



UNIVERSIDAD
DE MÁLAGA



TRABAJO FIN DE GRADO

ESTUDIO DEL EFECTO DE LOS ARTEFACTOS DE MOVIMIENTO EN LAS CARACTERÍSTICAS QUE PERMITEN DETECTAR ESTRÉS CON UN SENSOR EDA INTEGRADO EN UN BASTÓN

GRADO EN INGENIERÍA ELECTRÓNICA, ROBÓTICA Y MECATRÓNICA: MENCIÓN
EN ROBÓTICA Y AUTOMATIZACIÓN

ESCUELA DE INGENIERÍAS INDUSTRIALES

UNIVERSIDAD DE MÁLAGA

Autor: Sergio Grande Bueno

Tutor: Fernando Vidal Verdú

Área de conocimiento: Electrónica

Cotutor: Andrés Trujillo León

Área de conocimiento: Electrónica

Málaga, junio de 2025

ESTUDIO DEL EFECTO DE LOS ARTEFACTOS DE MOVIMIENTO EN LAS CARACTERÍSTICAS QUE PERMITEN DETECTAR ESTRÉS CON UN SENSOR EDA INTEGRADO EN UN BASTÓN

Resumen del proyecto:

Los dispositivos conocidos como “wearables” que son tan comunes de ver hoy en día son capaces de medir señales biomédicas del usuario que los emplea. Un caso en específico son los relojes inteligentes capaces de poder medir el pulso cardíaco entre otras señales. Este trabajo parte de un dispositivo wearable adaptado para personas de la tercera edad como es un bastón instrumentado. El bastón consta de una serie de sensores que son capaces de obtener señales fisiológicas como la Actividad Electro dérmica de la Piel (EDA) o la señal PPG (Fotople tismograma). Este trabajo se centra en estudiar las características que se pueden obtener de la EDA para poder detectar eventos de estrés. En la primera parte de este trabajo se realiza una búsqueda en artículos de investigación sobre características estadísticas y temporales de la señal EDA con sus componentes tónica y fásica para la obtención de eventos de estrés. La segunda parte consiste en obtener las características seleccionadas de los artículos a través de un experimento con sujetos reales que consiste en inducir al sujeto momentos de relajación de alrededor de 4 minutos y momentos en los que hay eventos de estrés como estímulos auditivos que duran pocos segundos. La tercera parte del trabajo parte de los datos obtenidos del experimento con los participantes y estudia qué características de las seleccionadas son afectadas cuando hay un evento de estrés y cuáles no. Además, se usan métodos estadísticos como Wilcoxon signed-rank o Mann-Whitney U para estudiar si una característica es realmente útil para detectar un evento de estrés. La cuarta parte consiste en realizar un ensayo con eventos de relax y otros eventos de estrés pero con la incorporación de artefactos por el movimiento. Este experimento se realiza en una cinta de correr. Se vuelven a estudiar las características como en la tercera parte y se destacan aquellas que son capaces de detectar eventos de estrés con la incorporación de artefactos.

Palabras clave: EDA, tónica, fásica, Wilcoxon signed-rank, Mann-Whitney U, artefactos, características.

ESTUDIO DEL EFECTO DE LOS ARTEFACTOS DE MOVIMIENTO EN LAS CARACTERÍSTICAS QUE PERMITEN DETECTAR ESTRÉS CON UN SENSOR EDA INTEGRADO EN UN BASTÓN

Abstract:

Devices known as “wearables” which are commonly seen nowadays are capable of measuring biomedical signals from the user. A specific example is smartwatches which can measure heart rate between other signals. This work is based on a wearable device adapted for elderly individuals, in the form of an instrumented cane. The cane includes a series of sensors which are capable of capturing physiological signals such as Electrodermal Activity (EDA), PPG (Photoplethysmogram) signal. This work focuses on studying the features that can be extracted from the EDA to detect stress events. The first part of this project involves researching scientific articles related with statistical and temporal features of the EDA signal with its components phasic and tonic to obtain stress events.

The second part consists on obtaining selected features of the before articles through of an experiment with real subjects and consists of the subjects undergoing relaxation parts of around 4 minutes and there are sections that there are stress events with auditory stimuli that last a few seconds.

The third part of this project is based on the data obtained from the experiment with the participants and studying of the selected features are affected when there is a stress event and which ones not. Moreover, statistical methods are used like Wilcoxon signed-rank or Mann-Whitney U to study whether a feature is actually useful to detect a stress event.

The fourth part consists of making a test with relax events and others events with stress but in this test there will be artifacts with the movement. This experiment is performed on a treadmill. The features are studied of similar way that in the third part and highlights those that are less affected by the artifacts.

Keywords: EDA, tonic, phasic, Wilcoxon signed-rank, Mann-Whitney U, artifacts, featu-

RES.

Agradecimientos

En esta sección de mi TFG quiero dedicar una serie de agradecimientos. Quiero expresar mi agradecimiento a mi tutor Fernando y a mi cotutor Andrés por ofrecerme la oportunidad de realizar este Trabajo de Fín de Grado y por estar siempre ahí cuando tenía alguna duda o problema.

Además, quiero agradecer a mis compañeros Rafael y Diego por resolverme las dudas y apoyarme en este proyecto.

Agradezco a mi familia por apoyarme en los buenos y malos momentos en la realización del TFG.

Agradezco a todos los voluntarios que han accedido a realizar los experimentos, sin ellos no hubiera sido posible obtener ningún resultado en este TFG.

Índice

1. Introducción	1
1.1. Repositorio del Código	2
2. Antecedentes, EDA y objetivos del TFG	3
2.1. Actividad electrodérmica, EDA.	3
2.1.1. Presentación de la EDA.	3
2.1.2. Problemas en la medición.	4
2.1.3. Historia de la EDA.	6
2.2. Artefactos de movimiento.	7
2.3. Objetivos de este TFG.	8
3. Instrumentación utilizada en el estudio	11
3.1. Pulsera Empatica EmbracePlus	11
3.1.1. Inicialización de la pulsera.	11
3.1.2. Punto de medida de la Empatica en el paciente	15
3.1.3. Acceso de los datos	15
3.2. Bastón instrumentado con sensor GSR	17
3.2.1. Inicialización del bastón para poder tomar medidas	19
3.2.2. Punto de Medida	20
3.3. Tratamiento de la señales medidas por ambos sensores	20
4. Protocolos aplicados en el TFG y pruebas estadísticas	23
4.1. Protocolo de toma de datos del participante	23

4.1.1.	Protocolo para el participante está inmóvil con el bastón.	23
4.1.1.1.	Reproductor	27
4.1.2.	Protocolo de toma de datos en la cinta de correr.	28
4.2.	Protocolo para el procesamiento de los datos	29
4.3.	Pruebas estadísticas utilizadas	31
4.3.1.	Q-Q Plots (<i>Quantile-Quantile Plots</i>)	31
4.3.2.	Test de Shapiro-Wilk	32
4.3.3.	Test t de Student para muestras pareadas	34
4.3.4.	Test de Wilcoxon para muestras pareadas (<i>Wilcoxon signed-rank</i>)	34
4.3.5.	Test t de Student para muestras independientes	35
4.3.6.	Test de Mann-Whitney U	36
5.	Presentación de características	37
5.1.	Definición de las características.	37
5.2.	Cálculo de las características	42
5.2.1.	Cálculo de las características de picos	42
6.	Tratamiento y estudio de los datos del bastón sin movimiento	47
6.1.	Resumen del capítulo	47
6.2.	Representación gráfica de los datos de los participantes.	47
6.3.	Estudio de las características obtenidas.	54
6.3.1.	Estudio para muestras pareadas	55
6.3.1.1.	Estudio de la normalidad	55
6.3.1.2.	Estudio de la significancia de las características.	66
6.3.2.	Estudio para muestras independientes	70
6.3.2.1.	Estudio de la normalidad.	71
6.3.2.2.	Estudio de la significancia de las características.	88
6.3.3.	Comparativa de los resultados obtenidos en ambos estudios.	92
6.3.3.1.	Bastón instrumentado.	92
6.3.3.2.	Pulsera Empatica EmbracePlus.	93
6.3.3.3.	Comparación bastón y pulsera Empatica.	93

7. Tratamiento y estudio de los datos con artefactos	95
7.1. Representación gráfica de los datos de los participantes.	95
7.2. Estudio de los datos obtenidos	100
7.2.1. Estudio para muestras pareadas	100
7.2.1.1. Estudio de la normalidad.	100
7.2.1.2. Estudio de la significancia de las características.	111
7.2.2. Estudio para muestras independientes	115
7.2.2.1. Estudio de la normalidad.	115
7.2.2.2. Estudio de la significancia de las características.	131
7.3. Comparativa de los datos obtenidos con los artefactos.	135
7.3.1. Bastón instrumentado.	135
7.3.2. Empatica	136
8. Conclusiones, limitaciones y futuras líneas de investigación	137
8.1. Conclusiones	137
8.1.1. Características significativas en el bastón, con o sin artefactos	137
8.2. Limitaciones del estudio	138
8.2.1. Limitaciones en los experimentos	139
8.2.2. Limitaciones en el análisis de los datos	139
8.3. Futuras líneas de investigación	140
Bibliografía	141

Índice de Tablas

6.1.	Valores de p del test de Shapiro-Wilk sobre las diferencias (Post - Pre) para cada característica de la GSR	58
6.2.	Valores de p del test de Shapiro-Wilk sobre las diferencias (Post - Pre) para cada característica de la componente tónica	61
6.3.	Valores de p del test de Shapiro-Wilk sobre las diferencias (Post - Pre) para cada característica de la componente fásica	65
6.4.	Tabla de los resultados del bastón sobre las diferencias (Post - Pre) para todas las características	67
6.5.	Características que tienen diferencias significativas y con el test usado para el bastón	68
6.6.	Tabla con las características obtenidas de la Empatica aplicando los tests. . . .	69
6.7.	Características con diferencias significativas y el test estadístico usado en la pulsera Empatica	70
6.8.	Valores de p del test de Shapiro-Wilk sobre las características independientes (Post, Pre) de la GSR	75
6.9.	Valores de p del test de Shapiro-Wilk sobre las características independientes (Post, Pre) de la componente tónica	79
6.10.	Valores de p del test de Shapiro-Wilk sobre las características independientes (Post, Pre) de la componente fásica	88
6.11.	Tabla de los resultados del bastón para la suposición de que cada característica es independiente	89
6.12.	Características que tienen diferencias significativas y el test usado para el bastón	90

6.13.	Tabla de los resultados de la pulsera Empatica para la suposición de que cada característica es independiente.	91
6.14.	Características con diferencias significativas y el test estadístico usado en la pulsera Empatica	92
7.1.	Valores de p del test de Shapiro-Wilk sobre las diferencias (Post - Pre) para cada característica de la GSR	102
7.2.	Valores de p del test de Shapiro-Wilk sobre las diferencias (Post - Pre) para cada característica de la componente tónica	105
7.3.	Valores de p del test de Shapiro-Wilk sobre las diferencias (Post - Pre) para cada característica de la componente fásica	110
7.4.	Tabla de los resultados del bastón sobre las diferencias (Post - Pre) para todas las características con artefactos	111
7.5.	Características con diferencias significativas y el test estadístico utilizado para el bastón	112
7.6.	Tabla con las características obtenidas de la Empatica aplicando los tests con artefactos.	114
7.7.	Características con diferencias significativas y el test estadístico usado en la pulsera Empatica	115
7.8.	Valores de p del test de Shapiro-Wilk sobre las características independientes (Post, Pre) de la GSR	118
7.9.	Valores de p del test de Shapiro-Wilk sobre las características independientes (Post, Pre) de la componente tónica	122
7.10.	Valores de p del test de Shapiro-Wilk sobre las características independientes (Post, Pre) de la componente fásica	130
7.11.	Tabla de los resultados del bastón con artefactos para la suposición de que cada característica es independiente	132
7.12.	Características que tienen diferencias significativas y el test usado para el bastón	133
7.13.	Tabla de los resultados de la pulsera Empatica para la suposición de que cada característica es independiente.	134
7.14.	Características que son significativas en ambos estudios para el bastón	136

8.1. Características significativas en el bastón con o sin movimiento 138

Índice de Ilustraciones

2.1.	Pico ideal ante un evento de estrés. Reproducido de Boucsein (2012, p. 154) [2].	4
2.2.	Puntos de medida recomendados en [2] en la página 105	5
2.3.	Transformada de Fourier del estudio de los artefactos de [3].	8
3.1.	Página principal de la página web	12
3.2.	Pantalla de inicio de Empatica Care Lab	13
3.3.	Envío de datos desde la Empatica	13
3.4.	Estados del participante que aparece en la página de Empatica Care Portal . .	14
3.5.	Imagen obtenida de la página de Empatica (Empatica Inc., 2023).	15
3.6.	Inicio de sesión en Cyberduck, imagen obtenida de [5]	16
3.7.	Carpetas con los datos de la nube de Empatica Cloud	17
3.8.	Características de la señal EDA obtenida	17
3.9.	Imagen de un electrodo del bastón.	18
3.10.	Componentes frecuenciales y frecuencia de corte de cada una	19
3.11.	Imagen tomada del bastón	20
4.1.	Partes del experimento con el participante.	24
4.2.	Protectores de ruido usados en Relax1	26
4.3.	Auriculares para escuchar la base con eventos de estrés	26
4.4.	Esquema breve de lo que hace el script Reproductor	27
4.5.	Vector de eventos	28
4.6.	Protocolo para la obtención de características en un participante.	29
4.7.	Diagrama de flujo del protocolo de obtención de características.	30
4.8.	Captura de MATLAB® de las tablas generadas.	31

4.9.	Ejemplo de Q-Q plot que indica normalidad en los datos	32
5.1.	Parámetros de un pico en la componente fásica	41
5.2.	Entradas, salidas y lazos de realimentación de la función Peaks	43
5.3.	Máquina de estados de la función Peaks	45
6.1.	Curvas de la parte de música del participante S2	48
6.2.	Curvas de la parte de música del participante S4	49
6.3.	Curvas de la parte de música del participante S5	49
6.4.	Curvas de la parte de música del participante S6	50
6.5.	Curvas de la parte de música del participante S7	51
6.6.	Curvas de la parte de música del participante S9	51
6.7.	Curvas de la parte de música del participante S11	52
6.8.	Curvas de la parte de música del participante S12	53
6.9.	Curvas de la parte de música del participante S17	53
6.10.	Curvas de la parte de música del participante S19	54
6.11.	Gráficas QQ plots de GSR máximo y mínimo.	56
6.12.	Gráficas QQ plots de GSR rango y media.	56
6.13.	Gráficas QQ plots de GSR desviación estándar y mediana.	57
6.14.	QQ plots e histograma de la característica moda de la GSR	57
6.15.	Gráficas QQ plots de tónica: máximo y mínimo.	59
6.16.	Gráficas QQ plots de tónica: rango y media.	59
6.17.	Gráficas QQ plots de tónica: desviación estándar y primer cuartil.	60
6.18.	QQ plots e histograma de la característica tercer cuartil de la tónica	60
6.19.	Gráficas QQ plots de fásica máximo y mínimo.	61
6.20.	Gráficas QQ plots de fásica rango y media.	62
6.21.	Gráficas QQ plots de fásica desviación estándar y primer cuartil.	62
6.22.	Gráficas QQ plots de fásica tercer cuartil y mediana.	63
6.23.	Gráficas QQ plots de fásica moda y media cuadrática (RMS).	63
6.24.	Gráficas QQ plots de fásica energía y strong peak.	64
6.25.	Gráficas QQ plots de fásica NumPeaks y RiseTime.	64
6.26.	Gráficas QQ plots de fásica HalfRecoveryTime y PeakEnergy.	65

6.27.	QQ plots e histograma de la característica máximo de la GSR	71
6.28.	QQ plots e histograma de la característica mínimo de la GSR	72
6.29.	QQ plots e histograma de la característica rango de la GSR	72
6.30.	QQ plots e histograma de la característica media de la GSR	73
6.31.	QQ plots e histograma de la característica desviación estándar de la GSR . . .	73
6.32.	QQ plots e histograma de la característica mediana de la GSR	74
6.33.	QQ plots e histograma de la característica moda de la GSR	74
6.34.	QQ plots e histograma de la característica máximo de la tónica	76
6.35.	QQ plots e histograma de la característica mínimo de la tónica	76
6.36.	QQ plots e histograma de la característica rango de la tónica	77
6.37.	QQ plots e histograma de la característica media de la tónica	77
6.38.	QQ plots e histograma de la característica desviación estándar de la tónica . .	78
6.39.	QQ plots e histograma de la característica primer cuartil de la tónica	78
6.40.	QQ plots e histograma de la característica tercer cuartil de la tónica	79
6.41.	QQ plots e histograma de la característica máximo de la fásica	80
6.42.	QQ plots e histograma de la característica mínimo de la fásica	80
6.43.	QQ plots e histograma de la característica rango de la fásica	81
6.44.	QQ plots e histograma de la característica media de la fásica	81
6.45.	QQ plots e histograma de la característica desviación estándar de la fásica . .	82
6.46.	QQ plots e histograma de la característica primer cuartil de la fásica	82
6.47.	QQ plots e histograma de la característica tercer cuartil de la fásica	83
6.48.	QQ plots e histograma de la característica mediana de la fásica	83
6.49.	QQ plots e histograma de la característica moda de la fásica	84
6.50.	QQ plots e histograma de la característica media cuadrática de la fásica	84
6.51.	QQ plots e histograma de la característica energía de la fásica	85
6.52.	QQ plots e histograma de la característica strong peak de la fásica	85
6.53.	QQ plots e histograma de la característica NumPeaks de la fásica	86
6.54.	QQ plots e histograma de la característica RiseTime de la fásica	86
6.55.	QQ plots e histograma de la característica HalfRecoveryTime de la fásica . . .	87
6.56.	QQ plots e histograma de la característica PeakEnergy de la fásica	87

7.1.	Curvas de la parte de música con artefactos del participante S0	96
7.2.	Curvas de la parte de música con artefactos del participante S2	97
7.3.	Curvas de la parte de música con artefactos del participante S4	97
7.4.	Curvas de la parte de música con artefactos del participante S5	98
7.5.	Curvas de la parte de música con artefactos del participante S6	98
7.6.	Curvas de la parte de música con artefactos del participante S7	99
7.7.	Curvas de la parte de música con artefactos del participante S8	99
7.8.	Gráficas QQ plots de GSR máximo y mínimo.	100
7.9.	Gráficas QQ plots de GSR rango y media.	101
7.10.	Gráficas QQ plots de GSR desviación estándar y mediana.	101
7.11.	QQ plots e histograma de la característica moda de la GSR	102
7.12.	Gráficas QQ plots de tónica: máximo y mínimo.	103
7.13.	Gráficas QQ plots de tónica: rango y media.	104
7.14.	Gráficas QQ plots de tónica: desviación estándar y primer cuartil.	104
7.15.	QQ plots e histograma de la característica tercer cuartil de la tónica	105
7.16.	Gráficas QQ plots de fásica máximo y mínimo.	106
7.17.	Gráficas QQ plots de fásica rango y media.	106
7.18.	Gráficas QQ plots de fásica desviación estándar y primer cuartil.	107
7.19.	Gráficas QQ plots de fásica tercer cuartil y mediana.	107
7.20.	Gráficas QQ plots de fásica moda y media cuadrática (RMS).	108
7.21.	Gráficas QQ plots de fásica energía y strong peak.	108
7.22.	Gráficas QQ plots de fásica NumPeaks y RiseTime.	109
7.23.	Gráficas QQ plots de fásica HalfRecoveryTime y PeakEnergy.	109
7.24.	QQ plots e histograma de la característica máximo de la GSR	116
7.25.	QQ plots e histograma de la característica mínimo de la GSR	116
7.26.	QQ plots e histograma de la característica rango de la GSR	116
7.27.	QQ plots e histograma de la característica media de la GSR	117
7.28.	QQ plots e histograma de la característica desviación estándar de la GSR . . .	117
7.29.	QQ plots e histograma de la característica mediana de la GSR	118
7.30.	QQ plots e histograma de la característica moda de la GSR	118

7.31.	QQ plots e histograma de la característica máximo de la tónica	119
7.32.	QQ plots e histograma de la característica mínimo de la tónica	120
7.33.	QQ plots e histograma de la característica rango de la tónica	120
7.34.	QQ plots e histograma de la característica media de la tónica	120
7.35.	QQ plots e histograma de la característica desviación estándar de la tónica . . .	121
7.36.	QQ plots e histograma de la característica primer cuartil de la tónica	121
7.37.	QQ plots e histograma de la característica tercer cuartil de la tónica	122
7.38.	QQ plots e histograma de la característica máximo de la fásica	123
7.39.	QQ plots e histograma de la característica mínimo de la fásica	123
7.40.	QQ plots e histograma de la característica rango de la fásica	123
7.41.	QQ plots e histograma de la característica media de la fásica	124
7.42.	QQ plots e histograma de la característica desviación estándar de la fásica . . .	124
7.43.	QQ plots e histograma de la característica primer cuartil de la fásica	125
7.44.	QQ plots e histograma de la característica tercer cuartil de la fásica	125
7.45.	QQ plots e histograma de la característica mediana de la fásica	126
7.46.	QQ plots e histograma de la característica moda de la fásica	126
7.47.	QQ plots e histograma de la característica media cuadrática de la fásica	127
7.48.	QQ plots e histograma de la característica energía de la fásica	127
7.49.	QQ plots e histograma de la característica strong peak de la fásica	128
7.50.	QQ plots e histograma de la característica NumPeaks de la fásica	128
7.51.	QQ plots e histograma de la característica RiseTime de la fásica	129
7.52.	QQ plots e histograma de la característica HalfRecoveryTime de la fásica	129
7.53.	QQ plots e histograma de la característica PeakEnergy de la fásica	130

Capítulo 1

Introducción

Es cada vez más habitual ver el uso de wearables para obtener medidas de las señales biomédicas del usuario que lo emplea como la frecuencia cardiaca. Este tipo de medidas son muy útiles para obtener el estado en el que está una persona o para poder monitorizar un paciente en cualquier momento o detectar algún problema que tenga el paciente y poder atenderle lo más rápido posible. Las personas de avanzada edad pueden rechazar dispositivos como relojes inteligentes u otro tipos de wearables. Por esta razón, el grupo de investigación ‘Electrónica para Instrumentación y Sistemas’ de la Universidad de Málaga ha construido un bastón instrumentado que es capaz de medir estas señales biomédicas, por lo que puede ser un wearable más aceptado para personas de avanzada edad.

Una de las señales biomédicas que obtiene el bastón y es de las más usadas es la conductividad de la piel o GSR (Galvanic Skin Response) a lo que ya se le ha realizado el acondicionamiento adecuado y separado en sus 2 componentes (tónica y fásica). Este Trabajo de Fin de Grado se encarga de estudiar una serie de características obtenidas de las señales (GSR, fásica y tónica) para detectar cuando el usuario que emplea el bastón ha tenido un evento de estrés. Asimismo se hace un estudio de estas mismas características cuando el bastón está siendo utilizado y por tanto hay fuertes artefactos de movimiento.

Este Trabajo de Fin de Grado se divide en una serie de capítulos. El primer capítulo trata de la creación de un protocolo para la toma de datos en participantes. En el segundo capítulo se presenta el material empleado para poder realizar los ensayos con participantes para tener

datos de la señal cuando no hay estrés y cuando hay estrés, para esto se ha empleado un sensor comercial de referencia que es la pulsera Empatica EmbracePlus, además del bastón instrumentado. En el tercer módulo, se definen una serie de características que se aplican a las ventanas obtenidas de las señales que pueden tener una duración de 5 segundos, estas características han sido recolectadas de artículos de investigación que han sido estudiadas por los autores de estos artículos y se han visto que son efectivas para la detección de estrés. A partir del cuarto módulo ya se obtienen los datos y se analizan. En esta parte se comparan los eventos donde el individuo del experimento ha tenido estrés con los datos cuando no ha tenido estrés y además se compara la respuesta del bastón frente a la de la pulsera Empatica. Se van a emplear una serie de pruebas estadísticas como Wilcoxon signed-rank o test t de Student entre otras pruebas para poder obtener un valor probabilístico que nos dice si la característica obtenida se ve influenciada por los eventos de estrés.

Tras obtener en el capítulo 4 qué características son afectadas ante eventos de estrés, en el capítulo 5 se estudia qué características son más robustas ante artefactos por movimiento.

1.1. Repositorio del Código

Todo el código utilizado en este Trabajo de Fin de Grado está disponible en el siguiente repositorio de GitHub [1].

Cada una de las funciones mencionadas a lo largo del documento puede consultarse en dicho repositorio.

Capítulo 2

Antecedentes, EDA y objetivos del TFG

2.1. Actividad electrodérmica, EDA.

2.1.1. Presentación de la EDA.

La actividad electrodérmica se caracteriza a través de una señal fisiológica que mide la conductividad de la piel. La conductividad de la piel está relacionada con la sudoración de la piel, a través, de las glándulas sudoríparas. Hay que tener en cuenta que las glándulas sudoríparas están controladas por el sistema nervioso simpático que es capaz de dar respuestas rápidas y automáticas ante situaciones de estrés, emergencia. Ya que la EDA es una señal que se ve afectada por eventos emocionales como estrés y se puede medir de una forma sencilla y sin hacer ninguna intervención que suponga un riesgo para el individuo o paciente, se ha convertido en una de las señales fisiológicas más empleadas para saber el estado emocional de una persona. La actividad electrodérmica que también se conoce como GSR o Galvanic Skin Response consta de 2 principales componentes frecuenciales que se le conocen como tónica (bajas frecuencias) y fásica (altas frecuencias):

- **Tónica:** a esta componente se le conoce también como **SCL** o Skin Conductance Level: representa el nivel basal de la conductividad de la piel y varía de forma lenta en el tiempo. Esta componente está relacionada directamente con tiempos relativamente prolongados

de relax o de estrés, en consecuencia su valor variará según si la persona está relajada o estresada.

- **Fásica:** también, se le denomina como respuesta de la conductividad de la piel o **SCR** (Skind Conductance Response). Esta componente está relacionada con cambios rápidos en la señal EDA y suelen ser debidos a eventos de corta duración como un sonido o un audio de corta duración, un susto, un escalofrío o una imagen que produzca relax o estrés. Este tipo de eventos de relativamente corta duración genera una serie de picos en la componente fásica. La estructura ideal de un pico que se puede esperar en la componente fásica ante un evento de estrés se presenta en la figura 2.1.

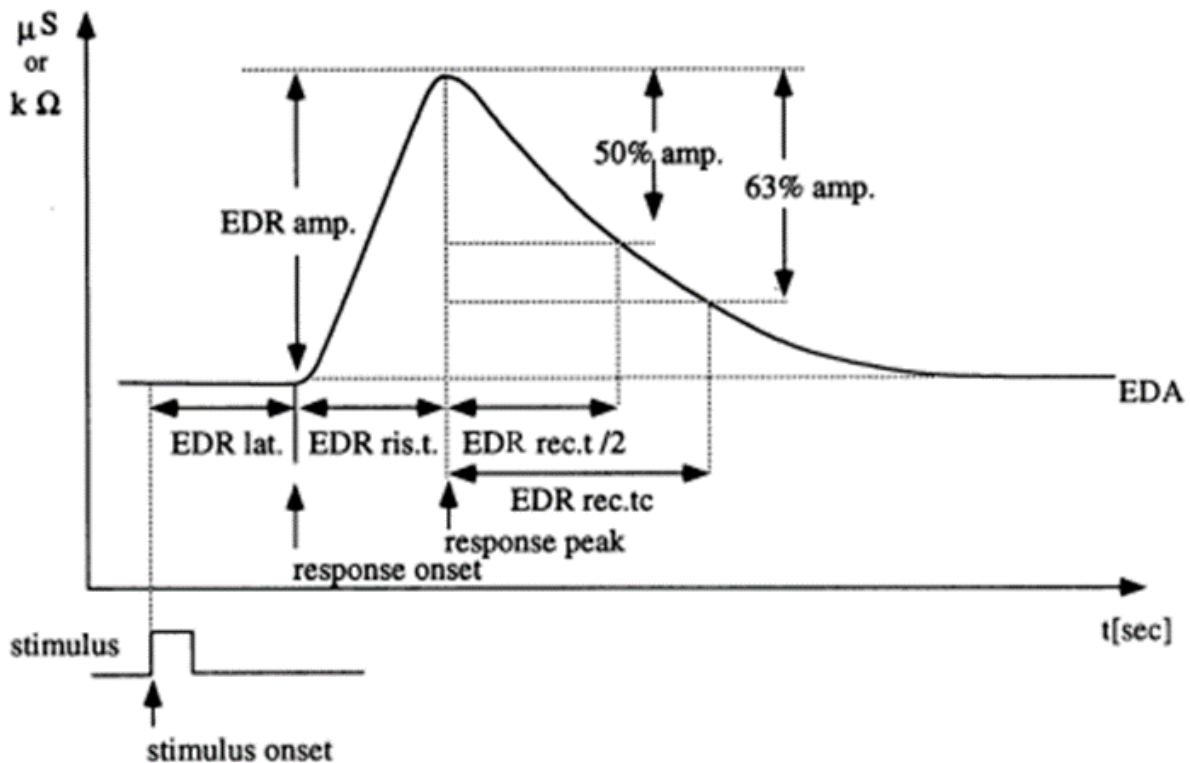


Figura 2.1. Pico ideal ante un evento de estrés. Reproducido de Boucsein (2012, p. 154) [2].

2.1.2. Problemas en la medición.

La conductividad de la piel depende de una serie de factores como son la anatomía de la piel, la densidad de glándulas sudoríparas y la constitución de su epidermis. Por estos factores

la EDA difiere completamente entre una persona y otra. Toda esta información se concentra principalmente en la parte de bajas frecuencias de la EDA que sería la componente tónica. No obstante, la parte fásica difiere entre una persona y otra ante un mismo estímulo ya que puede haber personas más sensibles ante un estímulo. La figura 2.2 muestra las mejores partes de la mano y el brazo para poder hacer la medición.

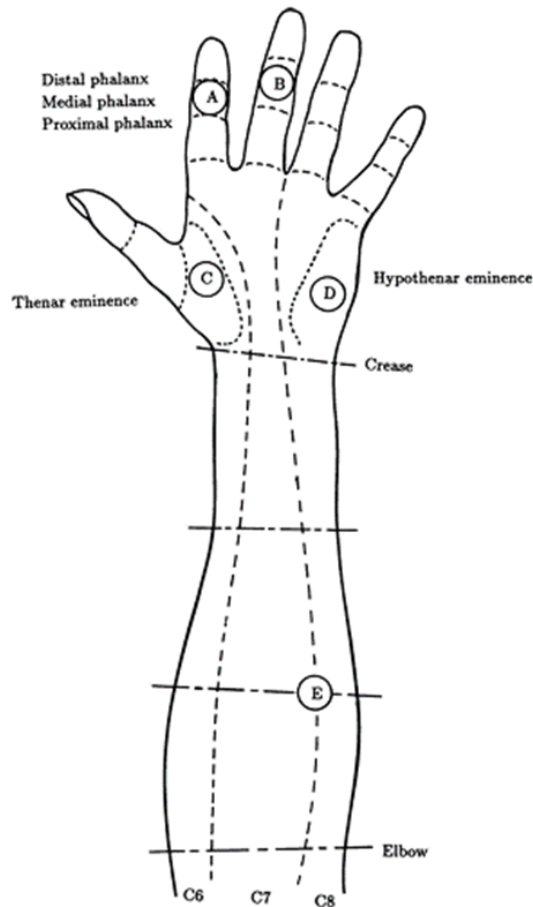


Figura 2.2. Puntos de medida recomendados en [2] en la página 105

Cuando una persona se mueve puede provocar que no haya un buen contacto con los electrodos lo que puede generar que haya artefactos en la señal y en consecuencia las características del estudio puedan indicar que hay estrés cuando realmente la persona está tranquila moviéndose con el dispositivo wearable.

2.1.3. Historia de la EDA.

La primera aparición en una investigación del fenómeno de la EDA comenzó en 1849, [2] con DuBois-Reymond, quien observó corrientes eléctricas entre extremidades en reposo y contraídas, aunque en ese momento se atribuían a potenciales musculares. En 1878, Hermann y Luchsinger demostraron en una investigación con gatos que la estimulación eléctrica del nervio ciático inducía una secreción de sudor y flujo eléctrico, relacionando las glándulas sudoríparas con el sistema nervioso. Un año después (1879) Vigoroux estableció un vínculo entre factores psicológicos y EDA, quien notó cambios en la resistencia de la piel asociados a cambios en la cantidad de anestesia en pacientes histéricos. Sin embargo, Vigoroux no atribuyó que esos cambios en la resistencia de la piel fueran procesos locales sino a cambios en la conductividad vascular la cual estaba en línea con las investigaciones de ese tiempo que consistía en el control del flujo de sangre por el sistema nervioso autónomo.

El descubrimiento del fenómeno EDA vino de la mano con Féré (1888) en Francia y Tarchanoff (1889), [2] en Rusia. Feré observó que introduciendo una corriente continua externa (método exomático) y estímulos emocionales en pacientes histéricos, la resistencia de la piel se reducía. Tarchanoff estudió el fenómeno, a través de métodos endomáticos como cálculos aritméticos, expectación, contracciones voluntarias de músculos. Las diferencias culturales y políticas que había en ese momento entre Francia y Alemania impidieron que sus trabajos se reconocieran mutuamente. Tarchanoff en 1890 mencionó que las glándulas sudoríparas están controladas por nervios que en ese tiempo no se conocían mucho.

A principios del siglo XX, el interés por la EDA creció. En 1909, Veraguth publicó una monografía ‘The psychogalvanic relex phenomenon’ que en español sería ‘El fenómeno del reflejo psicogalvánico’ que consolidó el origen psicofisiológico de la EDA, atrayendo la atención de psiquiatras y psicólogos. En las décadas siguientes, varios investigadores (como Ebbecke, Gildemeister, Richter) profundizaron en los mecanismos fisiológicos de la EDA, descartando teorías como la vasomotora o la muscular. En la década de 1930, Darrow hizo aportes pioneros como investigaciones en la metodología de obtención de señales electrodérmicas.

La mejora de los equipos y el uso del osciloscopio, polígrafo y amplificadores. Esto permitió un crecimiento notable de la investigación y de las aplicaciones de la EDA. Edelberg[2] en

la década de los años 1970, propuso modelos eléctricos de la piel incluyendo capacidades de polarización, además de ciertas características como tiempos de subida o tiempos de recuperación del pico.

Hoy en día, el estudio de la EDA para detectar estrés o algún tipo de emoción es un campo de investigación amplio y que está en auge. Desde modelos de predicción para eliminar artefactos en la señal hasta modelos de machine learning o de deep learning para poder detectar eventos de estrés. En estas investigaciones se suelen usar sensores comerciales como la pulsera Empatica o el BitBrain Ring.

2.2. Artefactos de movimiento.

El bastón instrumentado tiene la finalidad de que el usuario lo emplee como apoyo en la marcha además de medir la EDA. Sin embargo, el movimiento del bastón provoca que las lecturas tengan artefactos de movimiento, lo que puede hacer que las características obtenidas de la GSR, tónica y fásica se vean afectadas por este ruido lo que puede hacer que la detección de estrés no sea efectiva.

La señal EDA obtenida del sensor se puede modelar con con la ecuación 2.1, De la que se puede observar que si se obtiene el artefacto se puede obtener la conductividad de la piel.

$$GSR = GSR_{real} + artefacto \quad (2.1)$$

Sin embargo, en [3] se han estudiado los artefactos de movimiento y se ha encontrado que el artefacto al andar con el bastón es un ruido periódico que está relacionado con la marcha. Se puede considerar que la persona cuando anda durante un tiempo con el bastón sigue una marcha, es decir en régimen permanente, se puede considerar que el artefacto sigue una función periódica. En la figura 2.3 se pueden observar los tres armónicos más característicos de este artefacto.

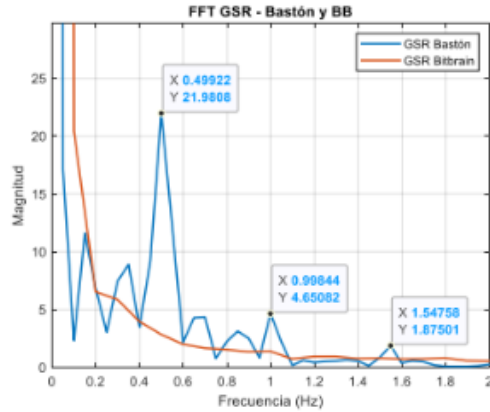


Figura 2.3. Transformada de Fourier del estudio de los artefactos de [3].

Este TFG no trata de filtrar este ruido sino que quiere ver qué características de las planteadas son capaces de detectar los eventos de estrés con el artefacto de movimiento y realizar un análisis de las características que son útiles para detectar estrés cuando el bastón no se mueve y cuando el bastón se mueve.

2.3. Objetivos de este TFG.

- Búsqueda en artículos de investigación características empleadas en wearables para la detección de estrés en la señal GSR.
- Crear algoritmos que puedan calcular estas características de la señal GSR y sus componentes frecuenciales tónica y fásica.
- Definición del protocolo del experimento con individuos para la obtención de datos y crear momentos donde va a estar el individuo tranquilo o relajado y momentos donde el individuo va a experimentar estrés o eventos de duración relativamente breve de estrés.
- Estudio de las características obtenidas de las señales de la pulsera Empatica y del bastón en el que a través de gráficas y comparación de la respuesta de los sensores a los momentos de relax y a los de estrés se van a obtener qué características se ven más afectadas al estrés.
- Utilización de pruebas estadísticas como el Student's t-test para poder determinar si

hay una diferencia estadística real entre las características cuando hay estrés y cuando no.

- Realizar de nuevo los experimentos pero esta vez en la cinta para estudiar las características cuando hay eventos de estrés controlados y artefactos de movimiento no controlados.
- Análisis de resultados y obtener que características son capaces de detectar estrés cuando el bastón está inmóvil y cuando está en movimiento.

Capítulo 3

Instrumentación utilizada en el estudio

Para la toma de datos se han utilizado dos dispositivos: el bastón instrumentado que es el sistema que se quiere estudiar, además de un sensor comercial y validado por diferentes artículos que es la pulsera Empatica EmbracePlus, como se ha mencionado previamente. A continuación, se detalla el procedimiento llevado a cabo para la correcta inicialización del proceso de adquisición de datos, así como la ubicación precisa en el cuerpo del sujeto donde se han colocado los sensores involucrados, Además, se va a comentar cómo se obtienen las señales GSR, tónica y fásica de estos sensores.

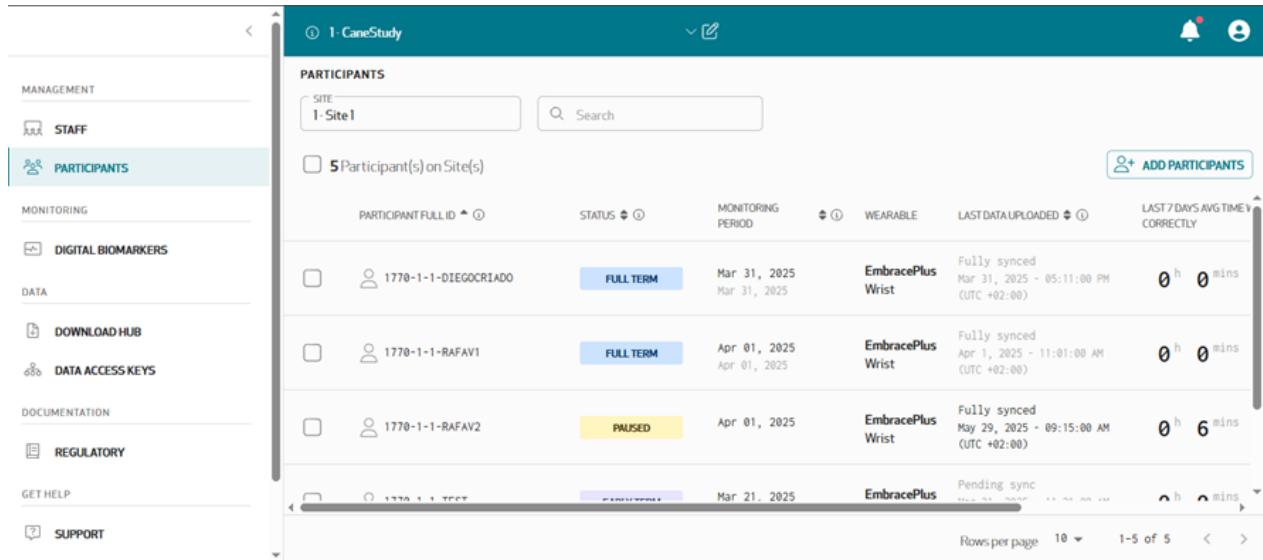
3.1. Pulsera Empatica EmbracePlus

3.1.1. Inicialización de la pulsera.

Para comenzar la toma de datos de la pulsera Empatica EmbracePlus, se deben realizar una serie de pasos comentados en el manual de la plataforma [4].

