

UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA
SEDE CUENCA

CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA AUTOMOTRIZ

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

PROYECTO TÉCNICO:

“ESTUDIO DE LA INFLUENCIA EN LA FRECUENCIA DE MUESTREO EN
DISPOSITIVOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS EN OBD II MEDIANTE
ANÁLISIS DE VARIANZA.”

AUTORES:

Paulo Santiago Barros Ojeda
Fernando Emmanuel Ordóñez Domínguez

TUTOR:

Ing. Néstor Diego Rivera Campoverde, M.Sc

Cuenca – Ecuador

2018

CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR

Nosotros, Paulo Santiago Barros Ojeda, con documento de identificación N° 0104818505, y Fernando Emmanuel Ordóñez Domínguez, con documento de identificación N° 0105845663, manifestamos nuestra voluntad y cedemos a la Universidad Politécnica Salesiana la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de que somos autores del Trabajo de Titulación: “ESTUDIO DE LA INFLUENCIA EN LA FRECUENCIA DE MUESTREO EN DISPOSITIVOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS EN OBD II MEDIANTE ANÁLISIS DE VARIANZA”, mismo que ha sido desarrollado para optar por el título de: *Ingeniero Mecánico Automotriz*, en la Universidad Politécnica Salesiana, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente.

En aplicación a lo determinado en la Ley de Propiedad Intelectual, en nuestra condición de autores nos reservamos los derechos morales de la obra antes citada. En concordancia, suscribimos este documento en el momento que hagamos la entrega del trabajo final en formato impreso y digital a la Biblioteca de la Universidad Politécnica Salesiana.

Cuenca, noviembre del 2018



Paulo Santiago Barros Ojeda

C.I 0104818505



Fernando Emmanuel Ordóñez Domínguez

C.I 0105845663

CERTIFICACIÓN

Yo Néstor Diego Rivera Campoverde, declaro que bajo mi tutoría fue desarrollado el Trabajo de Titulación: “ESTUDIO DE LA INFLUENCIA EN LA FRECUENCIA DE MUESTREO EN DISPOSITIVOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS EN OBD II MEDIANTE ANÁLISIS DE VARIANZA”, realizado por Paulo Santiago Barros Ojeda y Fernando Emmanuel Ordóñez Domínguez, obteniendo el *Proyecto Técnico* que cumple con todos los requisitos estipulados por la Universidad Politécnica Salesiana.

Cuenca, noviembre 2018



Ing. Néstor Diego Rivera Campoverde M.Sc

C.I. 0103898995

DECLARATORIA DE RESPONSABILIDAD

Nosotros, Paulo Santiago Barros Ojeda, con documento de identificación N° 0104818505, y Fernando Emmanuel Ordóñez Domínguez, con documento de identificación N° 0105845663, autores del Trabajo de Titulación: “ESTUDIO DE LA INFLUENCIA EN LA FRECUENCIA DE MUESTREO EN DISPOSITIVOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS EN OBDD II MEDIANTE ANÁLISIS DE VARIANZA”, certificamos que el total contenido del *Proyecto Técnico*, son de nuestra exclusiva responsabilidad y autoría.

Cuenca, noviembre del 2018



Paulo Santiago Barros Ojeda

C.I 0104818505



Fernando Emmanuel Ordóñez Domínguez

C.I 0105845663

AGRADECIMIENTO

Agradezco primeramente ante todo a mis padres Manuel y Narciza, que siempre han estado ahí para apoyarme en todo momento en las decisiones de mi vida y más en esta de mi profesión.

A mi hermana Jazmín que siempre será mi mejor amiga y confidente de mi vida, por estar ahí dándome su apoyo incondicional y cariño.

A mis abuelos Telmo, Etelvina, José, Mercedes que gracias a ellos tengo a mis padres que me impulsaron a estar donde estoy, y que siempre los llevare conmigo, sin olvidarme de dónde vengo y a donde voy.

A todos mis primos, tíos, que han sido una parte fundamental y que han aportado un granito de arena a lo que soy ahora.

A mi tutor de tesis, el Ingeniero Néstor Rivera que más allá de ser un gran profesional es una gran persona.

Paulo Barros

AGRADECIMIENTO

En primer lugar, agradezco a Dios por haberme dado la sabiduría y paciencia para no rendirme en este trayecto estudiantil. Agradecer a mis padres y hermanos por brindarme su apoyo incondicional para poder alcanzar este objetivo.

Finalmente agradecer de manera especial al Ing. Diego Rivera por guiarnos y compartir sus conocimientos en el desarrollo de este proyecto.

Fernando Ordóñez

DEDICATORIA

Se dedica este proyecto de titulación a mis tres pilares fundamentales en mi vida, mis padres Manuel y Narciza y a mi hermana Jazmín, que siempre han estado ahí para mí, y que me han dado ánimos de lograr todas mis metas hasta ahora y que debo ser siempre el mismo más allá de un título ser mejor persona.

Gracias por hacerme la persona que soy ahora con su ejemplo de lucha, humildad, perseverancia, solidaridad, respeto, responsabilidad. Son lo mejor de mi vida.

Paulo Barros

DEDICATORIA

Dedico este proyecto a mis padres, hermanos y a todos aquellos que siempre me apoyaron y motivaron para culminar esta etapa en mi vida.

Fernando Ordóñez

RESUMEN

En este proyecto de investigación se analiza la influencia de la frecuencia de muestreo al tomar datos de los sensores automotrices y del sistema OBD – II, mediante un análisis de varianza. Complementario se determina la frecuencia ideal de muestro para reducir el aliasing.

El muestreo del sistema OBD – II se realiza a través de un dispositivo ELM – 327, el mismo que permite tomar datos de los PIDs de cada uno de los sensores. Los sensores analizados son el de Posición de la Mariposa de Aceleración (TPS), Sensor de Presión en el Múltiple de Admisión (MAP) y el Sensor de Oxígeno o Sonda Lambda. La adquisición de datos de los sensores mencionados se realiza mediante la tarjeta DAQ 6008, controlada a través del software Labview. El software de control tiene características específicas para el muestreo de cada sensor, entre estas se encuentran: correcciones, transformaciones de voltaje entre otras.

El proceso de toma de datos consta de dos etapas una estática y un clico de conducción, para los cuales se plantean un rango de frecuencias de muestreo aleatorias. La prueba estática se basa en muestrear con el vehículo en ralentí. La prueba de carretera busca simular un ciclo de conducción diario y tomar las muestras. Las dos etapas incluyen un modo de fallo realizado en las bujías y un estado OK para el muestreo. Un aspecto importante es considerar que con los dispositivos mencionados al muestrear más de un evento la tasa de muestreo se reduce en función del número de eventos muestreados.

La frecuencia de trabajo de los sensores se determina utilizando un software similar al de la toma de datos, para ello se realizan algunas modificaciones como la implementación de un medidor de frecuencias. Este proceso se realiza en la prueba de carretera por es aquí donde los sensores oscilan con mayor intensidad.

Finalmente se realiza el ANOVA a cada rango de frecuencias propuesto y se determina que, a bajas tasas de muestreo, inferiores a las de Nyquist existe una influencia significativa en el procesamiento de las señales, además se indica un rango de frecuencias con las que se debe muestrear los sensores estudiados, con esto se garantiza la reducción del aliasing y una mejor precisión en los resultados finales.

ABSTRACT

In this research project, the influence of the sampling frequency is analyzed by taking data from the automotive sensors and the OBD - II system, through an analysis of variance. Complementary, the ideal sampling frequency is determined to reduce the aliasing.

The sampling of the OBD - II system is done through an ELM - 327 device, which allows to take data from the PIDs of each sensor. The sensors analyzed are: Throttle Position Sensor (TPS), Manifold Absolute Pressure sensor (MAP) and the Oxygen Sensor or Lambda Sensor. The data acquisition of the studied sensors is done through the DAQ 6008 card, controlled by Labview software. The control software has specific characteristics for the sampling of each sensor, among these are: corrections, voltage transformations within others.

The data collection process consists of two stages, one static and one driving, for which a range of random sampling frequencies are considered. The static test is based on sampling with the vehicle idling. The road test seeks to simulate a daily driving cycle. The two stages include a failure mode performed on the spark plugs and an OK status for sampling. An important aspect is to consider that with the devices mentioned when sampling more than one event, the sampling rate is reduced depending on the number of events sampled.

The working frequency of the sensors is determined using similar software to that of the data collection, for which some modifications are made, such as the implementation of a frequency meter. This process is carried out in the road test because this is where the sensors oscillate with greater intensity.

Finally, the ANOVA is performed at each proposed frequency range and it is determined that, at low sampling rates, lower than those of Nyquist, there is a significant influence on signal processing. In addition, a range of frequencies is indicated with which the studied sensors must be sampled, thereby guaranteeing the reduction of the aliasing and a better precision in the final results.

ÍNDICE GENERAL

1. Introducción	1
2. Problema.....	2
3. Objetivos	2
3.1 Objetivo general.....	2
3.2 Objetivos específicos	2
4. Marco Teórico	3
4.1 Muestreo de Señales	3
4.2 Efecto Aliasing	3
4.3 Teorema de Nyquist.....	3
5. Estado del Arte	4
5.1 Efecto Aliasing	4
5.2 Frecuencia de muestreo	5
5.3 Sistemas OBD II	5
5.4 Detección de fallas.....	6
6. Marco Metodológico	8
6.1 Fase I: Obtención de las señales de OBD – II	8
6.1.1 Diagnóstico a bordo (OBD).....	8
6.1.2 Componentes del OBD – II	9
6.1.3 Sensores Automotrices	10
6.1.4 Dispositivo DAQ	10
6.1.5 Proceso de conexión para la toma de muestras	11
6.1.6 Dispositivo ELM 327	15
6.1.7 Descripción de la Falla	16
6.1.8 Obtención de señales.	16
6.1.9 Muestreo de los sensores.	17
6.2 FASE II: Determinación de la frecuencia de trabajo de los sensores.	19
6.2.1 Adquisición de datos	19
6.2.2 Etapa de corrección de datos	19
6.2.3 Etapa de filtrado de la señal.....	19
6.2.4 Etapa de medición	20
6.2.5 Generación de información	20
6.2.6 Frecuencia del Sensor de Oxígeno (O2).....	20
6.2.7 Frecuencia del Sensor TPS	21

6.2.8	Frecuencia del sensor MAP	22
6.3	Fase III: Estimación de la Frecuencia Ideal de Muestreo	23
6.3.1	Sensor TPS	23
6.3.2	Sensor MAP.....	24
6.3.3	Sensor de Oxígeno.....	24
6.4	FASE IV: Determinación estadística de la influencia en la frecuencia de muestreo.....	24
6.4.1	Análisis de Varianza (ANOVA).....	24
6.4.2	ANOVA de un solo factor	25
6.4.3	Hipótesis del ANOVA de un solo Factor	25
6.4.4	Prueba de Tukey	25
6.4.5	P – Value	25
6.4.6	Prueba Estática	27
6.4.7	Sensor TPS	27
6.4.8	Sensor MAP.....	41
6.4.9	Sensor de Oxígeno (O2)	56
6.4.10	Sensibilidad	68
6.4.11	Prueba de Carretera	69
6.4.12	Sensor TPS	69
6.4.13	Sensor MAP.....	82
6.4.14	Sensor de Oxígeno (O2)	94
CONCLUSIONES.....		108
RECOMENDACIONES		109
REFERENCIAS		110

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Representación del efecto Aliasing.....	3
Figura 2. Representación de la frecuencia mínima de muestreo.....	4
Figura 3. Dispositivo ELM 327 mini.....	7
Figura 4. Características del Dispositivo ELM 327 mini.....	8
Figura 5. Conector de la interfaz OBD II.....	9
Figura 6. Conector de diagnóstico DLC.....	9
Figura 7. Características de la tarjeta de adquisición de datos DAQ.....	11
Figura 8. Especificaciones técnicas de la tarjeta DAQ 6008 USB.....	11
Figura 9. Ficha técnica del Vehículo de Prueba.....	12
Figura 10. Disposición de pines del MAP.....	12
Figura 11. Conexión para adquisición de datos sensor MAP.....	13
Figura 12. Ubicación del sensor TPS.....	13
Figura 13. Conexión para adquisición de datos de sensor TPS.....	14
Figura 14. Disposición de pines sensor de Oxígeno.....	14
Figura 15. Conexión para adquisición de datos de sensor de Oxígeno.....	15
Figura 16. Protocolos OBD – II de uso genérico.....	16
Figura 17. A: Bujía estado OK, B: Bujía es estado de Fallo.....	16
Figura 18. Diagrama de flujo del proceso de adquisición de datos.....	17
Figura 19. Señal obtenida del TPS, eje Y: porcentaje de apertura del sensor, eje X: Tiempo...	17
Figura 20. Resultados de la Regresión.....	18
Figura 21. Proceso de muestreo del TPS corregido.....	18
Figura 22. Señal obtenida del MAP, eje Y: presión de admisión, eje X: Tiempo.....	18
Figura 23. Señal obtenida del sensor de O ₂ , eje Y: voltaje, eje X: Tiempo.....	19
Figura 24. Diagrama de flujo del proceso de medición de la frecuencia.....	20
Figura 25. Medición del Sensor de Oxígeno (O ₂).....	21
Figura 26. Frecuencia del Sensor de Oxígeno (O ₂).....	21
Figura 27. Medición del Sensor TPS.....	22
Figura 28. Frecuencia del Sensor TPS.....	22
Figura 29. Medición del Sensor MAP.....	23
Figura 30. Frecuencia del Sensor MAP.....	23
Figura 31. Gráfica de residuos para energía.....	28
Figura 32. Gráfica de Intervalos de Energía vs Condición, IC 95%.....	28
Figura 33. Comparación de Tukey para media.....	29
Figura 34. Gráfica de residuos para Potencia.....	30
Figura 35. Gráfica de Intervalos de Potencia vs Condición, IC 95%.....	30
Figura 36. Comparación de Tukey para media.....	31
Figura 37. Gráfica de residuos para la Media.....	32
Figura 38. Gráfica de Intervalos de Media vs Condición, IC 95%.....	32
Figura 39. Comparación de Tukey para media.....	33
Figura 40. Gráfica de residuos para RMS.....	34
Figura 41. Gráfica de Intervalos de RMS vs Condición, IC 95%.....	34
Figura 42. Comparación de Tukey para media.....	35
Figura 43. Gráfica de residuos para la Varianza.....	36
Figura 44. Gráfica de Intervalos de Varianza vs Condición, IC 95%.....	36
Figura 45. Comparación de Tukey para media.....	37
Figura 46. Gráfica de residuos para la Desviación Estándar.....	38

Figura 47. Gráfica de Intervalos de la Desviación Estándar vs Condición, IC 95%.....	38
Figura 48. Comparación de Tukey para media.	39
Figura 49. Gráfica de residuos para la Desviación Estándar.....	40
Figura 50. Gráfica de Intervalos de Kurtosis vs Condición, IC 95%.....	40
Figura 51. Comparación de Tukey para media.	41
Figura 52. Gráfica de residuos para la Energía.	42
Figura 53. Gráfica de Intervalos de Energía vs Condición, IC 95%.....	42
Figura 54. Comparación de Tukey para media.	43
Figura 55. Gráfica de residuos para la Potencia.....	44
Figura 56. Gráfica de Intervalos de Potencia vs Condición, IC 95%.....	44
Figura 57. Comparación de Tukey para media.	45
Figura 58. Gráfica de residuos para la Media.	45
Figura 59. Gráfica de Intervalos de Media vs Condición, IC 95%.....	46
Figura 60. Comparación de Tukey para media.	46
Figura 61. Gráfica de residuos para la Media Recortada.	47
Figura 62. Gráfica de Intervalos para la Media Recortada vs Condición, IC 95%.....	48
Figura 63. Comparación de Tukey para Media Recortada.....	48
Figura 64. Gráfica de residuos para el RMS.	49
Figura 65. Gráfica de Intervalos de RMS vs Condición, IC 95%.....	50
Figura 66. Comparación de Tukey para media.	50
Figura 67. Gráfica de residuos para la Varianza.	51
Figura 68. Gráfica de Intervalos de Varianza vs Condición, IC 95%.....	52
Figura 69. Comparación de Tukey para media.	52
Figura 70. Gráfica de residuos para la Desviación Estándar.....	53
Figura 71. Gráfica de Intervalos de Desviación Estándar vs Condición, IC 95%.....	53
Figura 72. Comparación de Tukey para media.	54
Figura 73. Gráfica de residuos para la Kurtosis.	54
Figura 74. Gráfica de Intervalos de Kurtosis vs Condición, IC 95%.....	55
Figura 75. Comparación de Tukey para media.	55
Figura 76. Gráfica de residuos para la Energía.	56
Figura 77. Gráfica de Intervalos de Energía vs Condición, IC 95%.....	57
Figura 78. Comparación de Tukey para media.	57
Figura 79. Gráfica de residuos para la Potencia.....	58
Figura 80. Gráfica de Intervalos de Potencia vs Condición, IC 95%.....	58
Figura 81. Comparación de Tukey para media.	59
Figura 82. Gráfica de residuos para la Media.	60
Figura 83. Gráfica de Intervalos de Media vs Condición, IC 95%.....	60
Figura 84. Gráfica de residuos para el RMS.	62
Figura 85. Gráfica de Intervalos de RMS vs Condición, IC 95%.....	62
Figura 86. Comparación de Tukey para media.	63
Figura 87. Gráfica de residuos para la Varianza.	63
Figura 88. Gráfica de Intervalos de Varianza vs Condición, IC 95%.....	64
Figura 89. Comparación de Tukey para media.	64
Figura 90. Gráfica de residuos para la Desviación Estándar.....	65
Figura 91. Intervalos de Desviación Estándar vs Condición, IC 95%.....	65
Figura 92. Comparación de Tukey para media.	66
Figura 93. Gráfica de residuos para la Kurtosis.	67
Figura 94. Gráfica de Intervalos de Kurtosis vs Condición, IC 95%.....	67

Figura 95. IC simultáneos de 95% de Tukey para la Kurtosis.....	68
Figura 96. Gráfica de residuos para energía.....	70
Figura 97. Gráfica de Intervalos de Energía vs Condición, IC 95%.....	70
Figura 98. Comparación de Tukey para media.....	71
Figura 99. Gráfica de residuos para potencia.....	72
Figura 100. Gráfica de Intervalos de Potencia vs Condición, IC 95%.....	72
Figura 101. Comparación de Tukey para media.....	73
Figura 102. Gráfica de residuos para Media.....	73
Figura 103. Gráfica de Intervalos de Media vs Condición, IC 95%.....	74
Figura 104. Comparación de Tukey para media.....	74
Figura 105. Gráfica de residuos para RMS.....	75
Figura 106. Gráfica de Intervalos de RMS vs Condición, IC 95%.....	76
Figura 107. Gráfica de residuos para Varianza.....	77
Figura 108. Gráfica de Intervalos de Varianza vs Condición, IC 95%.....	77
Figura 109. Comparación de Tukey para media.....	78
Figura 110. Gráfica de residuos para Desviación Estándar.....	79
Figura 111. Gráfica de Intervalos de Desviación Estándar vs Condición, IC 95%.....	79
Figura 112. Comparación de Tukey para media.....	80
Figura 113. Gráfica de residuos para Kurtosis.....	80
Figura 114. Gráfica de Intervalos de Kurtosis vs Condición, IC 95%.....	81
Figura 115. Comparación de Tukey para media.....	81
Figura 116. Gráfica de residuos para energía.....	82
Figura 117. Gráfica de Intervalos de Energía vs Condición, IC 95%.....	83
Figura 118. Comparación de Tukey para media.....	83
Figura 119. Gráfica de residuos para potencia.....	84
Figura 120. Gráfica de Intervalos de Potencia vs Condición, IC 95%.....	85
Figura 121. Comparación de Tukey para media.....	85
Figura 122. Gráfica de residuos para Media.....	86
Figura 123. Gráfica de Intervalos de Media vs Condición, IC 95%.....	87
Figura 124. Comparación de Tukey para media.....	87
Figura 125. Gráfica de residuos para RMS.....	88
Figura 126. Gráfica de Intervalos de RMS vs Condición, IC 95%.....	88
Figura 127. Comparación de Tukey para media.....	89
Figura 128. Gráfica de residuos para Varianza.....	89
Figura 129. Gráfica de Intervalos de Varianza vs Condición, IC 95%.....	90
Figura 130. Comparación de Tukey para media.....	90
Figura 131. Gráfica de residuos para Desviación Estándar.....	91
Figura 132. Gráfica de Intervalos de Desviación Estándar vs Condición, IC 95%.....	92
Figura 133. Comparación de Tukey para media.....	92
Figura 134. Gráfica de residuos para Kurtosis.....	93
Figura 135. Gráfica de Intervalos de Kurtosis vs Condición, IC 95%.....	93
Figura 136. Comparación de Tukey para media.....	94
Figura 137. Gráfica de residuos para energía.....	95
Figura 138. Gráfica de Intervalos de Energía vs Condición, IC 95%.....	95
Figura 139. Comparación de Tukey para media.....	96
Figura 140. Gráfica de residuos para potencia.....	97
Figura 141. Gráfica de Intervalos de Potencia vs Condición, IC 95%.....	97
Figura 142. Comparación de Tukey para media.....	98

Figura 143. Gráfica de residuos para Media.	98
Figura 144. Gráfica de Intervalos de Media vs Condición, IC 95%.	99
Figura 145. Comparación de Tukey para media.	99
Figura 146. Gráfica de residuos para RMS.	100
Figura 147. Gráfica de Intervalos de RMS vs Condición, IC 95%.	100
Figura 148. Comparación de Tukey para media.	101
Figura 149. Gráfica de residuos para Varianza.	102
Figura 150. Gráfica de Intervalos de Varianza vs Condición, IC 95%.	102
Figura 151. Comparación de Tukey para media.	103
Figura 152. Gráfica de residuos para Desviación Estándar.	103
Figura 153. Gráfica de Intervalos de Desviación vs Condición, IC 95%.	104
Figura 154. Comparación de Tukey para media.	104
Figura 155. Gráfica de residuos para Kurtosis.	105
Figura 156. Gráfica de Intervalos de Kurtosis vs Condición, IC 95%.	105
Figura 157. Comparación de Tukey para media.	106

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Resumen de Resultados del ANOVA de la Prueba de Carretera	69
Tabla 2. Resumen de Resultados del ANOVA para la Prueba de Carretera	106
Tabla 3. Comparación de p - value de las Pruebas Estática y de Carretera.....	107

1. Introducción

El parque automotor crece constantemente por la necesidad de movilización de las personas y con ello la búsqueda de planes de mantenimiento que permitan mantener en óptimas condiciones a los vehículos. Los talleres automotrices basan su diagnóstico en códigos de falla e información proveniente de la Unidad de Control Electrónico (ECU, por sus siglas en inglés). Un inconveniente es que ciertas averías no presentan códigos de falla dificultando el diagnóstico, razón por la cual se busca adquirir información directamente de los sensores.

Los datos adquiridos de los sensores automotrices guardan relación con la frecuencia de muestreo. La selección adecuada de esta frecuencia permite reconstruir una señal y recuperar la mayor cantidad de información. Existen teoremas enfocados a establecer cuál es la frecuencia ideal de muestreo, como es el caso del teorema de Nyquist, que se analizará posteriormente. El tratamiento realizado a las señales es de mucha importancia ya que de ello depende la aproximación al comportamiento de los sensores que serán analizados.

La tecnología evoluciona constantemente en busca de la autonomía de los sistemas, procesos, etc. El parque automotor no ha sido la excepción, ya que desde hace algunos años existen vehículos con conducción autónoma. La información obtenida generará una base de datos que busca alimentar un sistema de Deep Learning, y si se quiere decir de inteligencia artificial, el mismo que al conectarlo al vehículo pueda determinar posibles fallas, pudiendo ser implementado para mantenimiento predictivo o preventivo.

2. Problema

Cuando se realiza la adquisición de datos en señales analógicas de sensores automotrices, al realizar la reconstrucción analógica – digital existe una distorsión que depende de la frecuencia de muestreo como menciona (Proakis & Manolakis, 2007), además existen teoremas de diseño de experimentos como el de Nyquist que establece que la frecuencia mínima para adquisición de datos debe ser dos veces la frecuencia máxima de la señal, pero esto no garantiza que se obtenga toda la información, solo indica un patrón de la señal; de igual manera si se excede el rango de frecuencia podría muestrear el ruido, dando una señal errónea, ambas afirmaciones pueden o no representar una aproximación al comportamiento de los sensores.

3. Objetivos

3.1 Objetivo general

- Estudiar mediante análisis de varianza los datos obtenidos del OBD II para la estimación de la influencia en la frecuencia de muestreo.

3.2 Objetivos específicos

- Obtener las señales de OBD II mediante dispositivos de adquisición de datos.
- Determinar con uso de software matemático la frecuencia de trabajo de cada sensor, para la aproximación del comportamiento de la señal.
- Estimar la frecuencia ideal de muestreo con un modelo de relación de variables.
- Determinar usando análisis de varianza la influencia de la frecuencia de muestreo sobre las señales.

4. Marco Teórico

4.1 Muestreo de Señales

Para el análisis de una señal, el muestreo es el primer paso en la conversión de una señal analógica a una señal digital. El proceso se realiza porque las señales digitales poseen beneficios al ser estudiadas, entre estos están: disminución del ruido y facilidad de procesamiento (CORTÉS OSORIO, CANO GARZÓN, & CHAVES OSORIO, 2008).

4.2 Efecto Aliasing

El aliasing está relacionado de manera directa con la frecuencia de muestreo. Generalmente se produce cuando la frecuencia antes mencionada es menor a la que posee la señal muestreada. El efecto se presenta en el proceso de reconstrucción analógica – digital de las señales muestreadas. Esto provoca que la señal procesada sea incompatible con la original (Abril, n.d.; Meythaler Naranjo, 2005).

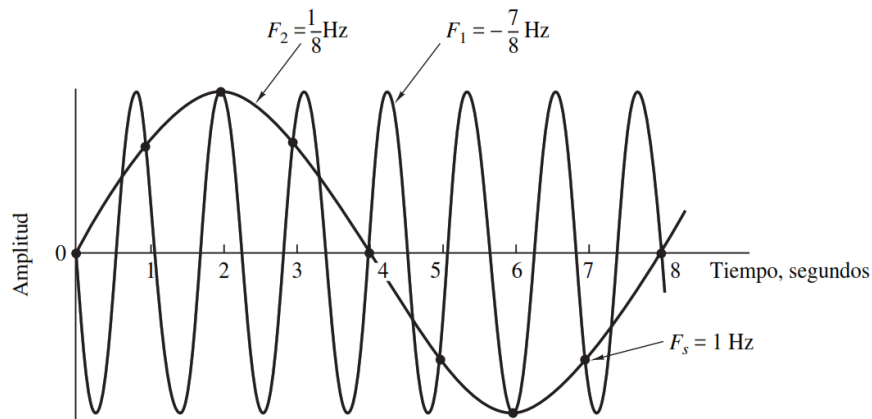


Figura 1. Representación del efecto Aliasing (Proakis et al., 2007).

Como se observa en la figura 1, la señal de frecuencia $F1$, al ser muestreada con una frecuencia inferior $F2$, aparece una señal que se conoce como “alias” dándole el nombre característico al efecto. La señal de frecuencia $F2$ será la mostrada por el ordenador o PC. Si los análisis se realizan con esa información el resultado final de los estudios realizados será errado. Para contrarrestar los efectos del aliasing, se debe elegir una frecuencia de muestreo idónea o lo suficientemente alta y de esta manera acercarse al comportamiento real de la señal (Proakis et al., 2007).

4.3 Teorema de Nyquist

El teorema propuesto por Henry Nyquist establece que para la toma de datos de una señal la mínima tasa de muestreo debe ser el doble de ancho de banda, es decir, el doble de la máxima frecuencia que tenga la señal original, como se indica a continuación (Landivar, 2008).

$$f_m = 2f_{max} \quad (1)$$

La ecuación sirve para determinar la velocidad a la cual se debe muestrear y de esta manera reconstruir la señal a partir de esas muestras, teniendo en cuenta que el resultado final será de poca calidad (Abril, n.d.).

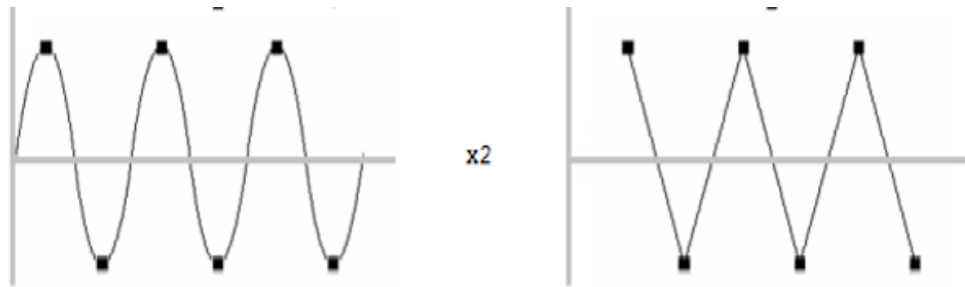


Figura 2. Representación de la frecuencia mínima de muestreo (Abril, n.d.).

Como se observa en la figura 2, suponiendo que la frecuencia de la imagen izquierda es de 60 Hz, la mínima frecuencia con la que se debe muestrear es de 120 Hz, aplicando la ecuación (1). El resultado presentado en la imagen a la derecha indica el patrón de la señal original, no es preciso, pero al menos indica el comportamiento cíclico de la señal que es útil al momento de realizar los análisis pertinentes (Abril, n.d.).

5. Estado del Arte

5.1 Efecto Aliasing

La evolución continua de los sistemas de procesamiento de información demanda velocidades altas en la transferencia de datos. Procesar señales de alta frecuencia requiere dispositivos digitales de alta velocidad, lo cual aumenta costos y consumo de energía. Cao et. al, menciona que utilizar una tasa de muestreo alta no es favorable, por ello buscan emplear tasas de muestreo bajas en la generación de señales para que el efecto aliasing no sea significativo. Una de las soluciones que presentan para recuperar la información perdida, en lugar de la interpolación común es utilizar modelos como por ejemplo el Modelo DVR, los resultados son favorables ya que con bajas tasas de muestreo se ha reducido los efectos del aliasing y simplificado los procesos (Cao, Li, & Zhu, 2018).

Los datos con aliasing son difíciles de procesar por el error que presenta, pero este problema es común en el análisis de señales. Disminuir este efecto es importante para aproximarse a la realidad de un evento, por ello se emplean distintas técnicas y modelos que disminuyen el efecto estudiado. Existen diferentes modelos para el análisis de señales como es el estimador QML de señales polinomiales. El funcionamiento se basa en la Transformada de Fourier de corto tiempo y este proceso sufre de aliasing si la señal se muestrea por debajo de la frecuencia de Nyquist. Para este modelo, el aliasing puede ser reducido aplicando un desenvolvimiento de fase previo al estimador QML. El resultado es óptimo y se reduce el aliasing aplicando el desenvolvimiento de la frecuencia instantánea, presenta mínimas pérdidas de información en señales con ancho de banda amplio y variaciones rápidas de la frecuencia instantánea (Djurovic & Simeunovic, 2016).

El procesamiento de señales es aplicado en varios campos. Por ejemplo, se usa para la compensación y modelado de las distorsiones generadas por los componentes de las señales mixtas y analógicas. Al muestrear señales sin una frecuencia adecuada se produce el efecto aliasing y el resultado no representa el fenómeno físico que se modela. El efecto aliasing no deseado, puede ser suprimido aplicando filtros multidimensionales como el filtro polifásico unidimensional y el filtro multidimensional que controla el producto de una serie temporal. El resultado indica que el control polifásico produce un "alias" no deseado cuando se muestrea cerca de la frecuencia de Nyquist. El filtro Multidimensional entrega resultados libres de aliasing de formas de onda de dominio de tiempo digitalizadas, pero el costo de este sistema es elevado (Davis et al., 2018).

5.2 Frecuencia de muestreo

Existen diversos métodos para el muestreo de las señales, uno de ellos es la tasa de innovación finita, la misma busca alcanzar la mínima tasa de muestreo. Este modelo de tasa finita se compara con otros esquemas como; muestreo de un solo canal, muestreo directo multicanal y el muestreo de mezcla multicanal, con esto se entrega robustez al muestreo para que la tasa de conversión analógica - digital disminuya. Este modelo puede muestrear y reconstruir con la tasa mínima de muestreo parámetros desconocidos en el espacio tiempo - frecuencia. La tasa de innovación finita alcanza satisfactoriamente la velocidad mínima de muestreo, además muestrea y reconstruye perfectamente señales con parámetros desconocidos en el espacio tiempo – frecuencia (Wang & Zhu, 2015).

El desarrollo constante del procesamiento de señales requiere altas tasas de muestreo que deben soportar los dispositivos de muestreo de datos. El desarrollo de sistemas de alta velocidad para la adquisición de datos utiliza un muestreo paralelo de convertidor analógico – digital, incorpora varios núcleos para garantizar una velocidad de muestreo adecuada en tiempo real. Para que la captura de las señales sea eficiente el dispositivo está diseñado para controlar el almacenamiento de datos. El acopio de datos es esencial para la adquisición de datos con señales de alta velocidad. La técnica de muestreo en paralelo interpolado en el tiempo es una opción aceptable para muestrear señales transitorias de alta velocidad. El sistema presentado es fácil de implementar y cumple con los requisitos para obtener la tasa de muestreo adecuada (Zhijian et al., 2017).

5.3 Sistemas OBD II

Los vehículos modernos incorporan una unidad de control electrónico que sirve para manejar aspectos importantes en el vehículo. La Unidad de Control fue desarrollada para mejorar el rendimiento de los motores. La tecnología desarrollada para las ECUs al ser cada vez más avanzada requiere de datos proporcionados por el fabricante para el mantenimiento y por ello los centros independientes de mantenimiento no pueden realizarlo de manera adecuada. El estudio está realizado para brindar ayuda a terceros a desarrollar un software para el diagnóstico, el mismo que se comunique con la ECU del motor a través del puerto OBD - II. La simplicidad de los comandos de comunicación de OBD - II facilita el desarrollo del programa (Sim & Sitohang, 2014).

El desarrollo de nuevas tecnologías en la industria automotriz demanda un monitoreo y sistemas avanzados de diagnóstico. La tendencia actual es el monitoreo remoto de los sistemas de diagnóstico, no solo en vehículos que utilizan combustibles derivados del petróleo sino también aquellos equipados con energías limpias (Híbridos y Eléctricos). Estos vehículos generalmente incorporan sistemas de diagnóstico a bordo (OBD II). El monitoreo remoto se puede realizar de diversas formas, una de ellas es utilizando un Smartphone (dispositivo globalizado) que establece su conexión con la ECU mediante un ELM - 327. El monitoreo generalmente necesita de hardware y software externo, los mismos que requieren de una Computadora PC o portátil para su ejecución, esto representa costos elevados. Los Smartphone actuales presentan software avanzado por lo que sus aplicaciones son varias. Es práctico utilizar estos dispositivos para enlazarlos con el ELM - 327 y estos con la ECU del Vehículo (Yang, Chen, Su, & Qin, 2013).

El vehículo eléctrico se está volviendo más popular y los usuarios desean monitorear y controlar sus vehículos. Existen pocas aplicaciones que integren este sistema de monitoreo. La idea es recolectar datos CAN a través de un puerto OBD - II para obtener información importante como códigos de falla. Los conectores OBD - II son implementados para el diagnóstico en tiempo real de la unidad de control del motor. El sistema OBD genera un código de falla al presentarse irregularidades en el sistema, pero solo pueden ser identificados por especialistas en la materia al conectar el escáner adecuado. El sistema implementado recolecta información de las señales interesadas ya que todos los datos están disponibles en la comunicación CAN con dos cables individuales (Khorsravinia, Hassan, Rahman, & Al-Haddad, 2017).

La globalización de las Tecnologías de información y comunicación (TIC) genera en el conductor la necesidad de conocer el estado de su vehículo, toda esa información de estado en tiempo real es obtenida utilizando la red OBD - II. Por ello, se debe implementar un conector OBD - II que puede enlazarse a través de módulos Bluetooth, WI - FI, entre otros para evitar problemas de conexión cuando el conector OBD - II cambia de configuración. El sistema OBD - II se ha estandarizado en los vehículos actuales con sistemas de inyección electrónica y con el tiempo este sistema evoluciona y permite la comunicación cableada o inalámbrica, por ello la facilidad de conectar un dispositivo externo como un Smartphone. El conector OBD - II inalámbrico implementado por Baek et. al, transmite de manera exacta los datos en tiempo real a los dispositivos externos (Baek & Jang, 2015).

5.4 Detección de fallas

Al tener datos de información de los sensores en los vehículos es importante almacenarlos para su posterior análisis ya sea individual o colectivo, lo cual se debe tener en cuenta cuales son las interfaces de comunicación entre la ECU y el dispositivo. En algunas ocasiones para un mejor entendimiento se ha utilizado softwares que al ingresar bases de datos nos entregan graficas con resultados más pragmáticos.

Protocolos de Comunicación RS-232

Para obtener la información proveniente de la ECU se necesita establecer una comunicación serial la cual adquiera datos de una manera rápida, este tipo de comunicación recibe bytes de señales de información un bit a la vez.

Un dispositivo que contiene este tipo de protocolo es el dispositivo ELM-327 el cual tiene la posibilidad de detección de algunos de los protocolos OBD existentes en el mercado automotriz (Arévalo Calderón & Ortega Ulloa, 2016).



Figura 3. Dispositivo ELM 327 mini.

Características del Dispositivo Mini ELM 327 (Arévalo Calderón & Ortega Ulloa, 2016).

- Conexión inalámbrica (Bluetooth)
- Software incluido para la palma, PDA, Windows, Smartphone
- Conexión inalámbrica
- ISO 9141, KWP2000
- Compatible con SAE J1850 y CAN bus
- Valores instantáneos de los sensores:
 - RPM del motor
 - Cálculo del valor de carga
 - Temperatura de la refrigeración
 - Estado del sistema de combustible
 - Velocidad del vehículo
 - Ajuste de combustible a corto plazo
 - Ajuste de combustible a largo plazo
 - Presión del múltiple entradas
 - Avance de tiempo
 - Temperatura del aire
 - Flujo de aire
 - Posición de acelerador absoluta

Figura 4. Características del Dispositivo ELM 327 mini.

6. Marco Metodológico

6.1 Fase I: Obtención de las señales de OBD – II

6.1.1 Diagnóstico a bordo (OBD)

El OBD II es la segunda generación de los sistemas OBD. Desde 1996 el sistema debe ser implementado en todas las computadoras de vehículos fabricados a partir de esa fecha. El sistema realiza un monitoreo de todos los componentes que puedan afectar el comportamiento de sistema de control de emisiones (Dimaté Cáceres, González Castillo, & others, 2013).

Es una interfaz para establecer una comunicación con la computadora del vehículo. La interfaz permite leer los códigos de falla (DTC) generados en la ECU, así como las señales de los distintos sensores instalados en el vehículo. El hardware está estandarizado e incorpora un conector hembra de 16 pines como se observa en la figura 5, va ubicado en la parte baja del volante (Niazi et al., 2013).

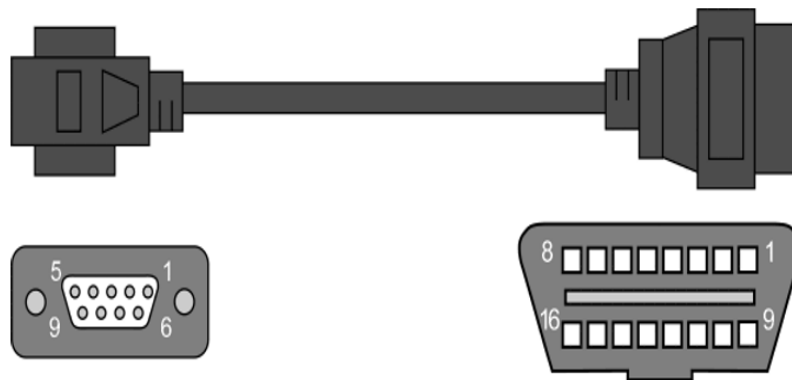


Figura 5. Conector de la interfaz OBD II (Niazi et al., 2013).

6.1.2 Componentes del OBD – II

El sistema de segunda generación incorpora componentes que permiten una comunicación con los elementos que conforman el sistema de inyección electrónica de gasolina.

6.1.2.1 Módulo de Control de Motor (PCM)

El módulo es el cerebro que controla el funcionamiento del motor. El control está dividido en tres etapas: entrada, procesamiento y salida. El computador realiza los ajustes necesarios mediante las etapas anteriores para controlar las emisiones contaminantes (Dimaté Cáceres et al., 2013).

6.1.2.2 Luz Indicadora de Falla (MIL)

La luz de fallo (MIL, por sus siglas en inglés) al encenderse indica al conductor de una avería en el control del motor, siendo la finalidad advertir la necesidad de una revisión del vehículo. La MIL presenta dos estados de alerta: si la luz se enciende continuamente, la revisión del vehículo debe ser inmediata, por el contrario, si la luz es intermitente la revisión puede ser a largo plazo (Dimaté Cáceres et al., 2013; Simbaña, Caiza, Chávez, & Lopez, 2016).

6.1.2.3 Conector de Diagnóstico (DLC)

El conector está ubicado en la parte baja del volante de dirección y permite la comunicación con el PCM a través del scanner. El DLC está estandarizado por la Asociación de Ingenieros Automaticos (SAE) así como cada uno de los 16 pines de conexión (Dimaté Cáceres et al., 2013).

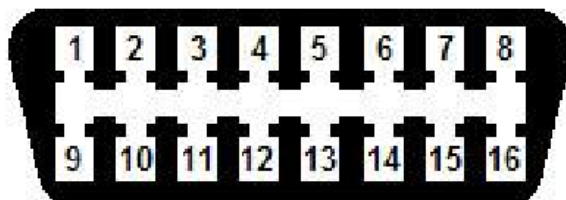


Figura 6. Conector de diagnóstico DLC (Dimaté Cáceres et al., 2013).

6.1.3 Sensores Automotrices

Los sensores son elementos que transforman magnitudes físicas o químicas en señales eléctricas, éstas magnitudes pueden ser temperatura, presión, flujo, posición, etc. El resultado que entregan puede ser una tensión eléctrica, corriente eléctrica o frecuencia. El sensor al estar siempre en contacto con la variable a medir adapta la señal para que la pueda interpretar otro dispositivo (Lee Zhang, 2012).

6.1.3.1 Sensor de Oxígeno.

El sensor de Oxígeno (O₂) se encarga de captar el oxígeno que tienen los gases de escape. La magnitud de la medición se expresa en voltaje que es inversamente proporcional a la concentración de oxígeno en los gases, una concentración baja produce 0.9 voltios o mezcla rica, por otro lado si la concentración es alta produce 0.1 voltios o mezcla pobre (Concepción, 2011).

6.1.3.2 Sensor TPS

El sensor de Posición de la Mariposa de Aceleración (TPS) es un potenciómetro o resistencia variable encargado de registrar la posición de la mariposa de aceleración y va acoplado al cuerpo de aceleración moviéndose simultáneamente. El sensor envía una señal a la PCM indicando la posición del acelerador. Si el voltaje de la señal aumenta significa que aumenta la apertura de la mariposa (Chávez Carrillo, 2014).

6.1.3.3 Sensor MAP

El sensor de Presión Absoluta en el Colector de Admisión (MAP) determina la presión del aire que ingresa al motor, con ésta información la PCM conoce la carga del motor y puede calcular la cantidad de aire que fluye al realizarse la mezcla aire-combustible, para finalmente ajustar el tiempo de inyección (Chávez Carrillo, 2014).

6.1.4 Dispositivo DAQ

La tarjeta NI USB – 6008 es un dispositivo multifunción con un conector USB para comunicarla con un PC. El dispositivo tiene ocho diferentes entradas de voltaje analógico, dos salidas, doce canales que puede ser usados como entradas o salidas digitales (Gao, Wu, Zhou, Jiang, & Feng, 2012). En la figura 8, se presenta las características físicas del dispositivo de adquisición de datos empleado para el muestreo de las señales.

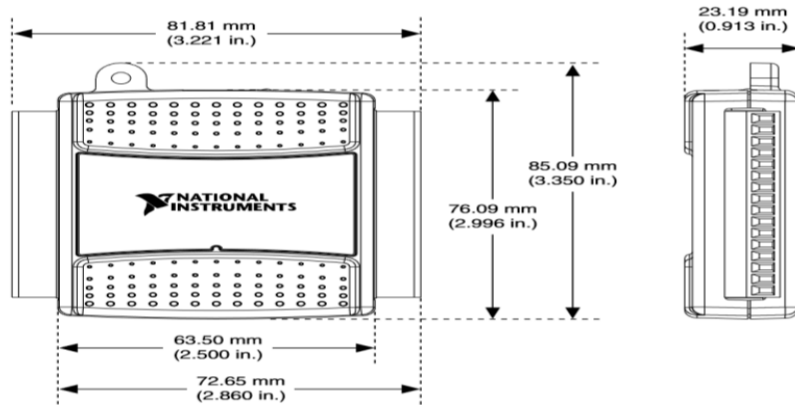


Figura 7. Características de la tarjeta de adquisición de datos DAQ (Instruments, 2017).

En la figura 9, se detallan las especificaciones técnicas del dispositivo de adquisición de datos (Instruments, 2017).

Analog Input	
Analog inputs	4
Differential	8 , software - selectable
Single - ended	
Input Resolution	
Differential	12 bits
Single - ended	11 bits
Maximum sample rate (aggregate)	10 kS/s, System dependent
Converter type	Successive approximation
Ai FIFO	512 bytes
Timing resolution	41.67 ns (24 MHz time-base)
Timing accuracy	100 ppm of actual sample rate
Working voltage	10 V
Analog Output	
Analog Outputs	2
Output resolution	12 bits
Maximum update rate	150 Hz, software - timed
Output range	0 V + 5V
Slew rate	1 V/us

Figura 8. Especificaciones técnicas de la tarjeta DAQ 6008 USB (Instruments, 2017).

El USB – 6008 de National Instruments provee una adquisición de datos básica pero funcional. La tarjeta requiere un “DAQ Assistant” para establecer la comunicación con la computadora o PC. El software Labview es usado comúnmente ya que ofrece los elementos necesarios para correr el Driver NI – DAQmx, de esta manera los datos pueden ser reconstruidos de analógico a digital. El software permite desarrollar una interfaz gráfica y de esta manera se puede observar la reconstrucción de las muestras (Bogdan, 2009).

6.1.5 Proceso de conexión para la toma de muestras

En esta sección se detalla el proceso de muestreo de los sensores en el vehículo. En la siguiente figura, se presenta las características principales del vehículo utilizado en el estudio (TecnoAutos, 2011).

FICHA TECNICA DEL VEHICULO	
Fabricante:	Chevrolet
Modelo:	Spark
Año de fabricación:	2008
Motor:	995 ccm (60.41 pulgadas cúbicas)
Torque máximo:	87.00 Nm (8,86 kgf-m or 63,88 ft.lbs) at 4200 Rev. por min.
Diámetro pistón x longitud movimiento:	69.0 x 68.0 mm (2,69 x2,69 pulgadas)
Compresión:	9.0:1
Combustible:	Gasolina
Transmisión:	Manual, 5-velocidades
Tracción:	Delantera
Distancia entre ejes:	2350 mm (92,04 pulgadas)
Coefficiente de arrastre aerodinámico:	1.0
Rendimiento del combustible mixto:	7.5 litros/100 km (31,41 millas por galón)
Capacidad máxima del tanque de combustible:	35.0 litros (9,20 galones)

Figura 9. Ficha técnica del Vehículo de Prueba (TecnoAutos,2011).

6.1.5.1 Descripción de las Pruebas

La prueba estática consiste en tomar muestras de los sensores en estado estacionario del vehículo y con el motor encendido a ralentí, esto debido a que los sensores MAP y O2 requieren medir la presión del aire y la concentración de oxígeno respectivamente.

La prueba de carretera consiste en generar un ciclo de conducción similar al cotidiano y tomar las muestras de los sensores establecidos. Ambas pruebas se realizan con los estados “OK” y “Fallo”.

6.1.5.2 Conexión sensor MAP

En el caso específico del vehículo, la disposición de pines es la siguiente, teniendo como pin de Tierra (GND), Voltaje de alimentación del sensor (Vs) y Voltaje de salida o voltaje de la señal del sensor (Vo).



Figura 10. Disposición de pines del MAP (AutoDaewooSpark, 2018)

Para obtener los datos en las diferentes pruebas se usa una sonda con pinzas, la conexión es directamente en los pines de Voltaje de salida o Voltaje de señal (el cable rojo de la sonda) y por el otro cable se conecta a la masa de la batería para no tener ningún tipo de desfases de voltaje.



Figura 11. Conexión para adquisición de datos sensor MAP.

6.1.5.3 Conexión sensor TPS

La disposición de pines para el sensor TPS en este caso, se tuvo que encontrar el cable de señal correcto ya que tiene 6 pines por lo que está en conjunto con el cuerpo de aceleración, teniendo un pin de tierra (GND), voltaje para alimentación del sensor y voltaje de la señal del sensor.

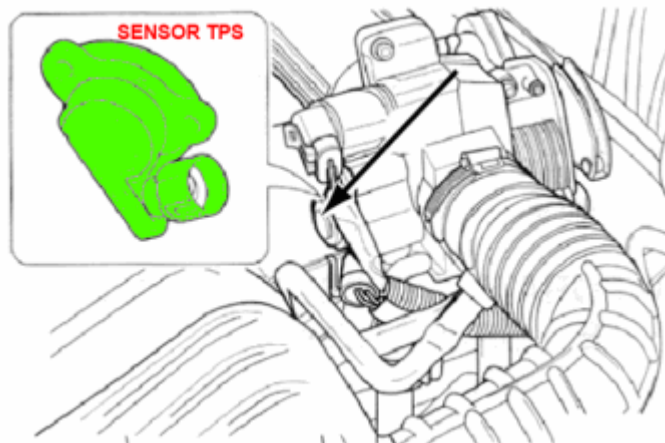


Figura 12. Ubicación del sensor TPS (AutoDaewooSpark, 2018)

Para obtener los datos en este sensor se tuvo el mismo procedimiento anterior, la conexión es directamente en los pines de Voltaje de señal y por el otro cable se conecta a la masa de la batería para evitar anomalías.

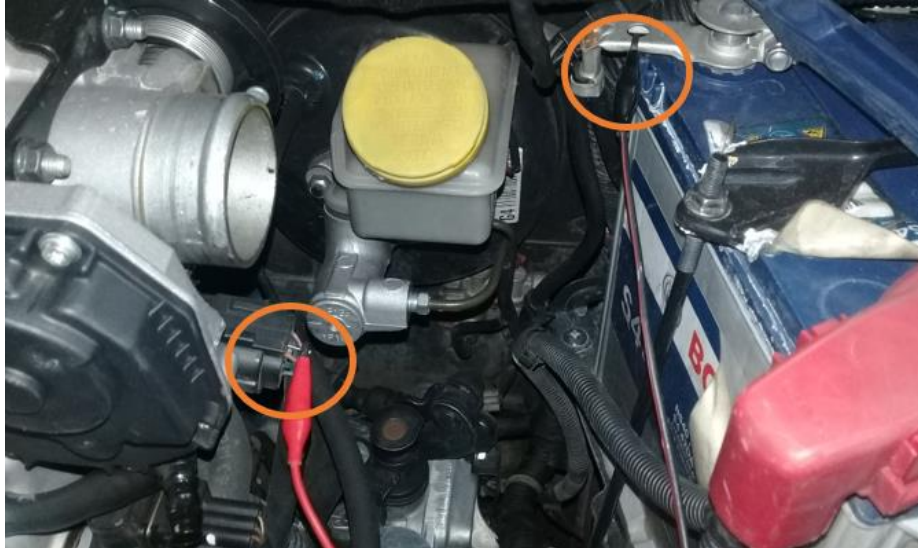


Figura 13. Conexión para adquisición de datos de sensor TPS.

6.1.5.4 Conexión sensor de Oxígeno

En el sensor de Oxígeno se tiene cuatro cables los cuales dos perteneces al calentador del sensor (C-D) los otros dos son de tierra del sensor y otro de la señal de salida del sensor (A-B)

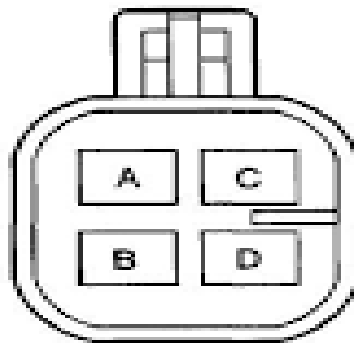


Figura 14. Disposición de pines sensor de Oxígeno (Cook, n.d.)

Para obtener los datos en este sensor se tuvo que conectar en el cable negro del sensor la pinza roja, la conexión es en los pines de Voltaje de señal y el otro cable se conecta a la masa batería para evitar irregularidades.



Figura 15. Conexión para adquisición de datos de sensor de Oxígeno.

6.1.6 Dispositivo ELM 327

Los automóviles actuales requieren, una interfaz de comunicación para el diagnóstico de manera externa. La transmisión de datos puede ser por varios estándares, pero ninguno de ellos puede ser interpretado por el PC. El ELM327 está diseñado para enlazar la comunicación con la PCM del Vehículo. Este dispositivo es capaz de interpretar doce protocolos OBD, tiene una interfaz simple que se puede enlazar a través de una UART (Bernias Vaquero, 2015).

6.1.6.1 Aplicaciones

Las funciones que realiza el ELM327 son las siguientes (Bernias Vaquero, 2015).

- Lectura de PIDs en tiempo real
- Lectura de códigos de falla
- Borrado de códigos de falla

6.1.6.2 Protocolos OBD – II

Los protocolos de la figura 18, interpretados por el dispositivo ELM – 327 son doce diferentes, en caso de que el vehículo no cuente con alguno de ellos la comunicación no es posible (Bernias Vaquero, 2015).

