.716E-01	-1.083E+02	-3.136E+02
16	8.000E+02	1.228E-02	2.343E-02	6.483E+01	-1.541E+02
17	8.500E+02	1.603E-01	3.060E-01	5.637E+01	-1.763E+02
18	9.000E+02	4.582E-02	8.748E-02	2.709E+01	-2.192E+02
19	9.500E+02	2.776E-01	5.299E-01	6.501E+01	-1.950E+02

TOTAL HARMONIC DISTORTION = 1.298125E+02 PERCENT

•R = 1.5 Ω y L = 0.5 mHy

FOURIER COMPONENTS OF TRANSIENT RESPONSE I(R\_P)

DC COMPONENT = 1.390765E-04

HARMONIC NO	FREQUENCY (HZ)	FOURIER COMPONENT	NORMALIZED COMPONENT	PHASE (DEG)	NORMALIZED PHASE (DEG)
1	5.000E+01	5.838E-01	1.000E+00	3.129E+01	0.000E+00
2	1.000E+02	2.205E-04	3.776E-04	-9.469E+01	-1.573E+02
3	1.500E+02	4.898E-01	8.390E-01	-1.339E+02	-2.277E+02
4	2.000E+02	8.203E-05	1.405E-04	7.776E+01	-4.740E+01
5	2.500E+02	4.408E-01	7.550E-01	7.815E+01	-7.831E+01
6	3.000E+02	6.894E-05	1.181E-04	9.827E+01	-8.948E+01
7	3.500E+02	3.794E-01	6.499E-01	-6.786E+01	-2.869E+02
8	4.000E+02	1.721E-04	2.949E-04	-8.359E+01	-3.339E+02
9	4.500E+02	3.177E-01	5.441E-01	1.490E+02	-1.326E+02
10	5.000E+02	2.073E-04	3.550E-04	1.039E+02	-2.090E+02
11	5.500E+02	2.666E-01	4.567E-01	8.860E+00	-3.353E+02
12	6.000E+02	1.740E-04	2.980E-04	-5.965E+01	-4.351E+02
13	6.500E+02	2.314E-01	3.964E-01	-1.296E+02	-5.363E+02
14	7.000E+02	1.240E-04	2.124E-04	1.652E+02	-2.729E+02
15	7.500E+02	2.081E-01	3.565E-01	9.111E+01	-3.782E+02
16	8.000E+02	1.713E-04	2.933E-04	3.938E+01	-4.613E+02
17	8.500E+02	1.873E-01	3.208E-01	-5.084E+01	-5.828E+02
18	9.000E+02	2.391E-04	4.096E-04	-1.167E+02	-6.800E+02
19	9.500E+02	1.617E-01	2.770E-01	1.647E+02	-4.299E+02

TOTAL HARMONIC DISTORTION = 1.632411E+02 PERCENT

•R = 1.5 Ω y L = 1 mHy

FOURIER COMPONENTS OF TRANSIENT RESPONSE I(R\_P)

DC COMPONENT = -2.987612E-04

HARMONIC NO	FREQUENCY (HZ)	FOURIER COMPONENT	NORMALIZED COMPONENT	PHASE (DEG)	NORMALIZED PHASE (DEG)
1	5.000E+01	5.862E-01	1.000E+00	3.001E+01	0.000E+00
2	1.000E+02	6.183E-04	1.055E-03	1.044E+02	4.436E+01
3	1.500E+02	5.078E-01	8.663E-01	-1.382E+02	-2.282E+02
4	2.000E+02	5.920E-04	1.010E-03	-6.817E+01	-1.882E+02



5	2.500E+02	4.788E-01	8.168E-01	6.973E+01	-8.033E+01
6	3.000E+02	4.342E-04	7.407E-04	1.276E+02	-5.243E+01
7	3.500E+02	4.376E-01	7.466E-01	-8.239E+01	-2.925E+02
8	4.000E+02	2.990E-04	5.101E-04	-1.917E+01	-2.593E+02
9	4.500E+02	3.870E-01	6.602E-01	1.255E+02	-1.446E+02
10	5.000E+02	3.114E-04	5.313E-04	-1.419E+02	-4.420E+02
11	5.500E+02	3.298E-01	5.627E-01	-2.664E+01	-3.568E+02
12	6.000E+02	4.220E-04	7.199E-04	5.801E+01	-3.021E+02
13	6.500E+02	2.698E-01	4.602E-01	-1.787E+02	-5.688E+02
14	7.000E+02	3.682E-04	6.282E-04	-1.133E+02	-5.335E+02
15	7.500E+02	2.104E-01	3.589E-01	2.933E+01	-4.208E+02
16	8.000E+02	2.387E-04	4.072E-04	6.585E+01	-4.143E+02
17	8.500E+02	1.546E-01	2.637E-01	-1.226E+02	-6.328E+02
18	9.000E+02	1.243E-04	2.120E-04	-1.698E+02	-7.100E+02
19	9.500E+02	1.046E-01	1.785E-01	8.576E+01	-4.845E+02

TOTAL HARMONIC DISTORTION = 1.780387E+02 PERCENT

•R = 1.5  $\Omega$  y L = 2 mHy

FOURIER COMPONENTS OF TRANSIENT RESPONSE I(R\_P)

DC COMPONENT = -2.300232E-05

HARMONIC NO	FREQUENCY (HZ)	FOURIER COMPONENT	NORMALIZED COMPONENT	PHASE (DEG)	NORMALIZED PHASE (DEG)
1	5.000E+01	5.808E-01	1.000E+00	2.447E+01	0.000E+00
2	1.000E+02	1.457E-04	2.508E-04	6.393E+01	1.499E+01
3	1.500E+02	5.121E-01	8.818E-01	-1.563E+02	-2.297E+02
4	2.000E+02	4.150E-04	7.146E-04	-1.264E+02	-2.243E+02
5	2.500E+02	4.715E-01	8.118E-01	3.939E+01	-8.296E+01
6	3.000E+02	5.900E-04	1.016E-03	5.315E+01	-9.367E+01
7	3.500E+02	4.151E-01	7.147E-01	-1.251E+02	-2.964E+02
8	4.000E+02	7.841E-04	1.350E-03	-1.521E+02	-3.478E+02
9	4.500E+02	3.482E-01	5.996E-01	7.013E+01	-1.501E+02
10	5.000E+02	4.117E-04	7.090E-04	1.508E+01	-2.296E+02
11	5.500E+02	2.762E-01	4.755E-01	-9.515E+01	-3.643E+02
12	6.000E+02	2.986E-04	5.141E-04	1.263E+02	-1.674E+02
13	6.500E+02	2.043E-01	3.518E-01	9.870E+01	-2.194E+02
14	7.000E+02	2.429E-04	4.182E-04	-1.529E+02	-4.955E+02
15	7.500E+02	1.383E-01	2.381E-01	-6.889E+01	-4.359E+02
16	8.000E+02	2.827E-04	4.868E-04	5.954E+01	-3.320E+02
17	8.500E+02	8.221E-02	1.416E-01	1.198E+02	-2.962E+02
18	9.000E+02	1.872E-04	3.223E-04	-1.484E+02	-5.888E+02
19	9.500E+02	3.941E-02	6.786E-02	-6.223E+01	-5.272E+02

TOTAL HARMONIC DISTORTION = 1.654766E+02 PERCENT

•R = 1.5  $\Omega$  y L = 4 mHy

FOURIER COMPONENTS OF TRANSIENT RESPONSE I(R\_P)

DC COMPONENT = 1.538687E-03

HARMONIC NO	FREQUENCY (HZ)	FOURIER COMPONENT	NORMALIZED COMPONENT	PHASE (DEG)	NORMALIZED PHASE (DEG)
1	5.000E+01	5.697E-01	1.000E+00	1.937E+01	0.000E+00
2	1.000E+02	3.778E-03	6.632E-03	-5.928E+01	-9.801E+01



3	1.500E+02	5.065E-01	8.890E-01	-1.730E+02	-2.311E+02
4	2.000E+02	4.029E-03	7.072E-03	1.555E+02	7.808E+01
5	2.500E+02	4.477E-01	7.858E-01	1.120E+01	-8.564E+01
6	3.000E+02	4.490E-03	7.880E-03	-2.029E+01	-1.365E+02
7	3.500E+02	3.691E-01	6.478E-01	-1.651E+02	-3.006E+02
8	4.000E+02	3.870E-03	6.792E-03	-1.717E+02	-3.266E+02
9	4.500E+02	2.810E-01	4.933E-01	1.729E+01	-1.570E+02
10	5.000E+02	2.782E-03	4.883E-03	1.955E+01	-1.741E+02
11	5.500E+02	1.954E-01	3.429E-01	-1.622E+02	-3.752E+02
12	6.000E+02	2.916E-03	5.119E-03	-1.434E+02	-3.758E+02
13	6.500E+02	1.183E-01	2.077E-01	1.318E+01	-2.386E+02
14	7.000E+02	8.076E-04	1.418E-03	2.676E+01	-2.444E+02
15	7.500E+02	6.197E-02	1.088E-01	1.776E+02	-1.129E+02
16	8.000E+02	1.120E-03	1.965E-03	-1.372E+02	-4.471E+02
17	8.500E+02	3.542E-02	6.218E-02	-4.816E+01	-3.774E+02
18	9.000E+02	1.326E-03	2.327E-03	-1.024E+02	-4.510E+02
19	9.500E+02	3.669E-02	6.440E-02	9.057E+01	-2.774E+02

TOTAL HARMONIC DISTORTION = 1.500524E+02 PERCENT

•R = 1.5 Ω y R = 10 mHy

FOURIER COMPONENTS OF TRANSIENT RESPONSE I(R\_P)

DC COMPONENT = 4.161635E-02

HARMONIC NO	FREQUENCY (HZ)	FOURIER COMPONENT	NORMALIZED COMPONENT	PHASE (DEG)	NORMALIZED PHASE (DEG)
1	5.000E+01	5.618E-01	1.000E+00	1.333E+01	0.000E+00
2	1.000E+02	7.914E-02	1.409E-01	-9.021E+01	-1.169E+02
3	1.500E+02	4.930E-01	8.776E-01	1.680E+02	1.280E+02
4	2.000E+02	6.426E-02	1.144E-01	8.822E+01	3.488E+01
5	2.500E+02	3.990E-01	7.102E-01	-2.167E+01	-8.834E+01
6	3.000E+02	4.596E-02	8.180E-02	-9.302E+01	-1.730E+02
7	3.500E+02	2.855E-01	5.083E-01	1.465E+02	5.319E+01
8	4.000E+02	2.566E-02	4.568E-02	8.053E+01	-2.614E+01
9	4.500E+02	1.790E-01	3.187E-01	-5.001E+01	-1.700E+02
10	5.000E+02	1.171E-02	2.085E-02	-1.072E+02	-2.406E+02
11	5.500E+02	8.832E-02	1.572E-01	1.020E+02	-4.464E+01
12	6.000E+02	3.778E-03	6.725E-03	-1.613E+01	-1.761E+02
13	6.500E+02	4.533E-02	8.069E-02	-1.419E+02	-3.153E+02
14	7.000E+02	3.856E-03	6.864E-03	8.738E+01	-9.930E+01
15	7.500E+02	6.281E-02	1.118E-01	-2.581E+01	-2.258E+02
16	8.000E+02	5.918E-03	1.053E-02	-8.640E+01	-2.997E+02
17	8.500E+02	6.939E-02	1.235E-01	1.251E+02	-1.015E+02
18	9.000E+02	4.723E-03	8.407E-03	-1.264E+01	-2.527E+02
19	9.500E+02	5.763E-02	1.026E-01	-7.833E+01	-3.317E+02

TOTAL HARMONIC DISTORTION = 1.321528E+02 PERCENT

•R = 1.5 Ω y L = 16 mHy

FOURIER COMPONENTS OF TRANSIENT RESPONSE I(R\_P)

DC COMPONENT = -6.232656E-02

HARMONIC NO	FREQUENCY (HZ)	FOURIER COMPONENT	NORMALIZED COMPONENT	PHASE (DEG)	NORMALIZED PHASE (DEG)
-------------	----------------	-------------------	----------------------	-------------	------------------------



1	5.000E+01	5.149E-01	1.000E+00	1.356E+01	0.000E+00
2	1.000E+02	1.178E-01	2.287E-01	8.892E+01	6.180E+01
3	1.500E+02	4.246E-01	8.246E-01	1.617E+02	1.210E+02
4	2.000E+02	8.707E-02	1.691E-01	-9.263E+01	-1.469E+02
5	2.500E+02	3.039E-01	5.903E-01	-3.562E+01	-1.034E+02
6	3.000E+02	5.518E-02	1.072E-01	8.603E+01	4.648E+00
7	3.500E+02	2.001E-01	3.887E-01	1.171E+02	2.212E+01
8	4.000E+02	1.854E-02	3.600E-02	-9.684E+01	-2.053E+02
9	4.500E+02	1.276E-01	2.478E-01	-9.706E+01	-2.191E+02
10	5.000E+02	1.239E-03	2.406E-03	-1.556E+02	-2.912E+02
11	5.500E+02	7.417E-02	1.441E-01	4.665E+01	-1.025E+02
12	6.000E+02	1.565E-02	3.040E-02	7.388E+01	-8.888E+01
13	6.500E+02	4.069E-02	7.903E-02	1.278E+02	-4.853E+01
14	7.000E+02	8.875E-03	1.724E-02	-1.205E+02	-3.104E+02
15	7.500E+02	9.035E-02	1.755E-01	-1.080E+02	-3.115E+02
16	8.000E+02	9.393E-03	1.824E-02	6.389E+01	-1.531E+02
17	8.500E+02	1.463E-01	2.842E-01	5.442E+01	-1.762E+02
18	9.000E+02	4.006E-02	7.781E-02	4.967E+01	-1.945E+02
19	9.500E+02	2.659E-01	5.164E-01	6.529E+01	-1.924E+02

TOTAL HARMONIC DISTORTION = 1.321883E+02 PERCENT

•R = 2 Ω y L = 0.5 mHy

FOURIER COMPONENTS OF TRANSIENT RESPONSE I(R\_P)

DC COMPONENT = 4.643974E-05

HARMONIC NO	FREQUENCY (HZ)	FOURIER COMPONENT	NORMALIZED COMPONENT	PHASE (DEG)	NORMALIZED PHASE (DEG)
1	5.000E+01	5.824E-01	1.000E+00	3.094E+01	0.000E+00
2	1.000E+02	9.314E-05	1.599E-04	-1.142E+02	-1.761E+02
3	1.500E+02	4.893E-01	8.401E-01	-1.352E+02	-2.280E+02
4	2.000E+02	7.581E-05	1.302E-04	5.408E+01	-6.968E+01
5	2.500E+02	4.393E-01	7.542E-01	7.565E+01	-7.905E+01
6	3.000E+02	2.306E-05	3.960E-05	-1.171E+02	-3.027E+02
7	3.500E+02	3.748E-01	6.435E-01	-7.186E+01	-2.884E+02
8	4.000E+02	5.313E-05	9.122E-05	-1.407E+02	-3.883E+02
9	4.500E+02	3.064E-01	5.262E-01	1.432E+02	-1.353E+02
10	5.000E+02	1.142E-04	1.960E-04	4.979E+01	-2.596E+02
11	5.500E+02	2.453E-01	4.211E-01	1.688E+00	-3.387E+02
12	6.000E+02	1.365E-04	2.344E-04	-1.185E+02	-4.898E+02
13	6.500E+02	1.992E-01	3.420E-01	-1.365E+02	-5.387E+02
14	7.000E+02	1.146E-04	1.967E-04	7.997E+01	-3.532E+02
15	7.500E+02	1.691E-01	2.904E-01	8.671E+01	-3.774E+02
16	8.000E+02	6.987E-05	1.200E-04	-6.366E+01	-5.587E+02
17	8.500E+02	1.482E-01	2.544E-01	-5.167E+01	-5.776E+02
18	9.000E+02	5.603E-05	9.620E-05	-1.684E+02	-7.254E+02
19	9.500E+02	1.279E-01	2.196E-01	1.673E+02	-4.206E+02

TOTAL HARMONIC DISTORTION = 1.567516E+02 PERCENT

•R = 2 Ω y L = 1 mHy

FOURIER COMPONENTS OF TRANSIENT RESPONSE I(R\_P)

DC COMPONENT = -6.459221E-06

HARMONIC	FREQUENCY	FOURIER	NORMALIZED	PHASE	NORMALIZED
----------	-----------	---------	------------	-------	------------



NO	(HZ)	COMPONENT	COMPONENT	(DEG)	PHASE (DEG)
1	5.000E+01	5.841E-01	1.000E+00	3.000E+01	0.000E+00
2	1.000E+02	1.247E-04	2.135E-04	1.102E+01	-4.897E+01
3	1.500E+02	5.038E-01	8.625E-01	-1.384E+02	-2.284E+02
4	2.000E+02	2.590E-04	4.433E-04	-1.649E+02	-2.849E+02
5	2.500E+02	4.710E-01	8.062E-01	6.943E+01	-8.056E+01
6	3.000E+02	3.925E-04	6.719E-04	2.475E+01	-1.552E+02
7	3.500E+02	4.249E-01	7.274E-01	-8.269E+01	-2.927E+02
8	4.000E+02	4.568E-04	7.820E-04	-1.402E+02	-3.801E+02
9	4.500E+02	3.691E-01	6.318E-01	1.253E+02	-1.447E+02
10	5.000E+02	4.676E-04	8.005E-04	6.851E+01	-2.315E+02
11	5.500E+02	3.074E-01	5.262E-01	-2.649E+01	-3.565E+02
12	6.000E+02	5.212E-04	8.922E-04	-7.727E+01	-4.372E+02
13	6.500E+02	2.439E-01	4.175E-01	-1.780E+02	-5.679E+02
14	7.000E+02	5.804E-04	9.937E-04	1.333E+02	-2.867E+02
15	7.500E+02	1.826E-01	3.127E-01	3.109E+01	-4.189E+02
16	8.000E+02	5.648E-04	9.669E-04	-1.897E+01	-4.989E+02
17	8.500E+02	1.272E-01	2.177E-01	-1.188E+02	-6.288E+02
18	9.000E+02	4.865E-04	8.329E-04	-1.639E+02	-7.038E+02
19	9.500E+02	8.016E-02	1.372E-01	9.336E+01	-4.766E+02

TOTAL HARMONIC DISTORTION = 1.713872E+02 PERCENT

$\bullet R = 2 \Omega$  y  $L = 2 \text{ mHy}$

FOURIER COMPONENTS OF TRANSIENT RESPONSE I(R\_P)

DC COMPONENT = 7.693750E-05

HARMONIC NO	FREQUENCY (HZ)	FOURIER COMPONENT	NORMALIZED COMPONENT	PHASE (DEG)	NORMALIZED PHASE (DEG)
1	5.000E+01	5.793E-01	1.000E+00	2.487E+01	0.000E+00
2	1.000E+02	1.763E-04	3.043E-04	-1.478E+02	-1.975E+02
3	1.500E+02	5.088E-01	8.783E-01	-1.552E+02	-2.298E+02
4	2.000E+02	3.391E-04	5.854E-04	-3.829E+00	-1.033E+02
5	2.500E+02	4.662E-01	8.049E-01	4.119E+01	-8.316E+01
6	3.000E+02	4.534E-04	7.827E-04	1.182E+02	-3.106E+01
7	3.500E+02	4.072E-01	7.029E-01	-1.225E+02	-2.966E+02
8	4.000E+02	5.622E-04	9.706E-04	-1.212E+02	-3.201E+02
9	4.500E+02	3.378E-01	5.831E-01	7.348E+01	-1.504E+02
10	5.000E+02	6.740E-04	1.164E-03	1.062E+01	-2.381E+02
11	5.500E+02	2.635E-01	4.548E-01	-9.094E+01	-3.645E+02
12	6.000E+02	5.047E-04	8.713E-04	1.631E+02	-1.354E+02
13	6.500E+02	1.907E-01	3.292E-01	1.039E+02	-2.194E+02
14	7.000E+02	2.810E-04	4.852E-04	-1.880E+01	-3.670E+02
15	7.500E+02	1.246E-01	2.151E-01	-6.270E+01	-4.358E+02
16	8.000E+02	2.526E-04	4.360E-04	1.396E+02	-2.583E+02
17	8.500E+02	6.912E-02	1.193E-01	1.271E+02	-2.956E+02
18	9.000E+02	1.228E-04	2.120E-04	-1.405E+02	-5.881E+02
19	9.500E+02	2.855E-02	4.929E-02	-5.637E+01	-5.289E+02

TOTAL HARMONIC DISTORTION = 1.622180E+02 PERCENT



• $R = 2 \Omega$  y  $L = 4 \text{ mHy}$

FOURIER COMPONENTS OF TRANSIENT RESPONSE I(R\_P)

DC COMPONENT = 8.368971E-04

HARMONIC NO	FREQUENCY (HZ)	FOURIER COMPONENT	NORMALIZED COMPONENT	PHASE (DEG)	NORMALIZED PHASE (DEG)
1	5.000E+01	5.681E-01	1.000E+00	1.980E+01	0.000E+00
2	1.000E+02	1.272E-03	2.238E-03	-6.465E+01	-1.043E+02
3	1.500E+02	5.031E-01	8.856E-01	-1.720E+02	-2.314E+02
4	2.000E+02	1.336E-03	2.351E-03	1.375E+02	5.828E+01
5	2.500E+02	4.439E-01	7.813E-01	1.286E+01	-8.614E+01
6	3.000E+02	1.935E-03	3.406E-03	4.969E+00	-1.138E+02
7	3.500E+02	3.635E-01	6.398E-01	-1.628E+02	-3.014E+02
8	4.000E+02	1.850E-03	3.257E-03	-1.665E+02	-3.249E+02
9	4.500E+02	2.752E-01	4.845E-01	2.054E+01	-1.577E+02
10	5.000E+02	1.453E-03	2.558E-03	9.999E+00	-1.880E+02
11	5.500E+02	1.882E-01	3.313E-01	-1.586E+02	-3.764E+02
12	6.000E+02	7.724E-04	1.359E-03	-1.266E+02	-3.642E+02
13	6.500E+02	1.115E-01	1.963E-01	1.784E+01	-2.395E+02
14	7.000E+02	6.132E-04	1.079E-03	2.058E+01	-2.566E+02
15	7.500E+02	5.469E-02	9.626E-02	-1.787E+02	-4.757E+02
16	8.000E+02	2.213E-04	3.895E-04	1.314E+02	-1.854E+02
17	8.500E+02	3.111E-02	5.477E-02	-4.749E+01	-3.841E+02
18	9.000E+02	3.410E-04	6.003E-04	-1.258E+02	-4.822E+02
19	9.500E+02	3.663E-02	6.447E-02	9.056E+01	-2.856E+02

TOTAL HARMONIC DISTORTION = 1.484446E+02 PERCENT

• $R = 2 \Omega$  y  $L = 10 \text{ mHy}$

FOURIER COMPONENTS OF TRANSIENT RESPONSE I(R\_P)

