

Análisis de Viscosidad en Lubricantes Mediante Diseño Factorial con Tres Factores.

Viscosity Analysis in Lubricants through Factorial Design with Three Factors

Luis Rojas, Esp¹*, Julio Hurtado, MsC², and Harold A. Rodríguez-Arias, MsC¹

¹Fundación Tecnológica Antonio de Arévalo, Colombia, luis.rojas@tecnar.edu.co, harold.rodriguez@tecnar.edu.co

²Universidad Tecnológica de Bolívar, Colombia, jhurtado@unitecnologica.edu.co

*Corresponding autor

Abstract— In the field of statistics, the experimental design becomes an analysis tool to establish the ideal conditions of a very important process and / or product, analysis of variance it is very useful in cases where there are a series of controllable factors and that affect a complex process in order to optimize them, in the specific case, it is sought to give a solution to a lubricants analysis using a factorial design. For the development of the following document, it is proposed to show the analysis performed on lubricant samples by means of a 3 x 2² factorial design with 9 replicas. The analysis was performed on 108 samples, taking into account three different types of lubricants; which were subjected to a temperature of 40 degrees Celsius by kinematic viscosity test. It was observed in the analysis that taking into account the factors that interacted in the design (types of lubricant, parts, brands), only one of them showed significant interaction. The use of the design of factorial experiments is considered pertinent, since this can be useful in making maintenance decisions when buying a specific lubricant brand. The experiment design was carried out with StatGraphics statistical software.

Keywords—Anova, Factorial design, maintenance, tribology, viscosity.

Abstract— En el campo de la estadística, el diseño experimental se convierte en una herramienta de análisis para establecer las condiciones ideales de un proceso y/o producto muy importante, el análisis de varianza es muy útil en los casos en que se cuentan con una serie de factores controlables y que afectan un proceso complejo con el objetivo de optimizarlas, en el caso puntual, se busca darle una solución a un análisis de lubricantes utilizando un diseño factorial. Para el desarrollo del siguiente documento se plantea mostrar el análisis realizado a muestras de lubricante mediante diseño factorial 3x2² con 9 réplicas. El análisis se realizó a 108 muestras, teniendo en cuenta tres tipos diferentes de lubricantes; los cuales fueron sometidos a una temperatura de 40 grados centígrados mediante prueba de viscosidad cinemática. Se pudo observar en el análisis que teniendo en cuenta los factores que interactuaban en el diseño (tipos de lubricante, partes, marcas), solo uno de ellos mostro interacción significativa. Se plantea pertinente el uso del diseño de experimentos factorial, ya que este puede ser útil en la toma de decisiones de mantenimiento al momento de comprar de una marca de lubricante específica. El diseño de experimento fue llevado a cabo con el software estadístico StatGraphics.

Keywords— Anova, Diseño factorial, mantenimiento, tribología, viscosidad.

I. INTRODUCCIÓN

El diseño estadístico de experimentos según diversos autores tiene como fin último determinar los procedimientos que se deben realizar para obtener conclusiones estadísticamente objetivas sobre un determinado fenómeno, con el fin de concluir sobre los aspectos inciertos del mismo [1].

Un diseño factorial tiene como finalidad estudiar el efecto que un número determinado de factores produce sobre una o varias variables de respuesta [2] [3]. Para este caso de estudio se utilizó un diseño factorial completo, en el cual se toman todas las observaciones aleatoriamente de todas las combinaciones que pueden generarse entre los niveles de los factores de interés, los cuales reciben el nombre de tratamientos y para el presente caso de estudio son de tipo cualitativo; adicionalmente, 9 réplicas fueron tomadas por cada uno de los 12 tratamientos involucrados por el diseño experimental escogido, aun cuando ha sido demostrado que “para los diseño factoriales que involucran menos de cuatro factores por lo regular se corren replicas para tener la potencia necesaria en las pruebas estadísticas sobre los efectos de interés” [1]. Así, el presente experimento tiene 3 efectos principales y 4 efectos de interacción [4].

