

GR&R PARA EMI RADIADAS POR UN APARATO ELECTRODOMÉSTICO

Ing. Angélica Chávez R., Dr. Roberto Linares y Miranda, M.C. Luis Roberto Olguín V.
 Departamento: Investigación y Desarrollo. MABE S.A. de C.V. y CIDESI
 Dirección: Parque Industrial Jurica Acceso B 406 Querétaro, Qro.
 Teléfono, 4422114800 fax: 4422114888 angelica.chavez@mabe.com.mx

RESUMEN: Hoy en día una de las principales estrategias de los laboratorios de prueba de EMC a nivel mundial es el fortalecimiento de su competencia técnica, el presente trabajo propone un estudio estadístico (GR&R) aplicado a mediciones de emisiones radiadas que generan los aparatos electrodomésticos; este estudio es una poderosa herramienta externa de control de la calidad que permite a los laboratorios de EMC comparar su desempeño con otros laboratorios, detectar tendencias y por lo tanto, tomar cualquier acción correctiva que sea necesaria para facilitar su mejora continua en el proceso de medición, lo cual asegura el uso adecuado de equipos y procedimientos generales de medición que se describen en las normas de producto correspondientes, obteniendo así un enorme beneficio para los laboratorios, sus clientes y los usuarios finales del servicio.

1. INTRODUCCIÓN

Un reto al cual se enfrenta el laboratorio de EMC de MABE es el proceso de medición de EMI radiadas que generan los aparatos electrodomésticos (p.e. los constituidos por un motor de velocidad variable y una fuente conmutada), para estas mediciones el laboratorio debe tener la certeza de que no importando que ingeniero de pruebas realice la medición de un mismo equipo bajo prueba (EBP), los resultados deben ser los mismos o que la variabilidad de estos sea mínima para considerarse aceptable.

En el presente trabajo se propone utilizar un estudio estadístico GR&R (Gage Repeatability & Reproducibility) para determinar los componentes de variabilidad en el sistema de medición de EMI. Los componentes de principal interés son la repetibilidad¹⁾ y reproducibilidad las cuales representan la precisión de la medición. La repetibilidad se asocia al instrumento y refleja la variación que se presenta cuando se mide el mismo aparato electrodoméstico por el mismo ingeniero de pruebas. La reproducibilidad refleja la variabilidad adicional en el sistema de medición de EMI, la cual

resulta del uso del instrumento por diferentes ingenieros de pruebas [1].

El GR&R en cualquier instrumento de medición sirve para validar la repetibilidad y reproducibilidad. GR&R es un método ampliamente utilizados para analizar un sistema de medición determinando la cantidad y tipo de variación (error) obtenido cuando se mide algo [2].

El GR&R proporciona información acerca de los datos como son: si el error de medición es suficientemente pequeño, si es aceptable relativo a la variación del proceso o especificación del producto. También nos indica en donde se deberán enfocar los esfuerzos de mejora si el sistema de medición es inaceptable, y la confianza en la "veracidad" de los datos y la adecuada resolución del dispositivo de medición.

Para lograr una medición confiable es necesario seguir los siguientes consejos de buenas prácticas de medición [3]:

- a).- El laboratorio cuenta con equipos en buen estado y calibrados, la antena de medición, receptor EMI y cables se calibran en períodos de un año.
- b).- El laboratorio de MABE tiene condiciones controladas de temperatura y humedad que permiten la estabilización de temperatura en cualquier medición.
- c).- La calidad de energía en el laboratorio se revisa periódicamente; ésta se encuentra por debajo de los valores límites para los equipos de medición y bajo prueba.

¹⁾

Término	Significado
Repetibilidad (de resultado de mediciones).	Proximidad de concordancia entre los resultados de mediciones sucesivas del mismo mesurando realizadas bajo las mismas condiciones de medición.
Reproducibilidad (de resultado de mediciones).	Proximidad de concordancia entre los resultados de mediciones del mismo mesurando realizadas bajo condiciones variables de medición
Precisión.	Grado de concordancia entre los resultados de los ensayos independientes obtenido en las condiciones prescritas. El vocabulario internacional de metrología precisión es igual a Repetibilidad y Reproducibilidad.

- d).- Se cuenta con cables y conectores en buen estado, a los cuales se les da mantenimiento periódico, previo a utilizarse en cada medición.
- e).- El sistema EMC32 para control y adquisición de datos funciona correctamente e incluye todos los datos de calibración de antenas, LISN y pérdidas por inserción en los cables.

Para cuantificar o evaluar la variabilidad del proceso de medición en cuanto a el método establecido por el ETP910E, a los EBP, las condiciones ambientales, los equipos de prueba, medición de los picos y quasi-picos, con diferentes ingenieros de pruebas se miden las EMI radiadas. Con estos resultados de medición se determina la desviación estándar [5].

El estudio GR&R permite verificar la repetibilidad o variabilidad del sistema de medición; lo anterior se logra mediante el análisis de varianza [4], con el cual pueden separarse los efectos aleatorios de las diferentes variables en las mediciones.

Para lograr la homologación entre los diferentes laboratorios de GE es necesario que el sistema de medición tenga la mínima probabilidad de error ya que estos errores pueden generar discrepancias de medición entre los diferentes laboratorios. La homologación del procedimiento de medición toma como base el ETP910E, que es el procedimiento que le aplica a los productos de MABE; los cuales se comercializan para GE [5].

