

UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA
SEDE MATRIZ CUENCA

CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA AUTOMOTRIZ

Trabajo de titulación previo a la obtención del Título de Ingeniero
Mecánico Automotriz

“APLICACIÓN DEL DISEÑO EXPERIMENTAL PARA EL
ANÁLISIS DE LA ESTANQUEIDAD DEL CONJUNTO
CILINDRO-PISTÓN DE UN MOTOR HYUNDAI ACCENT 1.5L
MEDIANTE EL ANÁLISIS DE LA SEÑAL DEL SENSOR MAP”

AUTORES:

César Augusto Peñaranda Arcentales

Christian Andrés Vizhco Sigua

DIRECTOR:

Ing. Néstor Diego Rivera Campoverde

Cuenca, Febrero 2016

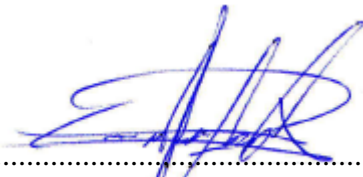
DECLARATORIA DE RESPONSABILIDAD Y AUTORIA

Nosotros, César Augusto Peñaranda Arcentales y Christian Andrés Vizhco Sigua, declaramos bajo juramento que el trabajo descrito es de nuestra autoría; que no ha sido previamente presentado para ningún grado o calificación profesional; y que hemos consultada las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

A través de la presente declaración cedemos nuestros derechos de propiedad intelectual correspondientes a este trabajo, a la Universidad Politécnica Salesiana, según lo establecido por la ley de Propiedad Intelectual, por su Reglamento y por normatividad institucional vigente.



.....
César Augusto Peñaranda Arcentales
C.I.: 0104973219



.....
Christian Andrés Vizhco Sigua
C.I.: 0105810725

CERTIFICACIÓN

Certifico que el presente proyecto de tesis “Aplicación del diseño experimental para el análisis de la estanqueidad del conjunto cilindro-pistón de un motor Hyundai Accent 1.5L mediante el análisis de la señal del sensor MAP”, realizado por los estudiantes César Augusto Peñaranda Arcentales y Christian Andrés Vizhco Sigua, fue dirigido por mi persona.



Ing. Néstor Diego Rivera Campoverde
DIRECTOR DEL PROYECTO

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a Dios, por darme salud y fortaleza para no rendirme y poder concluir esta nueva etapa de mi vida.

De manera muy especial a los seres más maravillosos que son mis padres, quienes con su paciencia, sacrificio, amor y confianza depositada en mi persona, me guiaron por el camino de la superación y supieron cumplir uno de mis sueños anhelados.

Un agradecimiento especial al Ing. Néstor Rivera quien responsablemente nos transmitió sus conocimientos y apoyo incondicional para el desarrollo de la investigación.

A la Universidad Politécnica Salesiana, por permitirme formarme académicamente, a los docentes por haberme compartido sus conocimientos y a los compañeros de aulas que con locuras y alegrías compartimos gratos momentos que serán recordados por siempre.

Gracias a todos.

César Augusto

AGRADECIMIENTO

Mi sincero agradecimiento a mi familia, que está constantemente alentándome y me regala consejos para alcanzar mis metas. A cada una de las personas que continúan brindándome su cariño y amistad.

Christian

DEDICATORIA

La culminación de mi carrera profesional va dedicada a las personas que me apoyaron incondicionalmente y forman parte para la consecución de unos de mis objetivos.

Para mis padres, Eusebio y María que con su paciencia, sacrificio y amor, fueron el pilar fundamental para que pueda alcanzar esta meta en mi vida. Y que a pesar de las adversidades que tiene la vida, siempre hemos sabido sobrellevar adelante. Los quiero mucho.

A mis hermanos Liliana, Bryan y Jonnathan con quienes he compartido momentos de alegría y tristeza, a mi sobrina Emily que con sus ocurrencias nos alegra a todos. Para mi tía Rosario por estar con nosotros en todo momento. A mis padrinos Miguel y Violeta quienes con sus consejos y palabras de aliento me enseñaron que para cumplir mis sueños debo ser fuerte. A mi abuelito Manuel Jesús (+) que a pesar de que ya no este entre nosotros, siempre está en mis pensamientos y mi corazón.

César Augusto

DEDICATORIA

Dedico este proyecto de investigación a mis padres Eudocia y Roberto, quienes han sido pilar fundamentales en mi desarrollo como persona y me han brindado su apoyo incondicional durante toda mi vida.

A mis amigos y maestros que me animaron y aportaron con ideas y conocimientos para culminar exitosamente esta investigación y etapa de mi vida.

Christian

RESUMEN

Este proyecto de investigación describe el comportamiento del sensor MAP durante el ciclo de admisión en motores de combustión por encendido provocado, a través de un análisis estadístico cuando el motor está en condiciones óptimas de trabajo y de funcionamiento real cuando se le simulen fallos referenciados al proceso de admisión.

Inicialmente se relaciona el problema de la investigación, que relaciona el planteamiento del trabajo con la importancia que abarcara realizar el mismo, además de mencionar cual es el alcance al que se pretende llegar al realizar este estudio.

La revisión del Estado del Arte se centra en las técnicas de mantenimiento predictivo empleadas en determinar la eficiencia volumétrica que presenta los motores de combustión interna que se referencia al ciclo de admisión.

Después se describe la metodología de investigación a desarrollar, como será el procedimiento experimental a ejecutar y como se realiza la planeación del experimento. Esta etapa contempla el definir los factores de entrada con sus respectivos niveles los mismos que afectan la variable de salida del sistema que están compuestos por el régimen de giro del motor, la holgura de los segmentos de pistones y la viscosidad del aceite, además se elige el diseño experimental a realizar, los elementos de medición que conforman la unidad experimental del trabajo, el protocolo de muestreo y se genera la matriz que determina la adquisición de datos.

Finalmente se desarrolla el análisis e interpretación de los resultados obtenidos de los tratamientos realizados en la investigación, donde se identifica los efectos lineales, efectos cuadráticos e interacciones y la relación existente que tienen con los factores de entrada, con el objeto de generar una base de referencia a los niveles de cada factor. Además se presenta las conclusiones de la investigación realizada y sus respectivas recomendaciones.

ABSTRACT

This research project describes the behavior of the MAP sensor during the intake stroke engine combustion spark ignition, through statistical analysis when the engine is in good working condition and real operation when failures are simulated and referenced to the process of admission.

Initially the research problem, which relates the approach of work with the importance that will cover to perform the same job, in addition of mention which is the extent to which aims to reach with this study

The revision of the State of Art focuses on predictive maintenance techniques used to determine the volumetric efficiency which has internal combustion engines that reference to admission cycle.

After is described the research methodology to develop, how will be the experimental procedure being performed? How the planning of the experiment will be conducted? This stage includes defining input factors with their respective levels, those are affecting the output variable of the system that are composed by the engine revving, the clearance of the piston rings and oil viscosity also choose to perform the experimental design, the measuring elements that make up the experimental work unit, the sampling protocol and the matrix that determines the acquisition of data is generated.

Finally, develops the analysis and interpretation of the results of the treatments made in the research, where the linear effect are identify, quadratic effects and interactions and the relationship they have with input factors, in order to generate a database of reference to the levels of each factor. In addition is presented the conclusions of the research and their recommendations.

ÍNDICE GENERAL

DECLARATORIA DE RESPONSABILIDAD Y AUTORIA	I
CERTIFICACIÓN	II
AGRADECIMIENTOS	III
AGRADECIMIENTO	IV
DEDICATORIA	V
DEDICATORIA	VI
RESUMEN	VII
ABSTRACT	VIII
ÍNDICE GENERAL	IX
ÍNDICE DE FIGURAS	XI
ÍNDICE DE TABLAS	XII
1. INTRODUCCIÓN	1
2. PROBLEMA	2
3. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN	3
3.1. Objetivo General	3
3.2. Objetivos Específicos	3
4. ESTADO DEL ARTE	3
5. MARCO METODOLÓGICO	6
5.1. Metodología de la Investigación	6
5.2. Planeación del Experimento	7
5.2.1. Factores de entrada controlables	8
5.2.2. Selección del diseño experimental	10
5.2.3. Clasificación de los diseños experimentales	10
5.3. Introducción a la metodología de superficie de respuesta	11
5.3.1. Diseños de Superficie de Respuesta	11
5.4. Unidad experimental	12
5.4.1. Motor de pruebas	13
5.4.2. Tarjeta de adquisición de datos NI USB-6212	13
5.4.3. Software de desarrollo de sistema NI LABVIEW	14
5.4.4. Escáner Automotriz Hanatech Multiscan Plus	16
5.5. Sincronización de señales	17
5.5.1. Sensor de Posición del Cigüeñal (CKP)	17
5.5.2. Sensor de Presión Absoluta del Colector (MAP)	17

5.5.3. Inyector	18
5.6. Identificación de las Cotas de Reglaje de Válvulas	18
5.7. Fase preliminar de adquisición de datos	20
5.8. Selección de estadísticos descriptivos	22
5.9. Adquisición de Datos	23
5.9.1. Protocolo de adquisición de señales	24
6. ANÁLISIS DE RESULTADOS	26
6.1. Valores p.....	27
6.1.1. Efectos lineales	28
6.1.2. Efectos cuadráticos	30
6.1.3. Efectos de interacción.....	32
6.2. Gráficas de residuos	33
6.2.1. Gráficas de residuos para desviación estándar	34
6.3. Gráficas de efectos principales.....	35
6.3.1. Gráfica de efectos principales para desviación estándar	35
6.4 Gráficas de interacciones	36
6.4.1. Gráfica de interacciones para media	37
6.4.2. Gráfica de interacciones para mínimo.....	38
6.4.3. Gráfica de interacciones para mediana	39
6.4.4. Gráfica de interacciones para tercer cuartil (Q3).....	40
6.5. Graficas de Superficie de Respuesta.....	41
6.5.1. Superficie de respuesta para media	41
6.5.2. Superficie de respuesta para minino.....	41
6.5.3. Superficie de respuesta para mediana	42
6.5.4. Superficie de respuesta para Q3.....	43
6.6. Efecto individual de los factores.....	45
7. CONCLUSIONES.....	47
8. RECOMENDACIONES.....	48
9. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	48
ANEXOS	50

ÍNDICE DE FIGURAS

<i>Figura 1. Tarjeta DAQ NI USB-6212</i>	14
<i>Figura 2. Configuración para la adquisición de la señales</i>	14
<i>Figura 3. Panel Frontal</i>	15
<i>Figura 4. Diagrama de Bloques</i>	15
<i>Figura 5. Escáner Automotriz Hanatech Multiscan Plus</i>	16
<i>Figura 6. Sensor CKP Inductivo</i>	17
<i>Figura 7. Sensor MAP</i>	18
<i>Figura 8. Inyector de Combustible</i>	18
<i>Figura 9. Montaje de plantilla graduador y reloj comparador</i>	19
<i>Figura 10. Sincronización polea y distribución.</i>	19
<i>Figura 11. Cotas de reglaje para admisión y escape</i>	20
<i>Figura 12. Numeración dientes en la señal del CKP</i>	21
<i>Figura 13. Reglaje de las válvulas sincronizadas al oscilograma del CKP</i>	22
<i>Figura 14. Ciclo de Admisión para cada Cilindro</i>	22
<i>Figura 15. Control de la temperatura del refrigerante del motor</i>	24
<i>Figura 16. Control del régimen de giro del motor</i>	25
<i>Figura 17. Calibración de los segmentos 1 y 2</i>	26
<i>Figura 18. Gráficas de residuos para Desviación Estándar</i>	34
<i>Figura 19. Gráfica de efectos principales para desviación estándar</i>	36
<i>Figura 20. Gráfica de interacciones para media</i>	37
<i>Figura 21. Gráfica de interacciones para mínimo</i>	38
<i>Figura 22. Gráfica de interacciones para mediana</i>	39
<i>Figura 23. Gráfica de interacciones para tercer cuartil (Q3)</i>	40
<i>Figura 24. Gráfica de superficie de respuesta para media</i>	41
<i>Figura 25. Gráfica de superficie de respuesta para mínimo</i>	41
<i>Figura 26. Gráfica de superficie de respuesta para mediana</i>	42
<i>Figura 27. Gráfica de superficie de respuesta para tercer cuartil (Q3)</i>	43

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Niveles del Factor RPM.....	9
Tabla 2. Niveles del Factor Viscosidad de Aceite.....	9
Tabla 3. Niveles del Factor Viscosidad de Aceite.....	9
Tabla 4. Matriz de Tratamientos Box-Behnken.....	12
Tabla 5. Características del Motor Hyundai.....	13
Tabla 6. Especificaciones Escáner Hanatech Multiscan Plus.....	16
Tabla 7. Cotas de reglaje de las válvulas de admisión y escape.....	20
Tabla 8. Nomenclatura para los niveles de los factores.....	25
Tabla 9. Valores p.....	27
Tabla 10. Efecto lineal de factor Viscosidad.....	28
Tabla 11. Efecto lineal de factor Holgura.....	29
Tabla 12. Efecto cuadrático de factor Viscosidad*Viscosidad.....	30
Tabla 13. Efecto cuadrático de factor Holgura*Holgura.....	31
Tabla 14. Efecto de interacción de factor Rpm*Viscosidad.....	32
Tabla 15. Valor de ajuste R cuadrado para estadísticos.....	33
Tabla 16. Media ajustada de efectos principales para estadísticos descriptivos.....	44
Tabla 17. Valores porcentuales de la media ajustada de efectos principales.....	44
Tabla 18. Estadísticos representativos para Viscosidad.....	45
Tabla 19. Estadísticos representativos para Holgura.....	45

1. INTRODUCCIÓN

La presente investigación aborda temas de interés particular en el campo del mantenimiento, donde se destaca el mantenimiento predictivo o mantenimiento basado en la condición, las mismas que son técnicas que se utilizan hoy día. Dicha técnica se basa en determinar la condición mecánica real de operación de la maquina o componente que la conforme, con el objeto de detectar anomalías en una etapa incipiente, conforme a este diagnóstico se da la oportunidad actuar oportuna y adecuadamente, priorizando la operatividad normal, condicionar su funcionamiento, imponer soluciones a mediano plazo.

Conocido el campo de interés, el enfoque del proyecto se fundamenta en desarrollar y validar una metodología de evaluación de los componentes que intervienen en la eficiencia volumétrica, basado en las condiciones de operación que inciden en la fase de admisión de gases frescos de un motor de combustión interna de encendido provocado.

El desarrollo y evaluación de resultados se realiza desde un punto de vista experimental, donde se determina los aspectos que intervienen en fase de operación dicha, con esto se manifiesta la manipulación de variables de estudio, que pueden ser de carácter dependientes o independientes. Cada experimentación a realizar (variable independiente), se convertirán en una situación simulada del funcionamiento del motor, que tendrá efecto directo sobre el comportamiento del sistema (variable dependiente).

Los resultados obtenidos servirán para validar la metodología aplicada para el análisis mencionado, además de servir como referencia para el estudio de otros MEP que posean el sensor mencionado. La metodología empleada en el desarrollo de la presente investigación se validara conforme al análisis de los resultados.

2. PROBLEMA

En la actualidad se prioriza la optimización del mantenimiento vehicular, potenciando el mantenimiento predictivo, disminuyendo el mantenimiento correctivo y optimizando el mantenimiento sistemático, con la aplicación de técnicas predictivas y no intrusivas, es posible dar un diagnóstico fiable de fallos en los Motores de Combustión Interna a Gasolina.

El mantenimiento predictivo es la aplicación de técnicas o serie de acciones, que relaciona una variable física con el desgaste o estado de una máquina. Dicho mantenimiento se basa en la medición, seguimiento, monitoreo de parámetros y condiciones operativas de un equipo. Esta acción evita que, las fallas provoquen paros de emergencia de operatividad de la maquinaria, tiempos muertos con impacto financiero negativo. Para fortalecer este mantenimiento, se investiga el uso de técnicas y herramientas que sean fiables, sencillas y rápidas, para detección de anomalías.

El ámbito industrial en el que se desarrolla la sociedad actual, se ve obligado al desarrollo y a repotenciar mantenimientos que apliquen técnicas poco o nada intrusivas, debido que estas acciones tienen un importante impacto socio-económico.

La carrera de Ingeniería Mecánica Automotriz de la Universidad Politécnica Salesiana, viene desarrollando proyectos que están encaminados al desarrollo de herramientas de diagnóstico no intrusivas, lo que contribuirá la detección de fallas significativas de los Motores de Combustión Interna Alternativo. El proyecto que desarrolla el grupo de investigación de la carrera, se enmarca dentro del estudio en el uso de estas nuevas técnicas de detección y diagnóstico automático de fallos en motores Otto tomando como medio de condición las oscilaciones del motor, la variación las señales en sensores principales y el ruido generado en su normal funcionamiento. Por lo que los beneficiarios de este proyecto serían las empresas de transporte urbano, propietarios de particulares, porque se mejoraría la calidad y durabilidad de los automóviles, se reducirá tiempo y costos de mantenimiento para el propietario.

El proyecto que se desarrolla a continuación, tiene como objetivo principal la generación de una base de datos de diagnóstico para la unidad experimental, la cual funcionara como referencia de aporte, para el tema que desarrolla el Grupo de Investigación en Ingeniería de Transporte (GIIT) de la universidad, tomando como

parámetro de análisis la señal que genera el sensor MAP en condiciones normales y de fallos preestablecido en el motor.

3. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN

3.1. Objetivo General

- Aplicar el diseño experimental para el análisis de la estanqueidad del conjunto cilindro-pistón de un motor Hyundai Accent 1.5L mediante el análisis de la señal del sensor MAP.

3.2. Objetivos Específicos

- Plantear el experimento para la obtención de una base de datos con ensayos del motor operando a diferentes niveles como régimen de motor, viscosidad de aceite y holgura de segmentos.
- Implementar una metodología basada en análisis estadístico.
- Validar la metodología propuesta con técnicas estadísticas de alta eficiencia como DOE de Minitab 17.
- Analizar los resultados obtenidos a través del sistema estadístico.

4. ESTADO DEL ARTE

El motor de ciclo Otto, cuyo nombre proviene de su inventor, Nikolaus August Otto, está expuesto a degradación. La degradación en un motor de combustión interna es el deterioro que se produce física y estructuralmente en sus componentes y que afectan al rendimiento global del mismo. Por lo que se hace indispensable proporcionar sistemas y metodología de mantenimiento, para disminuir el impacto negativo que ocasione un fallo.

Dentro del mantenimiento de maquinaria, existen varios tipos, entre los cuales destaca el correctivo, preventivo y predictivo [1]. Estos métodos de mantenimiento están enfocados a disminuir el impacto que origine las degradaciones a corto o largo plazo

de piezas o elementos del motor. En la actualidad el de más amplio uso, es el mantenimiento predictivo, como resultado de su alta confiabilidad, además de que disminuye tiempo de para de la máquina.

La aplicación de la gestión electrónica a los motores, abre una puerta al desarrollo de técnicas, métodos y acciones para mejorar, diagnosticar y potenciar la operatividad de los motores, sin ninguna necesidad intervenir directamente sobre el motor.

Actualmente se ha desarrollado aproximaciones a la gestión electrónica del motor de combustión interna alternativos [2]. Estos trabajos se enfocan en hacer una aproximación a la interacción y gestión electrónica de las variables más representativas dentro del motor [2]. Estos trabajos permiten dar otro enfoque a las técnicas empleadas, como aplicar para la diagnosis de anomalías durante el periodo de funcionamiento de motores alternativos a gasolina.

Es posible establecer el estado de varios componentes internos del motor, estudiando el comportamiento individual de los ciclos operativos del motor, en función de señales de los sensores que intervienen en la adquisición de datos, sin necesidad de recurrir a intervenciones o alteraciones físicas, y sin necesidad de hacer paradas programadas o de urgencia [3].

El análisis de fenómenos físicos como eficiencia volumétrica, estanqueidad, vibraciones en el tren alternativo, cambios de temperaturas, etc., ocupando señales provenientes de sensores, contribuye al mantenimiento predictivo sin necesidad de intervenir en la operatividad del motor.