El trabajo se presentara de la siguiente forma: Se realizara un diseño de experimento, denominado factorial de 3x2² con 9 réplicas y 108 corridas bajo una variable respuesta. Para el desarrollo de este experimento se plantearan los niveles de prueba de cada factor en unidades originales, se planteara el modelo estadístico, las hipótesis de interés, la tabla ANOVA del diseño factorial, las interpretaciones de los efectos y las conclusiones del modelo experimental para analizar las interacciones.

Para dar inicio al experimento es importante resaltar que se estarán dando conceptos tales como análisis de lubricante mediante tribología, siendo el análisis de lubricantes una ciencia que se ha desarrollado con los años y que data su importancia en la gerencia de mantenimiento dentro de cualquier industria que trabaje con motores y maquinaria

industrial de gran tamaño y que necesite lubricar sus partes mecánicas para un óptimo desempeño [5] [6]. Se puede decir que la tribología como ciencia se encarga del estudio de la fricción, lubricación y desgaste de un cuerpo en movimiento contra otro. Los diccionarios definen a la Tribología como la ciencia y tecnología que estudia la interacción de las superficies en movimiento relativo, así como los temas y prácticas relacionadas [7]. La Tribología es el arte de aplicar un análisis operacional a problemas de gran importancia económica, llámese, confiabilidad, mantenimiento, y desgaste del equipo técnico, abarcando desde la tecnología aeroespacial hasta aplicaciones domésticas. El entendimiento de las interacciones superficiales en una interface requiere tener conocimiento de varias disciplinas incluyendo la física, química, matemáticas aplicadas, mecánica de sólidos, mecánica de fluidos, termodinámica, transferencia de calor, ciencia de materiales, lubricación, diseño de máquinas, desempeño y confiabilidad [8].

Cabe resaltar que las muestras tomadas surten de un proceso denominado viscosidad cinemática [9] [10].

II. METODOLOGIA

La metodología utilizada para el desarrollo del experimento; fue un diseño experimental de 3×2^2 , es decir un diseño con 3 factores, 2 de los cuales tienen dos niveles y uno de tres niveles [2] [3]. En este caso son todos de interés para el analista. Los factores que fueron estudiados; son, el tipo de lubricante, parte de la máquina y marca de la máquina, los cuales son parámetros de un sistema de maquinaria industrial, donde se quiere estudiar si estos tienen efectos significativos sobre la variable de respuesta que en este caso se presenta en términos de la viscosidad que presenta el aceite a una temperatura de 40° C para lubricantes industriales luego de 250 horas de uso para el motor y 500 horas de uso para el sistema hidráulico [11] [12] [13].

A. Modelo estadístico del diseño factorial

El modelo que describe el comportamiento del diseño factorial se puede observar en la ecuación (1).

$$y_{ijkl} = \mu + \alpha_i + \beta_j + \gamma_k + (\alpha\beta)_{ij} + (\alpha\gamma)_{ik} + (\beta\gamma)_{jk} + (\alpha\beta\gamma)_{ijk} + \epsilon_{ijkl} \quad (1)$$

$i = 1, 2, \dots j = 1, 2, \dots k = 1, 2, \dots l = 1, 2, \dots$

Donde μ es la media general, α_i es el efecto del nivel i -ésimo del factor A (lubricante), β_j es el efecto del nivel j del factor B (parte de maquinaria: Motor, sistema hidráulico) y γ_k es el efecto del nivel k en el factor C (marca: SHOVEL, T Excavador). $(\alpha\beta)_{ij} + (\alpha\gamma)_{ik} + (\beta\gamma)_{jk}$ representan efectos de interacción dobles de dos factores en los niveles ij , ik , jk respectivamente, y $(\alpha\beta\gamma)_{ijk}$ es el efecto de la interacción triple en la combinación o punto ijk ; ϵ_{ijkl} representa el error

aleatorio en la combinación $ijkl$ y l son las repeticiones o réplicas del experimento que en total son 9 con 108 corridas experimentales.