DC COMPONENT = 3.784467E-02

HARMONIC NO	FREQUENCY (HZ)	FOURIER COMPONENT	NORMALIZED COMPONENT	PHASE (DEG)	NORMALIZED PHASE (DEG)
1	5.000E+01	5.616E-01	1.000E+00	1.350E+01	0.000E+00
2	1.000E+02	7.194E-02	1.281E-01	-8.862E+01	-1.156E+02
3	1.500E+02	4.936E-01	8.789E-01	1.684E+02	1.279E+02
4	2.000E+02	5.862E-02	1.044E-01	9.195E+01	3.794E+01
5	2.500E+02	3.998E-01	7.118E-01	-2.076E+01	-8.827E+01
6	3.000E+02	4.213E-02	7.502E-02	-8.783E+01	-1.688E+02
7	3.500E+02	2.853E-01	5.080E-01	1.480E+02	5.350E+01
8	4.000E+02	2.387E-02	4.250E-02	8.767E+01	-2.035E+01
9	4.500E+02	1.759E-01	3.132E-01	-4.798E+01	-1.695E+02
10	5.000E+02	1.002E-02	1.784E-02	-9.844E+01	-2.335E+02
11	5.500E+02	8.524E-02	1.518E-01	1.033E+02	-4.525E+01
12	6.000E+02	3.114E-03	5.544E-03	-1.205E+01	-1.741E+02
13	6.500E+02	4.512E-02	8.033E-02	-1.425E+02	-3.181E+02
14	7.000E+02	4.304E-03	7.663E-03	9.784E+01	-9.119E+01
15	7.500E+02	6.147E-02	1.095E-01	-2.371E+01	-2.262E+02
16	8.000E+02	4.774E-03	8.500E-03	-7.721E+01	-2.932E+02
17	8.500E+02	6.653E-02	1.185E-01	1.263E+02	-1.033E+02
18	9.000E+02	3.856E-03	6.865E-03	1.645E+01	-2.266E+02
19	9.500E+02	5.468E-02	9.736E-02	-8.311E+01	-3.397E+02





TOTAL HARMONIC DISTORTION = 1.317381E+02 PERCENT

•R = 2 Ω y L = 16 mHy

FOURIER COMPONENTS OF TRANSIENT RESPONSE I(R\_P)

DC COMPONENT = -7.345204E-02

HARMONIC NO	FREQUENCY (HZ)	FOURIER COMPONENT	NORMALIZED COMPONENT	PHASE (DEG)	NORMALIZED PHASE (DEG)
1	5.000E+01	5.071E-01	1.000E+00	1.357E+01	0.000E+00
2	1.000E+02	1.367E-01	2.696E-01	8.980E+01	6.266E+01
3	1.500E+02	4.213E-01	8.309E-01	1.612E+02	1.205E+02
4	2.000E+02	1.020E-01	2.012E-01	-9.024E+01	-1.445E+02
5	2.500E+02	3.061E-01	6.036E-01	-3.579E+01	-1.036E+02
6	3.000E+02	6.315E-02	1.245E-01	8.940E+01	7.968E+00
7	3.500E+02	2.013E-01	3.970E-01	1.182E+02	2.321E+01
8	4.000E+02	2.052E-02	4.047E-02	-9.092E+01	-1.995E+02
9	4.500E+02	1.239E-01	2.444E-01	-9.522E+01	-2.174E+02
10	5.000E+02	2.721E-03	5.365E-03	-1.121E+02	-2.478E+02
11	5.500E+02	6.974E-02	1.375E-01	4.489E+01	-1.044E+02
12	6.000E+02	1.742E-02	3.435E-02	8.202E+01	-8.084E+01
13	6.500E+02	4.338E-02	8.555E-02	1.292E+02	-4.719E+01
14	7.000E+02	1.007E-02	1.987E-02	-1.043E+02	-2.943E+02
15	7.500E+02	8.716E-02	1.719E-01	-1.066E+02	-3.102E+02
16	8.000E+02	5.318E-03	1.049E-02	5.949E+01	-1.577E+02
17	8.500E+02	1.367E-01	2.696E-01	5.193E+01	-1.788E+02
18	9.000E+02	4.055E-02	7.997E-02	6.379E+01	-1.805E+02
19	9.500E+02	2.497E-01	4.924E-01	6.514E+01	-1.927E+02

TOTAL HARMONIC DISTORTION = 1.334659E+02 PERCENT

•R = 3 Ω y L = 0.5 mHy

FOURIER COMPONENTS OF TRANSIENT RESPONSE I(R\_P)

DC COMPONENT = -5.054221E-05

HARMONIC NO	FREQUENCY (HZ)	FOURIER COMPONENT	NORMALIZED COMPONENT	PHASE (DEG)	NORMALIZED PHASE (DEG)
1	5.000E+01	5.792E-01	1.000E+00	3.014E+01	0.000E+00
2	1.000E+02	9.552E-05	1.649E-04	1.022E+02	4.191E+01
3	1.500E+02	4.857E-01	8.386E-01	-1.381E+02	-2.286E+02
4	2.000E+02	7.621E-05	1.316E-04	-5.546E+01	-1.760E+02
5	2.500E+02	4.303E-01	7.430E-01	7.057E+01	-8.013E+01
6	3.000E+02	6.148E-05	1.061E-04	1.772E+02	-3.644E+00
7	3.500E+02	3.580E-01	6.182E-01	-7.926E+01	-2.902E+02
8	4.000E+02	9.500E-05	1.640E-04	5.651E+01	-1.846E+02
9	4.500E+02	2.797E-01	4.829E-01	1.334E+02	-1.378E+02
10	5.000E+02	1.547E-04	2.672E-04	-9.055E+01	-3.919E+02
11	5.500E+02	2.073E-01	3.579E-01	-9.749E+00	-3.413E+02
12	6.000E+02	2.023E-04	3.493E-04	1.118E+02	-2.498E+02
13	6.500E+02	1.517E-01	2.619E-01	-1.469E+02	-5.388E+02
14	7.000E+02	2.089E-04	3.606E-04	-5.037E+01	-4.723E+02
15	7.500E+02	1.186E-01	2.047E-01	8.106E+01	-3.710E+02
16	8.000E+02	1.606E-04	2.774E-04	1.450E+02	-3.373E+02
17	8.500E+02	1.025E-01	1.769E-01	-5.137E+01	-5.637E+02
18	9.000E+02	6.810E-05	1.176E-04	-2.317E+01	-5.657E+02
19	9.500E+02	9.085E-02	1.569E-01	1.716E+02	-4.010E+02



TOTAL HARMONIC DISTORTION = 1.471407E+02 PERCENT

•R = 3  $\Omega$  y L = 1 mHy

FOURIER COMPONENTS OF TRANSIENT RESPONSE I(R\_P)

DC COMPONENT = -6.800731E-05

HARMONIC NO	FREQUENCY (HZ)	FOURIER COMPONENT	NORMALIZED COMPONENT	PHASE (DEG)	NORMALIZED PHASE (DEG)
1	5.000E+01	5.797E-01	1.000E+00	2.942E+01	0.000E+00
2	1.000E+02	1.353E-04	2.334E-04	7.759E+01	1.876E+01
3	1.500E+02	4.957E-01	8.552E-01	-1.406E+02	-2.289E+02
4	2.000E+02	1.092E-04	1.883E-04	-1.108E+02	-2.285E+02
5	2.500E+02	4.532E-01	7.819E-01	6.588E+01	-8.120E+01
6	3.000E+02	4.974E-05	8.581E-05	9.574E+01	-8.075E+01
7	3.500E+02	3.951E-01	6.816E-01	-8.727E+01	-2.932E+02
8	4.000E+02	8.172E-05	1.410E-04	-4.086E+00	-2.394E+02
9	4.500E+02	3.272E-01	5.645E-01	1.202E+02	-1.445E+02
10	5.000E+02	1.394E-04	2.405E-04	-1.674E+02	-4.616E+02
11	5.500E+02	2.560E-01	4.417E-01	-3.131E+01	-3.549E+02
12	6.000E+02	1.654E-04	2.854E-04	2.902E+01	-3.240E+02
13	6.500E+02	1.880E-01	3.243E-01	1.789E+02	-2.035E+02
14	7.000E+02	1.791E-04	3.089E-04	-1.326E+02	-5.444E+02
15	7.500E+02	1.286E-01	2.218E-01	3.202E+01	-4.092E+02
16	8.000E+02	1.744E-04	3.009E-04	6.296E+01	-4.077E+02
17	8.500E+02	8.228E-02	1.420E-01	-1.094E+02	-6.095E+02
18	9.000E+02	1.462E-04	2.522E-04	-1.031E+02	-6.326E+02
19	9.500E+02	5.201E-02	8.972E-02	1.179E+02	-4.410E+02

TOTAL HARMONIC DISTORTION = 1.582279E+02 PERCENT

•R = 3  $\Omega$  y L = 2 mHy

FOURIER COMPONENTS OF TRANSIENT RESPONSE I(R\_P)

DC COMPONENT = -8.441236E-05

HARMONIC NO	FREQUENCY (HZ)	FOURIER COMPONENT	NORMALIZED COMPONENT	PHASE (DEG)	NORMALIZED PHASE (DEG)
1	5.000E+01	5.761E-01	1.000E+00	2.542E+01	0.000E+00
2	1.000E+02	1.330E-04	2.308E-04	9.164E+01	4.081E+01
3	1.500E+02	5.014E-01	8.703E-01	-1.538E+02	-2.300E+02
4	2.000E+02	1.473E-04	2.557E-04	-2.776E+01	-1.294E+02
5	2.500E+02	4.545E-01	7.889E-01	4.369E+01	-8.339E+01
6	3.000E+02	2.933E-04	5.090E-04	1.516E+02	-9.072E-01
7	3.500E+02	3.907E-01	6.781E-01	-1.189E+02	-2.968E+02
8	4.000E+02	3.132E-04	5.437E-04	-2.753E+01	-2.309E+02
9	4.500E+02	3.162E-01	5.489E-01	7.827E+01	-1.505E+02
10	5.000E+02	2.662E-04	4.620E-04	1.490E+02	-1.052E+02
11	5.500E+02	2.380E-01	4.131E-01	-8.478E+01	-3.643E+02
12	6.000E+02	1.374E-04	2.385E-04	4.091E+00	-3.009E+02
13	6.500E+02	1.631E-01	2.831E-01	1.118E+02	-2.186E+02
14	7.000E+02	1.062E-04	1.843E-04	1.720E+02	-1.838E+02
15	7.500E+02	9.728E-02	1.689E-01	-5.249E+01	-4.337E+02
16	8.000E+02	8.883E-05	1.542E-04	-1.624E+02	-5.690E+02
17	8.500E+02	4.430E-02	7.690E-02	1.407E+02	-2.914E+02



18	9.000E+02	1.421E-04	2.467E-04	2.987E+01	-4.276E+02
19	9.500E+02	7.220E-03	1.253E-02	-5.320E+01	-5.361E+02

TOTAL HARMONIC DISTORTION = 1.557627E+02 PERCENT

•R = 3 Ω y L = 4 mHy

FOURIER COMPONENTS OF TRANSIENT RESPONSE I(R\_P)

DC COMPONENT = 3.354725E-06

HARMONIC NO	FREQUENCY (HZ)	FOURIER COMPONENT	NORMALIZED COMPONENT	PHASE (DEG)	NORMALIZED PHASE (DEG)
1	5.000E+01	5.658E-01	1.000E+00	2.043E+01	0.000E+00
2	1.000E+02	2.250E-04	3.977E-04	-4.682E+01	-8.768E+01
3	1.500E+02	4.973E-01	8.789E-01	-1.702E+02	-2.315E+02
4	2.000E+02	1.171E-04	2.069E-04	-1.104E+02	-1.921E+02
5	2.500E+02	4.354E-01	7.696E-01	1.602E+01	-8.615E+01
6	3.000E+02	1.884E-04	3.329E-04	-9.093E+01	-2.135E+02
7	3.500E+02	3.531E-01	6.241E-01	-1.584E+02	-3.014E+02
8	4.000E+02	6.937E-04	1.226E-03	-6.022E+01	-2.237E+02
9	4.500E+02	2.617E-01	4.625E-01	2.623E+01	-1.577E+02
10	5.000E+02	5.637E-04	9.964E-04	7.874E+01	-1.256E+02
11	5.500E+02	1.732E-01	3.061E-01	-1.512E+02	-3.759E+02
12	6.000E+02	3.482E-04	6.155E-04	-1.177E+02	-3.629E+02
13	6.500E+02	9.678E-02	1.711E-01	2.640E+01	-2.392E+02
14	7.000E+02	3.464E-04	6.123E-04	-1.286E+02	-4.146E+02
15	7.500E+02	4.275E-02	7.555E-02	-1.723E+02	-4.788E+02
16	8.000E+02	6.231E-04	1.101E-03	-5.049E+01	-3.774E+02
17	8.500E+02	2.716E-02	4.800E-02	-5.590E+01	-4.033E+02
18	9.000E+02	2.145E-04	3.791E-04	3.232E+01	-3.355E+02
19	9.500E+02	3.560E-02	6.293E-02	8.997E+01	-2.982E+02

TOTAL HARMONIC DISTORTION = 1.450188E+02 PERCENT

•R = 3 Ω y L = 10 mHy

FOURIER COMPONENTS OF TRANSIENT RESPONSE I(R\_P)

DC COMPONENT = 2.490428E-02

HARMONIC NO	FREQUENCY (HZ)	FOURIER COMPONENT	NORMALIZED COMPONENT	PHASE (DEG)	NORMALIZED PHASE (DEG)
1	5.000E+01	5.574E-01	1.000E+00	1.382E+01	0.000E+00
2	1.000E+02	4.774E-02	8.565E-02	-8.442E+01	-1.121E+02
3	1.500E+02	4.897E-01	8.786E-01	1.689E+02	1.274E+02
4	2.000E+02	3.862E-02	6.928E-02	1.001E+02	4.486E+01
5	2.500E+02	3.967E-01	7.117E-01	-1.973E+01	-8.884E+01
6	3.000E+02	2.807E-02	5.037E-02	-7.503E+01	-1.580E+02
7	3.500E+02	2.818E-01	5.056E-01	1.499E+02	5.312E+01
8	4.000E+02	1.572E-02	2.820E-02	1.074E+02	-3.186E+00
9	4.500E+02	1.709E-01	3.065E-01	-4.499E+01	-1.694E+02
10	5.000E+02	6.781E-03	1.217E-02	-7.551E+01	-2.137E+02
11	5.500E+02	8.058E-02	1.446E-01	1.062E+02	-4.587E+01
12	6.000E+02	1.773E-03	3.180E-03	-1.021E+01	-1.761E+02
13	6.500E+02	4.261E-02	7.644E-02	-1.443E+02	-3.240E+02
14	7.000E+02	2.573E-03	4.616E-03	1.275E+02	-6.599E+01
15	7.500E+02	5.767E-02	1.035E-01	-2.219E+01	-2.295E+02



16	8.000E+02	4.580E-03	8.217E-03	-5.919E+01	-2.803E+02
17	8.500E+02	6.126E-02	1.099E-01	1.278E+02	-1.072E+02
18	9.000E+02	1.898E-03	3.406E-03	3.707E+01	-2.117E+02
19	9.500E+02	5.231E-02	9.386E-02	-8.581E+01	-3.484E+02

TOTAL HARMONIC DISTORTION = 1.304661E+02 PERCENT

•R = 3 Ω y L = 16 mHy

FOURIER COMPONENTS OF TRANSIENT RESPONSE I(R\_P)

DC COMPONENT = -6.096516E-02

HARMONIC NO	FREQUENCY (HZ)	FOURIER COMPONENT	NORMALIZED COMPONENT	PHASE (DEG)	NORMALIZED PHASE (DEG)
1	5.000E+01	5.041E-01	1.000E+00	1.343E+01	0.000E+00
2	1.000E+02	1.139E-01	2.260E-01	9.081E+01	6.395E+01
3	1.500E+02	4.233E-01	8.397E-01	1.608E+02	1.205E+02
4	2.000E+02	8.464E-02	1.679E-01	-8.854E+01	-1.423E+02
5	2.500E+02	3.118E-01	6.185E-01	-3.562E+01	-1.028E+02
6	3.000E+02	5.188E-02	1.029E-01	9.295E+01	1.236E+01
7	3.500E+02	2.037E-01	4.040E-01	1.205E+02	2.644E+01
8	4.000E+02	1.712E-02	3.396E-02	-8.516E+01	-1.926E+02
9	4.500E+02	1.188E-01	2.356E-01	-9.227E+01	-2.132E+02
10	5.000E+02	2.339E-03	4.640E-03	-1.146E+02	-2.489E+02
11	5.500E+02	6.431E-02	1.276E-01	4.249E+01	-1.053E+02
12	6.000E+02	1.431E-02	2.838E-02	8.426E+01	-7.692E+01
13	6.500E+02	4.739E-02	9.399E-02	1.309E+02	-4.369E+01
14	7.000E+02	8.022E-03	1.591E-02	-1.112E+02	-2.992E+02
15	7.500E+02	8.206E-02	1.628E-01	-1.045E+02	-3.060E+02
16	8.000E+02	2.998E-03	5.946E-03	7.779E+01	-1.371E+02
17	8.500E+02	1.239E-01	2.458E-01	4.743E+01	-1.809E+02
18	9.000E+02	2.921E-02	5.794E-02	6.313E+01	-1.786E+02
19	9.500E+02	2.251E-01	4.465E-01	6.571E+01	-1.895E+02

TOTAL HARMONIC DISTORTION = 1.308902E+02 PERCENT

•R = 4 Ω y L = 0.5 mHy

FOURIER COMPONENTS OF TRANSIENT RESPONSE I(R\_P)

DC COMPONENT = 8.317265E-05

HARMONIC NO	FREQUENCY (HZ)	FOURIER COMPONENT	NORMALIZED COMPONENT	PHASE (DEG)	NORMALIZED PHASE (DEG)
1	5.000E+01	5.757E-01	1.000E+00	2.944E+01	0.000E+00
2	1.000E+02	1.722E-04	2.992E-04	-6.631E+01	-1.252E+02
3	1.500E+02	4.808E-01	8.353E-01	-1.407E+02	-2.291E+02
4	2.000E+02	1.858E-04	3.228E-04	1.415E+02	2.376E+01
5	2.500E+02	4.195E-01	7.287E-01	6.622E+01	-8.099E+01
6	3.000E+02	2.042E-04	3.548E-04	-5.031E+00	-1.817E+02
7	3.500E+02	3.397E-01	5.902E-01	-8.538E+01	-2.915E+02
8	4.000E+02	2.316E-04	4.024E-04	-1.467E+02	-3.822E+02
9	4.500E+02	2.539E-01	4.411E-01	1.257E+02	-1.393E+02
10	5.000E+02	2.686E-04	4.666E-04	7.151E+01	-2.229E+02
11	5.500E+02	1.755E-01	3.050E-01	-1.814E+01	-3.420E+02
12	6.000E+02	2.986E-04	5.188E-04	-7.170E+01	-4.250E+02
13	6.500E+02	1.177E-01	2.044E-01	-1.532E+02	-5.360E+02
14	7.000E+02	3.037E-04	5.276E-04	1.456E+02	-2.666E+02



15	7.500E+02	8.858E-02	1.539E-01	8.047E+01	-3.612E+02
16	8.000E+02	2.870E-04	4.986E-04	7.152E+00	-4.639E+02
17	8.500E+02	7.975E-02	1.385E-01	-4.815E+01	-5.487E+02
18	9.000E+02	2.760E-04	4.795E-04	-1.264E+02	-6.564E+02
19	9.500E+02	7.296E-02	1.267E-01	1.751E+02	-3.843E+02

TOTAL HARMONIC DISTORTION = 1.401939E+02 PERCENT

• $R = 4 \Omega$  y  $L = 1 \text{ mHy}$

FOURIER COMPONENTS OF TRANSIENT RESPONSE I(R\_P)

DC COMPONENT = -9.656535E-05

HARMONIC NO	FREQUENCY (HZ)	FOURIER COMPONENT	NORMALIZED COMPONENT	PHASE (DEG)	NORMALIZED PHASE (DEG)
1	5.000E+01	5.755E-01	1.000E+00	2.870E+01	0.000E+00
2	1.000E+02	2.335E-04	4.058E-04	1.215E+02	6.412E+01
3	1.500E+02	4.882E-01	8.482E-01	-1.432E+02	-2.293E+02
4	2.000E+02	2.920E-04	5.074E-04	-3.966E+01	-1.545E+02
5	2.500E+02	4.359E-01	7.574E-01	6.166E+01	-8.184E+01
6	3.000E+02	3.241E-04	5.631E-04	1.577E+02	-1.450E+01
7	3.500E+02	3.662E-01	6.363E-01	-9.274E+01	-2.936E+02
8	4.000E+02	3.289E-04	5.714E-04	-1.187E+00	-2.308E+02
9	4.500E+02	2.877E-01	4.999E-01	1.141E+02	-1.442E+02
10	5.000E+02	3.144E-04	5.463E-04	-1.581E+02	-4.451E+02
11	5.500E+02	2.098E-01	3.646E-01	-3.693E+01	-3.526E+02
12	6.000E+02	2.687E-04	4.669E-04	4.569E+01	-2.987E+02
13	6.500E+02	1.414E-01	2.457E-01	1.760E+02	-1.971E+02
14	7.000E+02	1.856E-04	3.225E-04	-1.059E+02	-5.077E+02
15	7.500E+02	8.998E-02	1.563E-01	3.630E+01	-3.942E+02
16	8.000E+02	1.222E-04	2.124E-04	1.263E+02	-3.329E+02
17	8.500E+02	6.020E-02	1.046E-01	-9.362E+01	-5.815E+02
18	9.000E+02	1.351E-04	2.348E-04	-7.054E+00	-5.237E+02
19	9.500E+02	4.828E-02	8.388E-02	1.389E+02	-4.064E+02

TOTAL HARMONIC DISTORTION = 1.477697E+02 PERCENT

• $R = 4 \Omega$  y  $L = 2 \text{ mHy}$

FOURIER COMPONENTS OF TRANSIENT RESPONSE I(R\_P)

DC COMPONENT = 1.675608E-04

HARMONIC NO	FREQUENCY (HZ)	FOURIER COMPONENT	NORMALIZED COMPONENT	PHASE (DEG)	NORMALIZED PHASE (DEG)
1	5.000E+01	5.731E-01	1.000E+00	2.570E+01	0.000E+00
2	1.000E+02	3.161E-04	5.516E-04	-1.171E+02	-1.685E+02
3	1.500E+02	4.950E-01	8.638E-01	-1.531E+02	-2.303E+02
4	2.000E+02	3.277E-04	5.719E-04	2.645E+01	-7.636E+01
5	2.500E+02	4.432E-01	7.735E-01	4.475E+01	-8.377E+01
6	3.000E+02	3.600E-04	6.281E-04	1.751E+02	2.091E+01
7	3.500E+02	3.733E-01	6.515E-01	-1.173E+02	-2.972E+02
8	4.000E+02	3.144E-04	5.487E-04	-1.307E+01	-2.187E+02
9	4.500E+02	2.933E-01	5.119E-01	8.069E+01	-1.506E+02
10	5.000E+02	2.495E-04	4.354E-04	-1.712E+02	-4.282E+02
11	5.500E+02	2.113E-01	3.687E-01	-8.122E+01	-3.640E+02
12	6.000E+02	1.781E-04	3.108E-04	4.227E+01	-2.662E+02



13	6.500E+02	1.351E-01	2.357E-01	1.172E+02	-2.169E+02
14	7.000E+02	2.528E-04	4.411E-04	-7.844E+01	-4.383E+02
15	7.500E+02	7.102E-02	1.239E-01	-4.306E+01	-4.286E+02
16	8.000E+02	2.950E-04	5.147E-04	1.099E+02	-3.013E+02
17	8.500E+02	2.332E-02	4.070E-02	1.641E+02	-2.729E+02
18	9.000E+02	1.809E-04	3.157E-04	-5.810E+01	-5.208E+02
19	9.500E+02	1.029E-02	1.796E-02	1.330E+02	-3.554E+02