En motores a gasolina, es común buscar averías en la bomba de aceite, pérdida de eficiencia volumétrica, desgaste de elementos móviles, degradación del aceite, etc. Para estos motores, la eficiencia volumétrica proporcionada para cada uno de los cilindros es una factor primordial con el fin de obtener un funcionamiento óptimo, por ello es importante determinar cualquier fallo que de manera directa o indirecta pueda afectar a la misma, pero cualquier variación inusual que disminuya la eficiencia volumétrica, es un buen indicador para el diagnóstico de fallos por su gran sensibilidad al desgaste interno del motor.

Las anomalías dentro de la eficiencia volumétrica, pueden estar ocasionadas por varios desperfectos interviniendo todos a la vez, unos en menor o mayor magnitud. Por lo

que el análisis de las medidas obtenidas suele ser, en la mayoría de los casos, muy complejo, en base a esto, se han intentado aplicar diferentes técnicas de diagnóstico para motores de combustión basadas en el procesamiento de señales o valores, aunque muchas de ellas están en desarrollo, su aplicación se hace más habitual. El conflicto de implantar este tipo de análisis o mantenimiento radica en establecer la variable respuesta y en correlacionar niveles de aceptación o rechazo de dicha variable, con estados reales de la máquina fácilmente medibles, también el tiempo que conlleva su desarrollo y contar con el equipamiento adecuado.

Estas variaciones abruptas de la eficiencia volumétrica, tiene incidencia directa sobre el comportamiento de algunos sensores, y pueden ser estudiadas de diferentes maneras, aplicando diversas técnicas y métodos convencionales.

La señal analógica proveniente de sensores de medición de presión absoluta o el flujo de aire que ingresa al interior del motor, basan su comportamiento en la magnitud de fenómenos físicos y han permitido la creación de prototipos enfocados a la medición de la cilindrada, aplicando técnicas no intrusivas [4]. Al estandarizar la magnitud del fenómeno físico (eficiencia volumétrica), provoca la aplicación de similares o idénticas técnicas no intrusivas para el mantenimiento predictivo. Por lo que se destaca, que mediante la comparación de las gráficas del MAF y MAP se puede determinar fallos de tipo mecánico los cuales aportan al diagnóstico del estado del motor [4].

Existen diferentes métodos para determinar el estado físico de un elemento, entre los cuales sobresalen, análisis de vibraciones, análisis de lubricantes, análisis por ultrasonido, termografía, análisis estadístico [5]. Dentro del mantenimiento predictivo por análisis estadístico, existe una amplia gama de métodos que emplean diseño experimental, los cuales permiten analizar datos mediante modelos estadísticos para observar la interacción entre las variables independientes y como afectan a la variable dependiente [6]. Para obtener una realización experimental con un elevado índice de exactitud, primordial hacer la selección del método estadístico, el cual involucre todos los factores relacionas al fenómeno a estudiar.

Partiendo de que cualquier tipo de fallo en el interior del cilindro, durante la fase de admisión altera la señal del sensor MAP, es posible diagnosticar en que cilindro se encuentra el desperfecto [7]. La primera etapa para determinar analíticamente la

respuesta de alteración de la eficiencia volumétrica, es constatar la variación de presión absoluta, por lo que es necesario cuantificar la variación de voltaje del sensor MAP. Para este estudio se requiere la caracterización de la señal del MAP y componentes que intervienen durante la fase de admisión (dentro del cilindro). En esta fase se pueden determinar el estado de componentes principales: la cavidad cilíndrica interna, el pistón, las válvulas, los segmentos y la presencia de lubricante (referidos como factores de incidencia). Llegando a dar los problemas, sus causas y soluciones referente al estudio razonado de la señal de sensor MAP.

Un estudio preliminar se logra con el análisis de aceite, es un método que ayuda a determinar los períodos óptimos de sustitución del lubricante y las causas que estén originando su degradación y contaminación [8]. Esta pérdida de propiedades químicas (degradación), en general son indeseables en las aplicaciones reales de los motores de combustión interna alternativos, no solo por el efecto fricción en los elementos arrastrados, sino por la importancia que tiene al colaborar con la estanqueidad entre los móviles del bloque motor. El problema surge como consecuencia de la pérdida de densidad del aceite, disminuyendo la eficiencia volumétrica en el cilindro, que implica una variación de la presión absoluta en el colector de admisión, ocasionando aceleraciones y deceleraciones de la velocidad instantánea de rotación. La detección de fallos en la presión absoluta, por medio de la estanqueidad en el interior de cilindros, es viable con los métodos actuales, bajo ciertos parámetros de operación del motor y condiciones en la toma de muestras.

5. MARCO METODOLÓGICO

La investigación será de carácter experimental mediante un proceso lógico, metódico y ordenado de tratamientos secuenciales, donde cada factor de estudio o variable independiente de la que dependa la variable de salida será manipulada a ciertos niveles dados con el fin de determinar cómo se afecta la respuesta del sistema a experimentar.

5.1. Metodología de la Investigación

La metodología de la investigación es un proceso, el cual está conformado por toda una serie de pasos lógicamente estructurados y relacionados entre sí. El cual nos

permite dirigir determinado proceso de manera eficiente para alcanzar los resultados deseados con el objeto de brindar una estrategia a seguir en el proceso. Profundizando los conocimientos del proceso sea este teórico, práctico o teórico-práctico [9].

La investigación experimental se da a través de la formación de grupos experimentales donde se tiene la posibilidad de manipular la realidad del sistema a través del control de variables rigurosamente controladas para simular las posibles condiciones a la que se encontrará el objeto de estudio, es decir reproducir un fenómeno dentro de un ambiente específico de pruebas e ir modificando diferentes elementos para observar que sucede con el fenómeno [10].

Con los resultados que sobresalgan de cada experimentación se obtendrá, información de carácter cuantitativo para generar los aspectos de llevar a cabo la investigación.

Como la metodología de investigación es de experimentación, la misma es de carácter exploratorio y está encaminada a examinar una problemática poco estudiada, parcialmente desconocida o bajo un nuevo enfoque.

Como solución del estudio se plantea a identificar aspectos fundamentales de una situación determinada, profundizar en el tema o estudiarlo de manera preliminar para abrir líneas de investigación que sean adecuadas para elaborar una investigación posterior sobre el fenómeno en estudio [10]. Esto dado que las técnicas actuales de mantenimiento predictivo no tienen gran incidencia sobre el comportamiento de señales de la gestión electrónica que controlan el funcionamiento del motor de combustión interna en este caso de estudio.

De forma generalizada la metodología de investigación reúne varias etapas que se deben cumplir, los mismos que comprenden la definición del problema de estudio, elaborar la hipótesis, plantear el diseño que cumpla la hipótesis dicha, receptor la información del diseño ejecutado, analizar dicha información y como fin el de generar las conclusiones que definan si se cumplió o no el objetivo del estudio. A continuación se describe el procedimiento para los fines investigativos:

5.2. Planeación del Experimento

Esta etapa es la más importante, ya que de esta dependerá el grado de eficiencia en los resultados del experimento. Donde se debe considerar lo siguiente:

- Concepción del problema de estudio, el mismo que ya se citó con anterioridad.
- Determinar la variable de respuesta apropiada, que refleje los resultados de las pruebas a ejecutar, que viene dado por el comportamiento del sensor MAP.
- Establecer los factores de estudio, que intervienen directamente sobre la salida o respuesta del proceso.
- Definir los niveles correspondientes a cada factor a estudiar, el diseño experimental acorde a los mismos con su respectivo fin de estudio y las réplicas necesarias por tratamiento.
- Elección del diseño experimental.

Estos 3 puntos últimos se analizan a continuación:

5.2.1. Factores de entrada controlables

El comportamiento de los motores de combustión interna ciclo Otto, referidos a potencia, consumo de combustible y emisión de gases residuales, son en cierta parte consecuencias de un adecuado control en la admisión de la mezcla aire-combustible hacia el interior de los cilindros, proceso que será determinado por el sensor de estudio que controla el tiempo de apertura de los inyectores para el suministro de combustible en dicha mezcla. A medida que transcurre el tiempo de operación del motor, sus tolerancias de funcionamiento tienden a variar, por lo tanto el rendimiento tiende a variar de igual manera. Con base a lo expuesto se pretende analizar el comportamiento de dicho sensor ante factores que afectan directamente, los mismos que serán descritos a continuación.

Régimen de giro (rpm)

El régimen de giro del motor afecta directamente a la velocidad de ingreso de mezcla en el cilindro, medida que será recolectado por el sensor. Como el diseño experimental contiene tres niveles para cada factor, los niveles para rpm se presentan en la Tabla 1, los mismos que serán controlados por un escáner automotriz.

Tabla 1. Niveles del Factor RPM. Fuente: Los Autores

FACTOR	NIVEL BAJO	NIVEL MEDIO	NIVEL ALTO
RPM	700 (Ralentí)	1600	2500

Viscosidad del lubricante

La viscosidad de aceite se experimentara para analizar como la fluidez del aceite varía con la temperatura y la presión generada por el motor durante su funcionamiento. Las viscosidades de los aceites empleados se detallan en la Tabla 2.

Tabla 2. Niveles del Factor Viscosidad de Aceite. Fuente: Los Autores

FACTOR	NIVEL BAJO	NIVEL MEDIO	NIVEL ALTO
VISCOSIDAD	10W30	20W50	25W60

Holgura de los segmentos del pistón

Con la variación en la holgura de los segmentos se pretende simular fallo por exceso de holgura en el nivel alto, y error de selección para el nivel bajo. La experimentación pretende analizar si la holgura afecta en la aspiración de la mezcla, o si se ve compensada o no por la viscosidad del lubricante. Los niveles del factor están en la Tabla 3.

Tabla 3. Niveles del Factor Viscosidad de Aceite. Fuente: Los Autores

FACTOR	NIVEL BAJO	NIVEL MEDIO	NIVEL ALTO
HOLGURA	-50%	STD	+50%

Además de los factores controlables mencionados, existen variables o factores no controlables que por naturaleza intervienen en la ejecución del trabajo y que en cierto grado sea mínimo, pueden afectar la medición por lo que se deben tomar en cuenta. Estas variables son:

- La temperatura del aire (°C).
- La humedad relativa del aire (%).
- La presión atmosférica (Pa).

Estas variables varían de acuerdo a las condiciones ambientales en donde se realice la ejecución del proyecto.

Una vez establecido ciertas variables que en si tienen particularidad con la operación del sensor map, se procede a seleccionar el diseño experimental que se ajuste al objetivo de análisis.

Si bien dada la amplia variedad de diseños experimentales para un estudio dado, hace que se vuelva necesario saber elegir el adecuado para una condición dada, cuál es su objetivo y su alcance.

5.2.2. Selección del diseño experimental

En la selección del diseño se fijan ciertos aspectos influyentes, siendo estos [11]:

1. El objetivo del experimento.
2. El número de factores a estudiar.
3. El número de niveles que se prueban en cada factor.
4. Los efectos que interesa investigar (relación factores-respuesta).
5. El costo del experimento, tiempo y precisión deseada.

Estos aspectos son dependientes entre sí, ya que si cambia uno de ellos generalmente cambia el diseño experimental a utilizar.

5.2.3. Clasificación de los diseños experimentales

La clasificación de los diseños experimentales se fundamenta principalmente en el objetivo del experimento, con este contexto se puede clasificar como [11]:

1. Diseños para comparar dos o más tratamientos.
2. Diseños para estudiar el efecto de varios factores sobre la(s) respuesta(s).
3. Diseños para determinar el punto óptimo de operación del proceso.
4. Diseños para la optimización de una mezcla.
5. Diseños para hacer el producto o proceso insensible a factores no controlables.

La clasificación de los diseños experimentales y las condiciones de operación del motor ya establecidas, da una pauta para determinar que la elección será en base a un diseño donde se estudie el efecto de varios factores sobre la respuesta para determinar el punto óptimo de operación del proceso. Por esta razón en [11], se opta por la elección de diseños para la optimización de proceso para modelos de segundo orden de Box-Behnken, que será analizado a continuación el porqué de su selección.

5.3. Introducción a la metodología de superficie de respuesta

Algunas veces hay experimentos con los que no se obtienen las respuestas buscadas o el nivel de mejoras logrado no es suficiente, por lo que es necesario experimentar de manera secuencial hasta encontrar el nivel de mejoras deseado.

5.3.1. Diseños de Superficie de Respuesta

Es una técnica avanzada del diseño de experimentos, que ayudan a entender de mejor manera la respuesta, además sirve para optimizar los procesos del sistema caso nuestro que no es necesario su estudio. Esta metodología permite una mejor interpretación de la curvatura en la superficie de respuesta en relación a una de tipo factorial, dado que la ecuación que rige su comportamiento incluye términos cuadráticos que permiten modelar la curvatura de la respuesta. Es decir, modelan cómo influyen los cambios de los factores controlables en la variable de respuesta.

No se emplea un diseño de primer orden dado que este solo supone que son importantes los efectos principales del proceso, además de que solo sirven para manipular 2 niveles en cada factor.

Se emplea un diseño de segundo orden porque permiten estudiar, además de los efectos lineales e interacción, los efectos cuadráticos o de curvatura pura. Razón por la cual el diseño debe tener al menos tres niveles de estudio en cada factor para estimar la curvatura de la superficie en la dirección de cada factor.

El diseño de composición central no es aplicable porque parte de un diseño factorial completo 2^k o fraccionado 2^{k-p} .

El diseño de Box-Behnken es aplicable cuando se tienen tres o más factores, son eficientes al número de corridas, no incluye tratamientos a los vértices de la región experimental, y al menos uno de los factores se fija en la mitad de su rango de prueba.

Con las características expuestas, el diseño a realizar se presenta a continuación, el cual será desarrollado en el software Minitab® 17, matriz que experimento con un total de 15 tratamiento de los cuales solo 13 son combinaciones del diseño y las 2 sobrantes son adiciones de réplicas dadas a la mitad del rango de la prueba que caracteriza al diseño a realizar, además se realiza 3 repeticiones que genera un total de 45 tratamientos.

Tabla 4. Matriz de Tratamientos Box-Behnken. **Fuente:** Los Autores

Tratamiento	RPM	VISCOSIDAD	HOLGURA
1	700	30	0
2	2500	30	0
3	700	60	0
4	2500	60	0
5	700	50	-50
6	2500	50	-50
7	700	50	50
8	2500	50	50
9	1600	30	-50
10	1600	60	-50
11	1600	30	50
12	1600	60	50
13	1600	50	0
14	1600	50	0
15	1600	50	0

5.4. Unidad experimental

La unidad experimental está conformada por todos los objetos sobre el que se realizaran los tratamientos, con el propósito de generar valores cuantitativos representativos a la respuesta del experimento.

5.4.1. Motor de pruebas

El motor empleado para realizar las pruebas, es uno de la marca Hyundai de las siguientes características:

Tabla 5. Características del Motor Hyundai. Fuente: Manual Hyundai

Objeto de estudio	
Motor	Alpha II
Modelo	G4FK
Sistema de Inyección	MPFI
Cilindrada	1.5L (1495cc)
Cilindros	4
Toque Max	134Nm @ 4000rpm
Potencia Max	74kW @ 6000rpm
Relación peso potencia	12.61: 1 kW / kg
Diámetro –Carrera	75.5x83.5mm
Relación de compresión	9,5:1
Distribución	DOHC
Válvulas por cilindro	4

5.4.2. Tarjeta de adquisición de datos NI USB-6212

El NI USB-6212 es un módulo DAQ multifunción USB, energizado por bus y optimizado para una precisión superior a velocidades de muestreo más altas. Ofrece 16 entradas analógicas, velocidad de muestreo de 400 kS/s, dos salidas analógicas, 32 líneas de E/S digital, cuatro rangos de entrada programable (± 0.2 V a ± 10 V) por canal, disparo digital y dos contadores/temporizadores [12].

Para mayor detalle de las especificaciones de la tarjeta DAQ NI USB-6212, (Ver ANEXO I).



Figura 1. Tarjeta DAQ NI USB-6212 **Fuente:** [12]

- Configuración de la tarjeta NI USB-6212

La configuración de la tarjeta de adquisición de datos se observa en la Figura 2.

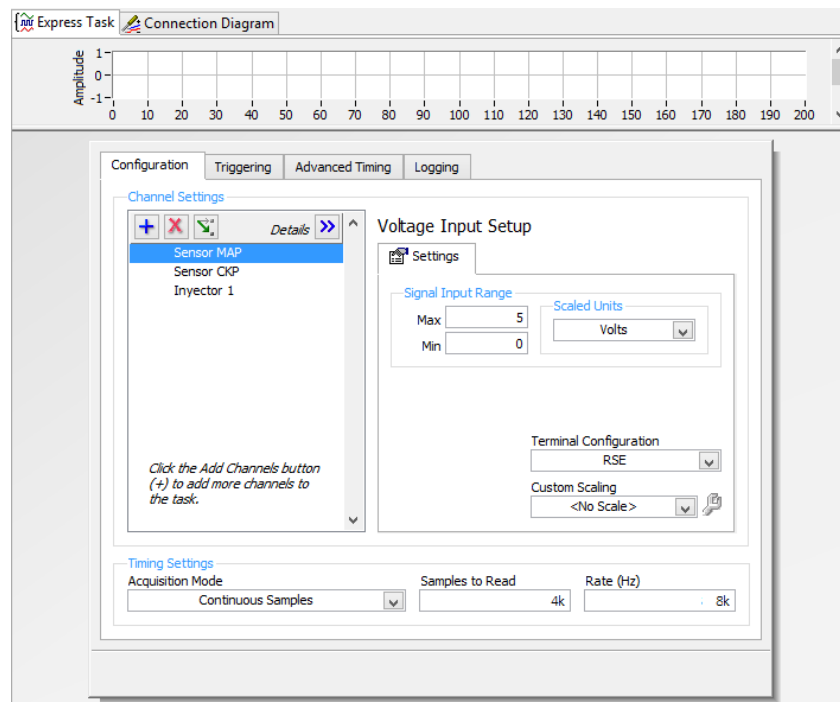


Figura 2. Configuración para la adquisición de la señales. **Fuente:** Los Autores

5.4.3. Software de desarrollo de sistema NI LABVIEW

Es un sistema de programación visual Gráfica enfocada a aplicaciones que involucren adquisición, control, análisis y presentación de datos.

El entorno de programación de los VIs tiene un panel frontal y un diagrama de bloques.

- Panel Frontal

Es la interfaz gráfica de VI donde es posible la visualizar el comportamiento, en tiempo real de los datos que se adquieren mediante la tarjeta DAQ.



Figura 3. Panel Frontal. Fuente: Los Autores.

- Diagrama de Bloques

El diagrama de bloques constituye el código fuente gráfico, en el cual se especifican los parámetros, que define la funcionalidad del VI.

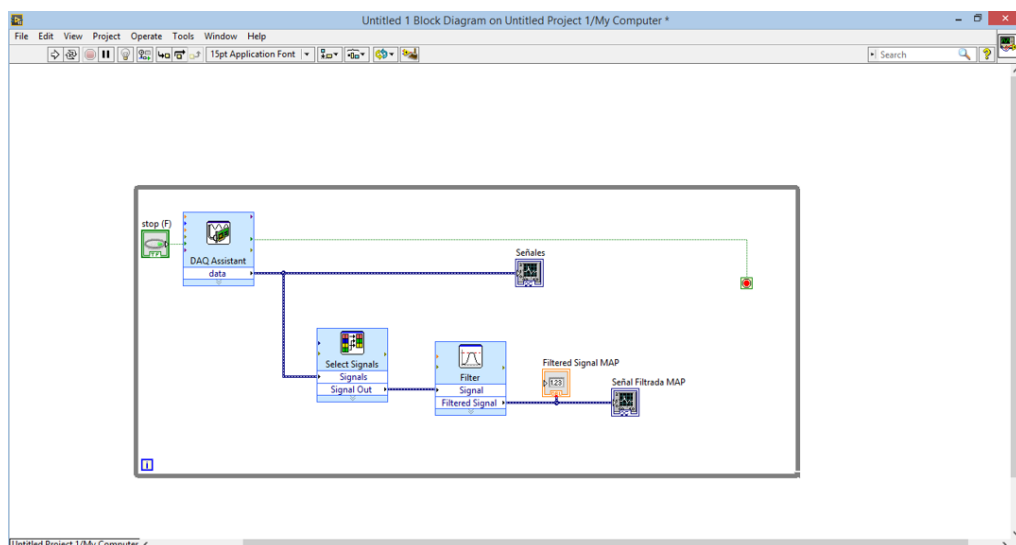


Figura 4. Diagrama de Bloques. Fuente: Los Autores.