B. Hipótesis del diseño factorial

Teniendo en cuenta el diseño a plantear se anota que las hipótesis, ver ecuación (2) y ecuación (3) en términos de los efectos; muestran que los efectos no son significativos o son iguales a cero como hipótesis nula (H_0) y como hipótesis alternativa (H_A) diferentes de cero.

$$H_0: \alpha_1 = \alpha_2 = \dots \alpha_i = 0. \quad (2)$$

$$H_A: \alpha_i \neq 0 \text{ Para algún } i \quad (3)$$

C. Tratamientos del diseño experimental

Los niveles de prueba para cada factor en unidades originales se muestran en la Tabla I. Los niveles definidos para cada uno de los factores fueron los siguientes: Para el factor tipo de lubricante aceite 15w40 en el nivel alto, 20w50 en el nivel medio y ISO-100 en el nivel bajo, para el factor parte de la maquina se evalúa el motor en nivel alto y el sistema hidráulico en nivel bajo y para marca de la maquina se utiliza SHOVEL y T. ESCAVADOR. Lo anterior se definió luego de llevar a cabo un proceso de prueba con varios niveles en cada factor; adicionalmente analizando los niveles para los cuales se podría tomar muestras, teniendo en cuenta los costos y tiempo de experimento.

El diseño que finalmente se analizó, fue un diseño en el cual se tuvieron en cuenta 9 réplicas por tratamiento. Esto se decidió luego de hacer experimentos con diseños de 2 réplicas y 3 respectivamente y considerar que se requerían más datos para obtener una respuesta más certera y menos variable.

TABLA I. NIVELES DE PRUEBA DISEÑO

Factor	Unidades Originales		
	Upper Level	Medium Level	Lowest Level
A: Tipo de Lubricante	15W - 40	20W - 50	ISO - 100
B: Parte maquinaria	MOTOR		S. HIDRAULICO
C: Marca	SHOVEL		T. ESCAVADOR

D. Réplicas del diseño experimental

El experimento se realizó con la intención de determinar qué factores influyen sobre la calidad del aceite, para determinar en cuales piezas y para que marcas el lubricante tiene una mayor duración antes de requerir ser cambiado. Es importante aclarar que nos interesa verificar que interacciones entre los factores generan un efecto significativo en nuestras variables de respuesta. Lo anterior puede suministrar

información valiosa en decisiones gerenciales para la reducción de costos en mantenimiento de tipo preventivo, correctivo y en la compra de mejores insumos para el proceso de lubricación de las partes de la maquinaria.

Teniendo en cuenta lo anterior; se procede a realizar el análisis del diseño de experimentos. Lo anterior con el fin de determinar el cumplimiento de las hipótesis planteadas en términos de si los factores y sus interacciones tienen efectos significativos sobre la variable de respuesta.

En la Tabla II. Se observan los 12 tratamientos que tiene el diseño experimental con las 9 réplicas por tratamiento, generando un total de 108 corridas experimentales.

TABLA II. TRATAMIENTOS CON REPLICAS

Tipo de Lubricante	Parte Maquina	Marca Pieza	Viscosidad
15W40	MOTOR	SHOVEL	108,9
15W40	MOTOR	T ESCAVADOR	108,2
15W40	S. HIDRAULICO	SHOVEL	105
15W40	S. HIDRAULICO	T ESCAVADOR	106,4
20W50	MOTOR	SHOVEL	157,9
20W50	MOTOR	T ESCAVADOR	149,9
20W50	S. HIDRAULICO	SHOVEL	157,9
20W50	S. HIDRAULICO	T ESCAVADOR	149,9
ISO-100	MOTOR	SHOVEL	102,3
ISO-100	MOTOR	T ESCAVADOR	103,4
ISO-100	S. HIDRAULICO	SHOVEL	102,5
ISO-100	S. HIDRAULICO	T ESCAVADOR	107,3
15W40	MOTOR	SHOVEL	104,9
15W40	MOTOR	T ESCAVADOR	109,7
15W40	S. HIDRAULICO	SHOVEL	106,9
15W40	S. HIDRAULICO	T ESCAVADOR	109,9
20W50	MOTOR	SHOVEL	159,5
20W50	MOTOR	T ESCAVADOR	157
20W50	S. HIDRAULICO	SHOVEL	159,5
20W50	S. HIDRAULICO	T ESCAVADOR	157
ISO-100	MOTOR	SHOVEL	105,8
ISO-100	MOTOR	T ESCAVADOR	106,9
ISO-100	S. HIDRAULICO	SHOVEL	105,4