Este artículo está dividido en 5 secciones; en la primer sección se proporciona una introducción al tema de aplicación de estudios GR&R para mediciones de EMI radiadas en aparatos electrodomésticos, en la sección dos se analiza el tipo de medición y sus principios básicos; en la sección tres se menciona la capacidad de medición y su relación con la variabilidad en el proceso de medición; la sección cuatro trata la cuantificación de los errores que pueden obtenerse al clasificar los aparatos de acuerdo a los límites de las normas correspondientes. Por ultimo se realiza la comparación de la medición inicial con la final, la cual ya involucra las modificaciones hechas al proceso de medición.

2. PRINCIPIOS BÁSICOS DE LA MEDICIÓN.

El estudio de las EMI Radiadas se basa en el principio de antenas para campo cercano y campo lejano (región de Fresnel y Fraunhofer fig. 1) [6].

Conforme a los métodos de prueba normalizados, el instrumento necesario para las mediciones de las EMI es un radio receptor, véase fig. 2, el cual proporciona lecturas en $dB\mu V$ o dBm . El valor de campo radiado se obtiene por la expresión siguiente [6]:

$$E (dB\mu V/m) = V (dB\mu V) + CL (dB) + AF (dBm^{-1}) \quad (1)$$

donde:

$E (dB\mu V/m)$ = Campo Eléctrico medido.

$V (dB\mu V)$ = Tensión del ruido medido.

$CL (dB)$ = Pérdidas del cable.

$AF (dBm^{-1})$ = Factor de antena [6].

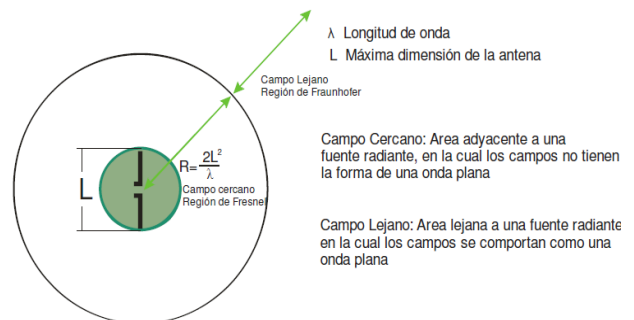


Fig.1: Región campo cercano y lejano.

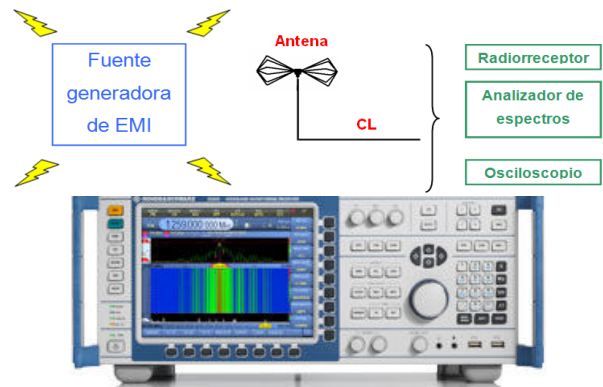


Fig. 2: Configuración para la medición de las EMI radiadas y receptor EMI.

La tabla 1 muestra los requerimientos de prueba para electrodomésticos de acuerdo al ETP910E. [5]

Radiated Emissions: FCC Part 15J Class B		
Radiated Frequency (MHz)	Quasi-peak Spec Limit	
	($\mu V/m$)	($dB\mu V/m$)
30MHz - 88MHz	100	40
88MHz - 216MHz	150	43.52
216MHz - 960MHz	200	46.02
>960MHz	500	53.98

* The limits defined above assume field strength is measured at 3m.

Tabla 1: Especificaciones de prueba según ETP910E.

El método de prueba de del ETP910E se muestra a continuación:

1.- Colocar Equipo Bajo Prueba (EBP) a una distancia de 3 m de la antena, véase fig. 3.

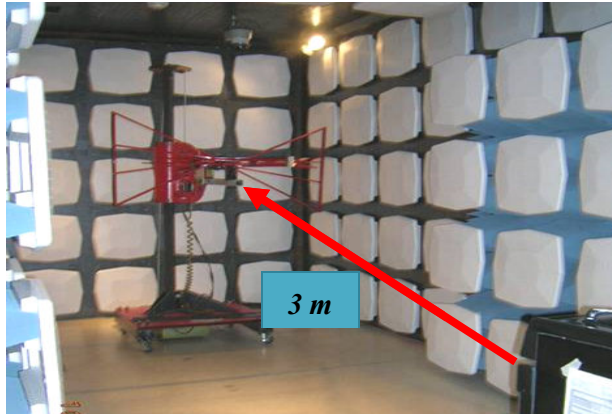


Fig. 3: Distancia entre antena y EBP.

2.- La muestra debe colocarse sobre la mesa giratoria y separarse a 1 m de cada pared de la cámara.

