



UNIVERSIDAD DE CHILE
FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS Y MATEMÁTICAS
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA INDUSTRIAL

ESTUDIO DE VALIDACIÓN DE METODOLOGÍA PARA IDENTIFICAR FATIGA EN
TAREAS LABORALES USANDO MEDIDAS FISIOLÓGICAS, CONTEXTUALES Y DE
RENDIMIENTO

TESIS PARA OPTAR AL
GRADO DE MAGÍSTER EN GESTIÓN DE OPERACIONES
MEMORIA PARA OPTAR AL
TÍTULO DE INGENIERO CIVIL INDUSTRIAL

MARCELO ARMANDO RIQUELME VICENCIO

PROFESOR GUÍA:
ÁNGEL JIMÉNEZ MOLINA

MIEMBROS DE LA COMISIÓN:
SEBASTIÁN RÍOS PÉREZ
FRANCISCO MIRANDA MARTÍNEZ

SANTIAGO DE CHILE
2019

RESUMEN DE LA TESIS PARA OPTAR
AL GRADO DE MAGÍSTER EN GESTIÓN DE OPERACIONES
RESUMEN DE LA MEMORIA PARA OPTAR
AL TÍTULO DE INGENIERO CIVIL INDUSTRIAL
POR: MARCELO ARMANDO RIQUELME VICENCIO
FECHA: 2019
PROF. GUÍA: ÁNGEL JIMÉNEZ MOLINA

ESTUDIO DE VALIDACIÓN DE METODOLOGÍA PARA IDENTIFICAR FATIGA EN TAREAS LABORALES USANDO MEDIDAS FISIOLÓGICAS, CONTEXTUALES Y DE RENDIMIENTO

A nivel mundial la fatiga en el trabajo se ha transformado en una fuente de accidentes, costos adicionales y bajas en la productividad, que afecta a familias y empresas. La posibilidad para identificar fatiga en tiempo real y realizar gestión sobre ella, permitirá un mejor bienestar para los trabajadores y los resultados de las empresas. Por otro lado, las aplicaciones derivadas de esta metodología de identificación de fatiga permite extender el uso de la misma tecnología a áreas, como la salud y deportivas.

Las señales fisiológicas, como el ritmo cardíaco y la actividad eléctrica de la piel, constituyen una fuente de medición objetiva del estrés, las cuales combinadas con mediciones subjetivas autoreportadas y medidas de rendimiento, pretenden descubrir el desarrollo del fenómeno de la fatiga, utilizando herramientas de minería de datos para el análisis.

La metodología se ha desarrollado en el contexto del proyecto entre IST y la Universidad de Chile para identificar fatiga en actividades laborales, este trabajo de tesis, pretende validar dicha metodología contribuyendo en el entendimiento del estado del arte de los estudios relacionados de fatiga, diseño e implementación de instrumentación, identificación de métricas de rendimiento según tarea y desarrollo de aplicaciones para medir rendimiento de las actividades en condiciones de laboratorio, y aportar con el procedimiento experimental para identificar fatiga.

La validación de la metodología se realizará a partir del análisis de una serie de datos proveniente de experimentos en condiciones de laboratorio, para esto se recrearon los trabajos de oficina de digitación de documentos y de un reponedor de mercadería. Se efectúa también una ejecución experimental para validar un prototipo desarrollado por equipo de WestLab, para medir señales fisiológicas de una manera confiable, cómoda y no invasiva para los sujetos de prueba, de forma de dar un paso más en la implementación de instrumentos que permitan seguir realizando investigación en esta línea.

En la validación del sensor se obtuvo una mediana de correlación $\tilde{r}=0,78$ para pulso cardíaco, y $\tilde{r}=0,59$ para conductividad eléctrica de la piel. Mientras que los mejores resultados de clasificación de los experimentos de tareas laborales, fue *recall* de 97% para digitación y reposición, utilizando *Random Forest*. Por lo tanto, se validaron la captura datos del sensor Biomonitor y la aplicación de la metodología para identificar fatiga, y se recomienda el uso de ambas herramientas para continuar con este tipo de investigación e implementación en industrias interesadas.

A Cristina, mi mujer, Consuelo, mi hija y mis padres

Agradecimientos

Se ha recorrido un largo camino y harto tiempo ha pasado para llegar a este punto, comienzo a agradecer con el temor que muchos queden fuera de esta página, pero sin duda alguna, todos quienes fueron parte de este proceso, nunca quedarán fuera de mis recuerdos.

Quiero comenzar por agradecer a mis dos amores, mi mujer Cristina y mi hija Consuelo, en quienes encontré amor, apoyo y energía incombustible, a mis padres quienes me dieron todo lo que un hijo podría necesitar para desarrollarse en la vida; y a todos los amigos que acompañaron con buenas energías, humor y aliento.

Quiero agradecer a todo el equipo WesstLab, partiendo por Ángel Jiménez, quién me dio la oportunidad de desarrollar esta tesis y me permitió ser parte de un gran equipo de trabajo: Jorge Gaete, Cristián Retamal, Ignacio Vargas, Francisco Díaz y Bruno Gómez, a quienes agradezco por todo su apoyo académico, técnico, emocional y buena camaradería. No puedo dejar de mencionar y agradecer a Linda Valdés, Fernanda Melis y José Correa, quienes con su orientación, consejos y acompañamiento, permitieron que me preparara y abordara esta tarea de la mejor forma posible.

Durante el proceso conocí a muchas personas, cuyas energías aportaron positivamente al día a día, gracias Pablina, Marilyn, Blanca, Evelyn, Braulio, Héctor, Gilda, Margarita y Luis.

Como mencioné al inicio, mucho tiempo ha pasado, ha sido grato reencontrarme con viejos amigos, y destaco a Rafael, quién siempre ha tenido una frase de ánimo y una buena historia para compartir, le agradezco por su forma de ser e incontables agradables conversaciones y en esta oportunidad en especial, por las cajas que me facilitó para los experimentos; pero el tiempo transcurrido también se llevó a quien fue un buen amigo durante mi época de estudiante, Don Pedro (q.e.p.d.), a quien le rindo un agradecimiento póstumo, por su simpatía, confianza y amistad.

Tabla de Contenido

1. Introducción	1
1.1. Antecedentes Generales	1
1.2. Descripción del proyecto	4
1.2.1. Proyecto	4
1.2.2. Oportunidad	4
1.2.3. Contexto institucional	5
1.3. Objetivos	6
1.3.1. Objetivo General	6
1.3.2. Objetivos específicos	6
1.3.3. Hipótesis de investigación	6
1.4. Metodología	6
1.5. Resultados esperados	7
1.6. Alcances	7
2. Marco Teórico	8
2.1. Teoría de la fatiga en el trabajo	8
2.2. Medidas fisiológicas	16
2.3. Medidas contextuales	18
2.4. Medidas de rendimiento	21
2.5. Etapas diseño de producto	23
2.6. Técnicas de análisis estadísticos	24
2.7. Algoritmos de minería de datos	26
2.8. Estado del arte	30
3. Metodología para identificar fatiga [84]	36
3.1. Caracterización de la tarea	38
3.2. Caracterización del entorno de ejecución de la tarea	38
3.3. Definición de la muestra	39
3.4. Preparación de artefactos y Materiales	39
3.5. Definición del protocolo experimental	41
3.6. Captura de datos: Ejecución del experimento	42
3.7. Limpieza y preprocesamiento de datos	42
3.8. Etiquetado de fatiga	44
3.9. Análisis de datos por individuo	45
3.10. Análisis de datos para la muestra agregada	46
3.11. Resultados y conclusiones	46

4. Diseño e Implementación de los experimentos	47
4.1. Instrumentación	47
4.1.1. Pulsera Biomonitor	47
4.1.1.1. Mediciones	49
4.1.1.2. Posición	49
4.1.1.3. Recomendaciones	50
4.1.2. Unidad <i>GSR+</i> de Shimmer	50
4.1.2.1. Mediciones	51
4.1.2.2. Posición de los electrodos	51
4.1.2.3. Recomendaciones	51
4.1.3. Sensor óptico de pulso de Shimmer	52
4.1.3.1. Mediciones	52
4.1.3.2. Conversión de PPG a ritmo cardíaco	54
4.1.3.3. Posición del sensor	54
4.1.3.4. Recomendaciones	54
4.1.4. Unidad <i>Bridge Amplifier+</i> de Shimmer	55
4.1.4.1. Mediciones	56
4.1.4.2. Posición del sensor	56
4.1.4.3. Recomendaciones	56
4.1.5. Oxímetro de pulso	57
4.1.5.1. Mediciones	57
4.1.5.2. Posición	57
4.1.5.3. Recomendaciones	57
4.1.6. Sensor de Contexto	58
4.1.6.1. Mediciones	60
4.1.6.2. Posición	60
4.1.6.3. Recomendaciones	60
4.2. Experimento Validación instrumento Biomonitor	62
4.2.1. Instrumentación	62
4.2.2. Grupo experimental	62
4.2.3. Diseño experimental	63
4.2.3.1. Preparación del experimento	64
4.2.4. Procedimiento experimental	65
4.3. Experimento tareas laborales: Digitación de documentos y Reposición de mer- cadería	66
4.3.1. Instrumentación	66
4.3.2. Grupo experimental	67
4.3.2.1. Digitación	68
4.3.2.2. Reposición	69
4.3.3. Diseño experimental	70
4.3.3.1. Digitación	70
4.3.3.2. Reposición	70
4.3.3.3. Preparación del experimento	70
4.3.4. Procedimiento experimental	71
5. Análisis de datos	73
5.1. Validación instrumento Biomonitor	73

5.1.1.	Definición de observaciones	73
5.1.2.	Procesamiento de datos	73
5.1.3.	Extracción de características	74
5.1.4.	Análisis estadístico	74
5.2.	Tareas laborales	77
5.2.1.	Definición de observaciones	77
5.2.2.	Procesamiento de datos	77
5.2.3.	Extracción de características	80
5.2.3.1.	Digitación	80
5.2.3.2.	Reposición	81
5.2.4.	Minería de datos y análisis estadístico	82
5.2.4.1.	Digitación	82
5.2.4.2.	Reposición	90
6.	Discusión de resultados	99
6.1.	Validación instrumento Biomonitor	99
6.2.	Tareas Laborales	100
6.2.1.	Digitación	100
6.2.2.	Reposición	102
6.2.3.	Exclusión del sensor de contexto	104
7.	Conclusión y trabajo futuro	106
7.1.	Biomonitor	106
7.2.	Fatiga laboral	107
	Bibliografía	111
	Apéndice	119
	A. Grupo experimental para Validación de Biomonitor	119
	B. Grupo experimental tarea de Digitación	120
	C. Grupo experimental tarea de Reposición	121
	D. Protocolo experimento de Validación de Biomonitor	122
	E. Protocolo experimento de Digitación	131
	F. Protocolo experimento de Reposición	139
	G. Instructivo uso aplicación de Digitación	147
	H. Instructivo uso aplicación de Reposición	151
	I. Correlación EDA y p-valor	154
	J. Correlación HR y p-valor.	156

K. Información del sensor de contexto por participante	162
L. Bitácora de modificaciones a Biomonitor	164
M. Mejoras propuestas para Biomonitor	194
N. Prueba de Levene para validación de clustering de Digitación	195
Ñ. Prueba de Kruskal Wallis para validación de clustering de Digitación	197
O. Prueba de Levene para validación de clustering de Reposición	198
P. Prueba de Kruskal Wallis para validación de clustering de Reposición	200

Índice de Tablas

2.1. Valores de escala KSS. (Fuente: Elaboración propia basado en [3])	19
2.2. Escala de gestos asignada a fatiga observada. (Fuente: Elaboración propia) . .	20
4.1. Sensores incluidos en Biomonitor. (Fuente: Informe a IST [84])	48
4.2. Sensores y sus mediciones. (Fuente: Elaboración propia)	60
4.3. Información del grupo experimental de Digitación. (Fuente: Elaboración propia)	68
4.4. Información del grupo experimental de Reposición. (Fuente: Elaboración propia)	69
5.1. Mediana de coeficientes de correlación entre sensores. (%) indica la proporción de participantes que presentaron $r > 0,5$. (Fuente: Elaboración propia)	76
5.2. Métricas de rendimiento por tarea. (Fuente: Elaboración propia)	77
5.3. Resumen resultados de KSS para Digitación. (Fuente: Elaboración propia basado en [83])	79
5.4. Puntajes obtenidos de gestos para Digitación. (Fuente: Elaboración propia basado en [83])	79
5.5. Resumen resultados de KSS para Reposición. (Fuente: Elaboración propia basado en [83])	80
5.6. Puntajes obtenidos de gestos para Reposición. (Fuente: Elaboración propia basado en [83])	80
5.7. Resumen procesamiento de señales. (Fuente: Elaboración propia basado en [83])	80
5.8. Resumen procesamiento de señales aplicando línea base. (Fuente: Elaboración propia basado en [83])	80
5.9. Resumen procesamiento de señales aplicando línea base y estandarización. (Fuente: Elaboración propia basado en [83])	81
5.10. Resumen de estadísticos de las características extraídas. (Fuente: Elaboración propia basado en [83])	81
5.11. Resumen procesamiento de señales. (Fuente: Elaboración propia basado en [83])	81
5.12. Resumen procesamiento de señales aplicando línea base. (Fuente: Elaboración propia basado en [83])	81
5.13. Resumen procesamiento de señales aplicando línea base y estandarización. (Fuente: Elaboración propia basado en [83])	82
5.14. Resumen de estadísticos de las características extraídas. (Fuente: Elaboración propia basado en [83])	82
5.15. Resumen de los modelos de clasificación para la tarea de digitación. (Fuente: Elaboración propia basado en [83])	83

5.16. Porcentaje de la varianza explicada por las componentes principales. (Fuente: Elaboración propia basado en [83])	85
5.17. Valores BIC para distintas corridas del GMM final.(Fuente: Elaboración propia basado en [83])	86
5.18. Número de etiquetas de fatiga por grupos de personas. $\chi^2(4)=879.62$, p-valor=4.32e-189. (Fuente: Elaboración propia basado en [83])	87
5.19. Descripción de los grupos de Digitación. (Fuente: Elaboración propia)	88
5.20. Resultados de la aplicación del Test de Kruskal Wallis. (Fuente: Informe WesstLab a IST [83])	89
5.21. Prueba de Levene en Digitación. (Fuente: Informe WesstLab a IST [83])	89
5.22. Resultados de la aplicacion del Test de Mood’s Median. (Fuente: Informe WesstLab a IST [83])	90
5.23. Resultados de la aplicacion del Test de Levene. (Fuente: Informe WesstLab a IST [83])	90
5.24. Resumen de los modelos de clasificación para la tarea de reposición. (Fuente: Elaboración propia basado en [83])	92
5.25. Porcentaje de la varianza explicada por las componentes principales. (Fuente: Elaboración propia basado en [83])	93
5.26. Valores BIC para distintas corridas del GMM final. (Fuente: Elaboración propia basado en [83])	94
5.27. Número de etiquetas de fatiga por grupos de personas. $\chi^2(4)=221.69$, p-valor=8.11e-47. (Fuente: Elaboración propia basado en [83])	95
5.28. Descripción de los grupos de Reposición. (Fuente: Elaboración propia)	96
5.29. Resultados de la aplicación del Test de Kruskal Wallis. (Fuente: Informe WesstLab a IST [83])	97
5.30. Prueba de Levene en Reposición. (Fuente: Informe WesstLab a IST [83])	97
5.31. Resultados del test de Mood’s median. (Fuente: Informe WesstLab a IST [83])	98
5.32. Resultados del test de Levene. (Fuente: Informe WesstLab a IST [83])	98
6.1. Mediana de correlación entre Biomonitor y Shimmer (p<0,001). (Fuente: Elaboración propia)	99
6.2. Información del sensor de contexto. (Fuente: Elaboración propia)	104
A.1. Información del grupo experimental para Biomonitor. (Fuente: Elaboración propia)	119
B.1. Información del grupo experimental de Digitación. (Fuente: Elaboración propia)	120
C.1. Información del grupo experimental de Reposición. (Fuente: Elaboración propia)	121
I.1. Coeficientes de correlación EDA por participante y etapas. SC: Sesión Completa. (Fuente: Elaboración propia)	154
I.2. p-valor de correlación EDA por participante. SC: Sesión Completa. (Fuente: Elaboración propia)	155
J.1. Coeficientes de correlación HR por participante, entre sensores Shimmer y Biomonitor. SC: Sesión Completa. (Fuente: Elaboración propia)	156
J.2. p-valor de correlación HR por participante, entre sensores Shimmer y Biomonitor. SC: Sesión Completa. (Fuente: Elaboración propia)	157

J.3.	Coeficientes de correlación HR por participante, entre sensores Contec y Biomonitor. SC: Sesión Completa. (Fuente: Elaboración propia)	158
J.4.	p-valor de correlación HR por participante, entre sensores Contec y Biomonitor. SC: Sesión Completa. (Fuente: Elaboración propia)	159
J.5.	Coeficientes de correlación HR por participante, entre sensores Shimmer y Contec. SC: Sesión Completa. (Fuente: Elaboración propia)	160
J.6.	p-valor de correlación HR por participante, entre sensores Shimmer y Contec. SC: Sesión Completa. (Fuente: Elaboración propia)	161
K.1.	Información del sensor de contexto por participante. (Fuente: Elaboración propia)	163

Índice de Ilustraciones

1.1. Número de Accidentes del Trabajo y de Trayecto. Mutualidades, 2007-2018. (Fuente: Superintendencia de Seguridad Social)	2
1.2. Tasa de Accidentes del Trabajo y de Trayecto. Mutualidades, 2007-2018. (Fuente: Superintendencia de Seguridad Social)	2
1.3. Promedio de Días Perdidos por Accidentes del Trabajo y de Trayecto. Mutualidades, 2007-2018. (Fuente: Superintendencia de Seguridad Social)	3
1.4. Tasa de Accidentes del Trabajo y de Trayecto según Actividad Económica. Mutualidades, 2017-2018. (Fuente: Superintendencia de Seguridad Social)	3
1.5. Líneas de producción manuales. (Fuente: Búsqueda aleatoria de imágenes en internet)	5
2.1. Curva de Rendimiento. (Fuente: www.haleo.co.uk)	12
2.2. Curva de Rendimiento Conducción. (Fuente: Coughlin, 2011 [19])	13
2.3. Curva de Rendimiento Laboral. (Fuente: www.pinerest.org)	14
2.4. Curva de Rendimiento Laboral Agregada. (Fuente: Elaboración propia basado en Page, 2015 [62])	14
2.5. Esquema básico del sistema nervioso. (Fuente: Tesis Cristián Retamal, 2017)	17
2.6. Interfaz de aplicación N-Back Play. (Fuente: Elaboración propia en base a captura de pantalla de teléfono móvil)	21
2.7. Aplicaciones desarrolladas para medir rendimiento. (Fuente: Elaboración propia)	22
2.8. Etapas de Diseño Industrial. (Fuente: Instituto Nacional de Tecnología Industrial [26])	23
2.9. Pasos del KDD. (Fuente: Data Mining and Knowledge Discovery Handbook [52])	27
2.10. Esquema de métodos de minería de datos. (Fuente: Data Mining and Knowledge Discovery Handbook [52])	28
3.1. Metodología para identificar fatiga en tareas laborales. (Fuente: Informe WesstLab a IST [84])	37
3.2. Proceso de filtrado y limpieza de datos psicofisiológicos. (Fuente: Informe WesstLab a IST [84])	43
3.3. Pasos para la extracción de características por individuos y agrupación de los mismos. (Fuente: Informe WesstLab a IST [84])	45
4.1. Placa Biomonitor. (Fuente: Elaboración propia)	48
4.2. Bolsillos internos para portar placa y batería. (Fuente: Elaboración propia)	49
4.3. Pulsera lista para ser utilizada. (Fuente: Elaboración propia)	49
4.4. Posición de uso de pulsera. (Fuente: Elaboración propia)	50

4.5.	Shimmer <i>GSR+</i> y electrodos. (Fuente: Elaboración propia)	50
4.6.	Ejemplo de medición de señal GSR. Curva característica frente a estímulos visuales de un video. (Fuente: Manual de usuario de Shimmer <i>GSR+</i>)	51
4.7.	Ejemplo de posición de electrodos para el dispositivo <i>GSR+</i> de Shimmer. (Fuente: Elaboración propia)	52
4.8.	Sensor óptico conectado a la unidad <i>GSR+</i> de Shimmer. (Fuente: Elaboración propia)	53
4.9.	Ejemplo de señal PPG medida con el sensor óptico de pulso de Shimmer. (Fuente: Manual de usuario de Shimmer <i>GSR+</i>)	53
4.10.	Comparación entre forma característica de ritmo cardíaco y señal de PPG. (Fuente: Biocom [11])	54
4.11.	Posición del sensor óptico para mediciones de PPG, en la muñeca izquierda. (Fuente: Elaboración propia)	55
4.12.	Unidad <i>Bridge Amplifier+</i> de Shimmer y sonda del sensor de temperatura corporal. (Fuente: Elaboración propia)	55
4.13.	Instalación sensor de temperatura. (Fuente: Elaboración propia)	56
4.14.	Unidad Contec conectada a placa de conexión e-health y Arduino. (Fuente: Elaboración propia)	57
4.15.	Unidad Contec instalada. (Fuente: Elaboración propia)	58
4.16.	Sensores de conforman el sensor de contexto. (Fuente: Imágenes de catálogos) .	58
4.17.	Conjunto de elementos de sensor de contexto. (Fuente: Elaboración propia) . .	59
4.18.	Presentación armado de Sensor de Contexto. (Fuente: Elaboración propia) . . .	59
4.19.	Posición del sensor de contexto en las configuraciones de sala para experimentos, destacado en círculo rojo. (Fuente: Elaboración propia)	61
4.20.	Instrumentación utilizada. (Fuente: Eaboración propia)	62
4.21.	Visualizaciones de pruebas cognitiva y emocional. (Fuente: Elaboración propia)	64
4.22.	Escenas de terror del video de prueba emocional. (Fuente: Video de Youtube) .	64
4.23.	Instrumentación utilizada. (Fuente: Elaboración propia)	66
4.24.	Aplicaciones para tareas. (Fuente: Elaboración propia)	67
4.25.	Configuración sala para Digitación. (Fuente: Elaboración propia)	71
4.26.	Configuración sala para Reposición. (Fuente: Elaboración propia)	71
4.27.	Sujetos realizando experimentos de Digitación y Reposición, con sensores instalados en brazo izquierdo. (Fuente: Elaboración propia)	72
5.1.	Gráfica de dispersión de datos entre sensores. (Fuente: Elaboración conjunta WesstLab)	74
5.2.	Comparación de visualizaciones de señal EDA capturados por sensores Shimmer y Biomonitor. (Fuente: Elaboración conjunta WesstLab)	75
5.3.	Visualizaciones de datos HR, por sensores Shimmer, Contec y Biomonitor. (Fuente: Elaboración conjunta WesstLab)	76
5.4.	Selección de número óptimo de K clusters utilizando el criterio Calinski Harabasz para la tarea digitación. (Fuente: Informe WesstLab a IST [83])	83
5.5.	Clustering realizado para las muestras de la tarea de digitación que permite agrupar las ventanas en 3 niveles distintos de fatiga. (Fuente: Informe WesstLab a IST [83])	83
5.6.	Ejemplo de etiquetado de fatiga por usuarios. 1=Sin fatiga, 2=Baja fatiga, 3=Alta fatiga (Fuente: Informe WesstLab a IST [83])	84

5.7.	Gráfico de importancia de características obtenido con el algoritmo Boruta para la tarea de digitación. (Fuente: Informe WesstLab a IST [83])	84
5.8.	Representación de los sujetos experimentales en las dos componentes principales. (Fuente: Informe WesstLab a IST [83])	85
5.9.	BIC para distintas configuraciones del GMM. (Fuente: Informe WesstLab a IST [83])	85
5.10.	Valores Silhouette para distintos números de clusters. (Fuente: Informe WesstLab a IST [83])	86
5.11.	Clusterización final de sujetos para la tarea de digitación. (Fuente: Informe WesstLab a IST [83])	86
5.12.	Distribucion de niveles de fatiga por grupo. (Fuente: Informe WesstLab a IST [83])	87
5.13.	Fatiga promedio por tramos. (Fuente: Informe WesstLab a IST [83])	88
5.14.	Selección de número óptimo de K clusters utilizando el criterio Calinski Harabasz para la tarea reposición. (Fuente: Informe WesstLab a IST [83])	91
5.15.	Clustering realizado para las muestras de la tarea de digitación que permite agrupar las ventanas en 3 niveles distintos de fatiga. (Fuente: Informe WesstLab a IST [83])	91
5.16.	Ejemplo de etiquetado de fatiga por usuario. 1=Sin fatiga, 2=Baja fatiga, 3=Alta fatiga. (Fuente: Informe WesstLab a IST [83])	92
5.17.	Gráfico de importancia de características obtenido con el algoritmo Boruta para la tarea de reposición. (Fuente: Informe WesstLab a IST [83])	92
5.18.	Representación de los sujetos experimentales en las dos componentes principales más significativas. (Fuente: Informe WesstLab a IST [84])	93
5.19.	BIC para distintas configuraciones del GMM. (Fuente: Informe WesstLab a IST [83])	93
5.20.	Valores Silhouette para distintos números de clusters. (Fuente: Informe WesstLab a IST [83])	94
5.21.	Clusterizacion final de sujetos para la tarea de reposición. (Fuente: Informe WesstLab a IST [84])	94
5.22.	Distribucion de niveles de fatiga por grupo. (Fuente: Informe WesstLab a IST [84])	95
5.23.	Fatiga promedio por tramos. (Fuente: Informe WesstLab a IST [84])	96
6.1.	Valores promedio de señales fisiológicas. (Fuente: Informe WesstLab a IST [83]) .	101
6.2.	Desviación estándar de señales fisiológicas. (Fuente: Informe WesstLab a IST [83])	102
6.3.	Valores promedio de señales fisiológicas. (Fuente: Informe WesstLab a IST [83]) .	103
6.4.	Desviación estándar de señales fisiológicas. (Fuente: Informe WesstLab a IST [83])	104

Capítulo 1

Introducción

Este capítulo da a entender el estudio realizado, indicando los antecedentes generales, la descripción del proyecto, la oportunidad de realización y el contexto institucional de desarrollo. Luego se complementa con los objetivos, hipótesis de investigación y metodología a implementar. Finalmente, el capítulo indica los resultados esperados y alcances del trabajo.

1.1. Antecedentes Generales

La fatiga laboral es cada vez más reconocida mundialmente como un problema de la industria moderna al ser una de las causas principales de los accidentes de trabajo [71]. A su vez, la Organización Internacional del Trabajo (OIT) [27] estima que cada año, más de 313 millones de trabajadores sufren accidentes del trabajo y enfermedades profesionales no mortales, lo que equivale a 860.000 víctimas al día. Por otro lado, cada día, 6.400 personas fallecen debido a un accidente del trabajo o a una enfermedad profesional, y las muertes por esta causa ascienden a 2,3 millones anuales. Esto conlleva a estimar que las pérdidas económicas por enfermedades y accidentes relacionados con el trabajo son cercanas a un 4% del PIB mundial, lo que equivale a US\$2,8 billones, que corresponden a gastos relacionados con la pérdida de tiempo de trabajo, los cortes de producción, el tratamiento médico, la rehabilitación y las indemnizaciones.

En Chile, las metas comprometidas en la Política Nacional de Seguridad y Salud en el Trabajo, plantean alcanzar al año 2020 una tasa de accidentabilidad del trabajo del 3%, una tasa de accidentes de trayecto del 0,8% y una tasa de mortalidad de 2,5 por cada 100.000 trabajadores.[25]

En la figura 1.1, podemos observar la disminución recurrente de la cantidad de accidentes en los últimos años. Lo que claramente también se manifiesta en las tasas de accidentabilidad observadas en la figura 1.2.

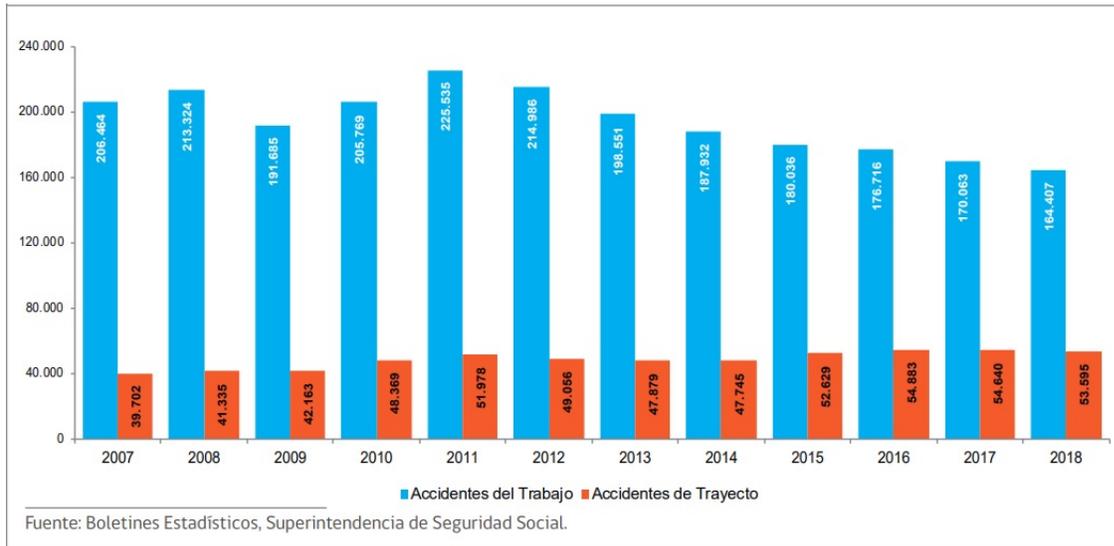


Figura 1.1: Número de Accidentes del Trabajo y de Trayecto. Mutualidades, 2007-2018. (Fuente: Superintendencia de Seguridad Social)

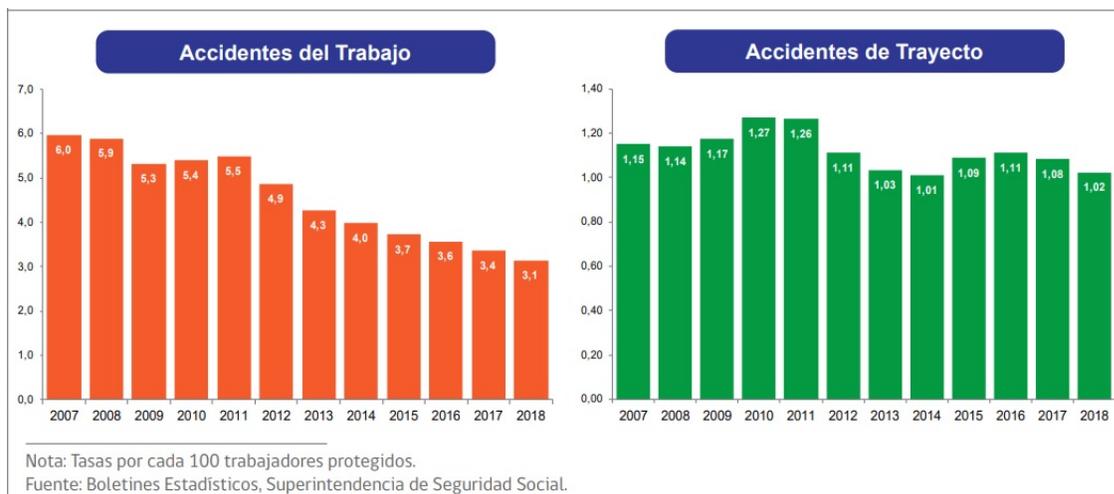


Figura 1.2: Tasa de Accidentes del Trabajo y de Trayecto. Mutualidades, 2007-2018. (Fuente: Superintendencia de Seguridad Social)

Por otro lado, los días de reposo laboral, también denominados días perdidos, constituyen un indicador de la gravedad de los accidentes laborales, donde se aprecia que si bien la cantidad de accidentes disminuye, la gravedad de los mismos, aumenta. Ver figura 1.3.



Figura 1.3: Promedio de Días Perdidos por Accidentes del Trabajo y de Trayecto. Mutualidades, 2007-2018. (Fuente: Superintendencia de Seguridad Social)

Se puede observar en la figura 1.4 que las actividades de la economía con mayor tasa de accidentes del trabajo corresponden a los sectores de la industria, transporte, agricultura y pesca y construcción.

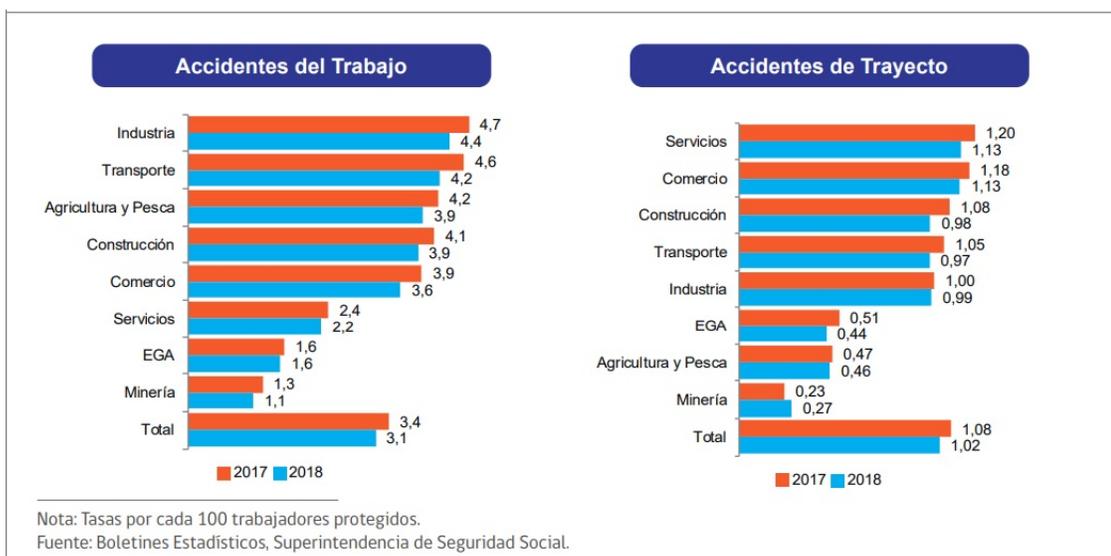


Figura 1.4: Tasa de Accidentes del Trabajo y de Trayecto según Actividad Económica. Mutualidades, 2017-2018. (Fuente: Superintendencia de Seguridad Social)

Como se presentará más adelante, dos de los factores más directos e inmediatos que influyen en la fatiga, es la calidad y cantidad de sueño de una persona previo a la jornada laboral. La fatiga en el trabajo puede causar similares efectos que el consumo de drogas y alcohol [22].

Es difícil establecer con precisión la proporción exacta de accidentes causadas por la fatiga, pero el consenso de investigadores estudiando seguridad y prevención de accidentes, es que la fatiga es la causa más identificable y evitable de accidentes de transporte, y se estima en torno al 15–20 % de todos los accidentes [2].

1.2. Descripción del proyecto

1.2.1. Proyecto

El presente trabajo de tesis se enmarca dentro de una iniciativa que busca la validación de una metodología para la identificación de la fatiga experimentada por las personas durante el ejercicio de sus tareas laborales y la validación del prototipo de la pulsera Biomonitor, dispositivo de desarrollo propio del laboratorio WestLab de la Universidad de Chile, para la captura de señales fisiológicas.

Este proyecto se compone de dos etapas principales de validación, las cuales son abordadas mediante el desarrollo de experimentos en condiciones de laboratorio.

El diseño e implementación experimental permitirá protocolizar y validar una metodología replicable para estudios de fatiga en diferentes industrias y además validar que el prototipo desarrollado, por el equipo de WestLab, puede ser un instrumento que facilite las siguientes investigaciones que consideren las señales fisiológicas.

1.2.2. Oportunidad

El estudio de identificación de la fatiga en una tarea relacionada al trabajo, tiene un impacto directo en la seguridad de los trabajadores y la productividad de las empresas. Actividades como la conducción profesional, ante un accidente, puede significar una lamentable y masiva pérdida de vidas, junto con la destrucción de infraestructura y recursos físicos, y ante incidentes de menor escala, puede significar interrupciones operacionales.

Debido a la causalidad multifactorial de la fatiga, es crítico e indispensable contar con herramientas de monitoreo, clasificación y predicción para evitar una discontinuidad en los procesos y prevenir accidentes.

La fatiga mental y física se presenta de distintas maneras en todas las actividades laborales, donde la detección temprana y una buena gestión de la fatiga, puede mejorar índices de bienestar y productividad en las personas.

Además de las actividades en oficina o frente a un computador, aún existe una amplia cantidad de rubros y empresas con líneas de producción no automatizadas, como se muestra en figura 1.5, donde las personas son expuestas a actividades monótonas y/o repetitivas durante su jornada laboral.



Figura 1.5: Líneas de producción manuales. (Fuente: Búsqueda aleatoria de imágenes en internet)

Para avanzar en esta línea de investigación, se dispuso una sala para realizar experimentos que replican actividades laborales reales en un ambiente controlado.

1.2.3. Contexto institucional

Para abordar esta realidad, se acordó entre la Superintendencia de Seguridad Social, a través del Instituto de Seguridad del Trabajo (IST), y el Departamento de Ingeniería Industrial de la Universidad de Chile, el proyecto de investigación “Caracterización de fatiga física y mental asociadas a las tareas laborales a través de sensado y procesamiento de señales psicofisiológicas de los trabajadores” (*código Suseso: ID83, código UChile: IST201783*), este proyecto busca enfrentar este problema en la industria, específicamente en conducción, tareas administrativas y de esfuerzo físico, por medio de la caracterización de la fatiga mental y física producida por actividades a causa de la actividad laboral de las personas. Con esto se busca entregar una metodología validada con desarrollo de etapa experimental, para el monitoreo e identificación de fatiga que apoye en distintos ámbitos para mejorar la gestión del recurso humano en cualquier rubro, tales como en programación de turnos, buenas prácticas de continuidad operacional, prevención de enfermedades laborales y accidentes, entre otros.

1.3. Objetivos

1.3.1. Objetivo General

Validar una metodología de identificación de fatiga, mediante el estudio de variables fisiológicas y contextuales que evidencien su manifestación en el desarrollo de tareas laborales.

1.3.2. Objetivos específicos

1. Validar instrumento de medidas fisiológicas, dispositivo Biomonitor, para capturar datos de una manera no invasiva y cómoda para el usuario.
2. Identificar las variables fisiológicas y contextuales que inferen un estado de fatiga
3. Diseñar e implementar experimentos de tareas laborales
4. Analizar y evaluar variables que identifiquen un estado de fatiga y proponer modelo de métricas de rendimiento asociadas a la fatiga

1.3.3. Hipótesis de investigación

La literatura y el ingreso de distintos sensores de monitoreo fisiológicos al mercado masivo y de la investigación, evidencian que es posible monitorear y capturar datos de las personas mientras desarrollan distintos tipos de tareas.

La hipótesis de esta tesis, es que es posible validar mediante el diseño e implementación de experimentos, una metodología que permita identificar fatiga, durante el desarrollo de una tarea, a través del sentido de señales fisiológicas de las personas, información contextual y medidas de rendimiento.

1.4. Metodología

La siguiente metodología está basada en las etapas definidas para la investigación y experimentación en condiciones de laboratorio del proyecto.

1. Estudio del estado del arte: se recopila y explica la literatura relevante en estudios de la fatiga y sus unidades de medición. También se examinan los procesos y modelos usados para tratar los datos y obtener resultados.
2. Estudio de medidas y sensores a utilizar, para capturar los datos en experiencia experimental, considerando sus limitaciones y la información que se extraerá para análisis.
3. Diseño experimental: una vez explorado y entendido el estado del arte, se determinan los señales fisiológicas y variables del entorno, que sean de interés para la investigación y la manera de capturar datos según restricciones técnicas y de usabilidad.

4. Realización de los experimentos: En condiciones de laboratorio, se instalan sensores a los participantes y en el entorno de ejecución de la tarea, y se desarrollan las aplicaciones necesarias para evaluar el rendimiento de la tarea definida.
5. Análisis de datos: Identificar las variables más relevantes que se correlacionen con un estado de fatiga, utilizando técnicas estadísticas y minería de datos para aceptar o rechazar las hipótesis de investigación.
6. Resultados y discusión: Visualizar, contextualizar y explicar los resultados obtenidos de los análisis establecidos, y comparar con trabajos anteriores.
7. Conclusiones y trabajo futuro

1.5. Resultados esperados

Los resultados esperados de esta tesis son:

1. Estado del arte sobre el desarrollo de fatiga y experimentos para su identificación durante la realización de tareas.
2. Diseño experimental.
3. Aceptación o rechazo de las hipótesis de investigación.
4. Identificación o descubrimiento de comportamientos en la ejecución de la tarea que impacten en la manifestación de la fatiga.

1.6. Alcances

No se desarrolla un sistema de alarma temprana de fatiga para trabajadores, la aplicación de los resultados esperados sólo podrían establecer un punto de alerta durante la ejecución de una actividad, no se considera el diseño ni la implementación de la misma, por lo tanto no se pretende desarrollar una herramienta para cada caso de estudio específico, mas que la aplicación de un protocolo experimental repetible para validar la metodología establecida para identificar fatiga.

Por otro lado, la validación del sensor Biomonitor, busca establecer una correlación positiva con instrumentos patrones de investigación, para comprobar la funcionalidad de su diseño y capacidad de captura de datos, además del análisis de los datos obtenidos del experimento, se entregará un listado de mejoras a partir de la experiencia de usuario y experimentador, pero no se incluirá un detalle de especificaciones técnicas, un estudio de mercado ni planes de negocio para su comercialización.

Capítulo 2

Marco Teórico

Este capítulo tiene por objetivo indicar el marco teórico del presente trabajo, explicando los conceptos y definiciones necesarios para contextualizar el desarrollo de la tesis.

El desarrollo actual de sensores fisiológicos y técnicas de análisis de una gran cantidad de datos, permiten monitorear, identificar y predecir, una amplia serie de reacciones del cuerpo humano ante distintos estímulos y situaciones, sin embargo, los estudios en terreno y la cantidad de medidas fisiológicas que pueden capturarse, se limitan debido a la comodidad, seguridad de uso, costos de instrumentos y restricciones físicas a los lugares de ejecución de la tarea. A continuación se presentan las definiciones y descripciones, de las medidas y técnicas existentes para el objetivo de este trabajo de tesis.

El capítulo comienza con una descripción de la fatiga y las tareas laborales. Luego se detallan las medidas sujetas a este tipo trabajo de investigación, tanto fisiológicas, contextuales y de rendimiento. A continuación, se hace referencia a estudios relacionados con la fatiga, tales como conducción y otras tareas laborales, entregando un resumen de trabajos anteriores, los cuales son considerados como punto de referencia para el presente trabajo. La siguiente sección, describe las técnicas de análisis de datos que aplican a esta línea de estudios. El capítulo termina con un resumen comentado del estado del arte y algunas aplicaciones en esta área.

2.1. Teoría de la fatiga en el trabajo

Para definir la fatiga en el contexto de este estudio, debemos comenzar por entender qué es el estrés. El estrés fue definido como la respuesta inespecífica del organismo a cualquier demanda [75]. En 1968, el análisis del estrés dio un giro, al centrar la atención en los estímulos estresores [55]. En ese sentido, fue el primero en señalar a la actividad emocional como primer mediador, y agente que actúa, sobre el hipotálamo, responsable a su vez de la actividad endocrina propia de la reacción biológica del estrés. La teoría neuroendocrina del estrés fue refutada, respecto a la inespecificidad de respuesta al estrés, al afirmarse que desde el punto de vista endocrinológico no existe tal inespecificidad [51], por el contrario, lo que existe es

una respuesta específica a una amplia gama de fuentes de estrés. Este giro de la respuesta al estímulo propició el desarrollo de estudios sobre el estrés basados principalmente en el estímulo estresor.

Esta línea de investigación del estrés es conocida como Estímulo-Respuesta.

Los postulados de la investigación estímulo-respuesta del estrés son [51]:

- El estrés es definido de manera funcional cuando es integrado en el proceso relacional que el organismo utiliza para conservar su equilibrio. El organismo se ve sometido a estímulos externos que alteran su equilibrio funcional y ante el desequilibrio producido, el organismo reacciona provocando una serie de respuestas, de carácter fisiológico, físico, psicológico y comportamental, que intentan recuperar el equilibrio.
- El estrés se puede conceptualizar o identificar como una característica aversiva o nociva del entorno. Algunas características de entorno en que se desenvuelve un organismo pueden ser concebidas en términos de carga y exigencias impuestas, o en su defecto, de elementos aversivos y nocivos que impactan el equilibrio funcional del organismo.
- El estrés es considerado como una variable independiente. El estrés produce una reacción de tensión en el organismo que, aunque con frecuencia es reversible, en algunas ocasiones puede ser irreversible y dañina, por lo que puede ser considerado como la causa, originada en el entorno, que provoca indicadores o síntomas del desequilibrio funcional del organismo.
- Se considera el estrés como una variable dependiente: una determinada respuesta fisiológica, física, psicológica y comportamental a un entorno amenazante o dañino. El estrés puede ser considerado como el efecto o la consecuencia de una serie de estímulos estresores que se originan en el entorno y que alteran el equilibrio funcional del organismo.

Por otro lado, existe una segunda línea de investigación, denominada Persona-Entorno del estrés, donde encontramos los primeros antecedentes que establecen que el estresor debe ser inédito [55], y que para que el mismo produzca una respuesta debe haber sido previamente evaluado cognitivamente por el individuo. Esta evaluación explica la potencial diferencia en la respuesta que dos personas pueden dar a la misma situación estresante, incluso a las distintas respuestas que una misma persona puede dar a la misma situación en dos momentos diferentes. En 1978, se incorpora a la discusión la teoría de la atribución de Abramson [1]. Esta teoría defiende que al desarrollo de este patrón de indefensión contribuye el hecho de que el sujeto atribuye el poco control de las consecuencias a déficits personales, internos, globales y estables, lo que desencadena una reacción emocional. Con estos aportes, y otros que se venían desarrollando en paralelo, las variables cognitivas empiezan a cobrar importancia en el ámbito de la psicología, dando lugar al enfoque cognitivo. Las formulaciones centradas en el concepto de estrés y los procesos de afrontamiento, acentúan la importancia de los procesos cognitivos. De particular importancia, por el impacto que han tenido en la investigación, resultan los trabajos de Lazarus y Folkman (1986) [34]. Estos autores definieron el estrés como una particular relación entre la persona y el entorno que es evaluado por ésta como gravoso o que excede sus recursos, y que arriesga su bienestar o salud. Destacan dos aspectos básicos: lo transaccional y la evaluación de los acontecimientos. En este modelo el conocimiento simple de un acontecimiento, sin saber como éste se ha producido y evaluado,

es insuficiente para determinar si es estresante o no. Estos autores identifican dos tipos de evaluación: la evaluación primaria como evaluación de los acontecimientos en términos de agresión al bienestar personal, y la evaluación secundaria como evaluación de los recursos y opciones que hace el propio sujeto para responder a la amenaza que percibe, también de forma personalizada.

Esta línea de investigación del estrés es conocida como Persona-Entorno.

Los postulados de la investigación Persona-Entorno del estrés son [51]:

- El estrés es conceptualizado como la interacción dinámica que se establece entre la persona y su entorno. En ese sentido el estrés deja de ser algo que se describa, identifique o localice en el entorno (estímulos aversivos) o en la persona (reacciones o indicadores), y pasa a ser un proceso relacional que está sujeto a variables cognoscitivas y contextuales.
- La adecuación entre la persona y su entorno ofrece una explicación mejor del estrés que la ofrecida por las diferencias individuales o situacionales. La explicación sobre el origen y desarrollo del estrés no se encuentra en las características de la persona o del entorno en que se desenvuelve ella, sino en el ajuste que se da entre las características de ambos, lo que conduce a concluir que no hay entornos estresantes por sí mismos, ni personas, en sí mismas, más vulnerables al estrés que otras, sino que todo depende de cómo interactúen las características de las personas con las características del entorno.
- El estrés se origina por una relación inversamente proporcional entre las demandas del entorno y las posibilidades de tomar decisiones para enfrentar esa demanda. Cuando se da una situación donde existe una mayor demanda por parte del entorno y la persona tiene pocas posibilidades de tomar decisiones para enfrentar esas demandas sobreviene el estrés.
- El estrés es la representación interna de transacciones particulares y problemáticas entre la persona y su entorno. Las relaciones entre las demandas del entorno y las características de la persona se desarrollan internamente en el sujeto a través de un proceso de valoración de las demandas del entorno y de los recursos de que dispone para enfrentar esas demandas. Esto conduce a reconocer que el estrés es un estado psicológico que se produce en presencia de una falta de adaptación o desequilibrio.
- La valoración de las demandas del entorno y de los recursos de las personas para enfrentar esas demandas se desarrolla en dos momentos, en el primero se identifica el problema y en el segundo la forma de enfrentarlo. La valoración primaria permite contestar a la pregunta ¿Tengo un problema? Mientras que la valoración secundaria está subordinada al reconocimiento de que existe un problema y conduce a un análisis más detallado y a la formulación de eventuales estrategias de afrontamiento, en ese sentido, la pregunta a responder es ¿Qué voy a hacer al respecto?
- La consciencia, en la persona, de la valoración que realiza se presenta en un continuo de varios niveles que van desde la percepción de los indicadores del problema hasta el análisis detallado del mismo. La valoración es necesariamente un proceso consciente y como tal puede atravesar por los siguientes momentos: a) creciente consciencia de los indicadores del problema, ya sean individuales o situacionales, que incluyen sensaciones de desasosiego, insomnio, cometer errores, etc. b) reconocimiento de la existencia de un problema, de modo general o vagamente, c) Identificación del área del problema y valoración de su importancia y d) análisis detallado de la naturaleza del problema y de

sus efectos.

Los indicadores o respuestas de estrés son los que en definitiva nos permiten determinar que éste existe, podemos distinguir los neuroendocrinos, los psicofisiológicos y los psicológicos [23].

A pesar que el término estrés tiene una connotación negativa, la evidencia sugiere que bajo ciertas circunstancias, la exposición al estrés tiene el potencial de mejorar el rendimiento y resistencia de un individuo [7]. Esta dosis de estrés moderado que podría tener efectos beneficiosos es llamado *eustrés*. El entorno está en constante cambio y obliga a los individuos a adaptarse, por lo tanto, cierta cantidad de estrés es necesaria para que el organismo se adecue a los retos y cambios de la vida diaria. La versión opuesta, también denominado *distrés*, o estrés crónico, se presenta por períodos largos de tiempo, incluso días o meses y puede ser dañino para la salud [30].

El objetivo no debe ser eliminar el estrés, pero si aprender a manejarlo y utilizarlo para beneficio personal. Para esto se requiere encontrar un nivel de estrés que motive, pero que no abrume [82].

La intensidad de estrés puede ser monitoreada por niveles de hormonas, neurotransmisores y otros cambios fisiológicos tales como incremento del ritmo cardíaco y presión arterial [30].

Teniendo presente los conceptos de estrés y rendimiento, se comenzará a profundizar en la definición del fenómeno de la fatiga.

La fatiga se presenta como sensación de cansancio, agotamiento y dificultad para mantener el rendimiento de una tarea [20]. En la literatura, ésta se define tanto en términos de sus causas como de sus efectos. Por un lado se entiende como fatiga cualquier pérdida de eficiencia en la ejecución de una tarea o como la aversión a cualquier tipo de esfuerzo [37]. Por otro lado, la fatiga se define como el resultado psicofisiológico de períodos prolongados de estrés físico y cognitivo [12]. En cualquier caso la fatiga produce una disminución en el desempeño del que la padece, siendo un factor de reducción de la productividad de una tarea y de la mala calidad de sus resultados [6].

Como se menciona anteriormente el estrés es un factor relevante en el desarrollo de la fatiga. Fisiológicamente el efecto de esfuerzos físicos y cognitivos incide en la generación de estrés, que mantenido en el tiempo deriva en fatiga. El fenómeno de la fatiga, física y mental, guarda relación con los efectos acumulativos del estrés físico y mental. De manera que para entender la psicofisiología del estrés en el ámbito laboral es necesario entender las fuentes de estrés en el trabajo.

Cabe destacar, que no existe una definición precisa ni científica para fatiga, por lo tanto no hay un criterio cuantitativo para medirla. [88]

Experiencias prolongadas de estrés afectan negativamente el bienestar físico y mental [28].

El mayor síntoma de fatiga mental es una sensación general de cansancio, sentimientos de inhibición y actividad deteriorada. Especialmente en las áreas de aviación y transporte, la fatiga mental es la causa principal de graves errores de operación [92].

Para un mejor entendimiento de la fatiga, se hará referencia al modelo Yerkes-Dodson, que buscó establecer una relación entre estímulo y aprendizaje [89], que al ser reinterpretada y aplicada por distintos investigadores, sirvió para establecer una relación entre estrés y rendimiento [81]. Esta relación señala que el rendimiento de una tarea aumenta con la activación fisiológica o mental, pero sólo hasta cierto punto, y luego comienza a disminuir en la medida que el estrés es mayor, esto se puede apreciar en la figura 2.1.

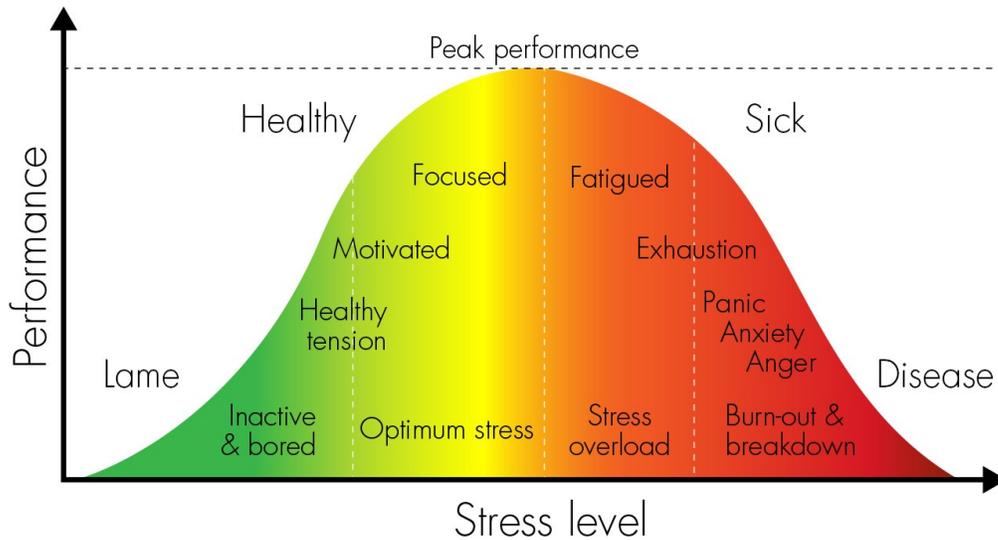


Figura 2.1: Curva de Rendimiento. (Fuente: www.haleo.co.uk)

Sin embargo, la fatiga mental en la conducción, es un fenómeno complejo que involucra procesos de conducta, psicosociales y físicos, y ninguna medida compuesta de un sólo parámetro podría ser suficientemente sensitivo ni suficientemente confiable para cuantificar la fatiga mental al conducir. Entonces se necesita un enfoque de múltiples medidas para desarrollar un método robusto de detección de fatiga [92].

Sin embargo, estos parámetros podrían variar según el tipo de vehículo, la experiencia del conductor, características geométricas y estado del camino. Por lo tanto, las mediciones pueden requerir diferentes lógicas de detección. Otro enfoque se centra en indicadores de medición relacionados con el cuerpo humano, que incluyen autoinforme, medidas de rendimiento, comportamiento, perceptivo, electrofisiológico, mediciones psicológicas y bioquímicas. [45]

Un ajuste del modelo de Yerkes y Dodson, realizado por Coughlin [19], para el caso particular de la conducción, se puede ver en la figura 2.2, donde la fatiga puede presentarse en condiciones de bajo estrés, dada la naturaleza monótona de dicha tarea.

La fatiga es una condición psicofisiológica subóptima causada por el esfuerzo. El grado y el carácter dimensional de la condición dependen de la forma, la dinámica y el contexto del esfuerzo. El contexto de esfuerzo se describe por el valor y el significado del desempeño para el individuo, historia del descanso y del sueño; efectos circadianos, factores psicosociales que abarcan el trabajo y la vida familiar, rasgos individuales, dieta, salud, estado físico y otros estados individuales, y condiciones ambientales. La condición de fatiga produce cambios en las estrategias o en el uso de los recursos, de modo que los niveles originales de procesamiento mental o actividad física se mantienen o reducen [65].

