

Memorias del Congreso Internacional de Investigación

Academia Journals Chiapas 2014

Tuxtla Gutiérrez, Chiapas, México

Septiembre 17-19, 2014

ISSN 1946-5351 Online | ISSN 1948-2353 CDROM

Vol. 6, No. 4, 2014

Chiapas.AcademiaJournals.com



Congreso co-patrocinado por

		
PDHTech, LLC Matriz de Academia Journals San Antonio, TX, EEUU	Universidad Autónoma de Chiapas Tuxtla Gutiérrez, Chiapas	Instituto Tecnológico de Tuxtla Gutiérrez Tuxtla Gutiérrez, Chiapas

Congreso Internacional de Investigación Academia Journals Chiapas 2014

TOMO 01	1-83
TOMO 02	84-178
TOMO 03	179-281
TOMO 04	282-393
TOMO 05	394-503
TOMO 06	504-599
TOMO 07	600-718
TOMO 08	719-852
TOMO 09	853-988
TOMO 10	989-1123
TOMO 11	1124-1271
TOMO 12	1272-1424
TOMO 13	1425-1573
TOMO 14	1574-1693
TOMO 15	1694 +

ÍNDICE POR APELLIDOS DEL PRIMER AUTOR

PONENCIA	AUTORES	AREA	PRIMER AUTOR	
Jóvenes estudiantes, exclusión y limitación de sus derechos sociales y educativos en el ámbito universitario	Dr. José Adriano Anaya, Dra. Yolanda Castañeda Altamirano	Educación	Adriano Anaya José	1
Fabricación de prototipo para hacer ejercicio y generar energía eléctrica	M.C. Álvaro Aguilar Aguilar M.C. Ariana Cano Corona M.A. Julio Cesar Becerra Díaz M.C. Rodrigo Hernández Zempoaltecatl	Ingeniería (Innovación, emprededurism o ingenieriles)	Aguilar Aguilar	5
Efectos del Nuevo Régimen Fiscal para la Pequeña y Mediana Empresa (Pyme) en Comitán de Domínguez, Chiapas, México	C.P. y MAP. José Antonio Aguilar Carboney Dra. Gabriela Duran Flores Dra. Ana Gabriela Ramos Morales	Negocios y Economía - Pequeña y mediana empresa	Aguilar Carboney	11

