

MÉTODO DE REDUCCIÓN DE EMISIONES CONDUCCIDAS EN CONTROLES ELECTRÓNICOS DE ELECTRODOMÉSTICOS.

Heriberto Núñez Hernández, Roberto Linares y Miranda.
Mabe Tecnología y Proyectos
Acceso B # 406 Parque Industrial Jurica, Querétaro, Qro.
Tel: 2 11 48 00 Ext. 4095, E-mail: heriberto.nunez@mabe.com.mx

Resumen:

En este documento se describe la metodología y herramientas utilizadas en la medición y reducción de las emisiones conducidas provenientes del control electrónico de un motor trifásico aplicado a un electrodoméstico.

Utilizando el método de medición de emisiones conducidas especificado por la norma CISPR 14-1 [1] y haciendo uso de la metodología seis sigma [4] y en particular del diseño de experimentos (DDE) [3], se detectaron las frecuencias a las que los valores de emisiones sobrepasan los límites permitidos, así como el porcentaje de contribución a estos niveles por parte de cada uno de los elementos del control electrónico.

Con el uso de las herramientas procedentes de la metodología seis sigma, y con apoyo del software estadístico Minitab [2], se realizó el análisis gráfico y numérico de los datos obtenidos en las mediciones del diseño de experimentos. Con los resultados obtenidos de este análisis, aunado al uso de la herramienta denominada diagrama de bloques, se propuso y probó una solución, la cual, reduce de manera importante el nivel de emisiones conducidas, y le permite al control electrónico cumplir con los límites establecidos.

1. Introducción

Actualmente un problema grave al que se enfrenta la industria de electrodomésticos, es que los controles para motores trifásicos aplicados a electrodomésticos generalmente se diseñan para cumplir con los requerimientos funcionales (velocidad, torque, entre otros); pero no para cumplir con la norma de emisiones conducidas aplicable, la CISPR 14-1 [1], de ahí que los niveles de emisiones conducidas resultantes están por arriba de los límites permitidos.

El problema se incrementa cuando el control electrónico ya está terminado, por lo que es

necesario utilizar una metodología que permita resolver este tipo de problema.

Seis sigma [4] es una metodología utilizada para la mejora de procesos ya existentes, como lo es en este caso el control electrónico.

Seis sigma consta de de cinco etapas muy concretas que son: definición, medición, análisis, mejora y control. Utilizando esta metodología, y una de las herramientas de calidad como lo es el DDE, además del diagrama a bloques del control electrónico, se determinaron los factores que contribuyen de manera importante en los niveles de las emisiones conducidas generadas por el control electrónico. A partir de estos factores, se diseñó y probó un filtro de línea, así como también se propuso la ubicación de dicho filtro dentro del electrodoméstico, logrando con esto, llevar los niveles de las emisiones conducidas dentro de los límites permitidos por la norma.

2. Descripción del método de medición

La medición de las emisiones conducidas provenientes del control para motor trifásico se realizó de la manera establecida por la norma CISPR 14-1. Para esta medición se utilizó una red de estabilización de impedancia de línea (LISN) [6] y un receptor de interferencia electromagnética (EMI). La LISN se colocó entre la línea de suministro eléctrico y el equipo bajo prueba (EBP). El cordón tomacorriente del equipo bajo prueba se conecta a la entrada de la LISN. La salida de la LISN se conecta a la salida de la línea de suministro eléctrico, de esta forma la energía eléctrica de la línea de suministro es conducida a través de la LISN hacia el EBP, también se conecta el receptor de EMI a la LISN, como puede observarse en la figura 1.

En la medición de las emisiones conducidas, la LISN se utiliza como una fuente de referencia, que tiene básicamente dos objetivos. El primero es, proporcionar una impedancia constante para el EBP en todo el intervalo de frecuencia de la

pueba de emisiones conducidas. Dicho intervalo va de 150 KHz a 30 MHz. El segundo objetivo es, bloquear las emisiones que no se deban al producto bajo prueba, de manera que, las mediciones realizadas solo sean las generadas por el EBP. La magnitud a medir es tensión eléctrica de la emisión y se mide en dBµV.