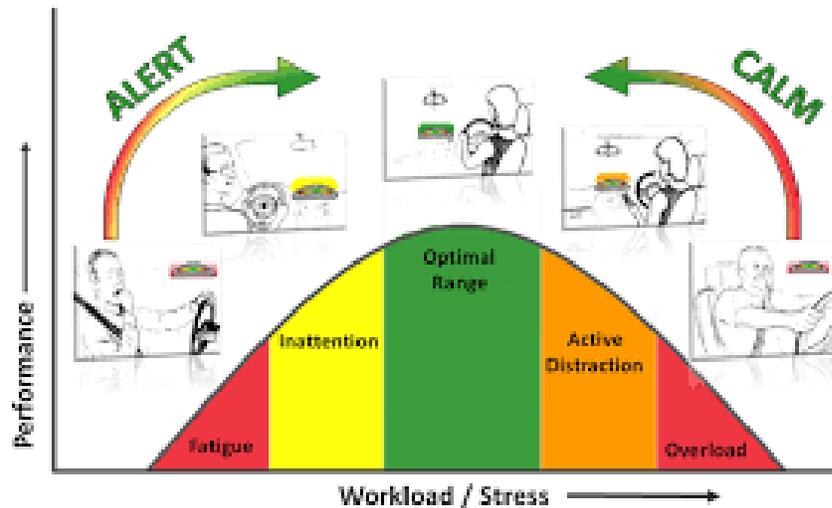


Figura 2.2: Curva de Rendimiento Conducción. (Fuente: Coughlin, 2011 [19])

La fatiga incluye casos en que los conductores experimentan una falta de motivación para participar en la tarea de conducción, y para descansar buscan objetivos más cómodos. Al igual que en tareas de vigilancia durante períodos relativamente largos, se produce una disminución natural de la alerta, a lo que también se suman signos de somnolencia y percepción de estar cansado. La fatiga se trata por separado de otras formas de falta de atención porque presenta una ventana temporal alta asociada a minutos u horas y porque no sólo reduce la conciencia del entorno, sino que también afecta al sistema nervioso central y, en consecuencia, a la coordinación motora y mental [36].

Las métricas basadas en el comportamiento son una fuente prometedora de información para detectar la somnolencia debido a un conjunto de conductas asociadas a la somnolencia. Una razón para este cambio de comportamiento es la percepción del conductor de su condición y cambiando el comportamiento para contrarrestar la progresión de la fatiga. Otro objetivo común es cambiar la postura a una posición más cómoda. Este tipo de comportamiento puede ser clasificado como ajustes de postura, intercambios verbales, actividades lúdicas y egocéntricas [70]. El desempeño de tales actividades de comportamiento depende de la persona, por lo tanto cuando las personas perciben estar fatigadas, pueden realizar varias de estas actividades. Esto también implica que incluso si el conductor no realiza tales actividades, podría estar fatigado, por esto las métricas basadas en el comportamiento no deben usarse solas, ya que no son suficientes para la detección. Otra limitación es que cada señal específica requiere un algoritmo de detección específico, que limita considerablemente la capacidad de detección debido a razones prácticas, y restringe las señales a un conjunto de genéricos [36].

Por lo tanto, en términos laborales, existe el desafío de entender la tarea a cabalidad, para poder estudiar el desarrollo de la fatiga durante su ejecución. De esta forma, se debe tener presente la generalidad de la curva estrés y rendimiento, como se muestra en figura 2.3

Dependiendo de la naturaleza de una situación de estrés, un individuo puede presentar respuestas positivas o negativas. Idealmente, minimizando el estrés negativo, denominado *distrés*, y maximizando el estrés positivo, llamado *eustrés*, puede permitir a una persona



Figura 2.3: Curva de Rendimiento Laboral. (Fuente: www.pinterest.org)

alcanzar un nivel óptimo de rendimiento laboral. Luego que la ley de Yerkes y Dodson, estableció esta relación empírica entre estrés y rendimiento, como un acercamiento a determinar el rendimiento óptimo de una persona [89]. Este planteamiento agregado de eustrés y distrés, se observa en la figura 2.4, bajo la misma teoría. En esta línea, existen diversas investigaciones para optimizar las presiones y demostrar la importancia del balance entre la vida y el trabajo, estudiando las correlaciones entre la fatiga de los trabajadores y la productividad [62].



Figura 2.4: Curva de Rendimiento Laboral Agregada. (Fuente: Elaboración propia basado en Page, 2015 [62])

Las causas de fatiga y estrés son muchas, entre ellas encontramos, el trastorno del ciclo circadiano, tipo y duración de la tarea, medio ambiente en el que se desarrolla el trabajo y falta de sueño [57].

La conducción es una tarea compleja, de alerta [50] y potencialmente riesgosa, que requiere la movilización de recursos cognitivos y fisiológicos para mantener el rendimiento durante el tiempo [24]. Lo anterior exige al conductor mantener un alto nivel de atención [50].

La fatiga puede generar demoras en tiempos de reacción, pérdida de habilidad comunicacional y fallas en la priorización de tareas que pueden resultar en graves accidentes [57].

Según National Safety Council, la fisiología de la fatiga en el trabajo, describe un estado de cansancio, somnolencia, energía reducida y necesidad de aumentar el esfuerzo para mantener el rendimiento de la tarea a un nivel deseado. Y dentro de las causas se identifican [20]:

- Hora de día: El ciclo circadiano del cuerpo, determina que las personas están programadas fisiológicamente para dormir de noche y estar despiertos y activos durante el día. La existencia de turnos de trabajo pueden influir en una disminución de la calidad y cantidad de sueño, causando fatiga.
- Falta de sueño: Las personas requieren dormir entre 7 y 9 horas para funcionar adecuadamente. La deuda de sueño se genera cuando un apersona pierde una cantidad de sueño o permanece despierto por largos períodos de tiempo.
- Tiempo en la tarea: Las personas experimentarán fatiga mientras más tiempo realizan una tarea específica. Esta fatiga puede manifestarse como somnolencia, cansancio mental y muscular. La habilidad de una persona para mantenerse enfocado en una tarea simple y repetitiva es limitada, algunos ejemplos son la conducción de camiones, trabajar en líneas de ensamblaje, escanéo de equipaje y control de calidad. El efecto del tiempo en la tarea es un incremento gradual del esfuerzo para mantener el mismo nivel de rendimiento en la tarea a lo largo del tiempo, es decir, mientras mayor es el tiempo para realizar una tarea tediosa, se presentará una disminución de la precisión, velocidad y atención.
- Factores personales: Todas las personas son diferentes, donde algunas pueden presentar una tendencia mayor a fatigarse. Los factores personales como edad y condiciones médicas puede influir en este estado.
- Factores del trabajo: Algunas ocupaciones pueden presentar mayor tendencia a causar fatiga debido a factores relacionados con la tarea, ambientales y organizacionales. Los factores de la tarea se asocian con las demandas físicas y mentales al trabajador, así como el nivel de experiencia que este presente. Dentro de los factores ambientales que influyen en la fatiga, destacan la exposición a ruido, mala calidad de aire y luminosidad. Los factores organizacionales se derivan de la cultura de seguridad de las instituciones, compromiso del trabajador y apoyo de superiores, otros factores, son el tamaño de la empresa, tipo de industria, falta de sistemas de gestión, políticas de programación y pago de compensaciones por tareas y tiempo adicionales.

De la misma manera se establecen los efectos derivados de la fatiga [20]:

- Rendimiento Cognitivo: Existe amplia investigación que ha mostrado la fatiga como resultado de turnos y falta de sueño que disminuye el rendimiento cognitivo, memoria de corto plazo, concentración, velocidad de ejecución, tiempos de reacción, actividad psicomotor, atención, vigilancia, alerta, precisión, cálculo matemáticos y juicio.

- Rendimiento del Trabajo: A causa de la fatiga, se ha observado una disminución del rendimiento del trabajo, incluyendo productividad, en trabajadores con sistema de turnos, turno nocturno, turnos rotativos, trabajos de sobretiempo o períodos extendidos, tiempo sostenido en la misma tarea y problemas de sueño.
- Rendimiento de Seguridad: Trabajadores con problemas de sueño presentan mayor posibilidad de enfrentar incidentes de seguridad en el lugar de trabajo. También influye la hora del día, ya que personas desempeñándose en turnos nocturnos tiene mayor riesgo de incidentes negativos durante su jornada de trabajo.
- Consecuencias de Salud: La exposición a largas jornadas de trabajo y falta de sueño, están expuestas a mayor riesgo de choques de vehículos, obesidad, desorden psicológicos, como ansiedad y depresión, desórdenes musculoesqueléticos, problemas reproductivos y disminución de respuesta inmune y enfermedades crónicas como hipertensión, enfermedad cardiovasculares, gastrointestinales y diabetes.
- Consecuencias económicas: Debido a la disminución de productividad, factores de seguridad y salud, pueden incrementar los costos a las empresas y el estado.

2.2. Medidas fisiológicas

Las señales fisiológicas son manifestaciones periféricas de procesos gobernados por el sistema nervioso. Éste se divide, como se observa en la Figura 2.5, en el Sistema Nervioso Central (SNC), formado por el encéfalo y la médula espinal, y el sistema Nervioso Periférico (SNP), a su vez, el SNP se divide en el Sistema Nervioso Somático (SNS) que controla la actividad muscular voluntaria; y el Sistema Nervioso Autónomo (SNA) que se encarga de las funciones viscerales como la de glándulas u órganos. En particular, SNA recibe la información de los diferentes órganos y del medio interno, para actuar sobre la frecuencia cardíaca y respiratoria, la contracción y dilatación de vasos sanguíneos, la digestión, la salivación, el sudor, la contracción y relajación del músculo liso en varios órganos, acomodación visual, dilatación de la pupila, secreción de glándulas exocrinas y endocrinas, la micción y la excitación sexual. El SNA se divide funcionalmente en el sistema simpático (SNS) y parasimpático (PNS). El SNS está implicado en actividades que requieren gasto de energía, y es el que prepara al individuo para reaccionar ante una situación de estrés. El PNS está encargado de almacenar, conservar la energía y es el que mantiene al individuo en situaciones normales que no implican peligro o estrés.

Las señales fisiológicas reflejan la actividad del Sistema Nervioso Autónomo (SNA) que genera respuestas inconscientes del cuerpo ante estímulos externos. Tienen la ventaja de poder medirse en tiempo real y no están sujetas a algún sesgo de respuesta voluntaria del usuario, se consideran medidas objetivas para entender el efecto de la tarea en el trabajador. Por lo tanto, las mediciones de fatiga por medio de éstas, son consideradas medidas objetivas. Las señales fisiológicas con mayor poder predictivo de fatiga son las capturadas para obtener el ritmo cardíaco y su variación, y la actividad electrodermal [57].

El sistema nervioso autónomo envuelve los reflejos y los comportamientos involuntarios, principalmente las respuestas de bajo nivel de conciencia. Esto es muy usado para interpretar

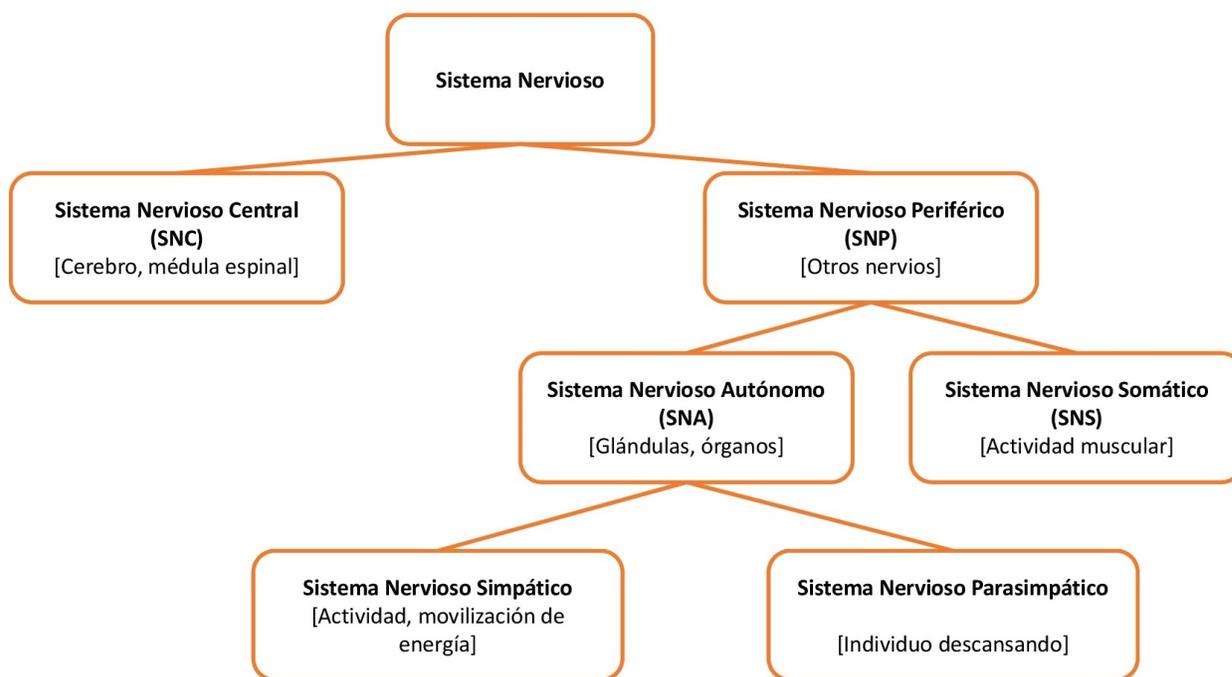


Figura 2.5: Esquema básico del sistema nervioso. (Fuente: Tesis Cristián Retamal, 2017)

niveles emocionales, de excitación o cognitivos, y existen múltiples señales psico-fisiológicas que nos permite conocer el estado del SNA. Por ejemplo, podemos medir los cambios en la conductividad de la piel, que se relaciona con el grado de humedad dado por la actividad de glándulas sudoríparas que a su vez son controladas por el SNA.

A continuación se explica cómo las señales fisiológicas, que se utilizarán para efectos de este trabajo de tesis, se ven afectadas ante una situación de estrés:

- **Ritmo cardíaco (HR):** Corresponde a la cantidad de latidos del corazón por minuto. el estrés agudo hace que el corazón se contraiga con gran fuerza y frecuencia. Con estrés crónico, la masa del corazón se incrementa para proporcionar al cuerpo una mayor respuesta a los factores estresantes.
- **Variación del ritmo cardíaco (HRV):** El HRV es una serie de tiempo derivada de la señal de HR. Esta serie captura las variaciones del ritmo cardíaco en el tiempo [87] y es calculado analizando los intervalos entre latidos [63]. El análisis se desarrolla en el dominio del tiempo y de la frecuencia [53].
- **Actividad electrodermal (EDA):** se define como el cambio en las propiedades eléctricas de la piel y es una medida del flujo de electricidad a través de la piel de un individuo. Cuando el individuo está bajo estrés, la conductancia de la piel aumenta debido al aumento de la humedad en su superficie dada la activación de las glándulas sudoríparas, lo que incrementa el flujo de electricidad. Por el contrario, la conductancia de la piel se reduce cuando el individuo disminuye su estrés. También conocida como respuesta galvánica de la piel (GSR, *Galvanic Skin Response*), es de bajo costo, capturada fácilmente y robusta. En este método, la conductancia eléctrica de la piel se mide a través de uno o dos sensores o electrodos usualmente unidos a una parte de la mano

o el pie. La conductividad de la piel varía con los cambios en el nivel de humedad de la piel (sudor) y puede revelar cambios en el sistema nervioso simpático. La ubicación de los electrodos requiere una zona con gran cantidad de glándulas sudoríparas, como por ejemplo la zona palmar de la mano y los dedos. También se ha demostrado que existe una alta correlación en las mediciones que pueden obtenerse entre las falanges de dedos y el lado distal de la muñeca [67].

- **Temperatura corporal:** El cuerpo humano realiza constantes intercambios de temperatura con el ambiente, en forma de energía, como parte del proceso de autoregulación para mantener el equilibrio interno del cuerpo. Esta intensidad de energía intercambiada crece y decrece en proporción a la temperatura corporal. La regulación del flujo vascular cutáneo y de la radiación térmica se considera una función del Sistema Nervioso Autónomo.

Si bien las medidas psicofisiológicas constituyen un método cuantitativo, aún así poseen cierto grado de subjetividad, ya que no todas las personas reaccionan de la misma manera ante un mismo estímulo, debido a que la actividad de su fisiología depende de su estado de salud. Esto sugiere la utilización de técnicas para la normalización de las mediciones y el filtrado de esta fuente de incertidumbre.

2.3. Medidas contextuales

Las medidas contextuales entregan información directa e indirecta del medio donde se desenvuelve la persona y permiten estimar sus efectos sobre la fatiga. Se distinguen dos componentes principales, el contexto de entorno y las características del sujeto experimental.

El contexto de entorno abarca las condiciones ambientales que afectan directamente al trabajador. Dentro de las variables ambientales se encuentran: vibración, concentración de CO₂, temperatura ambiental, nivel de ruido y luminosidad en las áreas de trabajo. Todas vigentes en la legislación chilena, según decreto supremo N°594 que aprueba reglamento sobre condiciones sanitarias y ambientales básicas en los lugares de trabajo, que resguardan la salud y el bienestar de los trabajadores.

Las medidas ambientales que se resolvieron medir, sujetas a las restricciones tecnológicas y factibilidad de aplicación, son:

- Acelerómetro, para determinar las vibraciones y aceleraciones a las cuales está expuesta el sujeto.
- Ruido, nivel de exposición a fuentes sonoras.
- Temperatura y humedad ambiental.
- Nivel de CO₂, gas que tiene influencia en funciones cognitivas.

Por otra parte, las características que las personas derivan de los factores causales de fatiga, donde encontramos:

- Información de seguridad laboral, familiar y personal

- Edad y género
- Experiencia
- Ciclo circadiano
- Calidad de sueño

También pueden ser parte de las medidas contextuales a considerar, los expedientes, fichas médicas y evaluaciones de desempeño de las personas para complementar, su descripción y factores personales que puedan influir en su tendencia a desarrollo de fatiga.

Otro tipo de medidas subjetivas a partir de las características de las personas, corresponden a las cuales son las mismas personas que estiman y autoreportan su nivel de fatiga, mediante cuestionarios o pruebas de atención sostenida.

En la literatura se encuentra una gran variedad de cuestionarios que buscan identificar distintas dimensiones de fatiga, así como determinar para cada caso de estudio la que mejor se adapte a la situación.

Para el desarrollo de esta tesis se utiliza el cuestionario Karolinska Sleepness Scale (KSS) que mide el nivel subjetivo de somnolencia autorreportado durante un período específico [3]. Este consiste en una pregunta ‘¿Cómo te sientes?’ respecto a una explicación previa de la escala de somnolencia consistente en una escala de tipo Likert, como se muestra en tabla 2.1.

Nivel	Descripción
1	Extremadamente Alerta
2	Muy Alerta
3	Alerta
4	Algo Alerta
5	Ni Alerta ni Somnoliento
6	Alguna señal de Somnoliento
7	Somnoliento, sin esfuerzo para mantenerse despierto
8	Somnoliento, poco esfuerzo para mantenerse despierto
9	Muy Somnoliento, alto esfuerzo para mantenerse despierto, lucha con el sueño

Tabla 2.1: Valores de escala KSS. (Fuente: Elaboración propia basado en [3])

El KSS se ha utilizado en estudios de trabajos por turnos, desfases horarios, en conducción, entre otros, tanto en hombres como mujeres. Un estudio de validación del KSS, encontró que existe una alta correlación con el EEG y las variables de comportamiento [40].

Las ventajas del KSS son la rapidez, facilidad de uso y su validez aceptada.

Otra medida para estimar la fatiga, tiene relación con la observación del comportamiento de las personas. Existen varios gestos asociados con el desarrollo de la fatiga [72]. Se definió la tabla 2.2 para los gestos observados durante la fase pre-experimental, para luego ser utilizado en las etiquetas de fatiga observada.

Acción	Puntaje	Descripción
Suspiro Leve	1	Exhalar aire por boca y/o nariz, leve
Suspiro	2	Exhalar aire por boca y/o nariz, normal
Suspiro Profundo	3	Exhalar aire por boca y/o nariz, prolongada
Respiración Profunda	3	Inhalación y exhalación por boca y/o nariz, prolongada
Bostezo	4	Acción involuntaria de inspirar aire lenta y prolongadamente, abriendo la boca, y luego expirarlo también prolongadamente y a veces con ruido
Estiramiento	4	Elongación de brazos, piernas, espalda y cuello
Pausa	4	Período corto de tiempo donde no se realiza actividad
Acomodo en silla	3	movimientos suaves en la silla que no cambian posición
Ajuste de Posición	4	Cambia la posición sentado o configuración del entorno
Movimientos bruscos	5	Movimientos más rápidos a los normales, que causan mayor impacto auditivo de los elementos utilizados en la tarea
Preguntar Cuánto Falta	5	Pregunta realizada para conocer la hora, tiempo transcurrido y/o tiempo remanente de la ejecución de la tarea

Tabla 2.2: Escala de gestos asignada a fatiga observada. (Fuente: Elaboración propia)

2.4. Medidas de rendimiento

Las medidas de rendimiento se enfocan en cuantificar la habilidad de la persona para concentrarse en la tarea que debe realizar. Esto se realiza mediante la identificación de comportamientos relacionados con la fatiga como tiempos de reacción, cantidad de errores y frecuencia de errores.

Los métodos de medida de rendimiento son usados frecuentemente para obtener información cuantitativa de la habilidad de un individuo para mantener la atención en el tiempo [69]. Esto se realiza aplicando pruebas de rendimiento continuo (CPT, *Continuous Performance Test*), las que miden la atención selectiva y sostenida de una persona. La atención sostenida es la capacidad de mantener el foco en un estímulo continuo, y la selectiva es la capacidad de mantener el foco en estímulos seleccionados e ignorar las distracciones. Dentro de esta categoría existen los N-Back, un tipo de CPT usado para medir la retención de información de corto plazo [41]. Este test puede ser adaptado para ser aplicado con seguridad durante la tarea de conducción, tanto en simuladores como en ruta [56]. Este funciona presentando una serie de elementos, por ejemplo, números o letras, y pidiendo al sujeto de prueba que repita el N-anterior al elemento actual, estos son considerados métodos indirectos de medición de fatiga.

Con motivo de este trabajo de tesis y futuras investigaciones, se desarrolló una aplicación para dispositivos móviles para sistema operativo Android, del test N-Back, la cual fue diseñada y construida por Ignacio Vargas, miembro del equipo del WesstLab. Esta aplicación, denominada N-Back Play, consiste en entregar auditivamente, una serie de números y graba las respuestas del participante. Como se aprecia en la figura 2.6, se puede configurar la cantidad de números de la serie, el tiempo entre números que emite la aplicación, la cantidad de tandas y el tiempo entre tandas, en caso que se establezca un intervalo de tiempo fijo y automático de ejecución de este test, durante la realización de la tarea. Esta herramienta permite establecer una tendencia en el déficit atencional que se produce durante el período de ejecución de una tarea.

Reproductor de N-back

WesST Lab
Web Science & Smart Technologies Lab

Archivo Actualizar

Parámetros del N-back

Práctica Línea base

Cantidad de números

Delay entre números (seg)

Cantidad de tandas Sin limite

Delay entre tandas (min)

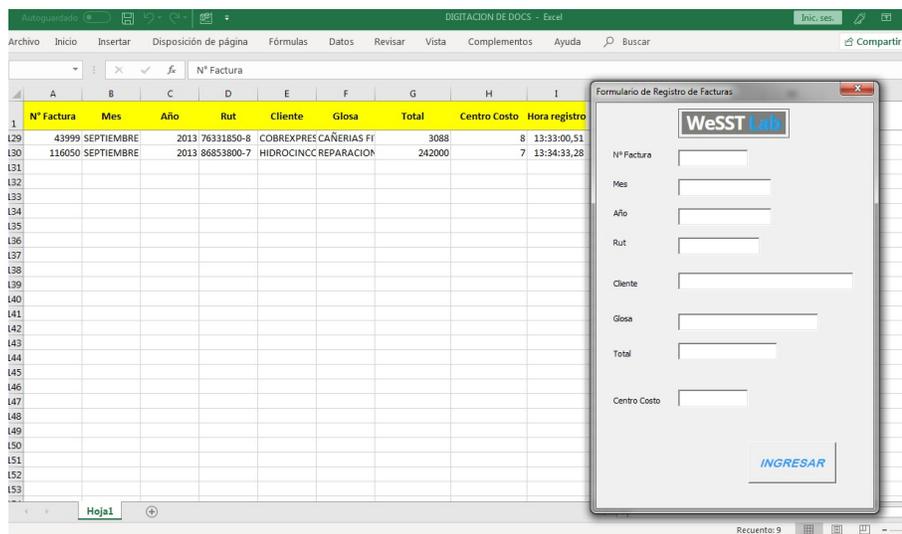
Tandas: Próxima:

Reproducir Pausar Finalizar

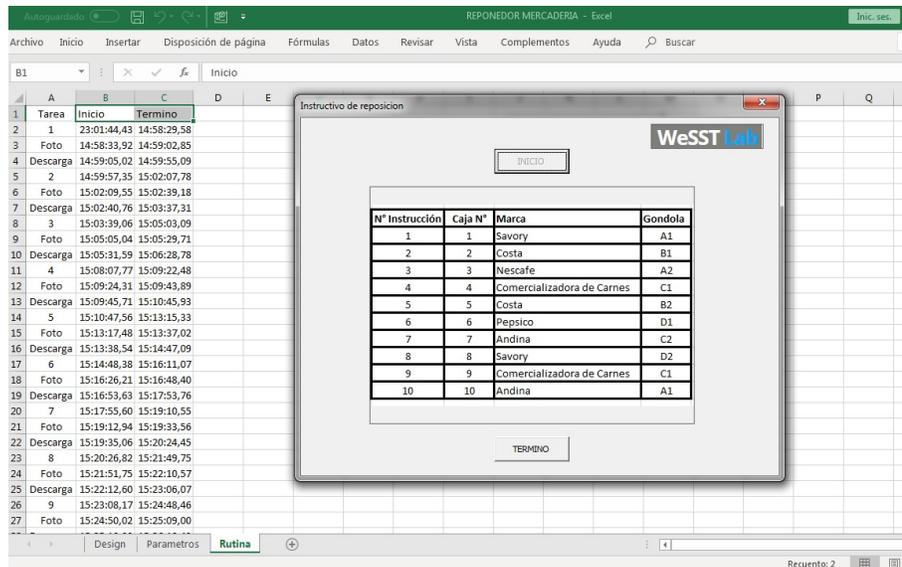
Figura 2.6: Interfaz de aplicación N-Back Play. (Fuente: Elaboración propia en base a captura de pantalla de teléfono móvil)

Continuando con la búsqueda de mediciones objetivas de rendimiento en las componentes de tiempos de reacción y errores, se desarrollaron también aplicaciones para monitorear durante el experimento la evolución de los tiempos de repetición, cantidad de errores y la frecuencia con que éstos se presentaban. La descripción de estos diseños se encuentra en la sección 4.3.1, ya que forma parte de la metodología del capítulo 3.

Se diseñan estas aplicaciones para capturar los datos relacionados directamente con el objetivo de la tarea. Es decir, al inicio del experimento, se indica qué hacer y cómo hacerlo, y estas plataformas registran los tiempos de ejecución, capturan los datos ingresados y entregan información e indicaciones para el desarrollo de la actividad solicitada. De esta forma, se busca obtener las ventanas temporales de realización de las tareas y poder calcular la cantidad y frecuencia de los errores que se comenten durante su ejecución. En figura 2.7 muestra como se ven en pantalla, las distintas plataformas creadas para este trabajo.



(a) Pantalla de aplicación para Digitación



(b) Pantalla de aplicación para Reposición

Figura 2.7: Aplicaciones desarrolladas para medir rendimiento. (Fuente: Elaboración propia)

2.5. Etapas diseño de producto

En esta sección se da cuenta de las principales características del proceso de diseño de un producto, desde la perspectiva del diseño industrial, para establecer el alcance de la etapa de validación del instrumento desarrollado por WestLab, como aporte al desarrollo de investigaciones utilizando medidas fisiológicas de manera cómoda y no invasiva para los usuarios, y que permita una captura de datos, equivalente a soluciones ya existentes en el mercado, de calidad similar y con un costo de producción más económico.

Un producto bien diseñado busca beneficiar tanto a quien lo produce como a sus usuarios, en este caso, el centro de investigación y participantes de experimentos. Entre las principales contribuciones del diseño, destacan la innovación radical o incremental en conceptos, productos y procesos, introducir mejoras funcionales, estéticas y productivas en productos ya existentes, mejorar la experiencia de uso, facilitar la producción y optimizar costos de fabricación [26].

El diseño es una herramienta estratégica para la mejora de la competitividad de las empresas e instituciones. Es frecuente entenderlo como una actividad estética, pero es una disciplina que integra el conocimiento sobre lo que quieren los clientes y lo que puede producirse eficientemente.

El objetivo del proceso de diseño es materializar un producto. Todo proyecto de diseño debiera cumplir las 7 fases señaladas en la figura 2.8.



Figura 2.8: Etapas de Diseño Industrial. (Fuente: Instituto Nacional de Tecnología Industrial [26])

Este modelo de proceso de diseño esquematiza el recorrido que puede transitar una organización para diseñar un producto. Cada fase establece objetivos específicos, conjugando libertad creativa, implementación y control, para disminuir improvisaciones y disminuir márgenes de error. Estas etapas no significan que el proceso sea estrictamente secuencial, ya que

algunas fases pueden darse de manera simultánea e integrada [26]. En este punto cabe indicar, que es de gran utilidad complementar las fases del diseño con metodologías de modelo y plan de negocios, y generar las iteraciones necesarias para cumplir con los objetivos propuestos, en el contexto innovador y emprendedor requiere técnicas dinámicas y simples que respondan rápidamente a los cambios del entorno y presenten una visión organizada de la información con la que se cuenta [33], como lo es la metodología Canvas [61].

Dada la coyuntura de este trabajo de tesis, y la existencia previa de desarrollo del producto y prototipo operativo, la etapa de experimentación se basará en la fase 4, correspondiente a la verificación y testeo, dejando las etapas posteriores de producción y mercadeo fuera del alcance y como parte de trabajos futuros.

La fase 4, verificación y testeo, establece que se debe verificar el cumplimiento de las características conceptuales del producto. Verificar entre otros aspectos, la seguridad, la calidad, confiabilidad y manutención. Para comprobar el cumplimiento de las especificaciones establecidas en las fases anteriores facilitando su paso a producción.

En esta fase, también se verifican tanto características técnicas como compatibilidades dimensionales, de ensamblado y montaje pensando en su producción. Se trata de un proceso iterativo en el cual la solución técnica se convertirá progresivamente en una solución factible de ser producida. Validar la propuesta en condiciones de uso realistas, ajustar una solución fabricable. Los objetivos son, corroborar si la estrategia y definiciones han sido traspasadas al producto, realizar verificación previo a la fase de producción para rediseñar, en caso de ser necesario, y facilitar el paso del diseño a la producción, para convertir la solución técnica en una solución que se pueda fabricar.

Estos objetivos deben conducir a realizar pruebas con usuarios y de laboratorio, para comprobar cumplimiento con la especificaciones, realizar ensayos para validar las decisiones y definiciones tomadas en relación al producto y a los usuarios. Los resultados esperados son actividades de verificación del diseño en condiciones de uso lo más realista posible y una propuesta ajustada para la fabricación [26].

2.6. Técnicas de análisis estadísticos

En esta sección se listan y describen brevemente las técnicas estadísticas utilizadas para analizar los datos obtenidos de las sesiones experimentales. Éstas buscan establecer principalmente las correlaciones y validar las agrupaciones de datos correspondientes a la etapa de minería de datos.

- **Boruta** [44] Para seleccionar las características se utilizó el algoritmo Boruta. Este es un algoritmo que encuentra todas las variables relevantes, basado en un algoritmo de clasificación tipo Random Forest. Se seleccionó este algoritmo debido a que puede detectar posibles interacciones entre variables y no necesita que todas las features sean del tipo numérico con el fin de obtener correlaciones. El algoritmo entrega una medida de la importancia de cada característica, la cual indica la pérdida de la exactitud en la

clasificación del Random Forest causada por la permutación aleatoria de cada feature.

- **Calinski-Harabasz** [15] El índice de Calinski-Harabasz busca definir una cantidad óptima de grupos que maximice la relación de la varianza entre-cluster y la variación total intra-cluster.
- **Test de Lavene** [47] Esta herramienta es utilizada para determinar si las varianzas de dos o más grupos son iguales o no, a un cierto nivel de significación. Algunos análisis asumen que las varianzas de las poblaciones en estudio son iguales, que corresponde a supuesto de homocedasticidad. El test de Levene es útil entonces para evaluar esta hipótesis y, en caso de no cumplirse, utilizar otro tipo de test libres de este supuesto. Si el p-valor del test de Levene es menor que un nivel de significación, se rechaza la hipótesis nula de homocedasticidad y se concluye que existe una diferencia significativa entre las varianzas de los grupos en la población.
- **Kruskal-Wallis** [43] En aquellos casos en que no fue posible validar los supuestos requeridos, se recurrió al uso de pruebas no paramétricas. En este caso se prefirió el uso de la prueba de Kruskal-Wallis, que establece como hipótesis nula la igualdad en la variable de respuesta entre grupos, haciendo uso de un estadístico distribuido chi-cuadrado.
- **Spearman** [78] El coeficiente de correlación, mide el grado de relación o asociación existente generalmente entre dos variables aleatorias. No es conveniente identificar correlación con dependencia causal, ya que, si hay una semejanza formal entre ambos conceptos, no puede deducirse de esto que sean análogos; en efecto es posible que haya una alta correlación entre dos acontecimientos y que sin embargo, no exista entre ellos relación de causa o efecto; por ejemplo cuando dos acontecimientos tienen alguna causa común, pueden resultar altamente asociados y no son el uno causa del otro. Coeficiente de correlación de Spearman es un coeficiente no paramétrico alternativo al coeficiente de correlación de Pearson cuando este no cumple los supuestos. Al ser Spearman una técnica no paramétrica es libre de distribución probabilística. Los supuestos son menos estrictos. Es robusto a la presencia de outliers (es decir permite ciertos desvíos del patrón normal). La manifestación de una relación causa-efecto es posible sólo a través de la comprensión de la relación natural que existe entre las variable y no debe manifestarse sólo por la existencia de una fuerte correlación. [68]
- **Alpha de Cronbach** [21] Para evaluar la confiabilidad de las respuestas en la utilización de escalas de cuestionarios de autoreporte, se calcula el este coeficiente que toma valores entre 0 y 1. Cuanto más se aproxime a 1, mayor será la fiabilidad del instrumento, donde una buena consistencia interna se presenta con valores de alfa superiores a 0,7. La aplicación del alfa de Cronbach, es una forma sencilla y confiable para la validación del constructo de una escala y como una medida que cuantifica la correlación existente entre los ítems que la componen. Se espera que la varianza de error debe ser constante en los grupos estudiados

2.7. Algoritmos de minería de datos

Para el análisis exploratorio de datos se utilizará el proceso Knowledge Discovery in Databases (KDD), metodología que procesa, transforma, analiza y aplica minería de datos en los resultados obtenidos.

El descubrimiento de conocimiento es un proceso iterativo e interactivo. El proceso es iterativo en cada paso, es decir, puede requerir volver a ajustar pasos anteriores. El proceso tiene aspectos de interpretación y habilidad, ya que no se puede presentar una fórmula o confeccionar una taxonomía completa para decidir inmediatamente opciones correctas para cada paso y tipo de aplicación. Por lo tanto, es necesario entender el proceso, las diferentes necesidades y posibilidades en cada paso.

El Proceso KDD está compuesto por nueve pasos desde plantear los objetivos hasta aplicar el conocimiento descubierto [52]. La figura 2.9 muestra los pasos y a continuación, se describen brevemente:

1) Comprensión del problema y planteamiento de objetivos: Se desarrolla un entendimiento del problema y se establecen los objetivos considerando que lo que se decida en esta fase tiene repercusiones en los siguientes pasos, y podría implicar revisiones a este paso en la medida del avance del proceso.

2) Selección: Se estudia el tipo de datos disponibles y su calidad. Es necesaria una evaluación sobre la factibilidad de explicar el problema planteado con los datos disponibles. Si se da el caso en que los datos no logran esta condición, se estudia la posibilidad de recolectar más datos, para luego integrarlos en un sólo conjunto de datos. Los datos que se seleccionen en esta fase representarán la materia prima del modelo a desarrollar por lo que su calidad es imprescindible. Una vez seleccionados es momento para organizarlos y planear las configuraciones óptimas que puedan facilitar el proceso y/o mejorar los resultados. Organizar y operar repositorios complejos de datos puede resultar en un alto costo, dando origen a un intercambio entre costo y oportunidad para entender mejor el fenómeno de estudio. Evaluar este costo y oportunidad, es parte del aspecto iterativo e interactivo del KDD, donde comienza con el mejor conjunto de datos disponible y luego se expande y observan los efectos en términos del descubrimiento de conocimiento y desarrollo de modelo.

3) Preprocesamiento y limpieza: Se trabaja con los datos disponibles para solucionar ciertos problemas que existen en toda base de datos, para mejorar la confiabilidad en los datos. Problemas típicos son: Tratamiento de valores perdidos, datos fuera de rango, eliminación del ruido, entre otras. Hay casos más complejos en que deben utilizar algoritmos de minería de datos, aplicar ciertas funciones para eliminar interferencias o aplicar algún método estadístico.

4) Transformación: En esta etapa se intenta agregar valor a los datos al transformarlos en medidas acordes al problema de estudio para que se puedan ajustar mejor al análisis, tales como selección y extracción de características. Este paso es específico a cada proyecto dependiendo del fenómeno de estudio.

5) Selección de la tarea de minería de datos: Se selecciona el tipo de minería de datos con el que se trabajará, Esto tiene relación directa con el planteamiento de objetivos del punto uno, dentro de los que se destacan clasificación, regresión o clusterización. Existen dos objetivos generales en la minería de datos: predicción y descripción. Para esto se debe saber que los algoritmos de predicción son parte de los métodos supervisados en donde se entrega data real y entrenan modelos con el fin de que se construya el conocimiento necesario para que se puedan predecir casos futuros. En el caso de la descripción se tienen como objetivos clasificar los datos, encontrar relaciones y visualizar parámetros.

6) Selección de algoritmo de minería de datos: Se consideran los beneficios e inconvenientes de los distintos algoritmos y como se relaciona con el problema objetivo. Se deben tomar en cuenta los parámetros, el nivel de detalle, de respuesta, entre otros. Este paso busca entender las condiciones bajo las cuales un algoritmo de minería de datos es más apropiado.

7) Implementación: Se aplica el o los algoritmos de minería de datos. En esta fase es recomendable correr los algoritmos reiteradas veces ajustando los parámetros de control adecuados para los datos que se disponen, para no llegar a conclusiones apresuradas con respecto a los resultados.

8) Evaluación e interpretación: Se analizan los resultados obtenidos en relación con los objetivos planeados. Según los resultados obtenidos es posible que se tenga que evaluar nuevamente los algoritmos y tratamientos de datos realizados. Este paso se enfoca en la comprensión y usabilidad del modelo, también comienza la documentación del conocimiento descubierto para posterior uso.

9) Conocimiento descubierto: Activar el conocimiento utilizándolo en otros sistemas con el fin de medir los efectos que se pueden generar.

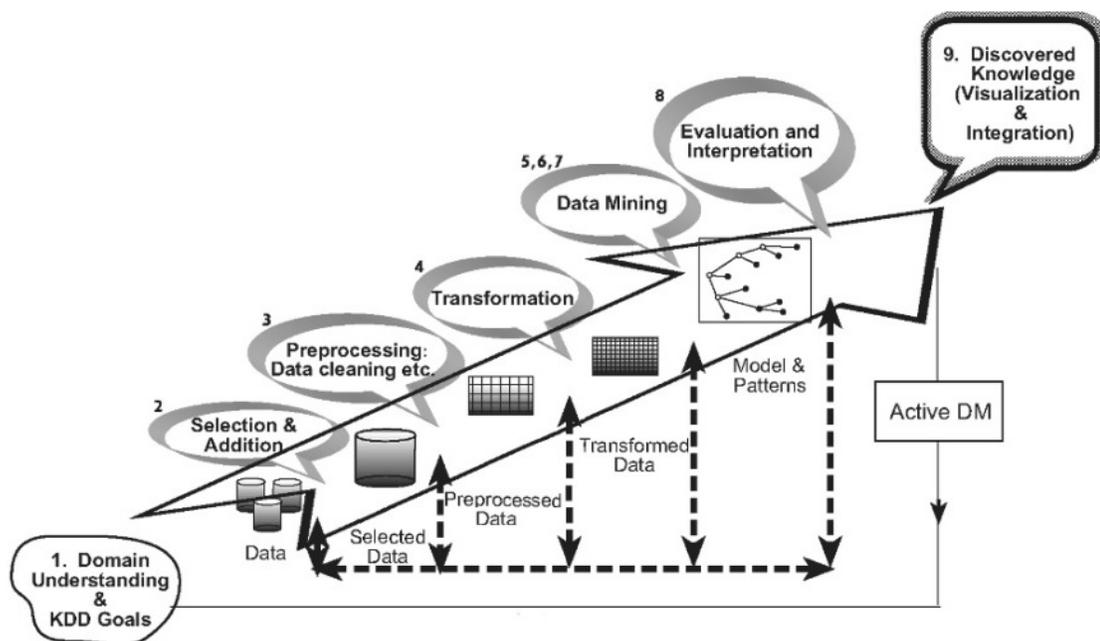


Figura 2.9: Pasos del KDD. (Fuente: Data Mining and Knowledge Discovery Handbook [52])

De forma general, se pueden dividir las técnicas de minería de datos según su objetivo. Existen los algoritmos que buscan verificar una hipótesis y otros que intentan descubrir algún patrón o información adicional de los datos. Las técnicas de descubrimiento son las que intenta crear algún modelo de comportamiento a partir de datos y modelos entrenados. Éstas se dividen en 2 categorías, las cuales son las técnicas de descripción y las de predicción, como se muestra en la figura 2.10. Las técnicas de descripción intentan explicar e interpretar datos al encontrar relaciones entre los distintos datos. En cambio, los métodos de predicción buscan crear algún modelo capaz de tomar datos de entrenamiento y predecir el comportamiento de otros datos. Los modelos predictivos a su vez también se dividen en 2 categorías, los cuales son los algoritmos de clasificación y los de regresión. Los algoritmos de clasificación buscan predecir si un registro se puede clasificar en un grupo particular, mientras que los algoritmos de regresión intentan generar un pronóstico al encontrar la ponderación de distintas variables dentro de un modelo.

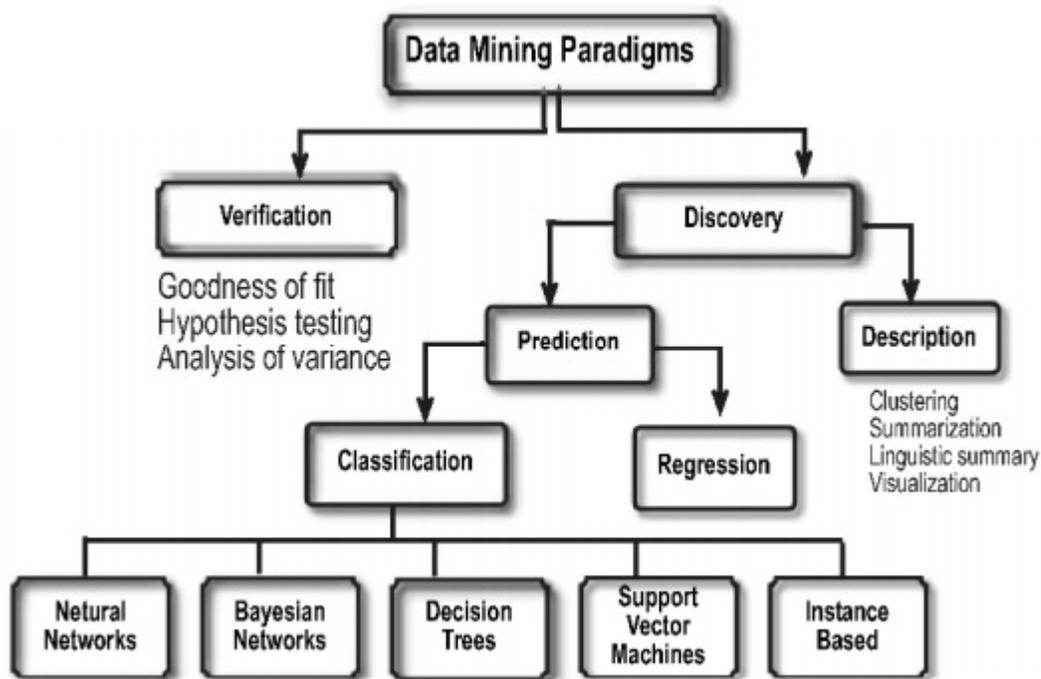


Figura 2.10: Esquema de métodos de minería de datos. (Fuente: Data Mining and Knowledge Discovery Handbook [52])

Con motivo de las hipótesis de este trabajo de tesis, las técnicas de minería de datos corresponderán a la categoría de Clasificación y Descripción.

Entre las técnicas utilizadas de clasificación y descripción podemos destacar:

- **Support Vector Machine** La máquina de vector de soporte (SVM, *Support Vector Machine*) fue propuesta inicialmente por Boser, en 1992 [13] y se estableció rápidamente como un poderoso algoritmo para resolver problemas de clasificación dentro del contexto conocido como aprendizaje supervisado. La utilización de esta técnica ha permitido un amplio uso para clasificar estados de tristeza, enojo, miedo, alegría, estrés y niveles de fatiga humana [57].

- **MLP** Por sus siglas en inglés, *multilayer perceptron*. Un perceptrón multicapa es una red neuronal que conecta varias capas en un gráfico dirigido, lo que significa que la ruta de la señal a través de los nodos solo va en una dirección. Cada nodo, aparte de los nodos de entrada, tiene una función de activación no lineal. Un MLP utiliza la propagación hacia atrás como una técnica de aprendizaje supervisado. Dado que existen múltiples capas de neuronas, la MLP es una técnica de aprendizaje profundo. MLP se usa ampliamente para resolver problemas que requieren aprendizaje supervisado, así como también investigación en neurociencia computacional y procesamiento distribuido en paralelo. Las aplicaciones incluyen reconocimiento de voz, reconocimiento de imagen y traducción automática.
- **GMM** *Gaussian Mixture Model*, es un modelo probabilístico para representar subpoblaciones normalmente distribuidas dentro de una población general. Los modelos de mezcla en general no requieren saber a qué subpoblación pertenece un punto de datos, lo que permite al modelo aprender las subpoblaciones automáticamente. Dado que no se conoce la asignación de subpoblaciones, esto constituye una forma de aprendizaje no supervisado.
- **Random Forest** Consiste en un gran número de árboles de decisión individuales que operan como un conjunto. Cada árbol individual en el bosque aleatorio entrega una predicción de clase y la clase con la mayor cantidad de votos se convierte en la predicción del modelo. El concepto fundamental detrás de un bosque aleatorio es simple pero poderoso: la sabiduría de las multitudes. En el lenguaje de datos, la razón por la que el modelo funciona bien es que una gran cantidad de modelos (árboles) relativamente no correlacionados que operan como comité superará a cualquiera de los modelos constituyentes individuales. La baja correlación entre modelos es la clave, los modelos no correlacionados pueden producir predicciones de conjunto que son más precisas que cualquiera de las predicciones individuales. La razón de este efecto es que los árboles se protegen entre sí de sus errores individuales, siempre y cuando no todos se equivoquen constantemente en la misma dirección. Si bien algunos árboles pueden estar equivocados, muchos otros árboles estarán en lo correcto, por lo que, como grupo, los árboles pueden moverse en la dirección correcta.
- **Clusterización vía BIC** El análisis de clusters o clusterización básicamente consiste en encontrar grupos de elementos de tal forma que los elementos de un grupo sean similares, o que estén relacionados, entre sí y sean diferentes, o no estén relacionados, con los elementos de otros grupos. El problema de identificar un modelo es elegir uno entre un conjunto de modelos candidatos para describir un conjunto de datos dado. Frecuentemente se tienen candidatos de una serie de modelos con diferentes números de parámetros. Cuando el número de los parámetros en el modelo se incrementa, la probabilidad de los datos de entrenamiento también se incrementan; sin embargo, cuando el número de parámetros es demasiado grande, esto podría causar el problema de sobreentrenamiento. En la literatura estadística, se encuentran varios criterios para la selección del modelo, desde métodos no paramétricos como la validación cruzada, hasta los métodos paramétricos como el BIC, por siglas en inglés *Bayesian Information Criterion* [74]. En el modelamiento estadístico, se enfrenta al problema de elegir un modelo adecuado entre una colección de candidatos viables. Dicha determinación puede facilitarse mediante el uso de un criterio de selección, que asigna una puntuación a cada modelo en un conjunto de candidatos basado en algún principio estadístico sub-

yacente. El criterio BIC, sirve como una aproximación asintótica a una transformación de la probabilidad posterior bayesiana de un modelo candidato. En ajustes de muestra grandes, el modelo preferido por BIC corresponde idealmente al modelo candidato que es a posteriori más probable; es decir, el modelo que se hace más plausible por los datos disponibles. El cálculo de BIC se basa en la probabilidad de registro empírica y no requiere la especificación de anteriores. Por lo tanto, BIC tiene un gran atractivo en muchos problemas de modelado bayesiano donde los antecedentes son difíciles de establecer con precisión.

2.8. Estado del arte

A continuación se presentan los estudios realizados con experimentos que sirvieron de referencia para establecer las condiciones metodológicas, protocolo experimental, utilización de señales, resultados esperados y aporte al estado del arte en esta materia:

- Lin, 2014. [49]

Objetivo	Identificación de nivel de vigilancia en conducción
Señales	EEG y tiempos de reacción
Experimento	Conducción en simulador, utilizando dispositivo inalámbrico de tipo <i>wearable</i> . 15 participantes, durante 90 minutos son requeridos para conducir un vehículo que debe mantener su pista
Resultados	Predicción de estado de vigilancia en tiempo real

- Ba, 2017. [9]

Objetivo	Predicción de choque de vehículos
Señales	HR, SCR, movimientos de volante, utilización de pedales y datos demográficos
Experimento	Conducción en simulador para identificar estrés. 130 sujetos utilizan un simulador siguiendo instrucciones para llegar a destino.
Resultados	Método de predicción de choque basado en modelo de aprendizaje con características de comportamiento y fisiológicas.

- Denollet, 2006. [29]

Objetivo	Identificar estrés y fatiga
Señales	Cuestionario utilizando escala autoreportada
Experimento	876 personas fueron encuestadas durante 2 años, sobre su personalidad y fatiga en el trabajo
Resultados	Validación de una escala como medida de estados de ánimo, incluyendo estrés y fatiga

- Fu, 2016. [35]

Objetivo	Estimar fatiga como un modelo de detección dinámico, usando información contextual y fisiológica
Señales	EEG, EMG, respiración, calidad de sueño, ritmo circadiano
Experimento	12 conductores profesionales, realizan una ruta durante 3,5 horas, de las cuales 2,5 son conducción monótona en autopista
Resultados	Modelo que infiere la probabilidades de fatiga del conductor

- Li, 2015. [48]

Objetivo	Detección de somnolencia en conductores utilizando un <i>smartwatch</i>
Señales	EEG, EOG, movimientos de volante
Experimento	Conducción monótona en simulador durante una hora después de almuerzo. 15 sujetos para entrenamiento de modelo y 5 para testeo
Resultados	Sistema de detección de somnolencia en tiempo real

- Shiwu, 2011. [76]

Objetivo	Detección de fatiga en ruta
Señales	EEG, ECG, HR, cuestionario
Experimento	15 sujetos conducen en ruta real en condiciones de tráfico y autopista, cada 15 minutos deben indicar su nivel de fatiga
Resultados	Clasificación de fatiga en 4 niveles

- Morales, 2017. [59]

Objetivo	Monitoreo de fatiga en conducción
Señales	EEG, EOG, límites de velocidad y cuestionario de escala de fatiga
Experimento	15 personas conducen en simulador durante 2 horas
Resultados	Un dispositivo de un canal de EEG es capaz de detectar niveles de fatiga en línea

- De Naurois, 2017. [24]

Objetivo	Detección y predicción de fatiga en conductores
Señales	HRV, EOG, respiración, velocidad vehículo, ángulos del volante, posición en pista y cuestionario
Experimento	21 personas conducen en un simulador durante 110 minutos, en condiciones para inducir somnolencia
Resultados	Se puede predecir el empeoramiento de la conducción en ambientes monótonos

- Solovey, 2014. [77]

Objetivo	Clasificar carga cognitiva del conductor
Señales	ECG, SCR, HR, ángulo de volante, velocidad del vehículo y N-back
Experimento	20 participantes conducen en ruta y se someten a prueba secundaria N-back. 99 sujetos manejan para un análisis entre individuos.
Resultados	Desarrollo de un clasificador automático de carga cognitiva, y la relación entre tamaño de ventana de observación y precisión de clasificación

- Useche, 2017. [85]

Objetivo	Establecer relación entre estrés, fatiga y conducción riesgosa
Señales	Cuestionario
Experimento	524 conductores de buses contestaron una encuesta
Resultados	Se pudo establecer que el comportamiento de conducción riesgosa se puede predecir a través del esfuerzo del trabajo, el desbalance de recompensa y esfuerzo y del apoyo social en el trabajo. Y que la fatiga es un mecanismo que se encadena a un tipo de estrés debido a las condiciones de trabajo

- Zhang, 2014. [90]

Objetivo	Determinar efectos del ciclo circadiano y tiempo en la tarea en el nivel de fatiga y desempeño
Señales	Movimiento de volante, posición en pista y cuestionario de autoreporte KSS
Experimento	15 participantes conducen 600 kms en una carretera y deben autoreportar su nivel de fatiga
Resultados	Explicación de la degradación del rendimiento de la conducción a causa del ciclo circadiano. La fatiga promedio de la segunda parte del día es superior a la mañana.

- Awais, 2017. [8]

Objetivo	Detectar somnolencia
Señales	EEG, ECG, HR, HRV y cuestionario de autoreporte KSS
Experimento	22 sujetos utilizan un simulador para conducir en monotonía durante 80 minutos y mantener velocidad máxima de 80 km/h
Resultados	Mejora de clasificación combinando las características obtenidas por ECG y EEG, en comparación a realizarla por cada señal

- Dimitrakopoulos, 2018. [31]

Objetivo	Análisis de fatiga mental
Señales	EEG, N-Back y rotación mental de figuras
Experimento	20 sujetos en un grupo de fatiga y otros 20 en grupo de control. EL grupo de fatiga conduce en simulador durante 1 hora y luego 30 minutos de tarea de vigilancia psicomotora, antes y después se someten a tareas cognitivas de N-Back y Rotación Mental. El grupo de control realiza las tareas cognitivas antes y después de una hora de descanso sin dormir
Resultados	Aumento de tiempos de reacción y reducción de precisión, como resultado efectivo de la inducción de fatiga mental de las tareas

- Patel, 2011. [63]

Objetivo	Detectar fatiga utilizando HRV
Señales	ECG, HRV
Experimento	12 individuos realizan conducción monótona en simulador
Resultados	Análisis espectral del HRV entrega una relación directa entre fatiga y HRV, y se establece que el ratio LF/HF puede servir como indicador de fatiga

- Maman, 2017. [54]

Objetivo	Estimar el nivel de fatiga física en tareas de manufactura simulada
Señales	HR y movimientos corporales
Experimento	8 personas fueron reclutadas por 3,5 meses, para realizar tareas de ensamblaje y movimientos de materiales
Resultados	Modelo de predicción de fatiga física, determinando las mejores ubicaciones para los sensores de movimientos instalados en las personas

- Chang, 2009.[16]

Objetivo	Investigar si la fatiga laboral y los síntomas fisiológicos se ven afectados por el tipo de ocupación en el rubro de construcción
Señales	HR, pruebas de fuerza y cuestionarios
Experimento	302 trabajadores de la construcción participaron respondiendo cuestionarios con información demográfica y fatiga subjetiva
Resultados	Los esfuerzos fisiológicos y síntomas de fatiga varían según la ocupación y la baja de desempeño físico está relacionada con peligros de factores humanos.

- Poh, 2010.[67]

Objetivo	Validación sensor EDA en muñeca de brazo
Señales	EDA
Experimento	26 personas desarrollaron pruebas cognitiva, emocional y física
Resultados	EDA se incrementa ante tareas estresantes, y las mediciones presentan alta correlación con respecto a instrumento patrón. Además se establece la muñeca del brazo como un lugar de registro viable de la señal EDA.