5.4.4. Escáner Automotriz Hanatech Multiscan Plus

Es una herramienta electrónica de diagnóstico que brinda varias funciones, tales como:

- Autodiagnóstico sobre el sistema global del vehículo.
- Analizador de gases.
- Comunicación OBDII/EOBD



Figura 5. Escáner Automotriz Hanatech Multiscan Plus. **Fuente:** <https://www.diagnostic-equipment.co.uk/products/handheld-diagnostics/multiscan#4-technical-spec>

Las especificaciones del escáner, se pueden observar en la Tabla 6.

Tabla 6. Especificaciones Escáner Hanatech Multiscan Plus. **Fuente:** Los Autores

Hanatech Multiscan Plus	
UPC	Dual de 16 bits del procesador 33MHz
Memoria	1 Mbyte de memoria SRAM
Cartucho del programa de la tarjeta	512Mbyte integrado de memoria flash
LCD	320X240 LCD monocromática gráfica con luz de fondo
Teclado numérico	20 teclas de membrana, el tipo de estampado
Puerto de comunicación	USB y RS232
Fuente de alimentación	12 V DC - La batería del vehículo - encendedor de cigarrillos - AC / DC
Impresora	Impresora genérica PC
Protocolo	CAN Integrado y Hardware J1850

5.5. Sincronización de señales

En esta etapa del proyecto se establece los parámetros de medición, con el fin de tener una referencia en la identificación de ciclo de funcionamiento del motor en cada uno de sus cilindros. La identificación del ciclo de operación del motor, se visualizara con un proceso de sincronización¹ de señales, las mismas que serán relacionadas por los sensores CKP y MAP, teniendo como señal auxiliar el Inyector #1.

5.5.1. Sensor de Posición del Cigüeñal (CKP)

El sensor de posición de cigüeñal CKP (Crankshaft Position Sensor), generalmente va ubicado cerca de una rueda dentada que a medida que gira produce variaciones en la salida del sensor; este elemento tiene la función principal de detectar la posición del cigüeñal y el régimen de giro, esta información la recepta la ECU para determinar los tiempos de apertura de los inyectores.



Figura 6. Sensor CKP Inductivo. Fuente: Los Autores

5.5.2. Sensor de Presión Absoluta del Colector (MAP)

El sensor MAP (Manifold Absolute Pressure) capta la variación de presión dentro del colector de admisión, dicho cambios de presión son convertidos a valores de voltaje para la interpretación de la unidad de control electrónica que calcula la cantidad adecuada de combustible a inyectar por medio de tiempo de apertura del inyector.

¹ Sincronizar: Hacer que coincidan en el tiempo dos o más movimientos o fenómenos.



Figura 7. Sensor MAP Fuente: Los Autores

5.5.3. Inyector

El inyector es el encargado de pulverizar una determinada cantidad de combustible en un instante establecido, para que se produzca una mezcla homogénea con el aire que será aspirada hacia el interior del motor. Esta investigación usa la señal como referencia al cilindro 1.



Figura 8. Inyector de Combustible Fuente: <http://www.mecanicaymotores.com/los-inyectores-de-combustible.html>

5.6. Identificación de las Cotas de Reglaje de Válvulas

El proceso para la obtención de las cotas de reglaje de las válvulas para obtener los grados de adelanto y retraso a la apertura y cierre respectivamente, se lo realizó mediante la medición empírica que se describe a continuación:

El motor posee un sistema DOHC con taques hidráulicos. En la medición de dichos ángulos se empleó un reloj comparador sobre la base del taque hidráulico y una plantadilla graduada sobre la polea del cigüeñal.



Figura 9. Montaje de plantilla graduador y reloj comparador. **Fuente:** Los Autores

El inicio de la prueba, consta de tener un punto referencial para la medición, entonces se coloca el pistón número uno en el PMS (fase de compresión), la marca de la polea deberá coincidir con el 0T marcado en la tapa de la distribución, en este instante las válvulas estarán cerradas.



Figura 10. Sincronización polea y distribución. **Fuente:** Los Autores.

Al girar el cigüeñal en el sentido horario, la aguja del reloj comparador que esta sobre el taque de la válvula de admisión reacciona ante un leve movimiento, que quiere decir que empezó su accionamiento; en este momento se toma los grados de AAA y RCA respectivamente.

Igual procedimiento se realiza en la válvula de escape para determinar los grados de AAE y RCE respectivamente.

En la Tabla 7, se observa los valores de las cotas de reglaje para las válvulas de admisión y escape.

Tabla 7. Cotas de reglaje de las válvulas de admisión y escape. **Fuente:** Los Autores

Válvula Admisión		Válvula Escape	
AAA	RCA	AAE	RCE
10°	35°	35°	10°

En la figura 11 se presenta las cotas de reglaje de las válvulas de admisión y escape, del motor de estudio.

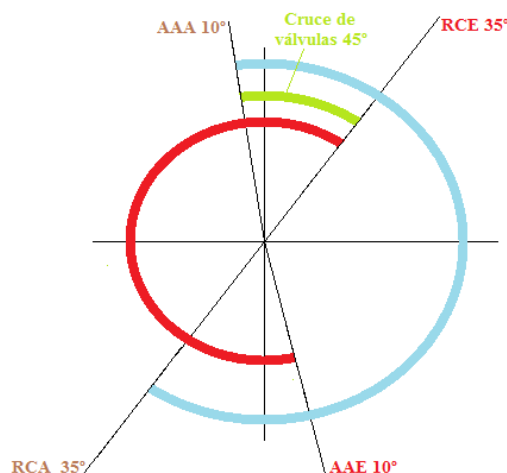


Figura 11. Cotas de reglaje para admisión y escape. **Fuente:** Los Autores

5.7. Fase preliminar de adquisición de datos

La sincronización de la señal del sensor CKP, del MAP y del inyector #1 (Figura 12), se interpreta de la siguiente manera.

La rueda fónica tiene una configuración 60-2 dientes, por lo que la señal del CKP tiene 58 oscilaciones producto de que la rueda fónica cruza frente al sensor inductivo. Con los 360° de un giro completo del cigüeñal divididos para los 60 dientes de la rueda se tiene que cada diente equivale a 6 grados.

Para determinar que el primer pistón se encuentre en el PMS, se cuenta 20 oscilaciones (20 dientes) tomado como referencia a la señal de los dientes faltantes.

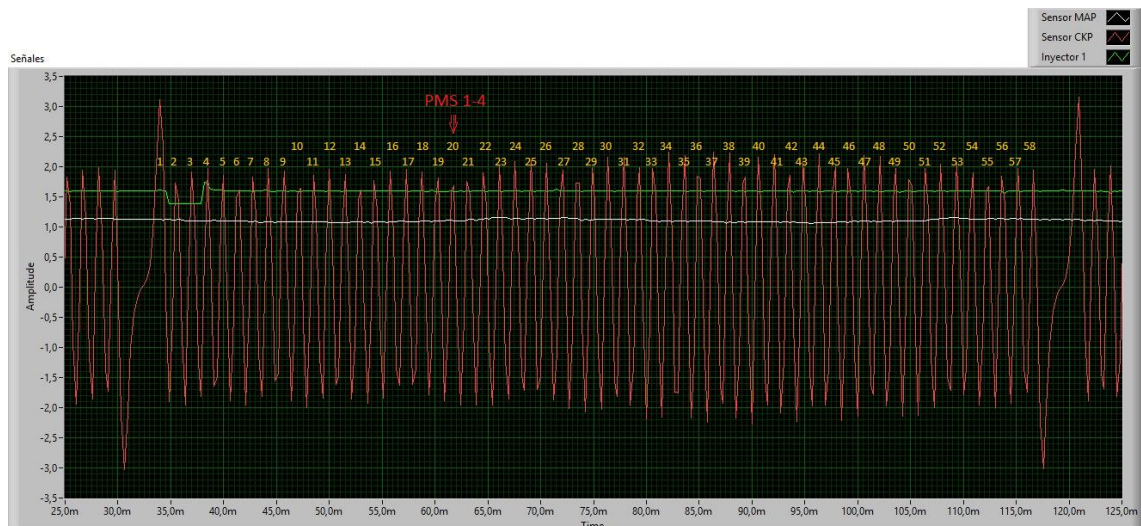


Figura 12. Numeración dientes en la señal del CKP. **Fuente:** Los Autores.

Al poder visualizar las señales del sensor CKP, del MAP y del Inyector #1 en un mismo intervalo de voltaje y tiempo, se facilita determinar y observar en qué punto del oscilograma del MAP, se produce el cruce de válvulas y el retraso al cierre de la válvula de admisión, la cual tiene relación directa con la variación del voltaje de señal de dicho sensor.

En la figura 13 se detalla las fases de la válvulas correspondientes al cilindro número 1, a partir del diente numero 18 (12-10 grados antes del PMS), el voltaje del MAP se incrementa hasta el diente número 26, por efecto del traslapo-solapo de las válvulas. A continuación el volate del MAP desciende nuevamente por efecto de la aspiración en el cilindro cuando el pistón baja, esta caída de voltaje perdura hasta el diente número 50, que equivale a la llegada del pistón al PMI del cilindro, desde el diente 51 al 56 (35 grados de retardo del cierre de la válvula de admisión), es decir, el pistón asciende y ya no genera succión, esto hace que la presión en el colector y el voltaje del MAP incrementen su valor de manera directamente proporcional.

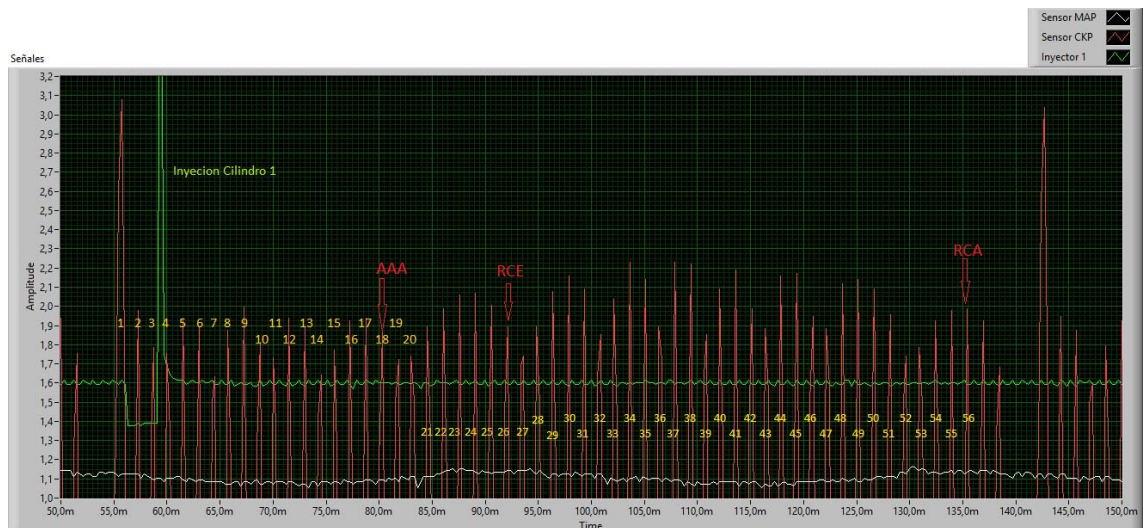


Figura 13. Reglaje de las válvulas sincronizadas al oscilograma del CKP. **Fuente:** Los Autores

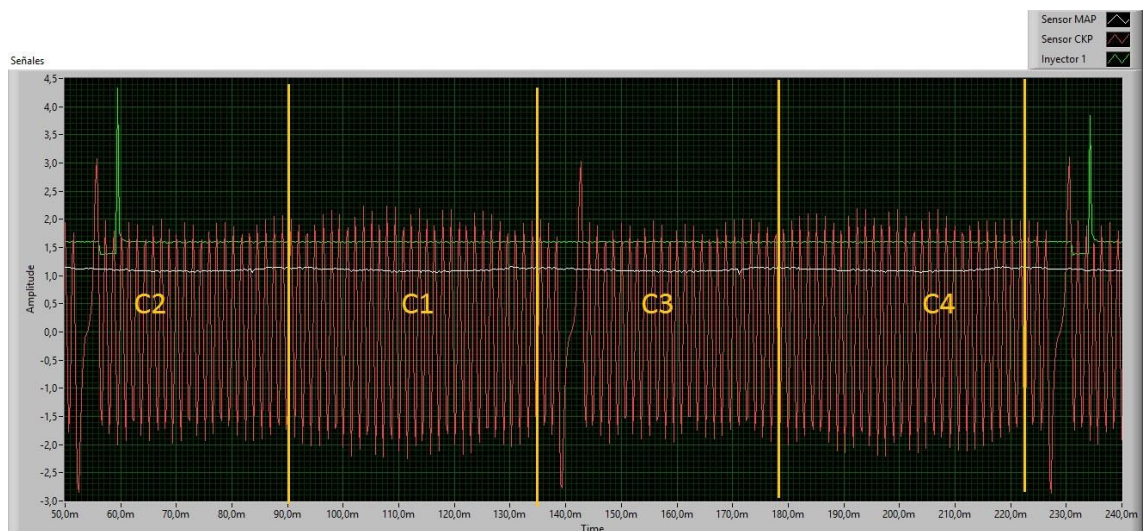


Figura 14. Ciclo de Admisión para cada Cilindro. **Fuente:** Los Autores

5.8. Selección de estadísticos descriptivos

Los estadísticos descriptivos resumen y describen las características importantes de los datos. El resumen puede ser los datos de forma numérica o gráfica.

Para seleccionar los estadísticos descriptivos de la respuesta, se realizan pruebas preliminares, donde se toman los datos del sensor MAP, a nivel bajo y alto del factor rpm (700 y 2500 rpm), sin adulteraciones en los factores restantes.

Aplicando un prueba Tukey a estos datos, se estable que los estadísticos con menor valor p se consideran para la análisis dentro de la investigación. Cuales se presentan a continuación.

- Media
- EE de la Media
- Desviación Estándar
- Varianza
- Coeficiente de Variación
- Suma
- Suma de Cuadrados
- Mínimo
- Máximo
- Rango
- Q1
- Mediana
- Q3
- Rango
- Curtosis

Estos descriptivos en el análisis de varianza, prueba la hipótesis de que las medias de dos o más poblaciones son iguales. Es decir evalúan la importancia de uno o más factores al comparar las medias de la variable de respuesta en los diferentes niveles de factores.

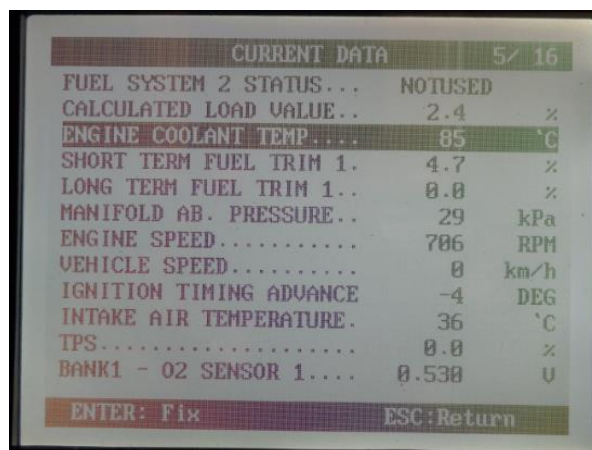
5.9. Adquisición de Datos

La adquisición de datos por medio de la DAQ, se obtiene de la señal del sensor MAP durante el funcionamiento del motor, es un proceso de captar valores correspondientes a la presión absoluta, en el instante de la fase de admisión.

5.9.1. Protocolo de adquisición de señales

Un protocolo se refiere a condiciones que se deben cumplir en el proceso de adquisición de datos las mismas que deben cumplirse de manera estricta con el fin de garantizar que los datos sean concretos y veraces para validar los resultados del experimento, por lo que se tomaron en cuenta lo siguiente:

- Uso de gasolina extra (87 octanos)
- Instalar los instrumentos de medición como la tarjeta, los sensores, escáner.
- Inhabilitar la válvula de control de aire (IAC).
- Encender el motor hasta que la temperatura del refrigerante alcance las condiciones óptimas de funcionamiento (85 ~ 90 °C), la misma que será monitoreada por un escáner automotriz, además de que garantizara de que cada aceite empleado en las pruebas adquirirán su temperatura de operación.



CURRENT DATA		5/16
FUEL SYSTEM 2 STATUS...	NOTUSED	
CALCULATED LOAD VALUE..	2.4	⌘
ENGINE COOLANT TEMP....	85	°C
SHORT TERM FUEL TRIM 1.	4.7	⌘
LONG TERM FUEL TRIM 1..	0.0	⌘
MANIFOLD AB. PRESSURE..	29	kPa
ENGINE SPEED.....	706	RPM
VEHICLE SPEED.....	0	km/h
IGNITION TIMING ADVANCE	-4	DEG
INTAKE AIR TEMPERATURE.	36	°C
TPS.....	0.0	⌘
BANK1 - O2 SENSOR 1....	0.530	V

ENTER: Fix ESC:Return

Figura 15. Control de la temperatura del refrigerante del motor. **Fuente:** Los Autores

- El ventilador es eléctrico no debe estar funcionando, ya que el consumo que tiene afecta directamente a la estabilización del régimen del giro del motor.
- Estabilizar el régimen de giro del motor, el mismo que no debe desviarse de la velocidad establecida en más de $\pm 1\%$.

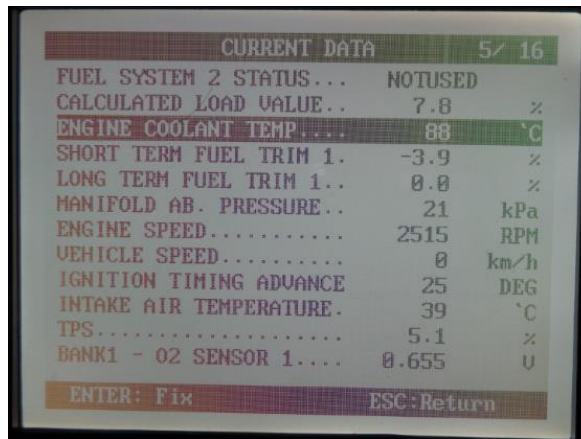


Figura 16. Control del régimen de giro del motor. **Fuente:** Los Autores

- Adquirir los datos de cada muestra, los mismos que son exportados a Excel para su posterior análisis.
- Para cada prueba experimental se esperara que el ventilador se accione y se desactive por sí solo, para no afectar el proceso.
- Repetir el procedimiento de muestreo para cada una de los tratamientos, es decir cuando se emplee aceite de diferentes viscosidades y holguras a diferentes medidas.
- Cuando el experimento acredite el cambio de los segmento de los pistones, como recomendación se utilizara el manual de taller específico para este tipo de motor con el fin de garantizar medidas, torques de apriete, etc., establecidos por el fabricante.

Se emplea la siguiente nomenclatura para cada una de las corridas experimentales, con la finalidad de identificarlos de manera técnica y rápida para el análisis de resultados.

Tabla 8. Nomenclatura para los niveles de los factores. **Fuente:** Los Autores

Nomenclatura para levantamiento de datos					
Variable	Simbología	Descripción	Variable	Simbología	Descripción
RPM	R1	700 (Ralenti)	Segmentos	S1	-50% (Cerrado)
	R2	1600		S2	STD
	R3	2500		S3	+50% (Abierto)
Viscosidad	V1	10W30	Replica	1	Replica 1
	V2	20W50		2	Replica 2
	V3	25W60		3	Replica 3

De acuerdo a la tabla 8, a cada archivo de las pruebas realizadas se la denominara con la simbología correspondiente al nivel de cada variable. Por ejemplo:

R1-S2-V3-2

Dónde: R1corresponde a 700 rpm de régimen de giro del motor, S2 representa la holgura de los segmentos en un valor STD (Estándar) dado por el fabricante, V3 se refiere a la viscosidad del aceite 25W60 y 2 significa la segunda réplica de la prueba a realizarse.