TOTAL HARMONIC DISTORTION = 1.496563E+02 PERCENT

•R = 4 Ω y L = 4 mHy

FOURIER COMPONENTS OF TRANSIENT RESPONSE I(R\_P)

DC COMPONENT = -2.142378E-04

HARMONIC NO	FREQUENCY (HZ)	FOURIER COMPONENT	NORMALIZED COMPONENT	PHASE (DEG)	NORMALIZED PHASE (DEG)
1	5.000E+01	5.640E-01	1.000E+00	2.100E+01	0.000E+00
2	1.000E+02	3.332E-04	5.908E-04	6.941E+01	2.741E+01
3	1.500E+02	4.922E-01	8.727E-01	-1.687E+02	-2.317E+02
4	2.000E+02	1.585E-04	2.810E-04	1.176E+02	3.361E+01
5	2.500E+02	4.276E-01	7.582E-01	1.855E+01	-8.643E+01
6	3.000E+02	5.070E-04	8.989E-04	-1.528E+02	-2.788E+02
7	3.500E+02	3.424E-01	6.072E-01	-1.547E+02	-3.017E+02
8	4.000E+02	7.648E-04	1.356E-03	-9.315E+00	-1.773E+02
9	4.500E+02	2.490E-01	4.414E-01	3.110E+01	-1.579E+02
10	5.000E+02	7.520E-04	1.333E-03	1.261E+02	-8.389E+01
11	5.500E+02	1.591E-01	2.821E-01	-1.451E+02	-3.761E+02
12	6.000E+02	4.614E-04	8.181E-04	-1.108E+02	-3.627E+02
13	6.500E+02	8.280E-02	1.468E-01	3.337E+01	-2.396E+02
14	7.000E+02	2.763E-04	4.899E-04	3.048E+00	-2.909E+02
15	7.500E+02	3.052E-02	5.411E-02	-1.705E+02	-4.854E+02
16	8.000E+02	3.407E-04	6.041E-04	1.709E+02	-1.651E+02
17	8.500E+02	2.460E-02	4.362E-02	-6.820E+01	-4.251E+02
18	9.000E+02	3.189E-04	5.655E-04	-6.954E+01	-4.475E+02
19	9.500E+02	3.509E-02	6.221E-02	8.808E+01	-3.108E+02

TOTAL HARMONIC DISTORTION = 1.417709E+02 PERCENT

•R = 4 Ω y L = 10 mHy

FOURIER COMPONENTS OF TRANSIENT RESPONSE I(R\_P)

DC COMPONENT = 1.271705E-02

HARMONIC NO	FREQUENCY (HZ)	FOURIER COMPONENT	NORMALIZED COMPONENT	PHASE (DEG)	NORMALIZED PHASE (DEG)
1	5.000E+01	5.507E-01	1.000E+00	1.431E+01	0.000E+00
2	1.000E+02	2.456E-02	4.459E-02	-7.673E+01	-1.053E+02
3	1.500E+02	4.816E-01	8.744E-01	1.697E+02	1.268E+02
4	2.000E+02	2.103E-02	3.818E-02	1.140E+02	5.682E+01
5	2.500E+02	3.886E-01	7.055E-01	-1.813E+01	-8.966E+01
6	3.000E+02	1.584E-02	2.876E-02	-5.391E+01	-1.398E+02
7	3.500E+02	2.750E-01	4.993E-01	1.520E+02	5.183E+01
8	4.000E+02	9.916E-03	1.800E-02	1.345E+02	2.006E+01
9	4.500E+02	1.637E-01	2.972E-01	-4.230E+01	-1.711E+02
10	5.000E+02	3.436E-03	6.238E-03	-3.905E+01	-1.821E+02



11	5.500E+02	7.567E-02	1.374E-01	1.090E+02	-4.838E+01
12	6.000E+02	8.205E-04	1.490E-03	-2.343E+01	-1.951E+02
13	6.500E+02	4.052E-02	7.358E-02	-1.442E+02	-3.302E+02
14	7.000E+02	2.859E-03	5.190E-03	1.491E+02	-5.117E+01
15	7.500E+02	5.425E-02	9.851E-02	-2.051E+01	-2.351E+02
16	8.000E+02	3.068E-03	5.570E-03	-2.090E+01	-2.498E+02
17	8.500E+02	5.774E-02	1.048E-01	1.277E+02	-1.155E+02
18	9.000E+02	1.792E-03	3.253E-03	9.367E+01	-1.639E+02
19	9.500E+02	4.891E-02	8.881E-02	-9.029E+01	-3.621E+02

TOTAL HARMONIC DISTORTION = 1.287470E+02 PERCENT

•R = 4 Ω y L = 16 mHy

FOURIER COMPONENTS OF TRANSIENT RESPONSE I(R\_P)

DC COMPONENT = -3.346141E-02

HARMONIC NO	FREQUENCY (HZ)	FOURIER COMPONENT	NORMALIZED COMPONENT	PHASE (DEG)	NORMALIZED PHASE (DEG)
1	5.000E+01	5.116E-01	1.000E+00	1.309E+01	0.000E+00
2	1.000E+02	6.236E-02	1.219E-01	9.179E+01	6.560E+01
3	1.500E+02	4.326E-01	8.456E-01	1.611E+02	1.218E+02
4	2.000E+02	4.635E-02	9.060E-02	-8.627E+01	-1.386E+02
5	2.500E+02	3.208E-01	6.270E-01	-3.473E+01	-1.002E+02
6	3.000E+02	2.853E-02	5.577E-02	9.601E+01	1.745E+01
7	3.500E+02	2.063E-01	4.032E-01	1.232E+02	3.152E+01
8	4.000E+02	9.588E-03	1.874E-02	-7.860E+01	-1.833E+02
9	4.500E+02	1.149E-01	2.246E-01	-8.916E+01	-2.070E+02
10	5.000E+02	1.836E-03	3.588E-03	-1.272E+02	-2.581E+02
11	5.500E+02	5.857E-02	1.145E-01	3.934E+01	-1.047E+02
12	6.000E+02	7.487E-03	1.463E-02	8.749E+01	-6.963E+01
13	6.500E+02	5.041E-02	9.853E-02	1.323E+02	-3.786E+01
14	7.000E+02	4.468E-03	8.734E-03	-1.107E+02	-2.940E+02
15	7.500E+02	7.896E-02	1.544E-01	-1.014E+02	-2.978E+02
16	8.000E+02	1.655E-03	3.234E-03	6.140E+01	-1.481E+02
17	8.500E+02	1.096E-01	2.143E-01	4.303E+01	-1.796E+02
18	9.000E+02	1.463E-02	2.859E-02	5.812E+01	-1.776E+02
19	9.500E+02	2.020E-01	3.948E-01	6.811E+01	-1.807E+02

TOTAL HARMONIC DISTORTION = 1.263850E+02 PERCENT

•R = 5 Ω y L = 0.5 mHy

FOURIER COMPONENTS OF TRANSIENT RESPONSE I(R\_P)

DC COMPONENT = 3.593702E-06

HARMONIC NO	FREQUENCY (HZ)	FOURIER COMPONENT	NORMALIZED COMPONENT	PHASE (DEG)	NORMALIZED PHASE (DEG)
1	5.000E+01	5.722E-01	1.000E+00	2.886E+01	0.000E+00
2	1.000E+02	5.254E-05	9.181E-05	-1.505E+02	-2.082E+02
3	1.500E+02	4.759E-01	8.316E-01	-1.429E+02	-2.295E+02
4	2.000E+02	8.149E-05	1.424E-04	5.067E+01	-6.478E+01
5	2.500E+02	4.088E-01	7.145E-01	6.256E+01	-8.175E+01
6	3.000E+02	7.742E-05	1.353E-04	-9.873E+01	-2.719E+02
7	3.500E+02	3.224E-01	5.635E-01	-9.047E+01	-2.925E+02
8	4.000E+02	5.424E-05	9.479E-05	1.378E+02	-9.307E+01



9	4.500E+02	2.308E-01	4.033E-01	1.195E+02	-1.403E+02
10	5.000E+02	7.217E-05	1.261E-04	3.311E+01	-2.555E+02
11	5.500E+02	1.490E-01	2.604E-01	-2.443E+01	-3.419E+02
12	6.000E+02	1.073E-04	1.876E-04	-1.055E+02	-4.519E+02
13	6.500E+02	9.249E-02	1.616E-01	-1.560E+02	-5.312E+02
14	7.000E+02	1.139E-04	1.990E-04	1.072E+02	-2.969E+02
15	7.500E+02	7.089E-02	1.239E-01	8.383E+01	-3.491E+02
16	8.000E+02	8.889E-05	1.554E-04	-3.281E+01	-4.946E+02
17	8.500E+02	6.826E-02	1.193E-01	-4.441E+01	-5.351E+02
18	9.000E+02	6.860E-05	1.199E-04	-1.453E+02	-6.649E+02
19	9.500E+02	6.244E-02	1.091E-01	1.768E+02	-3.716E+02

TOTAL HARMONIC DISTORTION = 1.348189E+02 PERCENT

•R = 5 Ω y L = 1 mHy

FOURIER COMPONENTS OF TRANSIENT RESPONSE I(R\_P)

DC COMPONENT = -1.490075E-05

HARMONIC NO	FREQUENCY (HZ)	FOURIER COMPONENT	NORMALIZED COMPONENT	PHASE (DEG)	NORMALIZED PHASE (DEG)
1	5.000E+01	5.722E-01	1.000E+00	2.811E+01	0.000E+00
2	1.000E+02	7.804E-05	1.364E-04	2.287E+01	-3.336E+01
3	1.500E+02	4.819E-01	8.422E-01	-1.454E+02	-2.297E+02
4	2.000E+02	9.239E-05	1.615E-04	-1.568E+02	-2.693E+02
5	2.500E+02	4.216E-01	7.368E-01	5.818E+01	-8.239E+01
6	3.000E+02	5.973E-05	1.044E-04	5.733E+01	-1.114E+02
7	3.500E+02	3.425E-01	5.986E-01	-9.729E+01	-2.941E+02
8	4.000E+02	7.415E-05	1.296E-04	-4.683E+01	-2.717E+02
9	4.500E+02	2.560E-01	4.475E-01	1.090E+02	-1.440E+02
10	5.000E+02	1.206E-04	2.108E-04	1.666E+02	-1.145E+02
11	5.500E+02	1.740E-01	3.042E-01	-4.124E+01	-3.505E+02
12	6.000E+02	1.411E-04	2.466E-04	1.353E+01	-3.238E+02
13	6.500E+02	1.078E-01	1.883E-01	1.756E+02	-1.898E+02
14	7.000E+02	1.508E-04	2.636E-04	-1.394E+02	-5.330E+02
15	7.500E+02	6.696E-02	1.170E-01	4.538E+01	-3.763E+02
16	8.000E+02	1.372E-04	2.398E-04	6.335E+01	-3.865E+02
17	8.500E+02	5.306E-02	9.273E-02	-7.774E+01	-5.557E+02
18	9.000E+02	8.998E-05	1.573E-04	-8.815E+01	-5.942E+02
19	9.500E+02	4.896E-02	8.556E-02	1.488E+02	-3.854E+02

TOTAL HARMONIC DISTORTION = 1.402953E+02 PERCENT

•R = 5 Ω y L = 2 mHy

FOURIER COMPONENTS OF TRANSIENT RESPONSE I(R\_P)

DC COMPONENT = -8.617479E-05

HARMONIC NO	FREQUENCY (HZ)	FOURIER COMPONENT	NORMALIZED COMPONENT	PHASE (DEG)	NORMALIZED PHASE (DEG)
1	5.000E+01	5.699E-01	1.000E+00	2.578E+01	0.000E+00
2	1.000E+02	1.346E-04	2.362E-04	9.091E+01	3.935E+01
3	1.500E+02	4.883E-01	8.569E-01	-1.532E+02	-2.305E+02
4	2.000E+02	7.991E-05	1.402E-04	-5.039E+01	-1.535E+02





5	2.500E+02	4.312E-01	7.566E-01	4.484E+01	-8.407E+01
6	3.000E+02	1.257E-04	2.205E-04	-1.664E+02	-3.211E+02
7	3.500E+02	3.550E-01	6.229E-01	-1.170E+02	-2.975E+02
8	4.000E+02	2.107E-04	3.697E-04	3.196E+01	-1.743E+02
9	4.500E+02	2.691E-01	4.723E-01	8.143E+01	-1.506E+02
10	5.000E+02	2.179E-04	3.823E-04	-1.314E+02	-3.892E+02
11	5.500E+02	1.838E-01	3.225E-01	-7.940E+01	-3.630E+02
12	6.000E+02	2.194E-04	3.851E-04	7.950E+01	-2.299E+02
13	6.500E+02	1.079E-01	1.893E-01	1.215E+02	-2.136E+02
14	7.000E+02	2.209E-04	3.877E-04	-7.752E+01	-4.385E+02
15	7.500E+02	4.831E-02	8.477E-02	-3.102E+01	-4.177E+02
16	8.000E+02	1.390E-04	2.439E-04	1.177E+02	-2.948E+02
17	8.500E+02	1.484E-02	2.604E-02	-1.369E+02	-5.752E+02
18	9.000E+02	6.728E-05	1.181E-04	7.060E+01	-3.935E+02
19	9.500E+02	2.320E-02	4.071E-02	1.318E+02	-3.580E+02

TOTAL HARMONIC DISTORTION = 1.437756E+02 PERCENT

•R = 5 Ω y L = 4 mHy

FOURIER COMPONENTS OF TRANSIENT RESPONSE I(R\_P)

DC COMPONENT = -1.942763E-04

HARMONIC NO	FREQUENCY (HZ)	FOURIER COMPONENT	NORMALIZED COMPONENT	PHASE (DEG)	NORMALIZED PHASE (DEG)
1	5.000E+01	5.618E-01	1.000E+00	2.145E+01	0.000E+00
2	1.000E+02	3.441E-04	6.125E-04	5.231E+01	9.408E+00
3	1.500E+02	4.871E-01	8.670E-01	-1.675E+02	-2.318E+02
4	2.000E+02	3.781E-04	6.729E-04	-1.578E+02	-2.436E+02
5	2.500E+02	4.198E-01	7.472E-01	2.062E+01	-8.663E+01
6	3.000E+02	3.646E-04	6.490E-04	-4.028E+01	-1.690E+02
7	3.500E+02	3.316E-01	5.903E-01	-1.518E+02	-3.019E+02
8	4.000E+02	1.122E-04	1.997E-04	1.109E+02	-6.072E+01
9	4.500E+02	2.353E-01	4.188E-01	3.496E+01	-1.581E+02
10	5.000E+02	1.534E-04	2.730E-04	-7.762E+01	-2.921E+02
11	5.500E+02	1.440E-01	2.563E-01	-1.401E+02	-3.761E+02
12	6.000E+02	1.085E-04	1.932E-04	9.985E+01	-1.576E+02
13	6.500E+02	6.837E-02	1.217E-01	3.959E+01	-2.393E+02
14	7.000E+02	2.714E-04	4.831E-04	-1.208E+02	-4.211E+02
15	7.500E+02	1.930E-02	3.436E-02	-1.743E+02	-4.961E+02
16	8.000E+02	3.333E-04	5.932E-04	-4.302E+00	-3.475E+02
17	8.500E+02	2.498E-02	4.446E-02	-8.179E+01	-4.465E+02
18	9.000E+02	2.819E-04	5.017E-04	1.531E+02	-2.330E+02
19	9.500E+02	3.413E-02	6.074E-02	8.583E+01	-3.217E+02

TOTAL HARMONIC DISTORTION = 1.386055E+02 PERCENT

•R = 5 Ω y L = 10 mHy

FOURIER COMPONENTS OF TRANSIENT RESPONSE I(R\_P)

DC COMPONENT = 6.564215E-03

HARMONIC NO	FREQUENCY (HZ)	FOURIER COMPONENT	NORMALIZED COMPONENT	PHASE (DEG)	NORMALIZED PHASE (DEG)
1	5.000E+01	5.464E-01	1.000E+00	1.495E+01	0.000E+00
2	1.000E+02	1.262E-02	2.310E-02	-7.444E+01	-1.043E+02



3	1.500E+02	4.747E-01	8.688E-01	1.711E+02	1.263E+02
4	2.000E+02	1.102E-02	2.016E-02	1.203E+02	6.051E+01
5	2.500E+02	3.806E-01	6.967E-01	-1.583E+01	-9.057E+01
6	3.000E+02	8.294E-03	1.518E-02	-4.522E+01	-1.349E+02
7	3.500E+02	2.659E-01	4.866E-01	1.551E+02	5.048E+01
8	4.000E+02	5.221E-03	9.556E-03	1.451E+02	2.552E+01
9	4.500E+02	1.541E-01	2.820E-01	-3.870E+01	-1.732E+02
10	5.000E+02	1.953E-03	3.575E-03	-1.522E+01	-1.647E+02
11	5.500E+02	6.846E-02	1.253E-01	1.120E+02	-5.246E+01
12	6.000E+02	8.077E-04	1.478E-03	-1.688E+01	-1.963E+02
13	6.500E+02	3.899E-02	7.136E-02	-1.442E+02	-3.385E+02
14	7.000E+02	1.575E-03	2.882E-03	1.626E+02	-4.667E+01
15	7.500E+02	5.130E-02	9.390E-02	-1.707E+01	-2.413E+02
16	8.000E+02	1.952E-03	3.573E-03	-5.913E+00	-2.451E+02
17	8.500E+02	5.311E-02	9.720E-02	1.307E+02	-1.234E+02
18	9.000E+02	5.302E-04	9.704E-04	9.651E+01	-1.726E+02
19	9.500E+02	4.422E-02	8.094E-02	-9.111E+01	-3.751E+02

TOTAL HARMONIC DISTORTION = 1.266250E+02 PERCENT

•R = 5  $\Omega$  y L = 16 mHy

FOURIER COMPONENTS OF TRANSIENT RESPONSE I(R\_P)

DC COMPONENT = -1.663806E-02

HARMONIC NO	FREQUENCY (HZ)	FOURIER COMPONENT	NORMALIZED COMPONENT	PHASE (DEG)	NORMALIZED PHASE (DEG)
1	5.000E+01	5.178E-01	1.000E+00	1.298E+01	0.000E+00
2	1.000E+02	3.127E-02	6.040E-02	9.352E+01	6.757E+01
3	1.500E+02	4.386E-01	8.471E-01	1.619E+02	1.229E+02
4	2.000E+02	2.356E-02	4.550E-02	-8.259E+01	-1.345E+02
5	2.500E+02	3.258E-01	6.292E-01	-3.316E+01	-9.804E+01
6	3.000E+02	1.416E-02	2.735E-02	1.019E+02	2.407E+01
7	3.500E+02	2.058E-01	3.974E-01	1.263E+02	3.544E+01
8	4.000E+02	5.006E-03	9.669E-03	-7.118E+01	-1.750E+02
9	4.500E+02	1.094E-01	2.113E-01	-8.597E+01	-2.027E+02
10	5.000E+02	1.540E-03	2.975E-03	-1.194E+02	-2.492E+02
11	5.500E+02	5.479E-02	1.058E-01	3.648E+01	-1.063E+02
12	6.000E+02	3.730E-03	7.204E-03	9.332E+01	-6.239E+01
13	6.500E+02	5.227E-02	1.010E-01	1.355E+02	-3.314E+01
14	7.000E+02	2.510E-03	4.847E-03	-8.292E+01	-2.646E+02
15	7.500E+02	7.492E-02	1.447E-01	-9.855E+01	-2.932E+02
16	8.000E+02	6.060E-04	1.170E-03	-1.718E+01	-2.248E+02
17	8.500E+02	1.002E-01	1.935E-01	3.843E+01	-1.822E+02
18	9.000E+02	7.142E-03	1.379E-02	7.511E+01	-1.584E+02
19	9.500E+02	1.787E-01	3.451E-01	6.964E+01	-1.769E+02

TOTAL HARMONIC DISTORTION = 1.233561E+02 PERCENT



3) Los valores de salida del Pspice de las simulaciones realizadas para 1 a 9 LFC usando el modelo real de las lámparas en una red  $R = 4 \Omega$  y  $L = 0.5 \text{ mHy}$  son:

### 1 Lámpara

FOURIER COMPONENTS OF TRANSIENT RESPONSE I(R\_P)

DC COMPONENT = 1.024653E-04

HARMONIC NO	FREQUENCY (HZ)	FOURIER COMPONENT	NORMALIZED COMPONENT	PHASE (DEG)	NORMALIZED PHASE (DEG)
1	5.000E+01	6.535E-02	1.000E+00	3.273E+01	0.000E+00
2	1.000E+02	2.047E-04	3.132E-03	-4.263E+01	-1.081E+02
3	1.500E+02	5.393E-02	8.252E-01	-1.288E+02	-2.270E+02
4	2.000E+02	2.040E-04	3.122E-03	-1.752E+02	-3.061E+02
5	2.500E+02	4.738E-02	7.249E-01	8.631E+01	-7.732E+01
6	3.000E+02	2.031E-04	3.108E-03	5.226E+01	-1.441E+02
7	3.500E+02	3.883E-02	5.941E-01	-5.661E+01	-2.857E+02
8	4.000E+02	2.020E-04	3.091E-03	-8.024E+01	-3.420E+02
9	4.500E+02	2.965E-02	4.537E-01	1.640E+02	-1.305E+02
10	5.000E+02	2.009E-04	3.073E-03	1.472E+02	-1.801E+02
11	5.500E+02	2.146E-02	3.284E-01	3.101E+01	-3.290E+02
12	6.000E+02	1.992E-04	3.048E-03	1.464E+01	-3.781E+02
13	6.500E+02	1.596E-02	2.443E-01	-9.281E+01	-5.182E+02
14	7.000E+02	1.970E-04	3.014E-03	-1.179E+02	-5.761E+02
15	7.500E+02	1.398E-02	2.140E-01	1.486E+02	-3.423E+02
16	8.000E+02	1.943E-04	2.974E-03	1.096E+02	-4.140E+02
17	8.500E+02	1.405E-02	2.149E-01	2.528E+01	-5.310E+02
18	9.000E+02	1.917E-04	2.933E-03	-2.271E+01	-6.118E+02
19	9.500E+02	1.409E-02	2.157E-01	-1.041E+02	-7.258E+02

TOTAL HARMONIC DISTORTION = 1.439200E+02 PERCENT

FOURIER COMPONENTS OF TRANSIENT RESPONSE V(1)

DC COMPONENT = 5.738265E-04

HARMONIC NO	FREQUENCY (HZ)	FOURIER COMPONENT	NORMALIZED COMPONENT	PHASE (DEG)	NORMALIZED PHASE (DEG)
1	5.000E+01	3.109E+02	1.000E+00	-2.774E-02	0.000E+00
2	1.000E+02	1.198E-03	3.852E-06	-4.451E+01	-4.446E+01
3	1.500E+02	2.174E-01	6.993E-04	5.834E+01	5.842E+01
4	2.000E+02	1.212E-03	3.900E-06	1.776E+02	1.777E+02
5	2.500E+02	1.939E-01	6.237E-04	-8.189E+01	-8.176E+01
6	3.000E+02	1.238E-03	3.983E-06	4.166E+01	4.182E+01
7	3.500E+02	1.623E-01	5.219E-04	1.396E+02	1.398E+02
8	4.000E+02	1.246E-03	4.008E-06	-9.594E+01	-9.572E+01
9	4.500E+02	1.270E-01	4.085E-04	4.348E+00	4.597E+00
10	5.000E+02	1.236E-03	3.977E-06	1.262E+02	1.265E+02
11	5.500E+02	9.438E-02	3.036E-04	-1.247E+02	-1.244E+02
12	6.000E+02	1.183E-03	3.806E-06	-9.600E+00	-9.267E+00
13	6.500E+02	7.242E-02	2.329E-04	1.155E+02	1.158E+02
14	7.000E+02	1.141E-03	3.670E-06	-1.433E+02	-1.429E+02
15	7.500E+02	6.603E-02	2.124E-04	6.222E-01	1.038E+00
16	8.000E+02	1.166E-03	3.749E-06	8.460E+01	8.505E+01
17	8.500E+02	6.914E-02	2.224E-04	-1.196E+02	-1.191E+02
18	9.000E+02	1.226E-03	3.944E-06	-4.966E+01	-4.917E+01
19	9.500E+02	7.207E-02	2.318E-04	1.139E+02	1.144E+02