3.- Iniciar el sistema de adquisición EMC32 el cual esta programado con la prueba del ETP910E correspondiente a EMI radiadas. Este sistema primero realiza un barrido en frecuencias de 30 MHz hasta 1 GHz en posición de la mesa 0° y altura de la antena 1,20 m, con un ancho de banda de 120 kHz y un tiempo de medición de 1 s, como lo marca la prueba, de esta forma se detectan los picos más altos, los cuales indican los puntos de mayor emisión, véanse figs. 4 y 5.

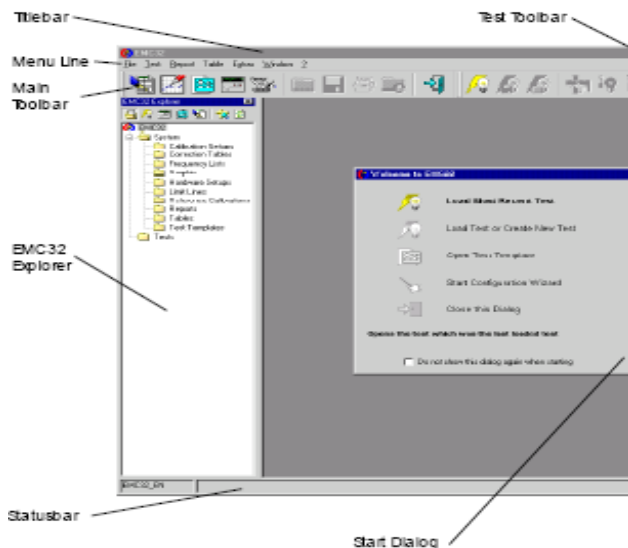


Fig. 4: Pantalla principal del software R&S EMC32.

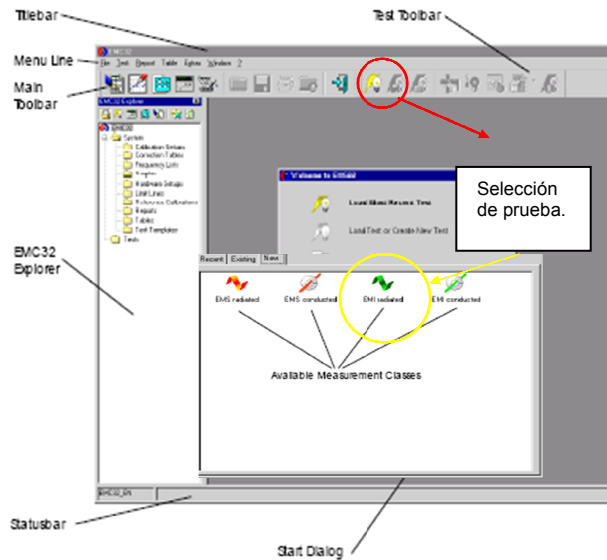


Fig.5: Pantalla del EMC32 para selección de prueba.

4.- Una vez que se miden las emisiones con el nivel pico más alto, se realiza otra medición en estas frecuencias pero en diferentes ángulos de la mesa giratoria y altura en la antena de medición. La posición de la mesa giratoria se varia desde de 0° a 180° con pasos de 45°, y la altura de la antena de medición comienza en 1,20 m con incrementos de 0,2 m hasta llegar a 2,0 m. Esta medición se realiza para polarización vertical y horizontal en la antena de medición. La finalidad de esta medición es determinar la ubicación en el EBP en donde se obtiene la emisión electromagnética más alta con el detector pico.

5.- Conociendo la ubicación de las emisiones más altas con el detector pico, posteriormente se lleva a cabo nuevamente la medición en dichas ubicaciones con el detector quasi-pico. Estas mediciones son las que se comparan con los límites establecidos por el CFR47 Parte 15-109 [10].

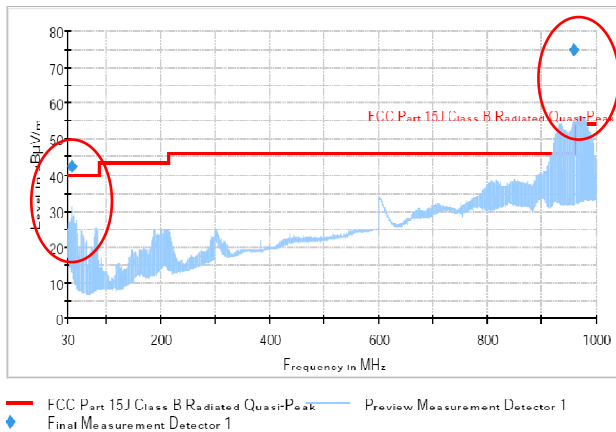


Fig. 6: Equipos de medición y control para las pruebas de EMI radiadas.

En la figura 6 se muestran los equipos de medición y control de la cámara, en la parte superior el controlador del mástil donde se monta la antena de medición y la mesa giratoria donde se coloca el EBP, abajo del controlador está el receptor EMI y el cable de conexión de RF entre la antena y el receptor EMI, con el cual se realizan las mediciones con los detectores pico y cuasi-pico.

La cámara del laboratorio de MABE es de pre-conformidad, por lo que está limitada en altura. De acuerdo con el método de medición MP4 [8], con el cual se verifican las especificaciones del CFR47 Parte 15-109 [10], debe llevarse a cabo la medición barriando en altura la antena de medición de 1 m a 4 m, pero en este caso solo se realiza hasta 2 m. Para los fines de MABE, que son sólo de investigación, la altura de 2 m es suficiente.