Automatic	ISO 15765 – 4 CAN (29-bit ID, 500 kbaud)
SAE J1859 PWM (41.6 kbaud)	ISO 15765 – 4 CAN (11-bit ID, 250 kbaud)
SAE J1850 VPW (10.4 kbaud)	ISO 15765 – 4 CAN (29-bit ID, 250 kbaud)
ISO 9141 – 2 (5 baud init, 10.4 kbaud)	A – SAE J1939 CAN (29-bit ID, 250* kbaud)
ISO 14230 – 4 KWP (5 baud init, 10.4 kbaud)	B – USER1 CAN (11-bit ID, 125 kbaud)
ISO 14230 – 4 KWP (fast init, 10.4 kbaud)	C – USER2 CAN (11-bit ID, 50kbaud)
ISO 15765 – 4 CAN (11-bit ID, 500 kbaud)	

Figura 16. Protocolos OBD – II de uso genérico (Bernias Vaquero, 2015).

6.1.7 Descripción de la Falla

Para muestrear los sensores mencionados, se procede a darle un fallo al vehículo, el cual consiste en separar el ánodo de la bujía como se observa en la figura 19. Esta falla es considerada ya que no requiere una intervención crítica en el motor.

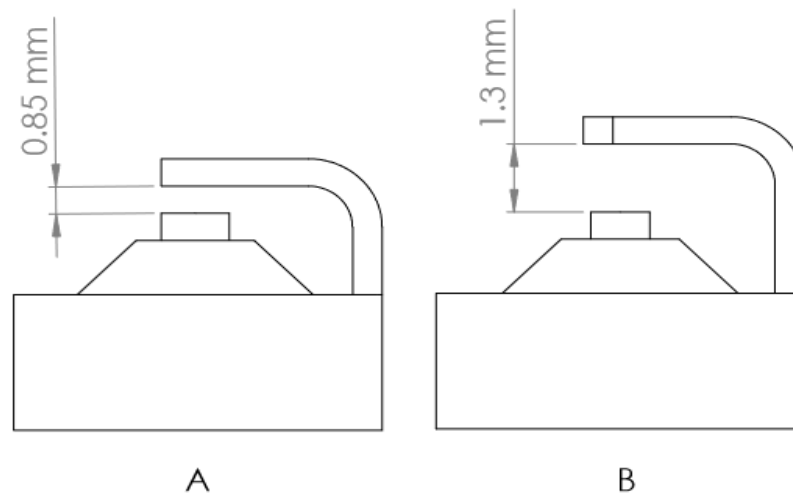


Figura 17. A: Bujía estado OK, B: Bujía es estado de Fallo.

6.1.8 Obtención de señales.

La DAQ y el ELM – 327 son los dispositivos encargados de recolectar las señales de los sensores y los PIDs del OBD II respectivamente. La interfaz gráfica se desarrolla en Labview para realizar la conversión analógica – digital. El ELM – 327 tiene su propia interfaz gráfica para mostrar los datos recolectados.

6.1.8.1 Consideraciones iniciales.

El muestreo se realiza en dos etapas, la primera en estático y la segunda, una prueba de carretera.

La tarjeta de adquisición de datos (DAQ) cuenta con ciertas características que deben considerarse al momento de realizar el muestreo, las cuales son:

- Número de entradas analógicas
- Frecuencia de muestreo admisible de la tarjeta
- Reducción de la frecuencia de muestreo al usar más de una entrada

Las características del ELM son importantes al momento de establecer la comunicación con la PCM y recolectar datos, estas son:

- La PCM del vehículo debe tener alguno de los protocolos establecidos anteriormente, de lo contrario la comunicación es nula.
- Frecuencia de muestreo reducida al aumentar la lectura de los PIDs.

6.1.9 Muestreo de los sensores.

El muestreo de los sensores se realiza mediante el dispositivo “DAQ” el mismo que toma las muestras directamente del sensor. La interfaz de control del dispositivo se realiza mediante Labview y el proceso de muestreo se detalla en el siguiente diagrama de flujo.

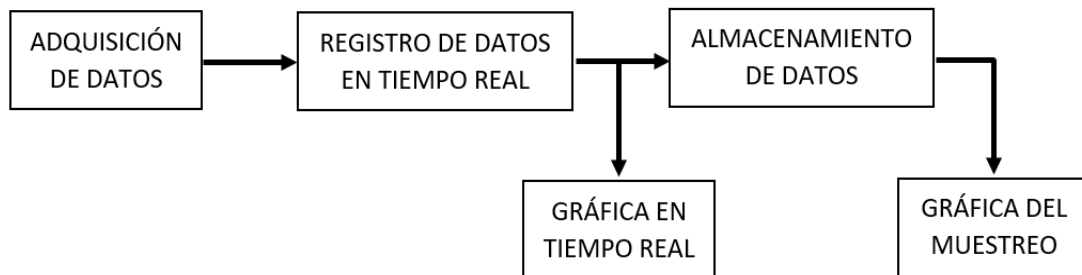


Figura 18. Diagrama de flujo del proceso de adquisición de datos.

El bucle controla la DAQ y al mismo tiempo almacena los datos muestreados. Esta interfaz servirá para tomar los datos de los distintos sensores del vehículo.

Para el control del ELM – 327 no se requiere interfaz o bucle de control ya que el dispositivo tiene su propio software de funcionamiento.

6.1.9.1 Muestreo del TPS.

El TPS es un sensor del tipo resistivo, se debe identificar cuál de los cables es el de señal y posiblemente la masa o terminal negativo. Esta última también puede ubicarse en el borne negativo de la batería. La muestra del sensor se toma de manera simultánea con la DAQ y el ELM 327. Con las conexiones respectivas de los dispositivos antes mencionados, los datos obtenidos se presentan en la siguiente figura.



Figura 19. Señal obtenida del TPS, eje Y: porcentaje de apertura del sensor, eje X: Tiempo.

Los datos muestreados con el dispositivo DAQ estaban investidos en comparación con los datos del ELM 327, razón por la cual se realizó una corrección en el muestreo. El proceso realizado entrega una ecuación de corrección para que los datos no tengan una

desviación excesiva. La ecuación de corrección que entrega el software debe ser ingresada en la interfaz de control de la DAQ para obtener un muestreo adecuado.

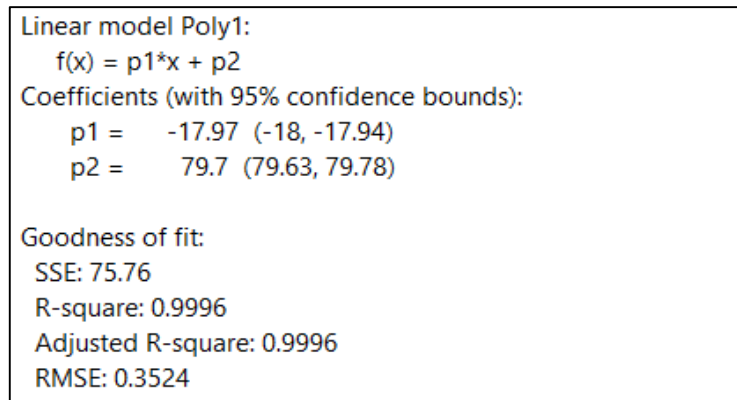


Figura 20. Resultados de la Regresión.

La ecuación de corrección presenta las siguientes características, los coeficientes tienen una confiabilidad el 95 % y una precisión de ajuste (R^2) de 99%. Los datos son fiables y puede usarse para corregir la interfaz de control de la DAQ.

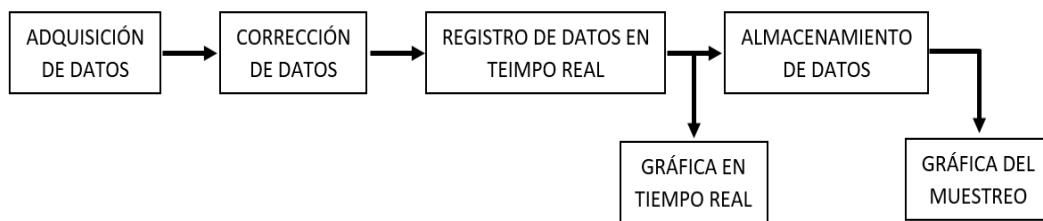


Figura 21. Proceso de muestreo del TPS corregido.

Modificada la interfaz, ingresando los coeficientes de la ecuación antes mencionada se procede con un nuevo muestreo del TPS, los datos obtenidos son los esperados y coinciden con los del ELM 327.

6.1.9.2 Muestreo del MAP

Los datos del sensor MAP son muestreados con la interfaz de la figura, aquí no se realizan correcciones ya que este sensor entrega resultados positivos. A continuación, los resultados.

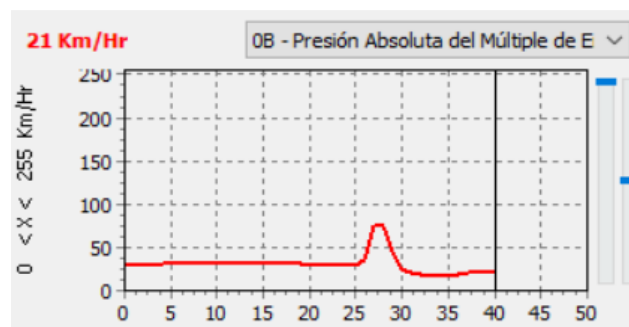


Figura 22. Señal obtenida del MAP, eje Y: presión de admisión, eje X: Tiempo.

6.1.9.3 Muestreo del sensor de O2

Usando la interfaz inicial se procede con el muestreo del sensor de oxígeno. La toma de datos de este sensor debe ser con el vehículo encendido ya que debe medir la concentración de oxígeno en los gases, de estar apagado el vehículo no existirá señal alguna. Los datos obtenidos se presentan a continuación.

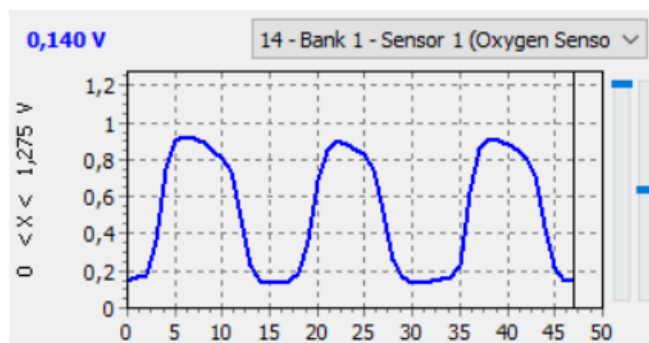


Figura 23. Señal obtenida del sensor de O2, eje Y: voltaje, eje X: Tiempo.

6.2 FASE II: Determinación de la frecuencia de trabajo de los sensores.

Los sensores analizados no presentan frecuencias estables, estas variarán según el comportamiento o estado de funcionamiento del vehículo, como por ejemplo el ciclo de conducción diario. Al no ser estables las frecuencias se desarrolla un software para calcular la frecuencia de los sensores analizados, a continuación, se detalla el proceso de medición.

6.2.1 Adquisición de datos

En ésta etapa las señales de los sensores son adquiridas mediante el dispositivo DAQ 6008, para lo cual se desarrolla una interfaz de control del dispositivo, todo esto se realiza con la ayuda del software Labview, utilizando la función DAQ Assistant la cual entrega los datos de la señal de ingreso, además la función STOP es utilizada para detener el programa y los datos se almacenen en un vector.

6.2.2 Etapa de corrección de datos

La etapa se utiliza únicamente para los sensores TPS y MAP, debido a que la señal está en voltaje y los PID son de porcentaje y presión respectivamente. En la Fase I se determinó la ecuación para la corrección de datos por lo tanto sirve en ésta etapa. El valor de las constantes será modificado dependiendo del sensor a medir.

6.2.3 Etapa de filtrado de la señal

Continuando con el proceso del software, es necesario una etapa de filtrado de las señales debido a la presencia de ruido proveniente del medio, este ruido se debe eliminar porque puede dar una lectura incorrecta de la frecuencia. El ruido generalmente se encuentra a frecuencias altas razón por la cual se usa un filtro pasa-bajo mediante el comando "Filter".

6.2.3.1 Filtro Pasa-bajo

El filtro pasa-bajo permite el paso de las frecuencias que están por debajo de la frecuencia de corte (Gutiérrez, 2009). La frecuencia de corte seleccionada es de 10 Hz y está en función de la máxima frecuencia de los sensores que se detalla posteriormente.

6.2.4 Etapa de medición

En ésta etapa se utiliza el comando Tone Measurements que mide la frecuencia de la señal de ingreso, además permite la visualización numérica de los valores de la frecuencia. Posterior a esta fase se incorpora la función Write Measurement File que guarda los datos del bucle.

6.2.5 Generación de información

La etapa final es la encargada de almacenar todos los datos de la medición de la frecuencia. La función utilizada es Read From Measurement File y se ubica fuera del bucle de medición, esto con la finalidad de guardar toda la información del bucle.

En el siguiente diagrama de flujo se representa cada una de las etapas detalladas anteriormente.

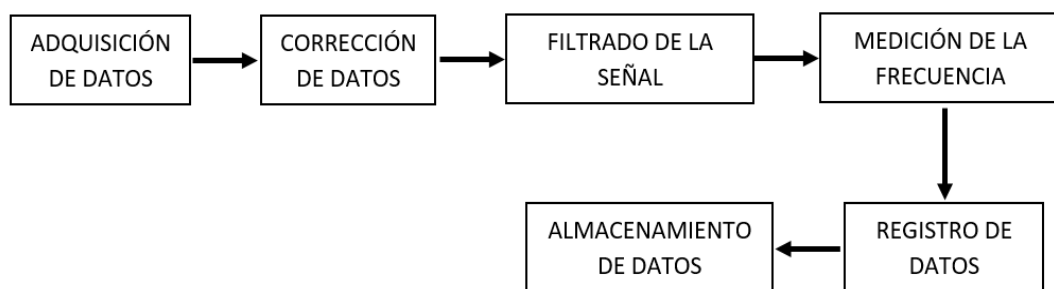


Figura 24. Diagrama de flujo del proceso de medición de la frecuencia.

6.2.6 Frecuencia del Sensor de Oxígeno (O2)

El sensor de oxígeno (O₂) debe llegar a un mínimo de 600°F de temperatura. No debe existir irregularidades en la mezcla aire – combustible. Este sensor tiene una señal cíclica de al menos una vez por segundo (1 Hz), esto significa tres conteos de cruce en la PCM. El sensor de O₂ tiene una mejor capacidad de ciclar de mezcla rica a mezcla pobre que de mezcla pobre a rica.

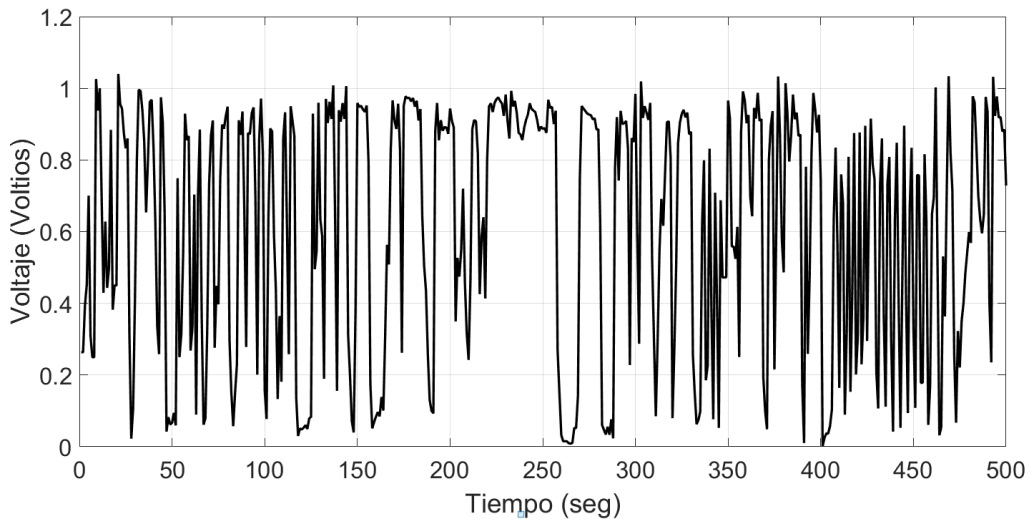


Figura 25. Medición del Sensor de Oxígeno (O₂)

Este sensor no solo se basa en ciclar, si no que su frecuencia debe ser rápida y con un voltaje adecuado. Con la frecuencia antes mencionada la señal debe cruzar como mínimo tres veces el valor de 0.45 V, ya que esto representa el PID o también llamado conteo de cruce, si esto se llega a dar el control de emisiones es correcto (Concepción, 2011).

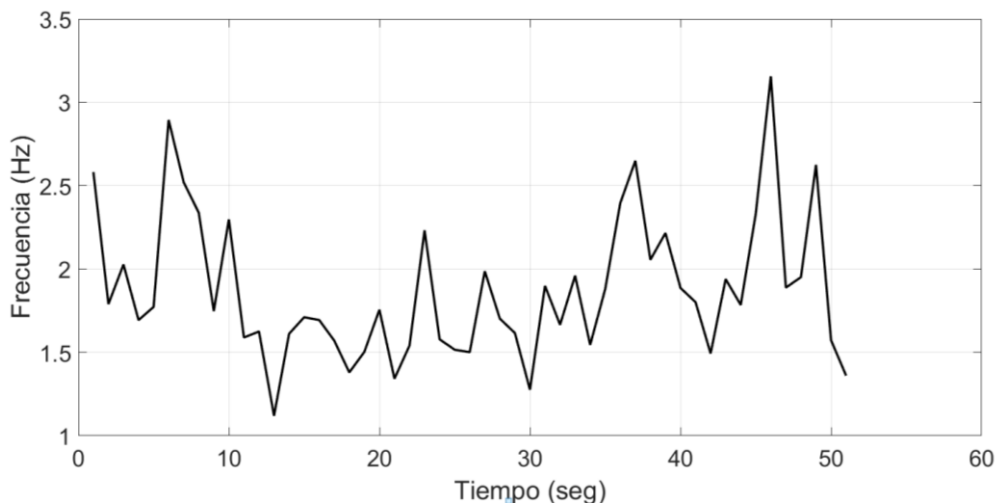


Figura 26. Frecuencia del Sensor de Oxígeno (O₂)

En este caso particular la frecuencia de trabajo del sensor de O₂ está en un rango de 1.1195 Hz y 3.1562 Hz. La adquisición de datos se debe muestrear haciendo referencia al teorema de Nyquist, tomando el máximo valor de frecuencia de la señal.

6.2.7 Frecuencia del Sensor TPS

La frecuencia del sensor TPS no tiene un valor fijo o predeterminado, ya que depende totalmente del ciclo de conducción (acelerar y desacelerar). Para la medición de esta frecuencia se utiliza el software antes mencionado, en la etapa de filtrado se coloca una frecuencia de corte de 10 Hz para eliminar el ruido de la señal.

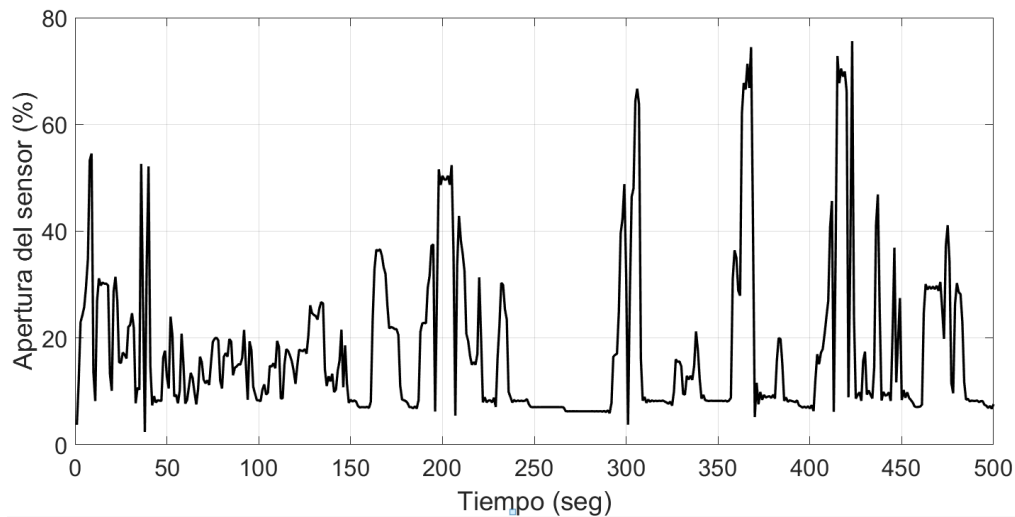


Figura 27. Medición del Sensor TPS

En este caso la frecuencia de trabajo del TPS está en un rango de 1.0927 Hz y 5.9498 Hz. La adquisición de datos se debe muestrear haciendo referencia al teorema de Nyquist para obtener un patrón aproximado de la señal.

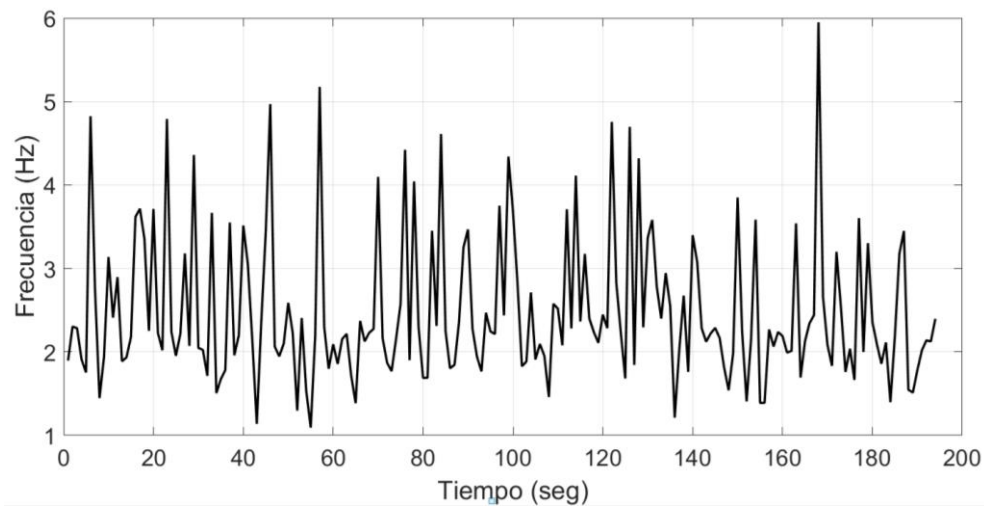


Figura 28. Frecuencia del Sensor TPS

6.2.8 Frecuencia del sensor MAP

El Sensor MAP tiene la misma similitud que el TPS, ya que depende totalmente del ciclo de conducción (acelerar y desacelerar). Para la medición de esta frecuencia se utiliza el software antes mencionado, en la etapa de filtrado se coloca una frecuencia de corte de 10 Hz para eliminar el ruido de la señal.

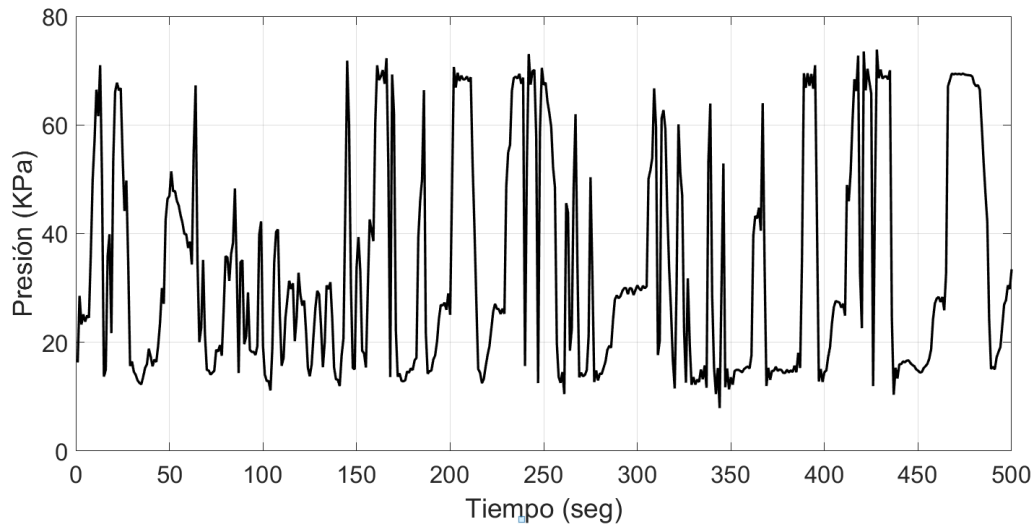


Figura 29. Medición del Sensor MAP

La frecuencia de trabajo del MAP está en un rango de 1,08704 Hz y 5,63735 Hz. La adquisición de datos se debe muestrear haciendo referencia al teorema de Nyquist para obtener un patrón aproximado de la señal.

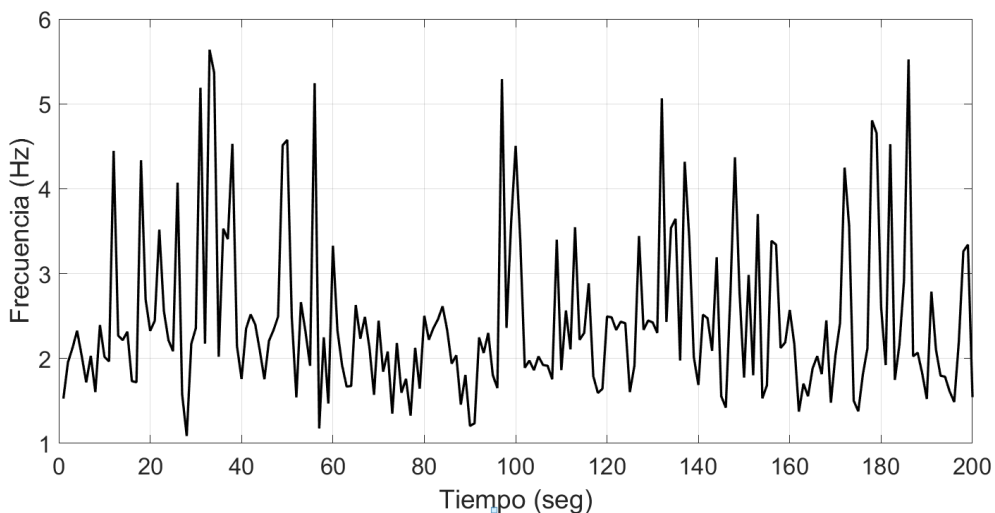


Figura 30. Frecuencia del Sensor MAP

6.3 Fase III: Estimación de la Frecuencia Ideal de Muestreo

El estudio inicia con los resultados de las frecuencias de trabajo de los sensores obtenidas anteriormente. Además, se selecciona de forma aleatoria distintas frecuencias (6, 25, 50, 66, 100; todo en Hz) de muestreo para después establecer un rango ideal de frecuencias, con las cuales muestrear las señales de los sensores analizados.

6.3.1 Sensor TPS

El valor máximo de frecuencia de la señal de este sensor es de 5.9498 Hz. Para determinar la mínima tasa de muestreo se debe aplicar el teorema de Nyquist. La frecuencia mínima para muestrear este sensor debe ser de 12 Hz aplicando el teorema, esto garantiza un

patrón adecuado y evita la generación del aliasing. Utilizando las frecuencias aleatorias, para este sensor, se ve mayor influencia en el resultado al utilizar 6 Hz. Esto es lógico ya que la mínima frecuencia de muestreo es de 12 Hz. Por lo tanto, el muestreo de este sensor debe realizarse con frecuencias desde 12 Hz en adelante.

6.3.2 Sensor MAP

El valor máximo de frecuencia de la señal de este sensor es de 5,63735 Hz. La mínima tasa de muestreo debe ser el doble de la frecuencia máxima. Entonces esta frecuencia es de 11,5 Hz aplicando el teorema de Nyquist, esto garantiza un patrón adecuado y evita el aliasing. Utilizando las frecuencias aleatorias, en este sensor, se ve mayor influencia en el resultado al utilizar 6 Hz. Esto es lógico ya que la mínima frecuencia de muestreo es de 11,5 Hz.

Por lo tanto, el muestreo de este sensor debe realizarse con frecuencias desde 11,5 Hz en adelante.

6.3.3 Sensor de Oxígeno

El valor máximo de frecuencia de la señal de este sensor es de 3,1562 Hz. La mínima tasa de muestreo debe ser el doble. Entonces esta frecuencia es de 6,3 Hz aplicando el teorema de Nyquist, esto evita el aliasing. Utilizando las frecuencias aleatorias, en este sensor, no se presenta influencia en el resultado al utilizar estas frecuencias. Esto es lógico ya que la mínima frecuencia de muestreo es de 6,3 Hz.

Por lo tanto, el muestreo de este sensor debe realizarse con frecuencias desde 6 Hz en adelante.

6.4 FASE IV: Determinación estadística de la influencia en la frecuencia de muestreo.

El análisis de varianza se realiza con frecuencias de muestreo aleatorias, entre estas están 6, 25, 50, 66 y 100 todo en Hertz. La selección de estas tasas de muestreo sirve para determinar si existe diferencias significativas entre ellas, además se seleccionaron características de las señales como la Energía, Potencia, Media, RMS, Varianza, Desviación Estándar y Kurtosis para tener en cuenta con cuál de estas se puede notar más la influencia de las frecuencias de muestreo seleccionadas.

6.4.1 Análisis de Varianza (ANOVA)

El análisis de varianza ANOVA es un conjunto de modelos estadísticos utilizados para relacionar variables cuantitativas con cualitativas a partir de relaciones de dependencia, cuando existe mediciones repetidas y los sujetos pueden variar en una o más características. El análisis es una forma particular de prueba de hipótesis estadística. En el ANOVA, la varianza observada se divide en componentes atribuibles a diferentes fuentes de variación. La suposición en el análisis de varianza se refiere a la distribución de probabilidad de las respuestas del proceso de la siguiente manera (Dagnino & others, 2014; Danila, Ungureanu, Moraru, & Voicescu, 2017).

Las observaciones son estadísticamente independientes

- La distribución estadística de los residuos es normal
- La varianza de los grupos de datos es la misma.

Existen modelos de ANOVA entre los cuales se destacan los siguientes, de un factor; es una prueba estadística que considera una variable independiente categórica y una variable dependiente continua. El multidireccional; este modelo considera una variable dependiente y dos o más variables independientes (Campbell, Bray, Ritz, & Groce, 2018; López Roldán & Fachelli, 2016).

6.4.2 ANOVA de un solo factor

Este método se usa cuando se tiene un factor controlado o aleatorio, teniendo en cuenta que los datos que se ocupen son independientes entre sí, al obtener los resultados cada parte del análisis debe tener una distribución normal, los datos no deben tener una varianza con diferencia significativa (Boqué & Maroto, 2004).

6.4.3 Hipótesis del ANOVA de un solo Factor

En el ANOVA de un solo factor se supone que las x poblaciones son independientes y tienen medias u_1, u_2, \dots, u_x con varianza común. El análisis busca el método más acertado para probar las hipótesis (Walpole, 2007).

- Hipótesis Nula: Esta afirmación establece que todas las medias de las muestras son iguales.

$$H_0: u_1 = u_2 = \dots = u_x \quad (2)$$

- Hipótesis Alternativa: Mínimo dos de las medias de las muestras no son iguales.

$$H_0: u_1 \neq u_2 \neq \dots \neq u_x \quad (3)$$

6.4.4 Prueba de Tukey

La prueba de Tukey se aplica en ANOVA para comparar parejas de condiciones y determinar si existe una diferencia significativa. Tukey basa su análisis en observar la variación existente entre los pares de medias para evaluar las hipótesis (Hinton, 1995).

6.4.5 P – Value

Este valor se obtiene en las pruebas de diseño de experimentos, es la probabilidad que da a conocer la significancia de la prueba. Para dar un verdadero sentido al experimento se debe tratar una secuencia de pruebas referidas a un mismo tema o contexto.

Se tiene posibilidades de resultados, ya que si el valor de p -value es inferior al establecido se da a entender que el efecto estudiado se comprueba, en cambio si el p-value es superior se conoce que el efecto es mínimo, pero si el valor de p-value se encuentra entre un rango del valor inferior y superior se debe diseñar un nuevo experimento para tener una mejor evaluación de los efectos. Ya que se evalúa si hay una diferencia significativa en el experimento (George, Fisher, & Verhs, 2007).

A continuación, se detallan algunos conceptos para comprender el análisis.

Energía: La energía de una señal es similar al aplicar un voltaje a una resistencia de 1 ohmio (Bermeo Naula, 2017).

$$E = \sum_{i=0}^{N-1} x_i^2 \quad (4)$$

Potencia: Energía en un intervalo de tiempo cuando se analiza señales discretas (Bermeo Naula, 2017).

$$P = \frac{1}{N_2 - N_1} \sum_{i=N_1}^{N_2} x_i^2 \approx \frac{E}{\text{tamaño de la muestra}} \quad (5)$$

Donde:

N_2 es el rango de medición en número de muestras

x_i es el valor muestral

Media: Es la sumatoria de los valores en estudio dividido para el número de muestras, en otras palabras, es el promedio de las muestras (Bermeo Naula, 2017).

$$m = \frac{n_1 + n_2 + \dots + n_x}{N} \quad (6)$$

RMS: Es la raíz cuadrada del promedio de la sumatoria de los cuadrados de los datos en el rango de análisis (Bermeo Naula, 2017).

$$RMS = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i^2} \quad (7)$$

Varianza: Medida de dispersión que hace referencia a la esperanza del cuadrado de la desviación de dicha variable respecto a su media (Walpole, 2007).

$$Var = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{N - 1} \quad (8)$$

Donde:

x_i es la “i – ésima” observación

\bar{x} es la media de las observaciones

N es el número de observaciones

Desviación Estándar: Índice que indica la dispersión de un conjunto de datos. La desviación estándar es mayor entonces mayor será la dispersión de los datos (González, 1963).

$$DS = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n - 1}} \quad (9)$$

Donde:

x_i es la “i – ésima” observación en la muestra

\bar{x} es la media de las observaciones

n es el tamaño de la muestra

Kurtosis: Medida relacionada con la amplitud y cantidad de picos presentes en una señal. La Kurtosis crece cuando hay mayor número de picos y viceversa (Bermeo Naula, 2017).

$$K = \frac{n \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^4}{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} \quad (10)$$

6.4.6 Prueba Estática

Las características de las señales ahora pasan a ser las variables de análisis, a continuación, se detalla el estudio realizado con cada una de ellas.

6.4.7 Sensor TPS

6.4.7.1 Energía TPS

En la gráfica de distribución normal de la figura, se presenta residuos versus sus valores esperados para los datos de energía, los residuos siguen la recta y no hay evidencia de irregularidades en los datos.

En la gráfica de residuos y valores ajustados, los residuos están dispersos alrededor del cero, por lo tanto, no hay varianza no constante o valores atípicos.

En el histograma se muestra la distribución de los residuos para las observaciones, siendo así no existe asimetría o valores atípicos. La gráfica de residuos en el orden de observaciones, esta gráfica es de gran utilidad cuando el orden de las observaciones puede alterar los resultados, esto ocurre cuando las muestras son recolectadas en una secuencia establecida. Para los datos de energía, los residuos están dispersos alrededor del cero, no existe evidencia correlación de error.

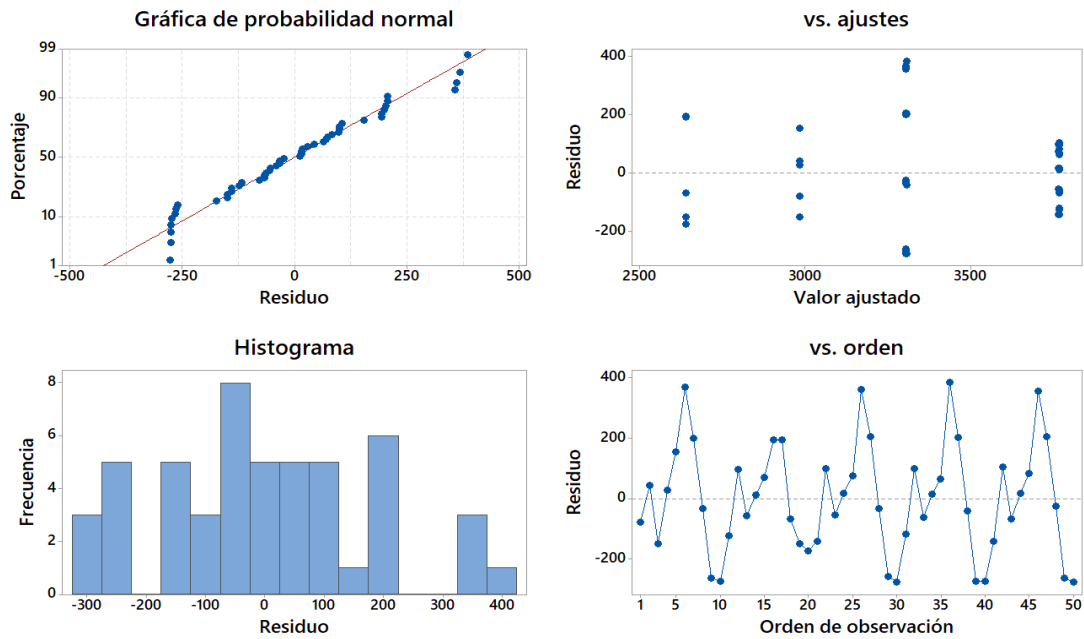


Figura 31. Gráfica de residuos para energía.

En la figura de intervalos de medias de nivel ICs, se observa que las muestras de las frecuencias de 6 Hz y 66Hz no se superponen con las demás, esto significa que existe diferencia en las medias para las frecuencias mencionadas.

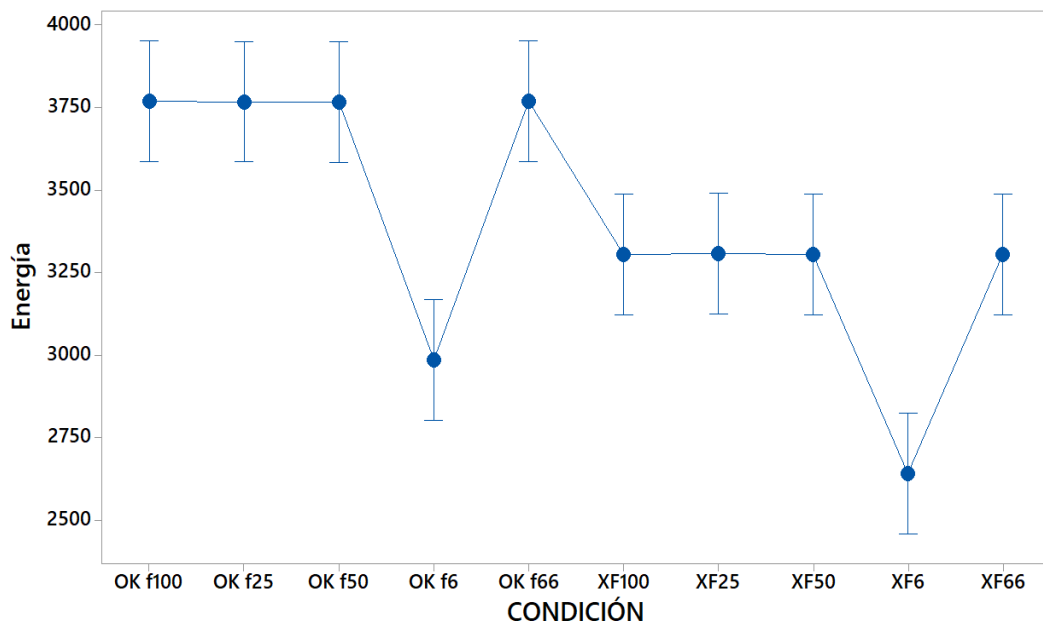


Figura 32. Gráfica de Intervalos de Energía vs Condición, IC 95%.

El método de Tukey sirve para comparar las medias para cada par de niveles de un factor, como se observa en la figura, el intervalo de confianza para las frecuencias de 6hz y 66hz están en un rango que no incluye el cero, esto indica una diferencia significativa.

Todos los intervalos para los demás pares de medias incluyen cero, esto significa una diferencia no significativa.

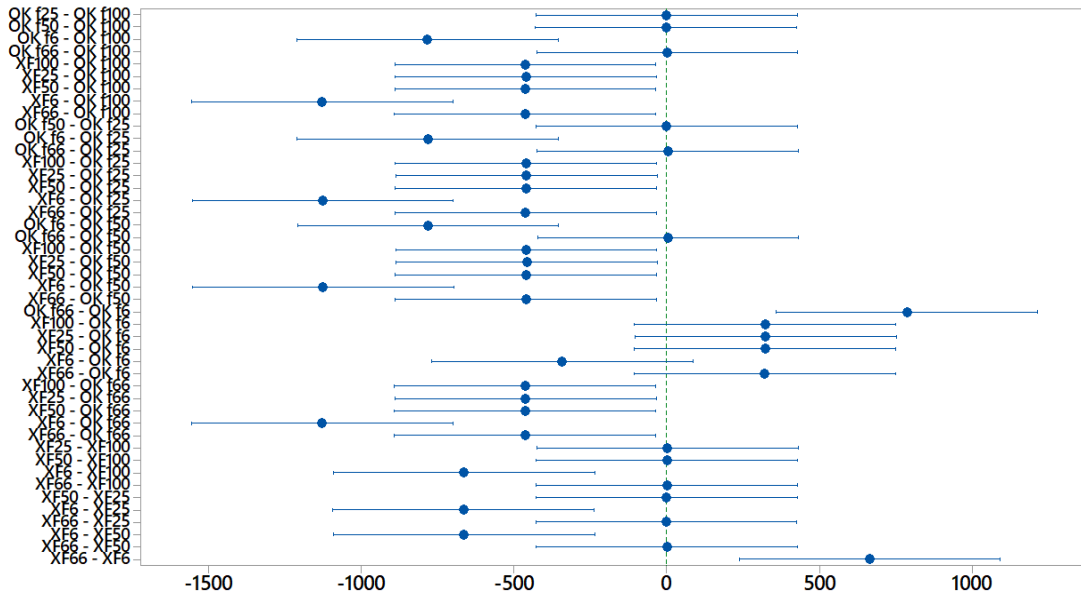


Figura 33. Comparación de Tukey para media.

El resultado del análisis de varianza entrega un p – value igual a cero, que es inferior al nivel de significancia $\alpha = 0,05$ seleccionado para el análisis. Con estos valores se concluye que existe una diferencia significativa para las frecuencias de 6 Hz y 66 Hz, por lo tanto, se acepta la hipótesis alternativa.

6.4.7.2 Potencia TPS

La gráfica de probabilidad normal, indica que la mayoría de puntos se distribuyen normalmente a lo largo de la línea recta, por lo tanto, no se evidencia alguna asimetría o valores atípicos. De igual forma, los residuos dispersos alrededor del cero, indican varianza no constante, valores no atípicos.

En el histograma se observa que no existe asimetría o valores atípicos. La gráfica de residuos en el orden de observaciones indica que los datos de potencia están dispersos alrededor del cero y no existe relación entre los datos.

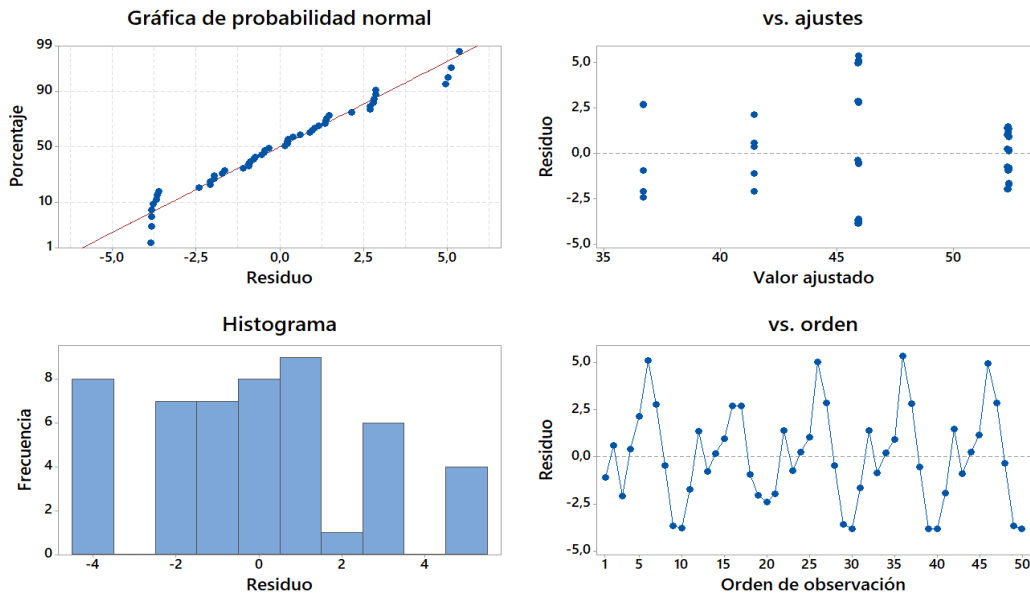


Figura 34. Gráfica de residuos para Potencia.

En la figura de intervalos de medias de nivel ICs, se observa como en el caso anterior, que las muestras de las frecuencias de 6 Hz y 66Hz no se sobrepone con las demás, existiendo diferencias significativas.

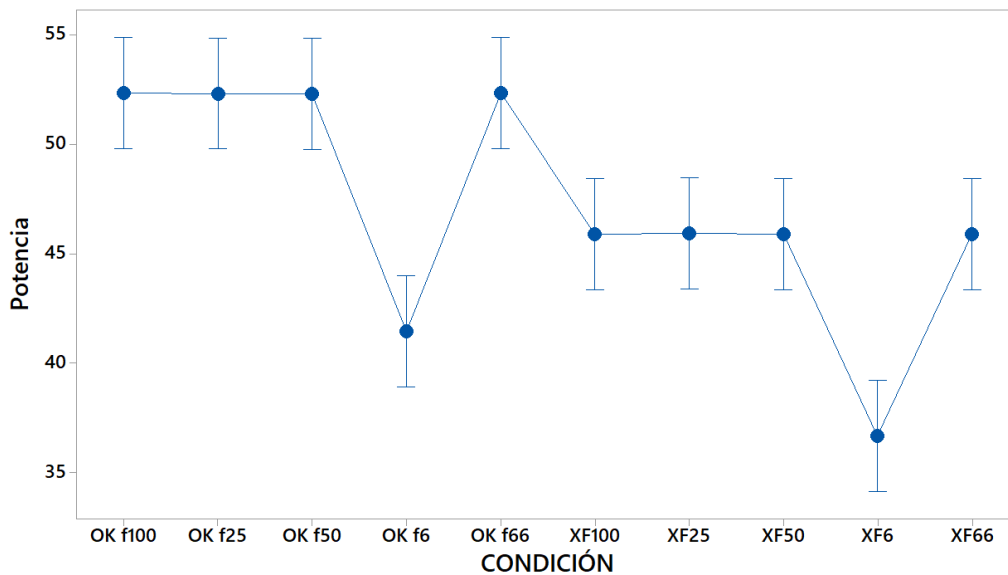


Figura 35. Gráfica de Intervalos de Potencia vs Condición, IC 95%.

Como se observa en la figura, la frecuencia de 6hz y 66hz están en un rango que no incluye el cero, esto es supone una diferencia significativa. Y en los intervalos que incluyen cero, las diferencias no son significativas.

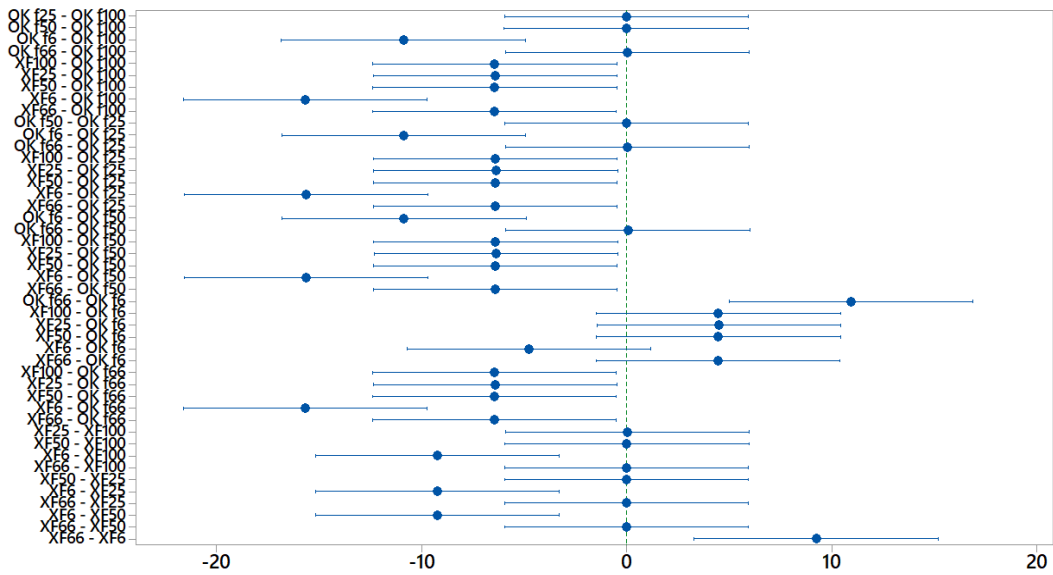


Figura 36. Comparación de Tukey para media.

El análisis de varianza presenta los siguientes resultados, el p – value para los datos de potencia es de “cero” siendo inferior al nivel de significancia $\alpha = 0,05$ seleccionado para el análisis. Con estos valores se concluye que existe una diferencia significativa para las frecuencias de 6 Hz y 66 Hz, por lo tanto, se acepta la hipótesis alternativa. Con este análisis se puede determinar la influencia de las frecuencias mencionadas, al momento del muestreo de las señales.

6.4.7.3 Media TPS

La gráfica de probabilidad normal de la figura, indica que los datos se distribuyen normalmente a lo largo de la recta, es así que no se evidencia alguna asimetría o valores atípicos. De igual forma, en la gráfica de residuos versus ajustes, los residuos están dispersos alrededor del cero de forma aleatoria, es así que no existe varianza no constante, valores atípicos o términos faltantes.

En el histograma se observa que existe una separación en las barras, pero no representan problemas en el análisis. La gráfica de residuos en el orden de observaciones indica que los datos están dispersos alrededor del cero y los términos de error no están relacionados.

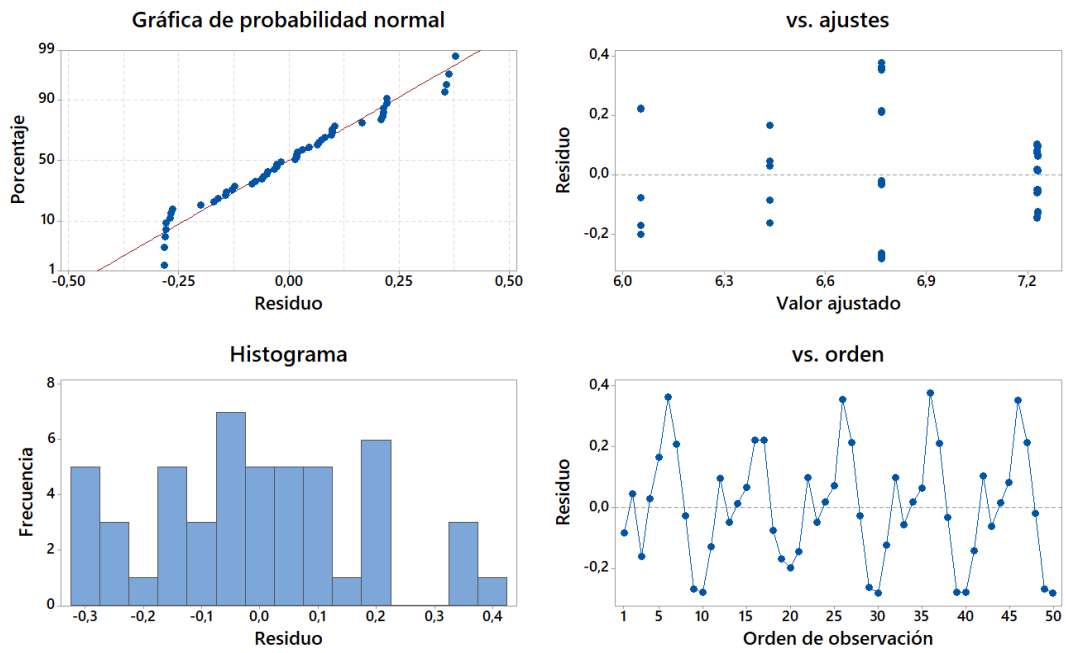


Figura 37. Gráfica de residuos para la Media.

En la figura, se observa que las muestras con frecuencia de 6 Hz y 66 Hz no se sobrepone con el resto, existiendo una diferencia significativa entre los datos.

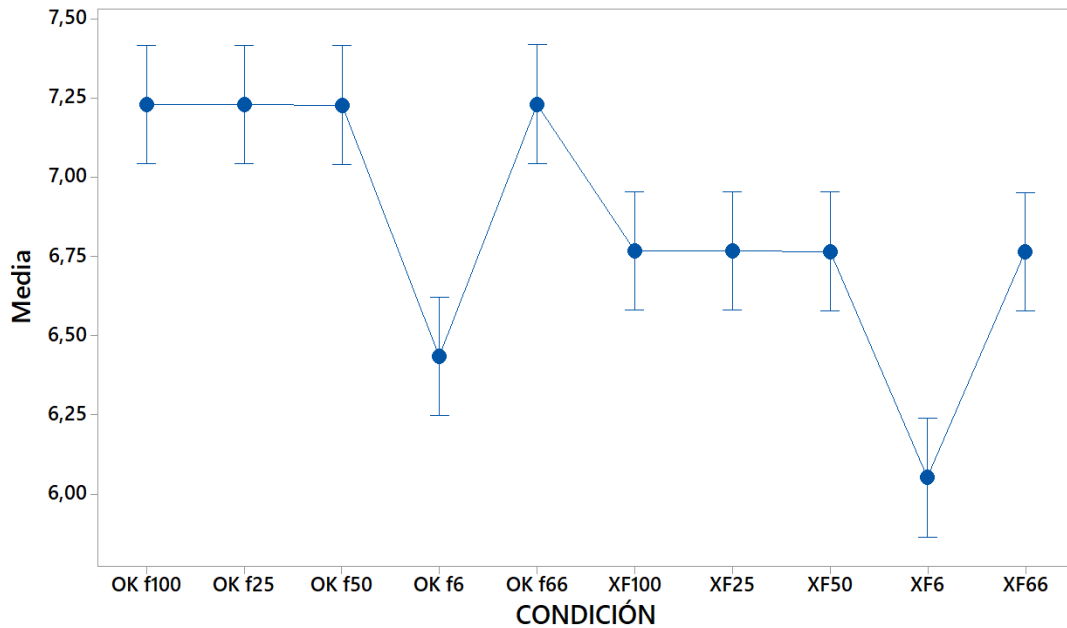


Figura 38. Gráfica de Intervalos de Media vs Condición, IC 95%.