La utilización del enfoque psicofisiológico para la medición de estrés presenta ventajas con respecto a otros enfoques al lograr mediciones poco invasivas, con buen nivel de precisión, cuantificable y en tiempo real. Las señales con mejores propiedades para identificar niveles de estrés son el ritmo cardíaco y la actividad electrodérmica. Adicionalmente a las mediciones psicofisiológicas se agregan métricas auto informadas y de rendimiento durante la etapa de ejecución. Estas métricas buscan complementar las mediciones psicofisiológicas para identificar la fatiga, debido a que está definida como un fenómeno de múltiples causas. Otras señales como la actividad cerebral y dilatación pupilar son descriptores significativos de fatiga pero no recomendables para el estudio actual dado su alto costo de implementación e invasividad para el usuario. La electromiografía muestra ser una herramienta especialmente relevante en la detección de la fatiga física, a pesar de la invasividad de su uso, pero también ha sido excluida de este trabajo por la misma razón.

Los protocolos experimentales utilizados presentan 3 etapas en la medición de señales psicofisiológicas: medición de línea base inicial, durante la ejecución de la tarea y línea base final. Adicionalmente se miden las variables de contexto del ambiente y de los participantes. En cuanto a la muestra experimental en experimentos son indistintos en género, ocupaciones y edad, a contar de la mayoría de edad. El tamaño muestral varía desde los 12 sujetos, para experimentos que analizan fatiga, considerando señales psicofisiológicas y/o cuestionarios de fatiga.

Los experimentos que miden señales psicofisiológicas suelen usar sensores invasivos, la posibilidad de contar con un *wearable* se presenta como una gran oportunidad para registrar en tiempo real, con comodidad y seguridad durante la ejecución de la tarea. El análisis de las señales se realiza principalmente con técnicas aprendizaje de máquinas. En especial para el caso a estudiar en este proyecto los modelos de clasificación muestran buenos resultados para tareas de detección de estrés y fatiga.

Las medidas cuantitativas se basan en el uso de biosensores para registrar señales psicofisiológicas, tales como la frecuencia cardíaca, la conductividad eléctrica de la piel, la dilatación pupilar, el nivel de oxígeno en la sangre, entre otras. Por medio del procesamiento analítico de estas señales es posible estimar el efecto psicofisiológico de la demanda física y mental que genera una tarea sobre una persona de una forma poco invasiva y de bajo costo. Usando estas señales y el nivel de fatiga autoinformado de los sujetos de prueba, es posible utilizar métodos cuantitativos para clasificar estos niveles de fatiga de manera automática y en tiempo real. Este enfoque permite también el uso de métodos estadísticos para estimar el nivel de fatiga que tendrá un trabajador durante su jornada laboral.

Existen métodos de identificación de fatiga tanto cualitativos como cuantitativos, y con fuentes de datos provenientes de distintas dimensiones, dada su composición multifactorial. En esta tesis la definición de estrés se relaciona directamente a la fatiga, a través de la consideración de las métricas de rendimiento, asociadas a tiempos de ejecución, cantidad y frecuencia de errores, además de la componente subjetiva de autoreporte de la persona y observación del lenguaje corporal.

De esta manera se establece que la fatiga, se configura en un estado físico y mental, que influye en mayores tiempos de realización de la misma tarea y se comentan errores de manera más frecuente. En la misma línea, las personas sienten algún tipo de agotamiento físico y/o mental que lo manifiestan como una percepción y a su vez inconscientemente el lenguaje corporal, deja en evidencia un estado de fatiga, mediante la observación de gestos asociados a esta condición.

De forma paralela, realizar la validación de Biomonitor, es parte de una tendencia de la tecnología de sensores ópticos incluidos en relojes y bandas de monitoreo. Se estima que para 2019 se comercializarán 215 millones de unidades, lo que devengará un 28% de crecimiento anual, durante los últimos 5 años, cada *wearable* tendrá 4 diferentes sensores y el 90% de los relojes inteligentes (*smartwatches*) tendrá un sensor óptico incorporado [14]. Una encuesta realizada por Sensor Industry Group, indicó que 74% de las personas considerarían comprar un nuevo *wearable* si la precisión los ayudara a mejorar el cuidado de la salud. A su vez, el estudio de la actividad eléctrica de la piel es uno de los principales índices psicofisiológicos relacionada con la emoción, el arousal y la atención. Su medición es bastante sensible y sus variaciones son relacionadas con cambios en el estado cognitivo o emocional del individuo. También se ha utilizado como indicador de estados de estrés [58]. El dispositivo Biomonitor, cuenta con un sensor óptico, uno de actividad electrodérmica, temperatura y acelerómetro/giroscopio, por ende, cumple con las tendencias de mercado y da pie para suponer una oportunidad comercial de producto-servicio o transferencia tecnológica, como trabajo futuro de evaluación.

La señal de fotopletismografía (PPG) es un paso clave en el desarrollo de dispositivos

portátiles que pueden monitorear el ritmo cardíaco de forma no invasiva y en tiempo real, en la gama de dispositivos médicos destacan los oxímetros de pulso, donde la periodicidad de la señal de PPG corresponde al ritmo cardíaco [64].

El aporte de este trabajo de tesis a la descripción entregada del estado del arte, corresponde a la validación de una metodología creada para identificar fatiga en el trabajo, para lo cual el diseño experimental corresponde a una implementación de un protocolo de trabajo repetible y aplicable a todo tipo de actividades y rubros. Esta implementación hace un particular énfasis en incorporar factores de rendimiento y productividad, para determinar un estado de fatiga, en las tareas que sean materia de estudio. A su vez, se validará un dispositivo de sensado de señales fisiológicas, que será de gran utilidad en la aplicación de esta metodología y futuros experimentos, ya que su diseño se basa en ser no invasivo y presenta una oportunidad de oferta al mercado de servicios y productos de investigación.

Capítulo 3

Metodología para identificar fatiga [84]

En este capítulo se presenta la metodología desarrollada para la identificación de fatiga en tareas laborales. La fatiga se identifica por medio del análisis de señales psicofisiológicas, contextuales y rendimientos en la tarea.

Esta metodología ha sido diseñada para ser aplicable y repetible a cualquier industria, que involucre la participación de personas directa o indirectamente sobre los procesos de operación de empresas e instituciones.

La figura 3.1 muestra la vista general de la metodología definida. Se distinguen once pasos dentro de cuatro etapas donde se establece (1) definir la tarea, mediante una correcta identificación y caracterización, (2) definir el experimento, desarrollando un protocolo y ejecución de la actividad real a medir, (3) preparar los datos capturados en el experimento, utilizando métodos de limpieza y procesamiento de los mismos, junto con definir un etiquetado de fatiga, y finalmente (4) analizar la tarea, por individuo y muestra agregada de participantes, para obtener los resultados y conclusiones de tarea en estudio. A continuación se describe cada uno de los pasos de estas etapas.

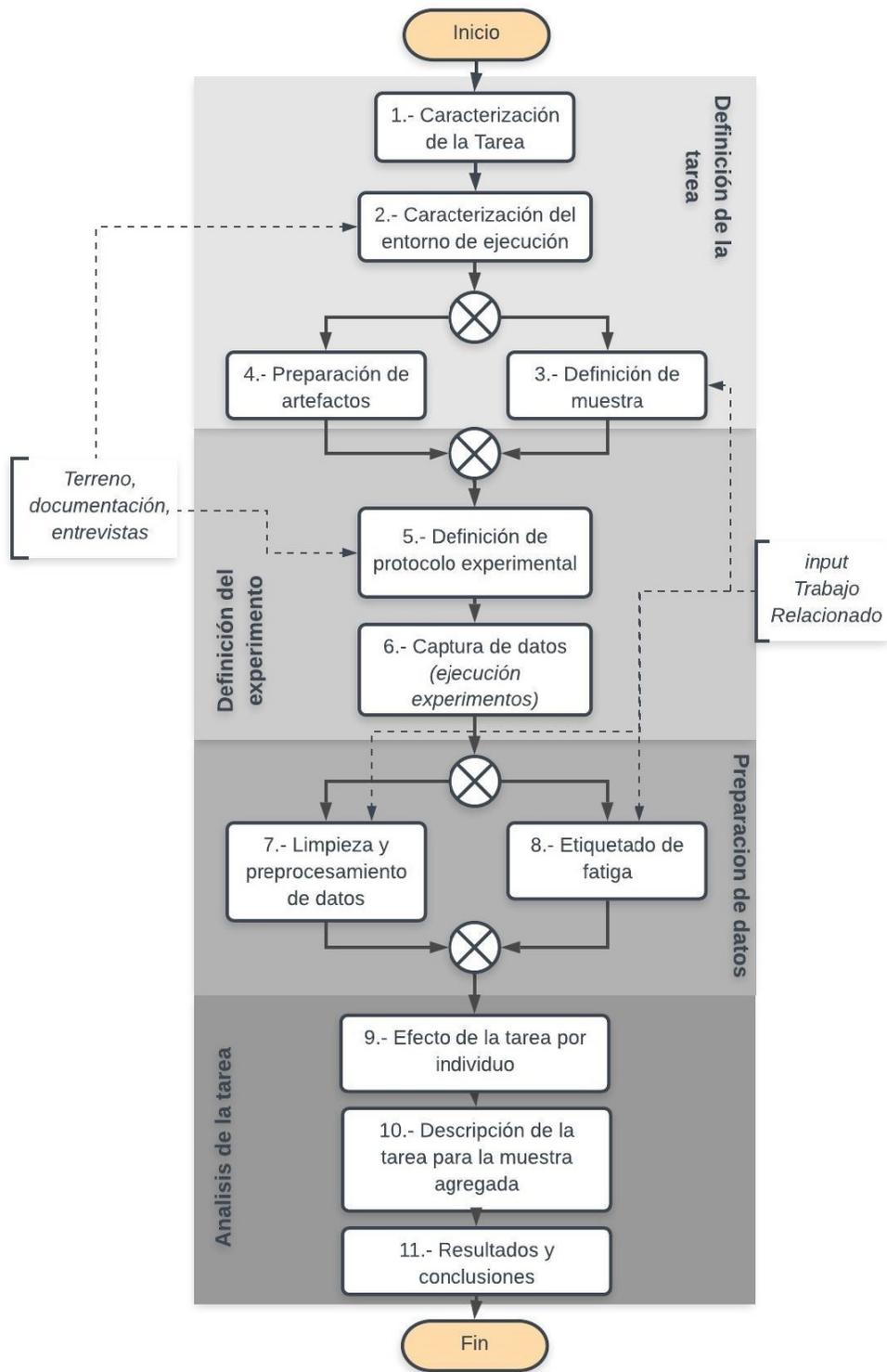


Figura 3.1: Metodología para identificar fatiga en tareas laborales. (Fuente: Informe WestLab a IST [84])

3.1. Caracterización de la tarea

La caracterización de la tarea es fundamental para el diseño experimental y realizar la captura de datos de la manera más realista posible. Es importante la descripción de la tarea para identificar la ejecución de actividades asociadas y el resultado de dichas actividades, para definir el enfoque de medición de fatiga; para esto se recomienda realizar visitas técnicas al lugar del trabajo, y complementar el levantamiento de terreno con entrevistas a los trabajadores, jefaturas y/o prevencionistas de riesgo. A continuación, se presentan los puntos mínimos a incluir para la descripción de la actividad: monotonía, repetitividad, continuidad y métricas de rendimiento.

- **Monotonía**

Se describe la tarea en función de las actividades a realizar que sean relevantes o indiquen claramente hitos, a realizar durante la actividad. Las actividades pueden ser monótonas o no monótonas, mientras una actividad monótona presenta actividades pequeñas con sólo un hito en su ejecución, una actividad no monótona presenta distintos grupos de actividades que buscan cumplir con un número de hitos necesarios para completar una tarea.

- **Repetitividad**

En este punto resulta relevante describir si la tarea sigue un patrón recurrente en su ejecución o no.

- **Continuidad en la ejecución de la tarea**

La continuidad de la ejecución hace referencia a la existencia de pausas durante la tarea, debido a una demanda variable por la realización de actividades.

- **Medición de Rendimiento**

Basado en la descripción de la tarea se deben definir las métricas de rendimiento que mejor se ajusten a la tarea en estudio. Éstas deben ser consideradas de acuerdo a eficiencia, eficacia y productividad. El análisis de estas métricas permiten la evaluación de la disminución del desempeño de la ejecución, lo que se traduce en la métrica que se utilizará de etiqueta para la identificación de fatiga, en el análisis de datos.

3.2. Caracterización del entorno de ejecución de la tarea

Entender el medioambiente donde se desarrolla la actividad laboral, es tan importante como la misma tarea. El entorno de ejecución de la tarea define una serie de restricciones tanto para su realización como para la medición de factores externos que afecten a la persona durante su labor. En general, se definen dos ámbitos del entorno de ejecución: directo e indirecto. El entorno directo corresponde al entorno más próximo al trabajador, en el que se encuentran sus herramientas de trabajo y corresponde al área o recinto donde realiza la tarea. Por otro lado, el entorno indirecto corresponde al contexto en el cual se ejecuta el trabajo, éste puede abarcar desde una extensión de las áreas físicas de trabajo hasta variables demográficas, de salud, familiares y seguridad laboral.

3.3. Definición de la muestra

En este punto deben considerarse dos componentes para la muestra: número de participantes y número de unidades de observación. La primera entrega validez estadística y la segunda permite la aplicación de herramientas estadísticas y de aprendizaje de máquinas.

- **Número de sujetos experimentales:** Esta componente se refiere a la cantidad de sujetos que se someterán a las actividades experimentales. En la literatura se ha obtenido una validez estadística con un número cercano a 20 participantes, para experimentos que analizan fatiga, considerando señales psicofisiológicas y/o cuestionarios de fatiga [63][50][35][49][17][90][6]. El mínimo de sujetos experimentales encontrados en la revisión bibliográfica corresponde a 12 [63][35]. La mayor limitación para la definición del tamaño de muestra, es la disponibilidad de participantes. Cada empresa, institución u organización tiene distintas cantidades de personal asignado a una tarea dependiendo de su tamaño, el objetivo inicial debería ser medirlos a todos. La literatura es variada en la cantidad de participantes para el diseño experimental, siendo la elección por conveniencia la más utilizada. De existir un caso donde este número no es posible de obtener, los individuos disponibles deberán someterse a realizar el experimento en múltiples ocasiones, es decir, repetir sesiones experimentales de captura de datos, para lograr el número deseado de 20 muestras. Los sujetos experimentales deberán ser seleccionados considerando los criterios de inclusión y exclusión correspondientes a la actividad a estudiar.
- **Número de unidades de observación:** El número de unidades de observación corresponde al resultado de la división temporal del tiempo del experimento. Estas unidades de observación o ventanas de tiempo son el objeto de análisis y su número deberá permitir la aplicación de las herramientas de aprendizaje de máquinas. En general el número agregado de unidades de observación deberá ser del orden de 10.000 muestras considerando todos los sujetos experimentales. Este parámetro deberá tenerse en cuenta junto el diseño de la tarea para determinar el tiempo de ejecución de la actividad por sujeto.

3.4. Preparación de artefactos y Materiales

En esta sección se describen los artefactos mínimos a utilizar para la medición de la fatiga según las dimensiones establecidas en la literatura de medidas fisiológicas, contextuales y de rendimiento. Los siguientes sensores no son excluyentes a otros dispositivos que puedan utilizarse en el desarrollo experimental, siempre que cumplan el objetivo de capturar los datos de las variables indicadas para el estudio, además deben cumplir con una equivalencia técnica similar o superior, como también con los atributos de comodidad y ser no invasivos a las personas, para su utilización en experimentos.

Para el alcance de los experimentos de esta metodología, se recomienda utilizar un dispositivo del tipo *wearable*, es decir, que sea cómodo, de fácil uso y no invasivo para la persona, en esta categoría encontramos productos como relojes inteligentes (*smartwatch*) y correas de

monitoreo, entre otros. Respecto a este trabajo de tesis, el dispositivo utilizado es el sensor BioMonitor V2, pulsera de desarrollo y producción propia del laboratorio WesstLab, perteneciente al Instituto de Sistemas Complejos de Ingeniería de la Universidad de Chile, el cual está detallado en la sección Instrumentación, del capítulo de Diseño e Implementación de los experimentos. Esta pulsera es una plataforma de sensado inalámbrico que realiza múltiples mediciones de señales fisiológicas.

Para la medición de variables de contexto, particularmente el entorno directo, que corresponde al área donde se realiza directamente la tarea, se recomienda utilizar una o varias unidades de sensado, que incluyan las variables ambientales que se hayan definido para el estudio. En este caso se optó por una unidad de sensado, que incluía los sensores de ruido, gases, temperatura, humedad y movimiento. Los detalles de los sensores mencionados en esta sección se encuentran detallados en la sección Instrumentación del Diseño e Implementación de los experimentos..

El entorno indirecto, completa el contexto en el cual una persona está inmerso, este entorno viene definido por factores de salud, cantidad y calidad de sueño, ciclo circadiano, la seguridad de la fuente laboral y problemas familiares, estas dimensiones tienen un impacto en el nivel de estrés y fatiga de una persona. Para obtener esta información se utilizan herramientas como exámenes ocupacionales, fichas médicas, evaluaciones de desempeño, tipo de contrato, escalas de evaluación y cuestionarios, entre otras fuentes de información que aporten a este objetivo de completar el contexto una persona.

Para obtener los datos de métricas de rendimiento, se debe identificar previamente en la caracterización del entorno dichas métricas, para lo cual es necesario identificar si existe alguna herramienta o instrumento que utilice la tarea para registrar y luego obtener tales datos, podría también darse el caso de utilizar el apoyo de otro tipo de materiales como cámaras de video, para respaldar y apoyar las observaciones del experimentador. Si no existieran las herramientas o instrumentos, deberán ser desarrolladas para poder capturar y medir el rendimiento, en las dimensiones de efectividad, eficiencia y productividad. Estas métricas de rendimiento, también pueden ser complementadas con medidas de observación por parte del experimentador, autoreporte y subtareas, con el fin de cuantificar el desempeño y la atención.

Respecto a la documentación mínima para el desarrollo de los experimentos, ésta variará según la actividad, empresa u organización y marco normativo aplicable. Como mínimo se establece un consentimiento informado por persona, el cuál informará sobre que datos se capturarán, para qué se utilizarán y las personas responsables de su almacenamiento.

3.5. Definición del protocolo experimental

La formulación del protocolo experimental requiere establecer detalladamente las actividades a realizar antes, durante y después del experimento. Aunque los pasos son específicos de la tarea a analizar, al tipo de sujetos experimentales y a las condiciones de entorno del experimento, existen actividades transversales que permiten enunciar un protocolo experimental dentro de la metodología.

Las actividades de configuración y verificación de sensores, registro de línea base, captura de información y entrevistas con los individuos son comunes a cualquier diseño experimental. Siempre debe existir un protocolo claro conformado de las etapas: antes, durante y después del experimento. A continuación, se presenta un protocolo base que debe cumplir como mínimo los siguientes pasos, en cada una de sus etapas:

Antes del experimento

1. Verificación de los instrumentos, aplicaciones, documentación y lugar de experimentación.
2. Recepción, registro de información del participante y descripción general del experimento.
3. Instalación de sensores y período de adaptación.
4. Explicación de subtareas o actividades complementarias.
5. Registro de línea base.

Durante el experimento

1. Explicación detallada de la ejecución de la tarea
2. Inicio y término de la tarea
3. Supervisión de la ejecución y monitoreo de los sensores.
4. Registro de observaciones del experimentador.

Después del experimento

1. Registro de línea base
2. Detención de captura de datos y desmontaje de sensores
3. Registro de incidentes reportados por el sujeto
4. Descarga y almacenamiento de datos

3.6. Captura de datos: Ejecución del experimento

Una vez definido el protocolo experimental de acuerdo a la tarea a estudiar, se implementa paso a paso para la correcta captura de datos teniendo en consideración las restricciones propias de cada caso de estudio. Durante el experimento se capturarán a lo menos las señales de acelerómetro, giroscopio, temperatura, actividad electrodérmica de la piel (EDA) y fotoplestimografía (PPG); además de las variables de contexto y rendimiento, para luego, pasar a la etapa de limpieza y procesamiento.

3.7. Limpieza y preprocesamiento de datos

En esta etapa se presenta el preprocesamiento para la depuración de señales y datos capturadas, aplicado de forma previa al análisis, sobre las señales capturadas, tanto fisiológicas, contextuales y de rendimiento. Este paso es fundamental para asegurar la correcta obtención de información a partir de las bioseñales de los individuos, medidas ambientales y datos de las aplicaciones diseñadas.

Se denomina *datos crudos* a todos los datos capturados directamente durante la sesión experimental, esta información es obtenida de cada sensor y aplicación según su propio procedimiento de captura y descarga de archivos de datos.

Dado que se trata de señales biológicas, las señales deben preprocesarse, limpiando de ruidos e interferencias externas, generadas por la electrostática de los mismos aparatos o por el movimiento. Para esto, se puede utilizar filtros, segmentación de la señal, remuestreo de la señal, normalización de valores u otra técnica.

La figura 3.2, muestra el proceso de tratamiento para las señales fisiológicas.

El primer paso es manejar el ruido de las señales por movimiento. Este se produce cuando los individuos corren, saltan durante el sensado, o existe movimiento debido un mal ajuste de los sensores. Para esto se aplican filtros pasa bajos y pasa bandas a las señales de los datos crudos, para eliminar componentes no propias de las señales que se encuentren en rangos de alta y baja frecuencia.

Luego se debe sincronizar cada una de las señales obtenidas. Para el proceso de sincronización se utiliza el timestamp o vector de tiempo de captura estandarizado para cada uno de los sensores. Luego, se eliminan los datos que no correspondan a las mediciones, es decir, se mantienen los datos que pertenezcan a los intervalos de tiempo registrados para cada una de las actividades detalladas en el protocolo del experimento, por ejemplo, se elimina la captura de datos entre el encendido del sensor y el inicio de la medición de línea base o la medición entre el momento que se finaliza la prueba y se detiene la captura.

Particularmente a partir del PPG se obtiene la señales de ritmo cardíaco (HR) y la variabilidad de ritmo cardíaco (HRV). Sobre esta señal se realiza un procesamiento más sofisticado para limpiar de mejor manera el ruido por movimiento a través de la localización de movi-

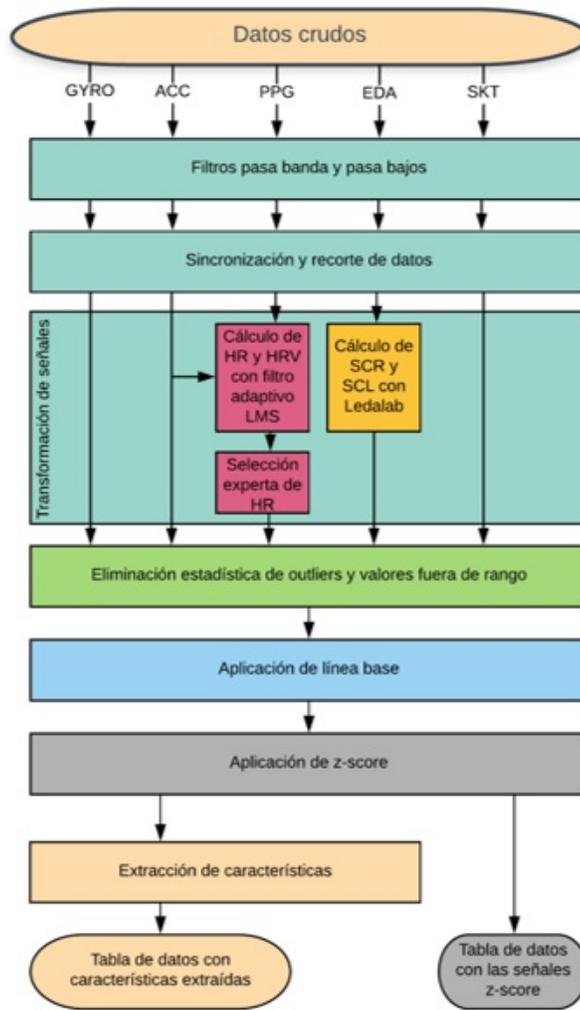


Figura 3.2: Proceso de filtrado y limpieza de datos psicofisiológicos. (Fuente: Informe WesstLab a IST [84])

mientos anómalos detectables a través del uso del acelerómetro. Lo anterior busca entender cuando existió un movimiento extraño, y centrar en ese intervalo de tiempo los esfuerzos por depurar las señales de HR y HRV.

De la misma manera, la señal de EDA es procesada, mediante un análisis de descomposición continua (CDA), para obtener las componentes de respuesta de la conductancia de la piel (SCR) y nivel de conductancia de la piel (SCL)

Posteriormente, existe una discriminación experta para eliminar los datos que se encuentren fuera de rango.

El siguiente paso es la aplicación de la línea base para eliminar los efectos individuales y poder comparar cada sujeto. Luego se estandarizan los rangos de cada individuo para cada etapa del experimento. Ya obtenidas las señales fisiológicas limpias y calculadas se realiza la extracción de características para la etapa de análisis.

Con respecto al sensor de contexto, el comportamiento de las señales es más estable en sus registros, por lo tanto, el procesamiento de datos sólo incluye la eliminación de datos fuera de rango y valores anómalos, por otro lado, la única señal sometida a un filtrado y algoritmo de procesamiento es el acelerómetro, en el caso que la tarea se realice en un ambiente móvil, como es el caso de la conducción.

Los datos capturados por las aplicaciones que se desarrollen con motivo de la obtención de medidas de rendimiento, también deben ser revisadas para asegurar que el correcto análisis de las etiquetas. En este caso, la limpieza y procesamiento, corresponderá a verificar valores nulos, indefiniciones, errores de usuario que afectaron el registro, corrección de prácticas de uso fuera de las condiciones de diseño, entre otras. Este preprocesamiento de datos dependerá altamente del diseño de las aplicaciones, por lo tanto, es labor del diseñador detallar los pasos de limpieza y completitud de los datos para un correcto análisis posterior.

3.8. Etiquetado de fatiga

La etiqueta de fatiga se asocia a una métrica de desempeño durante la ejecución de la tarea, para identificar eventos que denoten un estado de fatiga. Estos datos luego son cotejados con las señales psicofisiológicas. Esto debe realizarse en la unidad de observación establecida en la definición de la muestra, cuantificar de forma agregada las mediciones, y luego etiquetar esas ventanas con los resultados obtenidos, de ser posible, en función de las tres métricas definidas para fatiga: autoreportada, observada y de rendimiento. Las cuales se describen a continuación, junto con su forma de medición.

Etiquetado de fatiga para las ventanas de observación

- **Fatiga autoreportada:** Corresponde a la fatiga que los mismos sujetos de prueba reportan al ser consultados. Para esto existe una gran variedad de escalas en la literatura, su selección y aplicación, dependerá de las condiciones del experimento y de las dimensiones que se desean obtener.
- **Fatiga observada:** Corresponde a la observación de gestos asociados a fatiga presentados por el individuo durante la ejecución de la tarea. Estos pueden ser registrados mediante la observación del experimentador y/o registrados con el apoyo de medios de grabación visual. Este cálculo se realiza en función del reporte de experimentación y se asignan.
- **Fatiga de rendimiento:** Corresponde a la fatiga que se refleja en la disminución de eficiencia, eficacia y productividad en la ejecución de la tarea. Para esto se debe crear un indicador de rendimiento que corresponda a una ponderación de las medidas de eficiencia y eficacia, obteniéndose así solo un valor de fatiga de rendimiento.

Finalmente se definen los niveles de fatiga, para esto se estandarizan los valores obtenidos para cada dimensión de fatiga (autoreportada, observada y de rendimiento), para luego realizar una *clusterización* con estas tres dimensiones identificadas.

3.9. Análisis de datos por individuo

Esta sección entrega una descripción del impacto de la tarea sobre las señales psicofisiológicas de cada sujeto y la agrupación de los sujetos con respuestas similares, según los pasos indicados en figura 3.3. Se establece un procedimiento de análisis en dos partes. Primero se realiza una extracción de características por individuo para determinar las componentes principales que expliquen la varianza total de los datos. Con estas características definidas, se realiza la segunda parte que consiste en agrupar los individuos, para disminuir la variabilidad de reacciones que puedan presentar los sujetos durante la ejecución de la tarea.

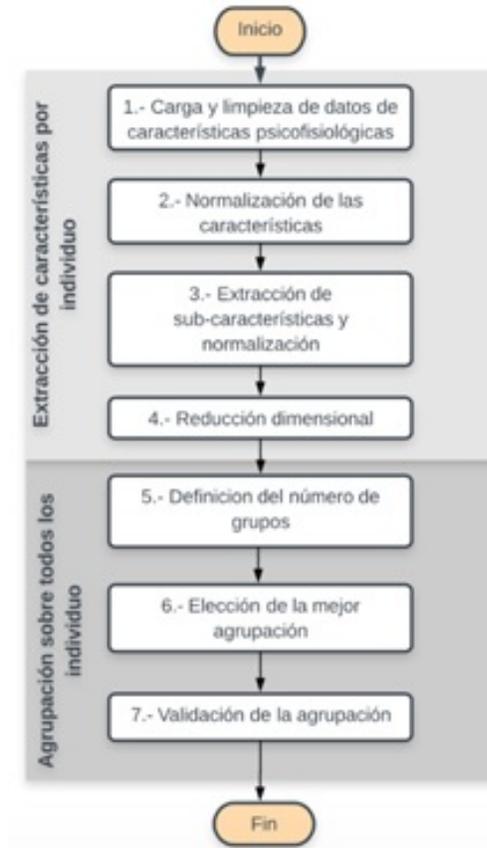


Figura 3.3: Pasos para la extracción de características por individuos y agrupación de los mismos. (Fuente: Informe WesstLab a IST [84])

3.10. Análisis de datos para la muestra agregada

Este análisis busca una descripción de los patrones comunes observados en los sujetos durante la realización del experimento y los marcadores psicofisiológicos que explican distintos niveles de fatiga.

Para esto se propone realizar una serie de análisis estadísticos que mejor se ajusten para comprobar 3 hipótesis técnicas sobre la relación entre la fatiga y la psicofisiología de los sujetos experimentales. Estas hipótesis son:

- Existe dependencia estadística entre el nivel de fatiga y los grupos de sujetos experimentales.
- Existe una tendencia creciente de la fatiga con el avance temporal de la tarea laboral.
- Existe diferencia significativa en las medianas y varianzas de las características psicofisiológicas entre los niveles de fatiga.

3.11. Resultados y conclusiones

En esta etapa se plantean las conclusiones del estudio basado en los resultados obtenidos en el paso anterior. Específicamente se concluye sobre los análisis de individuos y de la tarea. A continuación se presentan las dimensiones mínimas sobre las cuales deben obtenerse conclusiones

- El comportamiento de los sujetos ante la tarea, es decir, si existen patrones de fatiga según grupos de usuarios.
- La existencia de niveles de fatiga y su tendencia en el tiempo, con esto se busca responder si los niveles encontrados tienen validez y significancia estadística, además de su desarrollo en el tiempo.
- La existencia de marcadores psicofisiológicos que expliquen la fatiga, esto pretende concluir cómo la tarea afecta las señales psicofisiológicas de los usuarios y si existen patrones por grupos que se relacionen con la identificación de fatiga.

Capítulo 4

Diseño e Implementación de los experimentos

En este capítulo se detallan los sensores utilizados, la descripción del grupo de participantes, diseño y protocolo implementado para los dos experimentos realizados.

4.1. Instrumentación

El diseño e implementación de los experimentos para validar la metodología de identificación de fatiga y validar las mediciones del prototipo de la pulsera Biomonitor, requirió de una serie de instrumentos comunes y particulares a cada experiencia. En esta sección se detallan todos los dispositivos utilizados, y luego en la descripción de cada experimento se hace referencia a cuales fueron usados efectivamente.

4.1.1. Pulsera Biomonitor

Este es un dispositivo para capturar señales fisiológicas, específicamente, incorpora sensores de temperatura, conductividad de la piel, ópticos y de movimiento. Por sus características es considerado un dispositivo del tipo *wearable*, es decir, es un aparato que se incorpora en alguna parte del cuerpo humano interactuando de forma continua con el usuario y con otros dispositivos con la finalidad de realizar alguna función concreta, en esta categoría se encuentran los relojes inteligentes (*smartwatches*), zapatillas con GPS y pulseras que monitorean nuestro estado de salud, esto son sólo algunos ejemplos de este área tecnológica que cada vez está más presente en el uso diario de las personas. La traducción de la palabra *wearable* es “llevable” o “vestible“, en tecnología, esto hace referencia a pequeñas computadoras que van siempre con el usuario, de forma que no sólo interactúa de manera continua, si no que además acompaña a todas partes.



(a) Lado conectores



(b) Lado sensores hacia la piel

Figura 4.1: Placa Biomonitor. (Fuente: Elaboración propia)

- **Placa**

La placa de la figura 4.1 ha sido diseñada para capturar señales fisiológicas utilizando los sensores descritos en la tabla 4.1.

Sensor	Descripción sensores incluidos	Lecturas por segundo
Temperatura (GA10K3A1AM)	Sensor análogo de temperatura (C°), rango de 31°C y 44°C	entre 1 y 20
EDA (GARY)	Sensor análogo de impedancia de la piel (mAh)	entre 1 y 100
PPG (Max30101)	Sensor análogo que mide la absorción de haz de luces en la piel	50 ó 100
Inercial MPU9250 (acelerómetro y giroscopio)	Sensor análogo de aceleración (g) y velocidad angular (rad°)	entre 5 y 100

Tabla 4.1: Sensores incluidos en Biomonitor. (Fuente: Informe a IST [84])

- **Correa**

La correa permite empaquetar el producto, de tal forma, que la placa pueda captar las señales con sus sensores, portar la placa y batería, y el producto en su conjunto, pueda ser usado de forma cómoda y no invasiva para el usuario.

En la figura 4.2 se aprecian los espacios, tipo bolsillo, para tener un rápido acceso a conector para cargar batería y a cambios de placa y batería en caso de ser necesario, sin tener que desarmar la estructura de la correa.

La figura 4.3, se observa la pulsera lista para ser usada.



Figura 4.2: Bolsillos internos para portar placa y batería. (Fuente: Elaboración propia)



Figura 4.3: Pulsera lista para ser utilizada. (Fuente: Elaboración propia)

4.1.1.1. Mediciones

Corresponden a las mediciones de respuesta galvánica de la piel, fotopletoislograma y temperatura, obtenidas también por los sensores marca Shimmer, modelos *GSR+* y *Bridge Amplifier*, detalladas en secciones 4.1.2.1 y 4.1.3.1, respectivamente.

4.1.1.2. Posición

La posición de la pulsera debe permitir que el sensor óptico se ubique en el lado dorsal de la muñeca, de manera que la los sensores de EDA queden en el lado palmar. En la figura 4.4 se observa la posición de uso en la muñeca izquierda o derecha, indistintamente.



Figura 4.4: Posición de uso de pulsera. (Fuente: Elaboración propia)

4.1.1.3. Recomendaciones

- Asegurarse que dispositivo tenga la batería cargada, previo a la sesión experimental.
- Verificar que captura datos previo a la instalación en el usuario.
- Durante su uso, monitorear que no ha detenido la captura de datos.

4.1.2. Unidad $GSR+$ de Shimmer

La unidad $GSR+$ de Shimmer mide la respuesta galvánica de la piel, descrita en la sección 2.2, entre dos electrodos ubicados en dos dedos de la misma mano. En la Figura 4.5 se observa la unidad $GSR+$ de Shimmer donde las entradas en negro y rojo son para los electrodos. Además, este dispositivo cuenta con una entrada Jack, en color negro, para una medición auxiliar como el sensor óptico de pulso presentado en la siguiente sección.

La resistencia de la piel es proporcional a la humedad, en este caso sudor, que se encuentra en la piel. Para medirla, no existe un lugar estándar.



(a) Por separado.



(b) Conectados.

Figura 4.5: Shimmer $GSR+$ y electrodos. (Fuente: Elaboración propia)

4.1.2.1. Mediciones

La señal GSR cuenta con 2 componentes: la componente fásica, que tiene cambios más rápidos y está relacionado con los estímulos externos y la actividad poco específica; y la componente tónica, que es la señal base y varía más lentamente, fija el nivel de conductancia de la piel. El principal desafío es interpretar de esta señal las razones de los incrementos y disminuciones en los niveles de sudor.

Algunas perturbaciones o factores que afectan la medición de la señal GSR son: temperatura ambiental, sequedad de la piel y el movimiento de los electrodos. En la Figura 4.6 se muestra un ejemplo de la medición de GSR.

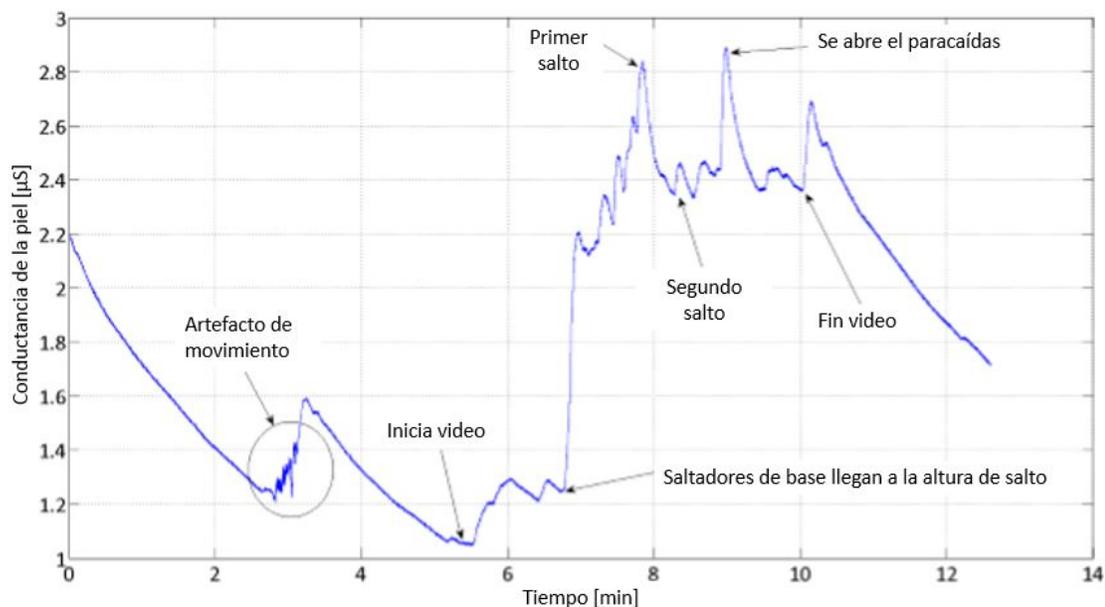


Figura 4.6: Ejemplo de medición de señal GSR. Curva característica frente a estímulos visuales de un video. (Fuente: Manual de usuario de Shimmer *GSR+*)

4.1.2.2. Posición de los electrodos

La posición de los electrodos requiere una zona con gran cantidad de glándulas sudoríparas, como por ejemplo la zona palmar de la mano y los dedos, ver Figura 4.7a. Es importante evitar al máximo los movimientos de los electrodos, pues producen un ruido considerable, por lo que deben ser firmemente fijados. En la Figura 4.7b se muestra un ejemplo de conexión y montaje de una unidad *GSR+* de Shimmer con una banda de sujeción al antebrazo.

4.1.2.3. Recomendaciones

- No conectar los electrodos a la piel cuando el dispositivo esté conectado a un puerto de carga o USB.



(a) Posición de electrodos en dedo



(b) Conexión y montaje de electrodos y Shimmer

Figura 4.7: Ejemplo de posición de electrodos para el dispositivo *GSR+* de Shimmer. (Fuente: Elaboración propia)

- Para eliminar el ruido de alta frecuencia generado por el movimiento de los electrodos se puede utilizar un filtro pasa bajos con una frecuencia de corte de 5 Hz, sin afectar mayormente los datos de interés.
- Para una buena medición de la actividad electrodérmica, el sensor debe estar en contacto con la piel en todo momento. Es importante asegurarse que los sensores estén ajustados, sin estar demasiado apretados, dado que esto también deteriora los datos.

4.1.3. Sensor óptico de pulso de Shimmer

El sensor óptico de pulso de Shimmer mide el fotopletismograma (PPG) de un dedo, lóbulo de la oreja o cualquier otra parte del cuerpo con tejido capilar. Un fotopletismograma es la medición volumétrica de un órgano, obtenida ópticamente. Se obtiene iluminando la piel y midiendo los cambios en la absorción de la luz. Cuando el corazón bombea sangre, las arterias se vuelven más opacas, permitiendo que menos luz pase desde el emisor de luz en el sensor hacia el receptor. El PPG mide la dinámica cardiovascular al detectar cambios en la translucidez arterial. Esta medición permite, mediante un algoritmo, estimar el ritmo cardíaco. La adquisición se realiza conectando el fotosensor a la entrada Jack 3,5 mm en la unidad *GSR+*, como se observa en la figura 4.8.

4.1.3.1. Mediciones

Un PPG es un pletismograma obtenido ópticamente, que es una medición del cambio de volumen de un órgano. El PPG, en particular, mide los cambios en la absorción de la luz. El cambio de volumen provocado por el pulso de presión sanguínea se detecta mediante iluminar la piel con una luz LED y con un fotodiodo se mide la cantidad de luz transmitida o reflejada.

En la Figura 4.9 se presenta un ejemplo de una medición de la señal PPG con el sensor óptico de pulso de Shimmer. La forma de onda PPG difiere de sujeto a sujeto y la forma en

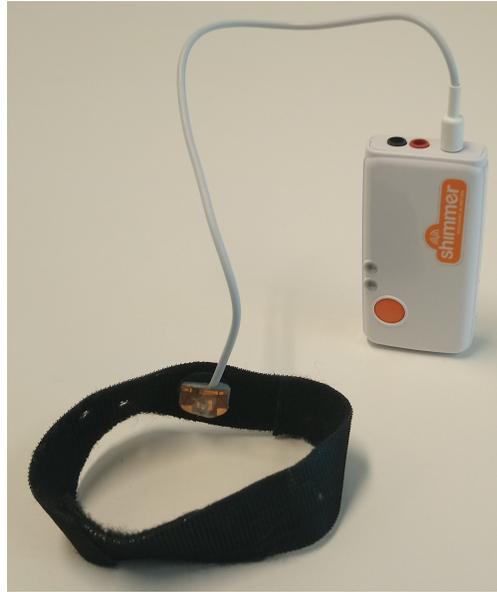


Figura 4.8: Sensor óptico conectado a la unidad *GSR+* de Shimmer. (Fuente: Elaboración propia)

que está conectado el sensor.

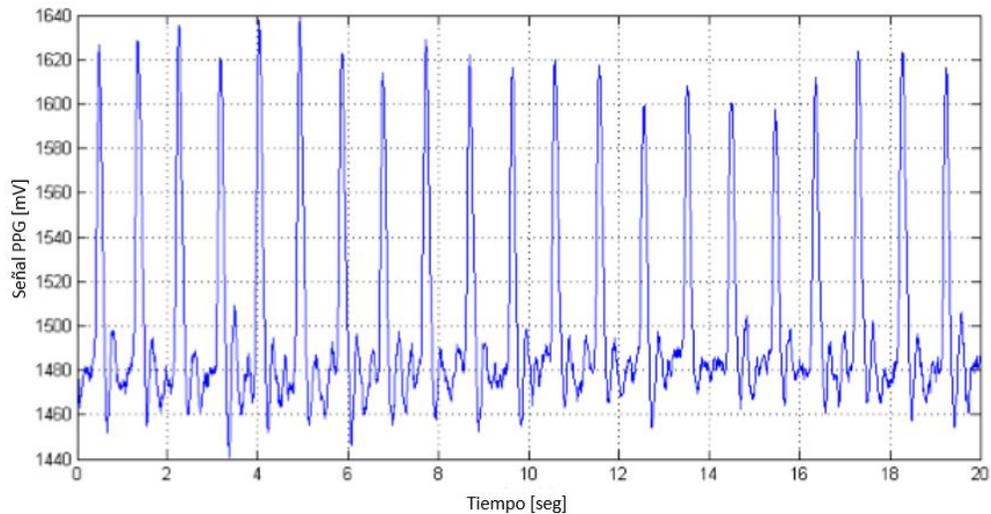


Figura 4.9: Ejemplo de señal PPG medida con el sensor óptico de pulso de Shimmer. (Fuente: Manual de usuario de Shimmer *GSR+*)

La frecuencia de muestreo debe ser lo suficientemente alta como para permitir que la frecuencia del pulso sea capturada correctamente. La frecuencia cardíaca normal en reposo oscila entre los 50 y 100 latidos por minuto. A través de la experimentación se ha encontrado que la frecuencia de muestro de 100 Hz o mayor proporciona un buen rendimiento. Sin embargo, siempre depende del uso o aplicación que se le dará a esta señal.

4.1.3.2. Conversión de PPG a ritmo cardíaco

La señal PPG tiene una forma muy parecida a la forma característica del ciclo cardíaco, como se observa en la figura 4.10. También se observa variación en la amplitud de los picos y es debido a la influencia que tiene en la señal PPG la respiración, la actividad muscular y el movimiento del sensor. Es posible identificar el ritmo cardíaco a partir de la señal PPG.

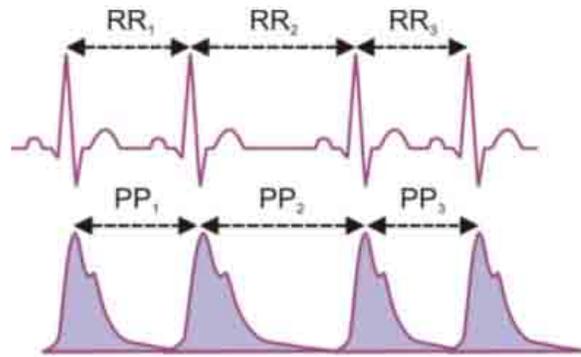


Figura 4.10: Comparación entre forma característica de ritmo cardíaco y señal de PPG. (Fuente: Biocom [11])

Para convertir la señal PPG a ritmo cardíaco, se deben detectar los peaks de la señal. Para esto no basta un valor límite, dado que la amplitud puede variar bastante en una misma medición, debido a la respiración, actividad muscular, movimiento del sensor y calidad de agarre del sensor al lugar de medición. Una vez identificado los peaks de la señal, se calcula el tiempo entre peaks y se deriva el ritmo cardíaco.

Existen muchos algoritmos para la conversión PPG-to-HR disponibles. En este caso se utiliza el software de procesamiento de Shimmer que incluye una aplicación para la conversión PPG-to-HR.

4.1.3.3. Posición del sensor

El sensor óptico puede ponerse tanto en el dedo como en el lóbulo de la oreja o la muñeca. Sin embargo, se considera que, para obtener una utilización cómoda y poco invasiva del instrumento, la muñeca es la mejor solución, figura 4.11, debido a que da libertad a los movimientos de la mano, si bien, los movimientos de la mano aumentarían el ruido al capturar la señal, se aplicará el correspondiente procesamiento a las señales para su análisis.

4.1.3.4. Recomendaciones

- No conectar el sensor a la piel cuando el dispositivo esté conectado a un puerto de carga o USB.
- Escoger una frecuencia de muestro de mayor a 100 Hz.



Figura 4.11: Posición del sensor óptico para mediciones de PPG, en la muñeca izquierda. (Fuente: Elaboración propia)

- A pesar de que se puede medir en distintas partes del cuerpo, es recomendable ubicaciones donde exista poca actividad muscular que pueda causar interferencia.

4.1.4. Unidad *Bridge Amplifier+* de Shimmer

La unidad *Bridge Amplifier+* de Shimmer por su diseño permite obtener una gran variedad de mediciones. Cuenta con una resistencia altamente sensible que permite conectar un sensor de temperatura. Se puede obtener la temperatura ambiental y la temperatura de la superficie de la piel. En la Figura 4.12 se observa la unidad donde se conecta el sensor de temperatura a la entrada amarilla.

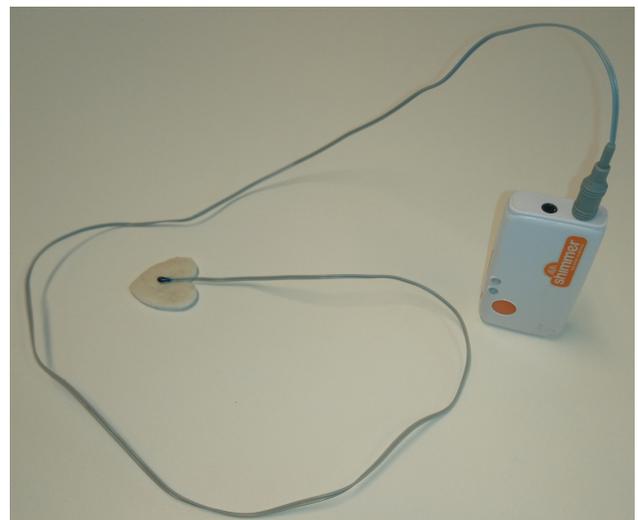


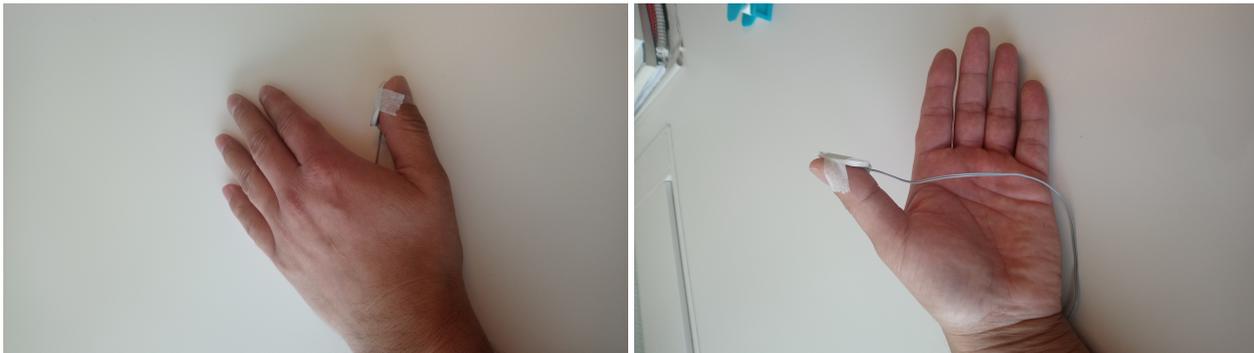
Figura 4.12: Unidad *Bridge Amplifier+* de Shimmer y sonda del sensor de temperatura corporal. (Fuente: Elaboración propia)

4.1.4.1. Mediciones

Para efectos de este trabajo, las medición obtenida con este sensor es la temperatura periférica corporal, captada en el dedo pulgar izquierdo.

4.1.4.2. Posición del sensor

La sonda del sensor de temperatura corporal de Shimmer se muestra en la Figura 4.12. Es importante asegurarse de que el sensor esté en la posición correcta.



(a) Vista lado dorsal

(b) Vista lado palmar



(c) Instalado y conectado a Shimmer

Figura 4.13: Instalación sensor de temperatura. (Fuente: Elaboración propia)

4.1.4.3. Recomendaciones

- No conectar el sensor a la piel cuando el dispositivo esté conectado a un puerto de carga o USB.
- Se recomienda una baja frecuencia de muestreo. Por ejemplo, 10 Hz.
- Instalar en el dedo pulgar aunque también puede medirse en la axila, ya que es una zona con movimiento mínimo que no interviene en las tareas que realice con las manos el sujeto. Esto reduce el ruido por el movimiento del sensor.

4.1.5. Oxímetro de pulso

Dispositivo marca Contec, con tecnología de fotopletismografía para monitoreo de pulso cardíaco y saturación de oxígeno a través del dedo, este se conecta a un placa e-health shield, la cual a su vez está montada sobre un Arduino, y mediante cable USB, se energiza y transfiere los datos al computador, ver figura 4.14.

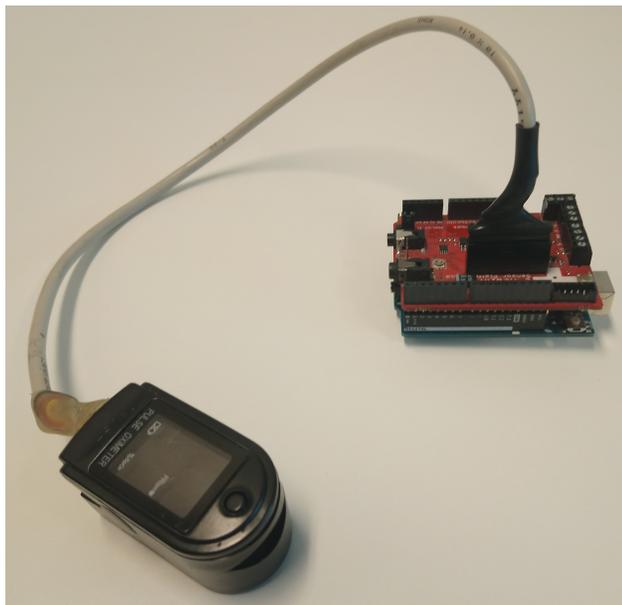


Figura 4.14: Unidad Contec conectada a placa de conexión e-health y Arduino. (Fuente: Elaboración propia)

4.1.5.1. Mediciones

Entrega como dato la cantidad de latidos por minuto y la saturación de oxígeno en la sangre, expresada como porcentaje.

4.1.5.2. Posición

El sensor debe ser instalado en el dedo índice, como se observa en figura 4.15

4.1.5.3. Recomendaciones

- Utilizar sensor en condición de prácticamente nulo movimiento, ya que sensor es sensible a cambios de posición de la mano.
- Una vez iniciado el programa de captura, asegurarse que efectivamente está capturando datos, mediante inspección visual de pantalla.

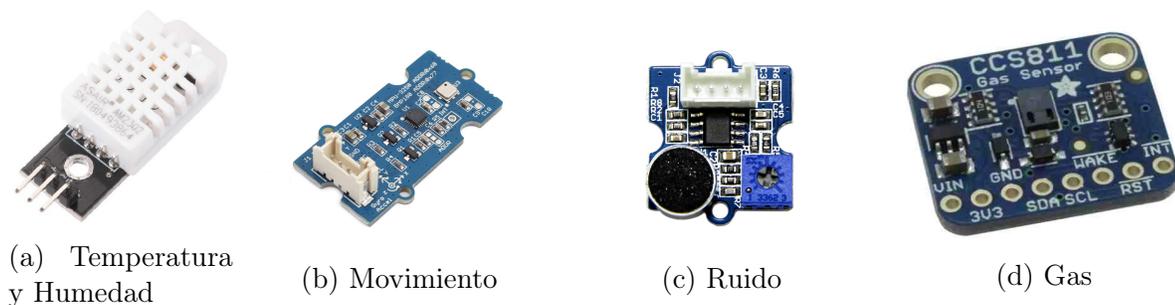


Figura 4.15: Unidad Contec instalada. (Fuente: Elaboración propia)

- Cuando haya finalizado la sesión experimental, rescatar y almacenar inmediatamente el archivo de datos, o a más tardar, antes de la siguiente sesión, ya que el reinicio de captura de datos reescribe el archivo existente.

4.1.6. Sensor de Contexto

Este sensor fue diseñado y empaquetado con el propósito de ésta y futuras investigaciones, se definieron las variables del entorno directo para ser capturadas, y se compraron los sensores correspondientes para su montaje, ver figura 4.16.



(a) Temperatura y Humedad

(b) Movimiento

(c) Ruido

(d) Gas

Figura 4.16: Sensores de conforman el sensor de contexto. (Fuente: Imágenes de catálogos)

Los sensores son conectados mediante cables a una base de conectores (*shield*), montada sobre un Arduino, el cual se conecta por cable USB a una Raspberri Pi 3 Modelo B, la cual contiene la programación de la rutina de captura de datos de los sensores y almacena el archivo de datos. Todos los componentes están energizados con una batería, a través de la Raspberri, y los sensores son fijados a una base plástica con pernos y tuercas. El conjunto de elementos se observa en la figura 4.17.