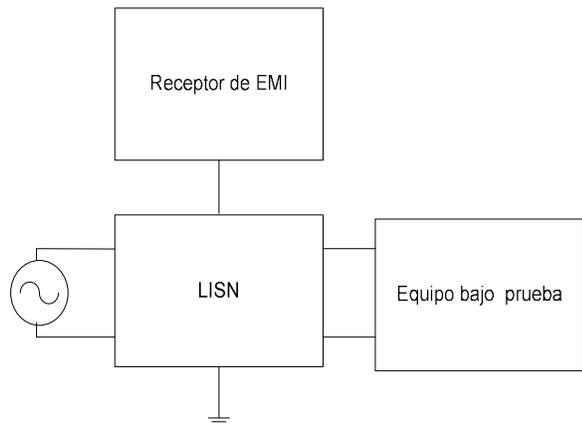


Figura 1: Conexión de los equipos de medición.

La configuración de los equipos de medición para las emisiones conducidas se muestra en la figura 2 y los primeros valores de las emisiones conducidas provenientes del control electrónico que se obtuvieron y muchos de los cuales están por arriba de los niveles de los límites permitidos por la norma CISPR 14-1, se presentan en la gráfica de la figura 3.



Figura 2: Configuración de los equipos de medición.

Los valores iniciales de tensión con detección cuasi-pico y promedio obtenidos en la medición de la gráfica de la figura 3, se muestran en la tabla 1.

Frecuencia (MHz)	Tensión eléctrica medida con detección cuasi-pico (dBµV)	Nivel del límite de la emisión (dBµV)
0.180	77.3	64.4
0.215	68.0	63.0
0.245	58.7	61.9
0.785	62.6	56.0
1.570	67.9	56.0
2.355	67.4	56.0
3.990	68.9	56.0
6.380	70.6	60.0
8.640	77.7	60.0
9.960	70.7	60.0
11.385	71.0	60.0
14.170	50.3	60.0

Frecuencia (MHz)	Tensión eléctrica medida con detección promedio (dBµV)	Nivel del límite de la emisión (dBµV)
0.180	56.6	54.4
0.215	53.7	53.0
0.245	43.5	51.9
0.785	49.4	46.0
1.570	59.5	46.0
2.355	59.7	46.0
3.990	61.1	46.0
6.380	61.4	50.0
8.640	62.6	50.0
9.960	52.9	50.0
11.385	55.5	50.0
14.170	38.0	50.0

Tabla 1: Valores obtenidos de la medición inicial.

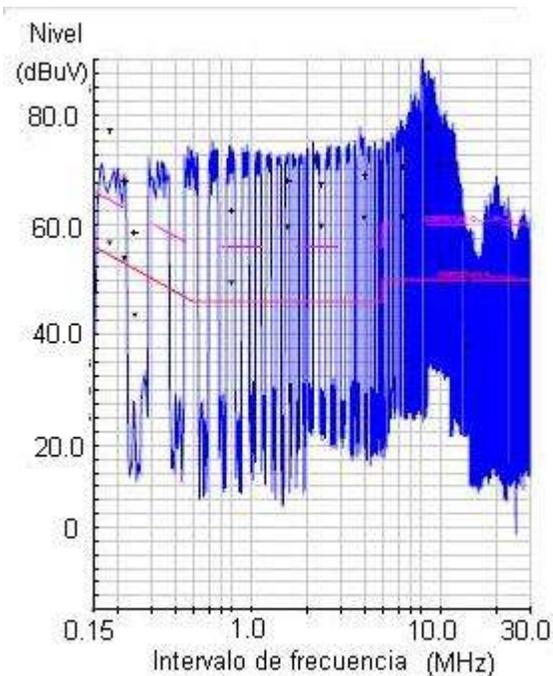


Figura 3: Estado inicial de emisiones conducidas.