La figura, del análisis de Tukey se observa que ciertos intervalos no incluyen el cero, existiendo diferencias estadísticamente significativas, el resto de intervalos al incluir el cero no presentan diferencias. La diferencia más representativa es aquella que se muestreo con 6 Hz.

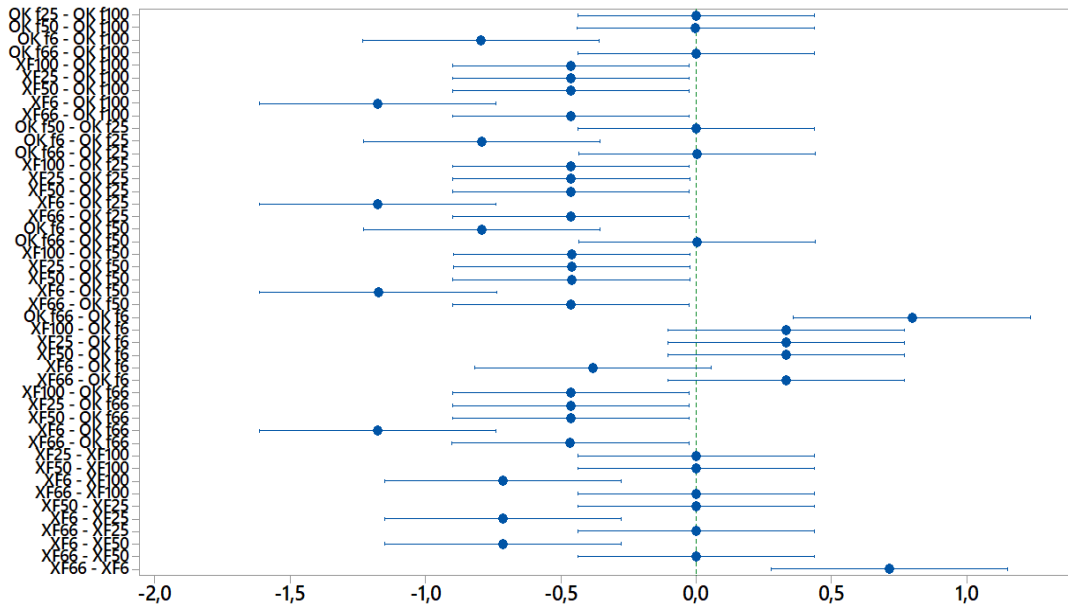


Figura 39. Comparación de Tukey para media.

Con el análisis de varianza se obtiene, el p –value es de “cero”, inferior al nivel de significancia $\alpha = 0,05$ seleccionado. Con estos valores se concluye que existe una diferencia significativa para las frecuencias de 6 Hz y 66 Hz, aceptandose la hipótesis alternativa. Con este análisis se puede determinar la influencia de las frecuencias mencionadas, al momento del muestreo de las señales.

6.4.7.4 RMS TPS

La gráfica de probabilidad normal de la figura, indica que los datos se distribuyen normalmente a lo largo de la recta con ligeras separaciones del grupo principal, no se evidencia alguna asimetría o valores atípicos. De igual forma en los residuos versus ajustes, los residuos están dispersos alrededor del cero de forma aleatoria, es así que no existe varianza no constante o valores atípicos.

En el histograma se observa que existe una separación en las barras, pero no representan problemas en el análisis. La gráfica de residuos en el orden de observaciones, indica que los datos están dispersos alrededor del cero y los términos de error no están relacionados.

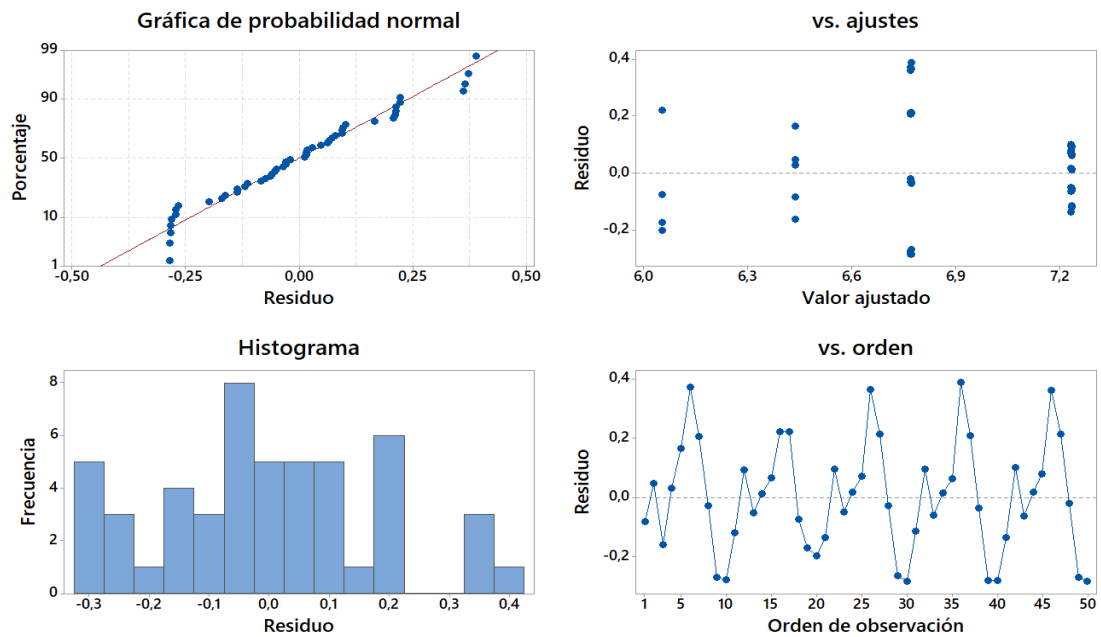


Figura 40. Gráfica de residuos para RMS.

En la figura, se observa que las muestras con frecuencia de 6 Hz y 66 Hz no se superponen con el resto, existiendo una diferencia significativa entre los datos. Este patrón se repite constantemente en los análisis anteriores, siendo estas frecuencias las que presenta mayor influencia en la toma de datos.

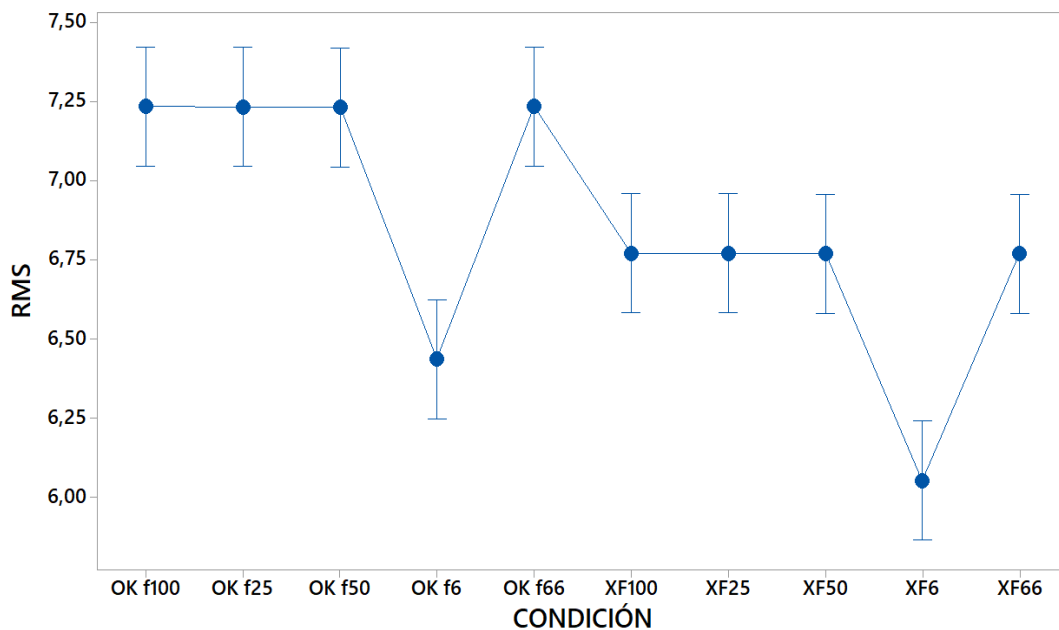


Figura 41. Gráfica de Intervalos de RMS vs Condición, IC 95%.

En la figura, del análisis de Tukey ciertos intervalos no incluyen el cero, por ello se determina que existen diferencias estadísticamente significativas, el resto de intervalos al incluir el cero no presentan diferencias significativas. Las diferencias más representativas son aquellas que se muestrearon con 6 Hz.

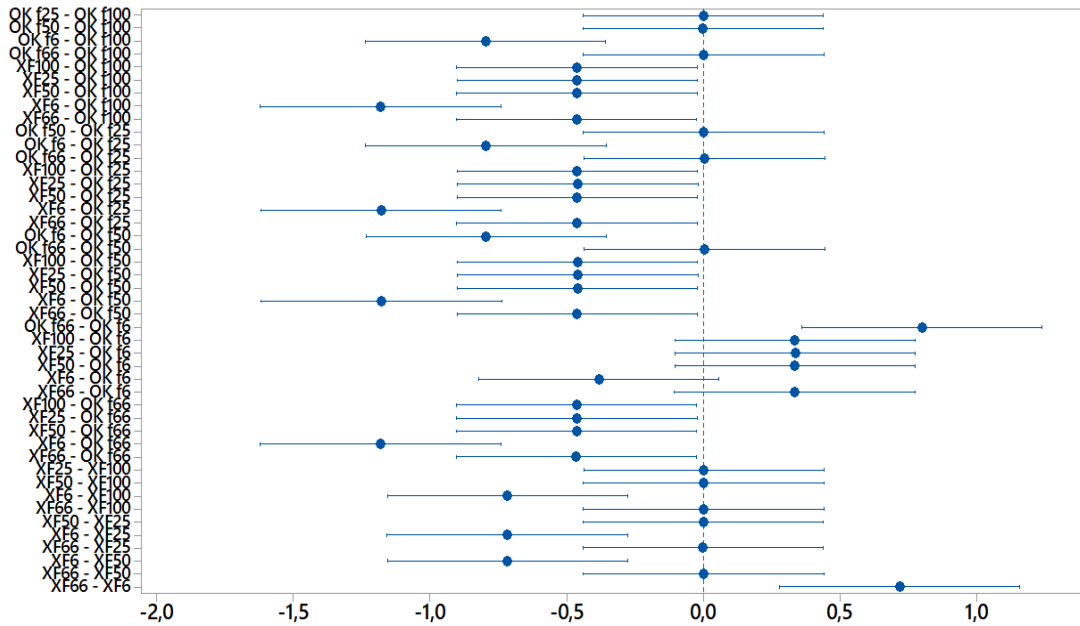


Figura 42. Comparación de Tukey para media.

Con el análisis de varianza se obtiene los siguientes resultados, el p -value es de “cero”, inferior al nivel de significancia $\alpha = 0,05$ seleccionado. Con estos valores se determina que existe una diferencia significativa para las frecuencias de 6 Hz y 66 Hz, aceptándose la hipótesis alternativa. Con este análisis se puede determinar la influencia de las frecuencias mencionadas, al momento del muestreo de las señales.

6.4.7.5 Varianza TPS

La gráfica de probabilidad normal de la figura, los datos no se distribuyen normalmente a lo largo de la recta, debido a cierta asimetría o valores atípicos. De igual forma en los residuos versus ajustes, los datos no están dispersos alrededor del cero de forma aleatoria ya que se observan aglomeraciones, pudiendo ser por la existencia de valores atípicos o no normalidad.

En el histograma se observa que existe una separación en las barras, esto puede estar influyendo en el resultado del análisis. La gráfica de residuos en el orden de observaciones, indica que los datos están dispersos alrededor del cero y los términos de error no están relacionados.

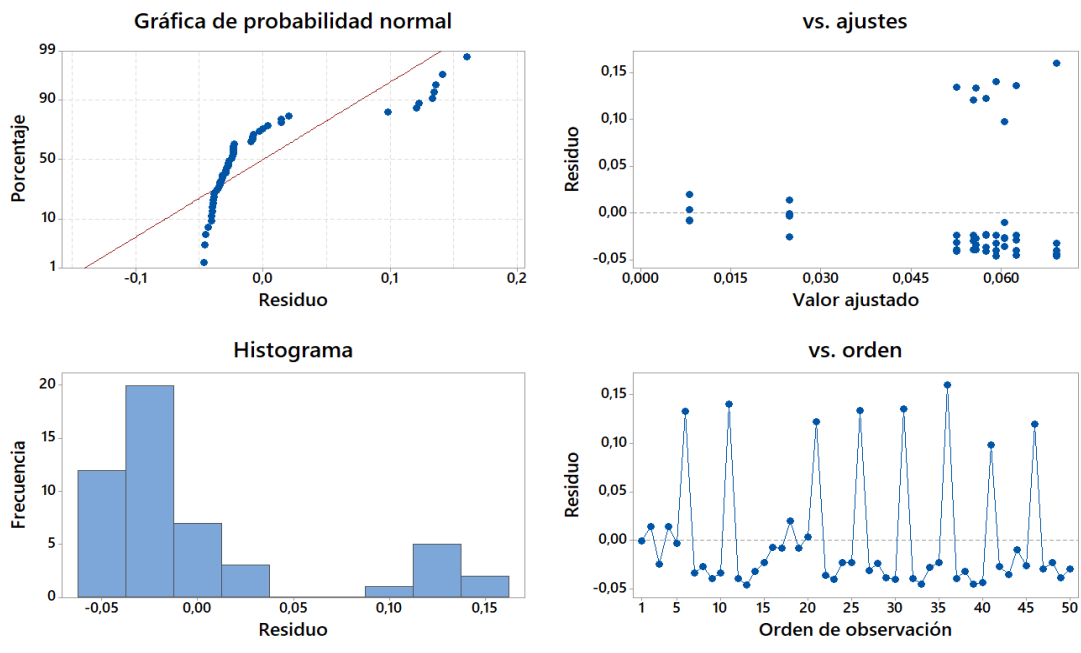


Figura 43. Gráfica de residuos para la Varianza.

En la figura, se observa que las muestras se superponen con el resto, por ello no existe una diferencia significativa entre los datos.

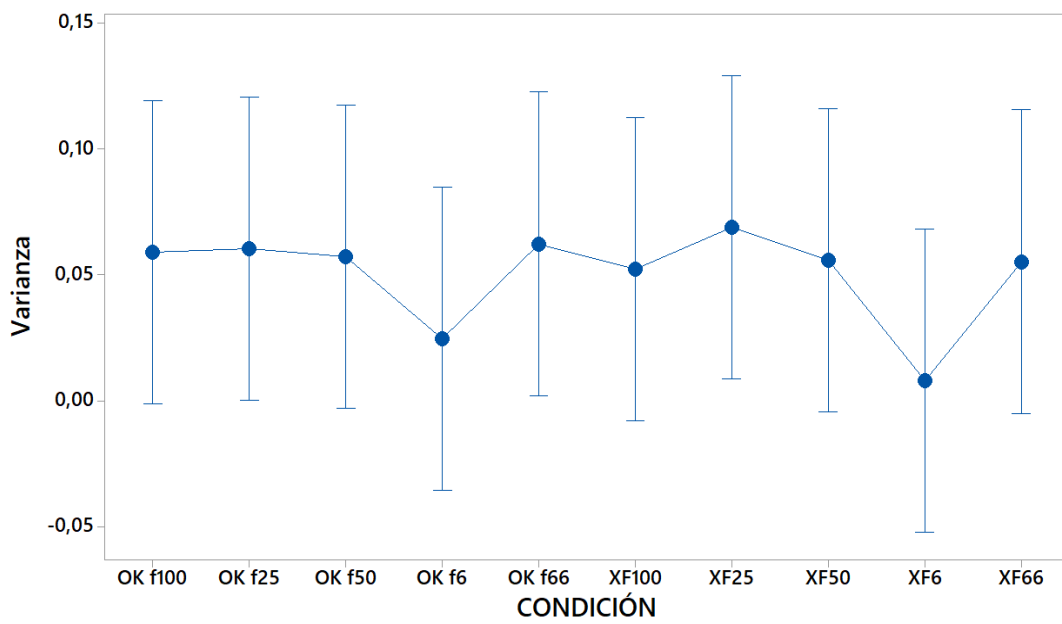


Figura 44. Gráfica de Intervalos de Varianza vs Condición, IC 95%.

En la figura, del análisis de Tukey todos los intervalos incluyen el cero, por ello se determina que no existen diferencias estadísticamente significativas.

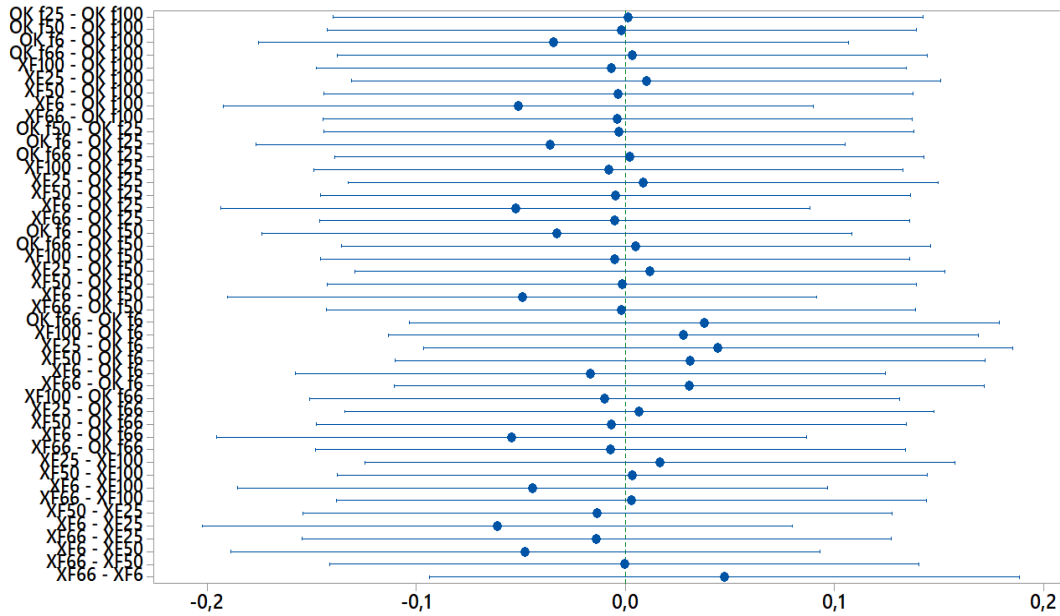


Figura 45. Comparación de Tukey para media.

Con el análisis de varianza se obtiene los siguientes resultados, el p-value es de 0,925 superior al nivel de significancia $\alpha = 0,05$ seleccionado. Con estos resultados, no existe una diferencia significativa para las frecuencias, por lo tanto, se acepta la hipótesis nula. Con estos resultados no se puede determinar la influencia de la frecuencia de muestro debido a la irregularidad de los datos y que no existe diferencias.

6.4.7.6 Desviación Estándar TPS

La gráfica de probabilidad normal de la figura, los datos se distribuyen normalmente a lo largo de la recta, pero presentan debido a cierta irregularidad. En los residuos versus ajustes, los datos están dispersos alrededor del cero, pero se observan aglomeraciones, pudiendo ser por la existencia de valores atípicos o no normalidad.

En el histograma se observa que no existe valores atípicos. La gráfica de residuos en el orden de observaciones, indica que los datos están dispersos alrededor del cero y los términos de error no están relacionados.

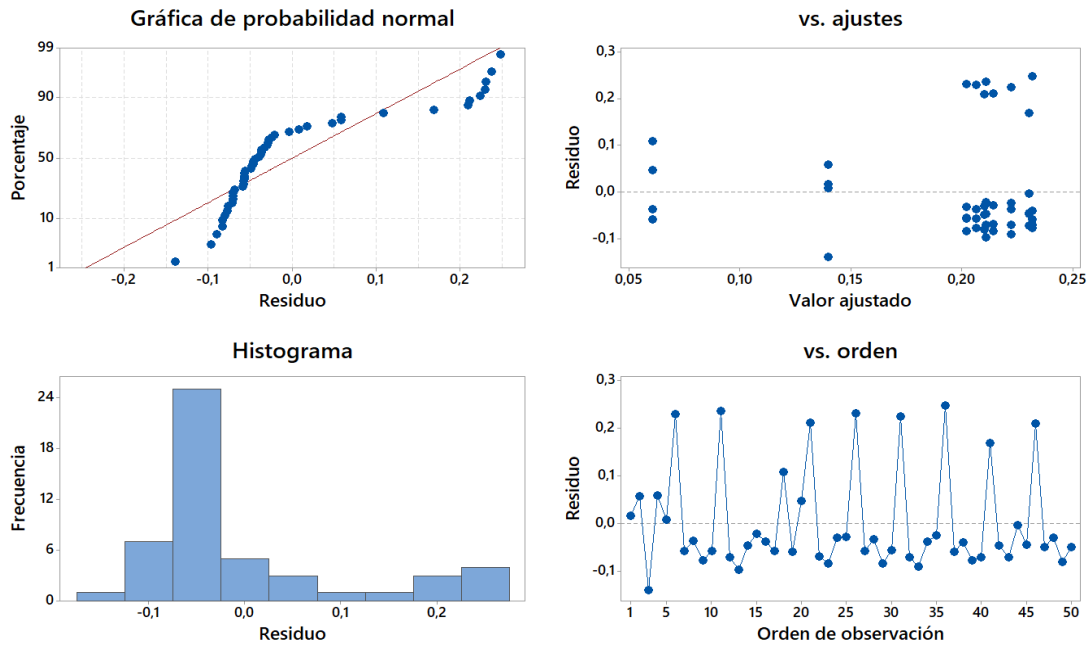


Figura 46. Gráfica de residuos para la Desviación Estándar.

En la figura, se observa que las muestras se sobrepone con el resto, por ello no existe una diferencia significativa entre los datos.

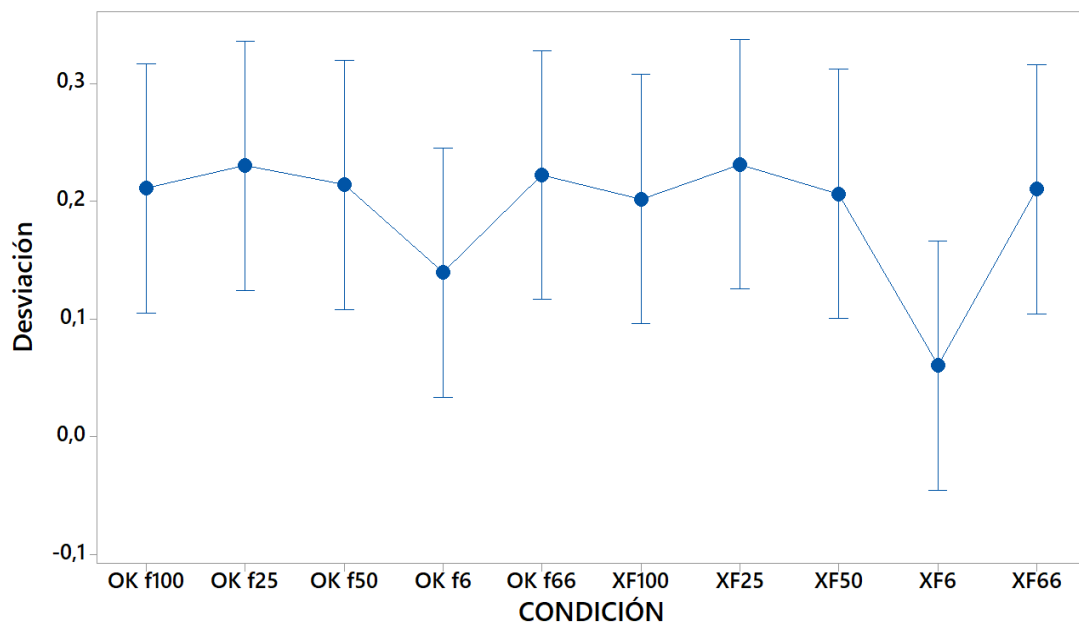


Figura 47. Gráfica de Intervalos de la Desviación Estándar vs Condición, IC 95%.

En la figura, del análisis de Tukey todos los intervalos incluyen el cero, por ello se determina que no existen diferencias estadísticamente significativas.

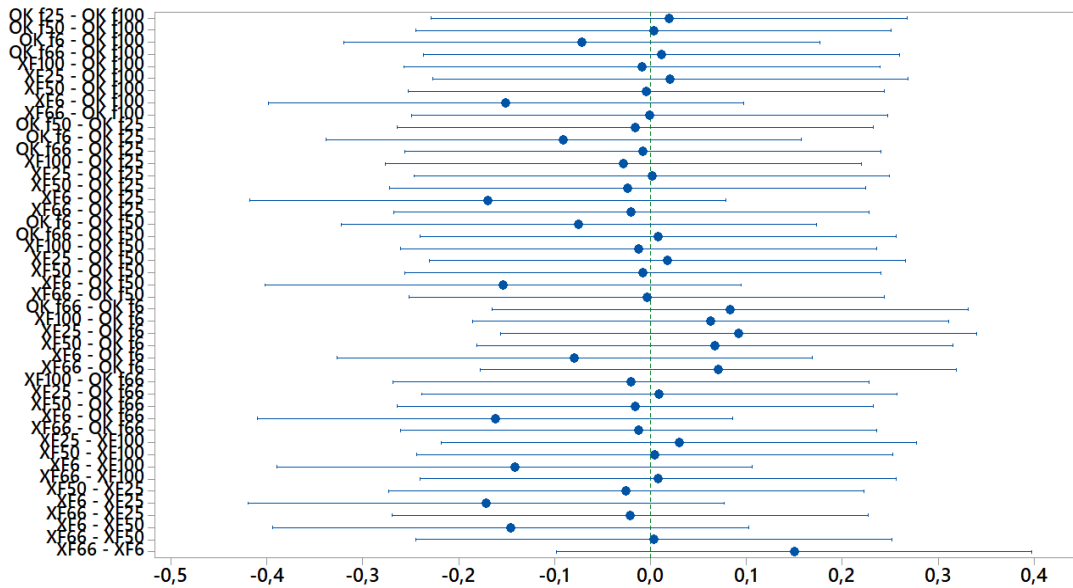


Figura 48. Comparación de Tukey para media.

Con el análisis de varianza se obtiene, el p – value es de 0,433 superior al nivel de significancia $\alpha = 0,05$ seleccionado. Con estos valores se determina que no hay una diferencia significativa para las frecuencias, por lo tanto, se acepta la hipótesis nula. Con estos resultados no se puede determinar la influencia de la frecuencia de muestro.

6.4.7.7 Kurtosis TPS

La gráfica de probabilidad normal de la figura, los datos no se distribuyen normalmente a lo largo de la recta, debido a valores atípicos. En los residuos versus ajustes, los datos están dispersos alrededor del cero, pero se observan pocas aglomeraciones y el patrón tiene forma cónica, pudiendo ser por la existencia de valores atípicos o no normalidad.

En el histograma se observa que existe una cola debido a la asimetría. La gráfica de residuos en el orden de observaciones, indica que los datos están dispersos alrededor del cero y los términos de error no están relacionados.

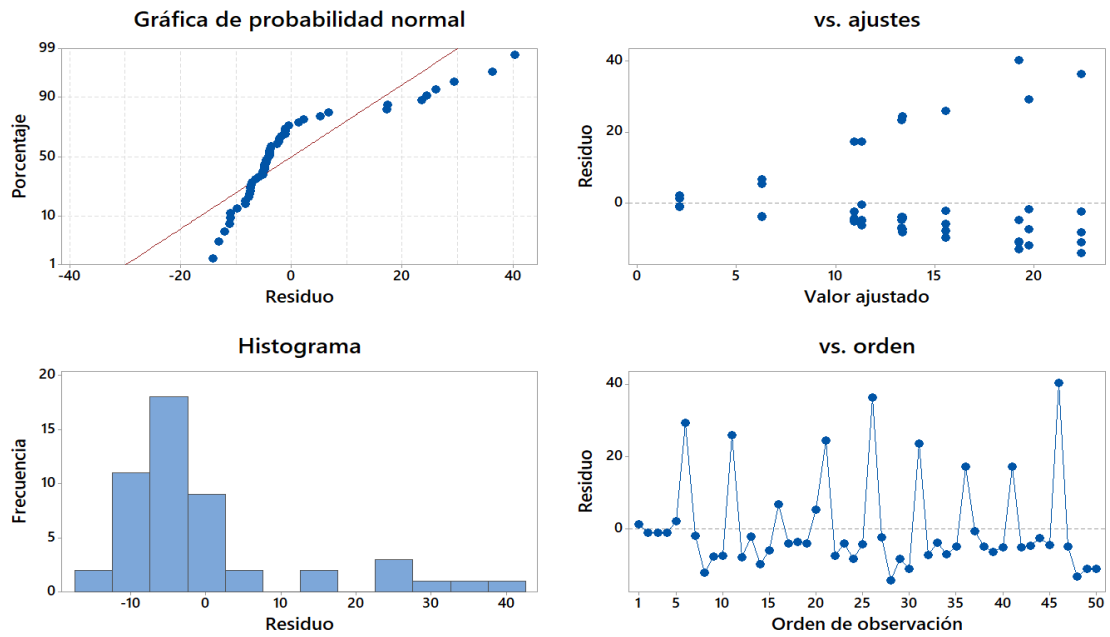


Figura 49. Gráfica de residuos para la Desviación Estándar.

En la figura, se observa que las muestras se sobrepone con el resto, por ello no existe una diferencia significativa entre los datos.

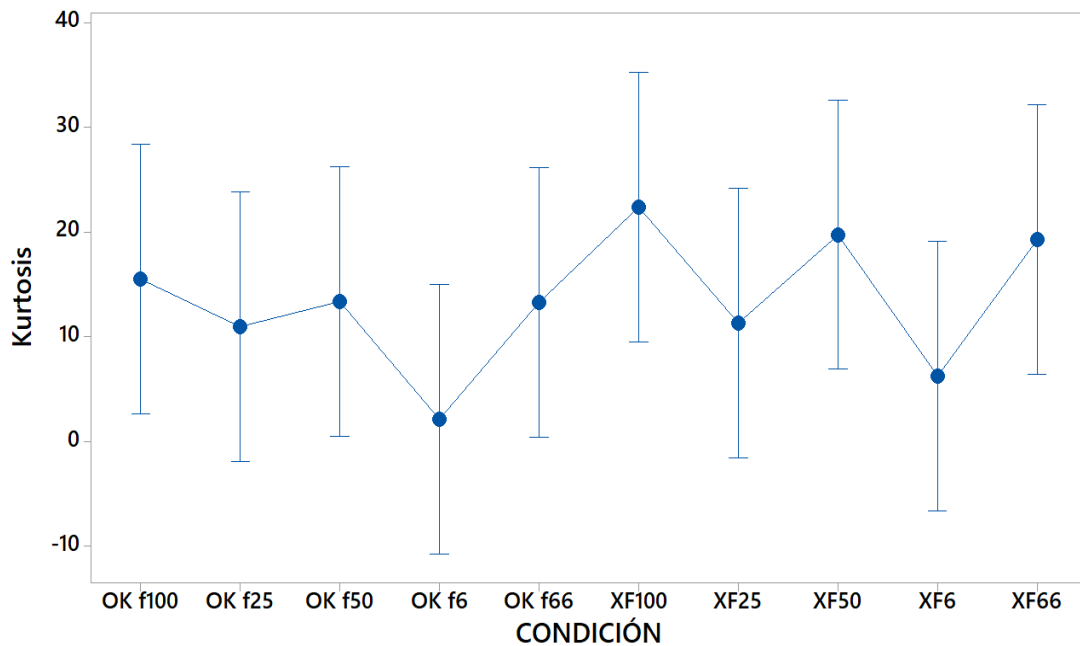


Figura 50. Gráfica de Intervalos de Kurtosis vs Condición, IC 95%.

En la figura, del análisis de Tukey todos los intervalos incluyen el cero, por ello no existen diferencias estadísticamente significativas.

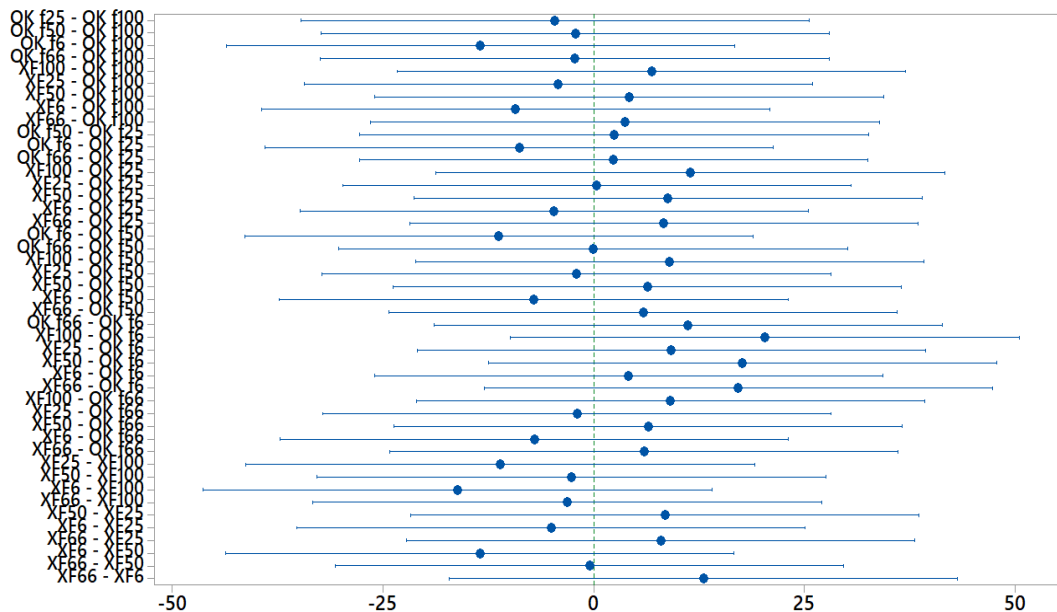


Figura 51. Comparación de Tukey para media.

Con el análisis de varianza se obtiene el p – value de 0,491 superior al nivel de significancia $\alpha = 0,05$ seleccionado. Con estos valores se concluye que no existe una diferencia significativa para las frecuencias, y se acepta la hipótesis nula. Con estos resultados no se puede determinar la influencia de la frecuencia de muestro.

6.4.8 Sensor MAP

6.4.8.1 Energía MAP

En la gráfica de distribución normal de la figura, se presenta residuos versus sus valores esperados para los datos de energía, los residuos siguen la recta y no hay evidencia de irregularidades en los datos.

En la gráfica de residuos y valores ajustados, los residuos están dispersos alrededor del cero, por lo tanto, no hay varianza no constante o valores atípicos.

En el histograma se muestra la distribución de los residuos para las observaciones, siendo así no existe asimetría o valores atípicos. La gráfica de residuos en el orden de observaciones, esta gráfica es de gran utilidad cuando el orden de las observaciones puede alterar los resultados, esto ocurre cuando las muestras son recolectadas en una secuencia establecida. Para los datos de energía, los residuos están dispersos alrededor del cero, no existe evidencia correlación de error.

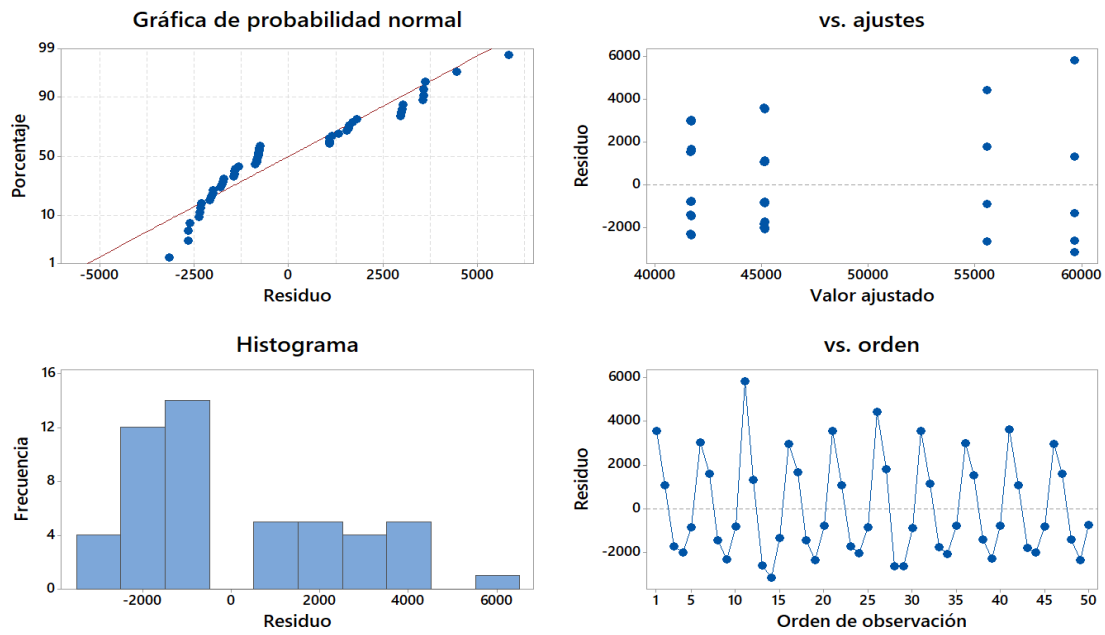


Figura 52. Gráfica de residuos para la Energía.

En la figura de intervalos de medias de nivel ICs, se observa que la muestra de la frecuencia de 6 Hz no se sobrepone con las demás, esto significa que existe diferencia significativa en las medias.

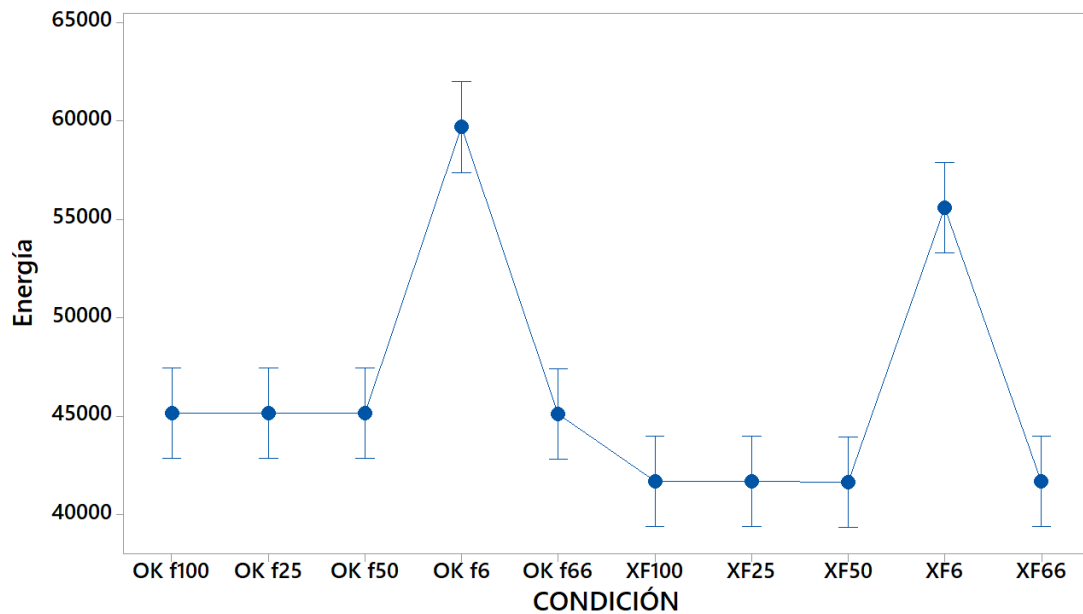


Figura 53. Gráfica de Intervalos de Energía vs Condición, IC 95%.

Con el método de Tukey se compara las medias, como se observa en la figura, la frecuencia de 6hz está en un rango que no incluye el cero, esto indica una diferencia significativa de las medias.

Los intervalos de confianza que incluyen cero, indican que las diferencias no son significativas.

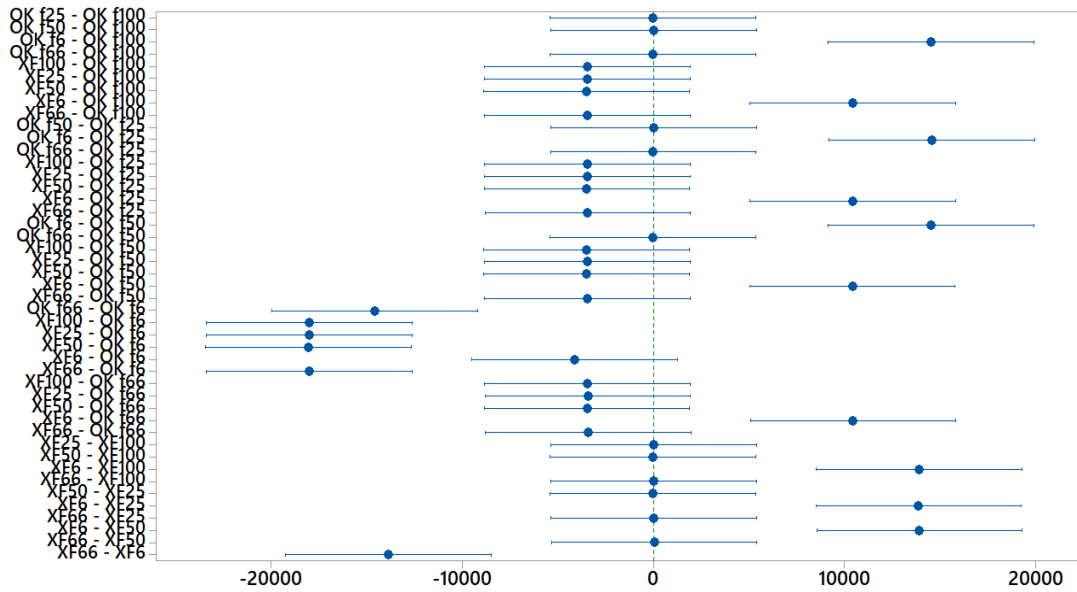


Figura 54. Comparación de Tukey para media.

El resultado del análisis de varianza entrega un p – value igual a cero, que es inferior al nivel de significancia $\alpha = 0,05$ seleccionado para el análisis. Existe una diferencia significativa para la frecuencia de 6 Hz, por lo tanto, se acepta la hipótesis alternativa y se determina que esa frecuencia influye al momento de tomar datos.

6.4.8.2 Potencia MAP

En la figura de probabilidad, los puntos se distribuyen normalmente a lo largo de la línea recta, entonces, no se evidencia asimetría o valores atípicos. De igual forma, los residuos están aleatoriamente dispersos alrededor del cero, por lo tanto, no existe varianza no constante, valores atípicos o términos faltantes.

En el histograma se observa que no existe asimetría o valores atípicos. En la gráfica de residuos en el orden de observaciones, los datos de potencia están dispersos alrededor del cero y no existe relación alguna entre los datos.

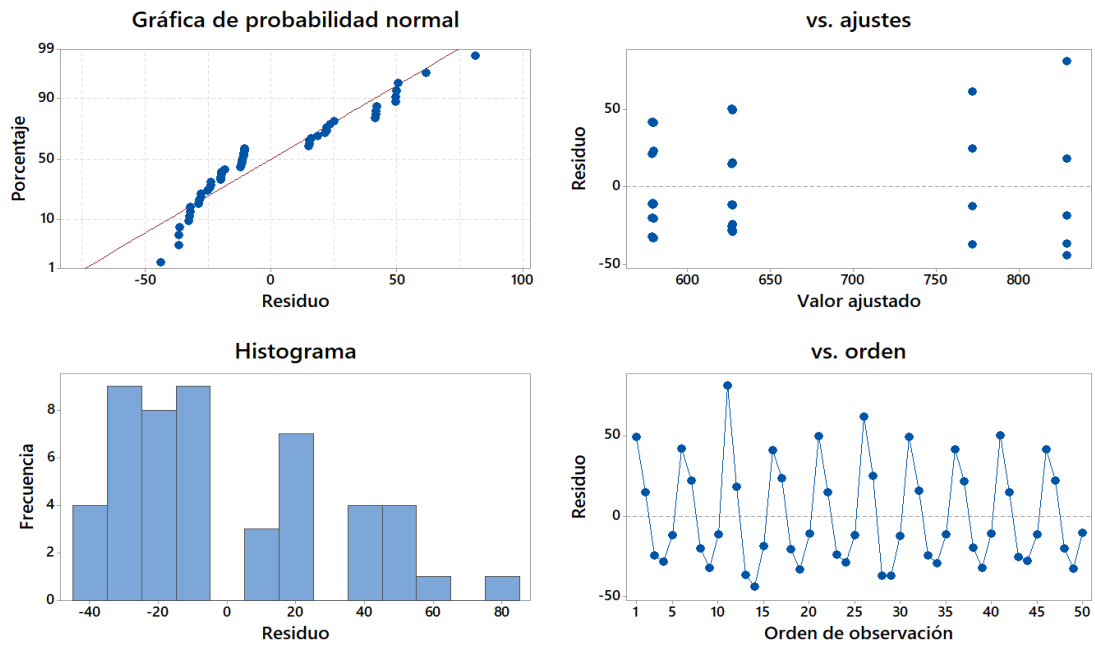


Figura 55. Gráfica de residuos para la Potencia.

En la figura de nivel ICs, se observa como en el caso anterior, que la muestra de la frecuencia de 6 Hz no se sobrepone con las demás, existiendo diferencias significativas.

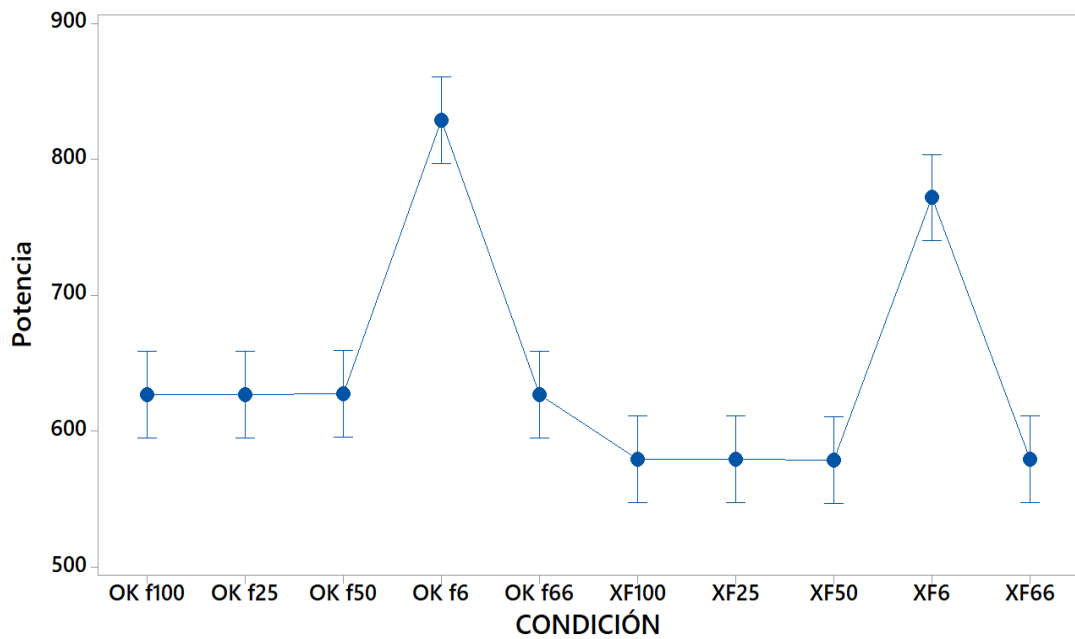


Figura 56. Gráfica de Intervalos de Potencia vs Condición, IC 95%.

En la figura, la frecuencia de 6 Hz no incluye el cero, esto indica que existe una diferencia entre estas medias.

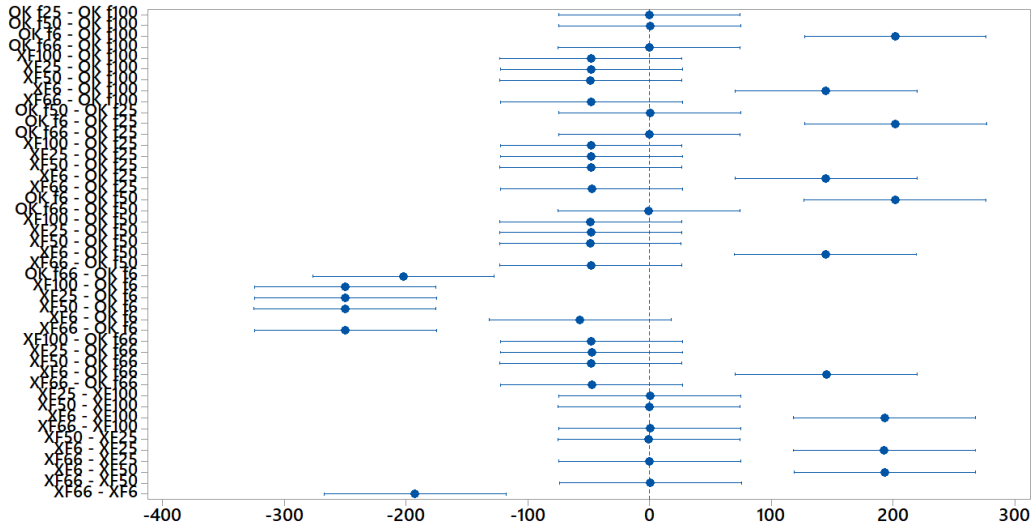


Figura 57. Comparación de Tukey para media.

El análisis de varianza presenta los siguientes resultados, el p – value para los datos de potencia es de “cero” siendo inferior al nivel de significancia $\alpha = 0,05$ seleccionado. Con estos valores se concluye que existe en la frecuencia de 6 Hz una diferencia significativa; se acepta la hipótesis alternativa. Con este análisis se puede determinar la influencia de la frecuencia mencionada.

6.4.8.3 Media MAP

La gráfica de probabilidad normal de la figura, la mayoría de datos se distribuyen normalmente a lo largo de la recta, por lo tanto, no se evidencia valores atípicos. En la gráfica de residuos versus ajustes, los datos están dispersos alrededor del cero de forma aleatoria, es así que no existe varianza no constante o términos faltantes.

En el histograma se observa que existe una separación en las barras, pero no existen valores atípicos. La gráfica de residuos en el orden de observaciones, indica que los datos están dispersos alrededor del cero y los términos de error no están relacionados.

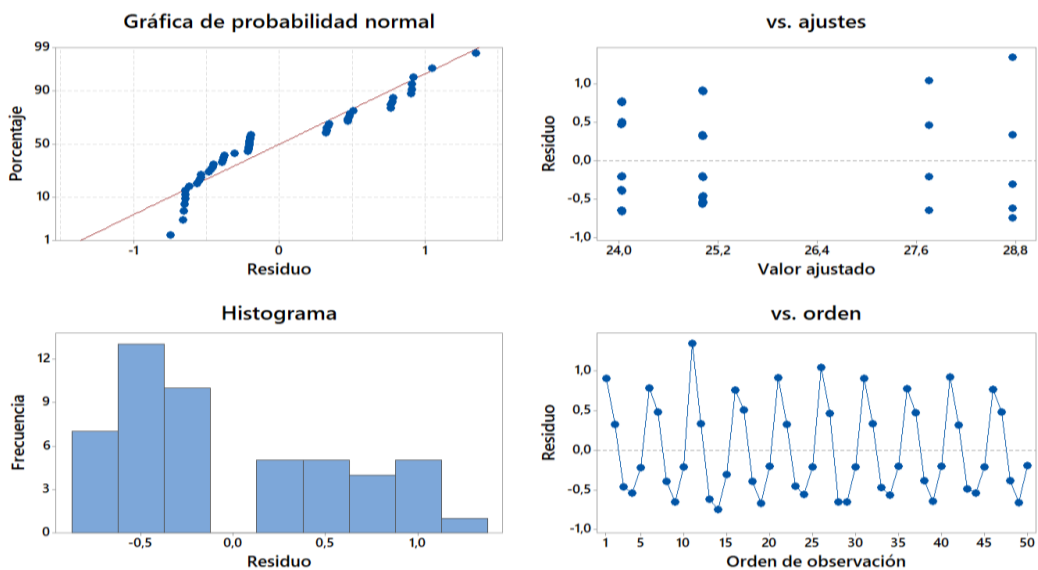


Figura 58. Gráfica de residuos para la Media.

En la figura, se observa que la muestra con frecuencia de 6 Hz no se sobrepone con el resto; existiendo una diferencia significativa entre los datos.

