



**UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA
SEDE GUAYAQUIL
CARRERA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ**

**CARACTERIZACIÓN DEL ESPECTRO DE FRECUENCIA DE VIBRACIÓN
DEL TREN DE POTENCIA EN CONDICIONES CONTROLADAS DE
FUNCIONAMIENTO DEL VEHÍCULO HÍBRIDO BLUE DRIVE DE LA
CARRERA INGENIERÍA AUTOMOTRIZ DE LA UNIVERSIDAD
POLITÉCNICA SALESIANA – SEDE GUAYAQUIL.**

Trabajo de titulación previo a la Obtención del
Título de Ingeniera Automotriz

AUTORA:

RAQUEL DE LOS ANGELES SALAS IBARRA.

TUTOR: ING. PABLO RENATO FIERRO JIMÉNEZ, MSc.

Guayaquil – Ecuador

2022

CERTIFICADO DE RESPONSABILIDAD Y AUTORÍA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Yo, Raquel de los Angeles Salas Ibarra con documento de identificación N° 0955557202; manifiesto que:

Soy la autora y responsable del presente trabajo; y, autorizo a que sin fines de lucro la Universidad Politécnica Salesiana pueda usar, difundir, reproducir o publicar de manera total o parcial el presente trabajo de titulación.

Guayaquil, 02 de septiembre del año 2022

Atentamente,



Raquel de los Angeles Salas Ibarra

095557202

**CERTIFICADO DE CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR DEL TRABAJO DE
TITULACIÓN A LA UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA**

Yo, Raquel de los Angeles Salas Ibarra con documento de identificación N° 0955557202, expreso mi voluntad y por medio del presente documento cedo a la Universidad Politécnica Salesiana la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de que soy autora del Proyecto Técnico: “Caracterización del espectro de frecuencia de vibración del tren de potencia en condiciones controladas de funcionamiento del vehículo híbrido blue drive de la carrera ingeniería automotriz de la universidad politécnica salesiana – sede Guayaquil”, el cual ha sido desarrollado para optar por el título de: Ingeniera Automotriz, en la Universidad Politécnica Salesiana, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente.

En concordancia con lo manifestado, suscribo este documento en el momento que hago la entrega del trabajo final en formato digital a la Biblioteca de la Universidad Politécnica Salesiana.

Guayaquil, 02 de septiembre del año 2022

Atentamente,



Raquel de los Angeles Salas Ibarra

0955557202

CERTIFICADO DE DIRECCIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Yo, Pablo Renato Fierro Jiménez con documento de identificación N° 1103588578, docente de la Universidad Politécnica Salesiana, declaro que bajo mi tutoría fue desarrollado el trabajo de titulación: “CARACTERIZACIÓN DEL ESPECTRO DE FRECUENCIA DE VIBRACIÓN DEL TREN DE POTENCIA EN CONDICIONES CONTROLADAS DE FUNCIONAMIENTO DEL VEHÍCULO HÍBRIDO BLUE DRIVE DE LA CARRERA INGENIERÍA AUTOMOTRIZ DE LA UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA – SEDE GUAYAQUIL”, realizado por Raquel de los Angeles Salas Ibarra con documento de identificación N° 0955557202, obteniendo como resultado final el trabajo de titulación bajo la opción Proyecto Técnico que cumple con todos los requisitos determinados por la Universidad Politécnica Salesiana.

Guayaquil, 02 de septiembre del año 2022

Atentamente,

A handwritten signature in blue ink, consisting of several loops and a central vertical stroke, positioned above a horizontal line.

Ing. Pablo Renato Fierro Jiménez, MSc

1103588578

DEDICATORIA

Dedicado a mi familia por su apoyo incondicional y su confianza en mí, y sin duda alguna primero a Dios porque Él me dio día a día la fe y las ganas para seguir de pie.

AGRADECIMIENTO

Esté atento tu oído a la sabiduría;

Si inclinares tu corazón a la prudencia,

Si clamares a la inteligencia,

Y a la prudencia dieres tu voz;

Si como a la plata la buscares,

Y la escudriñares como a tesoros,

Entonces entenderás el temor de Jehová,

Y hallarás el conocimiento de Dios.

Porque Jehová da la sabiduría,

Y de su boca viene el conocimiento y la inteligencia.

Palabras que alentaron mi vida y sembraron en mí valor, audacia y perseverancia para llegar hasta el final del camino, brindándome sabiduría y proveyéndome inteligencia para concluir esta etapa con excelencia.

RESUMEN

En el presente documento se basa en la caracterización del espectro de frecuencia de vibración del motor eléctrico del tren de potencia de un vehículo híbrido, donde se utiliza como recurso de medición un analizador de vibraciones y para el procesamiento de estos datos numéricos un software estadístico para la respectiva verificación de los datos de las vibraciones obtenidas del vehículo Blue Drive de la carrera de ingeniería automotriz de la Universidad Politécnica Salesiana – sede Guayaquil.

Los datos numéricos adquiridos en cada ensayo nos permiten analizar con mayor exactitud a través del software estadístico si existe alguna diferencia significativa entre las medias, acorde a los tratamientos por experimentar en consumo energético tanto en proceso de carga como proceso de descarga.

Para lograr los objetivos planteados se realizará la caracterización, a través de procesamiento y análisis estadísticos de los datos que se obtienen de las vibraciones otorgadas por el motor eléctrico del tren de potencia del vehículo híbrido en condiciones controladas como en proceso de carga y descarga así mismo con el sistema de climatización del aire acondicionado al máximo.

Se plantea que la obtención de estos datos se ejecute a través del software computacional Dewesoft la cual corresponde al analizador de vibraciones, así mismo para el procesamiento de datos y la filtración de estos, se pretende utilizar métodos estadísticos de análisis de varianza para verificar si los datos obtenidos de la muestra de la población de los diferentes tratamientos poseen alguna diferencia significativa.

Palabras claves: Espectro, frecuencia, mantenimiento, tren de potencia, carga, descarga.

ABSTRACT

This document is based on the characterization of the vibration frequency spectrum of the power train's electric motor of a hybrid vehicle, where a vibration analyzer is used as a measurement resource, and statistical software is used to process this numerical data for the respective verification of the vibration data obtained from the Blue Drive vehicle of the automotive engineering course at the Salesian Polytechnic University - Guayaquil branch.

The numerical data acquired in each test allows us to analyze with greater accuracy through the statistical software if there is any significant difference between the averages, according to the treatments to be experimented in energy consumption in both the loading and unloading processes.

To achieve the proposed objectives, the characterization will be carried out, through processing and statistical analysis of the data obtained from the vibrations given by the electric motor of the hybrid vehicle's power train under controlled conditions such as in the loading and unloading process, as well as with the air conditioning system at maximum cooling.

It is proposed that the obtaining of these data is executed through the Dewesoft computer software which corresponds to the vibration analyzer, as well as for data processing and filtering of these, it is intended to use statistical methods of analysis of variance to verify whether the data obtained from the sample population of the different treatments have any significant difference.

Key words: *Spectrum, frequency, maintenance, power train, charge, discharge.*

ÍNDICE DE CONTENIDO

DEDICATORIA.....	v
AGRADECIMIENTO	vi
RESUMEN.....	vii
ABSTRACT.....	viii
ÍNDICE DE FIGURAS.....	xii
ÍNDICE DE TABLAS.....	xvii
ÍNDICE DE ECUACIONES.....	xviii
1. CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN	1
1.1 Descripción de la problemática.....	2
1.2 Antecedentes	2
1.3 Importancia y Alcances.....	3
1.4 Objetivo General	3
1.5 Objetivos Específicos.....	3
2. CAPÍTULO II: FUNDAMENTOS BÁSICOS DE FUNCIONAMIENTO DE VEHÍCULOS HÍBRIDOS, PROTOCOLOS Y ESTUDIOS PREVIOS SOBRE CONFIGURACIÓN Y ANÁLISIS DE VIBRACIÓN.....	5
2.1 Concepto de hibridación	5
2.2 Vehículo híbrido eléctrico.....	5
2.3 Configuración del tren de potencia de un vehículo híbrido	6
2.3.1 Híbrido en serie.....	6
2.3.2 Híbrido en paralelo	7
2.3.3 Híbrido en serie - paralelo.....	7
2.4 Motores eléctricos	8
2.5 Potencia y par de un motor eléctrico.....	10

2.6 Mantenimiento Predictivo.....	11
2.6.1 Análisis de vibraciones	13
2.7 Transformada de Fourier.....	14
2.7.1 Análisis de frecuencia	14
2.7.2 Determinación de espectros de frecuencia.....	14
2.8 Sistema híbrido del vehículo Blue Drive	15
2.8.1 Modos de conducción	15
2.9 Protocolo y normativas	16
2.9.1 Protocolo de Seguridad	16
2.9.2 Protocolo para adquisición de datos	17
2.9.3 Norma NEDC.....	17
2.9.4 Norma ISO 10816-3.....	18
3. CAPÍTULO III: METODOLOGÍA UTILIZADA PARA LA ADQUISICIÓN DE DATOS Y CARACTERIZACIÓN DE LAS VIBRACIONES DEL MOTOR ELÉCTRICO DEL TREN DE POTENCIA DEL VEHÍCULO.....	20
3.1 Requisitos.....	20
3.1.1 Elementos de prueba	20
3.1.1.1 Vehículo híbrido Blue Drive de la carrera de Ingeniería Automotriz	21
3.1.1.2 Sensor piezoeléctrico	22
3.1.1.3 Software computacional Dewesoft	22
3.1.1.4 Software computacional Excel	23
3.1.1.5 Software computacional Minitab	23
3.2 Protocolo de pruebas.....	23
3.2.1 Condiciones previas para la toma de datos de vibración del tren de potencia.....	23
3.2.2 Proceso de ensayo	25
3.2.3 Configuración de la resolución del equipo Dewesoft	27

3.2.4 Configuración del software Minitab para el análisis de datos estadísticos.....	33
4. CAPÍTULO IV: ANÁLISIS DE RESULTADOS	35
4.1 Consumo energético proceso de carga - Ensayo #1.....	35
4.1.1 Interpretación del método estadístico Transformada de Johnson y Prueba de normalidad	35
4.1.2 Interpretación del método de Análisis de varianza (ANOVA) un solo factor y el espectro compuesto.....	37
4.2 Tratamiento Completo #1 – Proceso de Carga con el sistema de climatización del aire acondicionado al máximo.	39
4.3 Tratamiento Completo #2 – Proceso de Descarga con el sistema de climatización con el aire acondicionado máximo.	42
5. CAPÍTULO V: CONCLUSIONES	45
6.RECOMENDACIONES.....	46
7. REFERENCIAS.....	47
8.ANEXOS.....	52
8.1 Consumo energético proceso de carga – Ensayo #1	52
8.2 Consumo energético proceso de carga – Ensayo #2.....	57
8.3 Consumo energético proceso de descarga– Ensayo #1.....	64
8.4 Consumo energético proceso de descarga – Ensayo #2.....	72

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. - Arquitectura de un vehículo híbrido en serie.....	6
Figura 2. - Arquitectura de un vehículo híbrido en paralelo.....	7
Figura 3. - Arquitectura de un vehículo híbrido serie-paralelo.....	8
Figura 4. - Clasificación de motores DC. Fuente. - (Eybar Farith Contreras Villamizar, Rolando Sánchez Rodríguez, 2010).	9
Figura 5. - Clasificación de motores AC. Fuente. - (Eybar Farith Contreras Villamizar, Rolando Sánchez Rodríguez, 2010).	10
Figura 6. - Tasa de fallas. Fuente. - (Iván Gallará, Daniel Pontelli, 2020).	12
Figura 7. - Configuración del tren de potencia en serie-paralelo. Fuente. - (Casanova, 2022)	22
Figura 8. - Protocolo de pruebas.	25
Figura 9. - Ubicación del sensor piezoeléctrico. Fuente. - (Casanova, 2022).....	26
Figura 10. - Conexión del equipo analizador de vibraciones al computador.....	27
Figura 11. - Vista frontal del sensor ubicado en el motor eléctrico.....	27
Figura 12. - Configuración de canales del Software Dewesoft.	28
Figura 13. - Configuración de ancho de banda Dewesoft.	28
Figura 14. - Configuración de medición de la entrada analógica Dewesoft.	29
Figura 15. - Configuración del rango de entrada analógica.	29
Figura 16. - Ajuste de configuración de canales Dewesoft.....	30
Figura 17. - Configuración del sensor terminada.	30
Figura 18. - Selección de matemática para la adquisición de datos.	31
Figura 19. - Canal matemático configurado.....	32
Figura 20. - Selección de vista previa FFT.	32
Figura 21. - Transformación de Johnson muestra #1 proceso de carga (ensayo #1).....	36
Figura 22. - Prueba de normalidad muestra #1 proceso carga (ensayo #1).	37

Figura 23. - Cantidad de factores a analizar (ensayo #1).	37
Figura 24. - Comparaciones en pareja de Tukey (ensayo #1).	38
Figura 25. - Diferencia en las medias con relación a las muestras (ensayo #1).	38
Figura 26. - Espectro compuesto de las muestras en proceso carga - gráfica serie de tiempo (ensayo #1).	39
Figura 27. - Espectro compuesto de los ensayos en proceso de carga - gráfica serie de tiempo (ensayo#1 y ensayo#2).	40
Figura 28. - Cantidad de factores a analizar en proceso de carga (ensayo#1 y ensayo#2)...	40
Figura 29. - Comparaciones en pareja de Tukey en proceso de carga (ensayo#1 y ensayo#2).	41
Figura 30. - Diferencia de las medias con relación a las muestras proceso de carga (ensayo#1 y ensayo #2).	41
Figura 31. - Espectro compuesto de las muestras en proceso de descarga - gráfica serie de tiempo (ensayo# 1 y ensayo #2).	42
Figura 32. - Cantidad de factores a analizar en proceso de carga (ensayo#1 y ensayo #2)..	43
Figura 33. - Comparaciones en pareja de Tukey en proceso de descarga (ensayo#1 y ensayo #2).	43
Figura 34. - Diferencia de las medias con relación a las muestras (ensayo #2 y ensayo#3).	44
Figura 35. - Transformación de Johnson muestra #2 proceso de carga (ensayo #1).	52
Figura 36.- Transformación de Johnson muestra #3 proceso de carga (ensayo #1).	52
Figura 37. - Transformación de Johnson muestra #4 proceso de carga (ensayo #1).	53
Figura 38. - Prueba de normalidad muestra #2 proceso de carga (ensayo #1).	53
Figura 39. - Prueba de normalidad muestra #3 proceso de carga (ensayo #1).	54
Figura 40. - Prueba de normalidad muestra #4 proceso de carga (ensayo #1).	54
Figura 41. - Espectro de la muestra #1 - gráfica serie de tiempo (ensayo #1).	55
Figura 42. - Espectro de la muestra #2 - gráfica serie de tiempo proceso de carga (ensayo #1).	55

Figura 43. - Espectro de la muestra #3 - gráfica serie de tiempo proceso de carga (ensayo #1).	56
Figura 44. - Espectro de la muestra #4 - gráfica serie de tiempo proceso de carga (ensayo #1).	56
Figura 45. - Transformación de Johnson muestra #1 proceso de carga (ensayo #2).	57
Figura 46. - Transformación de Johnson muestra #2 proceso de carga (ensayo #2).	57
Figura 47. - Transformación de Johnson muestra #3 proceso de carga (ensayo #2).	58
Figura 48. - Transformación de Johnson muestra #4 proceso de carga (ensayo #2).	58
Figura 49. - Prueba de normalidad muestra #1 proceso de carga (ensayo #2).	59
Figura 50. - Prueba de normalidad muestra #2 proceso de carga (ensayo #2).	59
Figura 51. - Prueba de normalidad muestra #3 proceso de carga (ensayo #2).	60
Figura 52. - Prueba de normalidad muestra #4 proceso de carga (ensayo #2).	60
Figura 53. - Espectro de la muestra #1 - gráfica serie de tiempo proceso de carga (ensayo #2).	61
Figura 54. - Espectro de la muestra #2 - gráfica serie de tiempo proceso de carga (ensayo #2).	61
Figura 55. - Espectro de la muestra #3 - gráfica serie de tiempo proceso de carga (ensayo #2).	62
Figura 56. - Espectro de la muestra #4 - gráfica serie de tiempo proceso de carga (ensayo #2).	62
Figura 57. - Espectro compuesto de las muestras proceso de carga - gráfica serie de tiempo (ensayo #2).	63
Figura 58. - Cantidad de factores a analizar (ensayo #2).	63
Figura 59. - Comparaciones en pareja de Tukey proceso de carga (ensayo #2).	63
Figura 60. - Diferencia de las medias con relación a las muestras (ensayo #2).	64
Figura 61. - Transformación de Johnson muestra #1 proceso de descarga (ensayo #1).	64
Figura 62. - Transformación de Johnson muestra #2 proceso de descarga (ensayo #1).	65

Figura 63. - Transformación de Johnson muestra #3 proceso de descarga (ensayo #1).	65
Figura 64. - Transformación de Johnson muestra #4 proceso de descarga (ensayo #1).....	66
Figura 65. - Prueba de normalidad muestra #1 proceso de descarga (ensayo #1).....	66
Figura 66. - Prueba de normalidad muestra #2 proceso de descarga (ensayo #1).....	67
Figura 67. - Prueba de normalidad muestra #3 proceso de descarga (ensayo #1).....	67
Figura 68. - Prueba de normalidad muestra #4 proceso de descarga (ensayo #1).....	68
Figura 69. - Espectro de la muestra #1 en proceso de descarga - gráfica serie de tiempo (ensayo #1).	68
Figura 70. - Espectro de la muestra #2 en proceso de descarga - gráfica serie de tiempo (ensayo #1).	69
Figura 71. - Espectro de la muestra #3 proceso de descarga - gráfica serie de tiempo (ensayo #1).	69
Figura 72. - Espectro de la muestra #4 proceso de descarga - gráfica serie de tiempo (ensayo #1).	70
Figura 73. - Espectro compuesto de las muestras en proceso de descarga - gráfica serie de tiempo (ensayo #1).....	70
Figura 74. - Cantidad de factores a analizar (ensayo #1).....	71
Figura 75. - Comparaciones en pareja de Tukey proceso de descarga (ensayo #1).....	71
Figura 76. - Diferencia de las medias con relación a las muestras (ensayo #1).	71
Figura 77. - Transformación de Johnson muestra #1 proceso de descarga (ensayo #2).	72
Figura 78. - Transformación de Johnson muestra #2 proceso de descarga (ensayo #2).	72
Figura 79. - Transformación de Johnson muestra #3 proceso de descarga (ensayo #2).	73
Figura 80. - Transformación de Johnson muestra #4 proceso de descarga (ensayo #2).	73
Figura 81. - Prueba de normalidad muestra #1 proceso de descarga (ensayo #2).	74
Figura 82. - Prueba de normalidad muestra #2 proceso de descarga (ensayo #2).....	74
Figura 83. - Prueba de normalidad muestra #3 proceso de descarga (ensayo #2).....	75

Figura 84. - Prueba de normalidad muestra #4 proceso de descarga (ensayo #2).....	75
Figura 85. - Espectro de la muestra #1 proceso de descarga- gráfica serie de tiempo (ensayo #2).	76
Figura 86. - Espectro de la muestra #2 proceso de descarga - gráfica serie de tiempo (ensayo #2).	76
Figura 87. - Espectro de la muestra #3 proceso de descarga - gráfica serie de tiempo (ensayo #2).	77
Figura 88. - Espectro de la muestra #4 proceso de descarga - gráfica serie de tiempo (ensayo #2).	77
Figura 89. - Espectro compuesto de las muestras en proceso de descarga - gráfica serie de tiempo (ensayo #2).....	78
Figura 90. - Cantidad de factores a analizar (ensayo #2).....	78
Figura 91. - Comparaciones en pareja de Tukey proceso de descarga (ensayo #2).....	78
Figura 92. - Diferencia de las medias con relación a las muestras (ensayo #2).	79

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla #1. Límites permisibles de vibración de las máquinas eléctricas de acuerdo con la norma ISO 10816-3.....	19
Fuente. - (International Organization for Standardization (ISO). , 2009).	19

ÍNDICE DE ECUACIONES

Fórmula de potencia (2.1); Fuente: (Eybar Farith Contreras Villamizar, Rolando Sánchez Rodríguez, 2010)	11
--	-----------

1. CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN

El presente proyecto tiene como objetivo caracterizar el espectro de frecuencia de vibración del tren de potencia, en condiciones controladas de funcionamiento, a fin de definir condiciones óptimas de funcionamiento, del vehículo híbrido Blue Drive de la carrera Ingeniería Automotriz de la Universidad Politécnica Salesiana – Sede Guayaquil. Así mismo, se busca sistematizar los fundamentos teóricos que posee el espectro de frecuencia del motor eléctrico de un VEH, por consiguiente, posterior a la revisión de literatura se proyectó desarrollar una metodología para la medición de vibraciones y análisis de espectros de frecuencia de un motor eléctrico. De igual manera al obtener el espectro de frecuencia característico siendo este analizado en el vehículo híbrido en modo cien por ciento eléctrico se procede a verificar los resultados a través de aplicación de software estadísticos.

Durante los últimos años la tecnología en la industria automotriz ha incrementado notablemente. Un ejemplo claro son la difusión de los automóviles propulsados por energía alternativa que son los eléctricos e híbridos, siendo estos de combustibles amigables con el medio ambiente. Los vehículos que desarrollan su potencia a través de motores eléctricos o híbridos están conformados por la combinación del motor eléctrico y el motor de combustión interna o por un motor eléctrico. (Guillermo Mejía Cisneros, Elsa Ordoñez Casanova, Hector Alejandro Trejo Mandujano., 2021).

Si bien es cierto que la movilidad eléctrica ha incrementado mundialmente, para el periodo del 2021 se logró vender 1.82 millones de BEV y 0.83 millones de PHEV, superando en un 168% al periodo del 2020. Siendo Europa el impulsor hacia el uso de estos vehículos alcanzando un 14% total de las ventas a nivel mundial (Roland, 2021). En cuanto a Ecuador ha incrementado notablemente la adquisición de estas unidades, debido al impacto ambiental que este genera de manera positiva. Entre el 2017 al 2020 se vendió un promedio de 115 VE según AEADE. (AEADE, 2021). Más los VEH tuvieron más acogida en el 2021 se vendió aproximadamente 4.261 vehículos, cuatro veces más que el año anterior. En los meses de enero y febrero se llegó a vender alrededor de 883 unidades, dos veces más que lo que se logró vender en el año 2021 según la AEADE. (AEADE, 2021). Lo que ocasiona una gran demanda de VEH en el parque automotor a nivel nacional, por ende, se genera la necesidad de realizar mantenimientos a estos equipos, con la

finalidad de alcanzar la fiabilidad y mantenibilidad del equipo. (Dairo H. Mesara, Yesid Ortiz Sánchez, Manuel Pinzón., 2006).

1.1 Descripción de la problemática

Por lo expuesto anteriormente, se presenta la necesidad de implementar técnicas de mantenimiento que permitan conocer el estado real del equipo, comprobando su funcionamiento y a su vez previendo la falla con antelación en zonas específicas. En la actualidad a nivel nacional no se aplican técnicas de diagnóstico predictivo que conlleven a verificar con los datos de condición de operación normal obtenidos, el ciclo de vida proyectado de los elementos que componen el tren de potencia de los vehículos híbridos, por ende al establecer técnicas de diagnóstico predictivo previamente estudiadas y verificadas referente al tren de potencia en un vehículo híbrido será posible corregir los desperfectos antes de que ocurra algún daño definitivo ocasionando pérdidas para el usuario, pero garantizando la vida útil del mismo, debido a que se cuenta con la caracterización de vibración del motor eléctrico condición sin falla.

1.2 Antecedentes

En el mundo automotriz, los vehículos de propulsión alternativa se han convertido en una opción para el usuario, indiferentemente su configuración o grado de hibridación con relación al tren de potencia. Sin embargo, debido a las altas cifras que existen de ventas de este tipo de vehículos en el mercado automotriz, aún no se ha implementado técnicas de mantenimiento predictivo que ayuden a diagnosticar el estado real del tren de potencia de esta clase de vehículos.

Si bien es cierto, sin la realización de mantenimientos en los motores eléctricos de manera periódica el costo que produciría el daño en los componentes del tren de potencia sería muy elevados, ocasionando el reemplazo de la pieza o en el peor de los casos de todo el sistema. Adicionalmente, aumentando la contaminación ambiental debido a los VFU¹ existentes en el mercado automotriz ocasionados por el inapropiado mantenimiento o el desecho de este, debido a la falta de información que posee el usuario para detectar fallas previamente.

Todo esto, conlleva a establecer el mantenimiento predictivo en el equipo, cuya finalidad es reducir el deterioro prematuro del tren de potencia del vehículo y hacer conocer al usuario que es posible detectar fallas a tiempo sin tener que reemplazar la pieza o componente por completo.

¹ VFU: Vehículo Fuera de Uso.

Es por eso, que se realizará la caracterización del espectro de vibración de frecuencia que posee el motor eléctrico del tren de potencia de un VEH, implementando así la técnica de diagnóstico predictivo, el análisis de vibración para verificar el estado real que posee el motor eléctrico del tren de potencia de este.

1.3 Importancia y Alcances

Es necesario destacar la importancia de la obtención y el análisis espectral de datos de esta investigación la cual tiene como fin, caracterizar el espectro general de frecuencia de vibración que distingue al motor eléctrico del tren de potencia del vehículo híbrido Blue drive de la carrera Ingeniería Automotriz – sede Guayaquil. La siguiente investigación tiene un alcance descriptivo y explicativo, ya que mediante el comportamiento de series de parámetros que se obtendrán a través del software de analizador de vibraciones se caracterizará la población estudiada. Es decir, mediante el comportamiento que genere el espectro de frecuencia de las vibraciones del motor eléctrico otorgado por el software de medición indicado anteriormente, se describirá cuantitativamente y se analizará el rasgo característico que posee este, por lo cual también hace de esta investigación de carácter explicativo.

1.4 Objetivo General

Caracterizar el espectro de frecuencia de vibración del tren de potencia, en condiciones controladas de funcionamiento, a fin de definir condiciones óptimas de funcionalidad, del vehículo híbrido Blue Drive de la carrera Ingeniería Automotriz de la Universidad Politécnica Salesiana – Sede Guayaquil.

1.5 Objetivos Específicos

- Sistematizar las bases teóricas y conceptuales del espectro de frecuencia de un motor eléctrico de un vehículo híbrido.
- Desarrollar una metodología para la medición de vibraciones y análisis de espectros de frecuencia de un motor eléctrico del vehículo híbrido Blue Drive de la carrera Ingeniería Automotriz de la Universidad Politécnica Salesiana – Sede Guayaquil.
- Obtener el espectro de frecuencia característico y analizar en el vehículo híbrido en modo cien por ciento eléctrico.

- Verificar los resultados obtenidos del analizador de vibraciones del espectro de frecuencia del motor eléctrico del tren de potencia del vehículo Blue Drive mediante la aplicación de métodos estadísticos.

2. CAPÍTULO II: FUNDAMENTOS BÁSICOS DE FUNCIONAMIENTO DE VEHÍCULOS HÍBRIDOS, PROTOCOLOS Y ESTUDIOS PREVIOS SOBRE CONFIGURACIÓN Y ANÁLISIS DE VIBRACIÓN.

En este capítulo se sintetizan temas de acuerdo con las características y configuración que posee un sistema híbrido, así como también el respectivo funcionamiento del vehículo Blue Drive de la carrera de Ingeniería Automotriz de la Universidad Politécnica Salesiana. Así mismo, se menciona el protocolo previamente revisado como guía para la realización de toma de datos del análisis de vibración del tren de potencia del Blue Drive.

2.1 Concepto de hibridación

De acuerdo con la SAE un vehículo híbrido es aquel que consta con dos o más sistemas de provisión de energía la cual debe ser capaz de suministrar la potencia necesaria al tren motor o ruedas de manera independiente o conjunta. (Osornio Correa C, Villareal Calva R. C, Molina Cristóbal A, Estavillo Galsworthy J, Santillán Gutiérrez S. D, 2013) (Martínez J. M., Vehículos híbridos y eléctricos: diseño del tren propulsor, 2015). Así mismo, Naciones Unidas indica que un vehículo con dos o más sistemas de provisión de energía y con dos o más convertidores energéticos corresponde a un VEH. Los vehículos híbridos requieren de ambas fuentes para suministrar la prestación requerida con relación a las especificaciones del vehículo. Como se indica, los vehículos eléctricos híbridos integran la autonomía de los vehículos MCI y la eco amigabilidad² de los vehículos eléctricos, dando como resultado un vehículo con menor consumo de combustible y por ende una notable reducción de contaminación. (Martínez J. M., Vehículos híbridos y eléctricos: diseño del tren propulsor, 2015)

2.2 Vehículo híbrido eléctrico

El vehículo híbrido se basa en la combinación de un motor a combustión interna, pudiendo ser tanto a gasolina como de diésel junto a un motor eléctrico, combinando así dos fuentes de energía para la propulsión del vehículo. (Mehrdad Ehsani, Yimin Gao, John M. Miller., 2007).

Una de las ventajas del vehículo híbrido es que ayuda a reducir el consumo de combustible, por ende, reduce la dependencia al consumo de petróleo.

² **Eco amigabilidad:** Amigable con el medio ambiente.

El principio de funcionamiento de un vehículo híbrido eléctrico de manera general es propulsado por el motor eléctrico o por el motor de combustión o en uno de los casos por ambos motores, esto dependerá netamente de la configuración que posea el tren de potencia; si este está en paralelo, serie o combinado (serie - paralelo).

2.3 Configuración del tren de potencia de un vehículo híbrido

La configuración del tren de potencia de un VEH se clasifica de acuerdo en cómo se transmite la potencia mecánica requerida por el vehículo, pudiendo ser este tanto el motor a combustión interna o el motor eléctrico mediante la transmisión y posteriormente hacia las ruedas. De acuerdo con esto, se dividen en las siguientes configuraciones. (Zia, 2016) (David Wenzhong Gao, Chris Mi, Alli Emadi, 2007).

2.3.1 Híbrido en serie

El principio de funcionamiento de los VEH en serie se basa en que, la potencia mecánica exigida por el vehículo será emitida únicamente por la potencia que posee el motor eléctrico. En este tipo de configuración híbrida el motor a combustión interna no está acoplado mecánicamente a las ruedas, es decir que la propulsión total del vehículo es proporcionada solo por el motor eléctrico ya que este se encuentra acoplado directamente a las ruedas del vehículo. (Zia, 2016) (D. Lanzarotto, M. Marchesoni, M. Passalacqua, A. Pini Prato, M. Repetto., 2018)

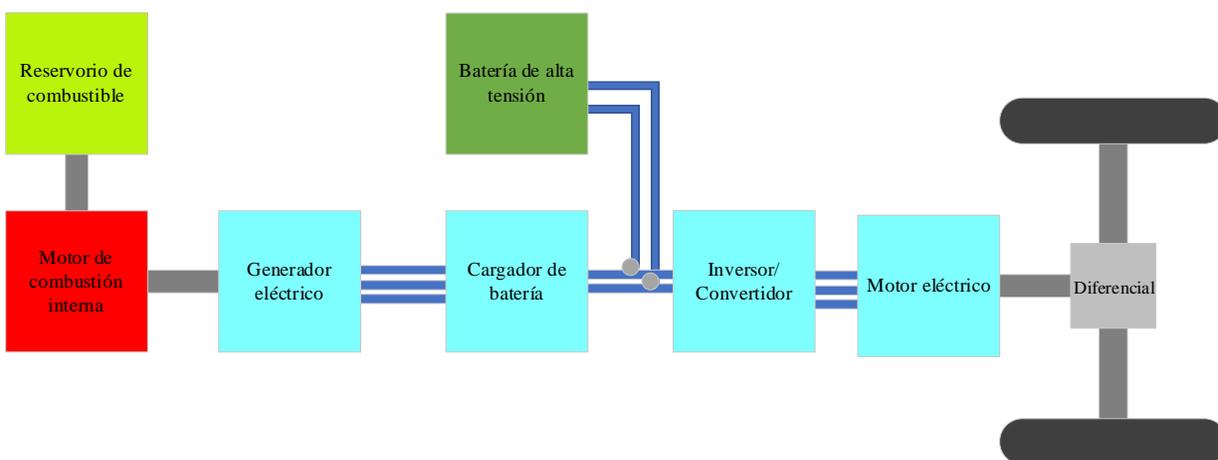


Figura 1. - Arquitectura de un vehículo híbrido en serie.

2.3.2 Híbrido en paralelo

A diferencia de la configuración de un HEV en serie, la configuración de un híbrido en paralelo es que la potencia requerida por el vehículo será transmitida por ambos motores; el motor a combustión interna y el motor eléctrico. Teniendo como resultado la salida de potencia de ambos motores. (Liu, 2013). (Dai Duong Tran, Majid Vafaeipour, Mohamed El Baghdadi, Ricardo Barrero, Joeri Van Mierlo, Omar Hegazy., 2020).

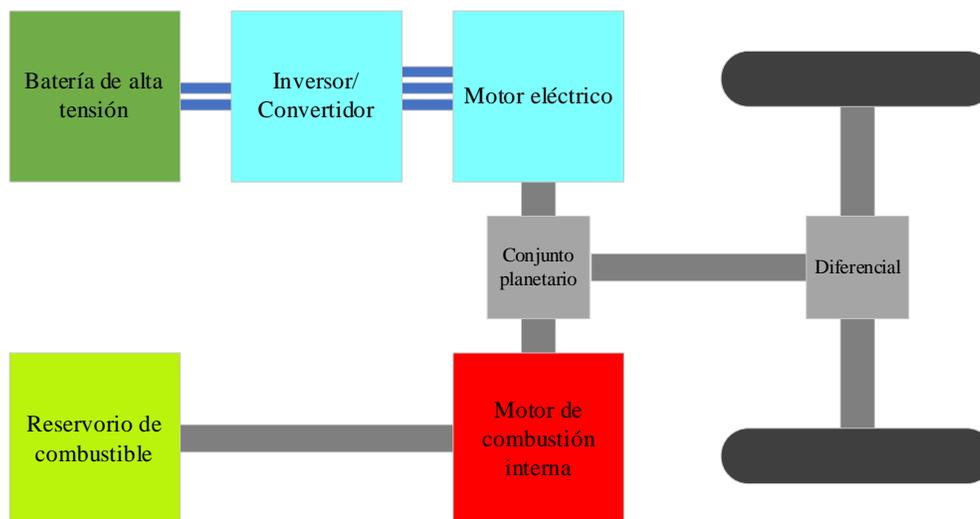


Figura 2. - Arquitectura de un vehículo híbrido en paralelo.