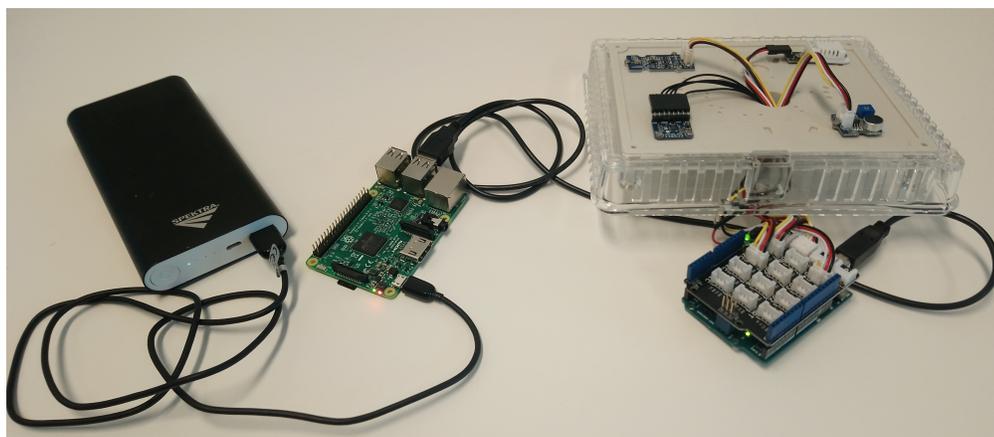


Figura 4.17: Conjunto de elementos de sensor de contexto. (Fuente: Elaboración propia)

Finalmente todo el conjunto es empaquetado, en una caja de plástico duro, ranurado para ventilación y con llave para evitar manipulaciones no deseadas, en caso de ausencia por desarrollo de tareas no supervisadas. La presentación final del sensor de contexto se aprecia en las imágenes de la figura 4.18.

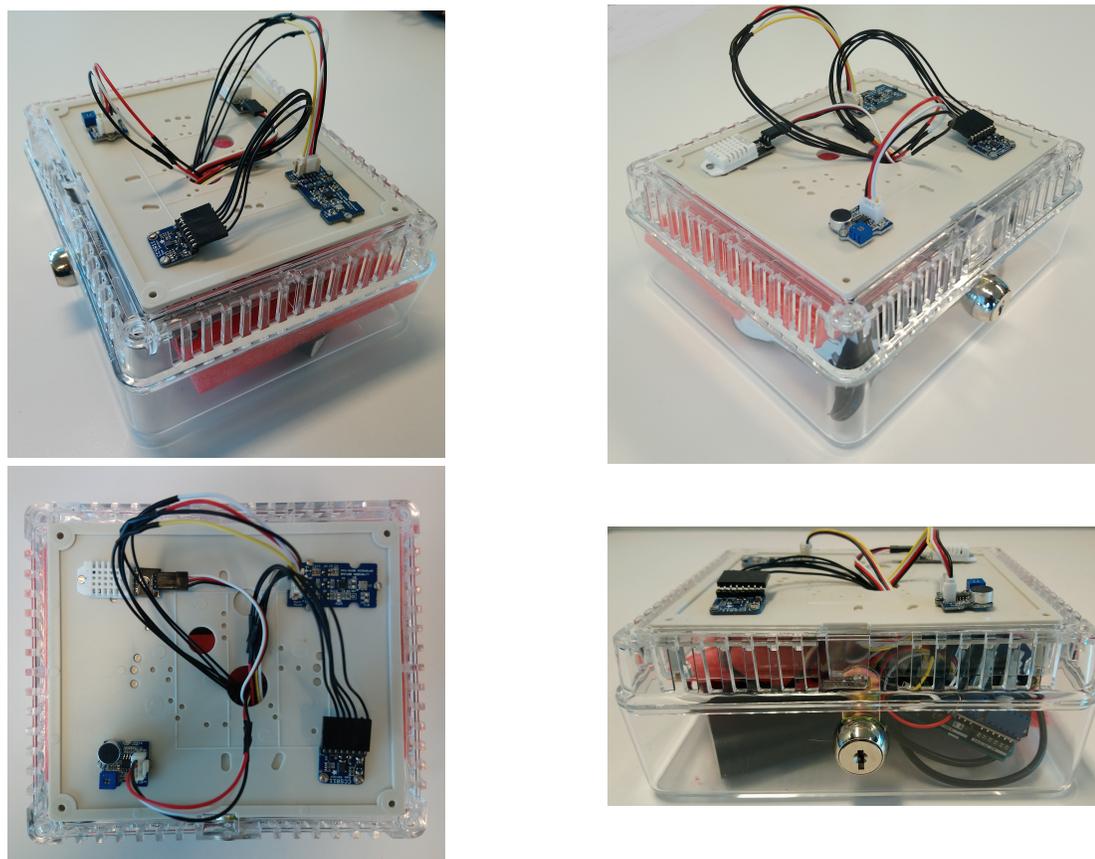


Figura 4.18: Presentación armado de Sensor de Contexto. (Fuente: Elaboración propia)

4.1.6.1. Mediciones

Las mediciones de los datos capturados por el sensor de contexto, se resumen en la tabla 4.2.

Sensor	Modelo	Medición
Temperatura y humedad	DHT22	Temperatura ambiental y humedad relativa del aire
Movimiento	Grove IMU 10DOF	Tiene cuatro módulos. Giroscopio: velocidad angular en radianes por segundo. Acelerómetro: aceleración en unidades de gravedad (g). Magnetómetro: campo magnético en oersteds. Barómetro: presión atmosférica en Pa
Ruido	Grove Loudness	Nivel de ruido como señal análoga (0-1023)
Gas	Adafruit CCS811	Mide calidad aire en interiores expresados en valor equivalente a CO2 en partes por millón (ppm)

Tabla 4.2: Sensores y sus mediciones. (Fuente: Elaboración propia)

4.1.6.2. Posición

El dispositivo debe ubicarse en el lugar que sea más representativo del entorno inmediato de la persona, en el lugar que realiza la tarea y próximo al sujeto, de forma que capture los datos en la medida más cercana a como la persona lo percibe. Asegurarse que quede en lugar fijo y si requiere fijación a alguna superficie en particular, dado condiciones de trabajo en movimiento, determinar la mejor forma de sujeción y/o adhesión, mediante soportes y adhesivos, para evitar golpes, caídas y correcta orientación de los ejes de sensor de movimiento, en caso de una tarea que se realiza en un ambiente móvil, como por ejemplo, la conducción.

Respecto a los experimentos de ésta investigación, el sensor de contexto fue instalado sobre una mesa a una distancia no superior a 1,5 metros del área de trabajo, como se observa en las imágenes de la figura 4.19

4.1.6.3. Recomendaciones

- Asegurarse la carga suficiente de batería previo a la sesión experimental.
- Al inicio del experimento, asegurarse que captura datos correctamente, chequeando la rutina de captura en pantalla.
- Realizar inspección visual periódica para chequear conectores y correcta sujeción de los sensores a la base. Los pernos pueden soltarse por el movimiento al cual puede estar expuesto el dispositivo.
- En caso de ser utilizado en terreno, tomar las medidas de seguridad para instalarlo y fijarlo, además a nivel en alguno de sus ejes (X-Y-Z).



(a) Digitación



(b) Reposición

Figura 4.19: Posición del sensor de contexto en las configuraciones de sala para experimentos, destacado en círculo rojo. (Fuente: Elaboración propia)

- Ubicación designada para el sensor no debe comprometer la seguridad del mismo ni de la persona.

4.2. Experimento Validación instrumento Biomonitor

4.2.1. Instrumentación

Para la captura de datos fueron utilizados los siguientes instrumentos, que se describen a continuación:

- Pulsera Biomonitor
- Unidad Shimmer *GSR+*
- Sensor óptico de pulso Shimmer.
- Sensor EDA Shimmer, electrodos
- Unidad Shimmer Bridge Amplifier+
- Sensor de temperatura de piel
- Oxímetro de pulso

Todos detallados anteriormente en sección 4.1 Instrumentación. Ver figura 4.20.

Otros recursos utilizados para la implementación fueron, contar una sala acondicionada especialmente para los experimentos, computador, monitor, presentación en PowerPoint para prueba aritmética y de palabras de colores, video para prueba emocional, alarma sonora, reloj, silla de respaldo alto con apoyabrazos, documentos impresos de Consentimiento Informado, Ficha del Participante, Tabla de Respuestas y cinta adhesiva Micropore o similar.



Figura 4.20: Instrumentación utilizada. (Fuente: Eaboración propia)

4.2.2. Grupo experimental

Los experimentos de referencia estudiados para validación pulsera Biomonitor, en caso de señal EDA, es de 26 personas [67], y para señal PPG presentan grupos de 8 [38], 10 [10], 12 [91], 24 [39][86] y 50 personas [79].

Se decidió una muestra por conveniencia de 40 personas, quienes fueron reclutados voluntariamente, donde participaron 29 hombres y 11 mujeres, que representan un rango de

edad entre 18 y 52 años, donde la edad promedio es de 30,15 años y una desviación estándar de 9,42 años, a su vez, 19 son estudiantes, mientras que 21 son personas no estudiantes, que promedian 12,28 años de experiencia laboral.

Los estudiantes están relacionados directamente con la Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas de la Universidad de Chile; el resto de los participantes provenían de distintas industrias y distintas profesiones y/o ocupaciones.

De todos los participantes, se eligen solo aquellos que sus mediciones no presentan problemas de captura de datos por sensores y que no haya ocurrido una situación anómala durante el experimento como interrupciones, cortes de energía, incumplimiento de instrucciones, entre otras. Finalmente, se obtiene un total de 35 participantes válidos.

El detalle de los participantes se presenta en apéndice A. Todos los participantes deben leer y firmar un consentimiento informado para indicar su concurrencia voluntaria y autorizar el monitoreo y registro de los datos de sus señales fisiológicas. Cada persona es informada que el experimento tiene como objetivo principal la medición cuantitativa de actividad electrodérmica y fotopleitismográfica, durante pruebas cognitivas y emocionales, usando sensores fisiológicos para validar el sensor Biomonitor desarrollado por el laboratorio WestLab. Los individuos declaran no haber consumido drogas recreativas durante las 24 horas previas a éste y encontrarse en buen estado de salud física y mental.

4.2.3. Diseño experimental

Este experimento corresponde a una adaptación del estudio desarrollado para validar la medición de actividad electrodérmica [67]. Los participantes deben realizar dos pruebas, una cognitiva y otra emocional, con el fin de provocar una respuesta fisiológica del organismo, y capturarla a través de la actividad eléctrica de la piel y el comportamiento del corazón, para luego comparar la información con los sensores patrones, y determinar la validez de captura de datos por la pulsera Biomonitor.

La prueba cognitiva se divide en dos partes; la primera parte consiste en resolver operaciones aritméticas de sustracción de números de 4 dígitos, respondiendo en voz alta, dentro de una ventana de 7 segundos, esto se repite de manera continua durante 3 minutos. La segunda parte consiste en indicar el color de la palabra que se lee en pantalla, lo más rápido posible durante 1 minuto, luego se repite la prueba con las mismas palabras pero en otro orden. En la figura 4.21, se pueden ver las pantallas que visualiza cada participante.

En ambas partes de la prueba cognitiva, si una respuesta está equivocada, el experimentador activa una alarma sonora, con el objetivo de aumentar la reacción del sujeto.

En la prueba emocional, el participante debe ver un video con escenas de terror, como las que se muestran en figura 4.22, durante casi 4 minutos.

Al comienzo, entre la prueba cognitiva y emocional, y al final, se debe registrar un período de relajación de 10 minutos por parte del sujeto.



Figura 4.21: Visualizaciones de pruebas cognitiva y emocional. (Fuente: Elaboración propia)



Figura 4.22: Escenas de terror del video de prueba emocional. (Fuente: Video de Youtube)

4.2.3.1. Preparación del experimento

Se adquieren y quedan disponibles de inventario, los insumos y sensores requeridos para todas las sesiones. Las placas y correas de Biomonitor, son probadas y modificadas, según lo detallado en apéndice L, quedando placas y correas de repuesto. También se adquieren sensores ópticos Shimmer de repuesto y cinta Micropore o similar para la instalación del sensor de temperatura de dedo en los participantes.

Para tener un adecuado recinto y ambiente experimental, es necesario contar con un espacio de uso exclusivo durante el período del estudio. De esta forma se puede garantizar que los elementos y el entorno, mantengan la misma configuración para todos los participantes. Es tarea del experimentador asegurar que la sala esté correctamente preparada previo a la llegada del participante.

Además, para evitar interrupciones por parte de terceros durante el experimento, se instala un cartel indicando que hay un experimento en ejecución y horarios de inicio y término.

4.2.4. Procedimiento experimental

El protocolo fue desarrollado utilizando la plataforma de documentación de investigaciones, llamada SciNote (<https://scinote.net/>), y está presentado en el apéndice D.

4.3. Experimento tareas laborales: Digitación de documentos y Reposición de mercadería

4.3.1. Instrumentación

Para la captura de datos fueron utilizados los siguientes instrumentos, que se describen a continuación:

- Pulsera Biomonitor
- Unidad Shimmer *GSR+*
- Sensor óptico de pulso Shimmer
- Sensor de Contexto

Todos detallados anteriormente en sección 4.1 Instrumentación. Ver figura 4.23.

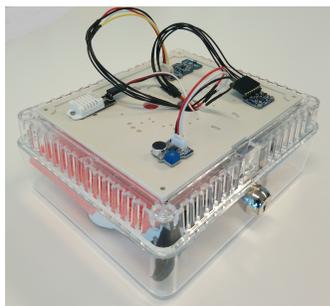
Otros Recursos utilizados fueron, contar una sala acondicionada especialmente para el experimentos, computador, monitor, silla de respaldo alto con apoyabrazos, cámara de video, cámara fotográfica, aplicación graba pantalla, aplicaciones para medir rendimiento y documentos impresos de Consentimiento Informado y Ficha del Participante.



(a) Sensores



(b) Instalados



(c) Contextín



(d) Cámara video



(e) Cámara fotográfica

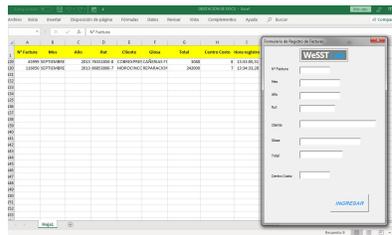
Figura 4.23: Instrumentación utilizada. (Fuente: Elaboración propia)

Estos fueron complementados con la aplicación N-Back y las aplicaciones para medir los tiempos de ejecución de la tarea y los errores que se cometen, durante su desarrollo, descritas en sección 2.4. Estas fueron diseñadas en VBA (*Visual Basic for Applications*), y ejecutadas en Excel. También la escala KSS fue impresa y pegada en las murallas de la sala, para un

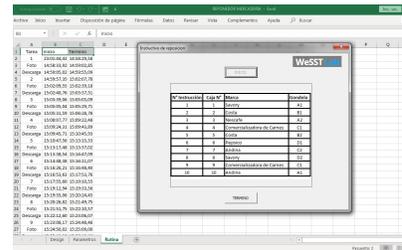
fácil acceso a las alternativas de respuesta del participante.



(a) N-Back



(b) Digitación



(c) Reposición

Figura 4.24: Aplicaciones para tareas. (Fuente: Elaboración propia)

4.3.2. Grupo experimental

Los experimentos de referencia estudiados en la bibliografía de la metodología, según la sección 3.3, presentan un mínimo de 12 personas. Se decidió una muestra por conveniencia de 40 personas, donde 8 participaron de un pre-experimento y las 32 restantes fueron consideradas para el análisis. Estos sujetos fueron reclutados voluntariamente, donde participaron 22 hombres y 10 mujeres, que presentan un rango de edad entre 18 y 52, donde la edad promedio es de 31,28 años y una desviación estándar de 9,84 años, a su vez, 16 son estudiantes, mientras que 16 son personas no estudiantes, que promedian 12,1 años de experiencia laboral. Los estudiantes están relacionados directamente con la Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas de la Universidad de Chile; el resto de los participantes provenían de distintas industrias y distintas profesiones y/o ocupaciones.

De todos los participantes, se eligen solo aquellos que sus mediciones no presentan problemas de captura de datos por sensores y que no haya ocurrido una situación anómala durante el experimento como interrupciones, cortes de energía, incumplimiento de instrucciones, entre otras.

Finalmente, se obtiene un total de 15 participantes válidos para Digitación y 14 para Reposición.

Todos los participantes deben leer y firmar un consentimiento informado para indicar su concurrencia voluntaria y autorizar el monitoreo y registro de los datos de sus señales fisiológicas. Cada persona es informada que el experimento tiene como objetivo principal la medición cuantitativa de la fatiga, durante la ejecución de la tarea de digitación de documentos y reposición de cajas, y sub-tareas cognitivas, usando sensores psico-fisiológicos y contextuales. Los individuos declaran no haber consumido drogas recreativas durante las 24 horas previas a éste y encontrarse en buen estado de salud física y mental. Además autorizan que la realización del experimento, sea registrada mediante cámara de video y/o cualquier otro medio de documentación audiovisual, para apoyar la captura y análisis de datos.

4.3.2.1. Digitación

Participaron 12 hombres y 4 mujeres, que representan un rango de edad entre 21 y 46 años, donde la edad promedio es de 31,75 años y una desviación estándar de 8,94 años, a su vez, 6 son estudiantes, mientras que 10 son personas no estudiantes, que promedian 12,5 años de experiencia laboral. Los estudiantes están relacionados directamente con Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas de la Universidad de Chile, y el resto de los participantes provenían de diferentes industrias y distintas profesiones y/o ocupaciones. La información de los participantes se encuentra detallada en el apéndice B. A continuación se presenta la tabla 4.3, que corresponde al resumen de las características de las personas que participaron en el experimento de digitación.

EDAD AÑOS	PROMEDIO	31,75
	DESV ESTANDAR	8,94
GENERO	MASCULINO	12 / 75 %
	FEMENINO	4 / 25 %
ESTADO CIVIL	SOLTERO	10
	CASADO	3
	DIVORCIADO	3
HIJOS	SIN	11 / 69 %
	CON	5 / 31 %
EDUCACION	BASICA	0
	MEDIA	0
	SUPERIOR	13
	POSTGRADO	3
TIPO DE CONTRATO	SIN TRABAJO	9
	A PLAZO FIJO	1
	POR PROYECTO	0
	INDEFINIDO	4
	INDEPENDIENTE	2
PERIODO TRABAJO EN EMPRESA	SIN TRABAJO	9
	MENOS 1 AÑO	3
	1-5 AÑOS	2
	5 AÑOS O MAS	2
EXPERIENCIA LABORAL	SIN EXPERIENCIA	7
	MENOS 1 AÑO	1
	1-5 AÑOS	2
	5 AÑOS O MAS	6
ACTIVIDAD FISICA SEMANAL	SI	9 / 56 %
	NO	7 / 44 %
¿DURMIO BIEN ANOCHE?	SI	12 / 75 %
	NO	4 / 25 %
CANTIDAD HORAS DE SUEÑO	PROMEDIO	7,32
	DESV ESTANDAR	1,45
TURNO	MAÑANA	6 / 38 %
	TARDE	10 / 62 %

Tabla 4.3: Información del grupo experimental de Digitación. (Fuente: Elaboración propia)

4.3.2.2. Reposición

Participaron 10 hombres y 6 mujeres, que representan un rango de edad entre 18 y 52 años, donde la edad promedio es de 30,81 años y una desviación estándar de 10,93 años, a su vez, 6 son estudiantes, mientras que 10 son personas no estudiantes, que promedian 11,68 años de experiencia laboral. Los estudiantes están relacionados directamente con Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas de la Universidad de Chile, y el resto de los participantes provenían de diferentes industrias y distintas profesiones y/o ocupaciones. La información de los participantes se encuentra detallada en el apéndice C. A continuación se presenta la tabla 4.4, que corresponde al resumen de las características de las personas que participaron en el experimento de reposición.

EDAD AÑOS	PROMEDIO	30,81
	DESV ESTANDAR	10,93
GENERO	MASCULINO	10 / 62 %
	FEMENINO	6 / 38 %
ESTADO CIVIL	SOLTERO	11
	CASADO	5
	DIVORCIADO	0
HIJOS	SIN	10 / 62 %
	CON	6 / 38 %
EDUCACION	BASICA	0
	MEDIA	1
	SUPERIOR	14
	POSTGRADO	1
TIPO DE CONTRATO	SIN TRABAJO	9
	A PLAZO FIJO	1
	POR PROYECTO	1
	INDEFINIDO	3
	INDEPENDIENTE	2
PERIODO TRABAJO EN EMPRESA	SIN TRABAJO	9
	MENOS 1 AÑO	2
	1-5 AÑOS	4
	5 AÑOS O MAS	1
EXPERIENCIA LABORAL	SIN EXPERIENCIA	8
	MENOS 1 AÑO	0
	1-5 AÑOS	3
	5 AÑOS O MAS	5
ACTIVIDAD FISICA SEMANAL	SI	6 / 38 %
	NO	10 / 62 %
¿DURMIO BIEN ANOCHE?	SI	16 / 100 %
	NO	0 / 0 %
CANTIDAD HORAS DE SUEÑO	PROMEDIO	7,26
	DESV ESTANDAR	1,46
TURNO	MAÑANA	7 / 44 %
	TARDE	9 / 56 %

Tabla 4.4: Información del grupo experimental de Reposición. (Fuente: Elaboración propia)

4.3.3. Diseño experimental

4.3.3.1. Digitación

Cada participante debe traspasar la información de documentos físicos, a un formulario de Excel, diseñado en Visual Basic, digitando cada campo de información requerido del documento impreso. Esta tarea se realiza de manera continua, sin interrupciones, durante 110 minutos. De acuerdo a la caracterización de la tarea, sección 3.1 de la metodología, esta corresponde a una tarea monótona, repetitiva y continua.

Durante toda la sesión, se graba la sala con una cámara de video y la pantalla del monitor con una aplicación grabadora de video de pantalla.

4.3.3.2. Reposición

Cada participante debe ubicar cajas en un estante, utilizando una aplicación, diseñada en Visual Basic, para entregar un instructivo que aparece en pantalla, indicando la posición específica de cada caja en el estante. Luego al completar el instructivo, se documenta con fotografía la disposición de las cajas en el estante, para determinar el cumplimiento del instructivo y calcular errores. A continuación, se procede con la descarga del estante y ubicar las cajas en la zona de acopio, para repetir el ciclo de posicionar las cajas, fotografiar y descargar, de manera continua, sin interrupciones, durante 110 minutos. De acuerdo a la caracterización de la tarea, sección 3.1 de la metodología, esta corresponde a una tarea no monótona, repetitiva y continua.

Durante toda la sesión, se graba la sala con una cámara de video y la pantalla del monitor con una aplicación grabadora de video de pantalla.

4.3.3.3. Preparación del experimento

Se adquieren y quedan disponibles en inventario, los insumos y sensores requeridos para todas las sesiones. Las placas y correas de Biomonitor, son probadas y modificadas, según lo detallado en apéndice L, quedando placas y correas de repuesto. También se adquieren sensores ópticos Shimmer de repuesto y cinta Micropore o similar, para fijar la sonda de temperatura durante el experimento de validación de Biomonitor.

Para tener un adecuado recinto y ambiente experimental, es necesario contar con un espacio de uso exclusivo durante el período del estudio. De esta forma se puede garantizar que los elementos y el entorno, mantengan la misma configuración para todos los participantes.

Si bien, cada tarea del experimento, Digitación y Reposición, tiene su propia configuración de sala como se aprecia en figuras 4.25 y 4.26, es tarea del experimentador asegurar que la sala esté correctamente preparada previo a la llegada del participante.

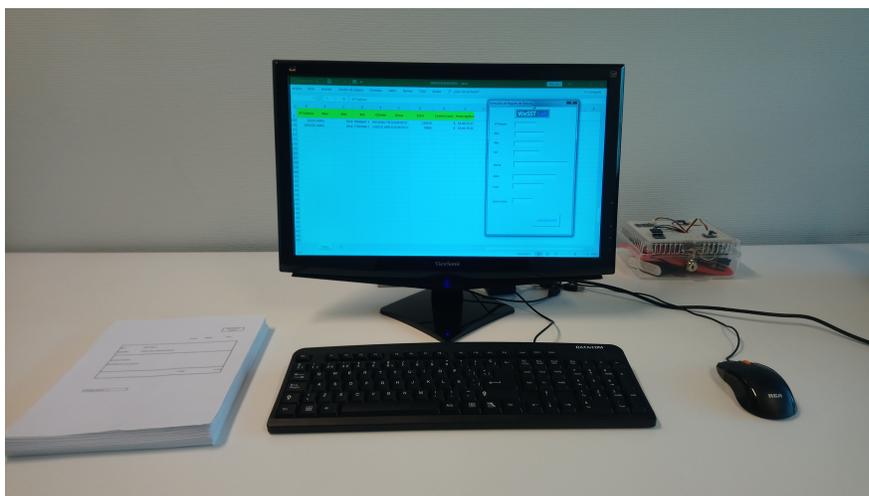


Figura 4.25: Configuración sala para Digitación. (Fuente: Elaboración propia)



Figura 4.26: Configuración sala para Reposición. (Fuente: Elaboración propia)

Dado el uso de instrumentos que funcionan dependiendo de su propia batería, se hace hincapié en revisar constantemente el nivel de carga y mantener los baterías de los instrumentos con suficiente carga para la sesión.

Además, para evitar interrupciones por parte de terceros durante el experimento, se instala un cartel indicando que hay un experimento en ejecución y horarios de inicio y término.

4.3.4. Procedimiento experimental

El procedimiento experimental está basado en la definición del protocolo experimental descrito en la sección 3.5, de la metodología detallada en capítulo 3. Los protocolos de las tareas de Digitación y Reposición, fueron desarrollados utilizando la plataforma de documentación de investigaciones, llamada SciNote (<https://scinote.net/>), y están presentados en el apéndice E y apéndice F, respectivamente. Además, los protocolos indicados han sido com-

plementados con los instructivos de uso de aplicaciones diseñadas para estos experimentos, detallados en apéndice G y H.

Una vez que se han configurado los sensores y aplicaciones para el experimento, según los protocolos e instructivos indicados, podemos ver en las imágenes de la figura 4.27, como los participantes se desenvuelven durante la actividad con los sensores en sus posiciones.

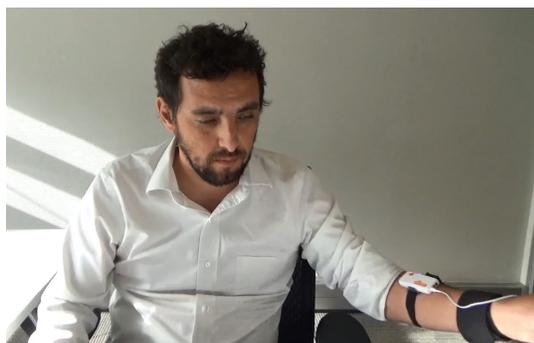
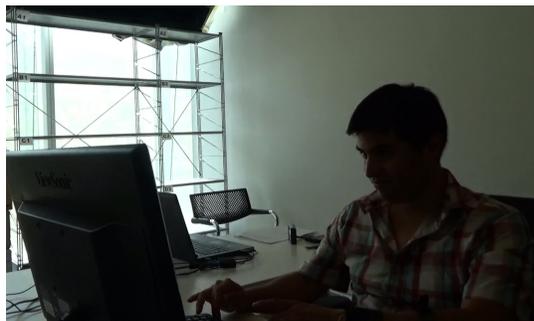


Figura 4.27: Sujetos realizando experimentos de Digitación y Reposición, con sensores instalados en brazo izquierdo. (Fuente: Elaboración propia)

Capítulo 5

Análisis de datos

5.1. Validación instrumento Biomonitor

5.1.1. Definición de observaciones

El experimento está diseñado para obtener una reacción de los individuos frente a distintos estímulos, en base a exigencias cognitivas y emocionales. Por lo tanto, se identifican 7 etapas de observación para realizar el análisis de correlación en dichos intervalos. Estas etapas corresponden a:

1. BL1: Línea base inicial, estado de reposo.
2. COGN1: Prueba cognitiva, parte 1, dar respuesta a operaciones aritméticas.
3. COGN2: Prueba cognitiva, parte 2, efecto Stroop, indicar colores de palabras.
4. BL2: Línea base intermedia, estado de reposo.
5. EMOC: Prueba emocional, ver video con escenas de terror.
6. BL3: Línea base final, estado de reposo.
7. SC: Sesión completa.

5.1.2. Procesamiento de datos

Las señales de PPG y EDA, fueron procesadas según la sección 3.7 de la metodología. Se identificaron los timestamp correspondientes a cada etapa de observación, para realizar el análisis de correlación por etapas definidas en sección 5.1.1.

5.1.3. Extracción de características

No se realizó extracción de características, ya que los datos fueron filtrados y correlacionados por sensor.

5.1.4. Análisis estadístico

Los datos de señal EDA y HR, presentan las siguientes dispersiones de puntos, que se aprecian en la figura 5.1.

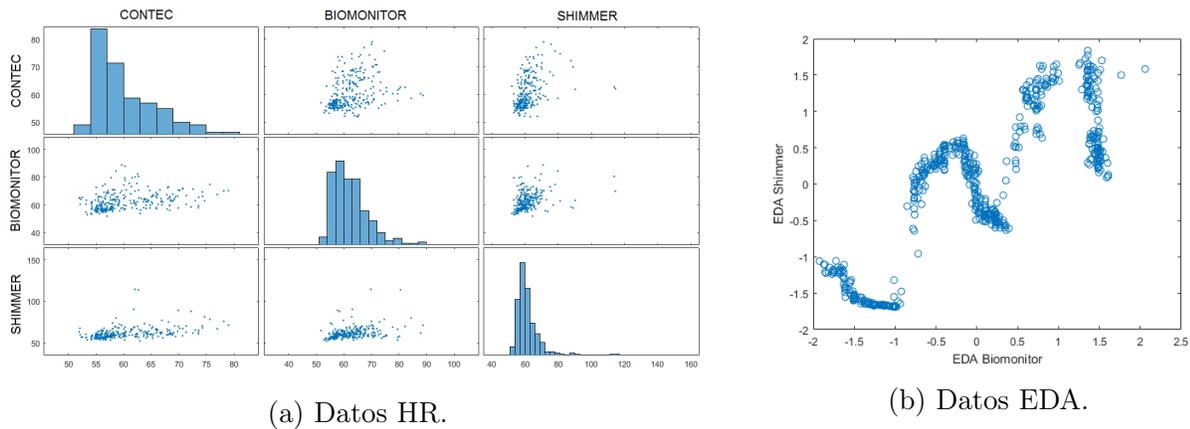


Figura 5.1: Gráfica de dispersión de datos entre sensores. (Fuente: Elaboración conjunta WesstLab)

En ambos casos, estas visualizaciones permiten determinar el uso de la correlación de Spearman por sobre la de Pearson, debido a que se observa una relación no lineal, donde las medidas tienden a cambiar pero no necesariamente a una tasa constante y a su vez se aprecian puntos alejados del patrón central.

En las figura 5.2, se observan dos ejemplos de mediciones de la señal EDA durante toda la sesión experimental. Se aprecia la disminución gradual de la conductancia de la piel en las etapa de reposo inicial, intermedia y final, para establecer las líneas base. En las pruebas cognitivas se evidencia el incremento al inicio de la tarea aritmética, seguidas por la tarea de colores. También se puede apreciar el incremento al momento de iniciar la prueba emocional, donde el experimentador indica que se presentará un video con escenas de terror. A su vez, se logra apreciar los distintos niveles de reacciones que pueden darse para las mismas etapas entre los participantes. Por otro lado, se observa que las mediciones del sensor Biomonitor, presentan un comportamiento bastante similar comparado con el sensor Shimmer.

Para evaluar el funcionamiento de la captura de datos del sensor Biomonitor, se correlacionaron las mediciones de EDA entre los sensores Biomonitor y Shimmer, capturadas en la muñeca y en los dedos, respectivamente. Dado la existencia de casos con valores de correlación negativos, no es correcto considerar el promedio de la correlaciones, como medida de tendencia, por lo tanto se define la mediana \tilde{r} del coeficiente de correlación r , como indicador de evaluación.

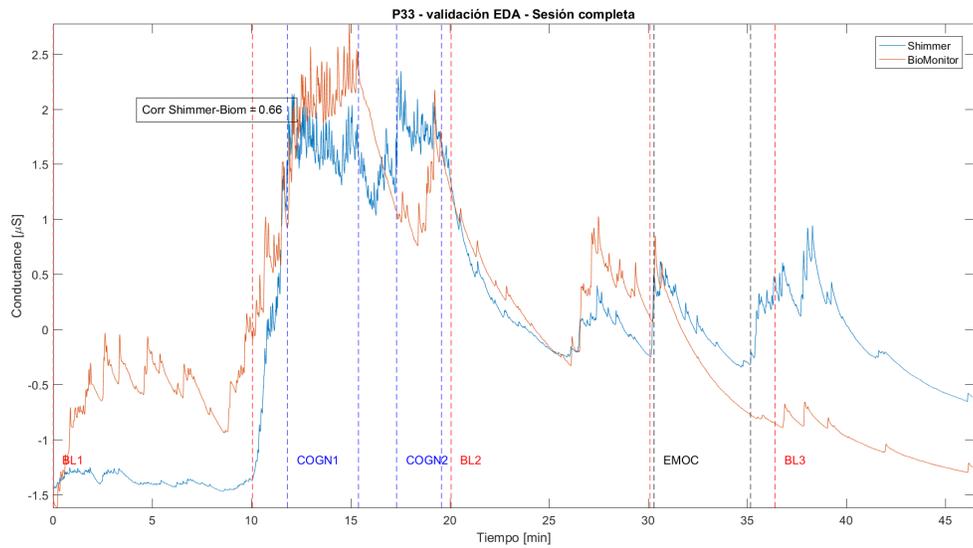
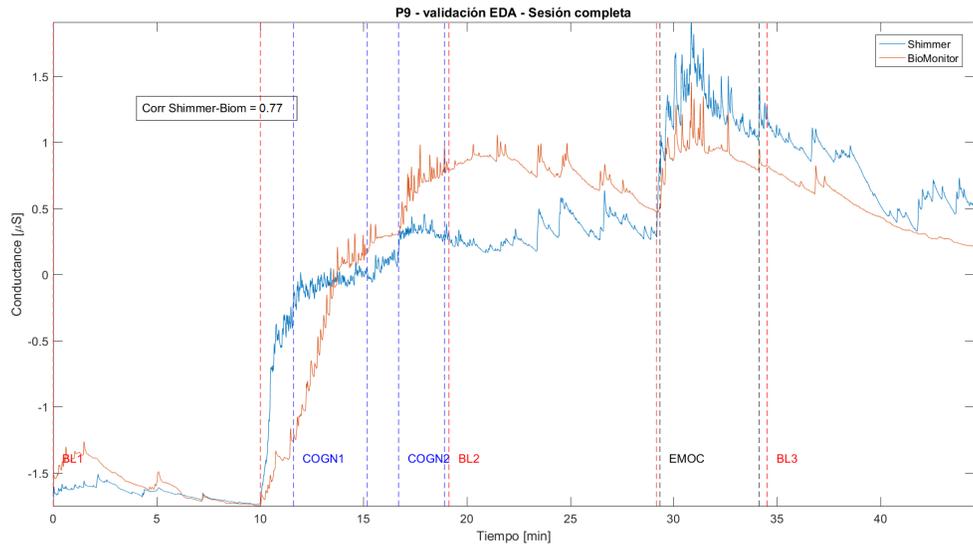


Figura 5.2: Comparación de visualizaciones de señal EDA capturados por sensores Shimmer y Biomonitor. (Fuente: Elaboración conjunta WestLab)

Los resultados por participantes se presentan en apéndice I, a partir de la cual se obtiene $\tilde{r}=0,59$ donde el 60 % de los participantes presenta $r>0,5$ para la sesión completa del experimento con valor $p<0,001$.

A su vez, al observar la figura 5.3, similarmente a lo que ocurre con la señal EDA, el ritmo cardíaco HR, presenta una tendencia a la baja durante las etapas de reposo e incrementos durante la realización de las pruebas.

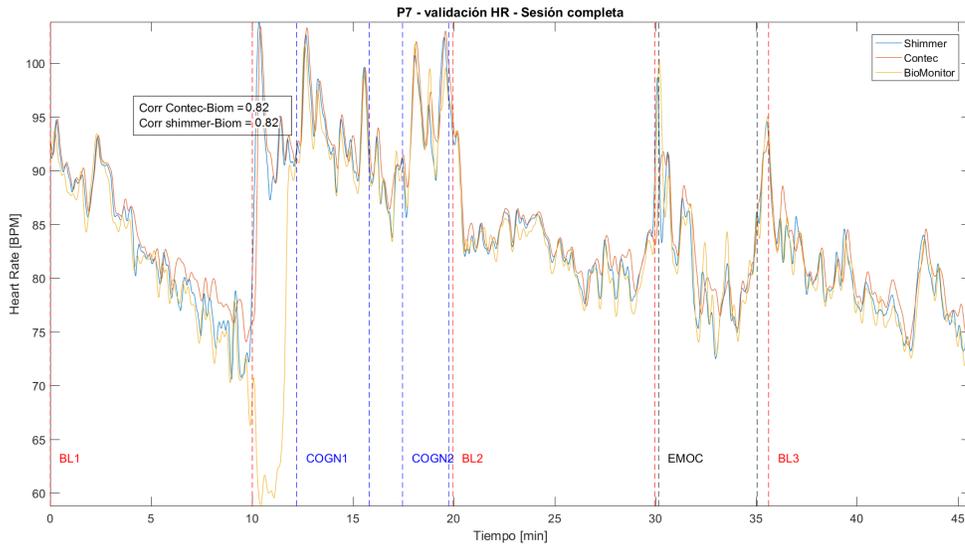


Figura 5.3: Visualizaciones de datos HR, por sensores Shimmer, Contec y Biomonitor. (Fuente: Elaboración conjunta WestLab)

También utilizando la mediana del coeficiente de correlación \tilde{r} , como unidad del análisis, a partir de los datos indicados en apéndice J, obtenemos los valores de la tabla 5.1.

	Contec	Shimmer
Biomonitor	0,63 (68 %)	0,78 (71 %)

Tabla 5.1: Mediana de coeficientes de correlación entre sensores. (%) indica la proporción de participantes que presentaron $r>0,5$. (Fuente: Elaboración propia)

De manera complementaria, se obtuvo que, la mediana de correlación entre los sensores Contec y Shimmer, es $\tilde{r}=0,77$, donde el 88 % de los sujetos presentó $r>0,5$.

5.2. Tareas laborales

5.2.1. Definición de observaciones

De acuerdo a la metodología la cantidad de observaciones recomendada para este tipo de estudio, debería ser del orden de 10.000 observaciones. La cantidad de datos obtenida para Digitación y Reposición fue de 10.997.026 y 10.973.570, respectivamente, durante un período de sesión experimental de 110 minutos de captura de datos en estado de ejecución y 10 minutos en reposo. Dada la condición repetitiva y los tiempos de ejecución de ambas tareas, se estableció como unidad de observación, una ventana móvil de 5 minutos para Digitación y de 10 minutos para Reposición, y un desliz de 10 segundos entre ventanas [87][63].

Dado lo anterior, se obtuvo finalmente 10.128 observaciones para Digitación y 9.036 para Reposición.

5.2.2. Procesamiento de datos

La captura de datos crudos para las señales PPG y EDA, fueron procesadas según lo indicado en la sección 3.7. El etiquetado de fatiga, también se realizó según lo establecido en la metodología, sección 3.8 y 3.1. En particular para ambas tareas, la fatiga reportada corresponde a la utilización del KSS; la fatiga observada a los puntajes de gestos obtenidos, y la fatiga de rendimiento, fue definida a partir de la tabla 5.2, según lo señalado en sección 2.4.

Métrica	Digitación	Reposición
Efectividad: Número de errores	Cantidad de campos incorrectos por factura	Cantidad de cajas en posición incorrecta y errores en la secuencia de actividades
Eficiencia: Frecuencia de errores	Cantidad de veces que comete al menos un error por documento	Cantidad de veces que cometió al menos un error por repetición, varianza del tiempo de ejecución
Productividad	Tiempo promedio que demora en digitar un documento, varianza del tiempo de ejecución	Tiempo promedio que demora en ejecutar un ciclo completo de reposición y varianza del tiempo de ejecución

Tabla 5.2: Métricas de rendimiento por tarea. (Fuente: Elaboración propia)

Para determinar la fatiga de rendimiento, en ambas tareas, primero corresponde definir un indicador de errores I_e , donde N_e es el número de errores y F_e es la frecuencia de errores,

$$I_e = p \cdot F_e + (1 - p) \cdot N_e \quad (5.1)$$

, p es un ponderador de importancia que se da a la frecuencia de errores, para este trabajo se estableció $p=0,7$. Finalmente la fatiga de rendimiento E_r quedó definida como una combinación lineal del indicador de errores, el tiempo medio de ejecución T_{em} y la varianza del

tiempo de ejecución $Var(tem)$, de siguiente forma,

$$Er = \alpha \cdot Ie + \beta \cdot Tem + \gamma \cdot Var(tem) \quad (5.2)$$

, donde se definió,

$$\alpha = \beta = \gamma = \frac{1}{3}$$

Para medir la consistencia de la escala de fatiga autoreportada, la unidad de observación corresponde a cada vez que se respondió, es decir, 10 veces por participante.

Particularmente, para las aplicaciones diseñadas en este experimento, el procesamiento de los datos para el etiquetado, que determina la fatiga de rendimiento, se realizó de la siguiente manera:

Digitación

- Verificación de todas las entradas de registros, identificando digitación involuntaria de espacios adicionales, es decir, descartar presionar barra espacio, antes, entre y después de las palabras y números.
- Identificar documentos duplicados, en dicho caso, se considera el total de los campos digitados del documento, como errados.
- Restar tiempo de realización de N-back a tiempo de ejecución, correspondiente a repetición en la cuál se realizó.

Reposición

- Totalizar el tiempo de la tarea, sumando los tiempos de las actividades de reponer, fotografiar y descargar.
- Generar tabla de errores, contabilizando los errores por ubicación, comparando las fotografías con la imagen patrón, y los errores cometidos en respetar la secuencia de inicio y término de cada actividad.
- Restar tiempo de realización de N-back a tiempo de ejecución, correspondiente a repetición en la cuál se realizó.

De esta manera, los valores obtenidos para fatiga autoreportada para el conjunto de participantes de la tarea laboral de Digitación se valida la consistencia interna de las respuestas del cuestionario con el estadístico Alfa de Cronbach, como propone la metodología, que da un valor de 0,976, lo que confirma la fiabilidad de los resultados. La tabla 5.3 presenta el resumen de los resultados del KSS.

Por otro lado la fatiga observada, corresponde a la identificación de gestos asociados a fatiga del participante durante la tarea. El experimentador registra los gestos y utiliza los puntajes de gestos de la tabla 2.2, para determinar el valor de fatiga observada, correspondiente a la suma de los puntajes de los gestos registrados en esa ventana de tiempo. A continuación se presenta el resumen en la tabla 5.4 de los resultados de etiqueta obtenidos.

A su vez, los valores obtenidos para fatiga autoreportada para el conjunto de participantes de la tarea laboral de Reposición se valida la consistencia interna de las respuestas del

Etapa	Media	Intervalo de confianza	
1	3,57	1,92	5,22
2	4	2	6
3	4,79	2,86	6,72
4	4,86	2,94	6,78
5	5,29	3,35	7,23
6	5,79	4,03	7,55
7	5,64	3,73	7,55
8	6,07	4,05	8,09
9	5,86	3,98	7,74
10	6,14	4,11	8,17
Alfa de Cronbach			0,976

Tabla 5.3: Resumen resultados de KSS para Digitación. (Fuente: Elaboración propia basado en [83])

	P15	P17	P19	P21	P23	P25	P26	P29	P31	P33	P35	P37	P39
Mínimo	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Máximo	4	7	8	4	4	6	4	8	5	30	10	26	25
Promedio	0,19	1	1,39	0,47	0,33	1,28	0,52	0,52	0,24	4,82	2,27	3,62	7,39
Desv. est.	0,85	1,67	2,47	1,18	0,94	1,76	1,29	1,44	1,06	7,11	2,51	5,03	6,59

Tabla 5.4: Puntajes obtenidos de gestos para Digitación. (Fuente: Elaboración propia basado en [83])

cuestionario con el estadístico Alfa de Cronbach, como propone la metodología, que da un valor de 0,92, lo que confirma la fiabilidad de los resultados. La tabla 5.5 presenta el resumen de los resultados del KSS.

A continuación, en la tabla 5.6, se presenta el resumen de los resultados de etiqueta obtenidos para la fatiga observada de la tarea de Reposición.

Finalmente, se estandarizan, , cada uno de los indicadores de fatiga, utilizando z-score, en el la etapa de clusterización.

Etapas	Media	Intervalo de confianza	
1	3,71	2,22	5,2
2	3,86	2,35	5,37
3	4,36	2,97	5,75
4	4,93	3,39	6,47
5	5,07	3,48	6,66
6	5,07	3,3	6,84
7	5,71	3,85	7,57
8	5,79	4,16	7,42
9	5,93	4,03	7,83
10	6,07	4,09	8,05
Alfa de Cronbach			0,92

Tabla 5.5: Resumen resultados de KSS para Reposición. (Fuente: Elaboración propia basado en [83])

	P14	P16	P18	P20	P22	P24	P27	P28	P30	P32	P34	P36	P38	P40
Mínimo	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Máximo	20	9	6	10	10	6	20	0	17	0	0	16	19	5
Promedio	10,77	2,5	1,39	1,6	2,91	1,43	3,79	0	2,87	0	0	3,99	3,88	0,49
Desv. est.	5,5	2,67	1,75	3,2	2,57	1,61	5,49	0	4,73	0	0	4,12	5,47	1,49

Tabla 5.6: Puntajes obtenidos de gestos para Reposición. (Fuente: Elaboración propia basado en [83])

5.2.3. Extracción de características

5.2.3.1. Digitación

El procesamiento de señales según la metodología, se presentan en las tablas 5.7, 5.8, 5.9.

.	ACCX	ACCY	ACCZ	PPG	HR	HRV	EDA	SCL	SCR	SKT
Media	-1,31E-05	-6,58E-06	8,06E-06	0	82,58	774,97	5,66E+29	5,95E+27	0,012	36,18
Desv. est	0,1979	0,2814	0,2416	154,43	19,12	178,42	1,87E+31	3,23E+28	0,033	0,6
Mínimo	-4,6811	-4,0815	-4,4377	-1830,48	28,37	390,38	-1,06E+31	-3,45E+29	-0,008	34,85
Mediana	-4,44E-05	-6,28E-05	1,55E-05	-4,88	79,83	731,54	0,1852	0,2186	7,91E-08	36,36
Máximo	3,9852	4,128	4,1496	1922,8	165,42	2227,67	3,38E+32	1,09E+29	0,462	37,36

Tabla 5.7: Resumen procesamiento de señales. (Fuente: Elaboración propia basado en [83])

.	ACCX	ACCY	ACCZ	PPG	HR	HRV	EDA	SCL	SCR	SKT
Media	-6,24E-05	5,51E-05	-9,31E-06	0,0272	14,15	-8,43	-2,19E+31	2,89E+28	0,0055	-0,0188
Desv. est	0,1979	0,2814	0,2416	154,43	21,53	186,3	8,41E+31	1,11E+29	0,0368	0,4398
Mínimo	-4,6814	-4,0821	-4,4377	-1830,49	-48,85	-504,19	-3,48E+32	-1,02E+23	-0,0508	-1,0025
Mediana	-4,94E-05	-3,80E-05	-6,33E-06	-4,8573	6,05	-26,9	0,0041	0,0131	2,31E-16	-0,0077
Máximo	3,9838	4,1274	4,1496	1922,79	96,38	1370,91	9,95E+25	4,54E+29	0,4625	1,3168

Tabla 5.8: Resumen procesamiento de señales aplicando línea base. (Fuente: Elaboración propia basado en [83])

.	ACCX	ACCY	ACCZ	PPG	HR	HRV	EDA	SCL	SCR	SKT
Media	1,80E-18	-3,51E-18	1,75E-18	-4,42E-18	-1,84E-14	1,08E-15	-4,68E-14	1,31E-15	-2,10E-13	-5,85E-15
Desv. est.	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Mínimo	-24,085	-21,569	-34,501	-20,565	-4,531	-2,878	-3,712	-4,782	-3,287	-3,21
Mediana	0	0	0	-0,048	-0,04	-0,146	-0,227	-0,09	-0,175	0,109
Máximo	28,184	24,593	34,401	10,403	7,114	6,796	7,562	6,168	254,676	3,825

Tabla 5.9: Resumen procesamiento de señales aplicando línea base y estandarización. (Fuente: Elaboración propia basado en [83])

La extracción de características de la unidad de observación definida, ventana de 5 minutos con un desliz de 10 segundos, se presentan en la tabla 5.10

.	meanHR	stdHR	rangeHR	meanHRV	stdHRV	rmssdHRV	VLF	LF	HF	TP	ratioLFHF
Media	0,0735	0,7701	4,0076	0,0013	0,9593	0,0097	0,7454	0,618	0,5652	0,5507	1,3287
Desv. est.	0,5	0,3024	1,7062	0,1917	0,1203	0,0143	0,7201	0,4202	0,2742	0,4101	1,512
Mínimo	-2,1104	0,0739	0,3892	-1,7653	0,1648	0,0013	0,0032	0,0221	0,0345	0,0121	0,0134
Mediana	0,0478	0,8465	4,3647	0,01	0,9645	0,0061	0,5222	0,5242	0,5153	0,4544	1,0149
Máximo	2,9946	2,2333	8,5483	1,716	1,4078	0,0996	5,8648	6,2943	4,2734	6,2305	41,9933
.	meanEDA	stdEDA	meanSCL	meanSCR	rangeSCL	maxSCR	NpeakSCR	meanSKT	stdSKT	rangeSKT	
Media	-0,0715	0,1745	-0,0477	0,0324	0,5061	2,0729	12,27	0,0175	0,1249	0,431	
Desv. est.	0,7359	0,2135	0,7435	0,4158	0,6298	4,1346	16,19	0,8833	0,0949	0,3019	
Mínimo	-3,1648	0	-4,7818	-3,2868	0	-3,2868	0	-2,7198	0,0067	0,0194	
Mediana	-0,2249	0,1105	-0,1015	-0,0165	0,3219	0,4225	2	0,1768	0,0967	0,3502	
Máximo	4,6042	1,826	4,5909	3,9621	5,2304	254,67	55	3,3155	0,717	2,1216	

Tabla 5.10: Resumen de estadísticos de las características extraídas. (Fuente: Elaboración propia basado en [83])

5.2.3.2. Reposición

El procesamiento de señales según la metodología, se presentan en las tablas 5.11, 5.12, 5.13.

.	ACCX	ACCY	ACCZ	PPG	HR	HRV	EDA	SCL	SCR	SKT
Media	1,51E-05	1,12E-05	-1,22E-05	-0,0033	96,8942	705,79	0,7046	0,6037	0,0732	36,2043
Desv. est.	0,6182	0,7617	0,8343	289,46	21,7198	162,46	0,7038	0,6783	0,0843	0,4493
Mínimo	-5,3007	-7,1304	-7,1193	-2547,24	19,373	352,51	-0,4517	-0,0463	-0,2429	35,0286
Mediana	-1,49E-05	-9,19E-05	0,00017	-8,1232	96,751	662,81	0,5206	0,4162	0,0446	36,2197
Máximo	5,632	6,6848	7,4469	2370,85	182,95	1843,96	3,2569	2,7145	0,8242	37,3919

Tabla 5.11: Resumen procesamiento de señales. (Fuente: Elaboración propia basado en [83])

.	ACCX	ACCY	ACCZ	PPG	HR	HRV	EDA	SCL	SCR	SKT
Media	-5,24E-05	-9,45E-05	0,0002	0,0192	22,08	34,01	0,5302	0,4354	0,0701	-0,0179
Desv. est.	0,6182	0,7617	0,8343	289,46	20,61	156,55	0,572	0,5455	0,0835	0,5586
Mínimo	-5,3011	-7,1305	-7,1189	-2547,12	-47,48	-391,41	-0,7289	-0,2996	-0,2532	-1,0703
Mediana	-8,18E-05	-0,00022	0,0003	-8,1137	21,68	8,05	0,3964	0,2973	0,0432	-0,0287
Máximo	5,6316	6,6847	7,4472	2370,97	119,49	1169,1	2,434	1,9266	0,8242	1,7708

Tabla 5.12: Resumen procesamiento de señales aplicando línea base. (Fuente: Elaboración propia basado en [83])

.	ACCX	ACCY	ACCZ	PPG	HR	HRV	EDA	SCL	SCR	SKT
Media	-3,08E-18	-1,73E-20	1,00E-18	-1,75E-18	-1,11E-13	7,93E-15	-5,02E-15	-2,68E-13	4,02E-13	8,01E-16
Desv. est.	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Mínimo	-8,3359	-9,8018	-7,8849	-14,8262	-5,382	-3,34	-2,7393	-2,7215	-4,1127	-2,573
Mediana	0	-0,0001	0,0002	-0,0397	0,0834	-0,2271	0,0426	0,009	-0,1032	0,1529
Máximo	8,1344	9,1891	7,4139	13,618	4,3356	7,2966	3,0669	2,6881	238,5368	4,2375

Tabla 5.13: Resumen procesamiento de señales aplicando línea base y estandarización. (Fuente: Elaboración propia basado en [83])

La extracción de características de la unidad de observación definida, ventana de 10 minutos con un desliz de 10 segundos, se presentan en la tabla 5.14

	meanHR	stdHR	rangeHR	meanHRV	stdHRV	rmssdHRV	VLF	LF	HF	TP	ratioLFHF
Media	0,1286	0,8158	4,8404	-0,01	0,9678	0,0066	0,6155	0,5375	0,5134	0,4798	1,137
Desv. est.	0,2956	0,2227	1,4768	0,1827	0,1109	0,0016	0,4769	0,266	0,182	0,25	0,6239
Mínimo	-1,6393	0,1572	0,946	-0,5372	0,6042	0,0033	0,0028	0,0371	0,1326	0,0257	0,0312
Mediana	0,137	0,8663	5,0902	-0,0215	0,982	0,0066	0,4993	0,4931	0,492	0,4363	1,0064
Máximo	2,1281	1,7891	7,4778	0,8114	1,2754	0,0143	5,3519	3,3508	2,3065	3,4687	7,5896
	meanEDA	stdEDA	meanSCL	meanSCR	rangeSCL	maxSCR	NpeakSCR	meanSKT	stdSKT	rangeSKT	
Media	0,1316	0,2296	0,1186	0,0894	0,7361	2,6013	53,71	-0,0499	0,1671	0,6065	
Desv. est.	0,9201	0,1777	0,9287	0,5307	0,6753	1,9396	34,38	0,8773	0,1213	0,3976	
Mínimo	-2,2828	0,0007	-2,2996	-1,3795	0	-1,3788	0	-2,2223	0,0084	0,0365	
Mediana	0,2474	0,1851	0,1949	0,1174	0,5426	3,0101	62	0,1525	0,1306	0,4907	
Máximo	2,1231	1,0844	2,2061	1,8951	3,5304	8,6928	118	1,9551	0,9379	2,9874	

Tabla 5.14: Resumen de estadísticos de las características extraídas. (Fuente: Elaboración propia basado en [83])

5.2.4. Minería de datos y análisis estadístico

5.2.4.1. Digitación

A partir de las 3 dimensiones de etiquetas de fatiga estandarizadas se realiza una *clustering*. Se calcula el número óptimo de k clusters con el criterio Calinski Harabasz, donde obtenemos $k=3$, según el gráfico de la figura 5.4. Luego, se realiza una agrupación utilizando el método *k-means* cuyo resultado se presenta en la figura 5.5. A continuación, para determinar la correspondencia entre cada grupo y cada nivel de fatiga, se calcula la sumatoria de cada dimensión del centroide del *cluster* y se ordenan de menor a mayor, donde el mínimo corresponde al nivel más bajo y el máximo, al más alto. Esto es válido porque las 3 medidas de fatiga utilizadas, autoreportada, observada y de rendimiento, son directamente proporcionales a la fatiga total.

Para observar la tendencia de los niveles etiquetados de fatiga en cada participante se realiza un mapeo en el eje temporal. A continuación, se presenta un ejemplo de etiquetas para algunos participantes, ver figura 5.6. La visualización es consistente con el supuesto que no hay fatiga en el inicio de la tarea.