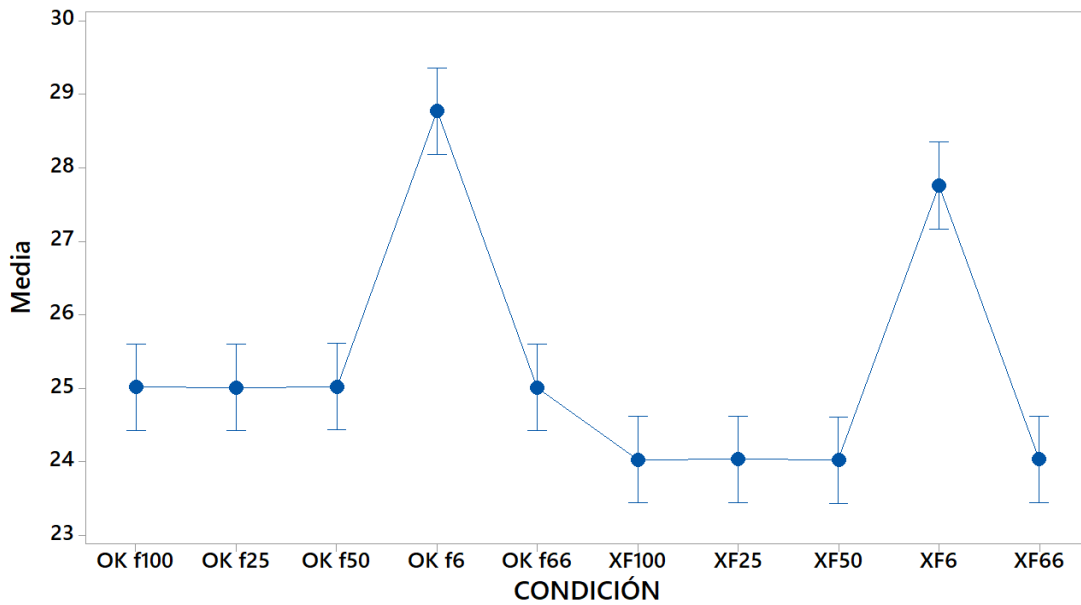


Figura 59. Gráfica de Intervalos de Media vs Condición, IC 95%.

La figura, del análisis de Tukey ciertos intervalos no incluyen el cero, entonces se determina que existen diferencias significativas, el resto de intervalos incluyen cero por esta razón no presentan diferencias significativas.

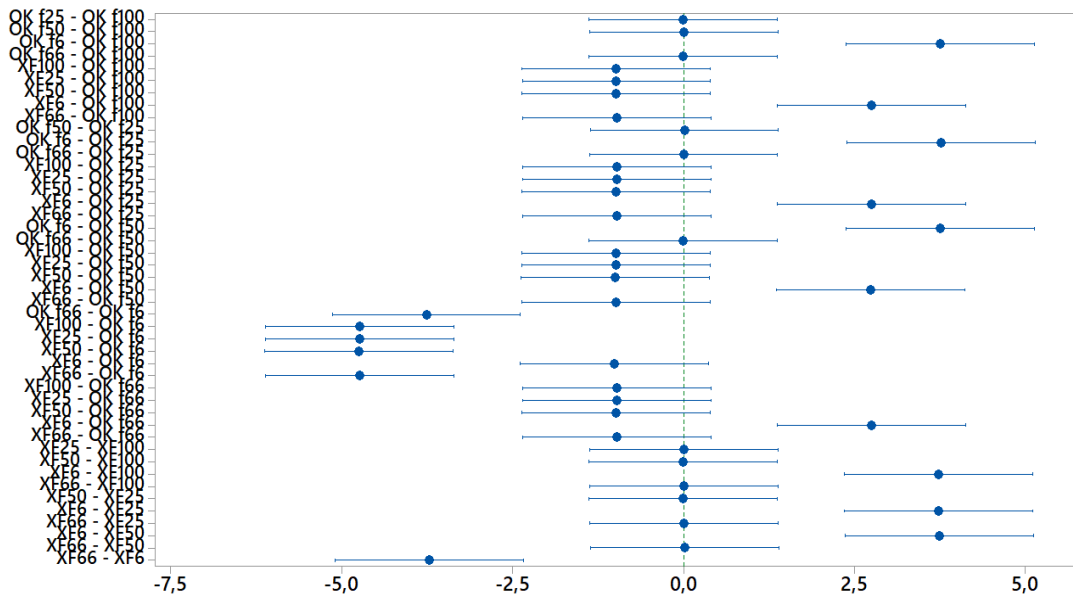


Figura 60. Comparación de Tukey para media.

Los resultados del análisis de varianza son, el p –value es de “cero”, inferior al nivel de significancia $\alpha = 0,05$ seleccionado. Con estos valores se concluye que existe una diferencia para la frecuencia de 6 Hz, entonces, se acepta la hipótesis alternativa. Con este análisis se determina la influencia de la frecuencia mencionada, al momento del muestreo de las señales.

6.4.8.4 Media Recortada MAP

La función Media Recortada permite eliminar un porcentaje de las muestras en la parte máxima y mínima, en este caso se recorta las muestras en un 5%. Este análisis particular se realiza para verificar que los resultados de la prueba anterior (Media) no estén influenciado por la presencia de ruido.

En la gráfica de probabilidad normal los datos se distribuyen normalmente, por lo tanto, no se evidencia valores irregulares. En la gráfica de residuos versus ajustes, los datos están dispersos alrededor del cero de forma aleatoria, es así que no existe valores atípicos.

En el histograma se observa que existe una separación en las barras, pero no existen valores atípicos. La gráfica de residuos en el orden de observaciones, indica que los datos están dispersos alrededor del cero.

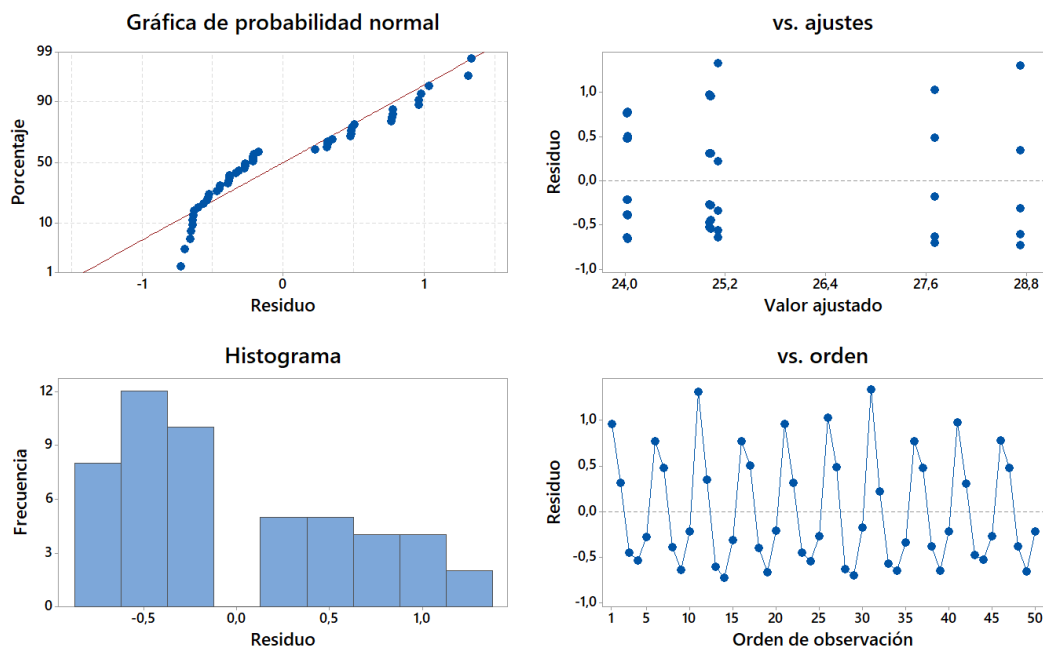


Figura 61. Gráfica de residuos para la Media Recortada.

En la figura, se observa que la frecuencia de 6 Hz no se sobrepone con el resto; existiendo una diferencia significativa.

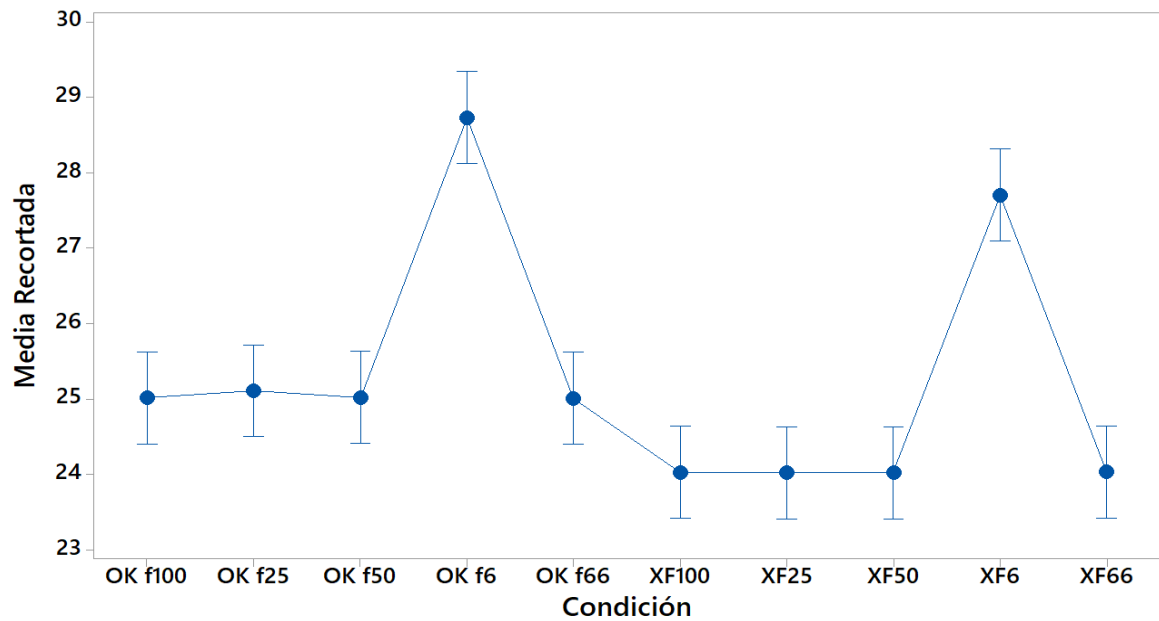


Figura 62. Gráfica de Intervalos para la Media Recortada vs Condición, IC 95%.

La figura, del análisis de Tukey algunos intervalos no incluyen el cero por ello existen diferencias significativas, el resto de intervalos incluyen cero por esta razón no presentan diferencias.

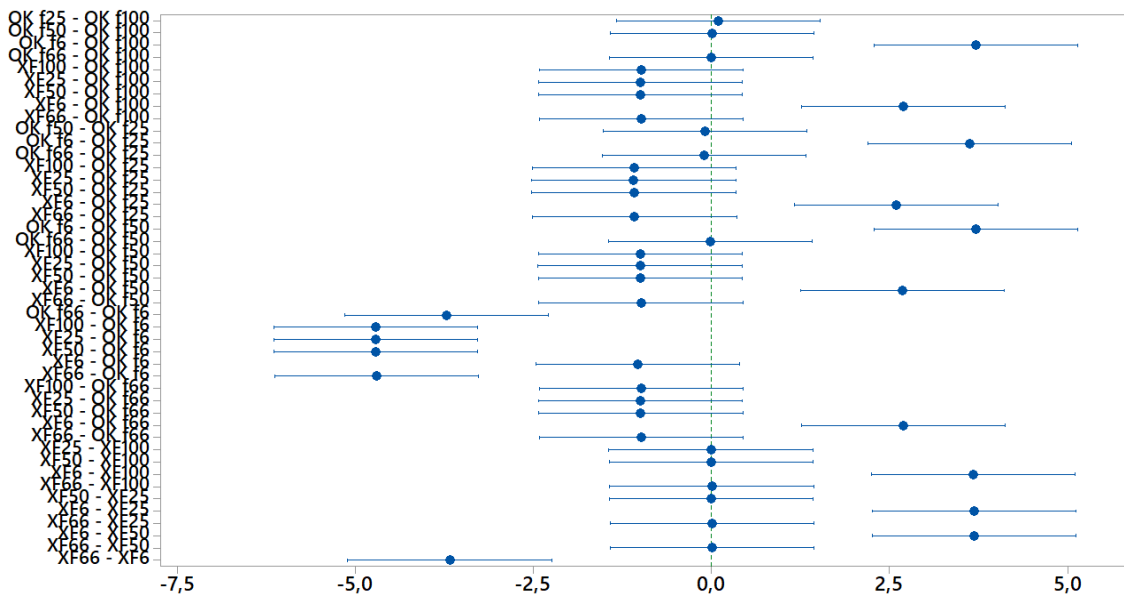


Figura 63. Comparación de Tukey para Media Recortada.

Los resultados del análisis de varianza son, el p – value es de “cero”, inferior al nivel de significancia $\alpha = 0,05$ seleccionado. Con estos valores se concluye que existe una diferencia para la frecuencia de 6 Hz, aceptando la hipótesis alternativa. Con este análisis se verifica la influencia de la frecuencia mencionada en el muestreo de la señal. El análisis verifica que los resultados obtenidos con la Media no están influenciados por la presencia de ruido, es así que se aceptan estos valores en el resultado final de la prueba.

6.4.8.5 RMS MAP

La gráfica de probabilidad normal de la figura, los datos se distribuyen normalmente a lo largo de la recta, no se evidencia alguna asimetría o valores atípicos. En los residuos y ajustes, los valores están dispersos alrededor de cero aleatoriamente, es así que no existe varianza no constante, valores atípicos o términos faltantes.

En el histograma se observa que existe una separación en las barras, pero no representan problemas en el análisis. La gráfica de residuos en el orden de observaciones, indica que los datos están dispersos alrededor del cero y los términos de error no están relacionados entre sí.

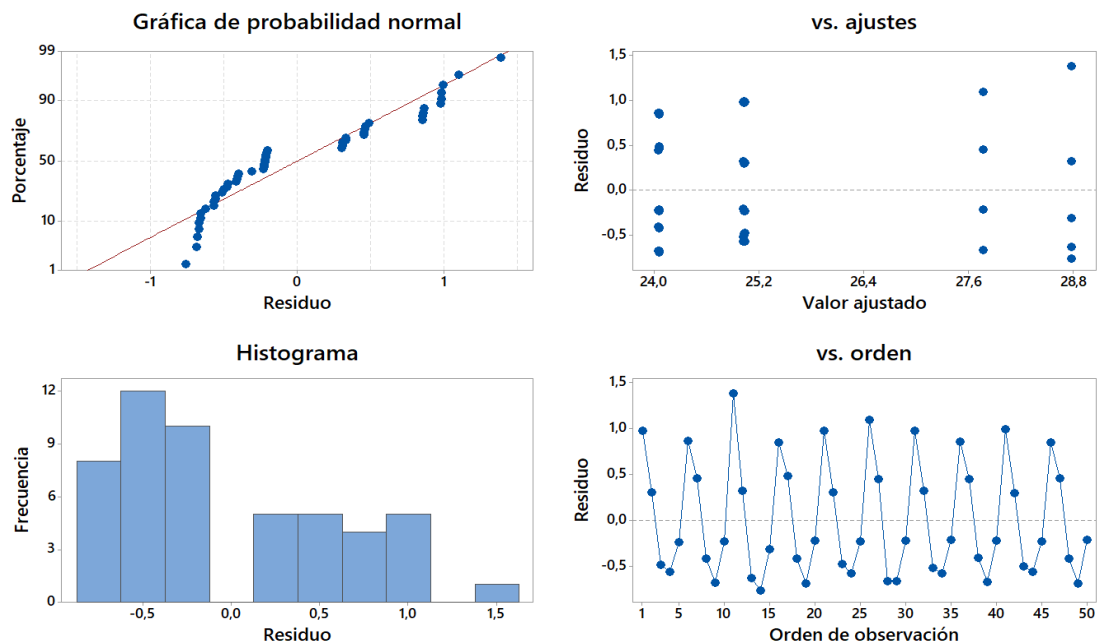


Figura 64. Gráfica de residuos para el RMS.

En la figura, se observa que con una frecuencia de 6 Hz no se superponen con el resto, existiendo una diferencia significativa entre los datos. Este patrón se repite constantemente en los análisis anteriores, siendo esta frecuencia la que presenta mayor influencia en la toma de datos.

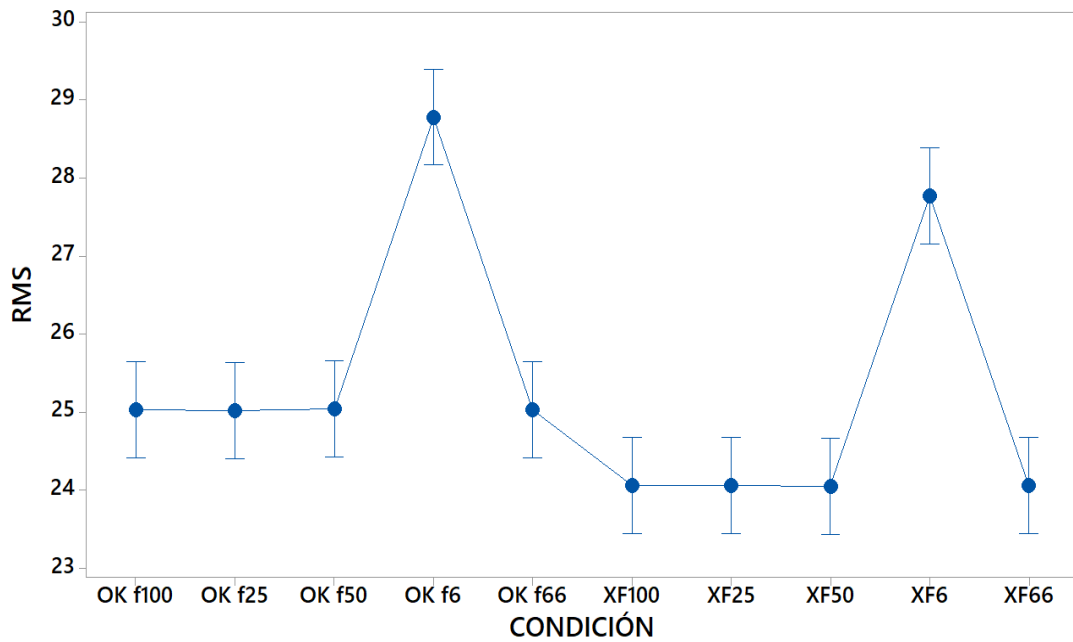


Figura 65. Gráfica de Intervalos de RMS vs Condición, IC 95%.

En la figura, del análisis de Tukey ciertos intervalos no incluyen el cero, por ello se determina que existen diferencias estadísticamente significativas, el resto de intervalos al incluir el cero no presentan diferencias.

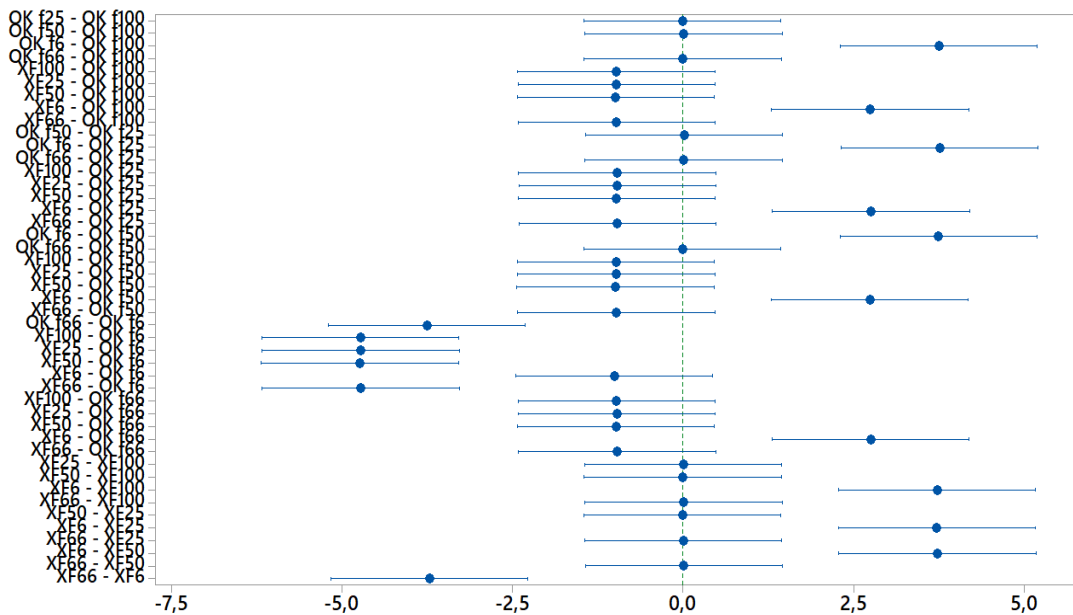


Figura 66. Comparación de Tukey para media.

Con el análisis de varianza se obtiene los siguientes resultados, el p-value es de “cero”, inferior al nivel de significancia $\alpha = 0,05$ seleccionado. Con estos valores se concluye que existe una diferencia significativa para las frecuencias de 6 Hz, por lo tanto, se acepta la hipótesis alternativa. Con este análisis se puede determinar la influencia de las frecuencias mencionadas, al momento del muestreo de las señales.

6.4.8.6 Varianza MAP

La gráfica de probabilidad normal de la figura, indica que los datos no se distribuyen normalmente, debido a irregularidades en los datos. De igual forma en los residuos versus ajustes, los datos están dispersos alrededor del cero de forma aleatoria, pero se observan aglomeraciones, pudiendo ser por la existencia de valores atípicos o no normalidad.

En el histograma se observa que existe una separación en las barras, esto puede estar influyendo en el resultado del análisis. La gráfica de residuos en el orden de observaciones, indica que los datos están dispersos alrededor del cero y los términos de error no están relacionados.

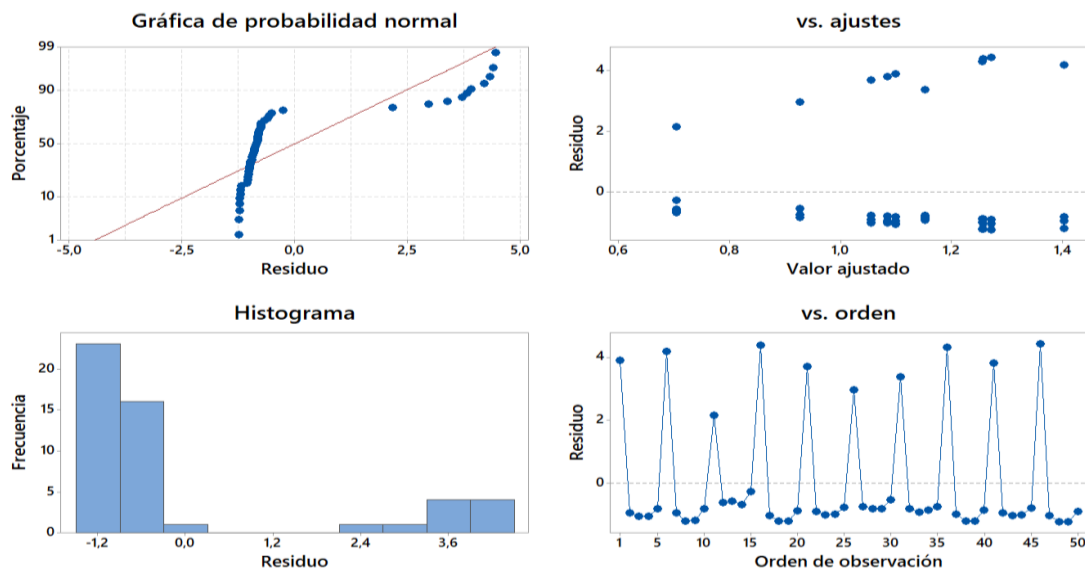


Figura 67. Gráfica de residuos para la Varianza.

En la figura, se observa que las muestras incluyen el cero, por lo tanto, no existe una diferencia significativa entre los datos.

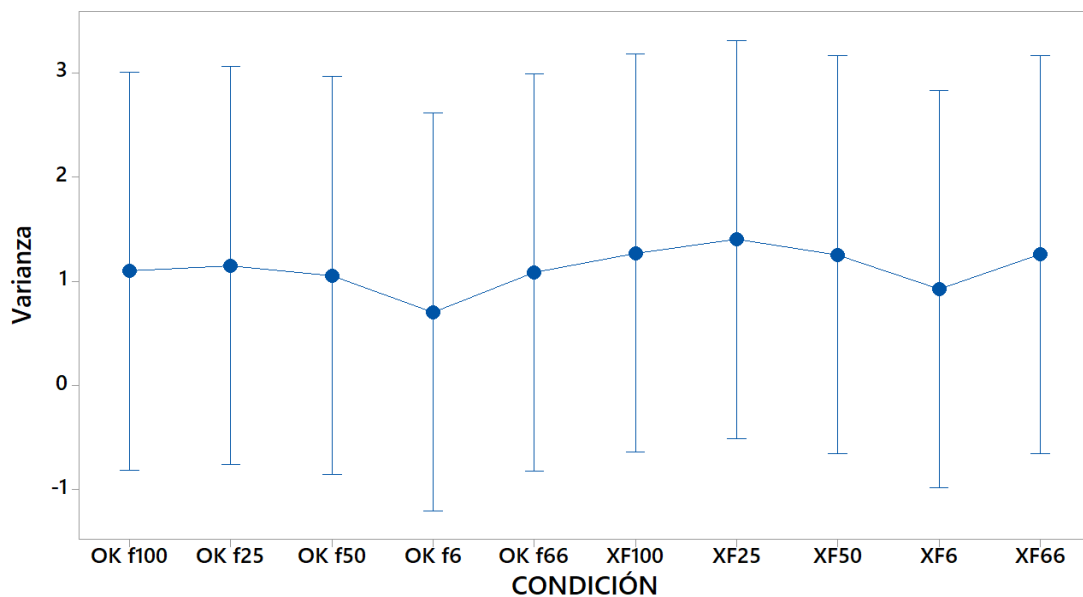


Figura 68. Gráfica de Intervalos de Varianza vs Condición, IC 95%.

En la figura, del análisis de Tukey los intervalos incluyen el cero, entonces no existen diferencias estadísticamente significativas.

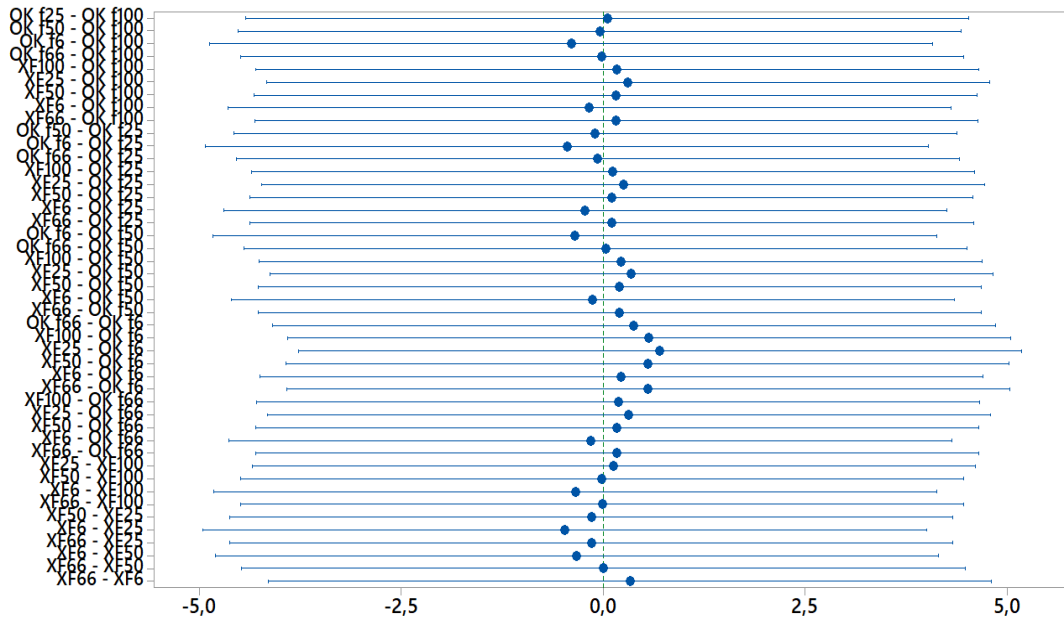


Figura 69. Comparación de Tukey para media.

Con el análisis de varianza se obtiene, el p – value es de “1” superior al nivel de significancia $\alpha = 0,05$ seleccionado. Se concluye que no existe una diferencia significativa para las frecuencias, por lo tanto, se acepta la hipótesis nula. Con estos resultados no se puede determinar la influencia de la frecuencia de muestro.

6.4.8.7 Desviación Estándar MAP

La gráfica de probabilidad normal de la figura, los datos no se distribuyen normalmente a lo largo de la recta, debido a cierta asimetría o valores atípicos. En los residuos versus ajustes, los datos están dispersos alrededor del cero, pero se observan pequeñas aglomeraciones.

En el histograma se observa que no existe valores atípicos. La gráfica de residuos en el orden de observaciones, indica que los datos están dispersos alrededor del cero y no hay relación en los términos de error.

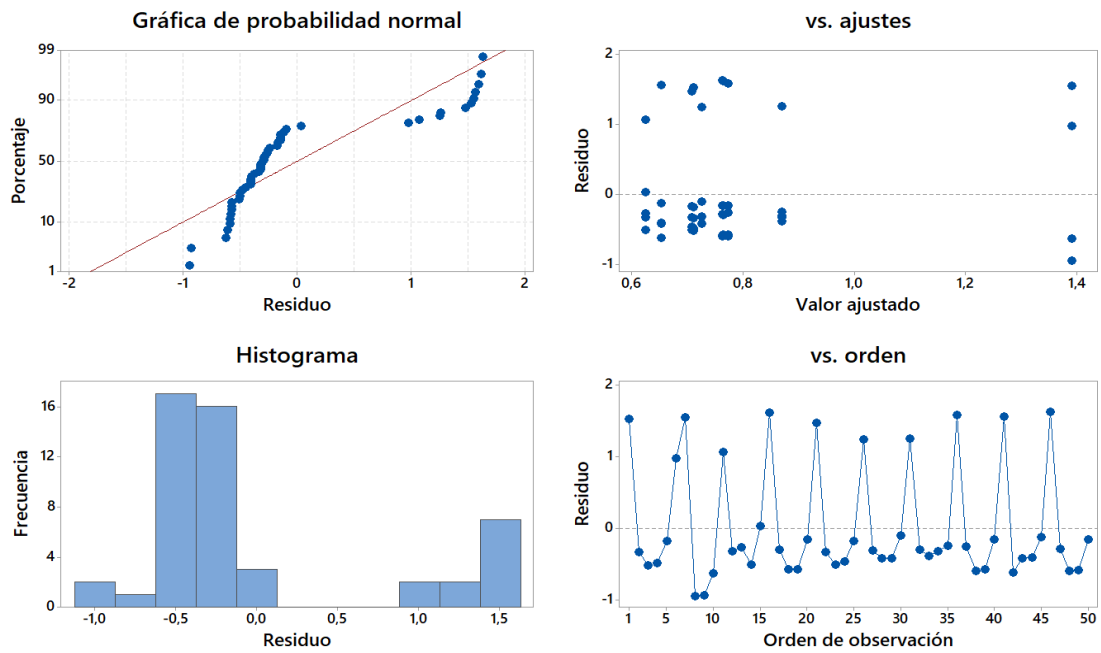


Figura 70. Gráfica de residuos para la Desviación Estándar.

En la figura, se observa que todas las muestras se sobrepone, por ello no existe una diferencia significativa entre los datos.

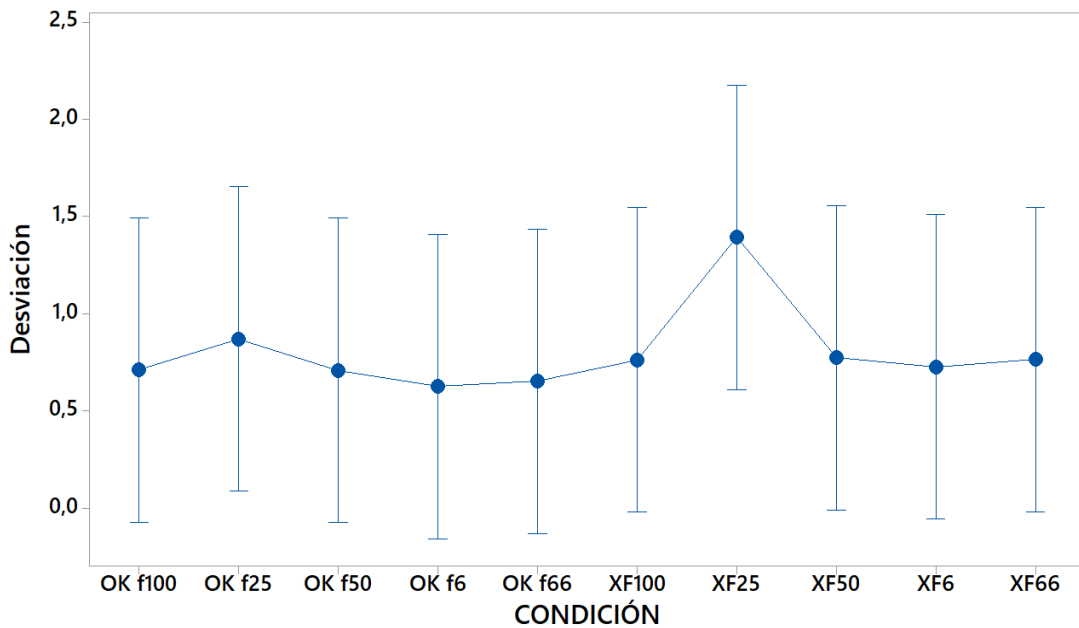


Figura 71. Gráfica de Intervalos de Desviación Estándar vs Condición, IC 95%.

En la figura, del análisis de Tukey todos los intervalos incluyen el cero, por ello no existen diferencias estadísticamente significativas.

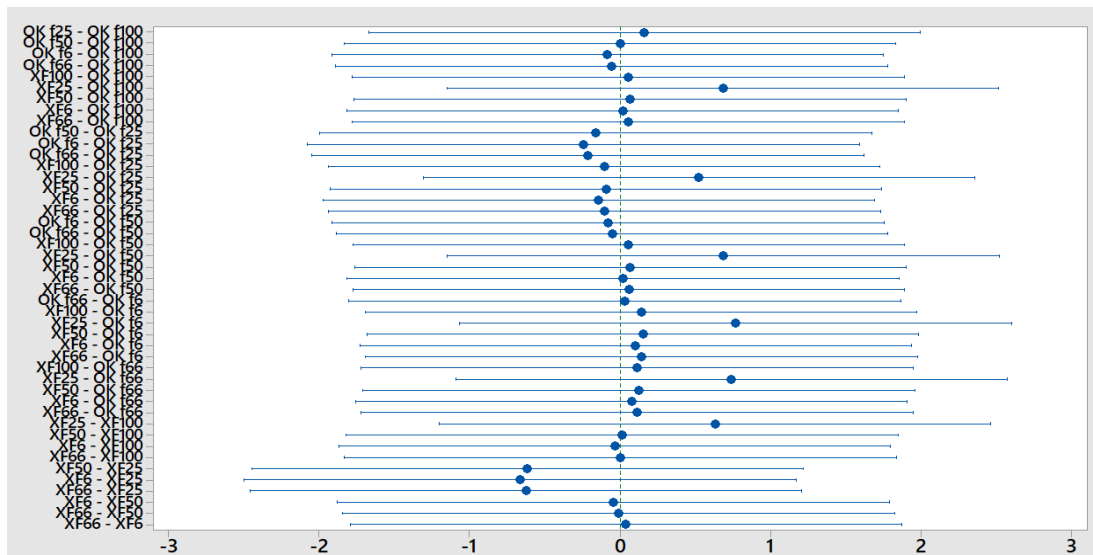


Figura 72. Comparación de Tukey para media.

Con el análisis de varianza se obtiene los siguientes resultados, el p-value es de 0,964 superior al nivel de significancia $\alpha = 0,05$ seleccionado. No existe una diferencia significativa para las frecuencias, por lo tanto, se acepta la hipótesis nula. Con estos resultados no se puede determinar la influencia de la frecuencia de muestro.

6.4.8.8 Kurtosis MAP

La gráfica de probabilidad normal de la figura, los datos se distribuyen normalmente a lo largo de la recta, no se evidencia alguna asimetría o valores atípicos. En los residuos versus ajustes, los datos están dispersos alrededor del cero, pero se observan mínimas aglomeraciones.

En el histograma se observa que no existe valores atípicos. La gráfica de residuos en el orden de observaciones, indica que los datos están dispersos alrededor del cero y los términos de error no están relacionados.

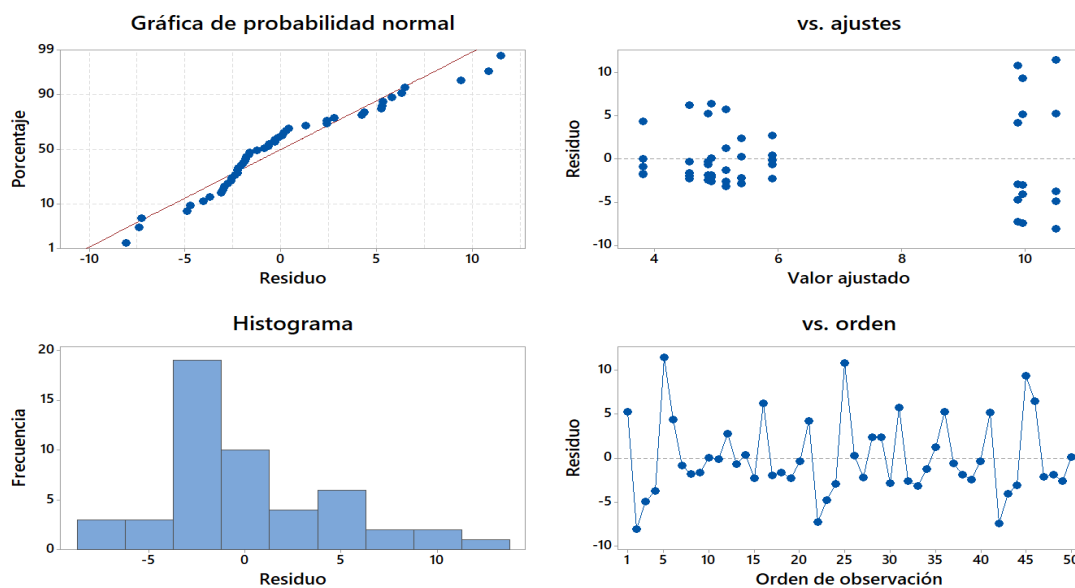


Figura 73. Gráfica de residuos para la Kurtosis.

En la figura, se observa que las muestras se sobreponen con el resto, por ello no existe una diferencia significativa entre los datos.

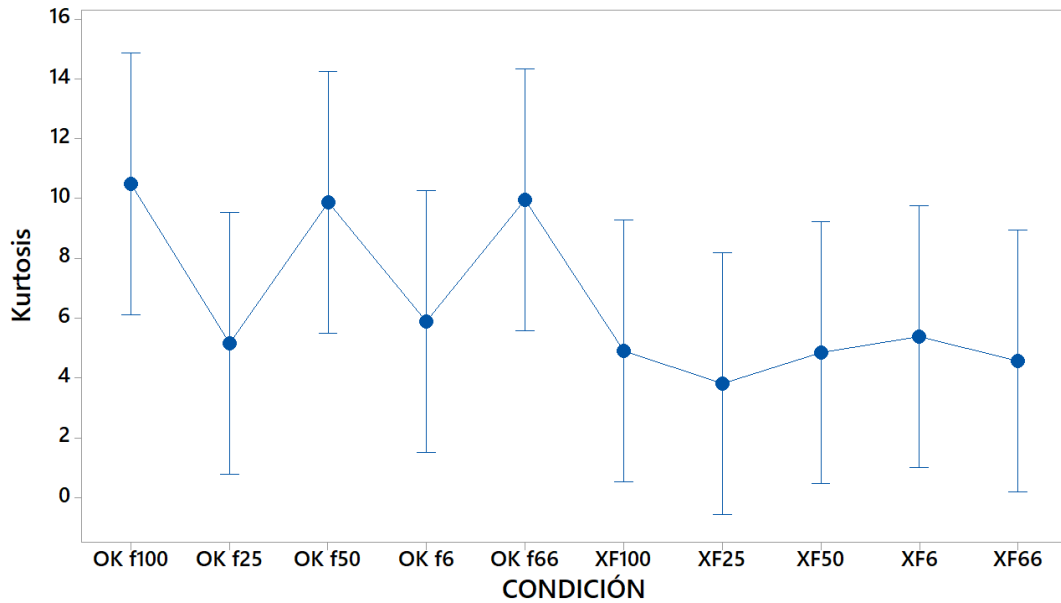


Figura 74. Gráfica de Intervalos de Kurtosis vs Condición, IC 95%.

En la figura, del análisis de Tukey todos los intervalos incluyen el cero, por ello no existen diferencias significativas.

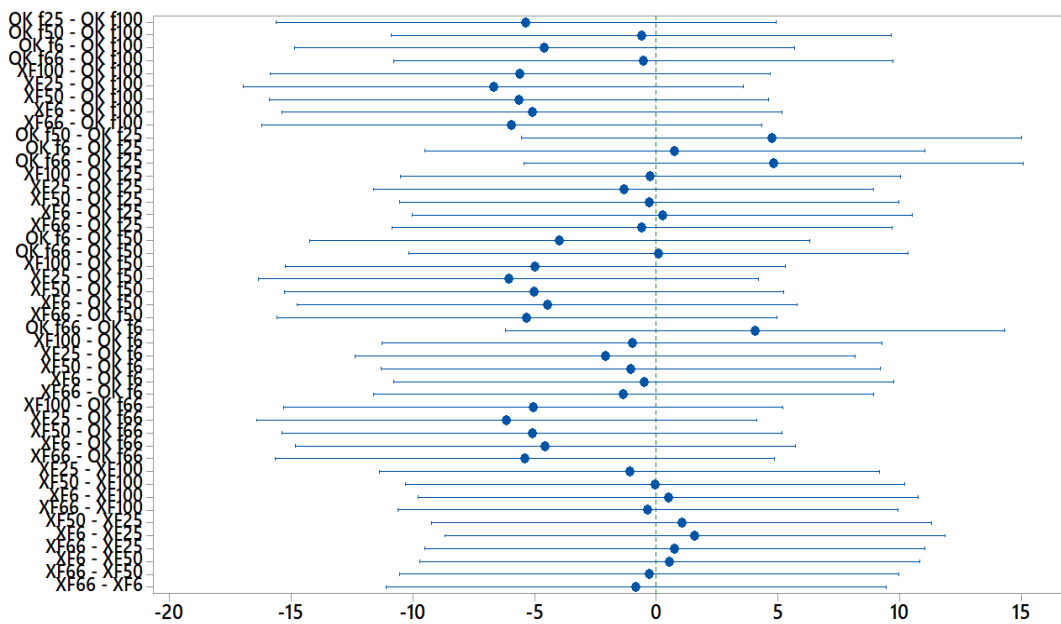


Figura 75. Comparación de Tukey para media.

Con el análisis de varianza se obtiene el p – value de 0,224 superior al nivel de significancia $\alpha = 0,05$ seleccionado. Con estos valores se concluye que no existe una diferencia significativa para las frecuencias, por lo tanto, se acepta la hipótesis nula. Con estos resultados no se puede determinar la influencia de la frecuencia de muestro.

6.4.9 Sensor de Oxígeno (O2)

6.4.9.1 Energía O2

En la gráfica de distribución normal de la figura, se presenta residuos y sus valores esperados para los datos de energía, los residuos siguen la recta y no hay evidencia de irregularidades en los datos. En la gráfica de residuos y valores ajustados, los residuos están dispersos alrededor del cero, por lo tanto, no hay varianza no constante o valores atípicos.

En el histograma se muestra la distribución de los residuos para las observaciones, siendo así no existe asimetría o valores atípicos. La gráfica de residuos en el orden de observaciones, esta gráfica es de gran utilidad cuando el orden de las observaciones puede alterar los resultados, esto ocurre cuando las muestras son recolectadas en una secuencia establecida. Para los datos de energía, los residuos están dispersos alrededor del cero, no existe evidencia correlación de error.

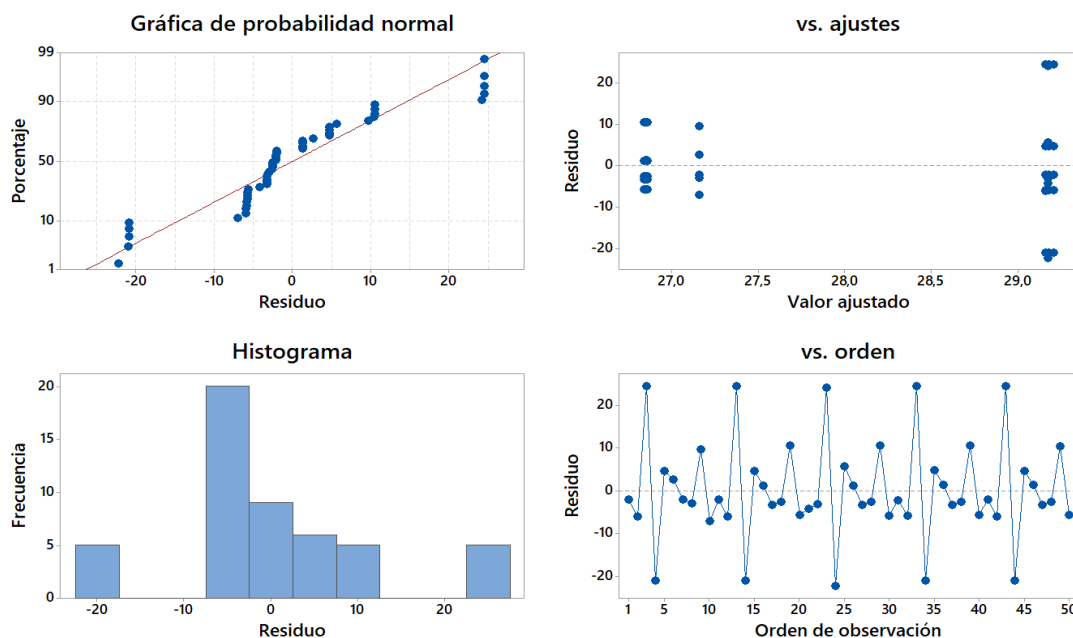


Figura 76. Gráfica de residuos para la Energía.

En la figura de intervalos de medias de nivel ICs, se observa que las muestras se sobreponen con las demás, esto significa que no existe diferencia significativa en las medias.

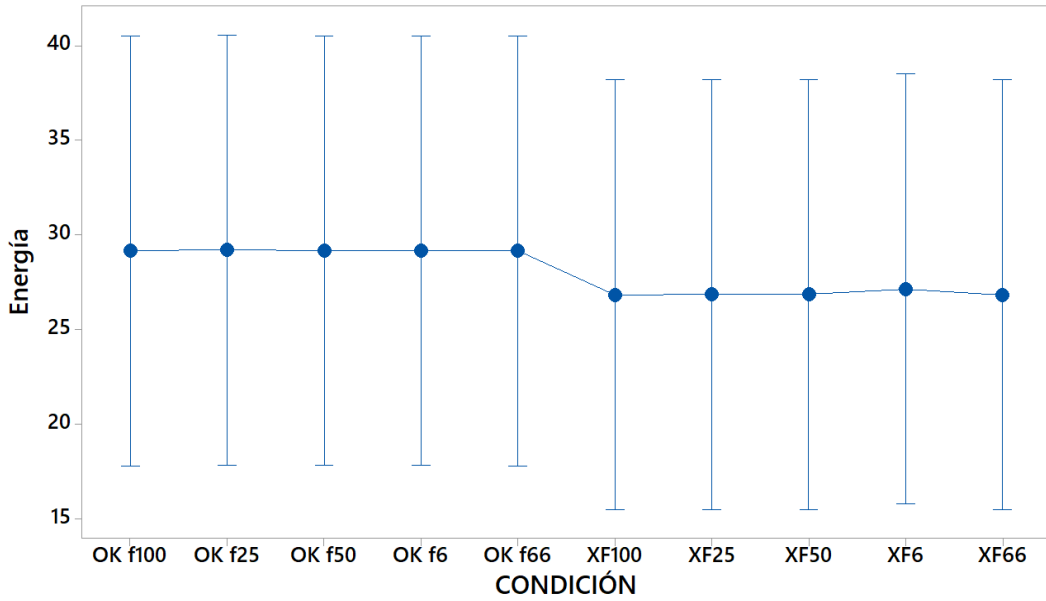


Figura 77. Gráfica de Intervalos de Energía vs Condición, IC 95%.

Como se observa en la figura, las muestras están en un rango que incluye el cero, esto indica que la diferencia entre estas medias es significativa.

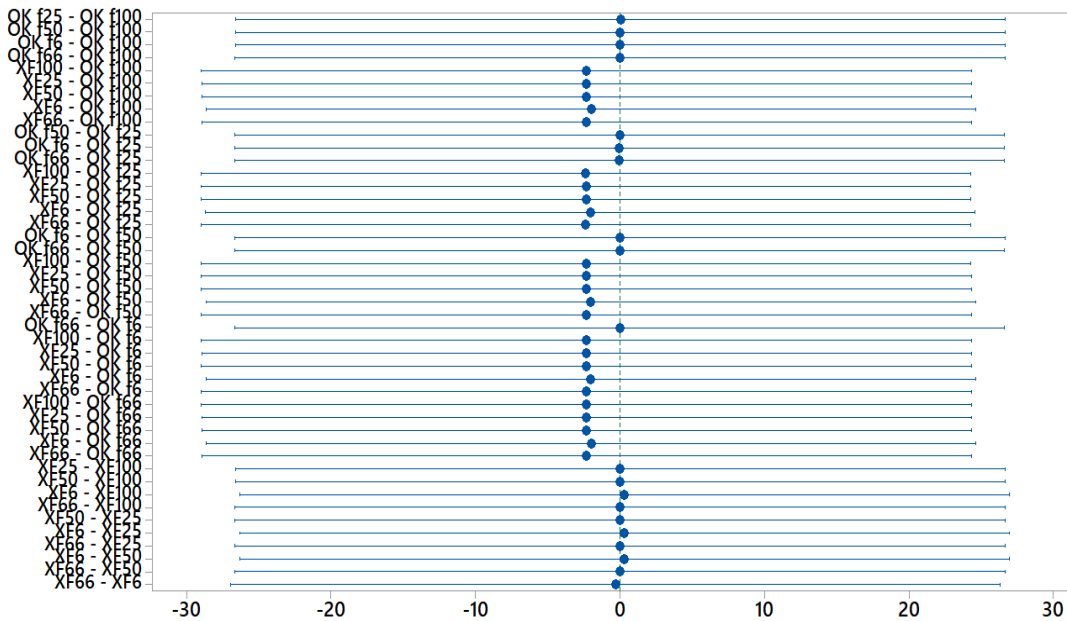


Figura 78. Comparación de Tukey para media.

El resultado del análisis de varianza entrega un p – value igual a “1”, que es superior al nivel de significancia $\alpha = 0,05$ seleccionado para el análisis. Se determina que no existe una diferencia significativa, por lo tanto, se acepta la hipótesis nula y se determina que esa no frecuencia influye al momento de tomar datos.

6.4.9.2 Potencia O2

La gráfica de probabilidad normal, los puntos se distribuyen normalmente a lo largo de la línea recta, entonces, no se evidencia de valores atípicos, pero presentan cierta separación. De igual forma, los residuos están dispersos alrededor del cero, por lo tanto, no existe varianza no constante, valores atípicos o términos faltantes.

En el histograma se observa que no existe asimetría o valores atípicos. En la gráfica de residuos en el orden de observaciones los datos de potencia están dispersos alrededor del cero y no existe relación alguna entre los datos.

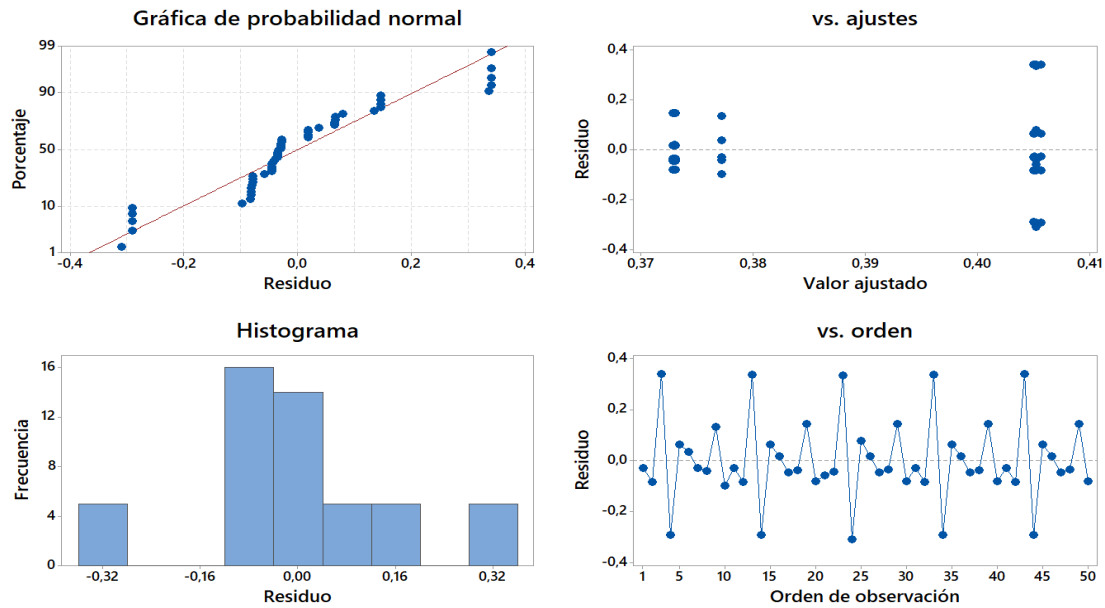


Figura 79. Gráfica de residuos para la Potencia.

En la figura de intervalos, se observa que las muestras se sobrepone con las demás, esto indica que no existe diferencia significativa en las medias.