INTERFAZ GRÁFICA DE PYTHON PARA DOMÓTICA	M.C. GLORIA MÓNICA MARTÍNEZ AGUILAR. M.C. VANESSA MARIBEL MORALES IBARRA. ING. EDUARDO SALAZAR VALLE.	INGENIERIA	M.C. GLORIA MÓNICA MARTÍNEZ AGUILAR	1014
Congruencia de estándares para evaluar la calidad de la educación médica en México con los propuestos por la World Federation for Medical Education.	Dra. Beatriz Elina Martínez-Carrillo Dr. Luis Felipe Abreu-Hernández Dr. Jorge Arauz Contreras Dr. Arturo García-Rillo.	Educación	Martinez Carrillo	1020
Plan estratégico para orientar la gestión del Evento Nacional de Innovación Tecnológica (ENIT) en el ITSVA.	MGTI Lucía Esther Martínez Espinosa	Innovación en la Educación	Martínez Espinosa	1026
Modelos Acústicos HMM multimodales para sonidos torácicos	Dr. Pedro Mayorga Ortiz, Dr. Christopher Druzgalski, Ing. Jesús Miranda, Ing. David O. Calderas	Ingeniería	Mayorga Ortiz	1032
Caracterización de la calidad del agua de la Laguna del Chairel en Tampico, Tamaulipas	M.G.A. Juana Elizabeth Medina Alvarez M.I.A. Ana Lilia Avilés Mariño Dra. Fabiola Erika Lugo Del Ángel M.I.A. Araceli Cartas Carrillo	Ingeniería y sociedad	Medina Alvarez	1038
Dificultades asociadas a la apatía escolar en estudiantes del 2° semestre de la Licenciatura en Nutrición del C.U. UAEM Amecameca.	M.A.O. Guadalupe Melchor Díaz M.A.O. Sergio Hilario Díaz M. en L. Lino Martínez Rebollar	Educación	Melchor Díaz	1044
Nanotecnología aplicada a la medicina	María de los Ángeles Méndez Aguilar David Morales Ruiz Ramón Alejandro Pérez Vázquez José Fernando Gómez Moshan	Tecnología	Méndez Aguilar	1048
Principales factores que afectan la participación de los alumnos de Ingeniería Industrial en la incubadora de negocios: Caso de estudio en el Instituto Tecnológico Superior de Valladolid, Yucatán (ITSVA)	M.C. Jesús Moisés Mendoza Arzápalo	Negocios y economía/ Emprendurismo / Caso de Estudio	Mendoza Arzápalo	1054
Disminución de los factores disergonómicos de riesgo, al aplicar el método REBA al proceso de cable en una empresa de la ciudad de Tecate B.C.	MI. Patria Estela Mendoza Escareño, MI. Adriana Isabel Garambullo	Ingeniería Industrial	Mendoza Escareño	1060
Optimización de parámetros de control de pruebas de emisiones diésel con técnicas de Seis Sigma	Ing. Edith Mendoza Ramírez Dr. Héctor Rivera Gómez Dr. Jaime Garnica González Dra. Eva Selene Hernández Gress	Ingeniería Industrial	Mendoza Ramirez	1066
El origen de la falta de aprendizajes significativos sobre la energía, en estudiantes de ingeniería civil de la Universidad Autónoma de Sinaloa	Dr. Sergio Adolfo Miranda Mondaca Dr. Jorge Luis Almaral Sánchez Dr. Ramón Corral Higuera Dr. Susana Paola Arredondo Rea	Educación	Miranda Mondaca	1072

Optimización de parámetros de control de pruebas de emisiones diésel con técnicas de Seis Sigma

Ing. Edith Mendoza Ramírez¹, Dr. Héctor Rivera Gómez^{2*},
Dr. Jaime Garnica González³, Dra. Eva Selene Hernández Gress⁴

Resumen—En esta investigación se aplicaron técnicas de Seis Sigma, tales como Diseño de Experimentos y Superficies de Respuesta, entre otras, con el objeto de modelar, analizar y optimizar parámetros de control en la prueba de Mapeo. Esta prueba se realiza en el Laboratorio de Emisiones Vehiculares y Ensayo de Motores Sección Emisiones Diésel del Instituto Mexicano del Petróleo. El objetivo del estudio es determinar los valores óptimos de operación de los factores de control de la prueba, con la finalidad de reducir la incertidumbre en las mediciones obtenidas en la calibración del instrumento de trabajo. Se adoptó un método compuesto de cuatro fases, en la primera; se determinan las variables significativas en el cálculo de la incertidumbre; en las fases restantes, se determina la zona de optimalidad de las variables, y finalmente se determinan los valores óptimos de operación mediante el método de superficie de respuesta.

Palabras clave: Incertidumbre, Seis Sigma, Diseño de Experimentos, Superficie de respuesta, Optimización.

Introducción

Se ha observado en los últimos años un creciente interés en la metodología Seis Sigma en las instancias del sector industrial. Parte de la metodología propuesta en el presente artículo utiliza técnicas tales como el Diseño Experimental como parte de la serie de actividades contempladas. Cabe mencionar que en esta investigación se busca extender las actividades desarrolladas en Mendoza, Rivera y Garnica (2014)¹¹ utilizando herramientas de análisis estadístico como el Diseño de Experimentos y Superficie de Respuestas entre otras.