3. Diseño del experimento

En el control electrónico bajo estudio, existen factores que contribuyen en el nivel de las emisiones conducidas. Para determinar cuáles de estos factores del control electrónico tienen mayor contribución en los niveles de estas emisiones. Se elaboró un diseño de experimentos factorial completo con una réplica [5]. Un DDE es un conjunto de técnicas estadísticas usadas para planear experimentos y analizar sus resultados de manera ordenada y eficiente [4]. El diseño de experimentos factorial completo, permitió determinar y cuantificar cuales de los tres factores (tarjeta motor, tarjeta control y motor) del control electrónico que se muestran en la figura 4, tienen mayor impacto en el nivel de las emisiones conducidas. Cada factor se pudo experimentar en dos niveles [5]. Para T. Control, Nivel #1 es conectada, mientras que el Nivel #2 es desconectada. Para T. Motor el Nivel #1 es agitar y el Nivel #2 es centrifugar, mientras que los niveles para el Motor son: Nivel #1 es conectado y Nivel #2 desconectado. Las corridas del DDE factorial completo y el valor de las emisiones conducidas para cada corrida se muestran en la tabla 2.

Corrida	T. Motor	T. Control
1	Nivel #1	Nivel #1
2	Nivel #2	Nivel #1
3	Nivel #1	Nivel #2
4	Nivel #2	Nivel #2
5	Nivel #1	Nivel #1
6	Nivel #2	Nivel #1
7	Nivel #1	Nivel #2
8	Nivel #2	Nivel #2
9	Nivel #1	Nivel #1
10	Nivel #2	Nivel #1
11	Nivel #1	Nivel #2
12	Nivel #2	Nivel #2
13	Nivel #1	Nivel #1
14	Nivel #2	Nivel #1
15	Nivel #1	Nivel #2
16	Nivel #2	Nivel #2

Corrida	Motor	Tensión eléctrica (dBuV)
1	Nivel #1	62.091
2	Nivel #1	67.025
3	Nivel #1	73.783
4	Nivel #1	63.783
5	Nivel #2	44.641
6	Nivel #2	38.591
7	Nivel #2	48.925
8	Nivel #2	43.025
9	Nivel #1	65.933
10	Nivel #1	65.391
11	Nivel #1	75.808
12	Nivel #1	71.275
13	Nivel #2	39.616
14	Nivel #2	41.88
15	Nivel #2	47.84
16	Nivel #2	40.725

Tabla 2: Corridas del diseño de experimentos y el valor de las emisiones conducidas para cada corrida.

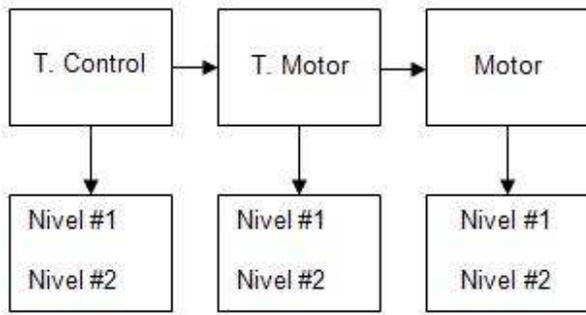


Figura 4: Factores independientes del control y sus niveles de operación.

4. Análisis de datos de la medición

Una vez realizado el diseño de experimentos y hechas todas las mediciones del mismo, se lleva a cabo el análisis gráfico y numérico de estos datos, utilizando las herramientas de Minitab.