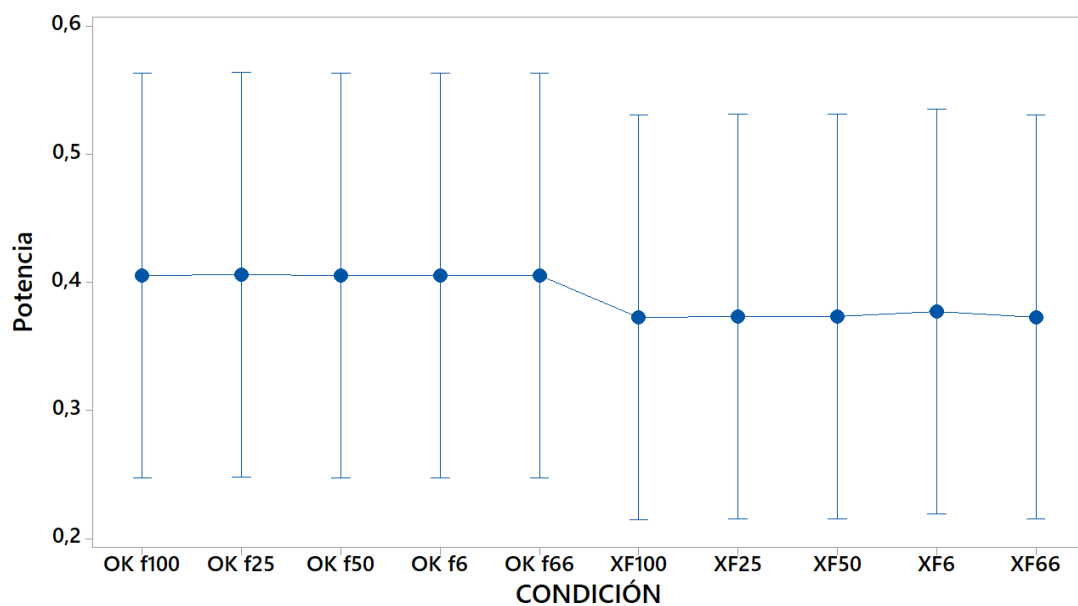


Figura 80. Gráfica de Intervalos de Potencia vs Condición, IC 95%.

Como se observa en la figura, las muestras están en un rango que incluye el cero, esto indica que la diferencia es significativa.

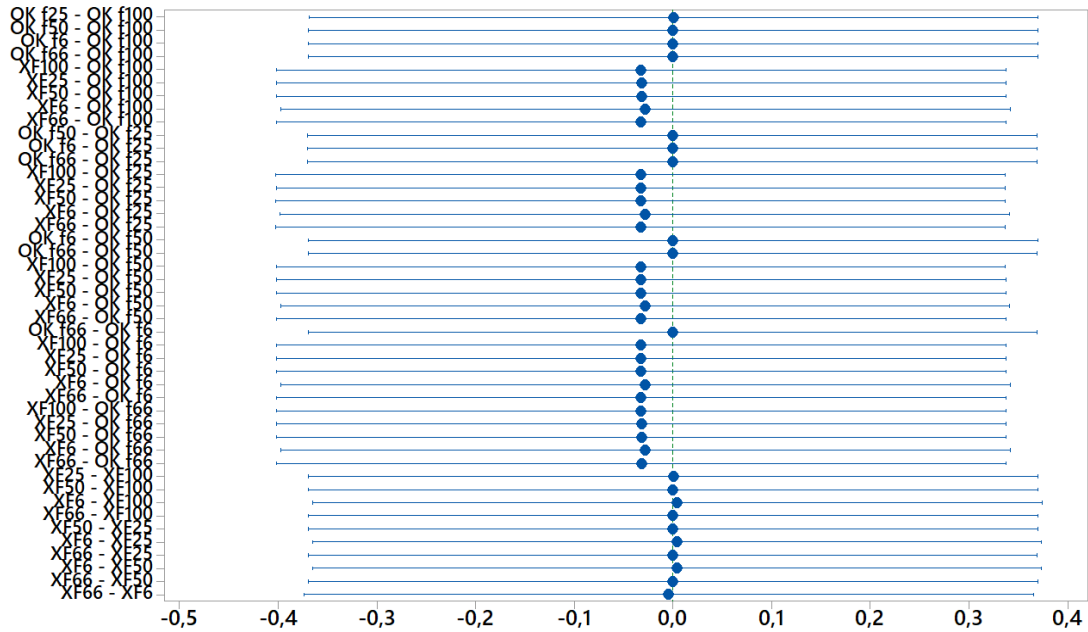


Figura 81. Comparación de Tukey para media.

El análisis de varianza presenta los siguientes resultados, el p –value para los datos de potencia es de “1” superior al nivel de significancia $\alpha = 0,05$ seleccionado. Con estos valores se concluye que no existe una diferencia significativa y se acepta la hipótesis nula.

6.4.9.3 Media O2

La gráfica de probabilidad normal de la figura, los datos se distribuyen normalmente a lo y no se evidencia asimetría o valores atípicos. En la gráfica de residuos versus ajustes, los datos están dispersos entorno al cero de forma aleatoria, es así que no existe varianza no constante, valores atípicos o términos faltantes.

En el histograma se observa que existe una separación en las barras, pero no existen valores atípicos. La gráfica de residuos en el orden de observaciones, los datos se encuentran dispersos alrededor del cero y los términos no están relacionados.

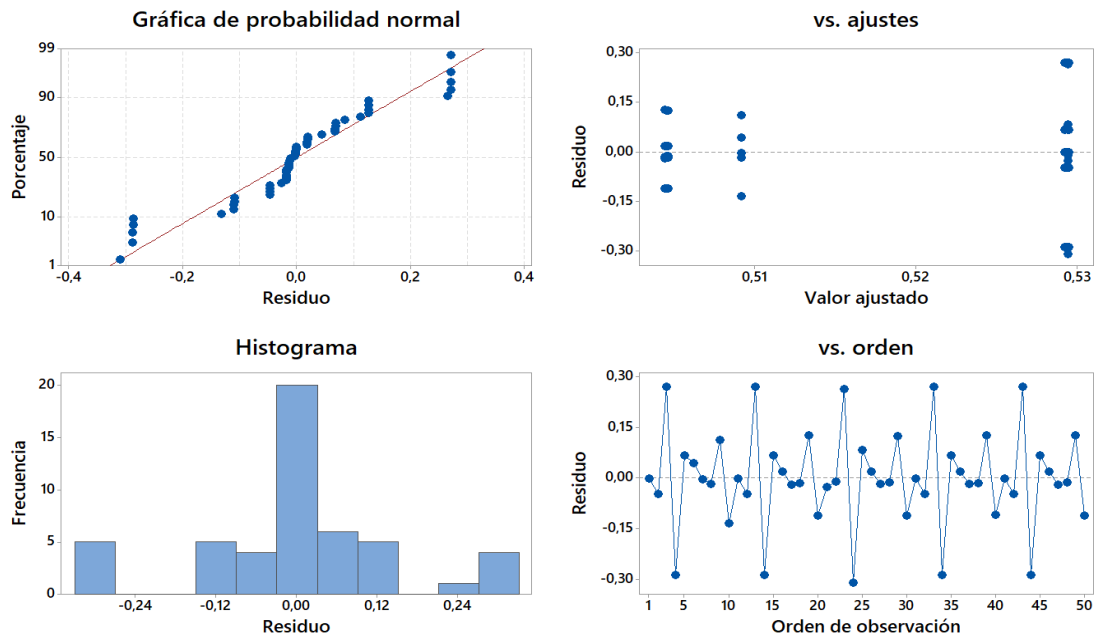


Figura 82. Gráfica de residuos para la Media.

En la figura, se observa que la muestras se sobrepone con el resto, por lo tanto, no existe una diferencia estadísticamente significativa.

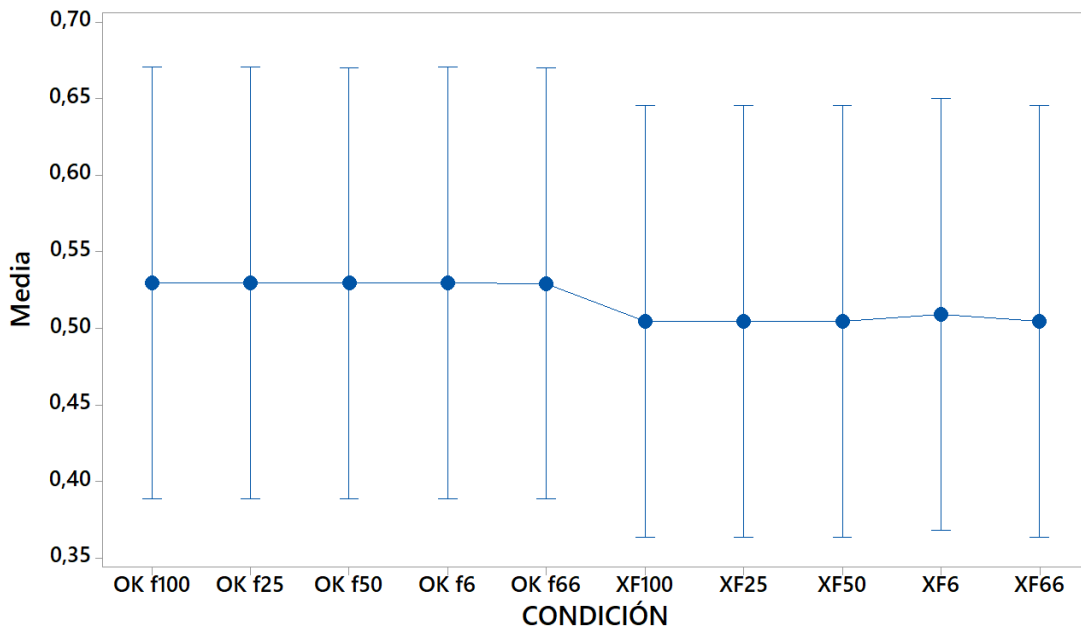


Figura 83. Gráfica de Intervalos de Media vs Condición, IC 95%.

La figura, del análisis de Tukey todos los intervalos incluyen el cero, se determina que no existen diferencias significativas.

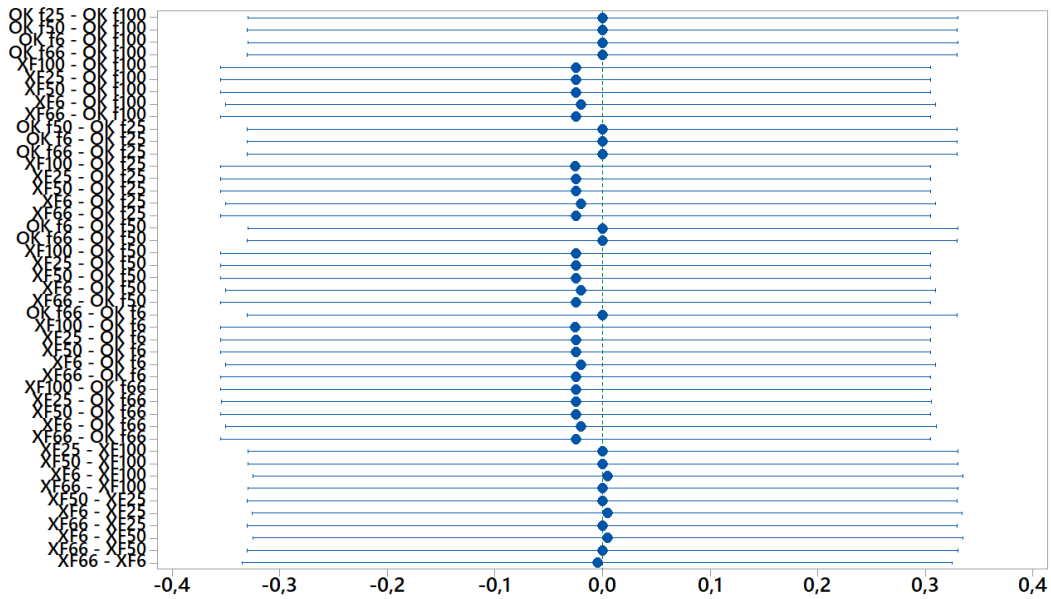


Figura 78. Comparación de Tukey para media. **Fuente:** Autores.

El resultado del análisis de varianza entrega, el p-value es de “1”, superior al nivel de significancia $\alpha = 0,05$ seleccionado. No existe una diferencia significativa para las frecuencias aceptando así la hipótesis nula. Con este análisis se determina que no influyen las frecuencias al momento del muestreo de las señales.

6.4.9.4 RMS O2

En la figura de probabilidad normal, los datos se distribuyen normalmente a lo largo de la recta, algunos de ellos están algo alejados del resto, pero no se evidencia alguna asimetría o valores atípicos. En los residuos versus ajustes, los valores están dispersos alrededor del cero, es así que no existe varianza no constante y valores atípicos

En el histograma se observa que existe una separación en las barras, pero no representan problemas en el análisis. La gráfica de residuos en el orden de observaciones, indica que los datos están dispersos alrededor del cero y los términos de error no están relacionados entre sí.

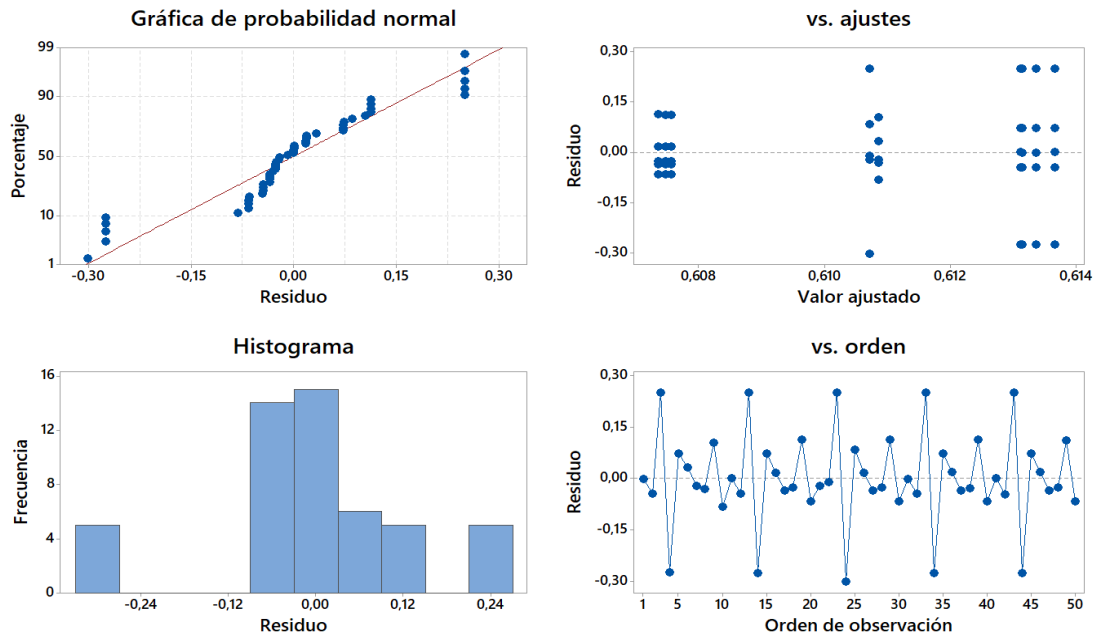


Figura 84. Gráfica de residuos para el RMS.

En la figura, se observa que los datos se superponen con el resto, por lo que no existe una diferencia significativa entre los datos. Este patrón se repite constantemente en los análisis anteriores, por lo tanto, estas frecuencias de muestreo no influyen en la toma de datos de este sensor.

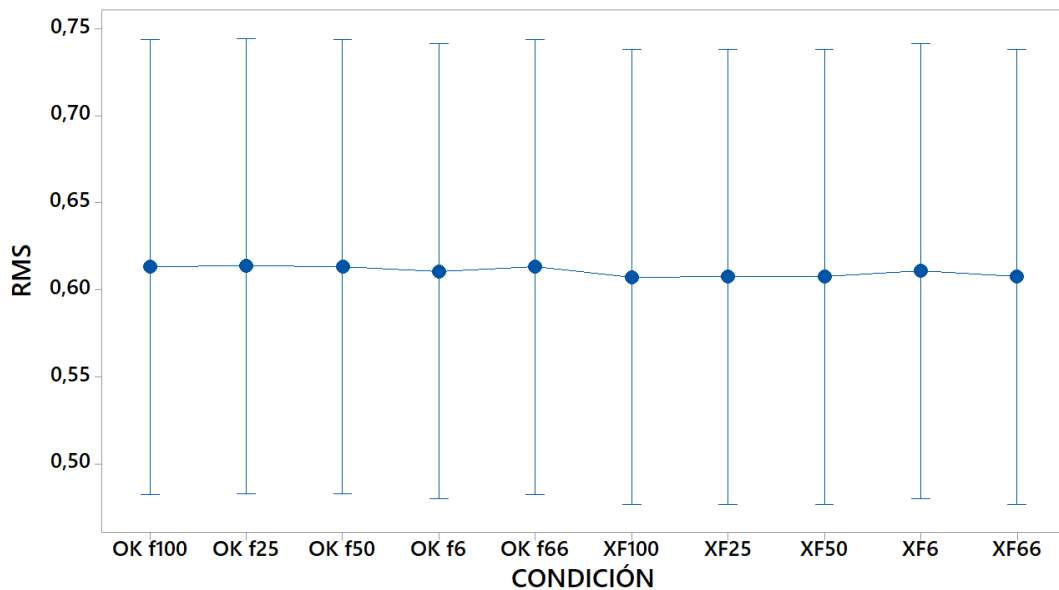


Figura 85. Gráfica de Intervalos de RMS vs Condición, IC 95%.

En la figura, del análisis de Tukey todos los intervalos incluyen el cero, por lo que se determina que no existen diferencias estadísticamente significativas.

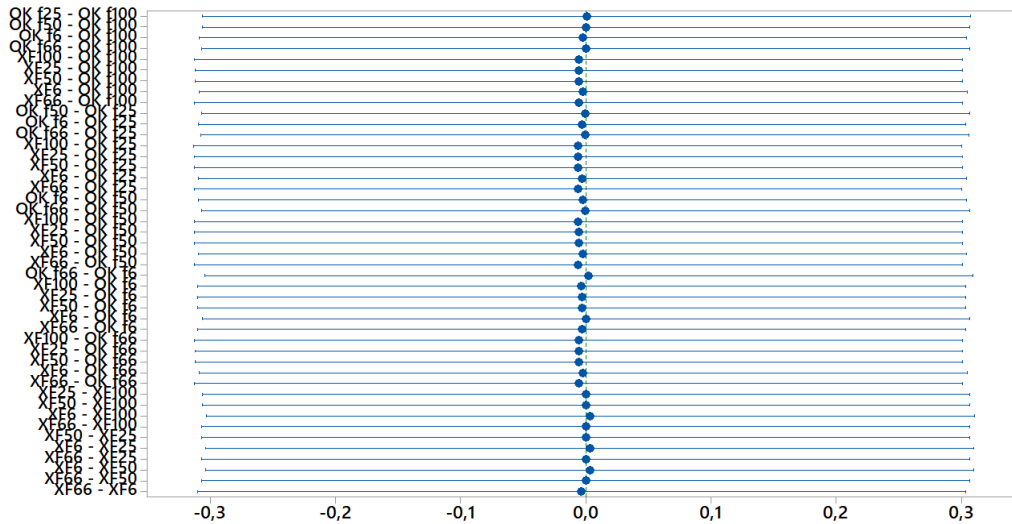


Figura 86. Comparación de Tukey para media.

Con el análisis de varianza se obtiene lo siguiente, el p – value es de “1”, superior al nivel $\alpha = 0,05$ seleccionado. Se concluye que no existe una diferencia significativa, por lo tanto, se acepta la hipótesis nula. Es así que con estos resultados la frecuencia de muestreo no influye en la toma de datos.

6.4.9.5 Varianza O2

La gráfica de probabilidad normal de la figura, indica que los datos se distribuyen normalmente y no existe o valores atípicos. De igual forma en los residuos versus ajustes, los datos están dispersos entorno al cero de forma aleatoria, sin la existencia de valores atípicos o no normalidad.

En el histograma se observa la no existencia de valores atípicos. La gráfica de residuos en el orden de observaciones, indica que los datos están dispersos alrededor del cero y los términos no están relacionados.

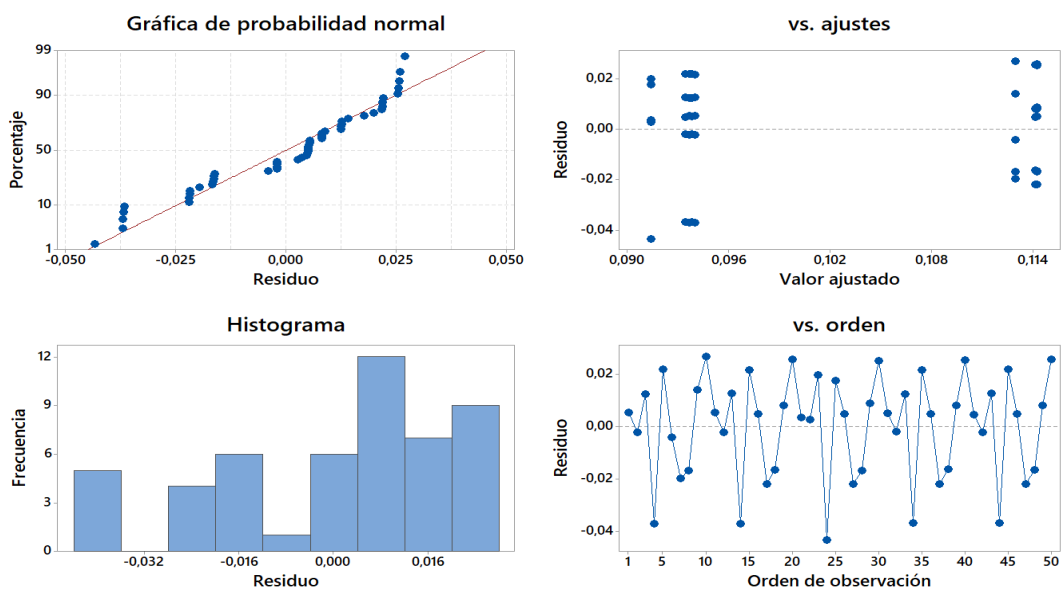


Figura 87. Gráfica de residuos para la Varianza.

En la figura, se observa que las muestras se sobreponen entre sí, por lo tanto, no existe una diferencia significativa entre los datos.

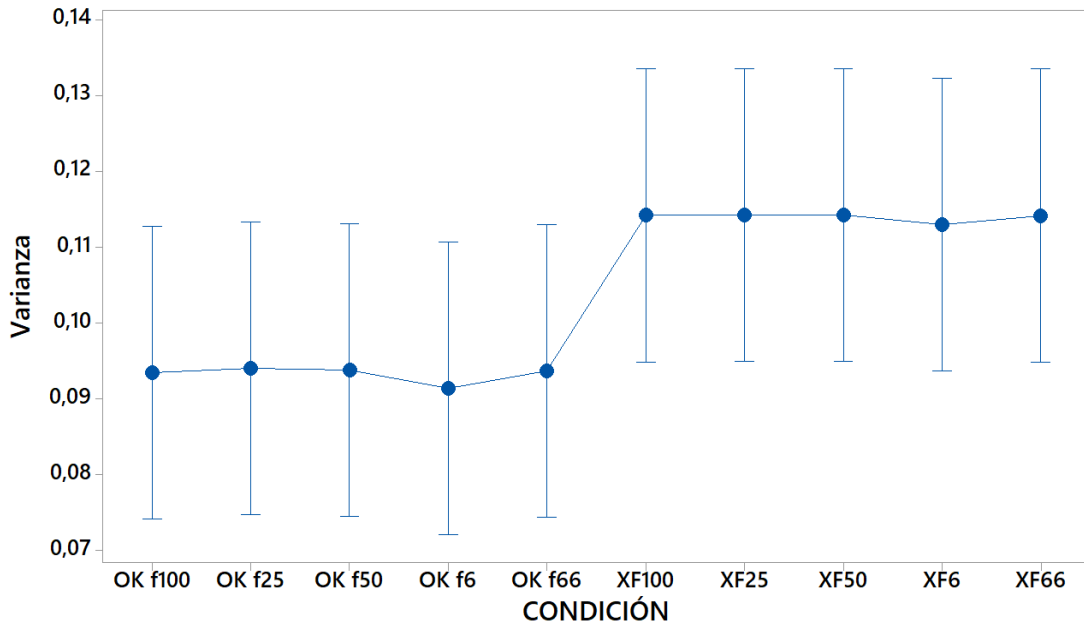


Figura 88. Gráfica de Intervalos de Varianza vs Condición, IC 95%.

En la figura, del análisis de Tukey los intervalos incluyen el cero, entonces se determina que no existen diferencias significativas.

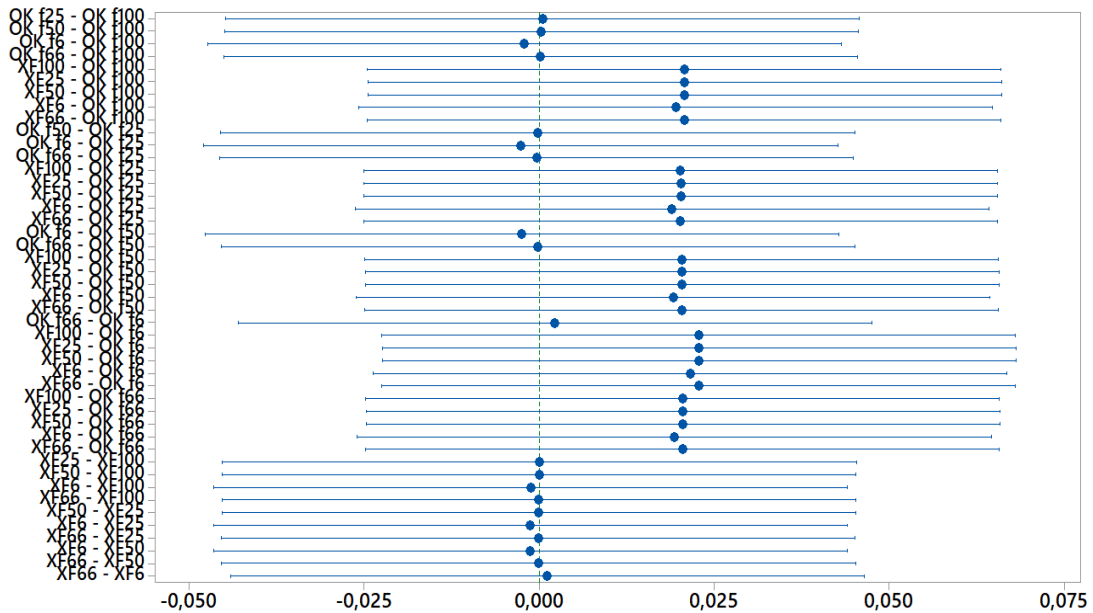


Figura 89. Comparación de Tukey para media.

Con el análisis de varianza se obtiene los siguientes resultados, el p-value es de 0,263 superior a $\alpha = 0,05$ seleccionado. Se concluye que no existe una diferencia significativa para las frecuencias, por lo tanto, se acepta la hipótesis nula. Con estos resultados no se puede determinar la influencia de la frecuencia de muestro.

6.4.9.6 Desviación Estándar O2

La gráfica de probabilidad normal de la figura, los datos se distribuyen normalmente a lo largo de la recta con una ligera separación al inicio y fin, no se presentan valores atípicos. En los residuos versus ajustes, los datos están dispersos alrededor del cero, pero se observan pequeñas aglomeraciones.

En el histograma se observa que no existe valores atípicos. En la gráfica de residuos en el orden de observaciones, los datos están dispersos alrededor del cero y no hay relación en los términos de error.

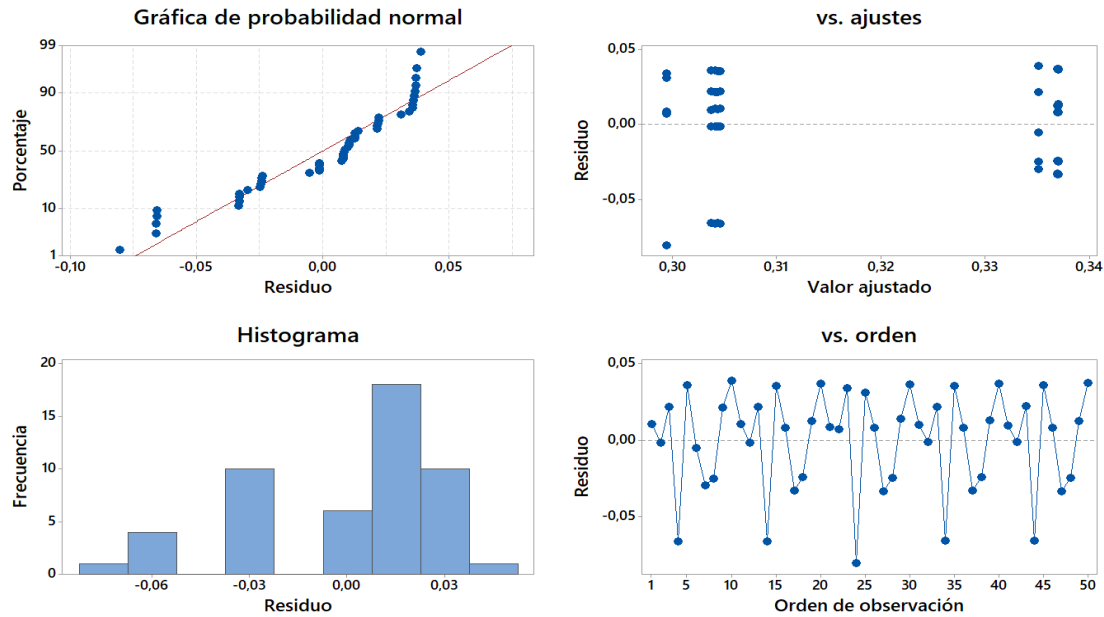


Figura 90. Gráfica de residuos para la Desviación Estándar.

En la figura, se observa que todas las muestras se sobrepone, por ello no existe una diferencia significativa entre los datos.

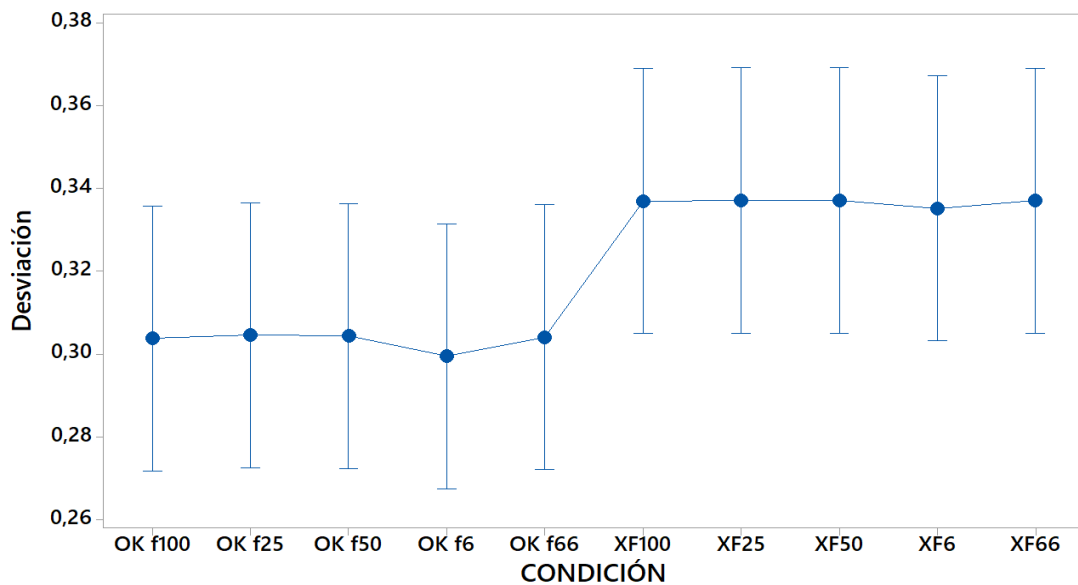


Figura 91. Intervalos de Desviación Estándar vs Condición, IC 95%.

En la figura, del análisis de Tukey todos los intervalos incluyen el cero, por ello no existen diferencias estadísticamente significativas.

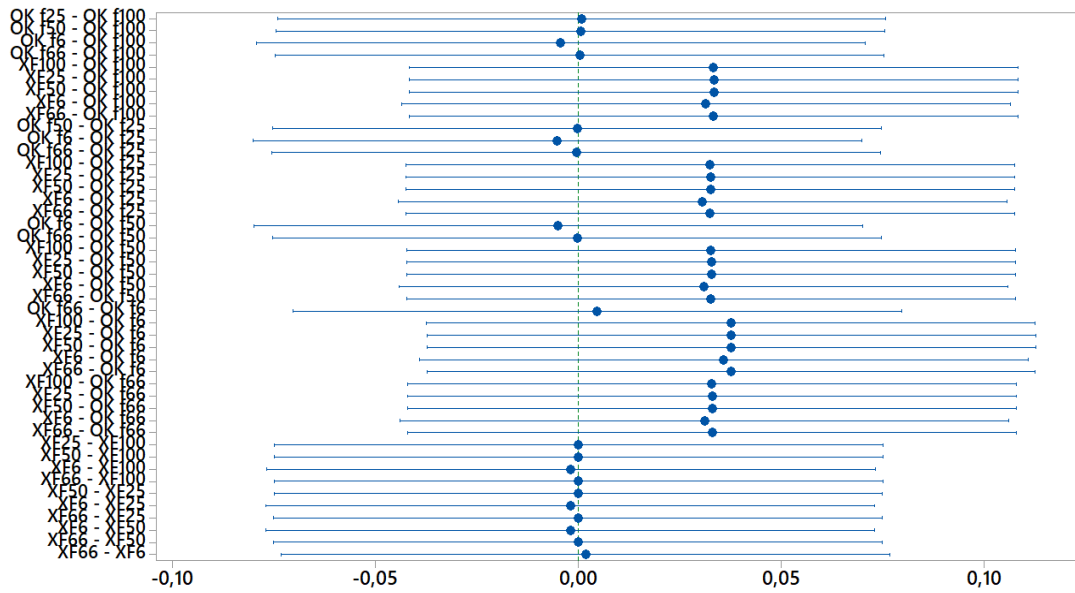


Figura 92. Comparación de Tukey para media.

Con el análisis de varianza se obtiene los siguientes resultados, el p – value es de 0,295 superior al nivel $\alpha = 0,05$ seleccionado. No existe una diferencia significativa para las frecuencias y, se acepta la hipótesis nula. Con estos resultados no se puede determinar la influencia de la frecuencia de muestro.

6.4.9.7 Kurtosis O2

La gráfica de probabilidad normal de la figura, los datos se distribuyen normalmente a lo largo de la recta, no se evidencia alguna asimetría o valores atípicos. En los residuos versus ajustes, los datos están dispersos alrededor del cero, pero se observan pocas aglomeraciones.

En el histograma se observa que no existe valores atípicos. La gráfica de residuos en el orden de observaciones, indica que los datos están dispersos alrededor del cero y los términos de error no están relacionados.

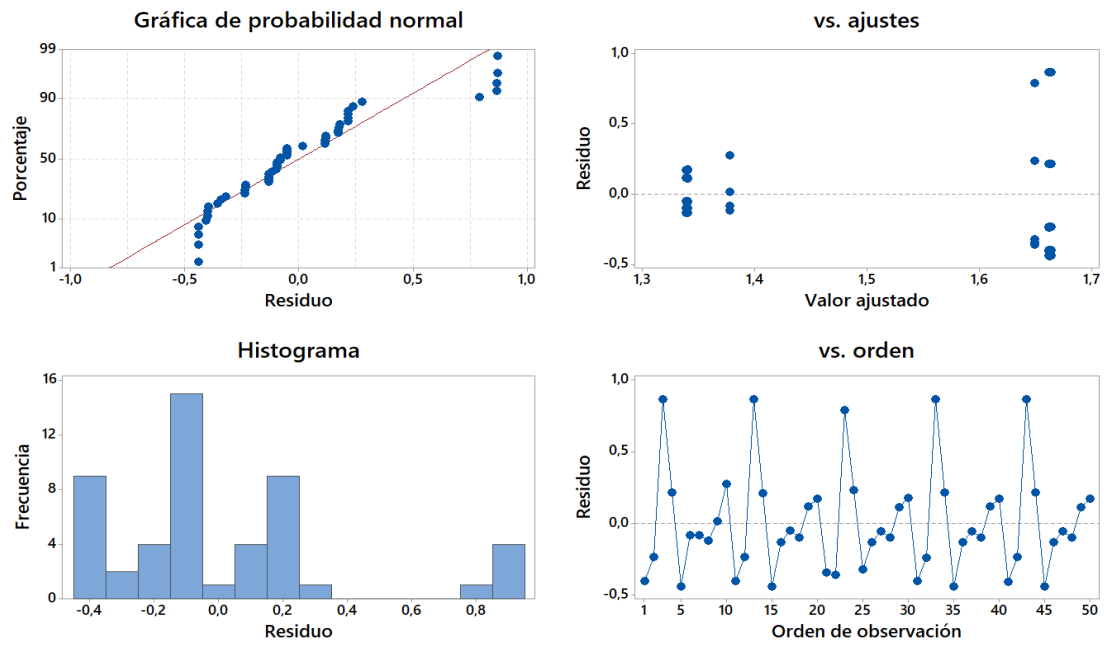


Figura 93. Gráfica de residuos para la Kurtosis.

En la figura, se observa que las muestras se sobrepone con el resto, por ello no existe una diferencia significativa entre los datos.

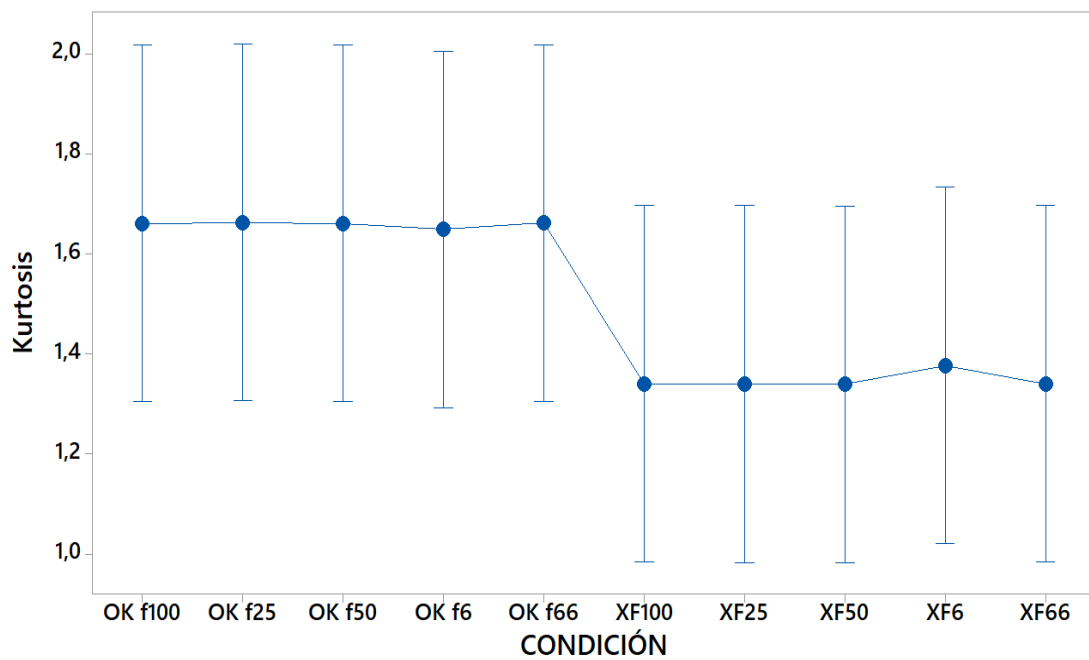


Figura 94. Gráfica de Intervalos de Kurtosis vs Condición, IC 95%.

En la figura, del análisis de Tukey todos los intervalos incluyen el cero, por ello no existen diferencias estadísticamente significativas.

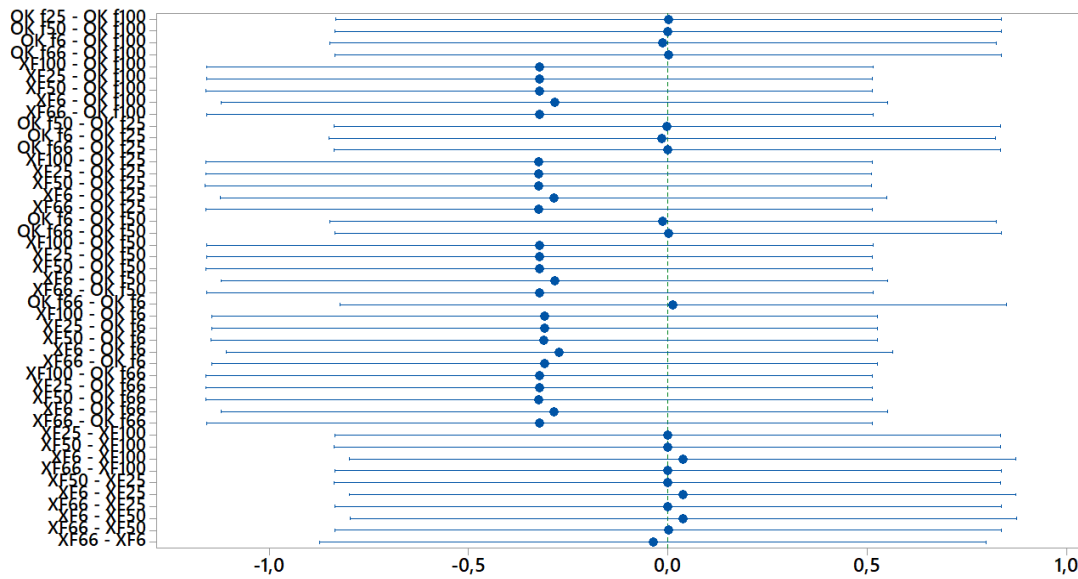


Figura 95. IC simultáneos de 95% de Tukey para la Kurtosis.

Con el análisis de varianza se obtiene los siguientes resultados, el p – value es de 0,556 superior al nivel de significancia $\alpha = 0,05$ seleccionado. No existe una diferencia significativa para las frecuencias, por lo tanto, se acepta la hipótesis nula. Con estos resultados no se puede determinar la influencia de la frecuencia de muestro.

6.4.10 Sensibilidad

El análisis ANOVA aplicado a los datos de la prueba estática entregan los valores que se observan en la tabla. Teniendo como referencia a las variables que tienen un p – value de cero o cercanos a cero, pero inferior al nivel de significancia de 0,05. Estas variables son Kurtosis MAP, RMS TPS, RMS MAP, Potencia TPS, Potencia MAP, Media TPS, Media MAP, Energía TPS y Energía MAP.

Tabla 1. Resumen de Resultados del ANOVA de la Prueba de Carretera.

Variable	p - value
Varianza MAP	1
RMS O2	1
Potencia O2	1
Media O2	1
Energía O2	1
Desviación Estándar MAP	0,964
Varianza TPS	0,925
Kurtosis O2	0,556
Kurtosis TPS	0,491
Desviación Estándar TPS	0,433
Desviación Estándar O2	0,295
Varianza O2	0,263
Kurtosis MAP	0,224
RMS TPS	0
RMS MAP	0
Potencia TPS	0
Potencia MAP	0
Media TPS	0
Media MAP	0
Energía TPS	0
Energía MAP	0

Las variables antes mencionadas son aquellas que presentan mayor sensibilidad o influencia en el muestreo de datos con las frecuencias establecidas anteriormente.

6.4.11 Prueba de Carretera

6.4.12 Sensor TPS

6.4.12.1 Energía TPS

En la gráfica de distribución normal se presenta residuos versus sus valores esperados para los datos de energía, los residuos siguen recta y no hay evidencia de, asimetría y de variables no identificadas.

En la gráfica de residuos y valores ajustados, los datos están dispersos alrededor del cero, por lo tanto, no hay varianza no constante, términos faltantes o valores atípicos. En el histograma se muestra la distribución de los residuos para las observaciones, siendo así no existe asimetría o valores atípicos.

La gráfica de residuos en el orden de observaciones, esta gráfica es útil cuando el orden de las observaciones puede influir en los resultados, esto puede ocurrir si las muestras son recolectadas en una secuencia de tiempo o en alguna secuencia establecida. Para los datos de energía los residuos están dispersos alrededor del cero, no existe evidencia que los datos de error estén correlacionados entre sí.

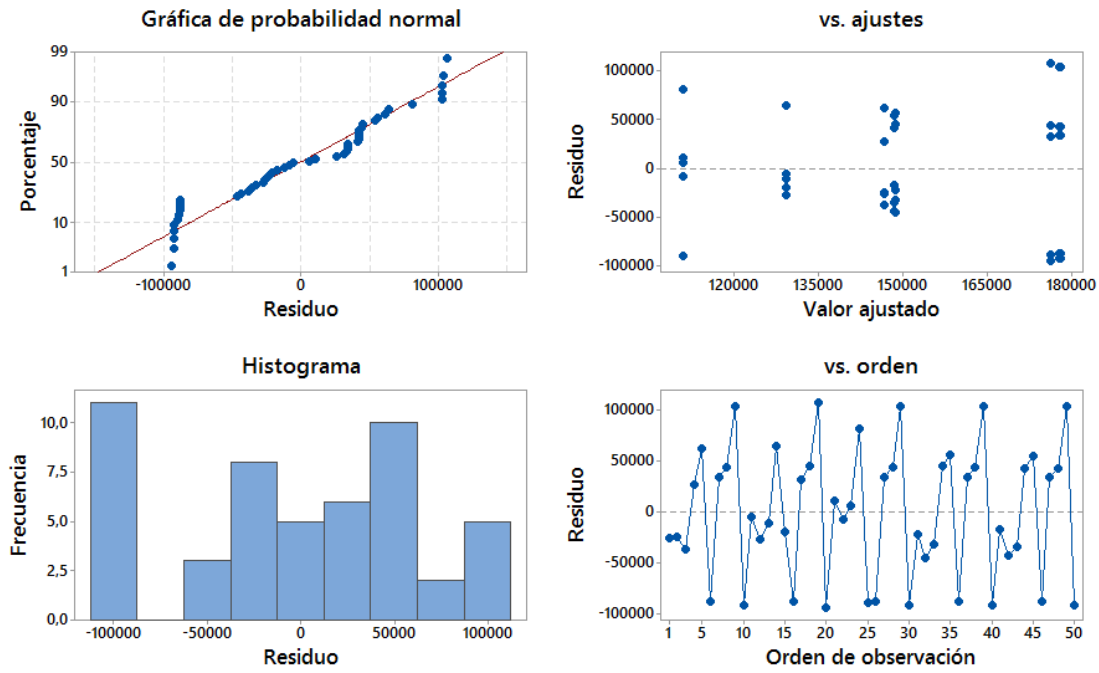


Figura 96. Gráfica de residuos para energía.

En la figura de intervalos de medias de nivel ICs, se observa que las muestras de las frecuencias todas se sobreponen, eso quiere decir que no existe diferencia entre las medias.

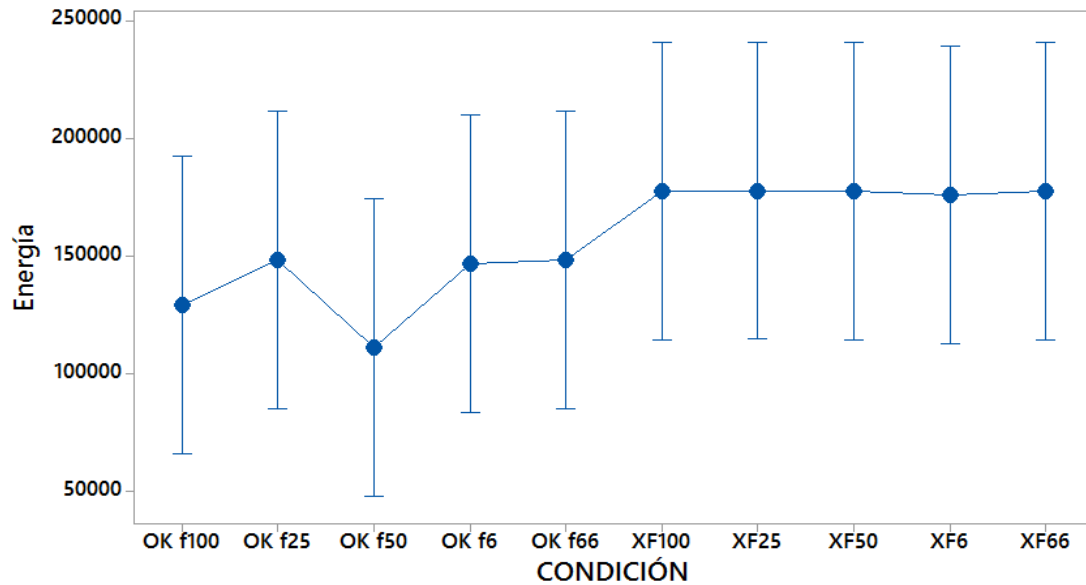


Figura 97. Gráfica de Intervalos de Energía vs Condición, IC 95%.

Con el método de Tukey se compara las medias para cada par de niveles de un factor, como se observa en la figura, los intervalos de confianza para la diferencia entre las medias incluyen cero, esto significa que las diferencias no son significativas.

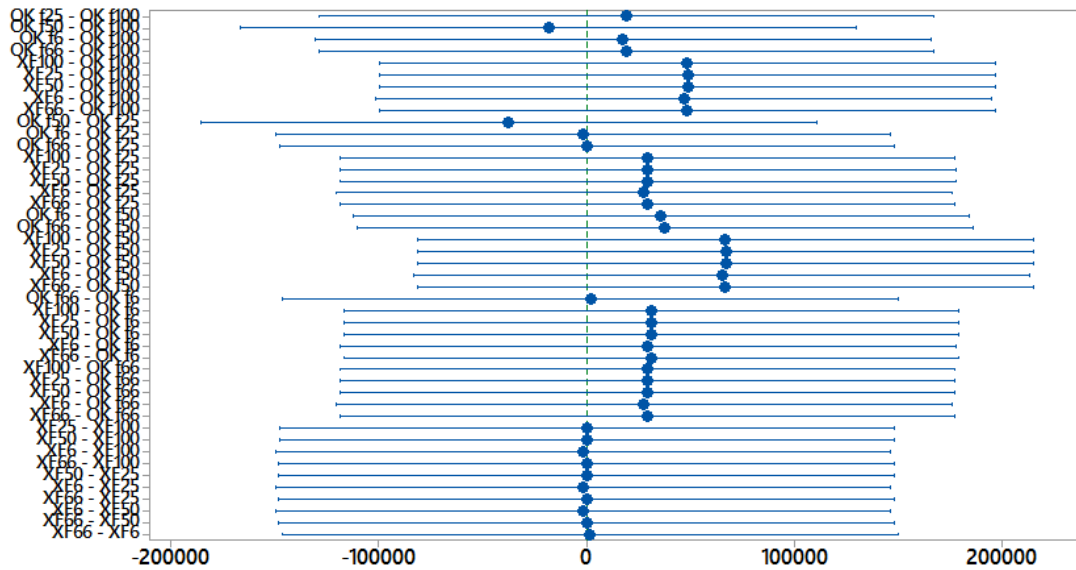


Figura 98. Comparación de Tukey para media.

El resultado del análisis de varianza entrega un p – value igual a 0,794 , que es superior al nivel de significancia $\alpha = 0,05$ seleccionado para el análisis. Con estos valores se concluye que no existe una diferencia significativa para las frecuencias, se acepta la hipótesis alternativa.

6.4.12.2 Potencia TPS

En la gráfica de distribución normal se presenta que los puntos del extremo están alejados de la recta, pero no afectan para que exista asimetría o variables no identificadas, ya que el resto de los residuos siguen la línea recta.

En la gráfica de residuos versus valores ajustados, los datos están dispersos alrededor del cero, por lo tanto, no existe varianza no constante o valores atípicos, comprobándolo en el histograma y sus residuos.

La gráfica de residuos en el orden de observaciones, los datos de energía los residuos están dispersos alrededor del cero y los datos de error no estén correlacionados.

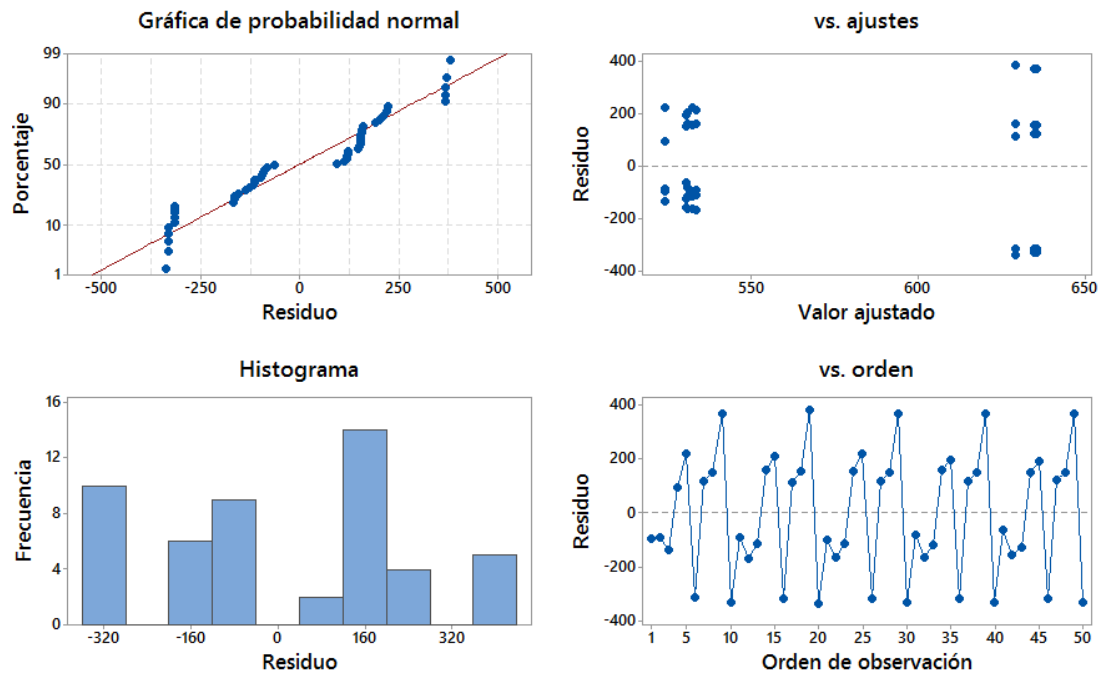


Figura 99. Gráfica de residuos para potencia.