Una serie de investigadores han utilizado la técnica de Seis Sigma en una gran variedad de áreas, por ejemplo, Broatch, Luján, Ruiz y Olmeda (2008)² utilizan las técnicas de Seis-Sigma para estudiar las mediciones de las emisiones contaminantes acumuladas durante la fase de arranque de automóviles de motores diésel de inyección directa; Otro trabajo donde hacen uso de la metodología Seis Sigma es la investigación de Theodoros, Liapis y Zannikos (2013)¹⁶, ellos describen y comparan resultados utilizando tres metodologías estadísticas empíricas (ANOVA clásica, robusta y rango estadístico ANOVA). Por otra parte Koch, Yang y Gu (2004)¹⁰ observaron que gran parte de la actuación de un producto y la calidad está determinada por las decisiones iniciales del diseño. En el trabajo de Zheng y Frey (2001)¹⁷ se analiza la estimación de los parámetros de la distribución de la mezcla. Un enfoque para la cuantificación de la variabilidad y la incertidumbre sobre la base de la distribución de la mezcla.

Otro punto a resaltar, es que cada vez más, crece el número de empresas que se preocupan por sus procesos Apley y Kim, (2011)¹, estos autores y otros más, tales como Tanco, Viles, Ilzarbe y Álvarez (2007)¹⁵, utilizaron el diseño de experimentos para mejorar procesos industriales. También Mizuyama (2005)¹² ha utilizado el diseño experimental para optimizar los gastos y Gaudard, Ramsey y Stephens (2008)⁸ lo han utilizado para análisis históricos. Por su parte Goh y Lam (2010)⁹ usan estadística experimental para el desarrollo de procesos para nuevos productos.

Así también otros autores han realizado análisis haciendo uso de las técnicas de Seis Sigma como la técnica de Taguchi (Chen, Li y Cox, 2009)³, optimizando sus resultados para obtener productos o servicios de mayor calidad. Otros estudios realizados con técnicas de Seis Sigma están orientados al análisis y estimación de la incertidumbre, así como el análisis de la variabilidad de emisiones, como se muestra en los trabajos de Frey y Tran (1999)⁶, Frey y Rhodes (1999)⁵, Frey y Zheng (2002)⁷ y Frey (1998)⁴.

De acuerdo en lo anterior se observa que diversos trabajos han buscado mejorar productos y servicios aplicando las técnicas de Seis Sigma. De manera particular, este proyecto de investigación, tiene como objetivo principal, realizar una búsqueda de los valores óptimos de los diversos parámetros de control que influyen en el cálculo de la estimación de la incertidumbre en la prueba de Mapeo de Emisiones a Diésel, algo que no ha sido abordado en la

¹ Ing. Edith Mendoza Ramírez, estudiante de la Maestría en Ciencias en Ingeniería Industrial, del Área Académica de Ingeniería (AAI) de la Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo. edith124_3@hotmail.com.

^{2*} Dr. Héctor Rivera Gómez, profesor investigador del Área Académica de Ingeniería (AAI) de la Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo. Autor de correspondencia, hriver06@hotmail.com

³ Dr. Jaime Garnica González, profesor investigador del Área Académica de Ingeniería (AAI) de la Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo. jgarnicag@gmail.com

⁴ Dra. Eva Selene Hernández Gress. profesor investigador del Área Académica de Ingeniería (AAI) de la Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo. evaselenehg@hotmail.com

literatura. Se parte del diagnóstico de las variables significativas, para posteriormente realizar una optimización de los parámetros de control por medio de un método consistente en cuatro fases.

El artículo consta de cinco secciones, en la sección uno se presenta la introducción. La sección dos detalla la descripción del sistema de interés, en la sección tres se describe la metodología empleada. En la sección cuatro se muestran los resultados obtenidos y en la sección cinco se presentan las conclusiones obtenidas.

Descripción del Método

En el presente trabajo se analiza la primera prueba de las cuatro que se realizan en el Laboratorio de Emisiones Vehiculares y Ensayo de Motores Sección Emisiones Diésel, del Instituto Mexicano del Petróleo, dicha prueba se le conoce con el nombre de Mapeo. Con el fin de facilitar el entendimiento de dicha prueba, se desarrolló un diagrama SIPOC, el cual presenta una descripción general del proceso de la prueba, así como el listado de entradas, salidas, proveedores y clientes relacionados con esta. El diagrama SIPOC se presenta en la Figura 1.