ISO-100	S. HIDRAULICO	T ESCAVADOR	102,7
15W40	MOTOR	SHOVEL	107,9
15W40	MOTOR	T ESCAVADOR	100,3
15W40	S. HIDRAULICO	SHOVEL	102,2
15W40	S. HIDRAULICO	T ESCAVADOR	106,3
20W50	MOTOR	SHOVEL	162,2
20W50	MOTOR	T ESCAVADOR	129,8
20W50	S. HIDRAULICO	SHOVEL	162,2
20W50	S. HIDRAULICO	T ESCAVADOR	158,8
ISO-100	MOTOR	SHOVEL	105,7
ISO-100	MOTOR	T ESCAVADOR	104,5
ISO-100	S. HIDRAULICO	SHOVEL	103,9
ISO-100	S. HIDRAULICO	T ESCAVADOR	106,6
15W40	MOTOR	SHOVEL	96,1
15W40	MOTOR	T ESCAVADOR	98,7
15W40	S. HIDRAULICO	SHOVEL	106,6
15W40	S. HIDRAULICO	T ESCAVADOR	105,5
20W50	MOTOR	SHOVEL	159,5
20W50	MOTOR	T ESCAVADOR	158,8
20W50	S. HIDRAULICO	SHOVEL	159,5
20W50	S. HIDRAULICO	T ESCAVADOR	140,6
ISO-100	MOTOR	SHOVEL	104,1
ISO-100	MOTOR	T ESCAVADOR	107
ISO-100	S. HIDRAULICO	SHOVEL	104
ISO-100	S. HIDRAULICO	T ESCAVADOR	109,7
15W40	MOTOR	SHOVEL	98,9
15W40	MOTOR	T ESCAVADOR	103,2
15W40	S. HIDRAULICO	SHOVEL	99
15W40	S. HIDRAULICO	T ESCAVADOR	109,8
20W50	MOTOR	SHOVEL	147,9
20W50	MOTOR	T ESCAVADOR	140,6
20W50	S. HIDRAULICO	SHOVEL	147,9
20W50	S. HIDRAULICO	T ESCAVADOR	157,6

ISO-100	MOTOR	SHOVEL	104,8
ISO-100	MOTOR	T ESCAVADOR	103
ISO-100	S. HIDRAULICO	SHOVEL	106,4
ISO-100	S. HIDRAULICO	T ESCAVADOR	109,5
15W40	MOTOR	SHOVEL	109,6
15W40	MOTOR	T ESCAVADOR	105,4
15W40	S. HIDRAULICO	SHOVEL	109,4
15W40	S. HIDRAULICO	T ESCAVADOR	109
20W50	MOTOR	SHOVEL	167,9
20W50	MOTOR	T ESCAVADOR	157,6
20W50	S. HIDRAULICO	SHOVEL	167,9
20W50	S. HIDRAULICO	T ESCAVADOR	126,9
ISO-100	MOTOR	SHOVEL	105,1
ISO-100	MOTOR	T ESCAVADOR	105,4
ISO-100	S. HIDRAULICO	SHOVEL	106
ISO-100	S. HIDRAULICO	T ESCAVADOR	106,2
15W40	MOTOR	SHOVEL	110,3
15W40	MOTOR	T ESCAVADOR	109,7
15W40	S. HIDRAULICO	SHOVEL	105,1
15W40	S. HIDRAULICO	T ESCAVADOR	105
20W50	MOTOR	SHOVEL	159
20W50	MOTOR	T ESCAVADOR	126,9
20W50	S. HIDRAULICO	SHOVEL	159
20W50	S. HIDRAULICO	T ESCAVADOR	133,7
ISO-100	MOTOR	SHOVEL	104,3
ISO-100	MOTOR	T ESCAVADOR	105,4
ISO-100	S. HIDRAULICO	SHOVEL	104,6
ISO-100	S. HIDRAULICO	T ESCAVADOR	100,9
15W40	MOTOR	SHOVEL	102,1
15W40	MOTOR	T ESCAVADOR	98,2
15W40	S. HIDRAULICO	SHOVEL	91,4
15W40	S. HIDRAULICO	T ESCAVADOR	102,4
20W50	MOTOR	SHOVEL	156,4