La primera medición del EBP nos muestra que hay dos puntos cuyos valores de quasi-picos están por encima de los límites marcados por el CFR47 Parte 15-109 [10], véase gráfica 1.



Gráfica 1: Medición de las EMI radiadas MABE FCC Parte 15J.

3. CAPACIDAD DE MEDICIÓN.

El estudio realizado proporciona las estimaciones de la variación total de la medición, la variación atribuible a la repetibilidad del equipo de medición y la variación atribuible a los ingenieros de prueba. [2]

La medición inicial de las emisiones EMI genera incertidumbre ya que al tenerse sólo dos muestras (EBP's), la repetibilidad y reproducibilidad entre muestras se ve acotada, véase gráfica 2 (figura de tolerancias bilaterales). En base a esto se toman 5

muestras (EBP's) de la producción, sobre las cuales se realiza el GR&R inicial. [4]

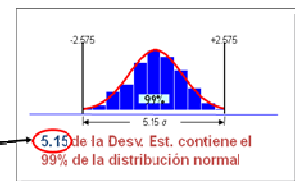
Al realizar estas mediciones el receptor EMI detecta emisiones con el detector pico en frecuencias muy diferentes entre EBP's e ingenieros de prueba como se muestra en las gráficas de control las cuales muestran inconsistencia entre operadores, véase grafica 3.

Gage RvR como % de Tolerancia (%GR&R)

$$\%GR\&R = \frac{5.15 \sigma_{\text{gage}}}{\text{Tolerancia}} \times 100$$

Donde:

- σ_g: = Variación de la medición
- Tolerancia = LSE - LIE
- LSE = Limite Sup. de Especificación.
- LIE = Limite Inf. de Especificación.



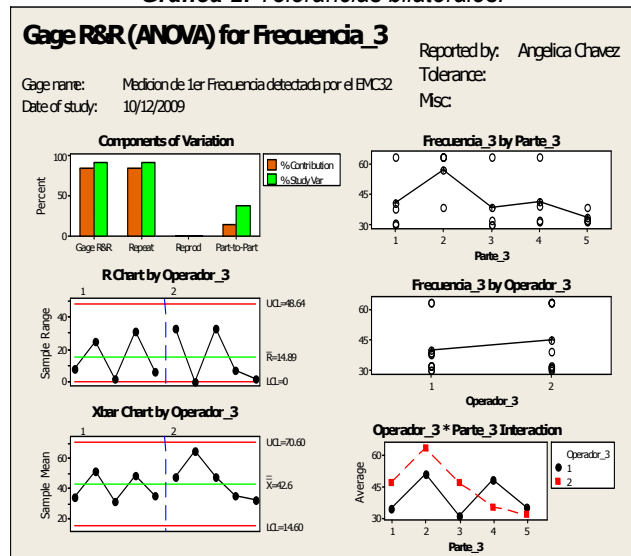
Para Tolerancias Bilaterales

Para tolerancias unilaterales ...

Usar el factor 2.33 σ_{gage}

Tolerancia = LSE - media * σ_{media} - LIE

Gráfica 2: Tolerancias bilaterales.



Gráfica 3:

El resultado del estudio GR&R muestra que el sistema de medición, utilizando el detector pico, es inaceptable para tomar decisiones en medición de frecuencia debido que tiene un 71% de variabilidad en la repetibilidad. En el caso de los datos usando como resultado las mediciones con el detector quasi-pico y electrodomésticos de producción actual, se tiene que el GR&R es de 23,56 % este es menor pero tampoco es aceptable ya que esta arriba del 20% como muestra la tabla 3, véase gráfica 4.

Gage R&R Study - ANOVA Method
 Gage R&R for Frecuencia_3
 Gage name: Medición de 1er Frecuencia detectada por el EMC32
 Date of study: 10/12/2009
 Reported by: Angélica Chávez

Two-Way ANOVA Table With Interaction						
Source	DF	SS	MS	F	P	
Parte_3	4	1287.57	321.892	2.01723	0.257	
Operador_3	1	131.79	131.790	0.82590	0.415	
Parte_3 * Operador_3	4	638.29	159.572	0.78534	0.560	
Repeatability	10	2031.89	203.189			
Total	19	4089.54				

Gage R&R
 %Contribution
 Source VarComp (of VarComp)
 Total Gage R&R 190.727 85.33
 Repeatability 190.727 85.33
 Reproducibility 0.000 0.00
 Operador_3 0.000 0.00
 Part-To-Part 32.791 14.67
 Total Variation 223.518 100.00

Study Var %Study Var
 Source StdDev (SD) (5.15 * SD) (%SV)
 Total Gage R&R 13.8104 71.1235 92.37
 Repeatability 13.8104 71.1235 92.37
 Reproducibility 0.0000 0.0000 0.00
 Operador_3 0.0000 0.0000 0.00
 Part-To-Part 5.7264 29.4908 38.30
 Total Variation 14.9505 76.9952 100.00