TOTAL HARMONIC DISTORTION = 1.269723E-01 PERCENT

## 2 Lámparas

FOURIER COMPONENTS OF TRANSIENT RESPONSE I(R\_P)

DC COMPONENT = -1.446203E-05

HARMONIC NO	FREQUENCY (HZ)	FOURIER COMPONENT	NORMALIZED COMPONENT	PHASE (DEG)	NORMALIZED PHASE (DEG)
1	5.000E+01	1.302E-01	1.000E+00	3.228E+01	0.000E+00
2	1.000E+02	3.903E-05	2.997E-04	8.222E+01	1.767E+01
3	1.500E+02	1.078E-01	8.276E-01	-1.305E+02	-2.273E+02
4	2.000E+02	5.997E-05	4.605E-04	-8.128E+01	-2.104E+02
5	2.500E+02	9.488E-02	7.286E-01	8.353E+01	-7.785E+01
6	3.000E+02	8.443E-05	6.483E-04	1.259E+02	-6.780E+01
7	3.500E+02	7.805E-02	5.993E-01	-6.049E+01	-2.864E+02
8	4.000E+02	1.115E-04	8.563E-04	-2.253E+01	-2.807E+02
9	4.500E+02	5.998E-02	4.605E-01	1.590E+02	-1.315E+02
10	5.000E+02	1.417E-04	1.088E-03	-1.692E+02	-4.919E+02
11	5.500E+02	4.389E-02	3.371E-01	2.478E+01	-3.303E+02
12	6.000E+02	1.748E-04	1.342E-03	4.462E+01	-3.427E+02
13	6.500E+02	3.319E-02	2.548E-01	-1.007E+02	-5.203E+02
14	7.000E+02	2.090E-04	1.605E-03	-1.019E+02	-5.537E+02
15	7.500E+02	2.937E-02	2.255E-01	1.383E+02	-3.458E+02
16	8.000E+02	2.408E-04	1.849E-03	1.112E+02	-4.052E+02
17	8.500E+02	2.951E-02	2.266E-01	1.277E+01	-5.359E+02
18	9.000E+02	2.661E-04	2.043E-03	-3.616E+01	-6.171E+02
19	9.500E+02	2.971E-02	2.281E-01	-1.185E+02	-7.317E+02

TOTAL HARMONIC DISTORTION = 1.455984E+02 PERCENT

FOURIER COMPONENTS OF TRANSIENT RESPONSE V(1)

DC COMPONENT = -3.546232E-04

HARMONIC NO	FREQUENCY (HZ)	FOURIER COMPONENT	NORMALIZED COMPONENT	PHASE (DEG)	NORMALIZED PHASE (DEG)
1	5.000E+01	3.107E+02	1.000E+00	-5.455E-02	0.000E+00
2	1.000E+02	8.043E-04	2.589E-06	1.631E+02	1.632E+02
3	1.500E+02	4.349E-01	1.400E-03	5.626E+01	5.642E+01
4	2.000E+02	1.101E-03	3.544E-06	4.427E+01	4.449E+01
5	2.500E+02	3.875E-01	1.247E-03	-8.529E+01	-8.502E+01
6	3.000E+02	1.392E-03	4.479E-06	-8.387E+01	-8.354E+01
7	3.500E+02	3.243E-01	1.044E-03	1.349E+02	1.353E+02
8	4.000E+02	1.642E-03	5.283E-06	1.445E+02	1.450E+02
9	4.500E+02	2.546E-01	8.195E-04	-1.412E+00	-9.206E-01
10	5.000E+02	1.837E-03	5.912E-06	1.171E+01	1.225E+01
11	5.500E+02	1.910E-01	6.148E-04	-1.316E+02	-1.310E+02
12	6.000E+02	1.980E-03	6.372E-06	-1.220E+02	-1.213E+02
13	6.500E+02	1.490E-01	4.795E-04	1.069E+02	1.076E+02
14	7.000E+02	2.076E-03	6.682E-06	1.042E+02	1.049E+02
15	7.500E+02	1.371E-01	4.412E-04	-1.046E+01	-9.644E+00
16	8.000E+02	2.124E-03	6.835E-06	-2.979E+01	-2.892E+01
17	8.500E+02	1.434E-01	4.614E-04	-1.329E+02	-1.320E+02
18	9.000E+02	2.154E-03	6.933E-06	-1.642E+02	-1.632E+02



19 9.500E+02 1.498E-01 4.821E-04 9.867E+01 9.971E+01

TOTAL HARMONIC DISTORTION = 2.554288E-01 PERCENT

### 3 Lámparas

#### FOURIER COMPONENTS OF TRANSIENT RESPONSE I(R\_P)

DC COMPONENT = 5.411149E-06

HARMONIC NO	FREQUENCY (HZ)	FOURIER COMPONENT	NORMALIZED COMPONENT	PHASE (DEG)	NORMALIZED PHASE (DEG)
1	5.000E+01	1.948E-01	1.000E+00	3.184E+01	0.000E+00
2	1.000E+02	1.308E-05	6.712E-05	-2.357E+01	-8.726E+01
3	1.500E+02	1.617E-01	8.300E-01	-1.321E+02	-2.276E+02
4	2.000E+02	1.765E-05	9.063E-05	-1.560E+02	-2.834E+02
5	2.500E+02	1.426E-01	7.319E-01	8.088E+01	-7.834E+01
6	3.000E+02	2.121E-05	1.089E-04	6.187E+01	-1.292E+02
7	3.500E+02	1.176E-01	6.038E-01	-6.431E+01	-2.872E+02
8	4.000E+02	2.145E-05	1.101E-04	-8.273E+01	-3.375E+02
9	4.500E+02	9.077E-02	4.660E-01	1.539E+02	-1.327E+02
10	5.000E+02	1.902E-05	9.767E-05	1.339E+02	-1.845E+02
11	5.500E+02	6.677E-02	3.428E-01	1.812E+01	-3.322E+02
12	6.000E+02	1.436E-05	7.373E-05	5.857E-01	-3.815E+02
13	6.500E+02	5.057E-02	2.596E-01	-1.093E+02	-5.233E+02
14	7.000E+02	1.194E-05	6.131E-05	-1.146E+02	-5.604E+02
15	7.500E+02	4.451E-02	2.285E-01	1.277E+02	-3.500E+02
16	8.000E+02	1.520E-05	7.804E-05	1.306E+02	-3.789E+02
17	8.500E+02	4.450E-02	2.284E-01	2.218E-01	-5.411E+02
18	9.000E+02	2.053E-05	1.054E-04	-2.750E+00	-5.759E+02
19	9.500E+02	4.462E-02	2.290E-01	-1.334E+02	-7.385E+02

TOTAL HARMONIC DISTORTION = 1.465622E+02 PERCENT

#### FOURIER COMPONENTS OF TRANSIENT RESPONSE V(1)

DC COMPONENT = -9.649937E-04

HARMONIC NO	FREQUENCY (HZ)	FOURIER COMPONENT	NORMALIZED COMPONENT	PHASE (DEG)	NORMALIZED PHASE (DEG)
1	5.000E+01	3.105E+02	1.000E+00	-8.091E-02	0.000E+00
2	1.000E+02	1.523E-03	4.907E-06	-1.471E+02	-1.470E+02
3	1.500E+02	6.496E-01	2.092E-03	5.474E+01	5.498E+01
4	2.000E+02	7.086E-04	2.282E-06	1.641E+02	1.644E+02
5	2.500E+02	5.808E-01	1.871E-03	-8.802E+01	-8.762E+01
6	3.000E+02	2.413E-04	7.772E-07	-1.528E+02	-1.523E+02
7	3.500E+02	4.882E-01	1.572E-03	1.311E+02	1.317E+02
8	4.000E+02	4.220E-04	1.359E-06	1.799E+02	1.806E+02
9	4.500E+02	3.849E-01	1.240E-03	-6.633E+00	-5.905E+00
10	5.000E+02	1.063E-04	3.423E-07	1.556E+02	1.564E+02
11	5.500E+02	2.910E-01	9.373E-04	-1.385E+02	-1.376E+02
12	6.000E+02	2.300E-04	7.407E-07	-1.570E+02	-1.561E+02
13	6.500E+02	2.272E-01	7.319E-04	9.791E+01	9.896E+01
14	7.000E+02	1.999E-04	6.437E-07	1.714E+02	1.725E+02
15	7.500E+02	2.074E-01	6.679E-04	-2.155E+01	-2.033E+01
16	8.000E+02	6.089E-05	1.961E-07	1.370E+02	1.383E+02
17	8.500E+02	2.158E-01	6.950E-04	-1.459E+02	-1.445E+02
18	9.000E+02	2.297E-04	7.398E-07	-1.378E+02	-1.363E+02



19 9.500E+02 2.248E-01 7.239E-04 8.349E+01 8.502E+01

TOTAL HARMONIC DISTORTION = 3.841143E-01 PERCENT

#### 4 Lámparas

##### FOURIER COMPONENTS OF TRANSIENT RESPONSE I(R\_P)

DC COMPONENT = 2.683260E-05

HARMONIC NO	FREQUENCY (HZ)	FOURIER COMPONENT	NORMALIZED COMPONENT	PHASE (DEG)	NORMALIZED PHASE (DEG)
1	5.000E+01	2.591E-01	1.000E+00	3.140E+01	0.000E+00
2	1.000E+02	5.798E-05	2.238E-04	-4.505E+01	-1.079E+02
3	1.500E+02	2.155E-01	8.318E-01	-1.337E+02	-2.279E+02
4	2.000E+02	6.709E-05	2.589E-04	1.734E+02	4.776E+01
5	2.500E+02	1.901E-01	7.337E-01	7.823E+01	-7.878E+01
6	3.000E+02	7.499E-05	2.894E-04	2.546E+01	-1.630E+02
7	3.500E+02	1.569E-01	6.057E-01	-6.807E+01	-2.879E+02
8	4.000E+02	7.728E-05	2.983E-04	-1.256E+02	-3.768E+02
9	4.500E+02	1.213E-01	4.683E-01	1.489E+02	-1.337E+02
10	5.000E+02	6.994E-05	2.700E-04	8.031E+01	-2.337E+02
11	5.500E+02	8.947E-02	3.453E-01	1.163E+01	-3.338E+02
12	6.000E+02	5.176E-05	1.998E-04	-7.734E+01	-4.542E+02
13	6.500E+02	6.770E-02	2.613E-01	-1.178E+02	-5.260E+02
14	7.000E+02	2.408E-05	9.294E-05	1.098E+02	-3.298E+02
15	7.500E+02	5.879E-02	2.269E-01	1.170E+02	-3.540E+02
16	8.000E+02	2.301E-05	8.880E-05	-1.571E+02	-6.596E+02
17	8.500E+02	5.751E-02	2.220E-01	-1.236E+01	-5.462E+02
18	9.000E+02	6.221E-05	2.401E-04	2.577E+01	-5.395E+02
19	9.500E+02	5.627E-02	2.172E-01	-1.478E+02	-7.444E+02

TOTAL HARMONIC DISTORTION = 1.466880E+02 PERCENT

##### FOURIER COMPONENTS OF TRANSIENT RESPONSE V(1)

DC COMPONENT = 1.029400E-04

HARMONIC NO	FREQUENCY (HZ)	FOURIER COMPONENT	NORMALIZED COMPONENT	PHASE (DEG)	NORMALIZED PHASE (DEG)
1	5.000E+01	3.103E+02	1.000E+00	-1.063E-01	0.000E+00
2	1.000E+02	2.276E-04	7.336E-07	-7.040E+01	-7.019E+01
3	1.500E+02	8.693E-01	2.802E-03	5.313E+01	5.345E+01
4	2.000E+02	2.517E-04	8.113E-07	1.163E+02	1.167E+02
5	2.500E+02	7.764E-01	2.502E-03	-9.056E+01	-9.003E+01
6	3.000E+02	2.736E-04	8.820E-07	-6.036E+01	-5.972E+01
7	3.500E+02	6.524E-01	2.103E-03	1.274E+02	1.282E+02
8	4.000E+02	3.192E-04	1.029E-06	1.234E+02	1.242E+02
9	4.500E+02	5.156E-01	1.662E-03	-1.146E+01	-1.051E+01
10	5.000E+02	3.449E-04	1.112E-06	-4.494E+01	-4.388E+01
11	5.500E+02	3.902E-01	1.258E-03	-1.448E+02	-1.436E+02
12	6.000E+02	3.195E-04	1.030E-06	1.545E+02	1.558E+02
13	6.500E+02	3.042E-01	9.806E-04	8.962E+01	9.100E+01
14	7.000E+02	2.447E-04	7.888E-07	7.056E+00	8.544E+00
15	7.500E+02	2.738E-01	8.824E-04	-3.191E+01	-3.032E+01
16	8.000E+02	1.611E-04	5.194E-07	-1.147E+02	-1.130E+02
17	8.500E+02	2.783E-01	8.970E-04	-1.580E+02	-1.562E+02
18	9.000E+02	1.763E-04	5.681E-07	1.403E+02	1.422E+02



19 9.500E+02 2.831E-01 9.124E-04 6.956E+01 7.158E+01

TOTAL HARMONIC DISTORTION = 5.123882E-01 PERCENT

## 5 Lámparas

FOURIER COMPONENTS OF TRANSIENT RESPONSE I(R\_P)

DC COMPONENT = 4.375428E-05

HARMONIC NO	FREQUENCY (HZ)	FOURIER COMPONENT	NORMALIZED COMPONENT	PHASE (DEG)	NORMALIZED PHASE (DEG)
1	5.000E+01	3.230E-01	1.000E+00	3.098E+01	0.000E+00
2	1.000E+02	8.001E-05	2.477E-04	-5.457E+01	-1.165E+02
3	1.500E+02	2.692E-01	8.332E-01	-1.352E+02	-2.281E+02
4	2.000E+02	6.766E-05	2.094E-04	1.725E+02	4.858E+01
5	2.500E+02	2.373E-01	7.346E-01	7.566E+01	-7.923E+01
6	3.000E+02	7.251E-05	2.245E-04	4.956E+01	-1.363E+02
7	3.500E+02	1.958E-01	6.060E-01	-7.176E+01	-2.886E+02
8	4.000E+02	9.503E-05	2.942E-04	-8.569E+01	-3.335E+02
9	4.500E+02	1.512E-01	4.680E-01	1.440E+02	-1.348E+02
10	5.000E+02	1.128E-04	3.491E-04	1.287E+02	-1.811E+02
11	5.500E+02	1.111E-01	3.440E-01	5.115E+00	-3.357E+02
12	6.000E+02	1.155E-04	3.577E-04	-1.861E+01	-3.904E+02
13	6.500E+02	8.305E-02	2.571E-01	-1.262E+02	-5.289E+02
14	7.000E+02	1.055E-04	3.267E-04	-1.617E+02	-5.954E+02
15	7.500E+02	7.029E-02	2.176E-01	1.070E+02	-3.577E+02
16	8.000E+02	9.462E-05	2.929E-04	6.158E+01	-4.341E+02
17	8.500E+02	6.685E-02	2.069E-01	-2.330E+01	-5.499E+02
18	9.000E+02	9.026E-05	2.794E-04	-7.381E+01	-6.314E+02
19	9.500E+02	6.370E-02	1.972E-01	-1.596E+02	-7.482E+02

TOTAL HARMONIC DISTORTION = 1.460630E+02 PERCENT

FOURIER COMPONENTS OF TRANSIENT RESPONSE V(1)

DC COMPONENT = -2.984003E-04

HARMONIC NO	FREQUENCY (HZ)	FOURIER COMPONENT	NORMALIZED COMPONENT	PHASE (DEG)	NORMALIZED PHASE (DEG)
1	5.000E+01	3.100E+02	1.000E+00	-1.311E-01	0.000E+00
2	1.000E+02	5.446E-04	1.757E-06	1.218E+02	1.221E+02
3	1.500E+02	1.086E+00	3.503E-03	5.160E+01	5.200E+01
4	2.000E+02	3.676E-04	1.186E-06	-2.009E+01	-1.957E+01
5	2.500E+02	9.690E-01	3.126E-03	-9.312E+01	-9.246E+01
6	3.000E+02	2.634E-04	8.497E-07	-1.284E+02	-1.276E+02
7	3.500E+02	8.136E-01	2.624E-03	1.238E+02	1.247E+02
8	4.000E+02	4.211E-04	1.358E-06	1.159E+02	1.170E+02
9	4.500E+02	6.425E-01	2.072E-03	-1.635E+01	-1.517E+01
10	5.000E+02	5.765E-04	1.860E-06	-2.988E+01	-2.857E+01
11	5.500E+02	4.849E-01	1.564E-03	-1.513E+02	-1.498E+02
12	6.000E+02	5.947E-04	1.918E-06	1.760E+02	1.776E+02
13	6.500E+02	3.735E-01	1.205E-03	8.125E+01	8.296E+01
14	7.000E+02	4.340E-04	1.400E-06	2.607E+01	2.791E+01
15	7.500E+02	3.273E-01	1.056E-03	-4.189E+01	-3.993E+01
16	8.000E+02	1.951E-04	6.292E-07	-9.099E+01	-8.889E+01
17	8.500E+02	3.233E-01	1.043E-03	-1.689E+02	-1.667E+02



18	9.000E+02	3.480E-04	1.123E-06	-1.751E+02	-1.728E+02
19	9.500E+02	3.201E-01	1.032E-03	5.780E+01	6.030E+01

TOTAL HARMONIC DISTORTION = 6.354934E-01 PERCENT

## 6 Lámparas

FOURIER COMPONENTS OF TRANSIENT RESPONSE I(R\_P)

DC COMPONENT = 6.283013E-05

HARMONIC NO	FREQUENCY (HZ)	FOURIER COMPONENT	NORMALIZED COMPONENT	PHASE (DEG)	NORMALIZED PHASE (DEG)
1	5.000E+01	3.867E-01	1.000E+00	3.057E+01	0.000E+00
2	1.000E+02	1.326E-04	3.429E-04	-5.502E+01	-1.162E+02
3	1.500E+02	3.226E-01	8.343E-01	-1.366E+02	-2.284E+02
4	2.000E+02	1.494E-04	3.863E-04	1.591E+02	3.683E+01
5	2.500E+02	2.841E-01	7.346E-01	7.318E+01	-7.969E+01
6	3.000E+02	1.680E-04	4.344E-04	1.275E+01	-1.707E+02
7	3.500E+02	2.338E-01	6.047E-01	-7.535E+01	-2.894E+02
8	4.000E+02	1.833E-04	4.740E-04	-1.314E+02	-3.760E+02
9	4.500E+02	1.798E-01	4.650E-01	1.391E+02	-1.361E+02
10	5.000E+02	1.949E-04	5.040E-04	8.764E+01	-2.181E+02
11	5.500E+02	1.310E-01	3.387E-01	-1.256E+00	-3.376E+02
12	6.000E+02	2.077E-04	5.372E-04	-5.076E+01	-4.177E+02
13	6.500E+02	9.591E-02	2.480E-01	-1.342E+02	-5.316E+02
14	7.000E+02	2.218E-04	5.735E-04	1.721E+02	-2.560E+02
15	7.500E+02	7.865E-02	2.034E-01	9.817E+01	-3.604E+02
16	8.000E+02	2.347E-04	6.070E-04	3.515E+01	-4.540E+02
17	8.500E+02	7.284E-02	1.884E-01	-3.238E+01	-5.521E+02
18	9.000E+02	2.439E-04	6.308E-04	-1.018E+02	-6.521E+02
19	9.500E+02	6.792E-02	1.756E-01	-1.689E+02	-7.498E+02

TOTAL HARMONIC DISTORTION = 1.449651E+02 PERCENT

FOURIER COMPONENTS OF TRANSIENT RESPONSE V(1)

DC COMPONENT = -4.366915E-04

HARMONIC NO	FREQUENCY (HZ)	FOURIER COMPONENT	NORMALIZED COMPONENT	PHASE (DEG)	NORMALIZED PHASE (DEG)
1	5.000E+01	3.098E+02	1.000E+00	-1.554E-01	0.000E+00
2	1.000E+02	1.019E-03	3.289E-06	1.429E+02	1.432E+02
3	1.500E+02	1.301E+00	4.201E-03	5.015E+01	5.062E+01
4	2.000E+02	1.247E-03	4.026E-06	3.116E+00	3.737E+00
5	2.500E+02	1.160E+00	3.743E-03	-9.559E+01	-9.481E+01
6	3.000E+02	1.309E-03	4.224E-06	-1.432E+02	-1.423E+02
7	3.500E+02	9.715E-01	3.136E-03	1.202E+02	1.213E+02
8	4.000E+02	1.138E-03	3.672E-06	7.144E+01	7.268E+01
9	4.500E+02	7.639E-01	2.465E-03	-2.121E+01	-1.981E+01
10	5.000E+02	8.562E-04	2.764E-06	-5.982E+01	-5.826E+01
11	5.500E+02	5.711E-01	1.843E-03	-1.576E+02	-1.559E+02
12	6.000E+02	8.675E-04	2.800E-06	-1.749E+02	-1.730E+02
13	6.500E+02	4.309E-01	1.391E-03	7.335E+01	7.537E+01
14	7.000E+02	1.159E-03	3.742E-06	5.430E+01	5.647E+01
15	7.500E+02	3.659E-01	1.181E-03	-5.067E+01	-4.834E+01
16	8.000E+02	1.349E-03	4.354E-06	-8.899E+01	-8.650E+01
17	8.500E+02	3.521E-01	1.137E-03	-1.779E+02	-1.753E+02





18	9.000E+02	1.303E-03	4.206E-06	1.261E+02	1.289E+02
19	9.500E+02	3.414E-01	1.102E-03	4.856E+01	5.151E+01

TOTAL HARMONIC DISTORTION = 7.536696E-01 PERCENT

## 7 Lámparas

### FOURIER COMPONENTS OF TRANSIENT RESPONSE I(R\_P)

DC COMPONENT = 1.380466E-05

HARMONIC NO	FREQUENCY (HZ)	FOURIER COMPONENT	NORMALIZED COMPONENT	PHASE (DEG)	NORMALIZED PHASE (DEG)
1	5.000E+01	4.501E-01	1.000E+00	3.018E+01	0.000E+00
2	1.000E+02	3.091E-05	6.868E-05	-9.609E+01	-1.565E+02
3	1.500E+02	3.758E-01	8.350E-01	-1.380E+02	-2.286E+02
4	2.000E+02	3.041E-05	6.756E-05	1.121E+02	-8.596E+00
5	2.500E+02	3.302E-01	7.336E-01	7.080E+01	-8.013E+01
6	3.000E+02	3.822E-05	8.492E-05	3.344E+00	-1.778E+02
7	3.500E+02	2.707E-01	6.014E-01	-7.881E+01	-2.901E+02
8	4.000E+02	7.534E-05	1.674E-04	-1.259E+02	-3.674E+02
9	4.500E+02	2.066E-01	4.591E-01	1.344E+02	-1.372E+02
10	5.000E+02	1.159E-04	2.576E-04	8.732E+01	-2.145E+02
11	5.500E+02	1.483E-01	3.296E-01	-7.254E+00	-3.393E+02
12	6.000E+02	1.365E-04	3.034E-04	-5.982E+01	-4.220E+02
13	6.500E+02	1.057E-01	2.349E-01	-1.412E+02	-5.336E+02
14	7.000E+02	1.344E-04	2.986E-04	1.605E+02	-2.621E+02
15	7.500E+02	8.400E-02	1.867E-01	9.098E+01	-3.618E+02
16	8.000E+02	1.343E-04	2.984E-04	3.210E+01	-4.509E+02
17	8.500E+02	7.635E-02	1.696E-01	-3.915E+01	-5.523E+02
18	9.000E+02	1.588E-04	3.529E-04	-9.597E+01	-6.393E+02
19	9.500E+02	7.029E-02	1.562E-01	-1.756E+02	-7.491E+02