20W50	MOTOR	T ESCAVADOR	133,7
20W50	S. HIDRAULICO	SHOVEL	156,4
20W50	S. HIDRAULICO	T ESCAVADOR	164,3
ISO-100	MOTOR	SHOVEL	107,9
ISO-100	MOTOR	T ESCAVADOR	103,4
ISO-100	S. HIDRAULICO	SHOVEL	106,9
ISO-100	S. HIDRAULICO	T ESCAVADOR	101
15W40	MOTOR	SHOVEL	110,8
15W40	MOTOR	T ESCAVADOR	110,1
15W40	S. HIDRAULICO	SHOVEL	94,9
15W40	S. HIDRAULICO	T ESCAVADOR	110,3
20W50	MOTOR	SHOVEL	166,9
20W50	MOTOR	T ESCAVADOR	164,3
20W50	S. HIDRAULICO	SHOVEL	166,9
20W50	S. HIDRAULICO	T ESCAVADOR	148,6
ISO-100	MOTOR	SHOVEL	104,3
ISO-100	MOTOR	T ESCAVADOR	103,8
ISO-100	S. HIDRAULICO	SHOVEL	105,7
ISO-100	S. HIDRAULICO	T ESCAVADOR	101

III. RESULTADOS

Se resalta que el análisis de resultados se realizó con el software estadístico Statgraphics. Como primera instancia se realiza el análisis de varianza ANOVA [14] [15] [16] [17].

A. Anova

Luego de cargar los datos de las corridas experimentales se decide realizar un primer análisis de varianza ver Tabla III. De este análisis se puede determinar que el factor parte de la maquina no tiene un efecto significativo sobre la variable respuesta viscosidad. Se puede observar que de las interacciones; la que presenta un efecto sobre la viscosidad es la que existe entre el tipo de lubricante y la marca de la máquina.

Se resalta que el software estadístico STATGRAPHICS hace uso de una herramienta denominada StatAdvisor, aclarando que en el procedimiento para el cálculo del ANOVA se ejecuta un análisis de varianza de varios factores para Viscosidad. Se realizan varias pruebas y gráficas para determinar qué factores tienen un efecto estadísticamente

significativo sobre Viscosidad. También se evalúa la significancia de las interacciones entre los factores, si es que hay suficientes datos. Adicional se dice que las pruebas-F en la tabla ANOVA le permitirán identificar los factores significativos. Es de anotar que para cada factor significativo, las Pruebas de Rangos Múltiples le dirán cuales medias son significativamente diferentes de otras. La Gráfica de Medias y la Gráfica de Interacciones le ayudarán a interpretar los efectos significativos. Las Gráficas de Residuos le ayudarán a juzgar si los datos han violado los supuestos subyacentes al análisis de varianza.

TABLA III
ANÁLISIS DE VARIANZA PARA VISCOCIDAD – SUMA DE CUADRADOS TIPO III

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
EFFECTOS PRINCIPALES					
A:Tipo Lubricante	56884,9	2	28442,4	639,86	0,0000
B:PARTE MAQUINA	1,84083	1	1,84083	0,04	0,8392
C:MARCA MAQUINA	307,716	1	307,716	6,92	0,0099
INTERACCIONES					
AB	9,995	2	4,9975	0,11	0,8938
AC	1057,68	2	528,839	11,90	0,0000
BC	45,2408	1	45,2408	1,02	0,3155
RESIDUOS	4356,23	98	44,4514		
TOTAL (CORREGIDO)	62663,6	107			

Todas las razones –F se basan en el cuadrado medio del error residual.

R-Cuadrada = 93,0482 por ciento

R-Cuadrada (ajustada por g.l.) = 92,4098 por ciento

Los valores del R2 nos indican que se tiene un Anova confiable.