Como primer paso se hace el análisis gráfico de los datos, de este análisis se obtiene la gráfica de efectos principales, gráfica 5. Esta gráfica indica la influencia que cada factor (T. Control, T. Motor y Motor) tiene sobre la variable de respuesta (nivel de emisiones conducidas). La gráfica muestra que los tres factores tienen un impacto importante en nivel de las emisiones conducidas, sin embargo el motor, es el factor que mayor contribución tiene sobre la variable de respuesta, dado que en su nivel 1 el valor de las emisiones es mayor que cuando está en su nivel 2. El factor (T. Control) tiene el mismo comportamiento que el anterior, pero su efecto sobre la variable de respuesta es menor. El factor (T. Motor) tiene un efecto contrario a los dos factores anteriores, ya que en su nivel 1, el valor de las emisiones es menor que en su nivel 2. El efecto de cada factor tiene sobre la variable de respuesta se muestra en la figura 5.

Terminado el análisis gráfico, se realizó, el análisis numérico de los datos obtenidos en las corridas del diseño factorial completo. La técnica utilizada en esta etapa es análisis de varianza (Anova) [4], Ésta permite observar el efecto que cada factor tiene en la variable de respuesta (nivel de emisiones conducidas) como se muestra en la tabla 3. También proporciona un nivel de importancia (valor P) [5], este valor es del 5%, por esta razón, cuando el valor $P < 0.05$, existe al menos el 95 % de confianza de que los factores que tienen un valor $P < 0.05$ son los que más contribuyen en el nivel de las emisiones conducidas.

El valor P para cada factor y sus interacciones se muestra en la tabla 3. Con este dato los factores y las interacciones que contribuyen de manera importante en el nivel de las emisiones conducidas son: todos los factores principales (T. Control, T. Motor, Motor), y la interacción T. Control * Motor.

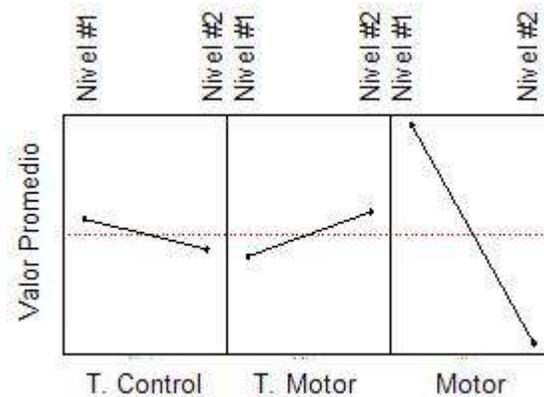


Figura 5: Gráfica de efectos principales para el nivel de las emisiones conducidas.

Factor	Efecto	Coefficiente
Constante		55.65
T. Control	-3.37	-1.68
T. Motor	5.0	2.5
Motor	-24.98	-12.49
T.Control*T.Motor	-3.52	-1.76
T.Control*Motor	-0.83	-0.42
T.Motor*Motor	-1.05	-0.53
T.Control*T.Motor*Motor	1.21	0.61
Factor	Desviación Estándar (dBµV)	Valor P
Constante	0.6852	0.000
T. Control	0.6852	0.039
T. Motor	0.6852	0.007
Motor	0.6852	0.000
T.Control*T.Motor	0.6852	0.033
T.Control*Motor	0.6852	0.560
T.Motor*Motor	0.6852	0.464
T.Control*T.Motor*Motor	0.6852	0.402

Tabla 3. Anova de los datos.

5. Resultados

Una vez concluida la etapa de análisis de los datos y de los gráficos obtenidos, fue posible diseñar y probar un filtro de línea, así como la ubicación más adecuada que permitió reducir los niveles de emisiones conducidas provenientes del control para motor trifásico por debajo de los niveles establecidos por la norma CISPR 14-1.

Para el diseño del filtro se tomaron en cuenta las frecuencias en donde se tienen los niveles más altos de emisiones, tensión eléctrica medida con detección cuasi-pico y promedio. Estas frecuencias se obtuvieron de las gráficas de cada medición realizada en el DDE. Todas las gráficas obtenidas en la etapa de experimentación son similares a las gráficas de las figuras 3 y 7.