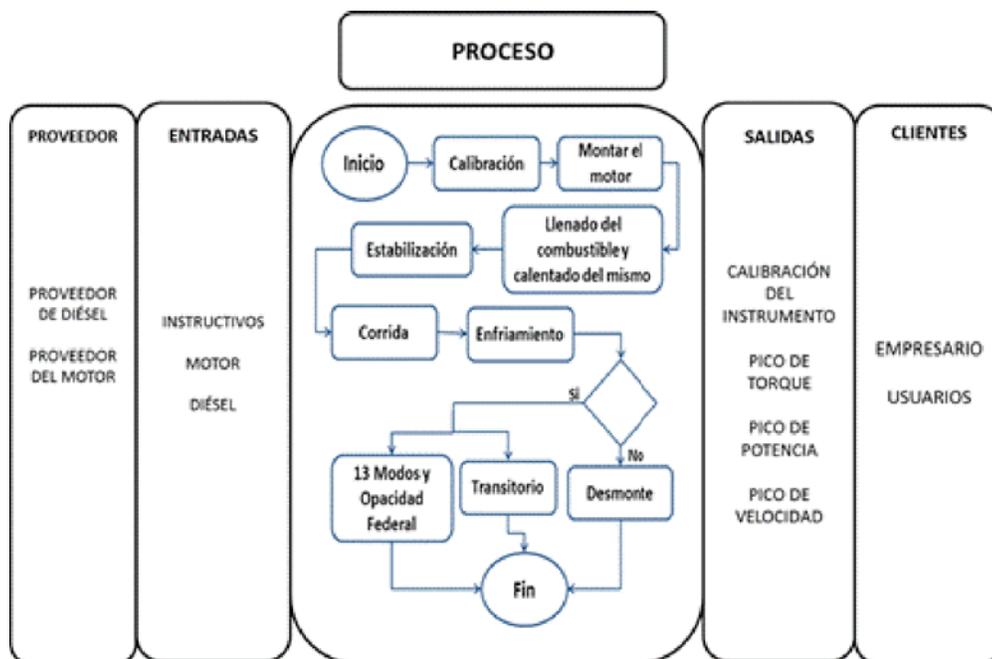


Figura1. SIPOC de la prueba de Mapeo

Fuente: Elaboración propia con base a Pyzdek & Keller (2013)¹³.

Metodología empleada

En esta sección, se detalla la serie de actividades desarrolladas como parte de la metodología propuesta en el presente artículo, recuerde que el objetivo es mejorar el indicador CTQ denotado por la incertidumbre de la calibración de la prueba de Mapeo (Power Map), se desea disminuir la incertidumbre de la prueba a través de la optimización de los valores operativos de los diversos factores de control. De manera particular, en el presente trabajo se adaptó el método de ascenso rápido para optimizar los parámetros de control, dicho método consta de las siguientes cuatro fases:

1. Fase I: Aplicación de un diseño experimental fraccionario de filtrado, 2ⁿ
2. Fase II: Desarrollo del método de ascenso rápido.
3. Fase III: Aplicación de un diseño factorial 3ⁿ
4. Fase IV: Optimización de parámetros a través de un diseño central compuesto.

A través de estas cuatro fases se logró determinar las variables significativas en el cálculo de la incertidumbre de la prueba, así también se logró identificar la zona de optimalidad y se realizó la optimización de los parámetros de control de la prueba mediante la aplicación de la técnica de Superficies de Respuesta. En la siguiente sección se describe la metodología empleada mediante una instancia numérica a fin de presentar la utilidad de los resultados obtenidos.

Resultados

Fase I, Aplicación de un diseño experimental fraccionario de filtrado

En esta fase se realiza la aplicación de un diseño experimental factorial fraccionario de nivel de resolución III, utilizando los parámetros que intervienen en el cálculo de la incertidumbre de la prueba de Mapeo. Existen diversos factores involucrados en el indicador *CTQ* de interés, en este caso la incertidumbre, los cuales se presentan en la Tabla 1.