La tabla ANOVA descompone la variabilidad de Viscosidad en contribuciones debidas a varios factores. Puesto que se ha escogido la suma de cuadrados Tipo III (por omisión), la contribución de cada factor se mide eliminando los efectos de los demás factores. Los valores-P prueban la significancia estadística de cada uno de los factores. Puesto que 3 valores-P son menores que 0,05, estos factores tienen un efecto estadísticamente significativo sobre Viscosidad con un 95,0% de nivel de confianza.

De lo obtenido en el Anova se observa que es posible eliminar dos de las interacciones, ver Tabla IV; y realizar un mejor análisis de cuales niveles de los factores entre lubricante y marca de maquina son los mejores. Además de lo anterior se observó que el factor parte de maquinaria es irrelevante para la viscosidad, con lo cual para elegir el mejor tratamiento se podría utilizar cualquier nivel teniendo en cuenta el factor económico si se quiere.

TABLA IV

Digital Object Identifier: (to be inserted by LACCEI).
ISSN, ISBN: (to be inserted by LACCEI).

ANÁLISIS DE VARIANZA PARA VISCOCIDAD – SUMA DE CUADRADOS TIPO III

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
EFFECTOS PRINCIPALES					
A:Tipo Lubricante	56884,9	2	28442,4	651,19	0,0000
B:B. PARTE MAQUINA	1,84083	1	1,84083	0,04	0,8378
C:MARCA MAQUINA	307,716	1	307,716	7,05	0,0092
INTERACCIONES					
AC	1057,68	2	528,839	12,11	0,0000
RESIDUOS	4411,47	101	43,6779		
TOTAL (CORREGIDO)	62663,6	107			

Todas las razones –F se basan en el cuadrado medio del error residual.

R-Cuadrada = 92,9601 por ciento

R-Cuadrada (ajustada por g.l.) = 92,5419 por ciento

Se observa que el valor de R2 aún nos muestra un análisis de varianza confiable y a partir de aquí se realiza un análisis de los gráficos de contrastes, para determinar cuáles son los mejores niveles en cuanto a lubricante y marca de maquinaria se refiere.

B. Análisis de gráficos de contraste

En el análisis de las gráficas de contraste se tuvieron en cuenta los efectos activos de las interacciones, en este diseño se pudo apreciar que el efecto más importante fue el efecto tipo de lubricante, seguido del efecto marca de la máquina y por último la parte de la maquinaria. Se resalta que la interacción más importante fue la hecha entre el efecto marca de maquinaria y tipo de lubricante y tomando como base la “Fig. 1” se evidencia que el mejor nivel de lubricante es el 20W50, cuando se utiliza en la maquina SHOVEL.

Con base en lo anterior se tendrían los mejores niveles para los factores que generan un efecto en la variable de respuesta (Viscosidad) y como el otro factor parte de la maquina no tiene efecto en la viscosidad del aceite, es indiferente que nivel se utilice.

MÉTODO 95,0% PORCENTAJE TUKEY Y HSD

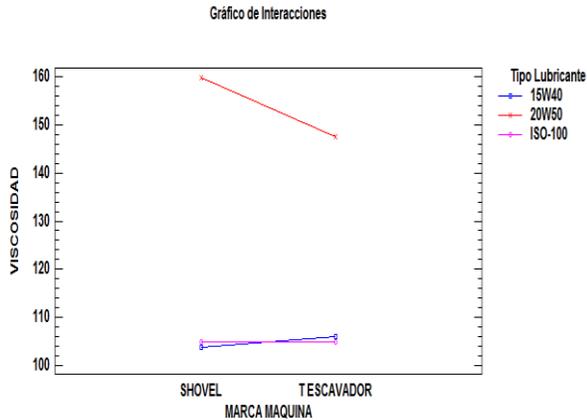


Fig. 1 Grafico de Interacción

A Lubricante	Casos	Media LS	Sigma LS	Grupos Homogéneos
ISO-100	36	104,928	1,1112	X
15W40	36	104,947	1,1112	X
20W50	36	153,622	1,1112	X

Contraste	Sig.	Diferencia	+/- Límites
15W40 - 20W50	*	-48,675	3,73992
15W40 - ISO-100		0,0194444	3,73992
20W50 - ISO-100	*	48,6944	3,73992

* indica una diferencia significativa.