Cabe indicar que en lo que respecta a los niveles del factor holgura de segmentos se manipula la tolerancia de ajuste de los rines 1 y 2 conocidos como segmento de fuego y de compresión respectivamente. Como el motor dispone de segmentos estándar, la calibración de ring #1 es de 0,3mm y del ring #2 es de 0,45mm, por lo que una calibración al -50%, se da una medida de 0,15mm a ring #1 y 0,23mm al ring #2; de igual forma una calibración de +50% (50%) tendrá medidas en el ring #1 de 0,45mm y en el ring #2 de 0,68mm.



Figura 17. Calibración de los segmentos 1 y 2. Fuente: Los Autores

6. ANÁLISIS DE RESULTADOS

Ya concluido con los tratamientos del diseño experimental, se procede a analizar los resultados obtenidos en las diferentes condiciones en las se puede encontrar operando el conjunto cilindro-pistón y que se expusieron anteriormente. Para lo cual se determinaran los estadísticos descriptivos más significativos del análisis de varianza.

En lo referente al análisis se estudiaran las gráficas de residuos, los efectos principales, interacciones y análisis de la superficie de respuesta, tratamientos que son analizados en el software estadístico Minitab 17.

6.1. Valores p

Los valores p presentes en la Tabla 9 describe la significancia que tiene el factor sobre cada estadístico descriptivo, los mismos que deben ser iguales o menores a 0,05 que representa el nivel de significancia y que influyen directamente sobre el estadístico.

Se utiliza los valores p para el análisis de significancia en efectos lineales, cuadráticos y de interacción.

Tabla 9. Valores p. Fuente: Los Autores

	Lineal	Rpm	Viscosidad	Holgura	Cuadrática	Rpm*Rpm	Viscosidad*Viscosidad	Holgura*Holgura	Interacción 2 factores	Rpm*Viscosidad	Rpm*Holgura	Viscosidad*Holgura
Media	0,000	0,000	0,001	0,007	0,000	0,000	0,011	0,458	0,1900	0,0460	0,4980	0,5870
E.E de la Media	0,000	0,000	0,506	0,843	0,000	0,000	0,920	0,004	0,2300	0,0990	0,5070	0,2830
Media Recortada	0,000	0,000	0,001	0,007	0,000	0,000	0,011	0,454	0,1890	0,0470	0,4950	0,5860
Desviación Estándar	0,000	0,000	0,359	0,699	0,000	0,000	0,634	0,002	0,1950	0,0900	0,4920	0,2390
Varianza	0,000	0,000	0,328	0,782	0,000	0,000	0,959	0,002	0,2040	0,0790	0,4480	0,3310
Coefficient e Varianza	0,000	0,000	0,065	0,085	0,000	0,000	0,500	0,069	0,5240	1,0000	0,2020	0,4470
Suma	0,000	0,000	0,015	0,013	0,000	0,000	0,004	0,309	0,7780	0,3750	0,5940	0,9910
Suma de cuadrados	0,000	0,000	0,025	0,056	0,000	0,000	0,001	0,064	0,8700	0,5470	0,5920	0,8290
Mínimo	0,000	0,000	0,000	0,006	0,000	0,000	0,005	0,513	0,1440	0,0340	0,4960	0,5170
Q1	0,000	0,000	0,001	0,006	0,000	0,000	0,011	0,531	0,2310	0,0600	0,5100	0,6030
Mediana	0,000	0,000	0,000	0,007	0,000	0,000	0,010	0,478	0,1780	0,0420	0,5110	0,5920
Q3	0,000	0,000	0,001	0,006	0,000	0,000	0,014	0,307	0,1960	0,0500	0,4660	0,6060
Máximo	0,000	0,000	0,002	0,013	0,000	0,000	0,016	0,344	0,2870	0,0820	0,6390	0,4910
Rango	0,000	0,000	0,448	0,912	0,004	0,001	0,597	0,212	0,8060	0,4550	0,5990	0,7220
Curtosis	0,000	0,000	0,879	0,943	0,000	0,000	0,882	0,038	0,7600	0,5080	0,8300	0,4160

Todos los modelos contienen 3 efectos lineales (RPM, Viscosidad y Holgura), los cuales se deberán evaluar con cuidado en presencia de una interacción significativa y efectos cuadráticos. Además cada modelo contiene 3 efectos cuadráticos (RPM* RPM,

Viscosidad* Viscosidad y Holgura*Holgura) y 3 interacciones de 2 factores cada una (RPM*Viscosidad, RPM*Holgura y Viscosidad*Holgura).

Al analizar la tabla se establece que, el efecto lineal del factor RPM es significativamente elevado, puesto que el valor p para este factor es igual en todos los estadísticos descriptivos. Es decir el valor p de 0,000 es menor que el valor de significancia, por lo que todos los estadísticos descriptivos de la variable de salida difieren dependiendo de las RPM del motor.

El análisis de efecto lineal se enfocara a los factores Viscosidad y Holgura, para cada uno de los estadísticos, conforme al motivo ya expuesto en el párrafo anterior.

A continuación se analizan los estadísticos descriptivos con mayor relevancia para este proyecto, por lo que se omite el análisis del estadístico media recortada, suma y suma de cuadrados.

6.1.1. Efectos lineales

Tabla 10. Efecto lineal de factor Viscosidad. Fuente: Los Autores

Respuesta	Comparación	Conclusión	Interpretación
Media	$0,001 < 0,05$	Significativo	Variación de la respuesta depende del cambio de la viscosidad del aceite.
E.E de Media	$0,506 > 0,05$	No significativo	Variación de la respuesta no depende de la Viscosidad del aceite.
Desviación Estándar	$0,359 > 0,05$	No significativo	Variación de la respuesta no depende de la Viscosidad del aceite.
Varianza	$0,328 > 0,05$	No significativo	Variación de la respuesta no depende de la Viscosidad del aceite.
Coefficiente Varianza	$0,065 > 0,05$	No significativo	Variación de la respuesta no depende de la Viscosidad del aceite.
Mínimo	$0 < 0,05$	Significativo	Variación en la respuesta depende del cambio de la Viscosidad del aceite.
Q1	$0,001 < 0,05$	Significativo	Variación en la respuesta depende del cambio de la Viscosidad del aceite.
Mediana	$0 < 0,05$	Significativo	Variación en la respuesta depende del cambio de la Viscosidad del aceite.

Q3	$0,001 < 0,05$	Significativo	Variación en la respuesta depende del cambio de la Viscosidad del aceite.
Máximo	$0,002 < 0,05$	Significativo	Variación en la respuesta depende del cambio de la Viscosidad del aceite.
Rango	$0,448 > 0,05$	No significativo	Variación de la respuesta no depende de la Viscosidad del aceite.
Curtosis	$0,879 > 0,05$	No significativo	Variación de la respuesta no depende de la Viscosidad del aceite.

Tabla 11. Efecto lineal de factor Holgura. Fuente: Los Autores

Respuesta	Comparación	Conclusión	Interpretación
Media	$0,007 < 0,05$	Significativo	Variación en la respuesta depende de la dimensión de la holgura de los segmentos
E.E de Media	$0,843 > 0,05$	No significativo	Variación de la respuesta no depende de la dimensión de la holgura de los segmentos
Desviación Estándar	$0,699 > 0,05$	No significativo	Variación de la respuesta no depende de la dimensión de la holgura de los segmentos
Varianza	$0,782 > 0,05$	No significativo	Variación de la respuesta no depende de la dimensión de la holgura de los segmentos
Coefficiente Varianza	$0,085 > 0,05$	No significativo	Variación de la respuesta no depende de la dimensión de la holgura de los segmentos
Mínimo	$0,006 < 0,05$	Significativo	Variación en la respuesta depende de la dimensión de la holgura de los segmentos
Q1	$0,006 < 0,05$	Significativo	Variación en la respuesta depende de la dimensión de la holgura de los segmentos
Mediana	$0,007 < 0,05$	Significativo	Variación en la respuesta depende de la dimensión de la holgura de los segmentos
Q3	$0,006 < 0,05$	Significativo	Variación en la respuesta depende de la dimensión de la holgura de los segmentos
Máximo	$0,013 < 0,05$	Significativo	Variación en la respuesta depende de la dimensión de la holgura de los segmentos
Rango	$0,912 > 0,05$	No significativo	Variación de la respuesta no depende de la dimensión de la holgura de los segmentos

Curtosis	$0,943 > 0,05$	No significativo	Variación de la respuesta no depende de la dimensión de la holgura de los segmentos
----------	----------------	------------------	---

6.1.2. Efectos cuadráticos

El efecto cuadrático tiene un valor p de 0,000 por lo que existe una curvatura en la superficie de respuestas.

El valor p para RPM*RPM es de 0,000 aproximadamente (ver Tabla 9) lo que es inferior al valor de significancia, esto es para todos los estadísticos de la respuesta, por lo que existe un efecto cuadrático significativo en todos los estadísticos. Es decir, la relación entre RPM y los estadísticos de la variable de salida siguen una línea curva, lo que representa una superficie de respuesta curva.

El enfoque de los efectos cuadráticos se centra sobre los factores Viscosidad*Viscosidad y Holgura*Holgura, los cuales se detallan a continuación, en las Tabla 4.4 y 4.5 respectivamente.

Tabla 12. Efecto cuadrático de factor Viscosidad*Viscosidad. **Fuente:** Los Autores

Respuesta	Comparación	Conclusión	Interpretación
Media	$0,011 < 0,05$	Significativo	Relación entre Viscosidad y estadístico sigue una trayectoria curva.
E.E de Media	$0,920 > 0,05$	No significativo	Relación entre Viscosidad y estadístico sigue una línea recta.
Desviación Estándar	$0,634 > 0,05$	No significativo	Relación entre Viscosidad y estadístico sigue una línea recta
Varianza	$0,959 > 0,05$	No significativo	Relación entre Viscosidad y estadístico sigue una línea recta
Coefficiente Varianza	$0,500 > 0,05$	No significativo	Relación entre Viscosidad y estadístico sigue una línea recta
Mínimo	$0,005 < 0,05$	Significativo	Relación entre Viscosidad y estadístico sigue una trayectoria curva.
Q1	$0,011 < 0,05$	Significativo	Relación entre Viscosidad y estadístico sigue una trayectoria curva.
Mediana	$0,010 < 0,05$	Significativo	Relación entre Viscosidad y estadístico sigue una trayectoria curva.

Q3	0,014 < 0,05	Significativo	Relación entre Viscosidad y estadístico sigue una trayectoria curva.
Máximo	0,016 < 0,05	Significativo	Relación entre Viscosidad y estadístico sigue una trayectoria curva.
Rango	0,597 > 0,05	No significativo	Relación entre Viscosidad y estadístico sigue una línea recta
Curtosis	0,882 > 0,05	No significativo	Relación entre Viscosidad y estadístico sigue una línea recta

Tabla 13. Efecto cuadrático de factor Holgura*Holgura. **Fuente:** Los Autores

Respuesta	Comparación	Conclusión	Interpretación
Media	0,458 > 0,05	No significativo	Relación entre Holgura y estadístico sigue una línea recta.
E.E de Media	0,004 < 0,05	Significativo	Relación entre Holgura y estadístico forma una trayectoria curva.
Desviación Estándar	0,002 < 0,05	Significativo	Relación entre Holgura y estadístico forma una trayectoria curva.
Varianza	0,002 < 0,05	Significativo	Relación entre Holgura y estadístico forma una trayectoria curva.
Coefficiente Varianza	0,069 > 0,05	No significativo	Relación entre Holgura y estadístico sigue una línea recta.
Mínimo	0,513 > 0,05	No significativo	Relación entre Holgura y estadístico sigue una línea recta.
Q1	0,531 > 0,05	No significativo	Relación entre Holgura y estadístico sigue una línea recta.
Mediana	0,478 > 0,05	No significativo	Relación entre Holgura y estadístico sigue una línea recta.
Q3	0,307 > 0,05	No significativo	Relación entre Holgura y estadístico sigue una línea recta.
Máximo	0,344 > 0,05	No significativo	Relación entre Holgura y estadístico sigue una línea recta.
Rango	0,212 > 0,05	No significativo	Relación entre Holgura y estadístico sigue una línea recta.
Curtosis	0,038 > 0,05	Significativo	Relación entre Holgura y estadístico forma una trayectoria curva.

6.1.3. Efectos de interacción

Conforme a la Tabla 14 es posible determinar que para los factores Rpm* Holgura y Viscosidad*Holgura el valor p para los estadísticos descriptivos de la respuesta, son superiores al nivel de significancia de 0.05, es decir que el efecto Rpm y Viscosidad en los estadísticos de la respuesta no cambiaran cuando se varié la Holgura respectivamente para cada interacción.

También es posible determinar que el valor p para el efecto de interacción del modelo, para todos los estadísticos de la respuesta son mayor a su valor de significancia α , entonces los estadístico de la variable de salida no cambia cuando se afecte los 3 factores a la vez.

Tabla 14. Efecto de interacción de factor Rpm*Viscosidad. **Fuente:** Los Autores

Respuesta	Comparación	Conclusión	Interpretación
Media	$0,0460 < 0,05$	Significativo	EL efecto de las RPM en el estadístico de la variable de salida depende de la Viscosidad.
E.E de Media	$0,0990 > 0,05$	No significativo	El efecto de las RPM en el estadístico de la variable de salida no cambia al variar la Viscosidad.
Desviación Estándar	$0,0900 > 0,05$	No significativo	El efecto de las RPM en el estadístico de la variable de salida no cambia al variar la Viscosidad.
Varianza	$0,0790 > 0,05$	No significativo	El efecto de las RPM en el estadístico de la variable de salida no cambia al variar la Viscosidad.
Coefficiente Varianza	$1,0000 > 0,05$	No significativo	El efecto de las RPM en el estadístico de la variable de salida no cambia al variar la Viscosidad.
Mínimo	$0,0340 < 0,05$	Significativo	EL efecto de las RPM en el estadístico de la variable de salida depende de la Viscosidad
Q1	$0,0600 > 0,05$	No significativo	El efecto de las RPM en el estadístico de la variable de salida no cambia al variar la Viscosidad.
Mediana	$0,0420 < 0,05$	Significativo	EL efecto de las RPM en el estadístico de la variable de salida depende de la Viscosidad

Q3	$0,0500 < 0,05$	Significativo	EL efecto de las RPM en el estadístico de la variable de salida depende de la Viscosidad
Máximo	$0,0820 > 0,05$	No significativo	El efecto de las RPM en el estadístico de la variable de salida no cambia al variar la Viscosidad.
Rango	$0,4550 > 0,05$	No significativo	El efecto de las RPM en el estadístico de la variable de salida no cambia al variar la Viscosidad.
Curtosis	$0,5080 > 0,05$	No significativo	El efecto de las RPM en el estadístico de la variable de salida no cambia al variar la Viscosidad.

6.2. Gráficas de residuos

Las gráficas de residuos se utilizan para examinar la bondad del ajuste en la regresión y ANOVA. El Anova es un método estadístico que sirve para determinar la variabilidad de los valores cuantitativos que representan los diferentes niveles de los factores de estudio en el diseño experimental realizado.

Para el análisis de gráficas de residuos de los estadísticos descriptivos de la variable respuesta, se presenta en la Tabla 15 los valores de R^2 , los cuales indican en que porcentaje los valores medidos se ajustan a la regresión o valor esperado. Para ser considerados como valido el experimento, este valor debe ser mayor al 70%.

Tabla 15. Valor de ajuste R cuadrado para estadísticos. **Fuente:** Los Autores

Estadísticos Descriptivos	R^2
Media	99,43%
E.E de Media	99,35%
Desviación Estándar	95,84%
Varianza	95,84%
Coficiente de Variación	98,39%
Mínimo	99,50%
Q1	99,42%
Mediana	99,44%
Q3	99,44%
Máximo	99,32%
Rango	93,74%
Curtosis	96,43%

El porcentaje de ajuste de los valores es superior al 90%, lo que acredita un correcto análisis de las gráficas de residuos.

6.2.1. Gráficas de residuos para desviación estándar

Se analiza el Anova para desviación estándar que es una medida de dispersión para valores cuantitativos de los tratamientos experimentados.

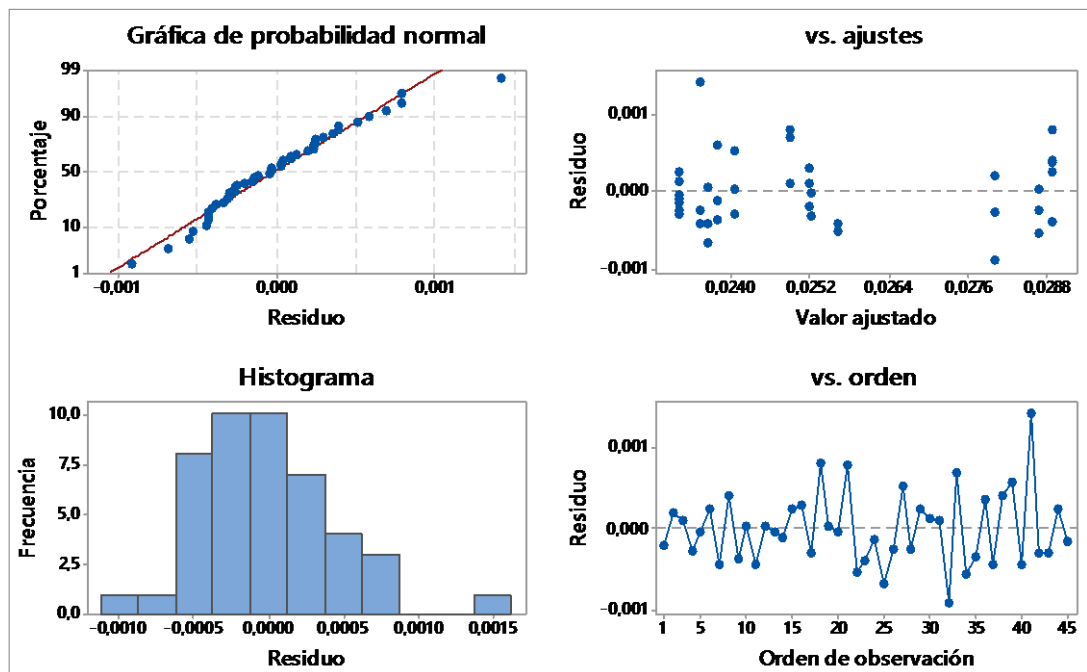


Figura 18. Gráficas de residuos para Desviación Estándar. Fuente: Los Autores

En la Figura 18, se presenta la gráfica de probabilidad normal, donde los residuos se ajustan a una línea recta, por lo que se cumple el supuesto de la normalidad de los datos, además el histograma certifica esto con su forma de campana, tiene un valor atípico en 0,0015 y con respecto al sesgo es casi simétrica.

Los puntos en la gráfica de valor ajustado vs. residuo, no asumen ningún patrón explícito en forma de embudo o cuello de botella, puesto que están dispersos aleatoriamente alrededor de cero, por lo que la varianza es constante, no tiene puntos atípicos, ni puntos influyentes. Los residuos distribuidos de manera aleatoria según el Valor Ajustado, corrobora el supuesto de varianza constante.

En la gráfica de residuo vs orden, que los puntos tienen una dispersión alrededor de cero por la aleatorización de las corridas, certificando la no correlación entre residuos, se acepta el supuesto de independencia de los resultados.

El análisis de las gráficas de residuos del resto de los estadísticos descriptivos, cumplen con lo expuesto anteriormente y se representan en el ANEXO II.

6.3. Gráficas de efectos principales

Las gráficas de efectos principales ayudan a determinar cuáles son los factores de mayor influencia sobre la variable de respuesta.