Por otro lado, se aplica el selector de características Boruta, a los datos de características, el cual como resultado indica que todas las características son relevantes, por lo tanto, no se desecha ninguna. En la figura 5.7 se presenta el orden de relevancia de las características

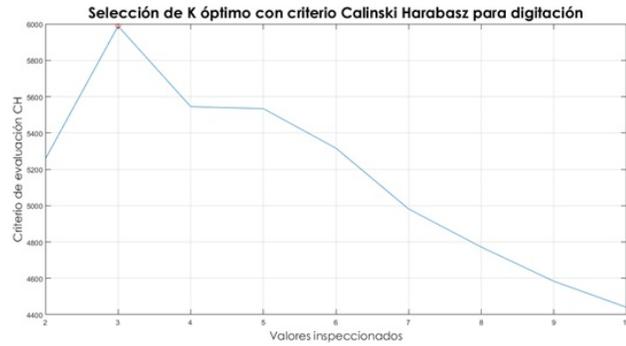


Figura 5.4: Selección de número óptimo de K clusters utilizando el criterio Calinski Harabasz para la tarea digitación. (Fuente: Informe WestLab a IST [83])

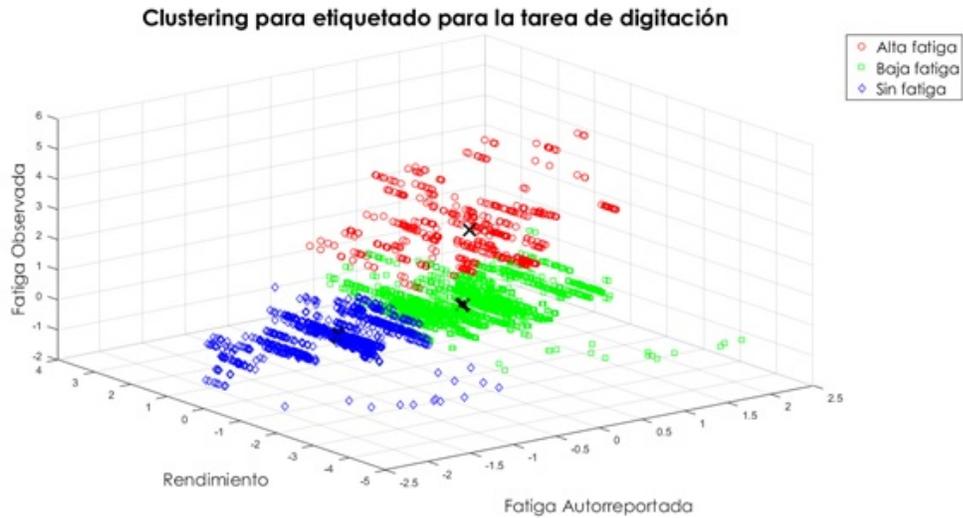


Figura 5.5: Clustering realizado para las muestras de la tarea de digitación que permite agrupar las ventanas en 3 niveles distintos de fatiga. (Fuente: Informe WestLab a IST [83])

donde las más relevantes son el promedio de la temperatura, el promedio del EDA, el rango de SCL y el promedio de HRV.

Luego, se utilizan tres modelos de clasificación: Support Vector Machine (SVM), Multi-Layer Perceptron (MLP) y Random Forest (RF). Para evitar el sobreajuste se aplica a cada modelo el método de Repeated Cross-Validation (10-fold, repetido tres veces). La tabla 5.15 resume los resultados de cada modelo utilizando las métricas de desempeño porcentuales: Accuracy, Precision, Recall, F1-score, y Kappa.

	Accuracy	Precision	Recall	F1	Kappa
SVM	83,11 %	87,78 %	67,27 %	70,40 %	66,44 %
MLP	75,21 %	77,53 %	80,89 %	78,12 %	48,35 %
RF	98,45 %	97,98 %	97,36 %	97,66 %	97,20 %

Tabla 5.15: Resumen de los modelos de clasificación para la tarea de digitación. (Fuente: Elaboración propia basado en [83])

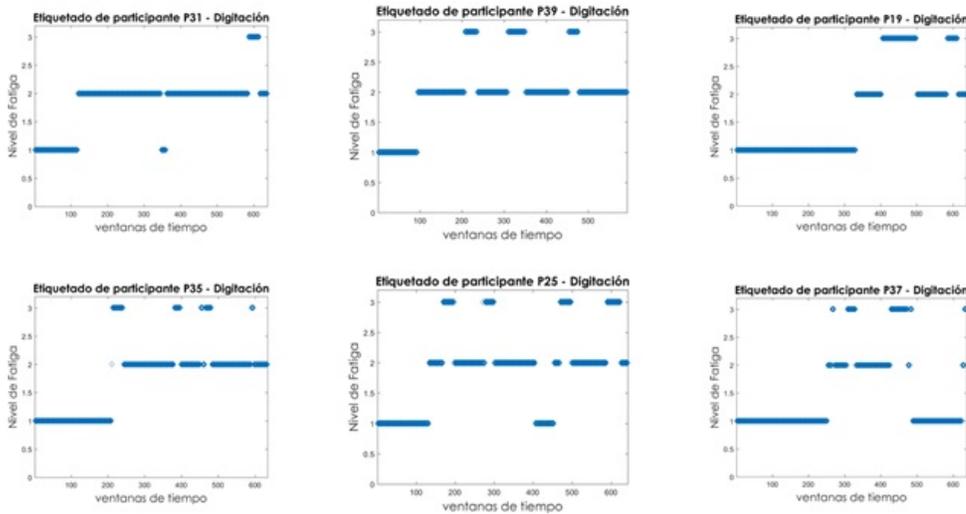


Figura 5.6: Ejemplo de etiquetado de fatiga por usuarios. 1=Sin fatiga, 2=Baja fatiga, 3=Alta fatiga (Fuente: Informe WesstLab a IST [83])

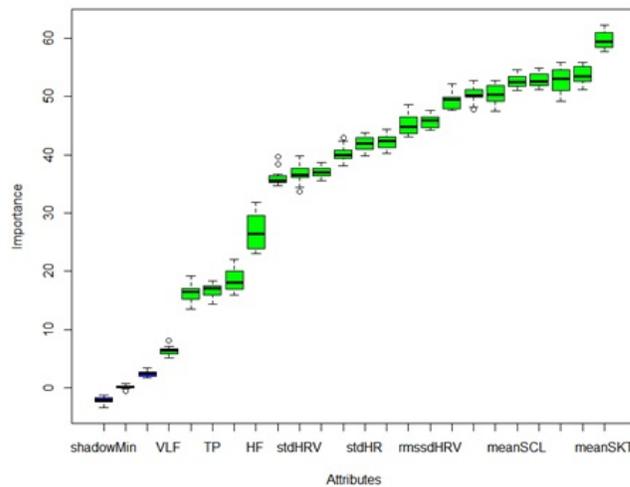


Figura 5.7: Gráfico de importancia de características obtenido con el algoritmo Boruta para la tarea de digitación. (Fuente: Informe WesstLab a IST [83])

Del análisis de la tarea de digitación, se identifica que la respuesta de los sujetos al experimento se pueden agrupar en tres grupos y que existen los siguientes marcadores fisiológicos de fatiga para la tarea: HR, la desviación estándar del EDA, media del SCR, rango del SCL, máximo del SCR y el número de peaks del SCR, la media del HRV, la media del EDA.

Para estudiar el efecto de la tarea por individuo, se analizan las respuestas fisiológicas de los sujetos a la tarea utilizando los datos de características obtenidas. Para esto se calculan las componentes principales a las características de los 15 individuos. Para este caso, se obtiene como resultado que el 100% de la variabilidad de las subcaracterísticas normalizadas, es explicada por 14 componentes principales y cada una explica el porcentaje de varianza expuesta en la tabla 5.16.

C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11	C12	C13	C14
26	16	11	0,9	0,8	0,7	0,4	0,4	0,3	0,2	0,2	0,1	0,1	0,07

Tabla 5.16: Porcentaje de la varianza explicada por las componentes principales. (Fuente: Elaboración propia basado en [83])

La clusterización de sujetos se realiza considerando las dos componentes principales. En la figura 5.8, se presenta el gráfico de dispersión de participantes.



Figura 5.8: Representación de los sujetos experimentales en las dos componentes principales. (Fuente: Informe WesstLab a IST [83])

A continuación se testean múltiples kernels de clusterización con distinto número de clusters para seleccionar la configuración óptima del Gaussian Mixture Model (GMM). En la figura 5.9 se muestran los valores obtenidos del BIC para las distintas configuraciones del GMM, en la cual se observa que el kernel full con 3 clusters es óptimo, además para corroborar esta cantidad, se calculan los valores Silhouette, ver figura 5.10.

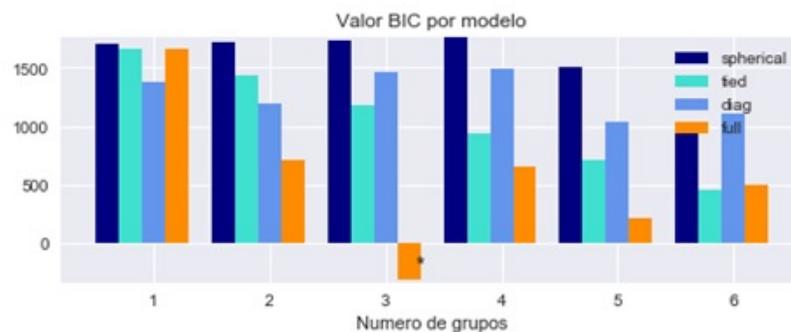


Figura 5.9: BIC para distintas configuraciones del GMM. (Fuente: Informe WesstLab a IST [83])

Luego se continúa a definir los clusters propiamente tal. Para esto se ejecutan 9 iteraciones del modelo GMM, considerando kernel full y 3 clusters, y se descartan las iteraciones donde resultan las clases demasiado desbalanceadas, escogiendo la que posee menor valor del BIC. Los valores se presentan en tabla 5.17

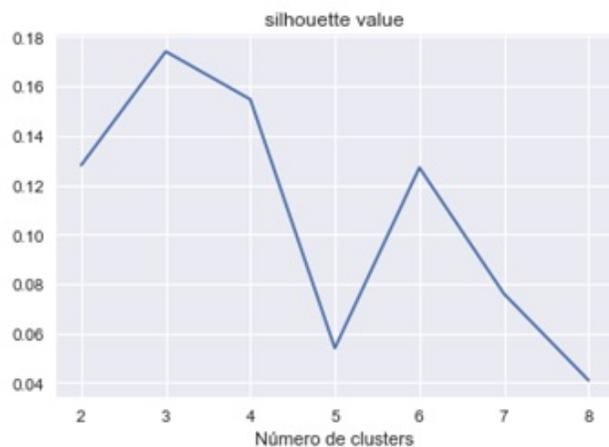


Figura 5.10: Valores Silhouette para distintos números de clusters. (Fuente: Informe WestLab a IST [83])

1	2	3	4	5	6	7	8	9
123.28	379.77	-198.04	-53.35	382.83	380.21	675.71	-153.44	380.21

Tabla 5.17: Valores BIC para distintas corridas del GMM final.(Fuente: Elaboración propia basado en [83])

Los clusters resultantes, de la iteración 3, se observan en la figura 5.11.



Figura 5.11: Clusterización final de sujetos para la tarea de digitación. (Fuente: Informe WestLab a IST [83])

Finalmente para validar los clusters extraídos se realizan las pruebas de Levene, apéndice N, y de Kruskal Wallis, apéndice Ñ. Estas pruebas permiten concluir que las varianzas de los clusters, para cada señal y tramo, son significativamente menores que al considerar todo el conjunto de señales y que las medias entre los clusters de cada tramo y señal son significativamente diferentes. Esto valida la clusterización realizada como una agrupación adecuada para la tarea de Digitación.

A continuación se describe la tarea para la muestra agregada en cuatro pasos.

- **Existe dependencia estadística entre el nivel de fatiga y los grupos de sujetos experimentales.**

Se analiza la relación existente entre los grupos de usuario encontrados con la clusterización de fatiga. Para esto se genera la tabla 5.18 de contingencia donde se especifica el número de etiquetas de fatiga para cada cluster de personas.

	Sin fatiga	Baja fatiga	Alta fatiga
Grupo 1	92	1361	2
Grupo 2	1635	2406	712
Grupo 3	218	615	118

Tabla 5.18: Número de etiquetas de fatiga por grupos de personas. $\chi^2(4)=879.62$, p-valor= $4.32e-189$. (Fuente: Elaboración propia basado en [83])

Se realiza la prueba de chi-cuadrado cuyo resultado indica que para la tarea de reposición existe dependencia entre las variables de grupo y nivel de fatiga, lo que significa que la distribución de niveles de fatiga en las ventanas de tiempo es significativamente diferente (p-valor <0.001) entre las agrupaciones de sujetos por comportamiento fisiológico. La figura 5.12 reordena la tabla 5.18 en un gráfico de barras, para observar la diferencia de ocurrencias de niveles de fatiga por cluster de usuarios.

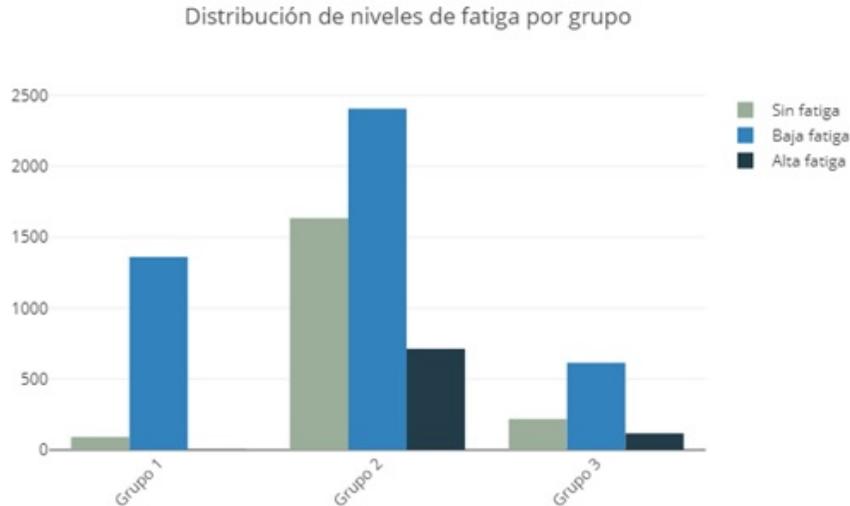


Figura 5.12: Distribucion de niveles de fatiga por grupo. (Fuente: Informe WestLab a IST [83])

Reordenando de menor a mayor, la suma de las etiquetas de fatiga baja y alta, por cada grupo, obtenemos las tendencias por cada atributo de descripción de los grupos, como se muestra en la tabla 5.19.

Respecto a estos valores no es posible concluir con significancia estadística debido a la baja cantidad de personas por grupo resultante, a pesar de esto, la tendencia de horas de sueño a la baja en grupos más fatigados es congruente con con la literatura, de la misma manera se observa que grupos con menor edad y experiencia laboral, se

				TOTAL
OBSERVACIONES DE FATIGA	733	1.363	3.118	5.214
	Grupo 3	Grupo 1	Grupo 2	Tendencia
EDAD	40,5	32	30,1	
GENERO MASCULINO	100%	66%	73%	
PROFESIONAL	100%	66%	45%	
EXPERIENCIA LABORAL	13,5	8,7	5,4	
REALIZA ACTIVIDAD FISICA	50%	33%	64%	
DURMIO BIEN ANOCHE	50%	66%	82%	
CANTIDAD HORAS DE SUEÑO	8,25	7,42	7,14	
TURNOS DE LA TARDE	100%	100%	45%	

Tabla 5.19: Descripción de los grupos de Digitación. (Fuente: Elaboración propia)

presentan más fatigados frente a una tarea de exigencia mental sostenida. Esto queda sugerido para análisis en trabajos futuros.

- **Existe una tendencia creciente de la fatiga con el avance temporal de la tarea laboral.**

Se busca establecer el crecimiento de la fatiga durante el tiempo de ejecución. Para esto, se divide el largo de la tarea en 10 tramos determinados por la ejecución del test KSS; para cada tramo se calcula la fatiga promedio, con esto se construye una curva y se realiza un ajuste lineal que representa la tendencia en el tiempo. El resultado se observa en la figura 5.13, donde la pendiente de 0,13, indica que la tarea de digitación presenta una tendencia creciente en el tiempo. Por lo tanto se espera que las personas presenten fatiga al final de su jornada laboral.

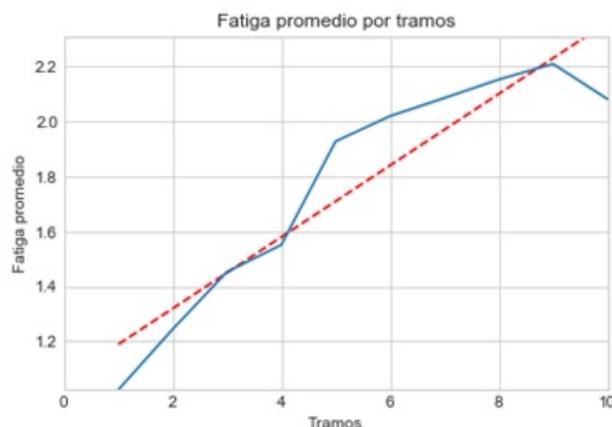


Figura 5.13: Fatiga promedio por tramos. (Fuente: Informe WestLab a IST [83])

- **Existe diferencia significativa en las medianas y varianzas de las características fisiológicas entre los niveles de fatiga.**

En este punto se estudia el comportamiento de las características fisiológicas con los niveles de fatiga. Esto se analiza utilizando la prueba de Kruskal Wallis, tabla 5.20, y la prueba de Levene, tabla 5.21, ambos con un nivel de significancia fijado en 0.001. Los resultados indican que existe un patrón de aumento entre los niveles de fatiga laboral con el meanHR, la desviación estándar del EDA, media del SCR, rango del

SCL, máximo del SCR y el número de peaks del SCR; y disminución en la media del HRV, la media del EDA. Se observa también un patrón de disminución en las medianas de VLF y LF, a pesar de que la prueba estadística no indica una diferencia significativa.

Característica	Mediana Sin fatiga	Mediana Baja fatiga	Mediana Alta fatiga	Tendencia	Patrón	p-valor
meanHR	-0.017	0.068	0.083		Aumento	0.000
stdHR	0.816	0.852	0.847			0.000
rangeHR	4.021	4.541	3.980			0.000
meanHRV	0.022	0.022	-0.032		Disminución	0.000
stdHRV	0.936	0.969	0.954			0.000
rmssdHRV	0.006	0.007	0.006			0.000
VLF	0.535	0.512	0.506		Disminución	0.152
LF	0.531	0.508	0.505		Disminución	0.006
HF	0.526	0.501	0.504			0.000
TP	0.470	0.439	0.449			0.000
ratioLFHF	1.029	1.010	1.043			0.877
meanEDA	-0.229	-0.241	-0.265		Disminución	0.000
stdEDA	0.075	0.104	0.150		Aumento	0.000
meanSCL	-0.102	-0.085	-0.200			0.001
meanSCR	-0.175	-0.017	-0.005		Aumento	0.000
rangeSCL	0.237	0.306	0.392		Aumento	0.000
maxSCR	0.285	0.519	1.800		Aumento	0.000
NpeakSCR	1.000	3.000	3.000		Aumento	0.000
meanSKT	0.005	0.281	0.029			0.000
stdSKT	0.096	0.084	0.101			0.000
rangeSKT	0.370	0.299	0.353			0.000

Tabla 5.20: Resultados de la aplicación del Test de Kruskal Wallis. (Fuente: Informe WestLab a IST [83])

Característica	Desv. est. Sin fatiga	Desv. est. Baja fatiga	Desv. est. Alta fatiga	Tendencia	Patrón	p-valor
meanHR	0.435	0.499	0.5		Aumento	0.003
stdHR	0.293	0.295	0.283			0.265
rangeHR	1.567	1.745	1.557			0.000
meanHRV	0.216	0.164	0.18			0.000
stdHRV	0.126	0.113	0.134			0.000
rmssdHRV	0.016	0.014	0.013		Disminución	0.158
VLF	0.715	0.69	0.689		Disminución	0.574
LF	0.412	0.371	0.381			0.015
HF	0.269	0.237	0.224		Disminución	0.000
TP	0.396	0.357	0.37			0.005
ratioLFHF	1.32	1.126	0.953		Disminución	0.669
meanEDA	0.693	0.705	0.664			0.035
stdEDA	0.129	0.22	0.18			0.000
meanSCL	0.735	0.703	0.673		Disminución	0.222
meanSCR	0.317	0.402	0.433		Aumento	0.000
rangeSCL	0.459	0.601	0.434			0.390
maxSCR	2.553	2.859	2.949		Aumento	0.000
NpeakSCR	12.825	17.275	14.28			0.000
meanSKT	0.968	0.82	0.672		Disminución	0.000
stdSKT	0.123	0.075	0.085			0.000
rangeSKT	0.385	0.248	0.268			0.000

Tabla 5.21: Prueba de Levene en Digitación. (Fuente: Informe WestLab a IST [83])

- **Existe diferencia significativa en las medianas y varianzas de las señales fisiológicas entre los tramos de la tarea para cada grupo de personas.**

Se analiza la evolución de las señales fisiológicas durante la ejecución de la tarea. Para esto se utilizan los test de Mood y Levene, tablas 5.22 y 5.23. Estas pruebas indican que existe diferencia significativa entre la mayoría de los tramos y para todos los conjuntos de sujetos (Grupo 1, Grupo 2, Grupo 3 y Todos) tanto para la mediana como para la desviación estándar. Lo que indica que los sujetos tienen un comportamiento fisiológico que varía en el tiempo. Se observa una baja variabilidad entre tramos, lo que se entiende dada la monotonía de la tarea.

Señal	Conjunto	t1-t2 p-valor	t2-t3 p-valor	t3-t4 p-valor	t4-t5 p-valor	t5-t6 p-valor	t6-t7 p-valor	t7-t8 p-valor	t8-t9 p-valor	t9-t10 p-valor
HR	Todos	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
	Grupo 1	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
	Grupo 2	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
	Grupo 3	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
HRV	Todos	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.001	0.000	0.000	0.000
	Grupo 1	0.000	0.369	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
	Grupo 2	0.000	0.000	0.000	0.041	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
	Grupo 3	0.003	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
EDA	Todos	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
	Grupo 1	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
	Grupo 2	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
	Grupo 3	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
SCL	Todos	0.010	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
	Grupo 1	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
	Grupo 2	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
	Grupo 3	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
SCR	Todos	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.009	0.000	0.000
	Grupo 1	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
	Grupo 2	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
	Grupo 3	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
SKT	Todos	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
	Grupo 1	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
	Grupo 2	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
	Grupo 3	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000

Tabla 5.22: Resultados de la aplicacion del Test de Mood’s Median. (Fuente: Informe WestLab a IST [83])

Señal	Conjunto	t1-t2 p-valor	t2-t3 p-valor	t3-t4 p-valor	t4-t5 p-valor	t5-t6 p-valor	t6-t7 p-valor	t7-t8 p-valor	t8-t9 p-valor	t9-t10 p-valor
HR	Todos	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
	Grupo 1	0.000	0.031	0.000	0.000	0.000	0.000	0.162	0.000	0.000
	Grupo 2	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
	Grupo 3	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
HRV	Todos	0.000	0.014	0.000	0.000	0.000	0.001	0.000	0.000	0.000
	Grupo 1	0.000	0.086	0.000	0.000	0.000	0.001	0.619	0.000	0.000
	Grupo 2	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
	Grupo 3	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
EDA	Todos	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
	Grupo 1	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
	Grupo 2	0.000	0.000	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
	Grupo 3	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
SCL	Todos	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
	Grupo 1	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
	Grupo 2	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
	Grupo 3	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
SCR	Todos	0.000	0.000	0.188	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
	Grupo 1	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
	Grupo 2	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
	Grupo 3	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.009	0.000	0.001	0.000
SKT	Todos	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
	Grupo 1	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
	Grupo 2	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
	Grupo 3	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000

Tabla 5.23: Resultados de la aplicacion del Test de Levene. (Fuente: Informe WestLab a IST [83])

5.2.4.2. Reposición

A partir de las 3 dimensiones de etiquetas estandarizadas se realiza una *clusterización*. Se calcula el número óptimo de k clusters con el criterio Calinski Harabasz, donde obtenemos $k=3$, según el gráfico de la figura 5.14. Luego, se realiza una agrupación utilizando el método *k-means* cuyo resultado se presenta en la figura 5.15. A continuación para determinar la correspondencia entre cada grupo y cada nivel de fatiga, se calcula la sumatoria de cada dimensión del centroide del cluster y se ordenan de menor a mayor, donde el mínimo corresponde al nivel más bajo y el máximo, al más alto. Esto es válido porque las 3 medidas de fatiga utilizadas, autoreportada, observada y de rendimiento, son directamente proporcionales a la fatiga total.

Para observar la tendencia de los niveles etiquetados de fatiga en cada participante se realiza un mapeo en el eje temporal. A continuación, se presenta un ejemplo de etiquetas para algunos participantes, ver figura 5.16. La visualización es consistente con el supuesto que no hay fatiga en el inicio de la tarea.

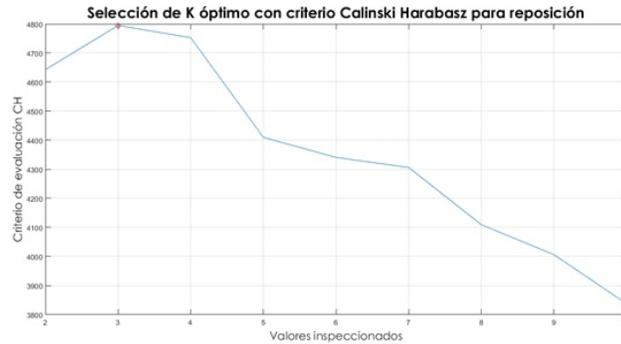


Figura 5.14: Selección de número óptimo de K clusters utilizando el criterio Calinski Harabasz para la tarea reposición. (Fuente: Informe WesstLab a IST [83])

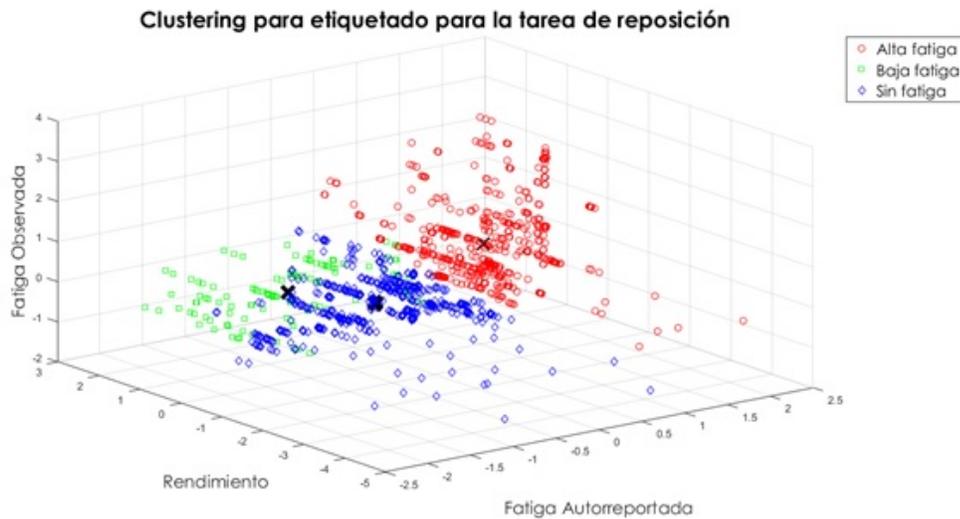


Figura 5.15: Clustering realizado para las muestras de la tarea de digitación que permite agrupar las ventanas en 3 niveles distintos de fatiga. (Fuente: Informe WesstLab a IST [83])

Por otro lado, se aplica el selector de características Boruta, a los datos de características, el cual como resultado indica que todas las características son relevantes, por lo tanto, no se desecha ninguna. En la figura 5.17 se presenta el orden de relevancia de las características donde las más relevantes son el promedio de la temperatura, el promedio del EDA, el rango de SCL y el promedio de HRV.

Luego, se utilizan tres modelos de clasificación: Support Vector Machine (SVM), Multi-Layer Perceptron (MLP) y Random Forest (RF). Para evitar el sobreajuste se aplica a cada modelo el método de Repeated Cross-Validation (10-fold, repetido tres veces). La Tabla 5.24 resume los resultados de cada modelo utilizando las métricas de desempeño porcentuales: Accuracy, Precision, Recall, F1-score, y Kappa.

Del análisis de la tarea de reposición, se identifica que la respuesta de los sujetos al experimento se pueden agrupar en tres grupos y que existen los siguientes marcadores fisiológicos de fatiga para la tarea: rango HR, rmsdHRV, HF y el número de peaks del SCR.

Para estudiar el efecto de la tarea por individuo, se analizan las respuestas fisiológicas de

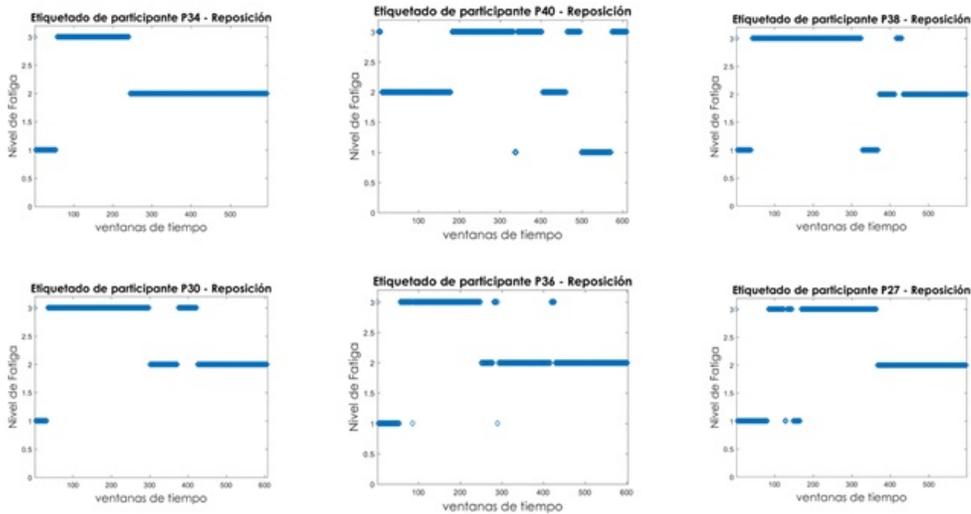


Figura 5.16: Ejemplo de etiquetado de fatiga por usuario. 1=Sin fatiga, 2=Baja fatiga, 3=Alta fatiga. (Fuente: Informe WestLab a IST [83])

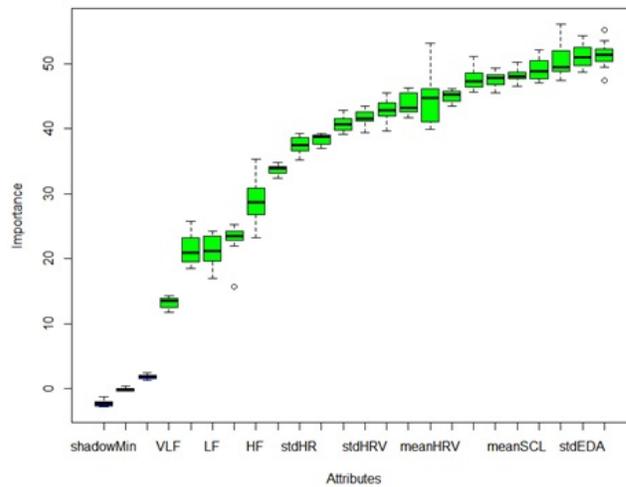


Figura 5.17: Gráfico de importancia de características obtenido con el algoritmo Boruta para la tarea de reposición. (Fuente: Informe WestLab a IST [83])

	Accuracy	Precision	Recall	F1	Kappa
SVM	87,49 %	88,32 %	83,70 %	85,57 %	78,66 %
MLP	63,82 %	73,69 %	62,57 %	61,72 %	40,17 %
RF	97,71 %	97,17 %	97,25 %	97,21 %	96,14 %

Tabla 5.24: Resumen de los modelos de clasificación para la tarea de reposición. (Fuente: Elaboración propia basado en [83])

los sujetos a la tarea utilizando los datos de características obtenidas. Para esto se calculan las componentes principales a las características de los 14 individuos. Para este caso, se obtiene como resultado que el 100 % de la variabilidad de las subcaracterísticas normalizadas, es explicada por 13 componentes principales y cada una explica el porcentaje de varianza

expuesta en la tabla 5.25.

C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11	C12	C13
28,8	15,4	1,19	0,85	0,72	0,67	0,52	0,39	0,33	0,27	0,26	0,21	0,17

Tabla 5.25: Porcentaje de la varianza explicada por las componentes principales. (Fuente: Elaboración propia basado en [83])

La clusterización de sujetos se realiza considerando las dos componentes principales. En la figura 5.18, se presenta el gráfico de dispersión de participantes.

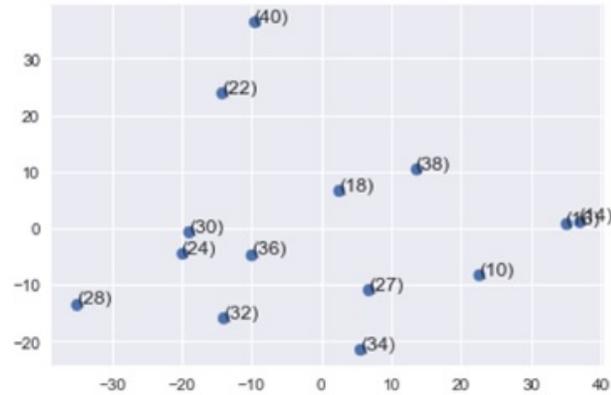


Figura 5.18: Representación de los sujetos experimentales en las dos componentes principales más significativas. (Fuente: Informe WestLab a IST [84])

A continuación se testean múltiples kernels de clusterización con distinto número de clusters para seleccionar la configuración óptima del Gaussian Mixture Mode (GMM). En la figura 5.19 se muestran los valores obtenidos del BIC para las distintas configuraciones del GMM, en la cual se observa que el kernel full con 3 clusters es óptimo, además para corroborar esta cantidad, se calculan los valores Silhouette, ver figura 5.20.

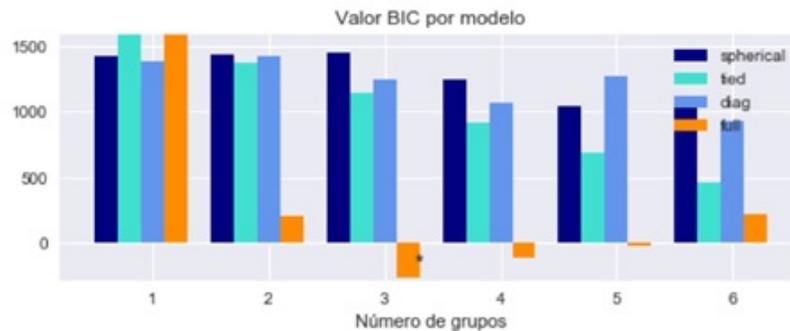


Figura 5.19: BIC para distintas configuraciones del GMM. (Fuente: Informe WestLab a IST [83])

Luego se continúa a definir los clusters propiamente tal. Para esto se ejecutan 5 iteraciones del modelo GMM, considerando kernel full y 3 clusters, y se descartan las iteraciones donde resultan las clases demasiado desbalanceadas, escogiendo la que posee menor valor del BIC. Los valores se presentan en tabla 5.26

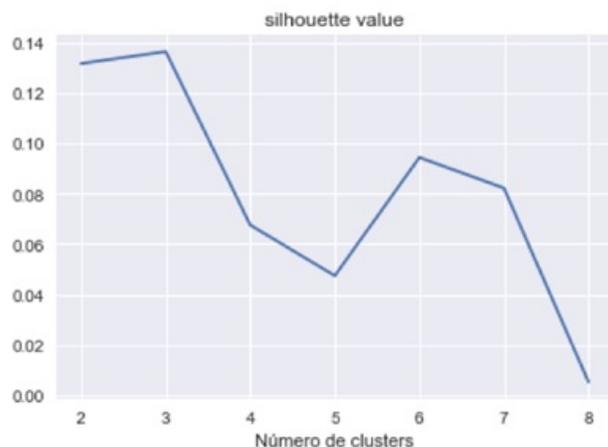


Figura 5.20: Valores Silhouette para distintos números de clusters. (Fuente: Informe WestLab a IST [83])

1	2	3	4	5
-117.48	-112.50	-79.41	-227.78	-220.62

Tabla 5.26: Valores BIC para distintas corridas del GMM final. (Fuente: Elaboración propia basado en [83])

Los clusters resultantes, de la iteración 4, se observan en la figura 5.21

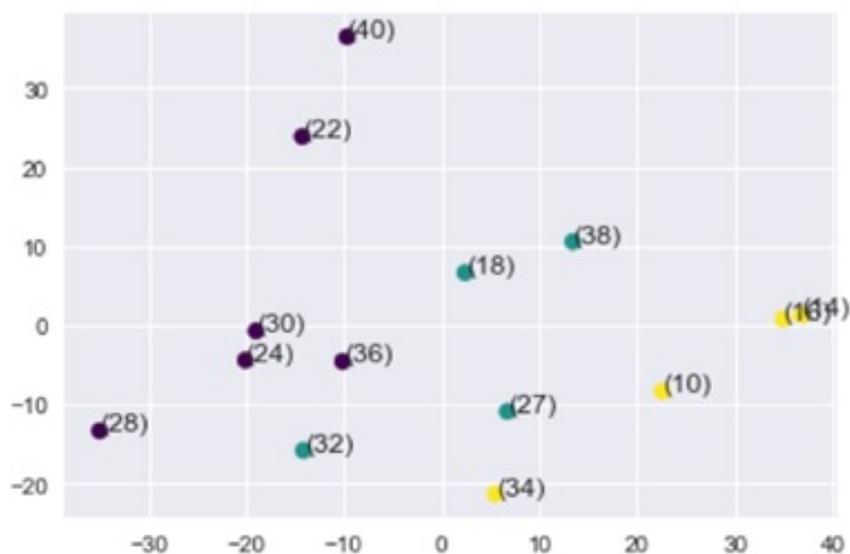


Figura 5.21: Clusterización final de sujetos para la tarea de reposición. (Fuente: Informe WestLab a IST [84])

Finalmente para validar los clusters extraídos se realizan las pruebas de Levene, apéndice O, y de Kruskal Wallis, apéndice P. Estas pruebas permiten concluir que las varianzas de los clusters, para cada señal y tramo, son significativamente menores que al considerar todo el conjunto de señales y que las medias entre los clusters de cada tramo y señal son significativamente diferentes. Esto valida la clusterización realizada como una agrupación adecuada

para la tarea de reposición.

A continuación se describe la tarea para la muestra agregada en cuatro pasos.

- **Existe dependencia estadística entre el nivel de fatiga y los grupos de sujetos experimentales.**

Se analiza la relación existente entre los grupos de usuario encontrados con la clusterización de fatiga. Para esto se genera la tabla 5.27 de contingencia donde se especifica el número de etiquetas de fatiga para cada cluster de personas.

	Sin fatiga	Baja fatiga	Alta fatiga
Grupo 1	17	499	879
Grupo 2	125	516	682
Grupo 3	199	997	822

Tabla 5.27: Número de etiquetas de fatiga por grupos de personas. $\chi^2(4)=221.69$, p-valor=8.11e-47. (Fuente: Elaboración propia basado en [83])

Se realiza la prueba de chi-cuadrado cuyo resultado indica que para la tarea de reposición existe dependencia entre las variables de grupo y nivel de fatiga, lo que significa que la distribución de niveles de fatiga en las ventanas de tiempo es significativamente diferente (p-valor<0.001) entre las agrupaciones de sujetos por comportamiento fisiológico. La figura 5.22 reordena la tabla 5.27 en un gráfico de barras, para observar la diferencia de ocurrencias de niveles de fatiga por cluster de usuarios.



Figura 5.22: Distribucion de niveles de fatiga por grupo. (Fuente: Informe WestLab a IST [84])

Reordenando de menor a mayor, la suma de las etiquetas de fatiga baja y alta, por cada grupo, obtenemos las tendencias por cada atributo de descripción de los grupos, como se muestra en la tabla 5.28.

Respecto a estos valores no es posible concluir con significancia estadística debido a la baja cantidad de personas por grupo resultante, a pesar de esto, la tendencia de horas de sueño a la baja en grupos más fatigados es congruente con con la literatura, de la misma manera se observa que grupos con mayor edad, experiencia laboral y profesionales, se

				TOTAL
OBSERVACIONES DE FATIGA	1.198	1.378	1.819	4.395
	Grupo 2	Grupo 1	Grupo 3	Tendencia
EDAD	29	26,8	33,8	
GENERO MASCULINO	50%	75%	63%	
PROFESIONAL	50%	50%	75%	
EXPERIENCIA LABORAL	5,75	0,25	9,94	
REALIZA ACTIVIDAD FISICA	25%	50%	38%	
DURMIO BIEN ANOCHE	100%	100%	100%	
CANTIDAD HORAS DE SUEÑO	7,69	7	7,19	
TURNOS DE LA TARDE	75%	50%	50%	

Tabla 5.28: Descripción de los grupos de Reposición. (Fuente: Elaboración propia)

presentan más fatigados frente a una tarea de exigencia física. Esto queda sugerido para análisis en trabajos futuros.

- **Existe una tendencia creciente de la fatiga con el avance temporal de la tarea laboral.**

Se busca establecer el crecimiento de la fatiga durante el tiempo de ejecución. Para esto, se divide el largo de la tarea en 10 tramos determinados por la ejecución del test KSS; para cada tramo se calcula la fatiga promedio, con esto se construye una curva y se realiza un ajuste lineal que representa la tendencia en el tiempo. El resultado se observa en la figura 5.23, donde la pendiente de 0,02. indica que la tarea de reposición presenta una tendencia creciente leve en el tiempo, y se observa variabilidad por tramos, si bien cumple con su aumento en el tiempo, razones de preparación física o capacidad reguladora del cuerpo frente a exigencias físicas continuas, podrían influir en estos resultados.

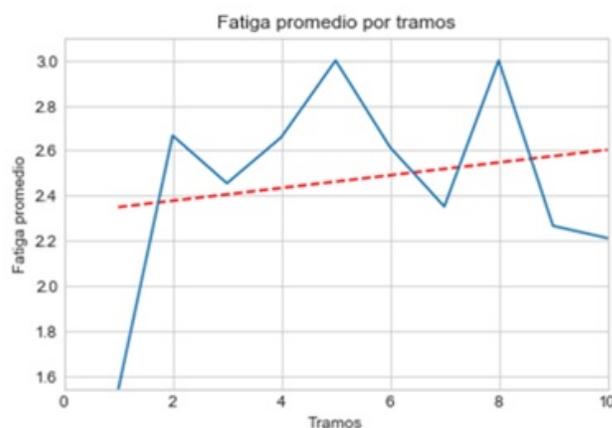


Figura 5.23: Fatiga promedio por tramos. (Fuente: Informe WestLab a IST [84])

- **Existe diferencia significativa en las medianas y varianzas de las características psicofisiológicas entre los niveles de fatiga.**

En este punto se estudia el comportamiento de las características fisiológicas con los niveles de fatiga. Esto se analiza utilizando la prueba de Kruskal Wallis, tabla 5.29, y la prueba de Levene 5.30, ambos con un nivel de significancia fijado en 0.001. Los

resultados indican que existe un patrón de aumento entre los niveles de fatiga laboral con el rango del HR, la rmssdHRV, HF y el número de peaks del SCR. Se observa también un patrón de disminución entre los niveles de fatiga laboral con el valor del ratio LF/HF, a pesar de que la prueba estadística no indica una diferencia significativa.

Característica	Mediana Sin fatiga	Mediana Baja fatiga	Mediana Alta fatiga	Tendencia	Patrón	p-valor
meanHR	0.026	0.204	0.138			0.000
stdHR	0.846	0.832	0.899			0.000
rangeHR	4.556	4.883	5.24		Aumento	0.000
meanHRV	0.028	-0.074	-0.031			0.004
stdHRV	0.984	0.965	0.993			0.000
rmssdHRV	0.006	0.006	0.007		Aumento	0.000
VLF	0.502	0.482	0.506			0.247
LF	0.506	0.474	0.504			0.002
HF	0.473	0.473	0.51		Aumento	0.000
TP	0.449	0.421	0.446			0.005
ratioLFHF	1.073	1.003	0.988		Disminución	0.112
meanEDA	-0.611	0.478	0.147			0.000
stdEDA	0.177	0.199	0.19			0.000
meanSCL	-0.626	0.46	0.084			0.000
meanSCR	-0.008	0.203	0.179			0.000
rangeSCL	0.67	0.564	0.567			0.019
maxSCR	1.388	3.286	3.01			0.000
NpeakSCR	27.5	64	68		Aumento	0.000
meanSKT	-0.539	0.509	-0.128			0.000
stdSKT	0.155	0.099	0.136			0.000
rangeSKT	0.531	0.378	0.513			0.000

Tabla 5.29: Resultados de la aplicación del Test de Kruskal Wallis. (Fuente: Informe WesstLab a IST [83])

Característica	Desv. Est. Sin fatiga	Desv. Est. Baja fatiga	Desv. Est. Alta fatiga	Tendencia	Patrón	p-valor
meanHR	0.331	0.250	0.250		Disminución	0.000
stdHR	0.220	0.211	0.231			0.000
rangeHR	1.490	1.364	1.588			0.000
meanHRV	0.190	0.169	0.164		Disminución	0.000
stdHRV	0.125	0.105	0.111			0.000
rmssdHRV	0.002	0.001	0.002			0.892
VLF	0.455	0.427	0.446			0.606
LF	0.199	0.220	0.238		Aumento	0.000
HF	0.136	0.166	0.163			0.001
TP	0.191	0.204	0.219		Aumento	0.001
ratioLFHF	0.500	0.523	0.593		Aumento	0.001
meanEDA	1.150	0.769	0.918			0.000
stdEDA	0.183	0.154	0.175			0.000
meanSCL	1.173	0.756	0.927			0.000
meanSCR	0.518	0.426	0.508			0.000
rangeSCL	0.687	0.698	0.635			0.053
maxSCR	1.595	2.073	1.693			0.000
NpeakSCR	39.271	33.914	32.382		Disminución	0.000
meanSKT	0.938	0.611	0.971			0.000
stdSKT	0.150	0.095	0.141			0.000
rangeSKT	0.500	0.325	0.458			0.000

Tabla 5.30: Prueba de Levene en Reposición. (Fuente: Informe WesstLab a IST [83])

- **Existe diferencia significativa en las medianas y varianzas de las señales fisiológicas entre los tramos de la tarea para cada grupo de personas.**

Se analiza la evolución de las señales fisiológicas durante la ejecución de la tarea. Para esto se utilizan los test de Mood y Levene, tabla 5.31 y 5.32. Estas pruebas indican que existe diferencia significativa entre la mayoría de los tramos y para todos los conjuntos de sujetos (Grupo 1, Grupo 2, Grupo 3 y Todos) tanto para la mediana como para la desviación estándar. Lo que indica que los sujetos tienen un comportamiento fisiológico que varía en el tiempo. Se observa una alta variabilidad entre tramos, lo que se entiende dada la no monotonía de la tarea laboral, esto se relaciona con punto anterior respecto a que hay mayor variabilidad entre tramos en los valores de la fatiga.

Señal	Conjunto	t1-t2 p-valor	t2-t3 p-valor	t3-t4 p-valor	t4-t5 p-valor	t5-t6 p-valor	t6-t7 p-valor	t7-t8 p-valor	t8-t9 p-valor	t9-t10 p-valor
HR	Todos	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
	Grupo 1	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
	Grupo 2	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.404	0.000	0.000	0.000
	Grupo 3	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
HRV	Todos	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.399	0.000	0.000
	Grupo 1	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
	Grupo 2	0.000	0.000	0.000	0.000	0.343	0.000	0.004	0.000	0.000
	Grupo 3	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
EDA	Todos	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
	Grupo 1	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
	Grupo 2	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
	Grupo 3	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
SCL	Todos	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
	Grupo 1	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
	Grupo 2	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
	Grupo 3	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
SCR	Todos	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
	Grupo 1	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
	Grupo 2	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
	Grupo 3	0.000	0.000	0.000	0.002	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
SKT	Todos	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
	Grupo 1	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
	Grupo 2	0.000	0.000	0.000	0.000	0.662	0.000	0.000	0.000	0.000
	Grupo 3	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000

Tabla 5.31: Resultados del test de Mood's median. (Fuente: Informe WestLab a IST [83])

Señal	Conjunto	t1-t2 p-valor	t2-t3 p-valor	t3-t4 p-valor	t4-t5 p-valor	t5-t6 p-valor	t6-t7 p-valor	t7-t8 p-valor	t8-t9 p-valor	t9-t10 p-valor
HR	Todos	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.963
	Grupo 1	0.000	0.000	0.000	0.008	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
	Grupo 2	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
	Grupo 3	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
HRV	Todos	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.002	0.000	0.000	0.000
	Grupo 1	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
	Grupo 2	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
	Grupo 3	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
EDA	Todos	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.981	0.000
	Grupo 1	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.028	0.000
	Grupo 2	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.094	0.000
	Grupo 3	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
SCL	Todos	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
	Grupo 1	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
	Grupo 2	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
	Grupo 3	0.000	0.000	0.000	0.000	0.851	0.000	0.000	0.000	0.000
SCR	Todos	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
	Grupo 1	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
	Grupo 2	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
	Grupo 3	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
SKT	Todos	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
	Grupo 1	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
	Grupo 2	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
	Grupo 3	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000

Tabla 5.32: Resultados del test de Levene. (Fuente: Informe WestLab a IST [83])

Capítulo 6

Discusión de resultados

6.1. Validación instrumento Biomonitor

La mediana de correlación obtenida para la señal EDA y PPG, entre Biomonitor y Shimmer, se presentan en la tabla 6.1.

	EDA	PPG
\tilde{r}	0,59	0,78

Tabla 6.1: Mediana de correlación entre Biomonitor y Shimmer ($p < 0,001$). (Fuente: Elaboración propia)

Para el caso de la señal EDA, se obtuvo una correlación positiva moderada fuerte, mientras que para el caso del pulso cardíaco, una correlación positiva fuerte. Paralelamente, la correlación entre el sensor Contec y Biomonitor fue $\tilde{r}=0,63$, esta menor correlación, pero aún moderada fuerte, está asociada a la distinta ubicación de captura, mientras Contec mide en el dedo índice, Biomonitor lo hace en la muñeca dorsal, también podrían asociarse las diferencias físicas y técnicas entre los sensores. Respecto a la ubicación, aunque fuera la misma, de todas maneras se espera que no sean idénticas medidas. El amplio rango de valores de correlación, que incluyó incluso valores negativos, también dan cuenta de la diferencia en las zonas de medición y materialidades de ambos sensores.

De todas maneras, la correlación obtenida indica que los patrones de las mediciones de toda la sesión experimental, se comportan de la misma manera ya sea en dedos o muñeca.

Tanto para el pulso como para la conductancia de la piel, se evidenció una disminución en las etapas de reposo y se incrementó durante las pruebas cognitiva y emocional. Las correlaciones entre el prototipo Biomonitor y Shimmer indican que el dispositivo funciona según su diseño conceptual.

En la señal EDA, debido al efecto de habituación, se evidencia en la disminución de la reacción al estímulo repetido en el caso de la prueba emocional, donde se sometió a varias escenas de terror.

Biomonitor tiene una construcción de material textil, que podría haber significado una absorción de humedad en desmedro de los resultados obtenidos, para la señal EDA.

Después de cada experimento se podía constatar un buena fijación de los electrodos a la piel, entregando confiabilidad de uso de este sensor en la muñeca, por lo otro lado, se observaba que en muchos casos, los electrodos no quedaban en la misma posición para todos los participantes, debido a la falta de ajustabilidad en las tallas de cada uno, presentando una desviación hacia el costado de la muñeca. Para la señal EDA, esto también es fuente de explicación para una correlación más baja, pero aún así fue positiva moderada fuerte. Por otro lado, la posición del sensor óptico, de ambos sensores, siempre fue la misma para todos los participantes.

6.2. Tareas Laborales

De acuerdo a los puntos de análisis y resultados de la metodología, señalados en secciones 3.10 y 3.11, se discuten a continuación los resultados de las tareas laborales.

6.2.1. Digitación

- **Existencia de dependencia estadística entre el nivel de fatiga y los grupos de personas.**

La prueba de chi-cuadrado indica que existe dependencia entre las variables de grupo y nivel de fatiga, lo que significa que la distribución de niveles de fatiga en las ventanas de tiempo es significativamente diferente ($p\text{-valor} < 0.001$) entre las agrupaciones de sujetos por comportamiento fisiológico.

El grupo 1 prácticamente no experimentó un estado de Alta fatiga y poco de Sin fatiga, este grupo se mantuvo mayoritariamente en un estado de baja fatiga. Mientras que el grupo 2 y 3 poseen una mayor distribución entre los niveles de fatiga. De todas maneras los 3 grupos presentaron una mayor concentración en el nivel de Baja fatiga.

- **Existencia de una tendencia creciente de la fatiga con el avance temporal de la tarea laboral.**

Al aplicar una regresión lineal a los valores de fatiga en el tiempo, se obtiene una pendiente 0,13, lo que indica una tendencia creciente de la fatiga en el tiempo, por lo tanto es de esperar que las personas experimenten mayor fatiga al final de la jornada laboral.

- **Existencia de diferencia significativa en las medianas y varianzas de las características fisiológicas entre los niveles de fatiga.**

Los resultados indican que hubo un patrón de aumento entre los niveles de fatiga laboral con la media del HR, la desviación estándar del EDA, media del SCR, rango del SCL, máximo del SCR y el número de peaks del SCR.

De la misma manera, existe un patrón de disminución entre los niveles de fatiga laboral con la media del HRV, la media del EDA y a pesar de que no existe diferencia

significativa existe una clara tendencia a la disminución en las medianas de VLF y LF. Además si bien no existe una tendencia clara con el aumento de la fatiga, existe diferencia significativa en la mayoría.

Los resultados de características del HRV indican que en momentos sin fatiga el sistema nervioso simpático aumenta su actividad manteniendo al sujeto en un estado más alerta mientras que en estado de fatiga disminuye su actividad llevando al sujeto a un estado de normalidad, mientras que los resultados de la componente fásica del EDA (SCR) indican que en estados de alta fatiga el sujeto se encuentra más sensible ante estímulos sorpresivos y los resultados del EDA su componente tónica (SCL) disminuye en momento de alta fatiga lo que sugiere que también disminuye la capacidad de atención sostenida del sujeto.

- **Existencia de diferencia significativa en las medianas y varianzas de las señales psicofisiológicas, entre los tramos temporales de la tarea para cada grupo de sujetos.**

En las figuras 6.1 y 6.2, se observa la evolución de los valores promedio y desviación estándar, y los resultados en tablas 5.22 y 5.23

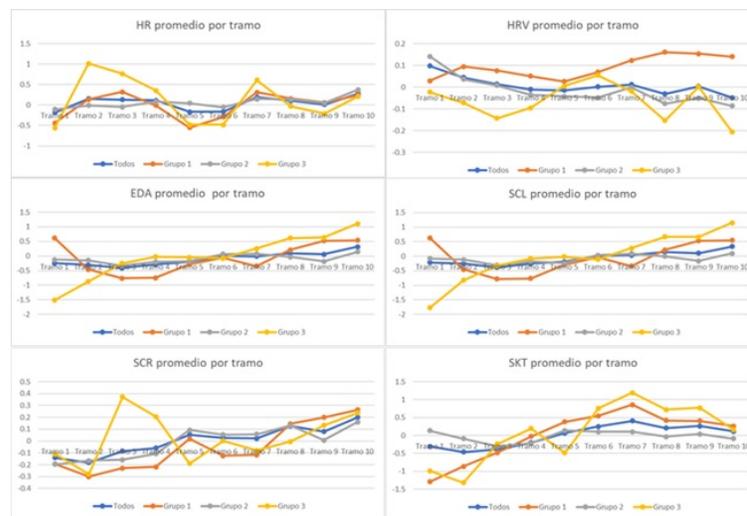


Figura 6.1: Valores promedio de señales fisiológicas. (Fuente: Informe WesstLab a IST [83])

Se establece que existe diferencia significativa entre la mayoría de los tramos y para todos los conjuntos de sujetos tanto para la mediana como para la desviación estándar. Lo que indica que los sujetos tienen un comportamiento fisiológico que varía en el tiempo.

En todos los casos, tanto para la visualización de los promedios y desviación estándar, se observa que el grupo 2 contiene a los sujetos experimentales con un comportamiento similar al promedio general mientras que el grupo 1 y 3 difieren, sin embargo, son los grupos con menor cantidad de sujetos. Es posible concluir que esta tarea tiene menor diferencia entre sujetos, lo que se puede deber a que es una tarea mental de baja complejidad. Además, se observa un comportamiento más estable en el tiempo que tiene relación con la monotonía de la tarea.



Figura 6.2: Desviación estándar de señales fisiológicas. (Fuente: Informe WesstLab a IST [83])

6.2.2. Reposición

- **Existe dependencia estadística entre el nivel de fatiga y los grupos de personas.**

La prueba de chi-cuadrado indica que existe dependencia entre las variables de grupo y nivel de fatiga, lo que significa que la distribución de niveles de fatiga en las ventanas de tiempo es significativamente ($p\text{-valor} < 0.001$) diferente entre las agrupaciones de sujetos por comportamiento fisiológico.