El filtro diseñado para reducir el problema de emisiones, en la primera etapa es, un filtro pasa bajas LC de segundo orden, el cual se sintonizó para tener una frecuencia de corte en la frecuencia donde se presenta el nivel más alto de emisiones. Como las emisiones se presentan tanto en línea como neutro, se optó por utilizar una bobina balanceada o de modo común y dos capacitores C1 y C2, con esta etapa se suprimirán las corrientes de modo común y para suprimir las corrientes de modo diferencial se utilizó un capacitor C3.

Las corrientes de modo diferencial se presentan entre línea y neutro, mientras que las de modo común, son las que se presentan de línea a tierra o de neutro a tierra [6].

Con la unión de estas dos etapas se obtiene el filtro de línea que se muestra en la figura 6.

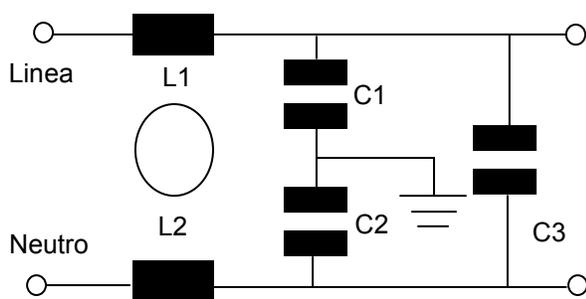


Figura 6. Diagrama del filtro para reducir el nivel de las emisiones conducidas.

La ubicación del filtro debe ser la más adecuada, de tal forma que se obtenga el mejor resultado en la eliminación de las emisiones conducidas.

Para seleccionar la ubicación idónea del filtro se tomó como base el diagrama a bloques del electrodoméstico que se muestra en la figura 8 y los resultados del análisis estadístico, los cuales muestran que los tres factores principales y una interacción de estos son importantes.

Con estos criterios se encuentra, el lugar adecuado para la colocación del filtro, la cual está entre el cable de alimentación y la entrada a la tarjeta control (T. Control) como se muestra en la figura 8.

Con el filtro diseñado y la colocación del mismo, se obtuvieron los valores de emisiones conducidas que se muestran en la gráfica de la figura 7 y en la tabla 4, los cuales como se puede apreciar se encuentran por debajo de los límites permitidos.

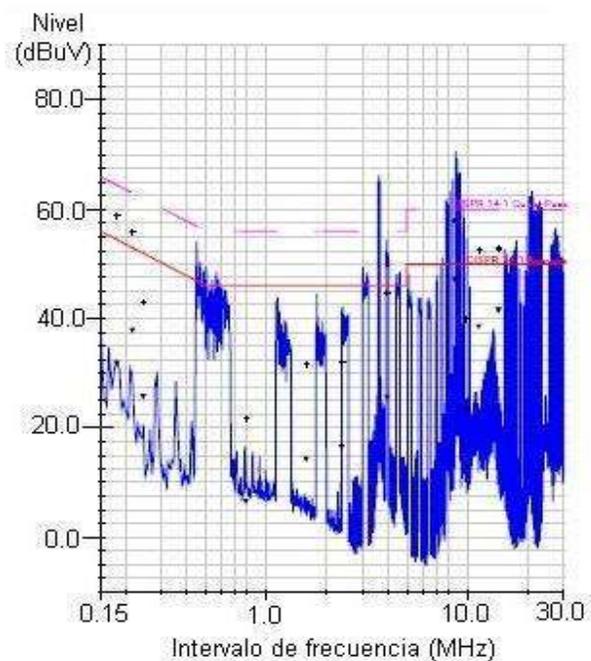


Figura 7. Nivel de las emisiones conducidas después de aplicar un filtro al control electrónico.