Tabla 1. Factores de la prueba de prueba de Mapeo

FACTOR	SIMBOLO	VALOR NOMINAL	DOE
Desviación del instrumento	<i>D</i>	0.359	A
Resolución del instrumento	<i>R</i>	17.937	B
Incertidumbre por calibración del instrumento	<i>Ic</i>	35.875	C
Repetibilidad permitida	<i>R</i>	17.937	D
Media muestral	\bar{x}	1793.42	E
Desviación estándar	<i>S</i>	0.0211	F

Fuente: Elaboración propia

Con la finalidad de determinar cuáles de estos factores tienen un mayor impacto en el cálculo del *CTQ*, se seleccionó únicamente seis de un total de nueve factores, puesto que hay parámetros que son constantes y sus valores están dados por tablas estadísticas y su variación no tiene sentido en los resultados. Para el desarrollo del diseño experimental de filtrado se realizó una variación de los seis factores en el intervalo $\pm 10\%$, puesto que este fue el rango de variación observado en datos históricos. Esto facilita el empleo de un diseño factorial 2^6 , el cual consta de seis factores y dos niveles, con un nivel de resolución III, permitiendo con esto distinguir el impacto de los factores principales con un número de corridas moderado. Se realizó un análisis de varianza (ANOVA) a través del software estadístico Statgraphics (2011)¹⁴, el cual reportó un estadístico r^2 del 99.9968%. De los resultados obtenidos se observa que de los 6 factores considerados, las variables que más afectan en la estimación de la incertidumbre son; la calibración del instrumento (C) y la media muestral (E) la cual depende del número de corridas que se realizan para la calibración del instrumento (dinamómetro), tal como se muestra en la gráfica de Pareto de la Figura 2.

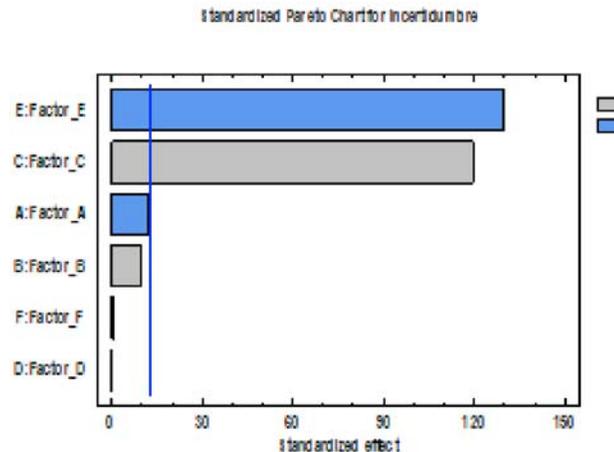


Figura 2. Diagrama de Pareto de Factores Significativos en el cálculo de la Incertidumbre.

Fuente: Elaboración propia por medio del Software Statgraphics (2011)¹⁴

Del diseño experimental fraccionario se obtiene la siguiente ecuación de regresión entre los factores significativos y la incertidumbre:

$$\text{Incertidumbre} = 2,1047 + 0,194 * \text{Factor}_C - 0,210475 * \text{Factor}_E$$

A partir de esta ecuación, es posible desarrollar el método de ascenso rápido, el cual permite localizar la zona de optimalidad de los factores identificados como significativos y posteriormente optimizar sus valores operativos.

Fase II, Desarrollo del Método de Ascenso Rápido

El método de ascenso rápido consiste en realizar incrementos a partir de un origen determinado para observar el comportamiento de las variables significativas a lo largo de una trayectoria que minimice o maximice más rápido algún indicador de interés.

De la expresión lineal obtenida del diseño experimental de filtrado, el incremento en la variable correspondiente a la media muestral (E) es de 0.2230 para la variable codificada. Con respecto a la calibración del instrumento (C), el incremento en la variable codificada es de -0.2056. De acuerdo a dicho análisis se observó que el rango de interés para la optimización, se encuentra en los incrementos $O+2\Delta$, $O+3\Delta$, $O+4\Delta$ tal como se presenta en la Tabla 2, donde se encontraron los valores más bajos de incertidumbre.