2.3.3 Híbrido en serie - paralelo

Con respecto a la configuración de un híbrido en serie – paralelo, es una combinación de los HEV en serie y los HEV en paralelo. Una de las ventajas que posee esta configuración es que debido a su topología puede llegar a reducir el tamaño del motor a combustión interna (ICE) con relación a un híbrido en paralelo y su sistema de almacenamiento de energía en comparación a un híbrido con configuración en serie, ya que al combinar ambos sistemas el vehículo podrá ser capaz de propulsarse. (Jimming Liu, Huei Peng, 2008). (Dai Duong Tran, Majid Vafaeipour, Mohamed El Baghdadi, Ricardo Barrero, Joeri Van Mierlo, Omar Hegazy., 2020). Es decir que tanto el motor eléctrico como el motor a combustión están acoplados mecánicamente a las ruedas para transmitir el par. (Zia, 2016).

Cabe recalcar que este tipo de configuración tiene la capacidad de propulsarse utilizando un solo motor ya sea el motor eléctrico o el motor a combustión interna, esto dependerá de los

modos de conducción que posea el conductor. (Murat Yilmaz, Philip T. Krein., 2012) (Dai Duong Tran, Majid Vafaeipour, Mohamed El Baghdadi, Ricardo Barrero, Joeri Van Mierlo, Omar Hegazy., 2020).

El vehículo escogido para el tema propuesto posee una configuración serie – paralelo, su funcionamiento es una fusión de las dos configuraciones es decir conserva tanto las características de la configuración en serie como en paralelo, permitiendo el funcionamiento de ambos. (Chris Mi, M. Abul Masrur, 2018).

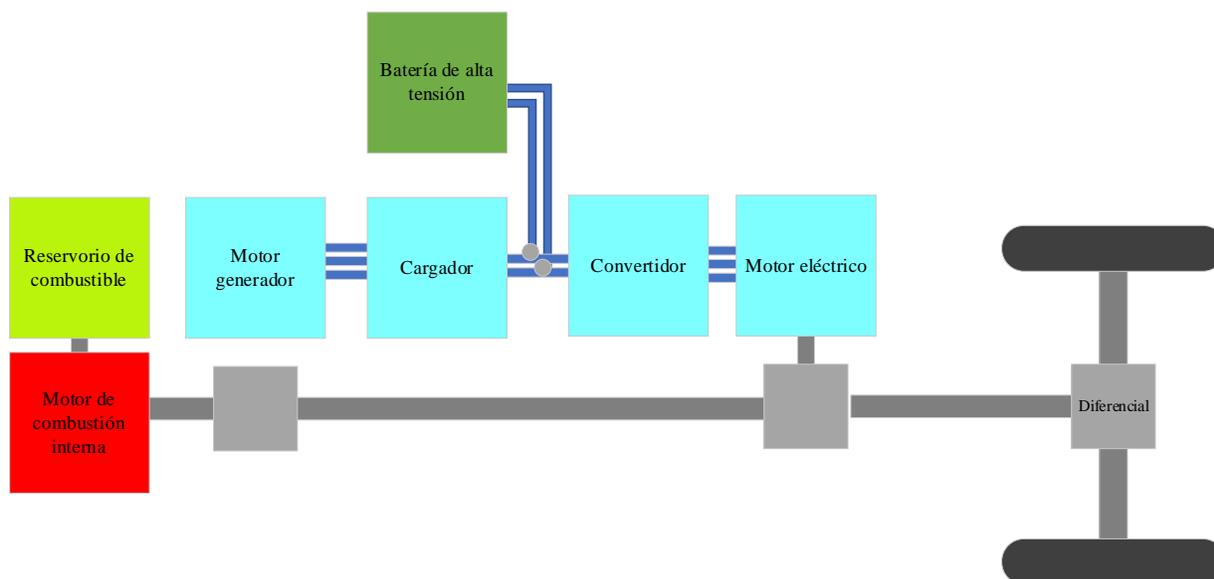


Figura 3. - Arquitectura de un vehículo híbrido serie-paralelo.

2.4 Motores eléctricos

Los motores eléctricos son un punto importante con respecto al funcionamiento del vehículo híbrido ya que dependiendo de la arquitectura que posea el VEH, se requiere la potencia del motor eléctrico y su eficiencia. (Liu, 2013).

Una de las principales características que debe adquirir los motores eléctricos para los vehículos tanto eléctricos como híbridos son altas densidades de potencia, eficiencia, fiabilidad. Los motores eléctricos han sido utilizados a nivel industrial por muchos años, más con el avance tecnológico se ha logrado implementar en un vehículo. Estos pueden ser de corriente continua (CC) y corriente alterna (CA), durante muchos años los motores de CC se utilizaron como modelo para los VE, sin embargo, debido a su gran volumen ha menguado su aplicación en los vehículos. Actualmente en la industria automotriz los motores comúnmente usados en los vehículos eléctricos

e híbridos son: de CA y CC sin escobillas, que son los de imanes permanentes, inducción y reluctancia conmutada. (Martínez J. M., Vehículos híbridos y eléctricos: diseño del tren propulsor, 2015).

A continuación, se detalla con exactitud a través de los Figuras 4 y 5, los tipos de motores que existen según su naturaleza. Según NEMA³ se clasifican en CC y CA.

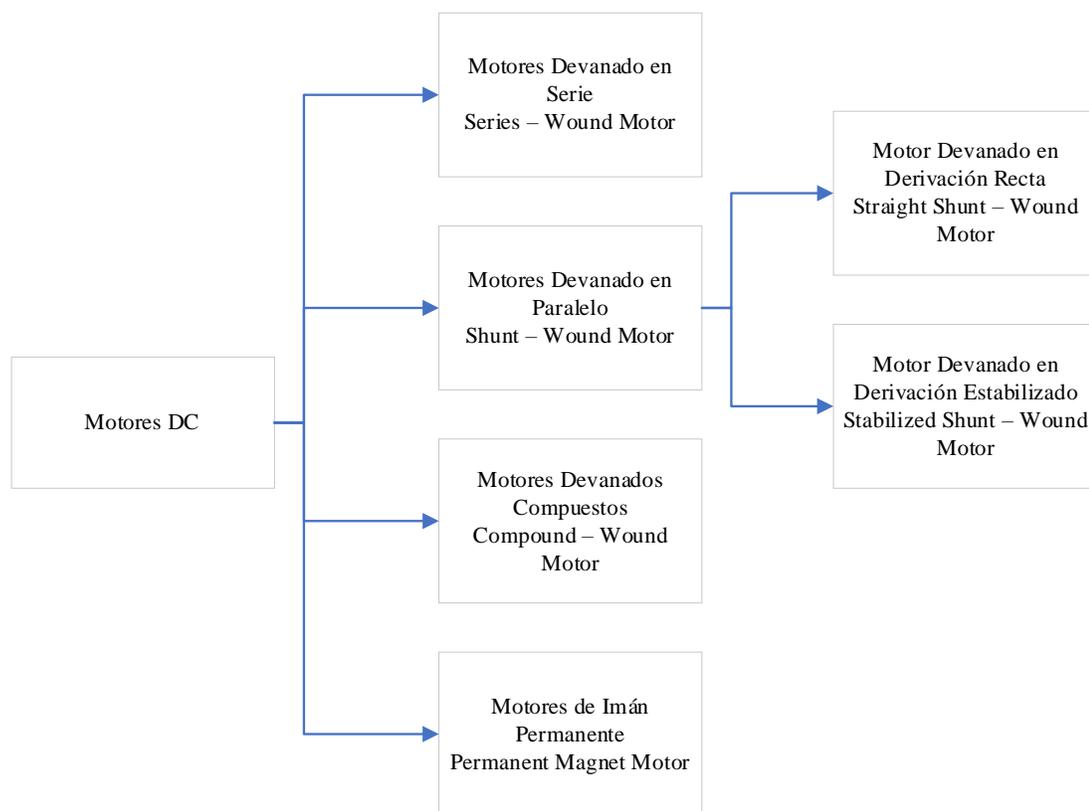


Figura 4. - Clasificación de motores DC⁴. Fuente. - (Eybar Farith Contreras Villamizar, Rolando Sánchez Rodríguez, 2010).

³ **NEMA:** National Electrical Manufacturers Association / Asociación Nacional de Fabricantes Eléctricos.

⁴ **DC:** Direct current / Corriente continua.

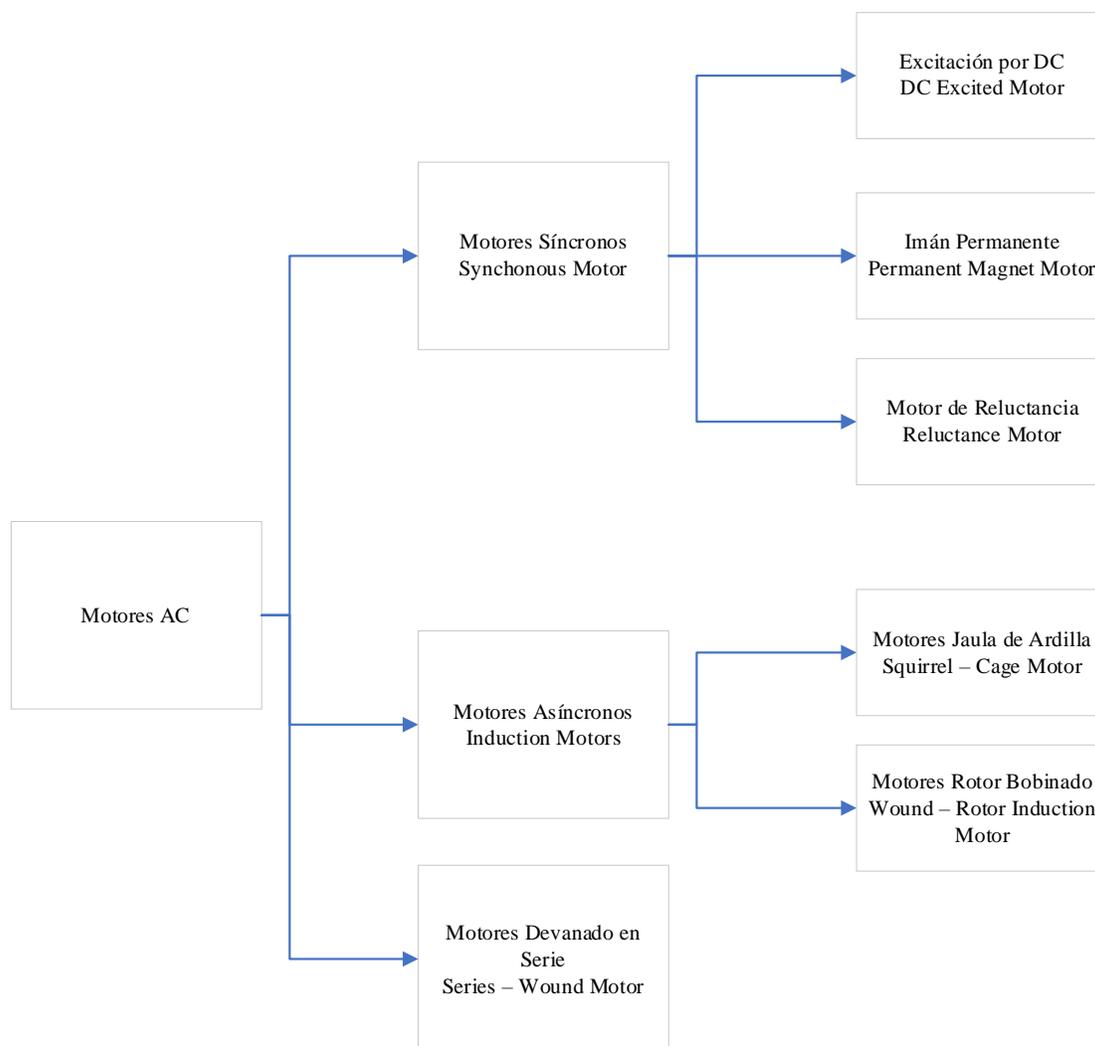


Figura 5. - Clasificación de motores AC5. Fuente. - (Eybar Farith Contreras Villamizar, Rolando Sánchez Rodríguez, 2010).

Cabe resaltar que el motor eléctrico que posee el vehículo híbrido Blue Drive de la carrera Automotriz es de corriente alterna tipo síncrono de imanes permanentes.

2.5 Potencia y par de un motor eléctrico

De manera general la potencia se refiere como la cantidad de trabajo ejecutado por un motor eléctrico por un periodo de tiempo determinado, la unidad de la potencia se expresa como Horse Power (HP) o en Kilowatts (KW). Cabe destacar que tanto el par y velocidad de rotación

⁵ AC: Alternating Current / Corriente Alterna.

del motor son necesarios para determinar la potencia de este. La relación se expresa de la siguiente manera acorde a (Eybar Farith Contreras Villamizar, Rolando Sánchez Rodríguez, 2010):

$$Potencia = Velocidad \times Par \quad (2.1)$$

Fórmula de potencia (2.1); Fuente: (Eybar Farith Contreras Villamizar, Rolando Sánchez Rodríguez, 2010)

Donde la velocidad mayormente es medida por revoluciones por minuto y el par es cuantificado por la fuerza que se produce al momento de la rotación. (Eybar Farith Contreras Villamizar, Rolando Sánchez Rodríguez, 2010). Las variaciones de potencia de los motores dependerán de acuerdo con el fabricante.

2.6 Mantenimiento Predictivo

El mantenimiento predictivo o también conocido como mantenimiento basado en la condición sostiene una agrupación de técnicas que alcanzan a pronosticar y prever la ocurrencia de fallas en progreso y el estado real de los componentes, ya sea en equipos, maquinarias o instalaciones. (Iván Gallará, Daniel Pontelli, 2020) (Ajuech, 2017). Este tipo de mantenimiento es importante ya que las aplicaciones de estas técnicas especializadas nos asisten a detectar con anticipación los tipos de fallas la cual están enlazados al periodo de vida del equipo, tales como: fallas en el transcurso de la instalación o en la operación de los equipos; fallas de carácter normal y aleatoria posterior a la instalación y por consiguiente fallas en la etapa final del equipo. (Iván Gallará, Daniel Pontelli, 2020). Implantar el mantenimiento predictivo es fundamental para obtener el control integral tanto de costos de mantenimiento como de progresos productivos referente a la operación del equipo o maquinaria. El motivo principal de este tipo de mantenimiento es adquirir disponibilidad y fiabilidad de los equipos. (Ajuech, 2017)

Para fallas que se producen en el transcurso de la instalación o en la etapa inicial la probabilidad de ocurrencia es alta, pero con alto porcentaje de disminuir sus fallos. Estos fallos son ocasionados por algún desperfecto en fabricación al montar, instalar, errores en el diseño o por un daño dotado por terceros. En esta fase la curva de tasa de fallas tendrá un descenso ya que los componentes defectuosos serán sustituidos y serán corregidos los desperfectos de fabricación y los errores de diseño. (Iván Gallará, Daniel Pontelli, 2020).

Por consiguiente, se muestra en la gráfica la curva de la tasa de falla estabilizado, en la cual durante ese periodo demuestra que la probabilidad de falla es baja, ya que sus componentes y elementos no muestran desperfectos durante su operación. Esto se debe a causa de una implementación con respecto a una mejora en el diseño en el equipo, reemplazo de piezas, componentes o elementos de mayor calidad, que, por ende, generan un mayor costo. (Iván Gallará, Daniel Pontelli, 2020)

Así mismo, la última etapa expone el ciclo de vida del equipo con una tasa de falla exponencialmente gradual ocasionado por el desgaste de los componentes de los equipos. En esta etapa es necesario una apreciación de costos para conservar el equipo en condiciones operativas en función a la vida útil residual de este, teniendo en cuenta el coste total que producirá las reparaciones. Puesto a la pérdida que produjo la inoperatividad y la calidad del producto. (Iván Gallará, Daniel Pontelli, 2020)

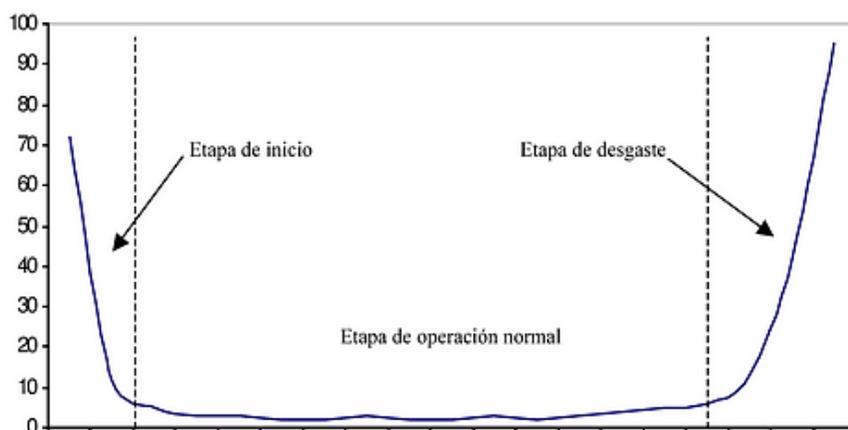


Figura 6. - Tasa de fallas. Fuente. - (Iván Gallará, Daniel Pontelli, 2020).

El mantenimiento basado en la condición del equipo es aquel que intenta calcular y adelantarse al fallo a través de instrumentos adecuados de medición, inspección o evaluación. A través de este tipo de mantenimiento es posible conocer el estado real de las máquinas, previendo al fallo prematuro de la maquina logrando así alargar la vida útil del equipo y su producción, evitando continuos tiempos de parada debido a la avería. (Carlos Sierra Fernández, Emilio Andrea Calvo., 2018).

Los tipos de técnicas que se utilizan en el mantenimiento predictivo son las siguientes:

- 2 Análisis de vibraciones
- 3 Análisis por ultrasonido
- 4 Análisis de aceites lubricantes
- 5 Termografía, entre otros.

2.6.1 Análisis de vibraciones

Las vibraciones excesivas en los equipos o maquinarias rotativas provocan un calentamiento en el interior de sus componentes, esto conlleva a un consumo adicional de energía eléctrica y por consiguiente un deterioro prematuro del aislamiento eléctrico. Esto puede ocasionar daños prematuros y permanentes en los rodamientos y demás componentes, inclusive en las conexiones eléctricas del equipo, provocando un consumo mayor al 10% de la energía eléctrica necesaria. (Verena Mercado, José Bernardo Peña, 2016).

La gran parte de los vehículos experimentan problemas vibratorios debido al desequilibrio inherente presente en los motores, esto se debe en ocasiones a causa de la fabricación o diseño defectuoso. (Rao, 2012).

Se tiene por concepto de vibración a un cuerpo que es sometido a cambios oscilantes simultáneamente con relación a su posición de equilibrio, de una forma más explícita, la vibración se logra interpretar como, un movimiento repetitivo alrededor de su posición de equilibrio. (Márquez, 2004). Hay que tener en cuenta que la medición de vibración en una maquinaria es importante, ya que la vibración excesiva es responsable del exceso de ruido, calidad del desempeño de la máquina e incluso pudiendo alcanzar a otros componentes de precisión de otras fuentes causando fallas de funcionamiento. (Márquez, 2004).

Cabe recalcar que el análisis de vibraciones mecánicas incrementa la confiabilidad de la máquina disminuyendo los costos por avería, en comparación a los demás métodos generales de mantenimientos, incluso al momento de ser examinada la máquina, no se interrumpe su operación esto se debe a que permite la detección real de la avería y su respectiva causa incluso en la primera fase de su operación. (Vassileva, 2007). Este tipo de medición y análisis es una de las técnicas más confiables para detectar fallas mecánicas en maquinarias rotativas, debido a su precisión, ya que permite cuantificar aspectos como la medida de vibración total en banda ancha, en banda estrecha, medida de parámetros vibratorios determinados con la finalidad de detectar desperfectos en rodamientos y engranajes, también el diagnóstico de averías como desalineación, desequilibrio,

roces, holguras, excentricidad en poleas y engranajes, avería y ruido en rodamientos. (Ajuech, 2017). Para poder realizar y verificar lo explicado es necesario poder identificar y determinar la zona donde se realizarán las mediciones y el equipo analizador de vibraciones que más se ajuste al requerimiento de acuerdo con las necesidades expuestas del proyecto planteado.

Así mismo, esta técnica también se basa en el análisis de frecuencia la cual es medida a través de su amplitud, de esa manera cuando el espectro de vibración presente variaciones a través del periodo de funcionamiento medido, indica que la máquina presenta una alteración en su operación y necesita ser inspeccionada. (Ríos, 2019).

2.7 Transformada de Fourier

La transformada de Fourier denominada como un algoritmo que es capaz de calcular la transformada discreta e inversa de Fourier. Se refiere a una transformación matemática que convierte señales entre el dominio del tiempo y el dominio de la frecuencia. (Schmidt, 2013)

2.7.1 Análisis de frecuencia

Como se ha descrito previamente la vibración de los equipos es causada por sus partes oscilando dentro de estos. Se mide la vibración en ciertos puntos de los equipos y de lo obtenido se deduce la magnitud de las fuerzas (White, 2012). Para el estudio complejo de análisis de la onda se recomienda un análisis de frecuencias, es importante destacar gráfica en el dominio del tiempo es definida como forma de onda y que la gráfica en el dominio de la frecuencia se define como espectro siendo equivalente a la transformación de la señal del dominio del tiempo al de la frecuencia. (White, 2012).

2.7.2 Determinación de espectros de frecuencia

Los espectros mayormente poseen una escala permitiendo un análisis más amplio en relación con el rango de frecuencias. Para definir con mayor precisión el muestreo, de la forma de la onda y de la resolución del equipo, se requiere la información característica del espectro, usualmente en los equipos analizadores la proporción de muestreo de la grabación del tiempo está dado a 2.56 veces la frecuencia más alta en el espectro. Por ejemplo, si se requiere analizar una onda que posee diversas variaciones se requiere un amplio y veloz muestreo para descifrar cada variación, es decir si tomamos 1000 muestras por segundo, esto corresponde a un rango de frecuencias de $1000/2.56 = 391$ Hz. (White, 2012).

2.8 Sistema híbrido del vehículo Blue Drive

La configuración del sistema híbrido que posee el vehículo Blue Drive de la carrera Ingeniería Automotriz de la Universidad Politécnica Salesiana, sede Guayaquil, siendo este un Toyota Corolla del año 2022, cuenta con un motor de combustión de 72kW y con un motor eléctrico con una potencia de 53kW. Así mismo, posee un generador la cual tiene como función transformar la energía cinética que producen los frenos en energía eléctrica y también posee una batería de alta tensión compuesta de níquel metal hidruro de 201.6V, la cual funciona como fuente de energía para el motor eléctrico. (Toyota Latam, 2020). (TOYOTA, 2018)

2.8.1 Modos de conducción

Los modos de conducción que posee el vehículo son cuatro, la cual se adecúan a la manera de conducir del conductor.

Los modos de conducción son los siguientes:

- **Modo normal**

Este tipo de modo de conducción es activado automáticamente al encender el vehículo. Óptimos para conducción en vías urbanas o autopistas. De acuerdo con esto el vehículo utilizará el motor eléctrico o el motor de combustión interna, dependiendo de la demanda de potencia y la carga total de la batería que posea el vehículo. (Toyota España, 2021)

- **Modo EV**

Este modo de manejo usa únicamente el motor eléctrico para su propulsión, utilizando la energía almacenada en la batería, es decir usará exclusivamente energía eléctrica. Al usar este modo, hay que tener en cuenta que solo será útil a velocidades bajas. (Toyota España, 2021)

- **Modo Eco**

Este modo de manejo es la combinación de la función de los dos motores; el motor eléctrico y el motor a combustión interna, logrando un bajo consumo de combustible. (Toyota, 2021)

- **Modo Sport**

Este modo de conducción se basa en la utilización del motor eléctrico junto al motor de gasolina, para una mayor demanda de potencia. (Toyota España, 2021)

2.9 Protocolo y normativas

Tener un protocolo previamente establecido para los equipos es de suma importancia ya que estos serán empleados para toma de mediciones ya sea de potencia; análisis de gases, análisis de aceites, evaluación del comportamiento u operatividad y el rendimiento del motor. (MAHA LPS3000, 2017) (Pablo Andrés Jiménez Romero, Kevin Walter Pinta Pesantez, 2021)

Para la toma de pruebas de datos en el vehículo, según lo indagado; es necesario realizar un protocolo tanto de seguridad, anclaje, como de adquisición de datos a continuación, se detalla lo siguiente:

2.9.1 Protocolo de Seguridad

Antes de proceder a la toma de pruebas de datos es importante tener en cuenta tanto los aspectos de seguridad del operador, del personal como la del equipo. Por ende, previo a la inspección y operación del equipo es necesario que el operador del equipo disponga de todas las prendas de seguridad, tales como: gafas, guantes, protectores de oído, mascarilla, botas de seguridad industrial, mandil u overol. (Dynojet, 2008) (Pablo Andrés Jiménez Romero, Kevin Walter Pinta Pesantez, 2021)

Así mismo, se describe el siguiente protocolo de acuerdo con las medidas dispuestas por el fabricante:

- Las conexiones o cableado eléctricos del equipo deben ser protegidas del agua y la humedad en caso de existir.
- El vehículo no deberá operarse dentro de áreas inflamables.
- Existe asfixia en lugares cerrados con baja ventilación y el vehículo en funcionamiento, el operador debe asegurarse de que en el área haya ventilación o intercambio de aire suficiente.
- Es necesario comprobar la presión de los neumáticos, deben encontrarse de acuerdo con lo prescrito previamente por el fabricante. Realizar una inspección visual del estado real de los neumáticos para evitar daños a mayor escala.

- Se deberá verificar la velocidad máxima que poseen los neumáticos según fabricante para proceder a la toma de pruebas.
- Prohibido tocar los cables de alta tensión color naranja conectados al motor eléctrico.

2.9.2 Protocolo para adquisición de datos

Para la toma de datos una vez tomado en cuenta las medidas de seguridad, se procede a la respectiva adquisición de datos, de la siguiente manera: (Francisco Ernesto Moreno García, José Armando Becerra Vargas, Carlos Andrés Rendón Echverri, 2014) (Martínez M. Á., 2018).

- Los datos serán tomados en dirección radial, axial o tangencial, mediante un sensor piezoeléctrico llamado acelerómetro la cual es encargado de medir vibración y aceleración.
- La zona donde se ubicará el sensor serán puntos donde se emitan fuerzas vibratorias o comúnmente en rodamientos del motor eléctrico, el dispositivo deberá estar fijado firmemente a la plataforma de la máquina.
- Verificar que el cable del sensor no esté en contacto con ningún elemento mecánico, pudiendo alterar la toma de datos vibratorios.
- Encender el vehículo para tomar las vibraciones en consumo energético en un rango de 0 a 40 km/h.

2.9.3 Norma NEDC

El Nuevo ciclo Europeo de Conducción hacen referencia a las normas de homologación de consumo energético o de combustible dependiendo el tipo de vehículo sean estos convencionales, eléctricos e híbridos. Los ciclos de conducción representan estadísticamente puntos de datos que hace referencia a la velocidad que posee el vehículo con relación al tiempo o velocidad con relación a la distancia. (Pablo Santiago Pérez Llanos, Oswaldo Christian Quito Sinchi, 2018).

Así mismo, los ciclos de conducción son usados para diferentes parámetros como la evaluación de contaminación de las emisiones que provoca el motor de combustión interna, una apreciación del tráfico vehicular en horas concurridas y también la cantidad aproximada de consumo de combustible. (Espinoza, 2018)

Los ciclos de homologación NEDC (Nuevo Ciclo de Conducción Europea) permite determinar el consumo, emisiones y eficiencia de un vehículo con cierta motorización en ciclos de conducción normalizados, simulando dos fases de conducción; urbana y carretera variando su

velocidad entre los 34 km/h hasta 120 km/h a temperaturas entre 20 y 30 C°. (Motor pasión 2019). Este ciclo fue implementado a partir del año 2000, es la unión del Ciclo Urbano Elemental que en sus siglas en inglés es ECE, más el Ciclo de Conducción Extra Urbano siendo sus siglas en inglés EUDC, dando como resultado el ciclo NEDC. (Espinoza, 2018).

2.9.4 Norma ISO 10816-3

Debido a las distintas estructuras de diseño que poseen las máquinas se las dividen en grupo de acuerdo con su tamaño y potencia. Estos grupos pueden estar montados en soportes tanto rígidos como flexibles, teniendo ejes horizontales, verticales o inclinados. (International Organization for Standardization (ISO). , 2009). Esta norma es aplicable siempre y cuando la vibración sea otorgada directamente de la máquina, más no para las vibraciones que son transmitidas a la máquina a través de fuentes externas. Así mismo, esta norma describe cómo debe realizarse el proceso de medición, condiciones de operación, tipo de máquina, su rango de potencia y estándares de referencia. Referente al proceso de medición hace criterio a la posición del sensor al momento del monitoreo ya sea de manera continua o discontinua, la resolución del equipo de medición y las condiciones de estos. (International Organization for Standardization (ISO). , 2009)

En los equipos de medición; para los sensores, se toma valores aplicables a la velocidad y el desplazamiento de manera general en un rango amplio de respuesta de frecuencia, el más frecuente entre 10Hz a 1KHz. La norma indica que para vibraciones con frecuencias inferiores a 10Hz se evaluará por desplazamiento vibratorio, entre 10Hz a 1KHz por velocidad vibratoria y superior a 1KHz por aceleración vibratoria. Este rango dependerá del valor de frecuencia de la severidad de vibración. (International Organization for Standardization (ISO). , 2009)

Para el grupo motor generador el RMS⁶ está entre 0 a 4.95 para los impulsados por bandas y 0 a 3.60 de acople directo; teniendo en cuenta también la potencia de la máquina. Estos parámetros ayudan a determinar en qué condiciones se encuentra la máquina, según la norma de Criterios de severidad del Nivel Global de vibración. (Technical Associates of Charlotte, P.C, 2001)

Así mismo, para las mediciones de acuerdo con la norma se podrá medir la vibración en piezas no giratorias de las máquinas. (International Organization for Standardization (ISO). , 2009).

⁶ **RMS:** Valor eficaz de la vibración.

Tabla #1. Límites permisibles de vibración de las máquinas eléctricas de acuerdo con la norma ISO 10816-3.

Grupo No. 1	Máquinas rotativas grandes	Potencia mayor a 300 kW. Máquinas eléctricas con altura de eje $H \geq 315\text{mm}$.
Grupo No. 2	Máquinas rotativas medianas	Potencia entre 15 y 300 kW. Máquinas eléctricas con altura de eje $160 \leq H < 315\text{mm}$.
Grupo No. 3	Bombas con impulsor de múltiples álabes y con motor separado (flujo centrífugo, axial o mixto)	Potencia mayor a 15 kW.
Grupo No. 4	Bombas con impulsor de múltiples álabes y con motor integrado (flujo centrífugo, axial o mixto)	Potencia mayor a 15 kW.

Fuente. - (International Organization for Standardization (ISO), , 2009).

3. CAPÍTULO III: METODOLOGÍA UTILIZADA PARA LA ADQUISICIÓN DE DATOS Y CARACTERIZACIÓN DE LAS VIBRACIONES DEL MOTOR ELÉCTRICO DEL TREN DE POTENCIA DEL VEHÍCULO.

En este capítulo se detalla la metodología utilizada para la respectiva obtención de datos para su posterior análisis. Se utilizó diferentes softwares, tanto para la obtención como para el procesamiento de datos, tales como: Softwares computacionales para la obtención de datos también uno estadístico para el respectivo análisis del comportamiento de las variables obtenidas de la vibración otorgadas por el motor eléctrico, descritos en el capítulo 3.1.1 de la investigación.

Para la realización de la toma de datos de vibraciones otorgadas por el motor eléctrico del tren de potencia del vehículo eléctrico híbrido, se tomó en cuenta las siguientes consideraciones con respecto a la toma de pruebas, tales como: requisitos (elementos de prueba), condiciones previas para la toma de datos, protocolo de pruebas y la norma; en la cual se fundamenta esta metodología planteada. La norma ISO 10816-3 en la cual se sustenta este capítulo está descrita previamente en el capítulo 2.9.6. Una vez adquirido los datos a través de instrumentos de medición y junto al equipo a medir, se obtiene la información necesaria para poder someterlas a un análisis estadístico a través de softwares computacionales y posterior su respectivo análisis final.

A continuación, se muestra los siguientes aspectos a considerar previo a la toma de datos.

3.1 Requisitos

3.1.1 Elementos de prueba

Para la obtención de datos y para poder llevar a cabo la caracterización del espectro es necesario poseer los equipos precisos con el fin de adquirir datos o variables; es importante resaltar que tanto los equipos de medición, herramientas, como los instrumentos varían de acuerdo con el tema que plantee el investigador. En esta investigación se utilizó los siguientes equipos e instrumentos:

- Vehículo híbrido Blue Drive de la carrera de Ingeniería Automotriz.
- Laboratorio de Blue Drive de la carrera de Ingeniería Automotriz.
- Sensor acelerómetro piezoeléctrico Wilcoxon modelo 780C.

- Software computacional – Dewesoft Analizador de espectros FFT.
- Software computacional Microsoft Excel.
- Software estadístico computacional Minitab.
- Computador portátil para procesamiento de datos.

3.1.1.1 Vehículo híbrido Blue Drive de la carrera de Ingeniería Automotriz

Con relación al tren de potencia del vehículo híbrido Blue Drive de la carrera Ingeniería Automotriz, se busca compilar la mayoría de información adquirida del vehículo con la finalidad de dar a conocer los componentes que respectan al tren de potencia tanto mecánicos como electrónicos para poder desempeñar el estudio del proyecto propuesto de manera eficiente, indicando con detalle los elementos que componen la configuración del tren de potencia del vehículo híbrido Blue Drive, donde el motor eléctrico será el centro de estudio para el análisis de vibraciones. Está conformado por los siguientes componentes:

- 1) Batería auxiliar 12V
- 2) Batería de alta tensión
- 3) Cables de alto voltaje
- 4) Inversor / Convertidor
- 5) Motor de combustión interna gasolina (ICE)
- 6) Motor eléctrico (MG2).
- 7) Motor generador eléctrico (MG1).
- 8) Compresor A/C con Inversor.
- 9) Convertidor DC-DC
- 10) Tanque y líneas de combustible.

resultados otorgados por los equipos mediante procesos de calibración, informes detallados de calibración y certificados. (Dewesoft, 2022) (Isotools org., 2019).

3.1.1.4 Software computacional Excel

Es un programa informático, utilizado para el manejo, la creación y modificación de hojas de cálculos. Excel maneja grandes cantidades de datos desde nivel micro a macro, tiene la capacidad de almacenar, tabular, organizar, calcular e incluso descifrar datos numéricos y alfanuméricos. (EuroInnova, 2020)

3.1.1.5 Software computacional Minitab

El software Minitab es un programa computacional estadístico diseñado para elaborar funciones estadísticas tanto básicas como avanzadas, acorde al requerimiento del operario. (Minitab, 2020)

3.2 Protocolo de pruebas

El protocolo de pruebas de datos es necesario para poder tener un orden y control en este caso de la toma de datos con su respectivo procedimiento con el fin de conseguir un orden lógico de las actividades que se van a realizar o de los equipos que son sometidos a medición. A continuación, se describe el protocolo a seguir en esta investigación.