TOTAL HARMONIC DISTORTION = 1.435148E+02 PERCENT

### FOURIER COMPONENTS OF TRANSIENT RESPONSE V(1)

DC COMPONENT = -9.264929E-05

HARMONIC NO	FREQUENCY (HZ)	FOURIER COMPONENT	NORMALIZED COMPONENT	PHASE (DEG)	NORMALIZED PHASE (DEG)
1	5.000E+01	3.096E+02	1.000E+00	-1.790E-01	0.000E+00
2	1.000E+02	5.638E-04	1.821E-06	1.752E+02	1.756E+02
3	1.500E+02	1.515E+00	4.894E-03	4.873E+01	4.927E+01
4	2.000E+02	8.836E-04	2.854E-06	2.225E+01	2.297E+01
5	2.500E+02	1.347E+00	4.351E-03	-9.801E+01	-9.712E+01
6	3.000E+02	8.818E-04	2.848E-06	-1.318E+02	-1.307E+02
7	3.500E+02	1.124E+00	3.630E-03	1.167E+02	1.179E+02
8	4.000E+02	6.202E-04	2.003E-06	8.803E+01	8.946E+01
9	4.500E+02	8.771E-01	2.833E-03	-2.591E+01	-2.430E+01
10	5.000E+02	5.691E-04	1.838E-06	-1.650E+01	-1.471E+01
11	5.500E+02	6.466E-01	2.088E-03	-1.636E+02	-1.617E+02
12	6.000E+02	9.120E-04	2.946E-06	-1.475E+02	-1.453E+02
13	6.500E+02	4.752E-01	1.535E-03	6.620E+01	6.853E+01
14	7.000E+02	1.106E-03	3.573E-06	6.225E+01	6.475E+01
15	7.500E+02	3.910E-01	1.263E-03	-5.799E+01	-5.531E+01
16	8.000E+02	9.807E-04	3.167E-06	-8.792E+01	-8.505E+01



17	8.500E+02	3.689E-01	1.192E-03	1.752E+02	1.782E+02
18	9.000E+02	6.869E-04	2.219E-06	1.360E+02	1.393E+02
19	9.500E+02	3.530E-01	1.140E-03	4.176E+01	4.516E+01

TOTAL HARMONIC DISTORTION = 8.667076E-01 PERCENT

## 8 Lámparas

### FOURIER COMPONENTS OF TRANSIENT RESPONSE I(R\_P)

DC COMPONENT = 1.012498E-04

HARMONIC NO	FREQUENCY (HZ)	FOURIER COMPONENT	NORMALIZED COMPONENT	PHASE (DEG)	NORMALIZED PHASE (DEG)
1	5.000E+01	5.130E-01	1.000E+00	2.981E+01	0.000E+00
2	1.000E+02	2.029E-04	3.955E-04	-4.757E+01	-1.072E+02
3	1.500E+02	4.285E-01	8.353E-01	-1.394E+02	-2.288E+02
4	2.000E+02	2.066E-04	4.028E-04	1.744E+02	5.515E+01
5	2.500E+02	3.752E-01	7.315E-01	6.846E+01	-8.058E+01
6	3.000E+02	2.073E-04	4.040E-04	3.551E+01	-1.433E+02
7	3.500E+02	3.059E-01	5.963E-01	-8.217E+01	-2.908E+02
8	4.000E+02	2.004E-04	3.908E-04	-1.022E+02	-3.407E+02
9	4.500E+02	2.312E-01	4.508E-01	1.299E+02	-1.383E+02
10	5.000E+02	1.938E-04	3.778E-04	1.244E+02	-1.736E+02
11	5.500E+02	1.631E-01	3.179E-01	-1.293E+01	-3.408E+02
12	6.000E+02	2.063E-04	4.023E-04	-7.799E+00	-3.655E+02
13	6.500E+02	1.128E-01	2.198E-01	-1.477E+02	-5.352E+02
14	7.000E+02	2.266E-04	4.418E-04	-1.451E+02	-5.624E+02
15	7.500E+02	8.695E-02	1.695E-01	8.504E+01	-3.621E+02
16	8.000E+02	2.257E-04	4.400E-04	7.481E+01	-4.021E+02
17	8.500E+02	7.823E-02	1.525E-01	-4.436E+01	-5.511E+02
18	9.000E+02	2.053E-04	4.002E-04	-5.967E+01	-5.962E+02
19	9.500E+02	7.162E-02	1.396E-01	1.792E+02	-3.872E+02

TOTAL HARMONIC DISTORTION = 1.418587E+02 PERCENT

### FOURIER COMPONENTS OF TRANSIENT RESPONSE V(1)

DC COMPONENT = -1.119544E-04

HARMONIC NO	FREQUENCY (HZ)	FOURIER COMPONENT	NORMALIZED COMPONENT	PHASE (DEG)	NORMALIZED PHASE (DEG)
1	5.000E+01	3.094E+02	1.000E+00	-2.020E-01	0.000E+00
2	1.000E+02	1.526E-04	4.934E-07	9.388E+01	9.428E+01
3	1.500E+02	1.727E+00	5.583E-03	4.737E+01	4.797E+01
4	2.000E+02	1.632E-04	5.276E-07	3.661E+01	3.742E+01
5	2.500E+02	1.531E+00	4.950E-03	-1.003E+02	-9.933E+01
6	3.000E+02	4.307E-04	1.392E-06	-1.193E+02	-1.181E+02
7	3.500E+02	1.271E+00	4.107E-03	1.133E+02	1.147E+02
8	4.000E+02	5.022E-04	1.623E-06	6.837E+01	6.998E+01
9	4.500E+02	9.816E-01	3.173E-03	-3.048E+01	-2.866E+01
10	5.000E+02	2.620E-04	8.469E-07	-9.920E+01	-9.718E+01
11	5.500E+02	7.100E-01	2.295E-03	-1.694E+02	-1.671E+02
12	6.000E+02	2.357E-04	7.617E-07	-1.281E+02	-1.257E+02
13	6.500E+02	5.063E-01	1.636E-03	5.980E+01	6.243E+01
14	7.000E+02	7.062E-04	2.283E-06	7.110E+01	7.393E+01
15	7.500E+02	4.051E-01	1.310E-03	-6.391E+01	-6.088E+01



16	8.000E+02	8.866E-04	2.866E-06	-9.928E+01	-9.604E+01
17	8.500E+02	3.785E-01	1.223E-03	1.698E+02	1.733E+02
18	9.000E+02	6.555E-04	2.119E-06	9.358E+01	9.722E+01
19	9.500E+02	3.591E-01	1.161E-03	3.635E+01	4.019E+01

TOTAL HARMONIC DISTORTION = 9.752202E-01 PERCENT

## 9 Lámparas

FOURIER COMPONENTS OF TRANSIENT RESPONSE I(R\_P)

DC COMPONENT = 1.474989E-05

HARMONIC NO	FREQUENCY (HZ)	FOURIER COMPONENT	NORMALIZED COMPONENT	PHASE (DEG)	NORMALIZED PHASE (DEG)
1	5.000E+01	5.756E-01	1.000E+00	2.945E+01	0.000E+00
2	1.000E+02	4.423E-05	7.684E-05	-2.109E+00	-6.101E+01
3	1.500E+02	4.808E-01	8.353E-01	-1.407E+02	-2.291E+02
4	2.000E+02	6.260E-05	1.088E-04	-1.191E+02	-2.369E+02
5	2.500E+02	4.194E-01	7.287E-01	6.623E+01	-8.101E+01
6	3.000E+02	9.177E-05	1.594E-04	1.204E+02	-5.633E+01
7	3.500E+02	3.396E-01	5.900E-01	-8.538E+01	-2.915E+02
8	4.000E+02	1.339E-04	2.327E-04	-1.191E+01	-2.475E+02
9	4.500E+02	2.537E-01	4.408E-01	1.257E+02	-1.393E+02
10	5.000E+02	1.741E-04	3.024E-04	-1.518E+02	-4.463E+02
11	5.500E+02	1.753E-01	3.046E-01	-1.813E+01	-3.421E+02
12	6.000E+02	2.013E-04	3.497E-04	6.586E+01	-2.875E+02
13	6.500E+02	1.175E-01	2.041E-01	-1.532E+02	-5.360E+02
14	7.000E+02	2.071E-04	3.597E-04	-7.745E+01	-4.897E+02
15	7.500E+02	8.836E-02	1.535E-01	8.049E+01	-3.612E+02
16	8.000E+02	1.884E-04	3.273E-04	1.416E+02	-3.296E+02
17	8.500E+02	7.945E-02	1.380E-01	-4.810E+01	-5.487E+02
18	9.000E+02	1.584E-04	2.751E-04	9.135E+00	-5.209E+02
19	9.500E+02	7.262E-02	1.262E-01	1.752E+02	-3.843E+02

TOTAL HARMONIC DISTORTION = 1.401446E+02 PERCENT

FOURIER COMPONENTS OF TRANSIENT RESPONSE V(1)

DC COMPONENT = -7.457323E-04

HARMONIC NO	FREQUENCY (HZ)	FOURIER COMPONENT	NORMALIZED COMPONENT	PHASE (DEG)	NORMALIZED PHASE (DEG)
1	5.000E+01	3.092E+02	1.000E+00	-2.247E-01	0.000E+00
2	1.000E+02	1.738E-03	5.621E-06	-1.316E+01	-1.271E+01
3	1.500E+02	1.938E+00	6.268E-03	4.603E+01	4.671E+01
4	2.000E+02	8.476E-04	2.742E-06	-1.673E+02	-1.664E+02
5	2.500E+02	1.711E+00	5.535E-03	-1.026E+02	-1.015E+02
6	3.000E+02	1.568E-03	5.073E-06	1.746E+01	1.881E+01
7	3.500E+02	1.410E+00	4.561E-03	1.100E+02	1.116E+02
8	4.000E+02	8.598E-04	2.781E-06	-1.416E+02	-1.398E+02
9	4.500E+02	1.077E+00	3.483E-03	-3.475E+01	-3.273E+01
10	5.000E+02	4.755E-04	1.538E-06	4.083E+01	4.308E+01
11	5.500E+02	7.632E-01	2.469E-03	-1.746E+02	-1.721E+02
12	6.000E+02	5.349E-04	1.730E-06	1.307E+01	1.577E+01
13	6.500E+02	5.275E-01	1.706E-03	5.419E+01	5.711E+01
14	7.000E+02	8.767E-04	2.836E-06	-1.386E+02	-1.354E+02
15	7.500E+02	4.117E-01	1.332E-03	-6.853E+01	-6.516E+01



16	8.000E+02	1.182E-03	3.822E-06	4.362E+01	4.722E+01
17	8.500E+02	3.843E-01	1.243E-03	1.660E+02	1.698E+02
18	9.000E+02	8.063E-04	2.608E-06	-1.216E+02	-1.175E+02
19	9.500E+02	3.646E-01	1.179E-03	3.234E+01	3.661E+01

TOTAL HARMONIC DISTORTION = 1.079728E+00 PERCENT

#### 4) Los valores de salida del Pspice de las simulaciones realizadas para 1 a 9 LFC usando inyección con fuentes de corrientes en una red $R = 4 \Omega$ y $L = 0.5 \text{ mHy}$ son:

##### 1 Lámpara

FOURIER COMPONENTS OF TRANSIENT RESPONSE I(R\_P)

DC COMPONENT = -4.101349E-07

HARMONIC NO	FREQUENCY (HZ)	FOURIER COMPONENT	NORMALIZED COMPONENT	PHASE (DEG)	NORMALIZED PHASE (DEG)
1	5.000E+01	6.500E-02	1.000E+00	-1.580E+02	0.000E+00
2	1.000E+02	8.148E-07	1.254E-05	-9.025E+01	2.257E+02
3	1.500E+02	5.199E-02	7.999E-01	6.800E+01	5.420E+02
4	2.000E+02	8.150E-07	1.254E-05	-9.023E+01	5.418E+02
5	2.500E+02	3.698E-02	5.690E-01	-5.300E+01	7.370E+02
6	3.000E+02	8.165E-07	1.256E-05	-9.040E+01	8.576E+02
7	3.500E+02	3.097E-02	4.764E-01	-1.600E+02	9.460E+02
8	4.000E+02	8.150E-07	1.254E-05	-9.060E+01	1.173E+03
9	4.500E+02	2.995E-02	4.608E-01	8.400E+01	1.506E+03
10	5.000E+02	8.157E-07	1.255E-05	-9.061E+01	1.489E+03
11	5.500E+02	2.593E-02	3.990E-01	-3.500E+01	1.703E+03
12	6.000E+02	8.158E-07	1.255E-05	-9.088E+01	1.805E+03
13	6.500E+02	2.192E-02	3.373E-01	-1.500E+02	1.904E+03
14	7.000E+02	8.137E-07	1.252E-05	-9.093E+01	2.121E+03
15	7.500E+02	1.991E-02	3.062E-01	1.000E+02	2.470E+03
16	8.000E+02	8.143E-07	1.253E-05	-9.091E+01	2.437E+03
17	8.500E+02	1.789E-02	2.753E-01	-1.700E+01	2.669E+03
18	9.000E+02	8.246E-07	1.269E-05	-9.148E+01	2.753E+03
19	9.500E+02	1.588E-02	2.443E-01	-1.360E+02	2.866E+03

TOTAL HARMONIC DISTORTION = 1.380198E+02 PERCENT

FOURIER COMPONENTS OF TRANSIENT RESPONSE V(1)

DC COMPONENT = 2.808617E-06

HARMONIC NO	FREQUENCY (HZ)	FOURIER COMPONENT	NORMALIZED COMPONENT	PHASE (DEG)	NORMALIZED PHASE (DEG)
1	5.000E+01	3.114E+02	1.000E+00	1.966E-02	0.000E+00
2	1.000E+02	5.989E-06	1.924E-08	1.114E+02	1.113E+02
3	1.500E+02	2.094E-01	6.725E-04	-1.053E+02	-1.053E+02
4	2.000E+02	5.633E-06	1.809E-08	9.808E+01	9.801E+01
5	2.500E+02	1.508E-01	4.842E-04	1.381E+02	1.380E+02
6	3.000E+02	5.583E-06	1.793E-08	9.408E+01	9.396E+01
7	3.500E+02	1.285E-01	4.127E-04	3.539E+01	3.525E+01
8	4.000E+02	5.527E-06	1.775E-08	9.174E+01	9.158E+01
9	4.500E+02	1.271E-01	4.081E-04	-7.650E+01	-7.668E+01
10	5.000E+02	5.485E-06	1.762E-08	9.002E+01	8.982E+01



11	5.500E+02	1.130E-01	3.631E-04	1.684E+02	1.682E+02
12	6.000E+02	5.420E-06	1.741E-08	8.779E+01	8.755E+01
13	6.500E+02	9.853E-02	3.165E-04	5.713E+01	5.687E+01
14	7.000E+02	5.270E-06	1.693E-08	8.454E+01	8.427E+01
15	7.500E+02	9.252E-02	2.971E-04	-4.938E+01	-4.968E+01
16	8.000E+02	4.900E-06	1.574E-08	7.395E+01	7.364E+01
17	8.500E+02	8.620E-02	2.769E-04	-1.631E+02	-1.634E+02
18	9.000E+02	5.967E-06	1.916E-08	9.410E+01	9.375E+01
19	9.500E+02	7.946E-02	2.552E-04	8.093E+01	8.056E+01

TOTAL HARMONIC DISTORTION = 1.218847E-01 PERCENT

## 2 Lámparas

FOURIER COMPONENTS OF TRANSIENT RESPONSE I(R\_P)

DC COMPONENT = -6.823544E-07

HARMONIC NO	FREQUENCY (HZ)	FOURIER COMPONENT	NORMALIZED COMPONENT	PHASE (DEG)	NORMALIZED PHASE (DEG)
1	5.000E+01	1.330E-01	1.000E+00	-1.590E+02	0.000E+00
2	1.000E+02	1.356E-06	1.020E-05	-9.026E+01	2.277E+02
3	1.500E+02	1.050E-01	7.893E-01	6.700E+01	5.440E+02
4	2.000E+02	1.356E-06	1.020E-05	-9.023E+01	5.458E+02
5	2.500E+02	7.296E-02	5.486E-01	-5.300E+01	7.420E+02
6	3.000E+02	1.359E-06	1.022E-05	-9.039E+01	8.636E+02
7	3.500E+02	6.194E-02	4.657E-01	-1.600E+02	9.530E+02
8	4.000E+02	1.356E-06	1.020E-05	-9.060E+01	1.181E+03
9	4.500E+02	6.189E-02	4.654E-01	8.200E+01	1.513E+03
10	5.000E+02	1.358E-06	1.021E-05	-9.060E+01	1.499E+03
11	5.500E+02	5.287E-02	3.975E-01	-3.900E+01	1.710E+03
12	6.000E+02	1.357E-06	1.021E-05	-9.089E+01	1.817E+03
13	6.500E+02	4.285E-02	3.222E-01	-1.530E+02	1.914E+03
14	7.000E+02	1.354E-06	1.018E-05	-9.091E+01	2.135E+03
15	7.500E+02	3.882E-02	2.918E-01	9.500E+01	2.480E+03
16	8.000E+02	1.356E-06	1.019E-05	-9.090E+01	2.453E+03
17	8.500E+02	3.379E-02	2.541E-01	-2.300E+01	2.680E+03
18	9.000E+02	1.372E-06	1.032E-05	-9.144E+01	2.771E+03
19	9.500E+02	2.580E-02	1.940E-01	-1.380E+02	2.883E+03

TOTAL HARMONIC DISTORTION = 1.344113E+02 PERCENT

FOURIER COMPONENTS OF TRANSIENT RESPONSE V(1)

DC COMPONENT = 5.271644E-06

HARMONIC NO	FREQUENCY (HZ)	FOURIER COMPONENT	NORMALIZED COMPONENT	PHASE (DEG)	NORMALIZED PHASE (DEG)
1	5.000E+01	3.116E+02	1.000E+00	3.864E-02	0.000E+00
2	1.000E+02	1.070E-05	3.434E-08	1.017E+02	1.016E+02
3	1.500E+02	4.228E-01	1.357E-03	-1.063E+02	-1.064E+02
4	2.000E+02	1.051E-05	3.373E-08	9.426E+01	9.410E+01
5	2.500E+02	2.974E-01	9.545E-04	1.381E+02	1.379E+02
6	3.000E+02	1.049E-05	3.366E-08	9.202E+01	9.178E+01
7	3.500E+02	2.570E-01	8.246E-04	3.539E+01	3.512E+01
8	4.000E+02	1.043E-05	3.346E-08	9.069E+01	9.038E+01
9	4.500E+02	2.626E-01	8.428E-04	-7.851E+01	-7.885E+01



10	5.000E+02	1.039E-05	3.335E-08	8.982E+01	8.944E+01
11	5.500E+02	2.304E-01	7.395E-04	1.644E+02	1.640E+02
12	6.000E+02	1.033E-05	3.316E-08	8.852E+01	8.806E+01
13	6.500E+02	1.926E-01	6.180E-04	5.413E+01	5.363E+01
14	7.000E+02	1.016E-05	3.260E-08	8.681E+01	8.627E+01
15	7.500E+02	1.804E-01	5.790E-04	-5.438E+01	-5.496E+01
16	8.000E+02	9.714E-06	3.117E-08	8.166E+01	8.104E+01
17	8.500E+02	1.628E-01	5.225E-04	-1.691E+02	-1.698E+02
18	9.000E+02	1.089E-05	3.494E-08	9.171E+01	9.102E+01
19	9.500E+02	1.291E-01	4.144E-04	7.893E+01	7.820E+01

TOTAL HARMONIC DISTORTION = 2.418919E-01 PERCENT

### 3 Lámparas

FOURIER COMPONENTS OF TRANSIENT RESPONSE I(R\_P)

DC COMPONENT = -9.768815E-07

HARMONIC NO	FREQUENCY (HZ)	FOURIER COMPONENT	NORMALIZED COMPONENT	PHASE (DEG)	NORMALIZED PHASE (DEG)
1	5.000E+01	1.950E-01	1.000E+00	-1.590E+02	0.000E+00
2	1.000E+02	1.944E-06	9.971E-06	-9.023E+01	2.278E+02
3	1.500E+02	1.560E-01	7.999E-01	6.500E+01	5.420E+02
4	2.000E+02	1.943E-06	9.962E-06	-9.027E+01	5.457E+02
5	2.500E+02	1.089E-01	5.587E-01	-5.700E+01	7.380E+02
6	3.000E+02	1.945E-06	9.977E-06	-9.038E+01	8.636E+02
7	3.500E+02	9.290E-02	4.764E-01	-1.660E+02	9.470E+02
8	4.000E+02	1.944E-06	9.970E-06	-9.059E+01	1.181E+03
9	4.500E+02	9.184E-02	4.710E-01	7.600E+01	1.507E+03
10	5.000E+02	1.946E-06	9.977E-06	-9.066E+01	1.499E+03
11	5.500E+02	7.880E-02	4.041E-01	-4.700E+01	1.702E+03
12	6.000E+02	1.943E-06	9.965E-06	-9.091E+01	1.817E+03
13	6.500E+02	6.377E-02	3.271E-01	-1.620E+02	1.905E+03
14	7.000E+02	1.940E-06	9.949E-06	-9.091E+01	2.135E+03
15	7.500E+02	5.673E-02	2.909E-01	8.500E+01	2.470E+03
16	8.000E+02	1.942E-06	9.960E-06	-9.100E+01	2.453E+03
17	8.500E+02	4.970E-02	2.549E-01	-3.500E+01	2.668E+03
18	9.000E+02	1.965E-06	1.008E-05	-9.133E+01	2.771E+03
19	9.500E+02	3.970E-02	2.036E-01	-1.530E+02	2.868E+03

TOTAL HARMONIC DISTORTION = 1.364574E+02 PERCENT

FOURIER COMPONENTS OF TRANSIENT RESPONSE V(1)

DC COMPONENT = 4.570758E-06

HARMONIC NO	FREQUENCY (HZ)	FOURIER COMPONENT	NORMALIZED COMPONENT	PHASE (DEG)	NORMALIZED PHASE (DEG)
1	5.000E+01	3.118E+02	1.000E+00	5.661E-02	0.000E+00
2	1.000E+02	8.950E-06	2.870E-08	1.036E+02	1.035E+02
3	1.500E+02	6.282E-01	2.014E-03	-1.083E+02	-1.085E+02
4	2.000E+02	8.940E-06	2.867E-08	9.778E+01	9.756E+01
5	2.500E+02	4.441E-01	1.424E-03	1.341E+02	1.338E+02
6	3.000E+02	8.737E-06	2.802E-08	9.216E+01	9.183E+01
7	3.500E+02	3.854E-01	1.236E-03	2.939E+01	2.899E+01
8	4.000E+02	9.248E-06	2.965E-08	9.062E+01	9.017E+01