Lo primero es encender la pulsera Empatica EmbracePlus, con esta acción la pulsera empieza a buscar un dispositivo Bluetooth para emparejarse. El siguiente paso es tener descargada la aplicación ‘Empatica Care Lab’ y conectarse a la Empatica a través de la opción de Bluetooth del Smartphone para que haga de maestro y la Empatica de esclavo. En la

aplicación de teléfono móvil va a pedir unas credenciales para continuar que se crean desde la página web Empatica Care Portal, estas credenciales hacen referencia a un paciente. Para generar unas credenciales para un participante debemos dar la opción 'Add Participants'. En la Figura 3.1 , se muestra la página principal de la página web de Empatica Care Portal.



The screenshot displays the Empatica Care Portal interface. On the left is a navigation sidebar with categories: MANAGEMENT (STAFF, PARTICIPANTS), MONITORING (DIGITAL BIOMARKERS), DATA (DOWNLOAD HUB, DATA ACCESS KEYS), DOCUMENTATION (REGULATORY), and GET HELP (SUPPORT). The main content area is titled 'PARTICIPANTS' and shows a search bar for 'SITE 1 Site1' and a count of '5 Participant(s) on Site(s)'. An 'ADD PARTICIPANTS' button is visible. Below is a table of participants with columns for Participant Full ID, Status, Monitoring Period, Wearable, Last Data Uploaded, and Last 7 Days Avg Time Correctly.

PARTICIPANT FULL ID	STATUS	MONITORING PERIOD	WEARABLE	LAST DATA UPLOADED	LAST 7 DAYS AVG TIME CORRECTLY
1770-1-1-DIEGOCRIADO	FULL TERM	Mar 31, 2025 Mar 31, 2025	EmbracePlus Wrist	Fully synced Mar 31, 2025 - 05:11:00 PM (UTC +02:00)	0 h 0 mins
1770-1-1-RAFAV1	FULL TERM	Apr 01, 2025 Apr 01, 2025	EmbracePlus Wrist	Fully synced Apr 1, 2025 - 11:01:00 AM (UTC +02:00)	0 h 0 mins
1770-1-1-RAFAV2	PAUSED	Apr 01, 2025	EmbracePlus Wrist	Fully synced May 29, 2025 - 09:15:00 AM (UTC +02:00)	0 h 6 mins
1770-1-1-TSET	PAUSED	Mar 21, 2025	EmbracePlus	Pending sync	0 h 0 mins

Figura 3.1. Página principal de la página web

Si pulsamos la opción de añadir participantes, nos muestra una serie de opciones para introducir el ID del participante y se genera un código QR o una serie de códigos alfanuméricos que deben ser procesados por la aplicación del teléfono móvil, a través de una opción de la aplicación. Tras la introducción de las credenciales, la Empatica ya estaría leyendo datos de los sensores y en la aplicación del Smartphone debe aparecer una pantalla igual a la de la Figura 3.2.

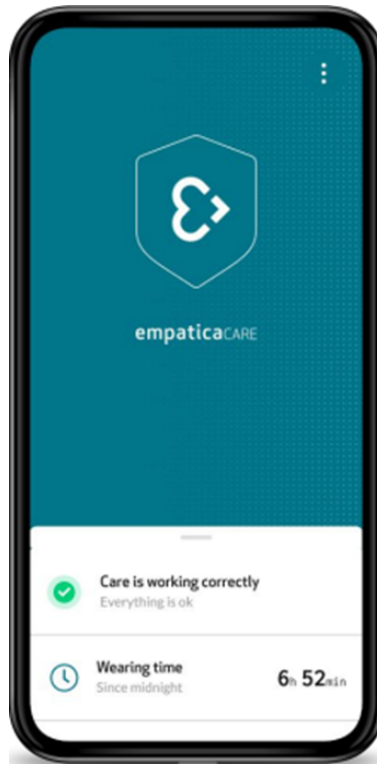


Figura 3.2. Pantalla de inicio de Empatica Care Lab

En la figura 3.3 se muestra cómo se hace el proceso de envío de datos de la pulsera hacia la nube y después al ordenador.

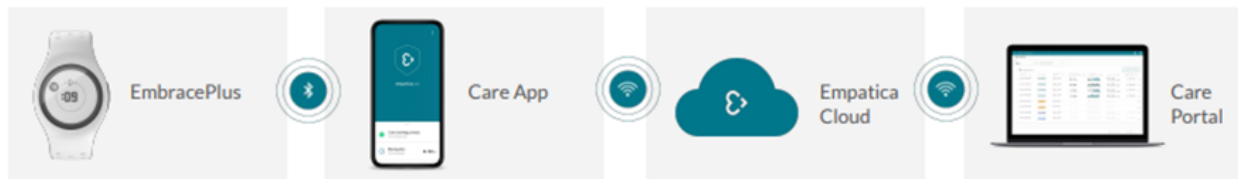


Figura 3.3. Envío de datos desde la Empatica

Este envío de datos se realiza de la siguiente forma: la Empatica recoge los datos y son enviados al Smartphone por Bluetooth, el Smartphone que tiene acceso a internet los envía a la nube de 'Empatica Cloud', donde los datos son almacenados. Cuando se ha finalizado la toma de datos ya se pueden descargar los datos desde la página web 'Empatica Care Portal'. Si se quiere finalizar con la toma de datos, se debe dar en el Smartphone a la opción de 'Logout' y con esta opción la Empatica manda los últimos datos que tenga la pulsera y se apaga la pulsera de forma automática. Desde la página web y cuando se ha realizado el proceso para

crear las credenciales de un participante, se puede ver que los participantes pueden tener un tipo de estado distinto a otro. En la Figura 3.4 se muestra qué tipo de estados se pueden dar.

WAITING	Participant login credentials have been generated, but have not yet been used to pair EmbracePlus with the Care App.
MONITORING	The Participant has paired EmbracePlus and has been uploading data (Last Data Sync).
PAUSED	The Participant Monitoring has logged out and therefore the data collection is paused
EARLY TERM	The Participant has been withdrawn from the Study before having completed it.
FULL TERM	The Participant has completed the Study.

Figura 3.4. Estados del participante que aparece en la página de Empatica Care Portal

- **Waiting:** se han generado las credenciales del participante pero no se han registrado sus credenciales.
- **Monitoring:** se han generado las credenciales y la Empatica EmbracePlus ya está leyendo los datos.
- **Paused:** se ha realizado un log out del participante y se ha parado con la recolección de los datos.
- **Early term:** se ha retirado al participante del estudio, antes de que se haya completado el estudio.
- **Full term:** el participante ha completado el estudio.

3.1.2. Punto de medida de la Empatica en el paciente

El punto de medida de la Empatica debe ser en el brazo. Sin embargo se recomienda para este caso cerca del punto E de la figura 2.2. En la figura 3.5 se puede ver cual es el sitio idóneo para ponerse la pulsera Empatica EmbracePlus.



Figura 3.5. Imagen obtenida de la página de Empatica (Empatica Inc., 2023).

3.1.3. Acceso de los datos

Para poder obtener los datos en el PC y poder tratarlos con programas, es necesario introducir una serie de pasos que se mencionan en [5].

Es necesario tener descargado Cyberduck, desde ahí hay que seleccionar 'Amazon S3', introducir una serie de credenciales en los campos adecuados. Se deja en la Figura 3.6 la pantalla que aparece para introducir las credenciales.

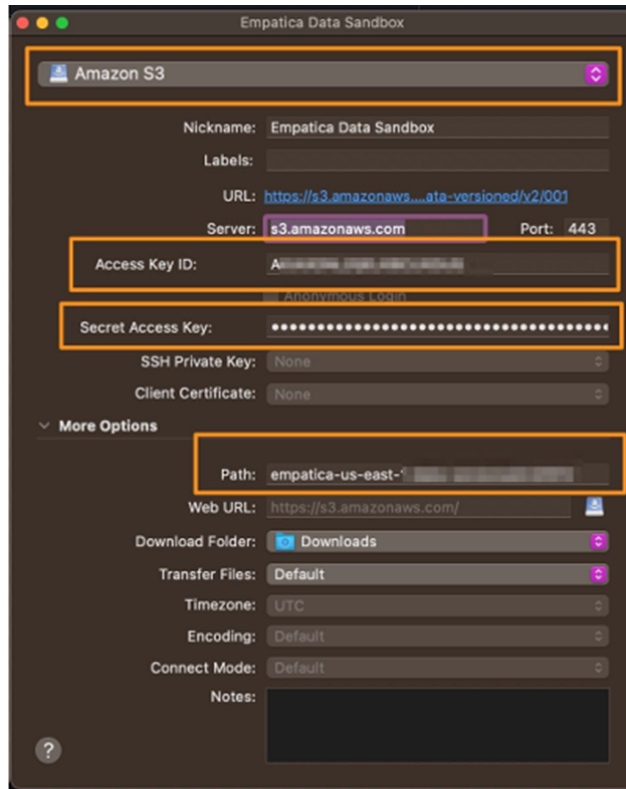


Figura 3.6. Inicio de sesión en Cyberduck, imagen obtenida de [5]

Tras introducir las credenciales, ya se pueden acceder a las carpetas donde están los datos. En la Figura 3.7, se deja una captura de las carpetas con los datos.

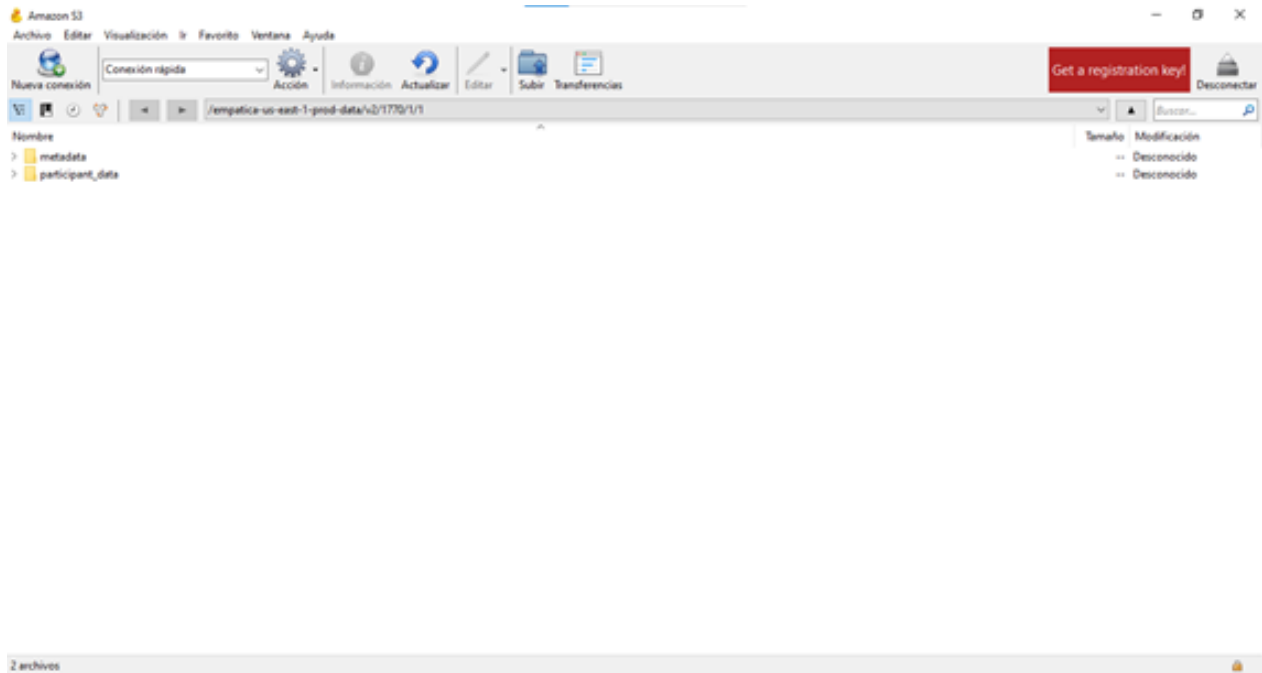


Figura 3.7. Carpetas con los datos de la nube de Empatica Cloud

Según el manual [4], las características de la señal EDA se muestran en la figura 3.8, donde la frecuencia de muestreo es de 4 Hz.

Measurement Method	EDA is measured by analyzing detected changes in the conductivity of the superficial layers of the skin.
Measurement Range	0.01 μ S - 100 μ S
Resolution	1 digit ~ 55 pS

Figura 3.8. Características de la señal EDA obtenida

3.2. Bastón instrumentado con sensor GSR

Este trabajo parte ya de otro Trabajo Fin de Master [3] realizado en el grupo de investigación que parte este TFG. En este Trabajo Fin de Master se diseña y construye el bastón instrumentado que se emplea en este TFG. Por esto es importante señalar unos ciertos detalles

Como ya se ha mencionado la EDA es la resistencia que ofrece la piel ante el paso de la corriente eléctrica. Por esto el bastón tiene un sensor de conductividad que consiste en dos

electrodos de cobre de aproximadamente de 5x7mm. Como el cobre se oxida en presencia del sudor que es una solución salina entonces se bañado en una pintura conductora de plata. Como se muestra en la Figura 3.9

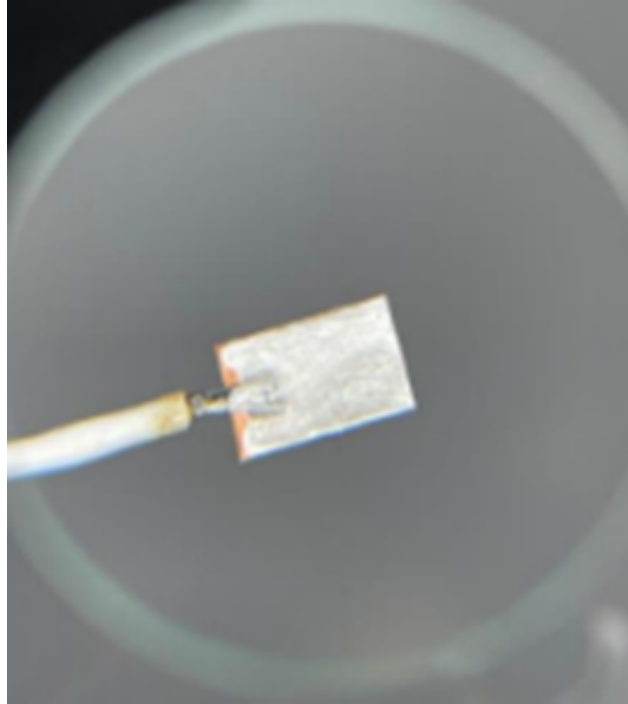


Figura 3.9. Imagen de un electrodo del bastón.

La EDA se obtiene de las medidas del bastón y se le aplica un filtro paso bajo de frecuencia de corte de 1,67Hz. Las componentes frecuenciales de la EDA son obtenidas aplicando un filtro paso bajo a la señal GSR para obtener la componente tónica de frecuencia de corte de 0,05Hz, tras obtener esta componente, la fásica se obtiene de la resta de la EDA a la tónica. En la Figura 3.10, se deja un esquema que representa la frecuencia de corte de 0,05Hz que divide a cada parte de la EDA.

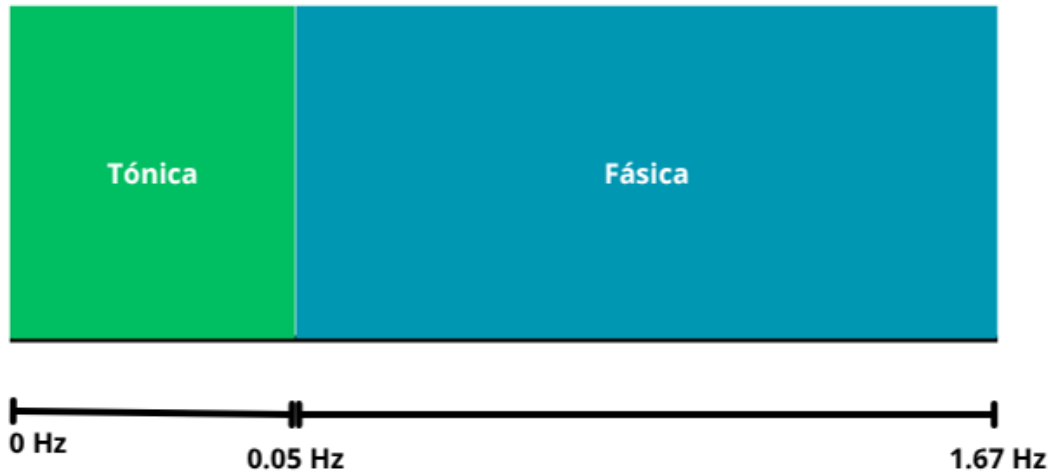


Figura 3.10. Componentes frecuenciales y frecuencia de corte de cada una

3.2.1. Inicialización del bastón para poder tomar medidas

En esta sección se va a explicar cómo configurar el bastón para que empiece a medir la señal GSR. Lo primero a tener en cuenta es que el bastón es un prototipo que tiene ciertos módulos no realizados aún como es la comunicación inalámbrica con el Smartphone o un ordenador por lo que la comunicación es vía USB con el ordenador. Este prototipo y una app MATLAB[®] fueron realizados en un TFM anterior que es el 'Estudio y compensación de las interferencias de movimiento en un sensor GSR en bastón instrumentado' realizado por Rafael Villalba [3]. Tras la conexión del bastón al PC, ya solo se puede abrir la app en MATLAB[®]. Con esta app se indica la dirección del ordenador donde guardar los datos, el puerto COM donde está conectado el bastón y se le da a la opción de que empiece a grabar los datos y cuando queramos finalizar de grabar se da a la opción de desconectar y se cargan los datos en la dirección que le hemos dado.

En la Figura 3.11, se muestra una imagen representativa del bastón.

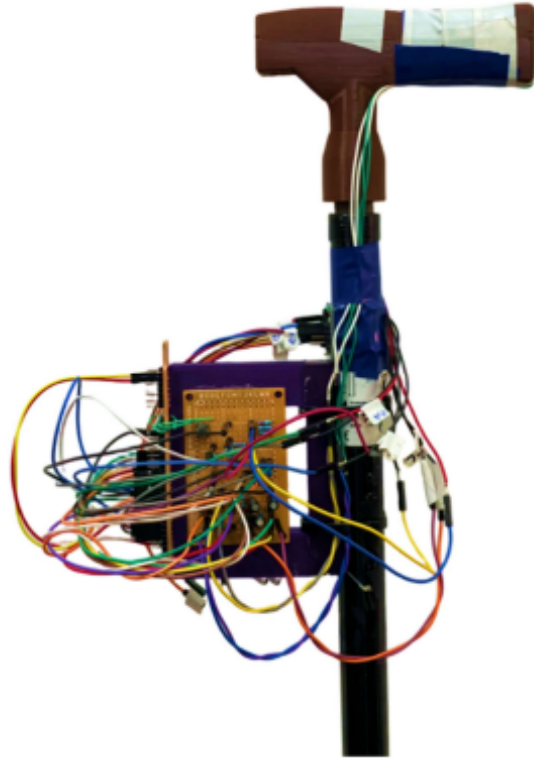


Figura 3.11. Imagen tomada del bastón

3.2.2. Punto de Medida

La posición a la hora de coger un bastón hace que el punto de medida esté en el punto C de la Figura 2.2, en la Eminencia Tenar de la mano.

3.3. Tratamiento de la señales medidas por ambos sensores

De ambos sensores solo se obtiene la EDA y no nos dan sus 2 componentes frecuenciales que son la tónica y fásica. El proceso de obtención de ambas componentes es igual en ambos sensores.

Para obtener la componente Tónica de la GSR se aplica un filtro de media móvil que es un filtro FIR (finite impulse response) pasa baja de frecuencia de corte de 0,05Hz. La expresión matemática que modela el filtro está expresada en la ecuación 3.1.

$$y[n] = \frac{1}{N} \sum_{k=0}^{N-1} x[n-k] \quad (3.1)$$

Se toman $N=40$ muestras debido a que la frecuencia de muestreo es de 4Hz, el número de muestras se puede obtener de la ecuación 3.2.

$$N \approx \frac{f_s}{2f_c} = \frac{4}{2 \cdot 0,05} = 40 \quad (3.2)$$

Con la componente tónica y la EDA ya se puede obtener la componente fásica SCR con la ecuación 3.3.

$$\text{SCR}_{\text{fásica}} = \text{EDA} - \text{SCL}_{\text{tónica}} \quad (3.3)$$

Capítulo 4

Protocolos aplicados en el TFG y pruebas estadísticas

4.1. Protocolo de toma de datos del participante

4.1.1. Protocolo para el participante está inmóvil con el bastón.

En este TFG es clave la obtención de datos en individuos reales. Para ello un mismo individuo debe estar sometido a momentos en los que está relajado y momentos en los que está estresado. Por esto mismo el protocolo para el experimento con individuos debe tener eventos de relax como eventos de estrés.

Antes de realizar el experimento se le describe al individuo el experimento de forma breve y se le deja una hoja de consentimiento que es necesario que esté firmada antes de realizar las pruebas. El protocolo empleado se muestra en la figura 4.1.

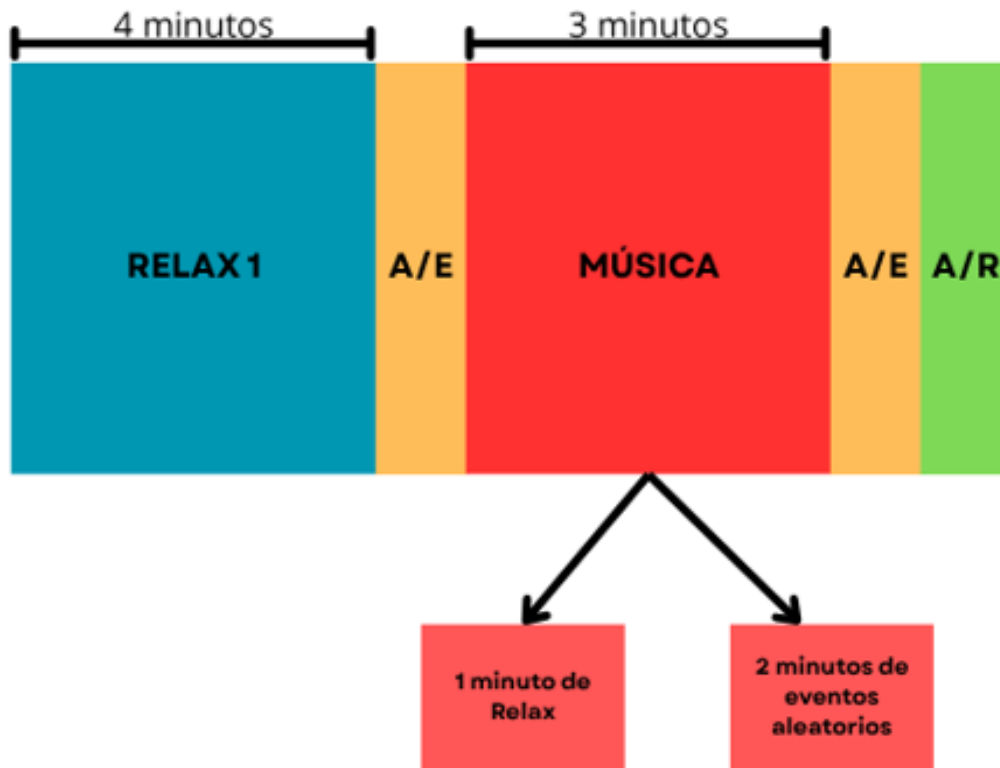


Figura 4.1. Partes del experimento con el participante.

El protocolo tiene 2 partes que se le denominan Relax1 y Música. En este protocolo se emplean los cuestionarios de Ansiedad Estado-Rasgo ‘STAI’ que fueron creados por C.D. Spielberger y R. L., y Lushene, R. E.[6] Este protocolo es muy empleado por psicólogos para conocer si tiene ansiedad o estrés el paciente. El test se subdivide en 2 cuestionarios.

- **Ansiedad como Estado (A/E):** Mide el nivel de ansiedad o de estrés en el momento en el que se hace el test, por esto se realiza después de cada parte.
- **Ansiedad como Rasgo (A/R):** determina cómo se siente la persona regularmente, es decir, determina si la persona es más relajada o es más sensible a eventos.

Estos test constan de 20 preguntas que consisten en la selección de un número del 0(Nada) al 3(Mucho). Según la puntuación del test A/E se puede determinar si el participante ha sufrido estrés en la parte de Música o si en la parte de relax ha estado relajado. Este test se emplea para conocer si los datos obtenidos representan realmente el estado de la persona.

Estos tests se realizan en un folio con el test impreso y la persona puede sentarse en una silla para realizar los tests.

hay algunos artículos que realizan experimentos de este tipo o del tipo entrevista como se comenta en [7], hay otros artículos que para generar un evento de estrés emplea imágenes, como en [8].

La parte más interesante del protocolo implementado es la parte de eventos de música que es con la que se va a trabajar debido a que tiene una parte de relajación (1 minuto) en la que el participante no debe tener estrés y tras esta parte hay 2 minutos en los que el participante va a tener 6 eventos de estrés repartidos en este tiempo.

El procedimiento después de explicarle los datos más importantes que debe conocer el usuario, se le menciona cómo debe coger el bastón con la mano izquierda y apoyar el peso en él. La pulsera Empatica se coloca en la mano derecha por encima de la muñeca como se ha mencionado en la parte de Material empleado Empatica. El individuo debe estar quieto y mover lo menos posible las manos para evitar artefactos en las señales recogidas.

Cuando los sensores han terminado su régimen transitorio (20 o 30 segundos) en el que las medidas no son muy fiables ya que necesita estabilizarse la señal. Cuando el sensor se encuentra en régimen permanente y el sensor sigue la conductividad de la piel se anota el tiempo de inicio. Cuando ha pasado 4 minutos en el momento de Relax1 o en el momento de Música se finaliza la prueba. Este tiempo es importante para escoger correctamente los momentos en las señales obtenidas por los dispositivos de medida.

Tras las aclaraciones ya se puede explicar cada una de las partes, mencionadas en la figura 4.1.

- **Relax1:** el participante debe colocarse unos protectores de ruido como los de la figura 4.2 y estar alrededor de 5 minutos sin moverse. Aunque la ventana de Relax1 va a ser de 4 minutos se deja más tiempo para la estabilización de la señal GSR. Pasado los 5 minutos se le avisa de que ha finalizado la prueba y se rellena el test A/E. Cuando ya lo ha rellenado puede descansar si lo necesita.



Figura 4.2. Protectores de ruido usados en Relax1

Esta parte del estudio sirve solo para observar si el individuo está relajado durante el experimento. Además se ha usado para comparar la calificación del cuestionario A/E con la de la parte de música.

- **Música:** la parte de música es la que tiene una duración de la ventana de 3 minutos. En esta parte consiste en introducir estímulos auditivos que puedan generar un estrés como zumbidos, gritos, balazos, sonido de alarma, pitido de un coche de corta duración, en una base tranquila como sonidos de bosque o sonido de las olas del mar entre otros. Para la realización de esta parte se ha implementado un algoritmo en MATLAB®. El participante debe estar quieto durante esta prueba y con los sensores puestos, además de que lleva puestos unos auriculares para escuchar la música como los de la figura 4.3.



Figura 4.3. Auriculares para escuchar la base con eventos de estrés

Tras la realización de todas las partes mencionadas en la figura 4.1 se realiza el guardado

de los datos. Los del bastón se guardan en la dirección que se puso en el programa y los de la Empatica se almacenan en la nube.

4.1.1.1. Reproductor

Se va a mencionar brevemente el funcionamiento del script de generación de eventos de estrés, se puede encontrar en [1]. El script debe crear una canción que tenga una base tranquila como son ruidos del bosque, lluvia, mar y unas partes donde se genera estrés como son pitidos de coche, alarma de un despertador, ruidos de una motosierra, ruidos de la maquinaria de una obra entre otros. Se deja en la figura 4.4 un esquema simple de cómo funciona este algoritmo.

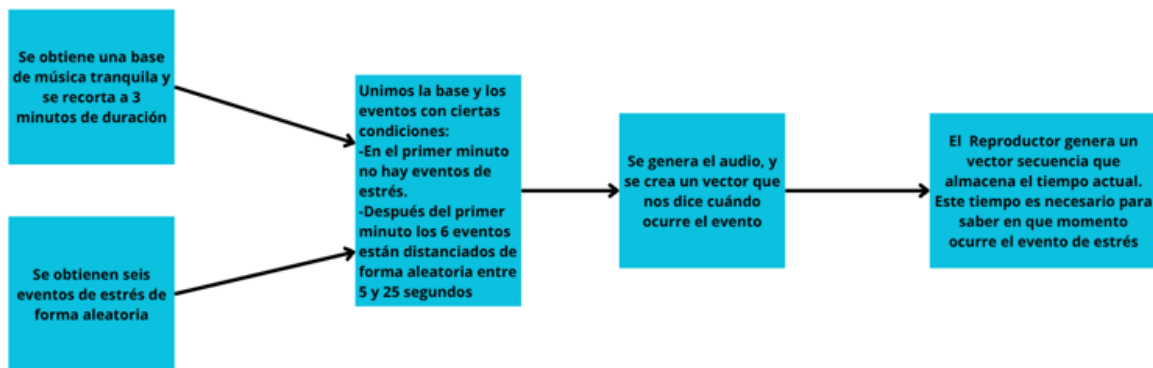


Figura 4.4. Esquema breve de lo que hace el script Reproductor

Si se ejecuta el script nos dará una gráfica como la de la figura 4.5.

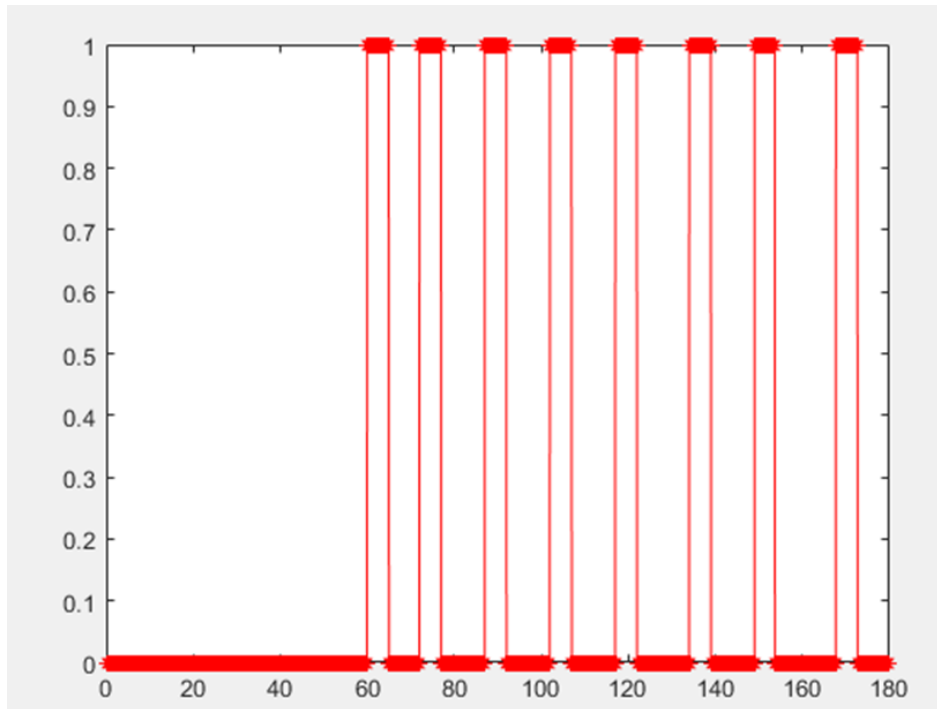


Figura 4.5. Vector de eventos

En rojo se muestra lo que ya se ha reproducido del audio.

4.1.2. Protocolo de toma de datos en la cinta de correr.

El protocolo para la cinta de correr varía ligeramente del protocolo para el participante quieto.

Se le enseña al participante a cómo andar correctamente con el bastón antes de subirse a la cinta de correr. Cuando el participante ha tomado soltura a la hora de andar con el bastón se puede subir a la cinta. No obstante, el participante tiene un periodo de adaptación en la cinta y utiliza la mano derecha para apoyarse en uno de los soportes de la cinta. La velocidad a la que va la cinta de correr es de 1 km/h.

El protocolo con el bastón inmóvil y que andando con el bastón sigue la misma estructura que se menciona en la figura 4.1. Se ha colocado el bastón en la mano izquierda por lo tanto la pierna derecha y el bastón deben ir sincronizados en la marcha. Se ha colocado la pulsera Empatica en la mano derecha. La duración de las pruebas es la misma que en el protocolo del participante inmóvil, incluyendo que hay que dejar un periodo de estabilización de la EDA.

4.2. Protocolo para el procesamiento de los datos

Para la obtención de las características, es necesario seguir un protocolo que permita crear dos grupos: uno con ventanas de relajación y otro con ventanas de estrés. Este protocolo se resume en la figura 4.6.

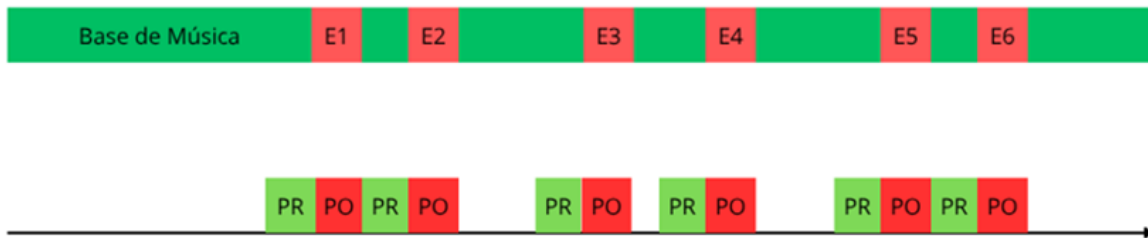


Figura 4.6. Protocolo para la obtención de características en un participante.

Con el objetivo de aprovechar los datos obtenidos y dado que los participantes han respondido a los eventos, se seleccionan 6 ventanas para cada grupo por participante. Se consideran las ventanas pre-evento, anteriores a la ocurrencia del evento, y las ventanas post-evento, posteriores a dicho evento.

Para implementar este protocolo se ha desarrollado un script en MATLAB[®], cuyo funcionamiento se explica mediante el esquema de la figura 4.7.

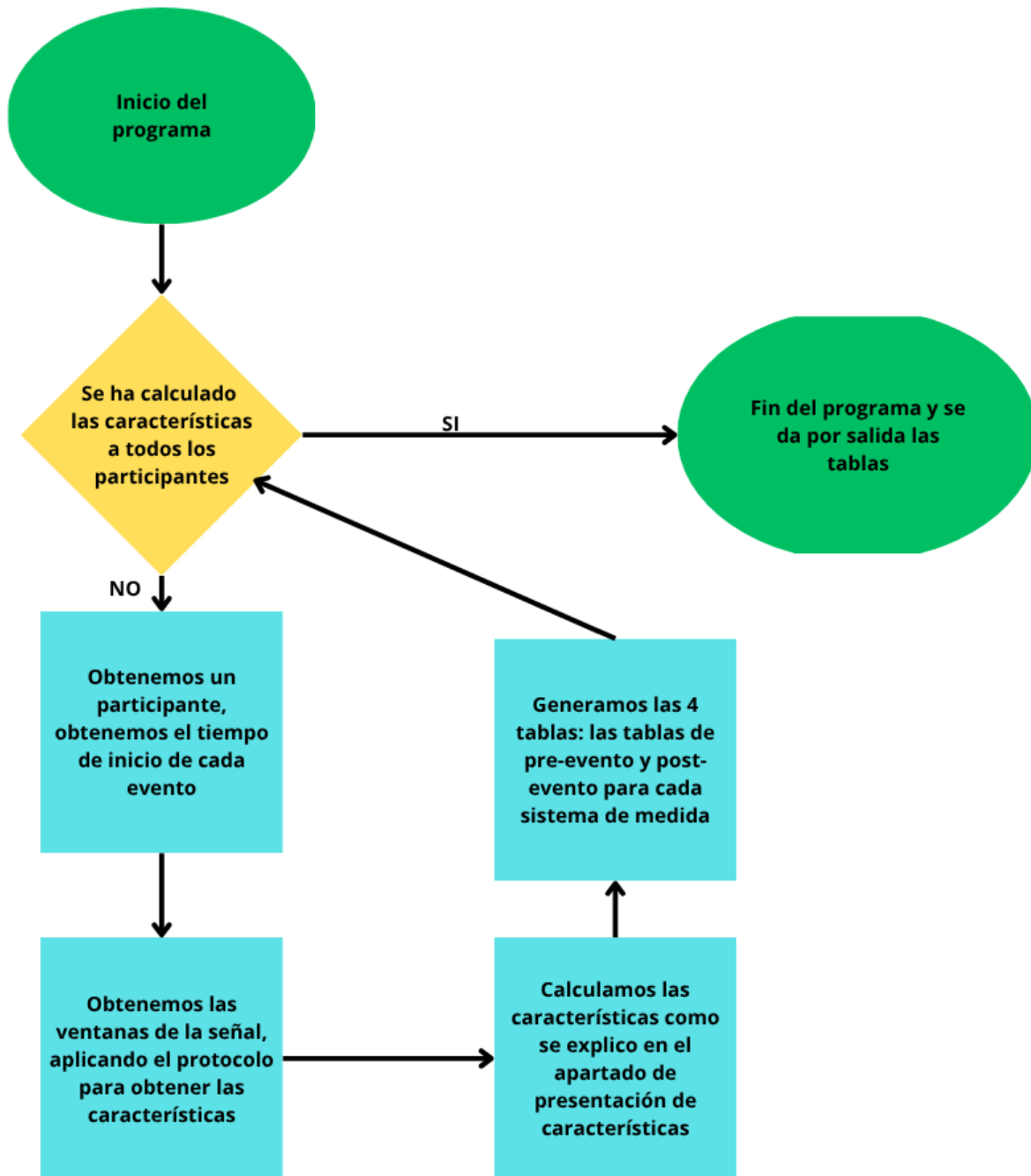


Figura 4.7. Diagrama de flujo del protocolo de obtención de características.

Tras la ejecución del programa descrito en el esquema 4.7, se obtienen cuatro tablas con nombres similares al mostrado en la figura 4.8.

tablecanepostevent	60x31 table
tablecanepreevent	60x31 table
tableempaticapos...	60x31 table
tableempaticapre...	60x31 table

Figura 4.8. Captura de MATLAB[®] de las tablas generadas.

4.3. Pruebas estadísticas utilizadas

Para determinar si una característica presenta diferencias significativas entre condiciones (estrés vs. no estrés), es necesario aplicar pruebas estadísticas apropiadas. En este estudio se han utilizado principalmente la prueba *t* de Student para muestras pareadas y el test de Wilcoxon signed-rank. Ambas pruebas permiten contrastar si las diferencias observadas en las características son estadísticamente significativas. Además, se ha realizado un estudio para muestras independientes donde se han empleado la prueba *t* de Student y la prueba de Wilcoxon Mann-Whitney U.

Sin embargo, la aplicación correcta de estos tests requiere que los datos cumplan ciertas condiciones. Concretamente, la prueba *t* exige que la variable analizada siga una distribución normal. Para verificar esta condición, se han utilizado representaciones gráficas como los *Q-Q plots* y pruebas formales de normalidad, como el test de Shapiro-Wilk.

4.3.1. Q-Q Plots (*Quantile-Quantile Plots*)

Este tipo de representación gráfica fue introducido por Wilk y Gnanadesikan (1968), quienes lo propusieron como una herramienta visual eficaz para detectar discrepancias en la forma, dispersión y simetría de distribuciones empíricas. En este trabajo, los *Q-Q plots* se emplean para evaluar si los datos de una característica siguen una distribución normal.

El gráfico consiste en representar los cuantiles ordenados de la muestra frente a los cuantiles correspondientes de una distribución teórica, en este caso la normal estándar. Si ambas distribuciones son similares, los puntos se alinean aproximadamente sobre una línea recta con pendiente 1 y ordenada en el origen igual a 0.

Según Wilk y Gnanadesikan [9], el *Q-Q plot* permite identificar de forma visual si una

muestra sigue una distribución teórica, además de detectar posibles sesgos, asimetrías y valores atípicos (outliers). Por ejemplo, si los cuantiles inferiores se alejan más de la mediana que los superiores, se evidencia una asimetría negativa en la distribución. Este análisis visual resulta útil sin necesidad de aplicar transformaciones adicionales a los datos.

No obstante, los *Q-Q plots* deben considerarse una herramienta complementaria a pruebas estadísticas formales de normalidad, como el test de Shapiro-Wilk, y no una prueba concluyente por sí sola.

En la Figura 4.9 se muestra un ejemplo de *Q-Q plot* donde se aprecia que, aunque existen algunos valores alejados de la línea, la mayoría de los datos se alinean correctamente, lo que sugiere que la muestra sigue aproximadamente una distribución normal.