3.2.1 Condiciones previas para la toma de datos de vibración del tren de potencia

Es importante tener condiciones de pruebas en ensayos experimentales para saber los aspectos necesarios y bajo en qué condiciones se realizarán las pruebas y operarán los equipos. A continuación, se detalla las condiciones necesarias para la toma de datos en el vehículo híbrido:

- Debido a que las pruebas son estáticas se necesita simular el consumo energético en procesos de carga y de descarga, al estar estático el vehículo no habrá consumo a través del motor eléctrico por lo tanto se utilizará el sistema de climatización como un consumidor eléctrico para lograr la carga y descarga de la batería, es decir, de acuerdo con lo detallado tendremos dos tratamientos.
- El tiempo de muestreo será tentativamente de 10 segundos, ya que en la Data rate⁷ del equipo analizador de vibraciones se ha configurado para que dé un indicador de 1.000 muestras por segundo, es decir, se tendrá tentativamente 10.000 datos por cada tratamiento

⁷ **Data rate:** Velocidad de datos / Resolución del equipo de medición.

descrito. Así mismo en la configuración de la resolución del analizador de vibraciones en la FFT⁸ aparece el “Block count” la cual es parte de la resolución del equipo que influye su relación con el tiempo previamente establecido por el operador para analizar la FFT.

- Se realizarán 2 ensayos por cada tratamiento descrito; consumo energético en proceso de carga y consumo energética en proceso de descarga con el sistema de climatización encendido al máximo.
- Con respecto a las condiciones atmosféricas, la temperatura estará en un rango aproximado de 25 a 30° C (Celsius), la humedad relativa será aproximadamente de 83% y con respecto a la presión atmosférica es 1010 hPa. Hay que tener en cuenta que las condiciones ambientales no afectan a la toma de datos de vibraciones del motor eléctrico, pero es importante saber en qué condiciones se trabajan, ya que el instrumento a utilizar tiene un rango de temperatura de funcionamiento desde -40°C a 85°C y una humedad del 5 al 100%.
- La vibración externa del entorno y las condiciones de carga serán iguales en cada muestra, para que no afecte al espectro obtenido y que los datos recopilados poseen las mismas características descritas.

⁸ **FFT:** Fast Fourier Transform / Transformada rápida de Fourier.

3.2.2 Proceso de ensayo

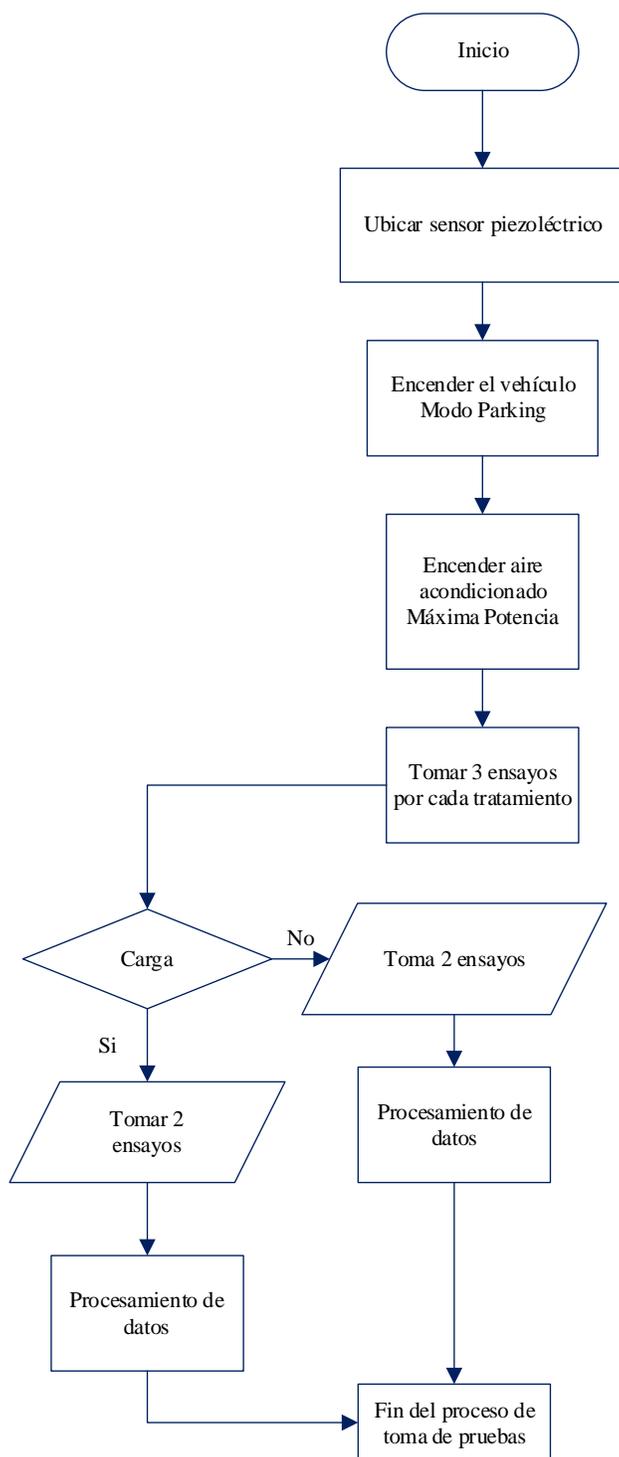


Figura 8. - Protocolo de pruebas.

1. Ubicar el sensor acelerómetro en el motor eléctrico, descrito anteriormente.
2. Encender el vehículo, para iniciar ensayo.
3. Una vez el vehículo encendido, colocar el aire acondicionado al máximo.
4. Tomar el tiempo de muestreo (10 segundos).
5. Repetir la muestra tres veces.
6. Procesamiento de datos con un software computacional.

De acuerdo con la normativa descrita previamente en el capítulo 2.9.6 se procede a ubicar el sensor piezoeléctrico en una parte no giratoria del motor eléctrico para la respectiva toma de datos.

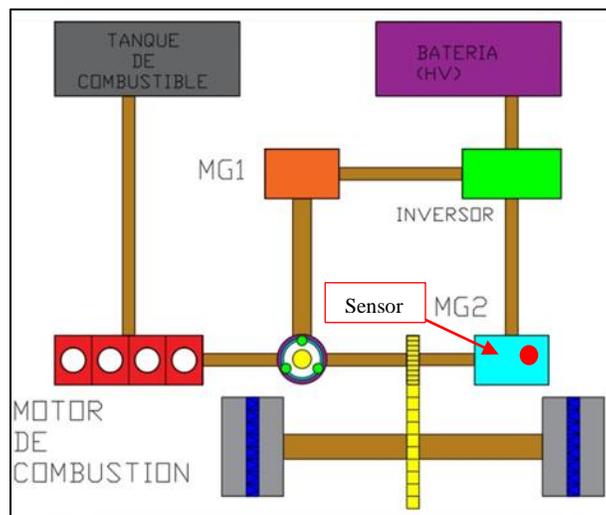


Figura 9. - Ubicación del sensor piezoeléctrico. Fuente. - (Casanova, 2022).

Luego de tener en cuenta el proceso de ensayo de acuerdo con el flujograma y la descripción previa de cada bloque para iniciar la obtención de toma de datos de vibraciones para caracterizar el espectro de vibración, es necesario tener en cuenta los siguientes aspectos:

Tener en cuenta los aspectos de seguridad al momento de encender el vehículo y ubicar el sensor piezoeléctrico adecuadamente en el exterior de la carcasa del motor eléctrico donde sea accesible, evitar tocar los cables de alta tensión (color naranja), podrían causar lesiones graves o incluso la muerte.

3.2.3 Configuración de la resolución del equipo Dewesoft

1. Previamente se conecta el analizador de vibraciones al computador mediante un cable de red, donde a través del software Dewesoft; licencia que posee el equipo, almacenará los datos que otorgue las vibraciones del motor eléctrico ya sea en modo carga o descarga que son censadas a través del sensor piezoeléctrico, se muestra en la Figura 10.

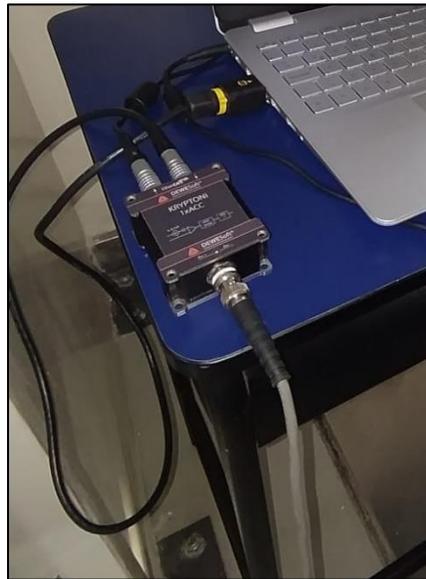


Figura 10. - Conexión del equipo analizador de vibraciones al computador.

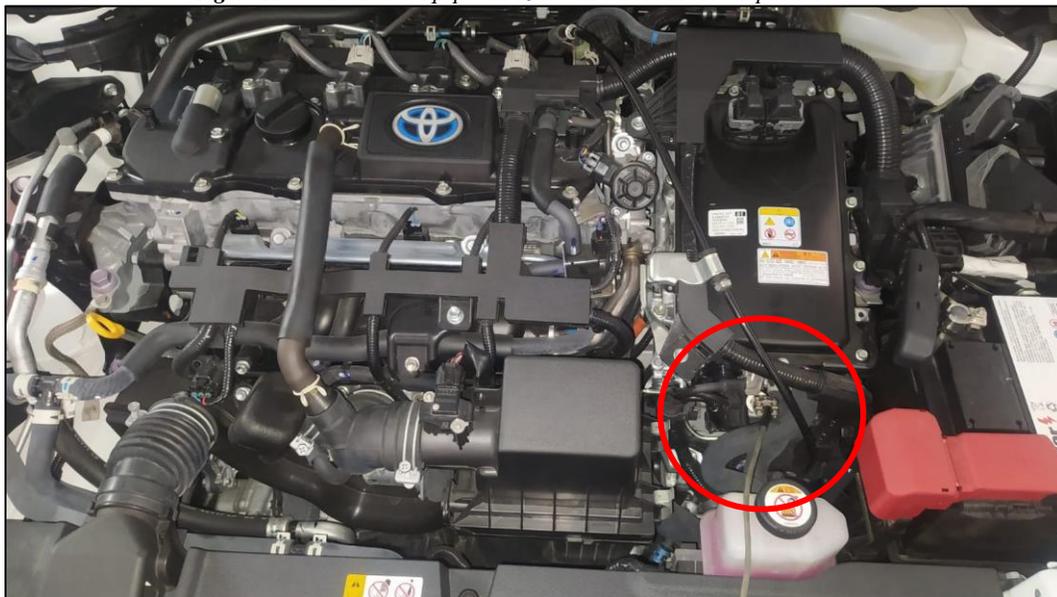


Figura 11. - Vista frontal del sensor ubicado en el motor eléctrico.

2. Posterior a la ubicación del sensor piezoeléctrico en el motor eléctrico, se procede a la configuración del software Dewesoft para la adquisición de datos de vibración del motor eléctrico.
3. En la Figura 12 muestra la configuración de canales del software, posterior a eso se configura la entrada analógica.

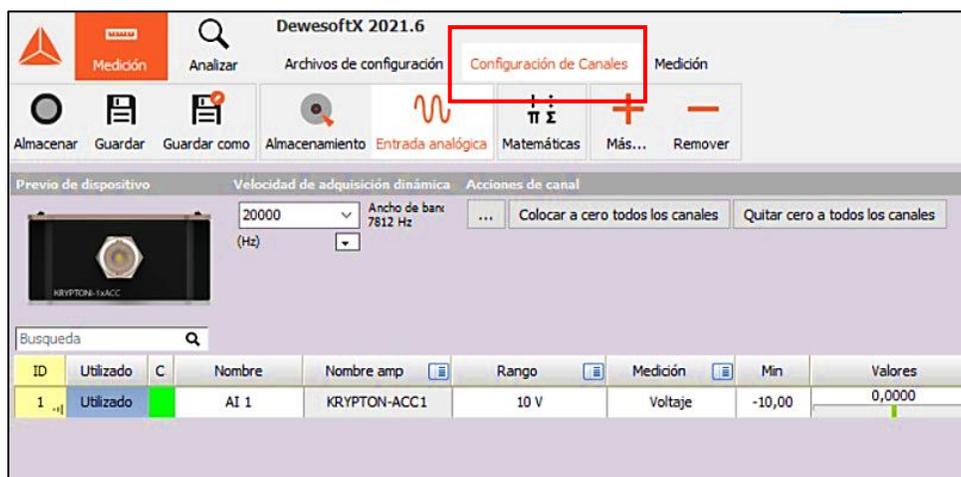


Figura 12. - Configuración de canales del Software Dewesoft.

4. En la Figura 13 se ajusta el ancho de banda a 1000 Hz (velocidad de adquisición dinámica o frecuencia de muestreo).

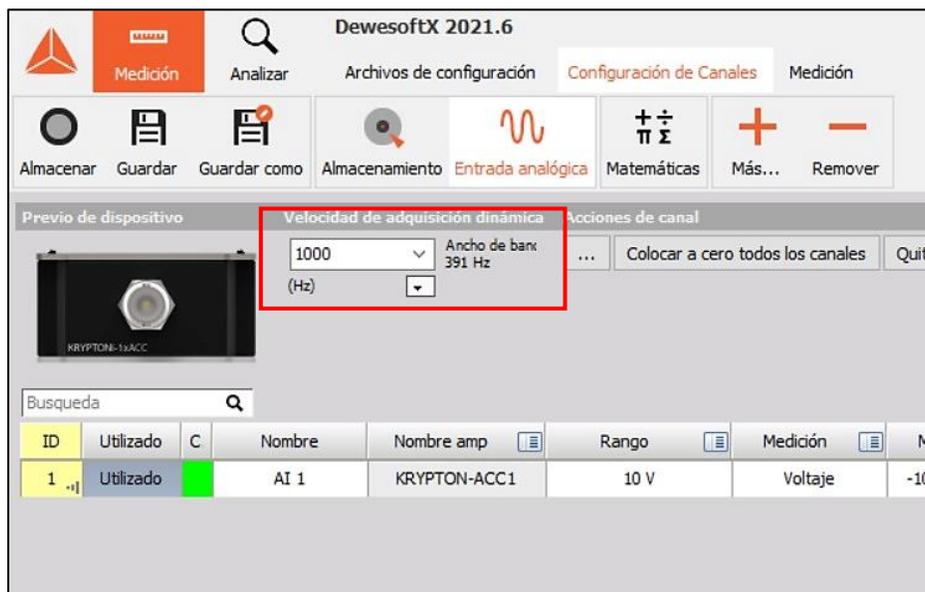


Figura 13. - Configuración de ancho de banda Dewesoft.

- 5 En la Figura 14 sí mismo, en medición se procede a seleccionar IEPE (sensor acelerómetro piezoeléctrico), configurando un rango de 1000 mV como detalla la Figura 15.

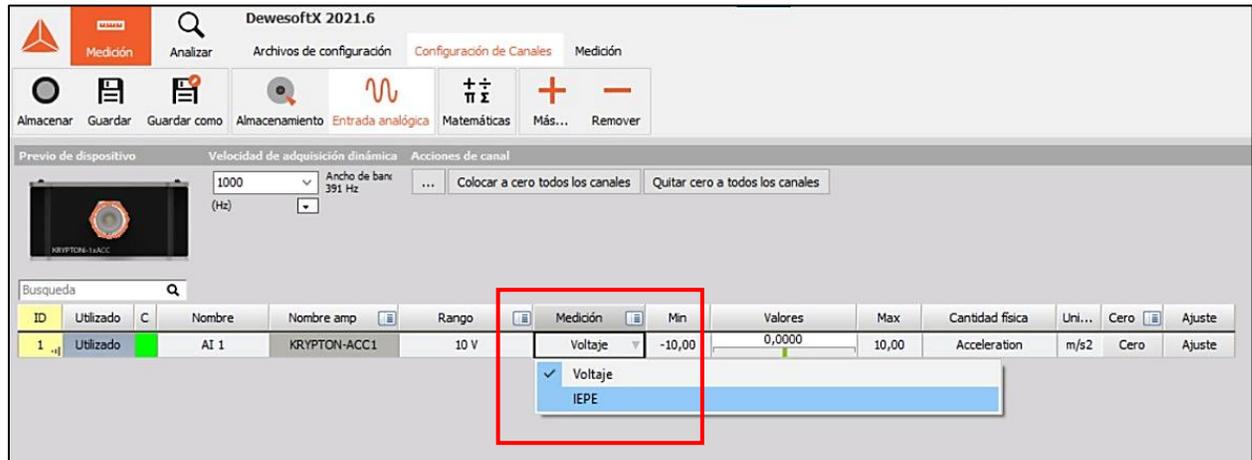


Figura 14. - Configuración de medición de la entrada analógica Dewesoft.

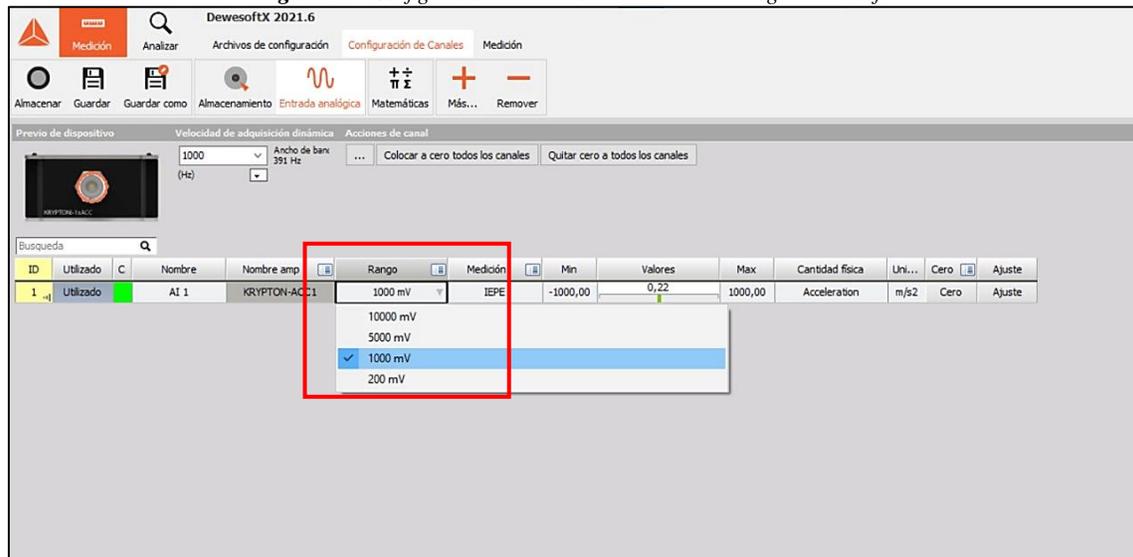


Figura 15. - Configuración del rango de entrada analógica.

4. Posterior a la configuración de canales de la entrada analógica, para realizar un ajuste completo nos dirigimos hacia ajuste como indica la Figura 16.

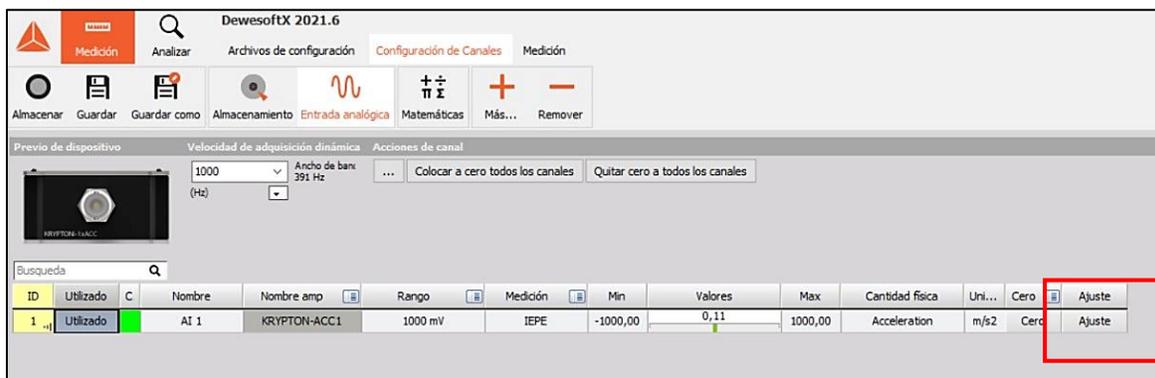


Figura 16. - Ajuste de configuración de canales Dewesoft.

5. En la Figura 17 nos muestra que, para la configuración del sensor, por default la unidad se muestra en m/s², pero para realizar una conversión exacta se pondrá un factor de sensibilidad de 100 con la selección de “g” (gravedad), así mismo, nuevamente se selecciona la unidad de m/s² y el software nos muestra el factor de sensibilidad calculado, la cual corresponde a 10,1972 mV/m/s².

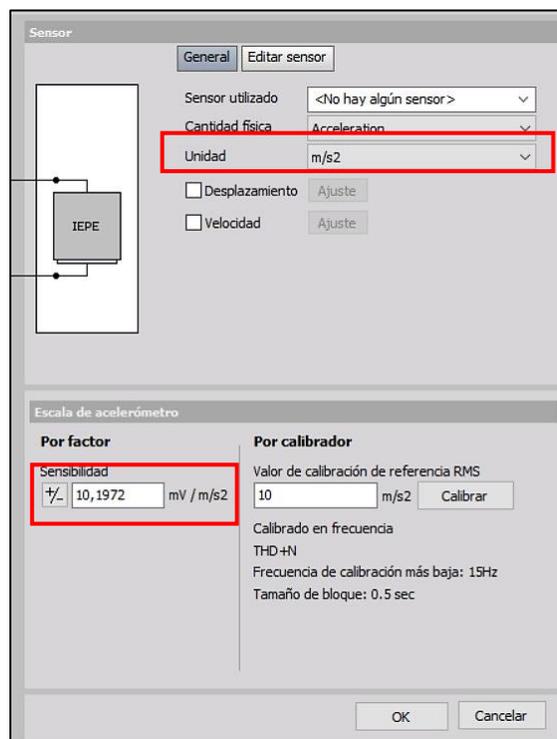


Figura 17. - Configuración del sensor terminada.

6. Por consiguiente, una vez configurado los canales y el sensor en la parte analógica, se procede a configurar la parte matemática del software para poder realizar la toma de datos, para obtener los espectros de vibraciones en el dominio de la frecuencia como lo muestra la Figura 18.
7. De igual manera en la misma sección de “Agregar matemática “se selecciona el FFT (Fast Fourier Transform) que en español significa la transformada rápida de Fourier. Seccionada en la parte de ‘Análisis en el dominio de la frecuencia’.

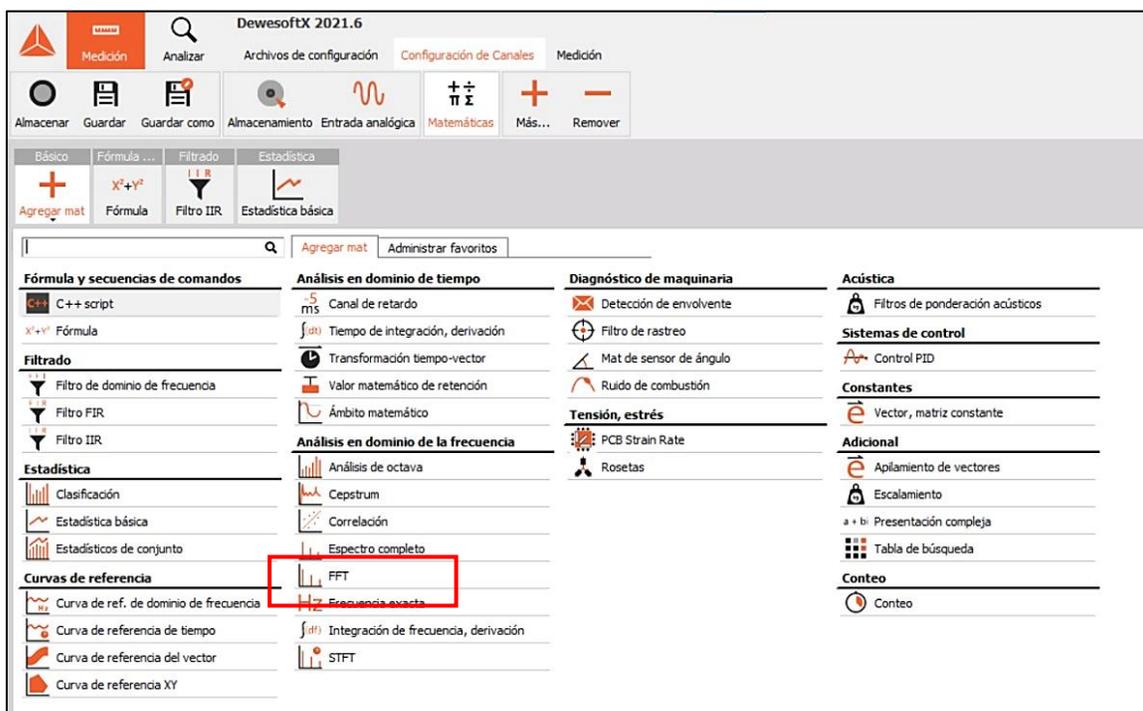


Figura 18. - Selección de matemática para la adquisición de datos.

8. En la Figura 19 muestra la resolución del equipo ya configurado para llevar a cabo la respectiva toma de datos.



Figura 19. - Canal matemático configurado.

9. Realizada la configuración, se añade una pestaña adicional y seleccionamos vista previa de la Transformada rápida de Fourier, para ver el comportamiento del espectro y proceder a la toma de datos en el motor eléctrico del tren de potencia, como nos muestra la Figura 20.

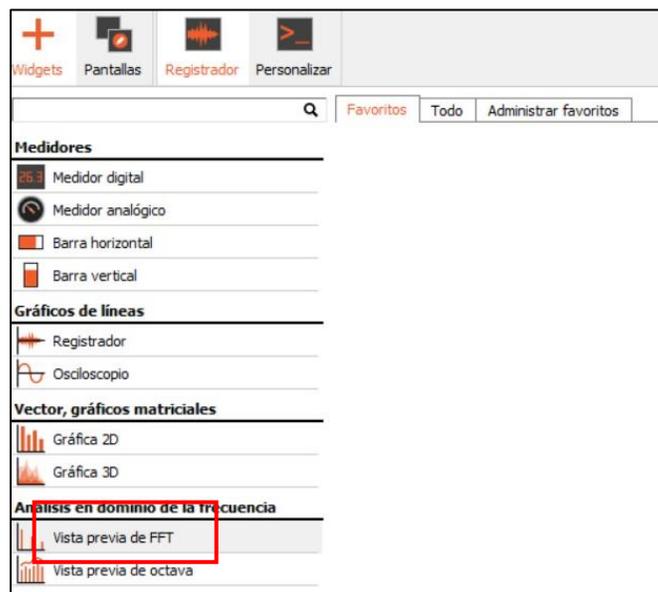


Figura 20. - Selección de vista previa FFT.

10. Una vez realizada la configuración de ajuste del equipo analizador de vibración Dewesoft, se procede a tomar las pruebas, con el sistema de climatización del aire acondicionado al máximo, se obtendrá un consumidor eléctrico directo a la batería de alta tensión. Ya que al estar el vehículo en forma estática es necesario un consumidor directo para la descarga y carga de la batería.

3.2.4 Configuración del software Minitab para el análisis de datos estadísticos

Para llevar a cabo el procesamiento de datos en el software estadístico es necesaria la configuración adecuada acorde a lo requerido del proyecto. La configuración de los softwares varía de acuerdo con la necesidad del investigador y su requerimiento.

1. A continuación, para iniciar el software, se debe ubicar en estadística, herramientas de calidad; seleccionar transformada de Jonhson.
2. Una vez seleccionada la transformada de Jonhson se configura por medio de ajustes para establecer parámetros. Se selecciona la columna a transformar, en este caso será la columna nombrada amplitud.

Cabe recalcar que la transformada de Jonhson convierte los datos obtenidos con la finalidad que sigan una distribución normal cuyo objetivo es aproximar el valor de la variable aleatoria en una situación ideal. (Soporte Minitab 18, 2018)

3. Una vez configurada la transformación de Johnson, se realiza la transformada para los diferentes tratamientos y muestras. En proceso de carga con el ensayo #1 y el ensayo #2, así mismo, para el proceso de descarga con la misma cantidad de ensayos previamente tomadas.
4. Por consiguiente, una vez transformados los valores a la normalidad, se procede aplicar la prueba de la normalidad a las muestras previamente transformadas para ratificar si los valores transformados son normales.

La prueba de la normalidad consiste en verificar si los datos transformados en este caso por el método estadístico de Johnson son normales, si la diferencia en cuanto a la distribución de los datos de la muestra en relación con lo obtenido (distribución normal) de los datos es relativamente grande la hipótesis nula será rechazada. (Ciencia de datos, 2020).

A continuación se detalla el proceso de configuración para la aplicación del método estadístico de prueba de normalidad para el siguiente método estadístico.

5. Cuando los datos se hayan transformado a la normalidad y posterior realizado la prueba de normalidad, se inicia el método estadístico de ANOVA un solo factor para verificar si existe alguna diferencia significativa en los datos de amplitud que nos otorgó el equipo

analizador, para poder corroborar la existencia de alguna diferencia en los datos espectrales.

El análisis ANOVA un solo factor realiza un análisis de varianza se realiza a una variable dependiente (variable que se está calculando) con respecto a la independiente (factor), sirve para verificar las diferencias significativas que existen entre las variables que se están comparando (diferencias en las medias), se pueden realizar a medias de 30 o más grupos. Este compara la varianza (promedio) de los distintos conjuntos para confirmar las grandes diferencias que existan entre ellas si es el caso. (Tibco, 2020) (Ub. Edu, 2020).

6. Se configura para que realice una comparación de varianzas entre medias con relación a los diferentes grupos de columnas a analizar, que en este caso son las amplitudes.

A continuación, se muestra los pasos que se realiza para el ajuste del método estadístico:

7. Cabe recalcar que para el análisis de datos se trabajó con un 95% de confianza o certeza para obtener con mayor precisión la estimación las diferencias significativas en la muestra.

El método estadístico Tukey, consiste en realizar una prueba a través de intervalos de confianza para las diferencias existentes en parejas entre las medias de los factores en tanto controla la tasa de error existente por grupos, es decir realizan comparaciones en las varianzas de 3 o más tratamientos. (Soporte Minitab 18, 2018).

4. CAPÍTULO IV: ANÁLISIS DE RESULTADOS

En el presente capítulo se explica el comportamiento de las variables obtenidas en la toma de datos junto a su aplicación a la estadística mediante un software computacional llamado Minitab. Por ello, de acuerdo con los métodos estadísticos empleados, la transformada de Johnson nos sirvió para convertir a la normalidad los datos obtenidos de las variables; frecuencia y amplitud, tomadas por el software analizador de vibraciones Dewesoft mediante el sensor piezoeléctrico la cual es el encargado de censar y medir las vibraciones del tren de potencia en condición de consumo energético en proceso de carga y descarga.

Para la selección del espectro de frecuencia de vibración característico tanto en proceso de carga como en proceso de descarga, fue necesario realizar la configuración de la resolución previa del equipo analizador de vibraciones Dewesoft, es decir la frecuencia de muestreo; antes de la toma de datos para establecer un rango de tiempo de obtención de datos adquiridos por segundo, dando como resultado una resolución de 1024 líneas en un periodo controlado de 10 segundos con una frecuencia de 1000Hz.

Posterior a la explicado, de acuerdo con las gráficas obtenidas en los diferentes tratamientos con su respectivo ensayo nos dio que existen diferencias, la cual no son diferencias significativas en la diferencia de las medias, es decir se acepta la hipótesis nula debido a que es mayor que al nivel de significancia establecido de 0.005, trabajando con una confianza del 99.5% para la distribución normal y el 99% para el método Tukey en ANOVA. Así mismo, se ratifica los resultados a través de la prueba Tukey realizando una comparación múltiple de las medias de los grupos, ratificando que no existen diferencias significativas entre las variables analizadas con su respectivo tratamiento en proceso de carga y proceso de descarga y el número de ensayos realizados.

A continuación, se detalla los resultados de las gráficas realizadas con diferentes métodos estadísticos.

4.1 Consumo energético proceso de carga - Ensayo #1

4.1.1 Interpretación del método estadístico Transformada de Johnson y Prueba de normalidad

En la Figura 21 se muestra la transformada de Johnson del primer ensayo en proceso de carga cuando el motor eléctrico se encuentra encendido con la finalidad de generar cargar a la batería.

De acuerdo con lo previamente establecido en la metodología este ensayo se realizó con el sistema de climatización de aire acondicionado al máximo. Para la transformada de Johnson se utilizó un intervalo de confianza del 0.005 para la conversión de los datos no normales a la normalidad, con la finalidad de poder analizar cuanto difiere la distribución de los datos obtenidos con los esperados, así mismo, valúa la correlación que existe entre los datos adquiridos. Por consiguiente, la hipótesis nula inferior a 0.005 al transformar los datos a la normalidad nos dio como resultado que la hipótesis nula se acepta siendo “p” un valor de 0.239.

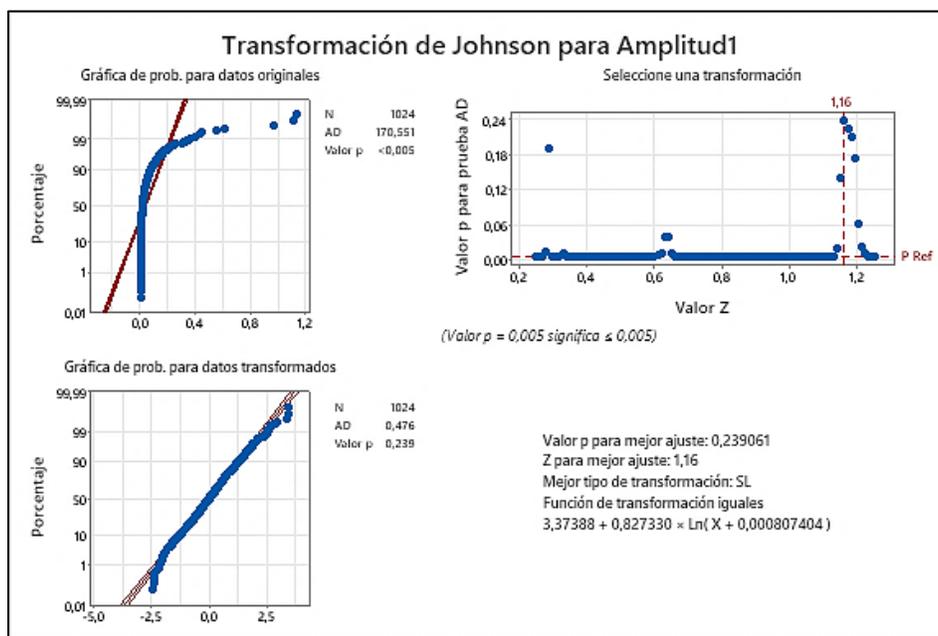


Figura 21. - Transformación de Johnson muestra #1 proceso de carga (ensayo #1).