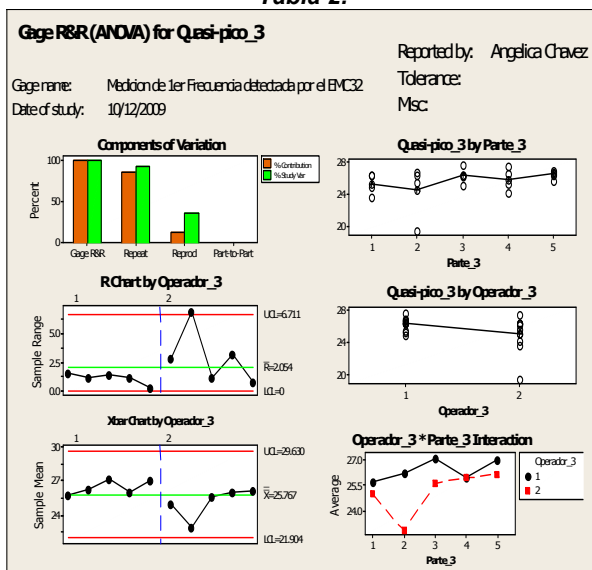
Number of Distinct Categories = 1
Gage R&R for Frecuencia_3

Si el valor de "p" es menor de 0.05, entonces puede decir con al menos el 95% de confianza que esta variable contribuye significativamente con el total de la variación.

Los resultados del GR&R son malos debido a que no hay repetibilidad en la frecuencia a la que se mide.

GR&R como % de Estudio de variación de la muestra es inaceptable.

Tabla 2:



Gráfica 4:

Gage R&R Study - ANOVA Method
 Gage R&R for Quasi-pico_4
 Gage name: Medición de 2da Frecuencia detectada por el EMC32
 Date of study: 10/12/2009
 Reported by: Angélica Chávez

Two-Way ANOVA Table With Interaction						
Source	DF	SS	MS	F	P	
Parte_4	4	74.798	18.6995	0.60355	0.682	
Operador_4	1	3.961	3.9605	0.12783	0.739	
Parte_4 * Operador_4	4	123.931	30.9827	1.50430	0.273	
Repeatability	10	205.962	20.5962			
Total	19	408.651				

Gage R&R
 %Contribution
 Source VarComp (of VarComp)
 Total Gage R&R 23.5638 100.00
 Repeatability 23.5638 100.00
 Reproducibility 0.0000 0.00
 Operador_4 0.0000 0.00
 Part-To-Part 0.0000 0.00
 Total Variation 23.5638 100.00

Study Var %Study Var
 Source StdDev (SD) (5.15 * SD) (%SV)
 Total Gage R&R 4.85425 24.9994 100.00
 Repeatability 4.85425 24.9994 100.00
 Reproducibility 0.00000 0.0000 0.00
 Operador_4 0.00000 0.0000 0.00
 Part-To-Part 0.00000 0.0000 0.00
 Total Variation 4.85425 24.9994 100.00

Number of Distinct Categories = 1
Gage R&R for Quasi-pico_4

Si el valor de "p" es menor de 0.05, entonces puede decir con al menos el 95% de confianza que esta variable contribuye significativamente con el total de la variación.

Los resultados del GR&R son malos debido a que no hay repetibilidad en la frecuencia a la que se mide.

GR&R como % de Estudio de variación de la muestra es inaceptable.

Tabla 3:

Con los resultados obtenidos es necesario replantear el método de medición y redefinir las variables que intervienen en el proceso, para esto se realiza nuevamente una lluvia de ideas con el apoyo del grupo de trabajo, así es como se redefine el método de medición para la siguiente etapa del proyecto, en la que se acota el problema solo a la medición con el detector quasi-pico manteniendo la frecuencia como una medición fija.

Conclusión de la sección 3:

El sistema de medición debe ser mejorado, los resultados del GR&R como se mide de acuerdo al procedimiento (ETP910E) para los picos de la frecuencia, tiene una variación del 71% la cual es atribuible a la repetibilidad, cuando se realiza la medición en quasi-pico de la frecuencia, el GR&R mejora hasta un 23 % como el resultado en ambos casos es mayor al 20% y no tenemos ningún valor de "p" menor del 0.05 entonces no se puede decir con un 95% de confianza cual es la variable que contribuye al total de la variación.

Valor p: probabilidad de cometer un error α tolerable del 5%.

4. CUANTIFICACIÓN DEL ERROR Y MEJORA DEL SISTEMA DE MEDICIÓN.

Debido a que hay que garantizar que la medición sea hecha de forma adecuada y considerando todos los parámetros necesarios para tener una confiabilidad del 95%, a partir de los resultados de la primera medición y de la lluvia de ideas se tiene lo siguiente:

1.- Realización un diagrama de causa y efecto, ver figura 7. Este diagrama es de gran utilidad porque nos muestra cuales son las "X" vitales de la medición, las "X" son las variables que afectan el resultado de la medición este esta representado por la "Y". La "Y" del proceso de medición es el resultado en las emisiones que produce el EBP en unidades de dbv/m.

2.- En este caso el EBP va a ser reemplazado por un combo generador modelo CGO-501 Ver figura 8. [8]. Debido a que en los dos GR&R anteriores se observó que el mayor % de variación es atribuible a la repetibilidad, con esto se descartará el efecto de la "X" vital que implica el proceso de fabricación de las lavadoras para poder validar las otras "X" vitales como son equipos de medición y método de prueba.