El grupo 1 presenta mayor número de etiquetas de alta fatiga y casi no tuvo momentos sin fatiga, mientras que el grupo 3 presentó en mayor medida un nivel de baja fatiga.

- **Existe una tendencia creciente de la fatiga con el avance temporal de la tarea laboral.**

Al aplicar una regresión lineal a los valores de fatiga en el tiempo, se obtiene una pendiente 0,02. Esto indica una variación incremental baja de la fatiga y además presenta variabilidad, si bien se puede esperar que una persona termine más fatigada al final de la jornada, ésta puede no sentirse quizás tan cansada, a pesar de ser una tarea física. El diseño experimental de Reposición incluía pequeñas pausas de transición entre las actividades de la tarea, dándole variabilidad entre tramos, pero dado que es una tarea de exigencia física, alcanzó mayores valores de fatiga con respecto a la de Digitación.

- **Existe diferencia significativa en las medianas y varianzas de las características fisiológicas entre los niveles de fatiga.**

Los resultados indican que existe una tendencia de aumento entre los niveles de fatiga laboral con el rango del HR, la $rmsdHRV$, HF y el número de peaks del SCR. A su vez, se observa una tendencia de disminución entre los niveles de fatiga con el valor del ratio LF/HF, a pesar de que la prueba estadística no indica una diferencia significativa. Estos resultados sugieren que, cuando la persona se encuentra en un nivel de alta fatiga la actividad cardíaca presenta mayor variabilidad debido a la exigencia física de la tarea. Por otro lado, debido a la disminución del Ratio LF/HF el sujeto experimenta alta fatiga cuando existe menor carga mental y el aumento del HF alude a que la fatiga mental se hace presente cuando el sistema nervioso parasimpático entra en activación,

es decir, existe una disminución de recursos cognitivos disponibles en ese momento. En la misma línea, se produce el aumento en la componente fásica del EDA (SCR) que sugiere una mayor sensibilidad ante estímulos sorprendidos.

- **Existe diferencia significativa en las medianas y varianzas de las señales fisiológicas entre los tramos temporales de la tarea para cada grupo de sujetos.**

En las figuras 6.3 y 6.4, se observa la evolución de los valores promedio y desviación estándar, y los resultados de las pruebas de Mood's median y Levene en la tabla 5.31 y 5.30, respectivamente. Se establece que existe diferencia significativa entre la mayoría de los tramos y para todos los conjuntos de sujetos tanto para la mediana como para la desviación estándar. Lo que indica que los sujetos tienen un comportamiento fisiológico que varía en el tiempo.

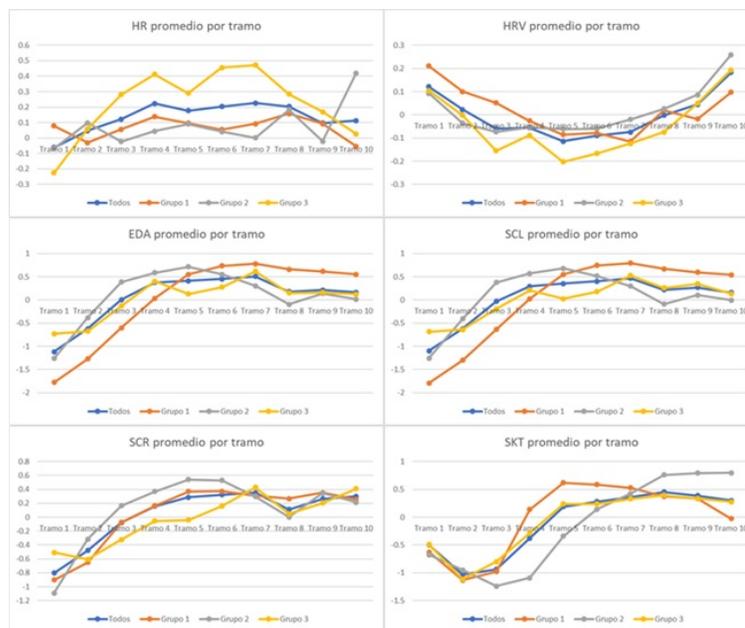


Figura 6.3: Valores promedio de señales fisiológicas. (Fuente: Informe WesstLab a IST [83])

A diferencia con la tarea de Digitación, en esta tarea laboral se observa un comportamiento fisiológico distinto entre todos los grupos, esto puede ocurrir porque al ser una tarea con exigencia física, acentúa las diferencias fisiológicas entre sujetos y por lo tanto también su capacidad para ejecutarla con menores errores por estado de alerta del cuerpo.

También se observa que esta tarea presenta mayor variabilidad entre tramos, lo que se puede deber a la ausencia de monotonía de la tarea laboral, al estar dividida en tres actividades y someter al cuerpo a reaccionar físicamente a sus exigencias.

Ambas tareas presentan resultados esperados al aplicar la metodología. Se encuentran diferencias estadísticas significativas para las señales de variación del pulso cardíaco, componentes fásicos y tónicos del EDA, promedio y rango de temperatura del sujeto. Se encuentran marcadores fisiológicos de fatiga por tareas. Esto evidencia la factibilidad de detectar fatiga de forma automática y en tiempo real.

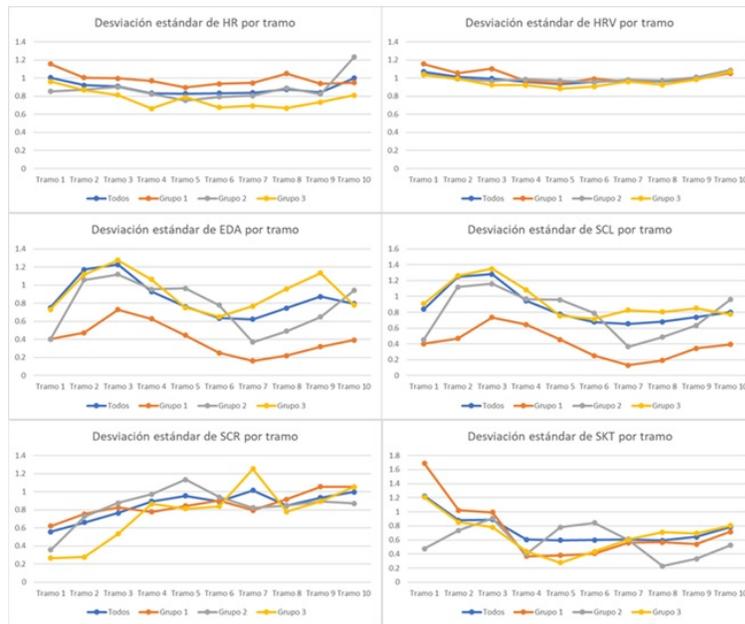


Figura 6.4: Desviación estándar de señales fisiológicas. (Fuente: Informe WesstLab a IST [83])

6.2.3. Exclusión del sensor de contexto

Una limitación de este trabajo fue la estabilidad de las condiciones ambientales de la sala de experimentos. Por lo tanto, no se utilizó en los análisis los datos obtenidos por el sensor de contexto. La información de los datos obtenidos por todas las sesiones experimentales se presentan en la tabla 6.2, en el apéndice K se presentan las condiciones obtenidas por cada participante.

	Humedad (HR %)	Temperatura (°C)	CO2 (ppm)	Sonido (señal análoga)
Promedio	44,779	25,206	444,491	173,701
Desv. Est.	0,885	0,467	36,295	16,919
% Desv. Est.	1,991 %	1,848 %	7,481 %	9,730 %

Tabla 6.2: Información del sensor de contexto. (Fuente: Elaboración propia)

La variación de rendimientos en tareas en condiciones de oficinas, se evidencian con diferencias de al menos 3 grados Celcius en el ambiente [80][60]. Las condiciones de confort para interiores en edificios recomendado por la ASHRAE (*American Society of Heating, Refrigerating, and Air Conditioning Engineers*), y que sirven como norma de referencia para los diseños de instalaciones en todo el mundo, oscilan entre 22,2°C y 26,6°C, para la temporada de verano, que corresponde al período de realización del experimento, y una humedad relativa entre 30 % y 60 %. Las condiciones registradas durante las sesiones fue una temperatura promedio de 25,2°C con una desviación estándar de 1,8 %, y una humedad de 44,7 % y desviación estándar de 1,9 %, esto equivale a que ambas medidas no presentaron variaciones de más de una unidad durante las sesiones experimentales.

Respecto al CO₂, estudios de concentración de este gas en lugares de trabajo por exposición al proceso o a recintos mal ventilados, han determinado que los efectos de fatiga y dificultad para concentración comienzan desde los 1000 ppm [42]. En este estudio los niveles de CO₂ fueron 444 ppm en promedio con una desviación estándar de 7,4%. En Chile, el Instituto de Salud Pública, recomienda que el nivel de dióxido de carbono para ambientes interiores no supere las 1.000 ppm. Los trabajadores en un edificio presentaron un puntaje 50 % menor en funciones cognitivas, cuando estuvieron expuestos a 1.400 ppm durante su jornada laboral, con respecto al día en que estuvieron trabajando con condiciones de 550 ppm [4].

Por otro lado, la exposición prolongada al ruido induce fatiga, que se presenta como un incremento en errores producto de la pérdida de concentración y fallas cognitivas predecibles [66]. De la misma manera, se establece que la exposición sobre los 85 decibeles durante la jornada de trabajo, puede causar daño a la audición de las personas [5], esto coincide con el artículo 75 del Decreto Supremo N°594, sobre el máximo permitido ante el cual el empleador debe tomar las medidas necesarias para proteger a las personas. Se ha comprobado un aumento de la fatiga en función del ruido durante la jornada de trabajo a partir de los 80 decibeles [73]. La señal análoga del sensor de ruido se mantuvo en 173,7 unidades, de un rango entre 0 y 1023, presentando una desviación estándar de 9,7%, donde la operación del sensor es de -48 a 66 decibeles. La ejecución de la tarea sólo duró 2 horas y la sala se mantuvo en silencio, el ruido provino de los movimientos corporales, del teclado para Digitación y el movimiento de cajas en Reposición.

Dado los valores obtenidos y expuestos de otras experiencias, se decidió dejar fuera del análisis los datos del sensor de contexto. El dispositivo en su diseño y construcción será un buen aporte en investigaciones en terreno, o con condiciones variables en recintos interiores.

Capítulo 7

Conclusión y trabajo futuro

7.1. Biomonitor

El equipo de WestLab diseñó y construyó un prototipo cómodo, no invasivo, compacto y de menor costo, comparado con alternativas comerciales existentes, que permite la medición de la actividad electrodérmica y pulso cardíaco durante varias horas. El resultado experimental presenta una correlación positiva moderada fuerte para señal EDA y positiva fuerte para PPG, con un sensor patrón comercial aceptado por la comunidad científica, donde además los resultados obtenidos se capturan en distintos puntos de medición, dedos y muñeca, por lo tanto se concluye que este dispositivo es válido, en su versión actual, para ser utilizado en futuras investigaciones.

Mejoras en la señal de PPG y algoritmos, permitirá además monitorear en tiempo real enfermedades como diabetes, mediante la identificación del espectro característico de moléculas en el flujo sanguíneo.

Hoy existe una amplia variedad de aplicaciones clínicas utilizando la señal EDA, para monitorear una serie de condiciones neurológicas y psicológicas, donde este tipo de dispositivo asume un rol importante en el desarrollo y avance de dichas materias.

A partir de esta validación, que se realizó en el contexto de una verificación y testeo del diseño, se recomienda avanzar en investigar las oportunidades de mercado y comercialización, tanto del producto como del servicio asociado, de forma de justificar y determinar nuevas características y mejoras necesarias al dispositivo. Cabe destacar en este punto, que las nuevas tecnologías en comunicaciones, como la implementación de la red 5G, en términos de cobertura y velocidad, permite que el atributo de ubicuidad sea factible en el corto plazo para este tipo de desarrollos.

Como ejemplo, en estudios clínicos se desea desarrollar biomarcadores digitales o uso en tiempo real de datos fisiológicos como ritmo cardíaco, temperatura, respiración, entre otras, para determinar un patrón fisiológico de un estado en particular, como la fatiga, pérdida de peso o fallas cardíacas. Se estima que para el año 2025, el 70 % de los estudio clínicos

incorporará sensores, esto es significativo porque el 99% de las actividades de los pacientes sucede fuera del hospital o centros de investigación.

A modo de complemento, derivado de la experiencia de este experimento, se generó un listado de mejoras para el dispositivo Biomonitor, como recomendaciones de trabajo futuro para nuevas versiones, detallado en apéndice M.

7.2. Fatiga laboral

A partir de los resultados obtenidos, podemos validar la metodología como una herramienta para identificar fatiga en el trabajo, donde se involucra directamente el comportamiento fisiológico de las personas, su relación con el entorno, y los rendimientos de sus tareas. Dada las definiciones de fatiga, el uso de una metodología que abarca múltiples factores le entrega un carácter robusto y a su vez flexible, frente a los distintos escenarios al momento de definir el estudio de un tarea específica.

La aplicación de la metodología para identificar fatiga permitirá el desarrollo de alarmas y notificaciones tanto para operadores como para supervisores, sobre el estado de fatiga, de forma de prevenir errores en los procesos y factores de seguridad de la tarea durante la ejecución. La implementación de nuevas tecnologías como la red 5G, permitirán que dispositivos asociados a identificar fatiga, permitan mejoras en productividad y eficiencia de los procesos, desde cualquier lugar y en tiempo real.

También se generan oportunidades de mejora, en el desarrollo de la contextualización de la persona en el trabajo, conociendo parámetros de su entorno directo e indirecto, permitiendo el desarrollo de mejores y más sensores de contexto, según la tarea en estudio, y poder extender los alcances del trabajo remunerado en la calidad de vida de las personas.

Hoy los trabajos con tareas monótonas y repetitivas son fuente de generación de fatiga en las personas. Su identificación también se justifica en el contexto de la cuarta revolución industrial, que se desarrollará en conjunto con la digitalización, automatización y robotización del trabajo, obligando a los países y sus economías a adaptar sus mercados y leyes laborales en función de la incorporación de estas nuevas tecnologías. En Chile, un estudio de ClapesUC [18], asigna una probabilidad de automatización de 42,2% a un empleo promedio, mientras que un 17% de los ocupados presenta un alto riesgo de ser reemplazado por una máquina en sus labores. A modo de ejemplo, la empresa Agrosuper integró el paletizado automático en una de sus plantas de procesos, que les permite mover el 80% de las 17.000 cajas que mueven diariamente, de esta manera lograron reducir las labores repetitivas y reubicar trabajadores que antes realizaban manejo manual de carga pesada [32]. Identificar tareas que inducen fatiga y por ende errores, y que previenen accidentes y enfermedades profesionales, está en directa relación con el propósito de esta metodología y el desarrollo tecnológico asociado.

Se debe avanzar con el desarrollo de más experimentos, en distintas tareas y rubros, replicando el protocolo experimental, ajustando métricas de rendimiento y el modelo propuesto, para una mejor gestión de recursos operacionales y humanos. Al mismo tiempo se deben

depurar las técnicas de filtrado de las señales, para un mejor análisis. Junto con recabar más experiencia e información, puede dar pie a un marco normativo para gestionar la fatiga de acuerdo a las políticas de gestión de recursos humanos y prevención de riesgos de las empresas, como ya se realiza en otros países.

En Chile, a lo largo de los años se han desarrollado y aplicado normativas, que están compiladas en el Decreto Supremo N° 594 y en el Código del Trabajo, los cuales dan cuenta de una serie de capítulos redactados a partir del estudio de realidades atingentes al desarrollo y cultura del país, dentro de éstas se pueden destacar la "ley de la silla", la más antigua, promulgada en 1914, que establece contar con asientos para descansos cada ciertos intervalos, "ley del saco", que limita la carga manual que realiza un trabajador, "ley del sol", que establece las medidas de protección frente a la exposición de radiación ultravioleta, y recientemente la identificación de riesgos psicosociales laborales, para fortalecer el fomento del bienestar y salud en el lugar de trabajo, todas estas iniciativas denotan la tendencia al cuidado de las personas, últimamente se ha sumado la inquietud de la salud mental, donde resulta clave el manejo del estrés, ya abordado por los riesgos psicosociales. A partir del desarrollo de esta tesis y aplicación de la metodología en más estudios, podría proyectarse la "ley del estrés y la fatiga", o al menos complementarse como una herramienta del actual protocolo de riesgos psicosociales en el trabajo.

Por otro lado, esta metodología permite definir objetivos para aplicación inmediata en industrias interesadas en prevención y mejoras de productividad, debido a la exposición de sus procesos productivos a la fatiga y/o políticas de recursos humanos y bienestar para sus trabajadores, incluso podría ser utilizado como oportunidad de mejora para un sistema de gestión de calidad, respecto a los ambientes para la operación de los procesos, donde los factores como reducción de estrés, prevención del síndrome de agotamiento y cuidado de las emociones, impactan en ambientes adecuados para lograr la conformidad de los productos y servicios (Norma Internacional ISO 9001, versión 2015).

Según [46], un sistema de gestión del riesgo de fatiga, FMRS, por sus siglas en inglés, *Fatigue Risk Management System*, ha sido adoptado inicialmente por los rubros de aviación, transporte y ferrocarriles.

Las características de un FMRS que son considerados esenciales para el éxito de su implementación, están resumidos en los siguientes conceptos:

- Basado en ciencia: apoyado por la ciencia establecida revisada por pares.
- Orientado por datos: decisiones basadas en la captura y análisis objetivo de datos.
- Cooperativo y propio: diseñado en conjunto con la alta dirección, que a su vez acepta la responsabilidad.
- Completamente implementado: uso de herramientas, sistemas, políticas y procedimientos.
- Integrado: Construido dentro del sistema salud y seguridad de las organizaciones.
- Mejora continua: progresivamente reducir el riesgo utilizando retroalimentación, evaluaciones y modificaciones.
- Presupuestado: Contar con los recursos económicos y justificarlos con una correcta evaluación de retorno de inversión.

Las autoridades reguladoras de transporte de carretera y aviación, en Australia y Nueva Zelanda, fueron los primeros en aplicar FMRS para la gestión de la fatiga [46]. Las nuevas regulaciones difieren de los enfoques tradicionales, estableciendo una cadena de responsabilidades legales para prevenir fatiga. En ferrocarriles se ha adoptado un enfoque de FMRS, donde se identifican características de los patrones de trabajo y la relación que existe entre fatiga y actos inseguros para reconocer la seguridad operacional. En 2009, la autoridad de seguridad de aviación europea, solicitó a todos los operadores de aviación comercial tener un FMRS. En Estados Unidos, el Directorio de Seguridad de Transporte Nacional, NTSB, por sus siglas en inglés, ha considerado la fatiga como un factor mayor en los accidentes de transporte. Durante años, la recomendación es que todos los medios de transporte deben abordar el tema de la fatiga.

A pesar que el concepto de un FMRS integrado es relativamente nuevo y que se ha limitado básicamente a la industria del transporte, existen ejemplos de implementación de programas contra la fatiga y gestión de alertas en otras industrias y actividades. Entre ellas nos encontramos con la minería, considerando tiempos de traslado y horas de descanso; instituciones de salud, reconociendo el peligro de extendidos y exigentes turnos, transporte de energía y materiales peligrosos, mejorando condiciones para operadores de salas de control, y petroquímicas, mejorando la gestión de turnos.

La fatiga laboral puede impactar negativamente en la salud y seguridad personal, así como en la eficiencia y seguridad de las operaciones, desarrollar sistemas de gestión y tener una norma que incentive su implementación, pueden constituir un método efectivo de minimizar la fatiga, y por ende, reducir sus efectos no deseados, junto con aumentar el bienestar de las personas y los resultados de las empresas.

Bibliografía

- [1] Lyn Y Abramson, Martin E Seligman, and John D Teasdale. Learned helplessness in humans: Critique and reformulation. *Journal of abnormal psychology*, 87(1):49, 1978.
- [2] Torbjorn Akerstedt. Consensus statement: fatigue and accidents in transport operations. *Journal of sleep research*, 9(4):395–395, 2000.
- [3] Torbjörn Åkerstedt and Mats Gillberg. Subjective and objective sleepiness in the active individual. *International Journal of Neuroscience*, 52(1-2):29–37, 1990.
- [4] Joseph G Allen, Piers MacNaughton, Usha Satish, Suresh Santanam, Jose Vallarino, and John D Spengler. Associations of cognitive function scores with carbon dioxide, ventilation, and volatile organic compound exposures in office workers: a controlled exposure study of green and conventional office environments. *Environmental health perspectives*, 124(6):805–812, 2015.
- [5] Hossein Amjad-Sardrudi, Ali Dormohammadi, Rostam Golmohammadi, and Jalal Poorolajal. Effect of noise exposure on occupational injuries: a cross-sectional study. *Journal of research in health sciences*, 12(2):101–104, 2012.
- [6] Ashrant Aryal, Ali Ghahramani, and Burcin Becerik-Gerber. Monitoring fatigue in construction workers using physiological measurements. *Automation in Construction*, 82:154–165, 2017.
- [7] Kirstin Aschbacher, Aoife O’Donovan, Owen M Wolkowitz, Firdaus S Dhabhar, Yali Su, and Elissa Epel. Good stress, bad stress and oxidative stress: insights from anticipatory cortisol reactivity. *Psychoneuroendocrinology*, 38(9):1698–1708, 2013.
- [8] Muhammad Awais, Nasreen Badruddin, and Micheal Drieberg. A hybrid approach to detect driver drowsiness utilizing physiological signals to improve system performance and wearability. *Sensors*, 17(9):1991, 2017.
- [9] Yutao Ba, Wei Zhang, Qinhua Wang, Ronggang Zhou, and Changrui Ren. Crash prediction with behavioral and physiological features for advanced vehicle collision avoidance system. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, 74:22–33, 2017.
- [10] Sangeeta Bagha and Laxmi Shaw. A real time analysis of ppg signal for measurement of spo₂ and pulse rate. *International journal of computer applications*, 36(11):45–50, 2011.

- [11] Biocom. Heart rate variability analysis. <https://www.biocomtech.com/hrv-science/heart-rate-variability-analysis>, 2009. [Acceso revisado, 19-Junio-2019].
- [12] Maarten AS Boksem and Mattie Tops. Mental fatigue: costs and benefits. *Brain research reviews*, 59(1):125–139, 2008.
- [13] Bernhard E Boser, Isabelle M Guyon, and Vladimir N Vapnik. A training algorithm for optimal margin classifiers. In *Proceedings of the 5th Annual ACM Workshop on Computational Learning Theory*, pages 144–152, 2003.
- [14] bsxtechnologies. <https://medium.com/bsxtechnologies/red-light-versus-green-light-74fdd5fe7027>, 2016. [Acceso revisado, 21-Agosto-2018].
- [15] Tadeusz Caliński and Jerzy Harabasz. A dendrite method for cluster analysis. *Communications in Statistics-theory and Methods*, 3(1):1–27, 1974.
- [16] Fu-Lin Chang, Yih-Min Sun, Kao-Hsing Chuang, and Der-Jen Hsu. Work fatigue and physiological symptoms in different occupations of high-elevation construction workers. *Applied ergonomics*, 40(4):591–596, 2009.
- [17] Chun-Hsiang Chuang, Zehong Cao, Jung-Tai King, Bing-Syun Wu, Yu-Kai Wang, and Chin-Teng Lin. Brain electrodynamic and hemodynamic signatures against fatigue during driving. *Frontiers in neuroscience*, 12:181, 2018.
- [18] ClapesUC. <http://www.clapesuc.cl/investigaciones/doc-trabajo-no59-mercado-laboral-chileno-para-la-cuarta-revolucion-industrial/>, 2019. [Acceso revisado, Julio-2019].
- [19] Joseph F Coughlin, Bryan Reimer, and Bruce Mehler. Monitoring, managing, and motivating driver safety and well-being. *IEEE Pervasive Computing*, 10(3):14–21, 2011.
- [20] National Safety Council. www.nsc.org. [Acceso revisado, 16-Mayo-2019].
- [21] Lee J Cronbach. Coefficient alpha and the internal structure of tests. *psychometrika*, 16(3):297–334, 1951.
- [22] Drew Dawson and Kathryn Reid. Fatigue, alcohol and performance impairment. *Nature*, 388(6639):235, 1997.
- [23] Consejo General de Colegios Oficiales de Psicólogos. <https://www.cop.es/colegiados/ca00088/pag13.htm>. [Acceso revisado, 30-Mayo-2018].
- [24] Charlotte Jacobé de Naurois, Christophe Bourdin, Anca Stratulat, Emmanuelle Diaz, and Jean-Louis Vercher. Detection and prediction of driver drowsiness using artificial neural network models. *Accident Analysis & Prevention*, 2017.
- [25] Superintendencia de Seguridad Social. Informe anual: Estadísticas sobre seguridad y salud en el trabajo 2018. <http://www.suseso.cl/607/w3-article-578301.html>, 2019.

- [26] Instituto Nacional de Tecnología Industrial. Proceso de diseño fases para el desarrollo de productos. ., 2009.
- [27] Organización Internacional del Trabajo. Construir una cultura de prevención en materia de seguridad y salud en el trabajo. https://www.ilo.org/global/about-the-ilo/how-the-ilo-works/ilo-director-general/statements-and-speeches/WCMS_364085/lang--es/index.htm, 2015. [Acceso revisado, 13-Mayo-2019].
- [28] Anita DeLongis, Susan Folkman, and Richard S Lazarus. The impact of daily stress on health and mood: psychological and social resources as mediators. *Journal of personality and social psychology*, 54(3):486, 1988.
- [29] Johan Denollet and Jolanda De Vries. Positive and negative affect within the realm of depression, stress and fatigue: The two-factor distress model of the global mood scale (gms). *Journal of affective disorders*, 91(2-3):171–180, 2006.
- [30] Firdaus S Dhabhar. The short-term stress response—mother nature’s mechanism for enhancing protection and performance under conditions of threat, challenge, and opportunity. *Frontiers in neuroendocrinology*, 49:175–192, 2018.
- [31] Georgios N Dimitrakopoulos, Ioannis Kakkos, Zhongxiang Dai, Hongtao Wang, Kyriakos Sgarbas, Nitish Thakor, Anastasios Bezerianos, and Yu Sun. Functional connectivity analysis of mental fatigue reveals different network topological alterations between driving and vigilance tasks. *IEEE transactions on neural systems and rehabilitation engineering*, 26(4):740–749, 2018.
- [32] ElMercurio. <https://digital.elmercurio.com/2019/07/07/B/5A3KIFH0#zoom=page-width>, 2019. [Acceso revisado, Julio-2019].
- [33] Diana Carolina Ferreira-Herrera. El modelo canvas en la formulación de proyectos. *Cooperativismo & Desarrollo*, 23(107), 2015.
- [34] Susan Folkman, Richard S Lazarus, Christine Dunkel-Schetter, Anita DeLongis, and Rand J Gruen. Dynamics of a stressful encounter: cognitive appraisal, coping, and encounter outcomes. *Journal of personality and social psychology*, 50(5):992, 1986.
- [35] Rongrong Fu, Hong Wang, and Wenbo Zhao. Dynamic driver fatigue detection using hidden markov model in real driving condition. *Expert Systems with Applications*, 63:397–411, 2016.
- [36] Joel Gonçalves and Klaus Bengler. Driver state monitoring systems—transferable knowledge manual driving to had. *Procedia Manufacturing*, 3:3011–3016, 2015.
- [37] E Grandjean. Fatigue in industry. *Occupational and Environmental Medicine*, 36(3):175–186, 1979.
- [38] Delaram Jarchi and Alexander Casson. Description of a database containing wrist ppg signals recorded during physical exercise with both accelerometer and gyroscope measures of motion. *Data*, 2(1):1, 2017.

- [39] Edward Jo, Kiana Lewis, Dean Directo, Michael J Kim, and Brett A Dolezal. Validation of biofeedback wearables for photoplethysmographic heart rate tracking. *Journal of sports science & medicine*, 15(3):540, 2016.
- [40] Kosuke Kaida, Masaya Takahashi, Torbjörn Åkerstedt, Akinori Nakata, Yasumasa Otsuka, Takashi Haratani, and Kenji Fukasawa. Validation of the karolinska sleepiness scale against performance and eeg variables. *Clinical Neurophysiology*, 117(7):1574–1581, 2006.
- [41] Wayne K Kirchner. Age differences in short-term retention of rapidly changing information. *Journal of experimental psychology*, 55(4):352, 1958.
- [42] Marianna Kizeková, Viera Rusňáková, and L’ubomír Legáth. Effects of co2 on the organism depending on its concentration. *Journal of Environmental Protection, Safety, Education and Management*, 1(ahead-of-print), 2018.
- [43] William H Kruskal and W Allen Wallis. Use of ranks in one-criterion variance analysis. *Journal of the American statistical Association*, 47(260):583–621, 1952.
- [44] Miron B Kursa, Aleksander Jankowski, and Witold R Rudnicki. Boruta—a system for feature selection. *Fundamenta Informaticae*, 101(4):271–285, 2010.
- [45] Saroj KL Lal, Ashley Craig, Peter Boord, Les Kirkup, and Hung Nguyen. Development of an algorithm for an eeg-based driver fatigue countermeasure. *Journal of safety Research*, 34(3):321–328, 2003.
- [46] Steven E Lerman, Evamaria Eskin, David J Flower, Eugenia C George, Benjamin Gerson, Natalie Hartenbaum, Steven R Hursh, Martin Moore-Ede, et al. Fatigue risk management in the workplace. *Journal of Occupational and Environmental Medicine*, 54(2):231–258, 2012.
- [47] Howard Levene. Contributions to probability and statistics. *Essays in honor of Harold Hotelling*, pages 278–292, 1960.
- [48] Gang Li, Boon-Leng Lee, and Wan-Young Chung. Smartwatch-based wearable eeg system for driver drowsiness detection. *IEEE Sensors Journal*, 15(12):7169–7180, 2015.
- [49] Chin-Teng Lin, Chun-Hsiang Chuang, Chih-Sheng Huang, Shu-Fang Tsai, Shao-Wei Lu, Yen-Hsuan Chen, Li-Wei Ko, et al. Wireless and wearable eeg system for evaluating driver vigilance. *IEEE Transactions on biomedical circuits and systems*, 8(2):165–176, 2014.
- [50] Jinfei Ma, Jiaqi Gu, Huibin Jia, Zhuye Yao, and Ruosong Chang. The relationship between drivers’ cognitive fatigue and speed variability during monotonous daytime driving. *Frontiers in psychology*, 9:459, 2018.
- [51] Arturo Barraza Macías. El campo de estudio del estrés: del programa de investigación estímulo-respuesta al programa de investigación persona-entorno. *Revista internacional de psicología*, 8(02), 2007.

- [52] Oded Maimon and Lior Rokach. Data mining and knowledge discovery handbook. ., 2005.
- [53] Marek Malik. Heart rate variability: Standards of measurement, physiological interpretation, and clinical use: Task force of the european society of cardiology and the north american society for pacing and electrophysiology. *Annals of Noninvasive Electrocardiology*, 1(2):151–181, 1996.
- [54] Zahra Sedighi Maman, Mohammad Ali Alamdar Yazdi, Lora A Cavuoto, and Fadel M Megahed. A data-driven approach to modeling physical fatigue in the workplace using wearable sensors. *Applied ergonomics*, 65:515–529, 2017.
- [55] John W Mason. The scope of psychoendocrine research. *Psychosomatic Medicine*, 30(5):565–575, 1968.
- [56] Bruce Mehler, Bryan Reimer, and Joseph F Coughlin. Physiological reactivity to graded levels of cognitive workload across three age groups: An on-road evaluation. In *Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society Annual Meeting*, volume 54, pages 2062–2066. SAGE Publications Sage CA: Los Angeles, CA, 2010.
- [57] K Mohanavelu, R Lamshe, S Poonguzhali, K Adalarasu, and M Jagannath. Assessment of human fatigue during physical performance using physiological signals: A review. *Biomedical and Pharmacology Journal*, 10(4):1887–1896, 2017.
- [58] María Elena Moncada and Jorge de la Cruz. La actividad electrodérmica-revisión. *Ingeniería e investigación*, 31(2), 2011.
- [59] José M Morales, Carolina Diaz-Piedra, Héctor Rieiro, Joaquín Roca-González, Samuel Romero, Andrés Catena, Luis J Fuentes, and Leandro L Di Stasi. Monitoring driver fatigue using a single-channel electroencephalographic device: A validation study by gaze-based, driving performance, and subjective data. *Accident Analysis & Prevention*, 109:62–69, 2017.
- [60] TM Nelson, Thomy H Nilsson, and M Johnson. Interaction of temperature, illuminance and apparent time on sedentary work fatigue. *Ergonomics*, 27(1):89–101, 1984.
- [61] Alexander Osterwalder. *The business model ontology a proposition in a design science approach*. PhD thesis, Université de Lausanne, Faculté des hautes études commerciales, 2004.
- [62] Matthew Page and Daniel Ashlock. Stress and productivity performance in the workforce modelled with binary decision automata. In *2015 IEEE Conference on Computational Intelligence in Bioinformatics and Computational Biology (CIBCB)*, pages 1–8. IEEE, 2015.
- [63] Miteshkumar Patel, Sara KL Lal, Diarmuid Kavanagh, and Peter Rossiter. Applying neural network analysis on heart rate variability data to assess driver fatigue. *Expert systems with Applications*, 38(6):7235–7242, 2011.

- [64] Vijitha Periyasamy, Manojit Pramanik, and Prasanta Kumar Ghosh. Review on heart-rate estimation from photoplethysmography and accelerometer signals during physical exercise. *Journal of the Indian Institute of Science*, 97(3):313–324, 2017.
- [65] Ross O Phillips. A review of definitions of fatigue—and a step towards a whole definition. *Transportation research part F: traffic psychology and behaviour*, 29:48–56, 2015.
- [66] Michel Picard, Serge André Girard, Marc Simard, Richard Larocque, Tony Leroux, and Fernand Turcotte. Association of work-related accidents with noise exposure in the workplace and noise-induced hearing loss based on the experience of some 240,000 person-years of observation. *Accident Analysis & Prevention*, 40(5):1644–1652, 2008.
- [67] Ming-Zher Poh, Nicholas C Swenson, and Rosalind W Picard. A wearable sensor for unobtrusive, long-term assessment of electrodermal activity. *IEEE transactions on Bio-medical engineering*, 57(5):1243–1252, 2010.
- [68] Luis Fernando Restrepo Betancur and Julián González López. De pearson a spearman. ., 2007.
- [69] Cynthia A Riccio, Cecil R Reynolds, Patricia Lowe, and Jennifer J Moore. The continuous performance test: a window on the neural substrates for attention? *Archives of clinical neuropsychology*, 17(3):235–272, 2002.
- [70] Joceline Rogé, Thierry Pebayle, and Alain Muzet. Variations of the level of vigilance and of behavioural activities during simulated automobile driving. *Accident Analysis & Prevention*, 33(2):181–186, 2001.
- [71] Khosro Sadeghniaat-Haghighi and Zohreh Yazdi. Fatigue management in the workplace. *Industrial psychiatry journal*, 24(1):12, 2015.
- [72] Arun Sahayadhas, Kenneth Sundaraj, and Murugappan Murugappan. Detecting driver drowsiness based on sensors: a review. *Sensors*, 12(12):16937–16953, 2012.
- [73] Mahnaz Saremi, Odile Rohmer, André Burgmeier, Anne Bonnefond, Alain Muzet, and Patricia Tassi. Combined effects of noise and shift work on fatigue as a function of age. *International Journal of Occupational Safety and Ergonomics*, 14(4):387–394, 2008.
- [74] Gideon Schwarz et al. Estimating the dimension of a model. *The annals of statistics*, 6(2):461–464, 1978.
- [75] Hans Selye. The stress of life. 1956. *New York: Mac Graw Hill*, 1956.
- [76] Li Shiwu, Wang Linhong, Yang Zhifa, Ji Bingkui, Qiao Feiyan, and Yang Zhongkai. An active driver fatigue identification technique using multiple physiological features. In *Mechatronic Science, Electric Engineering and Computer (MEC), 2011 International Conference on*, pages 733–737. IEEE, 2011.
- [77] Erin T Solovey, Marin Zec, Enrique Abdon Garcia Perez, Bryan Reimer, and Bruce Mehler. Classifying driver workload using physiological and driving performance data: two

- field studies. In *Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, pages 4057–4066. ACM, 2014.
- [78] Charles Spearman. "general intelligence," objectively determined and measured. *The American Journal of Psychology*, 15(2):201–292, 1904.
- [79] David K Spierer, Zohn Rosen, Leib L Litman, and Kenji Fujii. Validation of photoplethysmography as a method to detect heart rate during rest and exercise. *Journal of medical engineering & technology*, 39(5):264–271, 2015.
- [80] Shin-ichi Tanabe, Naoe Nishihara, and Masaoki Haneda. Indoor temperature, productivity, and fatigue in office tasks. *HVAC&R Research*, 13(4):623–633, 2007.
- [81] Karl Halvor Teigen. Yerkes-dodson: A law for all seasons. *Theory & Psychology*, 4(4):525–547, 1994.
- [82] Salud Estudiantil UC. ¿qué es el estrés? http://apoyo.saludestudiantil.uc.cl/index.php/saber-mas?task=verItem&id_item=25&vista=sabermas. [Acceso revisado, 16-Mayo-2019].
- [83] WesstLab ISCI Universidad de Chile. Informe 6. Investigación para IST - Caracterización de Fatiga Laboral a través de Señales Psicofisiológicas - Validación de la metodología y entrega de artefacto metodológico, 2019.
- [84] WesstLab ISCI Universidad de Chile. Informe 7. Investigación para IST - Caracterización de Fatiga Laboral a través de Señales Psicofisiológicas - Informe final, 2019.
- [85] Sergio A Useche, Viviola Gómez Ortiz, and Boris E Cendales. Stress-related psychosocial factors at work, fatigue, and risky driving behavior in bus rapid transport (brt) drivers. *Accident Analysis & Prevention*, 104:106–114, 2017.
- [86] Giulio Valenti and Klaas R Westerterp. Optical heart rate monitoring module validation study. In *2013 IEEE International Conference on Consumer Electronics (ICCE)*, pages 195–196. IEEE, 2013.
- [87] Wilhelm von Rosenberg, Theerasak Chanwimalueang, Tricia Adjei, Usman Jaffer, Valentin Goverdovsky, and Danilo P Mandic. Resolving ambiguities in the lf/hf ratio: Lf-hf scatter plots for the categorization of mental and physical stress from hrv. *Frontiers in physiology*, 8:360, 2017.
- [88] Junli Xu, Jianliang Min, and Jianfeng Hu. Real-time eye tracking for the assessment of driver fatigue. *Healthcare technology letters*, 5(2):54–58, 2018.
- [89] Robert M Yerkes and John D Dodson. The relation of strength of stimulus to rapidity of habit-formation. *Journal of comparative neurology and psychology*, 18(5):459–482, 1908.
- [90] Hui Zhang, Xinping Yan, Chaozhong Wu, and Tony Qiu. Effect of circadian rhythms and driving duration on fatigue level and driving performance of professional drivers. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, .(2402):19–27,

2014.

- [91] Zhilin Zhang, Zhouyue Pi, and Benyuan Liu. Troika: A general framework for heart rate monitoring using wrist-type photoplethysmographic signals during intensive physical exercise. *IEEE Transactions on biomedical engineering*, 62(2):522–531, 2014.
- [92] Chunlin Zhao, Chongxun Zheng, Min Zhao, and Jianping Liu. Physiological assessment of driving mental fatigue using wavelet packet energy and random forests. *The American Journal of Biomedical Sciences*, 2(3):262–274, 2010.

Apéndice A

Grupo experimental para Validación de Biomonitor

PARTICIPANTE	EDAD	GENERO	FECHA	EDUCACION	PROFESION U OFICIO	EXPERIENCIA LABORAL
P1	20	M	19/11/18	SUPERIOR	ESTUDIANTE	N/A
P2	24	M	19/11/18	SUPERIOR	ESTUDIANTE	N/A
P3	25	M	20/11/18	SUPERIOR	ESTUDIANTE	N/A
P4	23	M	21/11/18	SUPERIOR	ESTUDIANTE	N/A
P5	23	M	21/11/18	SUPERIOR	ESTUDIANTE	N/A
P6	25	M	22/11/18	SUPERIOR	ESTUDIANTE	N/A
P7	25	F	23/11/18	SUPERIOR	ESTUDIANTE	N/A
P8	40	M	26/11/18	SUPERIOR	ING AGRONOMO	15
P9	23	M	27/11/18	SUPERIOR	ESTUDIANTE	N/A
P10	25	M	28/11/18	SUPERIOR	INGENIERO	N/A
P11	27	M	29/11/18	SUPERIOR	INGENIERO	1
P12	23	M	30/11/18	SUPERIOR	ESTUDIANTE	N/A
P13	40	M	05/12/18	SUPERIOR	INGENIERO	12
P14	28	M	07/12/18	SUPERIOR	ESTUDIANTE	1
P15	41	M	08/12/18	POSTGRADO	QUIMICO FARMACEUTICO	15
P16	28	F	10/12/18	SUPERIOR	ESTUDIANTE	N/A
P17	25	M	11/12/18	SUPERIOR	ESTUDIANTE	N/A
P18	20	M	13/12/18	SUPERIOR	ESTUDIANTE	N/A
P19	24	M	13/12/18	SUPERIOR	ESTUDIANTE	N/A
P20	40	M	14/12/18	SUPERIOR	INGENIERO	14
P21	41	M	15/12/18	SUPERIOR	INGENIERO	23
P22	52	M	17/12/18	SUPERIOR	ACTOR	35
P23	31	M	19/12/18	SUPERIOR	INGENIERO	N/A
P24	20	F	20/12/18	SUPERIOR	ESTUDIANTE	N/A
P25	21	M	21/12/18	SUPERIOR	ESTUDIANTE	N/A
P26	23	F	22/12/18	SUPERIOR	ESTUDIANTE	N/A
P27	37	F	31/12/18	SUPERIOR	PROFESORA	10
P28	50	F	02/01/19	SUPERIOR	SECRETARIA	2
P29	39	F	03/01/19	SUPERIOR	ADM GASTRONOMICO	4
P30	27	F	04/01/19	SUPERIOR	NUTRICIONISTA	3
P31	46	F	04/01/19	SUPERIOR	ING EN ADM	25
P32	19	M	07/01/19	SUPERIOR	ESTUDIANTE	N/A
P33	40	M	08/01/19	POSTGRADO	INGENIERO	15
P34	26	M	09/01/19	POSTGRADO	INGENIERO	N/A
P35	22	F	09/01/19	SUPERIOR	ESTUDIANTE	N/A
P36	18	M	10/01/19	MEDIA	TECNICO	N/A
P37	24	M	11/01/19	SUPERIOR	TECNICO	0,16
P38	40	F	14/01/19	SUPERIOR	BLIBLIOTECOLOGA/INGENIERO	13
P39	41	M	15/01/19	POSTGRADO	FOTOGRAFO/ECONOMISTA	17,5
P40	40	M	17/01/19	SUPERIOR	INGENIERO	15,5

Tabla A.1: Información del grupo experimental para Biomonitor. (Fuente: Elaboración propia)

Apéndice B

Grupo experimental tarea de Digitación

PARTICIPANTE	P9	P11	P13	P15	P17	P19	P21	P23
EDAD	23	27	40	41	25	24	41	31
GENERO	M	M	M	M	M	M	M	M
FECHA	27/11/18	29/11/18	05/12/18	08/12/18	11/12/18	13/12/18	15/12/18	19/12/18
ESTADO CIVIL	SOLTERO	SOLTERO	CASADO	SEPARADO	SOLTERO	SOLTERO	CASADO	SOLTERO
HIJOS	0	0	2	1	0	0	1	0
EDUCACION	SUPERIOR	SUPERIOR	SUPERIOR	POSTGRADO	SUPERIOR	SUPERIOR	SUPERIOR	SUPERIOR
PROFESION U OFICIO	ESTUDIANTE	INGENIERO	INGENIERO	QUIMICO FARM	ESTUDIANTE	ESTUDIANTE	INGENIERO	INGENIERO
TIPO DE CONTRATO	N/A	N/A	INDEP	INDEFINIDO	N/A	N/A	INDEFINIDO	N/A
PERIODO TRABAJO EN EMPRESA	N/A	N/A	3	0,42	N/A	N/A	12	N/A
EXPERIENCIA LABORAL	N/A	1	12	15	N/A	N/A	23	N/A
ACTIVIDAD FISICA SEMANAL	NO	NO	NO	SI	SI	SI	SI	NO
¿DURMIO BIEN ANOCHE?	SI	SI	NO	SI	SI	SI	SI	NO
HORARIO DE SUEÑO	00:00-06:30	00:30-07:15	23:30-06:00	23:00-09:00	00:30-08:00	00:30-09:30	23:00-07:30	03:30-10:00
CANTIDAD HORAS DE SUEÑO	6,5	6,75	6,5	10	7,5	9	8,5	6,5
JORNADA EXPERIMENTO	TARDE	TARDE	TARDE	TARDE	MAÑANA	TARDE	MAÑANA	TARDE
PARTICIPANTE	P25	P26	P29	P31	P33	P35	P37	P39
EDAD	21	23	39	46	40	22	24	41
GENERO	M	F	F	F	M	F	M	M
FECHA	21/12/18	22/12/18	03/01/19	04/01/19	08/01/19	09/01/19	11/01/19	15/01/19
ESTADO CIVIL	SOLTERO	SOLTERO	CASADO	DIVORCIADO	SOLTERO	SOLTERO	SOLTERO	DIVORCIADO
HIJOS	0	0	1	0	1	0	0	0
EDUCACION	SUPERIOR	SUPERIOR	SUPERIOR	SUPERIOR	POSTGRADO	SUPERIOR	SUPERIOR	POSTGRADO
PROFESION U OFICIO	ESTUDIANTE	ESTUDIANTE	ADM GASTRO	ING EN ADM	INGENIERO	ESTUDIANTE	TECNICO	FOTOGRAFO/E
TIPO DE CONTRATO	N/A	N/A	INDEFINIDO	N/A	INDEFINIDO	N/A	FIJO	INDEP
PERIODO TRABAJO EN EMPRESA	N/A	N/A	0,66	N/A	2,75	N/A	0,16	8
EXPERIENCIA LABORAL	N/A	N/A	4	25	15	N/A	0,16	17,5
ACTIVIDAD FISICA SEMANAL	SI	NO	NO	SI	SI	SI	NO	SI
¿DURMIO BIEN ANOCHE?	SI	SI	NO	NO	SI	SI	SI	SI
HORARIO DE SUEÑO	01:30-06:00	01:00-08:00	00:00-05:30	01:00-10:00	00:00-06:00	04:00-12:00	23:30-07:00	23:30-08:00
CANTIDAD HORAS DE SUEÑO	4,5	7	5,5	9	6	8	7,5	8,5
JORNADA EXPERIMENTO	MAÑANA	MAÑANA	MAÑANA	TARDE	TARDE	TARDE	TARDE	MAÑANA

Tabla B.1: Información del grupo experimental de Digitación. (Fuente: Elaboración propia)

Apéndice C

Grupo experimental tarea de Reposición

PARTICIPANTE	P10	P12	P14	P16	P18	P20	P22	P24
EDAD	25	23	28	28	20	40	52	20
GENERO	M	M	M	F	M	M	M	F
FECHA	28/11/18	30/11/18	07/12/18	10/12/18	13/12/18	14/12/18	17/12/18	20/12/18
ESTADO CIVIL	SOLTERO	SOLTERO	SOLTERO	SOLTERO	SOLTERO	CASADO	SOLTERO	SOLTERO
HIJOS	0	0	0	0	0	2	1	0
EDUCACION	SUPERIOR	SUPERIOR	SUPERIOR	SUPERIOR	SUPERIOR	SUPERIOR	SUPERIOR	SUPERIOR
PROFESION U OFICIO	INGENIERO	ESTUDIANTE	ESTUDIANTE	ESTUDIANTE	ESTUDIANTE	INGENIERO	ACTOR	ESTUDIANTE
TIPO DE CONTRATO	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	INDEFINIDO	INDEP	N/A
PERIODO TRABAJO EN EMPRESA	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	2	2	N/A
EXPERIENCIA LABORAL	N/A	N/A	1	N/A	N/A	14	35	N/A
ACTIVIDAD FISICA SEMANAL	SI	NO	NO	NO	NO	SI	NO	NO
¿DURMIO BIEN ANOCHE?	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI
HORARIO DE SUEÑO	02:30-10:00	02:00-07:00	03:30-08:30	01:00-08:30	01:30-08:45	00:00-07:30	23:30-08:15	23:30-07:00
CANTIDAD HORAS DE SUEÑO	7,5	5	5	7,5	7,25	7,5	8,75	7,5
JORNADA EXPERIMENTO	TARDE	MAÑANA	TARDE	MAÑANA	MAÑANA	TARDE	MAÑANA	TARDE
PARTICIPANTE	P27	P28	P30	P32	P34	P36	P38	P40
EDAD	37	50	27	19	26	18	40	40
GENERO	F	F	F	M	M	M	F	M
FECHA	31/12/18	02/01/19	04/01/19	07/01/19	09/01/19	10/01/19	14/01/19	17/01/19
ESTADO CIVIL	CASADO	CASADO	SOLTERO	SOLTERO	SOLTERO	SOLTERO	CASADO	CASADO
HIJOS	1	2	0	0	0	0	1	2
EDUCACION	SUPERIOR	SUPERIOR	SUPERIOR	SUPERIOR	POSTGRADO	MEDIA	SUPERIOR	SUPERIOR
PROFESION U OFICIO	PROFESORA	SECRETARIA	NUTRICIONISTA	ESTUDIANTE	INGENIERO	TECNICO	ECOLOGA/ING	INGENIERO
TIPO DE CONTRATO	INDEFINIDO	N/A	POR PROYECTO	N/A	N/A	FIJO	INDEP	INDEFINIDO
PERIODO TRABAJO EN EMPRESA	4,75	N/A	0,25	N/A	N/A	0,08	2	14,83
EXPERIENCIA LABORAL	10	2	3	N/A	N/A	N/A	13	15,5
ACTIVIDAD FISICA SEMANAL	NO	NO	NO	NO	SI	SI	SI	SI
¿DURMIO BIEN ANOCHE?	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI
HORARIO DE SUEÑO	01:30-07:00	02:00-07:15	00:00-08:00	00:00-10:30	00:30-08:30	22:30-06:30	00:30-08:00	00:00-07:30
CANTIDAD HORAS DE SUEÑO	5,5	5,25	8	10,5	8	8	7,5	7,5
JORNADA EXPERIMENTO	TARDE	MAÑANA	MAÑANA	TARDE	MAÑANA	TARDE	TARDE	TARDE

Tabla C.1: Información del grupo experimental de Reposición. (Fuente: Elaboración propia)

Apéndice D

Protocolo experimento de Validación de Biomonitor

Project created on 08/16/2018
22:01.

Report for project Pulsera Biomonitor

Experiment created on 08/16/2018
22:17.

Validación EDA y PPG

Cada participante realizará una o dos pruebas, según sea la disponibilidad, una de tipo cognitiva y otra emocional, para generar una respuesta de su organismo. Con sensores, comercialmente aceptados y calibrados, se registrarán las señales fisiológicas de cada persona. Simultáneamente se registrarán las mismas señales con la pulsera Biomonitor, la cual se desea validar. Luego ambas capturas de datos se analizarán para determinar que las mediciones de Biomonitor están en un nivel de correlación y confiabilidad, para ser usada en nuevas investigaciones psicofisiológicas.

Task created on 08/16/2018
22:28.

Objetivo y Antecedentes

*No due
date*

No description

Task tags: *No
tags*

Protocol created on 08/16/2018
22:28.

No protocol description

Created by Marcelo Riquelme on 08/31/2018
22:56.

Step 1: Objetivos y Antecedentes

Uncompleted

Objetivo:

Comparar y validar las mediciones de actividad electrodérmica (EDA) y fotopletimograma (PPG) de Biomonitor, con sensores patrones.

Antecedentes:

- Basado en experimento: Poh, M. Z., Swenson, N. C., & Picard, R. W. (2010). A wearable sensor for unobtrusive, long-term assessment of electrodermal activity. *IEEE transactions on Biomedical engineering*, 57(5), 1243-1252.
- Participan 26 Personas (algunos repiten pruebas), entre 18 y 56 años (hombres y mujeres)
- Se realizan 4 Pruebas: Física, cognitiva, emocional y registro de actividades 24/7

[*A_Wearable_Sensor_for_Unobtrusive_Long-Term_ED...* File uploaded on 09/02/2018
] 17:03.

Task created on 08/16/2018
22:28.

*No due
date*

Consideraciones del experimento

*No description*Task tags: *No
tags*Protocol created on 08/16/2018
22:28.*No protocol description*Created by Marcelo Riquelme on 08/31/2018
22:58.**Step 1:** Consideraciones del experimento**Uncompleted**

- Realizar 2 pruebas: Cognitiva y Emocional
- Conseguir alrededor de 15 participantes por prueba (1 persona puede participar en ambas pruebas)
- Diferencia de frecuencias (Hz) serán procesadas durante análisis de datos
- Pruebas pueden ser tomadas en cualquier horario del día
- Realizar pruebas alternadamente según participación de las personas
- Durante la ejecución de las pruebas, las instrucciones del examinador deben ser dadas a espaldas o a un costado del participante para evitar distracciones adicionales

Task created on 08/31/2018
23:03.

Requerimientos físicos

*No due
date**No description*Task tags: *No
tags*Protocol created on 08/31/2018
23:03.*No protocol description*Created by Marcelo Riquelme on 12/12/2018
15:47.**Step 1:** Requerimientos Físicos **Uncompleted**

- Oficina/recinto tranquilo, ojalá con poca exposición a luz y ruidos
- Cajas de registro Shimmer: EDA, temperatura y PPG
- Sensores EDA, temperatura y PPG para Shimmer
- Contec Pulse Oximeter
- Pulsera Biomonitor
- Computador para registro de datos y presentación de pruebas
- Alarma sonora para respuestas malas
- Presentación PowerPoint de restas y palabras de colores, para prueba cognitiva
- Video con escenas de terror (5 minutos aproximadamente), para prueba emocional

<https://www.youtube.com/watch?v=aHvivQQHq1c>

- Reloj / Cronómetro
- Utilizar silla especial para el participante (respaldo alto y apoyabrazos amplio)
- Documentos impresos de Consentimiento Informado, Ficha del Participante y Tabla de Respuestas
- Cinta adhesiva Micropore o similar

[*Ficha_Participante_Experimento_Validar_EDA_y_PP...* File uploaded on 12/12/2018
] 15:47.

[*Tabla_de_Respuestas.pdf* File uploaded on 12/12/2018
] 15:47.

[*Consentimiento_informado.pdf* File uploaded on 12/12/2018
] 15:47.

Task created on 08/31/2018
23:25.

Pasos Iniciales

*No due
date*

No description

Task tags: *No
tags*

Protocol created on 08/31/2018
23:25.

No protocol description

Created by Marcelo Riquelme on 12/12/2018
16:27.

Step 1: Sincronización de relojes - PREVIO A LA LLEGADA DEL PARTICIPANTE **Uncompleted**

PREVIO A LA LLEGADA DEL PARTICIPANTE

- Verificar sincronización entre reloj de computador y reloj digital para registro de tiempos en planillas

Created by Marcelo Riquelme on 12/12/2018
16:28.

Step 2: Preparación sensores Shimmer - PREVIO A LA LLEGADA DEL PARTICIPANTE **Uncompleted**

PREVIO A LA LLEGADA DEL PARTICIPANTE

- Configurar cajas de registro Shimmer, utilizando software Consensus

Created by Marcelo Riquelme on 12/12/2018
16:07.

Step 3: Bienvenida **Uncompleted**

Dar la bienvenida al participante, agradecer su participación, explicar el propósito del experimento y describir las pruebas que se realizarán

Created by Marcelo Riquelme on 12/12/2018
16:07.

Step 4: Identificación de participante **Uncompleted**

Registrar datos del participante y obtener su firma de Consentimiento Informado

[*Consentimiento_informado.pdf* File uploaded on 12/12/2018
] 15:53.

Created by Marcelo Riquelme on 12/12/2018

16:07.

Step 5: Preparación Participante**Uncompleted**

Participante debe retirar anillos, pulseras y relojes de manos y brazos, excluir personas con tatuaje

Created by Marcelo Riquelme on 12/12/2018

16:27.