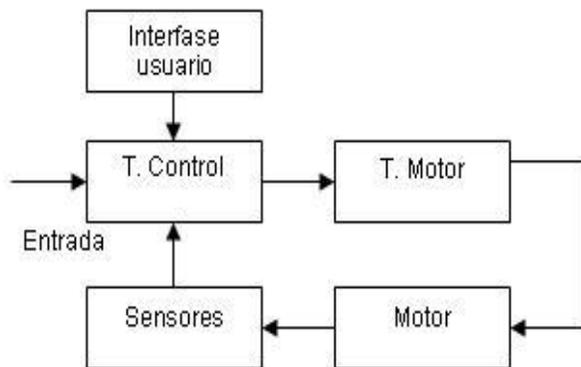


Figura 8. Diagrama a bloques del electrodoméstico

Cabe mencionar que el laboratorio se encuentra incluido dentro del sistema de calidad implantado en el centro de desarrollo de la mencionada industria de electrodomésticos, dicho sistema, cumple con la norma NMX-CC-9001-INMC-200 (ISO 9001:2008). Además el equipo de medición utilizado se calibra periódicamente y tiene trazabilidad a los patrones nacionales que mantiene el Centro Nacional de Metrología (CENAM), por lo que se considera que los resultados obtenidos son confiables.

La incertidumbre en los valores de las mediciones no se reporta en este documento, ya que el cálculo de dicha incertidumbre está considerado para un trabajo posterior.

Frecuencia (MHz)	Tensión eléctrica con detección cuasi-pico (dBµV)	Nivel del límite de la emisión (dBµV)
0.180	58.8	64.4
0.215	55.8	63.0
0.245	43.0	61.9
0.785	21.6	56.0
1.570	31.7	56.0
2.355	32.1	56.0
3.990	44.8	56.0
8.640	58.0	60.0
9.960	40.1	60.0
11.385	52.6	60.0
14.170	52.7	60.0

Frecuencia (MHz)	Tensión eléctrica con detección promedio (dBµV)	Nivel del límite de la emisión (dBµV)
0.180	31.8	54.4
0.215	37.7	53.0
0.245	25.7	51.9
0.785	6.4	46.0
1.570	14.2	46.0
2.355	16.4	46.0
3.990	25.6	46.0
8.640	47.1	50.0
9.960	23.4	50.0
11.385	38.5	50.0
14.170	41.5	50.0

Tabla 4: Valores de la figura 7.

6. Conclusiones

Utilizando de manera adecuada la metodología seis sigma y herramientas de calidad presentadas en este trabajo, es posible determinar los factores que tienen mayor impacto en el nivel de las emisiones conducidas en controles electrónicos aplicados a electrodomésticos. En este trabajo en particular, el control bajo estudio fue una tarjeta control para motor trifásico aplicado a una lavadora, como la mostrada en la figura 9. La determinación los factores antes mencionados permitió la reducción de tiempo de diseño y pruebas de filtros, los cuales, reducen los niveles de emisiones por debajo de los límites permitidos por la norma CISPR 14-1 sin necesidad de rediseñar el control electrónico.



Figura 9. Tarjeta control para motor trifásico.

REFERENCIAS

- [1] CISPR 14-1, Electromagnetic compatibility – Requirements for household appliances, electric tools and similar apparatus – Part 1: Emission. Edition 4.2, 2002.
- [2] Guide to MINITAB: Release 14, [Rath and Strong](#), Edition 1, 2004,
- [3] J. M. Vilar Fernández, "Modelos Estadísticos Aplicados", Publicaciones de la UDC, monografía 101. Segunda Edición, ISBN: 84-9749-196-3, Junio, 2006.
- [4] E. J. Escalante Vázquez, "Seis-Sigma Metodología y Técnicas", Editorial Limusa S.A. de C.V., 2006
- [5] J. M. Juran, "Análisis y planeación de la calidad", McGraw-Hill, Tercera Edición, ISBN 970-10-0612-7, 1995.
- [6] Clayton R. Paul, "Introduction to Electromagnetic Compatibility", John Wiley & Sons, Inc., Second Edition, 2006.