Realizando el analisis de las pruebas de multiples rangos para los dos factores principales relevantes: Tipo lubricante y marca mquina, se puede anotar que se obtienen los mismos niveles que realizando el analisis en conjutno en el grafico de interaccion. Ver “Fig. 2” y “Fig. 3”.

C. Pruebas de múltiples rangos

Esta tabla aplica un procedimiento de comparación múltiple para determinar cuáles medias son significativamente diferentes de otras. La mitad inferior de la salida muestra las diferencias estimadas entre cada par de medias. El asterisco que se encuentra al lado de los 2 pares indica que estos pares muestran diferencias estadísticamente significativas con un nivel del 95,0% de confianza. En la parte superior de la página, se han identificado 2 grupos homogéneos según la alineación de las X's en columnas. No existen diferencias estadísticamente significativas entre aquellos niveles que compartan una misma columna de X's. El método empleado actualmente para discriminar entre las medias es el procedimiento de diferencia honestamente significativa (HSD) de Tukey. Con este método hay un riesgo del 5,0% al decir que uno o más pares son significativamente diferentes, cuando la diferencia real es igual a 0.

Pruebas de Múltiple Rangos para viscosidad por C Marca Maquina, ver Tabla V.

TABLA V
MÉTODO 95,0% PORCENTAJE TUKEY Y HSD

C:Marca Maquina	Casos	Media LS	Sigma LS	Grupos Homogéneos
T ESCAVADOR	54	119,478	0,907289	X
SHOVEL	54	122,854	0,907289	X

Contraste	Sig.	Diferencia	+/- Límites
SHOVEL - T ESCAVADOR	*	3,37593	2,54628

* indica una diferencia significativa.

Pruebas de Múltiple Rangos para viscosidad por A Lubricante, ver Tabla VI.

TABLA VI

Medias y 95,0% de Tukey HSD

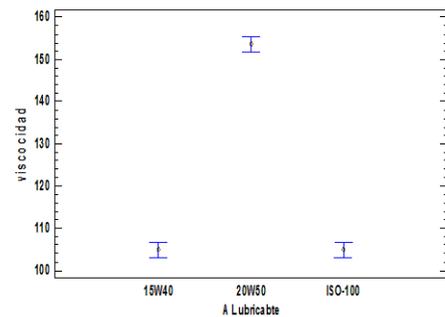


Fig. 2 Grafico de medias Tukey 95% HSD

Medias y 95,0% de Tukey HSD

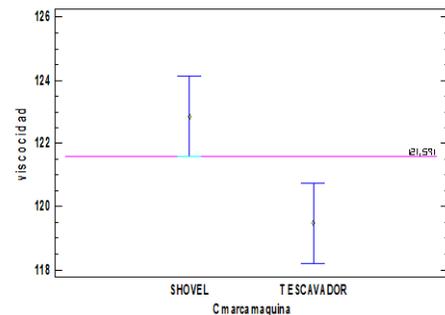


Fig. 3 Grafico de medias Tukey 95% HSD

Nuevamente se recalca que para el estudio se podria usar cualquier nivel del factor B, teniendo en cuenta el factor

economico si se quiere, dado que estadísticamente no hay diferencia significativa entre las medias en sus dos diferentes niveles.

IV. CONCLUSIONES

Se puede apreciar la potencia e importancia de los diseños de experimentos en la toma de decisiones a nivel de procesos industriales. Decisiones relacionadas con la reducción de costos, mediante la realización de compras y escogencia de los productos e insumos para un proceso que minimicen costos y maximicen el tiempo en el cual debe realizarse un mantenimiento como en el caso del experimento presentado.

Puntualmente los resultados obtenidos radica en que los factores principales: Tipo de lubricante y marca de la máquina, generan un efecto sobre la viscosidad del aceite y que la interacción entre estos también. De aquí se logró determinar mediante un análisis de grafico de contrastes cuales son los mejores niveles de dichos factores que maximizan la viscosidad del aceite.