El análisis correspondiente al factor RPM se lo realiza de forma general, debido a que la variación de los estadísticos de la respuesta, es considerablemente alta. Razón que es obvia dado que el pasar de un régimen de giro de nivel bajo (700 rpm) a un nivel alto (2500 rpm), la presión en el interior del colector aumenta y por ende el sensor MAP capta de con mayor sensibilidad ese incremento.

Expuesto lo del factor RPM, el enfoque de análisis se centrara sobre el efecto de los factores Viscosidad y Holgura.

6.3.1. Gráfica de efectos principales para desviación estándar

En esta grafica se muestra como se relaciona el estadístico desviación estándar con respecto a los factores del experimento.

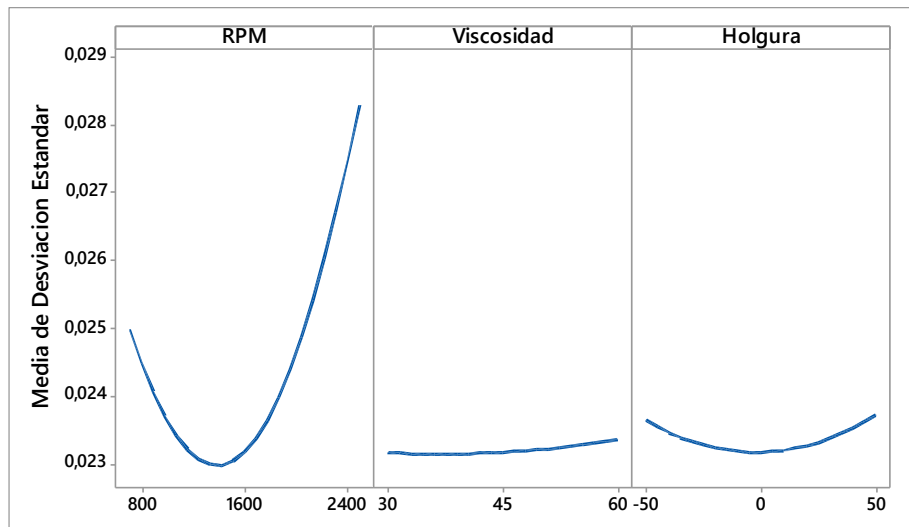


Figura 19. Gráfica de efectos principales para desviación estándar. **Fuente:** Los Autores

Como se mencionó anteriormente la mayor sensibilidad del estadístico descriptivo se da respecto al factor RPM, donde genera mayores valores al nivel alto.

El factor Viscosidad al cambiar de nivel bajo a alto no afecta en gran medida el estadístico desviación estándar, por lo que se consideraría una dependencia casi nula.

El efecto de variar el factor holgura de nivel bajo (-50) a nivel alto (50) genera un leve incremento del estadístico con respecto al nivel medio (0).

El análisis de efectos principales del resto de los estadísticos descriptivos, tienen el mismo comportamiento con lo expuesto anteriormente y se representan en el ANEXO III. Además en la Tabla 16 y Tabla 17 se resumen los efectos principales de los estadísticos descriptivos, representados por valores de medias ajustadas y porcentajes respectivamente.

6.4 Gráficas de interacciones

A continuación se presentan las gráficas de interacciones de los factores que afectan la variable respuesta. Estas Gráficas relacionan si un factor depende del nivel de otro factor.

Analíticamente si las líneas son paralelas, indican que no hay interacción. Si existe un cruce entre las líneas y mientras mayor sea la diferencia de sus pendientes, el grado de

interacción será mayor. Sin embargo, es necesario corroborar conjuntamente con el valor p de interacciones de la tabla de análisis de varianza, para determinar si la interacción es significativa o no.

En base al valor p (Tabla 4), se selecciona las interacciones que tienen un valor α significativo, que a continuación se les dará el respectivo desarrollo del análisis.

6.4.1. Gráfica de interacciones para media

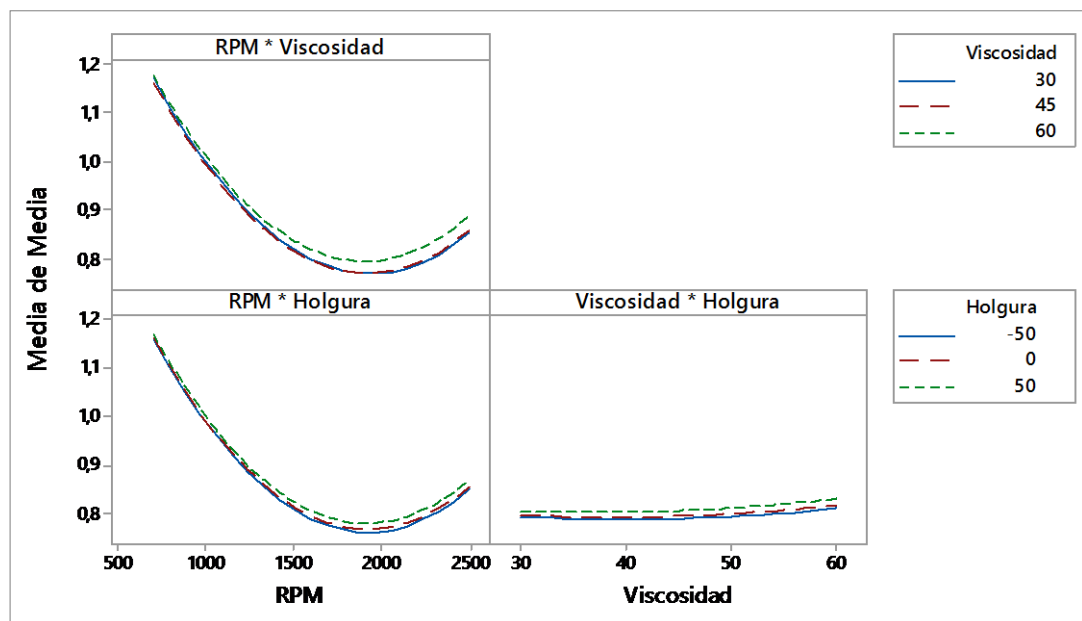


Figura 20. Gráfica de interacciones para media Fuente: Los Autores.

Una interacción significativa está presente entre RPM*Viscosidad, donde la media del estadístico media es inferior para una viscosidad 45 a 700, 1600 y 2500 rpm en relación a las otra viscosidades. La interacción tiene un valor p de 0,0460 que es inferior al nivel de significancia.

Las demás interacciones, tienen un comportamiento paralelo a lo largo de las curvas formadas. Por lo que las interacciones no son significativas.

6.4.2. Gráfica de interacciones para mínimo

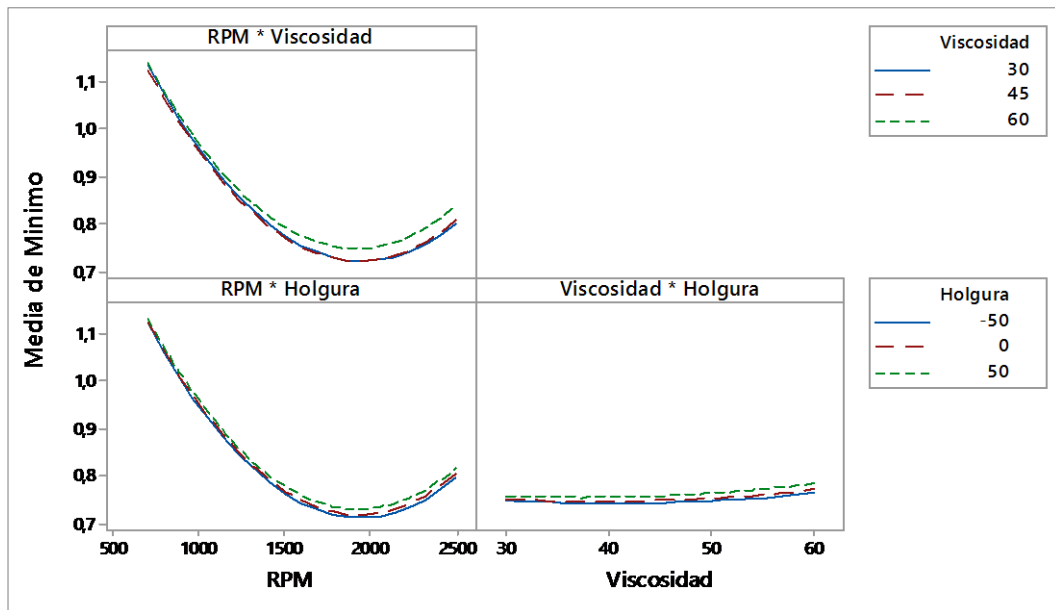


Figura 21. Gráfica de interacciones para mínimo. Fuente: Los Autores

Una interacción significativa está presente entre RPM*Viscosidad, donde la media del estadístico media es inferior para una viscosidad 45 a 700, 1600 y 2500 rpm en relación a las otra viscosidades. La interacción tiene un valor p de 0,0340 que es inferior al nivel de significancia.

Las demás interacciones, tienen un comportamiento paralelo o casi paralelo a lo largo de las curvas formadas. Por lo que las interacciones no son significativas.

6.4.3. Gráfica de interacciones para mediana

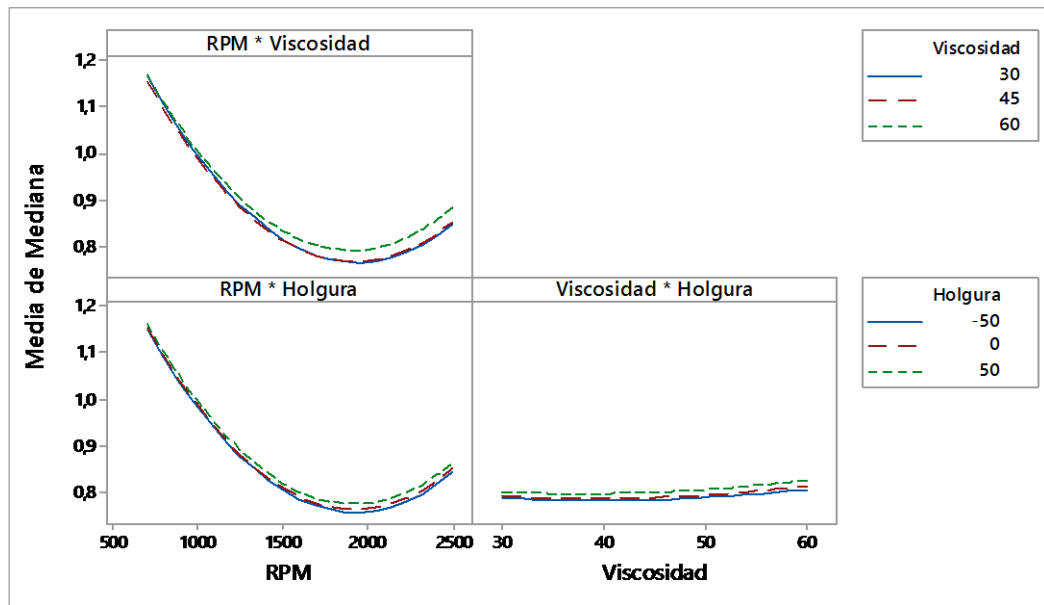


Figura 22. Gráfica de interacciones para mediana Fuente: Los Autores

Una interacción significativa está presente entre RPM*Viscosidad, donde la media del estadístico media es inferior para una viscosidad 45 a 700, 1600 y 2500 rpm en relación a las otra viscosidades. La interacción tiene un valor p de 0,0420 que es inferior al nivel de significancia.

Las demás interacciones, tienen un comportamiento paralelo o casi paralelo a lo largo de las curvas formadas. Por lo que las interacciones no son significativas.

6.4.4. Gráfica de interacciones para tercer cuartil (Q3)

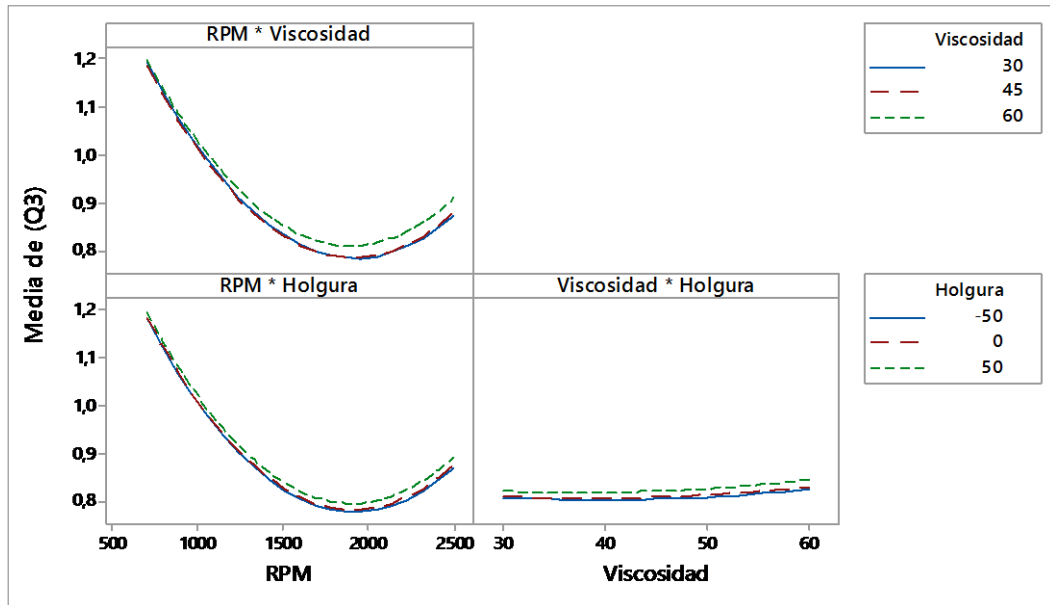


Figura 23. Gráfica de interacciones para tercer cuartil (Q3). Fuente: Los Autores

Una interacción significativa está presente entre RPM*Viscosidad, donde la media del estadístico media es inferior para una viscosidad 45 a 700, 1600 y 2500 rpm en relación a las otra viscosidades. La interacción tiene un valor p de 0,050 que es inferior al nivel de significancia.

Las demás interacciones, tienen un comportamiento paralelo o casi paralelo a lo largo de las curvas formadas. Por lo que las interacciones no son significativas.

6.5. Graficas de Superficie de Respuesta

6.5.1. Superficie de respuesta para media

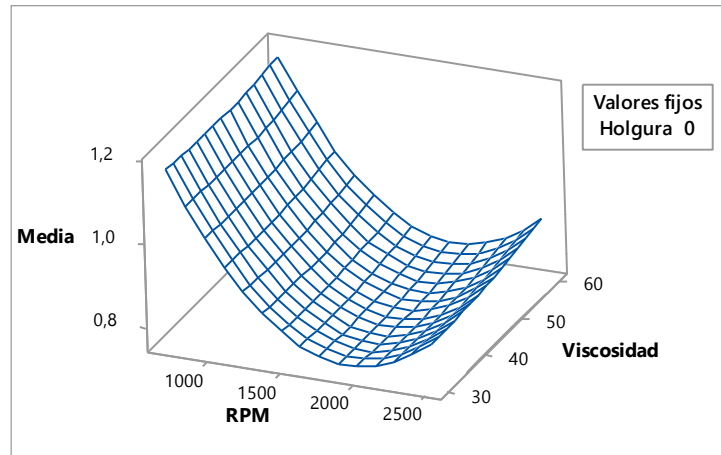


Figura 24. Gráfica de superficie de respuesta para media Fuente: Los Autores

Se coloca como valor constante la holgura de los rines en 0% de apertura, para determinar como el estadístico se afecta por los cambios de niveles de la interacción Rpm*Viscosidad, donde se puede apreciar que la media disminuye hasta el régimen de 2000rpm aproximadamente y se incrementa de nuevo hasta los 2500rpm, además se nota una discreta dependencia de la media a partir de la viscosidad del aceite la misma que se afecta solo por el régimen de giro ya expuesto.

6.5.2. Superficie de respuesta para minino

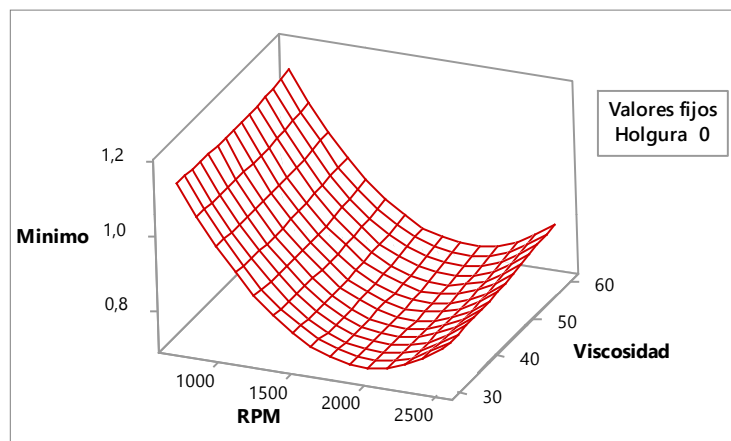


Figura 25. Gráfica de superficie de respuesta para mínimo. Fuente: Los Autores.

Se coloca como valor constante la holgura de los rines en 0% de apertura, para determinar como el estadístico se afecta por los cambios de niveles de la interacción Rpm*Viscosidad, se puede apreciar que el mínimo disminuye hasta el régimen de 2000rpm aproximadamente y se incrementa nuevamente hasta los 2500rpm, de igual forma se nota una discreta dependencia del mínimo a partir de la viscosidad del aceite la misma que se afecta solo por el régimen de giro ya expuesto.

6.5.3. Superficie de respuesta para mediana

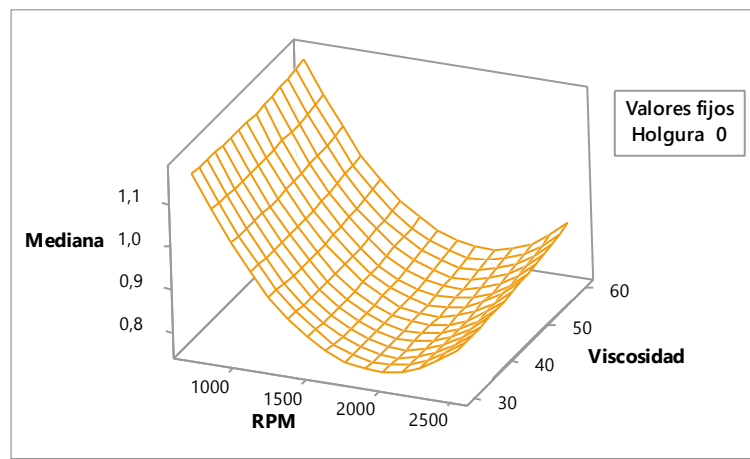


Figura 26. Gráfica de superficie de respuesta para mediana. **Fuente:** Los Autores

Se coloca como valor constante la holgura de los rines en 0% de apertura, para determinar como el estadístico se afecta por los cambios de niveles de la interacción Rpm*Viscosidad, se aprecia que la mediana disminuye hasta el régimen de 2000rpm aproximadamente y se incrementa de nuevo hasta los 2500rpm, de igual forma se nota una leve dependencia de la mediana a partir de la viscosidad del aceite la misma que se ve afectada solo por el régimen de giro ya expuesto.