Step 6: Encendido e instalación de sensores en participante**Uncompleted**

- Encender e Instalar los dispositivos de medición a la persona, en el siguiente orden:
 - Banda Sujeción de Shimmer, antebrazo izquierdo
 - Sensor PPG en muñeca izquierda, en la cara dorsal
 - Pulsera Biomonitor, previa inicialización del Docking Satation, instalar en muñeca izquierda, placa sobre lado dorsal, banda debe quedar levemente sobre sensor PPG para apoyar su firmeza, alineación y cercanía entre ambos sensores.
 - Sensores EDA en dedos índice y medio de mano izquierda
 - Sensor de Temperatura en dedo pulgar izquierdo.
 - Cajas de registro Shimmer EDA-PPG y temperatura, en banda de sujeción instalada, brazo izquierdo
 - Conectar todos los cables de sensores a cajas de registro Shimmer, de forma segura y cómoda tanto para los sensores como el participante
 - Contec Pulse Oximeter, instalar en dedo índice, mano izquierda y activar captura de datos con software Processing

Created by Marcelo Riquelme on 12/12/2018

16:28.

Step 7: Experimentador! Tener presente!**Uncompleted**

- Tener la ficha de registro de tiempos lista para completar y tabla de repuestas para las pruebas.
- Revisar que no falten datos del participante
- Considerar un par de minutos, antes de línea base inicial, para que participante se acostumbre a los sensores.

[*Ficha_Participante_Experimento_Validar_EDA_y_PP...* File uploaded on 12/12/2018
] 16:26.

[*Tabla_de_Respuestas.pdf* File uploaded on 12/12/2018
] 16:26.

Task created on 09/01/2018

14:26.

IMPORTANTE ANTES DE COMENZAR

LEER !!!

Task tags: *No**tags*

Protocol created on 09/01/2018

14:26.

*No protocol description**No due date*

Created by Marcelo Riquelme on 09/01/2018
14:27.

Step 1: LEER !!! Uncompleted

Para ambas pruebas, revisar previamente Ficha de Participante para tener presente los tiempos que se deben registrar de cada etapa del experimento.

Utilizar Respuestas de Ficha de Participante para registrar respuestas malas y activar alarma

Caso Especial: Si la misma persona realiza las 2 pruebas de forma consecutiva, considerar registro de línea base final de prueba inicial, como línea base inicial de siguiente prueba.

Task created on 09/01/2018
14:34.

Prueba Cognitiva

*No due
date*

No description

Task tags: *No
tags*

Protocol created on 09/01/2018
14:34.

No protocol description

Created by Marcelo Riquelme on 09/01/2018
14:50.

Step 1: Registro Línea Base
Uncompleted

Registrar período de línea base INICIAL: 10 minutos

Created by Marcelo Riquelme on 12/12/2018
16:31.

Step 2: Parte 1: Aritmética Uncompleted

- Señalar a participante que debe hacer su mejor esfuerzo por resolver la operación aritmética, no se evalúa capacidad matemática, sino la capacidad de reaccionar frente a la tarea (esto con el fin de evitar frustración o rechazo a la tarea durante la ejecución). Se considera respuesta la primera palabra que diga, sin posibilidad de corregir, y la no respuesta es considerada respuesta equivocada. (Mostrar imagen de ejemplo). Por cada respuesta equivocada se activará una alarma sonora.
- Iniciar presentación con restas aritméticas de 4 dígitos en intervalos de 7 segundos, durante 3 minutos

[*cognitive_task.pptx* File uploaded on 12/12/2018
] 16:31.

Created by Marcelo Riquelme on 12/12/2018
16:33.

Step 3: Parte 2: Colores

Uncompleted

- Señalar a participante que debe decir el color de la palabra que visualiza, lo más rápido que pueda durante 1 minuto. Si llega al final, debe continuar por el inicio. (Mostrar imagen de ejemplo). Por cada respuesta equivocada se activará una alarma sonora.
- Iniciar presentación de palabras con colores. Tiempo de prueba: 1 minuto
- Una vez terminado el minuto de la primera imagen, repetir presentación con segunda imagen, la cual tiene el mismo contenido, pero en orden inverso. Tiempo de prueba: 1 minuto

Created by Marcelo Riquelme on 09/01/2018
14:51.

Step 4: Registro Línea Base

Uncompleted

Registrar período de línea base FINAL: 10 minutos

Task created on 09/01/2018
14:34.

Prueba Emocional

*No due
date*

No description

Task tags: *No
tags*

Protocol created on 09/01/2018
14:34.

No protocol description

Created by Marcelo Riquelme on 09/01/2018
14:54.

Step 1: Registro Línea Base

Uncompleted

Registrar período de línea base INICIAL: 10 minutos

Created by Marcelo Riquelme on 12/12/2018
16:41.

Step 2: Ejecución Uncompleted

- Informar que se verán escenas de una película de terror
- Esperar 1 minuto antes de iniciar la escena
- Después del minuto, iniciar la escena

Video utilizado: Fuente Youtube

Nombre: JumpScare Challenge

URL: <https://www.youtube.com/watch?v=aHvivQQHq1c>

Volumen Máximo en video de Youtube
 Volumen al 45% en parlantes de computador
 Escenas del Video seleccionado, se muestran desde los 00:21 segundos hasta 4:07 minutos

Created by Marcelo Riquelme on 09/01/2018
 15:02.

Step 3: Registro Línea Base
 Uncompleted

Registrar período de línea base FINAL: 10 minutos

Task created on 09/01/2018
 14:34.

Pasos Finales

No due
 date

No description

Task tags: No
 tags

Protocol created on 09/01/2018
 14:34.

No protocol description

Created by Marcelo Riquelme on 12/12/2018
 16:53.

Step 1: Desinstalación de sensores
 Uncompleted

- Desconectar/desinstalar los dispositivos de la persona en el siguiente orden
 - Contec Pulse Oximeter
 - Desconectar todos los cables de las cajas de registro Shimmer
 - Sensores de dedos pulgar, índice, medio
 - Cajas de registro Shimmer de bandas de sujeción
 - Pulsera Biomonitor
 - Banda Sujeción
- Terminar captura de datos de sensores
 - Biomonitor: En Símbolo de Sistema, presionar Ctrl+C
 - Contec: Detener progrma de captura de datos en Processing
 - Cajas de registro Shimmer: Posicionar en base Shimmer, para terminar resgitro de señales

Created by Marcelo Riquelme on 09/01/2018
 15:10.

Step 2: Revisión documentación participante
 Uncompleted

Asegurarse de tener la documentación completa

Created by Marcelo Riquelme on 09/01/2018
 15:11.

Step 3: Despedida Uncompleted

- Nuevamente agradecer la participación y despedirse del participante

Created by Marcelo Riquelme on 12/12/2018
 16:52.

Step 4: Guardar datos **Uncompleted**

- Guardar los datos en formatos y carpetas de almacenamiento definidas
 - Datos de Shimmer: Importar, procesar y exportar en formato *.mat
 - Biomonitor: descargar archivos *.txt de cada dato sensado.
 - ACC, EDA, GYRO, PPG, TEMP (acelerómetro, actividad electrodérmica, giroscopio, fotopleitismografía, temperatura)

Created by Marcelo Riquelme on 09/01/2018
15:16.

Step 5: Tarea Final**Uncompleted**

Guardar todos los dispositivos o prepararse inmediatamente para siguiente participante (volver a pasos iniciales)

DAtos [*drive-download-20180902T210311Z-001.zip*
]

Uploaded by Marcelo Riquelme on 09/02/2018
18:35.

Apéndice E

Protocolo experimento de Digitación

Project created on 10/16/2018
15:03.

Report for project Tareas Laborales

Experiment created on 10/16/2018
15:06.

Digitación de Documentos

Objetivo: Captura de datos fisiológicos y contextuales para estudio de fatiga en tareas laborales. Descripción: Participante debe digitar la información de documentos físicos en plataforma de registro en computador, la tarea se ejecuta durante un período de 110 minutos continuos. Adicionalmente se miden 2 líneas base (período de relajación sin realizar actividades) de 5 minutos cada una, completando 120 minutos de captura de datos por participante. Exclusión de participantes: Quienes presenten tatuajes en zona de instalación de sensores (muñecas) y/o que tengan piel oscura. Estas exclusiones sólo se deben a la restricción tecnológica de los sensores para medir correctamente en ambos casos.

Task created on 10/16/2018
15:09.

ANTES

*No due
date*

Con anticipación a la llegada del participante, el experimentador debe asegurarse que los sensores tengan sus baterías cargadas, sincronizar el reloj del computador y el reloj que se utilice para registro de tiempos durante el experimento, tener toda la documentación impresa requerida, configurar sensor Shimmer (ver Instructivo Consensys en paso 2), cámara de video en posición de uso, archivos y aplicaciones listas para ser utilizadas, en general, tener la sala de experimento en orden y con los elementos dispuestos para una actividad experimental fluida.

Task tags: *No
tags*

Protocol created on 10/16/2018
15:09.

No protocol description

Created by Marcelo Riquelme on 01/31/2019
12:05.

Step 1: Bienvenida y Registro

Uncompleted

Agradecer participación, explicar agenda y descripción general del experimento.
Entregar consentimiento informado, solicitar a participante, que lo lea, complete con sus datos y firma.
Responder cualquier pregunta que tenga al respecto.
Completar los datos de identificación y cuestionario definido para el experimento.

[Bienvenida y Registro Checklist created on 01/29/2019
] 23:39.

- Saludo de bienvenida y descripción general del experimento
- Entregar y completar "Consentimiento Informado"
- Completar datos de identificación y cuestionario

[*Consentimiento_Informado.pdf* File uploaded on 01/31/2019

] 12:05.

[*Cuestionario.pdf* File uploaded on 01/31/2019
] 12:05.

Created by Marcelo Riquelme on 01/31/2019
12:08.

Step 2: Instalación de sensores y adaptación

Uncompleted

Instalación de sensores - Shimmer y Biomonitor

Todos se instala en brazo izquierdo.

Instalar banda de sujeción de cajas de registro Shimmer, en antebrazo.

Instalar sensor PPG Shimmer, en muñeca, lado dorsal.

Prender Pulsera Biomonitor e iniciar captura de datos con Docking Station (**Ver *Instructivo Docking Station***).

Instalar Pulsera Biomonitor, en muñeca, sensor PPG en lado dorsal y EDA en lado palmar.

Instalar caja de registro en banda de sujeción y conectar el sensor.

*(Previamente configurado, leer descripción de esta etapa experimental "ANTES", ver **Instructivo Consensus**)*

Instalación de sensor de contexto - Contextin

El sensor de contexto es el dispositivo compuesto por varios sensores que miden las condiciones ambientales en las cuales se desarrolla la tarea. La versión actual de Contextin tiene sensores de ruido, CO2, acelerómetro, temperatura y humedad.

Prender sensor e iniciar captura de datos (**ver *Instructivo Contextin***)

Ubicar el dispositivo en un lugar que sea representativo del área de trabajo y cercano a la persona. En este caso, se instaló a un costado del monitor que estaba al frente del participante.

Adaptación

El diseño del experimento debe considerar a lo menos un par de minutos para que el participante se adapte al uso de los sensores, y según las consideraciones particulares de la tarea a estudiar, puede considerar además una etapa de nivelación, con el objetivo que los individuos presenten un nivel similar de actividad física y mental previa al inicio de la tarea del experimento.

En este caso, esta etapa incluye actividades de relajación, cognitivas y emocionales durante 45 minutos.

[Instalación de sensores Checklist created on 01/30/2019
] 14:25.

- Instalar banda de sujeción en antebrazo
- Instalar sensor PPG Shimmer en muñeca
- Prender e iniciar pulsera Biomonitor
- Instalar Biomonitor en muñeca
- Instalar caja de registro Shimmer en banda de sujeción y conectar sensor
- Prender e iniciar sensor de contexto Contextin

[Etapa de Nivelación Checklist created on 01/30/2019
] 14:28.

- 10 minutos de relajación
- 10 minutos de resolución de problemas aritméticos y pruebas de colores
- 10 minutos de relajación
- 5 minutos de videos emocionales
- 10 minutos de relajación

[*Instructivo_Consensys.pdf* File uploaded on 01/31/2019
] 12:07.

[*Instructivo_Contextin.pdf* File uploaded on 01/31/2019
] 12:07.

[*Instructivo_Docking_Station.pdf* File uploaded on 01/31/2019
] 12:07.

Created by Marcelo Riquelme on 01/31/2019
12:10.

Step 3: Explicación KSS y N-Back **Uncompleted**

N-Back

N-Back es una prueba que mide la capacidad de atención de un individuo, en la cual mientras escucha una serie de números, debe repetir el n-ésimo número anterior al que escucha.

En este experimento, se aplicó la versión 1-Back, es decir, cuando escucha un número, debe repetir el número que escuchó antes.
Utilizar la aplicación N-Back WesstLab App para teléfonos móviles con sistema Android.

Explicar N-Back y realizar 2 tandas de práctica. Cada tanda corresponde a una serie de 10 números.
Repetir tanda práctica hasta que participante entienda el ejercicio.

Realizar 2 Tandas válidas de N-Back, durante la ejecución de la tarea, en los minutos 10, 40, 70 y 100.

KSS

KSS es una escala de autorreporte de fatiga. El participante debe responder, en una escala de 1 a 9, cuando se le pregunte como se siente durante el experimento. Tener un apoyo visual de la escala, ayuda al participante a responder, se sugiere tener alguna publicación de fácil lectura en recinto de experimento. Ejemplo: cartel en pared, próximo a ubicación de la persona)

- 1 = Extremadamente Alerta
- 2 = Muy Alerta
- 3 = Alerta
- 4 = Algo Alerta
- 5 = Ni Alerta ni Somnoliento
- 6 = Alguna señal de Somnoliento
- 7 = Somnoliento, sin esfuerzo para mantenerse despierto
- 8 = Somnoliento, poco esfuerzo para mantenerse despierto
- 9 = Muy Somnoliento, alto esfuerzo para mantenerse despierto, lucha con el sueño

Explicar KSS y repasar definiciones de escala con participante.
Preguntar KSS cada 10 minutos, durante la ejecución de la tarea

[KSS y N-Back Checklist created on 01/30/2019
] 14:48.

- Explicar N-Back y realizar práctica
- Explicar KSS

[CARTEL_KSS.pdf File uploaded on 01/31/2019
] 12:09.

Created by Marcelo Riquelme on 01/30/2019
14:27.

Step 4: Registro de Línea Base

Uncompleted

La línea base es una ventana de tiempo en la cual el participante debe relajarse lo más posible, para registrar sus señales fisiológicas en una condición sin actividad ni estímulos.

Registrar línea base durante 5 minutos.

[Registro Línea Base Checklist created on 01/30/2019
] 00:15.

- Solicitar a participante que se relaje lo más posible
- Registrar el inicio y término de la ventana de tiempo de 5 minutos

Task created on 10/16/2018
15:09.

DURANTE

No description

Task tags: *No tags*

Protocol created on 10/16/2018
15:09.

No protocol description

Created by Marcelo Riquelme on 01/31/2019
12:14.

Step 1: Explicación inicial **Uncompleted**

Participante debe digitar la información de documentos físicos en plataforma de registro en computador, la tarea se ejecuta durante un período de 110 minutos continuos.

Dar instrucciones para realizar la tarea (***ver Instructivo Digitación de Documentos***) Realizar ejemplo de prueba para asegurar entendimiento de instrucciones y resolver dudas.

Recordar que durante la ejecución de la tarea, se solicitará realizar el N-Back y KSS, para esto se indica que debe detener la ejecución de la tarea de digitación.

[Explicación de la tarea Checklist created on 01/30/2019
] 15:01.

- Instrucciones al participante para realizar tarea
- Realizar la digitación de un documento de prueba

Created by Marcelo Riquelme on 01/30/2019
 23:35.

Step 2: Ejecución de la tarea

Uncompleted

Prender cámara de video y activar grabación de pantalla
 Recordar que durante la ejecución de la tarea, se solicitará realizar el N-Back y KSS.
 Indicar inicio de tarea y supervisar durante 110 minutos.
 Registrar todos los tiempos y toda información relevante de eventos durante el experimento, en los formularios diseñados para ello.
 Registrar los gestos observados del participante durante el experimento.
 Consultar KSS cada 10 minutos
 Realizar 2 tandas de N-Back a los 10, 40, 70 y 100 minutos.

Nota 1- Alternancia durante experimento: Cuando coincida realizar N-Back y KSS (minutos 10, 40, 70 y 100), alternar orden en siguiente coincidencia. Por ejemplo, si se consulta KSS y luego se realiza N-Back, la siguiente vez que coincidan, primero realizar N-Back y luego KSS.

Nota 2- Alternancia entre participantes: Si con un participante se inicio con KSS y luego N-Back, el siguiente participante debe iniciar con N-Back y luego KSS.

[Ejecución de tarea Checklist created on 01/30/2019
] 15:24.

- Prender cámara de video y activar grabación de pantalla del computador
- Recordar que durante la ejecución de la tarea, se realizará N-Back y KSS
- Dar inicio a tarea del experimento
- Supervisar ejecución de tarea y funcionamiento de sensores, durante todo el experimento
- Registrar tiempos e información relevante de eventos durante todo el experimento
- Registrar gestos asociados a fatiga del participante (ver Tabla de Gestos) durante el experimento
- Consultar KSS cada 10 minutos
- Realizar N-Back en minuto 10, 40, 70 y 100
- Indicar término de la tarea cuando finalice una repetición, inmediatamente después de cumplirse los 110 minutos
- Detener grabación de sala y pantalla

[Tabla de Gestos Table created on 01/30/2019
] 15:42.

	A	
1	ACCION	DESCRIPCION
2	SUSPIRO LEVE	EXHALAR AIRE POR BOCA Y/O NARIZ, LEVE
3	SUSPIRO	EXHALAR AIRE POR BOCA Y/O NARIZ, NORMAL
4	SUSPIRO PROFUNDO	EXHALAR AIRE POR BOCA Y/O NARIZ, PROLONGADA
5	RESPIRACION PROFUNDA	INHALACIÓN Y EXHALACIÓN POR BOCA Y/O NARIZ, PROLONGA
6	BOSTEZO	ACCION INVOLUNTARIA DE INSPIRAR AIRE LENTA Y PROLONGA A VECES CON RUIDO
7	ESTIRAMIENTO	ELONGACION DE BRAZOS, PIERNAS, ESPALDA Y CUELLO
8	PAUSA	PERIODO CORTO DE TIEMPO DONDE NO SE REALIZA ACTIVIDAD
9	ACOMODO EN SILLA	MOVIMIENTOS SUAVES EN LA SILLA QUE NO CAMBIAN POSICION
10	AJUSTE DE POSICION	CAMBIA LA POSICION SENTADO O CONFIGURACION DEL ENTORNO
11	MOVIMIENTOS BRUSCOS	MOVIMIENTOS MAS RAPIDOS A LOS NORMALES, QUE CAUSAN

Task created on 10/16/2018
15:09.

DESPUÉS

*No due
date*

No description

Task tags: *No
tags*

Protocol created on 10/16/2018
15:09.

No protocol description

Created by Marcelo Riquelme on 01/30/2019
00:56.

Step 1: Registro de Línea Base

Uncompleted

La línea base es una ventana de tiempo en la cual el participante debe relajarse lo más posible, para registrar sus señales fisiológicas en una condición sin actividad ni estímulos.

Registrar línea base durante 5 minutos.

[Registro Línea Base Checklist created on 01/30/2019
] 23:39.

- Solicitar a participante que se relaje lo más posible
- Registrar el tiempo de inicio y término de la ventana de 5 minutos

Created by Marcelo Riquelme on 01/31/2019
09:47.

Step 2: Término de la sesión

Uncompleted

Indicar término de la actividad
Detener captura de datos de sensores
Desinstalar los sensores
Consultar a participante por molestias, incomodidades, comentarios o cualquier información que considere relevante para el experimento.
Agradecimiento por la participación y despedida

[Término de la sesión Checklist created on 01/30/2019
] 15:31.

- Indicar término de la actividad
- Detener captura de datos de sensores
- Desinstalar los sensores
- Consultar a participante por molestias, incomodidades, comentarios o cualquier información que considere relevante para el experimento.
- Despedida y agradecimiento por la participación

Created by Marcelo Riquelme on 01/30/2019
23:45.

Step 3: Descarga y Almacenamiento de datos

Uncompleted

Descargar los archivos de los distintas fuentes de captura de datos.

Para este experimento, las fuentes son:
Biomonitor, Shimmer, Contextin, cámara de video, grabación de pantalla, N-Back y archivos Excel.

Almacenar en las carpetas de orden dispuestas, para el análisis de datos.

Para este experimento se definió en una cuenta e Google Drive, una estructura de carpetas y nombres específicos a cada archivo.

Digitar la información del cuestionario, registro de tiempos, KSS, N-Back y observaciones de gestos,
en las planillas con los formatos dispuestos para estos registros.

Ordenar sala de experimento y/o preparar para siguiente participante.

[Descarga y almacenamiento de datos Checklist created on 01/30/2019
] 15:47.

- Descargar archivos de distintas fuentes: sensores, aplicaciones y cámaras
- Almacenar en carpetas definidas
- Orden y/o preparación para siguiente sesión experimental

Apéndice F

Protocolo experimento de Reposición

Project created on 10/16/2018
15:03.

Report for project Tareas Laborales

Experiment created on 10/16/2018
15:16.

Reponedor Mercadería

Objetivo: Captura de datos fisiológicos y contextuales para estudio de fatiga en tareas laborales. **Descripción:** Participante recibe instrucciones para acomodar cajas en una góndola, registrar con fotografía el resultado, vaciar la góndola, y repetir la tarea durante un período de 110 minutos. Adicionalmente se miden 2 líneas base (período de relajación sin realizar actividades) de 5 minutos cada una, completando 120 minutos de captura de datos por participante. **Exclusión de participantes:** Quienes presenten tatuajes en zona de instalación de sensores (muñecas) y/o que tengan piel oscura. Estas exclusiones sólo se deben a la restricción tecnológica de los sensores para medir correctamente en ambos casos.

Task created on 01/31/2019
12:20.

ANTES

*No due
date*

Con anticipación a la llegada del participante, el experimentador debe asegurarse que los sensores tengan sus baterías cargadas, sincronizar el reloj del computador y el reloj que se utilice para registro de tiempos durante el experimento, tener toda la documentación impresa requerida, configurar sensor Shimmer (ver Instructivo Consensys en paso 2), cámara de video en posición de uso, archivos y aplicaciones listas para ser utilizadas, en general, tener la sala de experimento en orden y con los elementos dispuestos para una actividad experimental fluida.

Task tags: *No
tags*

Protocol created on 01/31/2019
12:20.

No protocol description

Created by Marcelo Riquelme on 01/31/2019
12:23.

Step 1: Bienvenida y Registro

Uncompleted

Agradecer participación, explicar agenda y descripción general del experimento.
Entregar consentimiento informado, solicitar a participante, que lo lea, complete con sus datos y firma.
Responder cualquier pregunta que tenga al respecto.
Completar los datos de identificación y cuestionario definido para el experimento.

[Bienvenida y Registro Checklist created on 01/31/2019
] 12:21.

- Saludo de bienvenida y descripción general del experimento
- Entregar y completar "Consentimiento Informado"
- Completar datos de identificación y cuestionario

[*Consentimiento_Informado.pdf* File uploaded on 01/31/2019

] 12:21.

[*Cuestionario.pdf* File uploaded on 01/31/2019
] 12:21.

Created by Marcelo Riquelme on 01/31/2019
12:23.

Step 2: Instalación de sensores y adaptación

Uncompleted

Instalación de sensores - Shimmer y Biomonitor

Todos se instala en brazo izquierdo.

Instalar banda de sujeción de cajas de registro Shimmer, en antebrazo.

Instalar sensor PPG Shimmer, en muñeca, lado dorsal.

Prender Pulsera Biomonitor e iniciar captura de datos con Docking Station (**Ver *Instructivo Docking Station***).

Instalar Pulsera Biomonitor, en muñeca, sensor PPG en lado dorsal y EDA en lado palmar.

Instalar caja de registro en banda de sujeción y conectar el sensor.

*(Previamente configurado, leer descripción de esta etapa experimental "ANTES", ver **Instructivo Consensus**)*

Instalación de sensor de contexto - Contextin

El sensor de contexto es el dispositivo compuesto por varios sensores que miden las condiciones ambientales en las cuales se desarrolla la tarea. La versión actual de Contextin tiene sensores de ruido, CO2, acelerómetro, temperatura y humedad.

Prender sensor e iniciar captura de datos (**ver *Instructivo Contextin***)

Ubicar el dispositivo en un lugar que sea representativo del área de trabajo y cercano a la persona. En este caso, se instaló a un costado del monitor que estaba al frente del participante.

Adaptación

El diseño del experimento debe considerar a lo menos un par de minutos para que el participante se adapte al uso de los sensores, y según las consideraciones particulares de la tarea a estudiar, puede considerar además una etapa de nivelación, con el objetivo que los individuos presenten un nivel similar de actividad física y mental previa al inicio de la tarea del experimento.

En este caso, esta etapa incluye actividades de relajación, cognitivas y emocionales durante 45 minutos.

[Instalación de sensores Checklist created on 01/31/2019
] 12:21.

- Instalar banda de sujeción en antebrazo
- Instalar sensor PPG Shimmer en muñeca
- Prender e iniciar pulsera Biomonitor
- Instalar Biomonitor en muñeca
- Instalar caja de registro Shimmer en banda de sujeción y conectar sensor
- Prender e iniciar sensor de contexto Contextin

[Etapa de Nivelación Checklist created on 01/31/2019
] 12:21.

- 10 minutos de relajación
- 10 minutos de resolución de problemas aritméticos y pruebas de colores
- 10 minutos de relajación
- 5 minutos de videos emocionales
- 10 minutos de relajación

[*Instructivo_Consensys.pdf* File uploaded on 01/31/2019
] 12:21.

[*Instructivo_Contextin.pdf* File uploaded on 01/31/2019
] 12:21.

[*Instructivo_Docking_Station.pdf* File uploaded on 01/31/2019
] 12:21.

Created by Marcelo Riquelme on 01/31/2019
12:23.

Step 3: Explicación KSS y N-Back **Uncompleted**

N-Back

N-Back es una prueba que mide la capacidad de atención de un individuo, en la cual mientras escucha una serie de números, debe repetir el n-ésimo número anterior al que escucha.

En este experimento, se aplicó la versión 1-Back, es decir, cuando escucha un número, debe repetir el número que escuchó antes.
Utilizar la aplicación N-Back WesstLab App para teléfonos móviles con sistema Android.

Explicar N-Back y realizar 2 tandas de práctica. Cada tanda corresponde a una serie de 10 números.
Repetir tanda práctica hasta que participante entienda el ejercicio.

Realizar 2 Tandas válidas de N-Back, durante la ejecución de la tarea, en los minutos 10, 40, 70 y 100.

KSS

KSS es una escala de autorreporte de fatiga. El participante debe responder, en una escala de 1 a 9, cuando se le pregunte como se siente durante el experimento. Tener un apoyo visual de la escala, ayuda al participante a responder, se sugiere tener alguna publicación de fácil lectura en recinto de experimento. Ejemplo: cartel en pared, próximo a ubicación de la persona)

- 1 = Extremadamente Alerta
- 2 = Muy Alerta
- 3 = Alerta
- 4 = Algo Alerta
- 5 = Ni Alerta ni Somnoliento
- 6 = Alguna señal de Somnoliento
- 7 = Somnoliento, sin esfuerzo para mantenerse despierto
- 8 = Somnoliento, poco esfuerzo para mantenerse despierto
- 9 = Muy Somnoliento, alto esfuerzo para mantenerse despierto, lucha con el sueño

Explicar KSS y repasar definiciones de escala con participante.
Preguntar KSS cada 10 minutos, durante la ejecución de la tarea

[KSS y N-Back Checklist created on 01/31/2019
] 12:21.

- Explicar N-Back y realizar práctica
- Explicar KSS

[CARTEL_KSS.pdf File uploaded on 01/31/2019
] 12:21.

Created by Marcelo Riquelme on 01/31/2019
12:21.

Step 4: Registro de Línea Base

Uncompleted

La línea base es una ventana de tiempo en la cual el participante debe relajarse lo más posible, para registrar sus señales fisiológicas en una condición sin actividad ni estímulos.

Registrar línea base durante 5 minutos.

[Registro Línea Base Checklist created on 01/31/2019
] 12:21.

- Solicitar a participante que se relaje lo más posible
- Registrar el inicio y término de la ventana de tiempo de 5 minutos

Task created on 01/31/2019
12:20.

DURANTE

No description

Task tags: *No tags*

Protocol created on 01/31/2019
12:20.

No protocol description

Created by Marcelo Riquelme on 01/31/2019
12:47.

Step 1: Explicación inicial **Uncompleted**

Participante recibe instrucciones para acomodar cajas en una góndola, registrar con fotografía el resultado, vaciar la góndola, y repetir la tarea durante un período de 110 minutos.

Dar instrucciones para realizar la tarea (**ver Instructivo Reponedor Mercadería**) Realizar ejemplo de prueba para asegurar entendimiento de instrucciones y resolver dudas.

Recordar que durante la ejecución de la tarea, se solicitará realizar el N-Back y KSS, para esto se indica que debe detener la ejecución de la tarea de reposición.

[Explicación de la tarea Checklist created on 01/31/2019
] 12:23.

- Instrucciones al participante para realizar tarea
- Realizar una práctica de las 3 etapas de la tarea

[Instructivo_Reponedor_Mercadería.pdf File uploaded on 01/31/2019
] 12:25.

Created by Marcelo Riquelme on 01/31/2019
12:23.

Step 2: Ejecución de la tarea

Uncompleted

Prender cámara de video y activar grabación de pantalla
 Recordar que durante la ejecución de la tarea, se solicitará realizar el N-Back y KSS.
 Indicar inicio de tarea y supervisar durante 110 minutos.
 Registrar todos los tiempos y toda información relevante de eventos durante el experimento, en los formularios diseñados para ello.
 Registrar los gestos observados del participante durante el experimento.
 Consultar KSS cada 10 minutos
 Realizar 2 tandas de N-Back a los 10, 40, 70 y 100 minutos.

Nota 1- Alternancia durante experimento: Cuando coincida realizar N-Back y KSS (minutos 10, 40, 70 y 100), alternar orden en siguiente coincidencia. Por ejemplo, si se consulta KSS y luego se realiza N-Back, la siguiente vez que coincidan, primero realizar N-Back y luego KSS.

Nota 2- Alternancia entre participantes: Si con un participante se inicio con KSS y luego N-Back, el siguiente participante debe iniciar con N-Back y luego KSS.

[Ejecución de tarea Checklist created on 01/31/2019
] 12:23.

- Prender cámara de video y activar grabación de pantalla del computador
- Recordar que durante la ejecución de la tarea, se realizará N-Back y KSS
- Dar inicio a tarea del experimento
- Supervisar ejecución de tarea y funcionamiento de sensores, durante todo el experimento
- Registrar tiempos e información relevante de eventos durante todo el experimento
- Registrar gestos asociados a fatiga del participante (ver Tabla de Gestos) durante el experimento
- Consultar KSS cada 10 minutos
- Realizar N-Back en minuto 10, 40, 70 y 100
- Indicar término de la tarea cuando finalice una repetición, inmediatamente después de cumplirse los 110 minutos
- Detener grabación de sala y pantalla

[Tabla de Gestos Table created on 01/31/2019
] 12:23.

	A	
1	ACCION	DESCRIPCION
2	SUSPIRO LEVE	EXHALAR AIRE POR BOCA Y/O NARIZ, LEVE
3	SUSPIRO	EXHALAR AIRE POR BOCA Y/O NARIZ, NORMAL
4	SUSPIRO PROFUNDO	EXHALAR AIRE POR BOCA Y/O NARIZ, PROLONGADA
5	RESPIRACION PROFUNDA	INHALACIÓN Y EXHALACIÓN POR BOCA Y/O NARIZ, PROLONGA
6	BOSTEZO	ACCION INVOLUNTARIA DE INSPIRAR AIRE LENTA Y PROLONGA A VECES CON RUIDO
7	ESTIRAMIENTO	ELONGACION DE BRAZOS, PIERNAS, ESPALDA Y CUELLO
8	PAUSA	PERIODO CORTO DE TIEMPO DONDE NO SE REALIZA ACTIVIDAD
9	ACOMODO EN SILLA	MOVIMIENTOS SUAVES EN LA SILLA QUE NO CAMBIAN POSICION
10	AJUSTE DE POSICION	CAMBIA LA POSICION SENTADO O CONFIGURACION DEL ENTORNO
11	MOVIMIENTOS BRUSCOS	MOVIMIENTOS MAS RAPIDOS A LOS NORMALES, QUE CAUSAN

Task created on 01/31/2019
12:20.

DESPUES

*No due
date*

No description

Task tags: *No
tags*

Protocol created on 01/31/2019
12:20.

No protocol description

Created by Marcelo Riquelme on 01/31/2019
12:22.

Step 1: Registro de Línea Base

Uncompleted

La línea base es una ventana de tiempo en la cual el participante debe relajarse lo más posible, para registrar sus señales fisiológicas en una condición sin actividad ni estímulos.

Registrar línea base durante 5 minutos.

[Registro Línea Base Checklist created on 01/31/2019
] 12:22.

- Solicitar a participante que se relaje lo más posible
- Registrar el tiempo de inicio y término de la ventana de 5 minutos

Created by Marcelo Riquelme on 01/31/2019
12:22.

Step 2: Término de la sesión

Uncompleted

Indicar término de la actividad
Detener captura de datos de sensores
Desinstalar los sensores
Consultar a participante por molestias, incomodidades, comentarios o cualquier información que considere relevante para el experimento.
Agradecimiento por la participación y despedida

[Término de la sesión Checklist created on 01/31/2019
] 12:22.

- Indicar término de la actividad
- Detener captura de datos de sensores
- Desinstalar los sensores
- Consultar a participante por molestias, incomodidades, comentarios o cualquier información que considere relevante para el experimento.
- Despedida y agradecimiento por la participación

Created by Marcelo Riquelme on 01/31/2019
12:22.

Step 3: Descarga y Almacenamiento de datos

Uncompleted

Descargar los archivos de los distintas fuentes de captura de datos.

Para este experimento, las fuentes son:
Biomonitor, Shimmer, Contextin, cámara de video, grabación de pantalla, N-Back y archivos Excel.

Almacenar en las carpetas de orden dispuestas, para el análisis de datos.

Para este experimento se definió en una cuenta e Google Drive, una estructura de carpetas y nombres específicos a cada archivo.

Digitar la información del cuestionario, registro de tiempos, KSS, N-Back y observaciones de gestos,
en las planillas con los formatos dispuestos para estos registros.

Ordenar sala de experimento y/o preparar para siguiente participante.

[Descarga y almacenamiento de datos Checklist created on 01/31/2019
] 12:22.

- Descargar archivos de distintas fuentes: sensores, aplicaciones y cámaras
- Almacenar en carpetas definidas
- Orden y/o preparación para siguiente sesión experimental

Apéndice G

Instructivo uso aplicación de Digitación

- 5) Si es necesario, reubicar formulario en pantalla para permitir la visualización de los datos de documentos ingresados, como se muestra a continuación:

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
	N° Factura	Mes	Año	Rut	Cliente	Glosa	Total	Centro Costo	Hora registro	
1
2
3
4
5										
6										
7										
8										
9										
10										
11										
12										
13										
14										
15										
16										
17										
18										
19										
20										
21										
22										
23										
24										
25										
26										
27										
28										

The form 'Formulario de Registro de Facturas' includes the following fields:

- N° Factura
- Mes
- Año
- Rut
- Cliente
- Glosa
- Total
- Centro Costo

There is an 'INGRESAR' button at the bottom right of the form.

6) **Indicaciones al participante:**

- Registrar los datos de documento físicos que se le entregan
- Digitar los datos en los campos del formulario en pantalla, tal cual se leen en documento
 - N° Factura: número
 - Mes: palabra
 - Año: número
 - Rut: número, SIN puntos, pero SÍ con guión.
 - Cliente: palabra
 - Glosa: palabra
 - Total: número, SIN puntos
 - Centro Costo: número
- Indicar que puede utilizar las teclas TAB ↗, ENTER ↵ o flechas ▲ ▼, para desplazarse entre los campos del formulario, o utilizar el mouse. La decisión queda a preferencia del participante.
- Durante el traspaso de información, puede realizar los cambios y modificaciones que requiera.
- Una vez guardados los datos, al presionar "INGRESAR", no se puede volver a modificar, y debe continuar con siguiente documento.
- Realizar la tarea con normalidad, tratando de mantener regularidad durante la ejecución

7) Realizar ingreso de documento de prueba

8) Cerrar formulario y limpiar datos, según lo indicado en paso número 3.

NOTA: La programación del formulario, contiene comando para guardar archivo, cada vez que se presiona "INGRESAR". Ante cualquier eventualidad durante el experimento, los datos siempre estarán guardados hasta último registro completo ingresado.

9) Entregar documentos físicos para digitar e iniciar la tarea.

10) Al terminar experimento, simplemente cerrar formulario y guardar archivo.

Apéndice H

Instructivo uso aplicación de Reposición

Instructivo para experimento de Reponedor Mercadería



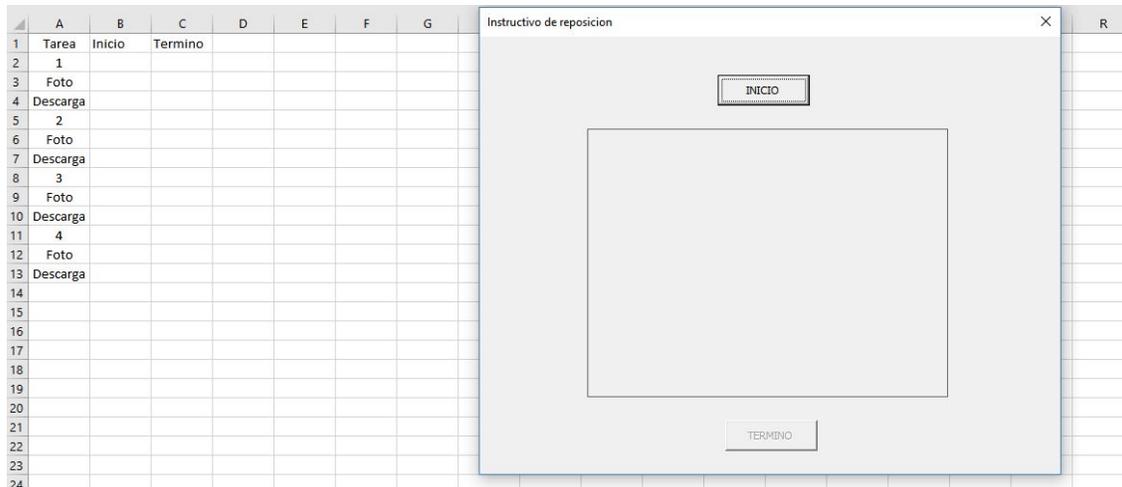
- 1) Abrir archivo “REPONEDOR MERCADERIA.xlsm”
- 2) Asegurarse que carpeta IMG_REPONEDOR está en mismo directorio que archivo, para que funcione adecuadamente la aplicación.
- 3) Revisar que no hay datos registrados para iniciar experimento, seleccionar y borrar. (no seleccionar columna A, sólo datos de horas)

	A	B	C	D
1	Tarea	Inicio	Termino	
2	1	16:37:05	16:37:59	
3	Foto	16:34:47	16:34:48	
4	Descarga	16:34:50	16:34:54	
5	2	16:34:55	16:34:57	
6	Foto	16:34:58	16:34:59	
7	Descarga	16:35:01	16:35:02	
8	3	16:35:05	16:35:07	
9	Foto	16:35:10	16:35:11	
10	Descarga	16:35:13	16:35:14	
11	4	16:35:37	16:35:39	
12	Foto	16:35:40	16:35:41	
13	Descarga	16:35:43	16:35:44	
14				
15				

- 4) Comenzar la actividad Solicitando Instructivo, presionando en botón

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M
1	Tarea	Inicio	Termino										
2	1												
3	Foto												
4	Descarga												
5	2												
6	Foto												
7	Descarga												
8	3												
9	Foto												
10	Descarga												
11	4												
12	Foto												
13	Descarga												

- 5) Si es necesario, reubicar formulario en pantalla para permitir la visualización de los datos, como se muestra a continuación:



6) Indicaciones al participante:

- Indicar que consiste en 3 etapas: Reposición, foto y descarga
- Presionar botón de INICIO para recibir instructivo de reposición de cajas
- Realizar la tarea de reposición según las instrucciones en pantalla
- Al terminar con las instrucciones, apretar botón TERMINO.
- Luego presionar INICIO, seguir las instrucciones que aparezcan en pantalla, cuando termine, presionar TERMINO, repetir hasta completar el tiempo de la actividad.
 - Existen 3 tipos de instrucciones en pantalla: Instrucciones para reposición mercadería en góndola, toma de fotografía de la góndola, descargar la góndola a lugar de acopio de cajas
- Al presionar "TERMINO", los datos son guardados y no se debe volver para modificar algo, sólo continuar con siguiente instrucción.
- Realizar la tarea con normalidad, tratando de mantener regularidad durante la ejecución
- La posición de las cajas en la góndola debe ser con el número hacia el adelante, para que quede identificada en la foto
- El instructivo de reposición de cajas deber realizado una caja a la vez, es decir, no se pueden tomar varias cajas al mismo tiempo.
- Las cajas deben ser tratadas con cuidado, sin lanzarlas ni golpearlas
- La etapa de descarga puede realizarse tomando más de una caja a la vez

7) Realizar ejercicio de prueba de los 3 tipos de instrucciones

8) Cerrar formulario y limpiar datos, según lo indicado en paso número 3.

NOTA: La programación del formulario, contiene comando para guardar archivo, cada vez que se presiona "TERMINO". Ante cualquier eventualidad durante el experimento, los datos siempre estarán guardados hasta última instrucción terminada.

9) Iniciar la tarea.

10) Al terminar experimento, simplemente cerrar formulario y guardar archivo.

Apéndice I

Correlación EDA y p-valor

Participante	Coeficiente de Correlación de Spearman						
	BL1	COGN1	COGN2	BL2	EMOC	BL3	SC
5	-0,960625416	0,795872652	0,479912571	-0,8666292	0,402497632	-0,658761147	0,747815887
6	-0,995496095	-0,557718895	0,024494429	0,14545028	0,4986136	-0,998182105	0,340985118
7	-0,244842703	0,343975061	-0,129861891	0,999674939	-0,25219503	-0,739102109	0,55368015
8	0,916949097	0,290502884	-0,039435235	0,450014575	0,653521531	0,97088571	0,747080986
9	0,938742241	0,747204479	0,045987753	-0,426144585	0,892388419	0,812411953	0,77324587
10	-0,364433247	-0,371187836	0,196680359	0,275999606	0,075661852	0,649751868	0,720956666
11	0,883927367	0,401499671	-0,662993825	0,422486786	0,509176192	0,952742411	0,735292111
12	-0,912948115	0,237786731	0,618583279	0,993034944	0,08991609	0,770369084	0,778914855
13	-0,35119264	0,781610423	-0,596733755	0,787085839	-0,283426251	-0,288309971	0,623318895
14	0,070546372	0,717015899	0,358418177	-0,99920916	0,206277791	-0,914940023	0,593213912
15	0,717419011	0,116371367	0,580712333	-0,52142057	0,052327531	0,111169494	0,34529252
16	-0,932748796	-0,110421734	-0,178328972	0,535420932	0,53758454	0,654198854	0,634546442
17	0,878169403	-0,379960632	-0,657942183	-0,530605327	-0,840958963	-0,380862001	0,286333709
18	-0,329030245	-0,358453894	-0,347648908	-0,88447459	0,263233452	-0,11166923	0,645398785
19	-0,816924923	0,846510866	-0,725025692	0,94737672	0,322285654	-0,320178931	0,606600011
20	-0,262843989	0,764848928	0,820434001	0,572142694	0,10549492	-0,589032721	-0,273729499
22	0,328197825	-0,465978332	0,526781073	0,521978449	0,570704686	0,409927817	0,378798391
23	0,438832604	0,229037419	0,397675595	0,417458112	0,804427995	0,653245753	-0,428338436
24	-0,404303953	0,686369894	0,724998484	0,597472524	0,571710509	0,700785701	0,596949737
25	-0,937085302	-0,181131484	0,077483868	-0,79557484	0,194222816	-0,635456977	0,431406132
26	-0,006933064	0,18140383	0,649029992	0,456878485	0,535105482	0,609748234	0,717674066
27	-0,787807995	-0,465223481	0,429437588	0,972839651	0,287288992	0,474096298	0,564120673
28	0,533641023	0,210136163	-0,07833948	-0,153644272	0,071507847	-0,27064514	0,349265962
29	-0,953391783	-0,586636125	-0,632642397	-0,748150261	-0,903230239	-0,971617441	0,162163793
30	-0,841054457	-0,685646521	-0,161073442	0,987981036	-0,007641316	0,646501513	0,60707993
31	0,781428458	-0,496612727	-0,118491537	0,985325764	0,239784442	0,503458601	0,25498105
32	-0,860519265	-0,446844395	-0,083405403	0,080716914	-0,311920855	0,718741785	0,727179293
33	0,24502309	-0,107471119	-0,022402216	0,880777204	0,979085944	0,979863245	0,662534471
34	-0,219024815	0,251147052	-0,101719612	0,201990316	0,230669169	0,824177514	0,367951401
35	0,651158587	-0,675409385	0,212054746	0,955537606	0,47073871	0,809358824	0,16885639
36	-0,267897985	0,086485931	0,413947032	-0,53522674	-0,18113917	-0,468677271	0,561289259
37	0,377259644	-0,6171881	0,681210956	0,968889213	0,345372933	0,999971406	0,119534876
38	-0,822373714	0,529669754	-0,306680239	0,659911453	0,402664584	0,413813651	0,851811903
39	0,629529568	-0,347556416	-0,019841263	-0,028526119	0,802438681	0,298264377	0,663418946
40	-0,069426218	-0,795050717	0,04051945	-0,041604371	0,77791574	0,231070815	-0,224991303

Tabla I.1: Coeficientes de correlación EDA por participante y etapas. SC: Sesión Completa. (Fuente: Elaboración propia)

Participante	p-valor						
	BL1	COGN1	COGN2	BL2	EMOC	BL3	SC
5	0	0	0	0	0	0	0
6	0	0	0,003992398	1,1291E-283	0	0	0
7	0	0	5,2097E-53	0	0	0	0
8	0	0	4,54689E-06	0	0	0	0
9	0	0	9,95317E-08	0	0	0	0
10	0	0	2,3582E-121	0	1,65211E-38	0	0
11	0	0	0	0	0	0	0
12	0	5,4801E-275	0	0	1,52989E-53	0	0
13	0	0	0	0	0	0	0
14	1,44302E-67	0	0	0	3,0235E-281	0	0
15	0	6,36797E-66	0	0	1,30084E-19	7,1932E-166	0
16	0	1,69482E-59	1,8117E-100	0	0	0	0
17	0	0	0	0	0	0	0
18	0	0	0	0	0	4,607E-167	0
19	0	0	0	0	0	0	0
20	0	0	0	0	7,34057E-74	0	0
22	0	0	0	0	0	0	0
23	0	6,3937E-256	0	0	0	0	0
24	0	0	0	0	0	0	0
25	0	1,662E-158	7,61874E-20	0	6,0595E-249	0	0
26	0,087670769	1,0332E-159	0	0	0	0	0
27	0	0	0	0	0	0	0
28	0	7,9154E-215	1,76897E-21	0	3,89523E-35	0	0
29	0	0	0	0	0	0	0
30	0	0	4,39713E-82	0	0,189872659	0	0
31	0	0	2,64089E-45	0	0	0	0
32	0	0	2,76011E-22	1,09578E-88	0	0	0
33	0	1,0904E-56	0,008711862	0	0	0	0
34	0	1,4387E-307	1,23297E-32	0	0	0	0
35	0	0	3,5614E-139	0	0	0	0
36	0	2,90822E-37	0	0	4,3834E-214	0	0
37	0	0	0	0	0	0	0
38	0	0	0	0	0	0	0
39	0	0	0,019269287	1,91977E-12	0	0	0
40	6,15841E-66	0	1,74627E-06	4,72306E-25	0	0	0

Tabla I.2: p-valor de correlación EDA por participante. SC: Sesión Completa. (Fuente: Elaboración propia)

Apéndice J

Correlación HR y p-valor.

Participante	Coeficiente de Correlación de Spearman						
	BL1	COGN1	COGN2	BL2	EMOC	BL3	SC
5	0,670059781	0,935511122	0,4194905	0,27015369	0,523901701	0,069961075	0,474229131
6	0,590279467	0,370446041	0,147722478	0,516315058	0,486079868	0,418781836	0,68612532
7	0,98251	0,979680622	0,890772778	0,962810386	0,932701718	0,967611262	0,826892498
8	0,87905278	0,862002479	0,693401966	0,728077389	0,900999822	0,965692914	0,911863842
9	0,912530439	0,780260075	-0,168105367	0,735601753	0,913925572	0,898578011	0,721060207
10	0,71196267	0,77358855	0,460741845	0,865076641	0,915503607	0,734522763	0,856887234
11	0,566092428	0,557378016	-0,294735407	0,386682947	0,229118386	0,332280996	0,397299362
12	-0,115856031	-0,710992085	-0,342705924	0,203408239	0,135290086	-0,035244241	-0,034637733
13	0,772485604	0,629651599	-0,173196899	0,655202254	0,864514351	0,739933314	0,672205622
14	0,650536332	-0,312934526	0,475065079	0,889467385	0,486955997	0,648965086	0,32805392
15	0,922575558	0,690903388	0,787397336	0,875555028	0,961086342	0,893743714	0,868742777
16	0,879170497	0,729797559	0,476876691	0,190835162	0,706838774	0,871455616	0,81715846
17	0,554488092	-0,006405622	-0,694032653	-0,045258718	0,215727301	0,352156692	0,206944337
18	0,342411306	0,799274688	-0,200516995	0,592336174	0,828752476	0,263204936	0,4394694
19	0,888464174	0,71740672	0,182007902	0,418498242	0,511368674	0,495937909	0,415480495
20	0,843737854	0,727098337	0,699733487	0,925949144	0,832450412	0,873276153	0,926179646
22	0,875646688	0,911028474	0,933167081	0,899125472	0,513589777	0,692637414	0,886606777
23	0,827522983	0,953928959	0,943621584	0,931103888	0,813185713	0,839805594	0,925146577
24	0,570615992	-0,328268358	0,145425813	-0,049768472	-0,299308714	0,049583103	0,340530151
25	0,642765789	0,928164098	0,909838282	0,565334009	-0,029253006	0,855399884	0,341776839
26	0,830892639	0,723699349	0,217816657	0,619046078	-0,192480765	0,18062016	0,588426195
27	0,67431614	0,543980971	0,660674204	0,620595368	-0,084789488	0,449758175	0,722193446
28	0,894111461	0,968577403	0,843769576	0,763075916	0,764408179	0,841418555	0,948340316
29	0,178707165	0,063156358	0,936695371	0,587297487	0,880807751	0,794108126	0,73308708
30	0,953660748	0,952451818	0,976537537	0,96848185	0,840008571	0,956175074	0,909006181
31	0,631776973	0,813337215	0,660782907	0,749250618	0,74970231	0,266572271	0,791164533
32	0,944706704	0,970574841	0,964084983	0,994639592	0,945324049	0,953952475	0,990486113
33	0,906086896	0,978196275	0,988583632	0,99078712	0,980234388	0,985509599	0,978031645
34	0,728102197	0,876316923	0,867891652	0,961099113	0,907699998	0,925560774	0,918582112
35	0,666769824	0,746282311	0,662750529	0,453570856	0,451280955	0,404335486	0,783494671
36	-0,147604017	0,658318186	-0,162911306	0,686022217	0,619996017	0,204092075	0,442530973
37	0,576951441	0,915761264	-0,096605123	0,823390674	0,373067715	0,69624073	0,833082124
38	0,481930781	-0,264507522	0,599887558	0,555182512	0,762420333	0,693693956	0,695861692
39	0,857374261	0,787137087	0,931185025	0,890895337	0,748164752	0,733131145	0,872261515
40	0,806995644	0,958067632	0,985225234	0,95463632	0,896672451	0,803871397	0,932271319

Tabla J.1: Coeficientes de correlación HR por participante, entre sensores Shimmer y Biomonitor. SC: Sesión Completa. (Fuente: Elaboración propia)

Participante	p-valor						
	BL1	COGN1	COGN2	BL2	EMOC	BL3	SC
5	0	0	0	0	0	1,4255E-66	0
6	0	0	3,52561E-68	0	0	0	0
7	0	0	0	0	0	0	0
8	0	0	0	0	0	0	0
9	0	0	0	0	0	0	0
10	0	0	0	0	0	0	0
11	0	0	0	0	0	0	0
12	4,2814E-185	0	0	0	0	4,04416E-18	3,20456E-74
13	0	0	0	0	0	0	0
14	0	0	0	0	0	0	0
15	0	0	0	0	0	0	0
16	0	0	0	0	0	0	0
17	0	0,346806134	0	5,02827E-29	0	0	0
18	0	0	0	0	0	0	0
19	0	0	0	0	0	0	0
20	0	0	0	0	0	0	0
22	0	0	0	0	0	0	0
23	0	0	0	0	0	0	0
24	0	0	1,50246E-66	1,5663E-34	0	2,75949E-34	0
25	0	0	0	0	4,95663E-07	0	0
26	0	0	0	0	0	0	0
27	0	0	0	0	2,48797E-49	0	0
28	0	0	0	0	0	0	0
29	0	1,34572E-20	0	0	0	0	0
30	0	0	0	0	0	0	0
31	0	0	0	0	0	0	0
32	0	0	0	0	0	0	0
33	0	0	0	0	0	0	0
34	0	0	0	0	0	0	0
35	0	0	0	0	0	0	0
36	0	0	0	0	0	0	0
37	0	0	1,49528E-29	0	0	0	0
38	0	0	0	0	0	0	0
39	0	0	0	0	0	0	0
40	0	0	0	0	0	0	0

Tabla J.2: p-valor de correlación HR por participante, entre sensores Shimmer y Biomonitor. SC: Sesión Completa. (Fuente: Elaboración propia)

Participante	Coeficiente de Correlación de Spearman						
	BL1	COGN1	COGN2	BL2	EMOC	BL3	SC
5	0,314760918	0,71557903	0,438467039	0,304973208	0,824912542	0,17888265	0,445496659
6	0,325696	0,110245368	0,27783678	0,389661838	0,040861632	0,617422356	0,60359917
7	0,958899217	0,856125426	0,896990064	0,927725353	0,819452131	0,954079976	0,820520194
8	0,696313651	0,831921768	0,639980403	0,311032447	0,796526695	0,758385625	0,807338536
9	0,764572316	0,526772939	0,306854564	0,501901039	0,632029711	0,558358818	0,582892257
10	0,679537399	0,787480814	0,168227893	0,777132996	0,828595942	0,573838889	0,80208918
11	0,37864037	0,549594435	0,202145761	0,675577967	0,380185853	0,431822908	0,509536355
12	-0,034149167	-0,656308472	-0,57804861	0,010068322	0,267104068		-0,030804528
13	0,800034859	0,440600631	-0,534343322	0,538855884	0,706651537	0,487208416	0,60549815
14	0,594789437	0,071242634	-0,357855473	0,750201826	0,370649174	0,438953683	0,344688746
15	0,62754194	0,338628003	0,419460377	0,693462786	0,60388805	0,70353378	0,740615975
16	0,435223692	0,64613592	0,572648508	0,417086708	0,568614031	0,56729828	0,632368274
17	0,165870533	0,364616683	0,227996372	-0,358414217	-0,098755792	-0,084583643	0,018878137
18	0,425464397	0,764758831	-0,703919821	0,594340353	0,537159967	0,513386322	0,457322464
19	0,542064759	0,751779212	0,300953678	0,401494213	0,260339442	0,689619456	0,467414979
20	0,444464378	0,689515802	0,539535375	0,396151858	0,526968347	0,544811606	0,646160394
22	0,74970798	0,929620652	0,762908857	0,877299268	0,751885332	0,823375725	0,895398227
23	0,361949085	-0,48019717	0,287858071	0,716925579	0,572000616	0,742740464	0,782499517
24	0,42128737	-0,389851086	0,430893198	0,199867891	-0,195475227	0,138486505	0,406961634
25	0,405519717	0,83914936	0,86207042	0,568684813	-0,015183062	0,633411202	0,293331107
26	0,524514018	0,678355597	0,595457198	0,699670736	0,033650267	0,186518933	0,555072748
27	0,274845899	0,61022791	0,390744006	0,699406249	0,488677479	0,505375633	0,713534518
28	0,594879749	0,611534635	0,618990596	0,630264684	0,548279742	0,695046392	0,868752396
29	0,247871195	-0,011929996	0,688097508	0,257084018	0,715176049	0,675107102	0,643331343
30	0,710631327	0,340969341	0,539146692	0,667531044	0,430769207	0,675267569	0,758240782
31	0,630036421	0,79679805	0,399497828	0,713927775	0,653437314	0,289190004	0,748175121
32	0,834166393	0,945766468	0,884036841	0,920298954	0,963336748	0,956373933	0,983676314
33	0,78891888	0,904628069	0,605929952	0,924731921	0,966853796	0,978395724	0,943627768
34	0,338612483	0,350303716	-0,136163585	0,532302751	0,612467175	0,408747071	0,497336219
35	0,346358757	0,590859518	0,546535096	0,306493794	0,189094214	0,46164744	0,712638216
36	-0,157312602	0,61647694	0,675101229	0,733240871	0,464556506	0,010082386	0,416702698
37	0,39197434	0,854512333	0,886409571	0,673479437	0,448430552		0,43764111
38	0,273184307	-0,493966168	0,174422247	0,030380992	0,294881062	0,577977455	0,52633084
39	0,327214711	-0,038798337	0,622719756	0,762256443	0,644834364	0,654554144	0,645932981
40	0,391783375	0,702045336	0,72064454	0,656908142	0,708182675	0,648573192	0,772009859