9	4.500E+02	3.897E-01	1.250E-03	-8.450E+01	-8.501E+01
10	5.000E+02	9.166E-06	2.939E-08	8.961E+01	8.904E+01
11	5.500E+02	3.435E-01	1.101E-03	1.564E+02	1.558E+02
12	6.000E+02	7.750E-06	2.485E-08	8.428E+01	8.360E+01
13	6.500E+02	2.866E-01	9.191E-04	4.513E+01	4.439E+01
14	7.000E+02	9.544E-06	3.060E-08	9.272E+01	9.193E+01
15	7.500E+02	2.637E-01	8.456E-04	-6.438E+01	-6.523E+01
16	8.000E+02	7.802E-06	2.502E-08	7.209E+01	7.118E+01
17	8.500E+02	2.395E-01	7.679E-04	1.789E+02	1.779E+02
18	9.000E+02	1.009E-05	3.235E-08	9.329E+01	9.227E+01
19	9.500E+02	1.987E-01	6.371E-04	6.393E+01	6.286E+01

TOTAL HARMONIC DISTORTION = 3.597806E-01 PERCENT

#### 4 Lámparas

FOURIER COMPONENTS OF TRANSIENT RESPONSE I(R\_P)

DC COMPONENT = -1.356676E-06

HARMONIC NO	FREQUENCY (HZ)	FOURIER COMPONENT	NORMALIZED COMPONENT	PHASE (DEG)	NORMALIZED PHASE (DEG)
1	5.000E+01	2.580E-01	1.000E+00	-1.590E+02	0.000E+00
2	1.000E+02	2.701E-06	1.047E-05	-9.023E+01	2.278E+02
3	1.500E+02	2.060E-01	7.983E-01	6.500E+01	5.420E+02
4	2.000E+02	2.698E-06	1.046E-05	-9.027E+01	5.457E+02
5	2.500E+02	1.449E-01	5.617E-01	-5.600E+01	7.390E+02
6	3.000E+02	2.702E-06	1.047E-05	-9.038E+01	8.636E+02
7	3.500E+02	1.239E-01	4.801E-01	-1.650E+02	9.480E+02
8	4.000E+02	2.700E-06	1.047E-05	-9.058E+01	1.181E+03
9	4.500E+02	1.228E-01	4.759E-01	7.600E+01	1.507E+03
10	5.000E+02	2.702E-06	1.047E-05	-9.065E+01	1.499E+03
11	5.500E+02	1.057E-01	4.098E-01	-4.700E+01	1.702E+03
12	6.000E+02	2.699E-06	1.046E-05	-9.090E+01	1.817E+03
13	6.500E+02	8.470E-02	3.283E-01	-1.630E+02	1.904E+03
14	7.000E+02	2.695E-06	1.045E-05	-9.091E+01	2.135E+03
15	7.500E+02	7.564E-02	2.932E-01	8.400E+01	2.469E+03
16	8.000E+02	2.698E-06	1.046E-05	-9.100E+01	2.453E+03
17	8.500E+02	6.759E-02	2.620E-01	-3.500E+01	2.668E+03
18	9.000E+02	2.728E-06	1.058E-05	-9.133E+01	2.771E+03
19	9.500E+02	5.359E-02	2.077E-01	-1.520E+02	2.869E+03

TOTAL HARMONIC DISTORTION = 1.372357E+02 PERCENT

FOURIER COMPONENTS OF TRANSIENT RESPONSE V(1)

DC COMPONENT = 1.543553E-05

HARMONIC NO	FREQUENCY (HZ)	FOURIER COMPONENT	NORMALIZED COMPONENT	PHASE (DEG)	NORMALIZED PHASE (DEG)
1	5.000E+01	3.121E+02	1.000E+00	7.485E-02	0.000E+00
2	1.000E+02	2.797E-05	8.962E-08	8.350E+01	8.335E+01
3	1.500E+02	8.295E-01	2.658E-03	-1.083E+02	-1.085E+02
4	2.000E+02	2.174E-05	6.965E-08	7.479E+01	7.449E+01
5	2.500E+02	5.908E-01	1.893E-03	1.351E+02	1.347E+02
6	3.000E+02	1.702E-05	5.453E-08	9.076E+01	9.031E+01
7	3.500E+02	5.139E-01	1.647E-03	3.039E+01	2.986E+01



8	4.000E+02	2.149E-05	6.887E-08	1.062E+02	1.056E+02
9	4.500E+02	5.210E-01	1.670E-03	-8.451E+01	-8.518E+01
10	5.000E+02	2.754E-05	8.825E-08	1.019E+02	1.012E+02
11	5.500E+02	4.609E-01	1.477E-03	1.564E+02	1.556E+02
12	6.000E+02	3.176E-05	1.018E-07	8.922E+01	8.832E+01
13	6.500E+02	3.807E-01	1.220E-03	4.413E+01	4.316E+01
14	7.000E+02	2.781E-05	8.912E-08	7.619E+01	7.514E+01
15	7.500E+02	3.516E-01	1.127E-03	-6.538E+01	-6.650E+01
16	8.000E+02	2.200E-05	7.048E-08	6.987E+01	6.868E+01
17	8.500E+02	3.257E-01	1.044E-03	1.789E+02	1.776E+02
18	9.000E+02	1.775E-05	5.688E-08	8.655E+01	8.520E+01
19	9.500E+02	2.682E-01	8.594E-04	6.493E+01	6.351E+01

TOTAL HARMONIC DISTORTION = 4.786894E-01 PERCENT

## 5 Lámparas

FOURIER COMPONENTS OF TRANSIENT RESPONSE I(R\_P)

DC COMPONENT = -1.588800E-06

HARMONIC NO	FREQUENCY (HZ)	FOURIER COMPONENT	NORMALIZED COMPONENT	PHASE (DEG)	NORMALIZED PHASE (DEG)
1	5.000E+01	3.250E-01	1.000E+00	-1.590E+02	0.000E+00
2	1.000E+02	3.162E-06	9.729E-06	-9.023E+01	2.278E+02
3	1.500E+02	2.589E-01	7.968E-01	6.500E+01	5.420E+02
4	2.000E+02	3.159E-06	9.720E-06	-9.027E+01	5.457E+02
5	2.500E+02	1.819E-01	5.597E-01	-5.600E+01	7.390E+02
6	3.000E+02	3.164E-06	9.735E-06	-9.037E+01	8.636E+02
7	3.500E+02	1.548E-01	4.764E-01	-1.650E+02	9.480E+02
8	4.000E+02	3.161E-06	9.728E-06	-9.059E+01	1.181E+03
9	4.500E+02	1.537E-01	4.730E-01	7.600E+01	1.507E+03
10	5.000E+02	3.164E-06	9.735E-06	-9.065E+01	1.499E+03
11	5.500E+02	1.317E-01	4.051E-01	-4.700E+01	1.702E+03
12	6.000E+02	3.160E-06	9.723E-06	-9.091E+01	1.817E+03
13	6.500E+02	1.056E-01	3.250E-01	-1.630E+02	1.904E+03
14	7.000E+02	3.155E-06	9.708E-06	-9.091E+01	2.135E+03
15	7.500E+02	9.455E-02	2.909E-01	8.400E+01	2.469E+03
16	8.000E+02	3.158E-06	9.719E-06	-9.100E+01	2.453E+03
17	8.500E+02	8.449E-02	2.600E-01	-3.500E+01	2.668E+03
18	9.000E+02	3.197E-06	9.836E-06	-9.132E+01	2.771E+03
19	9.500E+02	6.650E-02	2.046E-01	-1.540E+02	2.867E+03

TOTAL HARMONIC DISTORTION = 1.364831E+02 PERCENT

FOURIER COMPONENTS OF TRANSIENT RESPONSE V(1)

DC COMPONENT = 1.527959E-06

HARMONIC NO	FREQUENCY (HZ)	FOURIER COMPONENT	NORMALIZED COMPONENT	PHASE (DEG)	NORMALIZED PHASE (DEG)
1	5.000E+01	3.123E+02	1.000E+00	9.421E-02	0.000E+00
2	1.000E+02	1.711E-05	5.480E-08	9.832E+01	9.813E+01
3	1.500E+02	1.043E+00	3.339E-03	-1.083E+02	-1.086E+02
4	2.000E+02	3.190E-05	1.021E-07	1.121E+02	1.117E+02
5	2.500E+02	7.415E-01	2.374E-03	1.351E+02	1.346E+02
6	3.000E+02	2.441E-05	7.815E-08	1.036E+02	1.030E+02
7	3.500E+02	6.424E-01	2.057E-03	3.039E+01	2.973E+01





8	4.000E+02	2.322E-05	7.435E-08	5.187E+01	5.111E+01
9	4.500E+02	6.523E-01	2.089E-03	-8.451E+01	-8.535E+01
10	5.000E+02	2.255E-05	7.220E-08	6.408E+01	6.314E+01
11	5.500E+02	5.739E-01	1.838E-03	1.564E+02	1.554E+02
12	6.000E+02	1.391E-05	4.454E-08	1.202E+02	1.191E+02
13	6.500E+02	4.747E-01	1.520E-03	4.413E+01	4.290E+01
14	7.000E+02	1.112E-05	3.559E-08	1.329E+02	1.315E+02
15	7.500E+02	4.395E-01	1.407E-03	-6.538E+01	-6.679E+01
16	8.000E+02	2.443E-05	7.822E-08	8.634E+01	8.483E+01
17	8.500E+02	4.071E-01	1.303E-03	1.789E+02	1.773E+02
18	9.000E+02	3.546E-05	1.135E-07	9.273E+01	9.103E+01
19	9.500E+02	3.327E-01	1.065E-03	6.293E+01	6.114E+01

TOTAL HARMONIC DISTORTION = 5.990218E-01 PERCENT

## 6 Lámparas

FOURIER COMPONENTS OF TRANSIENT RESPONSE I(R\_P)

DC COMPONENT = -1.868690E-06

HARMONIC NO	FREQUENCY (HZ)	FOURIER COMPONENT	NORMALIZED COMPONENT	PHASE (DEG)	NORMALIZED PHASE (DEG)
1	5.000E+01	3.870E-01	1.000E+00	-1.590E+02	0.000E+00
2	1.000E+02	3.721E-06	9.615E-06	-9.023E+01	2.278E+02
3	1.500E+02	3.109E-01	8.035E-01	6.500E+01	5.420E+02
4	2.000E+02	3.717E-06	9.604E-06	-9.028E+01	5.457E+02
5	2.500E+02	2.179E-01	5.630E-01	-5.800E+01	7.370E+02
6	3.000E+02	3.721E-06	9.616E-06	-9.037E+01	8.636E+02
7	3.500E+02	1.848E-01	4.776E-01	-1.670E+02	9.460E+02
8	4.000E+02	3.720E-06	9.613E-06	-9.058E+01	1.181E+03
9	4.500E+02	1.827E-01	4.721E-01	7.400E+01	1.505E+03
10	5.000E+02	3.722E-06	9.619E-06	-9.067E+01	1.499E+03
11	5.500E+02	1.586E-01	4.098E-01	-4.900E+01	1.700E+03
12	6.000E+02	3.717E-06	9.604E-06	-9.091E+01	1.817E+03
13	6.500E+02	1.266E-01	3.270E-01	-1.660E+02	1.901E+03
14	7.000E+02	3.712E-06	9.593E-06	-9.091E+01	2.135E+03
15	7.500E+02	1.135E-01	2.932E-01	8.100E+01	2.466E+03
16	8.000E+02	3.716E-06	9.602E-06	-9.103E+01	2.453E+03
17	8.500E+02	1.014E-01	2.620E-01	-3.900E+01	2.664E+03
18	9.000E+02	3.760E-06	9.717E-06	-9.129E+01	2.771E+03
19	9.500E+02	8.039E-02	2.077E-01	-1.580E+02	2.863E+03

TOTAL HARMONIC DISTORTION = 1.373357E+02 PERCENT

FOURIER COMPONENTS OF TRANSIENT RESPONSE V(1)

DC COMPONENT = 1.151773E-05

HARMONIC NO	FREQUENCY (HZ)	FOURIER COMPONENT	NORMALIZED COMPONENT	PHASE (DEG)	NORMALIZED PHASE (DEG)
1	5.000E+01	3.125E+02	1.000E+00	1.121E-01	0.000E+00
2	1.000E+02	2.296E-05	7.347E-08	9.522E+01	9.499E+01
3	1.500E+02	1.252E+00	4.007E-03	-1.083E+02	-1.086E+02
4	2.000E+02	2.289E-05	7.322E-08	9.180E+01	9.135E+01
5	2.500E+02	8.882E-01	2.842E-03	1.331E+02	1.326E+02
6	3.000E+02	2.291E-05	7.331E-08	9.064E+01	8.997E+01



7	3.500E+02	7.667E-01	2.453E-03	2.839E+01	2.760E+01
8	4.000E+02	2.282E-05	7.300E-08	8.988E+01	8.898E+01
9	4.500E+02	7.752E-01	2.480E-03	-8.650E+01	-8.751E+01
10	5.000E+02	2.280E-05	7.295E-08	8.949E+01	8.837E+01
11	5.500E+02	6.913E-01	2.212E-03	1.544E+02	1.532E+02
12	6.000E+02	2.275E-05	7.278E-08	8.870E+01	8.735E+01
13	6.500E+02	5.688E-01	1.820E-03	4.113E+01	3.967E+01
14	7.000E+02	2.253E-05	7.207E-08	8.789E+01	8.632E+01
15	7.500E+02	5.273E-01	1.687E-03	-6.838E+01	-7.006E+01
16	8.000E+02	2.206E-05	7.058E-08	8.568E+01	8.388E+01
17	8.500E+02	4.885E-01	1.563E-03	1.749E+02	1.730E+02
18	9.000E+02	2.345E-05	7.503E-08	8.974E+01	8.772E+01
19	9.500E+02	4.023E-01	1.287E-03	5.893E+01	5.680E+01

TOTAL HARMONIC DISTORTION = 7.172964E-01 PERCENT

## 7 Lámparas

### FOURIER COMPONENTS OF TRANSIENT RESPONSE I(R\_P)

DC COMPONENT = -2.242300E-06

HARMONIC NO	FREQUENCY (HZ)	FOURIER COMPONENT	NORMALIZED COMPONENT	PHASE (DEG)	NORMALIZED PHASE (DEG)
1	5.000E+01	4.550E-01	1.000E+00	-1.590E+02	0.000E+00
2	1.000E+02	4.462E-06	9.807E-06	-9.024E+01	2.278E+02
3	1.500E+02	3.669E-01	8.064E-01	6.600E+01	5.430E+02
4	2.000E+02	4.458E-06	9.798E-06	-9.027E+01	5.457E+02
5	2.500E+02	2.589E-01	5.690E-01	-5.700E+01	7.380E+02
6	3.000E+02	4.465E-06	9.813E-06	-9.037E+01	8.636E+02
7	3.500E+02	2.178E-01	4.786E-01	-1.660E+02	9.470E+02
8	4.000E+02	4.461E-06	9.806E-06	-9.059E+01	1.181E+03
9	4.500E+02	2.146E-01	4.717E-01	7.700E+01	1.508E+03
10	5.000E+02	4.465E-06	9.813E-06	-9.065E+01	1.499E+03
11	5.500E+02	1.875E-01	4.122E-01	-4.600E+01	1.703E+03
12	6.000E+02	4.459E-06	9.801E-06	-9.091E+01	1.817E+03
13	6.500E+02	1.505E-01	3.307E-01	-1.630E+02	1.904E+03
14	7.000E+02	4.452E-06	9.786E-06	-9.091E+01	2.135E+03
15	7.500E+02	1.344E-01	2.953E-01	8.400E+01	2.469E+03
16	8.000E+02	4.457E-06	9.796E-06	-9.100E+01	2.453E+03
17	8.500E+02	1.213E-01	2.665E-01	-3.500E+01	2.668E+03
18	9.000E+02	4.512E-06	9.918E-06	-9.132E+01	2.771E+03
19	9.500E+02	9.627E-02	2.116E-01	-1.550E+02	2.866E+03

TOTAL HARMONIC DISTORTION = 1.381274E+02 PERCENT

### FOURIER COMPONENTS OF TRANSIENT RESPONSE V(1)

DC COMPONENT = 8.895976E-06

HARMONIC NO	FREQUENCY (HZ)	FOURIER COMPONENT	NORMALIZED COMPONENT	PHASE (DEG)	NORMALIZED PHASE (DEG)
1	5.000E+01	3.128E+02	1.000E+00	1.317E-01	0.000E+00
2	1.000E+02	1.771E-05	5.661E-08	9.674E+01	9.648E+01
3	1.500E+02	1.478E+00	4.725E-03	-1.073E+02	-1.077E+02
4	2.000E+02	1.762E-05	5.632E-08	9.239E+01	9.186E+01
5	2.500E+02	1.055E+00	3.374E-03	1.341E+02	1.335E+02



6	3.000E+02	1.765E-05	5.643E-08	9.086E+01	9.007E+01
7	3.500E+02	9.035E-01	2.888E-03	2.939E+01	2.846E+01
8	4.000E+02	1.754E-05	5.606E-08	8.986E+01	8.881E+01
9	4.500E+02	9.107E-01	2.912E-03	-8.350E+01	-8.469E+01
10	5.000E+02	1.753E-05	5.605E-08	8.945E+01	8.813E+01
11	5.500E+02	8.174E-01	2.613E-03	1.574E+02	1.560E+02
12	6.000E+02	1.749E-05	5.591E-08	8.837E+01	8.679E+01
13	6.500E+02	6.763E-01	2.162E-03	4.413E+01	4.241E+01
14	7.000E+02	1.725E-05	5.516E-08	8.732E+01	8.548E+01
15	7.500E+02	6.245E-01	1.997E-03	-6.538E+01	-6.736E+01
16	8.000E+02	1.681E-05	5.373E-08	8.451E+01	8.240E+01
17	8.500E+02	5.843E-01	1.868E-03	1.789E+02	1.766E+02
18	9.000E+02	1.824E-05	5.830E-08	8.966E+01	8.729E+01
19	9.500E+02	4.818E-01	1.540E-03	6.193E+01	5.943E+01

TOTAL HARMONIC DISTORTION = 8.477849E-01 PERCENT

## 8 Lámparas

### FOURIER COMPONENTS OF TRANSIENT RESPONSE I(R\_P)

DC COMPONENT = -2.665841E-06

HARMONIC NO	FREQUENCY (HZ)	FOURIER COMPONENT	NORMALIZED COMPONENT	PHASE (DEG)	NORMALIZED PHASE (DEG)
1	5.000E+01	5.160E-01	1.000E+00	-1.590E+02	0.000E+00
2	1.000E+02	5.307E-06	1.028E-05	-9.023E+01	2.278E+02
3	1.500E+02	4.159E-01	8.061E-01	6.600E+01	5.430E+02
4	2.000E+02	5.301E-06	1.027E-05	-9.027E+01	5.457E+02
5	2.500E+02	2.929E-01	5.676E-01	-5.700E+01	7.380E+02
6	3.000E+02	5.309E-06	1.029E-05	-9.037E+01	8.636E+02
7	3.500E+02	2.467E-01	4.782E-01	-1.660E+02	9.470E+02
8	4.000E+02	5.306E-06	1.028E-05	-9.059E+01	1.181E+03
9	4.500E+02	2.446E-01	4.740E-01	7.600E+01	1.507E+03
10	5.000E+02	5.309E-06	1.029E-05	-9.066E+01	1.499E+03
11	5.500E+02	2.145E-01	4.156E-01	-4.700E+01	1.702E+03
12	6.000E+02	5.303E-06	1.028E-05	-9.091E+01	1.817E+03
13	6.500E+02	1.724E-01	3.341E-01	-1.630E+02	1.904E+03
14	7.000E+02	5.295E-06	1.026E-05	-9.091E+01	2.135E+03
15	7.500E+02	1.553E-01	3.009E-01	8.300E+01	2.468E+03
16	8.000E+02	5.300E-06	1.027E-05	-9.101E+01	2.453E+03
17	8.500E+02	1.411E-01	2.735E-01	-3.600E+01	2.667E+03
18	9.000E+02	5.364E-06	1.040E-05	-9.131E+01	2.771E+03
19	9.500E+02	1.121E-01	2.173E-01	-1.560E+02	2.865E+03

TOTAL HARMONIC DISTORTION = 1.386417E+02 PERCENT

### FOURIER COMPONENTS OF TRANSIENT RESPONSE V(1)

DC COMPONENT = 1.829081E-05

HARMONIC NO	FREQUENCY (HZ)	FOURIER COMPONENT	NORMALIZED COMPONENT	PHASE (DEG)	NORMALIZED PHASE (DEG)
1	5.000E+01	3.130E+02	1.000E+00	1.492E-01	0.000E+00
2	1.000E+02	3.640E-05	1.163E-07	9.321E+01	9.291E+01
3	1.500E+02	1.675E+00	5.352E-03	-1.073E+02	-1.077E+02
4	2.000E+02	3.637E-05	1.162E-07	9.106E+01	9.046E+01



5	2.500E+02	1.194E+00	3.814E-03	1.341E+02	1.334E+02
6	3.000E+02	3.642E-05	1.163E-07	9.026E+01	8.937E+01
7	3.500E+02	1.024E+00	3.270E-03	2.939E+01	2.834E+01
8	4.000E+02	3.629E-05	1.159E-07	8.972E+01	8.853E+01
9	4.500E+02	1.038E+00	3.315E-03	-8.450E+01	-8.585E+01
10	5.000E+02	3.629E-05	1.159E-07	8.949E+01	8.800E+01
11	5.500E+02	9.348E-01	2.986E-03	1.564E+02	1.548E+02
12	6.000E+02	3.625E-05	1.158E-07	8.890E+01	8.711E+01
13	6.500E+02	7.748E-01	2.475E-03	4.412E+01	4.218E+01
14	7.000E+02	3.599E-05	1.150E-07	8.836E+01	8.627E+01
15	7.500E+02	7.217E-01	2.305E-03	-6.638E+01	-6.862E+01
16	8.000E+02	3.552E-05	1.135E-07	8.701E+01	8.462E+01
17	8.500E+02	6.801E-01	2.173E-03	1.779E+02	1.753E+02
18	9.000E+02	3.703E-05	1.183E-07	8.934E+01	8.665E+01
19	9.500E+02	5.612E-01	1.793E-03	6.094E+01	5.810E+01

TOTAL HARMONIC DISTORTION = 9.652244E-01 PERCENT

## 9 Lámparas

FOURIER COMPONENTS OF TRANSIENT RESPONSE I(R\_P)

DC COMPONENT = -2.609856E-06

HARMONIC NO	FREQUENCY (HZ)	FOURIER COMPONENT	NORMALIZED COMPONENT	PHASE (DEG)	NORMALIZED PHASE (DEG)
1	5.000E+01	5.840E-01	1.000E+00	-1.590E+02	0.000E+00
2	1.000E+02	5.198E-06	8.902E-06	-9.022E+01	2.278E+02
3	1.500E+02	4.729E-01	8.098E-01	6.500E+01	5.420E+02
4	2.000E+02	5.191E-06	8.889E-06	-9.029E+01	5.457E+02
5	2.500E+02	3.358E-01	5.751E-01	-5.800E+01	7.370E+02
6	3.000E+02	5.197E-06	8.899E-06	-9.037E+01	8.636E+02
7	3.500E+02	2.807E-01	4.807E-01	-1.690E+02	9.440E+02
8	4.000E+02	5.197E-06	8.900E-06	-9.058E+01	1.181E+03
9	4.500E+02	2.745E-01	4.701E-01	7.300E+01	1.504E+03
10	5.000E+02	5.200E-06	8.905E-06	-9.069E+01	1.499E+03
11	5.500E+02	2.394E-01	4.099E-01	-5.100E+01	1.698E+03
12	6.000E+02	5.190E-06	8.888E-06	-9.092E+01	1.817E+03
13	6.500E+02	1.923E-01	3.293E-01	-1.680E+02	1.899E+03
14	7.000E+02	5.185E-06	8.879E-06	-9.091E+01	2.135E+03
15	7.500E+02	1.702E-01	2.914E-01	7.800E+01	2.463E+03
16	8.000E+02	5.191E-06	8.889E-06	-9.106E+01	2.453E+03
17	8.500E+02	1.531E-01	2.621E-01	-4.200E+01	2.661E+03
18	9.000E+02	5.254E-06	8.996E-06	-9.124E+01	2.771E+03
19	9.500E+02	1.201E-01	2.056E-01	-1.630E+02	2.858E+03

TOTAL HARMONIC DISTORTION = 1.382351E+02 PERCENT

FOURIER COMPONENTS OF TRANSIENT RESPONSE V(1)

DC COMPONENT = 1.741955E-05

HARMONIC NO	FREQUENCY (HZ)	FOURIER COMPONENT	NORMALIZED COMPONENT	PHASE (DEG)	NORMALIZED PHASE (DEG)
1	5.000E+01	3.133E+02	1.000E+00	1.688E-01	0.000E+00
2	1.000E+02	3.413E-05	1.089E-07	9.310E+01	9.276E+01
3	1.500E+02	1.905E+00	6.080E-03	-1.083E+02	-1.088E+02



---

4	2.000E+02	3.473E-05	1.109E-07	9.167E+01	9.100E+01
5	2.500E+02	1.369E+00	4.370E-03	1.331E+02	1.323E+02
6	3.000E+02	3.473E-05	1.109E-07	8.982E+01	8.881E+01
7	3.500E+02	1.165E+00	3.718E-03	2.639E+01	2.521E+01
8	4.000E+02	3.453E-05	1.102E-07	8.948E+01	8.813E+01
9	4.500E+02	1.165E+00	3.718E-03	-8.751E+01	-8.902E+01
10	5.000E+02	3.468E-05	1.107E-07	8.987E+01	8.819E+01
11	5.500E+02	1.044E+00	3.331E-03	1.524E+02	1.506E+02
12	6.000E+02	3.416E-05	1.090E-07	8.814E+01	8.611E+01
13	6.500E+02	8.644E-01	2.759E-03	3.913E+01	3.693E+01
14	7.000E+02	3.410E-05	1.088E-07	8.946E+01	8.709E+01
15	7.500E+02	7.910E-01	2.525E-03	-7.138E+01	-7.391E+01
16	8.000E+02	3.312E-05	1.057E-07	8.578E+01	8.308E+01
17	8.500E+02	7.375E-01	2.354E-03	1.719E+02	1.690E+02
18	9.000E+02	3.519E-05	1.123E-07	8.949E+01	8.645E+01
19	9.500E+02	6.010E-01	1.918E-03	5.393E+01	5.073E+01

TOTAL HARMONIC DISTORTION = 1.086354E+00 PERCENT



## ANEXO B-Valores de salida del ATPDraw

1) Los valores de salida del ATPDraw de las simulaciones realizadas para 1 LFC de 20W (General Electric) se muestran en Tablas 89 y 90.