Con relación a la Figura 22 la prueba de normalidad demuestra que los datos numéricos transformados cumplen una distribución normal, es decir la media, la moda y la mediana coinciden por ende lo hace una distribución simétrica, es decir son fiables para generalizar e inferir como población general la muestra.

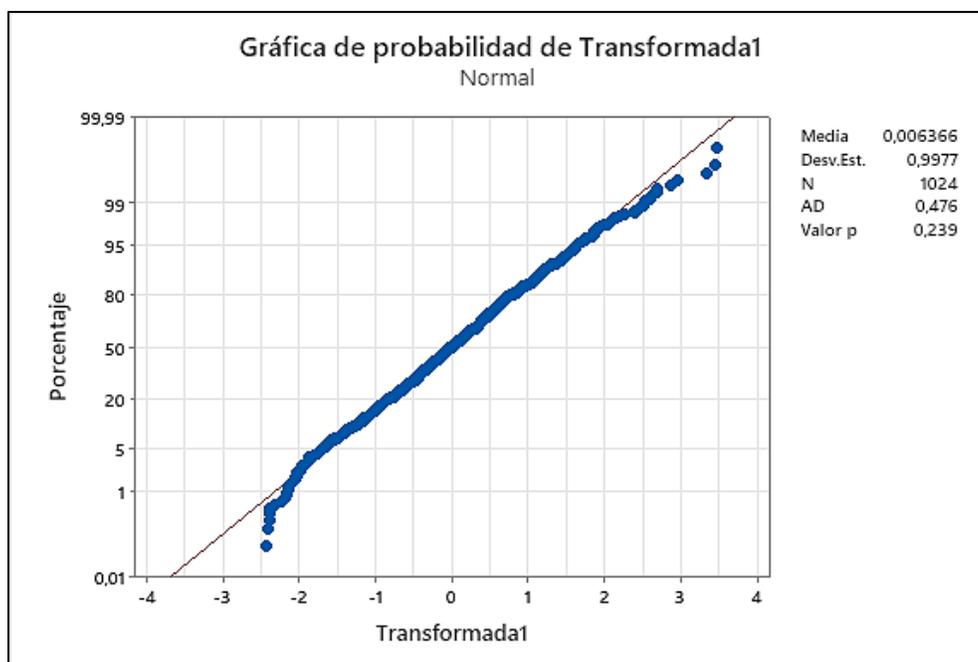


Figura 22. - Prueba de normalidad muestra #1 proceso carga (ensayo #1).

4.1.2 Interpretación del método de Análisis de varianza (ANOVA) un solo factor y el espectro compuesto

A continuación, se presenta las gráficas aplicadas estadísticamente para su verificación de diferencias significativas.

En la Figura 23 se demuestra la cantidad de factores por evaluar en este caso para el análisis del método estadístico de Análisis de varianza (ANOVA) un solo factor fue necesario evaluarlos con los datos que fueron transformados previamente a la normalidad.

Información del factor	
Factor	Niveles Valores
Factor	4 Transformada1; Transformada2; Transformada3; Transformada4

Figura 23. - Cantidad de factores a analizar (ensayo #1).

En la Figura 24, una vez agrupada la información se aplicó en ANOVA el método Tukey con un intervalo de confianza del 95% como se ilustra en la Figura. Este método fue aplicado ya que se tuvo que realizar una cantidad elevada de comparaciones en los datos para verificar las diferencias significativas que pudieron existir en cada ensayo.

En la Figura 25 mencionado la agrupación de la media o el promedio que infiere en la población demuestra que si bien es cierto existe una pequeña diferencia en las transformada 3, 4, 2 y 1 no son significativas, siendo estas el grupo A. Por ende, se determina que las medias de las muestras en el ensayo #1 no son significativamente diferentes.

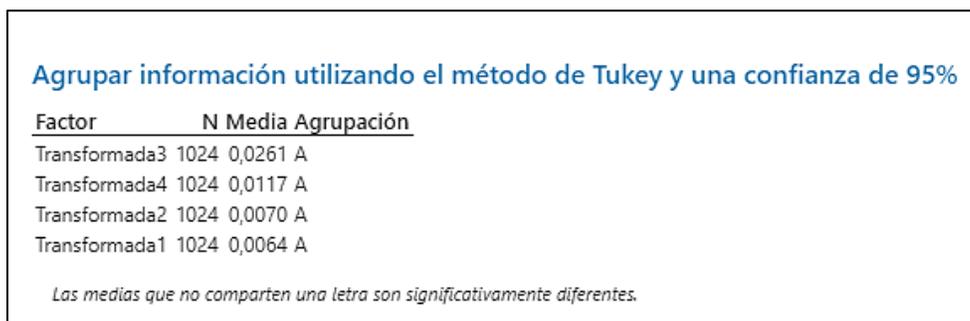


Figura 24. - Comparaciones en pareja de Tukey (ensayo #1).

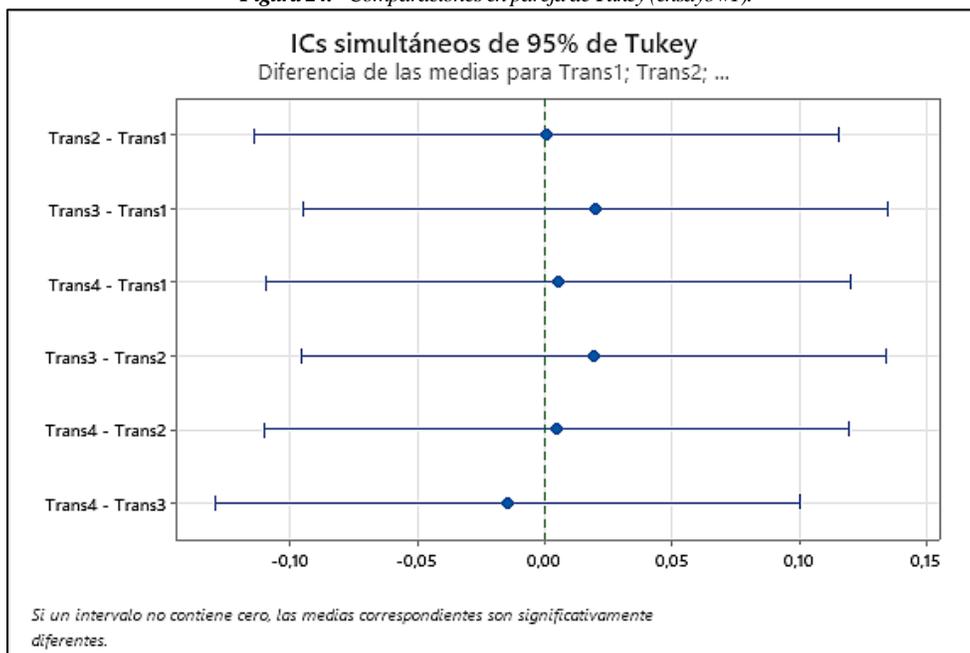


Figura 25. - Diferencia en las medias con relación a las muestras (ensayo #1).

En la Figura 26 se muestra el espectro compuesto realizado en el software Minitab con los datos adquiridos por las amplitudes de las muestras que componen el ensayo. Como está descrito previamente se escogió las amplitudes donde se denota un cambio en la transformada de Fourier en la sección de “Block Count” que en español es contador de bloques, esto se debe a la variación que existe en los datos numéricos en relación con la vibración que otorga la máquina en función con el tiempo, también influye junto a la resolución previamente programada del equipo analizador

de vibraciones, la cual fue determinado para evaluar la FFT en cada ensayo. Debido a que no existen diferencias significativas en las muestras, se determina que las muestras 1, 2, 3 y 4 que componen al ensayo #1 en proceso de carga son relativamente equivalentes.

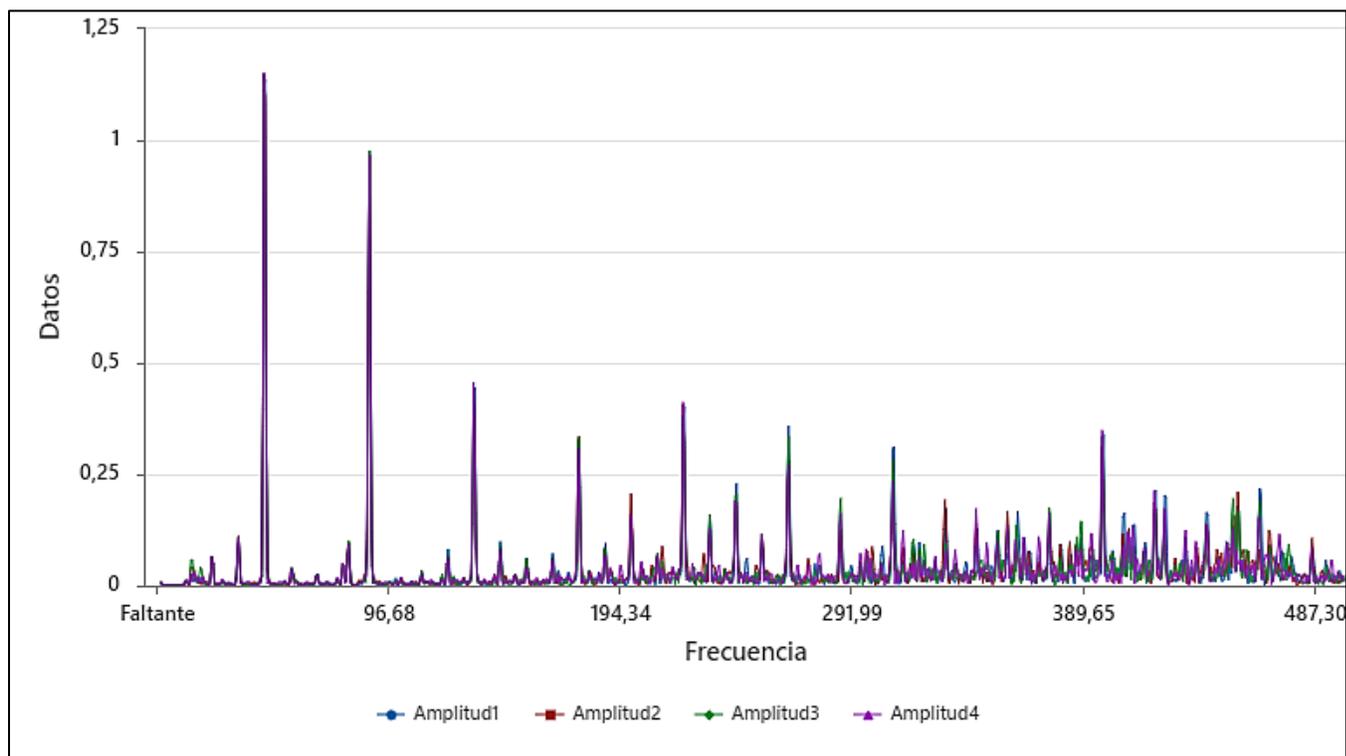


Figura 26. - Espectro compuesto de las muestras en proceso carga - gráfica serie de tiempo (ensayo #1).

4.2 Tratamiento Completo #1 – Proceso de Carga con el sistema de climatización del aire acondicionado al máximo.

A continuación, en la siguiente Figura 27 se muestra los espectros sobrepuestos de los ensayos 1 y 2 en proceso de carga. Así como se explicó anteriormente, debido a que no existen diferencias significativas en las medias se procede a escoger un espectro característico de cada ensayo con la finalidad de caracterizar el tratamiento total en proceso de carga.

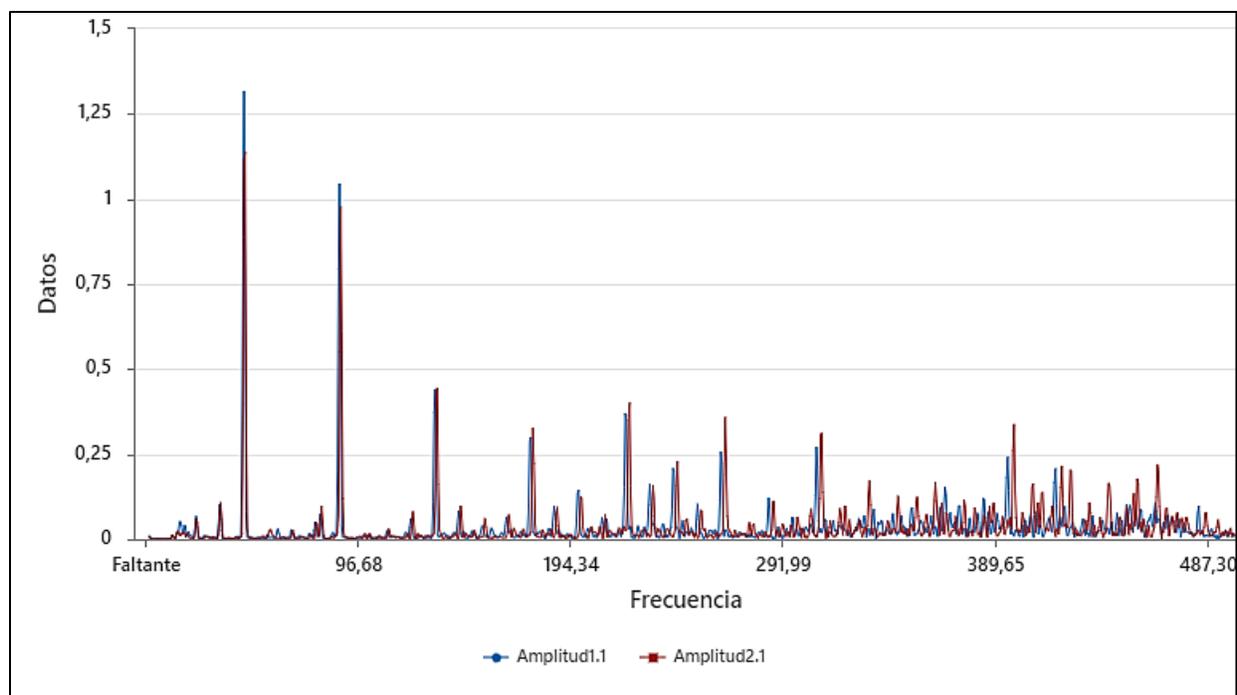


Figura 27. - Espectro compuesto de los ensayos en proceso de carga - gráfica serie de tiempo (ensayo#1 y ensayo#2).

En la Figura 28 se muestra la cantidad de factores involucrados por analizar estadísticamente, como se observa en la Figura mencionado, se analizará únicamente los datos transformados a la normalidad para la posterior verificación en ANOVA.

Información del factor		
Factor	Niveles	Valores
Factor	2	Trans1.1; Trans2.1

Figura 28. - Cantidad de factores a analizar en proceso de carga (ensayo#1 y ensayo#2).

En la Figura 29 se realiza comparaciones en pareja Tukey la cual corresponde a un método estadístico de análisis ANOVA. En la Figura mencionada nos detalla la correlación que poseen los ensayos 1 y 2 en la cual corresponden a la misma agrupación A, es decir no existe diferencias significativas ya que no hay diferencias en las medias.

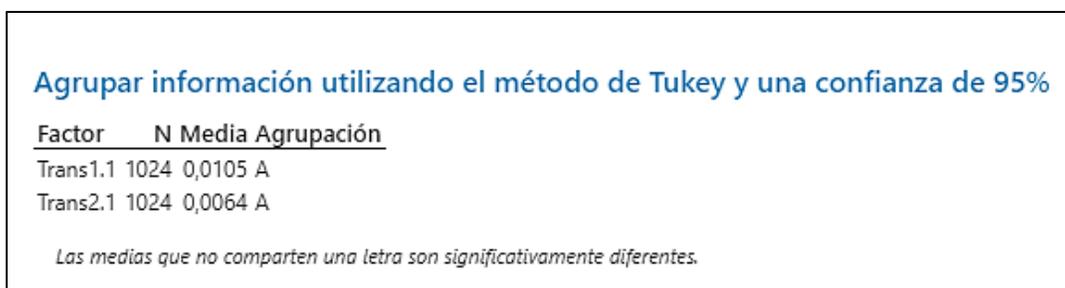


Figura 29. - Comparaciones en pareja de Tukey en proceso de carga (ensayo#1 y ensayo#2).

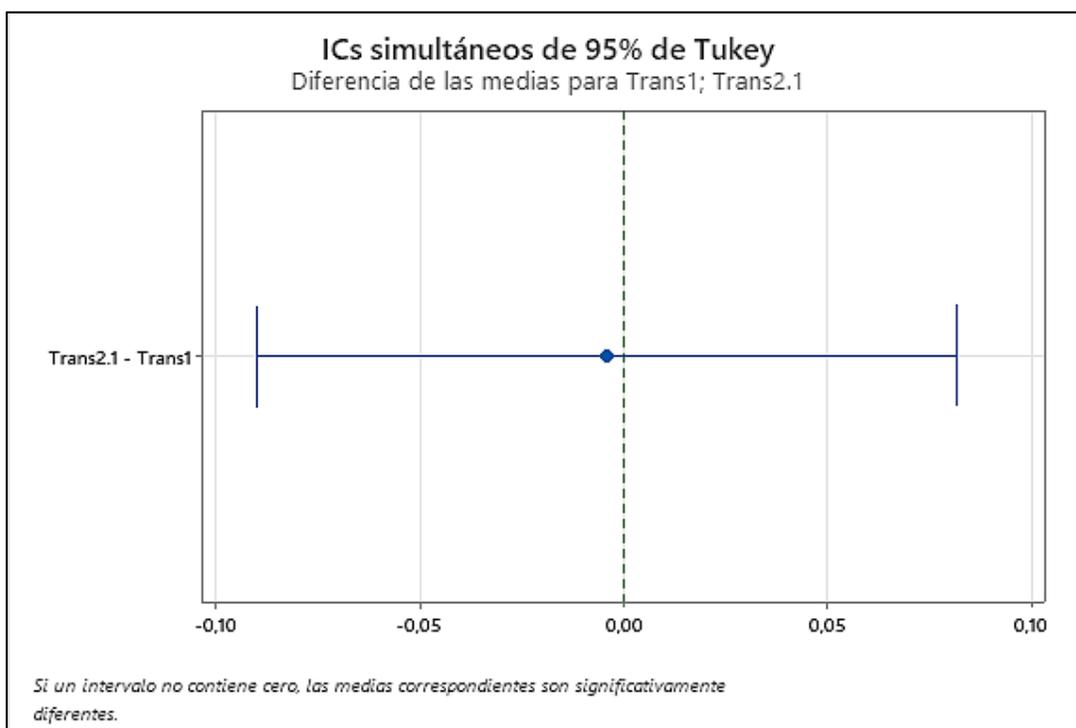


Figura 30. - Diferencia de las medias con relación a las muestras proceso de carga (ensayo#1 y ensayo #2).

4.3 Tratamiento Completo #2 – Proceso de Descarga con el sistema de climatización con el aire acondicionado máximo.

En la siguiente Figura 31 se detalla los espectros sobrepuestos de los ensayos 1 y 2 en proceso de descarga. De igual manera que el proceso de carga en la cual no existen diferencias significativas en las medias, en este tratamiento también se procede a escoger un espectro característico de cada ensayo con la finalidad de caracterizar el tratamiento total en proceso de descarga. Si bien es cierto que el grafico denota ciertos picos disyuntivos entre sí, pero mediante el análisis estadístico se filtrará cada dato para la respectiva verificación de que existen diferencias significativas.

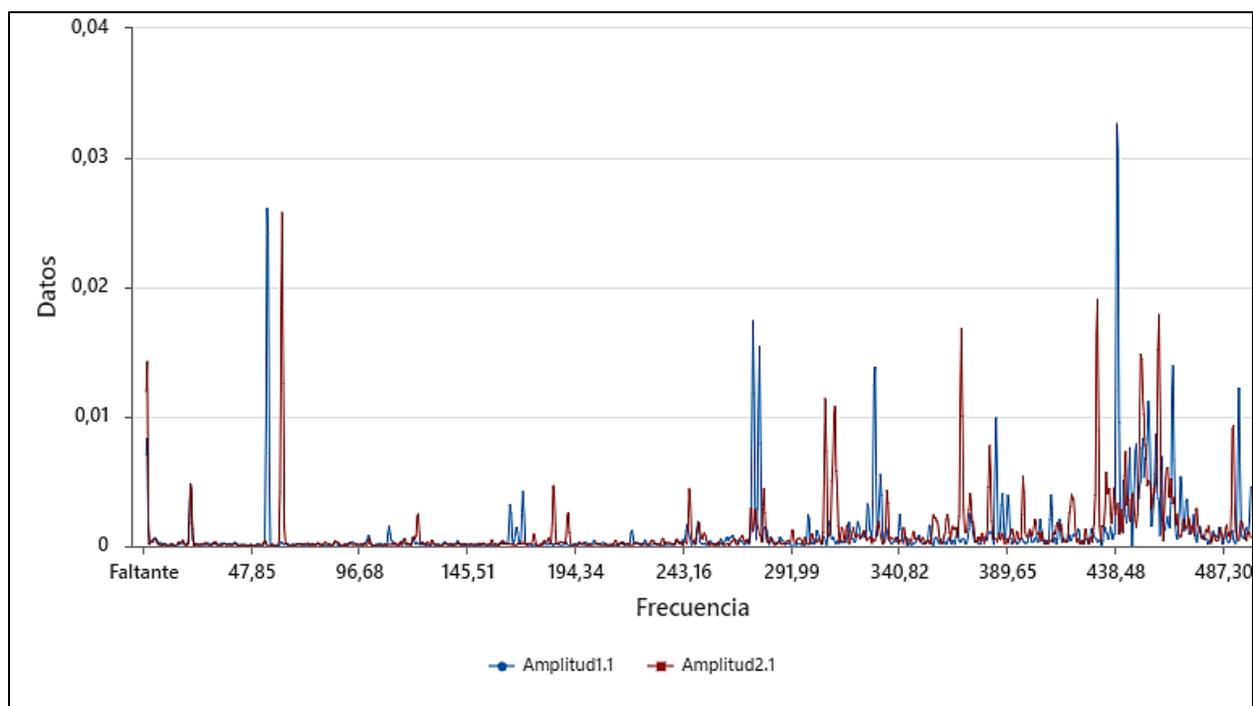


Figura 31. - Espectro compuesto de las muestras en proceso de descarga - gráfica serie de tiempo (ensayo# 1 y ensayo #2).

En la Figura 32 se detalla los factores involucrados en el análisis estadístico de análisis de varianza (ANOVA) la cual así mismo se escogió los valores transformados a la normalidad para mayor fiabilidad en el análisis de la población de la muestra.

Información del factor	
Factor	Niveles Valores
Factor	2 Transformada2.1; Transformada3.1

Figura 32. - Cantidad de factores a analizar en proceso de carga (ensayo#1 y ensayo #2).

En la Figura 33 muestra la respectiva agrupación que realizó el método estadístico ANOVA, donde detallan la respectiva agrupación de cada amplitud transformada, en este caso pertenecen ambas al mismo grupo “A” lo que cumple que no existen diferencias significativas en las medias de las muestras de la población, por lo que es posible realizar la caracterización del espectro tanto del ensayo 1 como el ensayo 2.

Agrupar información utilizando el método de Tukey y una confianza de 95%			
Factor	N	Media	Agrupación
Transformada2.1	1024	-0,0111	A
Transformada1.1	1024	-0,0179	A

Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.

Figura 33. - Comparaciones en pareja de Tukey en proceso de descarga (ensayo#1 y ensayo #2).

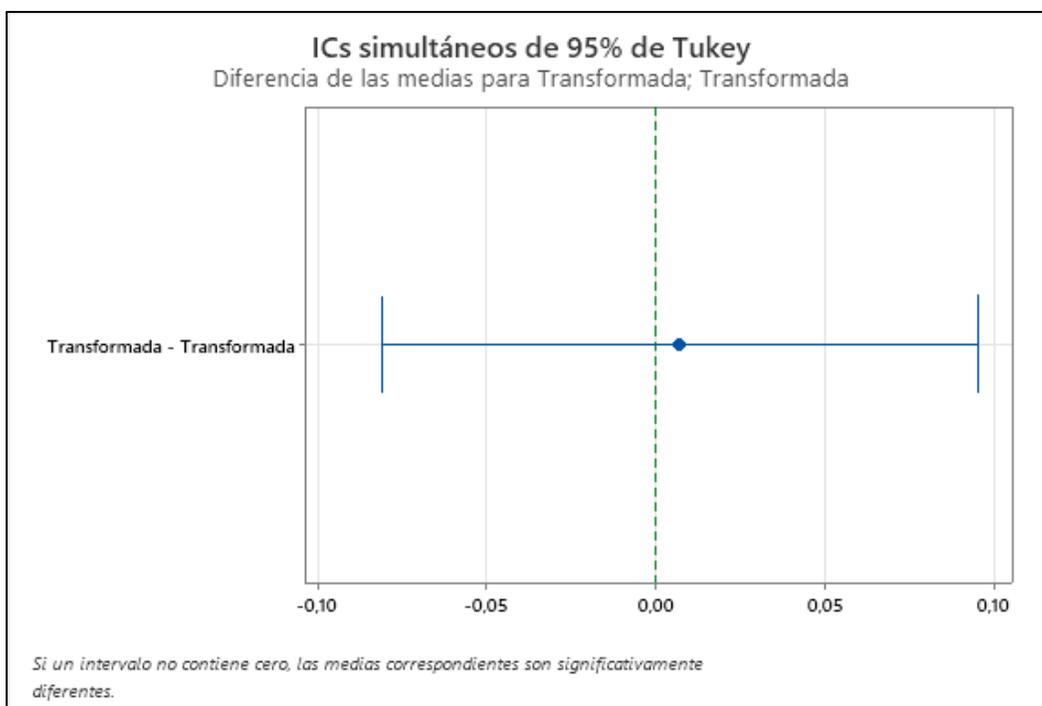


Figura 34. - Diferencia de las medias con relación a las muestras (ensayo #2 y ensayo #3).

5. CAPÍTULO V: CONCLUSIONES

En el transcurso del desarrollo de la investigación se pudo concluir en baso a los objetivos planteados previamente que:

- Mediante el análisis teórico, se logró revisar la normativa que rige los posibles ensayos desarrollados en el estudio de análisis de vibraciones de un tren de potencia de un vehículo eléctrico híbrido.
- Se logró desarrollar una metodología para la respectiva medición de vibraciones en el motor eléctrico del tren de potencia del vehículo Blue Drive fundamentada en la norma ISO 10816-3; siguiendo procesos de adquisición, ubicación del sensor, tiempo de medición e incluso la resolución del equipo de medición. Así se pudo adquirir de manera fundamentada los datos numéricos de la vibración otorgada por el motor eléctrico del tren de potencia.
- De acuerdo con los métodos estadísticos planteados con anterioridad se logró obtener el espectro de frecuencia característico de cada ensayo en condición de consumo energético tanto en proceso de carga como en proceso de descarga. Con dos ensayos por cada tratamiento se obtuvo diferencias, pero no diferencias significativas en las diferencias de las medias, lo que conlleva aceptar la hipótesis nula ya que es mayor al nivel de significancia establecido 0.005 con un intervalo de confianza del 99.5% para la distribución normal y el 99% para análisis ANOVA.
- Por consiguiente, se puede llegar a concluir que para la caracterización de cada espectro otorgado por las vibraciones del motor eléctrico fue necesario realizar métodos estadísticos que calculen la distribución normal de estos y realice un análisis de varianza ANOVA para verificar la existencia de diferencias significativas existentes entre las medias de cada tratamiento. Por ende, se concluye que el espectro del tratamiento 1 es relativamente equivalente al tratamiento 2, tanto en proceso de carga como en proceso de descarga, ya que está comprobado estadísticamente que los espectros obtenidos son relativamente equivalentes debido a que no hay diferencias significativas que invaliden esta hipótesis.

6.RECOMENDACIONES

- Para la adquisición y procesamiento de datos, es recomendable tener un respaldo de este. También que el ordenador a utilizar sea apto para dicho procesamiento caso contrario no se podría llevar a cabo el debido procesamiento ya que podría colapsar el equipo sin procesar adecuadamente la información, dificultando el análisis de este y quitando tiempo para el desarrollo de este.
- Al momento de la gestión y posterior a eso el análisis de datos en el software Minitab se recomienda tener una sola carpeta con los respectivos archivos a utilizar ya que en ocasiones el software Minitab no reconocía los archivos o se solían dañar debido a que no se encontraban unánimes.

7. REFERENCIAS

- AEADE. (2021). *Sector automotriz en figuras*. Quito - Ecuador: AEADE. Obtenido de <https://www.aeade.net/boletin-sector-automotor-en-cifras/>
- Ajuech, V. L. (2017). *Mantenimiento: técnicas y aplicaciones industriales*. México: Grupo Editorial Patria.
- Álvaro Paúl Naranjo Sanango, Luis René Sarate Naula. (2012). *Estudio del comportamiento de par, potencia y emisión de gases aplicando mezclas de combustibles gasolina/etanol en un vehículo Nissan 1500cc*. Cuenca.
- Carlos Sierra Fernández, Emilio Andrea Calvo. (2018). *Técnicas de mantenimiento en instalaciones mineras*. Cantabria.
- Casanova, D. F. (2022). *Caracterización tecnológica del vehículo eléctrico híbrido a través de la definición de su tren de potencia y modelo matemático*. Guayaquil.
- Chris Mi, M. Abul Masrur. (2018). *Hybrid Electric Vehicles: Principles and Applications with Practical Perspectives*. Detroit: Thomas Kurfess.
- Ciencia de datos. (2020). *Análisis de normalidad: Figuras y contrastes de hipótesis*. Obtenido de https://www.cienciadedatos.net/documentos/8_analisis_normalidad
- Cortez, E. (2019). *Aportaciones al dimensionamiento y gestión de energía de un tren de potencia eléctrico híbrido para vehículos industriales con ciclos de conducción repetitivos y agresivos*. Barcelona.
- D. Lanzarotto, M. Marchesoni, M. Passalacqua, A. Pini Prato, M. Repetto. (2018). Overview of different hybrid vehicle architectures. *IFAC*, 5.
- Dai Duong Tran, Majid Vafaiepour, Mohamed El Baghdadi, Ricardo Barrero, Joeri Van Mierlo, Omar Hegazy. (2020). Thorough state-of-the-art analysis of electric and hybrid vehicle powertrains: Topologies and integrated energy management strategies.
- Dairo H. Mesara, Yesid Ortiz Sánchez, Manuel Pinzón. (2006). *La confiabilidad, la disponibilidad y la mantenibilidad, disciplinas modernas aplicadas al mantenimiento*. Pereira.

David Wenzhong Gao, Chris Mi, Alli Emadi. (2007). Modeling and Simulation of Electric and Hybrid Vehicles. *Invited Paper*, 17.

Dewesoft . (2021). *Monitoreo por condición de máquina*.

Dewesoft. (2022). *Calibración de instrumentos*. Obtenido de <https://dewesoft.com/es/productos/services/calibracion-de-instrumentos>

Diario Expreso. (23 de abril de 2022). Autos eléctricos e híbridos. *La venta de autos eléctricos e híbridos se acelera*.

Dynojet. (2008). Installation Guide for Above Ground Model 224 Automotive Dynamometers. *Dynojet Research*. Las Vegas, United States . Obtenido de <https://www.dynojet.com/media/downloads/Support-Released/Manuals/98210108.04.pdf>

Espinoza, J. A. (2018). *Consumo Específico de Combustible en Vehículos a gasolina. Estudio a partir de parámetros constructivos y descriptivos de ciclos de conducción*. Pereira.

EuroInnova. (2020). *Excel; definición y funcionamiento*. Obtenido de <https://www.euroinnova.ec/que-es-excel-para-que-sirve-y-como-funciona>

Eybar Farith Contreras Villamizar, Rolando Sánchez Rodríguez. (2010). *Diseño y construcción de un banco de prácticas en motores eléctricos, como apoyo a la asignatura Diseño de máquinas II*. Bucaramanga: Facultad de Ingenierías Fisicomecánicas.

Francisco Ernesto Moreno García, José Armando Becerra Vargas, Carlos Andrés Rendón Echverri. (2014). *Diseño de un sistema de análisis temporal y espectral para detectar fallas por vibración en motores eléctricos*.

Guillermo Mejía Cisneros, Elsa Ordoñez Casanova, Hector Alejandro Trejo Mandujano. (2021). *Tecnologías en los sistemas de propulsión híbridos: revisión de literatura*. *Revista Iberoamericana para la investigación y el desarrollo educativo*.

International Organization for Standardization (ISO). . (2009). *Mechanical Vibration - Evaluation of machine vibration by measurements on non- rotating parts*.

Isotools org. (2019). *Normas ISO/ IEC 17025*. Obtenido de <https://www.isotools.org/normas/calidad/iso-iec-17025/>

- Iván Gallará, Daniel Pontelli. (2020). *Mantenimiento Industrial*. Córdoba: Jorge Sarmiento Editor - Universitas.
- Jimming Liu, Hwei Peng. (2008). Modeling and Control of a Power-Split Hybrid Vehicle. *Transactions on control Systems Technology*, 10.
- Liu, W. (2013). *Introduction to Hybrid Vehicle System Modeling and Control*. Library of Congress.
- MAHA LPS3000. (06 de 11 de 2017). PowerDyno. *Dynamometer for Passenger Cars, HGVs and Motorcycles*. Haldenwang, Alemania. Obtenido de https://www.maha.de/restriction/check-asset/support_documents/dokumente/Betriebsanleitungen/04%20Leistungsmesstechnik/B A052301-en.pdf?_locale=de
- Márquez, D. A. (2004). *Introducción a la medición de vibración*. Mérida.
- Martínez, J. M. (2015). *Vehículos híbridos y eléctricos: diseño del tren propulsor*. Madrid: Dextra.
- Martínez, J. M. (2015). *Vehículos híbridos y eléctricos: diseño del tren propulsor*. Madrid: Dextra Editorial.
- Martínez, M. Á. (2018). *Obtención de Señales Vibratorias y Análisis Estadístico para Defectología en Ejes Ferroviarios*. Madrid.
- Mehrdad Ehsani, Yimin Gao, John M. Miller. (2007). Hybrid Electric Vehicles: Architecture and Motor Drives. *Invited Paper*, 10.
- Minitab. (2020). *Data Analysis, Statistical and Process Improvement Tools*. Obtenido de <https://www.minitab.com/es-mx/>
- Motor pasión 2019. (s.f.). *Ciclos WLTP y NEDC*. México.
- Murat Yilmaz, Philip T. Krein. (2012). Review of Integrated Charging Methods for Plug-In Electric and Hybrid Vehicles. *Conference on Vehicular Electronics and Safety*, 6.
- Ordoñez, C. E. (2017). *Procesamiento de señales de vibración mediante descomposición modal empírica (EMD) para la extracción de características con fines de diagnóstico de fallos en maquinaria rotativa*. Cuenca.