Diagrama de Causa y Efecto Prueba Emisiones 6.5

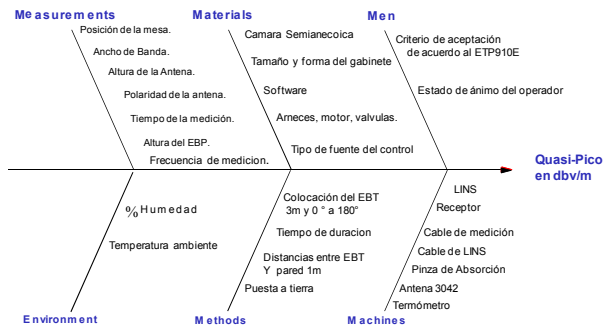


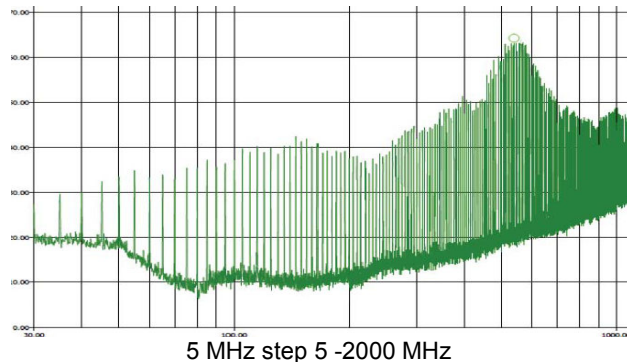
Fig. 7: Diagrama de causa y efecto utilizado para identificar las "X" vitales.



Fig. 8: Combo generador CGO-501

3.- Dado que el combo opera hasta los 2 GHz, se define que el rango de frecuencia sea de 26 MHz a 1 GHz con pasos de 5 MHz como se muestra en la Gráfica 5. Esta gráfica es proporcionada por el fabricante del combo generador [6].

Electric Field Strength (dBuV/m)

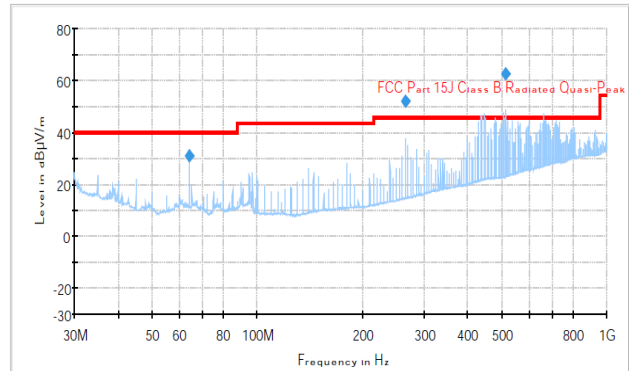


Gráfica 5: Configuración del intervalo de frecuencia para el combo.

4.- Y por último, realización de una medición a una altura de 1.20 m y con una posición de 0° de la mesa giratoria utilizando el combo generador, el cual es colocado a una distancia de 3 m de la antena y sobre una mesa de madera a 80 cm del piso, las distancias entre las paredes son mayores a un metro, la decisión de acotar la medición se toma después de analizar los datos del GR&R ya que son

es un gran número de datos los que se analizarían si no se hace solo 3 frecuencias.

A continuación se muestra en la gráfica 6 el resultado de la medición. El experimento se realiza en las tres frecuencias con mayor nivel de quasi-pico, en tres ángulos diferentes y tres alturas para polaridad vertical de la antena, solo se reporta el resultado de la frecuencia mayor 514,82 MHz, a 0° y 1,20 m. Para simplificar el resultado.



— FCC Part 15J Class B Radiated Quasi-Peak
◆ Final Measurement Detector 1
— Preview Measurement Detector 1

Gráfica 6: Medición con el EMC32 de R&S del Combo Generador CGO-501.

Con los resultados obtenidos usando el combo generador se realiza nuevamente el GR&R. Los resultados de estas mediciones en una frecuencia, altura, ángulo y posición del emisor fijos se muestran en la tabla 4.

Estos resultados muestran que los equipos y la diferencia entre operadores no es significativa, lo único que importa es la variación parte a parte porque esta es producto de la variación del proceso, no del sistema de medición. La variación parte a parte es la generada por los diferentes electrodomésticos evaluados (en este caso es simulado por el combo). El total de la variación es la suma de la variación causada por los diferentes productos más la variación por error de medición.

$$S^2_{Total} = S^2_{Producto} + S^2_{Medición}$$

S^2_{Total} = Variación Total de Datos

$S^2_{Producto}$ = Variación causada por las Diferencias entre las Partes

$S^2_{Medición}$ = Variación por error de medición

Como se muestra en la gráfica 7 el porcentaje parte a parte es el que aporta mayor variabilidad al proceso, lo cual nos da la certidumbre que los instrumentos y el método de medición aportan menor % de error a la medición.