En la figura de intervalos de medias de nivel ICs, se observa que las muestras de las frecuencias todas se sobreponen, eso quiere decir que no existe diferencia entre las medias.

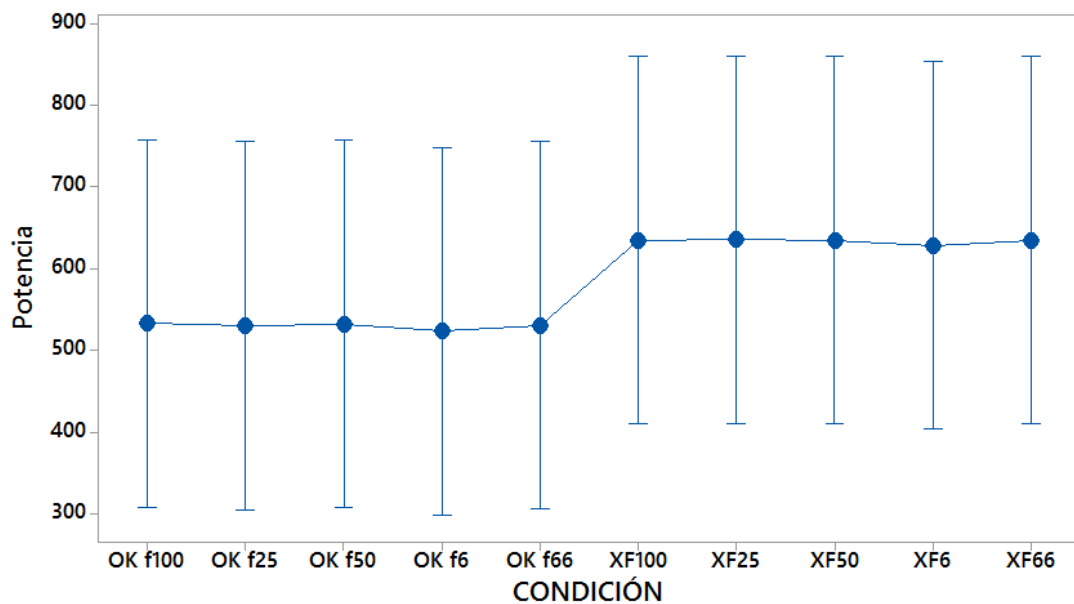


Figura 100. Gráfica de Intervalos de Potencia vs Condición, IC 95%.

El resultado del análisis de varianza entrega un p – value igual a 0,986 , que es superior al nivel de significancia $\alpha = 0,05$ seleccionado para el análisis. Con estos valores se concluye que no existe una diferencia significativa para las frecuencias, se acepta la hipótesis alternativa.

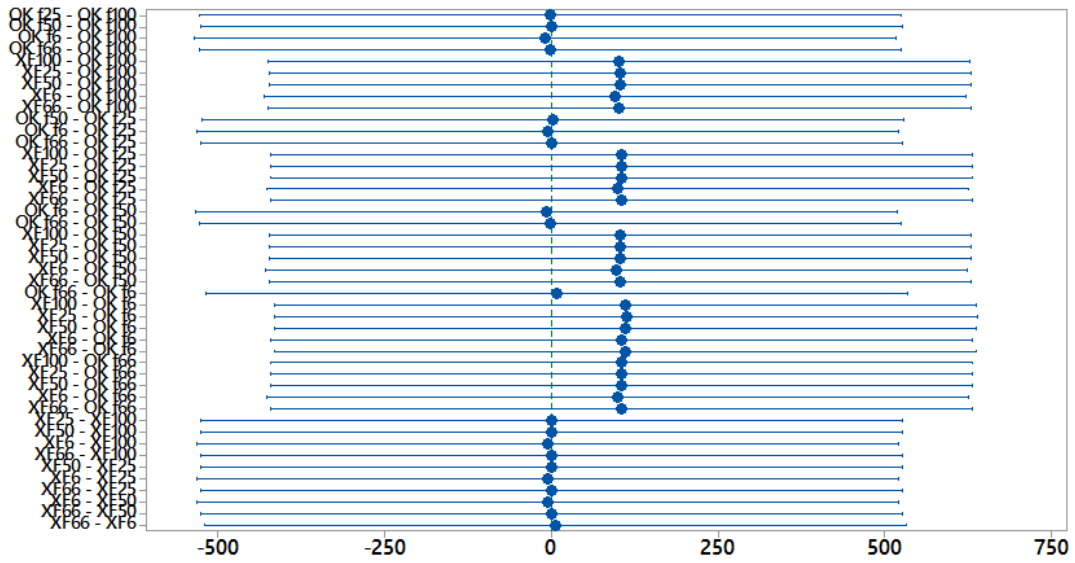


Figura 101. Comparación de Tukey para media.

6.4.12.3 Media TPS

En la figura de distribución normal se presenta que los puntos del extremo están alejados de la recta, pero no afectan para que exista asimetría o variables no identificadas, ya que el resto de los residuos siguen la línea recta.

En la gráfica de residuos y valores ajustados, no existe evidencia de varianza no constante, comprobándolo en el histograma y sus residuos.

La gráfica de residuos en el orden de observaciones, no hay evidencia que los datos de error estén correlacionados.

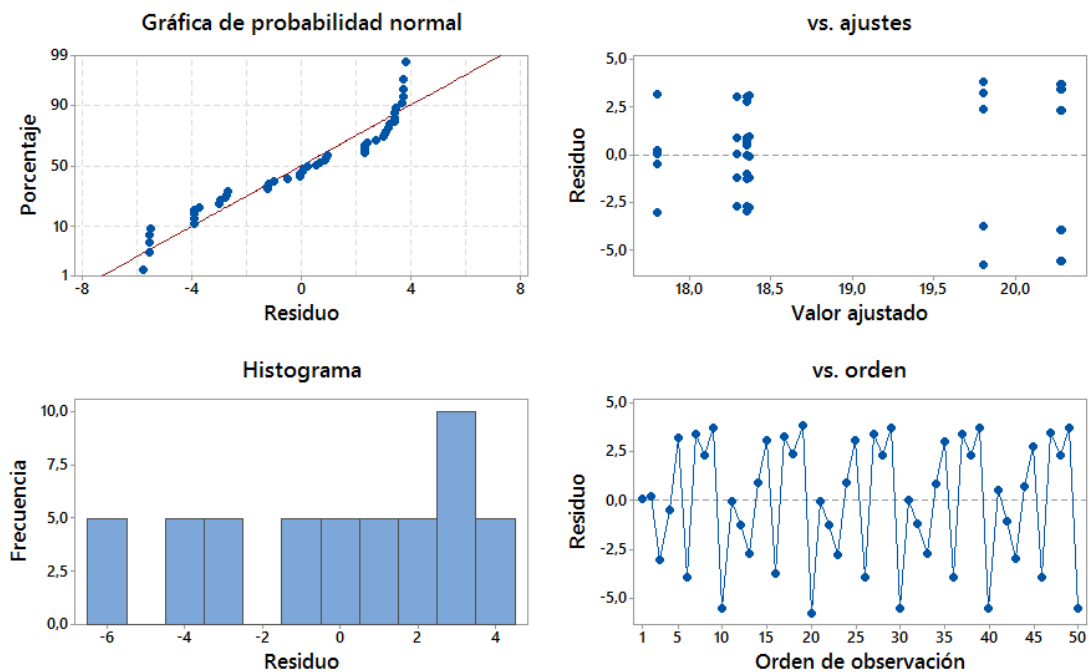


Figura 102. Gráfica de residuos para Media.

En la figura de intervalos de medias de nivel ICs, se observa que las muestras de las frecuencias todas se sobreponen, eso quiere decir que no existe diferencia entre las medias.

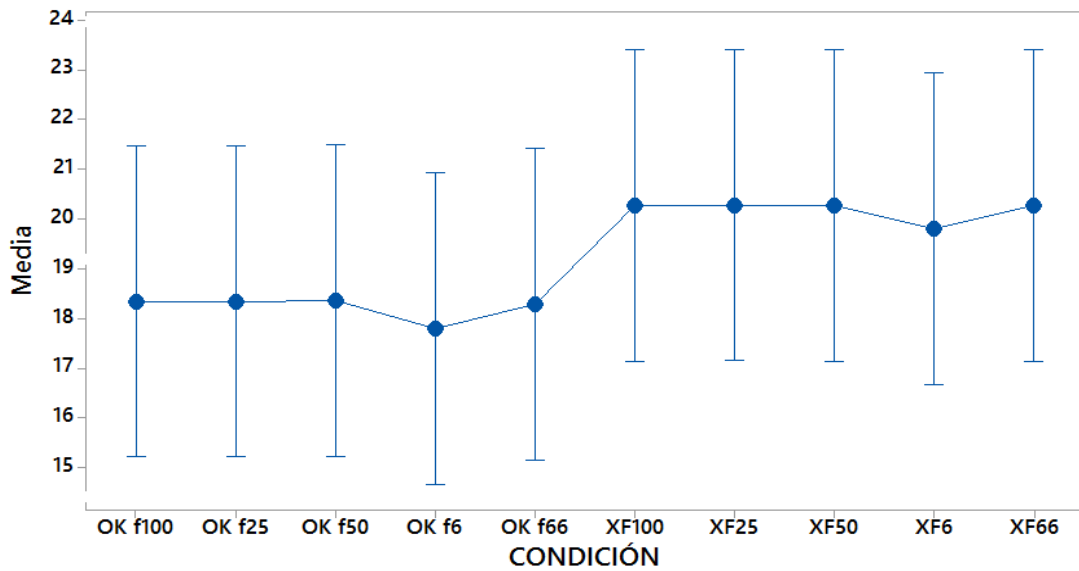


Figura 103. Gráfica de Intervalos de Media vs Condición, IC 95%.

El resultado del análisis de varianza entrega un p – value igual a 0,893 , que es superior al nivel de significancia $\alpha = 0,05$ seleccionado para el análisis. Con estos valores se concluye que no existe una diferencia significativa para las frecuencias, se acepta la hipótesis alternativa.

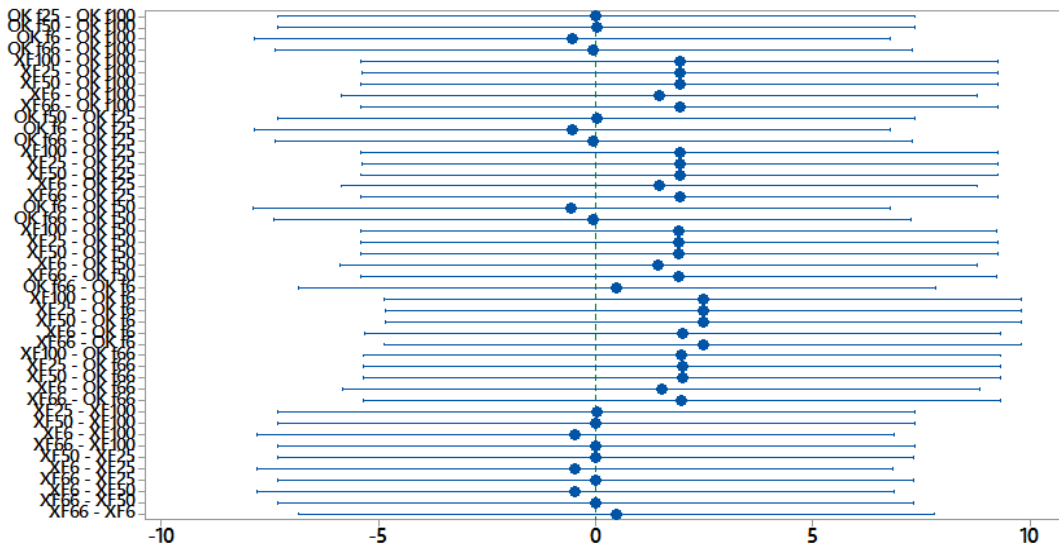


Figura 104. Comparación de Tukey para media.

6.4.12.4 RMS TPS

En la gráfica de distribución normal se presenta que los puntos del extremo están alejados de la recta, pero no afectan para que exista asimetría o variables no identificadas, ya que el resto de los residuos siguen la línea recta.

En la gráfica de residuos versus valores ajustados, no existe evidencia de varianza no constante, comprobándolo en el histograma y sus residuos.

La gráfica de residuos en el orden de observaciones, no hay evidencia que los datos de error estén correlacionados.

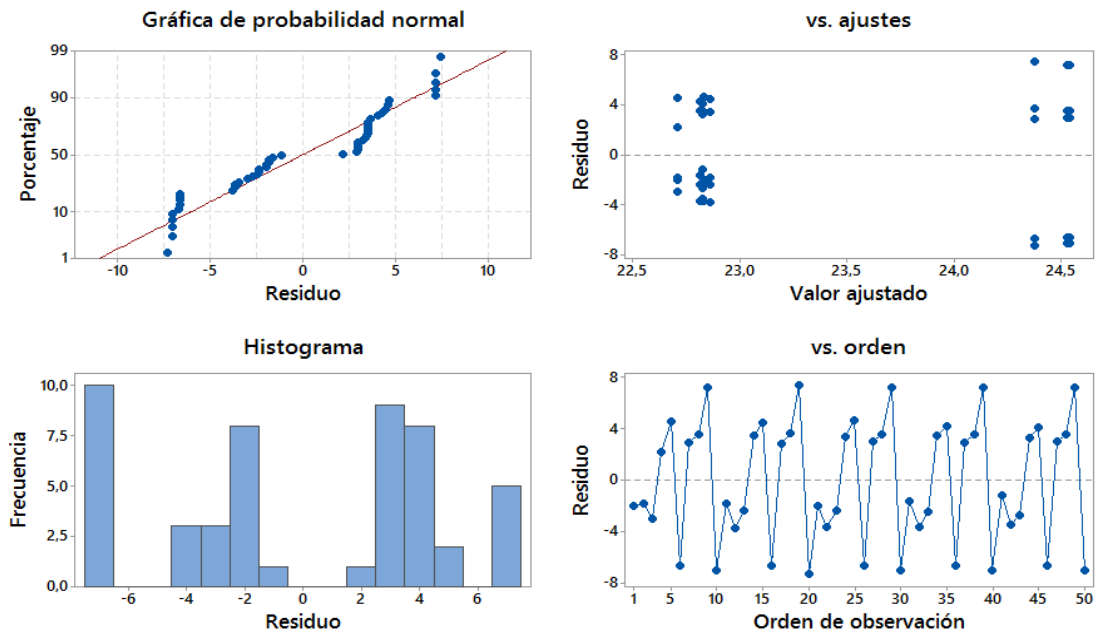


Figura 105. Gráfica de residuos para RMS.

En la figura de intervalos de medias de nivel ICs, se observa que las muestras de las frecuencias todas se sobreponen, eso quiere decir que no existe diferencia entre las medias.

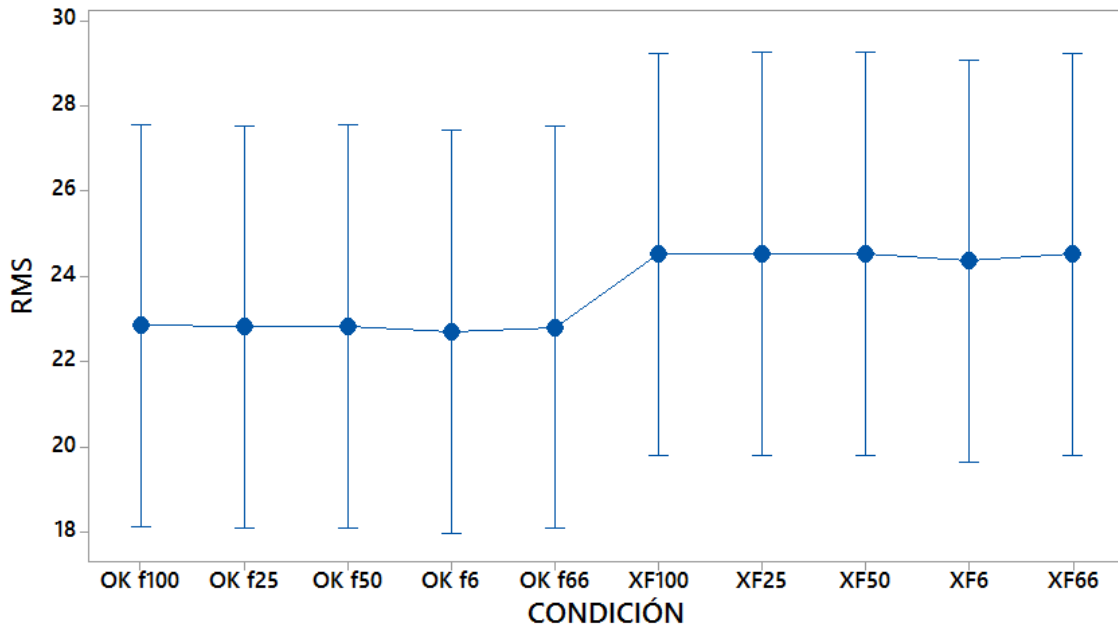


Figura 106. Gráfica de Intervalos de RMS vs Condición, IC 95%.

El resultado del análisis de varianza entrega un p – value igual a 0,998, que es superior al nivel de significancia $\alpha = 0,05$ seleccionado para el análisis. Con estos valores se concluye que no existe una diferencia significativa para las frecuencias, se acepta la hipótesis alternativa.

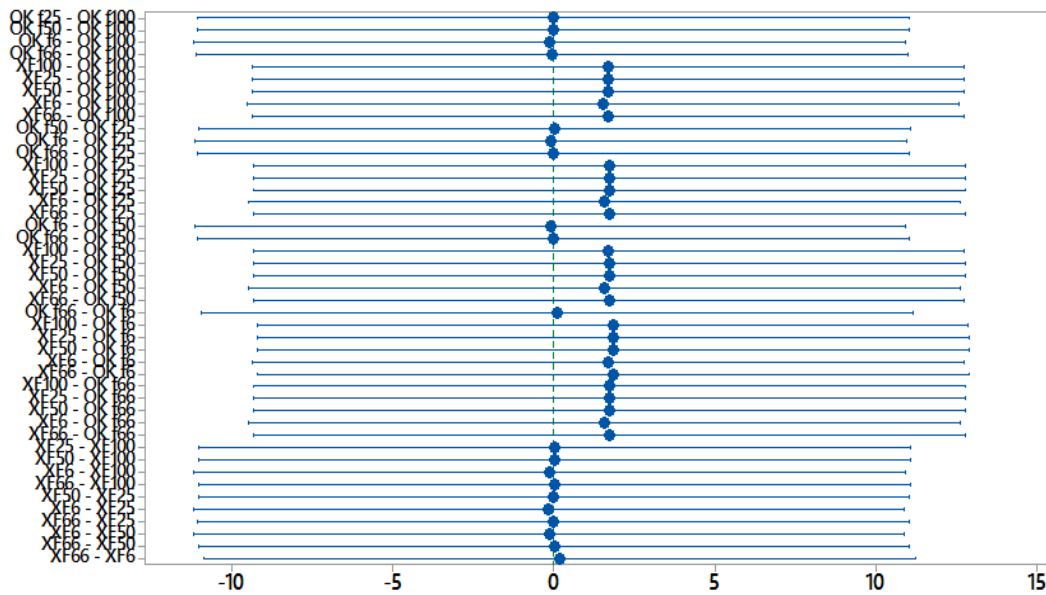


Figura 102. Comparación de Tukey para media. **Fuente:** Autores.

6.4.12.5 Varianza TPS

En la gráfica de distribución normal se presenta que los puntos del extremo están alejados de la recta, pero el resto de los residuos siguen la línea recta.

En la figura de residuos y valores ajustados, no existe evidencia de varianza no constante, comprobándolo en el histograma y sus residuos. La gráfica de residuos en el orden de observaciones, no hay datos de error correlacionados entre sí.

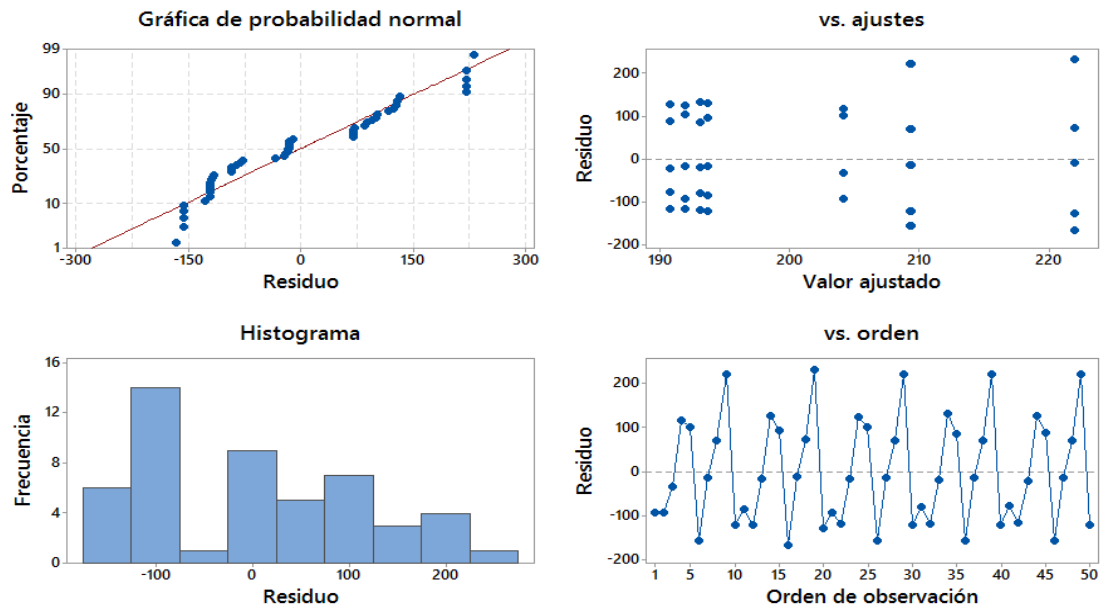


Figura 107. Gráfica de residuos para Varianza.

En la figura de intervalos de medias de nivel ICs, se observa que las muestras de las frecuencias todas se sobreponen, eso quiere decir que no existe diferencia entre las medias.

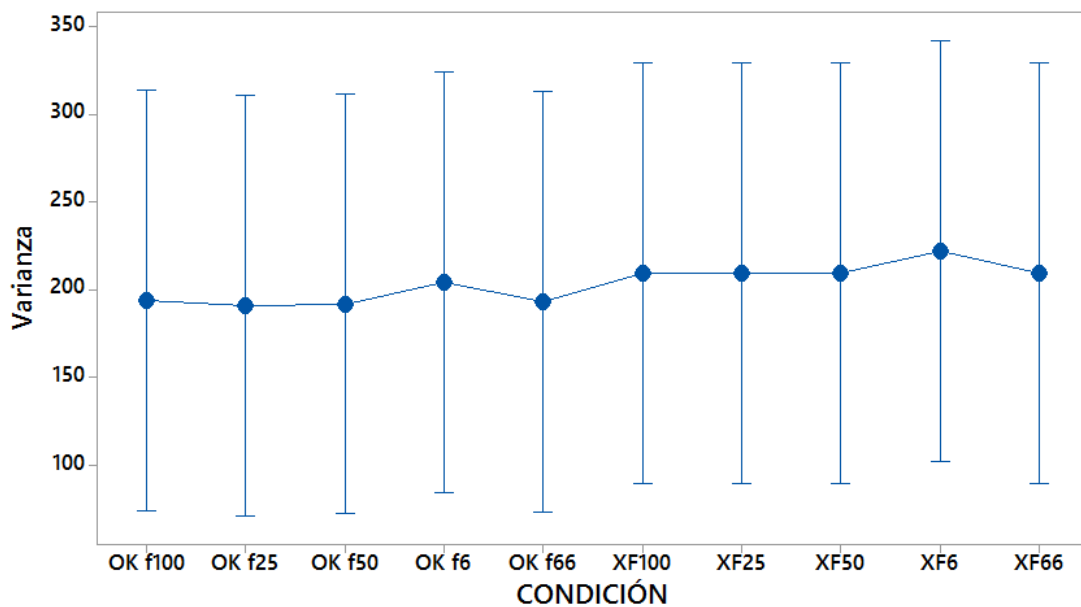


Figura 108. Gráfica de Intervalos de Varianza vs Condición, IC 95%.

El resultado del análisis de varianza entrega un p – value igual a 1, que es superior al nivel de significancia $\alpha = 0,05$ seleccionado para el análisis. Se concluye que no existe una diferencia significativa para las frecuencias.

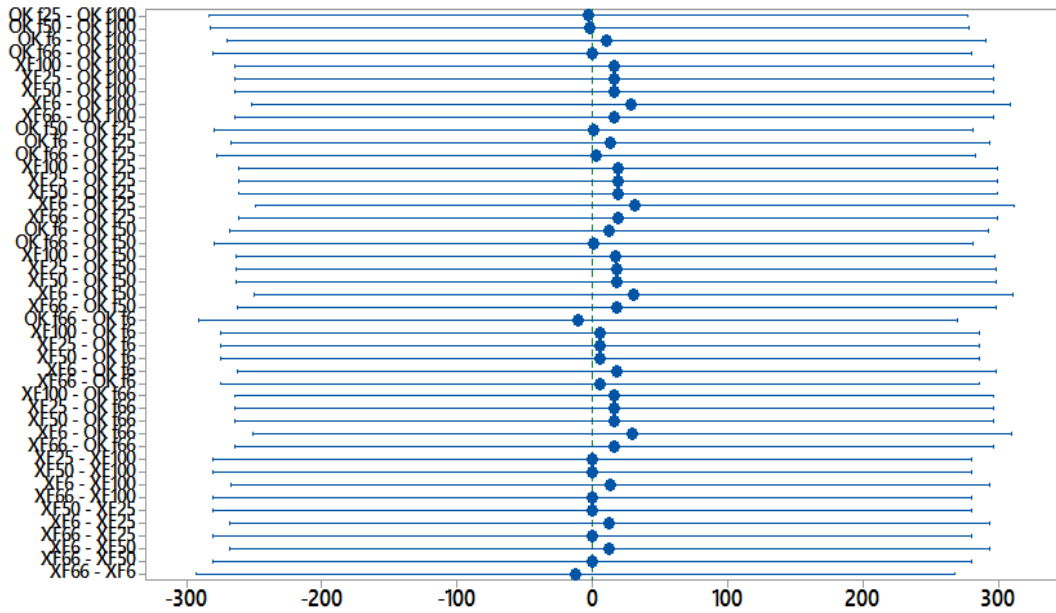


Figura 109. Comparación de Tukey para media.

6.4.12.6 Desviación Estándar TPS

En la gráfica de distribución normal se presenta que los puntos del extremo están alejados de la recta, pero el resto de los residuos siguen la línea recta.

En la gráfica de residuos versus valores ajustados, no existe evidencia de varianza no constante, comprobándolo en el histograma y sus residuos.

La gráfica de residuos en el orden de observaciones, no hay evidencia que los datos de error estén correlacionados.

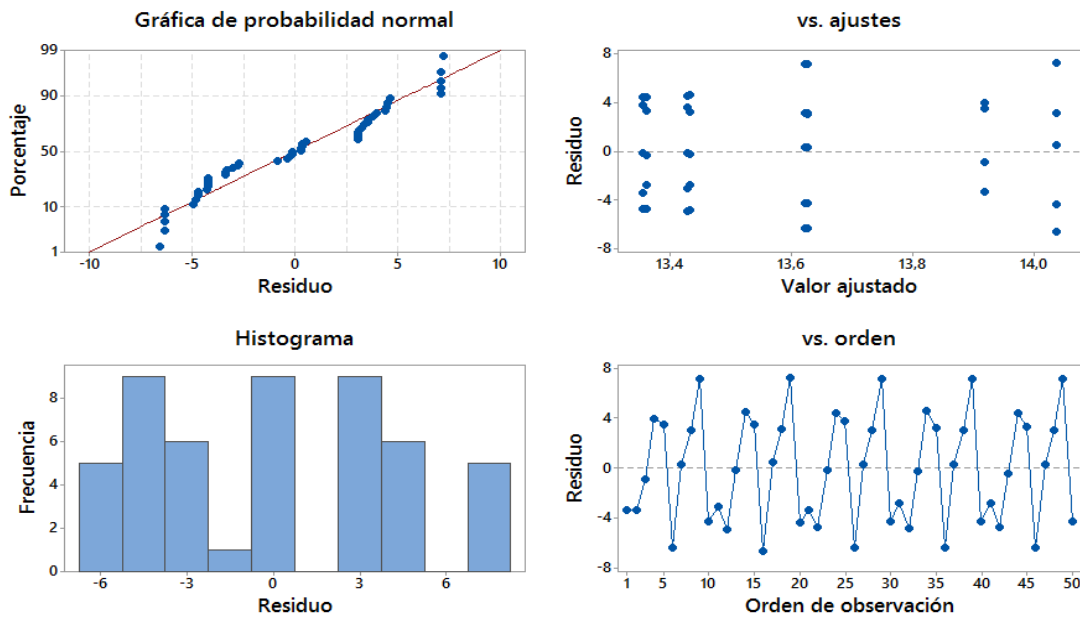


Figura 110. Gráfica de residuos para Desviación Estándar.

En la figura de intervalos de medias de nivel ICs, se observa que las muestras de las frecuencias todas se sobreponen, eso quiere decir que no existe diferencia entre las medias.

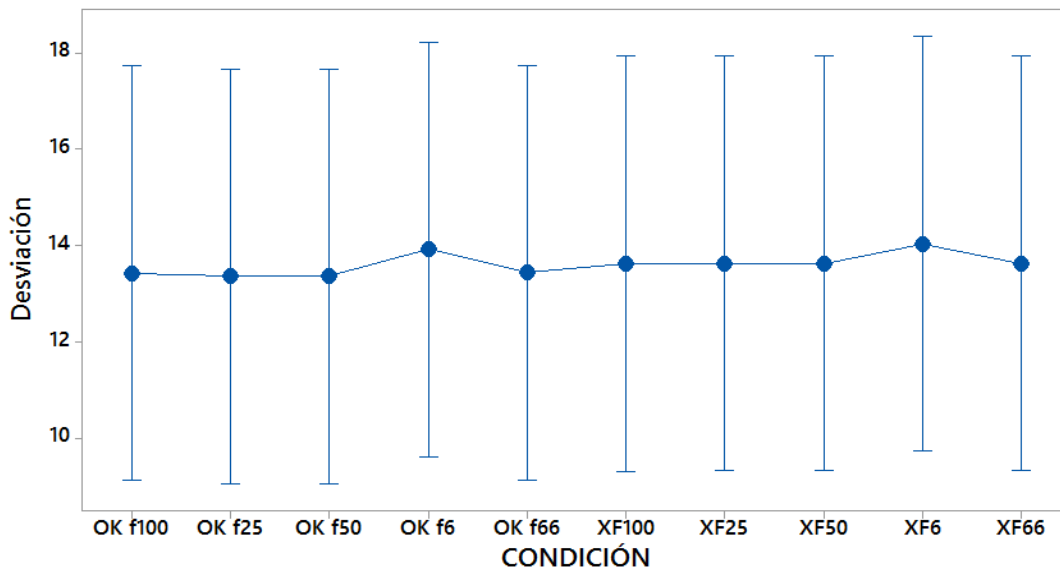


Figura 111. Gráfica de Intervalos de Desviación Estándar vs Condición, IC 95%.

El resultado del análisis de varianza entrega un p – value igual a 1, que es superior al nivel de significancia $\alpha = 0,05$ seleccionado para el análisis. Se concluye que no existe una diferencia significativa para las frecuencias.

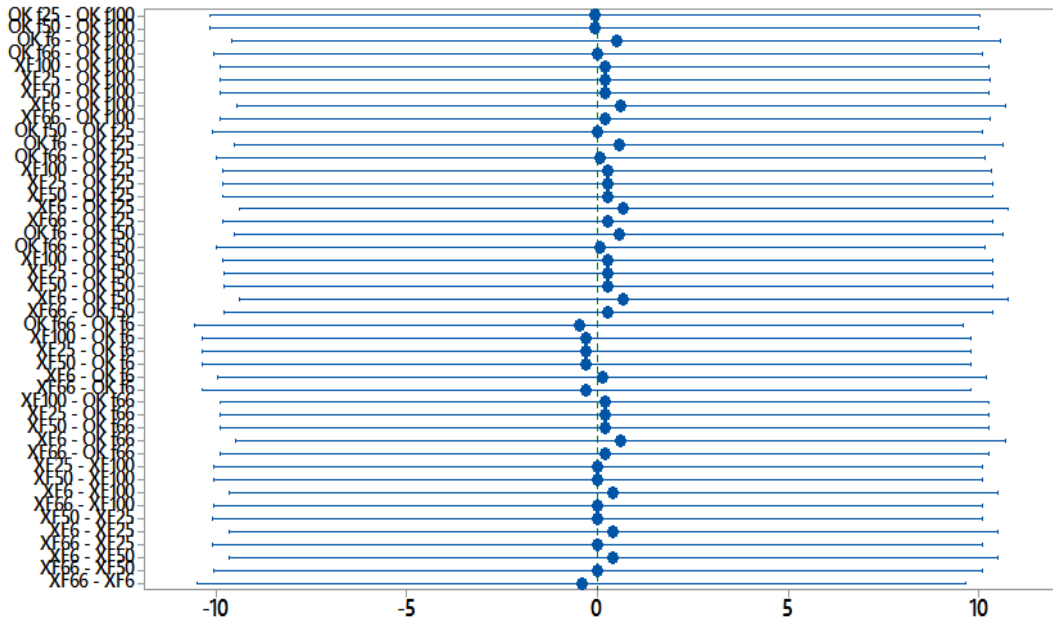


Figura 112. Comparación de Tukey para media.

6.4.12.7 Kurtosis TPS

En la gráfica de distribución normal se presenta que los puntos del extremo están más dispersos y alejados de la recta, pero el resto de los residuos siguen la línea recta.

En la figura de residuos y valores ajustados, existen un mayor número de valores cerca del valor máximo, pero no existe evidencia de varianza no constante, comprobándolo en el histograma y sus residuos.

La gráfica de residuos en el orden de observaciones, no existe datos de error estén correlacionados.

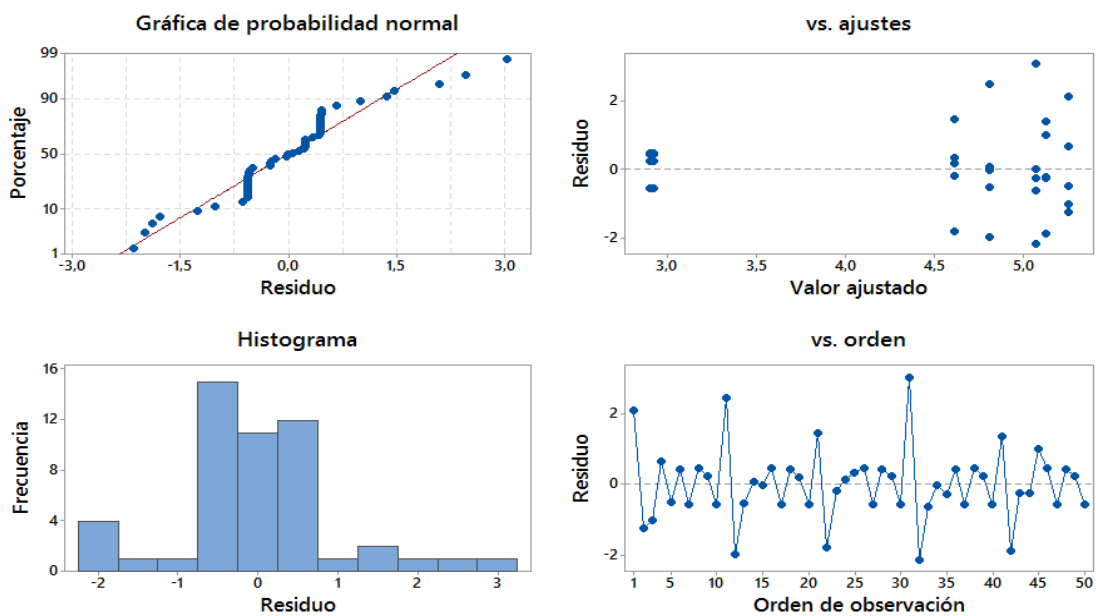


Figura 113. Gráfica de residuos para Kurtosis.

En la figura de intervalos de medias de nivel ICs, se observa que las muestras de las frecuencias se distancian solo entre las de fallo y OK, eso quiere decir que existe diferencia entre las medias.

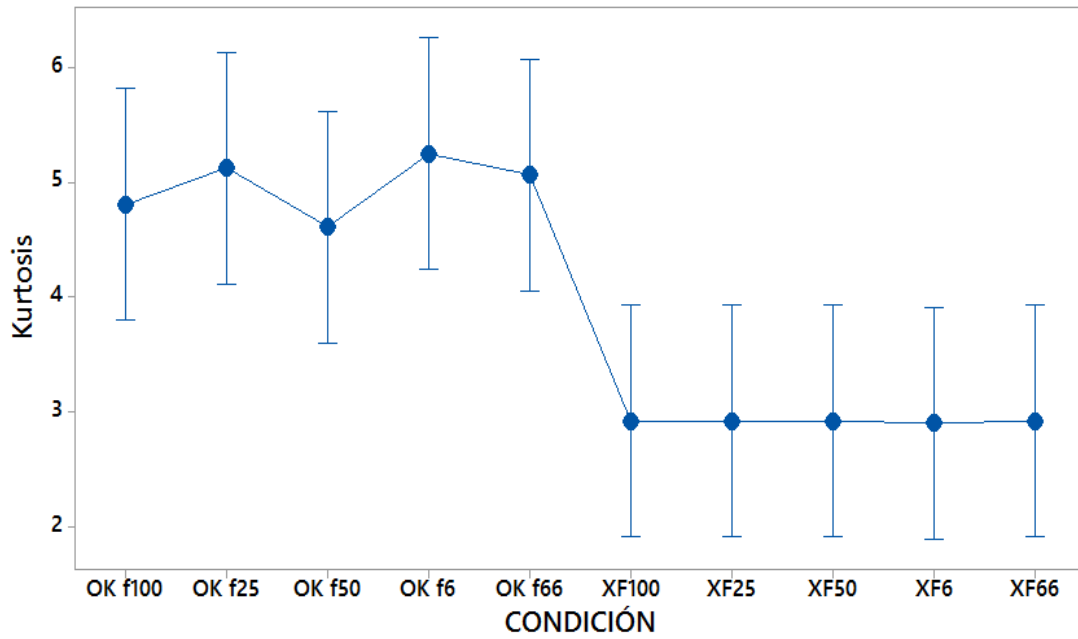


Figura 114. Gráfica de Intervalos de Kurtosis vs Condición, IC 95%.

El resultado del análisis de varianza entrega un p – value igual a 0, que es inferior al nivel de significancia $\alpha = 0,05$ seleccionado para el análisis. Se concluye que existe una diferencia significativa para las frecuencias.

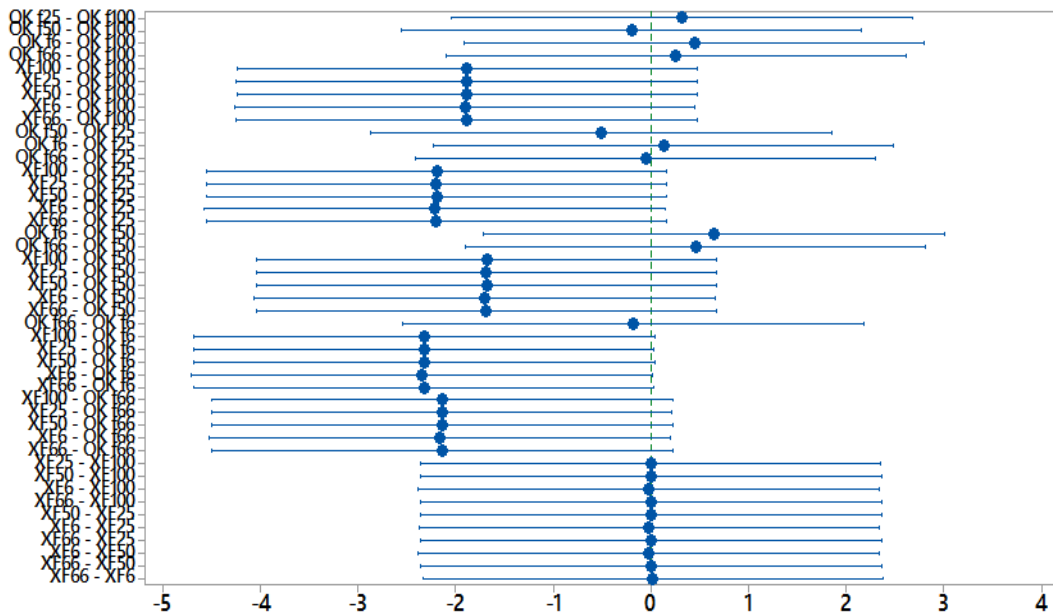


Figura 115. Comparación de Tukey para media.

6.4.13 Sensor MAP

6.4.13.1 Energía MAP

En la gráfica de distribución normal se presenta residuos versus sus valores esperados para los datos de energía, los residuos siguen recta y no hay evidencia de, asimetría y de variables no identificadas.

En la gráfica de residuos y valores ajustados, los datos están dispersos alrededor del cero, por lo tanto, no hay varianza no constante, términos faltantes o valores atípicos. En el histograma se muestra la distribución de los residuos para las observaciones, siendo así no existe asimetría o valores atípicos.

La gráfica de residuos en el orden de observaciones, esta gráfica es útil cuando el orden de las observaciones puede influir en los resultados, esto puede ocurrir si las muestras son recolectadas en una secuencia de tiempo o en alguna secuencia establecida. Para los datos de energía los residuos están dispersos alrededor del cero, no existe evidencia que los datos de error estén correlacionados entre sí.

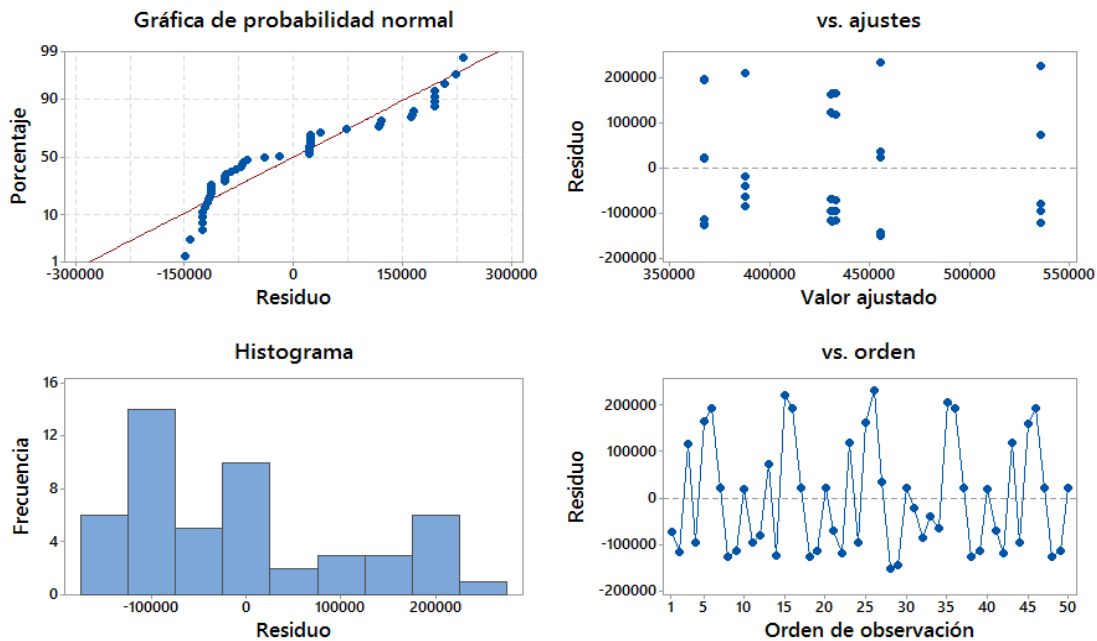


Figura 116. Gráfica de residuos para energía.

En la figura de intervalos de medias de nivel ICs, se observa que las muestras de las frecuencias todas se sobreponen, eso quiere decir que no existe diferencia entre las medias.

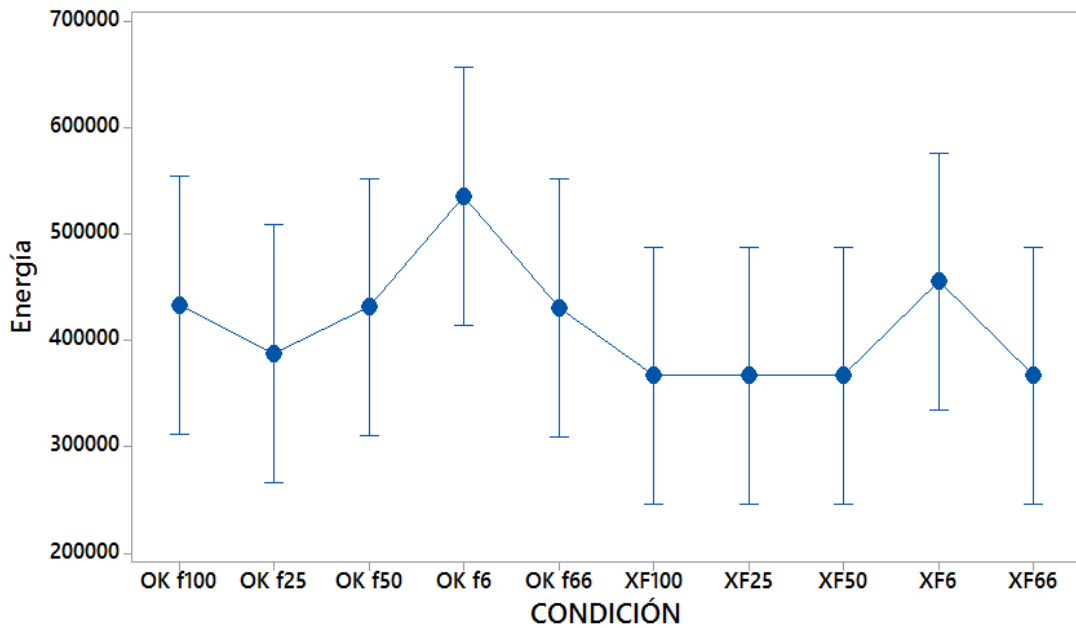


Figura 117. Gráfica de Intervalos de Energía vs Condición, IC 95%.

Con el método de Tukey se compara las medias para cada par de niveles de un factor, como se observa en la figura, los intervalos de confianza para la diferencia entre las medias incluyen cero, esto significa que las diferencias no son significativas.

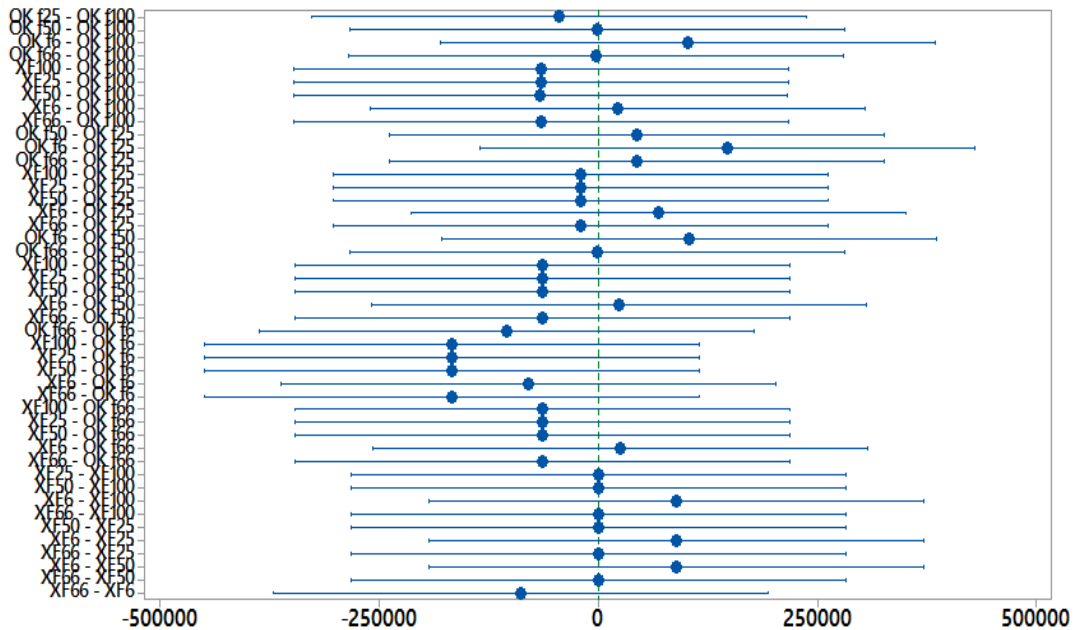


Figura 118. Comparación de Tukey para media.

El resultado del análisis de varianza entrega un p – value igual a 0,588, que es superior al nivel de significancia $\alpha = 0,05$ seleccionado para el análisis. Con estos valores se concluye que no existe una diferencia significativa para las frecuencias.

6.4.13.2 Potencia MAP

En la gráfica de distribución normal se presenta residuos versus sus valores esperados para los datos de energía, los residuos siguen recta y no hay evidencia de, asimetría y de variables no identificadas. En la gráfica de residuos y valores ajustados, los datos están dispersos alrededor del cero, no hay varianza no constante, términos faltantes o valores atípicos. En el histograma se muestra la distribución de los residuos para las observaciones, siendo así no existe asimetría o valores atípicos.

La gráfica de residuos en el orden de observaciones, esta gráfica es útil cuando el orden de las observaciones puede influir en los resultados, esto puede ocurrir si las muestras son recolectadas en una secuencia de tiempo o en alguna secuencia establecida. Para los datos de energía los residuos están dispersos alrededor del cero, no existe evidencia que los datos de error estén correlacionados entre sí.

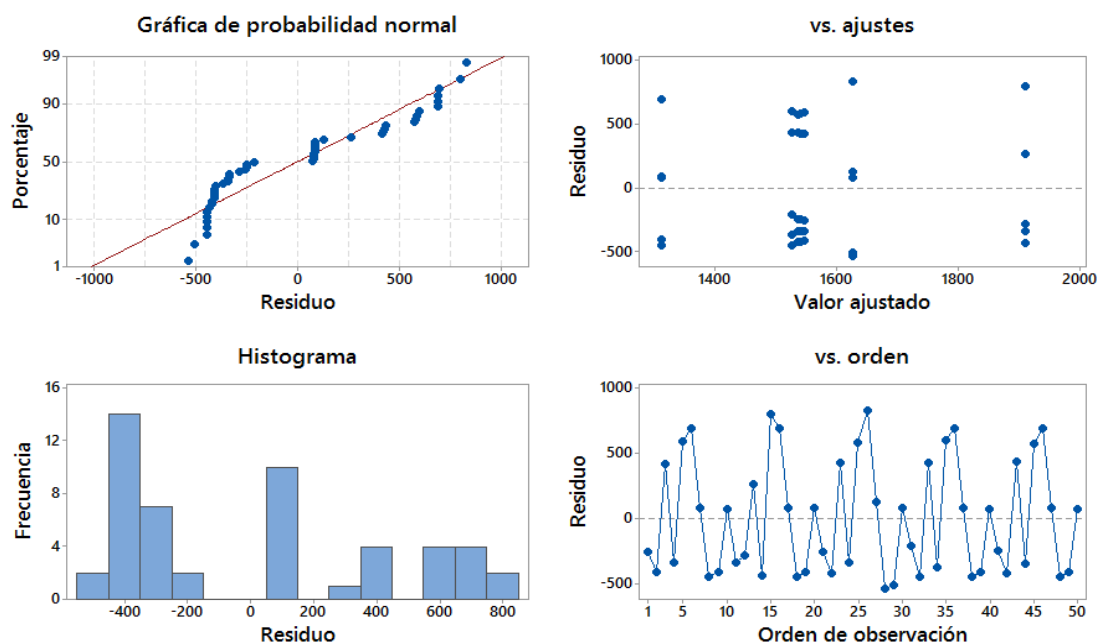


Figura 119. Gráfica de residuos para potencia.

En la figura de intervalos de medias de nivel ICs, se observa que las muestras de las frecuencias todas se sobreponen, eso quiere decir que no existe diferencia entre las medias, el comportamiento se da igual tanto en las frecuencias de OK y falla en las frecuencias de F6.