- Osornio Correa C, Villareal Calva R. C, Molina Cristóbal A, Estavillo Galsworthy J, Santillán Gutiérrez S. D. (2013). Optimization of power Train and Control Strategy of a Hybrid Electric Vehicle for Maximum Energy Economy. *Ingeniería. Investigación y Tecnología*, 17.
- Pablo Andrés Jiménez Romero, Kevin Walter Pinta Pesantez. (2021). *Análisis de la influencia de los aceites de baja viscosidad en la potencia y emisión de gases contaminantes de un vehículo Chevrolet Grand Vitara año 2008*. Cuenca.
- Pablo Santiago Pérez Llanos, Oswaldo Christian Quito Sinchi. (2018). *Determinación de los ciclos de conducción de un vehículo categoría M1 para la ciudad de Cuenca*. Cuenca.
- Rao, S. S. (2012). Vibraciones mecánicas. En S. S. Rao, *Fundamentos de vibración* (pág. 9). Miami: Pearson Education.
- Ríos, J. A. (2019). *Desarrollo de plan de mantenimiento en motores eléctricos*. Arequipa.
- Roland, I. (2021). *EV Volumes* . Obtenido de The electric vehicle World Sales Database: <https://www.ev-volumes.com/country/total-world-plug-in-vehicle-volumes/>
- Schmidt, A. L. (2013). *FFT: Transformada Rápida de Fourier*. Bahía Blanca.
- Soporte Minitab 18. (2018). *Soporte técnico Minitab*. Obtenido de <https://support.minitab.com/es-mx/minitab/18/>
- Technical Associates of Charlotte, P.C. (2001). *Criterios fde Severidad del Nivel Global de la Vibración (mm/s, rms)*.
- Tibco. (2020). *Análisis de Varianza (ANOVA)*. Obtenido de <https://www.tibco.com/es/reference-center/what-is-analysis-of-variance-anova>
- TOYOTA. (2018). *Hybrid Vehicle Dismantling Manual*. USA: Toyota Motor Corporation.
- Toyota. (2021). *Hybrid Innovation*. Obtenido de <https://www.toyota.es/hybrid-innovation/preguntas-hibridas/como-conduce-coche-hibrido>
- Toyota España. (2021). *Modos de conducción del híbrido de Toyota*. Obtenido de <https://www.toyota.es/world-of-toyota/articles-news-events/como-conducir-coche-hibrido-toyota>

- Toyota Latam. (2020). *TOYOTA - Latinoamérica y el Caribe*. Obtenido de Híbridos de Toyota: <https://www.toyota-latam.com/hibridos/>
- Ub. Edu. (2020). *Análisis de Varianza con un factor*. Obtenido de [http://www.ub.edu/aplica_infor/spss/cap4-7.htm#:~:text=AN%C3%81LISIS%20DE%20LA%20VARIANZA%20CON%20UN%20FACTOR%20\(ANOVA\)&text=El%20an%C3%A1lisis%20de%20la%20varianza,cuanto%20a%20su%20valor%20esperado](http://www.ub.edu/aplica_infor/spss/cap4-7.htm#:~:text=AN%C3%81LISIS%20DE%20LA%20VARIANZA%20CON%20UN%20FACTOR%20(ANOVA)&text=El%20an%C3%A1lisis%20de%20la%20varianza,cuanto%20a%20su%20valor%20esperado).
- Universidad Politécnica Salesiana. (2020). *Investigación en Ingeniería de transporte*. Obtenido de EmoLab: Electric Movility Lab.: <https://giit.blog.ups.edu.ec/areas-de-investigacion/planificacion-del-transporte-seguridad-y-gestion-de-la-movilidad/emolab-electric-movility-lab-laboratorio-de-movilidad-electrica>
- Vassileva, M. P. (2007). Mantenimiento y análisis de vibraciones. *Ciencia y Sociedad*, 12.
- Verena Mercado, José Bernardo Peña. (2016). MODELO DE GESTIÓN DE MANTENIMIENTO ENFOCADO EN LA EFICIENCIA. 8.
- White, G. (2012). *Introducción al análisis de vibraciones*. Obtenido de <https://termogram.com/images/pdf/analisis-vibraciones/introduccion-al-analisis-de-vibraciones-azima-dli.pdf>
- Willian Olarte, Marcela Botero, Benhur Cañón. (2010). *Técnicas de Mantenimiento Predictivo utilizadas en la Industria*. Pereira.
- Zia, A. (2016). A comprehensive overview on the architecture of Hybrid Electric Vehicles (HEV).

8.ANEXOS

8.1 Consumo energético proceso de carga – Ensayo #1

Proceso de carga de la batería con el sistema de climatización de aire acondicionado encendido al máximo ensayo #1.

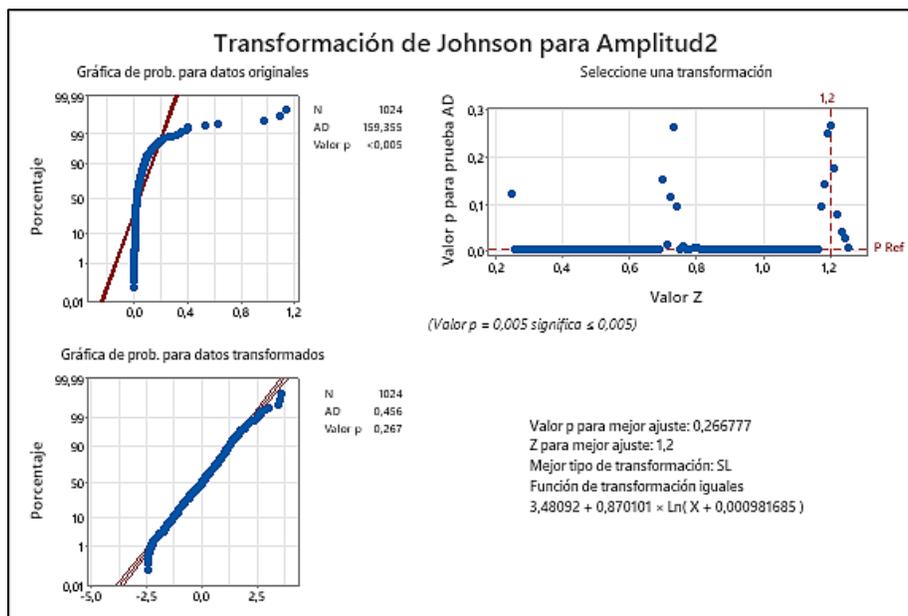


Figura 35. - Transformación de Johnson muestra #2 proceso de carga (ensayo #1).

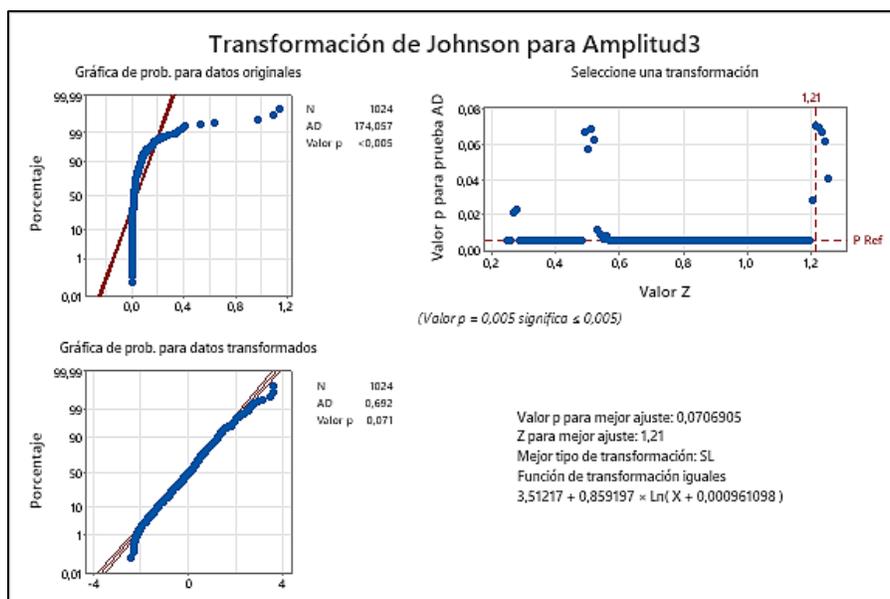


Figura 36.- Transformación de Johnson muestra #3 proceso de carga (ensayo #1).

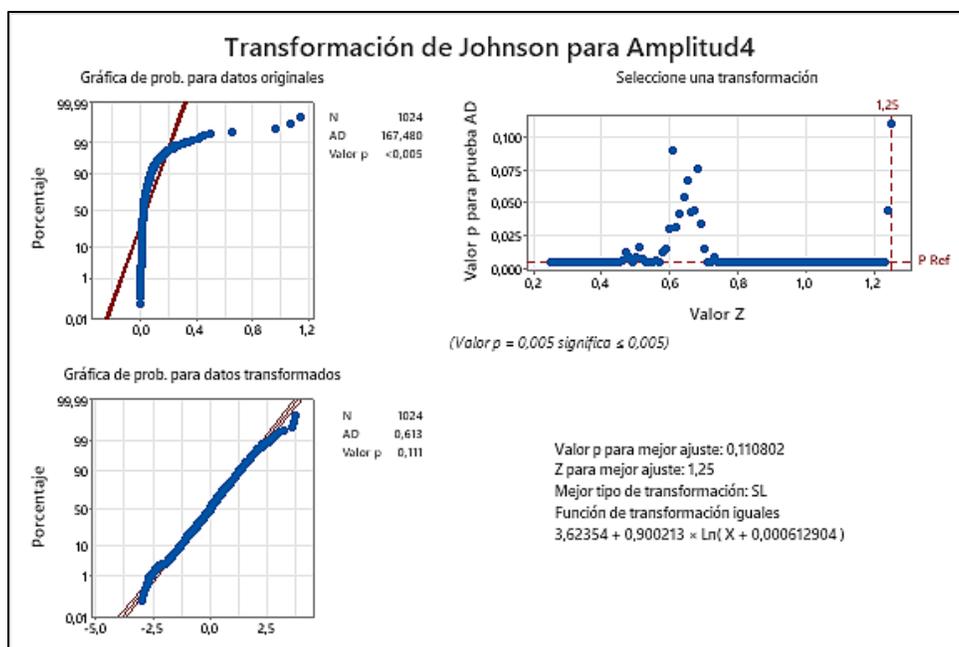


Figura 37. - Transformación de Johnson muestra #4 proceso de carga (ensayo #1).

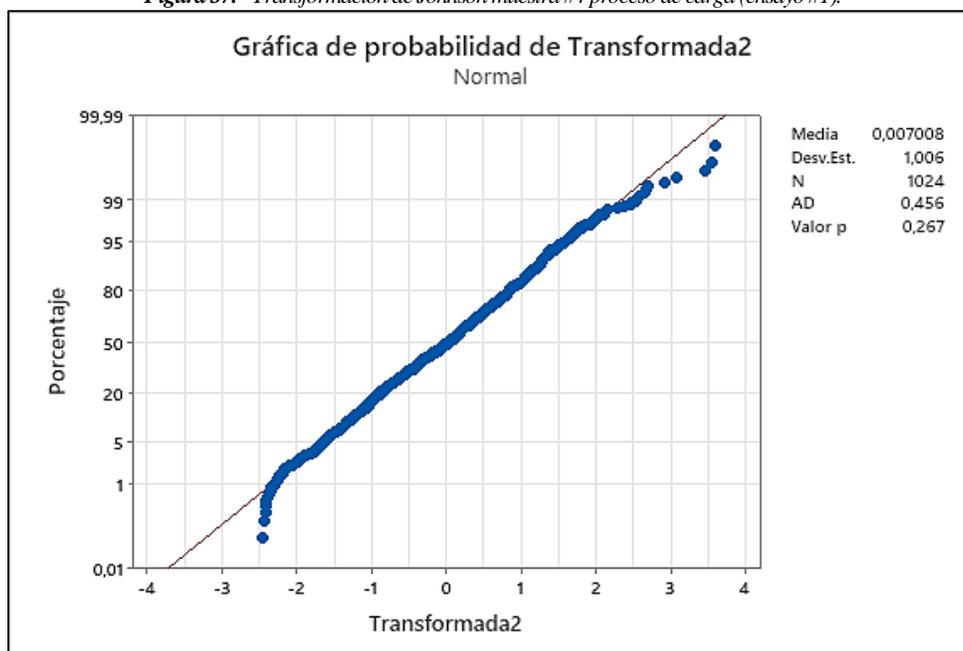


Figura 38. - Prueba de normalidad muestra #2 proceso de carga (ensayo #1).

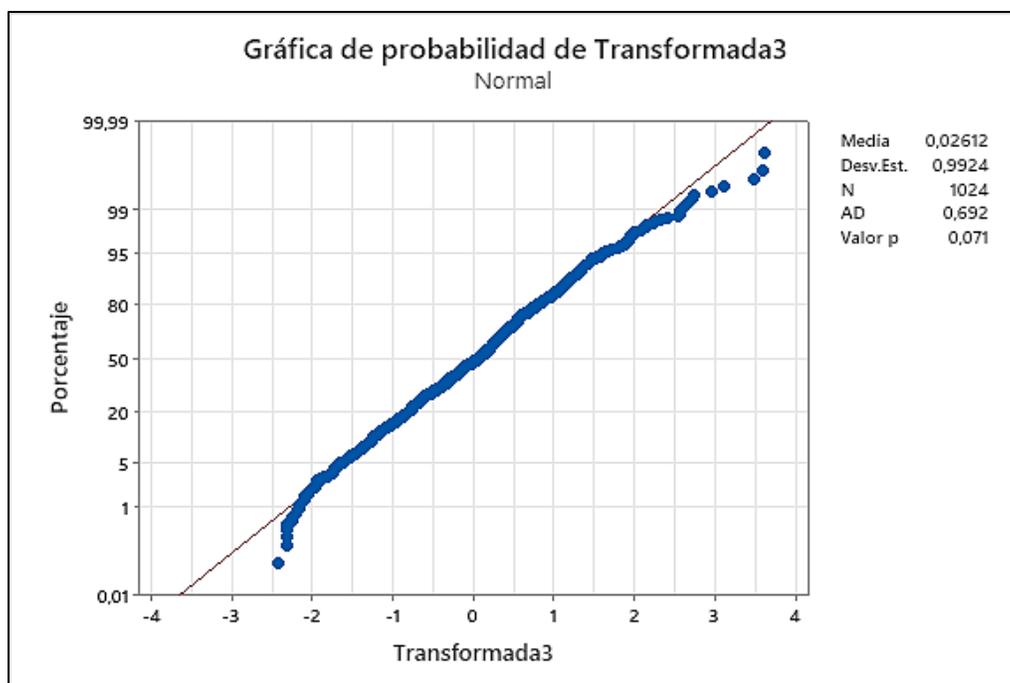


Figura 39. - Prueba de normalidad muestra #3 proceso de carga (ensayo #1).

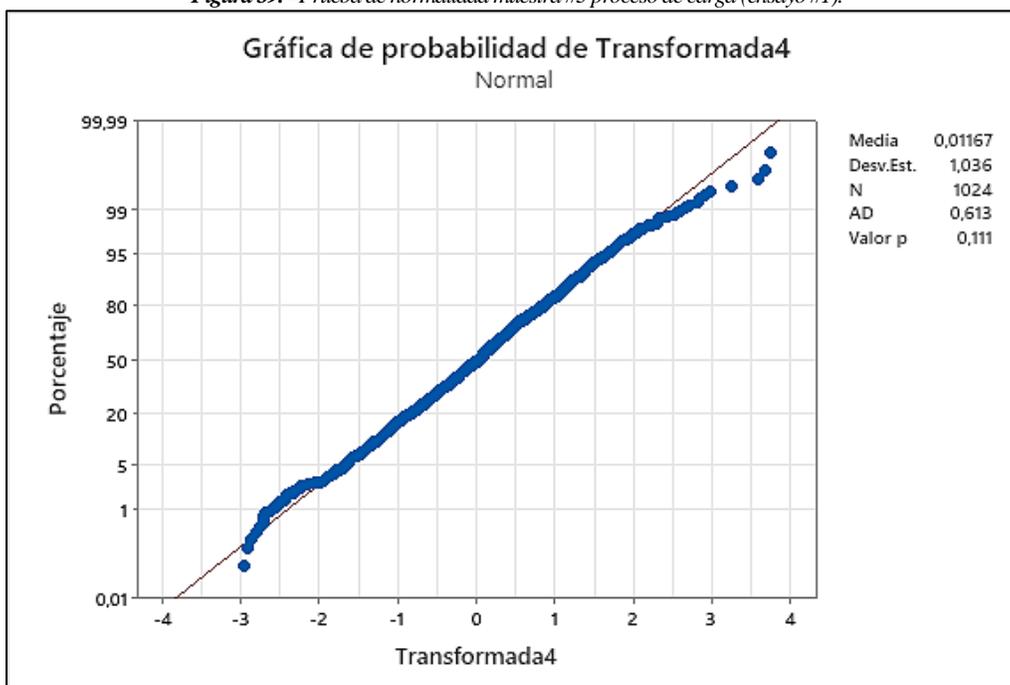


Figura 40. - Prueba de normalidad muestra #4 proceso de carga (ensayo #1).

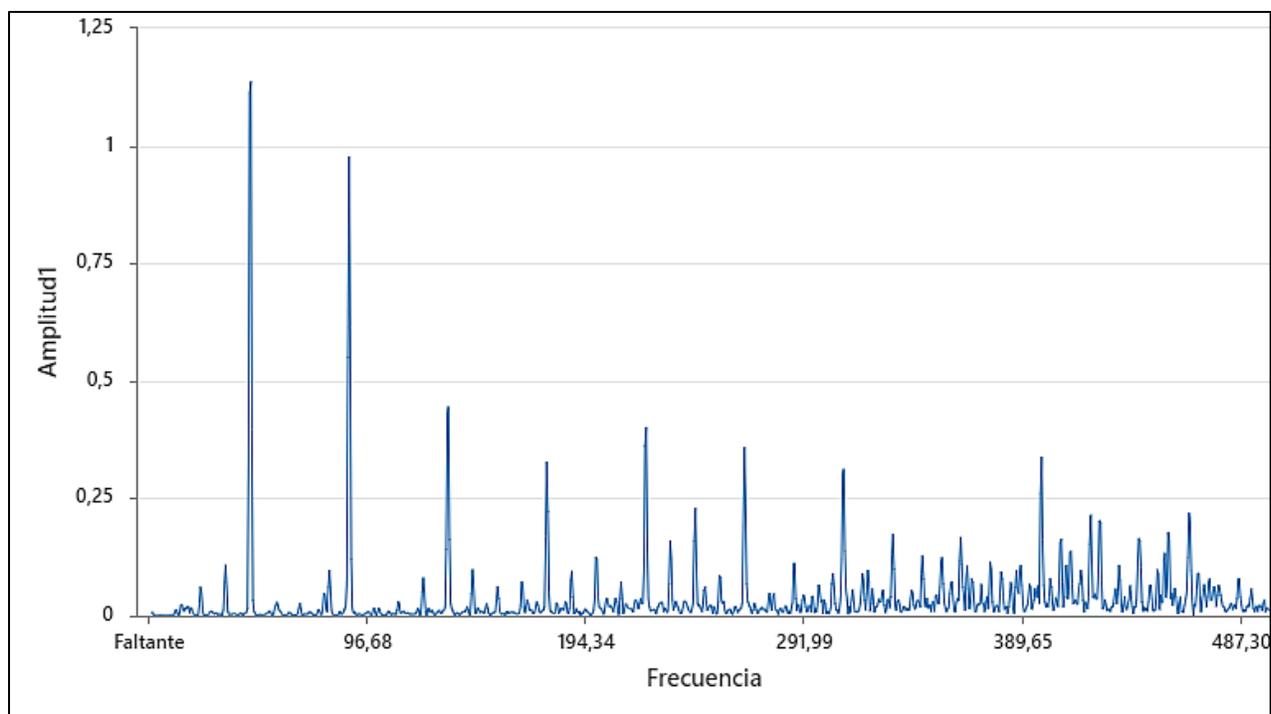


Figura 41. - Espectro de la muestra #1 - gráfica serie de tiempo (ensayo #1).

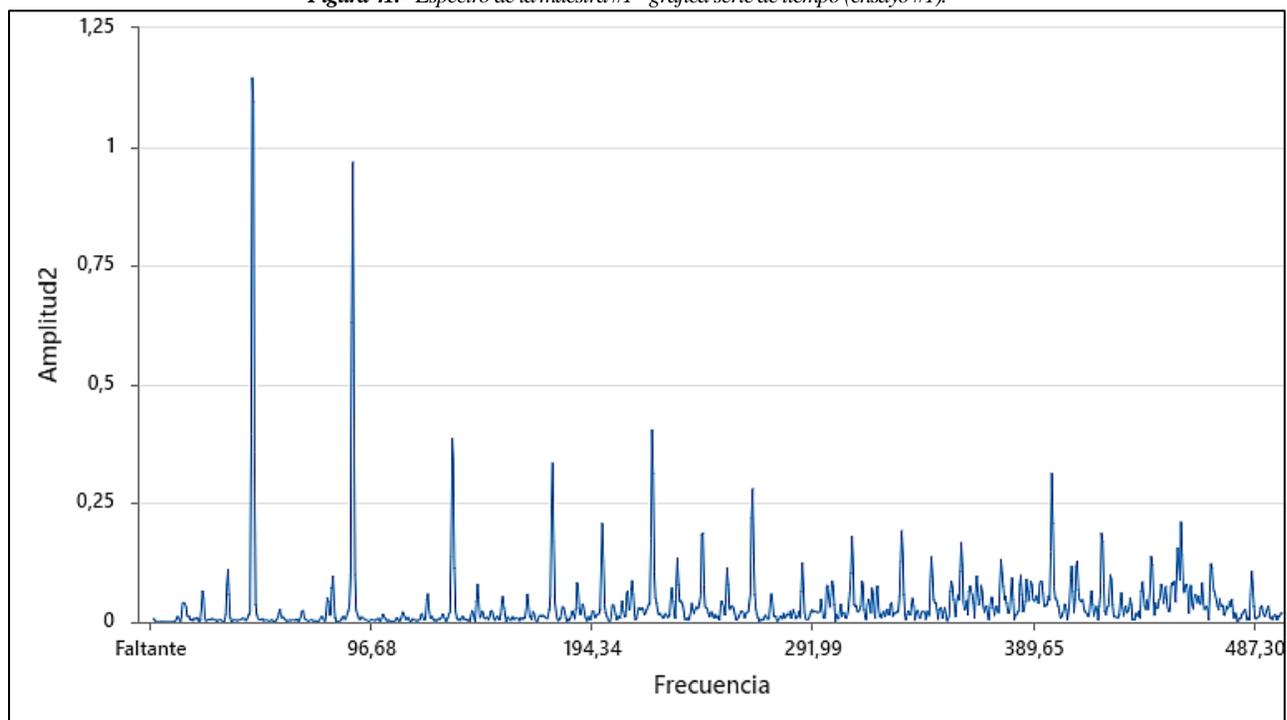


Figura 42. - Espectro de la muestra #2 - gráfica serie de tiempo proceso de carga (ensayo #1).

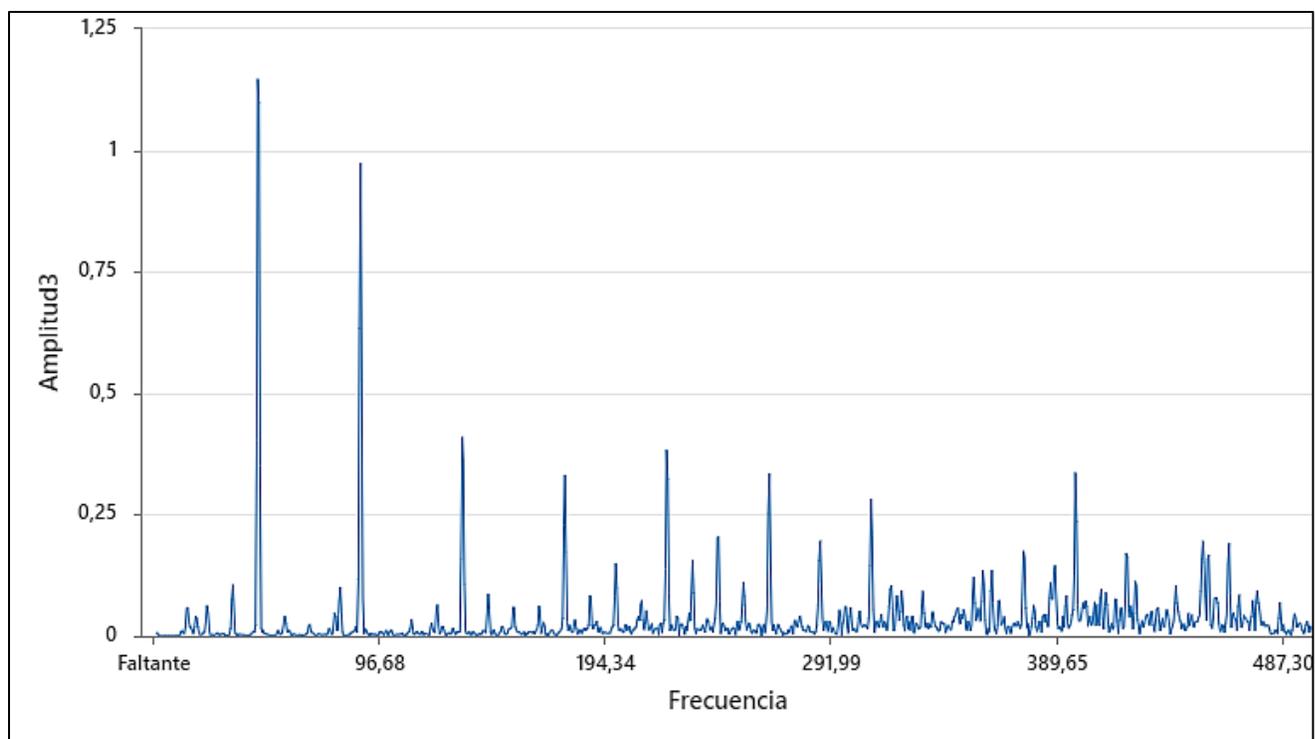


Figura 43. - Espectro de la muestra #3 - gráfica serie de tiempo proceso de carga (ensayo #1).

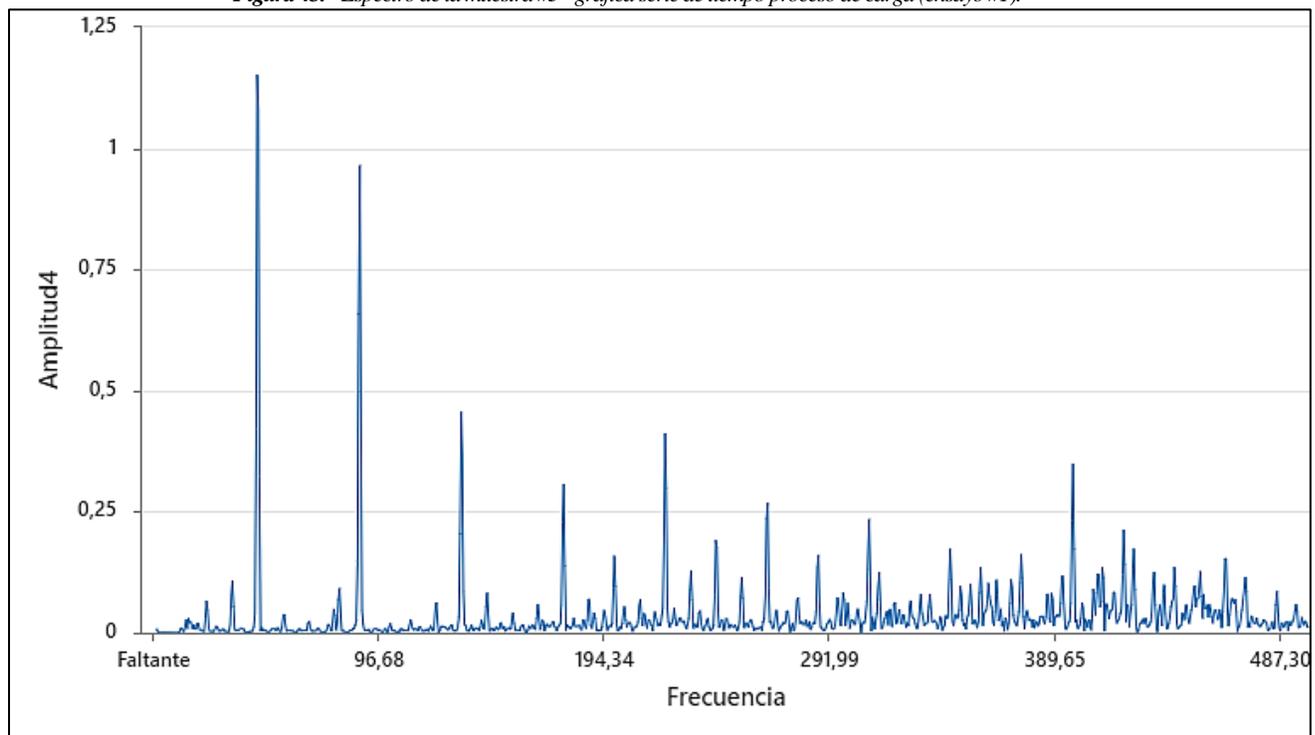


Figura 44. - Espectro de la muestra #4 - gráfica serie de tiempo proceso de carga (ensayo #1).

8.2 Consumo energético proceso de carga – Ensayo #2

Proceso de carga de la batería con sistema de climatización con el aire acondicionado encendido al máximo, ensayo #2.

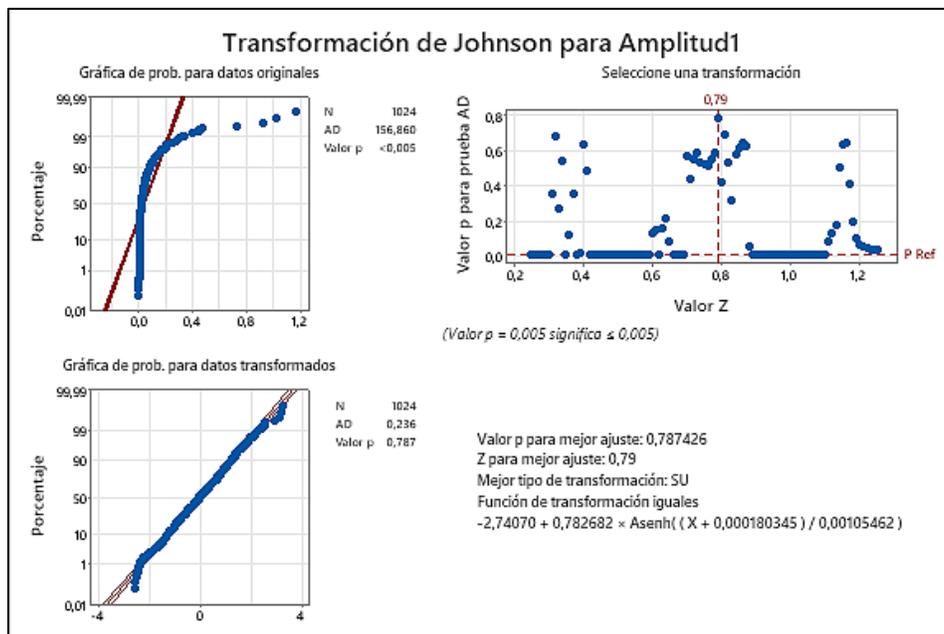


Figura 45. - Transformación de Johnson muestra #1 proceso de carga (ensayo #2).

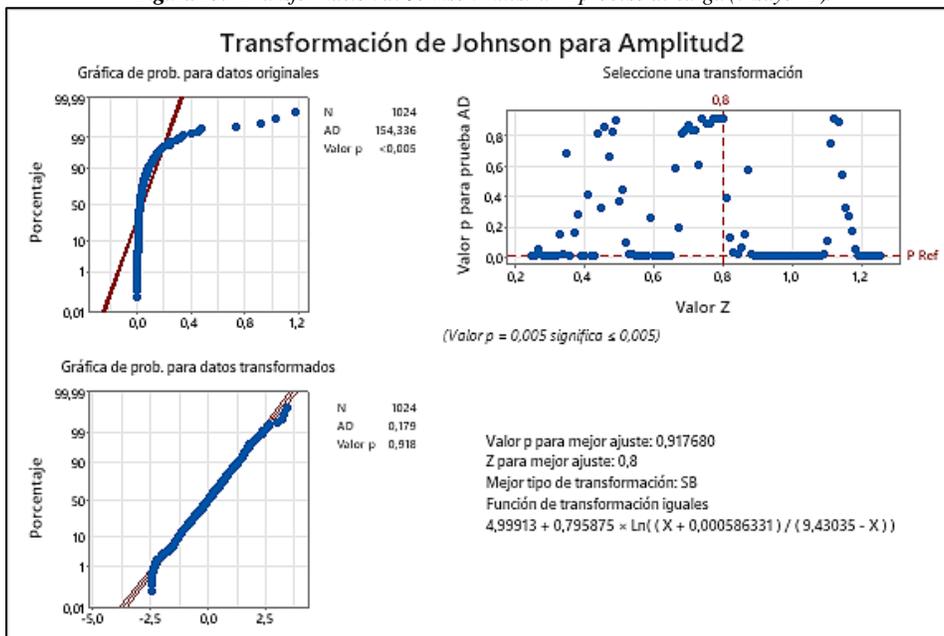


Figura 46. - Transformación de Johnson muestra #2 proceso de carga (ensayo #2).

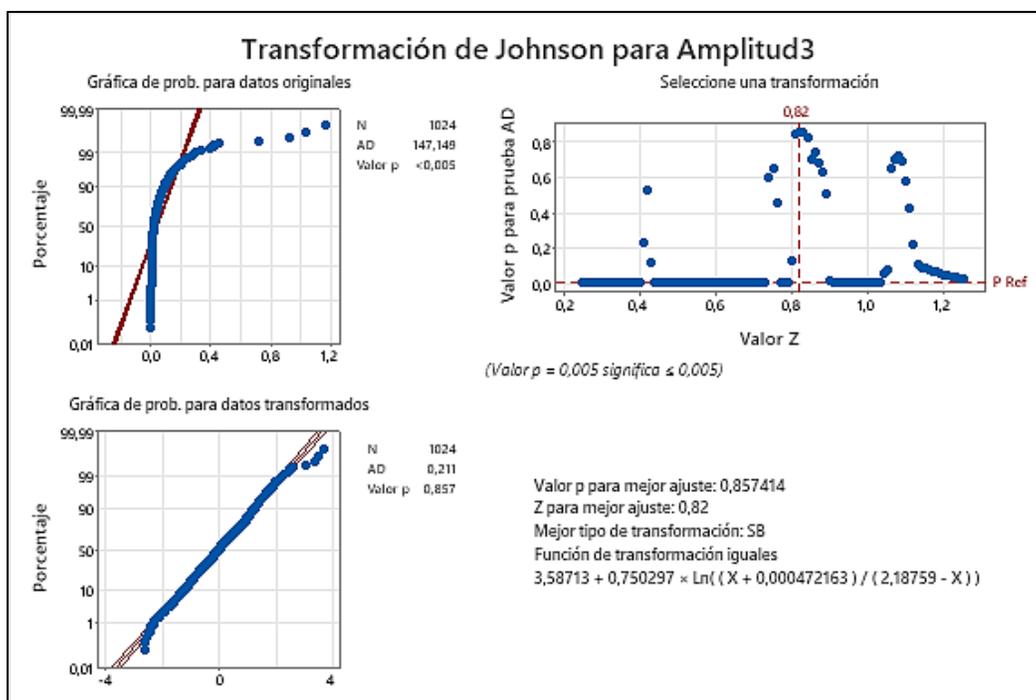


Figura 47. - Transformación de Johnson muestra #3 proceso de carga (ensayo #2).