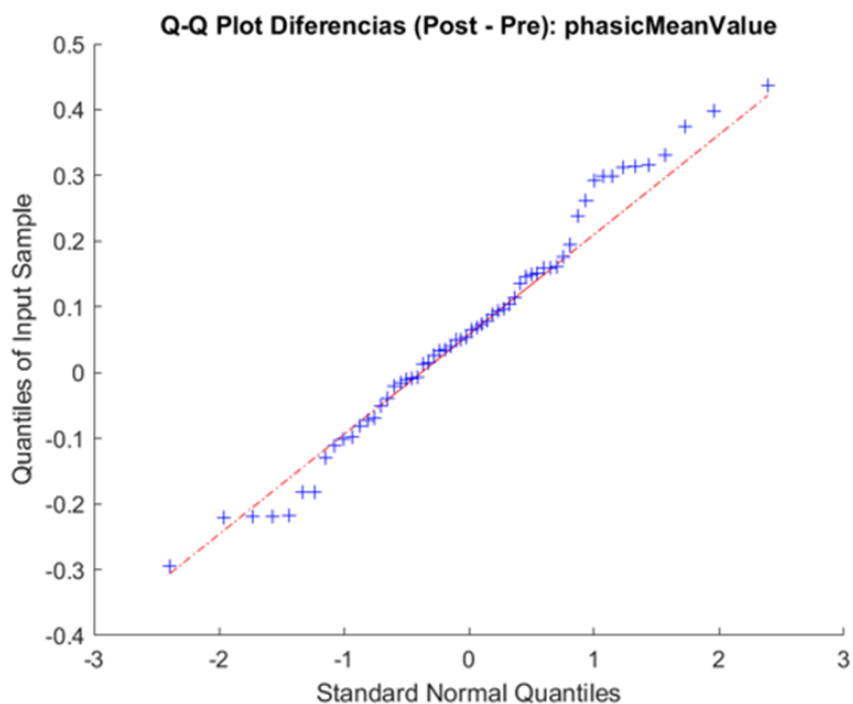


Figura 4.9. Ejemplo de Q-Q plot que indica normalidad en los datos

4.3.2. Test de Shapiro-Wilk

El test de Shapiro-Wilk es una prueba estadística que evalúa si los datos de una muestra provienen de una distribución normal. Fue introducido por Samuel S. Shapiro y Martin B. Wilk en su artículo [10]. El estadístico de prueba, denotado como \mathbf{W} , mide el grado de ajuste de los datos a una distribución normal. Este estadístico se basa en los estadísticos de orden

de la muestra y se calcula mediante la ecuación 4.1.

$$W = \frac{\left(\sum_{i=1}^n a_i x_{(i)}\right)^2}{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} \quad (4.1)$$

Donde:

- $x_{(i)}$ representa el i -ésimo valor ordenado de la muestra,
- \bar{x} es la media aritmética de la muestra,
- a_i son coeficientes constantes que dependen del tamaño muestral y se obtienen a partir de la matriz de covarianza esperada de una muestra normal estándar.

El valor del estadístico \mathbf{W} está en el intervalo $(0, 1]$, siendo los valores cercanos a 1 indicativos de que la muestra sigue una distribución normal. Si el valor de \mathbf{W} es significativamente menor que 1, se rechaza la hipótesis nula de normalidad. El test también proporciona un valor de probabilidad o *p-value*. Si este valor es inferior a un umbral (comúnmente 0.05), se concluye que los datos no siguen una distribución normal.

En el caso de muestras pareadas, como en las pruebas t para muestras dependientes, la normalidad se evalúa sobre las diferencias entre pares. Es decir, se calcula la diferencia entre las observaciones del grupo pre-evento y del grupo post-evento, y se aplica el test de Shapiro-Wilk sobre dichas diferencias. Por ejemplo, para la característica *phasicMeanValue* que es la que está representada en la figura 4.9, el test arrojó un *p-value* de 0.550919, valor superior al umbral de 0.05, por lo que se acepta la hipótesis de normalidad.

El test de Shapiro-Wilk está considerado como uno de los más potentes para detectar desviaciones de la normalidad, y es especialmente adecuado para tamaños muestrales pequeños o moderados, como los que se manejan en este estudio. Desde su publicación, ha sido ampliamente adoptado en disciplinas científicas, convirtiéndose en una herramienta clave en análisis estadísticos tanto exploratorios como confirmatorios.

Con el conocimiento de si una característica sigue una distribución normal, es posible aplicar los tests de significancia adecuados para comparar los valores en la condición sin estrés y en la condición con estrés. En este trabajo se emplea la prueba t de Student para muestras pareadas cuando se verifica la normalidad (mediante Q-Q plots y test de Shapiro-

Wilk), y el test de Wilcoxon pareado cuando no se cumple dicha condición. A continuación, se describen brevemente ambos tests.

4.3.3. Test t de Student para muestras pareadas

El *t-test de Student* fue introducido en 1908 por el estadístico William Sealy Gosset, quien publicó bajo el seudónimo *Student*. Su objetivo era desarrollar herramientas estadísticas válidas para muestras pequeñas.

El *t-test para muestras pareadas* es una prueba paramétrica que compara las medias de dos conjuntos de datos relacionados. Es útil en estudios donde un mismo sujeto es evaluado en dos condiciones distintas, como en este caso, donde se mide al participante durante una fase de relajación y otra de estrés. A diferencia del t-test para muestras independientes, esta prueba analiza las diferencias dentro de cada par de observaciones, lo que mejora la sensibilidad estadística al reducir la variabilidad intersujeto [11].

Los supuestos fundamentales del test son los siguientes [12]:

- **Emparejamiento natural de los datos:** Cada par de observaciones debe corresponder al mismo individuo o unidad experimental bajo dos condiciones distintas.
- **Independencia de las diferencias:** Las diferencias entre pares deben ser independientes entre sí.
- **Normalidad de las diferencias:** Las diferencias entre observaciones pareadas deben seguir una distribución normal. Este supuesto se verifica mediante Q-Q plots y el test de Shapiro-Wilk.

4.3.4. Test de Wilcoxon para muestras pareadas (*Wilcoxon signed-rank*)

Cuando no se cumple la normalidad requerida por el t-test pareado, se recomienda utilizar una prueba no paramétrica como el test de los rangos con signo de Wilcoxon. Este fue propuesto por Frank Wilcoxon en 1945 [13].

A diferencia de las pruebas paramétricas, este test utiliza los rangos y signos de las diferencias para evaluar si hay efecto, siendo más robusto ante violaciones de normalidad. Se

basa en comparar dos condiciones (por ejemplo, relajación y estrés) dentro del mismo sujeto, utilizando la mediana de las diferencias como estadístico central.

Las hipótesis del test son [14]:

- **Hipótesis nula (H_0):** La mediana de las diferencias entre pares es igual a cero (no hay efecto).
- **Hipótesis alternativa (H_1):** La mediana de las diferencias es distinta de cero (existe un efecto).

Los requisitos para su aplicación son:

- Observaciones emparejadas e independientes entre sí.
- Las diferencias deben ser ordinales o superiores.
- Las diferencias deben ser simétricas respecto a la mediana (no necesariamente normales).

El test devuelve un *p-value*; si este es menor a 0.05, se rechaza la hipótesis nula, indicando que la característica analizada presenta diferencias significativas entre las dos condiciones.

4.3.5. Test t de Student para muestras independientes

Este test es similar al t-test para muestras pareadas, pero se utiliza cuando los grupos a comparar son independientes entre sí. En este contexto, se compara la media del grupo en condición pre-evento con la del grupo en condición post-evento, evaluando si existe una diferencia significativa entre ambos.

Los requisitos para su aplicación son [15]:

- Ambas muestras deben seguir una distribución normal.
- Los grupos deben ser independientes entre sí.
- Deben tener varianzas homogéneas. Si no se cumple este último requisito, se utiliza el test de Welch, que no requiere igualdad de varianzas.

Este test también proporciona un *p-value*, y si este es inferior a 0.05, se rechaza la hipótesis nula, concluyendo que hay diferencias significativas entre los grupos.

4.3.6. Test de Mann-Whitney U

El test de Mann-Whitney U es una prueba no paramétrica alternativa al t-test para muestras independientes. No requiere que los datos sigan una distribución normal.

Las hipótesis que plantea son [16]:

- **Hipótesis nula (H_0):** Ambos grupos tienen la misma distribución.
- **Hipótesis alternativa (H_1):** Las distribuciones de los grupos difieren entre sí.

Este test compara las posiciones relativas de los valores entre dos grupos. Un *p-value* inferior a 0.05 indica que se rechaza la hipótesis nula, lo que implica que hay una diferencia significativa entre las condiciones analizadas.

Capítulo 5

Presentación de características

Se ha realizado un estudio de diferentes artículos de detección de estrés empleando la señal GSR de sensores montados en dispositivos wearables [7], [17], [18], [19], [20]. Como se ha mencionado, la EDA se puede dividir en dos componentes frecuenciales como son la tónica y la fásica. Por esto se han calculado ciertas características que se aplican a todas las componentes de la GSR y otras que solo se aplican a una componente en específico como la detección de picos en la fásica. El estudio que se va a realizar es con una ventana de la señal por lo que las características se calculan en esta ventana.

5.1. Definición de las características.

En esta sección del capítulo se va a emplear unas definiciones que son importante mencionar.

- **Ventana:** conjunto de muestras tomadas de una porción de una señal.
- **x:** muestra de una ventana.
- **n:** tamaño de la ventana, es decir, número de muestras de la ventana.
- **Media:** es una característica muy empleada para la detección de estrés que ha sido empleada en [7], [17], [18], [19], [20]. En nuestro caso, consiste en obtener ventanas de partes de la señal, ya que si en la ventana hay un pico el valor de la media aumenta

con respecto a cuando no lo hay. La expresión matemática de la media se presenta en la ecuación (5.1). En MATLAB[®] se calcula con el comando `mean(ventana)`

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i \quad (5.1)$$

- **Máximo:** es una característica relevante y empleada para detectar estrés en artículos como [7], [19], [20]. Es el punto donde se da el máximo en la amplitud, es decir, que si hay en una ventana un pico entonces el máximo está en el pico y tendrá un valor relativamente más grande que en una ventana donde no hay un pico. Aunque gran parte de las características estadísticas obtenidas son calculadas con un comando de MATLAB[®] como `'max(ventana)'`, es importante explicar brevemente cómo se calcula.

- **Primero:** Se calcula la derivada discreta de la ventana y nos quedamos con los valores que den 0 o, si no hay ningún valor que sea 0, entonces nos quedamos con las posiciones donde haya un cambio de signo de positivo a negativo de la derivada. Esto indica que es un máximo, pero puede que no sea el máximo con más valor.
- **Segundo:** Todos los valores de los máximos se almacenan en un vector y, cuando ya se han encontrado todos los máximos, entonces nos quedamos con el que más valor tenga.

- **Mínimo:** esta característica puede no ser muy relevante por sí misma, pero puede hacer que otras características, como el rango, sean relevantes. En MATLAB[®] se puede obtener utilizando la función `min(ventana)`. A continuación, se explica brevemente cómo se calcula.

- **Primero:** Se calcula la derivada discreta de la ventana y nos quedamos con los valores que den 0 o, si no hay ningún valor que sea 0, entonces nos quedamos con las posiciones donde haya un cambio de signo de negativo a positivo de la derivada. Esto indica que es un mínimo, pero puede que no sea el mínimo con menos valor.
- **Segundo:** Todos los valores de los mínimos se almacenan en un vector y, cuando ya se han encontrado todos los mínimos, entonces nos quedamos con el que menos

valor tenga.

- **Rango:** puede ser una característica relevante, ya que puede dar información de la altura del pico de estrés que debe cambiar de forma significativa con respecto a una ventana de relax o donde no hay estrés. La ecuación 5.2 muestra cómo es esta expresión.

$$\text{Range} = \max_{j=i}^{i+w-1} x_j - \min_{j=i}^{i+w-1} x_j \quad (5.2)$$

En la expresión 5.2 se pueden emplear los algoritmos de máximo y mínimo. En MATLAB® se calcula como 'max(ventana)-min(ventana)';

- **Desviación estandar** de la ventana se emplea en muchos artículos de investigación [7], [19], [20]. La expresión de la desviación estándar está en la ecuación 5.3. En MATLAB® se calcula como 'std(ventana)';

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} \quad (5.3)$$

- **Energía:** se emplea en el artículo [17] y les ha dado que hay significancia en esta característica. La expresión que han empleado para definirla se expresa en la ecuación 5.4.

$$E = \sum_{i=1}^n \frac{x_i^2}{f_s} \quad (5.4)$$

En MATLAB® se calcula como en la ecuación 5.5

$$E = \frac{\text{sum}(\text{ventana}^2)}{\text{frecuenciademuestreo}} \quad (5.5)$$

- **Mediana:** se ha empleado en los artículos [7], [20], el cálculo de la mediana se realiza ordenando los datos de menor a mayor y nos quedamos con el valor que se indica en la ecuación 5.6. En MATLAB® se calcula de la siguiente forma 'median(ventana)';

$$\text{Mediana} = \begin{cases} x_{(\frac{n+1}{2})} & \text{si } n \text{ es impar} \\ \frac{1}{2} \left(x_{(\frac{n}{2})} + x_{(\frac{n}{2}+1)} \right) & \text{si } n \text{ es par} \end{cases} \quad (5.6)$$

- **Moda:** se ha empleado en el artículo [7], el cálculo de la moda continua consiste en el cálculo de la frecuencia de los valores agrupados en rangos, y nos quedamos con el valor medio del rango que más frecuencia ha dado. En MATLAB[®] se calcula como 'mode(ventana)'
- **Root Mean Square (RMS):** esta característica que ha sido empleada en el artículo [18], es un tipo de media que se le denomina como Media Cuadrática. Esta media puede estar más afectada por los eventos de estrés debido a que sumar el cuadrado del valor de la señal puede hacer que destaque más que la media aritmética normal, en la ecuación 5.7.

$$\text{RMS} = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i^2} \quad (5.7)$$

En MATLAB[®] se calcula como en la expresión 5.8

$$\text{RMS} = \text{sqrt}\left(\frac{1}{n} \text{sum}(\text{ventana}^2)\right) \quad (5.8)$$

- **Primer y tercer cuartil:** se emplean en el artículo [19] y se calcula ordenando el vector de valores de la ventana de menor a mayor y para el primer cuartil nos quedamos con los valores cuya posición está por debajo de la mitad y se calcula la mediana de estos valores y para el tercer cuartil se actúa de la misma forma solo que ahora nos quedamos con los valores por encima de la posición media. En MATLAB[®] para el primer cuartil se calcula como 'quantile(ventana,Q)' donde Q = 0.25 para el primero y 0.75 para el tercero.

Las características de pico: son calculadas en la mayoría de artículos como en [7], [17] y se aplica a la componente física. En la figura 5.1, se muestra la estructura de un pico real tomado de una muestra.

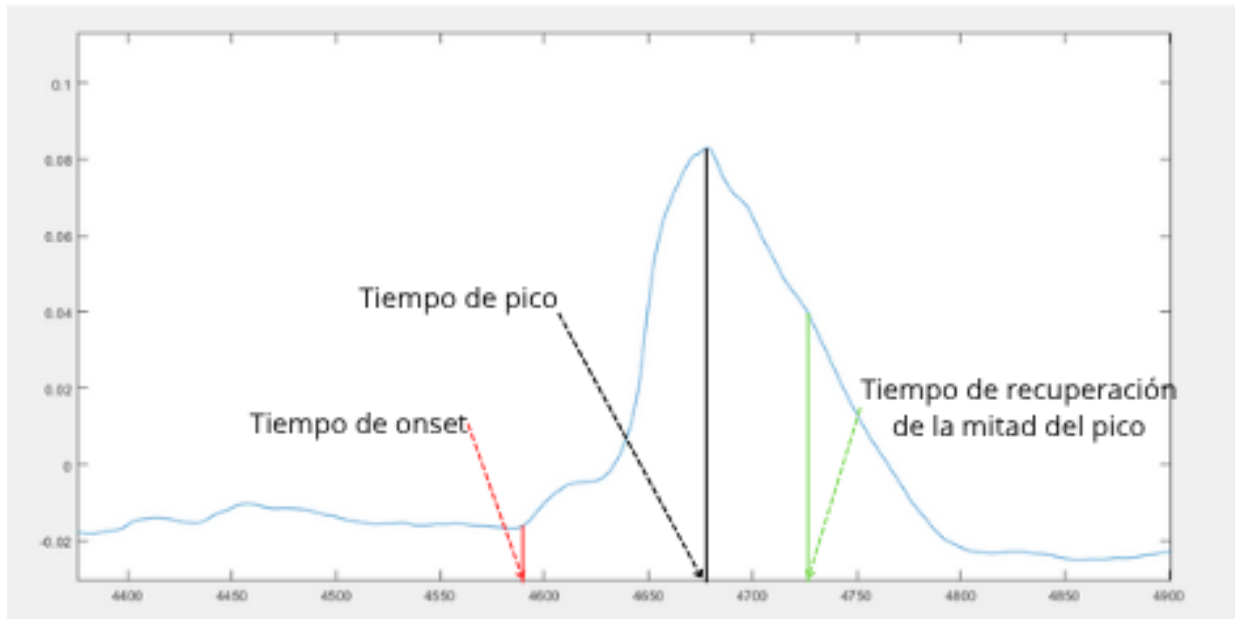


Figura 5.1. Parámetros de un pico en la componente física

Las características se basan en expresiones que necesitan los parámetros temporales indicados en la figura 5.1. Sin embargo, es necesario definir los parámetros de un pico.

- **Tiempo de onset:** es el tiempo en el que comienza el pico a crecer, se puede considerar para calcularlo que es un mínimo local.
- **Tiempo de pico:** es el tiempo en el que se da la máxima amplitud del pico, se puede considerar como un máximo local.
- **Tiempo de recuperación del pico:** es el tiempo en el que se da la mitad del pico.

Tras la definición de estos parámetros se pueden obtener una serie de características.

- **StrongPeak:** se considera como la amplitud del pico y se calcula como en la expresión 5.9.

$$\text{StrongPeak} = \text{valorseñal}_{t_{\text{peak}}} - \text{valorseñal}_{t_{\text{onset}}} \quad (5.9)$$

- **Tiempo de subida:** Se establece como el tiempo que tarda en llegar a la amplitud del

pico desde el tiempo de onset 5.10.

$$\text{RiseTime} = t_{\text{peak}} - t_{\text{onset}} \quad (5.10)$$

- **Número de picos:** es el número de picos que hay en la ventana seleccionada.
- **Energía del pico:** se establece según la expresión 5.11.

$$\text{PeakEnergy} = \frac{1}{2} \cdot \text{RiseTime} \cdot \text{StrongPeak} \quad (5.11)$$

- **Tiempo de recuperación del pico:** es el tiempo que se tarda en que la señal baje a la mitad del valor que se da en el tiempo de pico según la ecuación 5.12.

$$\text{HalfRecoveryTime} = t_{\text{half-recovery}} - t_{\text{peak}} \quad (5.12)$$

5.2. Cálculo de las características

Se va a comentar la parte del cálculo de las características en MATLAB[®]. Hay un algoritmo principal que calcula todas las características si se le pasa una ventana de cada componente (GSR, tónica y fásica), este se ha denominado como 'calculateWindowFeautre.m' que se ha guardado en el repositorio en [1].

5.2.1. Cálculo de las características de picos

Se ha desarrollado un script en MATLAB[®], denominado Peaks.m [1], que implementa una función capaz de detectar picos en una señal que cumplan ciertas condiciones, las cuales se explicarán más adelante. Este algoritmo está diseñado para trabajar con ventanas de señal, con o sin solapamiento entre ellas, y resulta adecuado para sistemas en tiempo real, donde se capturan fragmentos de la señal y se procesan para detectar picos. En la figura 5.2 se presenta un diagrama que ilustra el funcionamiento general del algoritmo, así como sus entradas y salidas.

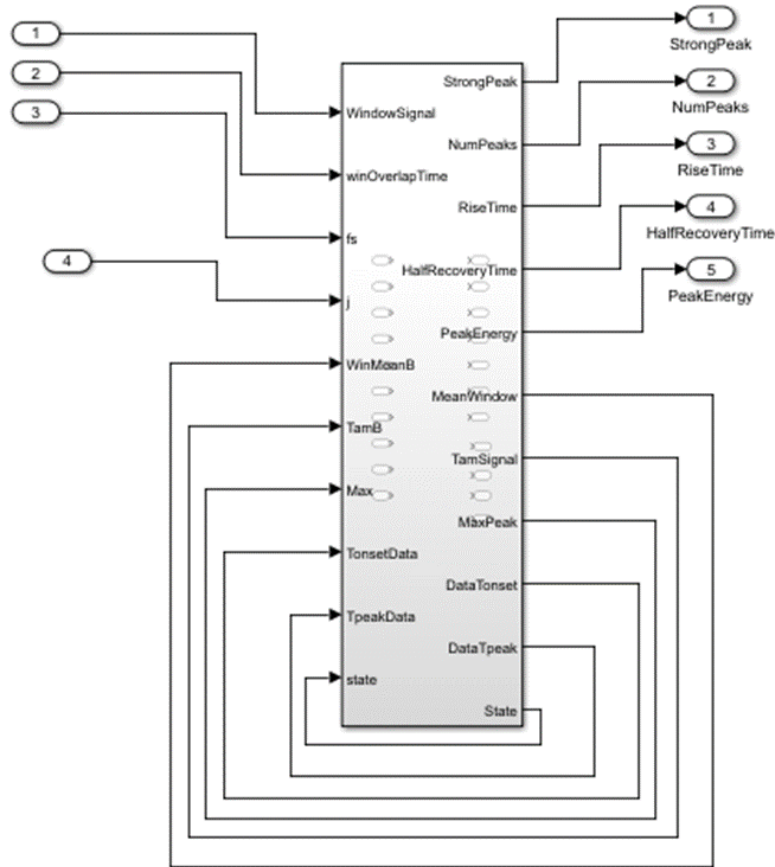


Figura 5.2. Entradas, salidas y lazos de realimentación de la función Peaks

Esta función recibe una serie de entradas que son:

- **WindowSignal:** ventana de muestras de la señal o puede ser la señal entera.
- **winOverlapTime:** tiempo en segundos de solapamiento entre ventanas consecutivas.
- **fs:** frecuencia de muestreo de la señal
- **WinMeanB:** variable de realimentación que da la media acumulada de la ventana anterior.
- **TamB:** variable de realimentación que da el total de muestras contadas.
- **Max:** variable de realimentación que da el máximo valor que se haya podido dar anteriormente.

- **TonsetData:** variable de realimentación que nos da el tiempo de onset en segundos del pico que se está detectando y el valor de la señal en este tiempo.
- **TpeakData:** variable de realimentación que nos da el tiempo de pico en segundos que se está detectando y el valor de la señal en este tiempo.
- **j:** entrada que nos da el número de ventanas de la señal que llevamos
- **state:** variable de realimentación que da el estado en el que hay que seguir cuando se vuelva a ejecutar la función 'Peaks.m'.

Este algoritmo impone de condición que el máximo obtenido debe superar un umbral adaptativo que se define por la expresión 5.13, para ser considerado como pico o simplemente como ruido por lo que se desecharía. Este umbral ha sido modificado de [17] para que sea más suave con el descarte de los picos.

$$\text{threshold} = \frac{1}{4} \times (\text{MeanWindow} + \text{MaxPeak}) \quad (5.13)$$

Este umbral requiere conocer el valor más alto alcanzado en la señal. Por ello, en cada nueva ventana se calcula el valor máximo, y dicho valor solo actualiza el máximo global si supera al registrado en las ventanas anteriores. Además, es necesario disponer de la media de los máximos previos, la cual se calcula utilizando la ecuación 5.14.

$$\text{MeanWindow} = \frac{\text{WinMeanB} \times \text{TamB} + \sum \text{Signal}}{\text{TamB} + \text{TamSignal}} \quad (5.14)$$

Para el tratamiento de la señal se filtra con un filtro de media móvil de 0.59 Hz de frecuencia de corte para eliminar ruido de alta frecuencia.

Una vez calculado el umbral y atenuadas las altas frecuencias de la señal, es posible proceder a la detección de picos. Para ello, se emplea un bucle que recorre toda la ventana de la señal y calcula la derivada utilizando la expresión 5.15, la cual ha sido extraída del artículo [17]. Esta expresión corresponde a una versión modificada de la primera derivada discreta, diseñada para reducir parcialmente el ruido presente en la señal.

$$\text{derivada}(\text{cont}) = f_s \cdot \frac{\text{SmoothSignal}(\text{cont} + 1) - \text{SmoothSignal}(\text{cont} - 1)}{2} \quad (5.15)$$

En el bucle hay una máquina de estados que se muestra en la Figura 5.3.

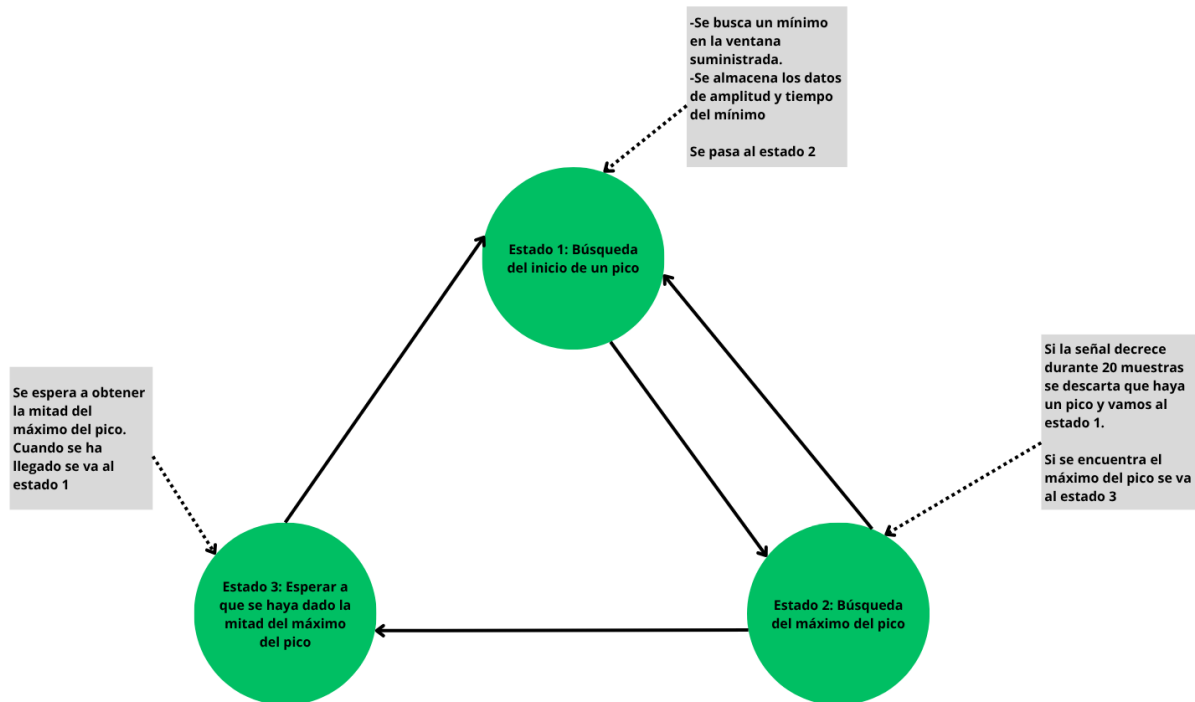


Figura 5.3. Máquina de estados de la función Peaks

- **Estado 1:** se busca un mínimo en la ventana, siguiendo el procedimiento descrito en la característica de mínimo. Una vez encontrado, se calcula su tiempo real en segundos, considerando si existe o no solapamiento entre ventanas. La amplitud y el tiempo, referidos al inicio de la señal (es decir, acumulando el desplazamiento de ventanas anteriores), se almacenan en el campo `DataTonset`. A continuación, se pasa al Estado 2, encargado de buscar el máximo del pico.
- **Estado 2:** en este estado pueden ocurrir dos situaciones: si la señal decrece durante 20 muestras consecutivas, se considera que el supuesto pico es ruido, por lo que se descarta y se regresa al Estado 1. Si no ocurre esto, se procede a buscar el máximo del pico, siguiendo el mismo método explicado en la sección de definición de características. En este

punto, pueden calcularse características como `StrongPeak`, `RiseTime` y `PeakEnergy`. Los datos del pico se almacenan en la variable de salida `DataTpeak`, que se utiliza como retroalimentación para el algoritmo.

- **Estado 3:** en esta etapa del código se busca, en la fase de descenso del pico, el instante en el que la señal alcanza la mitad de la amplitud del pico. A partir de este punto, se calculan todas las características restantes del mismo.

Para el cálculo de las características de pico se emplean las expresiones definidas anteriormente.

Capítulo 6

Tratamiento y estudio de los datos del bastón sin movimiento

6.1. Resumen del capítulo

En este capítulo, se muestran las gráficas de los participantes seleccionados para el análisis de características. Además, se describe el proceso de obtención de las características, acompañado de diagramas de flujo que facilitan la comprensión del procedimiento completo.

Finalmente, se discuten los resultados obtenidos tras la aplicación de las pruebas estadísticas a las características extraídas.

6.2. Representación gráfica de los datos de los participantes.

Tras la realización del experimento con los participantes, ya se obtienen datos para poder obtener conclusiones sobre el estudio. Como en este TFG se quiere obtener información sobre si una característica obtenida de la GSR, tónica o fásica, son afectadas ante eventos de corta duración que generan estrés, se van a estudiar los datos obtenidos de la parte de música, debido a que contiene unos eventos de estrés controlados.

Las gráficas que siguen van a mostrar la señal GSR y sus dos componentes tónica y fásica. Además, en cada gráfica se representa en azul la señal de la Empatica, en rojo la señal

del bastón y el vector ‘secuencia’ generado por el programa ‘Reproductor.m’ que nos indica cuando se da el evento de estrés.

Las señales están normalizadas con la expresión 6.1 y se hace esto debido a que cada participante tiene unos estados basales distintos, además de que en la componente física el pico puede ser distinto ante un mismo evento de estrés aunque ambos hayan tenido la misma sensación de estrés. Por estas razones, es necesario normalizar y se ha realizado en diferentes artículos como en [17].

$$\text{señal normalizada} = \frac{\text{señal} - \min(\text{señal})}{\max(\text{señal}) - \min(\text{señal})} \quad (6.1)$$

Para el participante S2 se han obtenido las curvas que aparecen en 6.1.

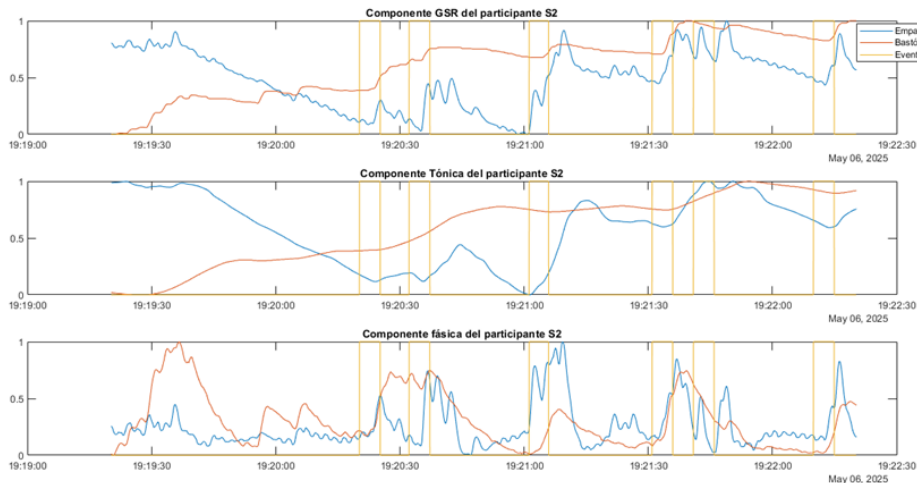


Figura 6.1. Curvas de la parte de música del participante S2

Como se puede observar la componente física y la señal GSR son las más influenciadas por el evento de estrés en ambos sensores. Aunque los sensores y el punto de medida de los sensores son distintos, se puede notar que en la componente física ambos responden a los picos. El participante S2 ha obtenido en el test STAI A/E en esta parte una calificación de 24 que se considera como ansiedad media y que se distingue de la calificación de relax que es de 10.

Para el participante S4 se han obtenido las curvas que aparecen en 6.2.

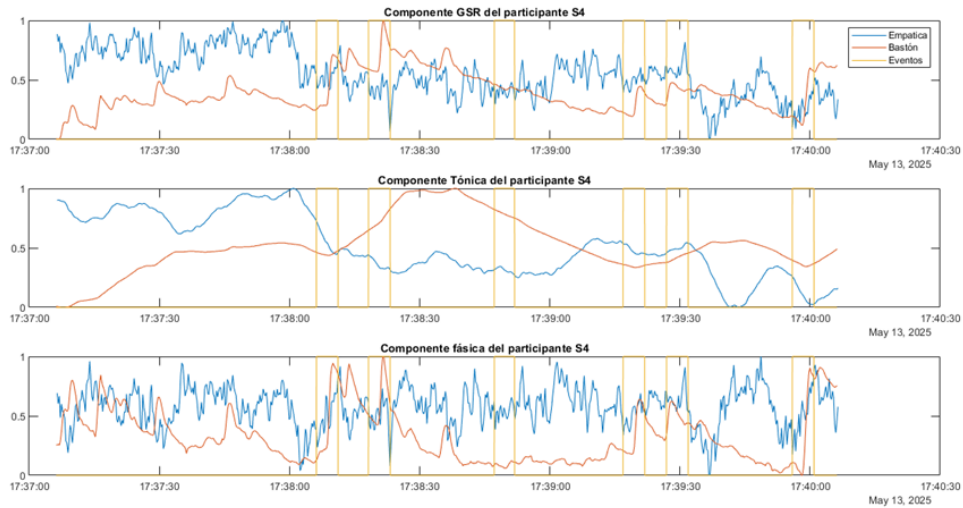


Figura 6.2. Curvas de la parte de música del participante S4

En el participante S4, se puede notar que la señal GSR de la Empatica tiene mucho ruido. Sin embargo, se puede observar que en el bastón la señal de la GSR y la componente física están influenciadas por los eventos de estrés. En este caso, el participante ha obtenido una calificación de 14 en el test STAI A/E que se considera como ansiedad baja o no hay estrés.

Para el participante S5 se han obtenido las curvas que aparecen en 6.3.

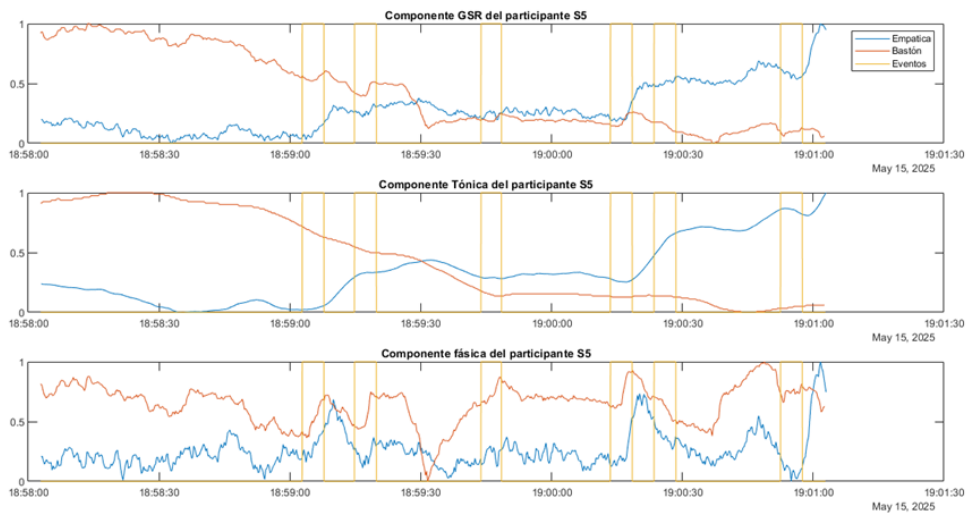


Figura 6.3. Curvas de la parte de música del participante S5

En esta toma de datos se puede observar cómo la componente física se ve influenciada por los eventos, aunque en la pulsera Empatica en el tercer evento se ve menos influenciada.

No obstante, los demás picos de ambos sensores se ven más influenciados por los eventos. La calificación que ha obtenido el participante en el test A/E de 9 pero el participante ha respondido ante el evento de estrés.

Para el participante S6 se han obtenido las curvas que aparecen en 6.4.

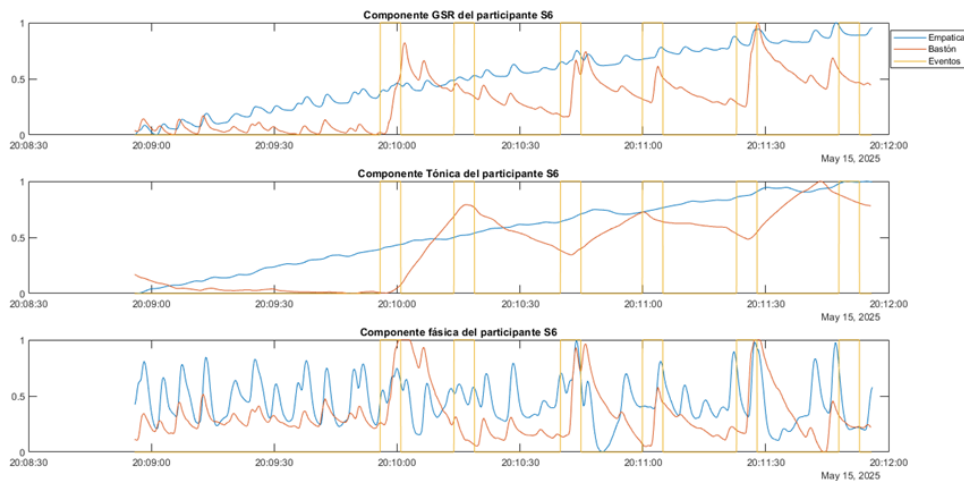


Figura 6.4. Curvas de la parte de música del participante S6

Se puede observar que en la componente GSR de la Empatica, no se ha estabilizando y en la componente física de la Empatica no se ve una diferencia entre la parte pre-evento y la parte post-evento. Sin embargo, en el bastón la componente física se ve influenciada por los eventos de estrés. El participante en el test A/E ha obtenido un 6 que pero ha respondido ante el evento de estrés.

Para el participante S7 se han obtenido las curvas que aparecen en 6.5.

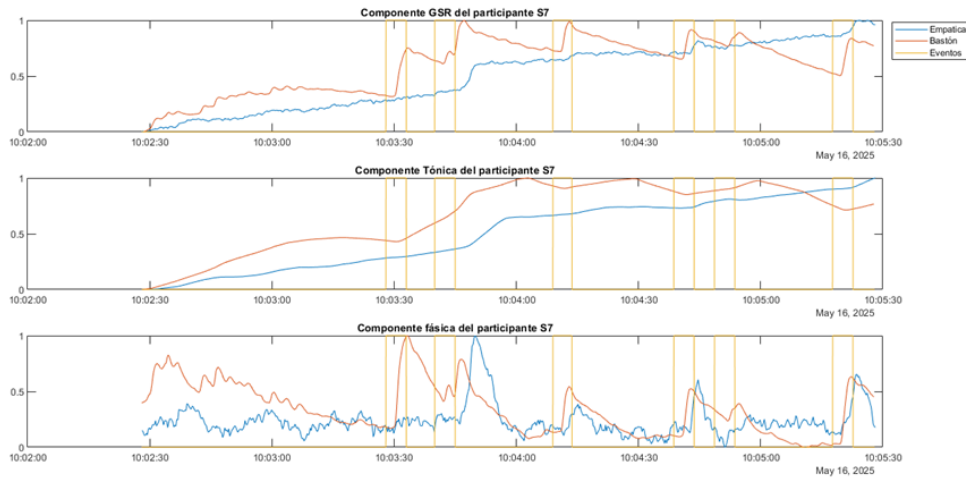


Figura 6.5. Curvas de la parte de música del participante S7

Se puede observar que el bastón es el que mejor responde ante los eventos de estrés. El test STAI A/E ha obtenido una puntuación de 15 en comparación con la parte de Relax que ha obtenido un 5. Por lo que hay una cierta diferencia significativa de calificación entre las partes.

Para el participante S9 se han obtenido las curvas que aparecen en 6.6.

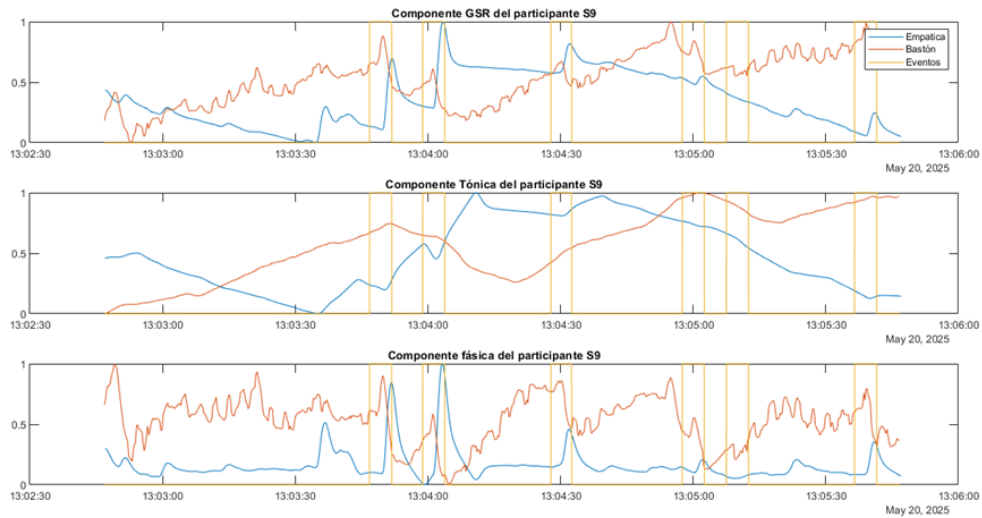


Figura 6.6. Curvas de la parte de música del participante S9

Se puede observar que este ensayo con este participante responde a los eventos de estrés, aunque se puede observar que los picos de la Empática en la componente física se ven menos afectados por los eventos de estrés lo que puede ser debido a que estos eventos no le hayan

producido el mismo estrés que los primeros. En esta parte, el participante ha obtenido una calificación de 20 que se puede considerar como estrés, y en la otra prueba de relax ha obtenido un 9.