Salida de la Simulación de 1 LFC de 20W							
Medidor Tensión:		M1		M2		M3	
Nº Arm.	Frec.(Hz)	Amp.(V)	Ángulo(°)	Amp.(V)	Ángulo(°)	Amp.(V)	Ángulo(°)
1	50	220	-120	220	-120	7621	-90
3	150	0.0575	-78	0.0126	-27	0.0068	-47
5	250	0.0509	175	0.0149	-146	0.0074	-159
7	350	0.0527	77	0.0175	108	0.0086	95
9	450	0.0617	-32	0.0217	-8	0.0103	-15
11	550	0.0631	-147	0.0230	-127	0.0109	-133
13	650	0.0618	101	0.0230	119	0.0110	114
15	750	0.0640	-7	0.0242	9	0.0127	5
17	850	0.0646	-122	0.0246	-108	0.0117	-113
19	950	0.0638	121	0.0245	133	0.0116	130
<b>Simulación</b>		U(V)	THDv(%)	U(V)	THDv(%)	U(V)	THDv(%)
		219.944	0.08213	219.995	0.02881	7621	0.00144

Tabla 89-Valores recabados de simulación con 1 LFC.

Salida de la Simulación de 1 LFC de 20W							
Medidor Tensión:		M4		M5		M6	
Nº Arm.	Frec.(Hz)	Amp.(V)	Ángulo(°)	Amp.(V)	Ángulo(°)	Amp.(V)	Ángulo(°)
1	50	7621	-90	7621	-90	76210.2	-60
3	150	0.00249	-31	0.00179	-19	0.00318	-22
5	250	0.00275	-151	0.00193	-144	0.00167	-143
7	350	0.00327	97	0.00229	99	0.00384	17
9	450	0.00386	-10	0.00269	-6	0.00161	-33
11	550	0.00410	-128	0.00287	-124	0.00193	-105
13	650	0.00416	118	0.00292	121	0.00192	125
15	750	0.00558	8	0.00426	10	0.01383	-15
17	850	0.00449	-111	0.00315	-109	0.00240	-114
19	950	0.00438	132	0.00309	133	0.00159	130
<b>Simulación</b>		U(V)	THDv(%)	U(V)	THDv(%)	U(V)	THDv(%)
		7621	0.00140	7621	0.00139	76210.2	0.00138

Tabla 90-Valores recabados de simulación con 1 LFC.



2) Los valores de salida del ATPDraw de las simulaciones realizadas para 20 LFC de 20W cada una (General Electric) se muestran en Tablas 91 y 92.

Salida de la Simulación de 20 LFC de 20W							
Medidor Tensión:		M1		M2		M3	
Nº Arm.	Frec.(Hz)	Amp.(V)	Ángulo(°)	Amp.(V)	Ángulo(°)	Amp.(V)	Ángulo(°)
1	50	218.892	-120	219.912	-120	7620.930	-90
3	150	1.150	-78	0.252	-27	0.133	-48
5	250	1.017	175	0.298	-146	0.147	-159
7	350	1.054	77	0.349	108	0.169	98
9	450	1.233	-32	0.435	-8	0.208	-15
11	550	1.262	-147	0.460	-127	0.220	-133
13	650	1.236	101	0.460	119	0.219	114
15	750	1.279	-7	0.483	9	0.231	4
17	850	1.293	-122	0.492	-108	0.234	-112
19	950	1.276	121	0.489	133	0.232	130
<b>Simulación</b>		<b>U(V)</b> 218.922	<b>THDv(%)</b> 1.65	<b>U(V)</b> 219.92	<b>THDv(%)</b> 0.575	<b>U(V)</b> 7620.93	<b>THDv(%)</b> 0.00809

Tabla 91-Valores recabados de simulación con 20 LFC.

Salida de la Simulación de 20 LFC de 20W							
Medidor Tensión:		M4		M5		M6	
Nº Arm.	Frec.(Hz)	Amp.(V)	Ángulo(°)	Amp.(V)	Ángulo(°)	Amp.(V)	Ángulo(°)
1	50	7620.980	-90	7620.990	-90	76210.200	-60
3	150	0.047	-34	0.032	-23	0.023	-22
5	250	0.054	-151	0.038	-143	0.025	-143
7	350	0.063	104	0.044	109	0.027	102
9	450	0.078	-10	0.055	-6	0.035	-7
11	550	0.083	-129	0.058	-125	0.038	-124
13	650	0.083	117	0.059	120	0.038	121
15	750	0.088	7	0.063	10	0.050	3
17	850	0.089	-110	0.063	-108	0.041	-108
19	950	0.088	132	0.062	134	0.040	134
<b>Simulación</b>		<b>U(V)</b> 7620.98	<b>THDv(%)</b> 0.00331	<b>U(V)</b> 7620.99	<b>THDv(%)</b> 0.00253	<b>U(V)</b> 76210.20	<b>THDv(%)</b> 0.00139

Tabla 92-Valores recabados de simulación con 20 LFC.

3) Los valores de salida del ATPDraw de las simulaciones realizadas para 20 LFC de 20W cada una de distintas marcas (5 General Electric, 5 Eurolamp, 5 Osram, 5 Alic) se muestran en Tablas 93 y 94.



Salida de la Simulación de 20 LFC de 20W de distintas marcas							
Medidor Tensión:		M1		M2		M3	
Nº Arm.	Frec.(Hz)	Amp.(V)	Ángulo(°)	Amp.(V)	Ángulo(°)	Amp.(V)	Ángulo(°)
1	50	220.879	-120	220.065	-120	7621.06	-90
3	150	0.752	112	0.165	163	0.087	142
5	250	0.535	30	0.157	69	0.077	56
7	350	0.604	-54	0.200	-23	0.097	-33
9	450	0.510	-158	0.180	-134	0.086	-141
11	550	0.312	120	0.114	141	0.054	134
13	650	0.355	43	0.132	61	0.063	56
15	750	0.232	-44	0.087	-29	0.042	-32
17	850	0.284	-101	0.108	-87	0.051	-91
19	950	0.359	152	0.138	164	0.065	161
<b>Simulación</b>		<b>U(V)</b> 220.883	<b>THDv(%)</b> 0.634	<b>U(V)</b> 220.066	<b>THDv(%)</b> 0.199	<b>U(V)</b> 7621.94	<b>THDv(%)</b> 0.00313

Tabla 93-Valores recabados de simulación con 20 LFC (distintas marcas).

Salida de la Simulación de 20 LFC de 20W de distintas marcas							
Medidor Tensión:		M4		M5		M6	
Nº Arm.	Frec.(Hz)	Amp.(V)	Ángulo(°)	Amp.(V)	Ángulo(°)	Amp.(V)	Ángulo(°)
1	50	7621.02	-90	7621.01	-90	76210.2	-60
3	150	0.030	156	0.021	167	0.011	171
5	250	0.028	65	0.020	72	0.013	74
7	350	0.036	-26	0.026	-21	0.020	-18
9	450	0.033	-136	0.023	-132	0.015	-132
11	550	0.021	138	0.014	141	0.009	141
13	650	0.024	59	0.017	62	0.011	63
15	750	0.017	-27	0.012	-24	0.019	-23
17	850	0.020	-88	0.014	-86	0.009	-88
19	950	0.025	163	0.017	165	0.011	165
<b>Simulación</b>		<b>U(V)</b> 7621.02	<b>THDv(%)</b> 0.00173	<b>U(V)</b> 7621.01	<b>THDv(%)</b> 0.00156	<b>U(V)</b> 76212.80	<b>THDv(%)</b> 0.00138

Tabla 94-Valores recabados de simulación con 20 LFC (distintas marcas).

4) Los valores de salida del ATPDraw de las simulaciones realizadas para una fase del variador de velocidad Marca: ABB - ACS 600 se muestran en Tablas 95 y 96.





Salida de la Simulación de una fase del Variador de Velocidad							
Medidor Tensión:		M1		M2		M3	
Nº Arm.	Frec.(Hz)	Amp.(V)	Ángulo(°)	Amp.(V)	Ángulo(°)	Amp.(V)	Ángulo(°)
1	50	220.352	-133	223.611	-121	7620.100	-90
3	150	11.654	172	2.555	-137	1.344	-158
5	250	36.964	-155	10.835	-116	5.342	-129
7	350	17.936	-67	5.947	-37	2.875	-47
9	450	2.158	52	0.761	77	0.365	69
11	550	15.633	160	5.702	-180	2.722	174
13	650	10.592	-113	3.944	-95	1.878	-100
15	750	4.638	143	1.751	158	0.831	154
17	850	4.885	155	1.861	169	0.884	164
19	950	5.224	-168	2.003	-155	0.951	-159
<b>Simulación</b>		<b>U(V)</b>	<b>THDv(%)</b>	<b>U(V)</b>	<b>THDv(%)</b>	<b>U(V)</b>	<b>THDv(%)</b>
		225.418	21.565	224.099	6.611	7620.11	0.0947

Tabla 95-Valores recabados de simulación con variador de velocidad.

Salida de la Simulación de una fase del Variador de Velocidad							
Medidor Tensión:		M4		M5		M6	
Nº Arm.	Frec.(Hz)	Amp.(V)	Ángulo(°)	Amp.(V)	Ángulo(°)	Amp.(V)	Ángulo(°)
1	50	7621.110	-90	7621.330	-90	76210.300	-60
3	150	0.470	-144	0.323	-132	0.208	-131
5	250	1.968	-121	1.375	-113	0.886	-113
7	350	1.076	-40	0.756	-35	0.490	-34
9	450	0.137	74	0.097	78	0.062	79
11	550	1.029	178	0.724	-178	0.466	-178
13	650	0.712	-97	0.501	-94	0.323	-94
15	750	0.315	157	0.221	159	0.131	159
17	850	0.336	167	0.237	169	0.153	170
19	950	0.361	-156	0.255	-154	0.164	-154
<b>Simulación</b>		<b>U(V)</b>	<b>THDv(%)</b>	<b>U(V)</b>	<b>THDv(%)</b>	<b>U(V)</b>	<b>THDv(%)</b>
		7621.11	0.0351	7621.33	0.0246	76210.3	0.0021

Tabla 96-Valores recabados de simulación con variador de velocidad.

5) Los valores de salida del ATPDraw de las simulaciones realizadas para una fase del Tablero General (Embotelladora) se muestran en Tablas 97 y 98.

Salida de la Simulación de una fase del Tablero General			
Medidor Tensión:	M1	M2	M3



Nº Arm.	Frec.(Hz)	Amp.(V)	Ángulo(°)	Amp.(V)	Ángulo(°)	Amp.(V)	Ángulo(°)
1	50	226.064	-144	226.767	-121	7618.970	-90
3	150	7.253	-87	1.590	-36	0.837	-57
5	250	6.324	155	1.854	-166	0.914	-179
7	350	1.156	52	0.383	82	0.186	72
9	450	1.377	72	0.485	96	0.233	89
11	550	1.214	-124	0.443	-103	0.211	-110
13	650	1.657	20	0.617	38	0.294	33
15	750	3.454	-124	1.304	-109	0.619	-113
17	850	5.135	60	1.956	74	0.929	70
19	950	2.632	-75	1.009	-63	0.479	-66
<b>Simulación</b>		<b>U(V)</b> 226.386	<b>THDv(%)</b> 5.338	<b>U(V)</b> 226.797	<b>THDv(%)</b> 1.621	<b>U(V)</b> 7618.97	<b>THDv(%)</b> 0.0236

Tabla 97-Valores recabados de simulación con Tablero General (Embotelladora).

Salida de la Simulación de una fase del Tablero General							
Medidor Tensión:		M4		M5		M6	
Nº Arm.	Frec.(Hz)	Amp.(V)	Ángulo(°)	Amp.(V)	Ángulo(°)	Amp.(V)	Ángulo(°)
1	50	7621.140	-90	7621.600	-90	76210.300	-60
3	150	0.293	-43	0.201	-32	0.132	-31
5	250	0.337	-170	0.235	-163	0.152	-162
7	350	0.070	79	0.049	84	0.032	77
9	450	0.088	94	0.062	98	0.039	99
11	550	0.080	-105	0.056	-102	0.036	-101
13	650	0.111	36	0.078	39	0.050	39
15	750	0.235	-110	0.165	-107	0.108	-101
17	850	0.353	72	0.249	74	0.160	75
19	950	0.182	-64	0.128	-62	0.083	-62
<b>Simulación</b>		<b>U(V)</b> 7621.14	<b>THDv(%)</b> 0.00886	<b>U(V)</b> 7621.6	<b>THDv(%)</b> 0.00627	<b>U(V)</b> 76210.30	<b>THDv(%)</b> 0.00144

Tabla 98-Valores recabados de simulación con Tablero General (Embotelladora).

6) Los valores de salida del ATPDraw de las simulaciones realizadas para 20 LFC de 20W cada una de distintas marcas (5 General Electric, 5 Eurolamp, 5 Osram, 5 Alic) + una fase del variador de velocidad Marca: ABB - ACS 600 + una fase del Tablero General (Embotelladora), se muestran en Tablas 99 y 100.

#### Salida de la Simulación de 20 LFC (distintas) +



una fase del Variador de velocidad + una fase del Tablero General							
Medidor Tensión:		M1		M2		M3	
Nº Arm.	Frec.(Hz)	Amp.(V)	Ángulo(°)	Amp.(V)	Ángulo(°)	Amp.(V)	Ángulo(°)
1	50	246.922	-155	230.494	-122	7618.140	-90
3	150	12.491	-157	2.739	-105	1.441	-127
5	250	40.809	-162	11.962	-123	5.897	-136
7	350	17.999	-64	5.968	-33	2.885	-43
9	450	3.100	65	1.093	90	0.524	83
11	550	16.189	163	5.905	-176	2.819	178
13	650	9.230	-105	3.437	-87	1.637	-92
15	750	5.478	-178	2.068	-162	0.982	-167
17	850	6.527	107	2.486	121	1.181	117
19	950	5.897	-144	2.261	-131	1.073	-135
<b>Simulación</b>		<b>U(V)</b> 252.154	<b>THDv(%)</b> 20.695	<b>U(V)</b> 231.03	<b>THDv(%)</b> 6.858	<b>U(V)</b> 7618.14	<b>THDv(%)</b> 0.101

Tabla 99-Valores recabados de simulación con 20 LFC (distintas) + V.V + T.G.

Salida de la Simulación de 20 LFC (distintas) + una fase del Variador de velocidad + una fase del Tablero General							
Medidor Tensión:		M4		M5		M6	
Nº Arm.	Frec.(Hz)	Amp.(V)	Ángulo(°)	Amp.(V)	Ángulo(°)	Amp.(V)	Ángulo(°)
1	50	7621.270	-90	7621.940	-90	76210.400	-60
3	150	0.504	-113	0.347	-101	0.224	-100
5	250	2.173	-127	1.518	-120	0.978	-120
7	350	1.080	-36	0.758	-31	0.492	-31
9	450	0.197	88	0.139	92	0.089	92
11	550	1.066	-178	0.750	-175	0.483	-175
13	650	0.620	-89	0.437	-86	0.281	-86
15	750	0.372	-164	0.262	-161	0.160	-158
17	850	0.449	119	0.316	121	0.203	122
19	950	0.408	-132	0.287	-130	0.185	-130
<b>Simulación</b>		<b>U(V)</b> 7621.27	<b>THDv(%)</b> 0.0376	<b>U(V)</b> 7621.94	<b>THDv(%)</b> 0.0263	<b>U(V)</b> 76210.40	<b>THDv(%)</b> 0.00218

Tabla 100-Valores recabados de simulación con 20 LFC (distintas) + V.V + T.G.

7) Los valores de salida del ATPDraw de las simulaciones realizadas para 60 LFC de 20W cada una (General Electric) se muestran en Tablas 101 y 102.

Salida de la Simulación de 60 LFC de 20W							
Medidor Tensión:		M1		M2		M3	
Nº Arm.	Frec.(Hz)	Amp.(V)	Ángulo(°)	Amp.(V)	Ángulo(°)	Amp.(V)	Ángulo(°)
1	50	216.683	-120	219.738	-120	7620.780	-90



3	150	3.450	-78	0.756	-27	0.398	-48
5	250	3.052	175	0.894	-146	0.441	-159
7	350	3.162	77	1.048	108	0.507	98
9	450	3.700	-32	1.304	-8	0.625	-15
11	550	3.787	-147	1.381	-127	0.659	-133
13	650	3.709	101	1.381	119	0.658	114
15	750	3.838	-7	1.449	9	0.690	4
17	850	3.879	-122	1.477	-108	0.702	-112
19	950	3.828	121	1.468	133	0.697	130
<b>Simulación</b>	<b>U(V)</b>	<b>THDv(%)</b>	<b>U(V)</b>	<b>THDv(%)</b>	<b>U(V)</b>	<b>THDv(%)</b>	<b>U(V)</b>
	216.953	5	219.77	1.728	7620.78	0.0239	

Tabla 101-Valores recabados de simulación con 60 LFC.

Salida de la Simulación de 60 LFC de 20W							
Medidor Tensión:		M4		M5		M6	
Nº Arm.	Frec.(Hz)	Amp.(V)	Ángulo(°)	Amp.(V)	Ángulo(°)	Amp.(V)	Ángulo(°)
1	50	7620.930	-90	7620.960	-90	76210.200	-60
3	150	0.139	-34	0.096	-23	0.064	-22
5	250	0.163	-150	0.114	-143	0.074	-143
7	350	0.190	104	0.133	109	0.084	107
9	450	0.236	-10	0.166	-6	0.106	-6
11	550	0.249	-129	0.175	-125	0.113	-125
13	650	0.249	117	0.176	120	0.113	121
15	750	0.263	7	0.185	10	0.129	7
17	850	0.267	-110	0.188	-108	0.121	-108
19	950	0.265	132	0.187	134	0.120	134
<b>Simulación</b>	<b>U(V)</b>	<b>THDv(%)</b>	<b>U(V)</b>	<b>THDv(%)</b>	<b>U(V)</b>	<b>THDv(%)</b>	<b>U(V)</b>
	7620.93	0.00912	7620.96	0.00648	76210.20	0.00144	

Tabla 102-Valores recabados de simulación con 60 LFC.

8) Los valores de salida del ATPDraw de las simulaciones realizadas para 96 LFC de 20W cada una (General Electric) se muestran en Tablas 103 y 104.

Salida de la Simulación de 96 LFC de 20W							
Medidor Tensión:		M1		M2		M3	
Nº Arm.	Frec.(Hz)	Amp.(V)	Ángulo(°)	Amp.(V)	Ángulo(°)	Amp.(V)	Ángulo(°)
1	50	214.698	-119	219.581	-120	7620.650	-90
3	150	5.519	-78	1.210	-27	0.637	-48



5	250	4.883	175	1.431	-146	0.706	-159
7	350	5.059	77	1.678	108	0.811	98
9	450	5.919	-32	2.087	-8	1.000	-15
11	550	6.059	-147	2.210	-127	1.055	-133
13	650	5.934	101	2.210	119	1.052	114
15	750	6.141	-7	2.318	9	1.103	4
17	850	6.206	-122	2.364	-108	1.123	-112
19	950	6.125	121	2.348	133	1.115	130
<b>Simulación</b>	<b>U(V)</b>	<b>THDv(%)</b>	<b>U(V)</b>	<b>THDv(%)</b>	<b>U(V)</b>	<b>THDv(%)</b>	<b>THDv(%)</b>
	215.397	8.075	219.665	2.767	7620.65		0.0382

Tabla 103-Valores recabados de simulación con 96 LFC.

Salida de la Simulación de 96 LFC de 20W							
Medidor Tensión:		M4		M5		M6	
Nº Arm.	Frec.(Hz)	Amp.(V)	Ángulo(°)	Amp.(V)	Ángulo(°)	Amp.(V)	Ángulo(°)
1	50	7620.890	-90	7620.940	-90	76210.200	-60
3	150	0.223	-34	0.153	-23	0.101	-22
5	250	0.260	-150	0.182	-143	0.117	-143
7	350	0.304	104	0.213	109	0.136	108
9	450	0.377	-10	0.265	-6	0.170	-6
11	550	0.399	-129	0.281	-125	0.181	-125
13	650	0.399	117	0.281	120	0.181	121
15	750	0.419	7	0.296	10	0.200	8
17	850	0.426	-110	0.300	-108	0.194	-108
19	950	0.424	132	0.298	134	0.192	134
<b>Simulación</b>	<b>U(V)</b>	<b>THDv(%)</b>	<b>U(V)</b>	<b>THDv(%)</b>	<b>U(V)</b>	<b>THDv(%)</b>	<b>THDv(%)</b>
	7620.89	0.0144	7620.94	0.01020	76210.20		0.00153

Tabla 104-Valores recabados de simulación con 96 LFC.