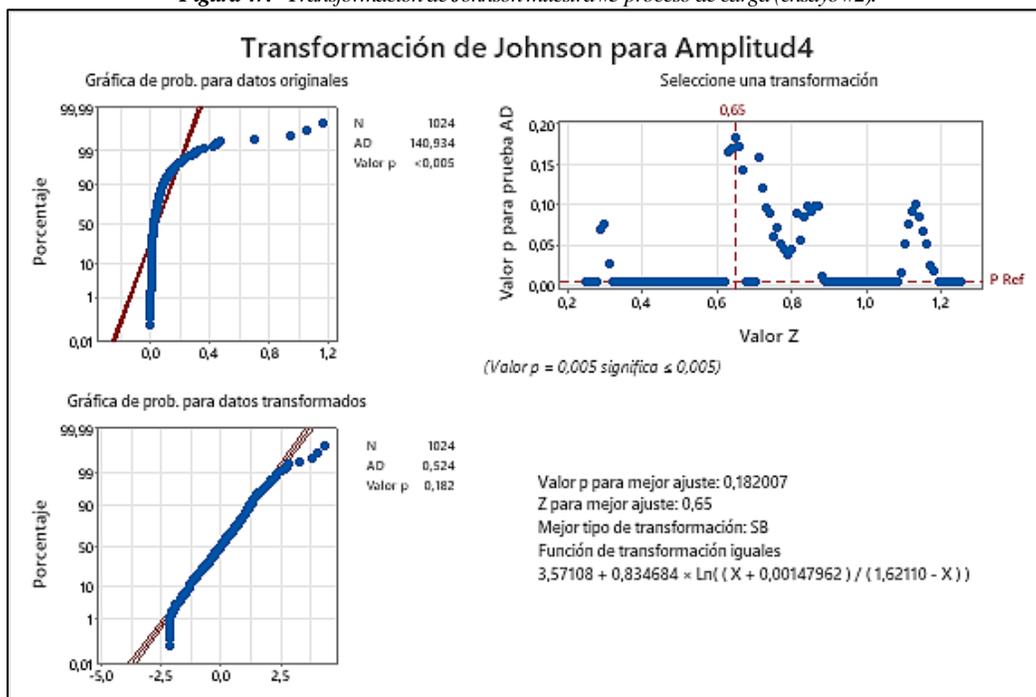


Figura 48. - Transformación de Johnson muestra #4 proceso de carga (ensayo #2).

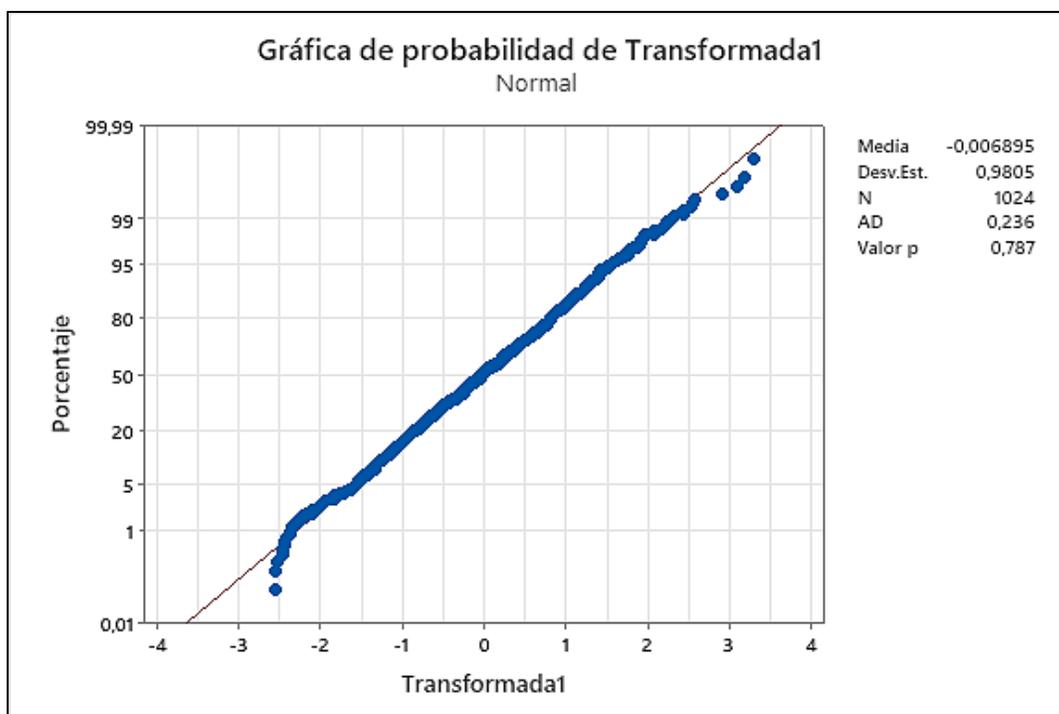


Figura 49. - Prueba de normalidad muestra #1 proceso de carga (ensayo #2).

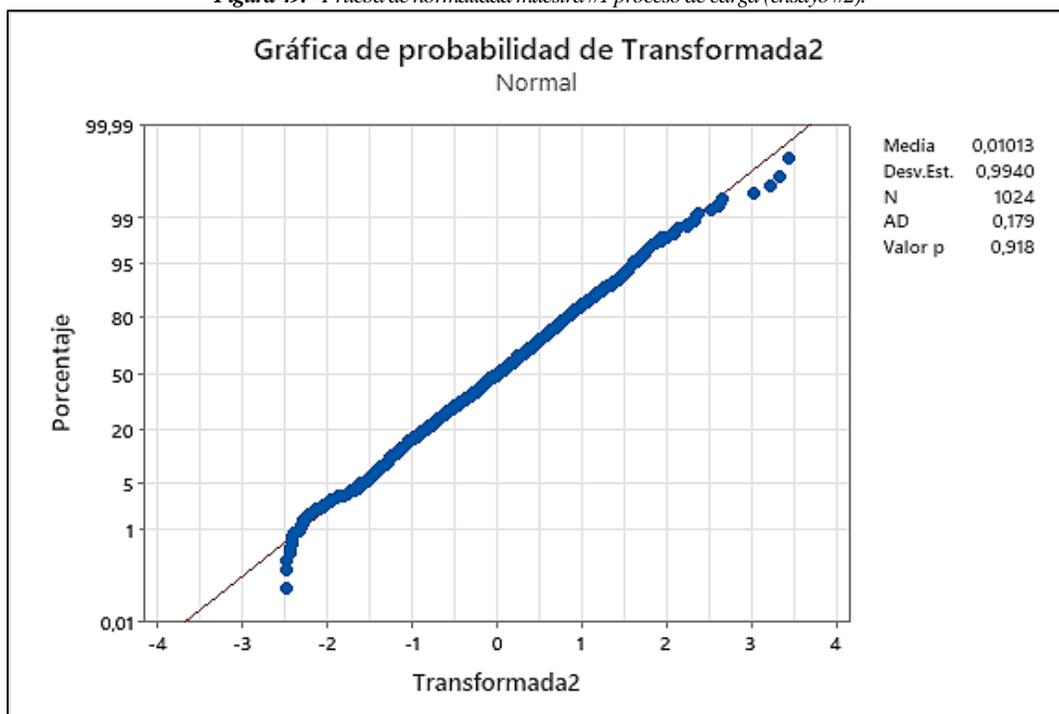


Figura 50. - Prueba de normalidad muestra #2 proceso de carga (ensayo #2).

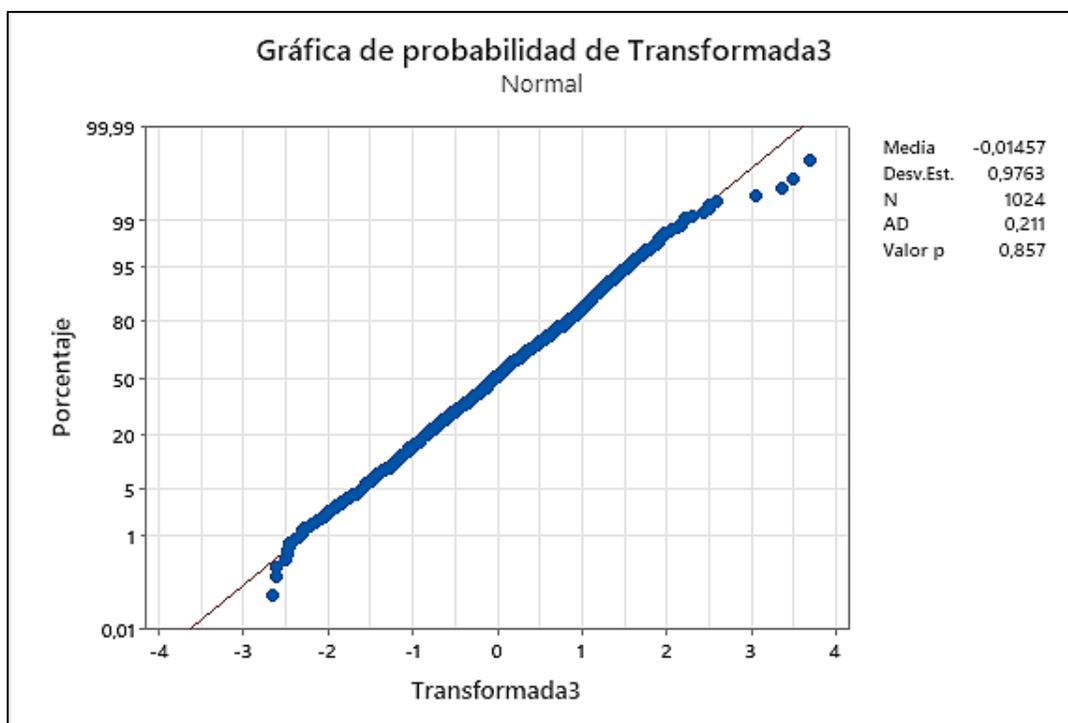


Figura 51. - Prueba de normalidad muestra #3 proceso de carga (ensayo #2).

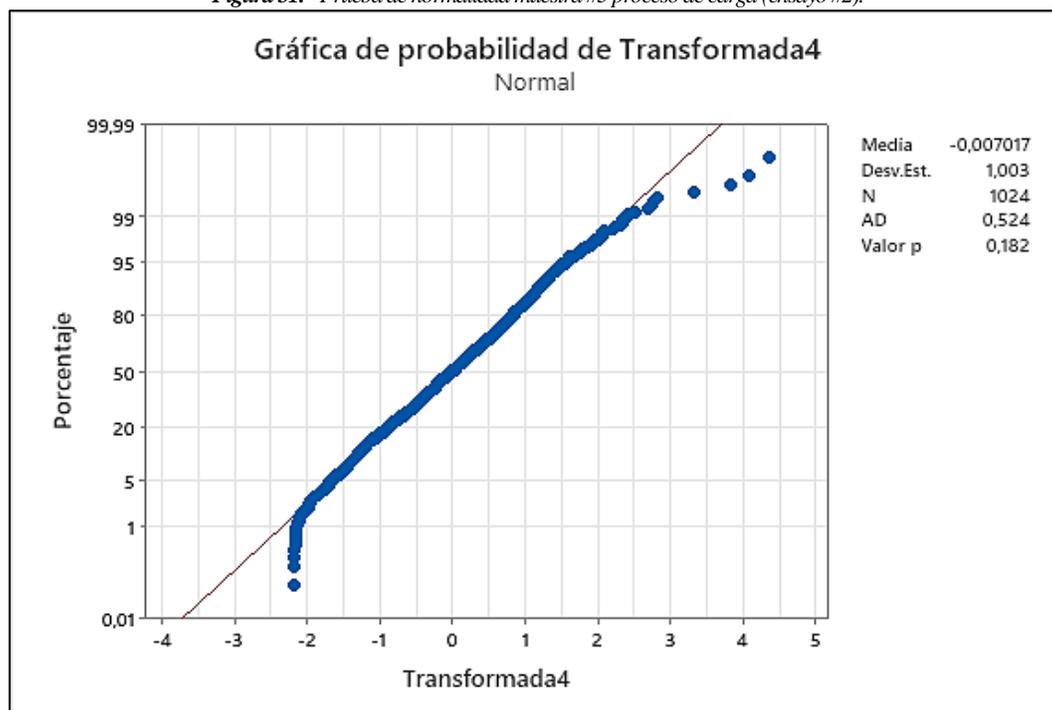


Figura 52. - Prueba de normalidad muestra #4 proceso de carga (ensayo #2).

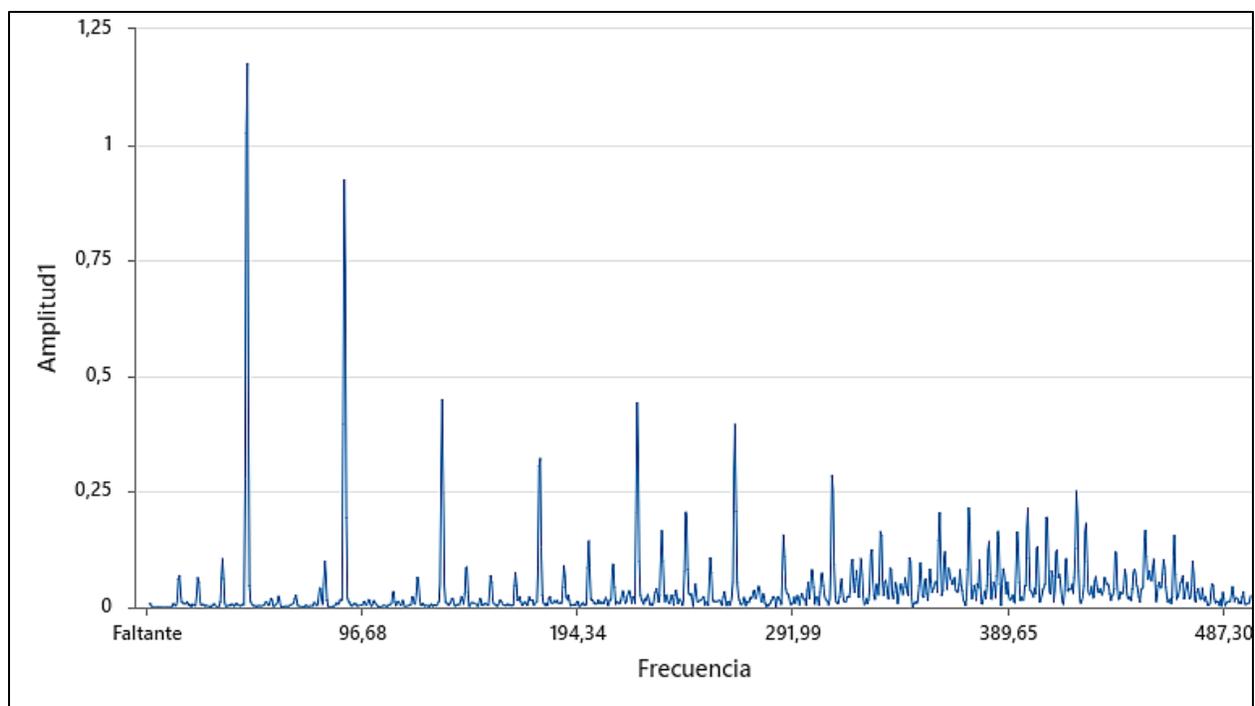


Figura 53. - Espectro de la muestra #1 - gráfica serie de tiempo proceso de carga (ensayo #2).

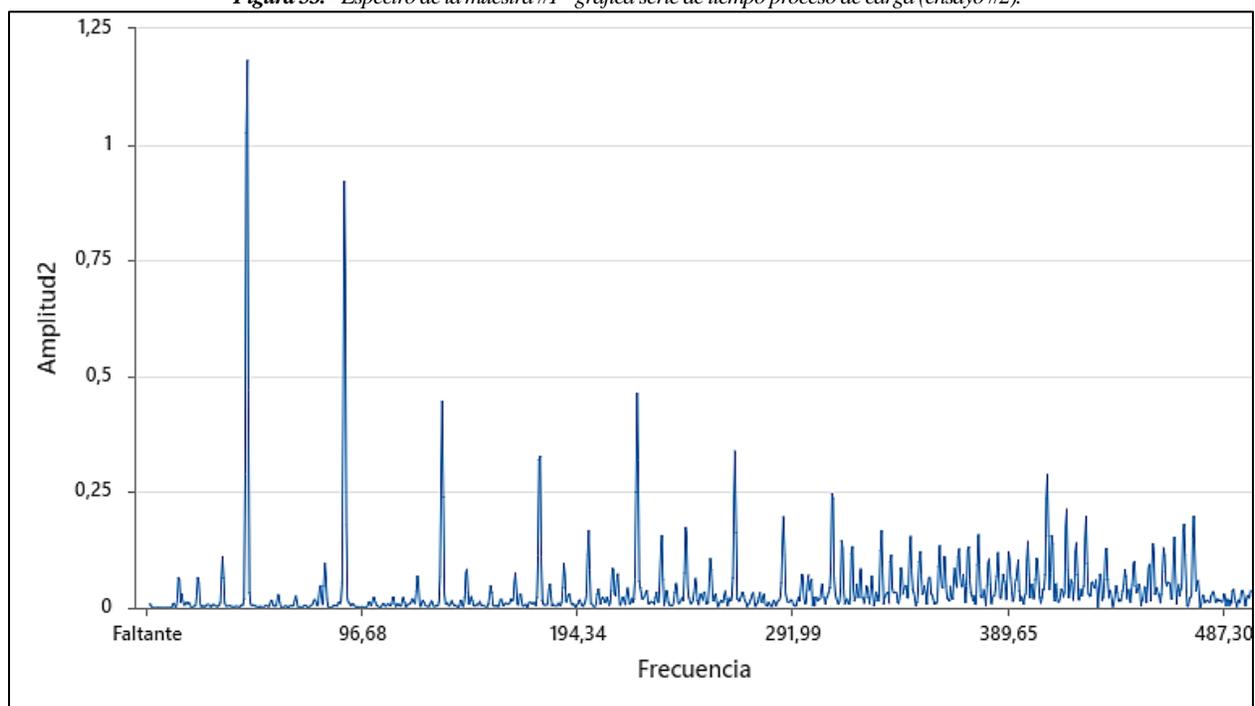


Figura 54. - Espectro de la muestra #2 - gráfica serie de tiempo proceso de carga (ensayo #2).

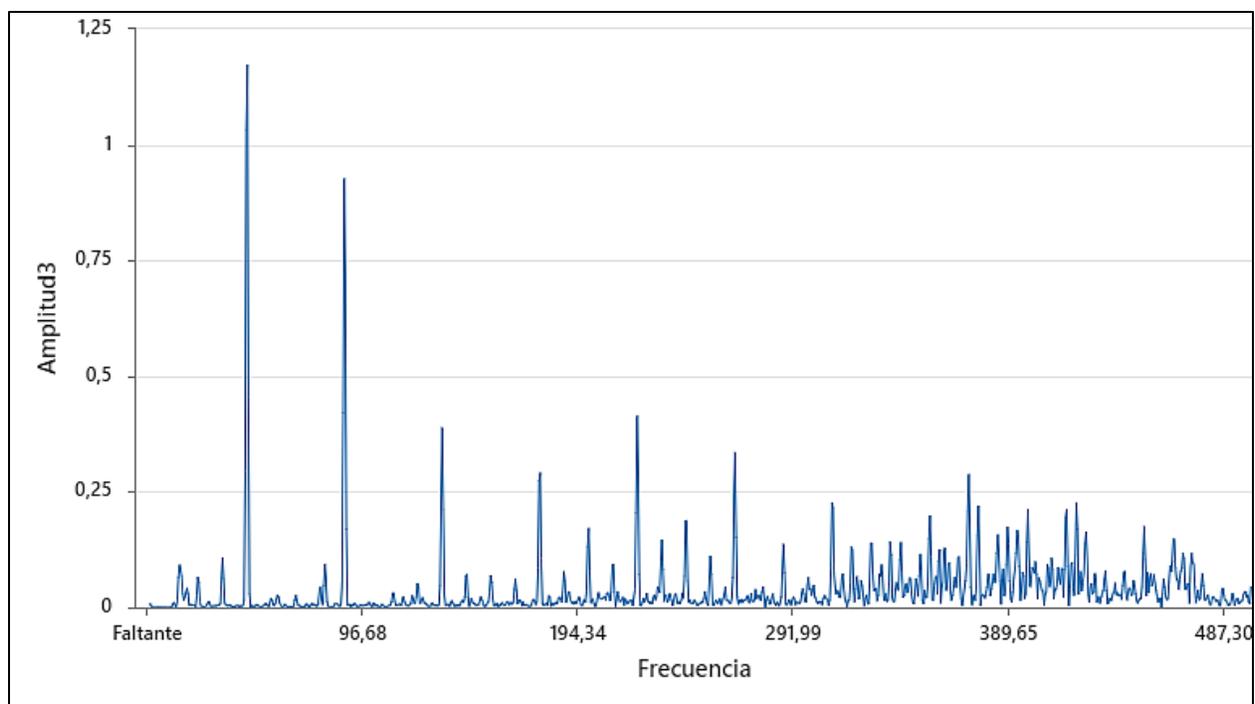


Figura 55. - Espectro de la muestra #3 - gráfica serie de tiempo proceso de carga (ensayo #2).

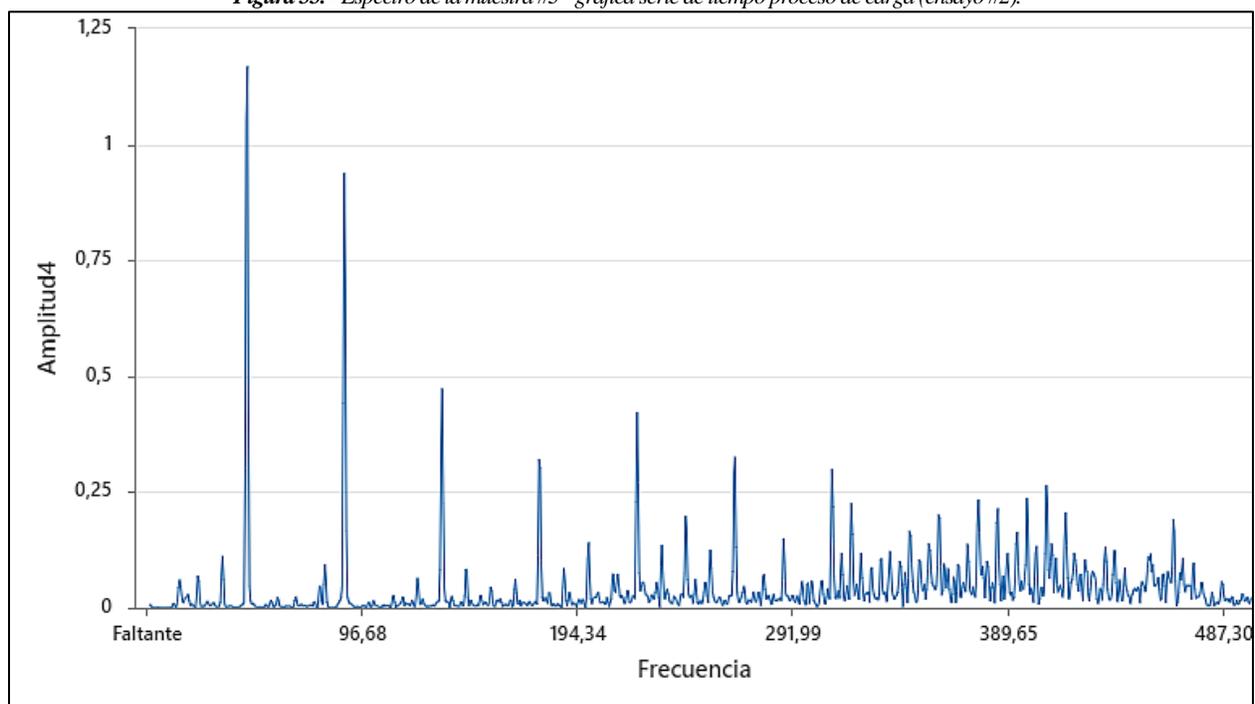


Figura 56. - Espectro de la muestra #4 - gráfica serie de tiempo proceso de carga (ensayo #2).

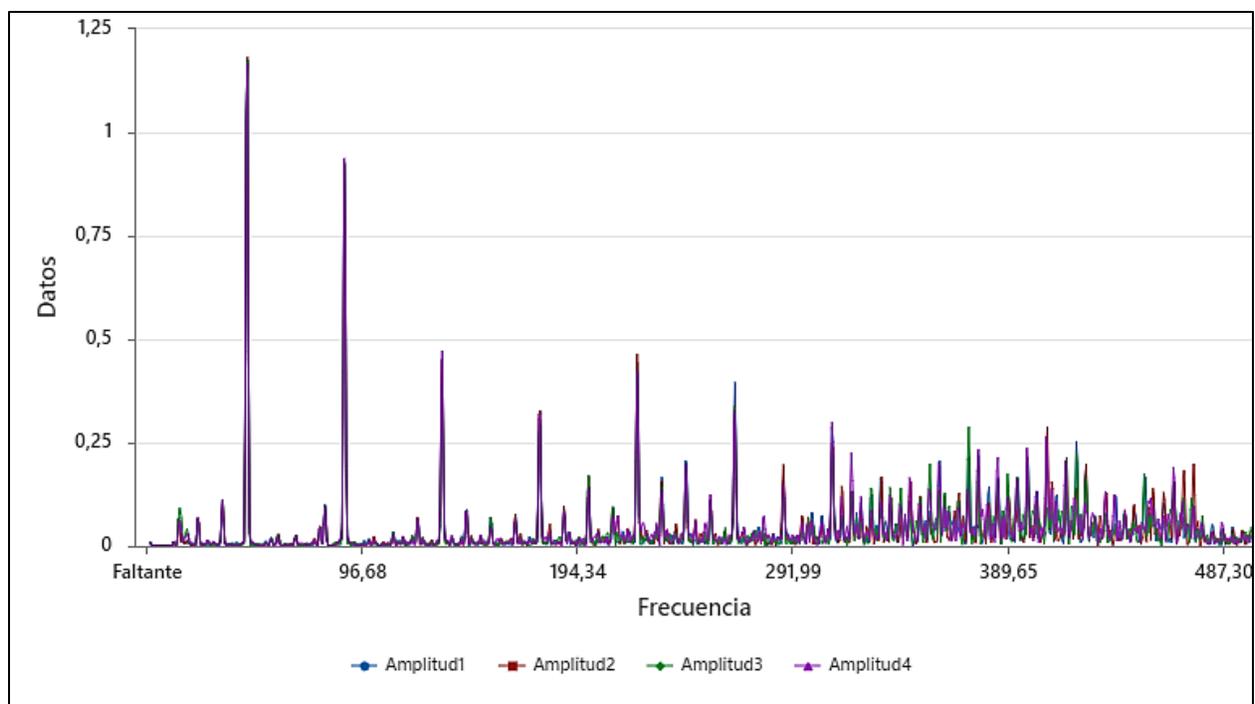


Figura 57. - Espectro compuesto de las muestras proceso de carga - gráfica serie de tiempo (ensayo #2).

Información del factor

Factor Niveles Valores

Factor 4 Transformada1; Transformada2; Transformada3; Transformada4

Figura 58. - Cantidad de factores a analizar (ensayo #2).

Agrupar información utilizando el método de Tukey y una confianza de 95%

Factor N Media Agrupación

Transformada2 1024 0,0101 A

Transformada1 1024 -0,0069 A

Transformada4 1024 -0,0070 A

Transformada3 1024 -0,0146 A

Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.

Figura 59. - Comparaciones en pareja de Tukey proceso de carga (ensayo #2).

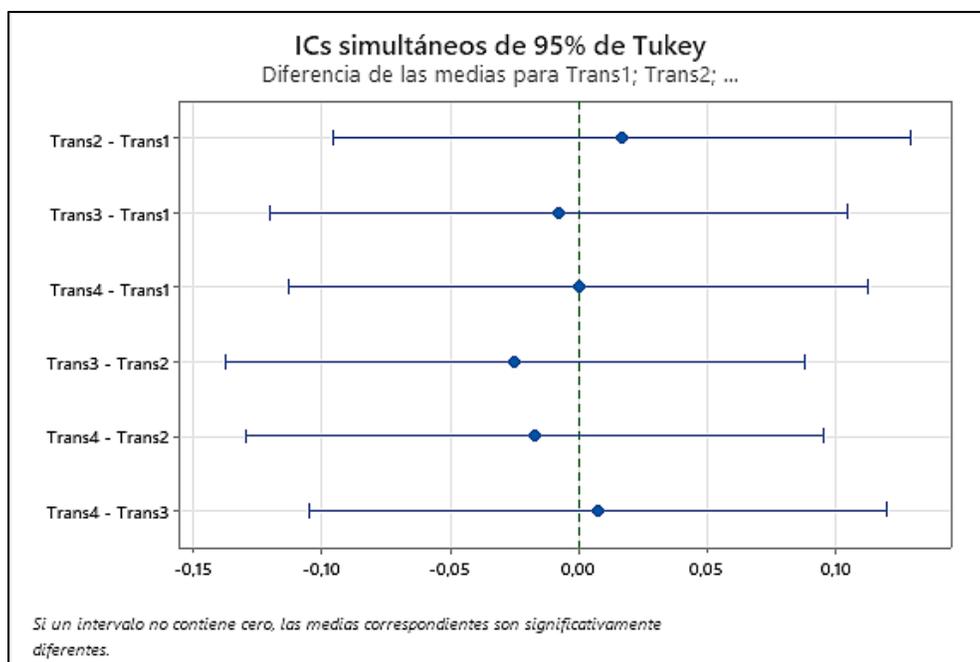


Figura 60. - Diferencia de las medias con relación a las muestras (ensayo #2).

8.3 Consumo energético proceso de descarga– Ensayo #1

Proceso de Descarga de la batería con el sistema de climatización del aire acondicionado encendido al máximo ensayo #1.

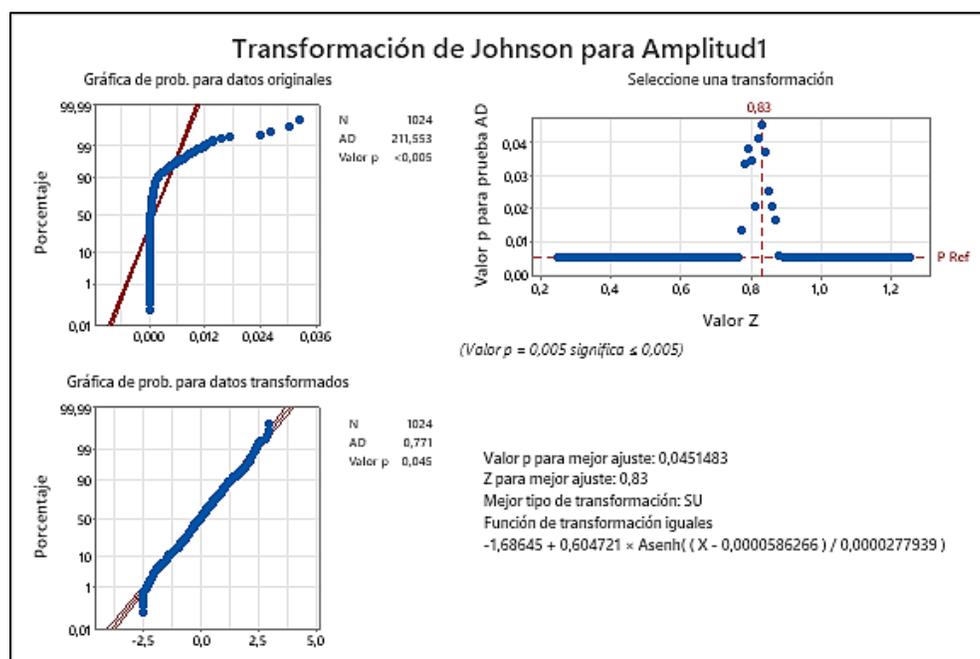


Figura 61. - Transformación de Johnson muestra #1 proceso de descarga (ensayo #1).

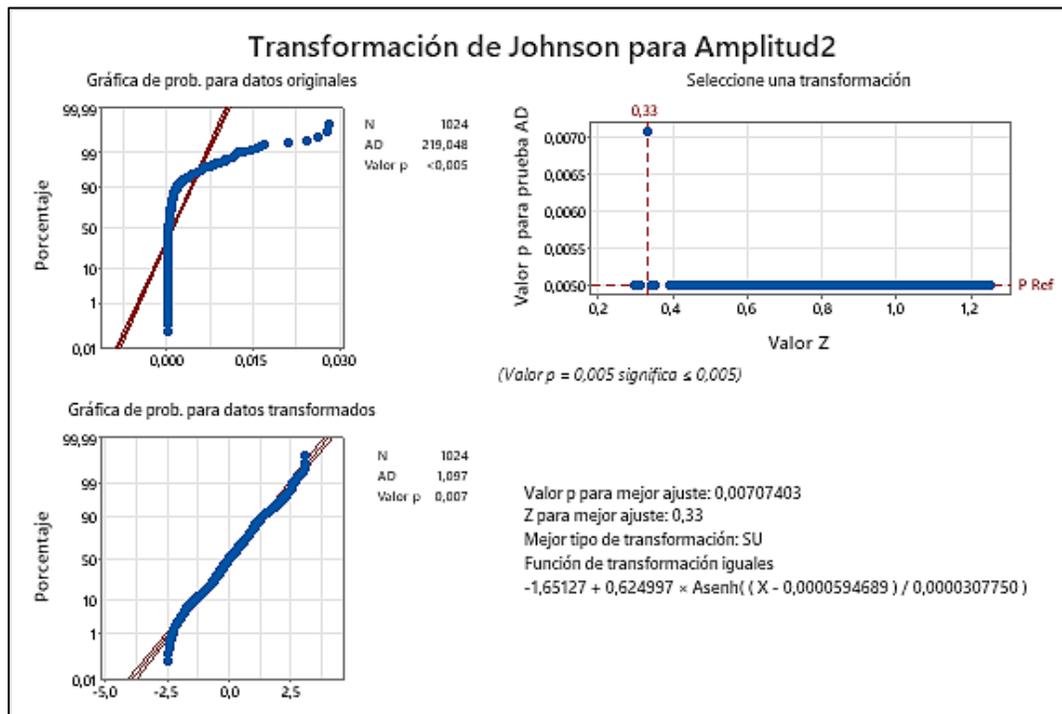


Figura 62. - Transformación de Johnson muestra #2 proceso de descarga (ensayo #1).