Para el participante S11 se han obtenido las curvas que aparecen en 6.7.

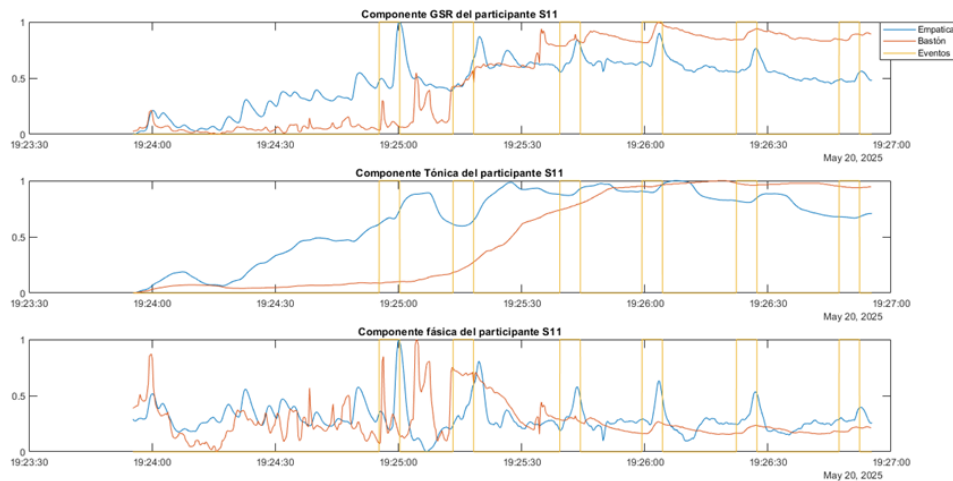


Figura 6.7. Curvas de la parte de música del participante S11

Para este participante se puede observar que ha respondido a los eventos de estrés observando la señal Empática. No obstante, en el bastón no se ve la misma influencia. En esta parte el participante ha obtenido un 33 que se puede considerar estrés leve, aunque en la parte de Relax 1 ha dado algo alto debido al que participante puede haberse puesto nervioso, antes de la prueba.

Para el participante S12 se han obtenido las curvas que aparecen en 6.8.

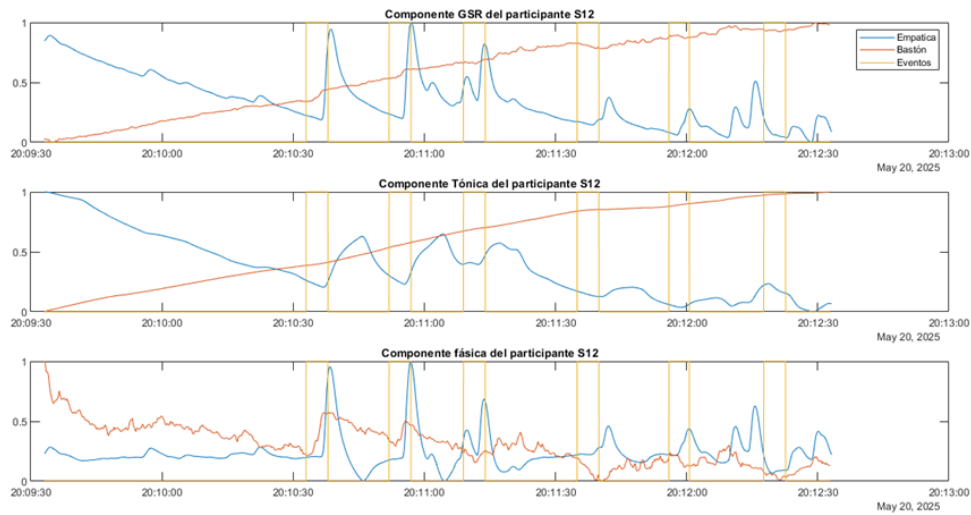


Figura 6.8. Curvas de la parte de música del participante S12

En el participante S12 sucede lo mismo que en el participante S11. En este caso, la señal del bastón no se ve muy influenciada por los eventos de estrés. En esta parte el participante ha dado en el test A/E un 17 que no se suele considerar como estrés pero contrasta con la parte de Relax donde ha obtenido un 9.

Para el participante S17 se han obtenido las curvas que aparecen en 6.9.

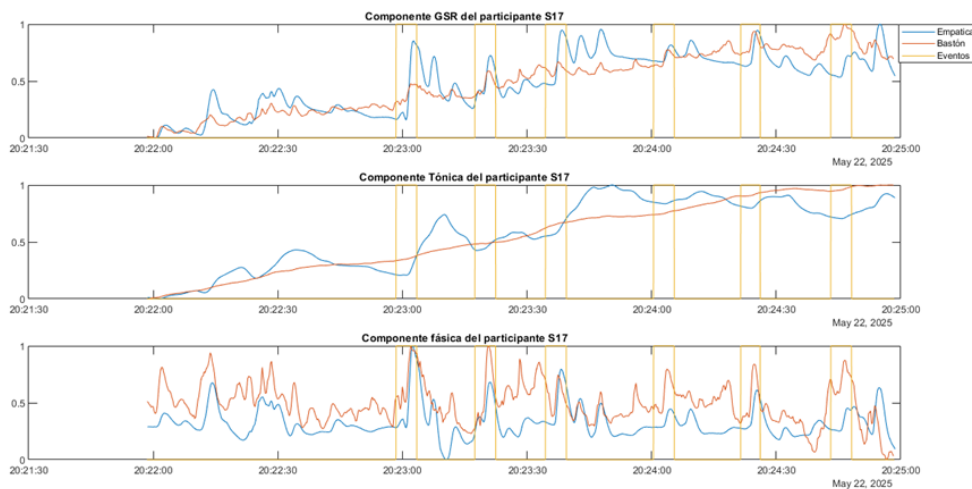


Figura 6.9. Curvas de la parte de música del participante S17

En este caso la señal del bastón tiene más ruido, pero aun así se puede observar que responde a los estímulos. En esta parte el participante en el test A/E ha dado 38, sin embargo en las partes de relax ha obtenido un 30 como la más alta.

Para el participante S19 se han obtenido las curvas que aparecen en 6.10.

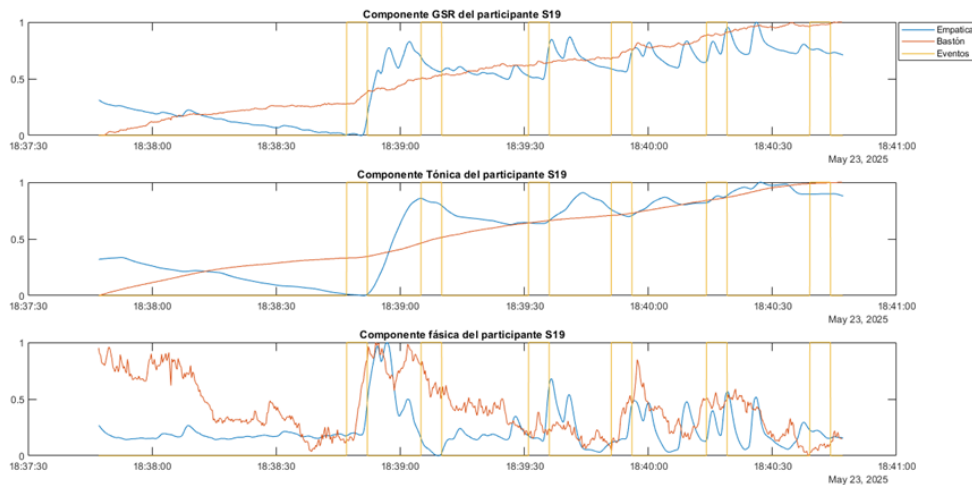


Figura 6.10. Curvas de la parte de música del participante S19

Este participante se puede observar que responde a los eventos de estrés, sobre todo se puede observar en las medidas del bastón. El participante ha dado la puntuación de 4, pero el participante ha respondido a los eventos.

A partir de las gráficas podemos ver que los participantes han respondido a los eventos. Se puede ver que la componente tónica no se ve muy afectada por los eventos por lo que sus características no van a variar de forma significativa cuando se da el evento de estrés con respecto a cuando no se da.

Si estudiamos las calificaciones de los tests vemos que algunos participantes como el S4 y el S5, entre otros dan calificaciones bajas en la parte de música pero se puede observar que responden al evento de estrés. Esto puede ser debido a que el participante puede haber considerado que no ha tenido un estrés durante la prueba, aunque realmente haya tenido algo de estrés.

6.3. Estudio de las características obtenidas.

Para estudiar las características se han hecho dos suposiciones diferentes:

- **La primera suposición:** es considerar que una ventana de un grupo de un participante es dependiente de otra ventana en el otro grupo opuesto, es decir, la ventana 4 de pre-

evento del participante S2 es dependiente de la ventana 4 de post-evento del mismo participante. Esta suposición considera que las muestras son pareadas y por lo tanto se aplica el test t de Student para muestras pareadas si la diferencia de una característica es normal; si no, se aplica el test de Wilcoxon signed rank.

- **La segunda suposición:** es considerar que cada ventana es independiente de las otras y por lo tanto, si se quiere aplicar el test t de Student, se debe verificar que cada característica sigue una distribución normal y, si ambas lo son, se puede aplicar; de lo contrario, se aplica el test de Wilcoxon Mann-Whitney U.

6.3.1. Estudio para muestras pareadas

Para proceder correctamente en este estudio hay que realizar los siguientes pasos:

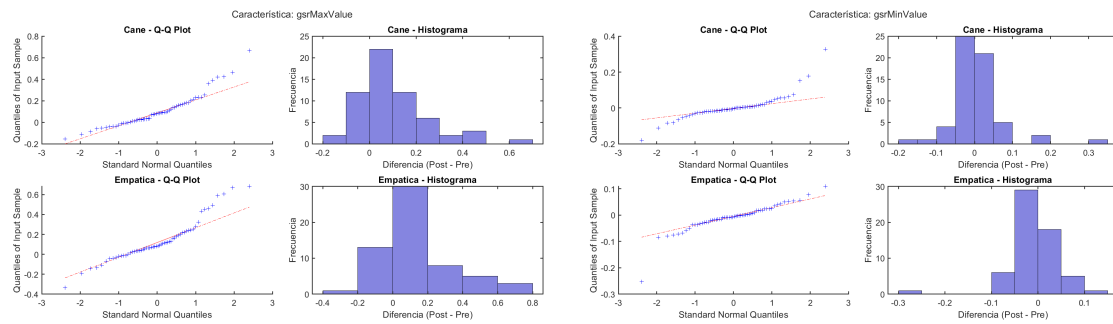
- Se realiza el test de normalidad; para ello se genera el Q-Q plot y el histograma de la diferencia de cada par de la característica, y se aplica el test de Shapiro-Wilk para la diferencia.
- Tras comprobar la normalidad o no de la diferencia de los pares de características, se aplica el test de Wilcoxon para muestras pareadas ('Wilcoxon signed rank') o el test t de Student para muestras pareadas.

Tras esto se comienza el análisis para cada característica y, al final, se comentan cuáles características son rechazadas.

6.3.1.1. Estudio de la normalidad

A continuación, se muestran los resultados de normalidad de las características obtenidas de la GSR.

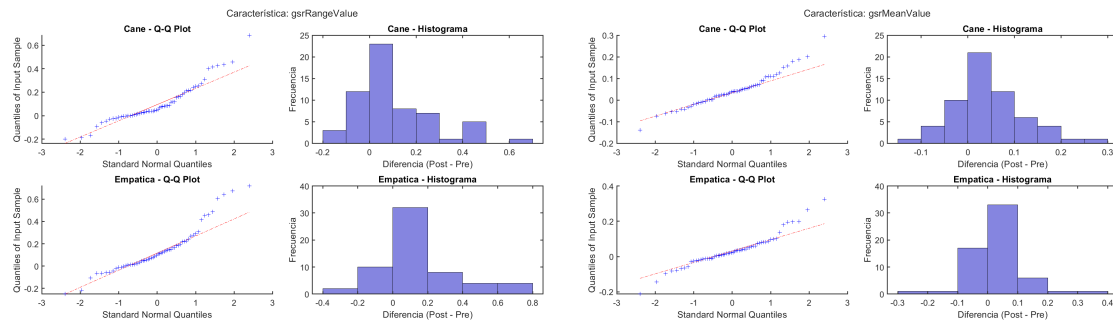
- **Características 'máximo' y 'mínimo' de la ventana de la GSR:** Los gráficos se presentan en la Figura 6.11.



(a) QQ plots e histograma de la característica máxima de la GSR (b) QQ plots e histograma de la característica mínima de la GSR

Figura 6.11. Gráficas QQ plots de GSR máximo y mínimo.

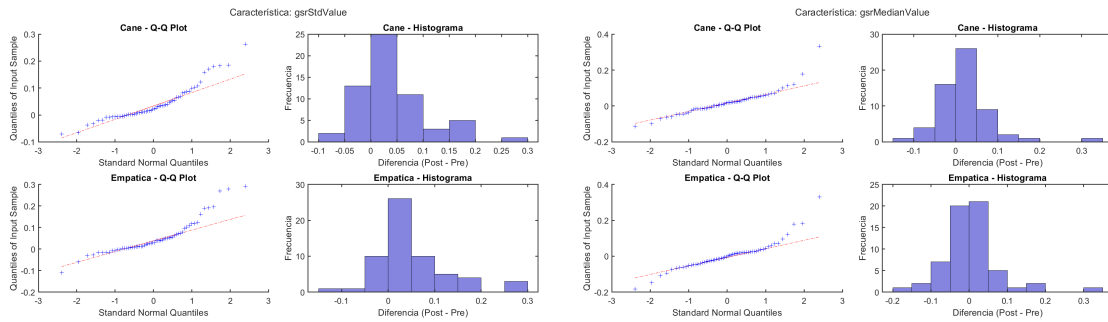
- **Características 'rango' y 'media' de la ventana de la GSR:** Los gráficos se presentan en la figura 6.12.



(a) QQ plots e histograma de la característica rango de la GSR (b) QQ plots e histograma de la característica media de la GSR

Figura 6.12. Gráficas QQ plots de GSR rango y media.

- **Características 'desviación estándar' y 'mediana' de la ventana de la GSR:** Los gráficos se presentan en la figura 6.13.



(a) QQ plots e histograma de la característica desviación estándar de la GSR (b) QQ plots e histograma de la característica mediana de la GSR

Figura 6.13. Gráficas QQ plots de GSR desviación estándar y mediana.

- **Característica 'moda' de la ventana de la GSR:** Los gráficos se presentan en la figura 6.14.

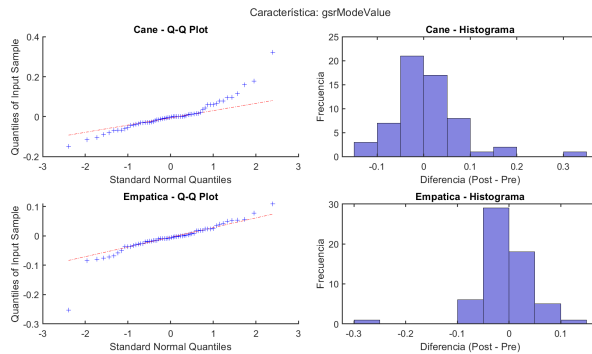


Figura 6.14. QQ plots e histograma de la característica moda de la GSR

Se presenta la tabla 6.1 en la que se muestran los valores que han dado las diferencias para el test de Shapiro-Wilk.

Característica	Cane	Empatica
gsrMaxValue	2.835e-4	1.208e-3
gsrMinValue	2.391e-07	4.676e-06
gsrRangeValue	4.806e-4	5.314e-4
gsrMeanValue	2.527e-2	3.259 e-3
gsrStdValue	1.464e-4	3.176e-05
gsrMedianValue	1.510e-05	4.183e-05
gsrModeValue	5.226e-05	4.676e-6

Tabla 6.1. Valores de p del test de Shapiro-Wilk sobre las diferencias (Post - Pre) para cada característica de la GSR

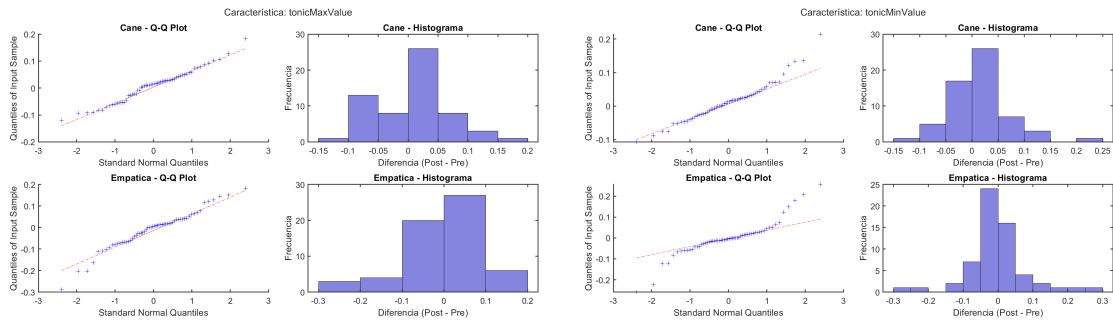
Como se comentó, si en el test el valor p está por debajo de 0.05 se descarta la hipótesis de que los datos sigan una distribución normal. Como se ha podido ver en los Q-Q plots, se ha visto que varios valores han hecho que se dispersen de la recta, por lo que no son normales.

Los histogramas representados pueden darnos una estimación de qué característica va a ser significativa a los eventos de estrés. Ya que si la distribución no está sesgada, es decir, si la distribución es simétrica o cuasi-simétrica, quiere decir que no hay significancia. No obstante, si se presenta un sesgo positivo o negativo, quiere decir que las mayorías de las diferencias son distintas de 0 y tienden hacia la parte positiva o negativa.

En un principio las que no parecen ser significativas son la moda y el mínimo, ya que no presentan un sesgo positivo o negativo, en cambio el resto son significativas, como se puede notar en las figuras 6.11.b, 6.14. Sin embargo, la mediana parece que es significativa en el bastón pero no en la Empatica 6.13.b, ya que presenta un sesgo positivo.

Se muestran los resultados de normalidad de las características obtenidas de la tónica.

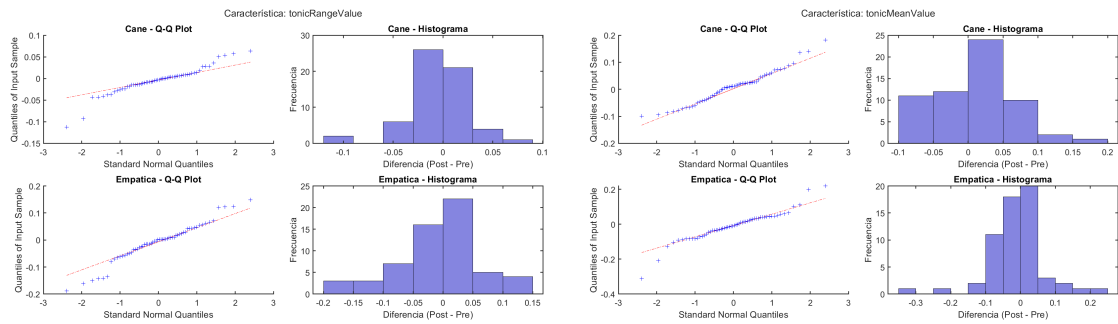
- **Características 'máximo' y 'mínimo' de la ventana de la tónica:** Los gráficos se presentan en la figura 6.15.



(a) QQ plots e histograma de la característica máxima de la tónica (b) QQ plots e histograma de la característica mínima de la tónica

Figura 6.15. Gráficas QQ plots de tónica: máximo y mínimo.

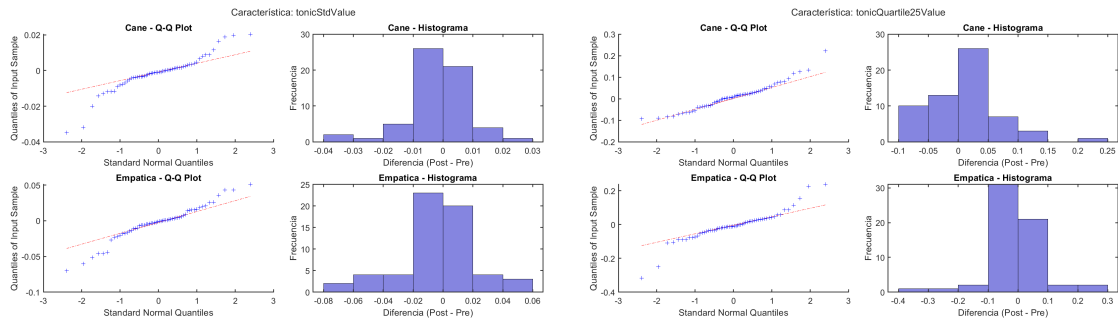
- **Características 'rango' y 'media' de la ventana de la tónica:** Los gráficos se presentan en la figura 6.16.



(a) QQ plots e histograma de la característica rango de la tónica (b) QQ plots e histograma de la característica media de la tónica

Figura 6.16. Gráficas QQ plots de tónica: rango y media.

- **Características 'desviación estándar' y 'primer cuartil' de la tónica:** Los gráficos se presentan en la figura 6.17.



(a) QQ plots e histograma de la característica desviación estándar de la tónica (b) QQ plots e histograma de la característica primer cuartil de la tónica

Figura 6.17. Gráficas QQ plots de tónica: desviación estándar y primer cuartil.

- **Característica 'tercer cuartil' de la ventana de la tónica:** El gráfico se presenta en la figura 6.18.

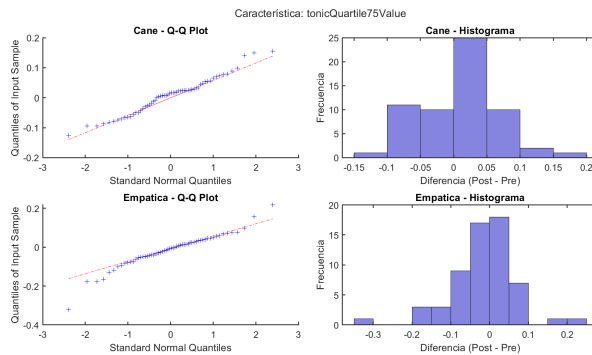


Figura 6.18. QQ plots e histograma de la característica tercer cuartil de la tónica

Se presentan los resultados obtenidos del test de Shapiro-Wilk en la tabla 6.2.

Característica	Cane	Empática
tonicMaxValue	0.354	0.037
tonicMinValue	0.015	4.684e-05
tonicRangeValue	5.891e-4	0.041
tonicMeanValue	0.167	6.560e-4
tonicStdValue	2.960e-4	0.015
tonicQuantile25Value	0.018	7.687e-5
tonicQuantile75Value	0.311	4.141e-3

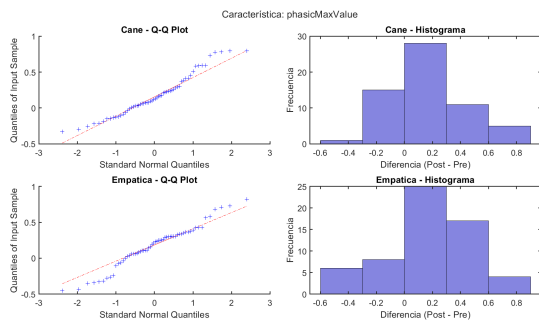
Tabla 6.2. Valores de p del test de Shapiro-Wilk sobre las diferencias (Post - Pre) para cada característica de la componente tónica

Las características que son normales son 'tonicMaxValue', 'tonicQuantile25Value' solo en el bastón. Por lo tanto, se aplica en estas el test t de Student pareado.

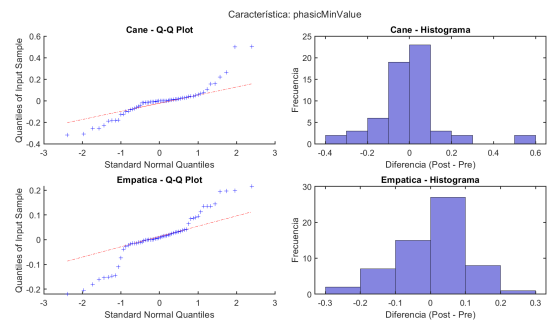
En un principio, las que no parecen ser significativas son todas, ya que si tienen un sesgo, es muy pequeño y tiene sentido, ya que la componente tónica es de bajas frecuencias, por lo que los cambios rápidos por un evento de estrés no son capaces de detectarlo.

Se muestran los resultados de normalidad de las características obtenidas de la componente fásica.

- **Características 'máximo' y 'mínimo' de la ventana de la fásica:** Los gráficos se presentan en la figura 6.19.



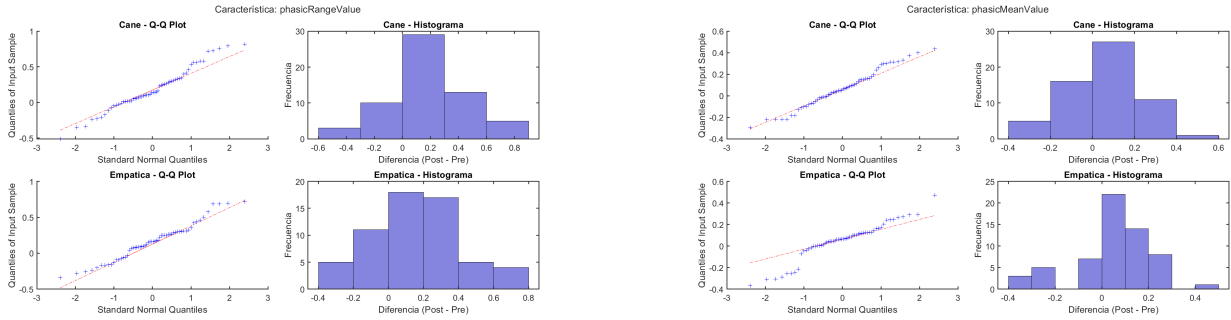
(a) QQ plots e histograma de la característica máximo de la fásica



(b) QQ plots e histograma de la característica mínimo de la fásica

Figura 6.19. Gráficas QQ plots de fásica máximo y mínimo.

- Características 'rango' y 'media' de la ventana de la física: Los gráficos se presentan en la figura 6.20.

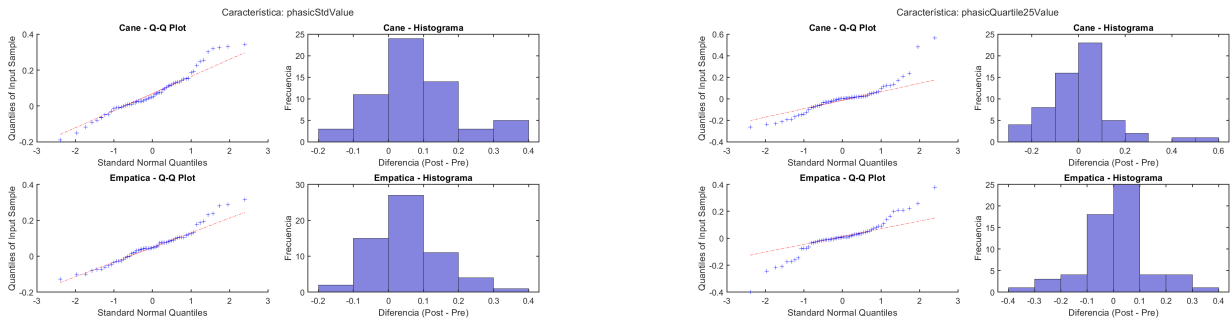


(a) QQ plots e histograma de la característica rango de la física

(b) QQ plots e histograma de la característica media de la física

Figura 6.20. Gráficas QQ plots de física rango y media.

- Características 'desviación estándar' y 'primer cuartil' de la ventana de la física: Los gráficos se presentan en la figura 6.21.

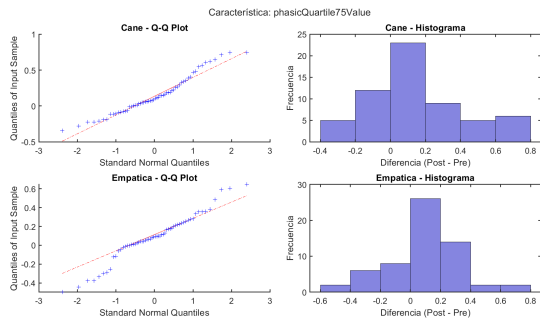


(a) QQ plots e histograma de la característica desviación estándar de la física

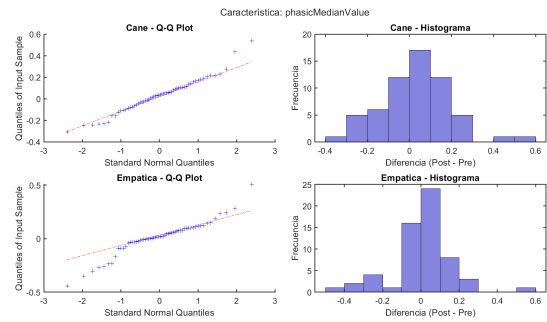
(b) QQ plots e histograma de la característica primer cuartil de la física

Figura 6.21. Gráficas QQ plots de física desviación estándar y primer cuartil.

- Características 'tercer cuartil' y 'mediana' de la ventana de la física: Los gráficos se presentan en la figura 6.22.



(a) QQ plots e histograma de la característica tercer cuartil de la fásica

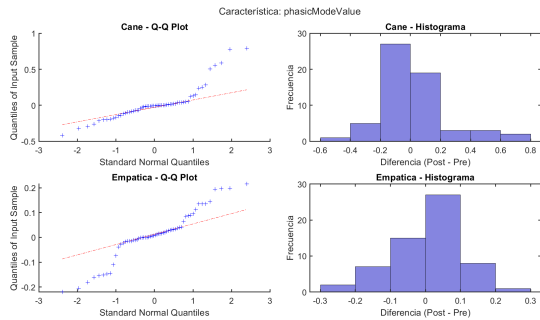


(b) QQ plots e histograma de la característica mediana de la fásica

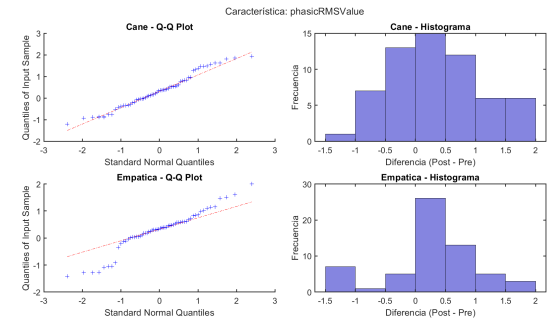
Figura 6.22. Gráficas QQ plots de fásica tercer cuartil y mediana.

- **Características 'moda' y 'media cuadrática (RMS)' de la ventana de la fásica:**

Los gráficos se presentan en la figura 6.23.



(a) QQ plots e histograma de la característica moda de la fásica

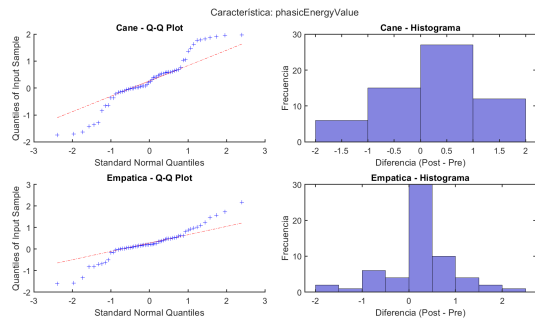


(b) QQ plots e histograma de la característica media cuadrática de la fásica

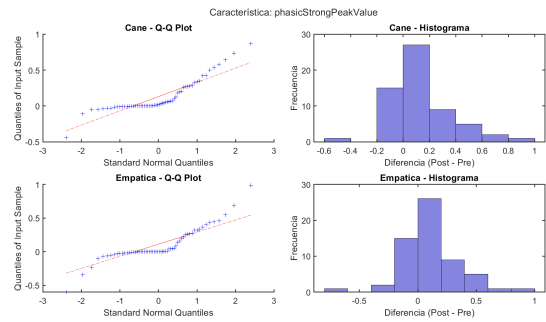
Figura 6.23. Gráficas QQ plots de fásica moda y media cuadrática (RMS).

- **Características 'energía' y 'StrongPeak' de la ventana de la fásica:**

Los gráficos se presentan en la figura 6.24.



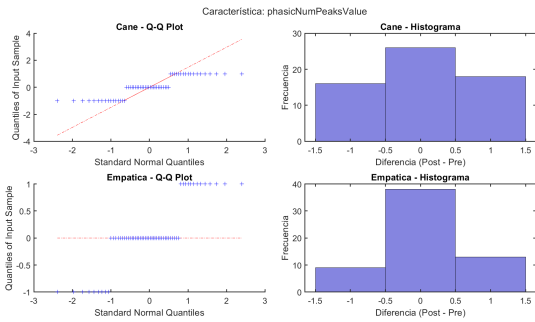
(a) QQ plots e histograma de la característica energía de la física



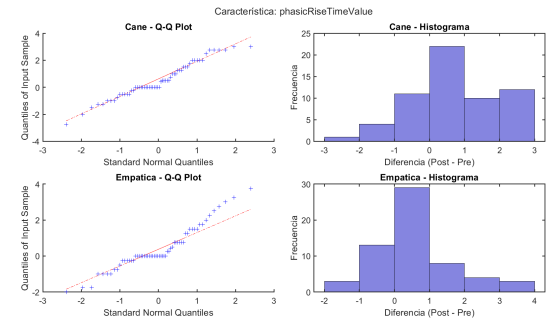
(b) QQ plots e histograma de la característica strong peak de la física

Figura 6.24. Gráficas QQ plots de física energía y strong peak.

- Características 'NumPeaks' y 'RiseTime' de la ventana de la física: Los gráficos se presentan en la figura 6.25.



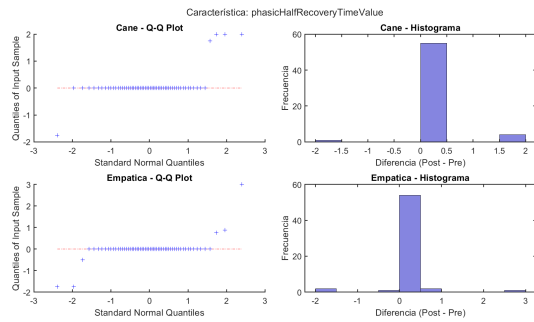
(a) QQ plots e histograma de la característica NumPeaks de la física



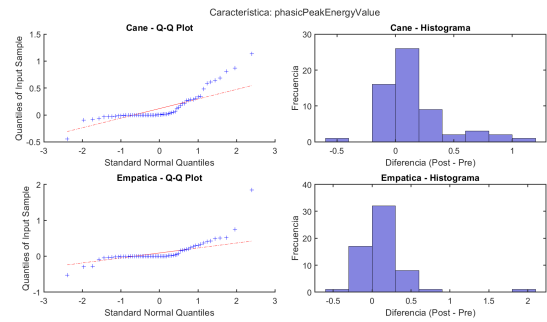
(b) QQ plots e histograma de la característica RiseTime de la física

Figura 6.25. Gráficas QQ plots de física NumPeaks y RiseTime.

- Características 'HalfRecoveryTime' y 'PeakEnergy' de la ventana de la física: Los gráficos se presentan en la figura 6.26.



(a) QQ plots e histograma de la característica HalfRecoveryTime de la física



(b) QQ plots e histograma de la característica PeakEnergy de la física

Figura 6.26. Gráficas QQ plots de física HalfRecoveryTime y PeakEnergy.

Los resultados obtenidos del test de Shapiro-Wilk se presentan en la tabla 6.3.

Característica	Cane	Empática
phasicMaxValue	0.028	0.135
phasicMinValue	3.178e-5	6.238e-3
phasicRangeValue	0.329	0.199
phasicMeanValue	0.551	1.754e-3
phasicStdValue	0.085	0.065
phasicQuantile25Value	3.278e-5	1.819e-3
phasicQuantile75Value	0.036	0.082
phasicMedianValue	0.116	9.487e-4
phasicModeValue	2.918e-6	6.238e-3
phasicRMSValue	0.196	7.229e-3
phasicEnergyValue	0.017	9.216e-3
phasicStrongPeakValue	2.432e-6	5.828e-6
phasicNumPeaksValue	2.243e-7	2.132e-8
phasicRiseTimeValue	0.075	3.072e-3
phasicHalfRecoveryTimeValue	1.136e-12	1.099e-12
phasicPeakEnergyValue	1.233e-7	1.928e-9

Tabla 6.3. Valores de p del test de Shapiro-Wilk sobre las diferencias (Post - Pre) para cada característica de la componente física

Las características que siguen una distribución normal son *phasicRangeValue*, *phasicMeanValue*, *phasicStdValue*, *phasicMedianValue*, *phasicRMSValue* y *phasicRiseTimeValue* únicamente en el bastón. En la pulsera Empatica, las características normales son *phasicMaxValue*, *phasicRangeValue*, *phasicStdValue* y *phasicQuartile75Value*. Por tanto, para estas variables se aplica el test t de Student pareado.

Inicialmente, las características que parecen ser significativas son todas, excepto *phasicMinValue* 6.19.b, *phasicQuartile25Value* 6.21.b, *phasicMedianValue* 6.22.b, *phasicNumPeaksValue* 6.25.a y *phasicHalfRecoveryTime* 6.26.a. Estas características no presentan sesgo significativo en sus histogramas.

6.3.1.2. Estudio de la significancia de las características.

Para esta parte se ha partido de las conclusiones obtenidas del estudio de normalidad. Si la diferencia es normal entonces se aplica el test t de student pareado o el test de Wilcoxon signed-rank.

En la tabla 6.4 se muestran los resultados para el bastón.

Característica	p-valor normalidad	Normalidad	Test usado	p-valor test	Significativa
gsrMaxValue	2.83e-04	No normal	Wilcoxon	1.06e-06	1
gsrMinValue	2.39e-07	No normal	Wilcoxon	0.50	0
gsrRangeValue	4.81e-04	No normal	Wilcoxon	4.20e-06	1
gsrMeanValue	2.56e-02	No normal	Wilcoxon	3.63e-05	1
gsrStdValue	1.46e-04	No normal	Wilcoxon	3.52e-06	1
gsrMedianValue	1.51e-05	No normal	Wilcoxon	1.59e-02	1
gsrModeValue	5.23e-05	No normal	Wilcoxon	0.66	0
tonicMaxValue	3.54e-01	Normal	t-test	0.30	0
tonicMinValue	1.53e-02	No normal	Wilcoxon	0.15	0
tonicRangeValue	5.89e-04	No normal	Wilcoxon	0.20	0
tonicMeanValue	1.67e-01	Normal	t-test	0.27	0
tonicStdValue	2.96e-04	No normal	Wilcoxon	0.20	0
tonicQuartile25Value	1.84e-02	No normal	Wilcoxon	0.31	0
tonicQuartile75Value	3.11e-01	Normal	t-test	0.41	0
phasicMinValue	3.18e-05	No normal	Wilcoxon	0.38	0
phasicMaxValue	2.77e-02	No normal	Wilcoxon	1.18e-04	1
phasicRangeValue	3.29e-01	Normal	t-test	8.98e-06	1
phasicMeanValue	5.51e-01	Normal	t-test	3.46e-03	1
phasicEnergyValue	1.69e-02	No normal	Wilcoxon	8.40e-03	1
phasicStdValue	8.52e-02	Normal	t-test	7.89e-06	1
phasicStrongPeakValue	2.43e-06	No normal	Wilcoxon	5.73e-05	1
phasicNumPeaksValue	2.24e-07	No normal	Wilcoxon	0.73	0
phasicRiseTimeValue	7.52e-02	Normal	t-test	3.54e-03	1
phasicHalfRecoveryTimeValue	1.13e-12	No normal	Wilcoxon	0.19	0
phasicPeakEnergyValue	1.23e-07	No normal	Wilcoxon	4.06e-04	1
phasicMedianValue	1.16e-01	Normal	t-test	0.14	0
phasicModeValue	2.92e-06	No normal	Wilcoxon	0.47	0
phasicRMSValue	1.96e-01	Normal	t-test	7.83e-04	1
phasicQuartile25Value	3.28e-05	No normal	Wilcoxon	0.60	0
phasicQuartile75Value	3.64e-02	No normal	Wilcoxon	3.18e-04	1

Tabla 6.4. Tabla de los resultados del bastón sobre las diferencias (Post - Pre) para todas las características

Si los tests de significancia dan menos de 0.05 se considera que esa característica se ve influenciada por los eventos de estrés. Las características que han dado significancia son recogidas en la tabla 6.5 .