6.5.4. Superficie de respuesta para Q3

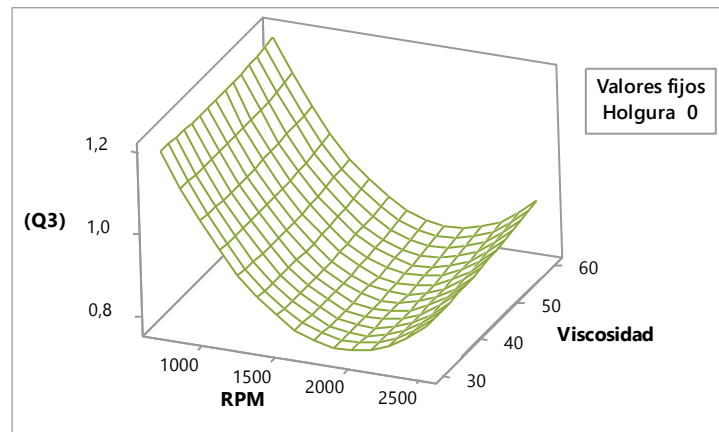


Figura 27. Gráfica de superficie de respuesta para tercer cuartil (Q3). Fuente: Los Autores

Se coloca como valor constante la holgura de los rines en 0% de apertura, para determinar como el estadístico se afecta por los cambios de niveles de la interacción Rpm*Viscosidad, se aprecia que el tercer cuartil disminuye hasta el régimen de 2000rpm aproximadamente y se incrementa de nuevo hasta los 2500rpm, de igual forma se nota una leve dependencia del tercer cuartil a partir de la viscosidad del aceite la misma que se ve afectada solo por el régimen de giro ya expuesto.

Tabla 16. Media ajustada de efectos principales para estadísticos descriptivos. *Fuente:* Los Autores

Niveles de los Factores			Estadísticos Descriptivos											
RPM	Densidad	Holgura	Media	EE de la media	Desviación Estándar	Varianza	Coefficiente de Variación	Mínimo	(Q1)	Mediana	(Q3)	Máximo	Rango	Curtosis
700	45	0	1,16223	0,0006707	0,0249686	0,0006247	2,14969	1,12356	1,14088	1,15414	1,18357	1,21696	0,0933957	-1,12568
1600	45	0	0,794917	0,0009457	0,0231656	0,0005367	2,91302	0,74901	0,779741	0,791988	0,808236	0,856308	0,107296	-0,141788
2500	45	0	0,857234	0,0014478	0,0282675	0,0008034	3,28969	0,804607	0,839996	0,852077	0,876307	0,934668	0,130062	-0,18401
1600	30	0	0,796963	0,0009411	0,0231538	0,0005319	2,9225	0,751904	0,781888	0,793917	0,80994	0,859095	0,107184	-0,134028
1600	45	0	0,794917	0,0009457	0,0231656	0,0005367	2,91302	0,74901	0,779741	0,791988	0,808236	0,856308	0,107296	-0,141788
1600	60	0	0,817528	0,0009484	0,0233446	0,0005425	2,87417	0,772207	0,802215	0,814417	0,830517	0,878143	0,105945	-0,139861
1600	45	-50	0,789924	0,0009717	0,0236279	0,0005617	2,97109	0,743769	0,774268	0,786971	0,804132	0,852674	0,108902	-0,20094
1600	45	0	0,794917	0,0009457	0,0231656	0,0005367	2,91302	0,74901	0,779741	0,791988	0,808236	0,856308	0,107296	-0,141788
1600	45	50	0,80585	0,0009695	0,0237099	0,0005647	2,92495	0,759297	0,790214	0,802567	0,820658	0,868017	0,108717	-0,203747

Tabla 27. Valores porcentuales de la media ajustada de efectos principales. *Fuente:* Los Autores

Niveles de los Factores			Estadísticos Descriptivos											
RPM	Densidad	Holgura	Media	EE de la media	Desviación Estándar	Varianza	Coefficiente de Variación	Mínimo	(Q1)	Mediana	(Q3)	Máximo	Rango	Curtosis
700	45	0	46,2077%	-29,0790%	7,7831%	16,3965%	-26,2041%	50,0060%	46,3153%	45,7270%	46,4387%	42,1171%	-12,9551%	693,9177%
1600	45	0	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%
2500	45	0	7,84%	53,09%	22,02%	49,69%	12,93%	7,42%	7,73%	7,59%	8,42%	9,15%	21,22%	29,78%
1600	30	0	0,2574%	-0,4864%	-0,0509%	-0,8944%	0,3254%	0,3864%	0,2753%	0,2436%	0,2108%	0,3255%	-0,1044%	-5,4730%
1600	45	0	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%
1600	60	0	2,84%	0,29%	0,77%	1,08%	-1,33%	3,10%	2,88%	2,83%	2,76%	2,55%	-1,26%	-1,36%
1600	45	-50	-0,6281%	2,7493%	1,9956%	4,6581%	1,9935%	-0,6997%	-0,7019%	-0,6335%	-0,5078%	-0,4244%	1,4968%	41,7186%
1600	45	0	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%
1600	45	50	1,38%	2,52%	2,35%	5,22%	0,41%	1,37%	1,34%	1,34%	1,54%	1,37%	1,32%	43,70%

6.6. Efecto individual de los factores

Para determinar el efecto individual que tiene cada factor sobre la variable respuesta, se establece una tabla comparativa establecida en función de las medias ajustadas para cada estadístico descriptivo. Dicha tabla es formada al variar un solo factor mientras los otros dos factores se mantienen en los niveles medios.

Para la visualización de la variabilidad de los datos, se establece porcentajes equivalentes a la variación de los valores de los estadísticos descriptivos, como se observa en la Tabla 18 y 19. Se considera cien por ciento al valor medio, por lo que los términos con signo negativo, comprenden el porcentaje de disminución y de forma contraria para los términos con signo positivos.

Para un análisis más detallado y profundo, se selecciona los estadísticos descriptivos expuestos a mayor variación con respecto a la variación de cada factor.

Tabla 18. Estadísticos representativos para Viscosidad Fuente: Los Autores

RPM	Viscosidad	Holgura	Media	Varianza	Mínimo	Máximo	Rango
1600	30	0	0,26%	-0,91%	0,39%	0,33%	-0,10%
1600	45	0	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%
1600	60	0	2,84%	1,08%	3,10%	2,55%	-1,26%

Tabla 19. Estadísticos representativos para Holgura Fuente: Los Autores

RPM	Viscosidad	Holgura	Media	Mediana	Mínimo	Máximo	Coefficiente Variación
1600	45	-50	-0,63%	-0,63%	-0,70%	-0,42%	1,99%
1600	45	0	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%
1600	45	50	1,38%	1,34%	1,37%	1,37%	0,41%

Para determinar como la viscosidad del aceite usado en un motor, afecta a la señal del sensor MAP, el enfoque será sobre los estadísticos descriptivos presentes en la Tabla 18 donde el análisis será de la siguiente forma, cuando se usa un aceite V1, con holgura S2 y a régimen R2, se tiene una disminución de 0,91% en el valor de la varianza, al cambiar el aceite a V3 y conservando los factores restantes intactos, el incremento es 1,08% con enfoque al valor estándar.

Los estadísticos descriptivos de la Tabla 19 son los que mayor cambio denotan en sus valores, cuando solo se hace la variación del parámetro holgura. Por ejemplo con una

holgura S1, régimen R2 y un aceite V2 la mediana tiene una disminución de 0,63% en función del valor estándar.

NOTA: Se considera a V2 y S2 como valores estándar, puesto que son parámetros establecidos por el fabricante en el caso segmentos estándar y con respecto a la viscosidad un aceite 20W50 es el más empleado en el medio, y a partir de estos valores se considera el incremento o disminución porcentual de cada estadístico descriptivo.

7. CONCLUSIONES

El análisis individual del factor rpm sobre el voltaje de señal del sensor MAP, no se detalla ampliamente, debido a que a mayor régimen de giro, el voltaje aumenta proporcionalmente al incremento de la presión absoluta en el colector de admisión. Sin embargo en esta investigación se da una disminución del voltaje de la señal del sensor MAP, durante el incremento del régimen de giro del motor, esto es producto de que la experimentación, se desarrolló en un motor sin freno, donde el motor trabaja sin carga (12,5%).

Para determinar como el factor viscosidad influye en la salida de voltaje de la señal del sensor MAP, se analiza el comportamiento del estadístico descriptivo Varianza, que con una viscosidad 10W30 el voltaje de señal disminuye en un 0,91%, y con una viscosidad 25W60 el voltaje de señal se incrementa en un 1,08%. De igual manera se pueden realizar el análisis de la Media, Mínimo, Máximo y Rango para comprobar los resultados.

Analizando el comportamiento del estadístico descriptivo Mínimo, se determinar la influencia del factor holgura sobre el voltaje de señal del sensor MAP, que con una holgura de -50%, el voltaje de señal del sensor disminuye un 0,7%, y con una holgura de 50%, el voltaje de señal se incrementa en un 1,37%. A la vez se puede realizar el análisis de la Media, Mediana, Máximo y Coeficiente de Variación para comprobar los resultados.

En la interacción Rpm*Viscosidad, el estadístico Mínimo tiene el valor p más bajo (0,034), lo que indica que la influencia del factor Rpm sobre la variable de respuesta va a depender del factor Viscosidad de aceite, es decir la significancia es mayor para este estadístico a analizar.

La aleatorización de los tratamientos en el experimento se aplica con el fin de garantizar la veracidad de los datos y que sean coherentes al comportamiento del sensor y no producto de interferencias, factores ambientales y errores del experimentador, además de complementarse con el cumplimiento del protocolo de muestreo.

8. RECOMENDACIONES

Todas las pruebas realizadas en la presenta investigación se ha realizado para un motor específico, por lo que se recomienda realizar pruebas en distintos motores para estandarizar los valores.

Tener en cuenta que los cables, el equipo de adquisición de datos y el sujeto de prueba, deben estar aisladas de fuentes que puedan generar inducción de corrientes parasitas o interferencias producidas por ondas acústicas por lo que sería necesario para ello emplear cables con recubrimiento especial y pruebas en cámaras anecoicas.

Para validar aún más la técnica de diagnóstico mediante análisis estadístico, se recomienda realizar el experimento con más factores que tengan relación directa con eficiencia volumétrica del motor.

Es recomendable la generación de sistemas de diagnosis basados en redes neuronales artificiales, tomando como base los resultados de la presenta investigación, con el fin de potenciar las técnicas no intrusivas y facilitar su implementación e interpretación en el ámbito laboral.

9. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] M. B. M. Abella, «Mantenimiento Industrial, Tecnologías de máquinas,» Leganés, 2003.
- [2] J. C. C. Osio, «Aproximación a la gestión electrónica del motor, Control de emisiones y consumo mediante una ANN,» Barcelona, 2015.
- [3] I. D. A. Castaño, «Estudio de los factores que inciden en el desempeño en motores de encendido provocado (MEP) convertidos a gas natural,» Medellín, 2003.
- [4] R. W. Contreras Urgilés y J. E. Fajardo Merchán, «Diseño y construcción de un sistema prototipo para determinar la cilindrada total de un motor ciclo Otto por un método no invasivo mediante Labview.,» Quito, 2015.
- [5] G. C. Eñaut Labaien, Curso sobre mantenimiento predictivo y sus distintas técnicas de aplicación, San Sebastián: PREDICTOVE, 2009.
- [6] R. F. Pesantez Domínguez y P. A. Zamora Cabrera, «Caracterización del tipo de gasolina en función de la estequiometria de la mezcla y el adelanto del encendido

mediante el análisis de ruido de un motor ciclo Otto, para una altitud de 2500 msnm.,» Cuenca, 2015.

- [7] E. P. Parapi Patiño y F. M. Zuña Rodríguez, «Diseño y construcción de un equipo prototipo de diagnóstico de la compresión de motores de combustión interna ciclo Otto con sistema MPFI Multec Delphi mediante el análisis de los sensores CKP, MAP y auxiliares.,» Cuenca, 2013.
- [8] F. Saldivia, «Aplicación de mantenimiento predictivo. Caso estudio: Análisis de aceite usando un motor de combustión interna,» Cancún, 2013.
- [9] M. E. Cortés Cortés y M. Iglesias León, Generalidades sobre Metodología de la Investigación, Campeche, México: Universidad Autónoma del Carmen, 2004.
- [10] C. M. Razo, Cómo elaborar y asesorar una investigación de tesis, México: Pearson Educación, 2011.
- [11] H. Gutiérrez Pulido y R. De La Vara Salazar, Análisis y diseño de experimentos, México: McGraw-Hill, 2008.
- [12] N. Instruments, «<http://www.ni.com/es-cr.html>,» 11 Febrero 2016. [En línea]. Available: <http://sine.ni.com/nips/cds/view/p/lang/es/nid/207096>.

ANEXOS

ANEXO I

Entrada Analógica	
Canales de una sola terminal	16
Canales Diferenciales	8
Resolución de Entrada Analógica	16 bits
Rango de Voltaje Máximo	
Rango	-10 V - 10 V
Precisión	2.71 mV
Sensibilidad	118 μ V
Rango de Voltaje Mínimo	
Rango	-200 mV - 200 mV
Precisión	0.089 mV
Sensibilidad	5.2 μ V
Salida Analógica	
Número de Canales	2
Resolución	16 bits
Rango de Voltaje Máximo	
Rango	-10 V - 10 V
Precisión	3.512 mV
Rango de Voltaje Mínimo	
Rango	-10 V - 10 V
Precisión	3.512 mV
Razón de Actualización	250 kS / s
Especificaciones Físicas	
Longitud	16.9 cm
Ancho	9.4 cm
Altura	3.1 cm
Conector de E / S	Terminales de tornillo
Potencia USB	Energizado por Bus

ANEXO II

Análisis Anova del ciclo de admisión, para los estadísticos descriptivos.