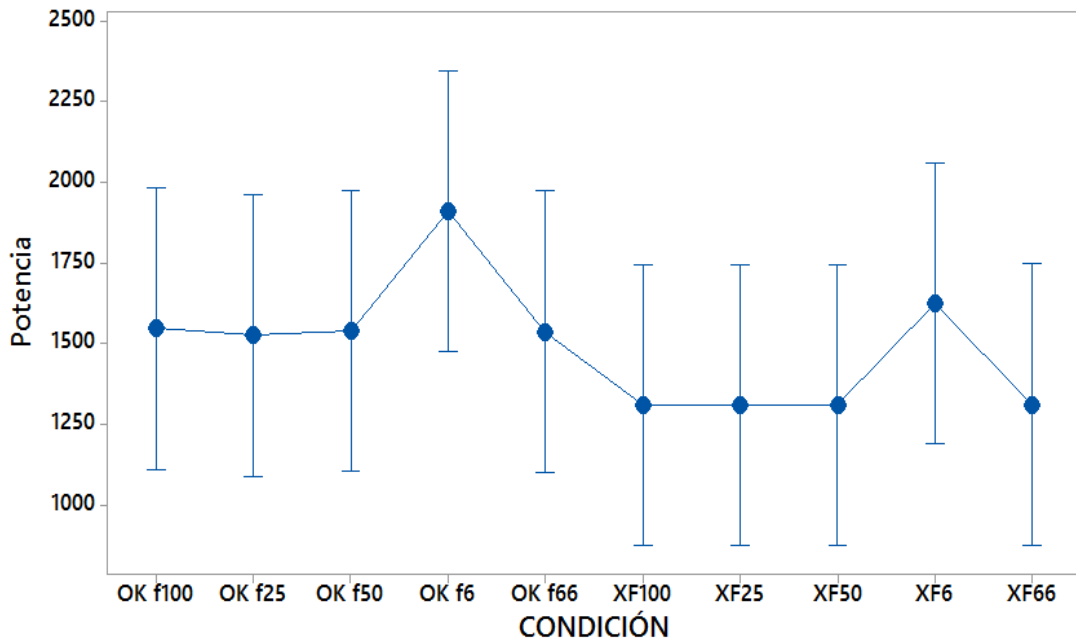


Figura 120. Gráfica de Intervalos de Potencia vs Condición, IC 95%.

El resultado del análisis de varianza entrega un p – value igual a 0,622, que es superior al nivel de significancia $\alpha = 0,05$ seleccionado para el análisis. Con estos valores se concluye que no existe una diferencia significativa para las frecuencias, se acepta la hipótesis alternativa.

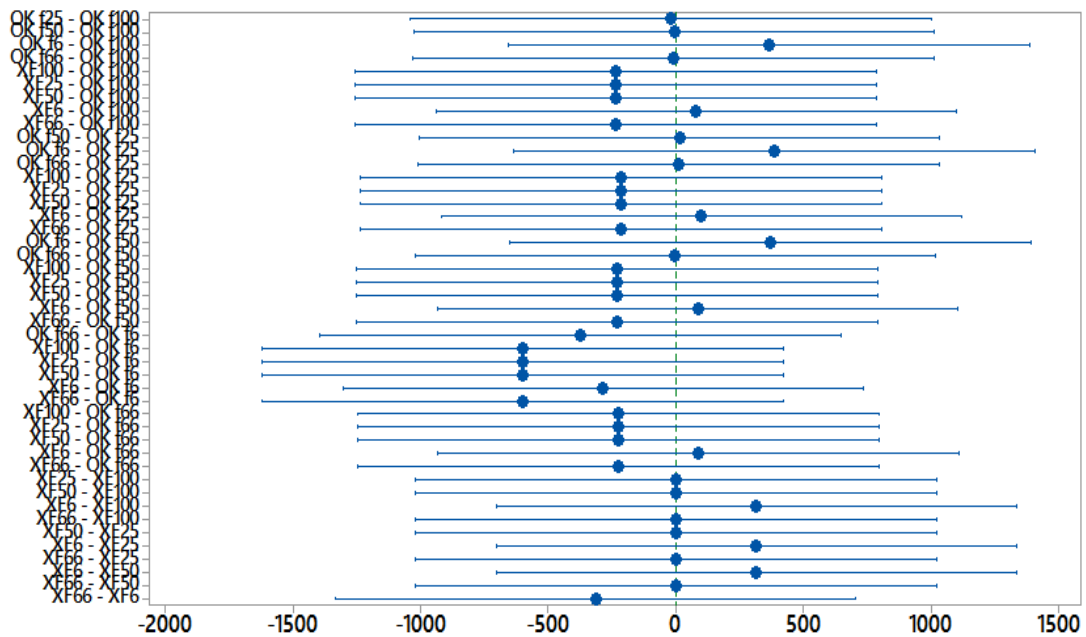


Figura 121. Comparación de Tukey para media.

6.4.13.3 Media MAP

En la gráfica de distribución normal se presenta que los puntos del extremo están alejados de la recta, pero no afectan para que exista asimetría o variables no identificadas, ya que el resto de los residuos siguen la línea recta.

En la gráfica de residuos versus valores ajustados, no existe evidencia de varianza no constante, comprobándolo en el histograma y sus residuos.

La gráfica de residuos en el orden de observaciones, no hay evidencia que los datos de error estén correlacionados.

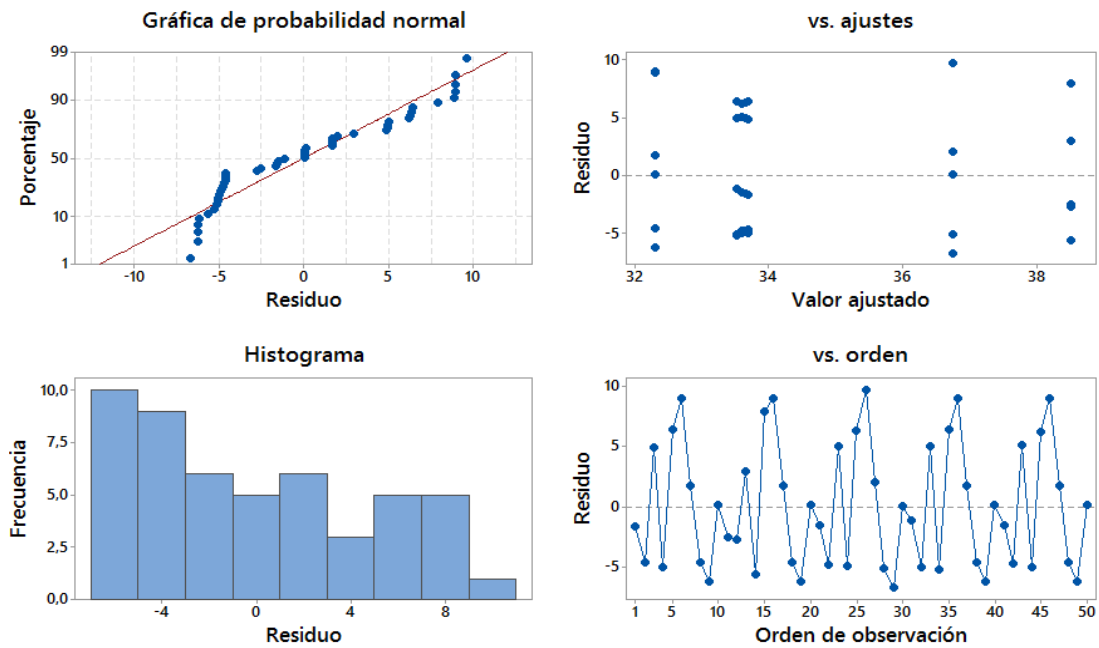


Figura 122. Gráfica de residuos para Media.

En la figura de intervalos de medias de nivel ICs, se observa que las muestras de las frecuencias todas se sobreponen, eso quiere decir que no existe diferencia entre las medias, solo con la observación que las frecuencias OKf6 y XF6 son las que tienden a tener la diferencia mayor entre las medias.

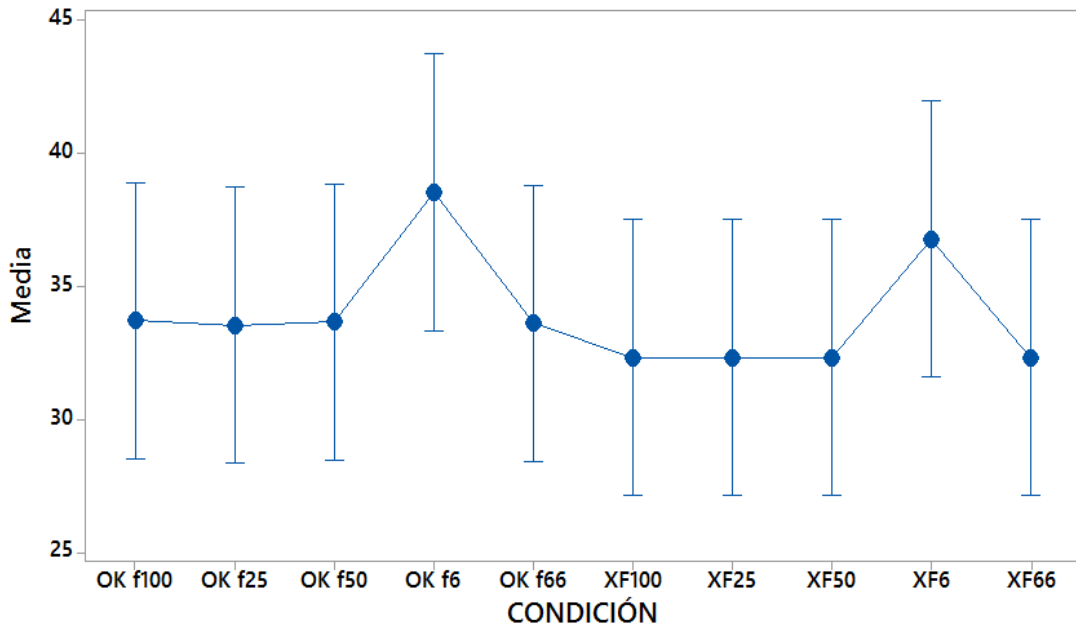


Figura 123. Gráfica de Intervalos de Media vs Condición, IC 95%.

El resultado del análisis de varianza entrega un p – value igual a 0,726, que es superior al nivel de significancia $\alpha = 0,05$ seleccionado para el análisis. Con estos valores se concluye que no existe una diferencia significativa para las frecuencias, se acepta la hipótesis alternativa.

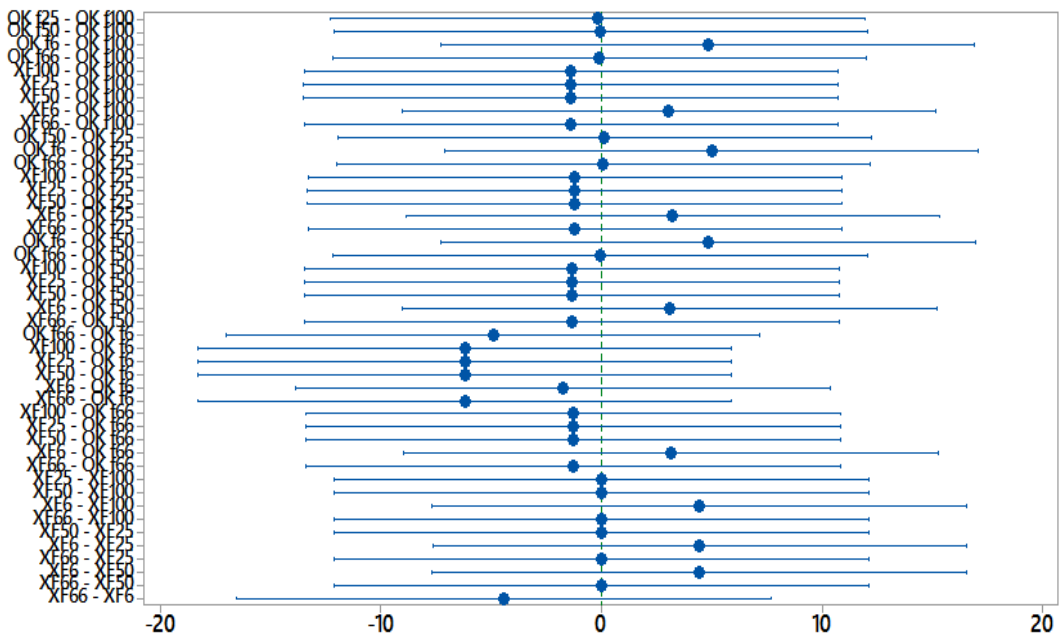


Figura 124. Comparación de Tukey para media.

6.4.13.4 RMS MAP

En la gráfica de distribución normal se presenta que los puntos del extremo están alejados de la recta, pero no afectan para que exista asimetría o variables no identificadas, ya que el resto de los residuos siguen la línea recta.

En la figura de residuos y valores ajustados, no existe evidencia de varianza no constante, comprobándolo en el histograma y sus residuos.

La gráfica de residuos en el orden de observaciones, no hay datos de error que estén correlacionados.

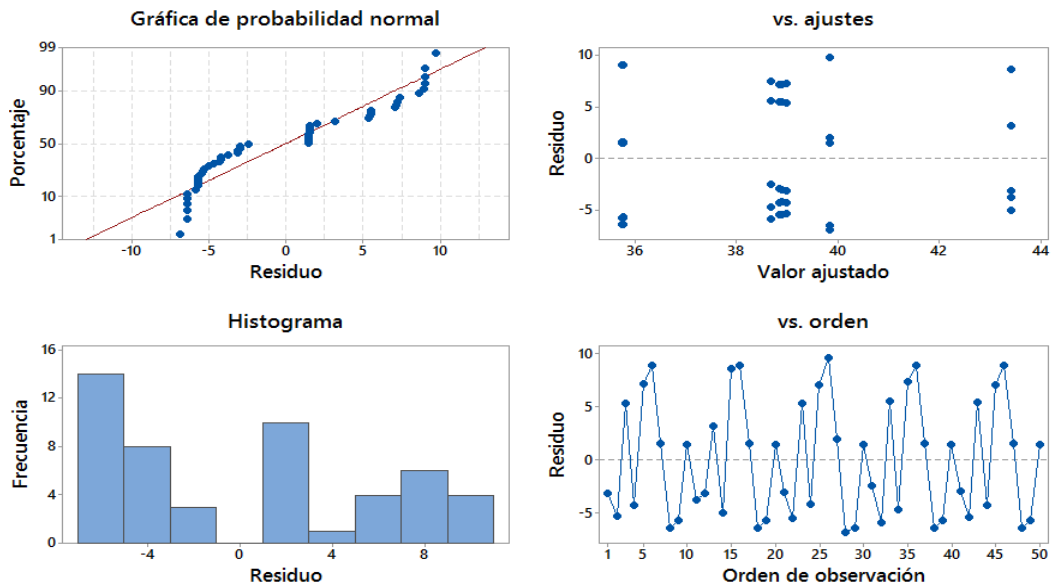


Figura 125. Gráfica de residuos para RMS.

En la figura de intervalos de medias de nivel ICs, se observa que las muestras de las frecuencias todas se sobreponen, eso quiere decir que no existe diferencia entre las medias.

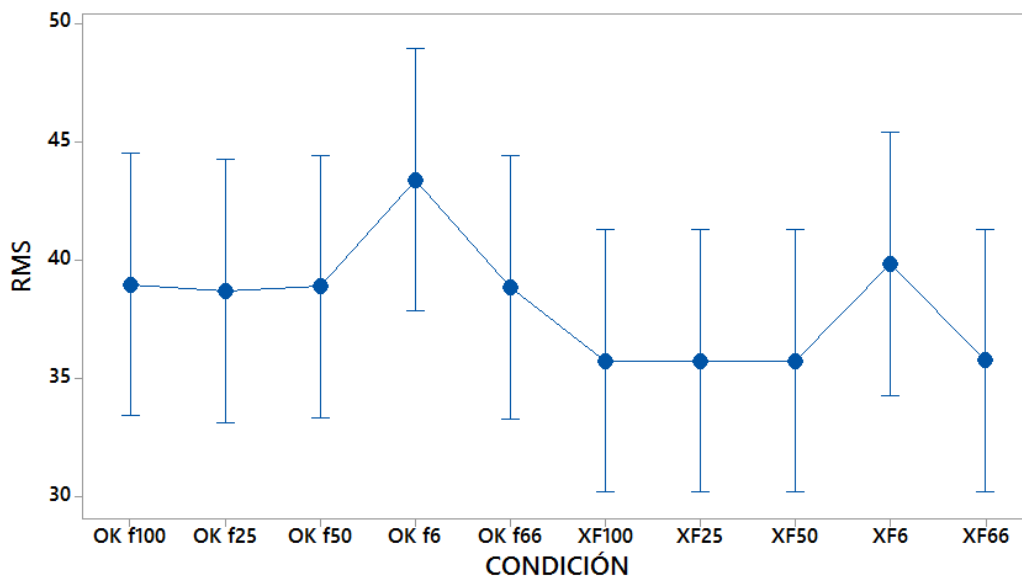


Figura 126. Gráfica de Intervalos de RMS vs Condición, IC 95%.

El resultado del análisis de varianza entrega un p – value igual a 0,607, que es superior al nivel de significancia $\alpha = 0,05$ seleccionado para el análisis. Con estos valores se concluye que no existe una diferencia significativa para las frecuencias, se acepta la hipótesis alternativa.

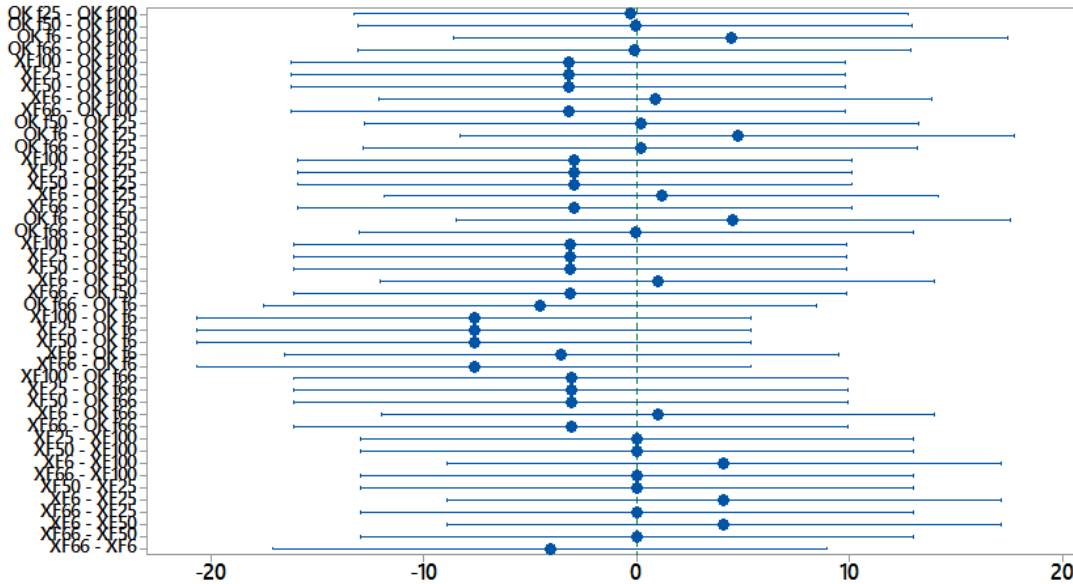


Figura 127. Comparación de Tukey para media.

6.4.13.5 Varianza MAP

En la gráfica de distribución normal se presenta que los puntos del extremo están alejados de la recta, pero el resto de los residuos siguen la línea recta.

En la gráfica de residuos versus valores ajustados, no existe evidencia de varianza no constante, comprobándolo en el histograma y sus residuos.

La gráfica de residuos en el orden de observaciones, no existe evidencia que los datos de error estén correlacionados entre sí.

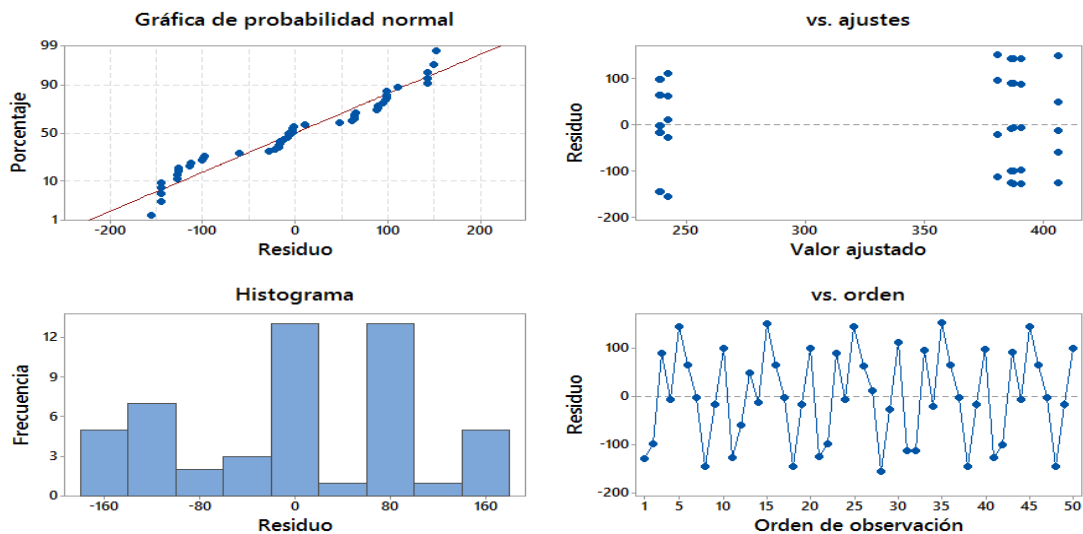


Figura 128. Gráfica de residuos para Varianza.

En la figura de intervalos de medias de nivel ICs, se observa que las muestras de las frecuencias todas se sobreponen, eso quiere decir que no existe diferencia entre las medias, solo se puede observar que existe un ligero cambio entre los datos de OK y fallo.

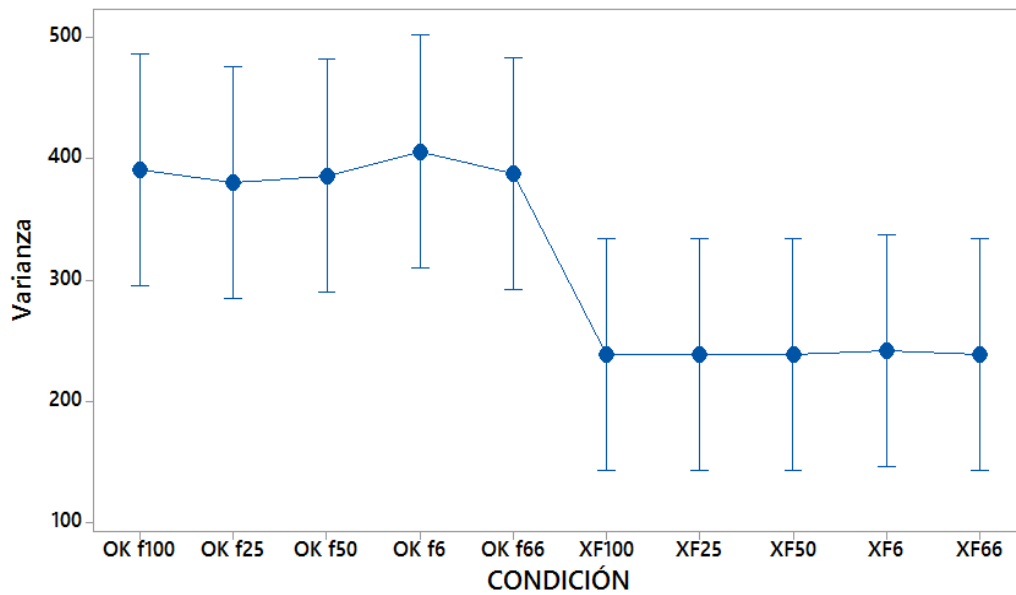


Figura 129. Gráfica de Intervalos de Varianza vs Condición, IC 95%.

El resultado del análisis de varianza entrega un p – value igual a 0,011, que es inferior al nivel de significancia $\alpha = 0,05$ seleccionado para el análisis. Se concluye que existe una diferencia significativa para las frecuencias.

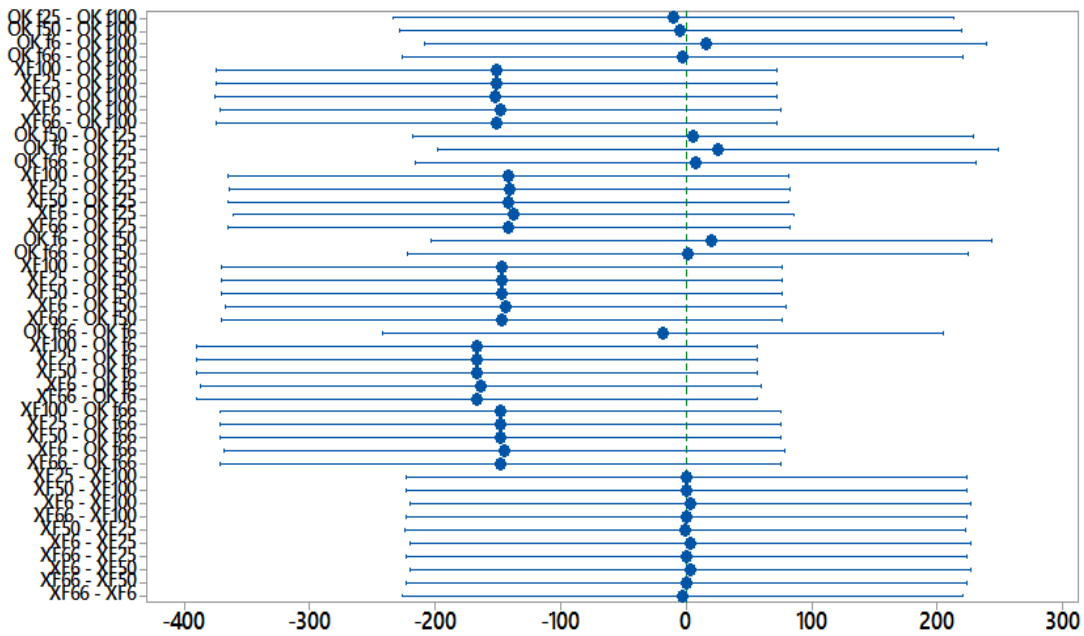


Figura 130. Comparación de Tukey para media.

6.4.13.6 Desviación Estándar MAP

En la gráfica de distribución normal se presenta que los puntos del extremo están alejados de la recta, pero el resto de los residuos siguen la línea recta.

En la figura de residuos y valores ajustados, no existe evidencia de varianza no constante, comprobándolo en el histograma y sus residuos.

La gráfica de residuos en el orden de observaciones, no hay evidencia que los datos estén correlacionados entre sí.

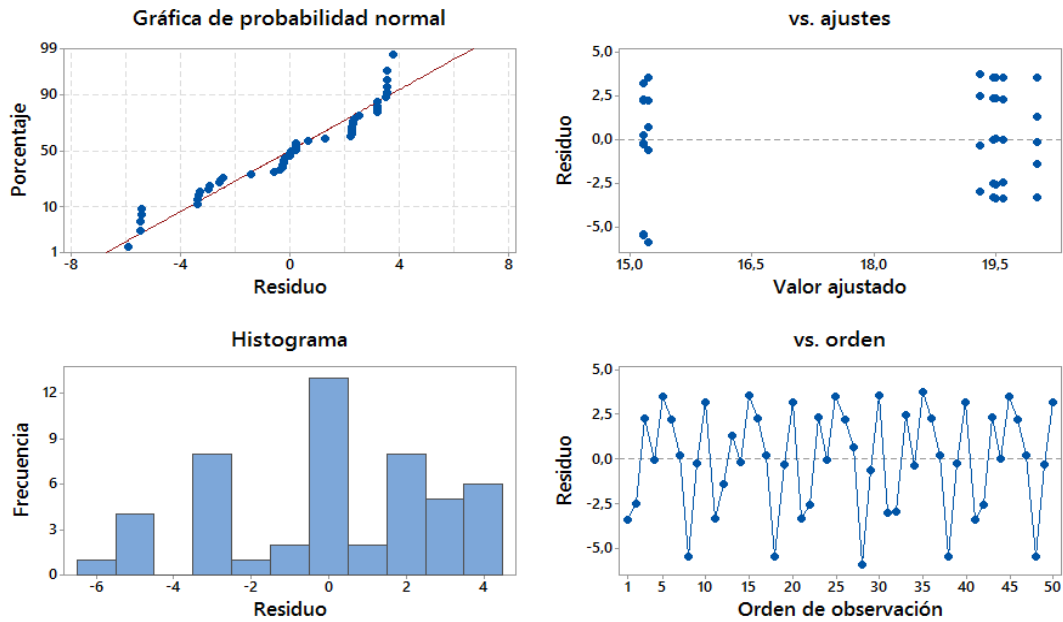


Figura 131. Gráfica de residuos para Desviación Estándar.

En la figura de intervalos de medias de nivel ICs, se observa que las muestras de las frecuencias todas se sobreponen, eso quiere decir que no existe diferencia entre las medias, pero existe un distanciamiento entre las frecuencias de OK y fallo.

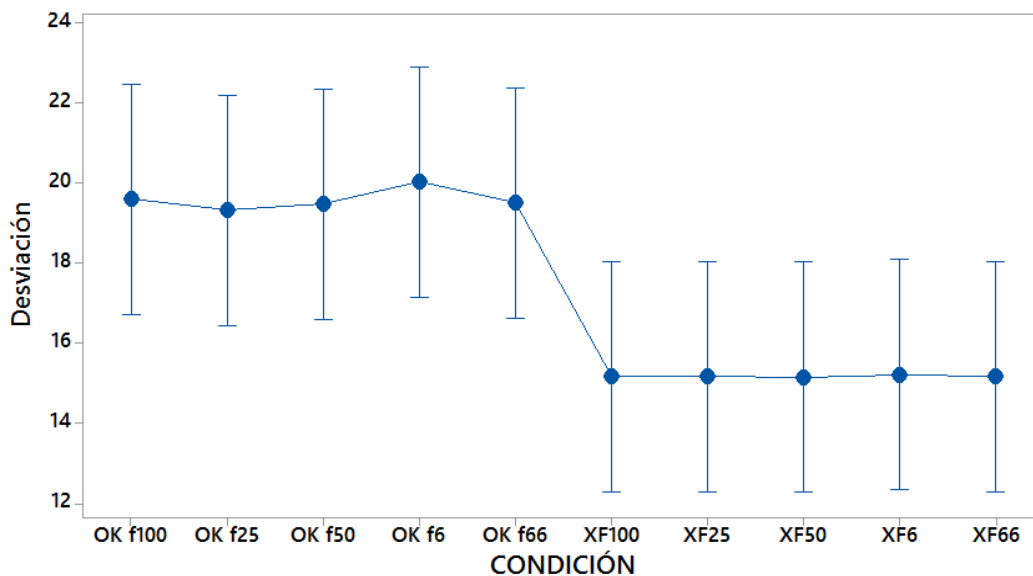


Figura 132. Gráfica de Intervalos de Desviación Estándar vs Condición, IC 95%.

El resultado del análisis de varianza entrega un p – value igual a 0,016, que es inferior al nivel de significancia $\alpha = 0,05$ seleccionado para el análisis. Se concluye que existe una diferencia significativa para las frecuencias.

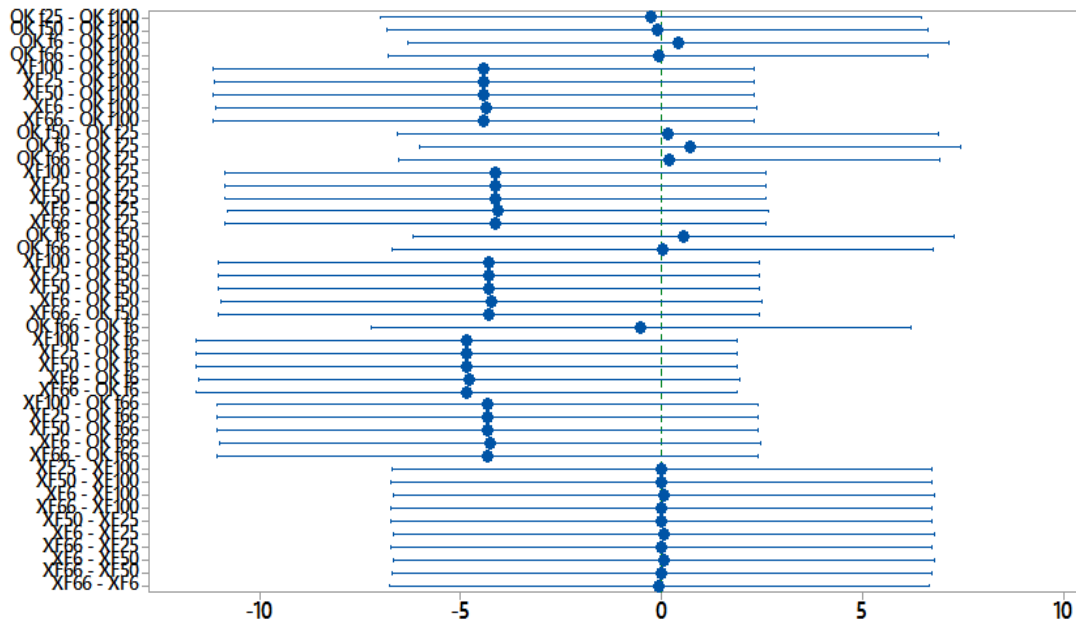


Figura 133. Comparación de Tukey para media.

6.4.13.7 Kurtosis MAP

En la gráfica de distribución normal se presenta que los puntos del extremo están más dispersos y alejados de la recta, pero el resto de los residuos siguen la línea recta.

En la gráfica de residuos versus valores ajustados, existen un mayor número de valores cerca del valor máximo, pero no existe evidencia de varianza no constante, comprobándolo en el histograma y sus residuos.

La gráfica de residuos en el orden de observaciones, no existe evidencia que los datos de estén correlacionados.

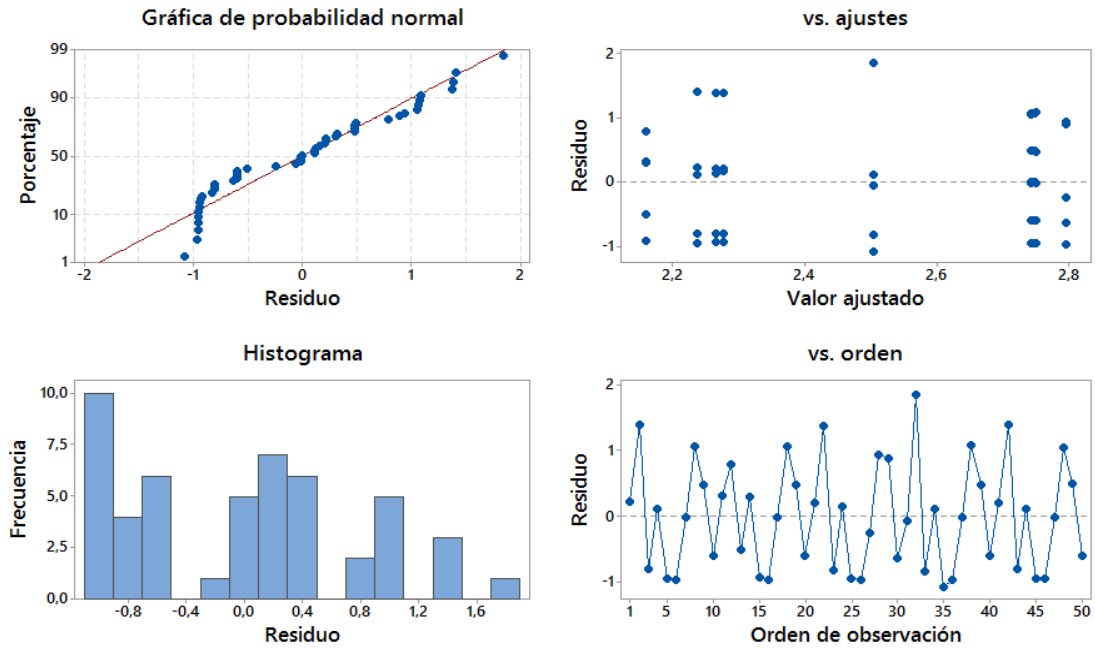


Figura 134. Gráfica de residuos para Kurtosis.

En la figura de intervalos de medias de nivel ICs, se observa que las muestras de las frecuencias todas se sobreponen, eso quiere decir que no existe diferencia entre las medias.

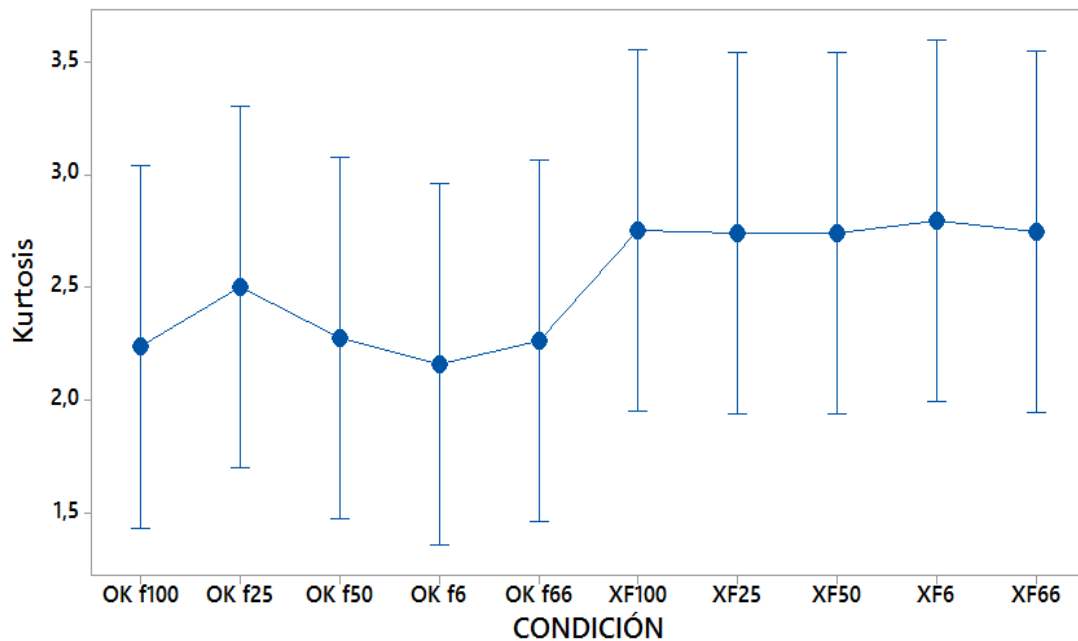


Figura 135. Gráfica de Intervalos de Kurtosis vs Condición, IC 95%.

El resultado del análisis de varianza entrega un p – value igual a 0,909, que es superior al nivel de significancia $\alpha = 0,05$ seleccionado para el análisis. Se concluye que no existe una diferencia significativa para las frecuencias.

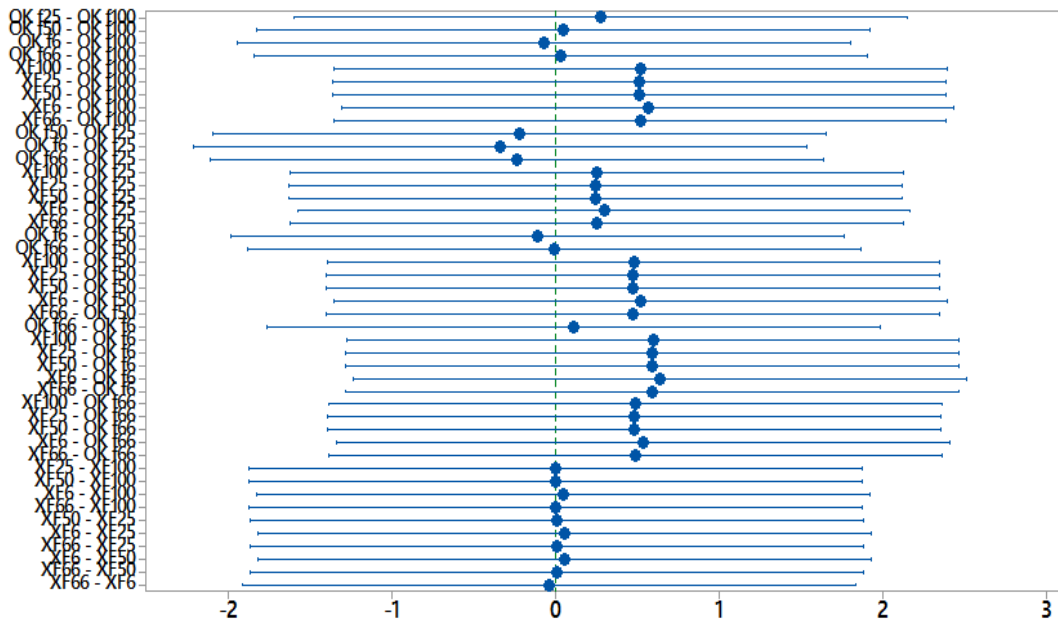


Figura 136. Comparación de Tukey para media.

6.4.14 Sensor de Oxígeno (O2)

6.4.14.1 Energía O2

En la gráfica de distribución normal se presenta residuos versus sus valores esperados para los datos de energía, los residuos siguen recta y no hay evidencia de, asimetría y de variables no identificadas.

En la gráfica de residuos y valores ajustados, los datos están dispersos alrededor del cero, por lo tanto, no hay varianza no constante, términos faltantes o valores atípicos. En el histograma se muestra la distribución de los residuos para las observaciones, siendo así no existe asimetría o valores atípicos.

La gráfica de residuos en el orden de observaciones, esta gráfica es útil cuando el orden de las observaciones puede influir en los resultados, esto puede ocurrir si las muestras son recolectadas en una secuencia de tiempo o en alguna secuencia establecida. Para los datos de energía los residuos están dispersos alrededor del cero, no existe evidencia que los datos de error estén correlacionados entre sí.

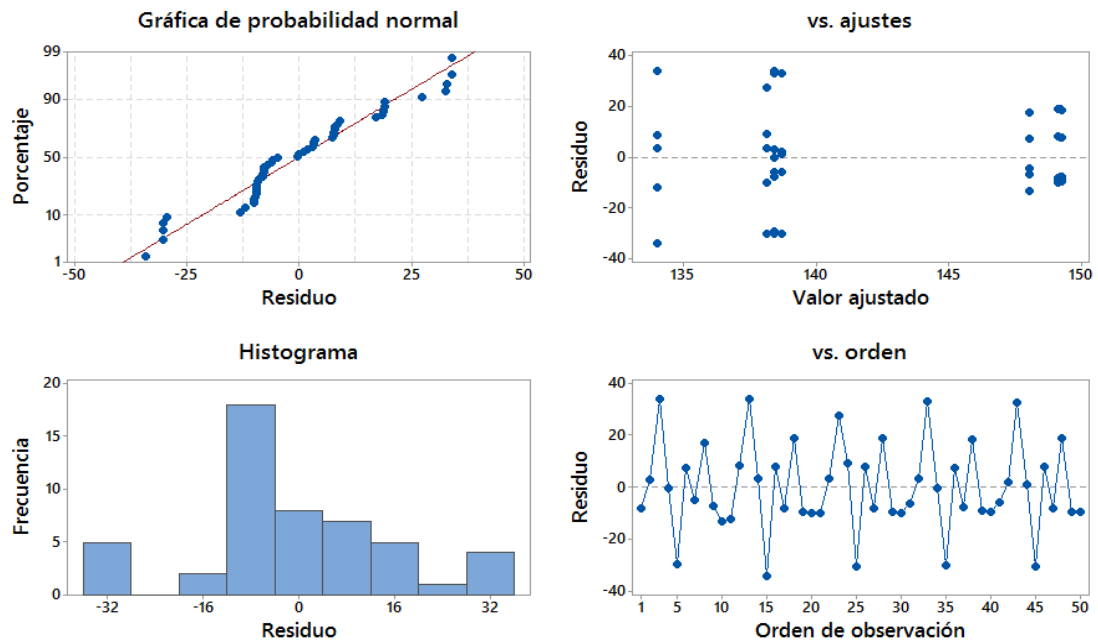


Figura 137. Gráfica de residuos para energía.

En la figura de intervalos de medias de nivel ICs, se observa que las muestras de las frecuencias todas se sobreponen, eso quiere decir que no existe diferencia entre las medias.

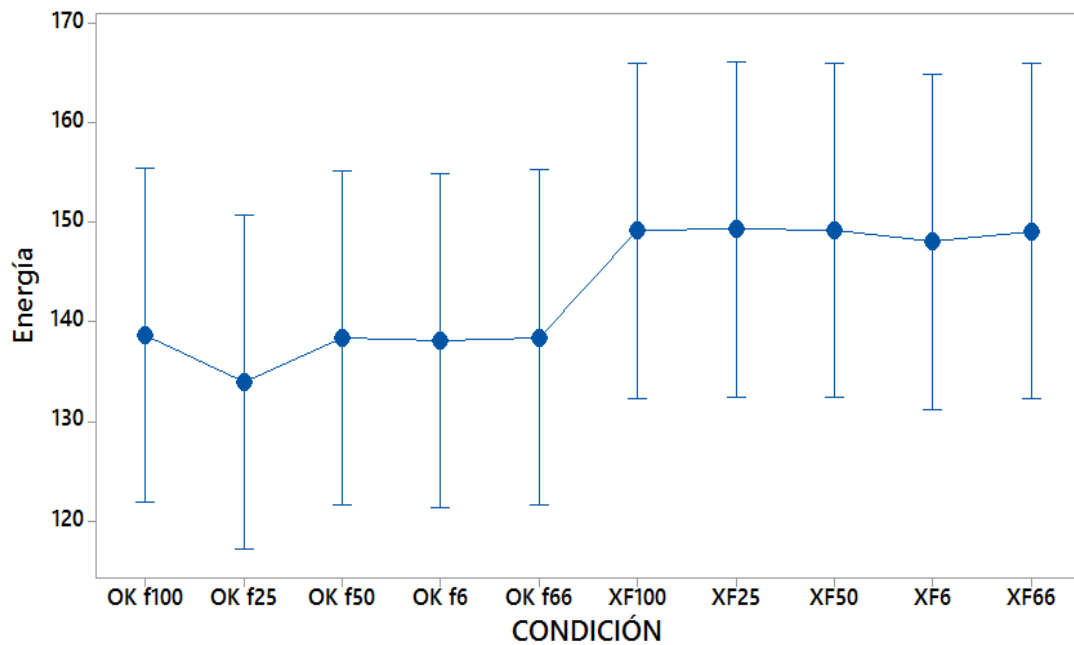


Figura 138. Gráfica de Intervalos de Energía vs Condición, IC 95%.

Con el método de Tukey se compara las medias para cada par de niveles de un factor, como se observa en la figura, los intervalos para la diferencia entre las medias incluyen cero, esto significa que las diferencias no son significativas.

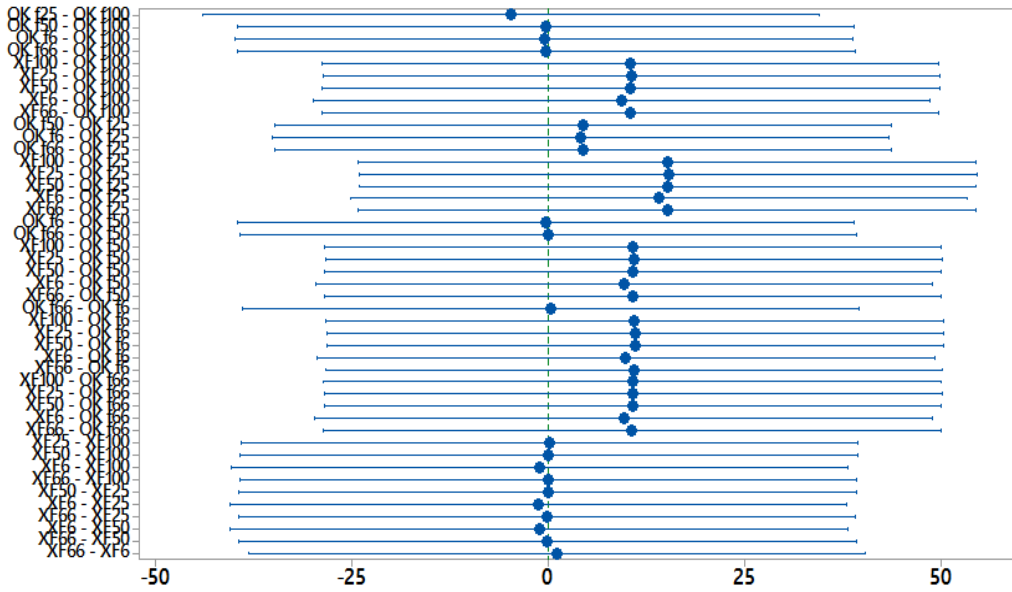


Figura 139. Comparación de Tukey para media.

El resultado del análisis de varianza entrega un p – value igual 0,827, que es superior al nivel de significancia $\alpha = 0,05$ seleccionado para el análisis. Con estos valores se concluye que no existe una diferencia significativa para las frecuencias, se acepta la hipótesis alternativa.

6.4.14.2 Potencia O2

En la gráfica de distribución normal se presenta residuos versus sus valores esperados para los datos de energía, los residuos siguen recta y no hay evidencia de, asimetría y de variables no identificadas.

En la gráfica de residuos y valores ajustados, los datos están dispersos alrededor del cero, por lo tanto, no hay varianza no constante, términos faltantes o valores atípicos. En el histograma se muestra la distribución de los residuos para las observaciones, siendo así no existe asimetría o valores atípicos.

La gráfica de residuos en el orden de observaciones, esta gráfica es útil cuando el orden de las observaciones puede influir en los resultados, esto puede ocurrir si las muestras son recolectadas en una secuencia de tiempo o en alguna secuencia establecida. Para los datos de energía los residuos están dispersos alrededor del cero, no existe evidencia que los datos de error estén correlacionados entre sí.

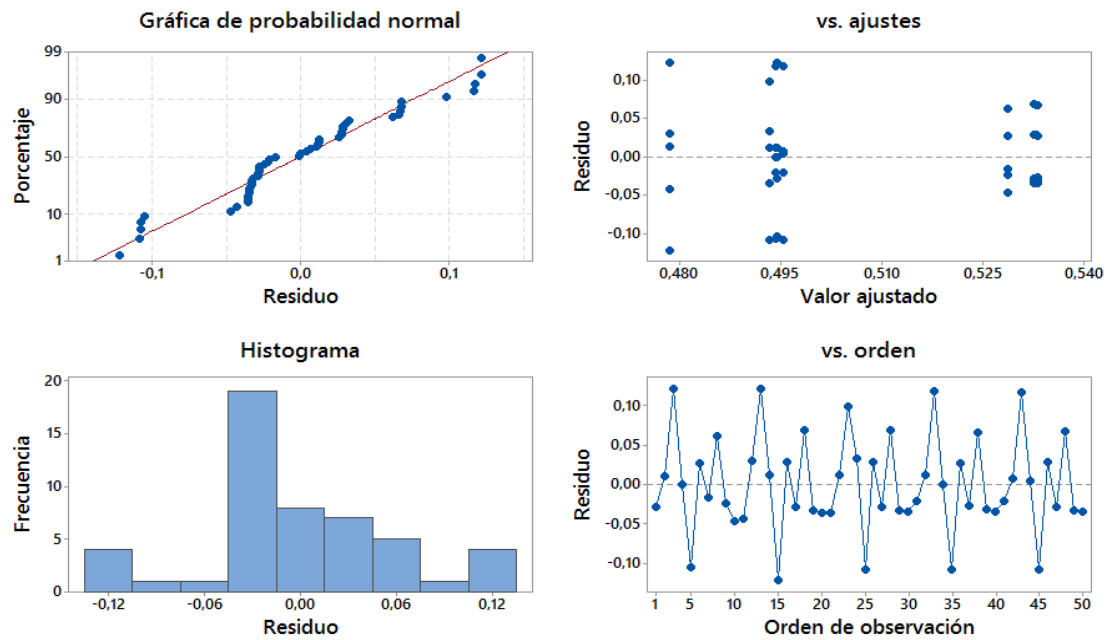


Figura 140. Gráfica de residuos para potencia.

En la figura de intervalos de medias de nivel ICs, se observa que las muestras de las frecuencias todas se sobreponen, eso quiere decir que no existe diferencia entre las medias.

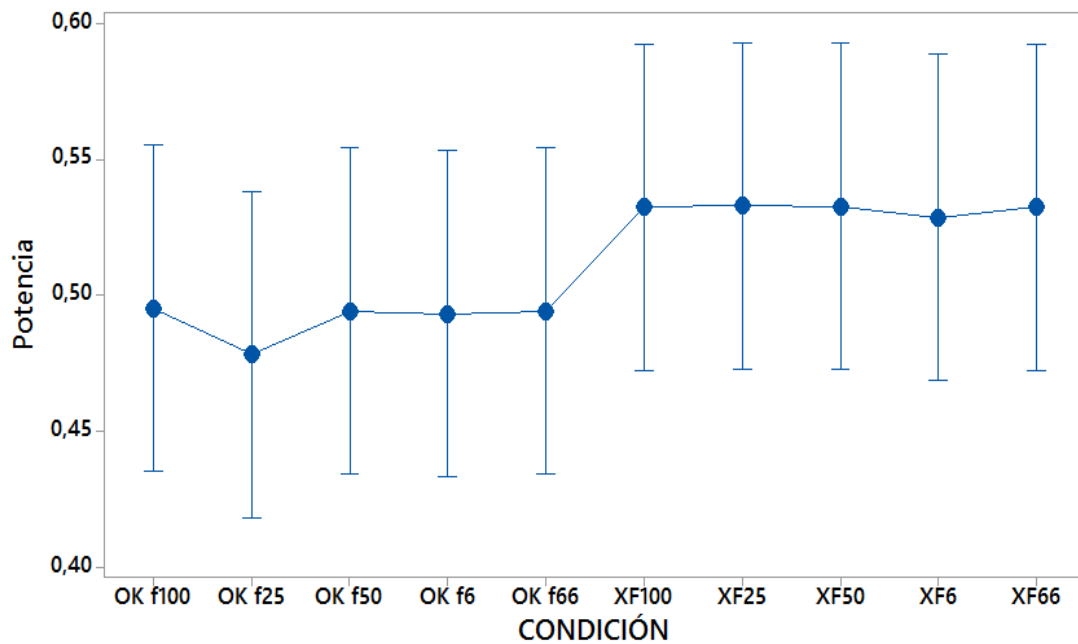


Figura 141. Gráfica de Intervalos de Potencia vs Condición, IC 95%.