Característica	Test usado
gsrMaxValue	Wilcoxon
gsrRangeValue	Wilcoxon
gsrMeanValue	Wilcoxon
gsrStdValue	Wilcoxon
gsrMedianValue	Wilcoxon
phasicMaxValue	Wilcoxon
phasicRangeValue	t-test
phasicMeanValue	t-test
phasicEnergyValue	Wilcoxon
phasicStdValue	t-test
phasicStrongPeakValue	Wilcoxon
phasicRiseTimeValue	t-test
phasicPeakEnergyValue	Wilcoxon
phasicRMSValue	t-test
phasicQuartile75Value	Wilcoxon

Tabla 6.5. Características que tienen diferencias significativas y con el test usado para el bastón

Como se puede notar las características que son significativas son las de la componente física y de la señal GSR que como sabemos son las que son más sensibles a los picos.

En la tabla 6.6 se muestran las características con el test usado y si son significativas o no para la pulsera Empatica.

Característica	p_Shapiro	Normalidad	Test	p_Test	Significativo
gsrMaxValue	0.001208	No normal	Wilcoxon	2.2067e-06	1
gsrMinValue	4.6761e-06	No normal	Wilcoxon	0.2021	0
gsrRangeValue	0.000531	No normal	Wilcoxon	6.7271e-07	1
gsrMeanValue	0.003295	No normal	Wilcoxon	0.0029	1
gsrStdValue	3.1757e-05	No normal	Wilcoxon	6.9872e-07	1
gsrMedianValue	4.1826e-05	No normal	Wilcoxon	0.7238	0
gsrModeValue	4.6761e-06	No normal	Wilcoxon	0.2021	0
tonicMaxValue	0.03729	No normal	Wilcoxon	0.5758	0
tonicMinValue	4.6838e-05	No normal	Wilcoxon	0.6237	0
tonicRangeValue	0.04055	No normal	Wilcoxon	0.5029	0
tonicMeanValue	0.000656	No normal	Wilcoxon	0.3239	0
tonicStdValue	0.01535	No normal	Wilcoxon	0.4223	0
tonicQuartile25Value	7.6887e-05	No normal	Wilcoxon	0.3850	0
tonicQuartile75Value	0.004141	No normal	Wilcoxon	0.2359	0
phasicMinValue	0.006238	No normal	Wilcoxon	0.1816	0
phasicMaxValue	0.13526	Normal	t-test	3.2702e-05	1
phasicRangeValue	0.19932	Normal	t-test	8.4484e-06	1
phasicMeanValue	0.001754	No normal	Wilcoxon	0.001893	1
phasicEnergyValue	0.009216	No normal	Wilcoxon	0.000974	1
phasicStdValue	0.06538	Normal	t-test	1.9509e-05	1
phasicStrongPeakValue	5.8282e-06	No normal	Wilcoxon	0.009584	1
phasicNumPeaksValue	2.1321e-08	No normal	Wilcoxon	0.3938	0
phasicRiseTimeValue	0.003072	No normal	Wilcoxon	0.02045	1
phasicHalfRecoveryTimeValue	1.0999e-12	No normal	Wilcoxon	0.9375	0
phasicPeakEnergyValue	1.9281e-09	No normal	Wilcoxon	0.007101	1
phasicMedianValue	0.000949	No normal	Wilcoxon	0.1554	0
phasicModeValue	0.006238	No normal	Wilcoxon	0.1816	0
phasicRMSValue	0.007229	No normal	Wilcoxon	0.000924	1
phasicQuartile25Value	0.001820	No normal	Wilcoxon	0.3691	0
phasicQuartile75Value	0.08210	Normal	t-test	0.006307	1

Tabla 6.6. Tabla con las características obtenidas de la Empatica aplicando los tests.

Si los tests de significancia dan menos de 0.05 se considera que esa característica se ve influenciada por los eventos de estrés. Las características que han dado significancia se muestran

en la tabla 6.7 .

Característica	Test aplicado
gsrMaxValue	Wilcoxon
gsrRangeValue	Wilcoxon
gsrMeanValue	Wilcoxon
gsrStdValue	Wilcoxon
phasicMaxValue	t-test
phasicRangeValue	t-test
phasicMeanValue	Wilcoxon
phasicEnergyValue	Wilcoxon
phasicStdValue	t-test
phasicStrongPeakValue	Wilcoxon
phasicRiseTimeValue	Wilcoxon
phasicPeakEnergyValue	Wilcoxon
phasicRMSValue	Wilcoxon
phasicQuartile75Value	t-test

Tabla 6.7. Características con diferencias significativas y el test estadístico usado en la pulsera Empatica

Como se puede observar todas las características que son significativas en el bastón, también son lo son en la Empatica. No obstante, la característica `gsrmedianvalue` ha dado que es significativa en el bastón y no en la Empatica. Cuando se han presentado los datos con las gráficas de los participante (6.2) se ha visto que el bastón responde más al pico que la Empatica por lo que ha hecho que la mediana sea significativa.

6.3.2. Estudio para muestras independientes

Para proceder correctamente en este estudio hay que realizar una serie de pasos:

- Se realiza el test de normalidad, para ello se realiza el Q-Q plot, el histograma y el test de Shapiro-Wilk de la característica en el grupo pre-evento y después en el grupo de post-evento.

- Tras la comprobación de que una característica es normal en ambos grupos se aplica el test t de Student para muestras independientes y si una o las dos no cumplen que sean normales, se aplica la prueba U de Mann-Whitney.

Tras esto se empieza por cada característica y al final se comenta que características son rechazadas.

6.3.2.1. Estudio de la normalidad.

A continuación, se muestran los resultados de normalidad de las características obtenidas de la GSR.

- **Característica 'máximo' de la ventana de la GSR:** Los gráficos se presentan en la figura 6.27.

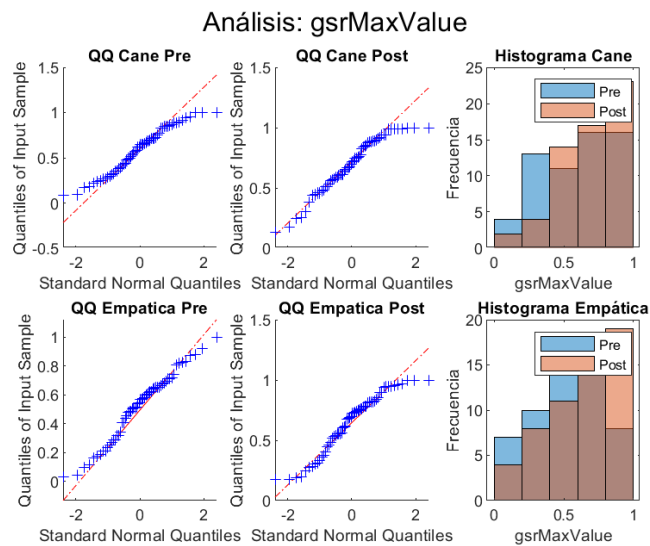


Figura 6.27. QQ plots e histograma de la característica máximo de la GSR

- **Característica 'mínimo' de la ventana de la GSR:** Los gráficos se presentan en la figura. 6.28.

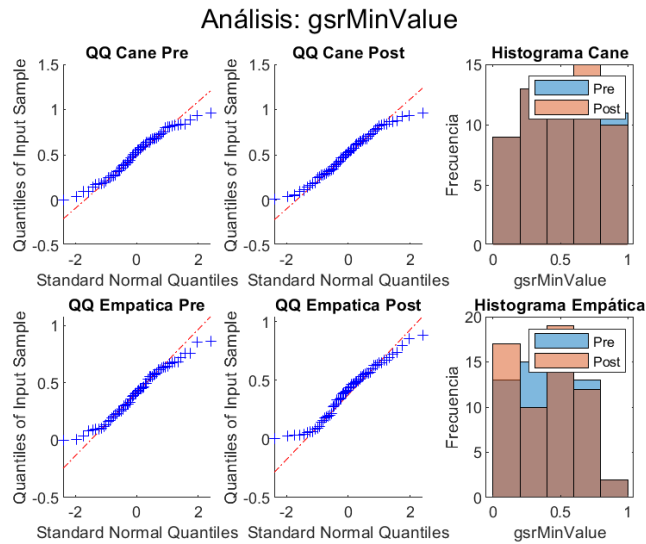


Figura 6.28. QQ plots e histograma de la característica mínimo de la GSR

- **Característica 'rango' de la ventana de la GSR:** Los gráficos se presentan en la figura 6.29.

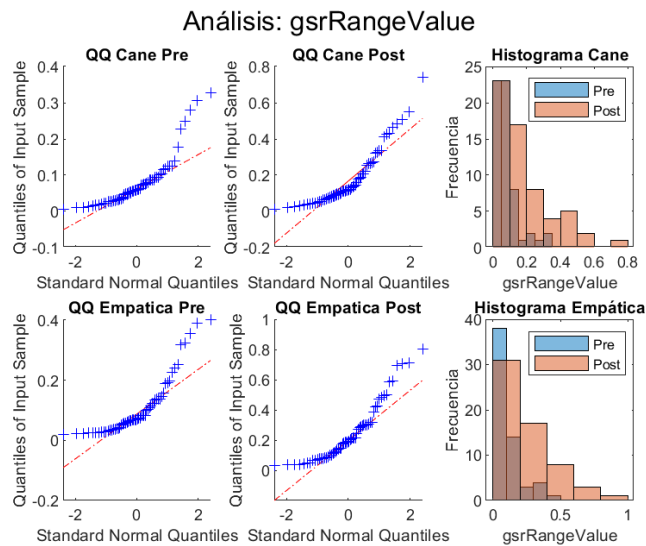


Figura 6.29. QQ plots e histograma de la característica rango de la GSR

- **Característica 'media' de la ventana de la GSR:** Los gráficos se presentan en la figura 6.30.

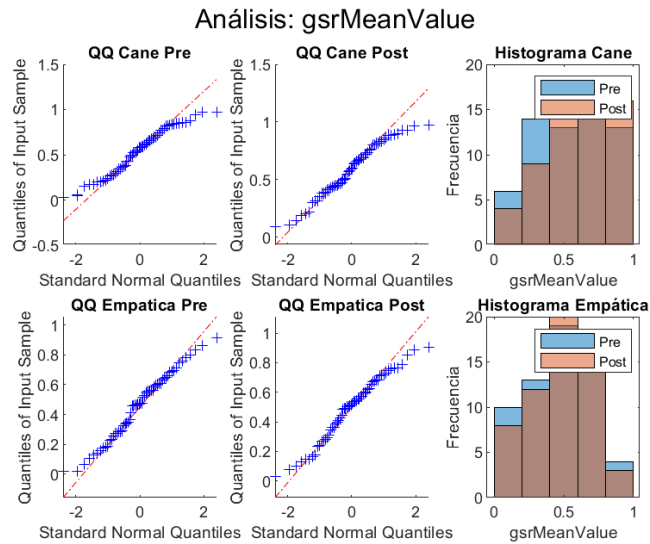


Figura 6.30. QQ plots e histograma de la característica media de la GSR

- **Característica 'desviación estándar' de la ventana de la GSR:** Los gráficos se presentan en la figura 6.31.

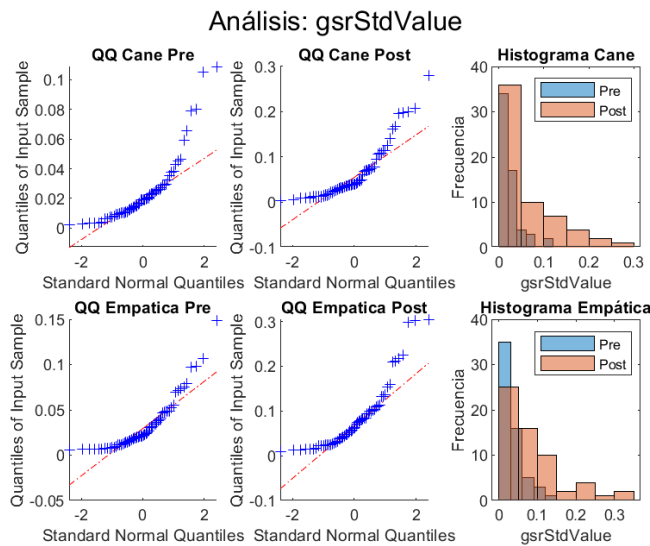


Figura 6.31. QQ plots e histograma de la característica desviación estándar de la GSR

- **Característica 'mediana' de la ventana de la GSR:** Los gráficos se presentan en la figura 6.32.

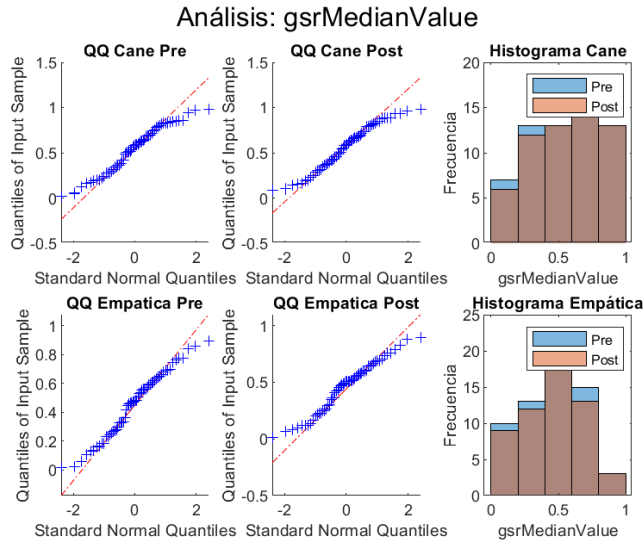


Figura 6.32. QQ plots e histograma de la característica mediana de la GSR

- **Característica 'moda' de la ventana de la GSR:** Los gráficos se presentan en la figura 6.33.

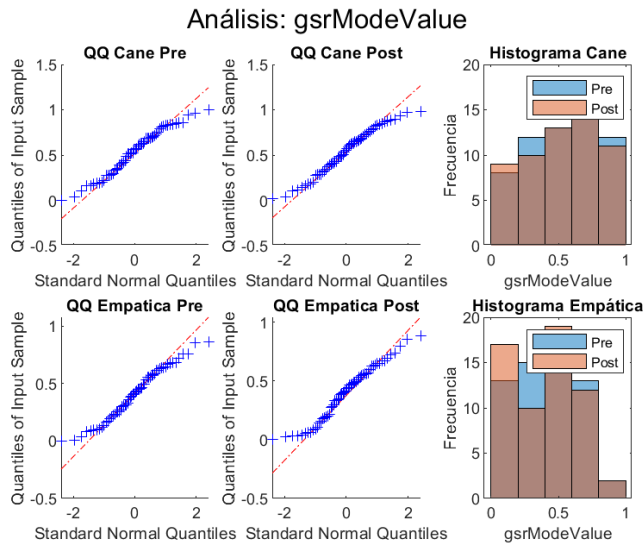


Figura 6.33. QQ plots e histograma de la característica moda de la GSR

En la Tabla 6.8 se muestran los resultados de aplicar el test de Shapiro-Wilk a cada grupo de una característica por separado.

Característica	Cane Pre-evento	Cane Post-evento	Empatica Pre-evento	Empatica Post-evento
gsrMaxValue	0.047	0.012	0.246	5.627e-3
gsrMinValue	0.128	0.176	0.174	0.069
gsrRangeValue	4.571e-7	9.597e-6	8.480e-7	7.347e-5
gsrMeanValue	0.049	0.087	0.349	0.209
gsrStdValue	2.425e-7	2.883e-6	1.570e-7	3.680e-6
gsrMedianValue	0.057	0.056	0.232	0.137
gsrModeValue	0.129	0.163	0.174	0.069

Tabla 6.8. Valores de p del test de Shapiro-Wilk sobre las características independientes (Post, Pre) de la GSR

Las características que se pueden considerar normales en ambos grupos para el bastón son: *gsrMinValue* (Figura 6.28), *gsrMedianValue* (Figura 6.32) y *gsrModeValue* (Figura 6.33). Para la pulsera Empatica se pueden considerar *gsrMinValue*, *gsrMeanValue* (Figura 6.30), *gsrMedianValue* y *gsrModeValue*. Se puede observar que en los gráficos *QQ plots* estas características no presentan tanta dispersión como las demás.

En este estudio, los histogramas permiten estimar qué características se ven más afectadas por el evento de estrés. No obstante, para poder distinguir esto con claridad, es necesario observar si el histograma de un grupo de una característica se solapa lo menos posible con el del otro grupo.

Inicialmente, las características que parecen ser más significativas observando los histogramas son el *rango* (Figura 6.29) y la *desviación estándar* (Figura 6.31).

Se muestran los resultados de normalidad de las características obtenidas de la componente tónica.

- **Característica 'máximo' de la ventana de la tónica:** Los gráficos se presentan en la figura 6.34.

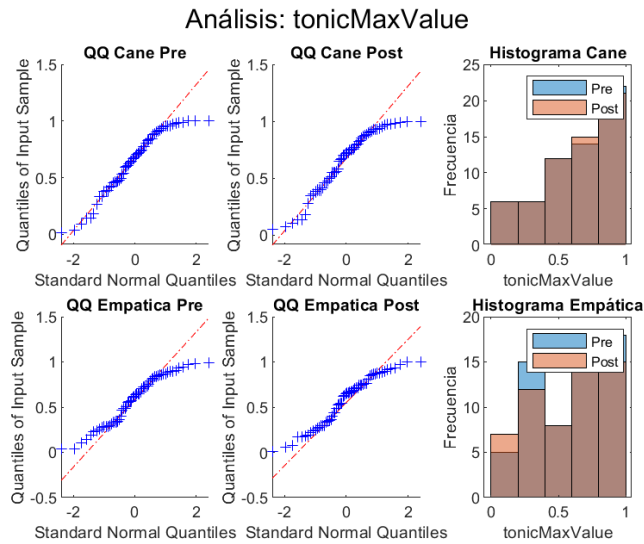


Figura 6.34. QQ plots e histograma de la característica máximo de la tónica

- **Característica 'mínimo' de la ventana de la tónica:** Los gráficos se presentan en la figura. 6.35.

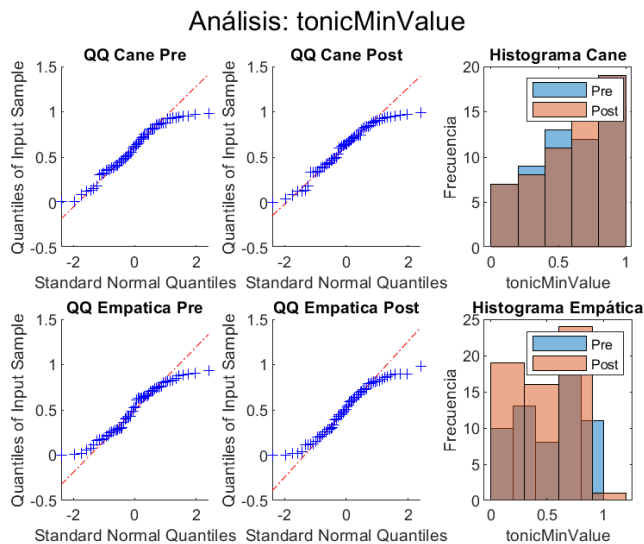


Figura 6.35. QQ plots e histograma de la característica mínimo de la tónica

- **Característica 'rango' de la ventana de la tónica:** Los gráficos se presentan en la figura 6.36.

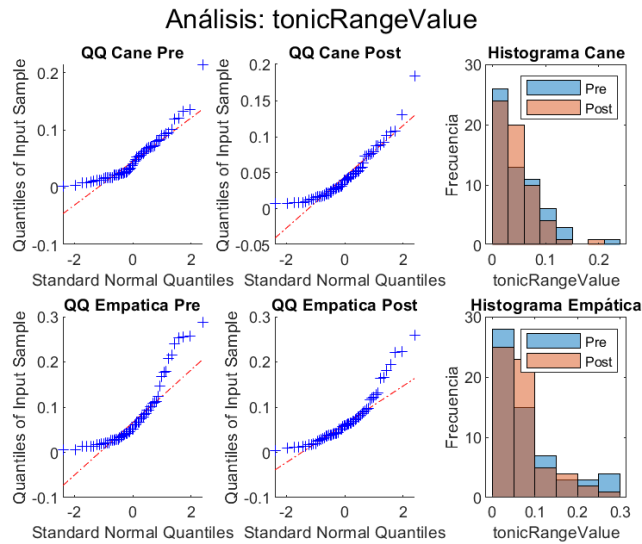


Figura 6.36. QQ plots e histograma de la característica rango de la tónica

- **Característica 'media' de la ventana de la tónica:** Los gráficos se presentan en la figura 6.37.

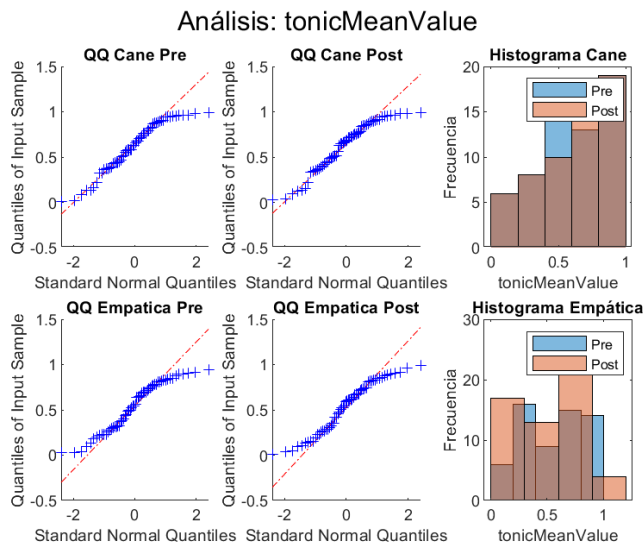


Figura 6.37. QQ plots e histograma de la característica media de la tónica

- **Característica 'desviación estándar' de la ventana de la tónica:** Los gráficos se presentan en la figura 6.38.

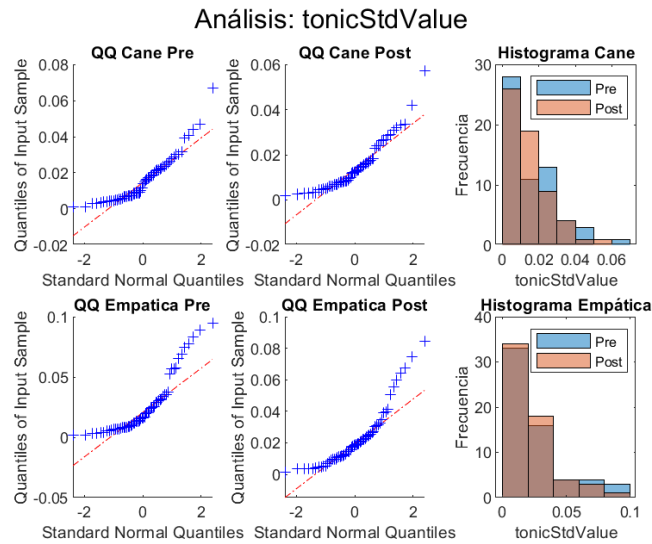


Figura 6.38. QQ plots e histograma de la característica desviación estándar de la tónica

- **Característica 'Primer cuartil' de la ventana de la tónica:** Los gráficos se presentan en la figura 6.39.

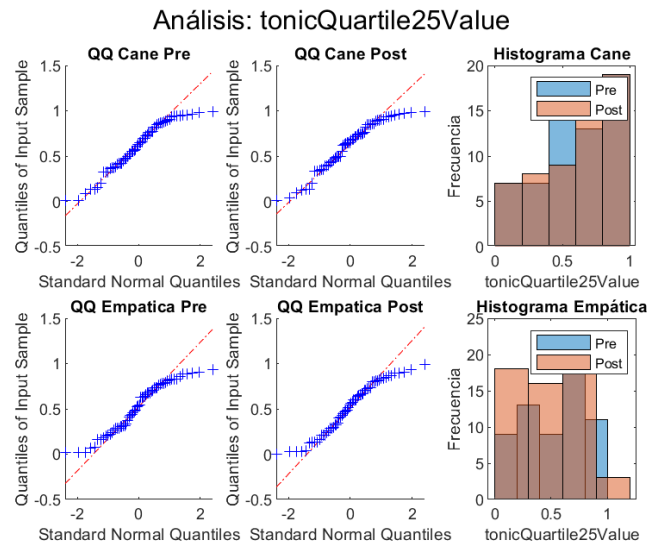


Figura 6.39. QQ plots e histograma de la característica primer cuartil de la tónica

- **Característica 'Tercer cuartil' de la ventana de la tónica:** Los gráficos se presentan en la figura 6.40.

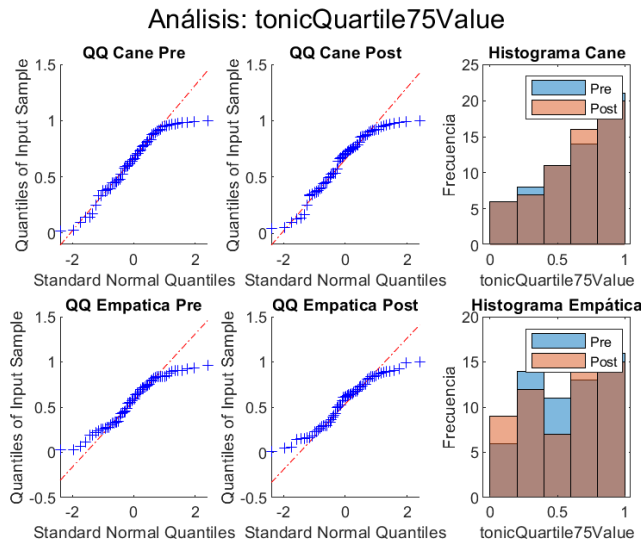


Figura 6.40. QQ plots e histograma de la característica tercer cuartil de la tónica

En la Tabla 6.9 se muestran los resultados obtenidos al aplicar el test de Shapiro-Wilk a cada característica de la componente tónica por grupo de forma separada.

Característica	Cane Pre-evento	Cane Post-evento	Empática Pre-evento	Empática Post-evento
tonicMaxValue	3.787e-3	1.373e-3	7.785e-3	9.995e-3
tonicMinValue	0.011	8.099e-3	6.739e-3	9.124e-3
tonicRangeValue	3.933e-5	5.008e-5	3.838e-6	2.224e-5
tonicMeanValue	5.816e-3	3.068e-3	4.039e-3	1.192e-2
tonicStdValue	9.041e-3	4.765e-3	2.725e-6	1.098e-5
tonicQuantile25Value	9.041e-3	4.765e-3	4.263e-3	0.014
tonicQuantile75Value	4.454e-3	1.955e-3	3.850e-3	0.011

Tabla 6.9. Valores de p del test de Shapiro-Wilk sobre las características independientes (Post, Pre) de la componente tónica

Las características no son normales, lo que se puede observar tanto en los QQ plots como en los histogramas. Además, no se puede estimar observando los histogramas que haya significancia de alguna característica, ya que se presenta bastante solape entre ambos grupos.

A continuación se muestran los resultados de normalidad de las características obtenidas de la componente fásica.

- **Característica 'máximo' de la ventana de la fásica:** Los gráficos se presentan en

la figura 6.41.

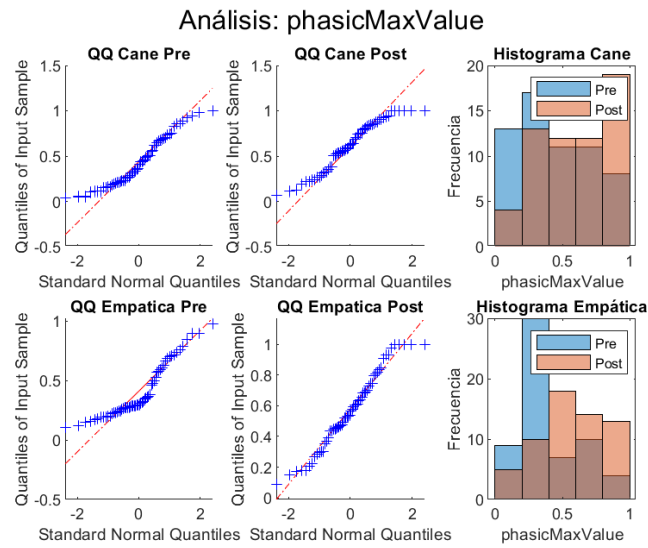


Figura 6.41. QQ plots e histograma de la característica máximo de la fásica

- **Característica 'mínimo' de la ventana de la fásica:** Los gráficos se presentan en la figura. 6.42.

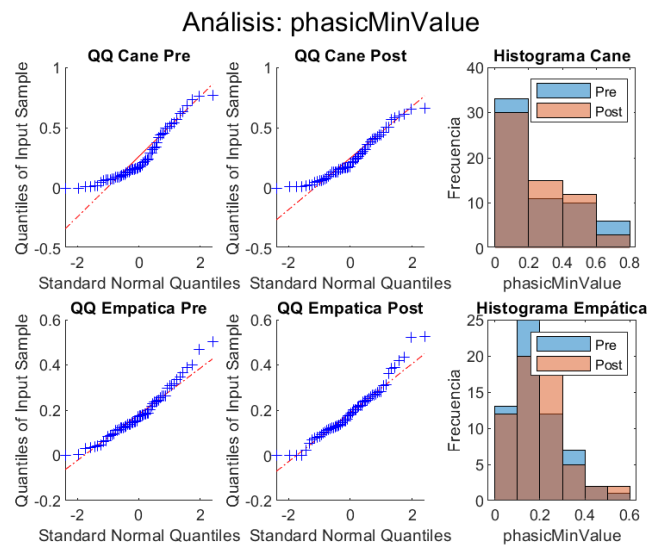


Figura 6.42. QQ plots e histograma de la característica mínimo de la fásica

- **Característica 'rango' de la ventana de la fásica:** Los gráficos se presentan en la figura 6.43.

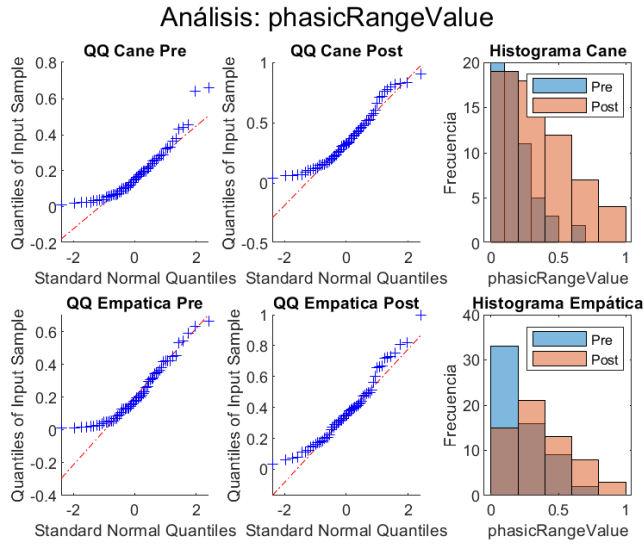


Figura 6.43. QQ plots e histograma de la característica rango de la fásica

- **Característica 'media' de la ventana de la fásica:** Los gráficos se presentan en la figura 6.44.

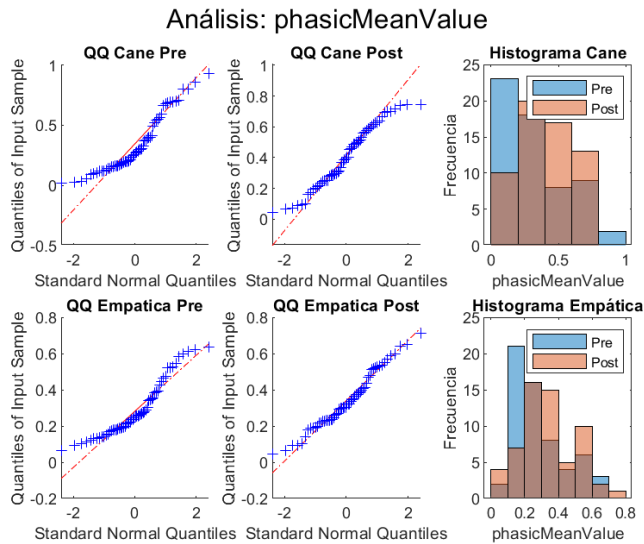


Figura 6.44. QQ plots e histograma de la característica media de la fásica

- **Característica 'desviación estándar' de la ventana de la fásica:** Los gráficos se presentan en la figura 6.45.

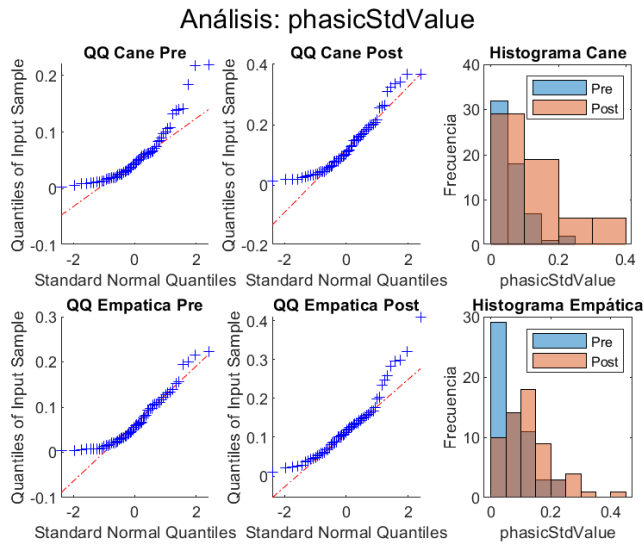


Figura 6.45. QQ plots e histograma de la característica desviación estándar de la fásica

- **Característica 'Primer cuartil' de la ventana de la fásica:** Los gráficos se presentan en la figura 6.46.

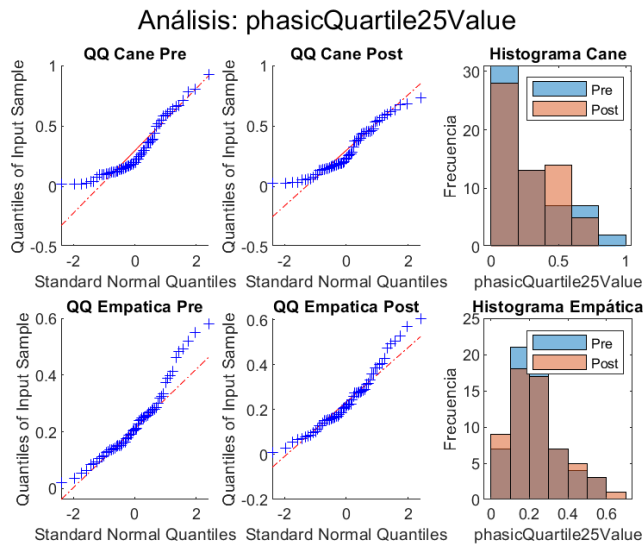


Figura 6.46. QQ plots e histograma de la característica primer cuartil de la fásica

- **Característica 'Tercer cuartil' de la ventana de la fásica:** Los gráficos se presentan en la figura 6.47.

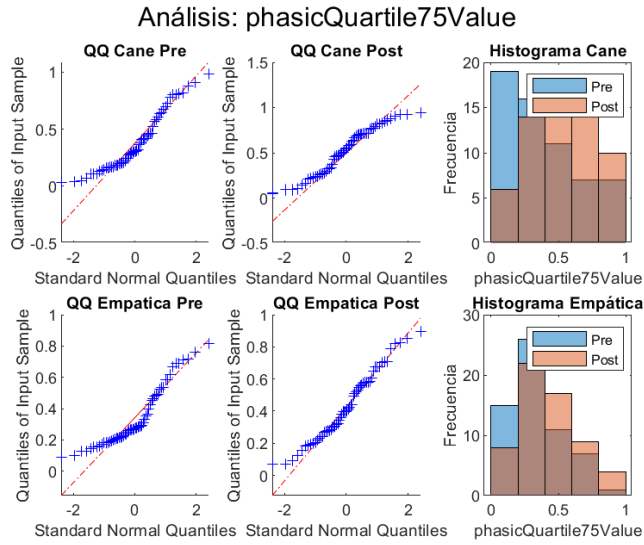


Figura 6.47. QQ plots e histograma de la característica tercer cuartil de la fásica

- **Característica 'mediana' de la ventana de la fásica:** Los gráficos se presentan en la figura 6.48.

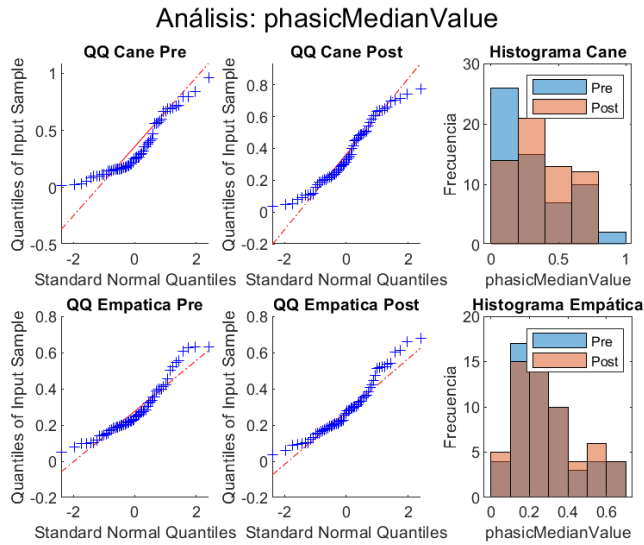


Figura 6.48. QQ plots e histograma de la característica mediana de la fásica

- **Característica 'moda' de la ventana de la fásica:** Los gráficos se presentan en la figura. 6.49.

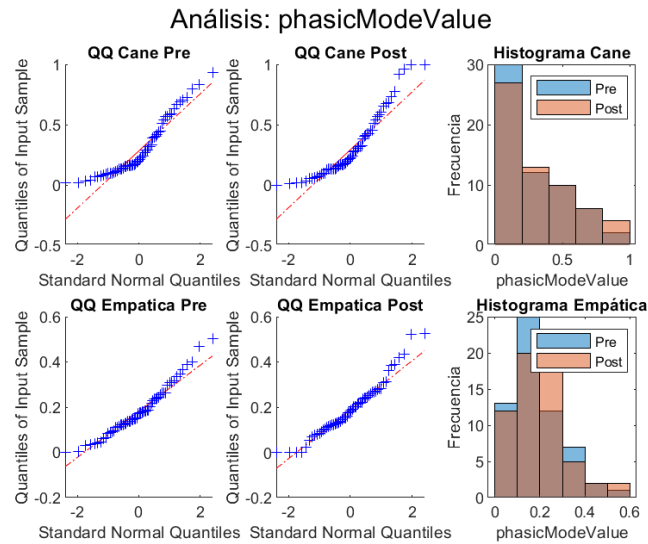


Figura 6.49. QQ plots e histograma de la característica moda de la fásica

- **Característica 'Media cuadrática o RMS' de la ventana de la fásica:** Los gráficos se presentan en la figura 6.50.

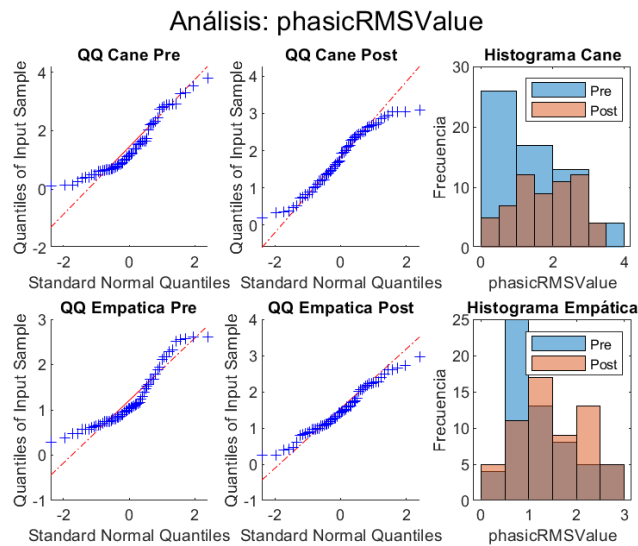


Figura 6.50. QQ plots e histograma de la característica media cuadrática de la fásica

- **Característica 'energía' de la ventana de la fásica:** Los gráficos se presentan en la figura 6.51.

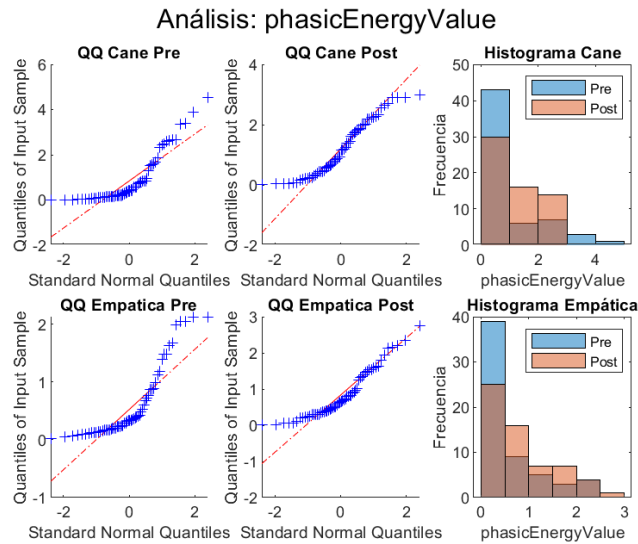


Figura 6.51. QQ plots e histograma de la característica energía de la física

- **Característica 'StrongPeak' de la ventana de la física:** Los gráficos se presentan en la figura 6.52.