Tabla 2. Incrementos y Decrementos del método de ascenso rápido.

Pasos	Variables codificadas		Incertidumbre
	E	C	
Origen	0	0	2.0889
Incremento	0.2230	-0.2056	
O-4 Δ	-0.8922	0.8223	2.4773
O-3 Δ	-0.6691	0.6167	2.3758
O-2 Δ	-0.4461	0.4112	2.2791
O-1 Δ	-0.2230	0.2056	2.187
O	0.0000	0.0000	2.0889
O+1 Δ	0.2230	-0.2056	2.0149
O+2 Δ	0.4461	-0.4112	1.9344
O+3 Δ	0.6691	-0.6167	1.8574
O+4 Δ	0.8922	-0.8223	1.7837

Fuente: Elaboración propia obtenida del software Statgraphics (2011)¹⁴

Es en este intervalo ($O+2\Delta$, $O+4\Delta$) donde el valor de la incertidumbre se reduce claramente. Es necesario aumentar el nivel de resolución en la zona de optimalidad para poder optimizar los parámetros de control de la prueba, con este objetivo se aplica en la siguiente sección un diseño experimental de tres niveles 3^2 .

Fase III, aplicación de un diseño factorial 3^n .

Con la finalidad de caracterizar más completamente la zona de optimalidad, se aplica un diseño factorial de tres niveles para señalar si existe alguna curvatura en dicha zona y posteriormente determinar los valores óptimos de los parámetros significativos de una manera más eficaz. Para esto es necesario realizar una reducción del intervalo de variación original de las variables significativas. Puesto que tenemos dos variables en cuestión, se aplicó un diseño factorial de 3^2 , se codifican las variables de interés, la media muestral (E) y la calibración del instrumento de medición (C), como (-1, 0 y 1), denotando el valor bajo, medio y alto, respectivamente. Después de aplicar el software Statgraphics (2011)¹⁴, con base en los resultados obtenidos, utilizando un nivel de significancia de 0.05, se concluye que E y C son estadísticamente significativos y que la interacción EC y el términos cuadrático E^2 también son significativos, tal como se presenta en la Tabla 3.

Fase IV: Optimización a través de un diseño central compuesto

En esta fase se realiza la optimización de los factores significativos que intervienen en el cálculo de la incertidumbre. Para esto es necesario agregar puntos extremos al diseño experimental factorial original de dos niveles 2^6 . Al agregar los puntos extremos en la Fase IV al diseño experimental de la Fase II, se tienen las condiciones necesarias para aplicar la técnica de superficie de respuesta (RSM), en especial en este trabajo se optimizan los parámetros de control a través de un diseño central compuesto, (DCC), la tabla ANOVA relacionada en esta fase se presenta en la Tabla 4.

Tabla 3. Análisis de varianza del diseño 3²

Analysis of Variance for Incertidumbre					
Source	Sum of Squares	df	Mean Square	F-Ratio	P-Value
A:E	0.00905594	1	0.00905594	24451191.35	0
B:C	0.0079935	1	0.0079935	21582597.27	0
AA	1.3339E-06	1	1.3339E-06	3601.52	0
AB	0.00000225	1	0.00000225	6075.04	0
BB	8.89E-09	1	8.89E-09	24	0.0163
Total error	1.11E-09	3	3.70E-10		
Total (corr.)	0.017053	8			

Fuente: Elaboración propia obtenida del software Statgraphics (2011)¹⁴

Tabla 4. Análisis de variación de la incertidumbre

Analysis of Variance for Incertidumbre					
Source	Sum of Squares	df	Mean Square	F-Ratio	P-Value
A:E	0.0120763	1	0.0120763	46226547.6	0
B:C	0.0106644	1	0.0106644	40822158.8	0
AA	3.1114E-06	1	3.1114E-06	11910.17	0
AB	0.00000225	1	2.25E-06	8612.72	0
BB	2.57E-08	1	2.57E-08	98.43	0.0006
Total error	1.04E-09	4	2.61E-10		
Total (corr.)	0.0227465	9			