El resultado del análisis de varianza entrega un p – value igual a 0,827, que es superior al nivel de significancia $\alpha = 0,05$ seleccionado para el análisis. Con estos valores se concluye que no existe una diferencia significativa para las frecuencias, se acepta la hipótesis alternativa.

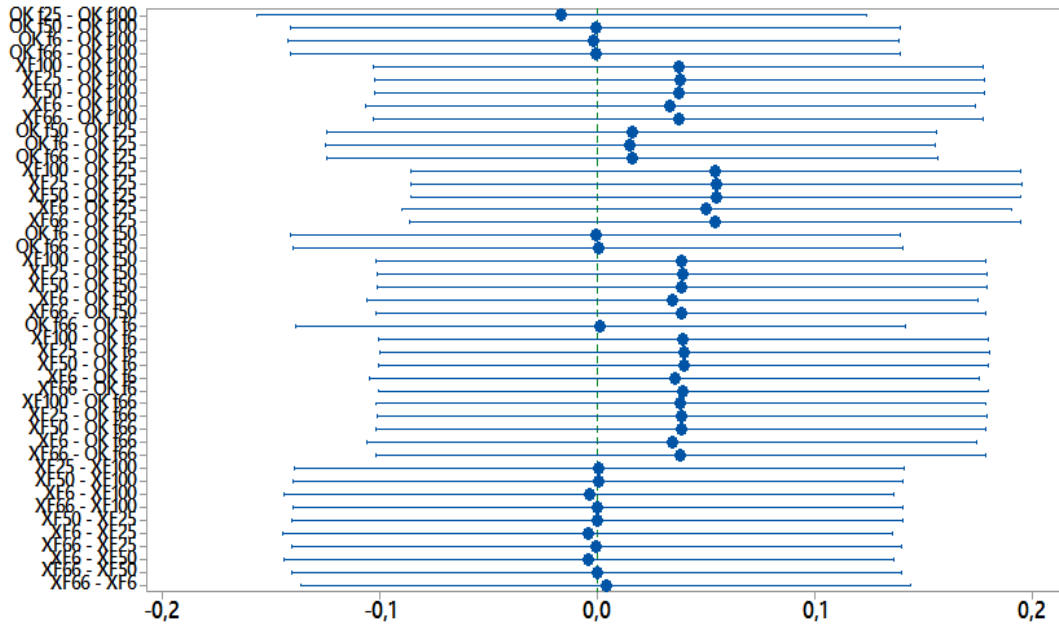


Figura 142. Comparación de Tukey para media.

6.4.14.3 Media O2

En la gráfica de distribución normal se presenta que los puntos del extremo están alejados de la recta, pero no afectan para que exista asimetría o variables no identificadas, ya que el resto de los residuos siguen la línea recta.

En la figura de residuos y valores ajustados, no existe evidencia de varianza no constante, comprobándolo en el histograma y sus residuos.

La gráfica de residuos en el orden de observaciones, no hay evidencia que los datos de error estén correlacionados.

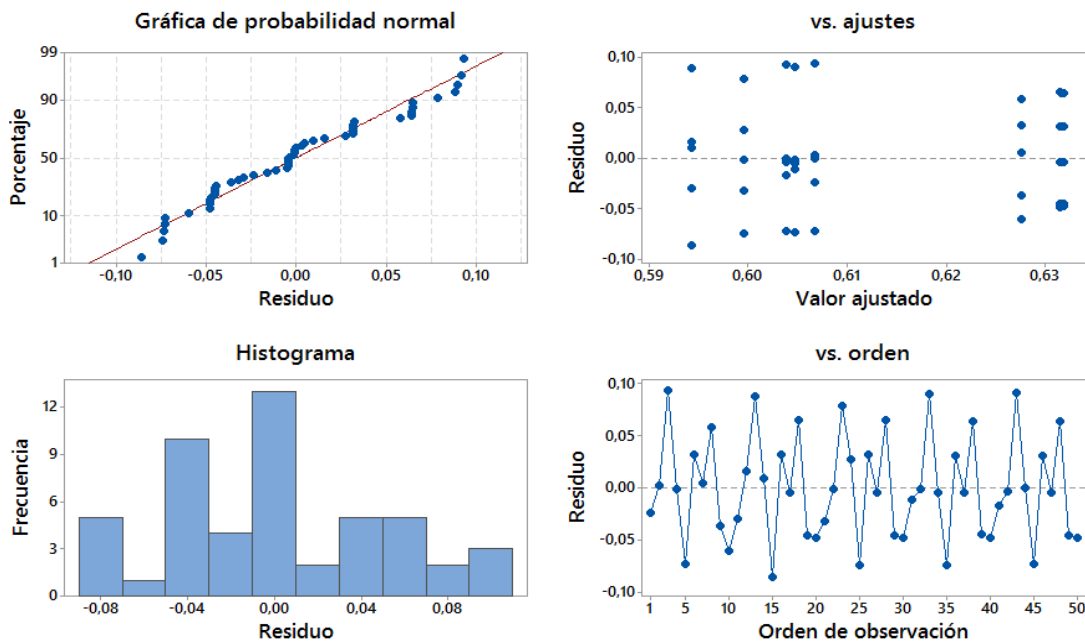


Figura 143. Gráfica de residuos para Media.

En la figura de intervalos de medias de nivel ICs, se observa que las muestras de las frecuencias todas se sobreponen, eso quiere decir que no existe diferencia entre las medias.

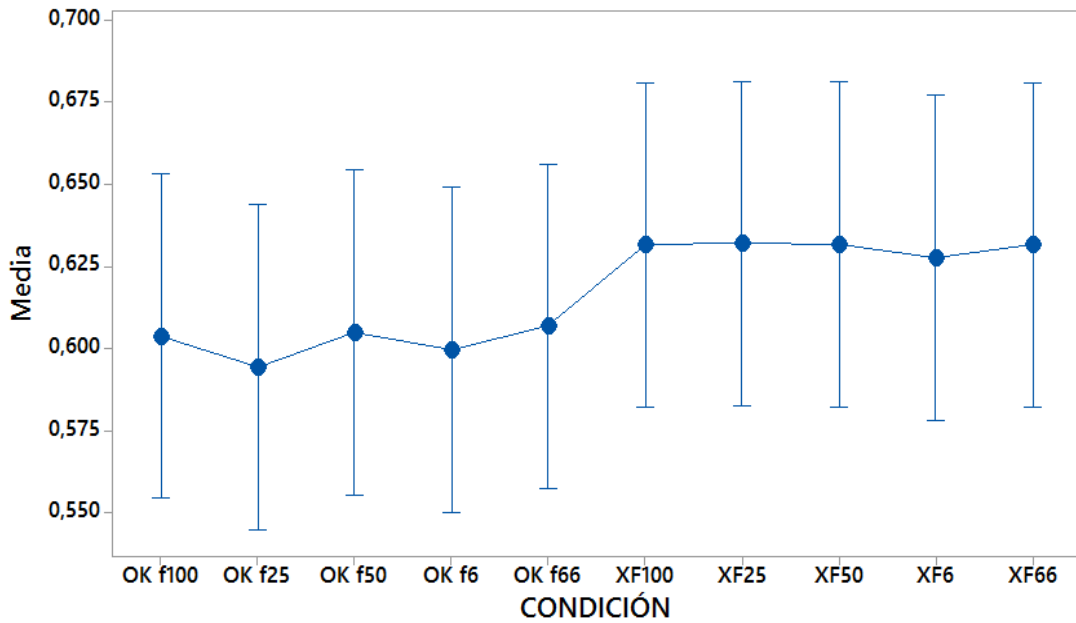


Figura 144. Gráfica de Intervalos de Media vs Condición, IC 95%.

El resultado del análisis de varianza entrega un p – value igual a 0,921, que es superior al nivel de significancia $\alpha = 0,05$ seleccionado para el análisis. Con estos valores se concluye que no existe una diferencia significativa para las frecuencias, se acepta la hipótesis alternativa.

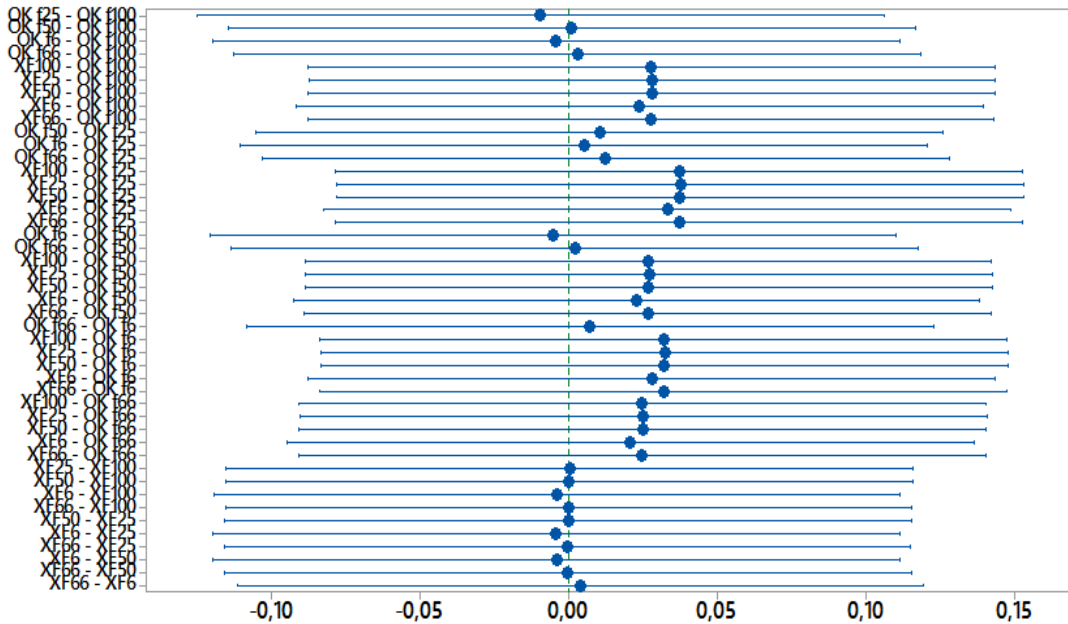


Figura 145. Comparación de Tukey para media.

6.4.14.4 RMS O2

En la gráfica de distribución normal se presenta que los puntos del extremo están alejados de la recta, pero no afectan para que exista asimetría o variables no identificadas, ya que el resto de los residuos siguen la línea recta.

En la gráfica de residuos versus valores ajustados, no existe evidencia de varianza no constante, comprobándolo en el histograma y sus residuos.

La gráfica de residuos en el orden de observaciones, no existe evidencia que los datos de estén relacionados.

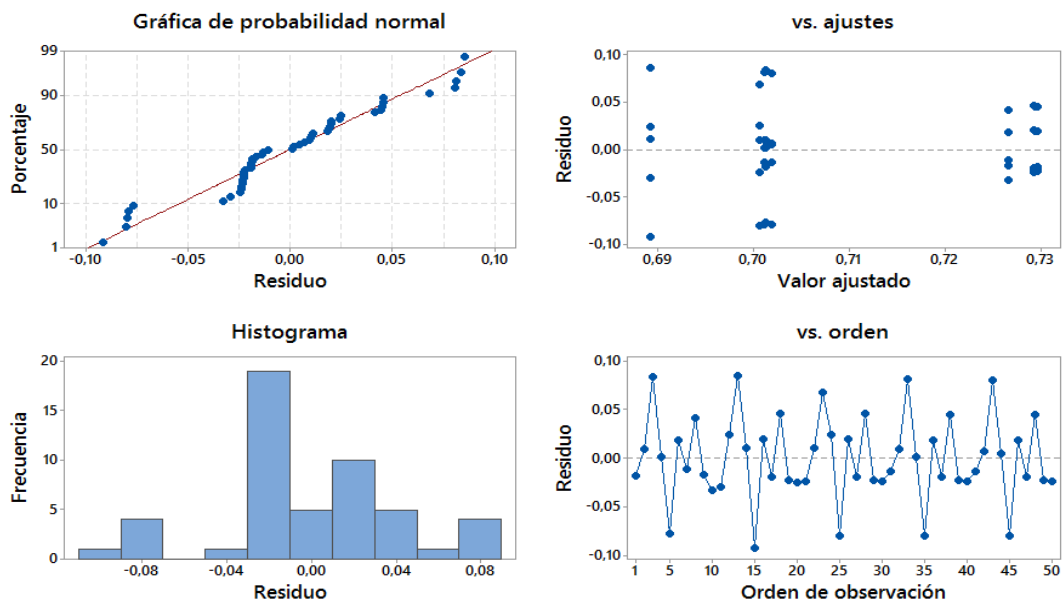


Figura 146. Gráfica de residuos para RMS.

En la figura de intervalos de medias de nivel ICs, se observa que las muestras de las frecuencias todas se sobrepone, eso quiere decir que no existe diferencia entre las medias.

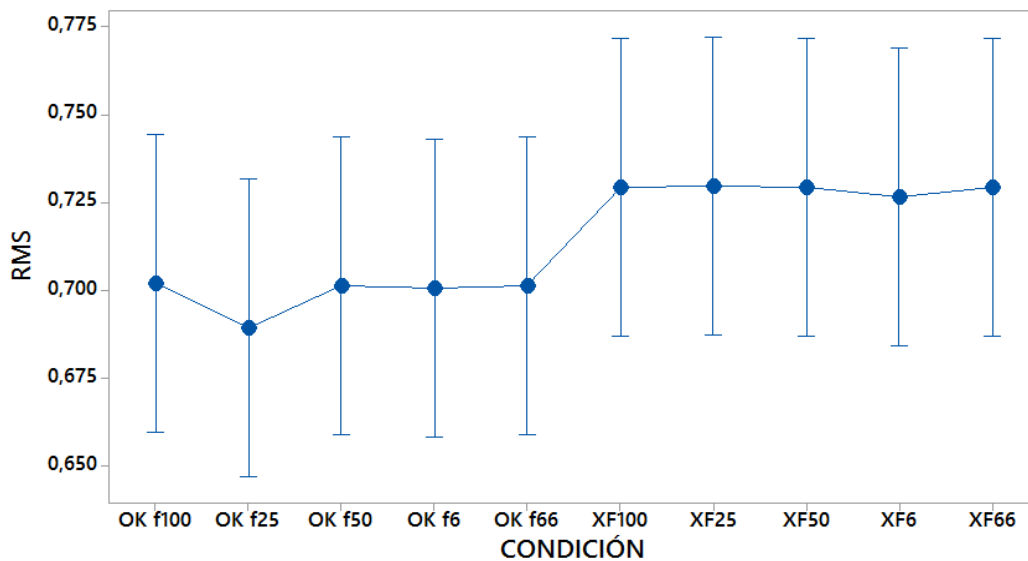


Figura 147. Gráfica de Intervalos de RMS vs Condición, IC 95%.

El resultado del análisis de varianza entrega un p – value igual a 0,791, que es superior al nivel de significancia $\alpha = 0,05$ seleccionado para el análisis. Con estos valores se concluye que no existe una diferencia significativa para las frecuencias, se acepta la hipótesis alternativa.

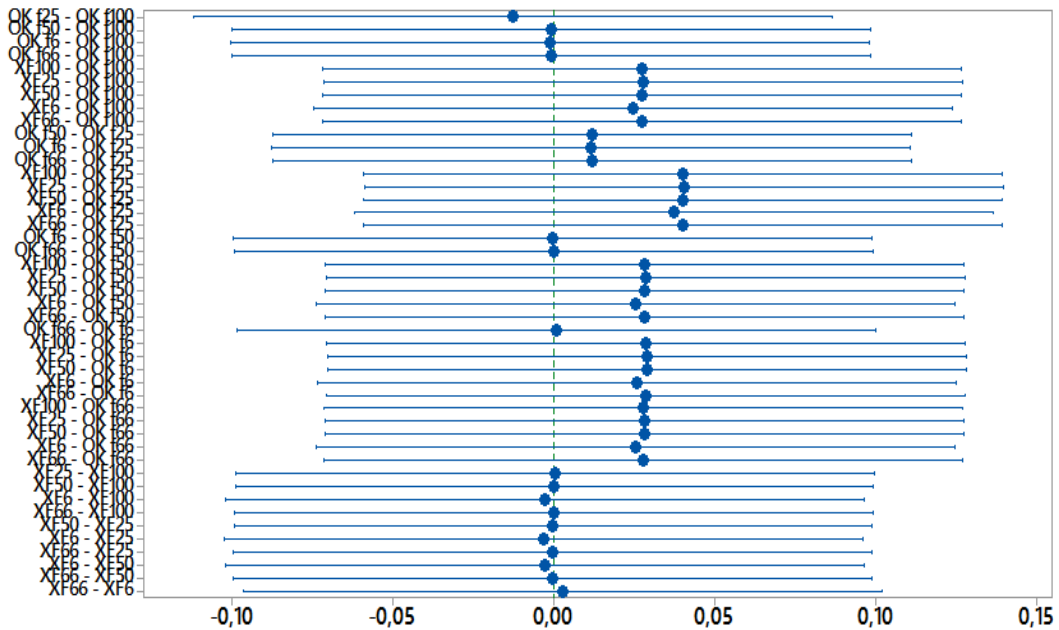


Figura 148. Comparación de Tukey para media.

6.4.14.5 Varianza O2

En la gráfica de distribución normal se presenta que los puntos del extremo están alejados de la recta, pero el resto de los residuos siguen la línea recta.

En la figura de residuos y valores ajustados, no existe evidencia de varianza no constante, comprobándolo en el histograma y sus residuos.

La gráfica de residuos en el orden de observaciones, no hay evidencia que los datos de error estén relacionados.

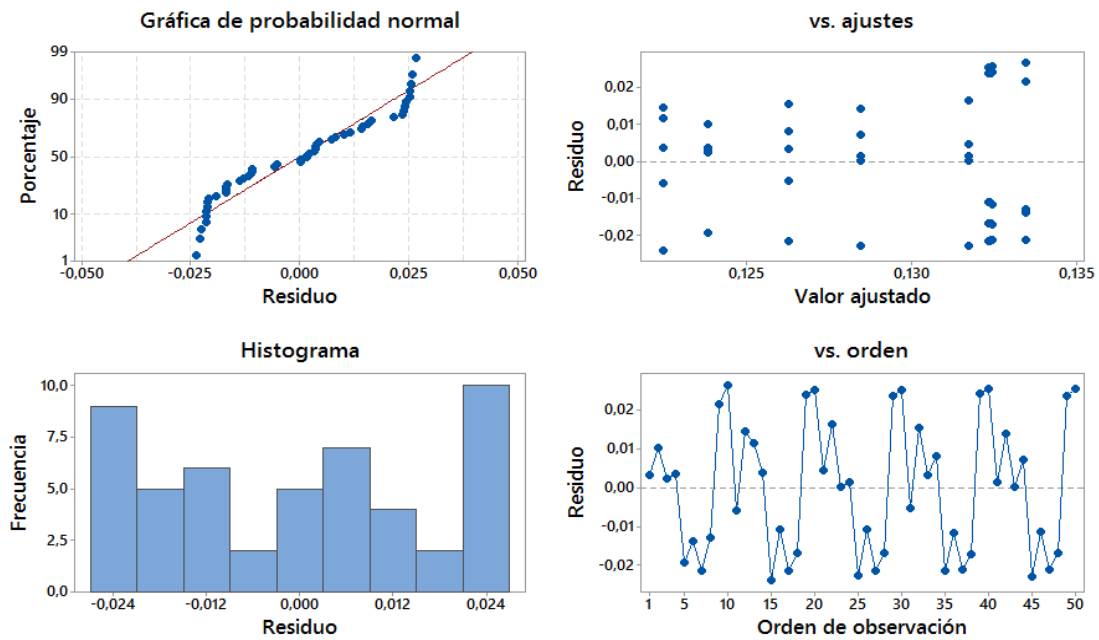


Figura 149. Gráfica de residuos para Varianza.

En la figura de intervalos de medias de nivel ICs, se observa que las muestras de las frecuencias todas se sobreponen, eso quiere decir que no existe diferencia entre las medias.

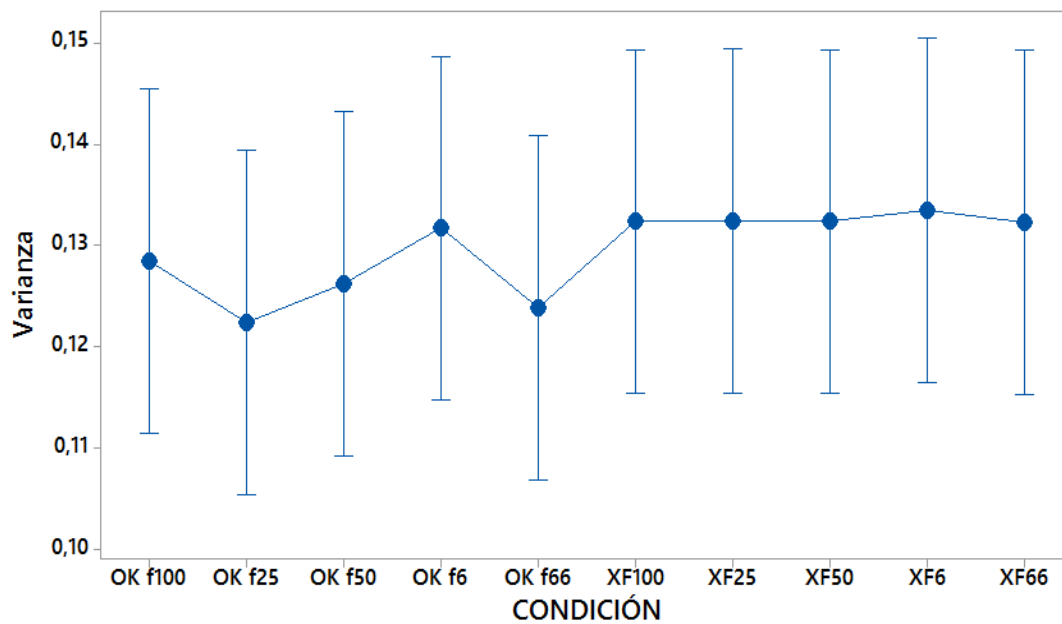


Figura 150. Gráfica de Intervalos de Varianza vs Condición, IC 95%.

El resultado del análisis de varianza entrega un p – value igual a 0,988, que es superior al nivel de significancia $\alpha = 0,05$ seleccionado para el análisis. Se concluye que no existe una diferencia significativa para las frecuencias.

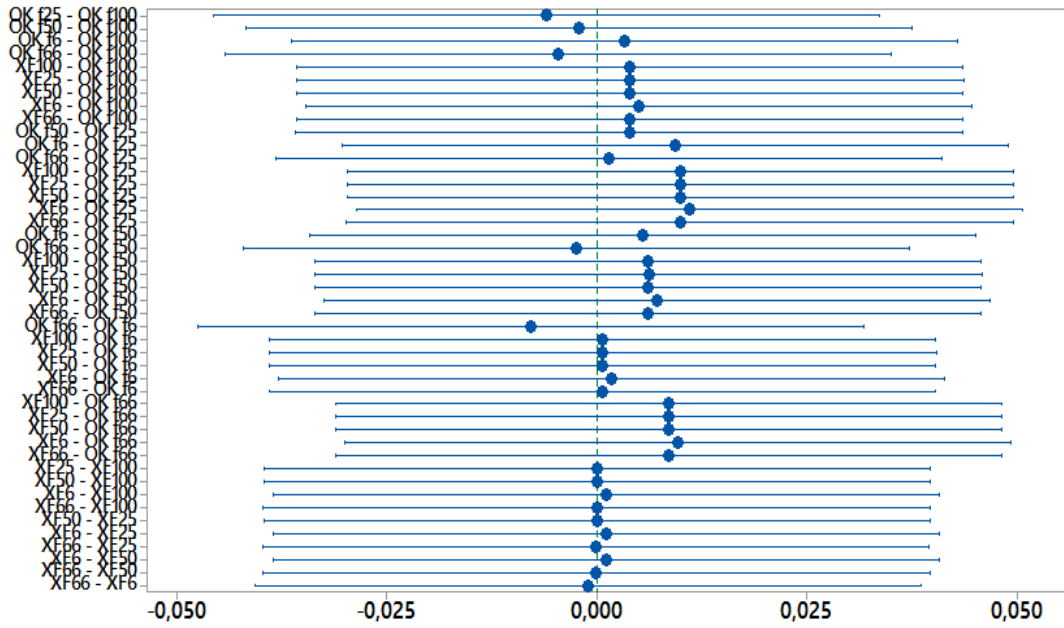


Figura 151. Comparación de Tukey para media.

6.4.14.6 Desviación Estándar O2

En la gráfica de distribución normal se presenta que los puntos del extremo están alejados de la recta, pero el resto de los residuos siguen la línea recta.

En la gráfica de residuos versus valores ajustados, no existe evidencia de varianza no constante, comprobándolo en el histograma y sus residuos.

La gráfica de residuos en el orden de observaciones, no existen datos de que se relacionen entre sí.

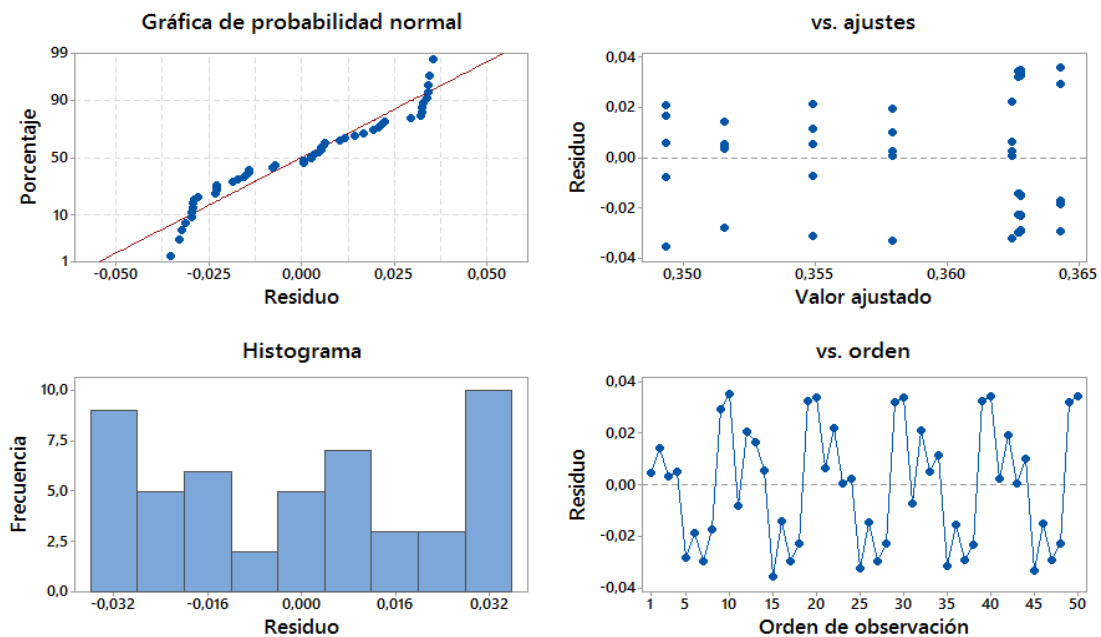


Figura 152. Gráfica de residuos para Desviación Estándar.

En la figura de intervalos de medias de nivel ICs, se observa que las muestras de las frecuencias todas se sobreponen, eso quiere decir que no existe diferencia entre las medias.

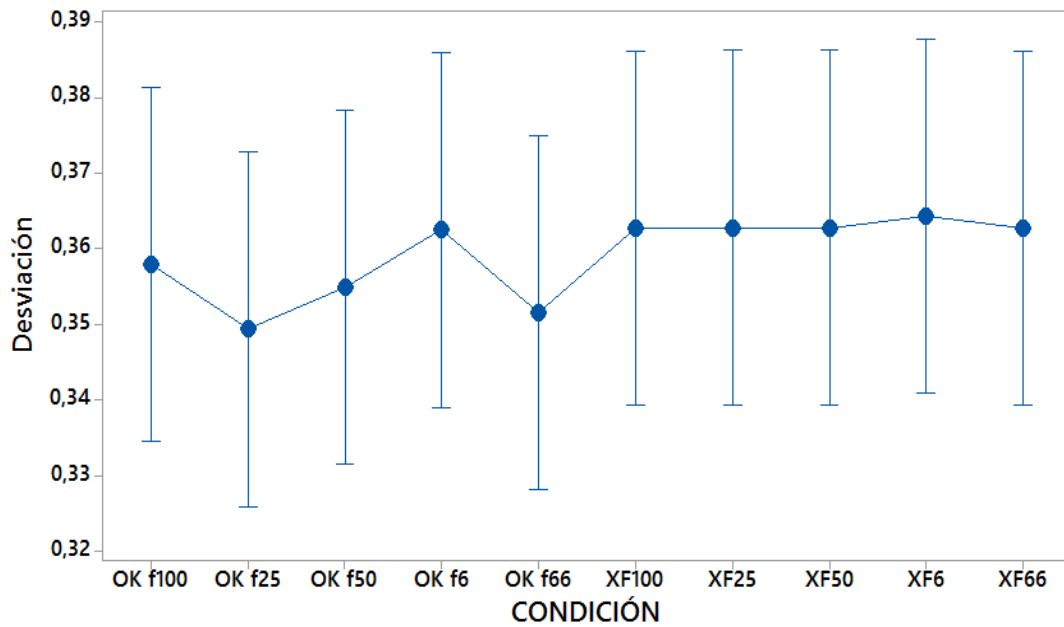


Figura 153. Gráfica de Intervalos de Desviación vs Condición, IC 95%.

El resultado del análisis de varianza entrega un p – value igual a 0,990, que es superior al nivel de significancia $\alpha = 0,05$ seleccionado para el análisis. Se concluye que no existe una diferencia significativa para las frecuencias.

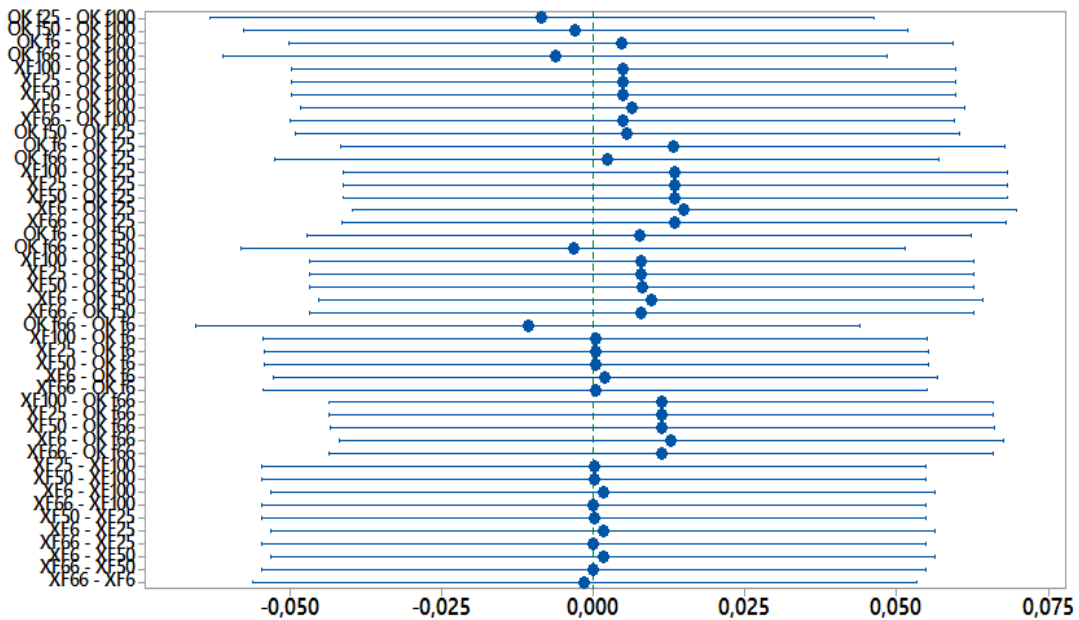


Figura 154. Comparación de Tukey para media.

6.4.14.7 Kurtosis O2

En la gráfica de distribución normal se presenta que los puntos del extremo están más dispersos y alejados de la recta, pero el resto de los residuos siguen la línea recta.

En la figura de residuos y valores ajustados, no existe evidencia de varianza no constante, comprobándolo en el histograma y sus residuos.

La gráfica de residuos en el orden de observaciones, no hay evidencia que los datos de error estén correlacionados.

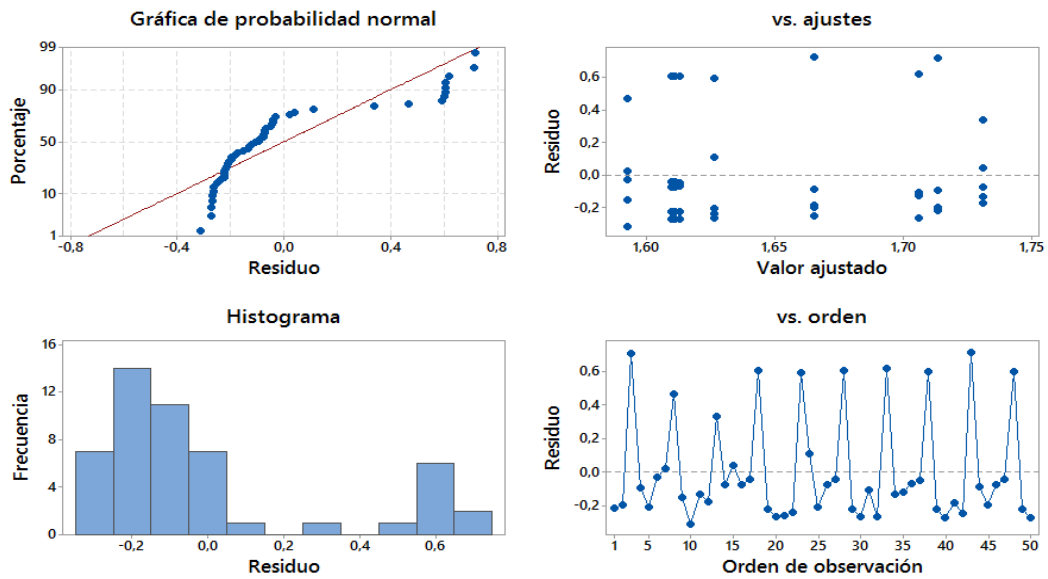


Figura 155. Gráfica de residuos para Kurtosis.

En la figura de intervalos de medias de nivel ICs, se observa que las muestras de las frecuencias se sobreponen tanto las de OK y fallo, eso quiere decir que no existe diferencia entre las medias.

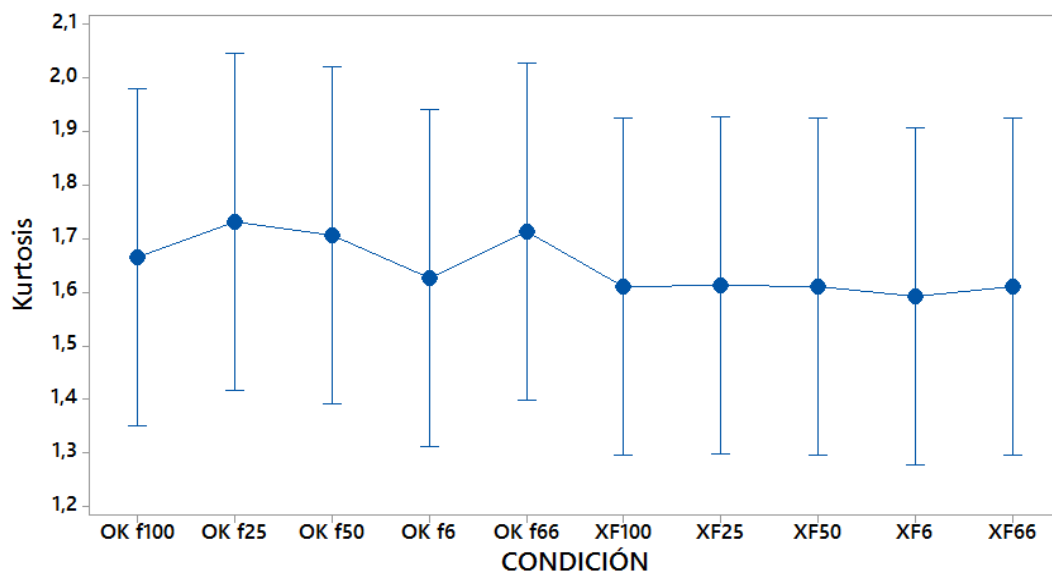


Figura 156. Gráfica de Intervalos de Kurtosis vs Condición, IC 95%.

El resultado del análisis de varianza entrega un p – value igual a 0,999 que es superior al nivel $\alpha = 0,05$, por lo tanto no existe una diferencia significativa para las frecuencias.

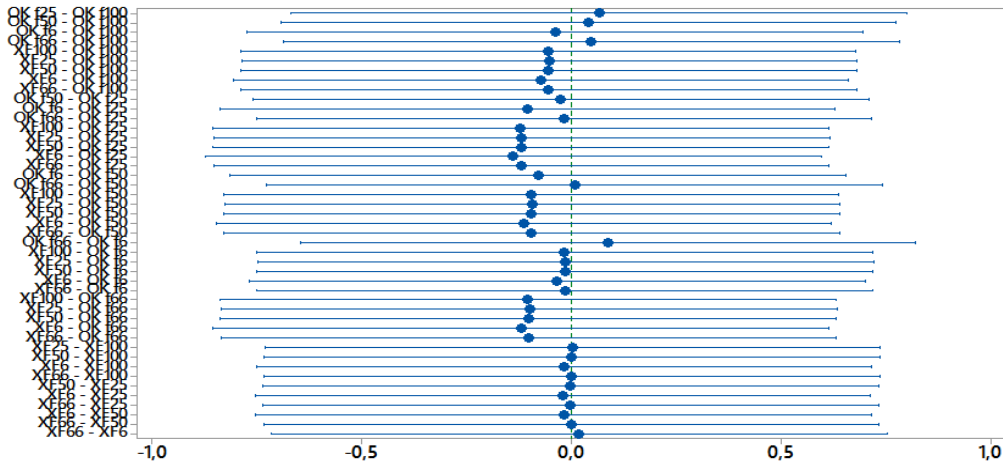


Figura 157. Comparación de Tukey para media.

El análisis ANOVA aplicado a prueba de carretera entregan los valores que se presentan en la tabla, las variables que tienen un p -value de cero o cercanos a cero, pero inferiores al nivel de significancia de 0.05, son Desviación MAP, Varianza MAP y Kurtosis TPS.

Tabla 2. Resumen de Resultados del ANOVA para la Prueba de Carretera

Variable	P value
Varianza TPS	1
Desviación TPS	1
Kurtosis O2	0,999
RMS TPS	0,998
Desviación O2	0,99
Varianza O2	0,988
Potencia TPS	0,986
Media O2	0,921
Kurtosis MAP	0,909
Media TPS	0,893
Energía O2	0,827
Potencia O2	0,827
Energía TPS	0,794
RMS O2	0,791
Media MAP	0,726
Potencia MAP	0,622
RMS MAP	0,607
Energía MAP	0,588
Desviación MAP	0,016
Varianza MAP	0,011
Kurtosis TPS	0

Las variables antes mencionadas son aquellas que presentan mayor sensibilidad o influencia en el muestreo de datos con las frecuencias establecidas anteriormente.

En la tabla, se presenta una comparación de los vales de p – Value de las pruebas estática y de carretera.

Tabla 3. Comparación de p - value de las Pruebas Estática y de Carretera.

VARIABLE	P - VALUE ESTÁTICO	VARIABLE	P - VALUE CARRETERA
Energía TPS	0	Energía TPS	0,794
Potencia TPS	0	Potencia TPS	0,986
Media TPS	0	Media TPS	0,893
RMS TPS	0	RMS TPS	0,998
Varianza TPS	0,925	Varianza TPS	1
Desviación Estándar TPS	0,433	Desviación Estándar TPS	1
Kurtosis TPS	0,491	Kurtosis TPS	0
Energía MAP	0	Energía MAP	0,558
Potencia MAP	0	Potencia MAP	0,622
Media MAP	0	Media MAP	0,726
RMS MAP	0	RMS MAP	0,607
Varianza MAP	1	Varianza MAP	0,011
Desviación Estándar MAP	0,964	Desviación Estándar MAP	0,016
Kurtosis MAP	0,224	Kurtosis MAP	0,909
Energía O2	1	Energía O2	0,827
Potencia O2	1	Potencia O2	0,827
Media O2	1	Media O2	0,921
RMS O2	1	RMS O2	0,791
Varianza O2	0,236	Varianza O2	0,988
Desviación Estándar O2	0,295	Desviación Estándar O2	0,99
Kurtosis O2	0,556	Kurtosis O2	0,999

En esta tabla se busca comparar la existencia de similitudes en las variables de análisis, de haber coincidencias en las variables, se deben considerar como importantes al momento de realizar un análisis.

CONCLUSIONES

- Los sensores analizados (TPS, MAP) no trabajan con rangos de frecuencia establecidos por el fabricante, esta frecuencia está relacionada directamente con el ciclo de conducción por lo tanto es variable en el tiempo. Por el sensor de O₂, este presenta una señal cíclica por ello que su frecuencia de oscilación ya está determinada por el fabricante.
- Las características de software desarrollado son esenciales debido a que los sensores como el TPS y MAP entregan voltaje mientras que su respectivo PID obtenido del sistema OBD – II está en porcentaje de apertura y presión del múltiple respectivamente por lo tanto es necesario una conversión. En el caso del sensor de O₂ el software recoge la información del sensor y la conversión no es necesaria ya que su PID también está en unidades del voltaje.
- El muestreo de los sensores se realiza de manera independiente para no afectar la frecuencia de muestreo de los dispositivos de adquisición de datos. En el caso del dispositivo ELM – 327 la máxima frecuencia de muestreo es de 6 Hz y permite analizar 4 sensores al mismo tiempo, pero hay que tener en cuenta que la frecuencia de muestreo se reduce según el número de sensores analizados, por ejemplo, al analizar los cuatro a la vez la frecuencia de muestreo será de 1.5 Hz. Esta es la razón por la cual se analiza independientemente los sensores y se establece 6 Hz con la frecuencia mínima para iniciar el análisis. La misma situación se presenta en el dispositivo DAQ – 6008 pero aquí la diferencia es que la frecuencia de muestreo es más alta.
- Para determinar la frecuencia de trabajo de los sensores, el software utilizado es similar al de la Fase de adquisición de datos. Los datos tomados para este análisis son de la prueba de carretera; porque es aquí donde los tres sensores presentan señales oscilatorias y también con la falla generada en la bujía, esta última hace que el motor pierda prestaciones y esto se ve afectado en el ciclo de conducción. El resultado de esta prueba indica que el TPS funciona en un rango de 1,092 a 5.949 Hz, el sensor MAP trabaja entre 1.087 a 5.637 Hz, por último, el sensor O₂ trabaja entre 1.119 a 3.156 Hz. Los valores presentados están un rango promedio de estos se toma el más alto que es el recomendado para aplicar el teorema de Nyquist. Con las frecuencias determinadas se procede con la aplicación de un filtro pasa bajo para eliminar ruido o frecuencias por encima de la frecuencia de corte, que para este caso es de 10 Hz, con ello no se compromete el resultado final.
- En la prueba estática las variables de análisis como Energía, Potencia, Media, RMS para los sensores TPS y MAP presentan una diferencia significativa a una frecuencia de muestreo de 6 Hz en los estados OK y FALLO, la misma que está distorsionada el muestreo de datos del sistema OBD – II, para el sensor de O₂ no existe diferencia significativa ya que la tasa de muestreo de 6 Hz está en el rango mínimo de Nyquist, pero frecuencias inferiores a la mencionada pueden generar errores o aliasing. Las variables como Varianza, Kurtosis, Desviación estándar de los sensores TPS y MAP no deben ser consideradas para un análisis debido a que su diferencia no es significativa.

- En la prueba de carretera las variables de análisis Desviación Estándar, Varianza del MAP y Kurtosis del presentan una diferencia significativa a una frecuencia en los estados OK y FALLO, por lo tanto, existe una distorsión entre estos dos eventos muestreados con las distintas frecuencias.
- Con los análisis realizados se determina que la frecuencia ideal de muestreo para cada uno de los sensores es la siguiente, el TPS debe muestrearse desde 12 Hz en adelante, el sensor MAP muestrear desde 11, 15 Hz en adelante y el sensor de O2 se debe muestrear desde 6 Hz en adelante. Al muestrear con las frecuencias mencionadas se garantiza la disminución significativa del efecto aliasing. El resultado presentado es el recomendado, pero en futuras investigaciones la frecuencia de muestreo puede ser superior como se menciona y dependerá del investigador.
- Al comparar los valores de p – Value de ambas pruebas, se determina que no existe similitudes en las variables de análisis, pero se debe considerar la Kurtosis del TPS que es la que presenta valores bajos como, 0.425 en la prueba estática y 0 en la prueba de carretera, por lo tanto, esta variable puede ser de importancia al momento de analizar la influencia en la frecuencia de muestreo.

RECOMENDACIONES

Se debe tener cuidado con la forma de trabajo de los sensores, por ejemplo, en este caso el TPS entregaba una señal invertida. Además, los sensores envían señales de voltaje que debe ser transformadas para el correcto análisis.

Los dispositivos de muestreo de datos, por defecto de fábrica viene con una frecuencia de muestreo establecida, que se reduce conforme se aumente más canales de muestreo o más sensores para el caso de la DAQ y ELM 327 respectivamente.

Se debe contemplar otro tipo de fallos generados en el motor, sensores entre otros sistemas para ampliar el estudio.

Usar otros dispositivos de muestreo del sistema OBD – II ya que el ELM 327 no reconoce a todos los vehículos ya que incorpora protocolos genéricos, de igual manera puede existir dispositivos de mejor calidad que el DAQ 6008.

REFERENCIAS

- Abril, J. C. (n.d.). Máster Universitario de Investigación en Ingeniería de Software y Sistemas Informáticos.
- Arévalo Calderón, F. E., & Ortega Ulloa, A. G. (2016). *Desarrollo de una interfaz para la visualización y adquisición de datos provenientes de la ECU a través de OBD-II mediante un dispositivo de comunicación serial y del analizador de gases QROTECH 6000*.
- AutoDaewooSpark. (2018). AutoDaewooSpark. Retrieved from <https://www.autodaewoospark.com/sensor-MAP.php>
- Baek, S., & Jang, J.-W. (2015). Implementation of integrated OBD-II connector with external network. *Information Systems*, 50, 69–75. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.is.2014.06.011>
- Bermeo Naula, A. K. (2017). *Detección de fallas de un motor de combustión interna Hyundai Sonata EF 2.0 a través de análisis de vibraciones en tiempos cortos*.
- Bernias Vaquero, G. (2015). Aplicación distribuida para la monitorización y diagnóstico de automóviles.
- Bogdan, M. (2009). Measurement experiment, using NI USB-6008 data acquisition. *Journal of Electrical and Electronics Engineering*, (1), 117.
- Boqué, R., & Maroto, A. (2004). El análisis de la varianza (ANOVA) 1. Comparación de múltiples poblaciones. *Grupo de Quimiometría y Calimetría. Universitat Rovira i Virgil*.
- Campbell, Z., Bray, A., Ritz, A., & Groce, A. (2018). Differentially Private ANOVA Testing. In *2018 1st International Conference on Data Intelligence and Security (ICDIS)* (pp. 281–285). <https://doi.org/10.1109/ICDIS.2018.00052>
- Cao, W., Li, Y., & Zhu, A. (2018). Digital Suppression of Transmitter Leakage in FDD RF Transceivers: Aliasing Elimination and Model Selection. *IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques*, 66(3), 1500–1511. <https://doi.org/10.1109/TMTT.2017.2772789>
- Chávez Carrillo, Á. R. (2014). *Diseño y construcción de un banco de pruebas para el análisis de señales de los sensores y actuadores del automóvil por medio de un osciloscopio*.
- Concepción, M. (2011). *Sensores Automotrices y Analisis de Ondas*. Mandy Concepcion.
- Cook, M. (n.d.). Universal Oxygen Sensor Wiring Diagram. Retrieved from <http://banyan-palace.com/schema/universal-oxygen-sensor-wiring-diagram.html>
- CORTÉS OSORIO, J. A., CANO GARZÓN, H. B., & CHAVES OSORIO, J. A. (2008). Fundamentos y aplicación del muestreo en señales ubicadas en las bandas altas del espectro. *Scientia et Technica*, 14(39).
- Dagnino, J., & others. (2014). Análisis de varianza. *Rev. Chil. Anest*, 43(4), 306–310.
- Danila, A., Ungureanu, D., Moraru, S. A., & Voicescu, N. (2017). An implementation of the variance analysis (ANOVA) for the power factor optimization at distribution

- level in smart grid. In *2017 International Conference on Optimization of Electrical and Electronic Equipment (OPTIM) 2017 Intl Aegean Conference on Electrical Machines and Power Electronics (ACEMP)* (pp. 48–53).
<https://doi.org/10.1109/OPTIM.2017.7974946>
- Davis, C. G., Lorenz, K. S., Goodman, J., Stantchev, G., Boglione, L., & Nousain, B. D. (2018). Alias-Free Products of Signals Near Nyquist Rate. *IEEE Transactions on Signal Processing*, *66*(16), 4151–4159. <https://doi.org/10.1109/TSP.2018.2847680>
- Dimaté Cáceres, J. M., González Castillo, P. M., & others. (2013). Diseño de una interfaz gráfica en Labview para el diagnostico de vehículos por medio de OBD2.
- Djurovic, I., & Simeunovic, M. (2016). Resolving aliasing effect in the QML estimation of PPSs. *IEEE Transactions on Aerospace and Electronic Systems*, *52*(3), 1494–1499. <https://doi.org/10.1109/TAES.2016.150383>
- Gao, Z., Wu, J., Zhou, J., Jiang, W., & Feng, L. (2012). Design of ECG signal acquisition and processing system. In *Biomedical Engineering and Biotechnology (iCBEB), 2012 International Conference on* (pp. 762–764).
- George, J. D., Fisher, A. G., & Verhs, P. R. (2007). *Tests y pruebas físicas* (Vol. 24). Editorial paidotribo.
- González, E. R. (1963). *Estadística general*. Universidad central de Venezuela, Ediciones de la Biblioteca.
- Gutiérrez, E. G. (2009). Introducción al filtrado digital. *Catalunya: Escola Superior de Musica de Catalunya, Departamento de Sonologia*.
- Hinton, P. R. (1995). *Statistics Explained: A Guide for Social Science Students*. Routledge. Retrieved from https://books.google.com.ec/books?id=sOOJadvQ_iEC
- Instruments, N. (2017). Specifications USB - 6008. *National Instruments*.
- Khorsravina, K., Hassan, M. K., Rahman, R. Z. A., & Al-Haddad, S. A. R. (2017). Integrated OBD-II and mobile application for electric vehicle (EV) monitoring system. In *2017 IEEE 2nd International Conference on Automatic Control and Intelligent Systems (I2CACIS)* (pp. 202–206).
<https://doi.org/10.1109/I2CACIS.2017.8239058>
- Landivar, E. (2008). Comunicaciones unificadas con Elastix. *Copyright. GNU Free Documentation*.
- Lee Zhang, T. M. (2012). *Construcción de un Prototipo de Escáner Automotriz para Protocolos OBDII para la Escuela de Ingeniería Automotriz de la ESPOCH*. Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.
- López Roldán, P., & Fachelli, S. (2016). Análisis de varianza. *Metodología de La Investigación Social Cuantitativa*.
- Meythaler Naranjo, A. (2005). *Diseño e implementación de un sistema de adquisición de datos para instrumentación virtual utilizando un microcontrolador PIC*. LATACUNGA/ESPE/2005.
- Niazi, M. A. K., Nayyar, A., Raza, A., Awan, A. U., Ali, M. H., Rashid, N., & Iqbal, J. (2013). Development of an On-Board Diagnostic (OBD) kit for troubleshooting of compliant vehicles. In *Emerging Technologies (ICET), 2013 IEEE 9th*

International Conference on (pp. 1–4).

- Proakis, J. G., Manolakis, D. G., nica (trad.) Santalla del Río, V., & Luis, J. (2007). *Tratamiento digital de señales*. Pearson Educación.
- Sim, A. X. A., & Sitohang, B. (2014). OBD-II standard car engine diagnostic software development. In *2014 International Conference on Data and Software Engineering (ICODSE)* (pp. 1–5). <https://doi.org/10.1109/ICODSE.2014.7062704>
- Simbaña, W., Caiza, J., Chávez, D., & Lopez, G. (2016). Diseño e Implementación de un Sistema de Monitoreo Remoto del Motor de un Vehículo basado en Obd-II y la plataforma Arduino. *Revista Politécnica*, 37(1), 25.
- TecnoAutos. (2011). TecnoAutos. Retrieved from <https://tecnoautos.com/automoviles/fichas-tecnicas/ficha-tecnica-del-chevrolet-spark-hatch-lt-hatchback-ensamblado-en-2008/>
- Walpole, R. E. (2007). *Probabilidad y estadística para ingeniería y ciencias*. Pearson Educación. Retrieved from <https://books.google.com.ec/books?id=jBnRMQAACAAJ>
- Wang, Z., & Zhu, J. (2015). Sampling of signals with finite rate of innovation in parameter space. In *2015 IEEE International Conference on Signal Processing, Communications and Computing (ICSPCC)* (pp. 1–5). <https://doi.org/10.1109/ICSPCC.2015.7338779>
- Yang, Y., Chen, B., Su, L., & Qin, D. (2013). Research and development of hybrid electric vehicles can-bus data monitor and diagnostic system through obd-ii and android-based smartphones. *Advances in Mechanical Engineering*, 5, 741240.
- Zhijian, D., Shuangman, X., Jingjing, L., Xi, Y., Qi, W., & Yijiu, Z. (2017). Design of acquisition system with real time sampling rate of 5Gsps. In *2017 13th IEEE International Conference on Electronic Measurement Instruments (ICEMI)* (pp. 239–243). <https://doi.org/10.1109/ICEMI.2017.8265946>