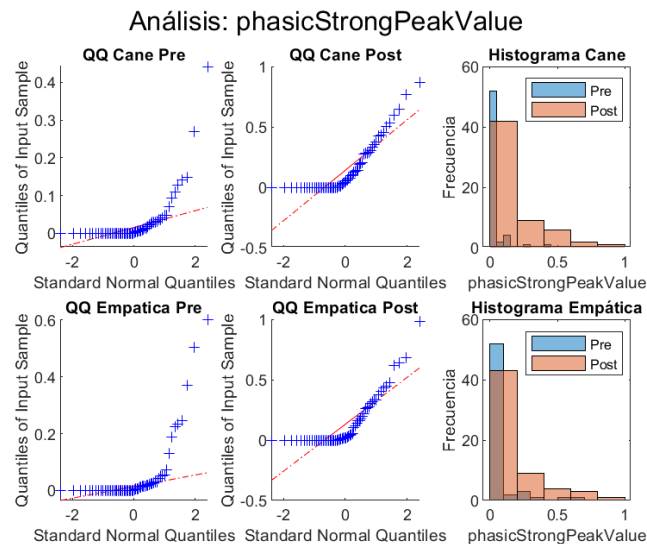


Figura 6.52. QQ plots e histograma de la característica strong peak de la física

- **Característica 'NumPeaks' de la ventana de la física:** Los gráficos se presentan en la figura 6.53.

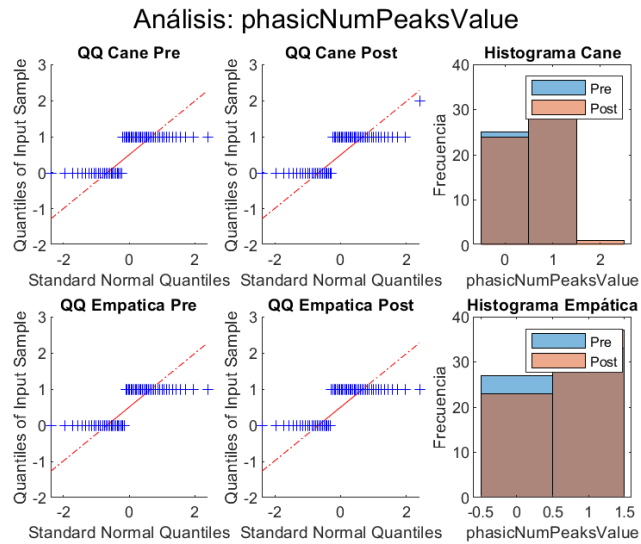


Figura 6.53. QQ plots e histograma de la característica NumPeaks de la fásica

- **Característica 'RiseTime' de la ventana de la fásica:** Los gráficos se presentan en la figura 6.54.

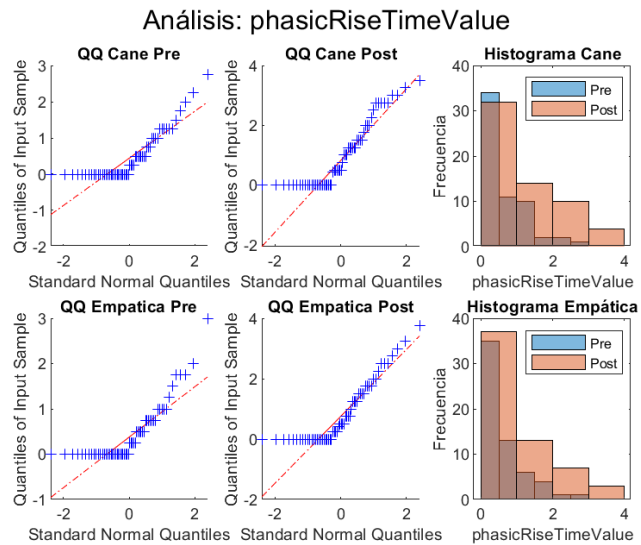


Figura 6.54. QQ plots e histograma de la característica RiseTime de la fásica

- **Característica 'HalfRecoveryTime' de la ventana de la fásica:** Los gráficos se presentan en la figura 6.55.

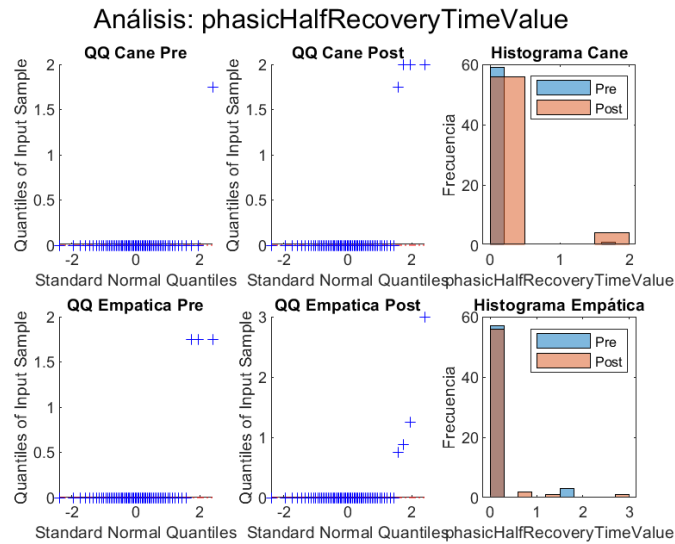


Figura 6.55. QQ plots e histograma de la característica HalfRecoveryTime de la fásica

- **Característica 'PeakEnergy' de la ventana de la fásica:** Los gráficos se presentan en la figura 6.56.

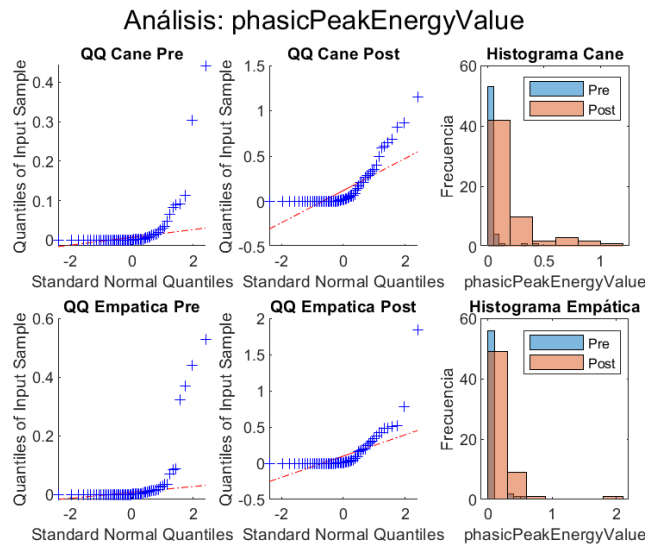


Figura 6.56. QQ plots e histograma de la característica PeakEnergy de la fásica

En la Tabla 6.10 se muestran los resultados obtenidos al aplicar el test de Shapiro-Wilk a cada característica de la componente tónica por grupo de forma separada.

Característica	Cane Pre-evento	Cane Post-evento	Empatica Pre-evento	Empatica Post-evento
<i>phasicMaxValue</i>	4.945e-3	8.243e-3	2.986e-5	0.117
<i>phasicMinValue</i>	5.182e-5	2.089e-3	0.051	0.034
<i>phasicRangeValue</i>	1.163e-4	2.027e-3	4.748e-4	0.0258
<i>phasicMeanValue</i>	1.766e-4	0.046	2.123e-4	0.166
<i>phasicEnergyValue</i>	4.143e-7	1.040e-3	5.724e-7	1.465e-4
<i>phasicStdValue</i>	7.506e-6	1.671e-4	4.872e-4	6.199e-4
<i>phasicQuantile25Value</i>	7.117e-5	1.729e-3	7.414e-3	0.020
<i>phasicQuantile75Value</i>	7.248e-4	0.017	6.173e-5	0.117
<i>phasicMedianValue</i>	6.700e-5	0.018	6.022e-4	6.180e-3
<i>phasicModeValue</i>	5.328e-5	1.706e-4	0.051	0.038
<i>phasicRMSValue</i>	4.134e-4	0.024	8.963e-5	0.229
<i>phasicStrongPeakValue</i>	1.609e-11	2.038e-7	2.165e-11	3.923e-8
<i>phasicNumPeaksValue</i>	4.295e-11	3.993e-10	5.523e-11	2.948e-11
<i>phasicRiseTimeValue</i>	2.177e-7	1.443e-6	9.201e-8	7.238e-7
<i>phasicHalfRecoveryTimeValue</i>	1.055e-14	2.186e-13	8.782e-14	9.737e-14
<i>phasicPeakEnergyValue</i>	1.443e-12	8.530e-9	1.799e-12	7.918e-11

Tabla 6.10. Valores de p del test de Shapiro-Wilk sobre las características independientes (Post, Pre) de la componente física

Ninguna de las características ha resultado ser normal según el test de Shapiro-Wilk. Inicialmente, las características que parecen ser más significativas al observar el histograma en el caso del bastón son: *phasicRangeValue* (Figura 6.43), *phasicStdValue* (Figura 6.45), *phasicQuantile75Value* (Figura 6.47), *phasicStrongPeak* (Figura 6.52), *phasicRiseTimeValue* (Figura 6.54) y *phasicPeakEnergyValue* (Figura 6.56).

En el caso de la pulsera Empatica, las características que inicialmente parecen ser más significativas según los histogramas son: *phasicMaxValue* (Figura 6.41), *phasicRangeValue* (Figura 6.43), *phasicQuantile75Value* (Figura 6.47), *phasicStdValue* (Figura 6.45), *phasicStrongPeak* (Figura 6.52), *phasicRiseTimeValue* (Figura 6.54) y *phasicPeakEnergyValue* (Figura 6.56).

6.3.2.2. Estudio de la significancia de las características.

Para esta parte se ha partido de las conclusiones obtenidas del estudio de normalidad. Si la característica de ambos grupos (Pre-evento y Post-evento) son normales entonces se aplica el test t de student para muestras independientes o el test de Wilcoxon Mann-Whitney U si la distribución no es normal.

Se muestra en la tabla 6.11 los resultados para el bastón.

Característica	Test	p Valor	Significativo
gsrMaxValue	Mann-Whitney	0.0264	Sí
gsrMinValue	t-Student	0.9466	No
gsrRangeValue	Mann-Whitney	4.01e-06	Sí
gsrMeanValue	Mann-Whitney	0.3737	No
gsrStdValue	Mann-Whitney	6.24e-07	Sí
gsrMedianValue	t-Student	0.6664	No
gsrModeValue	t-Student	0.9307	No
tonicMaxValue	Mann-Whitney	0.9164	No
tonicMinValue	Mann-Whitney	0.8051	No
tonicRangeValue	Mann-Whitney	0.7094	No
tonicMeanValue	Mann-Whitney	0.8852	No
tonicStdValue	Mann-Whitney	0.7789	No
tonicQuartile25Value	Mann-Whitney	0.8646	No
tonicQuartile75Value	Mann-Whitney	0.9289	No
phasicMinValue	Mann-Whitney	0.9456	No
phasicMaxValue	Mann-Whitney	0.0007	Sí
phasicRangeValue	Mann-Whitney	4.49e-06	Sí
phasicMeanValue	Mann-Whitney	0.0374	Sí
phasicEnergyValue	Mann-Whitney	0.0161	Sí
phasicStdValue	Mann-Whitney	1.59e-06	Sí
phasicStrongPeakValue	Mann-Whitney	0.0029	Sí
phasicNumPeaksValue	Mann-Whitney	0.7733	No
phasicRiseTimeValue	Mann-Whitney	0.0194	Sí
phasicHalfRecoveryTimeValue	Mann-Whitney	0.1677	No
phasicPeakEnergyValue	Mann-Whitney	0.0040	Sí
phasicMedianValue	Mann-Whitney	0.2126	No
phasicModeValue	Mann-Whitney	0.8873	No
phasicRMSValue	Mann-Whitney	0.0161	Sí
phasicQuartile25Value	Mann-Whitney	0.6498	No
phasicQuartile75Value	Mann-Whitney	0.0015	Sí

Tabla 6.11. Tabla de los resultados del bastón para la suposición de que cada característica es independiente

Si los tests de significancia dan menos de 0.05 se considera que esa característica se ve influenciada por los eventos de estrés. De las características que han dado significancia son expresadas en la tabla 6.12.

Característica	Test usado
gsrMaxValue	Mann-Whitney
gsrRangeValue	Mann-Whitney
gsrStdValue	Mann-Whitney
phasicMaxValue	Mann-Whitney
phasicRangeValue	Mann-Whitney
phasicMeanValue	Mann-Whitney
phasicEnergyValue	Mann-Whitney
phasicStdValue	Mann-Whitney
phasicStrongPeakValue	Mann-Whitney
phasicRiseTimeValue	Mann-Whitney
phasicPeakEnergyValue	Mann-Whitney
phasicRMSValue	Mann-Whitney
phasicQuartile75Value	Mann-Whitney

Tabla 6.12. Características que tienen diferencias significativas y el test usado para el bastón

Como se puede notar las características que son significativas son las de la componente física y de la GSR que como sabemos son las que más son sensibles a los picos. Vemos que las características de picos han dado muchas significativas.

Se muestra las características que son significativas en la Empática en la tabla 6.13.

Característica	Test	p_Test	Significativo
gsrMaxValue	Mann-Whitney	0.0028704751482462	Sí
gsrMinValue	t-Student	0.849920059969159	No
gsrRangeValue	Mann-Whitney	6.95600346353593e-07	Sí
gsrMeanValue	t-Student	0.409632020422608	No
gsrStdValue	Mann-Whitney	3.70920063007021e-07	Sí
gsrMedianValue	t-Student	0.943939684434365	No
gsrModeValue	t-Student	0.849920059969159	No
tonicMaxValue	Mann-Whitney	0.901835482152286	No
tonicMinValue	Mann-Whitney	0.97278433939545	No
tonicRangeValue	Mann-Whitney	0.985343496795495	No
tonicMeanValue	Mann-Whitney	0.811250538222336	No
tonicStdValue	Mann-Whitney	0.997906098467279	No
tonicQuartile25Value	Mann-Whitney	0.914315300974892	No
tonicQuartile75Value	Mann-Whitney	0.715275338947512	No
phasicMinValue	Mann-Whitney	0.651701718251449	No
phasicMaxValue	Mann-Whitney	0.000272577252274374	Sí
phasicRangeValue	Mann-Whitney	2.90816606990307e-05	Sí
phasicMeanValue	Mann-Whitney	0.0369483854776334	Sí
phasicEnergyValue	Mann-Whitney	0.0106657676972685	Sí
phasicStdValue	Mann-Whitney	1.37073534131624e-05	Sí
phasicStrongPeakValue	Mann-Whitney	0.026696820265882	Sí
phasicNumPeaksValue	Mann-Whitney	0.462649924100666	No
phasicRiseTimeValue	Mann-Whitney	0.050692653401372	No
phasicHalfRecoveryTimeValue	Mann-Whitney	0.73202715876219	No
phasicPeakEnergyValue	Mann-Whitney	0.0234837960323578	Sí
phasicMedianValue	Mann-Whitney	0.754817092482582	No
phasicModeValue	Mann-Whitney	0.651701718251449	No
phasicRMSValue	Mann-Whitney	0.0106657676972685	Sí
phasicQuartile25Value	Mann-Whitney	0.742881475069388	No
phasicQuartile75Value	Mann-Whitney	0.0137305701428093	Sí

Tabla 6.13. Tabla de los resultados de la pulsera Empatica para la suposición de que cada característica es independiente.

Si los tests de significancia dan menos de 0.05 se considera que esa característica se ve

influenciada por los eventos de estrés. De las características que han dado significancia son mostradas en la tabla 6.14 .

Característica significativa	Test
gsrMaxValue	Mann-Whitney
gsrRangeValue	Mann-Whitney
gsrStdValue	Mann-Whitney
phasicMaxValue	Mann-Whitney
phasicRangeValue	Mann-Whitney
phasicMeanValue	Mann-Whitney
phasicEnergyValue	Mann-Whitney
phasicStdValue	Mann-Whitney
phasicStrongPeakValue	Mann-Whitney
phasicPeakEnergyValue	Mann-Whitney
phasicRMSValue	Mann-Whitney
phasicQuartile75Value	Mann-Whitney

Tabla 6.14. Características con diferencias significativas y el test estadístico usado en la pulsera Empatica

Como se puede observar, todas las características que resultan significativas en el bastón (Tabla 6.12) también lo son en la pulsera Empatica (Tabla 6.14), con la excepción de la característica *phasicRiseTime*.

6.3.3. Comparativa de los resultados obtenidos en ambos estudios.

En esta sección se comenta los resultados obtenidos en ambos estudios para los dos sensores usados.

6.3.3.1. Bastón instrumentado.

Para el estudio de muestras pareadas se obtuvo que las características más significativas con las expuestas en la tabla 6.5 y para el estudio de muestras independientes se obtuvo la tabla resumen 6.12. No obstante, se puede ver que los resultados obtenidos en ambos

estudios son los esperables, ya que las características planteadas son muy sensibles a cambios relativamente grandes del valor de la señal en una ventana de estrés con respecto a una en la que no hay estrés, ya que, como se ha visto, el estrés ante un evento de duración corta como es de 5 segundos, se manifiesta en las componentes GSR y fásica como un pico en el momento de estrés.

6.3.3.2. Pulsera Empatica EmbracePlus.

Para el estudio de muestras pareadas se obtuvo que las características más significativas con las expuestas en la tabla 6.7 y para el estudio de muestras independientes se obtuvo la tabla resumen 6.14. Los resultados obtenidos nos dicen que tras ambos estudios han dado las mismas características como significativas menos el estudio de muestras independientes que ha descartado la media de la GSR y el tiempo de subida del pico de la fásica.

6.3.3.3. Comparación bastón y pulsera Empatica.

Si comparamos los resultados obtenidos en el estudio de muestras pareadas del bastón (Tabla 6.5) y de la pulsera Empatica (Tabla 6.7), se puede observar que ambos sensores comparten las mismas características significativas, con la excepción de la mediana de la GSR, que únicamente es seleccionada por el bastón.

Si comparamos las tablas resumen para el estudio de muestras independientes para el bastón 6.12 y para la pulsera Empatica 6.14, se puede ver que todas las características dan resultados similares menos la característica del tiempo de subida de la fásica, lo que puede ser debido a que el bastón tiene los picos más pronunciados, además de que en estos estudios no se puede construir un umbral adaptativo robusto en el script 'Peaks.m' que está en el repositorio [1]. Esto conlleva a que el tiempo de subida se vea afectado negativamente como una característica para detectar un evento de estrés.

Capítulo 7

Tratamiento y estudio de los datos con artefactos

7.1. Representación gráfica de los datos de los participantes.

Las señales han sido filtradas con un filtro Butterworth de segundo orden con frecuencia de corte en 1,6Hz para así eliminar parte del ruido por artefactos, además las señales están normalizadas con la expresión 7.1.

$$\text{señal normalizada} = \frac{\text{señal} - \min(\text{señal})}{\max(\text{señal}) - \min(\text{señal})} \quad (7.1)$$

Los participantes usados en la primera prueba son distintos a los que han participado en este segundo experimento. Para el participante S0 se han obtenido las curvas que aparecen en 7.1.

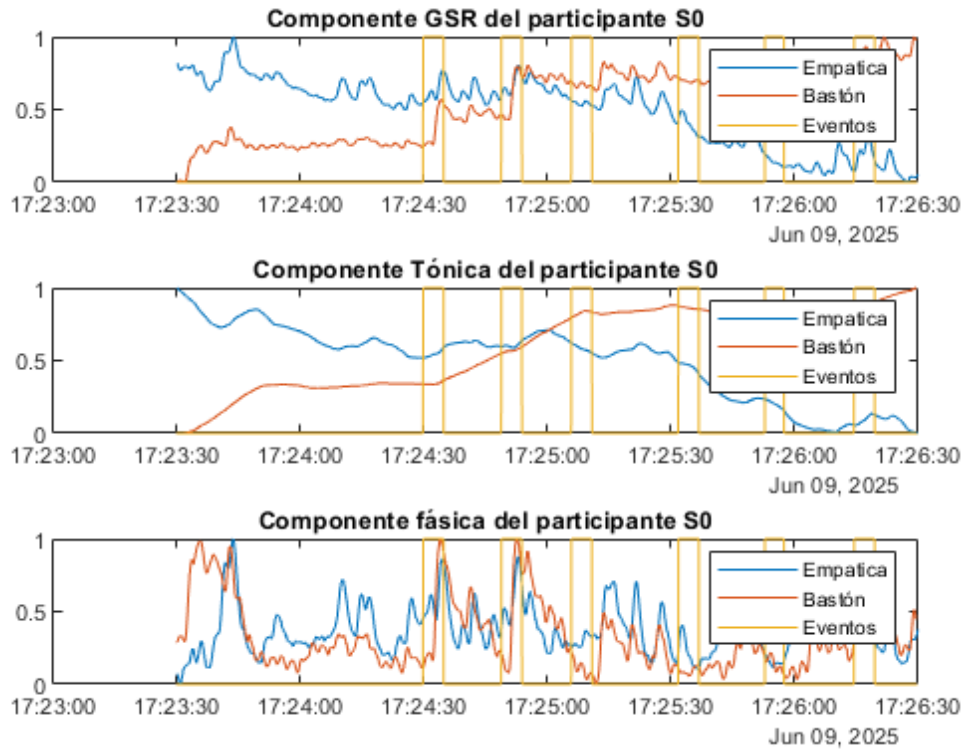


Figura 7.1. Curvas de la parte de música con artefactos del participante S0

En el participante S0 se puede observar cómo ambas señales presentan ruido y especialmente en la pulsera Empatica. Se puede apreciar en la fásica del bastón que el participante responde bien a los eventos de estrés.

Para el participante S2 se han obtenido las curvas que aparecen en 7.2.

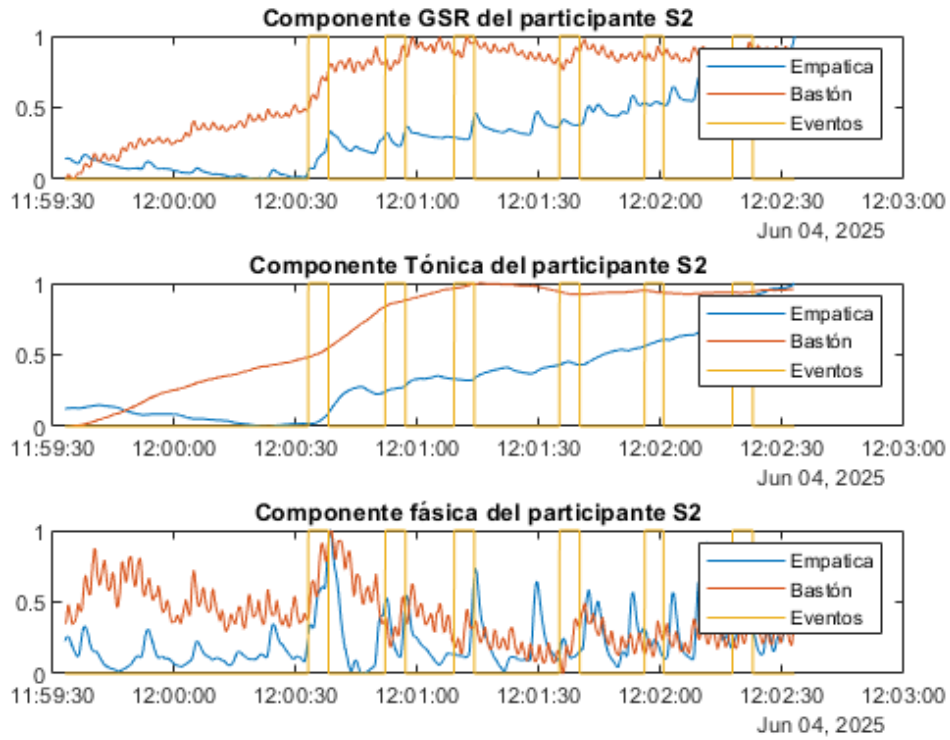


Figura 7.2. Curvas de la parte de música con artefactos del participante S2

En el participante S2 sucede lo mismo que para el S0 con el ruido en la Empatica. Para el participante S4 se han obtenido las curvas que aparecen en 7.3.

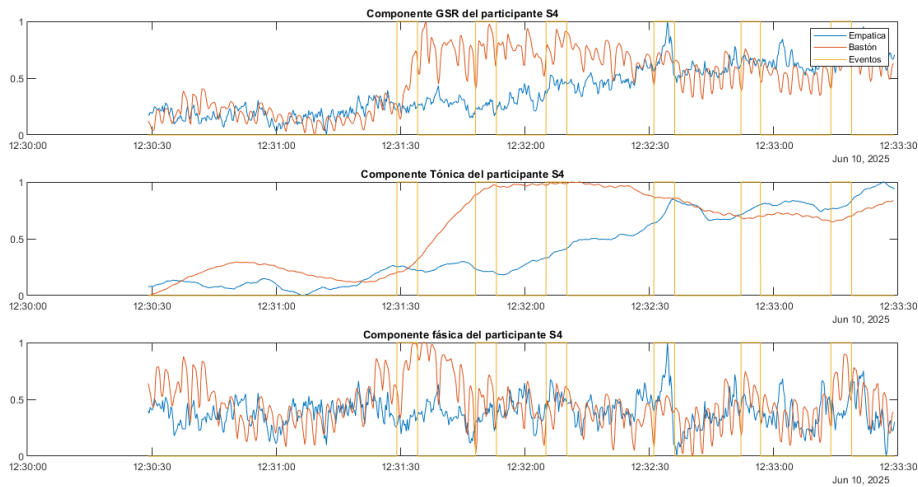


Figura 7.3. Curvas de la parte de música con artefactos del participante S4

Para el participante S5 se han obtenido las curvas que aparecen en 7.4.

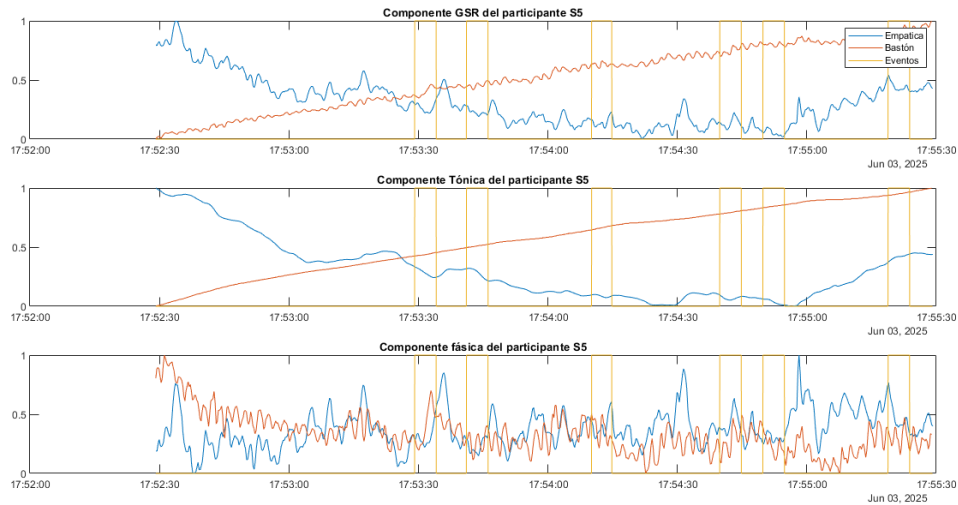


Figura 7.4. Curvas de la parte de música con artefactos del participante S5

Tanto la física como la GSR del bastón y de la Empatica presentan ruido debido a los artefactos de movimiento.

Para el participante S6 se han obtenido las curvas que aparecen en 7.5.

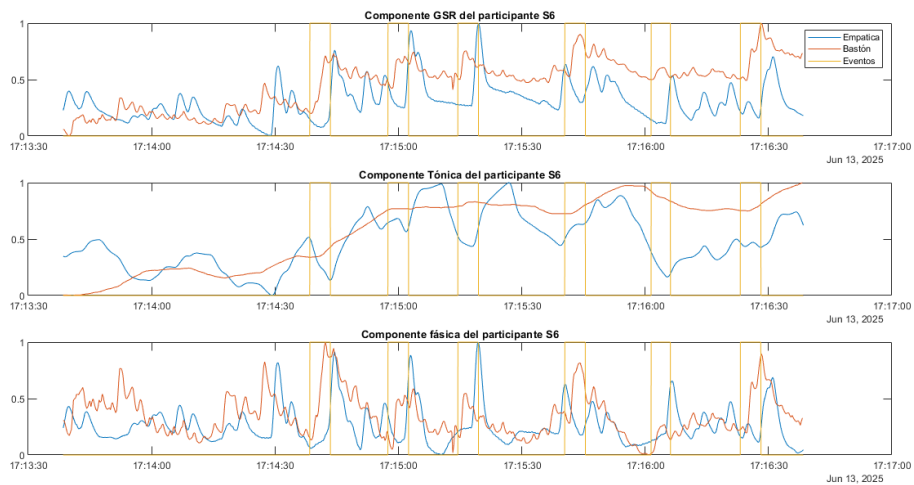


Figura 7.5. Curvas de la parte de música con artefactos del participante S6

En este caso el participante presenta una buena respuesta a los eventos de estrés.

Para el participante S7 se han obtenido las curvas que aparecen en 7.6.

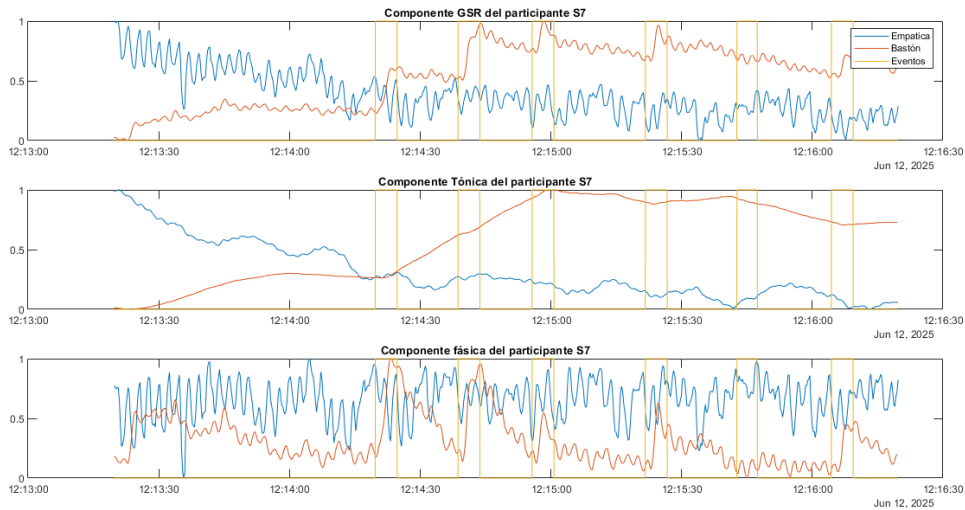


Figura 7.6. Curvas de la parte de música con artefactos del participante S7

Para el participante S8 se han obtenido las curvas que aparecen en 7.7.

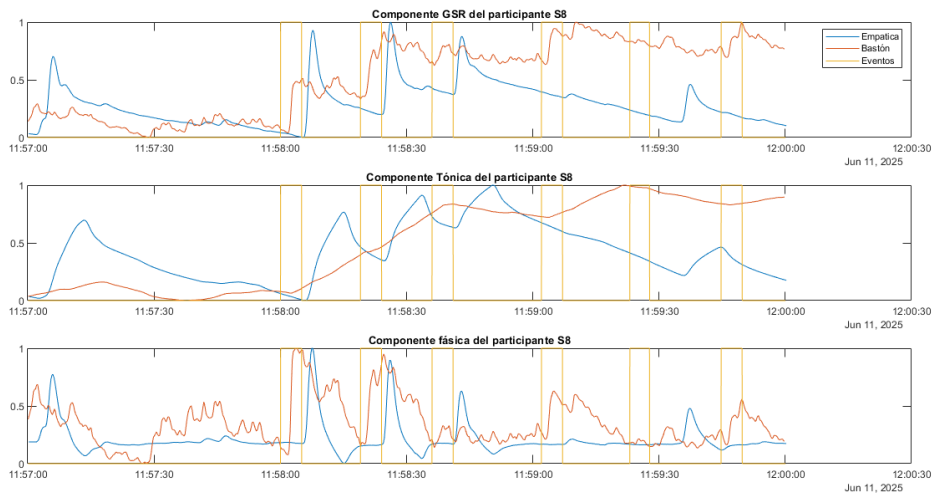


Figura 7.7. Curvas de la parte de música con artefactos del participante S8

Se puede observar tras analizar las gráficas de los participantes una por una que las señales presentan ruido por los artefactos y que en el bastón sobre todo se puede apreciar que la señal se ve afectada por el evento de estrés. En la Empatica no se nota debido a que la Empatica estaba en la mano que los participantes usaban para agarrarse a la cinta por lo que se ha visto que se ha aplicado en la Empatica ruido de los artefactos de movimiento y de aplicar presión en el sensor.

7.2. Estudio de los datos obtenidos

7.2.1. Estudio para muestras pareadas

Para proceder correctamente en este estudio hay que realizar una serie de pasos:

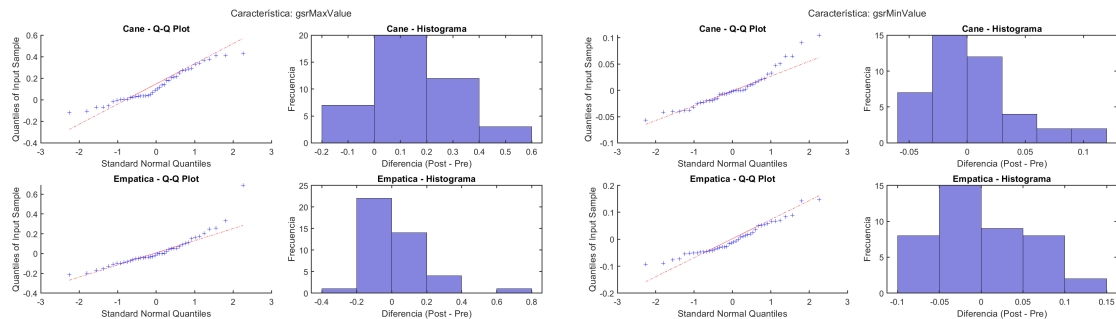
- Se realiza el test de normalidad, para ello se realiza el Q-Q plot y el histograma de la diferencia de cada par de la característica y el test de Shapiro-Wilk para la diferencia.
- Tras la comprobación de la normalidad o no de la diferencia de los pares de las características, se aplica el test de Wilcoxon para muestras pareadas 'Wilcoxon signed rank' o el test t de Student para muestras pareadas.

Tras esto se empieza por cada característica y al final se comenta qué características son rechazadas.

7.2.1.1. Estudio de la normalidad.

A continuación, se muestran los resultados de normalidad de las características obtenidas de la GSR.

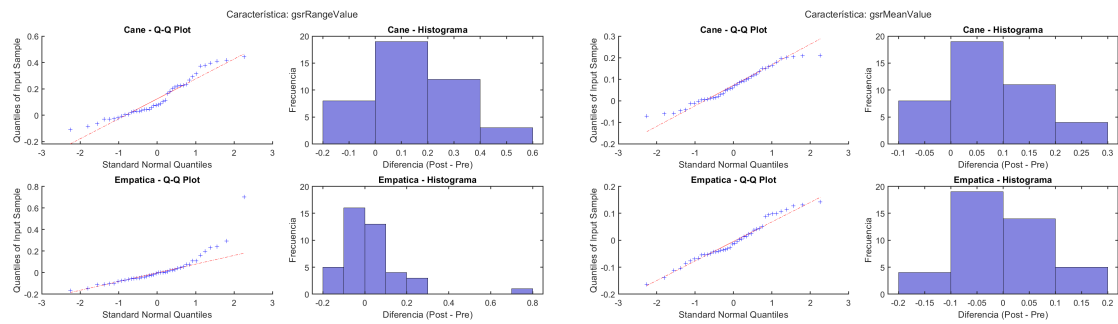
- **Características 'máximo' y 'mínimo' de la ventana de la GSR:** Los gráficos se presentan en la figura 7.8.



(a) QQ plots e histograma de la característica máximo de la GSR (b) QQ plots e histograma de la característica mínimo de la GSR

Figura 7.8. Gráficas QQ plots de GSR máximo y mínimo.

- **Características 'rango' y 'media' de la ventana de la GSR:** Los gráficos se presentan en la figura 7.9.

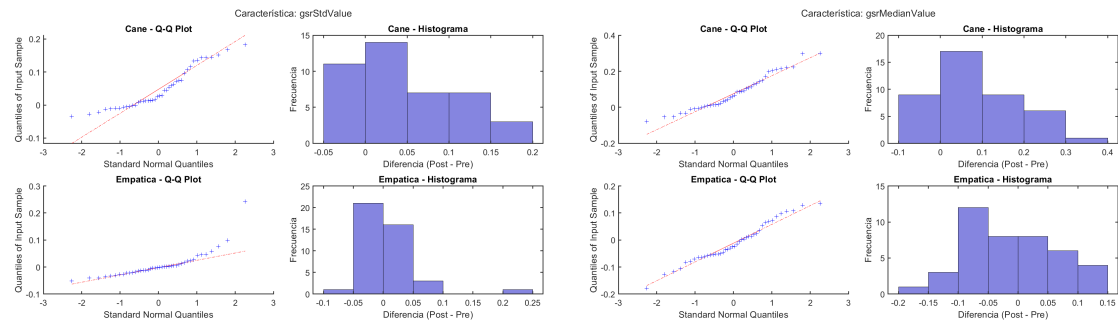


(a) QQ plots e histograma de la característica rango de la GSR (b) QQ plots e histograma de la característica media de la GSR

Figura 7.9. Gráficas QQ plots de GSR rango y media.

- **Características 'desviación estándar' y 'mediana' de la ventana de la GSR:**

Los gráficos se presentan en la figura 7.10.



(a) QQ plots e histograma de la característica desviación estándar de la GSR (b) QQ plots e histograma de la característica mediana de la GSR

Figura 7.10. Gráficas QQ plots de GSR desviación estándar y mediana.

- **Característica 'moda' de la ventana de la GSR:** Los gráficos se presentan en la figura 7.11.

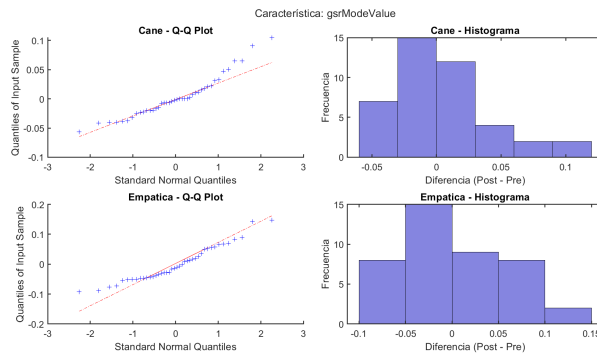


Figura 7.11. QQ plots e histograma de la característica moda de la GSR

Se presenta la tabla 7.1 en la que se muestran los valores que han dado las diferencias para el test de Shapiro-Wilk.

Característica	Cane	Empatica
gsrMaxValue	0.034	1.808e-04
gsrMinValue	0.014	0.060
gsrRangeValue	0.011	3.772e-06
gsrMeanValue	0.171	0.326
gsrStdValue	1.545e-03	7.089e-07
gsrMedianValue	0.084	0.444
gsrModeValue	0.014	0.060

Tabla 7.1. Valores de p del test de Shapiro-Wilk sobre las diferencias (Post - Pre) para cada característica de la GSR

Como se comentó, si en el test el valor p está por debajo de 0.05 se descarta la hipótesis de que los datos sigan una distribución normal. Como se ha podido ver en los Q-Q plots, se ha visto que varios valores han hecho que se dispersen de la recta, por lo que no son normales.

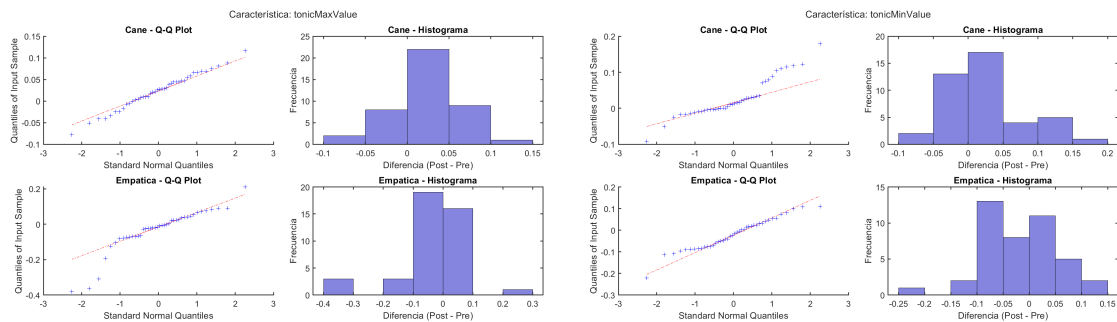
Los histogramas representados pueden darnos una estimación de qué característica va a ser significativa a los eventos de estrés. Con respecto al 0 si la distribución no está sesgada, es decir, si la distribución es simétrica o cuasi-simétrica, quiere decir que no hay significancia. No obstante, si se presenta un sesgo positivo o negativo, quiere decir que las mayorías de las diferencias son distintas de 0 y tienden hacia la parte positiva o negativa.