Fuente: Elaboración propia obtenida con el Software Statgraphics (2011)¹⁴

El diseño central compuesto es un método adecuado de optimización para este caso puesto que reporto un estadístico r^2 del 100%, y en base en los valores P , utilizando un nivel de significancia de 0.05, se concluye que E y C son estadísticamente significativos y que la interacción y los términos cuadráticos también son significativos. En este caso los valores óptimos están dados por la siguiente expresión **Incertidumbre = 1,8574 - 0,0388528*E + 0,0365111*C + 0,000825003*E^2 - 0,00075*E*C + 0,0000749992*C^2**

De esta expresión se tiene que el valor óptimo para el factor C, correspondiente a la calibración del instrumento, en un valor de la variable natural es de 32.61 y de 1969.9884 y para la media muestral E, respectivamente. La superficie de respuesta obtenida se muestra en la Figura 3.

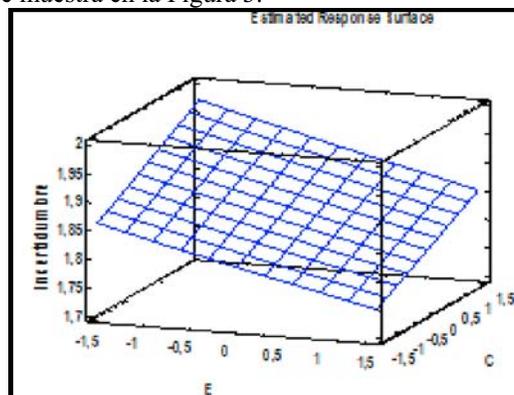


Figura 3. Superficie de respuesta.

Fuente: Elaboración propia con Statgraphics.

De datos históricos almacenados en el banco de datos del laboratorio, se observa que el intervalo de variación de la media muestral es menor del 1%, y en los cálculos realizados se permitió una variación del 10%, lo cual permite una optimización en casos extremos de variación. Si se quiere reducir la incertidumbre en esta prueba, es necesario realizar actividades de mantenimiento y calibración más frecuentemente a fin de tener el factor C, controlado, en valores bajos y con ello reducir la incertidumbre. Si se lograra operar el dinamómetro bajo las condiciones denotadas por la superficie de respuesta se obtendría una reducción de alrededor del 16% del valor de la incertidumbre. Este resultado mejoraría sin duda el proceso de calibración del dinamómetro.

Conclusión

En la presente investigación, se realizó una optimización de los diversos parámetros de control que influyen en el cálculo de la estimación de la incertidumbre en la prueba de Mapeo de Emisiones a Diésel, se inició con un previo diagnóstico de las variables significativas de la prueba, posteriormente se aplicaron diversas técnicas de Seis Sigma, en particular el Diseño de Experimentos, el método de ascenso rápido y la técnicas de Superficie de Respuestas. Los resultados de estas técnicas permiten observar que en el comportamiento de las variables significativas no existe ninguna curvatura en la superficie de respuesta, sin embargo hay una pendiente marcada entre el comportamiento de los factores, lo cual permite obtener sus valores óptimos. Haciendo uso del software estadístico Statgraphics se analizó de forma tridimensional el comportamiento de las variables significativas con respecto al indicador *CTQ* de interés, denotado por la incertidumbre de la calibración. La metodología utilizada permitió obtener una ecuación de aproximación de la incertidumbre de la prueba de Mapeo, lo que permite determinar los valores óptimos de los parámetros de control de la prueba, generando con esto una aportación en el estudio para la estimación de la incertidumbre de la prueba de Mapeo en la calibración del dinamómetro de pruebas a diésel.

Referencias bibliográficas.