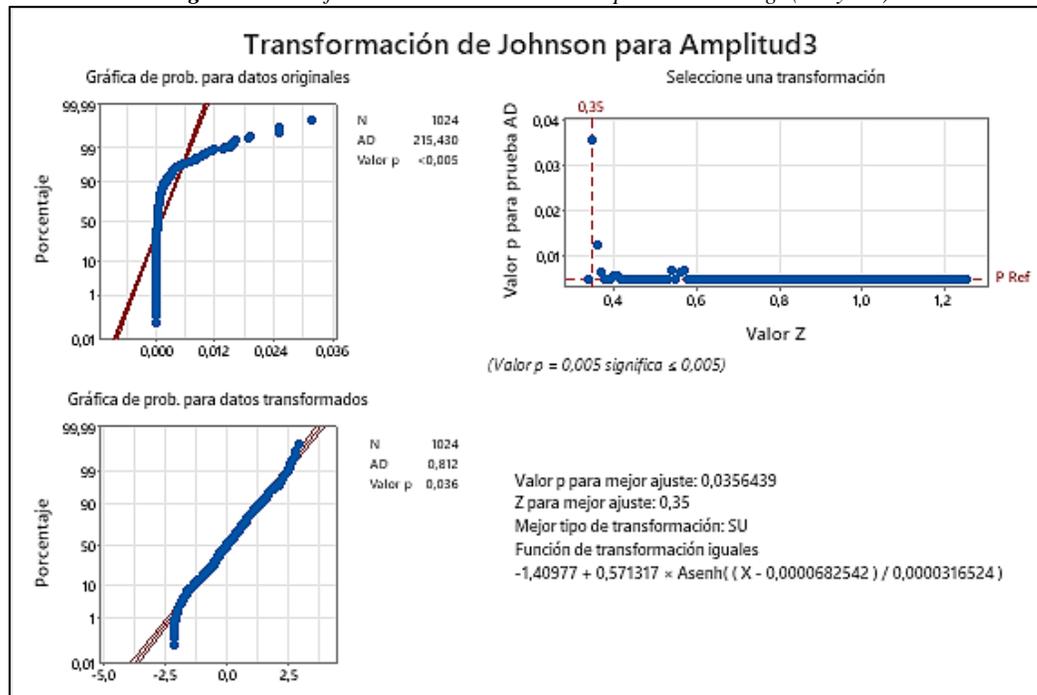


Figura 63. - Transformación de Johnson muestra #3 proceso de descarga (ensayo #1).

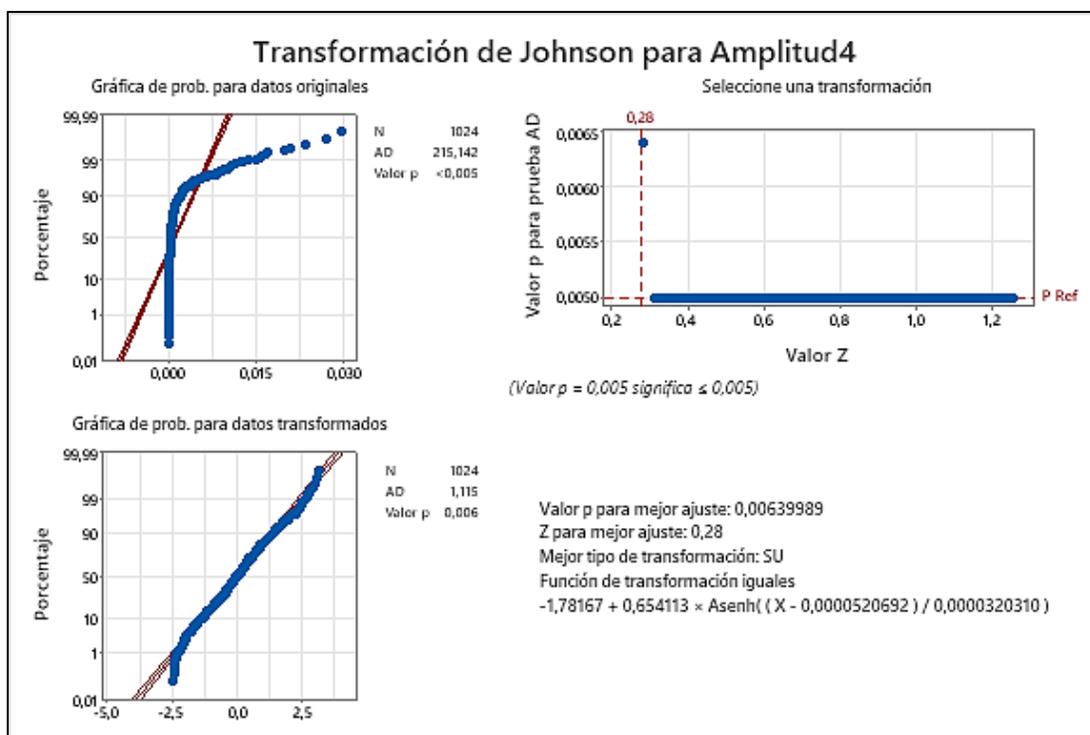


Figura 64. - Transformación de Johnson muestra #4 proceso de descarga (ensayo #1).

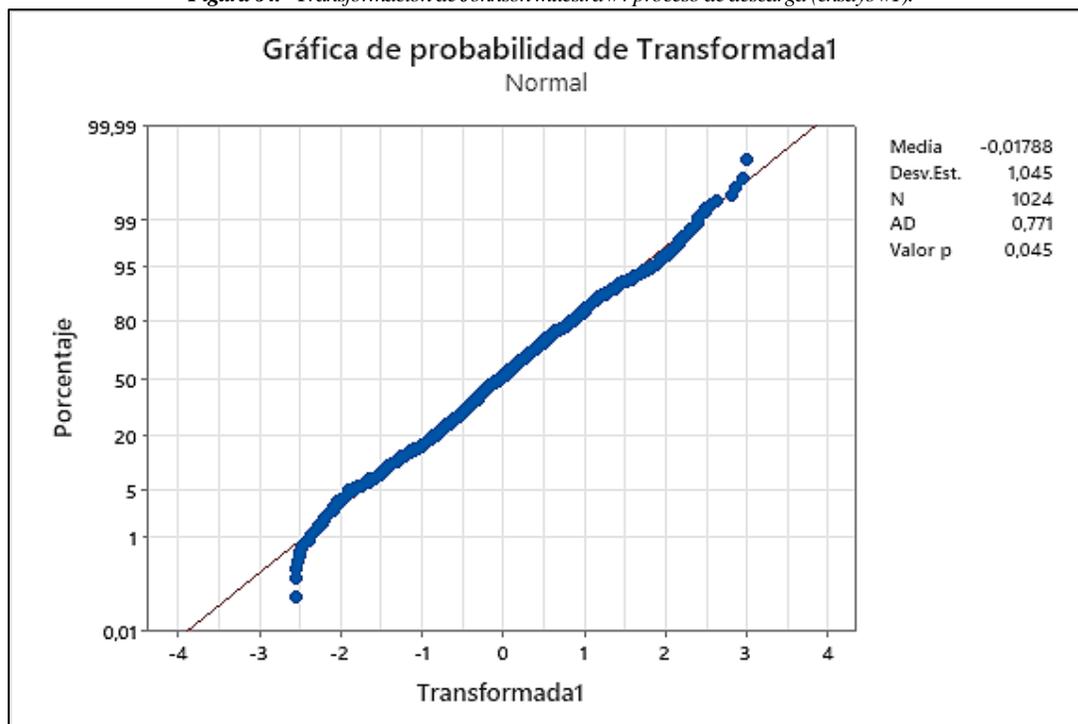


Figura 65. - Prueba de normalidad muestra #1 proceso de descarga (ensayo #1).

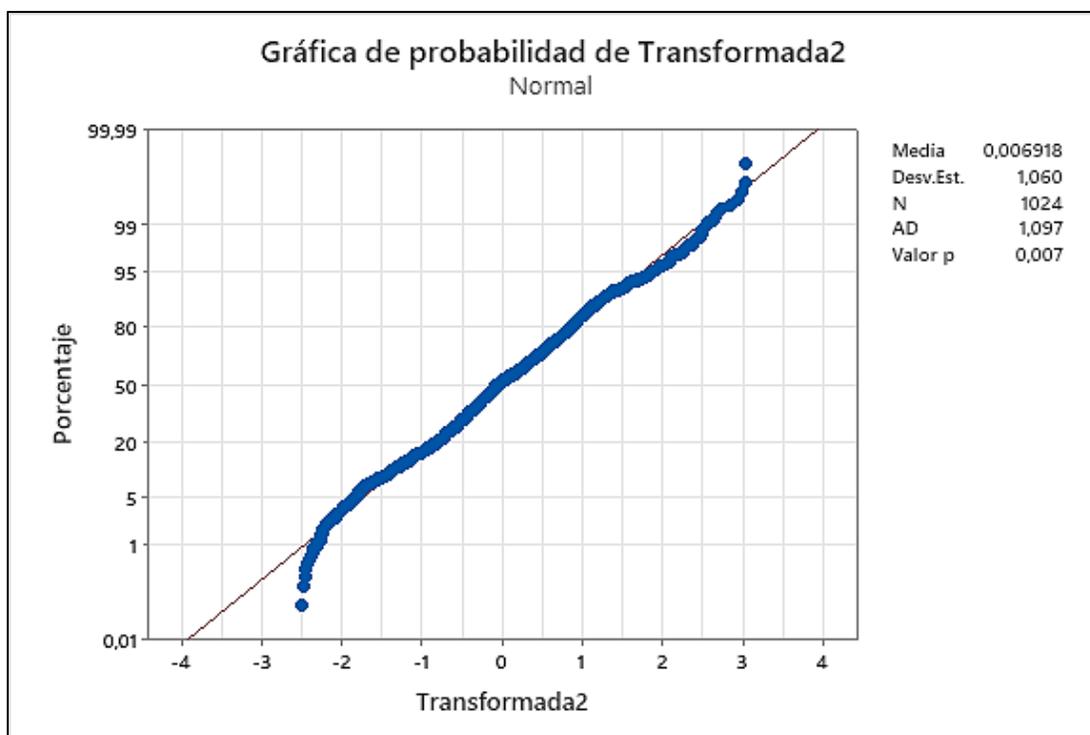


Figura 66. - Prueba de normalidad muestra #2 proceso de descarga (ensayo #1).

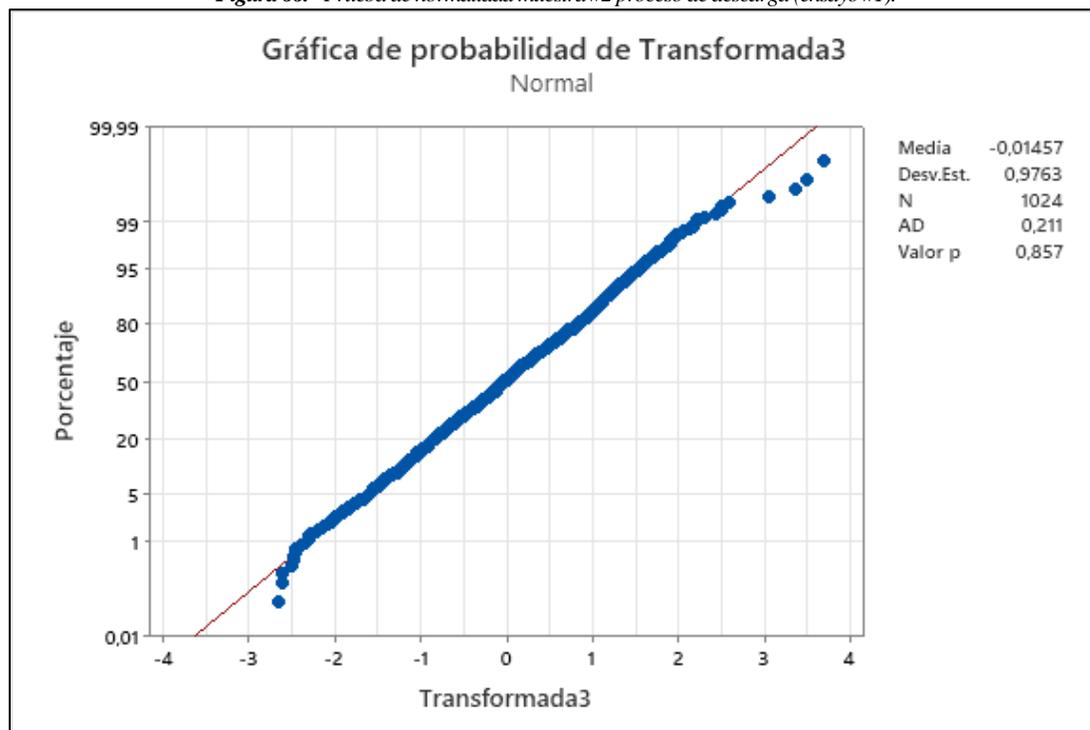


Figura 67. - Prueba de normalidad muestra #3 proceso de descarga (ensayo #1).

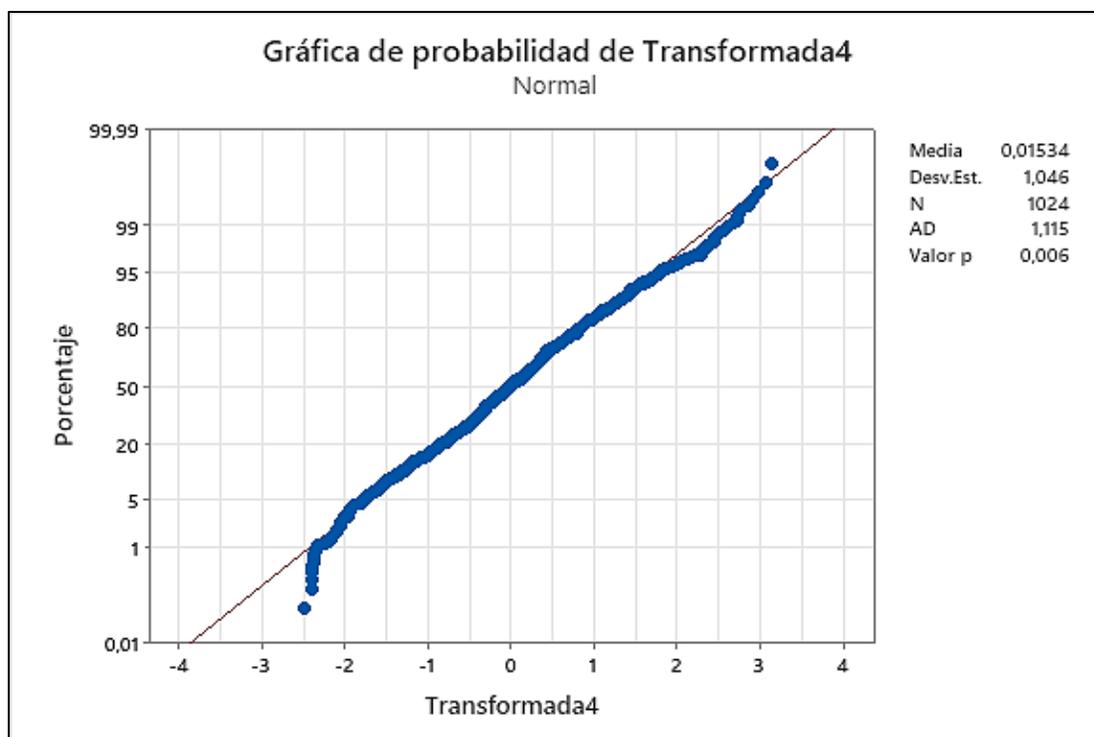


Figura 68. - Prueba de normalidad muestra #4 proceso de descarga (ensayo #1).

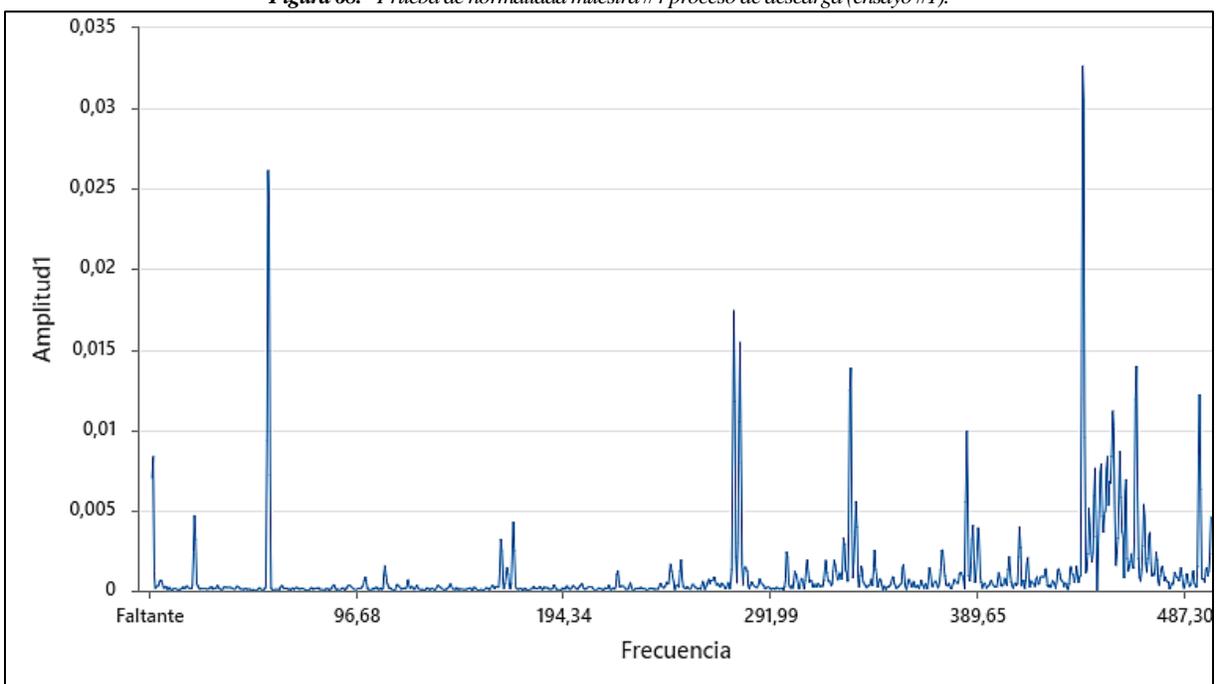


Figura 69. - Espectro de la muestra #1 en proceso de descarga - gráfica serie de tiempo (ensayo #1).

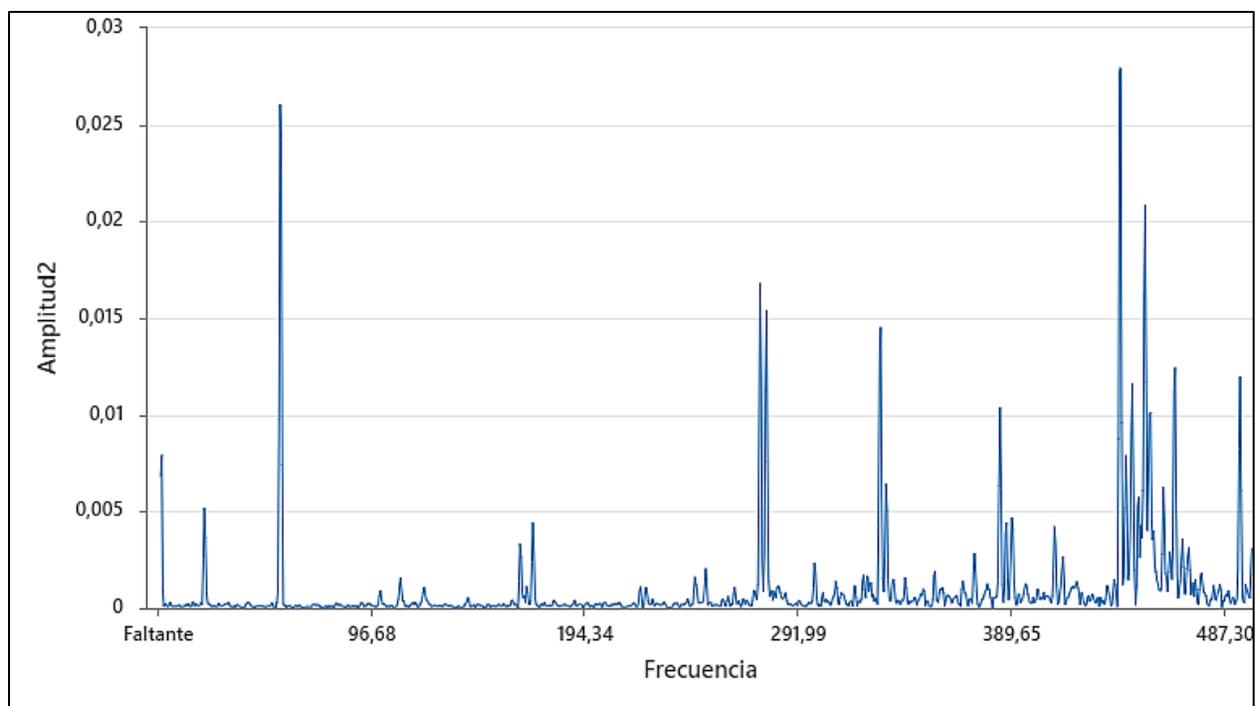


Figura 70. - Espectro de la muestra #2 en proceso de descarga - gráfica serie de tiempo (ensayo #1).

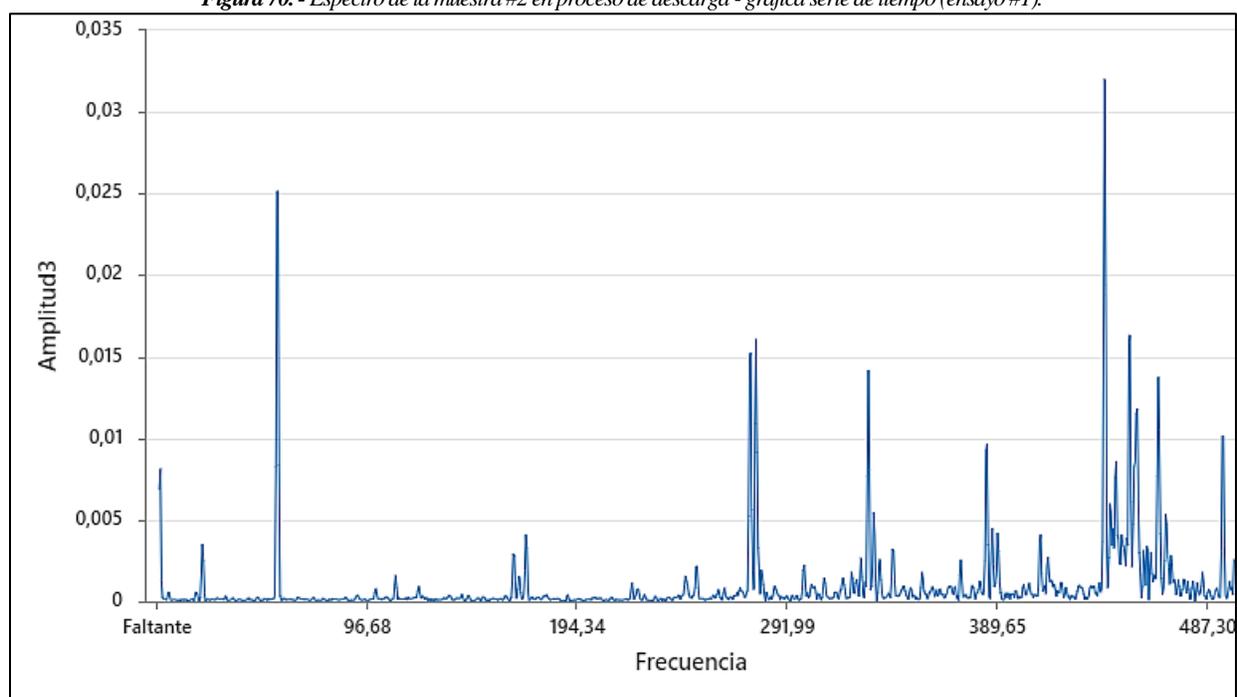


Figura 71. - Espectro de la muestra #3 proceso de descarga - gráfica serie de tiempo (ensayo #1).

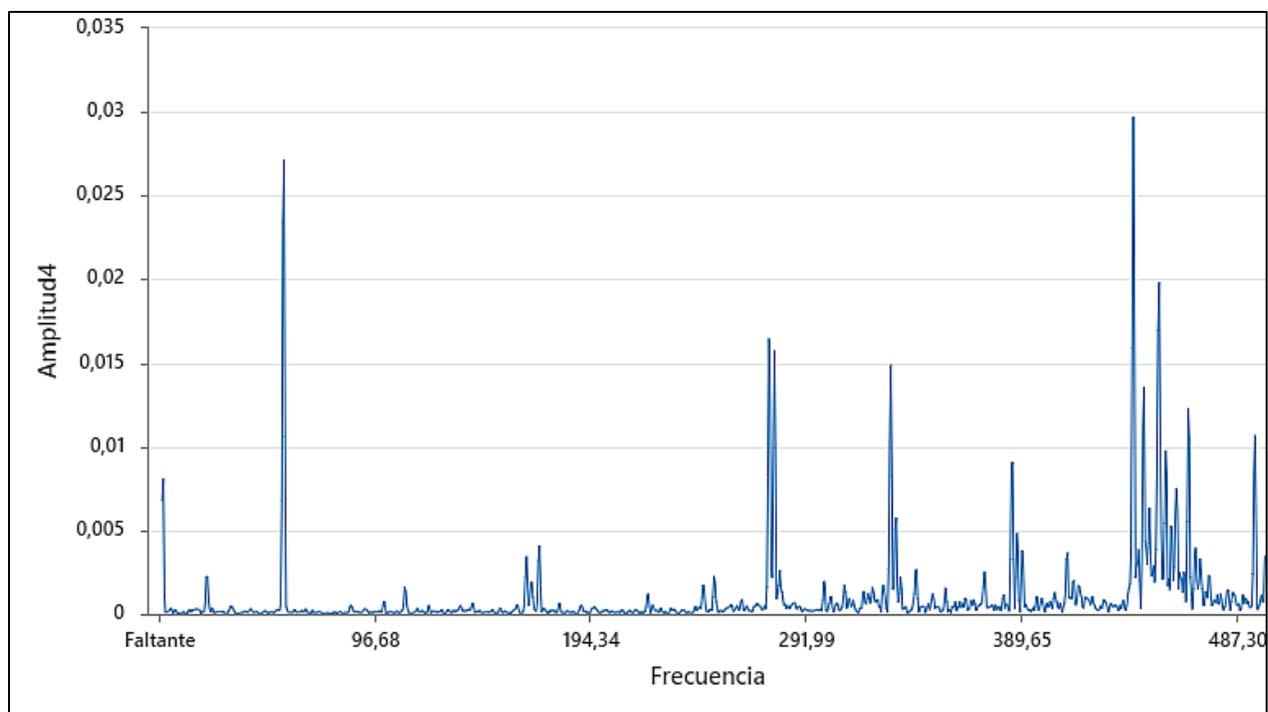


Figura 72. - Espectro de la muestra #4 proceso de descarga - gráfica serie de tiempo (ensayo #1).

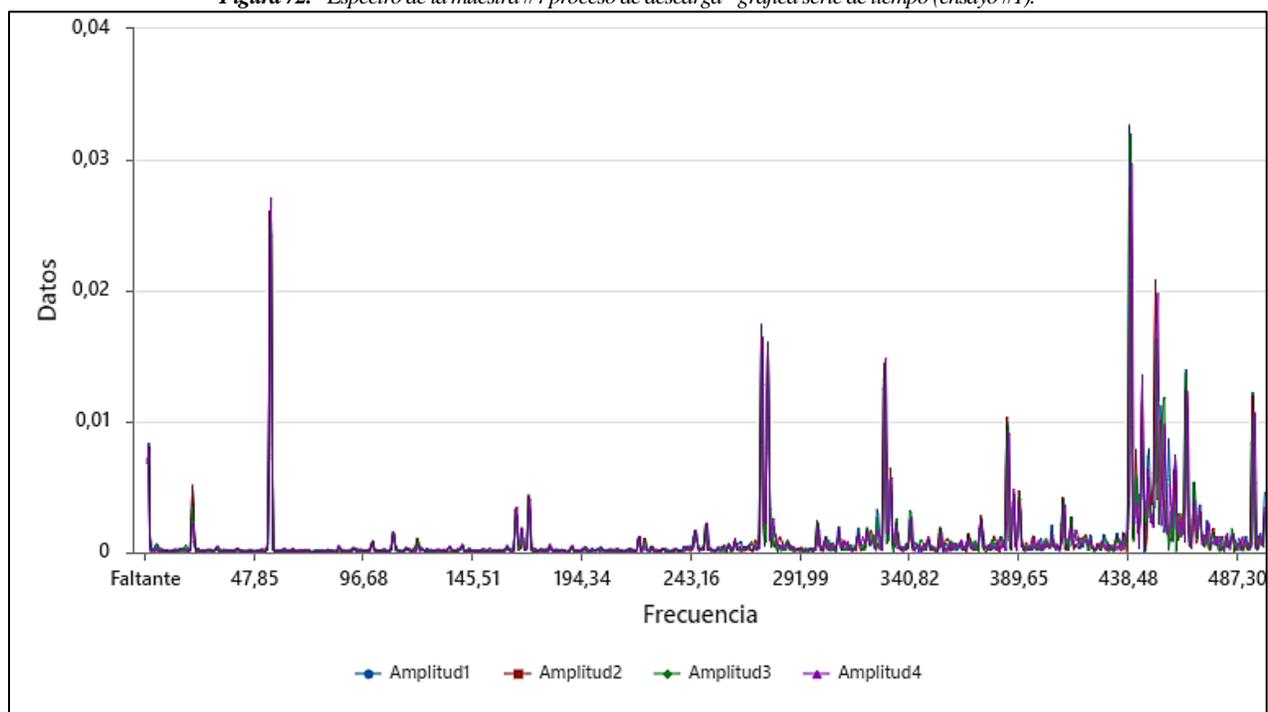


Figura 73. - Espectro compuesto de las muestras en proceso de descarga - gráfica serie de tiempo (ensayo #1).

Información del factor

Factor Niveles Valores

Factor	4 Transformada1; Transformada2; Transformada3; Transformada4
--------	--

Figura 74. - Cantidad de factores a analizar (ensayo #1).

Agrupar información utilizando el método de Tukey y una confianza de 95%

Factor N Media Agrupación

Transformada3	1024	0,0206	A
Transformada4	1024	0,0153	A
Transformada2	1024	0,0069	A
Transformada1	1024	-0,0179	A

Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.

Figura 75. - Comparaciones en pareja de Tukey proceso de descarga (ensayo #1).

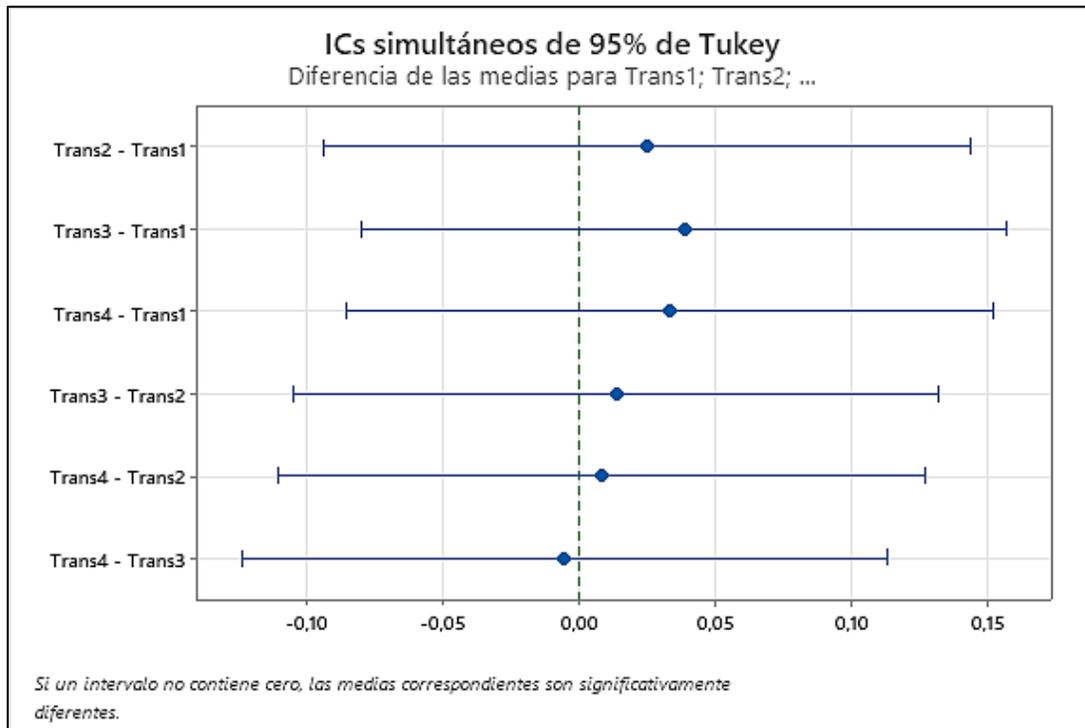


Figura 76. - Diferencia de las medias con relación a las muestras (ensayo #1).

8.4 Consumo energético proceso de descarga – Ensayo #2

Proceso de Descarga de la batería con el sistema de climatización del aire acondicionado encendido al máximo ensayo #2.

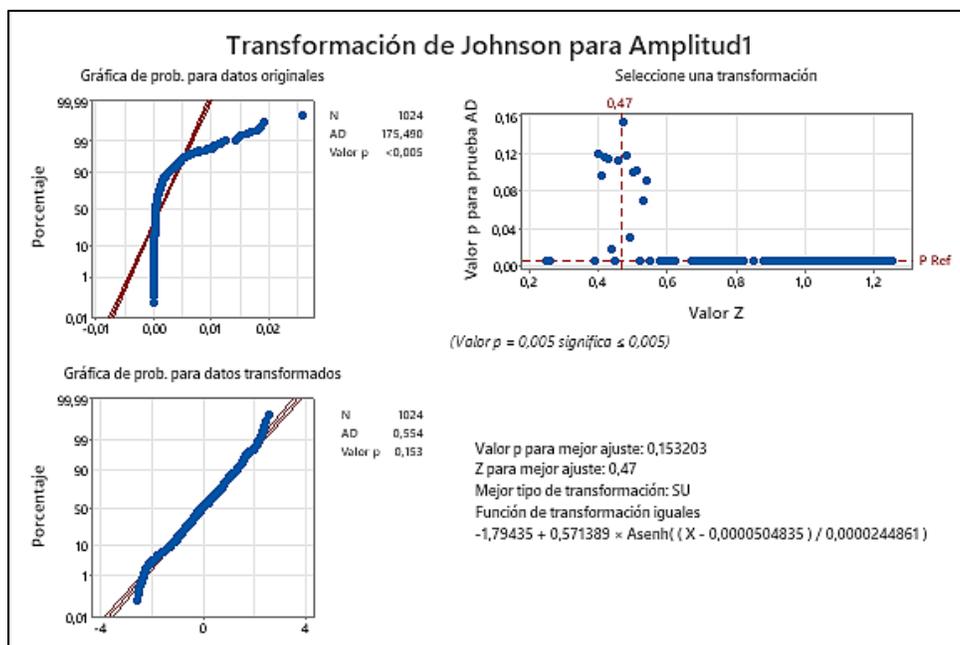


Figura 77. - Transformación de Johnson muestra #1 proceso de descarga (ensayo #2).