En el caso del bastón, las características que parecen ser significativas son: el máximo (Figura 7.8.a), el rango (Figura 7.9.a), la media (Figura 7.9.b), la desviación estándar (Figura 7.10.a) y la mediana (Figura 7.10.b).

En la Empatica se puede ver que todos los histogramas parecen centrados en 0 o que no tenga mucho sesgo, por lo que no se estima de forma visual que ninguna característica sea significativa.

A continuación se muestran los resultados de normalidad de las características obtenidas de la tónica.

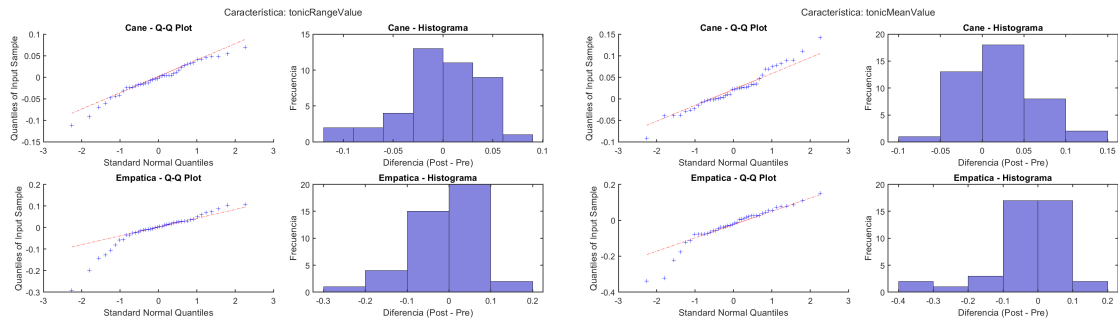
- **Características 'máximo' y 'mínimo' de la ventana de la tónica:** Los gráficos se presentan en la figura 7.12.



(a) QQ plots e histograma de la característica (b) QQ plots e histograma de la característica
máximo de la tónica mínimo de la tónica

Figura 7.12. Gráficas QQ plots de tónica: máximo y mínimo.

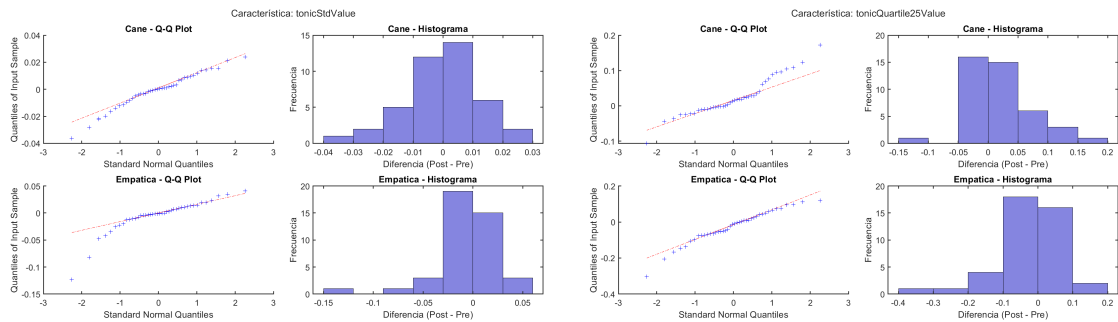
- **Características 'rango' y 'media' de la ventana de la tónica:** Los gráficos se presentan en la figura 7.13.



(a) QQ plots e histograma de la característica rango de la tónica (b) QQ plots e histograma de la característica media de la tónica

Figura 7.13. Gráficas QQ plots de tónica: rango y media.

- **Características 'desviación estándar' y 'primer cuartil' de la ventana de la tónica:** Los gráficos se presentan en la figura 7.14.



(a) QQ plots e histograma de la característica desviación estándar de la tónica (b) QQ plots e histograma de la característica primer cuartil de la tónica

Figura 7.14. Gráficas QQ plots de tónica: desviación estándar y primer cuartil.

- **Característica 'tercer cuartil' de la ventana de la tónica:** El gráfico se presenta en la figura 7.15.

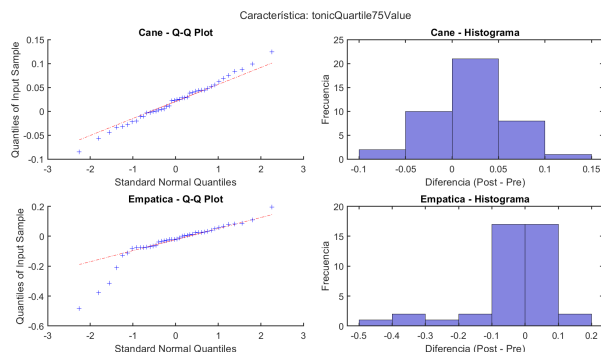


Figura 7.15. QQ plots e histograma de la característica tercer cuartil de la tónica

Se presentan los resultados obtenidos del test de Shapiro-Wilk en la tabla 7.2.

Característica	Cane	Empática
tonicMaxValue	0.989	1.987e-04
tonicMinValue	2.546e-03	0.248
tonicRangeValue	0.243	2.776e-04
tonicMeanValue	0.275	1.977e-03
tonicStdValue	0.259	2.429e-05
tonicQuantile25Value	0.013	0.084
tonicQuantile75Value	0.986	4.299e-05

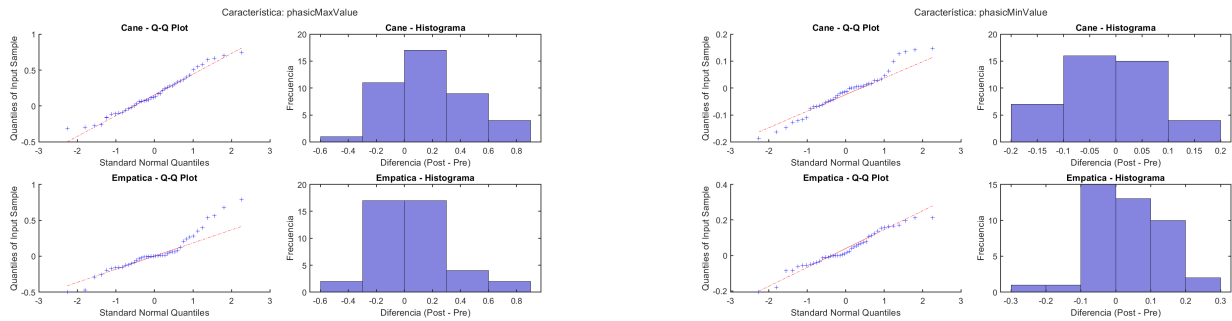
Tabla 7.2. Valores de p del test de Shapiro-Wilk sobre las diferencias (Post - Pre) para cada característica de la componente tónica

Las características que son normales son 'tonicMaxValue', 'tonicQuantile25Value', 'tonicRangeValue', 'tonicMeanValue', 'tonicStdValue', 'tonicQuantile25Value' solo en el bastón y en la Empatica son 'tonicMinValue' y 'tonicQuantile25Value'.

En un principio, las que no parecen ser significativas son todas, ya que si tienen un sesgo, es muy pequeño y tiene sentido, ya que la componente tónica es de bajas frecuencias, por lo que los cambios rápidos por un evento de estrés.

A continuación se muestran los resultados de normalidad de las características obtenidas de la componente fásica.

- Características 'máximo' y 'mínimo' de la ventana de la fásica: Los gráficos se presentan en la figura 7.16.

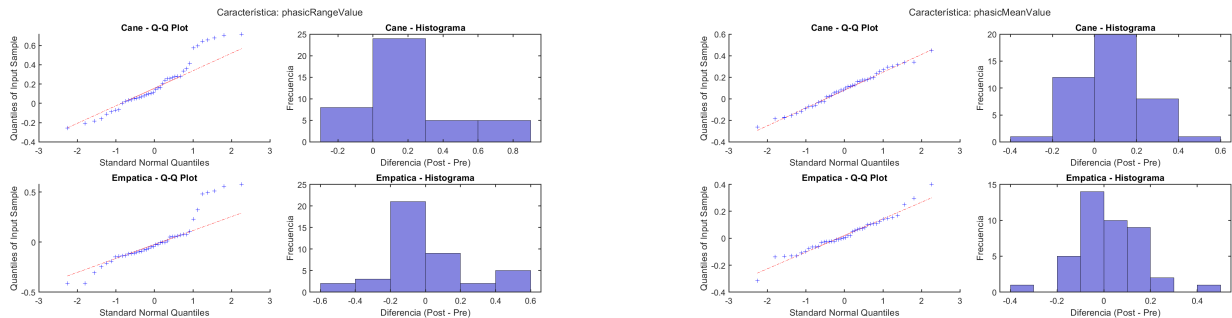


(a) QQ plots e histograma de la característica máximo de la fásica

(b) QQ plots e histograma de la característica mínimo de la fásica

Figura 7.16. Gráficas QQ plots de fásica máximo y mínimo.

- Características 'rango' y 'media' de la ventana de la fásica: Los gráficos se presentan en la figura 7.17.

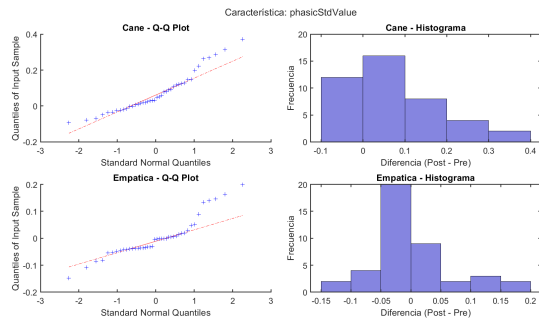


(a) QQ plots e histograma de la característica rango de la fásica

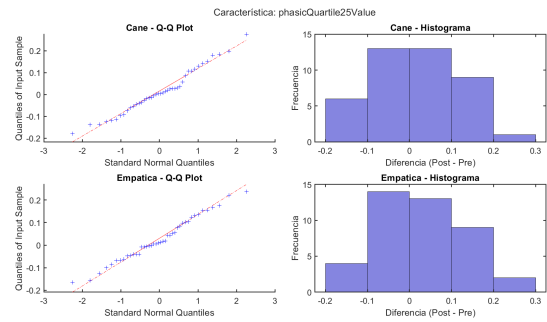
(b) QQ plots e histograma de la característica media de la fásica

Figura 7.17. Gráficas QQ plots de fásica rango y media.

- Características 'desviación estándar' y 'primer cuartil' de la ventana de la fásica: Los gráficos se presentan en la figura 7.18.



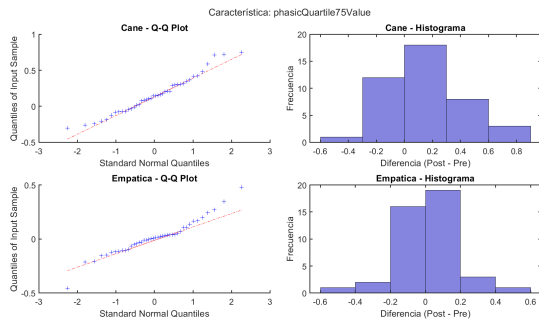
(a) QQ plots e histograma de la característica desviación estándar de la fásica



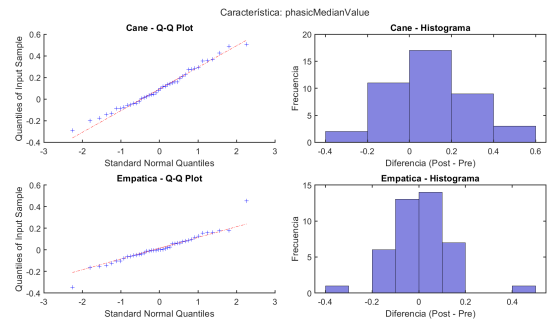
(b) QQ plots e histograma de la característica primer cuartil de la fásica

Figura 7.18. Gráficas QQ plots de fásica desviación estándar y primer cuartil.

- Características 'tercer cuartil' y 'mediana' de la ventana de la fásica: Los gráficos se presentan en la figura 7.19.



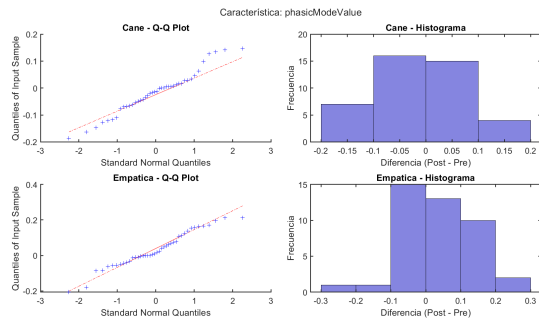
(a) QQ plots e histograma de la característica tercer cuartil de la fásica



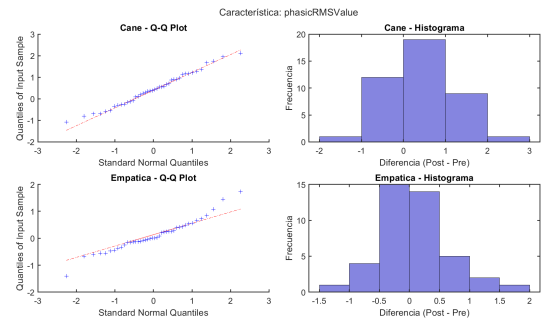
(b) QQ plots e histograma de la característica mediana de la fásica

Figura 7.19. Gráficas QQ plots de fásica tercer cuartil y mediana.

- Características 'moda' y 'media cuadrática (RMS)' de la ventana de la fásica: Los gráficos se presentan en la figura 7.20.



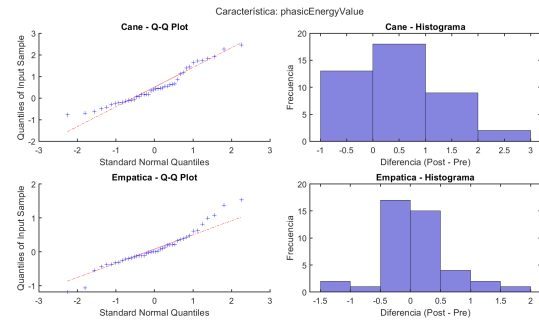
(a) QQ plots e histograma de la característica moda de la fásica



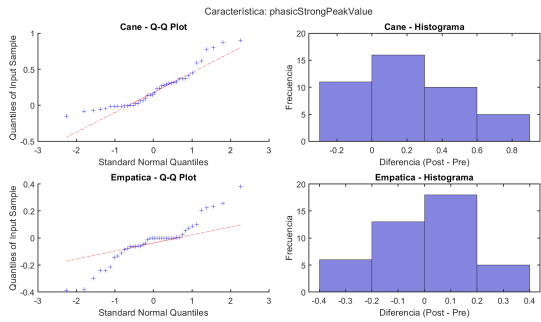
(b) QQ plots e histograma de la característica media cuadrática de la fásica

Figura 7.20. Gráficas QQ plots de fásica moda y media cuadrática (RMS).

- **Características 'energía' y 'StrongPeak' de la ventana de la fásica:** Los gráficos se presentan en la figura 7.21.



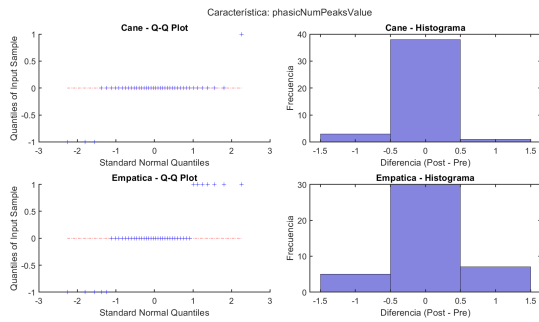
(a) QQ plots e histograma de la característica energía de la fásica



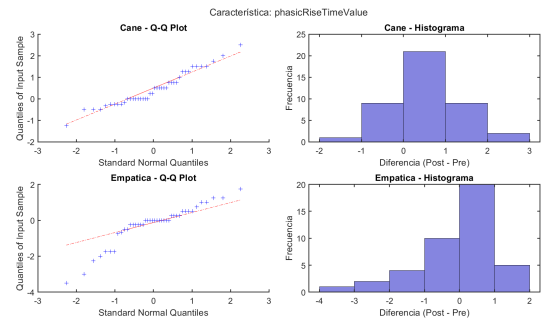
(b) QQ plots e histograma de la característica strong peak de la fásica

Figura 7.21. Gráficas QQ plots de fásica energía y strong peak.

- **Características 'NumPeaks' y 'RiseTime' de la ventana de la fásica:** Los gráficos se presentan en la figura 7.22.



(a) QQ plots e histograma de la característica NumPeaks de la física

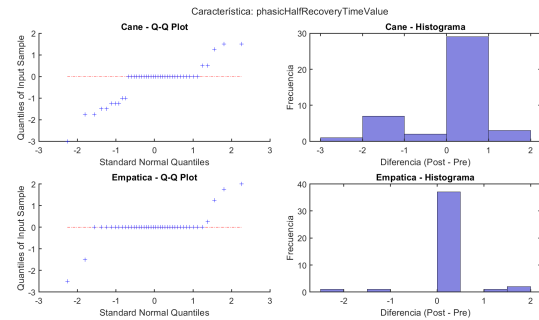


(b) QQ plots e histograma de la característica RiseTime de la física

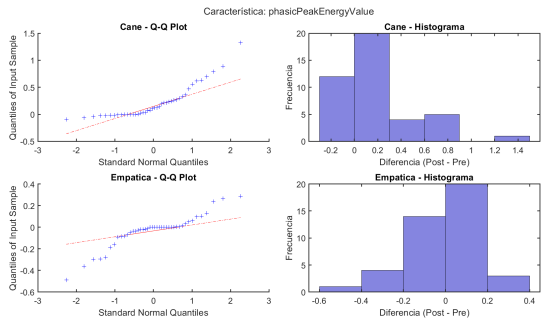
Figura 7.22. Gráficas QQ plots de física NumPeaks y RiseTime.

• Características 'HalfRecoveryTime' y 'PeakEnergy' de la ventana de la física:

Los gráficos se presentan en la figura 7.23.



(a) QQ plots e histograma de la característica HalfRecoveryTime de la física



(b) QQ plots e histograma de la característica PeakEnergy de la física

Figura 7.23. Gráficas QQ plots de física HalfRecoveryTime y PeakEnergy.

A continuación se presenta los resultados obtenidos del test de Shapiro-Wilk para muestras pareadas en la tabla 7.3.

Característica	Cane	Empática
phasicMaxValue	0.404	0.011
phasicMinValue	0.362	0.271
phasicRangeValue	0.028	1.738e-03
phasicMeanValue	0.962	0.102
phasicStdValue	0.037	1.588e-03
phasicQuantile25Value	0.475	0.765
phasicQuantile75Value	0.293	0.034
phasicMedianValue	0.862	9.181e-03
phasicModeValue	0.362	0.271
phasicRMSValue	0.878	0.074
phasicEnergyValue	0.037	0.049
phasicStrongPeakValue	2.756e-03	0.015
phasicNumPeaksValue	2.219e-10	8.059e-07
phasicRiseTimeValue	0.108	8.855e-03
phasicHalfRecoveryTimeValue	1.090e-05	1.314e-09
phasicPeakEnergyValue	1.730e-07	5.627e-04

Tabla 7.3. Valores de p del test de Shapiro-Wilk sobre las diferencias (Post - Pre) para cada característica de la componente física

Las características que son normales son 'phasicMaxValue', 'phasicMinValue', 'phasicMeanValue', 'phasicQuantile25Value', 'phasicQuantile75Value', 'phasicMedianValue', 'phasicModeValue', 'phasicRMSValue' y 'phasicRiseTimeValue', solo en el bastón, en la empática son normales 'phasicMinValue', 'phasicMeanValue', 'phasicQuantile25Value', 'phasicModeValue'. Por lo tanto se aplica en estas el test t de student pareado a estas características dependiendo del sensor.

Inicialmente, las características que parecen ser significativas en el bastón son todas, excepto *phasicMinValue* (Figura 7.16.b), *phasicQuantile25Value* (Figura 7.18.b), *phasicMedianValue* (Figura 7.19.b), *phasicNumPeaksValue* (Figura 7.22.a) y *phasicHalfRecoveryTime* (Figura 7.23.a). Estas características, según sus histogramas, no presentan un sesgo significativo.

7.2.1.2. Estudio de la significancia de las características.

Para esta parte se ha partido de las conclusiones obtenidas del estudio de normalidad. Si la diferencia es normal entonces se aplica el test t de student pareado o el test de Wilcoxon Signed-Rank.

En la tabla 7.4 se muestran los resultados para el bastón.

Característica	p-valor normalidad	Normalidad	Test usado	p-valor test	Significativa
gsrMaxValue	3.42e-02	No normal	Wilcoxon	1.17e-05	1
gsrMinValue	1.39e-02	No normal	Wilcoxon	8.56e-01	0
gsrRangeValue	1.13e-02	No normal	Wilcoxon	9.31e-06	1
gsrMeanValue	1.71e-01	Normal	t-test	1.32e-06	1
gsrStdValue	1.55e-03	No normal	Wilcoxon	2.07e-05	1
gsrMedianValue	8.37e-02	Normal	t-test	2.89e-06	1
gsrModeValue	1.39e-02	No normal	Wilcoxon	8.56e-01	0
tonicMaxValue	9.89e-01	Normal	t-test	7.33e-04	1
tonicMinValue	2.55e-03	No normal	Wilcoxon	3.54e-03	1
tonicRangeValue	2.43e-01	Normal	t-test	6.11e-01	0
tonicMeanValue	2.75e-01	Normal	t-test	3.36e-03	1
tonicStdValue	2.59e-01	Normal	t-test	7.58e-01	0
tonicQuartile25Value	1.34e-02	No normal	Wilcoxon	1.51e-02	1
tonicQuartile75Value	9.86e-01	Normal	t-test	2.96e-03	1
phasicMinValue	3.62e-01	Normal	t-test	1.69e-01	0
phasicMaxValue	4.04e-01	Normal	t-test	3.51e-04	1
phasicRangeValue	2.81e-02	No normal	Wilcoxon	1.09e-04	1
phasicMeanValue	9.62e-01	Normal	t-test	1.47e-03	1
phasicEnergyValue	3.65e-02	No normal	Wilcoxon	1.18e-03	1
phasicStdValue	1.42e-02	No normal	Wilcoxon	2.95e-04	1
phasicStrongPeakValue	2.76e-03	No normal	Wilcoxon	1.55e-05	1
phasicNumPeaksValue	2.22e-10	No normal	Wilcoxon	6.25e-01	0
phasicRiseTimeValue	1.08e-01	Normal	t-test	5.51e-04	1
phasicHalfRecoveryTimeValue	1.09e-05	No normal	Wilcoxon	9.68e-02	0
phasicPeakEnergyValue	1.73e-05	No normal	Wilcoxon	4.11e-05	1
phasicMedianValue	8.62e-01	Normal	t-test	1.25e-03	1
phasicModeValue	3.62e-01	Normal	t-test	1.69e-01	0
phasicRMSValue	8.80e-01	Normal	t-test	7.11e-04	1
phasicQuartile25Value	4.75e-01	Normal	t-test	4.16e-01	0
phasicQuartile75Value	2.93e-01	Normal	t-test	4.52e-04	1

Tabla 7.4. Tabla de los resultados del bastón sobre las diferencias (Post - Pre) para todas las características con artefactos

Si los tests de significancia dan menos de 0.05 se considera que esa característica se ve influenciada por los eventos de estrés. Las características que han dado significancia son recogidas en la tabla 7.5 .

Característica	Test usado
gsrMaxValue	Wilcoxon
gsrRangeValue	Wilcoxon
gsrMeanValue	t-test
gsrStdValue	Wilcoxon
gsrMedianValue	t-test
tonicMaxValue	t-test
tonicMinValue	Wilcoxon
tonicMeanValue	t-test
tonicQuartile25Value	Wilcoxon
tonicQuartile75Value	t-test
phasicMaxValue	t-test
phasicRangeValue	Wilcoxon
phasicMeanValue	t-test
phasicEnergyValue	Wilcoxon
phasicStdValue	Wilcoxon
phasicStrongPeakValue	Wilcoxon
phasicRiseTimeValue	t-test
phasicPeakEnergyValue	Wilcoxon
phasicMedianValue	t-test
phasicRMSValue	t-test
phasicQuartile75Value	t-test

Tabla 7.5. Características con diferencias significativas y el test estadístico utilizado para el bastón

Debido a la presencia de artefactos, ciertas características de la componente tónica han adquirido relevancia que sin movimiento no la tenían como se expresa en la tabla 7.5 No obstante, se realizará un análisis para determinar qué características permiten detectar estrés

tanto cuando el bastón está en reposo como cuando la persona se encuentra en movimiento.

En la tabla 7.6 se muestran las características con el tets usado y si son significativas o no para la pulsera Empatica.

Característica	p_Shapiro	Normalidad	Test	p_Test	Significativo
gsrMaxValue	0.000181	No normal	Wilcoxon	0.8005	0
gsrMinValue	0.060032	Normal	t-test	0.9830	0
gsrRangeValue	3.772e-06	No normal	Wilcoxon	0.9452	0
gsrMeanValue	0.326249	Normal	t-test	0.8587	0
gsrStdValue	7.089e-07	No normal	Wilcoxon	0.8955	0
gsrMedianValue	0.443714	Normal	t-test	0.3479	0
gsrModeValue	0.060032	Normal	t-test	0.9830	0
tonicMaxValue	0.000199	No normal	Wilcoxon	0.2685	0
tonicMinValue	0.248116	Normal	t-test	0.0805	0
tonicRangeValue	0.000278	No normal	Wilcoxon	0.9352	0
tonicMeanValue	0.001977	No normal	Wilcoxon	0.1522	0
tonicStdValue	2.429e-05	No normal	Wilcoxon	0.7216	0
tonicQuartile25Value	0.083872	Normal	t-test	0.0803	0
tonicQuartile75Value	4.299e-05	No normal	Wilcoxon	0.1710	0
phasicMinValue	0.270729	Normal	t-test	0.0302	1
phasicMaxValue	0.010654	No normal	Wilcoxon	0.5908	0
phasicRangeValue	0.001738	No normal	Wilcoxon	0.3848	0
phasicMeanValue	0.102333	Normal	t-test	0.2215	0
phasicEnergyValue	0.049392	No normal	Wilcoxon	0.4128	0
phasicStdValue	0.001588	No normal	Wilcoxon	0.3325	0
phasicStrongPeakValue	0.015323	No normal	Wilcoxon	0.2210	0
phasicNumPeaksValue	8.059e-07	No normal	Wilcoxon	0.7744	0
phasicRiseTimeValue	0.000886	No normal	Wilcoxon	0.4081	0
phasicHalfRecoveryTimeValue	1.341e-09	No normal	Wilcoxon	0.8438	0
phasicPeakEnergyValue	0.000563	No normal	Wilcoxon	0.1773	0
phasicMedianValue	0.009181	No normal	Wilcoxon	0.5129	0
phasicModeValue	0.270729	Normal	t-test	0.0302	1
phasicRMSValue	0.073555	Normal	t-test	0.2608	0
phasicQuartile25Value	0.764689	Normal	t-test	0.0773	0
phasicQuartile75Value	0.033619	No normal	Wilcoxon	0.6845	0

Tabla 7.6. Tabla con las características obtenidas de la Empatíca aplicando los tests con artefactos.

Si los tests de significancia dan menos de 0.05 se considera que esa característica se ve influenciada por los eventos de estrés. Las características que han dado significancia se muestran

en la tabla 7.7 .

Característica	Significativo
phasicMinValue	t-test
phasicModeValue	t-test

Tabla 7.7. Características con diferencias significativas y el test estadístico usado en la pulsera Empatica

En este caso y por el ruido comentado en la Empatica solo 2 características han sido significativas.

7.2.2. Estudio para muestras independientes

Para proceder correctamente en este estudio hay que realizar una serie de pasos:

- Se realiza el test de normalidad, para ello se realiza el Q-Q plot, el histograma y el test de Shapiro-Wilk de la característica en el grupo pre-evento y después en el grupo de post-evento.
- Tras la comprobación de que una característica es normal en ambos grupos se aplica el test t de Student para muestras independientes y si una o las dos no cumplen que sean normales se aplica la prueba U de Mann-Whitney.

7.2.2.1. Estudio de la normalidad.

A continuación se muestran los resultados de normalidad de las características obtenidas de la GSR.

- **Característica 'máximo' de la ventana de la GSR:** Los gráficos se presentan en la figura 7.24.

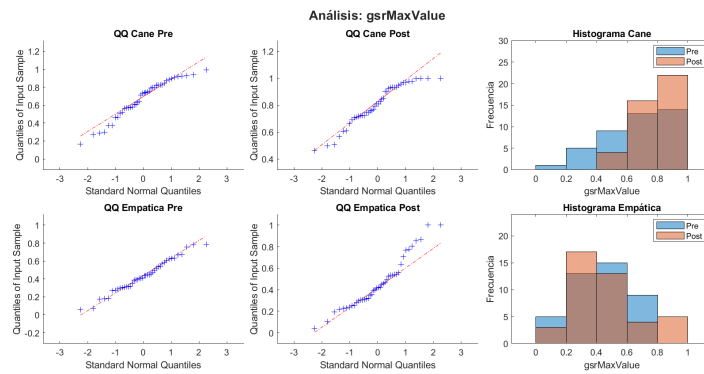


Figura 7.24. QQ plots e histograma de la característica máximo de la GSR

- **Característica 'mínimo' de la ventana de la GSR:** Los gráficos se presentan en la figura. 7.25.

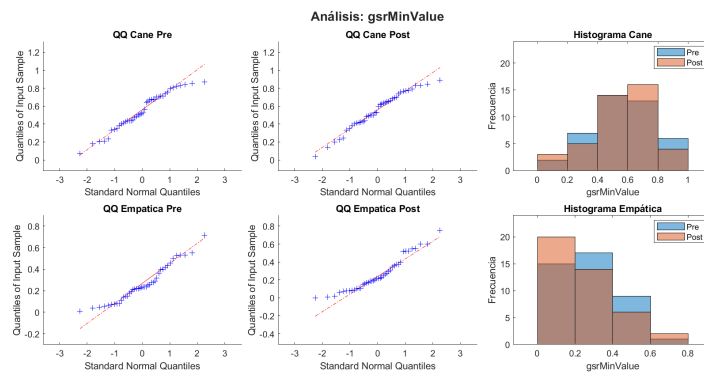


Figura 7.25. QQ plots e histograma de la característica mínimo de la GSR

- **Característica 'rango' de la ventana de la GSR:** Los gráficos se presentan en la figura 7.26.

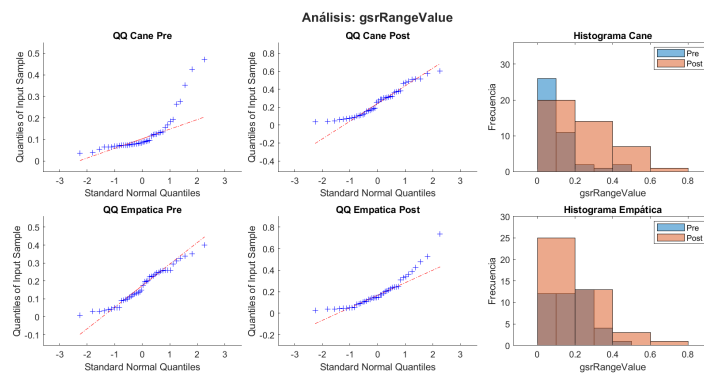


Figura 7.26. QQ plots e histograma de la característica rango de la GSR

- **Característica 'media' de la ventana de la GSR:** Los gráficos se presentan en la figura 7.27.

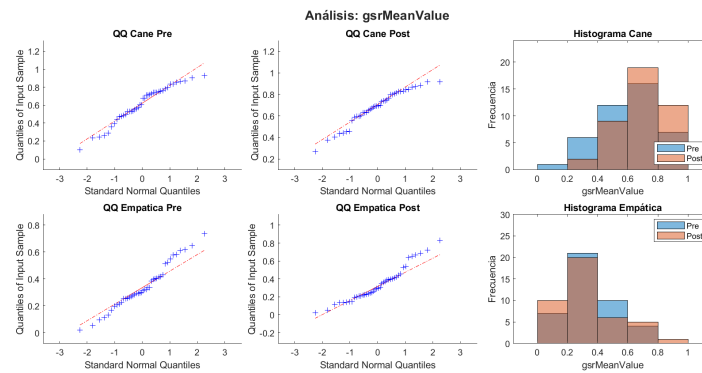


Figura 7.27. QQ plots e histograma de la característica media de la GSR

- **Característica 'desviación estándar' de la ventana de la GSR:** Los gráficos se presentan en la figura 7.28.

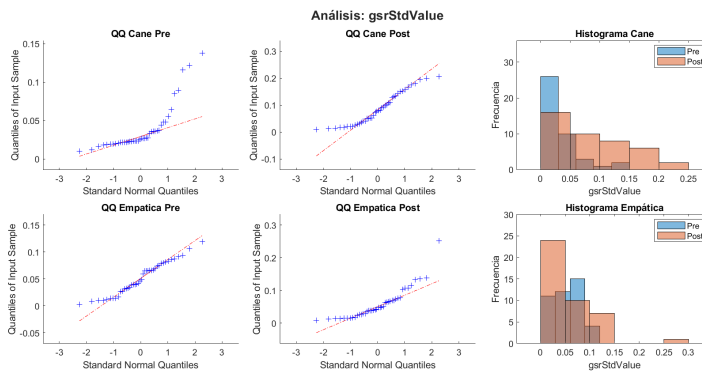


Figura 7.28. QQ plots e histograma de la característica desviación estándar de la GSR

- **Característica 'mediana' de la ventana de la GSR:** Los gráficos se presentan en la figura 7.29.

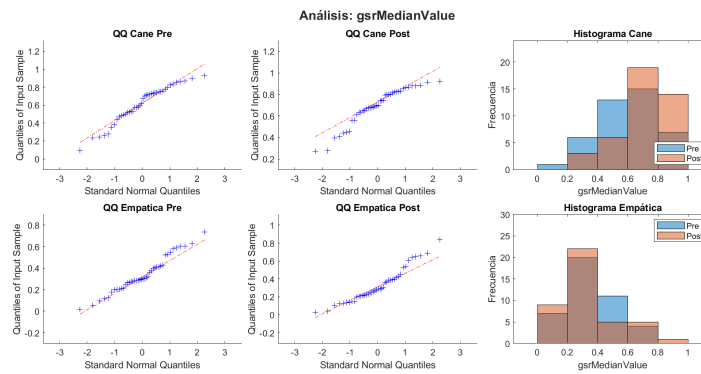


Figura 7.29. QQ plots e histograma de la característica mediana de la GSR

- **Característica 'moda' de la ventana de la GSR:** Los gráficos se presentan en la figura 7.30.

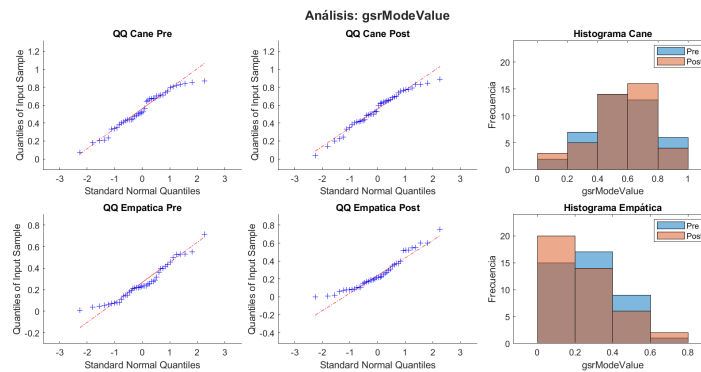


Figura 7.30. QQ plots e histograma de la característica moda de la GSR

En la tabla 7.8 se muestran los resultados de aplicar el test de Shapiro-Wilk.

Característica	Cane Pre-evento	Cane Post-evento	Empatica Pre-evento	Empatica Post-evento
gsrMaxValue	0.0416	0.0145	0.7268	0.0362
gsrMinValue	0.1327	0.2909	0.0373	0.0108
gsrRangeValue	3.95e-7	0.0106	0.1190	3.30e-4
gsrMeanValue	0.0877	0.0588	0.3479	0.0344
gsrStdValue	4.45e-7	0.0072	0.1344	3.19e-5
gsrMedianValue	0.0743	0.0053	0.2711	0.0333
gsrModeValue	0.1327	0.2909	0.0373	0.0108

Tabla 7.8. Valores de p del test de Shapiro-Wilk sobre las características independientes (Post, Pre) de la GSR

Las características que se pueden considerar normales en ambos grupos, en el caso del bastón, son: *gsrMinValue* (Figura 7.25), *gsrMeanValue* (Figura 7.27), *gsrMedianValue* (Figura 7.29) y *gsrModeValue* (Figura 7.30). Para la pulsera Empatica, ninguna de las características presenta distribución normal.

En este estudio, los histogramas permiten estimar qué características se ven más afectadas por el evento de estrés. No obstante, para poder distinguir dichas diferencias, es necesario observar si los histogramas de cada grupo, para una misma característica, presentan el menor solapamiento posible.

Inicialmente, las características que parecen ser más significativas en el bastón, al observar los histogramas, son: el máximo (Figura 7.24), la media (Figura 7.27), el rango (Figura 7.26), la desviación estándar (Figura 7.28), y la mediana (Figura 7.29).

A continuación se muestran los resultados de normalidad de las características obtenidas de la tónica.

- **Característica 'máximo' de la ventana de la tónica:** Los gráficos se presentan en la figura 7.31.

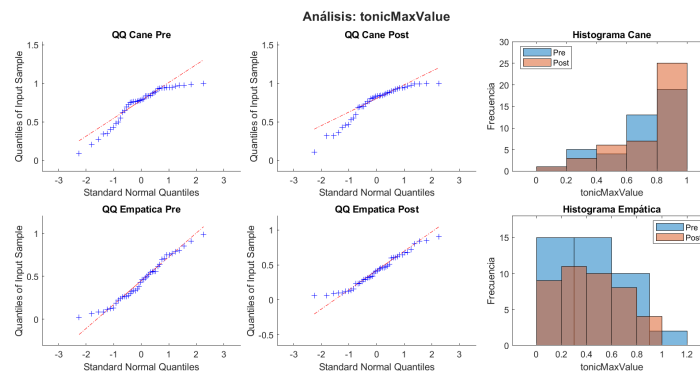


Figura 7.31. QQ plots e histograma de la característica máximo de la tónica

- **Característica 'mínimo' de la ventana de la tónica:** Los gráficos se presentan en la figura. 7.32.

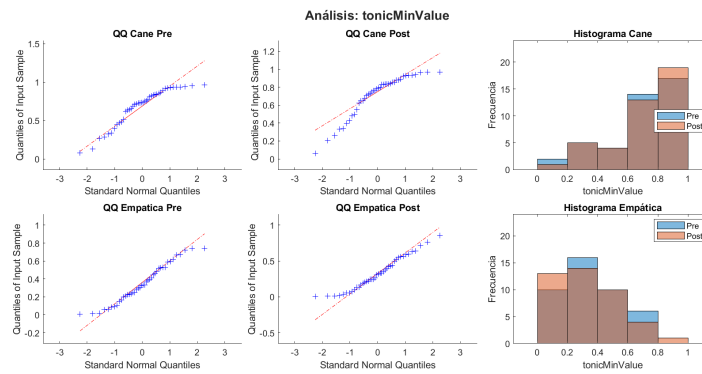


Figura 7.32. QQ plots e histograma de la característica mínimo de la tónica

- **Característica 'rango' de la ventana de la tónica:** Los gráficos se presentan en la figura 7.33.

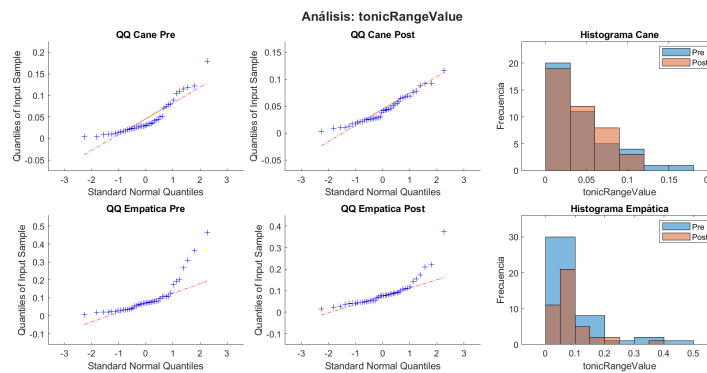


Figura 7.33. QQ plots e histograma de la característica rango de la tónica

- **Característica 'media' de la ventana de la tónica:** Los gráficos se presentan en la figura 7.34.