Gage R&R Study - ANOVA Method
 Gage name: Medición frecuencia fija de 514.82
 Date of study: 10/15/2009
 Reported by: Angélica Chávez
 Tolerance:
 Misc:

Two-Way ANOVA Table With Interaction					
Source	DF	SS	MS	F	P
Parte_5_1	4	1.1500	0.2875	18.5484	0.008
Operador_5_1	1	0.0005	0.0005	0.0323	0.866
Parte_5_1 * Operador_5_1	4	0.0620	0.0155	1.2400	0.355
Repeatability	10	0.1250	0.0125		
Total	19	1.3375			

Gage R&R
 %Contribution
 Source VarComp (of VarComp)
 Total Gage R&R 0.0133571 16.31
 Repeatability 0.0133571 16.31
 Reproducibility 0.0000000 0.00
 Operador_5_1 0.0000000 0.00
 Part-To-Part 0.0685357 83.69
 Total Variation 0.0818929 100.00

Source	StdDev (SD)	(5.15 * SD)	(%SV)	(SV/Toler)
Total Gage R&R	0.115573	0.59520	40.39	119.04
Repeatability	0.115573	0.59520	40.39	119.04
Reproducibility	0.000000	0.00000	0.00	0.00
Operador_5_1	0.000000	0.00000	0.00	0.00
Part-To-Part	0.261793	1.34824	91.48	269.65
Total Variation	0.286169	1.47377	100.00	294.75

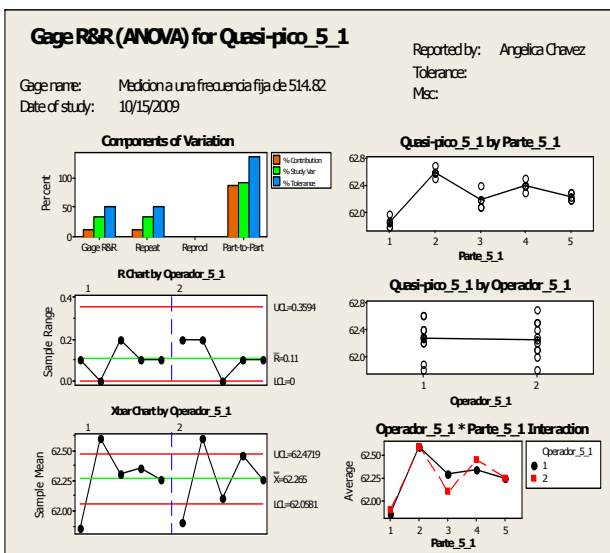
Number of Distinct Categories = 3
Gage R&R for Quasi-pico_5_1

Si el valor de "p" es menor de 0,05, entonces puede decir con al menos el 95% de confianza que esta variable parte contribuye significativamente con el total de la variación.

Los resultados del GR&R aceptables tienen un 16.31% de variación.

GR&R como % de Estudio de variación de la muestra es aceptable.

Tabla 4:



Gráfica 7:

Sin embargo durante el proceso de medición se encuentran varias limitantes las cuales podrían incrementar el nivel de incertidumbre en la medición una de ellas es el Software de R&S, esta limitado para realizar experimentación ya que su sistema automatizado no permite realizar mediciones puntuales, debido a esto se desarrolló en el laboratorio un software de medición utilizando LabVIEW y una tarjeta de National Instruments, el cual se basa en la fórmula de campo lejano para antenas.

Este software de medición permite manipular y guardar datos en los puntos de interés para el

desarrollo, así como también permite realizar mediciones específicas en caso de que el producto que se esté evaluando presente problemas de emisiones. En cambio el software de R&S no permite guardar el primer barrido en frecuencias, ni seleccionar manualmente la frecuencia que se desea analizar.

Los resultados obtenidos con el software desarrollado son de gran utilidad para la caracterización del patrón de radiación en los diferentes aparatos electrodomésticos diseñados en MABE.

Utilizando las formulas de campo y factor de antena siguientes, se calculo el campo del combo generador y se obtuvieron los factores de corrección y tablas para generar la grafica y datos que se van a utilizar en el análisis de los patrones de radiación.

$$E \text{ (dB}\mu \text{ V/m)} = V \text{ (dB}\mu \text{ V)} + CL \text{ (dB)} + AF \text{ (dBm}^{-1}) \text{ (1)}$$

$$AF_{\text{electric}} = E_{\text{incident}} / V_{\text{received}} \text{ (V/m)/(V)} = 1/m \text{ (2)}$$

$$E = V + E/V + \alpha \text{ 100MHz} = 11.28 \text{ dB}\mu\text{V} \text{ (3)}$$

$$11.28 \text{ dB}\mu\text{V} + 8.672 \text{ dB } \mu\text{V/m} / 11.28 \text{ dB}\mu\text{V} + 1.3932$$

$$12.7838 \text{ dB } \mu\text{V} \rightarrow 64.98 \text{ MHz}$$

$$7.0509 \text{ dB } \mu\text{V/m}$$

$$1.1052 \text{ dB} \text{ Valores para } 64.98\text{MHz de } E, A \text{ y } V.$$