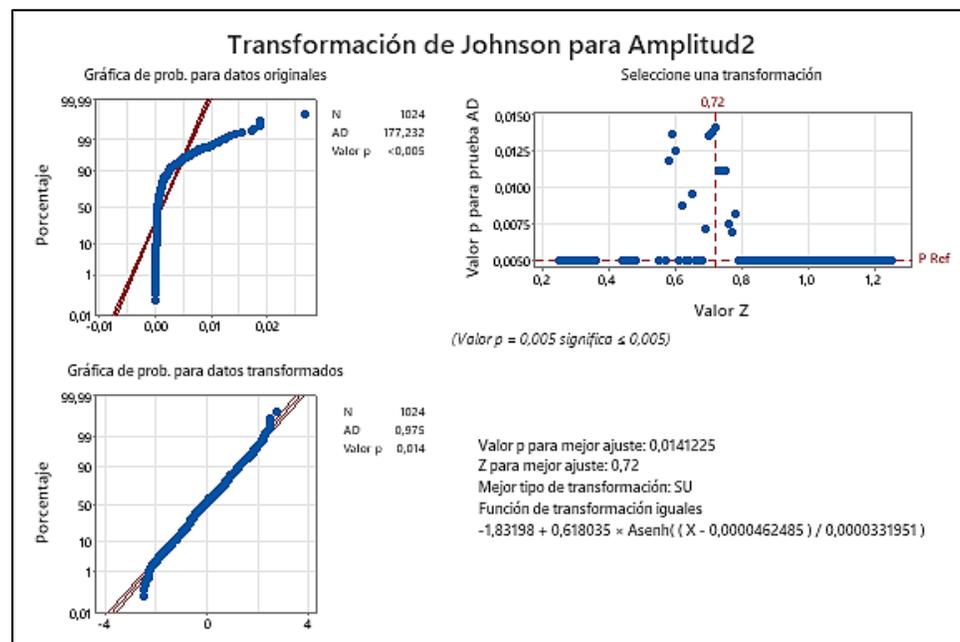


Figura 78. - Transformación de Johnson muestra #2 proceso de descarga (ensayo #2).

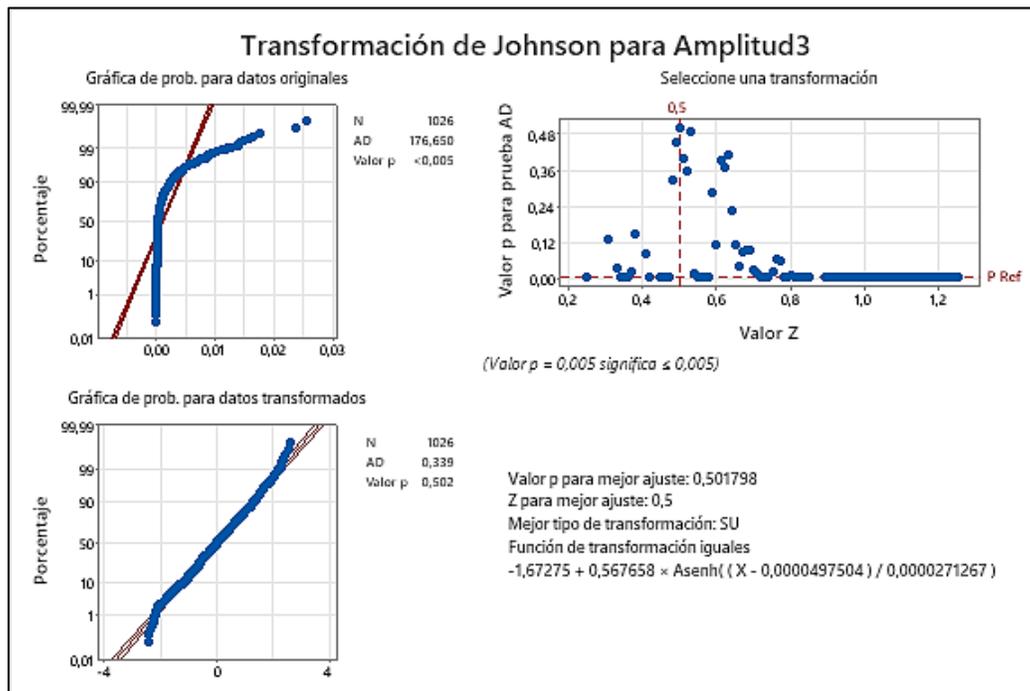


Figura 79. - Transformación de Johnson muestra #3 proceso de descarga (ensayo #2).

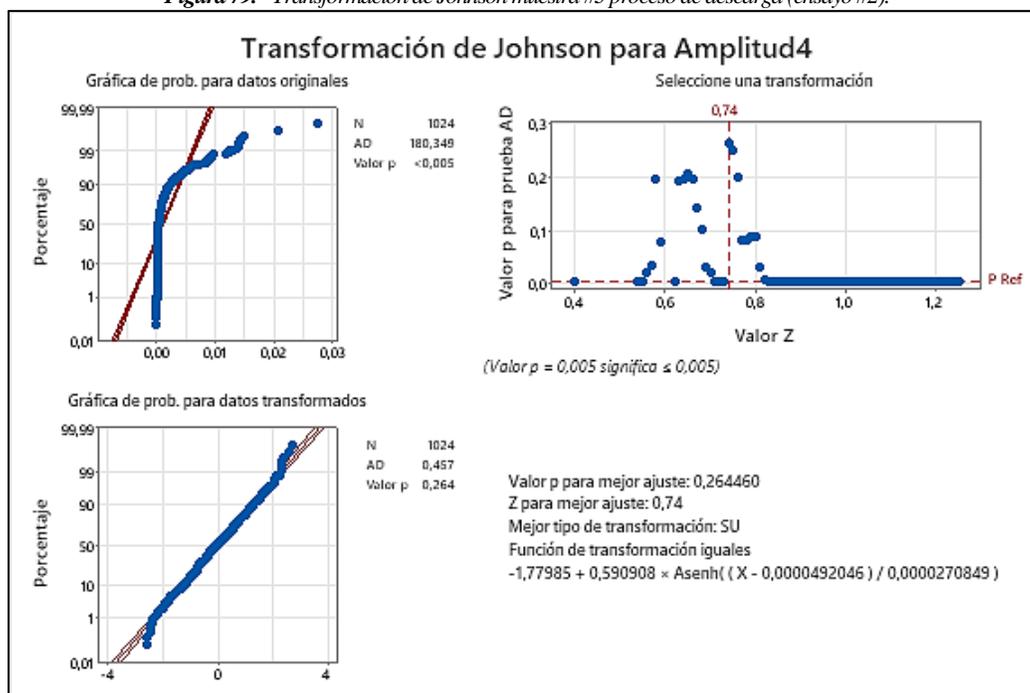


Figura 80. - Transformación de Johnson muestra #4 proceso de descarga (ensayo #2).

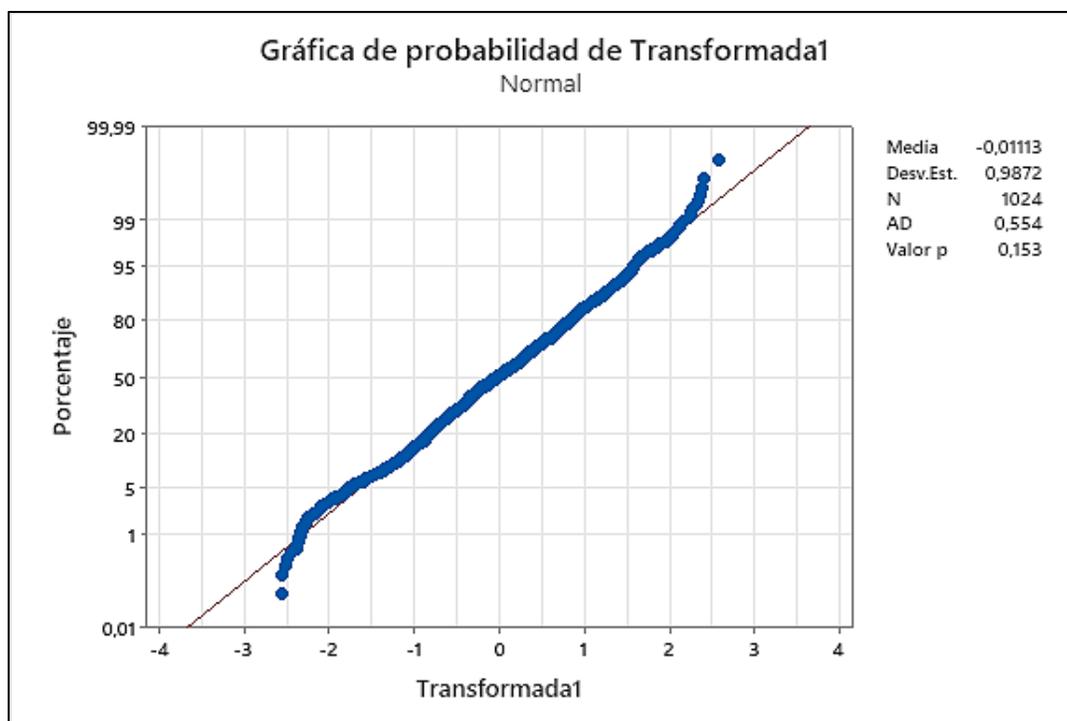


Figura 81.- Prueba de normalidad muestra #1 proceso de descarga (ensayo #2).

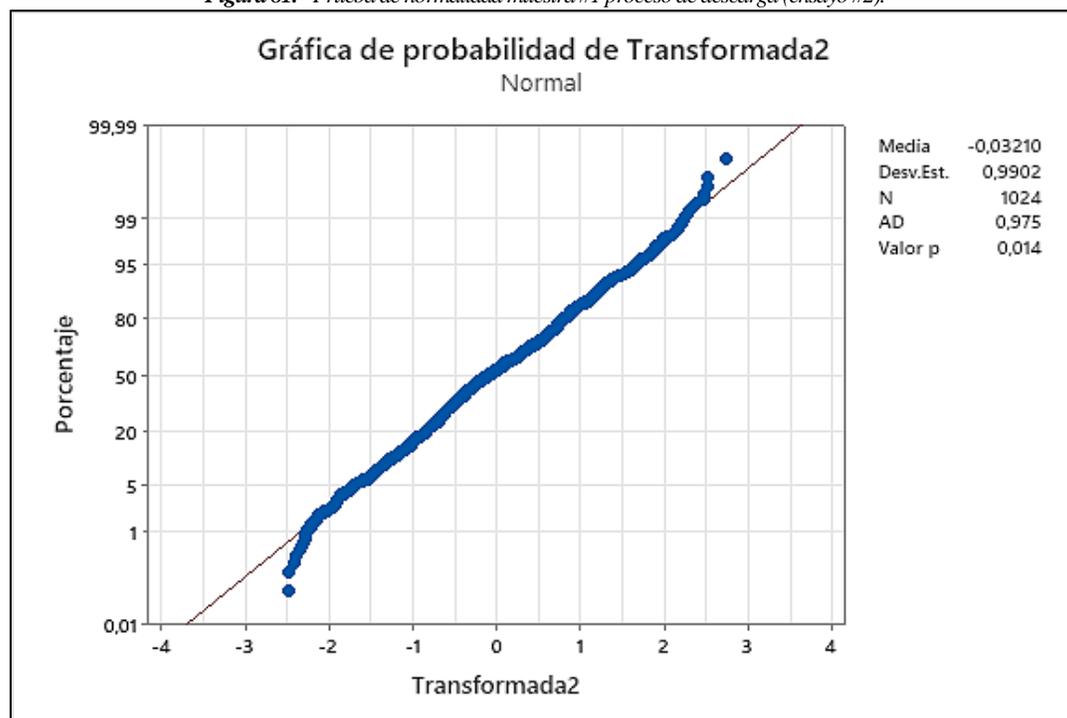


Figura 82.- Prueba de normalidad muestra #2 proceso de descarga (ensayo #2).

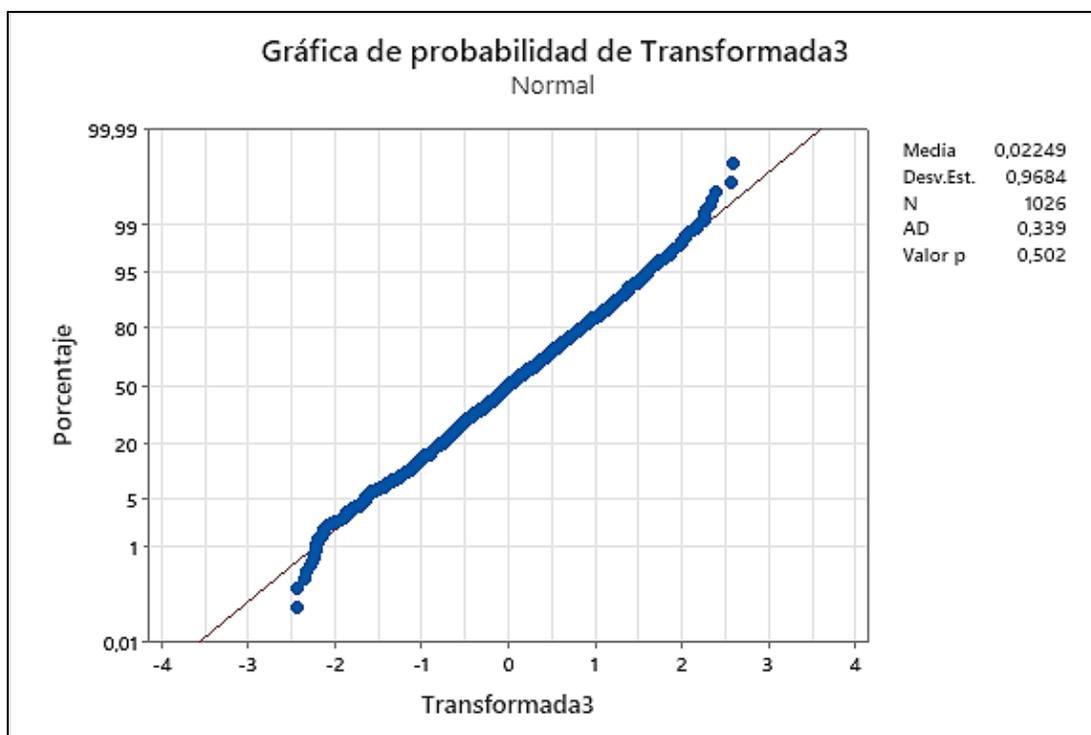


Figura 83. - Prueba de normalidad muestra #3 proceso de descarga (ensayo #2).

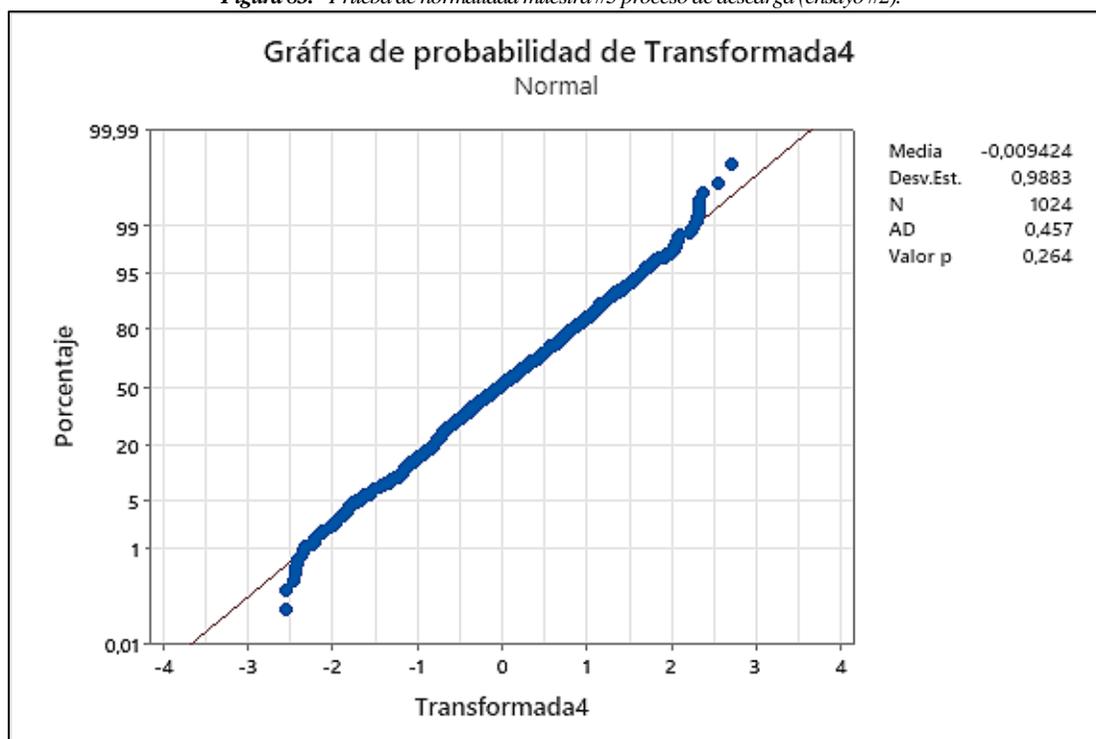


Figura 84. - Prueba de normalidad muestra #4 proceso de descarga (ensayo #2).

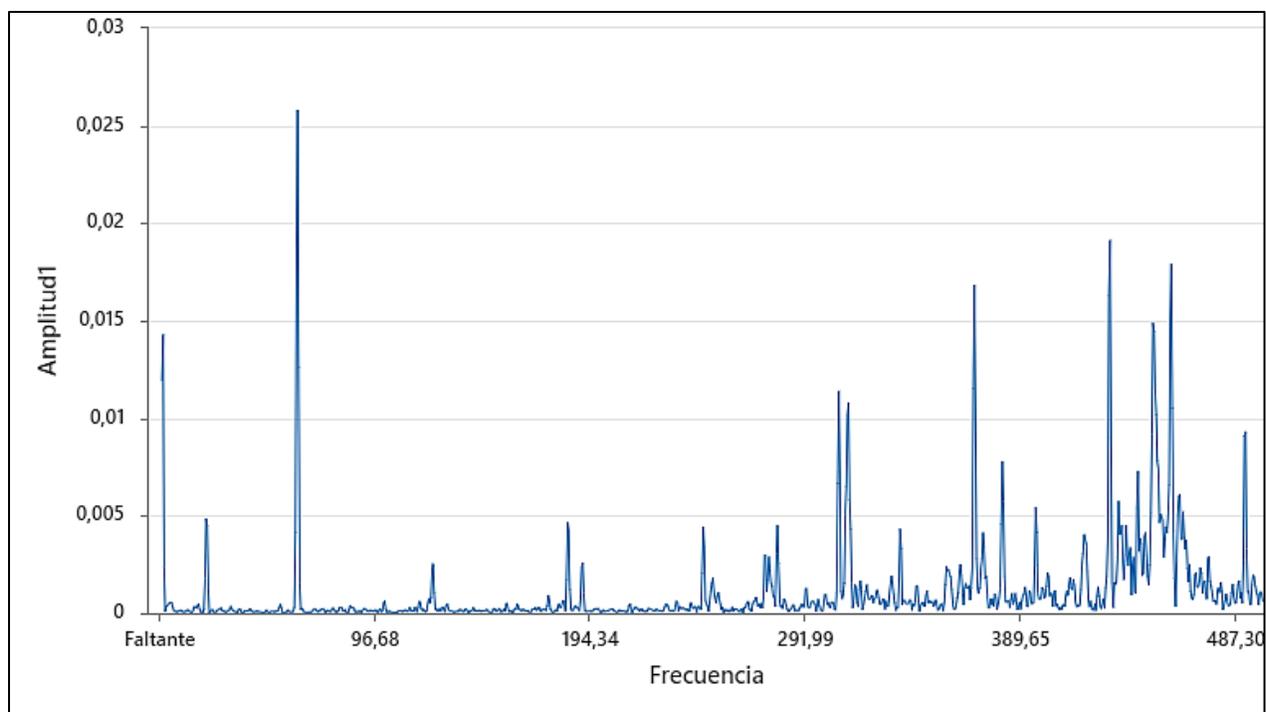


Figura 85. - Espectro de la muestra #1 proceso de descarga- gráfica serie de tiempo (ensayo #2).

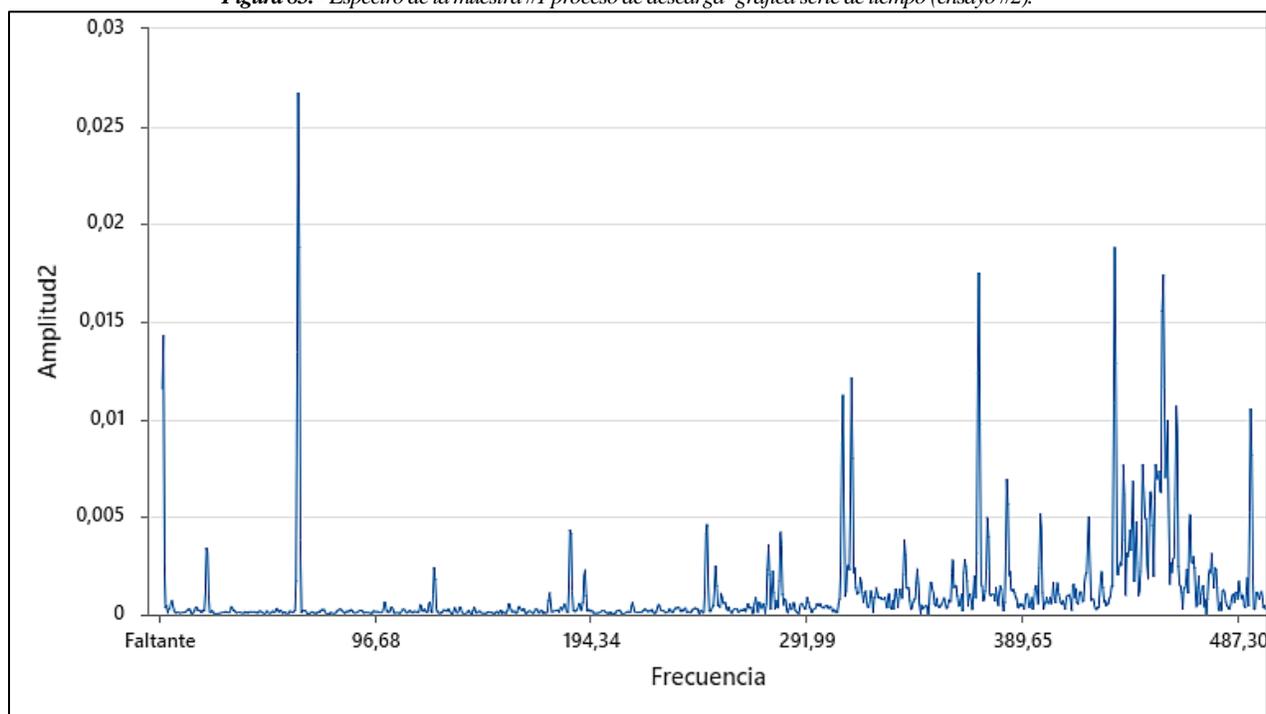


Figura 86. - Espectro de la muestra #2 proceso de descarga - gráfica serie de tiempo (ensayo #2).

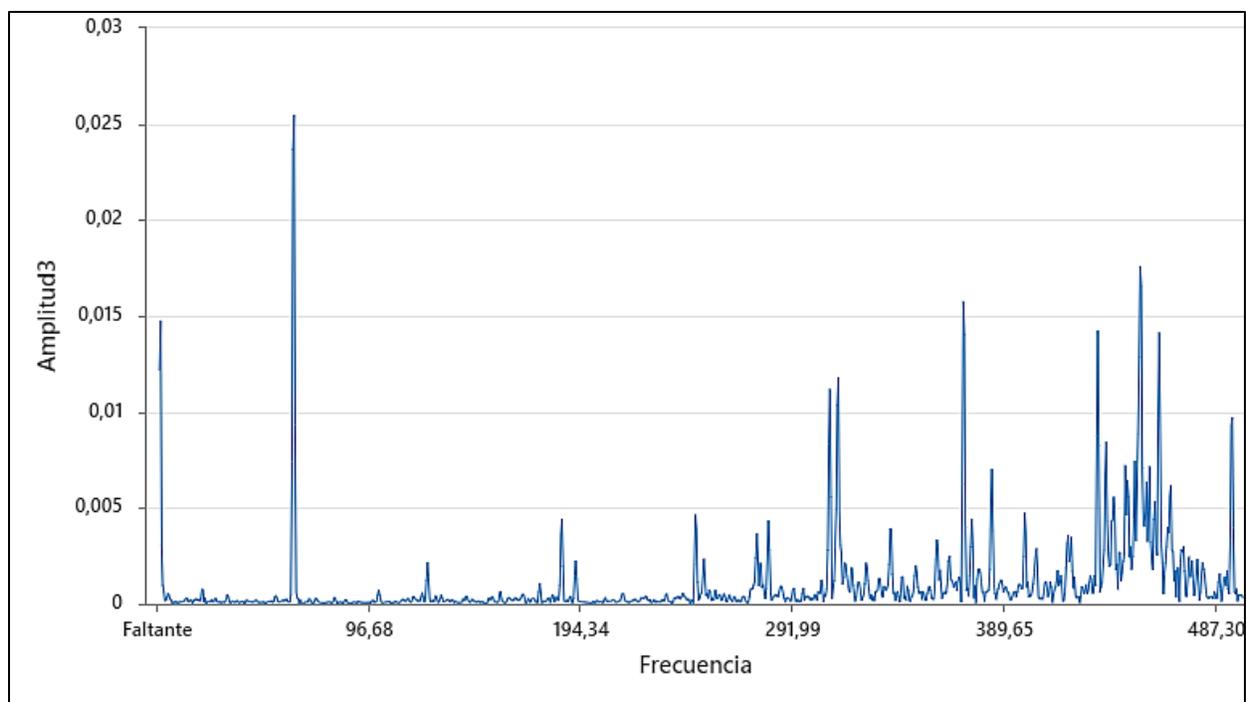


Figura 87. - Espectro de la muestra #3 proceso de descarga - gráfica serie de tiempo (ensayo #2).

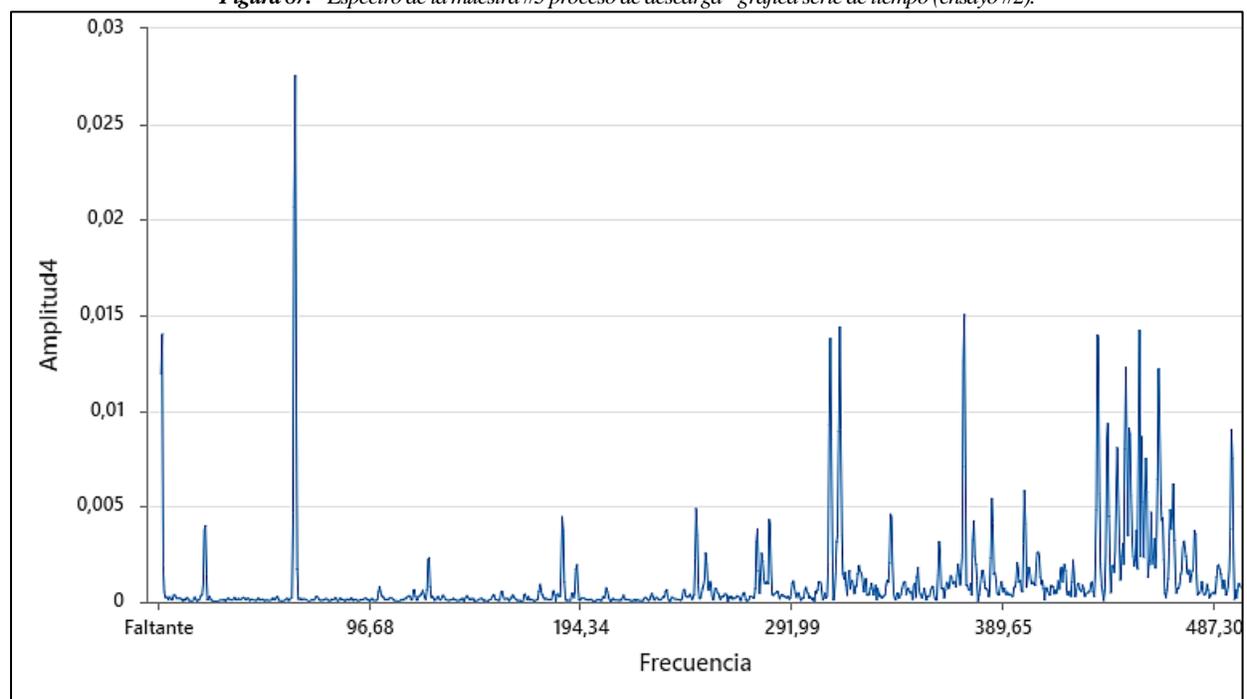


Figura 88. - Espectro de la muestra #4 proceso de descarga - gráfica serie de tiempo (ensayo #2).

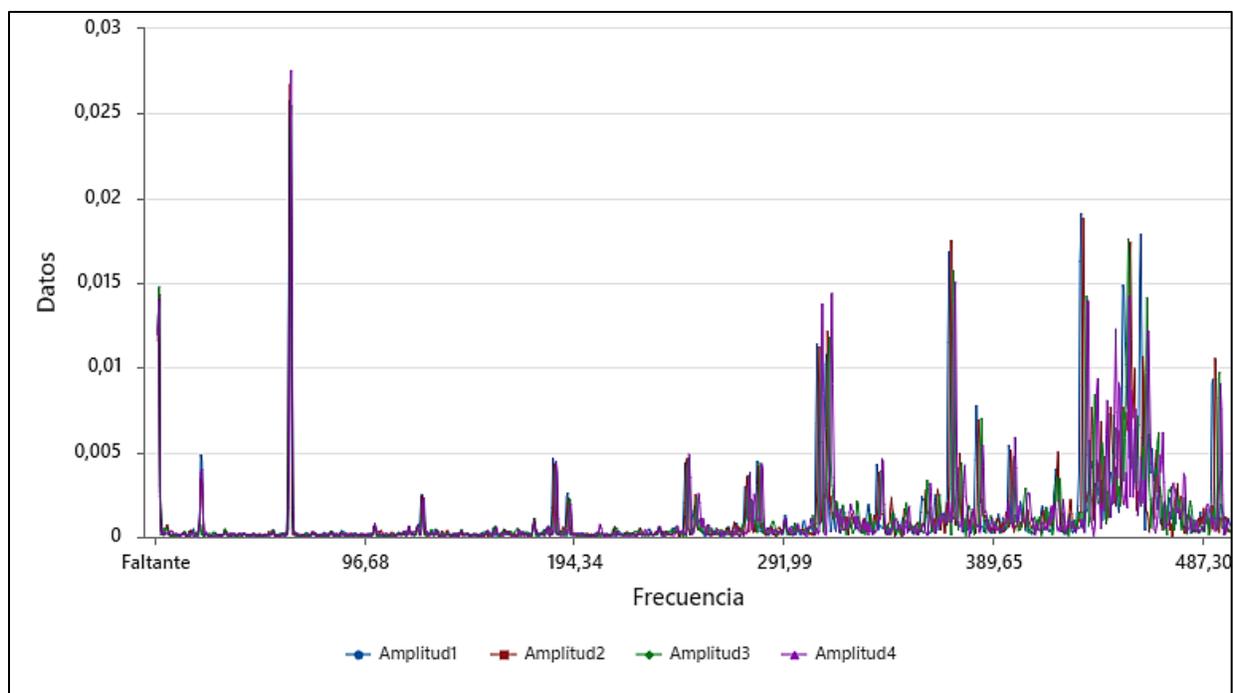


Figura 89. - Espectro compuesto de las muestras en proceso de descarga - gráfica serie de tiempo (ensayo #2).

Información del factor

Factor Niveles Valores

Factor 4 Transformada1; Transformada2; Transformada3; Transformada4

Figura 90. - Cantidad de factores a analizar (ensayo #2).

Agrupar información utilizando el método de Tukey y una confianza de 95%

Factor N Media Agrupación

Transformada3	1024	0,0273	A
Transformada4	1024	-0,0094	A
Transformada1	1024	-0,0111	A
Transformada2	1024	-0,0321	A

Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.

Figura 91. - Comparaciones en pareja de Tukey proceso de descarga (ensayo #2).

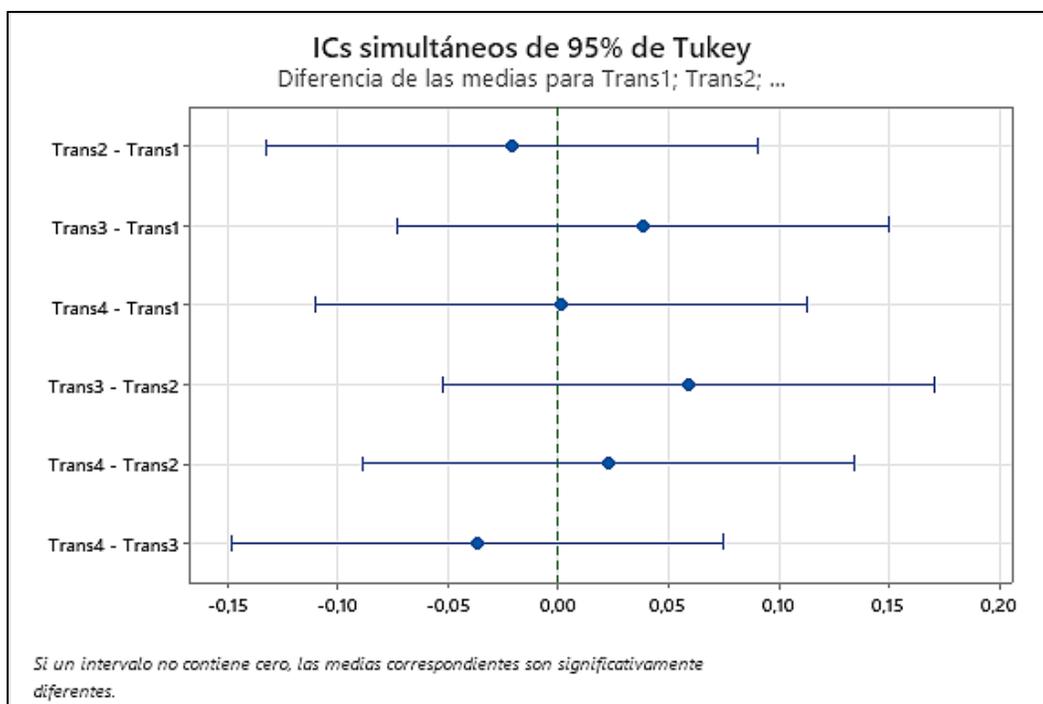


Figura 92. - Diferencia de las medias con relación a las muestras (ensayo #2).