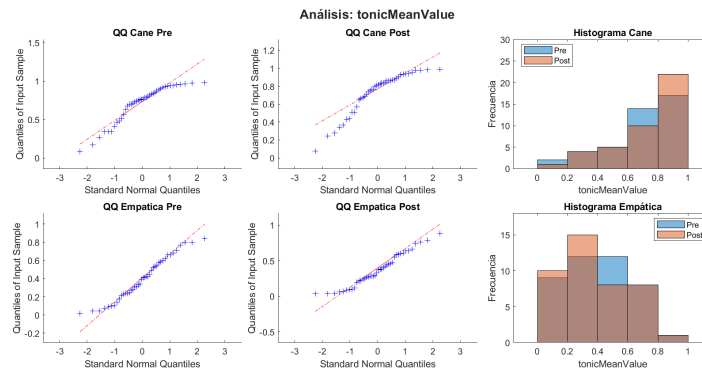


Figura 7.34. QQ plots e histograma de la característica media de la tónica

- **Característica 'desviación estándar' de la ventana de la tónica:** Los gráficos se presentan en la figura 7.35.

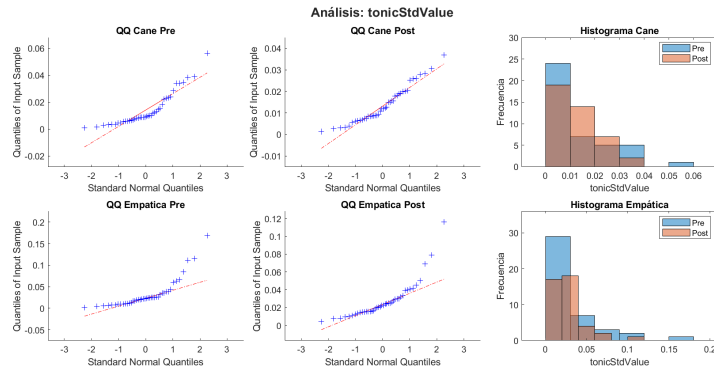


Figura 7.35. QQ plots e histograma de la característica desviación estándar de la tónica

- **Característica 'Primer cuartil' de la ventana de la tónica:** Los gráficos se presentan en la figura 7.36.

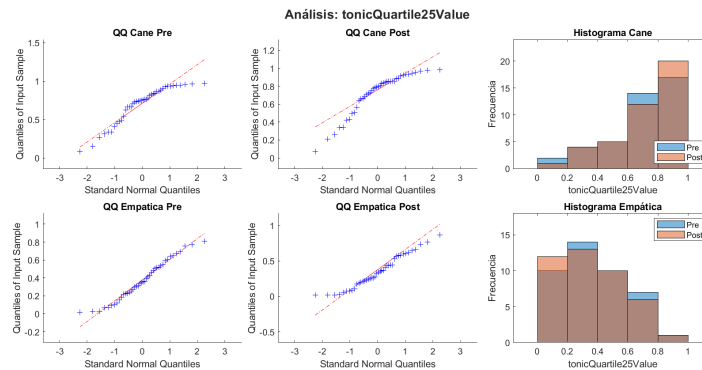


Figura 7.36. QQ plots e histograma de la característica primer cuartil de la tónica

- **Característica 'Tercer cuartil' de la ventana de la tónica:** Los gráficos se presentan en la figura 7.37.

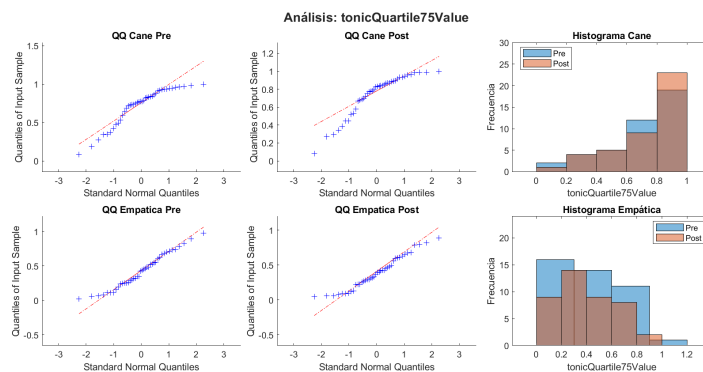


Figura 7.37. QQ plots e histograma de la característica tercer cuartil de la tónica

Se presentan los resultados obtenidos del test de Shapiro-Wilk en la tabla 7.9.

Característica	Cane Pre-evento	Cane Post-evento	Empatica Pre-evento	Empatica Post-evento
tonicMaxValue	8.46e-4	8.33e-4	0.2503	0.1314
tonicMinValue	0.0011	8.72e-4	0.1618	0.1212
tonicRangeValue	6.44e-5	0.0330	1.05e-6	1.96e-6
tonicMeanValue	0.0017	8.20e-4	0.1770	0.1174
tonicStdValue	5.12e-5	0.0200	6.74e-7	3.40e-6
tonicQuartile25Value	9.64e-4	8.87e-4	0.2468	0.1181
tonicQuartile75Value	0.0013	8.38e-4	0.2623	0.1185

Tabla 7.9. Valores de p del test de Shapiro-Wilk sobre las características independientes (Post, Pre) de la componente tónica

En el caso del bastón, ninguna de las características de la componente tónica presenta una distribución normal. En cambio, para la pulsera Empatica, casi todas las características se consideran normales, a excepción de *tonicRangeValue* (Figura 7.33) y *tonicStdValue* (Figura 7.35).

A continuación se muestran los resultados de normalidad de las características obtenidas de la componente fásica.

- **Característica 'máximo' de la ventana de la fásica:** Los gráficos se presentan en la figura 7.38.

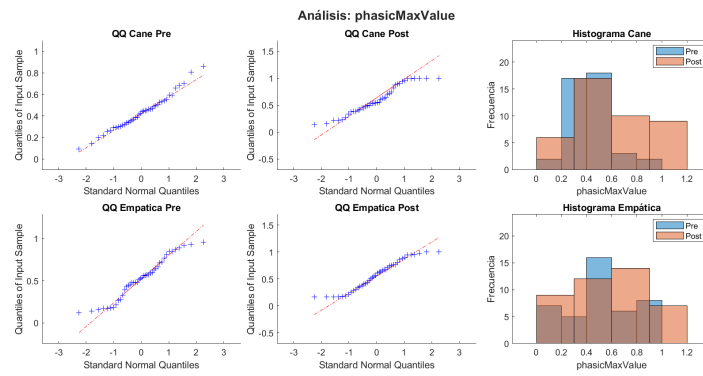


Figura 7.38. QQ plots e histograma de la característica máximo de la física

- **Característica 'mínimo' de la ventana de la física:** Los gráficos se presentan en la figura. 7.39.

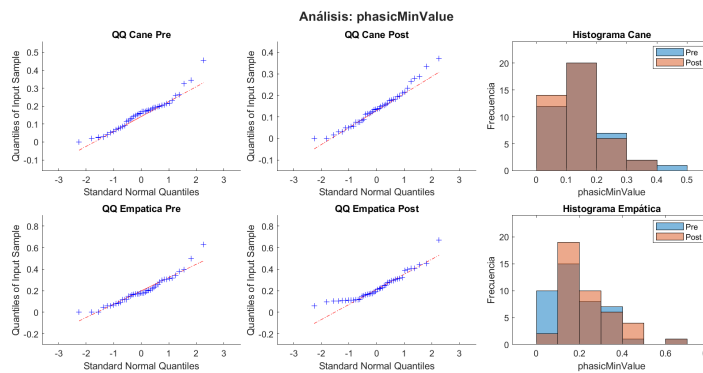


Figura 7.39. QQ plots e histograma de la característica mínimo de la física

- **Característica 'rango' de la ventana de la física:** Los gráficos se presentan en la figura 7.40.

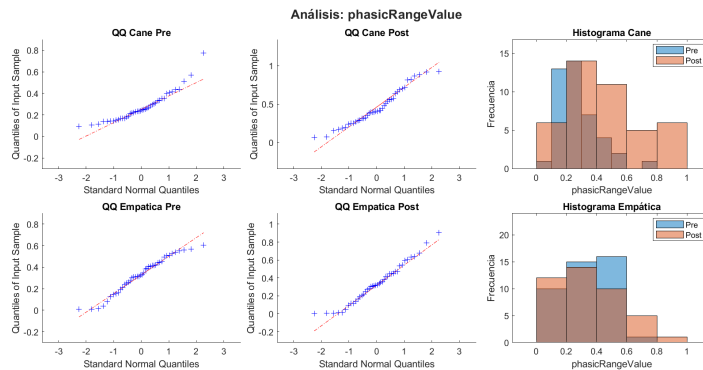


Figura 7.40. QQ plots e histograma de la característica rango de la física

- **Característica 'media' de la ventana de la fásica:** Los gráficos se presentan en la figura 7.41.

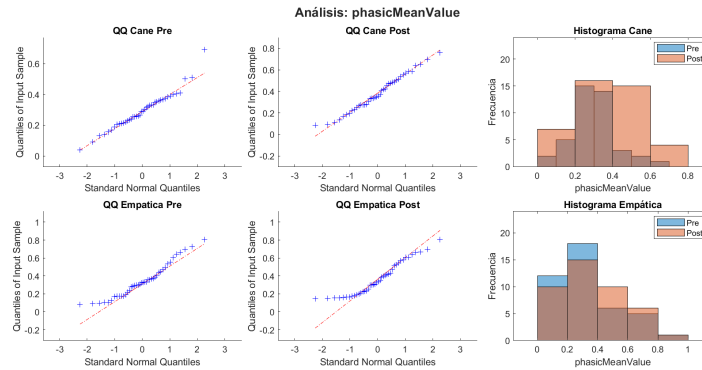


Figura 7.41. QQ plots e histograma de la característica media de la fásica

- **Característica 'desviación estándar' de la ventana de la fásica:** Los gráficos se presentan en la figura 7.42.

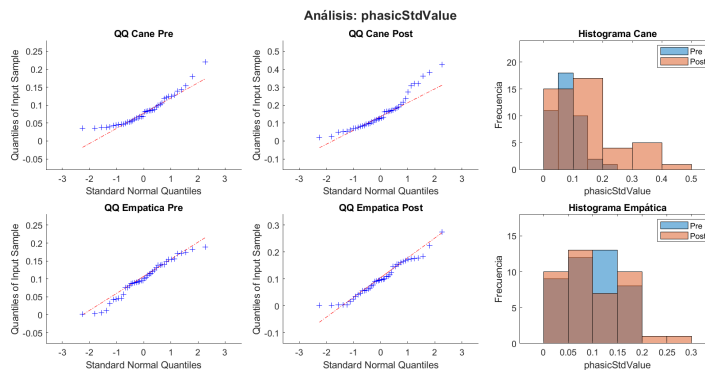


Figura 7.42. QQ plots e histograma de la característica desviación estándar de la fásica

- **Característica 'Primer cuartil' de la ventana de la fásica:** Los gráficos se presentan en la figura 7.43.

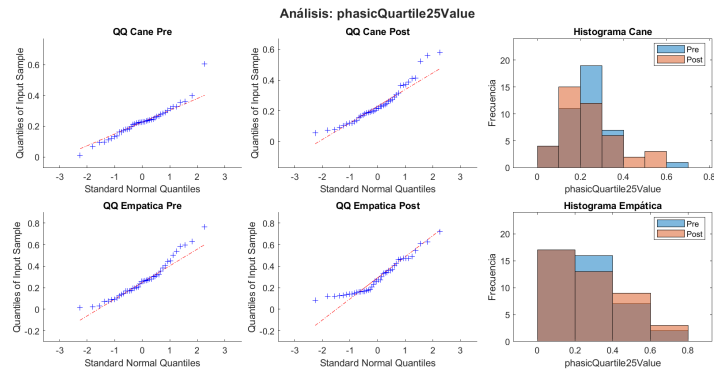


Figura 7.43. QQ plots e histograma de la característica primer cuartil de la fásica

- **Característica 'Tercer cuartil' de la ventana de la fásica:** Los gráficos se presentan en la figura 7.44.

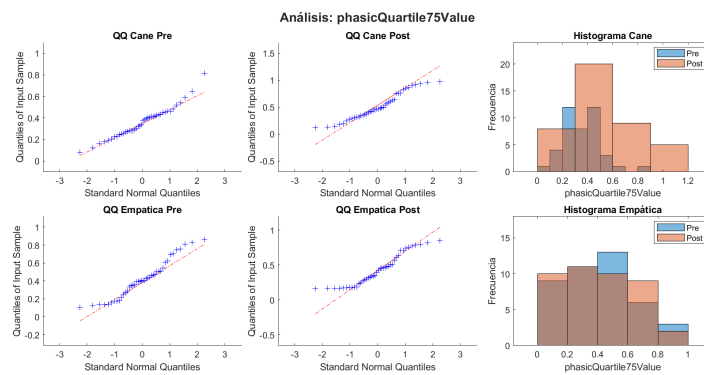


Figura 7.44. QQ plots e histograma de la característica tercer cuartil de la fásica

- **Característica 'mediana' de la ventana de la fásica:** Los gráficos se presentan en la figura 7.45.

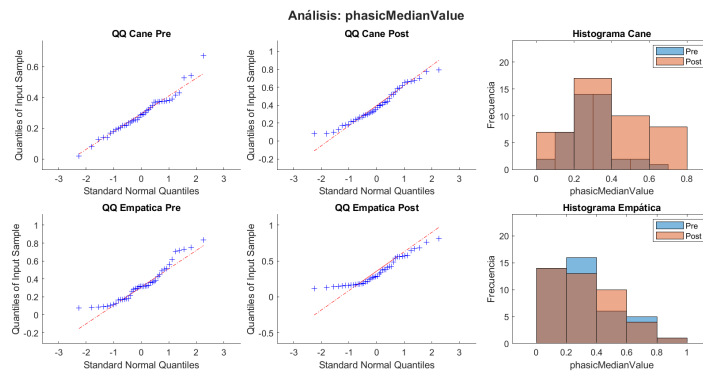


Figura 7.45. QQ plots e histograma de la característica mediana de la fásica

- Característica 'moda' de la ventana de la fásica: Los gráficos se presentan en la figura. 7.46.

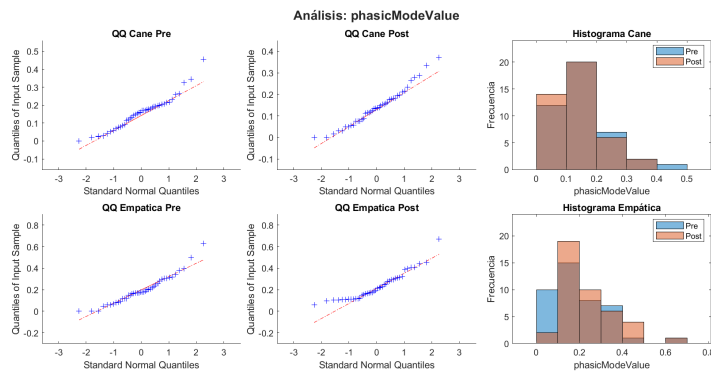


Figura 7.46. QQ plots e histograma de la característica moda de la fásica

- Característica 'Media cuadrática o RMS' de la ventana de la fásica: Los gráficos se presentan en la figura 7.47.

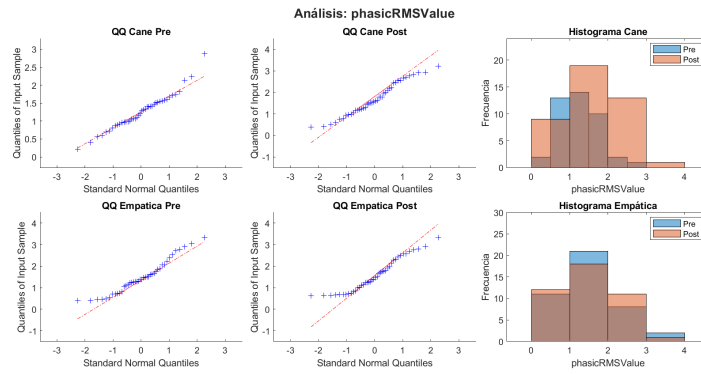


Figura 7.47. QQ plots e histograma de la característica media cuadrática de la fásica

- **Característica 'energía' de la ventana de la fásica:** Los gráficos se presentan en la figura 7.48.

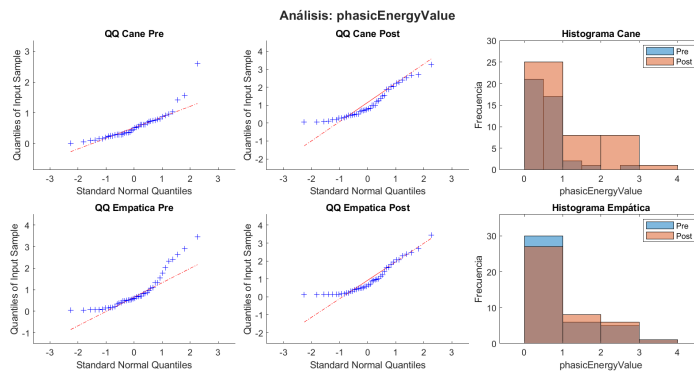


Figura 7.48. QQ plots e histograma de la característica energía de la fásica

- **Característica 'StrongPeak' de la ventana de la fásica:** Los gráficos se presentan en la figura 7.49.

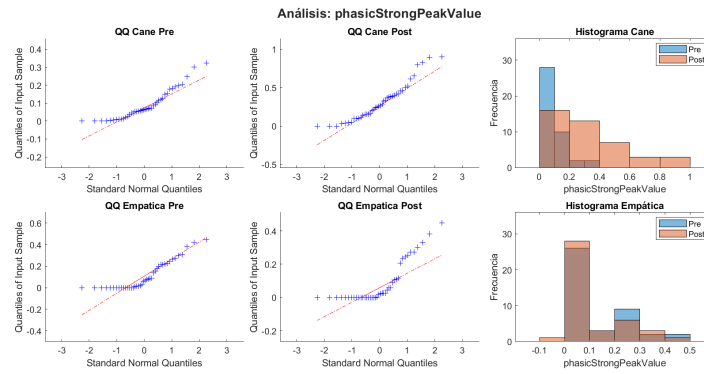


Figura 7.49. QQ plots e histograma de la característica strong peak de la física

- **Característica 'NumPeaks' de la ventana de la física:** Los gráficos se presentan en la figura 7.50.

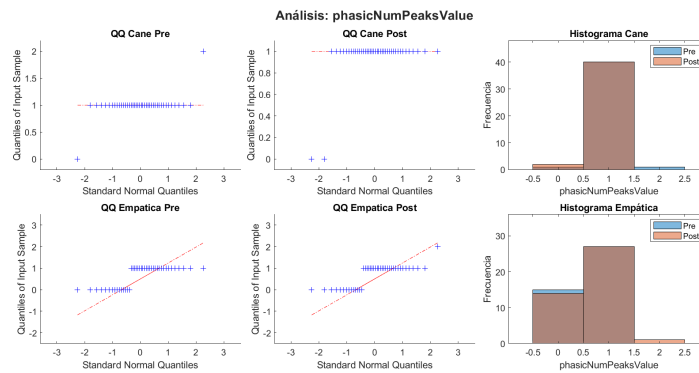


Figura 7.50. QQ plots e histograma de la característica NumPeaks de la física

- **Característica 'RiseTime' de la ventana de la física:** Los gráficos se presentan en la figura 7.51.

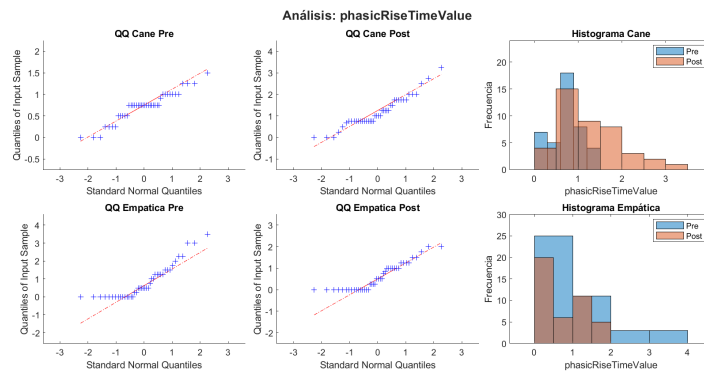


Figura 7.51. QQ plots e histograma de la característica RiseTime de la fásica

- Característica 'HalfRecoveryTime' de la ventana de la fásica: Los gráficos se presentan en la figura 7.52.

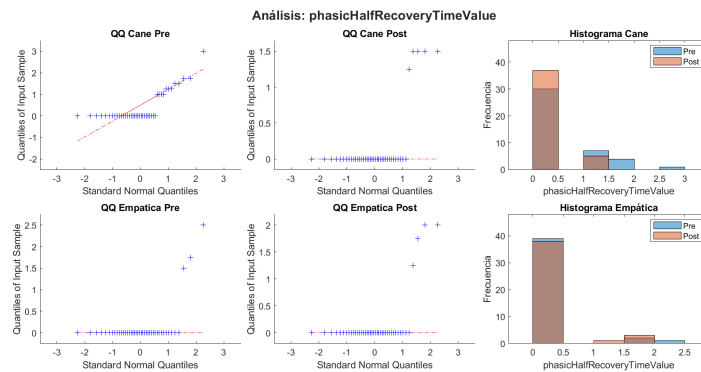


Figura 7.52. QQ plots e histograma de la característica HalfRecoveryTime de la fásica

- Característica 'PeakEnergy' de la ventana de la fásica: Los gráficos se presentan en la figura 7.53.

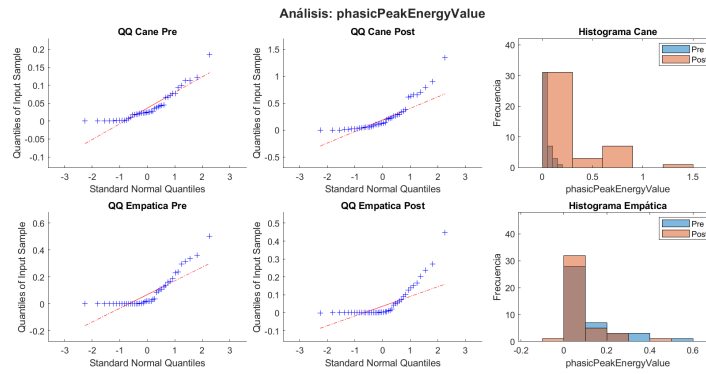


Figura 7.53. QQ plots e histograma de la característica PeakEnergy de la fásica

En la tabla 7.10 se presentan los resultados obtenidos de aplicar el test de Shapiro-Wilk.

Característica	Cane Pre-evento	Cane Post-evento	Empatica Pre-evento	Empatica Post-evento
phasicMaxValue	0.4810	0.0265	0.0758	0.0233
phasicMinValue	0.0371	0.2911	0.0190	0.0018
phasicRangeValue	8.23e-4	0.0797	0.1590	0.3009
phasicMeanValue	0.0698	0.6705	0.0429	0.0068
phasicEnergyValue	1.42e-5	0.0018	7.70e-5	4.65e-4
phasicStdValue	0.0020	0.0037	0.2507	0.1784
phasicQuartile25Value	8.82e-3	0.0146	0.0408	0.0040
phasicQuartile75Value	0.1224	0.0508	0.0556	0.0027
phasicMedianValue	0.1617	0.1717	0.0057	0.0017
phasicModeValue	0.0371	0.2911	0.0190	0.0018
phasicRMSValue	0.1142	0.2255	0.0518	0.0118
phasicStrongPeakValue	7.54e-4	0.0113	1.27e-5	1.41e-6
phasicNumPeaksValue	1.76e-11	1.02e-11	2.18e-9	2.63e-8
phasicRiseTimeValue	9.35e-3	0.0142	1.12e-4	7.97e-5
phasicHalfRecoveryTimeValue	5.72e-8	2.18e-10	3.28e-11	9.19e-11
phasicPeakEnergyValue	6.45e-5	8.46e-6	1.90e-6	9.20e-8

Tabla 7.10. Valores de p del test de Shapiro-Wilk sobre las características independientes (Post, Pre) de la componente fásica

Las características que presentan una distribución normal en el bastón son: *phasicMeanValue* (Figura 7.41), *phasicQuartile75Value* (Figura 7.44), *phasicMedianValue* (Figura 7.45) y *phasicRMSValue* (Figura 7.47).

En el caso de la pulsera Empatica, las características que se consideran normales son: *phasicRangeValue* (Figura 7.40) y *phasicStdValue* (Figura 7.42).

Como se ha observado en todas las componentes de la señal EDA, los dos dispositivos de medida arrojan resultados dispares. Esto se debe a que ambos están expuestos a diferentes niveles de ruido y condiciones de registro.

Inicialmente, las características que parecen ser más significativas en el bastón, al observar los histogramas, son: *phasicMaxValue* (Figura 7.38), *phasicRangeValue* (Figura 7.40), *phasicStdValue* (Figura 7.42), *phasicQuantile75Value* (Figura 7.44), *phasicEnergyValue* (Figura 7.48), *phasicStrongPeak* (Figura 7.49), *phasicRiseTimeValue* (Figura 7.51) y *phasicPeakEnergyValue* (Figura 7.53).

7.2.2.2. Estudio de la significancia de las características.

Para esta parte se ha partido de las conclusiones obtenidas del estudio de normalidad. Si la distribución es normal entonces se aplica el test t de student pareado o el test de Wilcoxon Mann-Whitney U.

En la tabla 7.11 se muestran los resultados para el bastón.

Característica	Test	p Valor	Significativo
gsrMaxValue	Mann-Whitney	0.0041	Sí
gsrMinValue	t-Student	0.9541	No
gsrRangeValue	Mann-Whitney	0.0002	Sí
gsrMeanValue	t-Student	0.0789	No
gsrStdValue	Mann-Whitney	0.0002	Sí
gsrMedianValue	Mann-Whitney	0.0850	No
gsrModeValue	t-Student	0.9541	No
tonicMaxValue	Mann-Whitney	0.6450	No
tonicMinValue	Mann-Whitney	0.5639	No
tonicRangeValue	Mann-Whitney	0.7712	No
tonicMeanValue	Mann-Whitney	0.6450	No
tonicStdValue	Mann-Whitney	0.5700	No
tonicQuartile25Value	Mann-Whitney	0.6482	No
tonicQuartile75Value	Mann-Whitney	0.6322	No
phasicMinValue	Mann-Whitney	0.3142	No
phasicMaxValue	Mann-Whitney	0.0019	Sí
phasicRangeValue	Mann-Whitney	0.00005	Sí
phasicMeanValue	t-Student	0.0085	Sí
phasicEnergyValue	Mann-Whitney	0.0086	Sí
phasicStdValue	Mann-Whitney	0.000081	Sí
phasicStrongPeakValue	Mann-Whitney	0.000002	Sí
phasicNumPeaksValue	Mann-Whitney	0.3261	No
phasicRiseTimeValue	Mann-Whitney	0.0016	Sí
phasicHalfRecoveryTimeValue	Mann-Whitney	0.0763	No
phasicPeakEnergyValue	Mann-Whitney	0.000003	Sí
phasicMedianValue	t-Student	0.0059	Sí
phasicModeValue	Mann-Whitney	0.3142	No
phasicRMSValue	t-Student	0.0028	Sí
phasicQuartile25Value	Mann-Whitney	0.9893	No
phasicQuartile75Value	t-Student	0.0008	Sí

Tabla 7.11. Tabla de los resultados del bastón con artefactos para la suposición de que cada característica es independiente

Si los tests de significancia dan menos de 0.05 se considera que esa característica se ve

influenciada por los eventos de estrés. De las características que han dado significancia son recogidas en la tabla 7.12 .

Característica	Test usado
gsrMaxValue	Mann-Whitney
gsrRangeValue	Mann-Whitney
gsrStdValue	Mann-Whitney
phasicMaxValue	Mann-Whitney
phasicRangeValue	Mann-Whitney
phasicMeanValue	t-Student
phasicEnergyValue	Mann-Whitney
phasicStdValue	Mann-Whitney
phasicStrongPeakValue	Mann-Whitney
phasicRiseTimeValue	Mann-Whitney
phasicPeakEnergyValue	Mann-Whitney
phasicMedianValue	t-Student
phasicRMSValue	t-Student
phasicQuartile75Value	t-Student

Tabla 7.12. Características que tienen diferencias significativas y el test usado para el bastón

Como se puede notar las características que son significativas son las de la componente física y de la GSR que como sabemos son las más sensibles a los picos. Vemos que las características de picos han dado muchas significativas.

En la tabla 7.13 se muestran las características para la pulsera Empatica con el tests usado y si son significativas o no.

Característica	Test	p Valor	Significativo
gsrMaxValue	Mann-Whitney	0.9643	No
gsrMinValue	Mann-Whitney	0.8300	No
gsrRangeValue	Mann-Whitney	0.8405	No
gsrMeanValue	Mann-Whitney	0.7104	No
gsrStdValue	Mann-Whitney	0.9039	No
gsrMedianValue	Mann-Whitney	0.6007	No
gsrModeValue	Mann-Whitney	0.8300	No
tonicMaxValue	t-Student	0.5901	No
tonicMinValue	t-Student	0.6886	No
tonicRangeValue	Mann-Whitney	0.5639	No
tonicMeanValue	t-Student	0.5759	No
tonicStdValue	Mann-Whitney	0.8265	No
tonicQuartile25Value	t-Student	0.6242	No
tonicQuartile75Value	t-Student	0.5067	No
phasicMinValue	Mann-Whitney	0.2540	No
phasicMaxValue	Mann-Whitney	0.4285	No
phasicRangeValue	t-Student	0.8223	No
phasicMeanValue	Mann-Whitney	0.5761	No
phasicEnergyValue	Mann-Whitney	0.6132	No
phasicStdValue	t-Student	0.9961	No
phasicStrongPeakValue	Mann-Whitney	0.3907	No
phasicNumPeaksValue	Mann-Whitney	0.7149	No
phasicRiseTimeValue	Mann-Whitney	0.4048	No
phasicHalfRecoveryTimeValue	Mann-Whitney	0.7089	No
phasicPeakEnergyValue	Mann-Whitney	0.2608	No
phasicMedianValue	Mann-Whitney	0.7071	No
phasicModeValue	Mann-Whitney	0.2540	No
phasicRMSValue	Mann-Whitney	0.6132	No
phasicQuartile25Value	Mann-Whitney	0.4605	No
phasicQuartile75Value	Mann-Whitney	0.8195	No

Tabla 7.13. Tabla de los resultados de la pulsera Empatica para la suposición de que cada característica es independiente.

Si los tests de significancia dan menos de 0.05 se considera que esa característica se ve

influenciada por los eventos de estrés. En este caso, ninguna característica ha dado que sea significativa, por lo que puede ser debido al tema de ruido que tiene la pulsera Empatica, comentado en anteriores ocasiones.

7.3. Comparativa de los datos obtenidos con los artefactos.

En esta sección se va a realizar una comparativa de los datos obtenidos con los artefactos.

7.3.1. Bastón instrumentado.

A continuación se comparan para el bastón ambas suposiciones del estudio, es decir, muestras independientes o pareadas.

En la tabla 7.12 se muestran las características significativas para muestras independientes y en la tabla 7.5 para muestras pareadas. Si se observan ambas tablas, se pueden observar que dan ambas las mismas características, salvo la de la componente tónica . A continuación se muestra la tabla 7.14 que nos resume que características son significativas para ambos estudios con artefactos.

Característica
gsrMaxValue
gsrRangeValue
gsrStdValue
phasicMaxValue
phasicRangeValue
phasicMeanValue
phasicEnergyValue
phasicStdValue
phasicStrongPeakValue
phasicRiseTimeValue
phasicPeakEnergyValue
phasicMedianValue
phasicRMSValue
phasicQuartile75Value

Tabla 7.14. Características que son significativas en ambos estudios para el bastón

7.3.2. Empatica

Para la Empatica la toma de datos ha sido muy corrompida por ruido ya que hay que sumar el de artefactos por movimiento ya que el brazo estaba ejerciendo fuerza para agarrarse a la cinta. Ambos estudios dan resultados dispares y se rechaza que alguna característica obtenida en la Empatica sea útil para detectar estrés con el bastón en movimiento.

Capítulo 8

Conclusiones, limitaciones y futuras líneas de investigación

8.1. Conclusiones

En este capítulo se presentan las conclusiones extraídas del análisis de las características relevantes para la detección de eventos de estrés, tanto en condiciones de reposo del participante como durante la marcha utilizando el bastón.

Se ha comprobado que ciertas características son útiles para detectar el estrés en ambas condiciones. No obstante, en los datos obtenidos con la pulsera Empatica se ha detectado una fuerte presencia de ruido que ha afectado negativamente la calidad de las señales, especialmente durante la marcha. Por tanto, los mejores resultados con la Empatica se han obtenido en el estudio sin movimiento.

Esto queda reflejado en las tablas resumen de características significativas para muestras independientes (tabla 6.14) y para muestras pareadas (tabla 6.7).

8.1.1. Características significativas en el bastón, con o sin artefactos

Las características significativas detectadas en las condiciones sin movimiento se encuentran en la tabla 6.12, mientras que las correspondientes a las condiciones con movimiento se

muestran en la tabla 7.12.

A partir del análisis de ambas condiciones, se ha elaborado la tabla 8.1, que recoge las características que se mantienen significativas con y sin movimiento.

Característica
gsrMaxValue
gsrRangeValue
gsrStdValue
phasicMaxValue
phasicRangeValue
phasicMeanValue
phasicEnergyValue
phasicStdValue
phasicStrongPeakValue
phasicRiseTimeValue
phasicPeakEnergyValue
phasicRMSValue
phasicQuartile75Value

Tabla 8.1. Características significativas en el bastón con o sin movimiento

Estas características (tabla 8.1) muestran sensibilidad ante eventos de estrés, y por tanto pueden emplearse para su detección independientemente del estado de movimiento de la persona usuaria del bastón.

8.2. Limitaciones del estudio

El presente estudio presenta varias limitaciones tanto en la fase experimental como en el tratamiento de los datos, que se detallan a continuación.

8.2.1. Limitaciones en los experimentos

- **Número de participantes:** el tamaño de la muestra es reducido, lo que dificulta la generalización de los resultados. No obstante, se han podido obtener tendencias relevantes en el contexto del presente trabajo.
- **Errores en la recogida de datos:** especialmente con la pulsera Empatica, se observaron problemas relacionados con la colocación de la cinta. También resultó complicado indicar a los participantes cómo colocar correctamente la mano en la empuñadura del bastón, especialmente al no estar familiarizados con su uso.

8.2.2. Limitaciones en el análisis de los datos

Los tests de significancia utilizados requieren el cumplimiento de ciertas suposiciones estadísticas. Por ejemplo, los datos deben ser independientes en los tests de muestras independientes, y aunque en los tests pareados se permite dependencia entre pares, no puede haber dependencia entre distintos pares.

Por limitaciones en la cantidad de datos, en este estudio se utilizaron seis ventanas por condición (estrés y relajación) para cada participante, lo cual infringe parcialmente la suposición de independencia porque estos seis eventos de estrés están distribuidos en 2 minutos lo que puede hacer que el participante no haya podido regresar a su estado basal. Si el participante no ha podido llegar a su estado basal implica que la respuesta del evento anterior repercute en el siguiente por lo que hay una dependencia. Esta situación se da en la señal GSR y en la componente tónica.

Además, el análisis realizado ha sido unidimensional, evaluando cada característica de forma individual. Sería deseable llevar a cabo un análisis multidimensional en futuros trabajos, lo que permitiría explorar interacciones entre características y aumentar la capacidad discriminativa del sistema.

8.3. Futuras líneas de investigación

A partir de las conclusiones obtenidas en este trabajo, se proponen varias posibles líneas de investigación para desarrollos futuros:

- **Filtrado de artefactos y análisis de características:** existen filtros específicamente diseñados para atenuar el impacto de artefactos en señales EDA, como se presenta en [21]. Aplicando dicho filtro, o una variante adaptada, podría analizarse de nuevo la señal para comprobar qué características mantienen su utilidad para la detección del estrés.
- **Desarrollo de modelos de aprendizaje automático:** dada la identificación de características relevantes, se podría entrenar un modelo de *machine learning* que clasifique automáticamente estados de estrés. Este modelo podría ser integrado en un microcontrolador del bastón o en un sistema informático externo.
- **Aplicación a otros dispositivos *wearables*:** aunque el estudio se ha centrado en el bastón instrumentado y la pulsera Empatica EmbracePlus, los resultados podrían extenderse a otros dispositivos portables para la monitorización del estrés como el BitBrain Ring o pulseras comerciales del mercado.

Bibliografía

- [1] Bueno, S. G., “Repositorio de código - tfg,” 2025, <https://github.com/SergioGB110/Stress-detection-in-an-instrumented-cane-with-EDA-signal>. Último acceso: 16 de junio de 2025.
- [2] Boucsein, W., *Electrodermal Activity*. New York, NY: Springer-Verlag, 2 ed., 2012. Web.
- [3] Villalba Bravo, R., “Estudio y compensación de las interferencias de movimiento en un sensor gsr en bastón instrumentado.” Trabajo de fin de máster publicado, Universidad de Málaga, 2024.
- [4] Inc., E., *Empatica Health Monitoring Platform: User manual*, 2023. Manual técnico, no descargable directamente en web.
- [5] Inc., E., *Empatica Data Access: Technical documentation*, 2023. Manual técnico, no descargable directamente en web.
- [6] Bieling, P. J., Antony, M. M., y Swinson, R. P., “The state–trait anxiety inventory, trait version: structure and content re-examined,” *Behaviour Research and Therapy*, vol. 36, no. 7, pp. 777–788, 1998, doi:[https://doi.org/10.1016/S0005-7967\(98\)00023-0](https://doi.org/10.1016/S0005-7967(98)00023-0).
- [7] Campanella, S., Altaleb, A., Belli, A., Pierleoni, P., y Palma, L., “A method for stress detection using empatica e4 bracelet and machine-learning techniques,” *Sensors*, vol. 23, p. 3565, 2023, doi:10.3390/s23073565.
- [8] Amalanathan, S., ASIRI, A., y ALI, A., “Mental health prediction using artificial intelligence- machine learning: Pain and stress detection using wearable sensors and devices—a review,” *YMER Digital*, vol. 21, pp. 528–542, 2022, doi:10.37896/YMER21.

08/45.

- [9] Wilk, M. B. y Gnanadesikan, R., “Probability plotting methods for the analysis of data,” *Biometrika*, vol. 55, no. 1, pp. 1–17, 1968, <http://www.jstor.org/stable/2334448> (visitado el 2025-06-06).
- [10] SHAPIRO, S. S. y WILK, M. B., “An analysis of variance test for normality (complete samples)†,” *Biometrika*, vol. 52, pp. 591–611, 1965, doi:10.1093/biomet/52.3-4.591.
- [11] Kim, T., “T test as a parametric statistic,” *Korean Journal of Anesthesiology*, vol. 68, p. 540, 2015, doi:10.4097/kjae.2015.68.6.540.
- [12] FRALICK, D., Zheng, J., Wang, B., Tu, X., y FENG, C., “The differences and similarities between two-sample t-test and paired t-test,” *Shanghai Archives of Psychiatry*, vol. 29, pp. 184–188, 2017, doi:10.11919/j.issn.1002-0829.217070.
- [13] Wilcoxon, F., “Individual comparisons by ranking methods,” *Biometrics Bulletin*, vol. 1, no. 6, pp. 80–83, 1945, <http://www.jstor.org/stable/3001968> (visitado el 2025-06-09).
- [14] Durango, A. y Refugio, C., “An empirical study on wilcoxon signed rank test,” 2018, doi:10.13140/RG.2.2.13996.51840.
- [15] Kim, H.-Y., “Statistical notes for clinical researchers: the independent samples t-test,” *Restorative Dentistry & Endodontics*, vol. 44, no. 3, p. e26, 2019, doi:10.5395/rde.2019.44.e26.
- [16] Nachar, N., “The mann-whitney u: A test for assessing whether two independent samples come from the same distribution,” *Tutorials in Quantitative Methods for Psychology*, vol. 4, 2008, doi:10.20982/tqmp.04.1.p013.
- [17] Singh, R., Conjeti, S., y Banerjee, R., “A comparative evaluation of neural network classifiers for stress level analysis of automotive drivers using physiological signals,” *Biomedical Signal Processing and Control*, vol. 8, pp. 740–754, 2013, doi:10.1016/j.bspc.2013.06.014.
- [18] Rodríguez-Arce, J., Lara-Flores, L., Portillo-Rodríguez, O., y Martínez-Méndez, R., “Towards an anxiety and stress recognition system for academic environments based on

physiological features,” *Computer Methods and Programs in Biomedicine*, vol. 190, p. 105408, 2020, doi:<https://doi.org/10.1016/j.cmpb.2020.105408>.

- [19] Can, Y., Chalabianloo, N., Ekiz, D., y Ersoy, C., “Continuous stress detection using wearable sensors in real life: Algorithmic programming contest case study,” *Sensors (Switzerland)*, 2019, doi:10.3390/s19081849.
- [20] Liu, Y. y Du, S., “Psychological stress level detection based on electrodermal activity,” *Behavioural Brain Research*, vol. 341, pp. 50–53, 2018, doi:<https://doi.org/10.1016/j.bbr.2017.12.021>.
- [21] Villalba-Bravo, R., Trujillo-León, A., y Vidal-Verdú, F., “Adaptive filter to remove motion artifacts from gsr sensor embedded on handle cane,” en *2024 IEEE SENSORS*, pp. 1–4, 2024, doi:10.1109/SENSORS60989.2024.10784798.