Factor de antena [7]

$$E = V + AF \quad A = E/V \text{ (4)}$$

Datos Lineales:

$$E \rightarrow V/m$$

$$V \rightarrow V$$

$$AF \rightarrow 1/m$$

Entonces:

$$AF_{\text{dB(m-1)}} = 20 \text{ Log} (E/V) \text{ (5)}$$

$$AF_{\text{dB(m-1)}} = E_{\text{dB(V/m)}} - V_{\text{dB(V)}} \text{ (6)}$$

$$AF = 9.37 / \sqrt{A} \text{ g} / (m) \text{ (7)}$$

$$A \rightarrow \text{Forma de onda} \quad A = 300 / f\text{MHz} \text{ [7]}$$

$$g \rightarrow \text{Ganancia}$$

Relación del factor de antena con ganancia en 50Ω del sistema es:

$$G_{dB} = 20 \log(fMHz) - AF_{dB(m-1)} - 29,79 \quad (8)$$

Formula del decibel:

$$\begin{aligned} \text{Power Ratio } dB &= 10 \text{ Log}_{10} (P1/P2) \\ &= 20 \text{ Log}_{10} (V1/V2) \end{aligned} \quad (9)$$

P1, P2 → Watts

GdB = 10 Log (g)

$$V_{dB}(\text{ref}) = 20 \text{ Log} (V / V_{\text{ref}}) \quad (10)$$

$$P_{dB}(\text{ref}) = 10 \text{ Log} (P / P_{\text{ref}}) \quad (11)$$

Referencia → 1 μV, 1 μW [2]

Los resultados de este GR&R nos permitieron analizar la información y generar una solución mas acorde a los requerimientos de un laboratorio de Investigación y Desarrollo como es MABE.

El objetivo principal del estudio GR&R es poder dar soluciones de diseño pudiendo verificar el patrón de radiación de los EBP que se desarrollan en MABE y usar esta información para mejorar los diseños de nuevos productos.

5. CONCLUSIONES

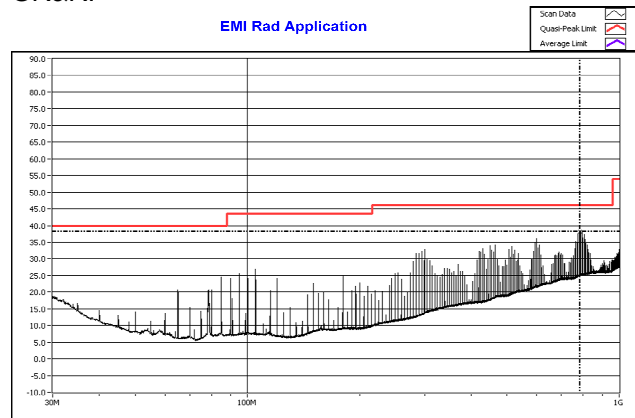
Al realizar el estudio de la variabilidad con Minitab se encuentra que la variación del operador y la reproducibilidad no son significativas porque tienen valor de p>0.05, la variación parte a parte es la que aporta el mayor variabilidad a la medición ya que tiene una p<0.05. Con estos datos se puede asegurar que el método de medición queda validado con un 95% de confianza.

La primera medición en electrodomésticos con motor de velocidad variable, los cuales son prototipos muestran un GR&R del 71%, al cambiar la variable electrodoméstico por unidades de producción actual el GR&R disminuye hasta un 23,56%, lo que nos indica que la variable electrodoméstico es la que aporta mayor error al sistema, por eso se decide sustituir el electrodoméstico por el combo generador.

El resultado del 16,3% representa la variación parte a parte del proceso que permite asegurar un GR&R menor al 20%, lo cual para los requerimientos del laboratorio es aceptable.

5.1. Trabajo siguiente.

Comparando la información obtenida con el software desarrollado en MABE de la señal generada por el combo, ver gráfica 8, con la medición realizada por el EMC32, se observa una variación de 3 dB aproximadamente, lo cual aun debe ser mejorado y validado posteriormente con un GR&R.



Gráfica 8: Medición realizada con el software desarrollado en MABE.

El próximo trabajo nos permitirá a través del diseño y la experimentación tener nuevas tecnologías que no representen un riesgo de contaminación al ambiente de campos electromagnéticos desde el inicio del diseño.

REFERENCIAS

- [1] La Guía MetAs, MetAs, S.a. de C.V. Metrólogos Asociados. pp. 5-6.
- [2] Concepts for RyR Studies by Larry Barrentine, ASQC Press, (800) 952-6587 MBB by GE. pp. 6-8.
- [3] Guía técnica de trazabilidad e incertidumbre en la metrología de tiempo y frecuencia, pp 25, 26.
- [4] Manual rápido Minitab GE&Mabe M.C. David Balderas Rev. 4 2007 pp. 5-6.
- [5] ETP910E. Jennifer Johnson Rev. 7 2009 dr. Ge USA pp. 44.
- [6] Rotkiewicz and Eilhelm, "Electromagnetic Compatibility in Radio Engineering," Elsevier Scientific Rubbinging Company, 1982; pp. 78 – 80.
- [7] ETS-LINGREN and EMCO Technologies Company, "Antenna Catalog", pp 64, 74, 103.
- [8] Com-Power, Cob. Generator model CGO-501, 505 y 515 2009; pp. 1.
- [9] MP4: FCC procedure for measuring RF emissions from computing devices.

- [10] CFR47 Part 15-109: Code of federal regulations
47, part 15 – Radio frequency devices, Section
109 Radiated emission limits.