- ¹Apley D., & Kim J., (2011). *A cautious approach to robust design with model parameter uncertainty*. Department of Industrial Engineering & Management Sciences, Northwestern University, Evanston 43, pp. 471-482 DOI: 10.1080/0740817X.2010.532854
- ²Broatch, A., Luján J.M., Ruiz S. & Olmeda P. (2008). Measurement of hydrocarbon and carbon monoxide emissions during the starting of automotive diesel engines. *International Journal of Automotive Technology*. 9(2), pp. 129-140. DOI 10.1007/s12239-008-0017-6.
- ³Chen J., Li Y. & Cox R., (2008). *Taguchi-based Six Sigma approach to optimize plasma cutting process: an industrial case study*. Springer-Verlag. 41, pp. 760-769. DOI 10.1007/s00170-008-1526-1.
- ⁴Frey H. (1998). *Methods for Quantitative Analysis of Variability and Uncertainty in Hazardous Air Pollutant Emissions*. Department of Civil Engineering. pp.1-13.
- ⁵Frey H., & Rhodes D. (1999). *Quantitative Analysis of Variability and Uncertainty in Environmental Data and Models. Volume 1. Theory and Methodology Based Upon Bootstrap Simulation*. Department of Civil Engineering. DOE/ER/30250—Vol. 1.
- ⁶Frey H., & Tran L. (1999). *Quantitative Analysis of Variability and Uncertainty in Environmental Data and Models. Volume 2. Performance, Emissions, and Cost of Combustion-Based NOx Controls for Wall and Tangential Furnace Coal-Fired Power Plants*. Department of Civil Engineering. DOE/ER/30250—Vol. 2.
- ⁷Frey H., & Zheng J., (2002), *Method for Development of Probabilistic Emission Inventories: Example Case Study for Utility NOx Emission*, Department of Civil Engineering North Carolina State University Raleigh.
- ⁸Gaudad M., Ramsey P., & Stephens M., (2009). *Interactive Data Mining Informs Designed Experiment*. John Wiley & Sons, **25**, pp. 299-315. DOI: 10.1002/qre.971
- ⁹Goh T., & Lam S., (2010). Problem-based Learning Approach to Application of Statistical Experimentation. John Wiley & Sons. 26, pp. 365-374. DOI: 10.1002/qre.1089.
- ¹⁰Koch, Yang y Gu (2004), Design for Six Sigma through robust optimization. *Struct Multidisc Optim*. 26, pp. 235-248, DOI 10.1007/s00158-003-0337-0.
- ¹¹Mendoza, E. Rivera, H. y Garnica, J (2014). Análisis de la Estimación de la Incertidumbre de la prueba de Mapeo con Técnicas Seis Sigma. Caso Instituto Mexicano del Petróleo, ACACIA (Ed). XVIII Congreso Anual de la Academia de Ciencias Administrativas. Tijuana, Baja California, México.
- ¹²Mizuyama H., (2005). *Statistical robust design of a complex system through a sequential approach*. Taylor & Francis. *Journal of Engineering Design*. 16(2), pp. 259-276.
- ¹³Pyzdek & Keller (2013), *The Six Sigma Handbook*, McGraHill, Third Edition.
- ¹⁴Statgraphics Centurion XVI, (2011). Versión 16.2.03. Copyright. Estados Unidos.Inc: Starpoint Techonogies
- ¹⁵Tanco M., Viles E., Ilzarde L., & Álvarez M. (2007). *Manufacturing Industries Need Design of Experiments (DoE)*. 2. 1108-1113.
- ¹⁶Theodorus, D., Liapis, N., & Zannikos, F. (2013). Estimation of measurement uncertainty arising from manual sampling of fuels. *Talanta*. pp. 360-365.
- ¹⁷Zheng & Frey (2001), Quantitative Analysis of Variability and Uncertainty in Emission Estimation: An Illustration of Methods Using Mixture Distributions. *In Proceedings, Annual Meeting of the Air & Waste Management Association*, pp. 24-28., Orlando Florida