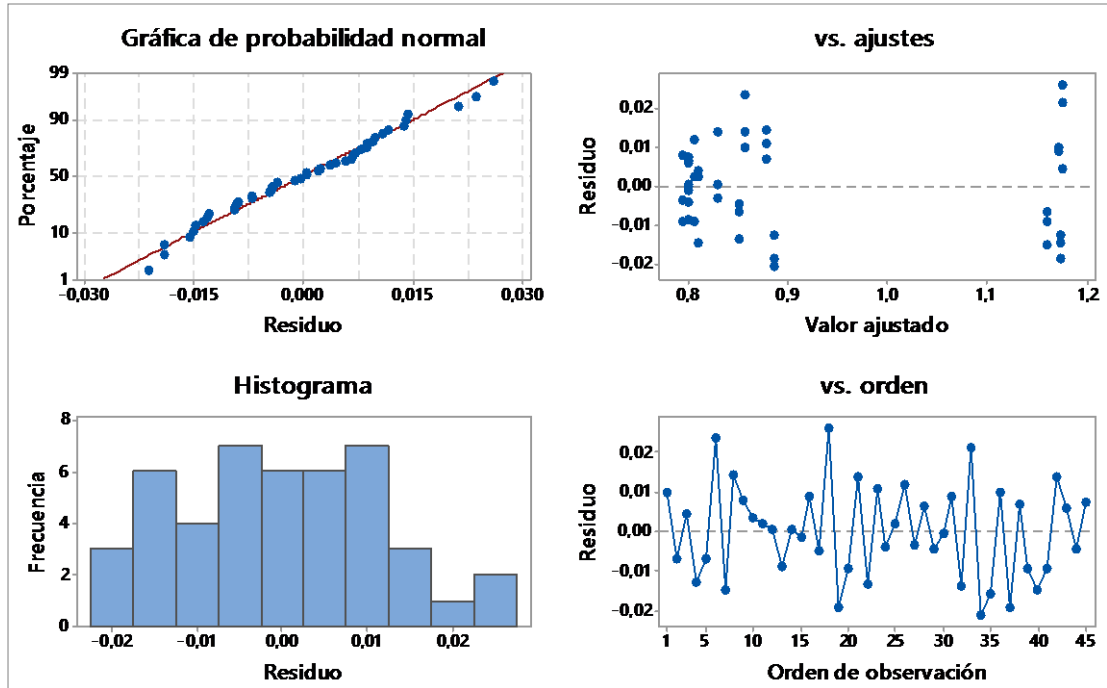


Figura II-1. Gráficas de residuos para Media

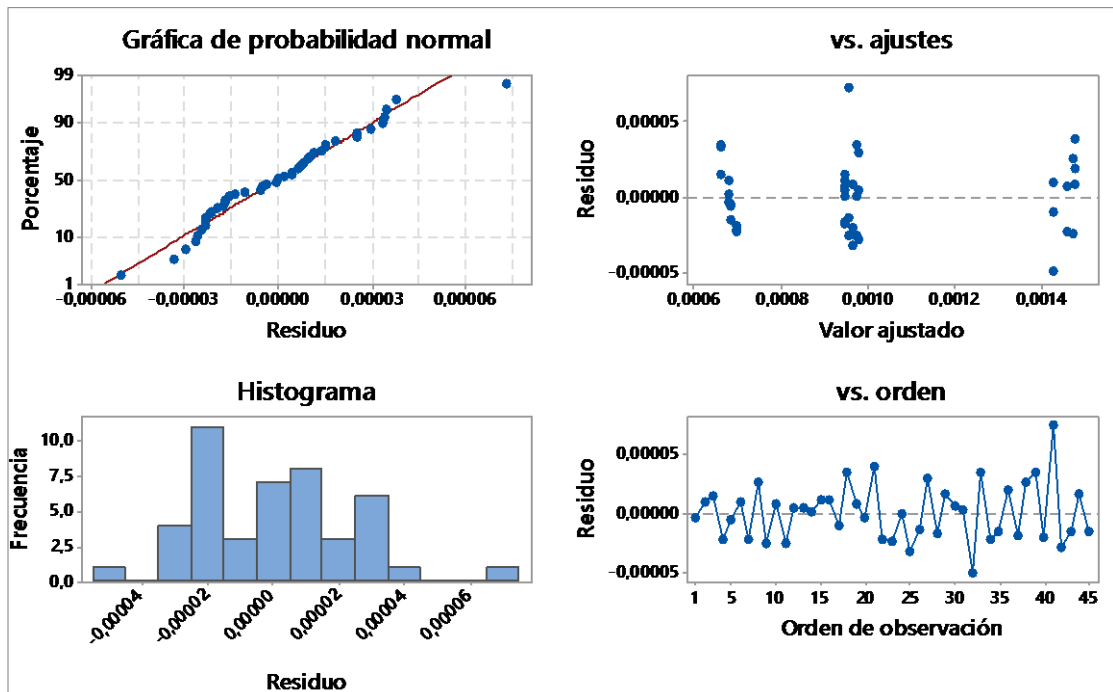


Figura II-2. Gráficas de residuos para EE de la Media

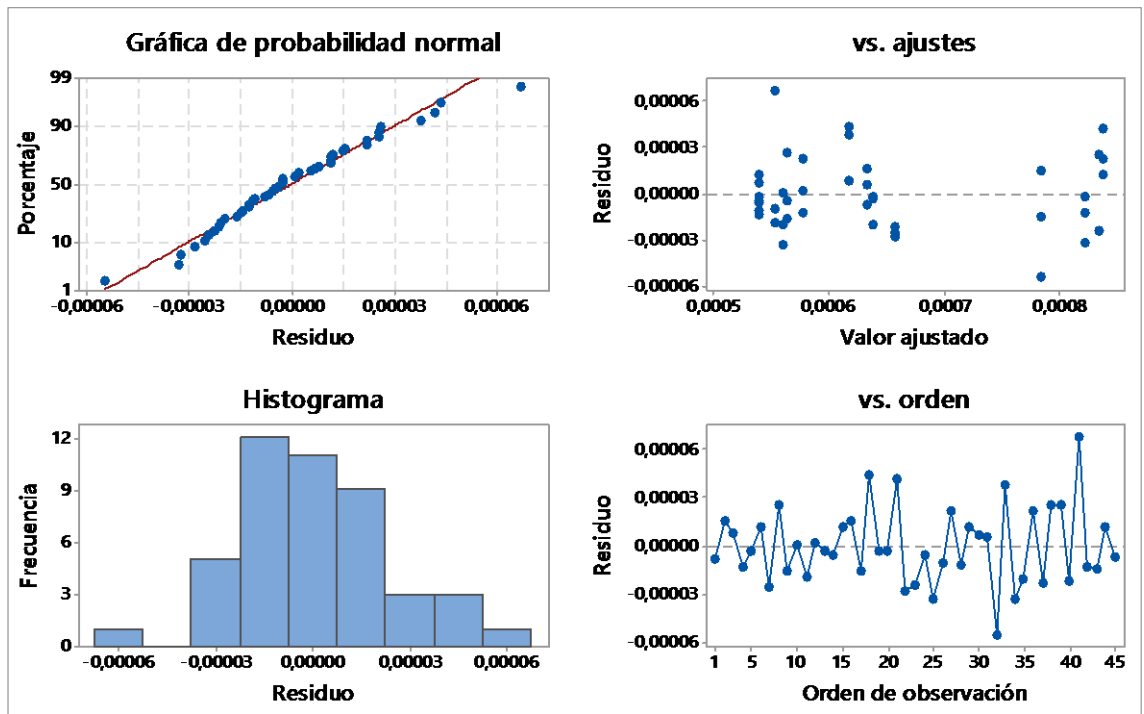


Figura II-3. Gráficas de residuos para Varianza

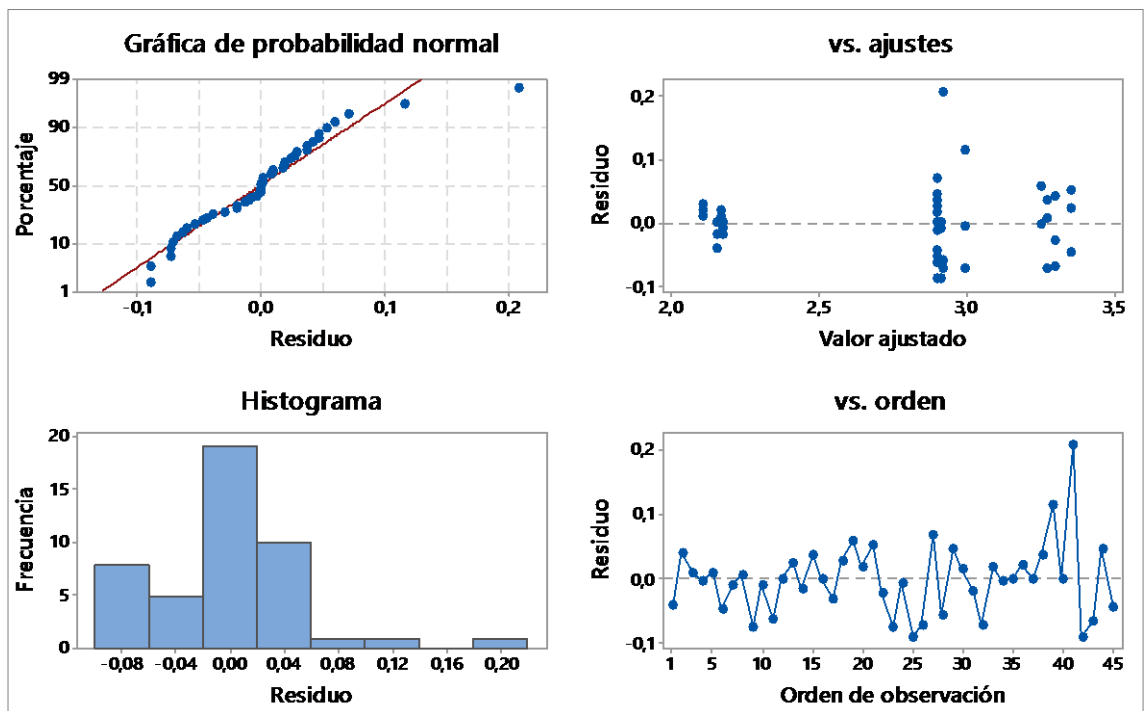


Figura II-4. Gráficas de residuos para Coeficiente de Variación

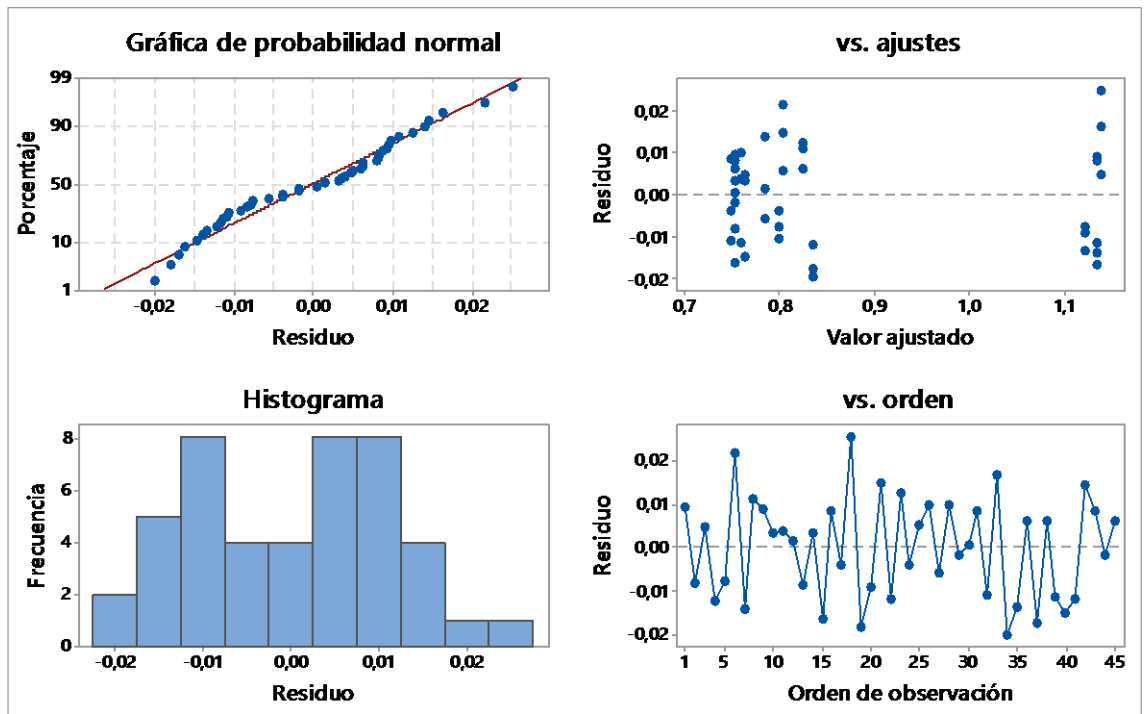


Figura II-5. Gráficas de residuos para Mínimo

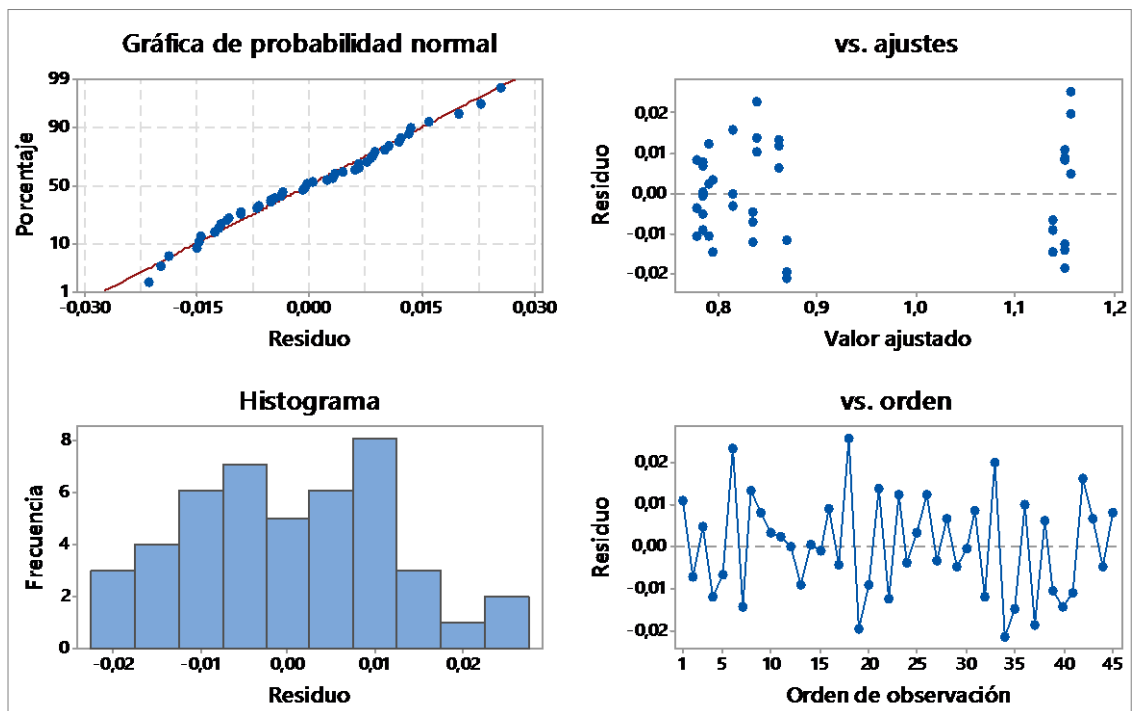


Figura II-6. Gráficas de residuos para Q1

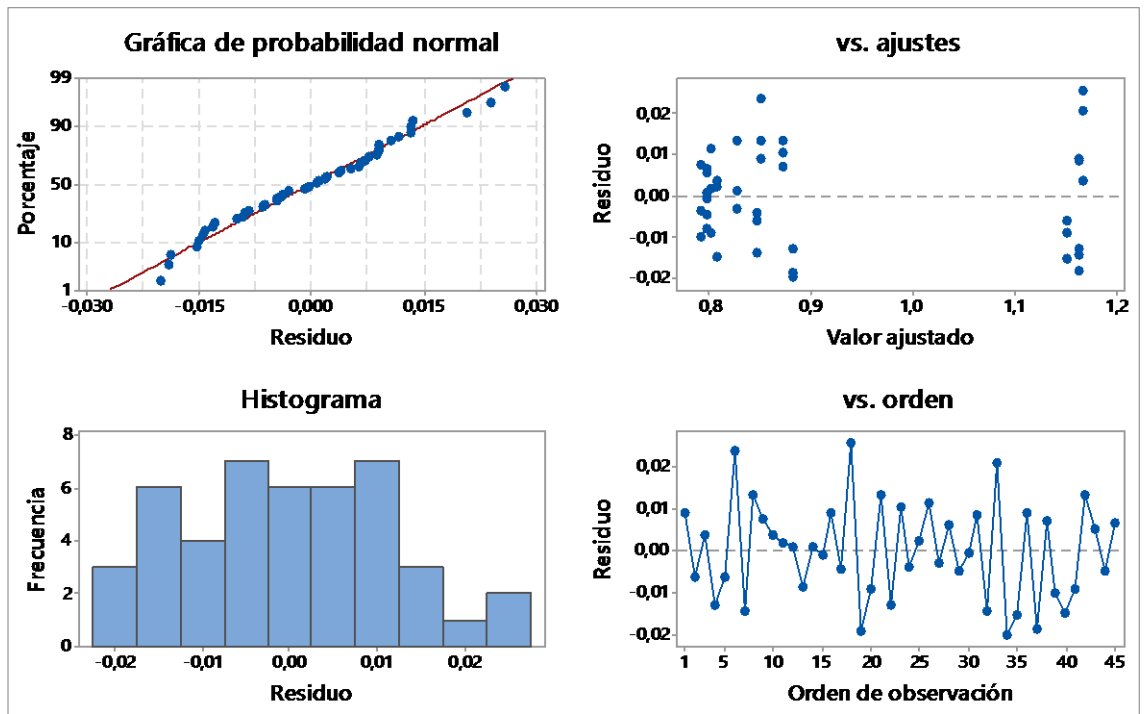


Figura II-7. Gráficas de residuos para Mediana

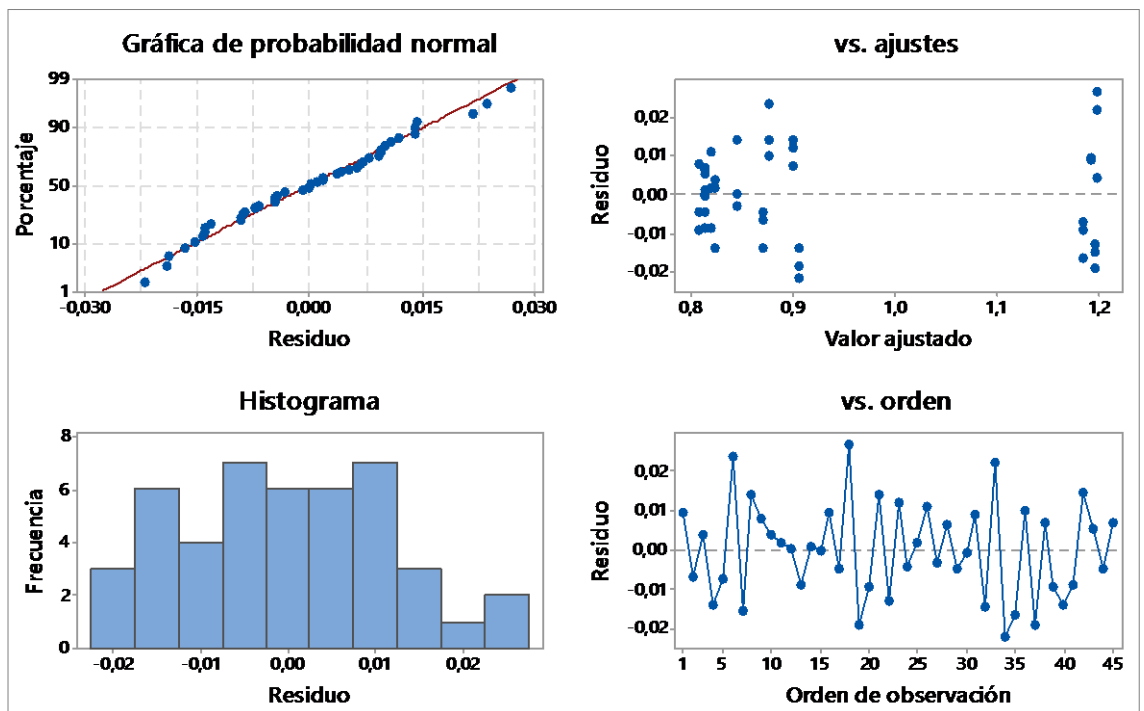


Figura II-8. Gráficas de residuos para Q3

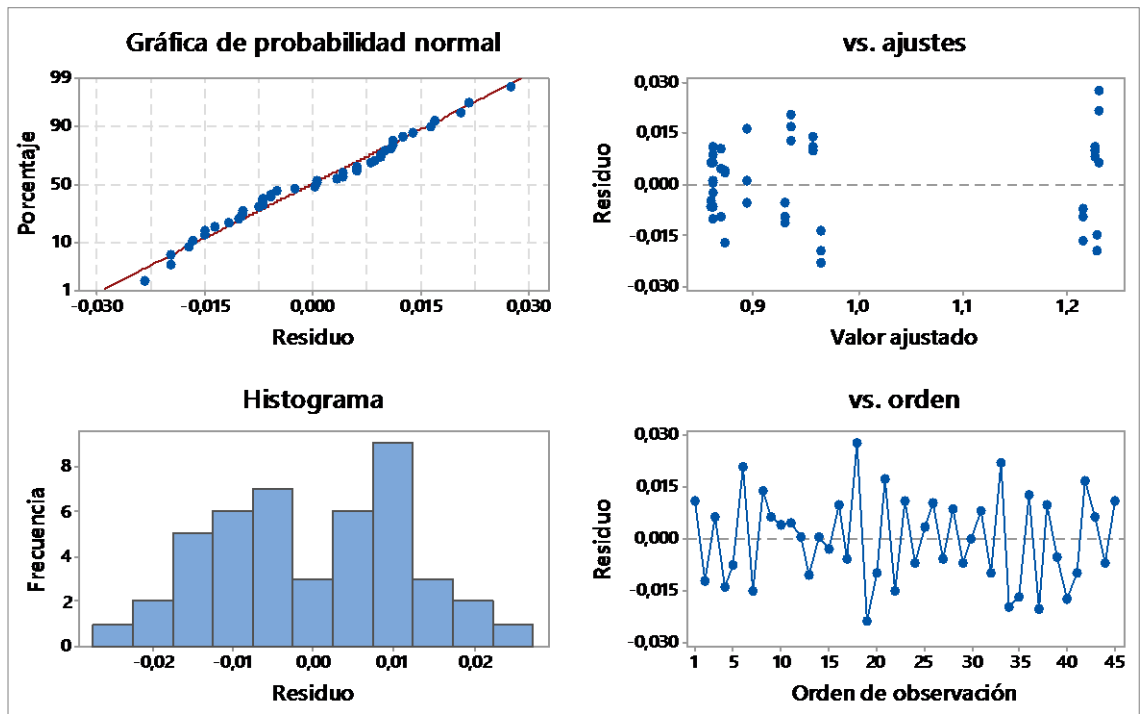


Figura II-9. Gráficas de residuos para Máximo

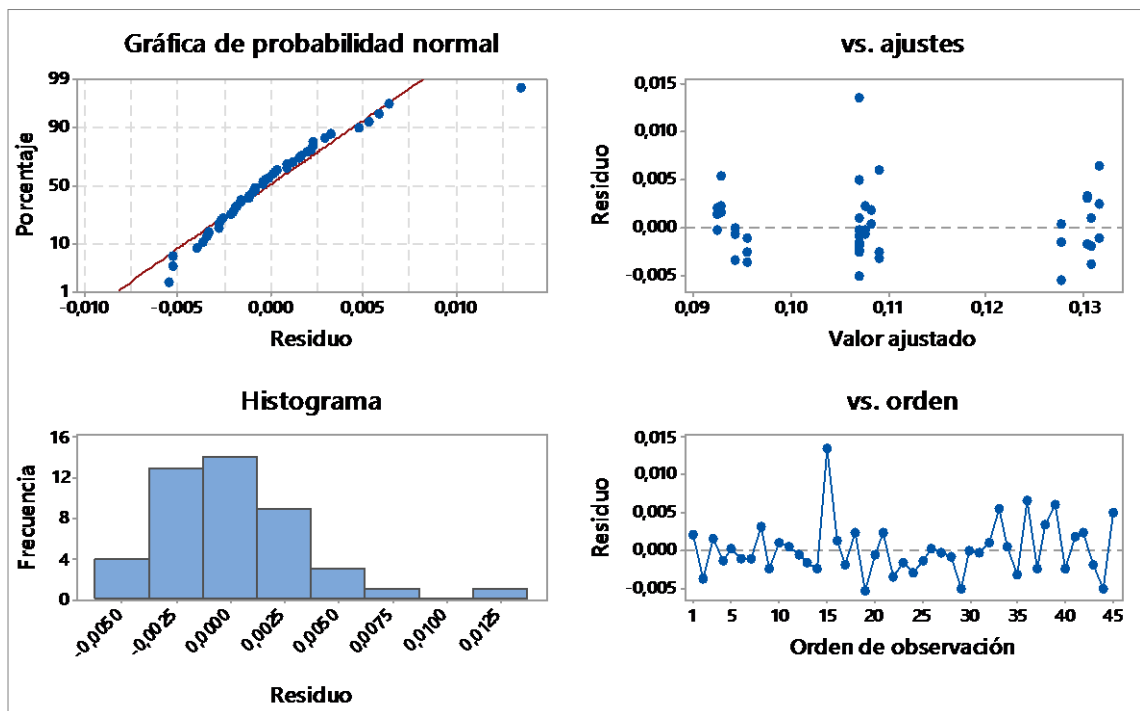


Figura II-10. Gráficas de residuos para Rango

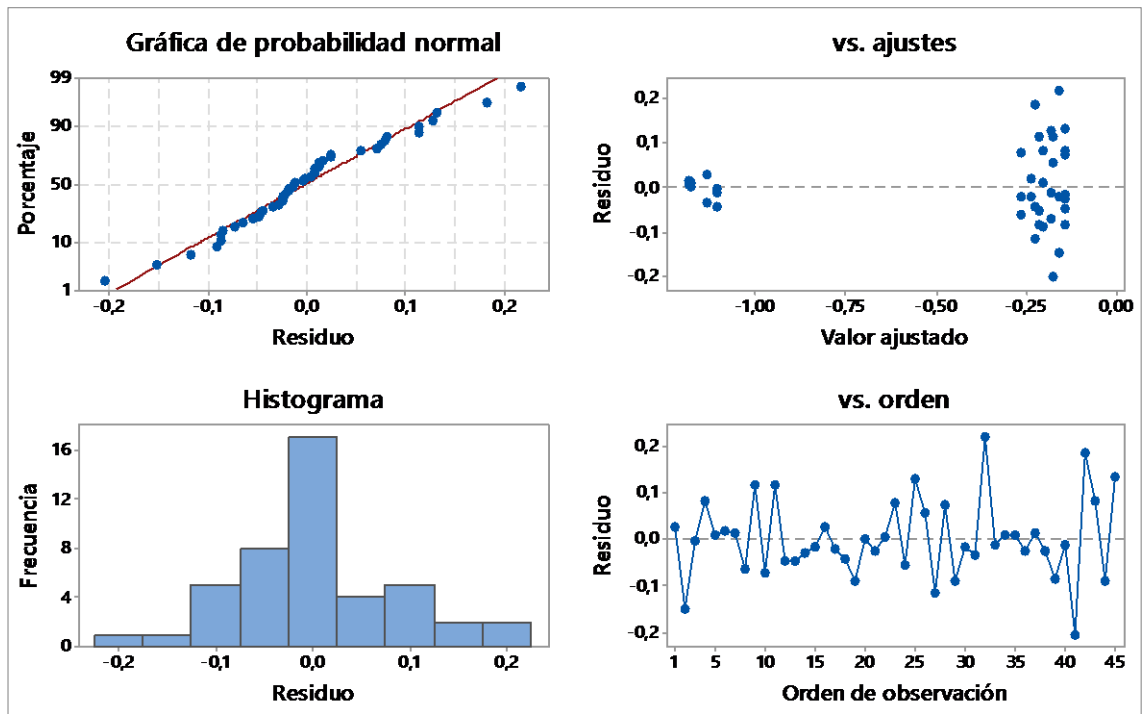


Figura II-11. Gráficas de residuos para Curtosis.