## ANEXO C-Valores de salida del ATPDraw en Red de la ciudad de Balcarce

1) Los valores de salida del ATPDraw de las simulaciones realizadas para todas las cargas prácticamente lineales se muestran en las Tablas 105, 106 y 107.

Salida de la Simulación con cargas aproximadamente lineales							
Medidores del lado de BT							
Medidor Tensión:		M1		M2		M3	
Nº Arm.	f (Hz)	Amp.(V)	Ángulo(°)	Amp.(V)	Ángulo(°)	Amp.(V)	Ángulo(°)
1	50	216	126	214	125	215	126
3	150	1.36	30	3.45	7	0.79	71
5	250	0.85	84	0.68	77	0.90	87
7	350	0.22	-149	0.91	-90	0.34	142
9	450	0.86	115	1.13	127	0.77	107
11	550	0.46	131	0.75	160	0.42	109
13	650	0.70	89	1.12	90	0.51	86
15	750	0.47	92	0.76	99	0.35	84
17	850	0.37	59	0.61	49	0.26	68
19	950	0.26	82	0.34	69	0.22	89
<b>Simulación</b>		<b>U(V)</b> 216	<b>THDv(%)</b> 6.92	<b>U(V)</b> 215	<b>THDv(%)</b> 6.97	<b>U(V)</b> 216	<b>THDv(%)</b> 6.98

Tabla 105-Valores recabados de simulación con todas cargas lineales.

Salida de la Simulación con cargas aproximadamente lineales							
Medidores del lado de MT							
Medidor Tensión:		M4		M5		M6	
Nº Arm.	f (Hz)	Amp.(V)	Ángulo(°)	Amp.(V)	Ángulo(°)	Amp.(V)	Ángulo(°)
1	50	7379	156	7440	155	7522	154
3	150	11	20	9	19	8	20
5	250	14	73	12	72	9	70
7	350	6	148	4	153	3	161
9	450	17	110	15	112	13	115
11	550	10	110	9	110	7	112
13	650	13	81	11	81	10	80
15	750	8	83	7	82	5	81
17	850	7	66	6	65	5	64
19	950	4	86	4	87	3	87
<b>Simulación</b>		<b>U(V)</b> 7387	<b>THDv(%)</b> 4.68	<b>U(V)</b> 7447	<b>THDv(%)</b> 4.22	<b>U(V)</b> 7527	<b>THDv(%)</b> 3.55

Tabla 106-Valores recabados de simulación con todas cargas lineales.



Salida de la Simulación con cargas aproximadamente lineales							
Medidores del lado de MT				BT		MT	
Medidor Tensión:		M7		M8		M9	
Nº Arm.	f (Hz)	Amp.(V)	Ángulo(°)	Amp.(V)	Ángulo.(°)	Amp.(V)	Ángulo(°)
1	50	7840	151	229	120	7976	150
3	150	3.21	7	0.16	12	1.07	-2
5	250	2.12	40	0.14	71	0.36	-24
7	350	2.07	-67	0.06	-83	1.16	-55
9	450	3.23	134	0.08	111	0.60	164
11	550	1.83	144	0.05	122	0.40	-166
13	650	2.70	80	0.06	77	0.45	84
15	750	1.24	72	0.04	53	0.12	38
17	850	1.23	54	0.03	45	0.19	26
19	950	0.36	88	0.01	98	0.09	-74
<b>Simulación</b>		<b>U(V)</b>	<b>THDv(%)</b>	<b>U(V)</b>	<b>THDv(%)</b>	<b>U(V)</b>	<b>THDv(%)</b>
		7840	0.82	229	0.86	7976.00	0.047

Tabla 107-Valores recabados de simulación con todas cargas lineales.

2) Los valores de salida del ATPDraw de las simulaciones realizadas para la red con cargas prácticamente lineales, al medir en el medidor M4 la suma de señales de corrientes pertenecientes, una a la línea 40 y la otra a la 44, se muestran en la Tabla 108.

Salida de la Simulación para suma de señales de corrientes							
Medidor de corriente en MT para el nodo M4							
Medidor Corriente:		línea 44		línea 40		suma de señales(línea 39)	
Nº Arm.	f (Hz)	Amp.(A)	Ángulo(°)	Amp.(A)	Ángulo(°)	Amp.(A)	Ángulo(°)
1	50	7.45	-89	0.88	-94	8.32	-89
3	150	0.12	96	0.03	-105	0.09	103
5	250	0.12	92	0.03	90	0.15	91
7	350	0.10	104	0.04	128	0.14	111
9	450	0.07	87	0.03	82	0.10	85
11	550	0.07	93	0.03	95	0.09	93
13	650	0.05	87	0.02	78	0.07	85
15	750	0.05	87	0.02	78	0.06	84
17	850	0.04	91	0.01	84	0.05	89
19	950	0.03	89	0.01	88	0.04	89
<b>Simulación</b>		<b>I(A)</b>	<b>THDi(%)</b>	<b>I(A)</b>	<b>THDi(%)</b>	<b>I(A)</b>	<b>THDi(%)</b>
		7.74	28.41	0.96	45.07	8.68	29.91

Tabla 108-Valores recabados de simulación con todas cargas lineales.

3) Los valores de salida del ATPDraw de las simulaciones realizadas para cargas lineales y alineales se muestran en las Tablas 109, 110 y 111.



Salida de la Simulación con cargas lineales y alineales							
Medidores del lado de BT							
Medidor Tensión:		M1		M2		M3	
Nº Arm.	f (Hz)	Amp.(V)	Ángulo(°)	Amp.(V)	Ángulo(°)	Amp.(V)	Ángulo(°)
1	50	222.31	124.20	225.32	124.32	229.91	124.53
3	150	0.71	14.15	3.01	-0.42	0.31	126.84
5	250	0.72	-132.30	1.94	-127.01	0.25	-123.44
7	350	0.54	49.64	0.55	65.07	0.58	47.04
9	450	0.92	140.90	1.56	154.18	0.63	139.21
11	550	0.44	64.03	1.21	57.35	0.21	89.88
13	650	0.41	12.10	0.52	1.62	0.44	21.96
15	750	0.26	-68.48	0.60	-35.57	0.19	-78.82
17	850	0.45	155.83	0.74	-168.03	0.35	146.55
19	950	0.15	49.65	0.29	79.58	0.17	36.82
<b>Simulación</b>		<b>U(V)</b> 222.75	<b>THDv(%)</b> 6.31	<b>U(V)</b> 225.81	<b>THDv(%)</b> 6.615	<b>U(V)</b> 230.29	<b>THDv(%)</b> 5.763

Tabla 109-Valores recabados de simulación con cargas lineales y alineales.

Salida de la Simulación con cargas lineales y alineales							
Medidores del lado de MT							
Medidor Tensión:		M4		M5		M6	
Nº Arm.	f (Hz)	Amp.(V)	Ángulo(°)	Amp.(V)	Ángulo(°)	Amp.(V)	Ángulo(°)
1	50	7660.42	153.85	7681.46	153.54	7719.64	153.01
3	150	3.73	65.40	3.61	69.40	3.20	71.87
5	250	7.30	145.15	6.57	146.54	5.41	149.54
7	350	7.81	86.66	6.72	82.12	5.13	73.62
9	450	17.74	127.04	16.25	127.97	13.85	129.35
11	550	11.80	53.63	10.52	54.72	8.56	56.99
13	650	5.54	76.60	5.16	75.08	4.52	73.10
15	750	3.15	18.09	2.96	16.17	2.74	12.97
17	850	4.74	140.44	4.28	141.71	3.55	144.35
19	950	4.17	98.10	3.70	99.01	2.97	101.12
<b>Simulación</b>		<b>U(V)</b> 7667.93	<b>THDv(%)</b> 4.467	<b>U(V)</b> 76.87.83	<b>THDv(%)</b> 4.098	<b>U(V)</b> 7724	<b>THDv(%)</b> 3.483

Tabla 110-Valores recabados de simulación con cargas lineales y alineales.

Salida de la Simulación con cargas lineales y alineales		
Medidores del lado de MT	BT	MT





Medidor Tensión:		M7		M8		M9	
Nº Arm.	f (Hz)	Amp.(V)	Ángulo(°)	Amp.(V)	Ángulo.(°)	Amp.(V)	Ángulo(°)
1	50	7904.09	150.64	238.81	120.50	7984.24	149.97
3	150	1.31	11.68	0.14	-6.84	0.63	-9.90
5	250	0.92	-134.22	0.03	19.35	0.66	-93.96
7	350	1.53	-4.90	0.09	8.33	0.77	-29.59
9	450	4.01	146.61	0.07	165.71	0.88	169.47
11	550	2.10	69.02	0.02	153.48	0.32	71.65
13	650	1.22	67.80	0.08	19.31	0.15	54.64
15	750	1.31	-6.77	0.07	-55.44	0.41	-24.93
17	850	0.90	172.26	0.07	170.60	0.27	-147.06
19	950	0.59	123.01	0.04	1.67	0.07	-167.11
<b>Simulación</b>		<b>U(V)</b> 7904.33	<b>THDv(%)</b> 0.78	<b>U(V)</b> 238.81	<b>THDv(%)</b> 0.654	<b>U(V)</b> 7984.24	<b>THDv(%)</b> 0.047

Tabla 111-Valores recabados de simulación con cargas lineales y alineales.

3) Los valores de salida del ATPDraw de las simulaciones realizadas en el transformador S-155 sin carga, con carga lineal y con carga alineal (LFC) se muestran en las Tablas 112 y 113.

Medición en BT (transformador S-155) sin carga y con carga lineal					
Medidor Tensión:		VACIO		CARGA 25KVA	
Nº Arm.	f (Hz)	Amp.(V)	Ángulo(°)	Amp.(V)	Ángulo(°)
1	50	229.87	-116	223.47	124
3	150	0.96	-55	0.81	33
5	250	0.93	-76	0.50	100
7	350	0.29	5	0.14	-170
9	450	0.50	-56	0.70	123
11	550	0.09	-123	0.30	105
13	650	0.18	-52	0.50	88
15	750	0.18	-116	0.23	57
17	850	0.08	-150	0.22	56
19	950	0.12	-81	0.06	101
<b>Simulación</b>		<b>U(V)</b> 230	<b>THDv(%)</b> 3.26	<b>U(V)</b> 224	<b>THDv(%)</b> 5.02

Tabla 112-Valores recabados de simulación en el S-155 sin carga y con carga lineal.

Medición de BT (transformador S-155) con cargas alineales (LFC)		
Medidor Tensión:	102 LFC (GE)	194 LFC (GE)



Nº Arm.	f (Hz)	Amp.(V)	Ángulo(°)	Amp.(V)	Ángulo(°)
1	50	230.25	-116	230.60	-116
3	150	1.89	26	3.58	40
5	250	3.16	-68	5.19	-67
7	350	2.27	-170	4.57	-170
9	450	2.86	66	5.69	69
11	550	3.42	-50	6.48	-49
13	650	3.04	-158	5.83	-159
15	750	3.20	85	6.23	85
17	850	3.30	-34	6.31	-33
19	950	2.72	-142	5.13	-143
<b>Simulación</b>		<b>U(V)</b> 230	<b>THDv(%)</b> 5.03	<b>U(V)</b> 231	<b>THDv(%)</b> 8.02

Tabla 113-Valores recabados de simulación en el S-155 carga alineal (LFC).



## ANEXO D-Fotografías de Ensayos

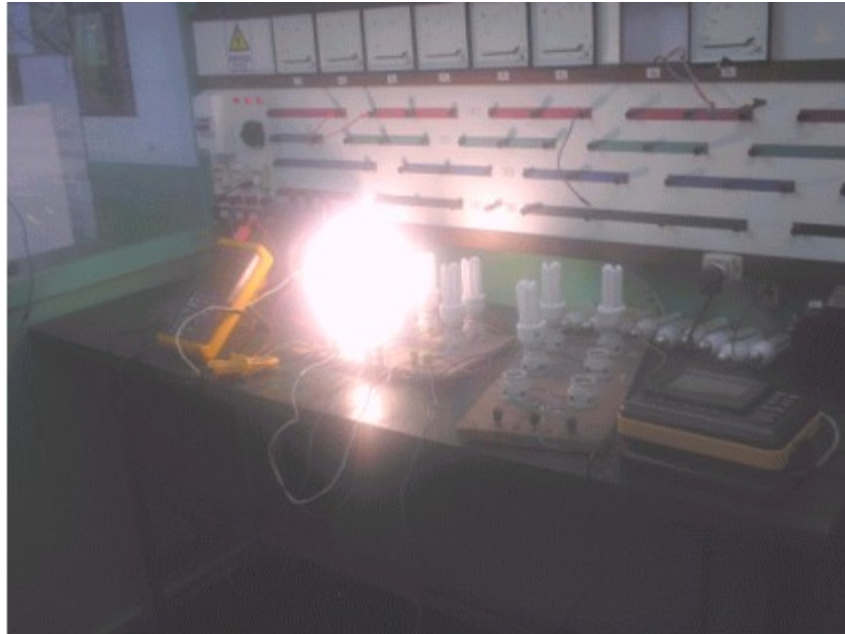


Figura 184-Primer ensayo con 9 LFC de 20W cada una en paralelo.

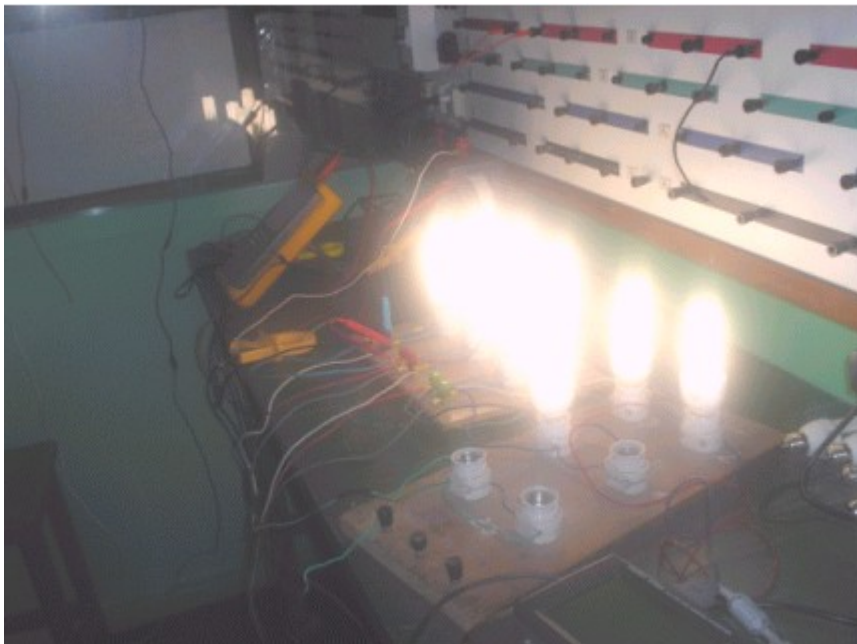


Figura 185-Primer ensayo de 9 LFC de 20W cada una en paralelo.

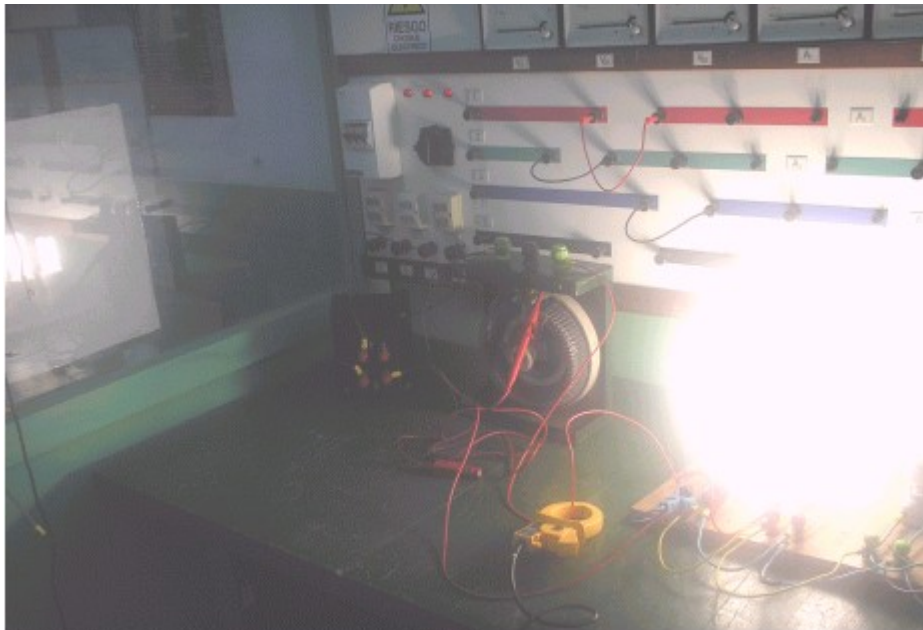


Figura 186-Tercer ensayo con transformador de 1,2 KVA y 9 LFC de 20W cada una en paralelo.



Figura 187-Ensayo con variador de velocidad (C.A.S).



Figura 188-Ensayo con variador de velocidad (C.A.S).

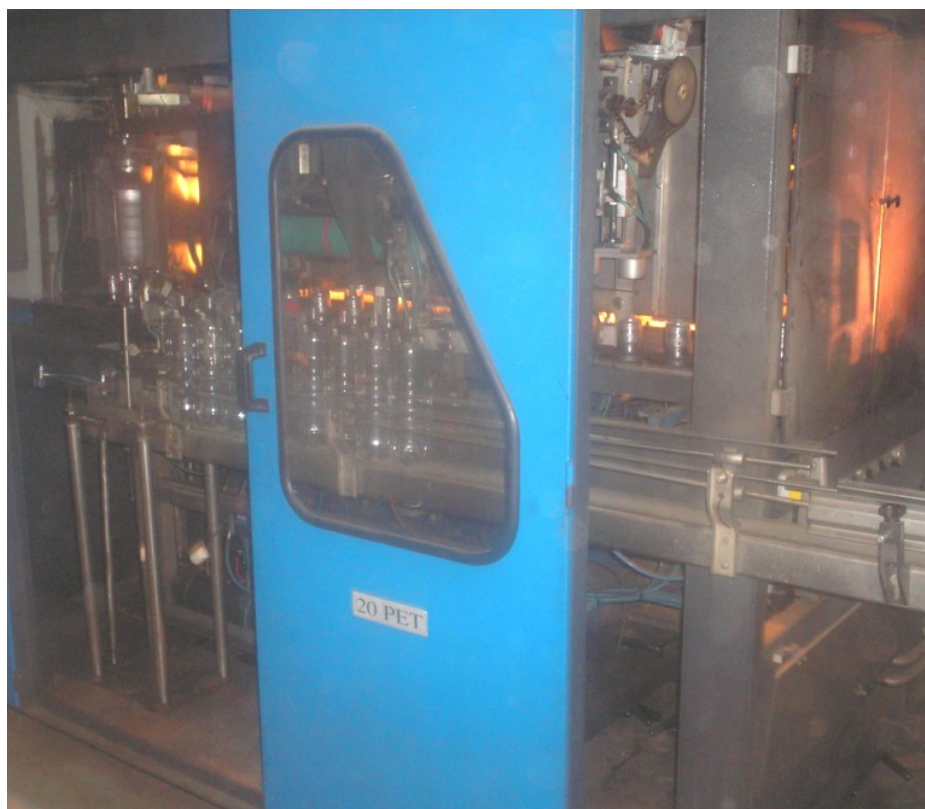


Figura 189-Ensayo en Tablero 1 de la Embotelladora (**Sopladora de botellas**).



Figura 190-Ensayo en Tablero 2 de la Embotelladora (**Llenado de botellas**).



## Referencias

- [1] Apuntes de materia Medidas Eléctricas II, “Medición de la calidad de la energía”.Ing. J. A. Suárez.
- [2] Medición de la calidad de energía.pdf. Ing. J. A. Suárez.
- [3] [http:// www.monografias.com/trabajo21/armónicos/armónicos.shtml](http://www.monografias.com/trabajo21/armónicos/armónicos.shtml).
- [4] Apunte “Análisis de la distorsión armónica y los efectos de atenuación y diversidad en áreas residenciales”. Ing. J. A. Suárez, G. F. Di Mauro, D. Anaut y Agüero.
- [5] Apunte “Guía sobre la calidad de la onda en las redes eléctricas”. Ing. J. A. Suárez.
- [6] Apunte “Efectos de las armónicas en los sistemas eléctricos”.Ing. Alexis Tejada Peralta, Dr. Armando Llamas Terrés. (ITESM Campus Monterrey).
- [7] [http://www.electronica2000.net/curso\\_elec/leccion61.htm](http://www.electronica2000.net/curso_elec/leccion61.htm).
- [8] <http://www.cienciasmisticas.com.ar/electronica/rlc/filtros/index.php>.
- [9] [http://www.dfi.uchile.cl/labfi35a/Experim\\_all/Filtr-Frec-n.pdf](http://www.dfi.uchile.cl/labfi35a/Experim_all/Filtr-Frec-n.pdf).
- [10] <http://correo.puj.edu.co/apaz/Circuitos%20El%E9ctricos%20II/Dise%F1o%20de%20filtros%20pasivos.pdf>.
- [11] <http://www.emb.cl/electroindustria/articulo>.
- [12] [http://www.tesisexarxa.net/tesis\\_upc/available/tdx-1102106-104651//01Mr101de01.pdf](http://www.tesisexarxa.net/tesis_upc/available/tdx-1102106-104651//01Mr101de01.pdf)
- [13] Apunte “Análisis de los Armónicos y su impacto en la corriente de neutro”. Ing. D. Marini, L. Noceti.
- [14] Proyecto “Predicting the net harmonic currents produced by large numbers of distributed single-phase computer loads”. Arshad Mansoor.



[15] Proyecto “Parameters Affecting Harmonic Propagation and Distortion Levels in Non-Linear Distribution systems”. Ing. Ehab El-Saadany.

### Otras publicaciones consultadas

- Proyecto “An Investigation of Harmonic Attenuation and Diversity Among Distributed Single-Phase Power Electronic Load”. A.Mansoor, W.M.Grady, A.H.Chowdhury, M.J.Samotyj.

- Apunte “Análisis Armónicos de las Lámparas Fluorescentes Compactas usando modelo Pspice”. Ing. Suárez Juan A., di Mauro Guillermo F., Anaut Daniel, di Mauro R.

- Apunte “Predicción de la Distorsión Armónica de Tensión en un Sistema de Distribución”. Ing. Suárez Juan A., di Mauro Guillermo F., Anaut Daniel, di Mauro R.

- Proyecto “Estimating the Net Harmonic Currents Produced by Selected Distributed Single-Phase Loads: Computers, Televisions, and Incandescent Light Dimmers”. W.M.Grady, A.Mansoor, E.F.Fuchs, P.Verde, M.Doyle.



**Jorge Raúl Buenaventura Cerviño**, estudiante de la carrera Ingeniería Eléctrica de la Universidad Nacional de Mar del Plata – Facultad de Ingeniería, Plan 1996.



**Emiliano Cesar Santillán**, estudiante de la carrera Ingeniería Eléctrica de la Universidad Nacional de Mar del Plata – Facultad de Ingeniería, Plan 1996.