En cuanto al factor parte de la máquina que no fue significativo, este factor era importante de estudiarse, porque se requería saber si la viscosidad el aceite variaba dependiendo de la parte que se estudiara, con el fin de determinar si los mantenimientos y las compras de los lubricantes debían realizarse en tiempos distintos o podían darse en conjunto.

V. POSIBILIDAD DE MEJORA

Es considerable la posibilidad de ampliar los niveles del factor parte de la máquina, ya que el resultado obtenido solo se obtuvo involucrando dos de estos. Sin embargo lo anterior fue debido a costos y tiempos en la toma de datos. Si es posible realizar el estudio aumentando estos niveles, se podría constatar con más precisión que la parte de la maquina no genera un efecto sobre la viscosidad del aceite.

REFERENCIAS

[1] Pulido, H. G., De la Vara Salazar, R., González, P. G., Martínez, C. T., & Pérez, M. D. C. T. (2004). *Análisis y diseño de experimentos*. McGraw-Hill.

[2] Montgomery, D. C. (1991). *Disenoy análisis de experimentos*. Grupo Editorial Iberoamericana, Mexico.

[3] Kuehl, R. O. R. O. (2001). *Diseño de experimentos: principios estadísticos para el diseño y análisis de investigaciones*. Thomson Learning.

[4] Montgomery, D. C. (1991). *Disenoy análisis de experimentos*. Grupo Editorial Iberoamericana, Mexico.

[5] Martínez, F. (2002). *La tribología: ciencia y técnica para el mantenimiento*. Editorial Limusa.

[6] Linares, O. O., & de la Tribología, F. (2005). *Tribología y mantenimiento proactivo*. Widman International SRL Santa Cruz, Bolivia.

[7] Brostow, W., Deborde, J. L., Jaklewicz, M., & Olszynski, P. (2003). Tribología con énfasis en polímeros: fricción, resistencia al rayado y al desgaste. *Journal of Materials Education*, 24(4-6), 119-132.

[8] Flores, M., & Obed, D. (2017). Análisis de desgastes mecánicos por tribología para reducir costos de mantenimiento del motor de tractor sobre orugas D6T-Caterpillar.

[9] Streeter, V. L., Wylie, E. B., Bedford, K. W., & Saldarriaga, J. G. (1963). *Mecánica de los fluidos* (No. QA901. S87 1971.). Ediciones del Castillo.

[10] Martínez, M. M. (2005). *Combustión y quemadores* (No. 1). Marcombo.

[11] Altmann, C. (2005). El analisis de aceite como herramienta del mantenimiento proactivo en flotas de maquinaria pesada. *Consortio Ambiental de la plata*.

[12] Terradillos, J. (2003). Todo sobre la lubricacion de las turbinas y su mantenimiento a través del análisis de aceite. *Ingeniería y gestión del mantenimiento: Una nueva visión del mantenimiento*. 32, 59-67.

[13] Gutierrez, M., Izquierdo J. F. I., Cadena, X., & Santiana, G. (2017). Analisis de las vibraciones de un motor ciclo Otto con una mezcla de combustible a base de gasolina y etanol. *INNOVA Research Journal* , 2(10), 138-146.

[14] Plonsky, L. & Oswald, F. L. (2017). Multiple regression as a flexible alternative to ANOVA in L2 Research. *Studies in second language acquisition*, 39(3), 579-592.

[15] Esfe, M. H., Rostamian, H., Shabani-samghabadi, A., & Arani, A. A. A. (2017). Application of three-level general factorial design approach for thermal conductivity of MgO/water nanofluids, *Applied Thermal Energy*, 127, 1194-1199.

[16] Jiménez-Maldonado, A., Ying, Z., Byun, H. R., & Gomez-Pinilla, F. (2018). Short-term fructose ingestion affects the brain independently from establishment of metabolic syndrome. *Biochimica et Biophysica Acta (BBA)-Molecular Basis of Disease*, 1864(1), 24-33.

[17] Vengatesan, K., Mahajan, S. B., Sanjeevikumar, P., & Moin, S. (2018). The Performance Enhancement of Statistically Significant Bicluster Using Analysis of Variance. In *Advances in Systems, Control and Automation* (pp. 671-678). Springer, Singapore.