ANEXO III

Análisis de efectos principales de los estadísticos descriptivos, dado por los niveles de los factores del experimento.

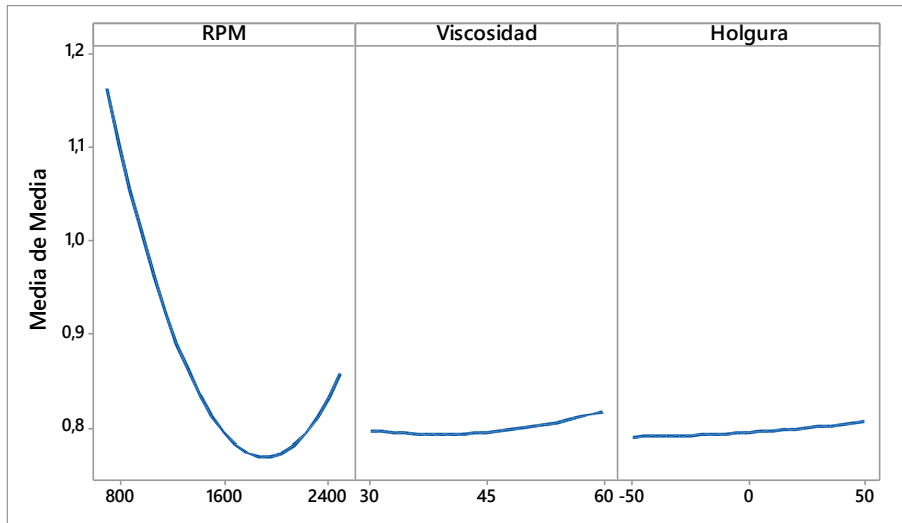


Figura II-1. Gráfica de efectos principales para media

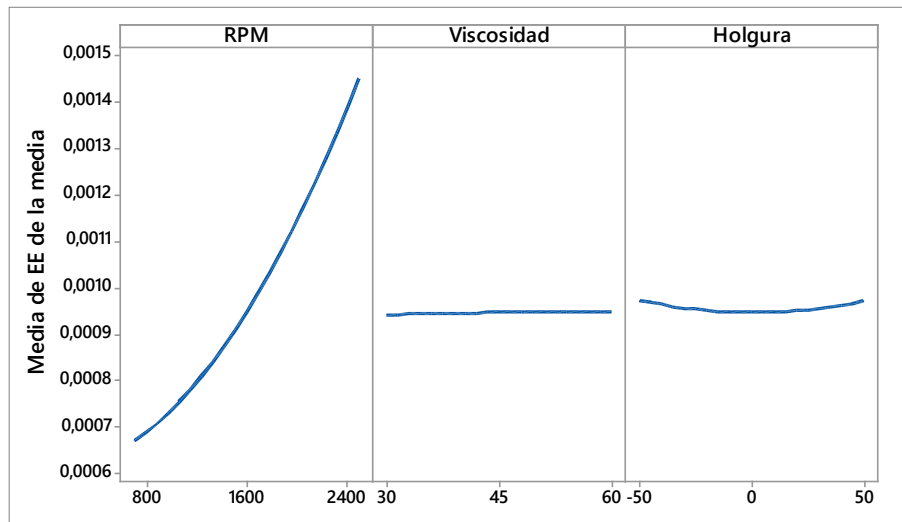


Figura II-2. Gráfica de efectos principales para EE de la media

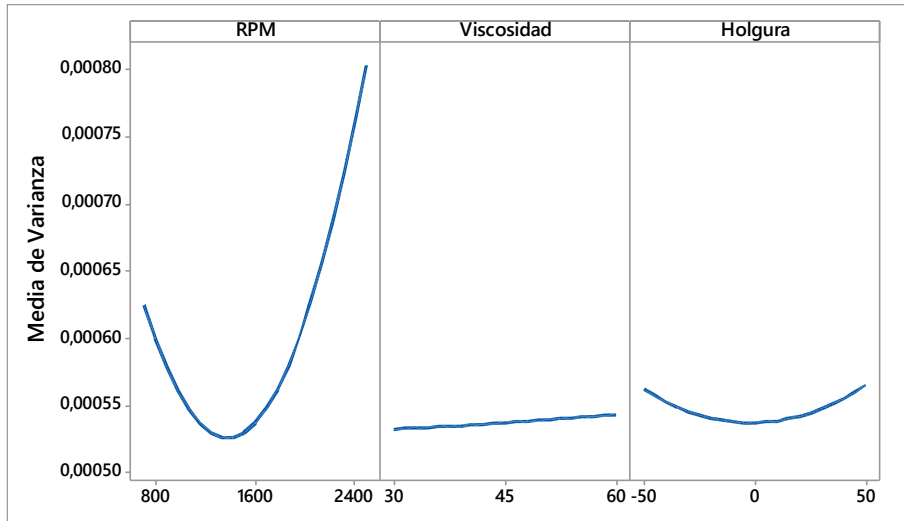


Figura II-3. Gráfica de efectos principales para varianza.

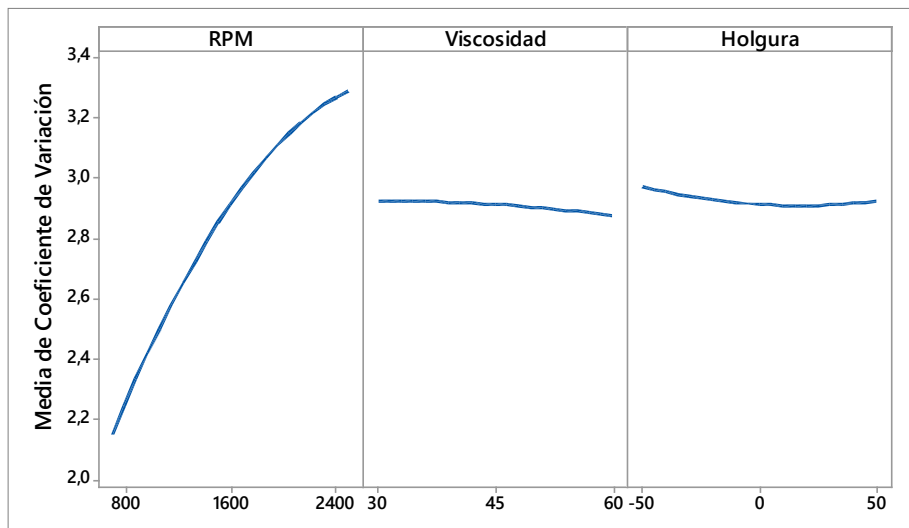


Figura II-4. Gráfica de efectos principales para coeficiente de variación

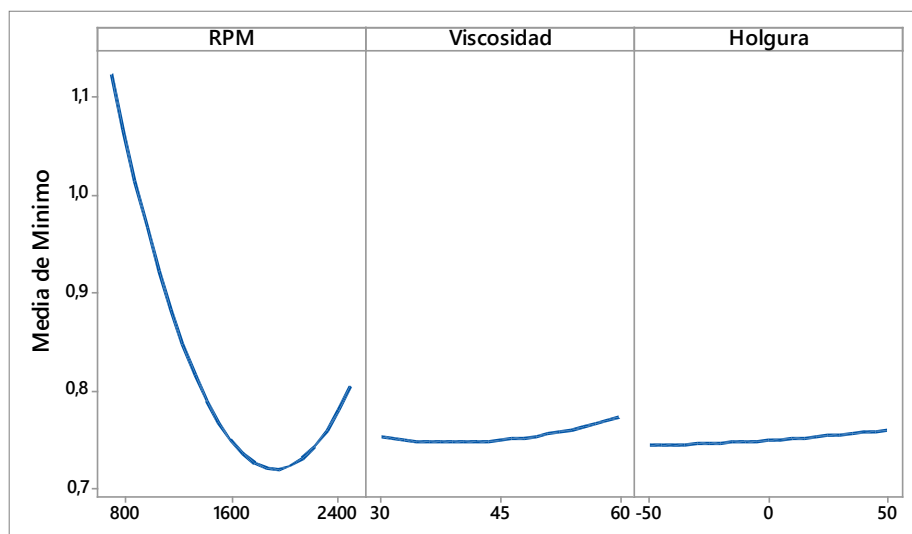


Figura II-5. Gráfica de efectos principales para mínimo

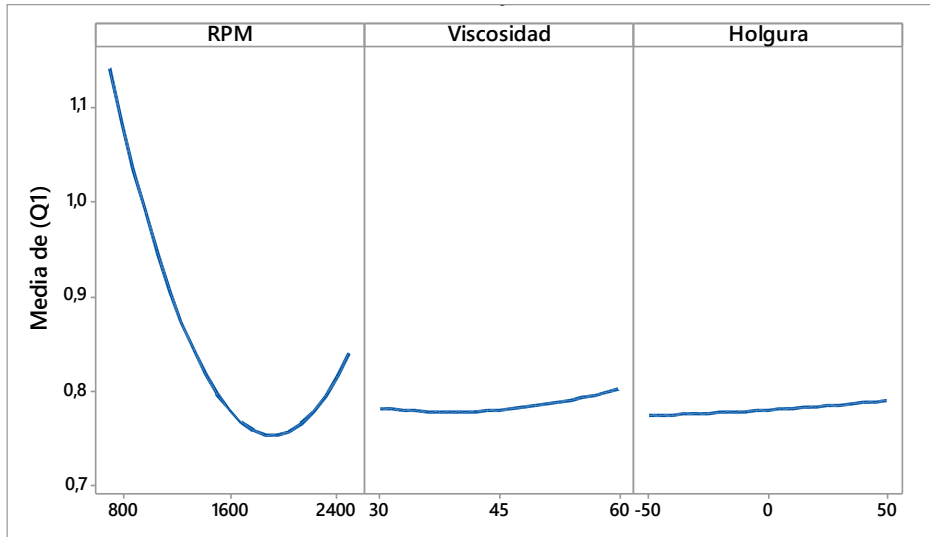


Figura II-6. Gráfica de efectos principales para primer cuartil (Q1)

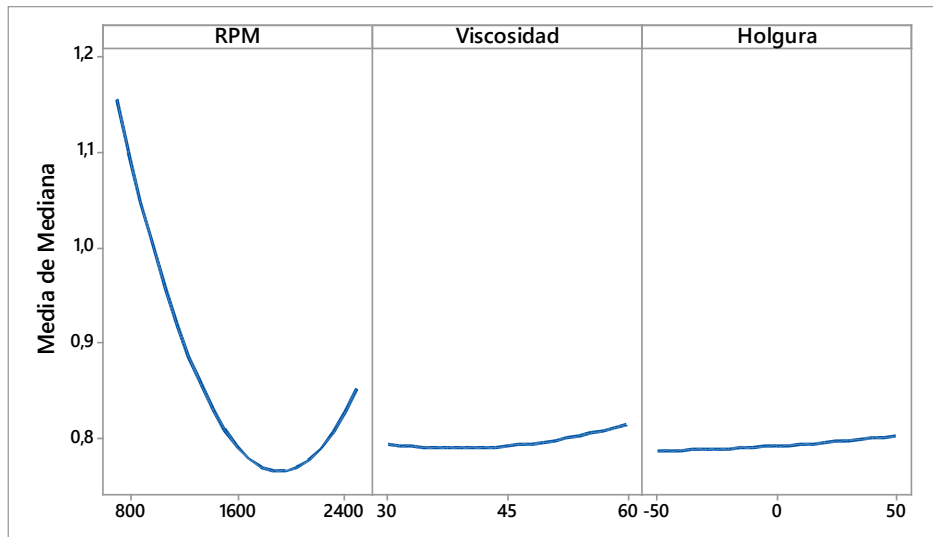


Figura II-7. Gráfica de efectos principales para mediana

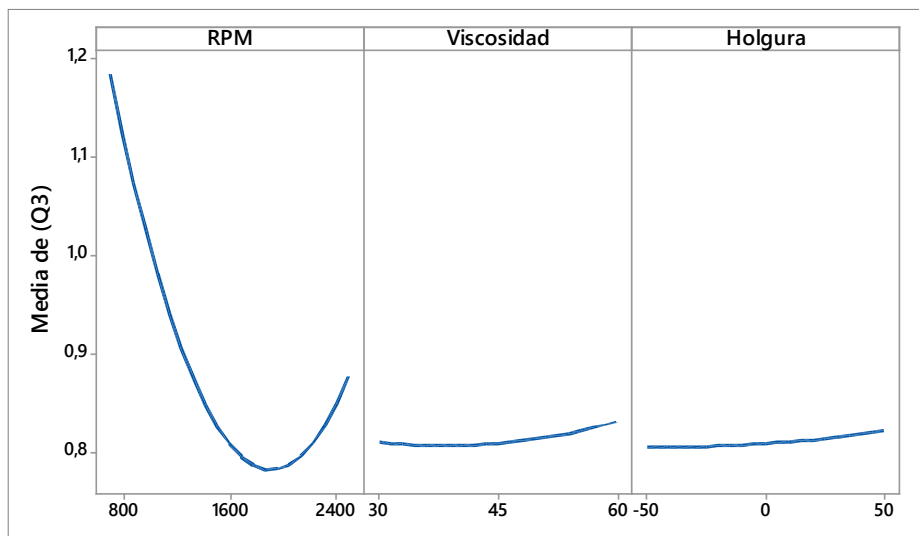


Figura II-8. Gráfica de efectos principales para tercer cuartil (Q3)

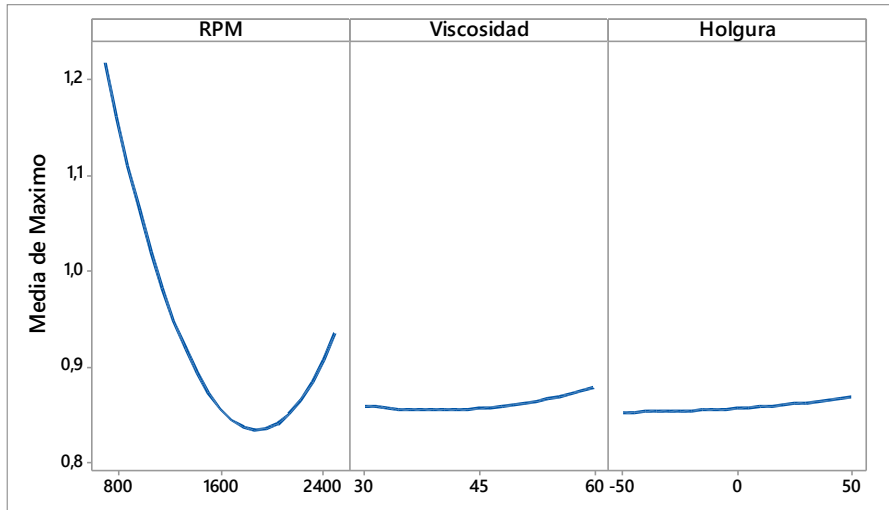


Figura II-9. Gráfica de efectos principales para máximo

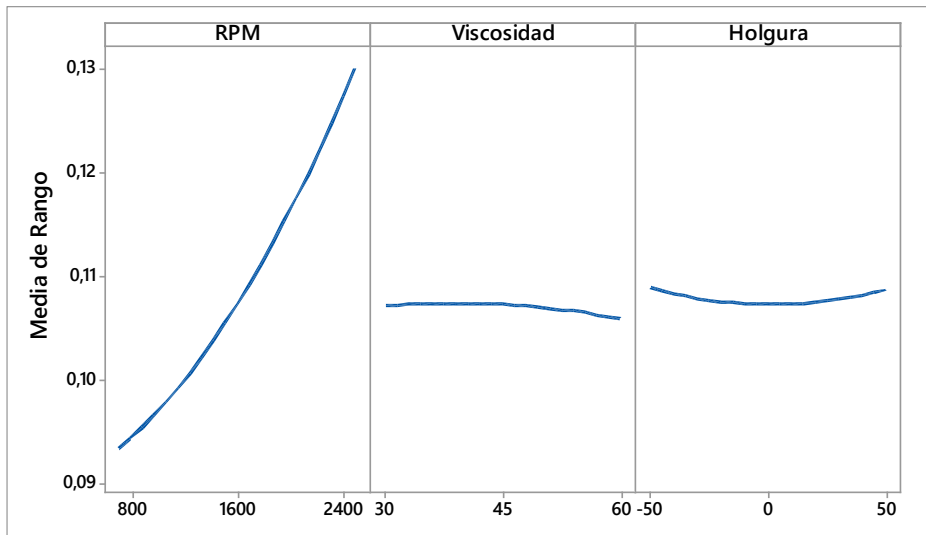


Figura II-10. Gráfica de efectos principales para rango

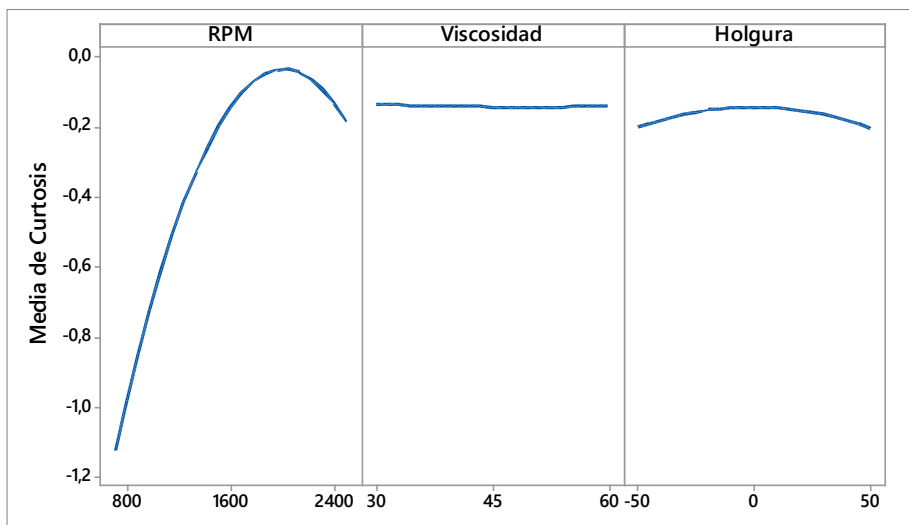


Figura II-11. Gráfica de efectos principales para Curtosis

ANEXO IV

Diagrama de flujo de los procedimientos para la medición y corroboración de valores estadísticos de la variable de respuesta para los factores de entrada.