Tabla J.3: Coeficientes de correlación HR por participante, entre sensores Contec y Biomonitor. SC: Sesión Completa. (Fuente: Elaboración propia)

Participante	p-valor						
	BL1	COGN1	COGN2	BL2	EMOC	BL3	SC
5	0	0	0	0	0	0	0
6	0	1,3798E-59	3,1251E-243	0	2,10835E-13	0	0
7	0	0	0	0	0	0	0
8	0	0	0	0	0	0	0
9	0	0	0	0	0	0	0
10	0	0	7,72388E-89	0	0	0	0
11	0	0	0	0	0	0	0
12	1,51578E-17	0	0	0,013281022	0		4,42258E-59
13	0	0	0	0	0	0	0
14	0	1,4333E-25	0	0	0	0	0
15	0	0	0	0	0	0	0
16	0	0	0	0	0	0	0
17	0	0	0	0	1,75598E-64	1,91824E-96	7,11772E-23
18	0	0	0	0	0	0	0
19	0	0	8,2551E-281	0	0	0	0
20	0	0	0	0	0	0	0
22	0	0	0	0	0	0	0
23	0	0	3,781E-254	0	0	0	0
24	0	0	0	0	0	4,2174E-257	0
25	0	0	0	0	0,009071094	0	0
26	0	0	0	0	4,83044E-09	0	0
27	0	0	0	0	0	0	0
28	0	0	0	0	0	0	0
29	0	0,079036202	0	0	0	0	0
30	0	0	0	0	0	0	0
31	0	0	0	0	0	0	0
32	0	0	0	0	0	0	0
33	0	0	0	0	0	0	0
34	0	0	2,50571E-57	0	0	0	0
35	0	0	0	0	2,9168E-234	0	0
36	0	0	0	0	0	0,013001079	0
37	0	0	0	0	0	0	0
38	0	0	9,5603E-114	5,88555E-14	0	0	0
39	0	1,19328E-08	0	0	0	0	0
40	0	0	0	0	0	0	0

Tabla J.4: p-valor de correlación HR por participante, entre sensores Contec y Biomonitor. SC: Sesión Completa. (Fuente: Elaboración propia)

Participante	Coeficiente de Correlación de Spearman						
	BL1	COGN1	COGN2	BL2	EMOC	BL3	SC
5	0,41892635	0,678665972	0,600125397	0,387739379	0,633061567	0,322593735	0,533437941
6	0,557029358	-0,215243606	0,911715412	0,547363071	0,172132035	0,445034894	0,706953263
7	0,971928818	0,895374892	0,881460558	0,94943903	0,811105262	0,935124816	0,954417085
8	0,87858584	0,79506677	0,65050531	0,678972632	0,8600503	0,74431106	0,894058447
9	0,798347894	0,771976196	0,372407217	0,646540221	0,566945249	0,435955919	0,755546872
10	0,656597618	0,563639033	0,819796192	0,807241038	0,841895815	0,650780067	0,816016364
11	0,736930837	0,917164355	0,400502532	0,773512557	0,796376505	0,792404185	0,798100679
12	-0,007855081	0,649597378	0,635006006	0,451116793	0,160769117		0,366630182
13	0,67594831	0,594354831	0,406506091	0,635704505	0,587620908	0,544923508	0,807634407
14	0,829230635	0,303179108	0,434480285	0,811416539	0,690717977	0,628401485	0,812364701
15	0,744405638	0,417099424	0,585373045	0,667061438	0,590562035	0,623924099	0,747534916
16	0,485895071	0,831516631	0,073165521	0,403174822	0,361601178	0,529041877	0,715666354
17	0,376956688	0,219048369	-0,03342696	0,297726571	0,599830733	-0,071319796	0,157913685
18	0,507818695	0,568972481	0,11960693	0,58428723	0,456043511	0,335166948	0,651502722
19	0,563231728	0,772415892	0,606198567	0,491103341	0,606540837	0,428046972	0,649164083
20	0,689655935	0,543262916	0,260891481	0,511478387	0,586473067	0,491815727	0,6990496
22	0,928315846	0,955792442	0,868538924	0,858530491	0,864091488	0,838841441	0,92889106
23	0,653298534	-0,526682686	0,267493738	0,732908818	0,397435991	0,664766091	0,777139052
24	0,528491696	0,647482012	0,577243341	0,455906947	0,444886703	0,344956286	0,69183004
25	0,538034167	0,822150419	0,869857043	0,626236702	0,67971213	0,651305621	0,804549602
26	0,754816128	0,50725374	-0,083508563	0,5666033	0,812248224	0,522733315	0,679305141
27	0,113297084	0,300295915	-0,098211697	0,365804972	0,160659997	0,400630336	0,630821611
28	0,700219515	0,66824064	0,458911348	0,749917449	0,798866716	0,59711845	0,892322681
29	0,633292365	0,81514147	0,558347671	0,506964227	0,749136686	0,741045429	0,835262172
30	0,729231551	0,289608651	0,52632064	0,63236581	0,575447952	0,642027005	0,804976199
31	0,869962108	0,820707547	0,756931492	0,876995238	0,863142052	0,630547254	0,89757486
32	0,911028545	0,985485734	0,954606926	0,917089129	0,907831784	0,947230576	0,979344269
33	0,88635251	0,891153158	0,580368813	0,921218903	0,930795871	0,974847647	0,950413994
34	0,471092591	0,353237912	-0,206114553	0,562822882	0,706623842	0,292518405	0,497554362
35	0,479847513	0,774655066	0,708020504	0,564410671	0,707364049	0,601435233	0,804344223
36	0,820469355	0,262022396	0,430574471	0,851936526	0,786968253	0,28276069	0,806882979
37	0,516411258	0,858991759	0,021720222	0,568663916	0,360889067		0,422401986
38	0,41119726	0,501201675	0,412054966	0,421204559	0,292355002	0,492533372	0,659612933
39	0,601434668	0,153170942	0,487424843	0,623607509	0,645699989	0,451843309	0,622736973
40	0,635596457	0,761902209	0,693035772	0,618920464	0,652590336	0,610587064	0,77903348

Tabla J.5: Coeficientes de correlación HR por participante, entre sensores Shimmer y Contec. SC: Sesión Completa. (Fuente: Elaboración propia)

Participante	p-valor						
	BL1	COGN1	COGN2	BL2	EMOC	BL3	SC
5	0	0	0	0	0	0	0
6	0	1,4103E-225	0	0	5,5101E-213	0	0
7	0	0	0	0	0	0	0
8	0	0	0	0	0	0	0
9	0	0	0	0	0	0	0
10	0	0	0	0	0	0	0
11	0	0	0	0	0	0	0
12	0,049923947	0	0	0	1,7334E-168		0
13	0	0	0	0	0	0	0
14	0	0	0	0	0	0	0
15	0	0	0	0	0	0	0
16	0	0	4,2601E-18	0	0	0	0
17	0	1,1763E-232	7,13484E-05	0	0	4,812E-69	0
18	0	0	4,42449E-47	0	0	0	0
19	0	0	0	0	0	0	0
20	0	0	3,1077E-215	0	0	0	0
22	0	0	0	0	0	0	0
23	0	0	1,9356E-218	0	0	0	0
24	0	0	0	0	0	0	0
25	0	0	0	0	0	0	0
26	0	0	1,19645E-22	0	0	0	0
27	0	0	2,46407E-34	0	5,595E-174	0	0
28	0	0	0	0	0	0	0
29	0	0	0	0	0	0	0
30	0	0	0	0	0	0	0
31	0	0	0	0	0	0	0
32	0	0	0	0	0	0	0
33	0	0	0	0	0	0	0
34	0	0	1,739E-130	0	0	0	0
35	0	0	0	0	0	0	0
36	0	0	0	0	0	0	0
37	0	0	0,011283232	0	0		0
38	0	0	0	0	0	0	0
39	0	2,1584E-113	0	0	0	0	0
40	0	0	0	0	0	0	0

Tabla J.6: p-valor de correlación HR por participante, entre sensores Shimmer y Contec. SC: Sesión Completa. (Fuente: Elaboración propia)

Apéndice K

Información del sensor de contexto por participante

		Humedad %	Temp °C	CO2 ppm	Sonido sa		Humedad %	Temp °C	CO2 ppm	Sonido sa
Promedio	P9	38,4674583	24,9612576	457,896195	172,488359	P25	43,5341104	25,1611163	543,095394	177,852506
Desv. Est.		1,05258782	0,63458253	45,1236758	14,8775931		0,93214067	0,43761905	149,700947	16,8487729
% Desv. Est.		0,02736307	0,0254227	0,09854565	0,08625274		0,02141173	0,01739267	0,27564393	0,09473453
Promedio	P10	42,4785529	24,9174841	445,175992	171,685242	P26	44,4383193	25,1423503	421,789387	178,514871
Desv. Est.		0,43476856	0,3607543	27,9774994	18,5713105		1,03422438	0,39603679	15,8218066	16,9949245
% Desv. Est.		0,01023501	0,01447796	0,06284593	0,10817069		0,02327326	0,01575178	0,03751115	0,09520173
Promedio	P11	45,0650443	25,0453814	406,84676	174,703788	P27	41,1141011	25,3091845	551,356069	165,414858
Desv. Est.		1,2182685	0,5052257	5,52121526	24,0272904		0,70069564	0,67331182	221,289075	12,1496321
% Desv. Est.		0,02703356	0,02017241	0,01357075	0,13753159		0,01704271	0,02660346	0,4013542	0,07344946
Promedio	P12	47,05735	24,6317459	461,675541	178,522171	P28	43,7722452	25,1574182	424,669335	162,960562
Desv. Est.		0,36079988	0,30769015	40,3006101	11,1334085		0,61729909	0,48667595	15,0328095	12,0178904
% Desv. Est.		0,00766724	0,01249161	0,08729206	0,06236429		0,01410252	0,01934523	0,03539886	0,07374723
Promedio	P13	49,4054676	25,0312919	431,300343	184,42062	P29	39,2858972	25,0278513	413,866876	165,828219
Desv. Est.		1,18233421	0,40806611	31,1182787	22,7942806		0,68337243	0,35894785	13,9775629	13,2610245
% Desv. Est.		0,02393124	0,01630224	0,07214999	0,12359941		0,01739485	0,01434194	0,03377309	0,07996844
Promedio	P14	52,5614506	24,8580406	447,9712999	181,049211	P30	40,6724161	25,0862744	426,302301	163,15892
Desv. Est.		0,41419972	0,3940337	33,2053056	20,8477911		0,88022807	0,42567652	26,4461536	23,6994035
% Desv. Est.		0,00788029	0,01585136	0,07412373	0,11514986		0,02164189	0,0169685	0,06203615	0,1452535
Promedio	P15	42,0406507	28,1153358	420,69716	184,445204	P31	41,425832	25,2426859	418,483615	167,555128
Desv. Est.		2,00639179	0,86633699	14,5163857	11,6062713		1,14403187	0,57151694	10,8010917	25,606805
% Desv. Est.		0,04772504	0,03081368	0,03450555	0,06292531		0,02761639	0,02264089	0,02581007	0,15282615
Promedio	P16	43,2135543	24,969753	473,785186	176,149501	P32	48,9163031	25,3662727	439,921932	165,84928
Desv. Est.		0,56906241	0,39138075	45,11027	24,6069137		0,50213964	0,59257441	32,4248212	13,9547049
% Desv. Est.		0,01316861	0,01567419	0,0952125	0,13969335		0,01026528	0,02336072	0,07370585	0,08414088
Promedio	P17	43,3010392	25,0044641	438,975827	173,405762	P33	49,1898967	25,0586782	404,099684	170,483268
Desv. Est.		0,9488237	0,37414676	24,2494101	12,4331855		0,91600598	0,25496365	3,18394765	11,1399548
% Desv. Est.		0,02191226	0,0149632	0,05524088	0,07169996		0,01862183	0,01017466	0,00787911	0,06534339
Promedio	P18	43,9457922	25,0909668	427,887064	178,034815	P34	47,1091555	25,2389117	554,283105	170,554904
Desv. Est.		0,9006537	0,45454	23,163845	18,5492235		0,65298778	0,47183332	119,515596	14,945399
% Desv. Est.		0,02049465	0,01811568	0,05413542	0,10418874		0,01386117	0,01869468	0,21562194	0,08762808
Promedio	P19	42,8147529	25,3261878	427,52616	179,127808	P35	48,0871951	25,3693051	413,625873	169,858998
Desv. Est.		0,99782819	0,44756442	15,1203338	17,8731041		1,20675599	0,4582559	0,08643556	11,6680195
% Desv. Est.		0,02330571	0,017672	0,03536704	0,0997785		0,02509516	0,0180634	0,02196776	0,06869238
Promedio	P20	43,3939354	25,2792733	409,287179	173,063847	P36	49,4845536	25,181115	415,845804	173,131484
Desv. Est.		0,47348977	0,54718818	6,50062409	11,3997911		1,02550377	0,49855976	8,66122433	18,4680623
% Desv. Est.		0,01091143	0,02164572	0,01588279	0,06587044		0,02072371	0,01979895	0,02082797	0,10667073
Promedio	P21	40,0021229	25,0471541	407,841472	176,208463	P37	47,4202952	25,0801482	429,152421	168,540274
Desv. Est.		1,03608928	0,37342734	5,29900311	22,6558066		1,12934931	0,48061945	24,0311043	11,7973473
% Desv. Est.		0,02590086	0,01490897	0,0129928	0,12857388		0,02381574	0,01916334	0,05599666	0,0699972
Promedio	P22	42,2402467	25,179632	436,153181	177,799275	P38	48,1014396	25,3572735	483,579403	173,550929
Desv. Est.		0,48670175	0,42648123	35,2428099	12,5989175		0,92987001	0,5899059	32,7270195	22,5168091
% Desv. Est.		0,01152223	0,01693755	0,08080374	0,07086034		0,01933144	0,02326377	0,06767662	0,1297418
Promedio	P23	48,8849741	25,0151553	411,648191	179,151398	P39	45,0585897	25,242564	505,077901	171,9324
Desv. Est.		1,38594179	0,47533112	10,0833443	18,4544818		0,93781039	0,43042371	72,0142847	13,0281751
% Desv. Est.		0,02835108	0,01900173	0,02449505	0,10301054		0,02081313	0,01705151	0,14258055	0,07577499
Promedio	P24	45,1341788	24,9935184	417,127052	180,683253	P40	45,3235005	25,0889905	456,772685	172,299489
Desv. Est.		1,07778824	0,41511549	10,8798589	23,8160921		0,49644282	0,44511782	33,3150102	17,064866
% Desv. Est.		0,02387965	0,01660893	0,02608284	0,13181129		0,01095332	0,01774156	0,07293564	0,09904188

Tabla K.1: Información del sensor de contexto por participante. (Fuente: Elaboración propia)

Apéndice L

Bitácora de modificaciones a Biomonitor

Este listado de modificaciones se realizaron previo a la fase experimental, adaptando la versión con carcasa dura, con el fin de mejorar el desempeño del sensor óptico y la comodidad de uso para quienes participarían de las sesiones experimentales. El reporte que se presenta a continuación, fue confeccionado utilizando la herramienta de documentación de investigaciones SciNote (<https://scinote.net/>).

Acá se da cuenta de las mejoras físicas, las pruebas de captura de datos, las revisiones que datos indicaran valores y tendencias dentro de los rangos esperados, así como pruebas de duración de batería de Biomonitor y computador a utilizar durante los experimentos

Project created on 08/16/2018 22:01.

Report for project Pulsera Biomonitor

Experiment created on 08/31/2018 18:14.

Pruebas Parciales

Realizar capturas de datos, de corta duración, 5 minutos aproximadamente, sólo viendo un video que cause emociones. El objetivo es determinar que sensores de placa estén midiendo lo que corresponde, visualizando que las curvas de los datos capturados sean características a la señal obtenida

Task created on 09/03/2018 11:30.

Scripts Matlab para visualización

No due date

Rutinas programadas en Matlab para filtrado de señales y visualización gráfica, para poder revisar que los datos capturados de las pruebas parciales se comporten dentro de lo esperado de sus curvas características

Task tags: *No tags*

Created by Marcelo Riquelme on 09/03/2018 11:31.

Step 1: Scripts para Matlab Uncompleted

No description

[*plotPPG.m*] File uploaded on 09/03/2018 11:31.

[*plotTEMP.m*] File uploaded on 09/03/2018 11:31.

[*vline.m*] File uploaded on 09/03/2018 11:31.

[*cutData.m*] File uploaded on 09/03/2018 11:31.

[*getEDAbiomonitor.m*] File uploaded on 09/03/2018 11:31.

[*localTime2unixTime.m*] File uploaded on 09/03/2018 11:31.

[*myBPFilter.m*] File uploaded on 09/03/2018 11:31.

[*myEDAFilter.m*] File uploaded on 09/03/2018 11:31.

[*myHPFilter.m*] File uploaded on 09/03/2018 11:31.

[*myLPFilter.m*] File uploaded on 09/03/2018 11:31.

[*plotACC.m*] File uploaded on 09/03/2018 11:31.

Task created on 09/06/2018 14:36.

Bitácora Modificaciones Físicas

No due date

No description

Task tags: No tags

Created by Marcelo Riquelme on 09/06/2018 16:14.

Step 1: Ubicación Fotodiodo Uncompleted

24/08/2018 Se establece que fotodiodo debe estar en contacto directo con piel para una correcta operación

Referencia del fabricante: <https://www.youtube.com/watch?v=gliS8kdWNMM>

Diseño no se cambia por el momento. Cualquier modificación debe ser una adaptación a la placa actual

Created by Marcelo Riquelme on 09/06/2018 14:47.

Step 2: Eliminación base carcaza Uncompleted

28/08/2018 Primera modificación física a pulsera, se elimina base de carcaza y la PLACA 3 queda cosida a la banda directamente para que tenga contacto con piel

[Sin_base_inferior.JPG] File uploaded on 09/06/2018 16:13.



[Placa_cosida.JPG] File uploaded on 09/06/2018 16:13.



Created by Marcelo Riquelme on 09/06/2018 14:48.

Step 3: Capa de silicona a placa Uncompleted

29/08/2018 PLACA 3 es recubierta con una capa de silicona líquida, para disminuir incomodidad al estar en directo contacto con la piel

[Placa3_silicona_a.JPG] File uploaded on 09/06/2018 16:16.



[Placa3_silicona_b.JPG] File uploaded on 09/06/2018 16:16.



[Placa3_silicona_c.JPG] File uploaded on 09/06/2018 16:16.



Created by Marcelo Riquelme on 09/06/2018 14:49.

Step 4: Disminución espesor de carcaza Uncompleted

29/08 Carcaza es intervenida en su base, para adelgazar y moldear, permitiendo a la placa reducir su espacio a la piel

[Disminucion_espesor_carzaca_a.JPG] File uploaded on 09/06/2018 16:23.



[Disminucion_espesor_carzaca_b.JPG] File uploaded on 09/06/2018 16:23.



[Disminucion_espesor_carzaca_c.JPG] File uploaded on 09/06/2018 16:23.



[Disminucion_espesor_carzaca_d.jpg] File uploaded on 09/06/2018 16:23.



Created by Marcelo Riquelme on 09/06/2018 14:50.

Step 5: Flasheo de placas Uncompleted

30/08/2018 8 Placas son flasheadas para comenzar nuevas pruebas

Created by Marcelo Riquelme on 09/06/2018 14:56.

Step 6: Modificación correa Uncompleted

03/09/2018 Correa es modificada y enviada a diseñadora para su confección, para que:

- 1) Placa quede en contacto con piel
- 2) Batería quede en bolsillo sobre la placa, con esto, se elimina la parte superior de carcasa, implica carcasa queda eliminada.

Created by Marcelo Riquelme on 09/06/2018 15:06.

Step 7: Utilización de electrodos ECG Uncompleted

05/09/2018 Al requerirse más electrodos para fabricación de más unidades, se descubre que electrodos para ECG son de la misma materialidad que los Shimmer originales (Ag-AgCl), se realizan mediciones con resultados satisfactorios y nuevas unidades de pulsera, incorporarán los electrodos Skintact o similares.

[*Electrodos_Skintact.JPG*] File uploaded on 09/06/2018 16:26.



[*Electrodos_a.JPG*] File uploaded on 09/06/2018 16:26.



[*Electrodos_b.JPG*] File uploaded on 09/06/2018 16:26.



Created by Marcelo Riquelme on 09/11/2018 19:00.

Step 8: Modificación correa 2 Uncompleted

10/09/2018

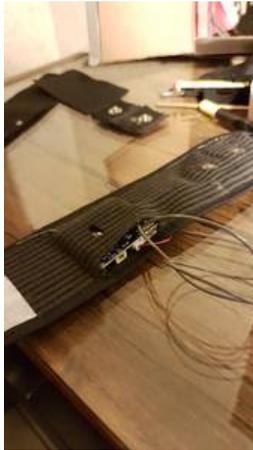
Visita a diseñadora para ver avances, retroalimentar y resolver dudas del acabado final a la correa

- 1) Placa queda desmontable en su propio bolsillo (separado de la batería) y cierre propio con velcro por el lado de conectores para protección y firmeza en posición
- 2) Bolsillo de batería también queda con cierre de velcro independiente
- 3) Ajuste a ubicación de perforación en tela para que fotodiodo y sensor de temperatura queden expuestos a contacto directo con piel
- 4) Alargue correa para un correcto cierre
- 5) Indicaciones de ubicación de sensores EDA y fotodiodo en muñeca, a tener presente en cada talla
- 6) Enviar planos/especificaciones de distintas tallas, señalando las distancias entre sensores y largo de correa
- 7) Indicación a que sensor EDA debe quedar descubierto; la tela no debe cubrirlo
- 8) Cable de sensor EDA no debe quedar pegado a placa, ya que debe quedar independiente para su intervención

[IMG-20180907-WA0060.jpg] File uploaded on 09/11/2018 18:55.



[IMG-20180907-WA0061.jpg] File uploaded on 09/11/2018 18:55.



Created by Marcelo Riquelme on 09/27/2018 18:54.

Step 9: Modificación correa 2: Resultado Uncompleted

13/09/2018

Diseñadora entrega 4 correas modificadas:

-2 talla S

- 2 talla M

Nota: Cada talla tiene una versión con sensor EDA antiguo y otra con sensor EDA nuevo (de ECG). Según Paso 7 "Utilización de electrodos ECG"

[DSC_1773.JPG] File uploaded on 09/27/2018 18:54.



[DSC_1767.JPG] File uploaded on 09/27/2018 18:54.



[DSC_1765.JPG] File uploaded on 09/27/2018 18:54.



[DSC_1766.JPG] File uploaded on 09/27/2018 18:54.



[DSC_1768.JPG] File uploaded on 09/27/2018 18:54.



[DSC_1770.JPG] File uploaded on 09/27/2018 18:54.



[DSC_1771.JPG] File uploaded on 09/27/2018 18:54.



Created by Marcelo Riquelme on 10/03/2018 11:14.

Step 10: Sensor de temperatura soldado Uncompleted

28/09/2018

Placas N° 1 a N°8, quedan con sensor de temperatura soldado directo a la placa.

Placas no son flasheadas.

Placa N°3, ya tenía soldado el sensor, es la placa que se encuentra instalada en nueva correa.

[Screenshot_20180928-174858.png] File uploaded on 10/02/2018 11:08.



[Screenshot_20180928-174922.png] File uploaded on 10/02/2018 11:08.



[DSC_1783.JPG] File uploaded on 10/02/2018 11:35.



[DSC_1781.JPG] File uploaded on 10/02/2018 11:35.



N/A Created by Marcelo Riquelme on 09/06/2018 14:45.

Diseño de placa no se cambia por el momento. Cualquier modificación debe ser una adaptación de correa en función a la placa actual

06 AGO 2018: MEDICIONES

PLACA 1

Lugar: En laboratorio

Sentado, revisando documentos en computador

Task tags: *No tags*

Created by Marcelo Riquelme on 09/01/2018 16:18.

Step 1: Datos capturados **Uncompleted***No description*

[1533584393722_acc.txt] File uploaded on 09/01/2018 16:24.

[1533584393722_eda.txt] File uploaded on 09/01/2018 16:24.

[1533584393722_gyro.txt] File uploaded on 09/01/2018 16:24.

[1533584393722_ppg.txt] File uploaded on 09/01/2018 16:24.

[1533584393722_temp.txt] File uploaded on 09/01/2018 16:24.

Observaciones Created by Marcelo Riquelme on 09/02/2018 15:48.

Temperatura no mide correctamente, sensor de temperatura fue soldado previamente
Señales EDA y PPG no se ven adecuadas, presentan curvas atípicas

Decisión: Revisar la placa y flashear

Task created on 09/01/2018 16:11.

17 AGO 2018: MEDICIONES

PLACA 1

Lugar: En Laboratorio

Sentado, revisando videos o actividades que causan emociones

IV: Ignacio Vargas: Videos competencias de rap

JG: Jorge Gaete: Trabajo en computador

MR: Marcelo Riquelme: Videos Parkour extremo

PLACA 2

Sólo aplicado a MR, en misma situación descrita. Archivos tipo EDA_MR2.txt

Task tags: *No tags*

Created by Marcelo Riquelme on 09/02/2018 17:38.

Step 1: Datos capturados **Uncompleted***No description*

[EDA_MR.txt] File uploaded on 09/02/2018 17:38.

[EDA_MR2.txt] File uploaded on 09/02/2018 17:38.

[GYRO_IV.txt] File uploaded on 09/02/2018 17:38.

[GYRO_JG.txt] File uploaded on 09/02/2018 17:38.

[GYRO_MR.txt] File uploaded on 09/02/2018 17:38.

[GYRO_MR2.txt] File uploaded on 09/02/2018 17:38.

[PPG_IV.txt] File uploaded on 09/02/2018 17:38.

[PPG_JG.txt] File uploaded on 09/02/2018 17:38.

[PPG_MR.txt] File uploaded on 09/02/2018 17:38.

[PPG_MR2.txt] File uploaded on 09/02/2018 17:38.

[EDA_JG.txt] File uploaded on 09/02/2018 17:38.

[ACC_IV.txt] File uploaded on 09/02/2018 17:38.

[ACC_JG.txt] File uploaded on 09/02/2018 17:38.

[ACC_MR.txt] File uploaded on 09/02/2018 17:38.

[ACC_MR2.txt] File uploaded on 09/02/2018 17:38.

[EDA.txt] File uploaded on 09/02/2018 17:38.

[EDA_IV.txt] File uploaded on 09/02/2018 17:38.

Task created on 09/01/2018 16:11.

21 AGO 2018: MEDICIONES

No due date

PLACA 2 Lugar: En Laboratorio Sentado, revisando videos o actividades que causan emociones. MR: Marcelo Riquelme:
Videos Parkour extremo

PLACA 3 No registra ningún dato

Pruebas con carcaza

Task tags: *No tags*

Created by Marcelo Riquelme on 09/03/2018 11:56.

Step 1: Datos Capturados Uncompleted

No description

[ACC_MR.txt] File uploaded on 09/03/2018 11:56.

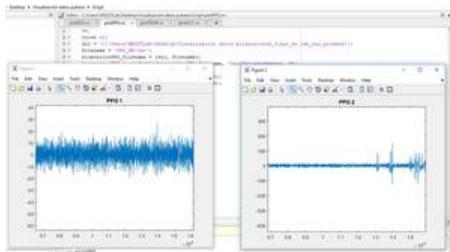
[EDA_MR.txt] File uploaded on 09/03/2018 11:56.

[GYRO_MR.txt] File uploaded on 09/03/2018 11:56.

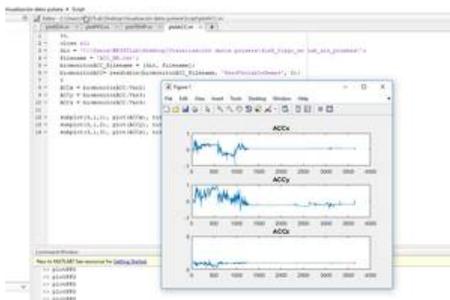
[PPG_MR.txt] File uploaded on 09/03/2018 11:56.

[TEMP_MR.txt] File uploaded on 09/03/2018 11:56.

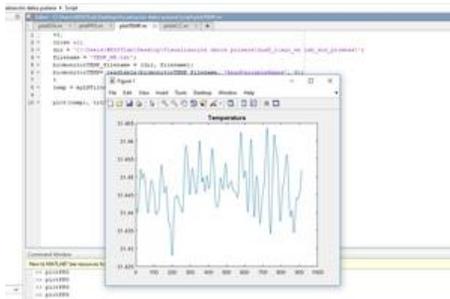
[PPG_MR.jpg] Uploaded by Marcelo Riquelme on 09/04/2018 15:56.



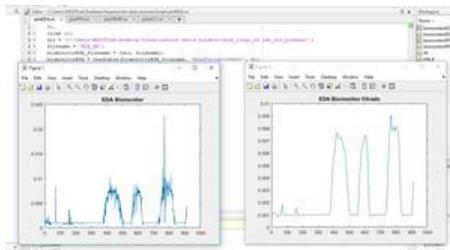
[ACC_MR.jpg] Uploaded by Marcelo Riquelme on 09/04/2018 15:56.



[TEMP_MR.jpg] Uploaded by Marcelo Riquelme on 09/04/2018 15:56.



[EDA_MR.jpg] Uploaded by Marcelo Riquelme on 09/04/2018 15:56.



Comentarios de resultados Created by Marcelo Riquelme on 09/04/2018 16:12.

PLACA 2: muestra buen comportamiento en sus mediciones, PPG mucho "ruido"

PLACA 3: No registra información, no guarda datos, a pesar que en pantalla, de docking_station, muestra supuesta lectura de datos.

Se instaló un firmware que no corresponde en flasheo anterior (Informado por José 30/08)

Investigar sobre componentes de PPG.

24/08 se establece que fotodiodo debe estar en contacto directo con piel para una correcta operación

28/08 Primera modificación física a pulsera, se elimina base de carcasa y la PLACA 3 queda cosida a la banda

directamente para que tenga contacto con piel

29/08 PLACA 3 es recubierta con una capa de silicona líquida, para disminuir incomodidad al estar en directo contacto con la piel

29/08 Carcaza es intervenida en su base, para adelgazar y moldear, permitiendo a la placa reducir su espacio a la piel

30/08 8 Placas son flasheadas para comenzar nuevas pruebas

Task created on 09/01/2018 16:11.

30-31 AGO 2018: MEDICIONES

No due date

PLACAS 1 a 8.

Lugar: En Laboratorio Sentado, revisando videos o actividades que causan emociones. MR: Marcelo Riquelme: Videos cercanos a accidentes fatales.

Todas las placas probadas en el pulgar derecho (PPG). Archivos tipo DIA3008_PLACA1_ACC.txt. EXCEPTO PLACA 3: Bordada a la banda, fue probada sólo en muñeca

Además se prueban:

PLACA 5 en muñeca con carcaza. Archivo tipo DIA3008_PLACA5_WRIST_ACC.txt

PLACA 5 en pulgar con carcaza. Archivo tipo DIA3108_PLACA5_THUMB_ACC.txt

PLACA 2 con sensor de temperatura conectado por cable. Archivo tipo DIA3108_PLACA2_temponect_ACC.txt

PLACA8 en muñeca con sensor de temperatura soldado a la placa, sin carcaza. Archivo tipo

DIA3108_PLACA8_temponect_WRIST_ACC.txt

Task tags: *No tags*

Created by Marcelo Riquelme on 09/04/2018 16:00.

Step 1: Datos Capturados Uncompleted

No description

[DIA3008_PLACA2_GYRO.txt] File uploaded on 09/03/2018 12:02.

[DIA3008_PLACA2_PPG.txt] File uploaded on 09/03/2018 12:02.

[DIA3008_PLACA2_TEMP.txt] File uploaded on 09/03/2018 12:02.

[DIA3008_PLACA3_ACC.txt] File uploaded on 09/03/2018 12:02.

[DIA3008_PLACA3_EDA.txt] File uploaded on 09/03/2018 12:02.

[DIA3008_PLACA3_GYRO.txt] File uploaded on 09/03/2018 12:02.

[DIA3008_PLACA3_PPG.txt] File uploaded on 09/03/2018 12:02.

[DIA3008_PLACA3_TEMP.txt] File uploaded on 09/03/2018 12:02.

[DIA3008_PLACA4_ACC.txt] File uploaded on 09/03/2018 12:02.

[DIA3008_PLACA4_EDA.txt] File uploaded on 09/03/2018 12:02.

[DIA3008_PLACA4_GYRO.txt] File uploaded on 09/03/2018 12:02.

[DIA3008_PLACA4_PPG.txt] File uploaded on 09/03/2018 12:02.

[DIA3008_PLACA4_TEMP.txt] File uploaded on 09/03/2018 12:02.

[DIA3008_PLACA5_ACC.txt] File uploaded on 09/03/2018 12:02.

[DIA3008_PLACA5_EDA.txt] File uploaded on 09/03/2018 12:02.

[DIA3008_PLACA5_GYRO.txt] File uploaded on 09/03/2018 12:02.

[DIA3008_PLACA5_PPG.txt] File uploaded on 09/03/2018 12:02.

[DIA3008_PLACA5_TEMP.txt] File uploaded on 09/03/2018 12:02.

[DIA3008_PLACA5_WRIST_ACC.txt] File uploaded on 09/03/2018 12:02.

[DIA3008_PLACA5_WRIST_EDA.txt] File uploaded on 09/03/2018 12:02.

[DIA3008_PLACA5_WRIST_GYRO.txt] File uploaded on 09/03/2018 12:02.

[DIA3008_PLACA5_WRIST_PPG.txt] File uploaded on 09/03/2018 12:02.

[DIA3008_PLACA5_WRIST_TEMP.txt] File uploaded on 09/03/2018 12:02.

[DIA3008_PLACA6_ACC.txt] File uploaded on 09/03/2018 12:02.

[DIA3008_PLACA6_EDA.txt] File uploaded on 09/03/2018 12:02.

[DIA3008_PLACA6_GYRO.txt] File uploaded on 09/03/2018 12:02.

[DIA3008_PLACA6_PPG.txt] File uploaded on 09/03/2018 12:02.

[DIA3008_PLACA6_TEMP.txt] File uploaded on 09/03/2018 12:02.

[DIA3008_PLACA7_ACC.txt] File uploaded on 09/03/2018 12:02.

[DIA3008_PLACA7_EDA.txt] File uploaded on 09/03/2018 12:02.

[DIA3008_PLACA7_GYRO.txt] File uploaded on 09/03/2018 12:02.

[DIA3008_PLACA7_PPG.txt] File uploaded on 09/03/2018 12:02.

[DIA3008_PLACA7_TEMP.txt] File uploaded on 09/03/2018 12:02.

[DIA3008_PLACA8_ACC.txt] File uploaded on 09/03/2018 12:02.

[*DIA3008_PLACA8_EDA.txt*] File uploaded on 09/03/2018 12:02.

[*DIA3008_PLACA8_GYRO.txt*] File uploaded on 09/03/2018 12:02.

[*DIA3008_PLACA8_PPG.txt*] File uploaded on 09/03/2018 12:02.

[*DIA3008_PLACA8_TEMP.txt*] File uploaded on 09/03/2018 12:02.

[*DIA3108_PLACA2_tempconnect_ACC.txt*] File uploaded on 09/03/2018 12:02.

[*DIA3108_PLACA2_tempconnect_EDA.txt*] File uploaded on 09/03/2018 12:02.

[*DIA3108_PLACA2_tempconnect_GYRO.txt*] File uploaded on 09/03/2018 12:02.

[*DIA3108_PLACA2_tempconnect_PPG.txt*] File uploaded on 09/03/2018 12:02.

[*DIA3108_PLACA2_tempconnect_TEMP.txt*] File uploaded on 09/03/2018 12:02.

[*DIA3108_PLACA5_THUMB_ACC.txt*] File uploaded on 09/03/2018 12:02.

[*DIA3108_PLACA5_THUMB_EDA.txt*] File uploaded on 09/03/2018 12:02.

[*DIA3108_PLACA5_THUMB_GYRO.txt*] File uploaded on 09/03/2018 12:02.

[*DIA3108_PLACA5_THUMB_PPG.txt*] File uploaded on 09/03/2018 12:02.

[*DIA3108_PLACA5_THUMB_TEMP.txt*] File uploaded on 09/03/2018 12:02.

[*DIA3108_PLACA8_tempconnect_WRIST_ACC.txt*] File uploaded on 09/03/2018 12:02.

[*DIA3108_PLACA8_tempconnect_WRIST_EDA.txt*] File uploaded on 09/03/2018 12:02.

[*DIA3108_PLACA8_tempconnect_WRIST_GYRO.txt*] File uploaded on 09/03/2018 12:02.

[*DIA3108_PLACA8_tempconnect_WRIST_PPG.txt*] File uploaded on 09/03/2018 12:02.

[*DIA3108_PLACA8_tempconnect_WRIST_TEMP.txt*] File uploaded on 09/03/2018 12:02.

[*DIA3008_PLACA1_ACC.txt*] File uploaded on 09/03/2018 12:02.

[*DIA3008_PLACA1_EDA.txt*] File uploaded on 09/03/2018 12:02.

[*DIA3008_PLACA1_GYRO.txt*] File uploaded on 09/03/2018 12:02.

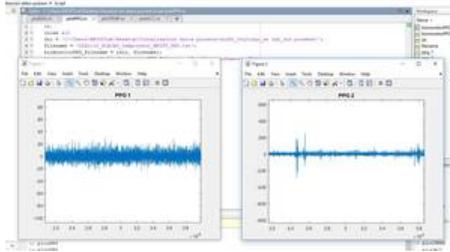
[DIA3008_PLACA1_PPG.txt] File uploaded on 09/03/2018 12:02.

[DIA3008_PLACA1_TEMP.txt] File uploaded on 09/03/2018 12:02.

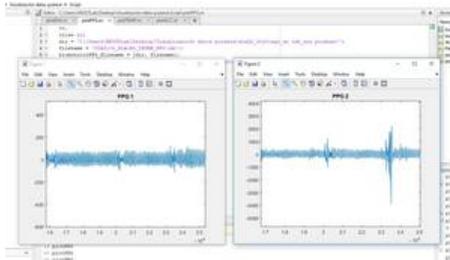
[DIA3008_PLACA2_ACC.txt] File uploaded on 09/03/2018 12:02.

[DIA3008_PLACA2_EDA.txt] File uploaded on 09/03/2018 12:02.

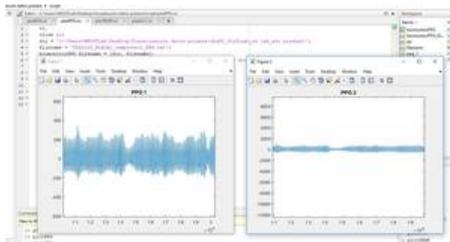
[PLACA8_temponect_WRIST_PPG.jpg] Uploaded by Marcelo Riquelme on 09/04/2018 14:07.



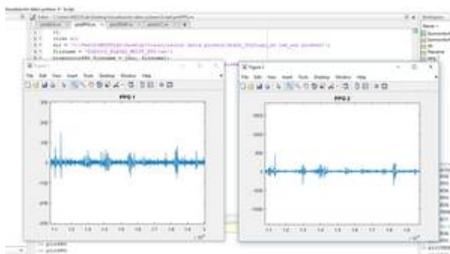
[PLACA5_THUMB_PPG.jpg] Uploaded by Marcelo Riquelme on 09/04/2018 14:03.



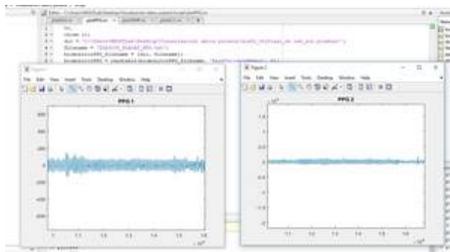
[PLACA2_temponect_PPG.jpg] Uploaded by Marcelo Riquelme on 09/04/2018 14:03.



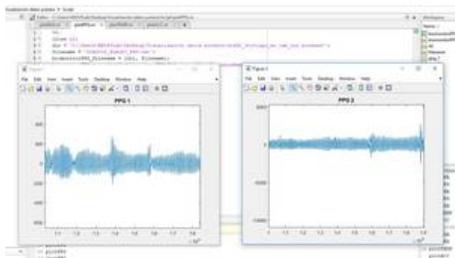
[PLACA5_WRIST_PPG.jpg] Uploaded by Marcelo Riquelme on 09/04/2018 14:03.



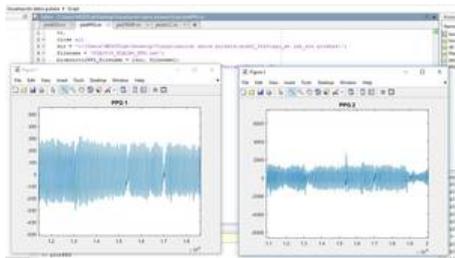
[PLACA8_PPG.jpg] Uploaded by Marcelo Riquelme on 09/04/2018 14:02.



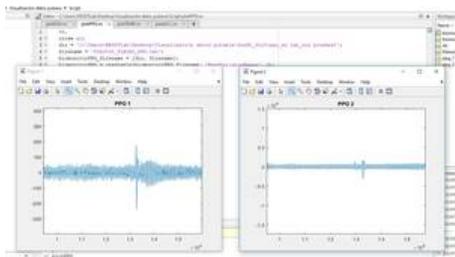
[PLACA7_PPG.jpg] Uploaded by Marcelo Riquelme on 09/04/2018 14:02.



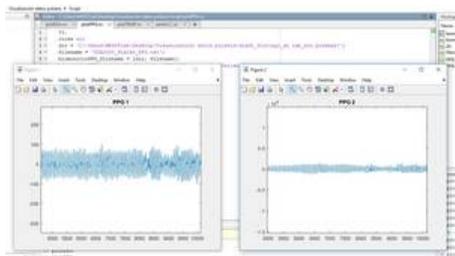
[PLACA6_PPG.jpg] Uploaded by Marcelo Riquelme on 09/04/2018 14:02.



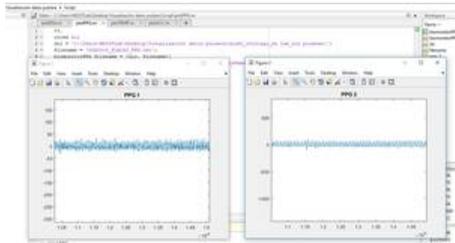
[PLACA5_PPG.jpg] Uploaded by Marcelo Riquelme on 09/04/2018 14:02.



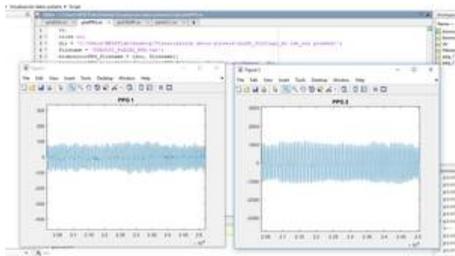
[PLACA4_PPG.jpg] Uploaded by Marcelo Riquelme on 09/04/2018 14:02.



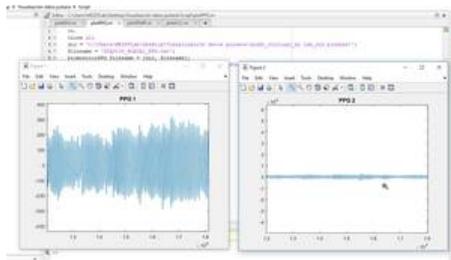
[PLACA3_PPG.jpg] Uploaded by Marcelo Riquelme on 09/04/2018 14:02.



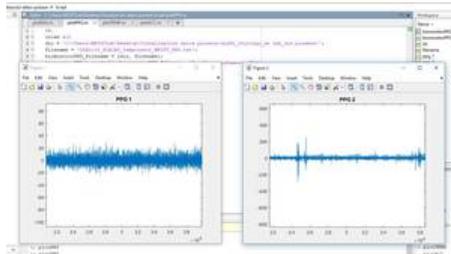
[PLACA2_PPG.jpg] Uploaded by Marcelo Riquelme on 09/04/2018 14:02.



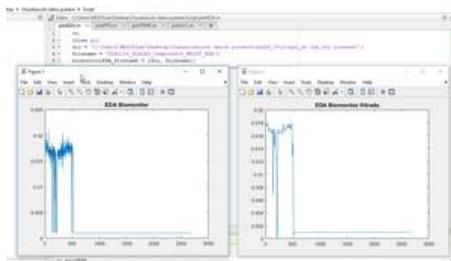
[PLACA1_PPG.jpg] Uploaded by Marcelo Riquelme on 09/04/2018 14:02.



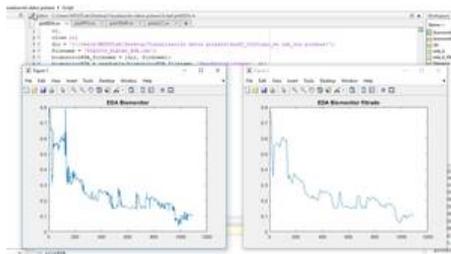
[PLACA8_tempconnect_WRIST_PPG.jpg] Uploaded by Marcelo Riquelme on 09/04/2018 14:02.



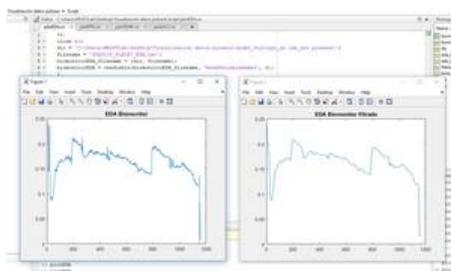
[PLACA8_tempconnect_WRIST_EDA.jpg] Uploaded by Marcelo Riquelme on 09/03/2018 13:38.



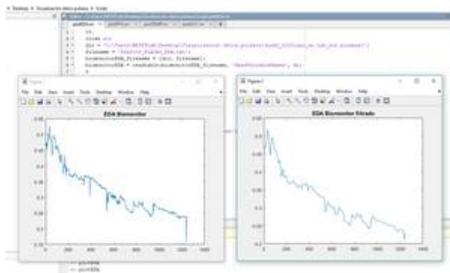
[PLACA8_EDA.jpg] Uploaded by Marcelo Riquelme on 09/03/2018 13:38.



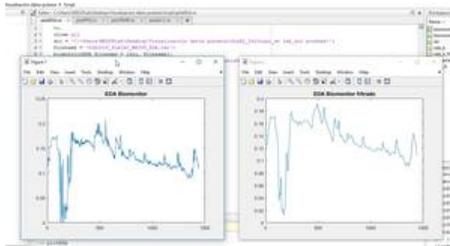
[PLACA7_EDA.jpg] Uploaded by Marcelo Riquelme on 09/03/2018 13:38.



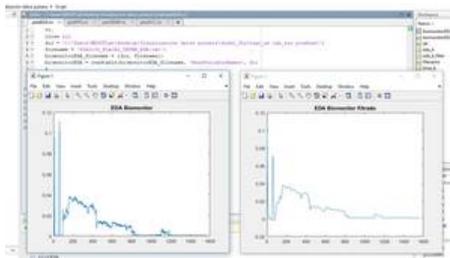
[PLACA6_EDA.jpg] Uploaded by Marcelo Riquelme on 09/03/2018 13:38.



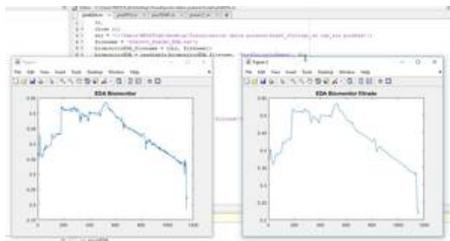
[PLACA5_WRIST_EDA.jpg] Uploaded by Marcelo Riquelme on 09/03/2018 13:37.



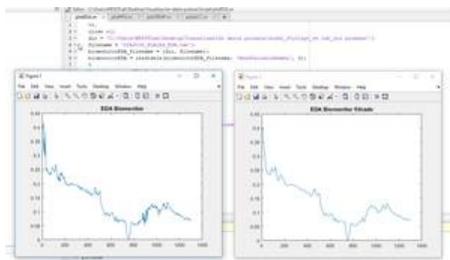
[PLACA5_THUMB_EDA.jpg] Uploaded by Marcelo Riquelme on 09/03/2018 13:37.



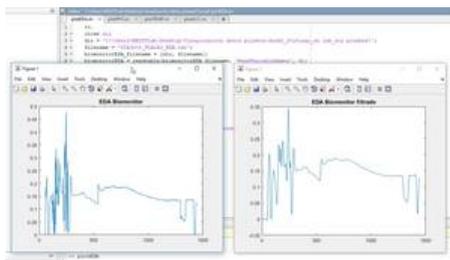
[PLACA5_EDA.jpg] Uploaded by Marcelo Riquelme on 09/03/2018 13:37.



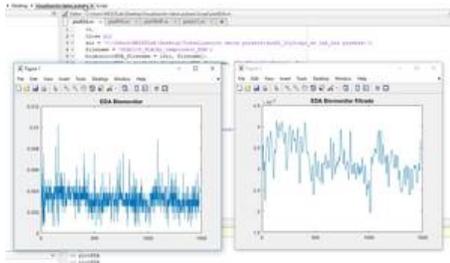
[PLACA4_EDA.jpg] Uploaded by Marcelo Riquelme on 09/03/2018 13:37.



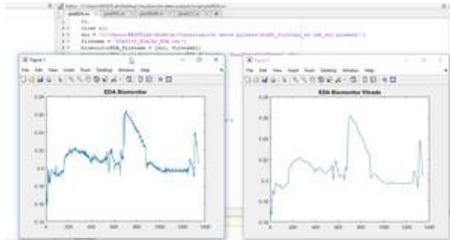
[PLACA3_EDA.jpg] Uploaded by Marcelo Riquelme on 09/03/2018 13:37.



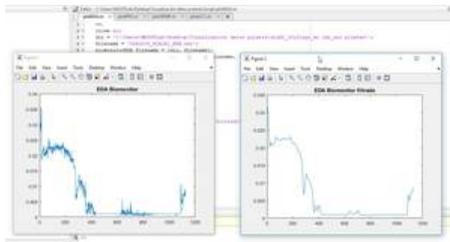
[PLACA2_temponect_EDA.jpg] Uploaded by Marcelo Riquelme on 09/03/2018 13:37.



[PLACA2_EDA.jpg] Uploaded by Marcelo Riquelme on 09/03/2018 13:37.



[PLACA1_EDA.jpg] Uploaded by Marcelo Riquelme on 09/03/2018 13:37.



Comentarios de resultados Created by Marcelo Riquelme on 09/04/2018 16:09.

Todas las placas flasheadas por José el Jueves 30/08, presentan curvas características acordes a cada variable, probadas en el dedo (PPG)

Las mediciones realizadas en muñeca son más débiles, pero algo podría rescatarse con mayor análisis y quizás ajustes de intensidades.

Las pruebas con carcasa modificada, presentan aún claras diferencias con las mediciones en dedo, incluso con la prueba directamente en la muñeca.

Placa 2, conectada a temperatura por cable, no resulta, se descubre que cable a sensor esta cortado.

Placa 8 es soldada y probada en prueba de captura de datos, datos de temperatura salen alterados, al igual que ocasión anterior a ultimo flasheo. Hipótesis: se requiere fleshear, cada vez que son intervenidas físicamente.

Task created on 09/06/2018 15:07.

05 SEP 2018: EDA REMACHES ECG

No due date

Validación de electrodos de ECG, marca Skintact

Task tags: *No tags*

Created by Marcelo Riquelme on 09/06/2018 15:22.

Step 1: Datos capturados Uncompleted

Prueba se realiza en laboratorio, sentado, viendo videos que causen emociones.

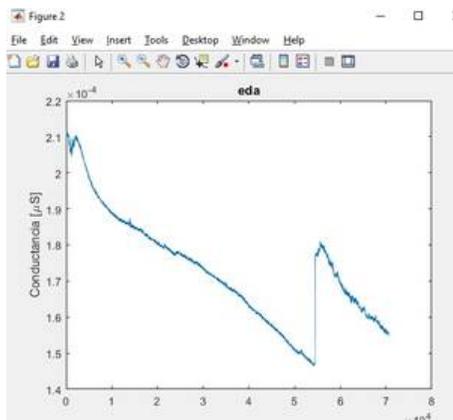
2 pruebas realizadas, electrodos instalados en:

- a) Dedo índice y medio, de mano derecha
- b) Muñeca ventral derecha

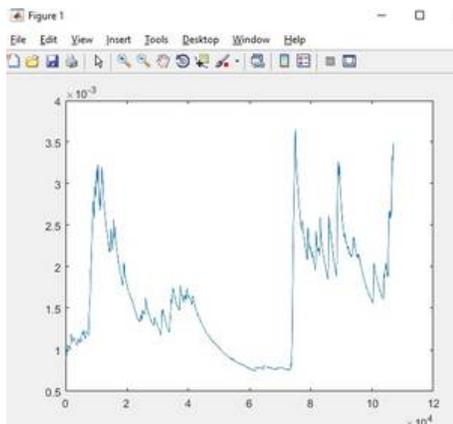
[EDA_dedos.mat] File uploaded on 09/06/2018 15:13.

[EDA_muñeca.mat] File uploaded on 09/06/2018 15:13.

[EDA_muñeca_derecha.jpg] Uploaded by Marcelo Riquelme on 09/06/2018 15:37.



[EDA_dedos.jpg] Uploaded by Marcelo Riquelme on 09/06/2018 15:37.



Positivo Created by Marcelo Riquelme on 09/06/2018 15:41.

Aprobado para utilización según curvas características.
Se entregan elementos a diseñadora para que incorpore más unidades con estos nuevos electrodos

Task created on 10/02/2018 11:45.

01-02 OCT 2018: PRUEBA BATERIAS

No due date

No description

Task tags: No tags

Created by Marcelo Riquelme on 10/03/2018 11:05.

Step 1: Batería de Biomonitor Uncompleted

Biomonitor debe estar con carga completa de batería.

Se programó guardado de archivos cada 10 minutos, para poder determinar en que punto, el Biomonitor dejaba de tomar datos.

Computador conectado a suministro eléctrico.

Iniciar docking station de pulsera para toma de datos,

Hora inicio: 16:50 hrs 01/10/18

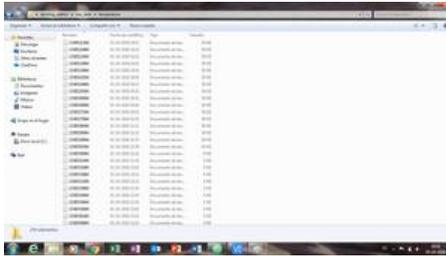
Hora término: 21:30 hrs 02/10/18

Resultado duración de batería Biomonitor: 28 hrs 40 minutos

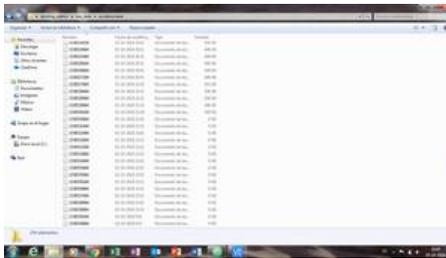
[DSC_1777.JPG] File uploaded on 10/02/2018 12:35.



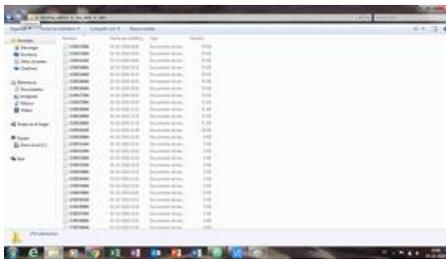
[temp.jpg] File uploaded on 10/03/2018 11:05.



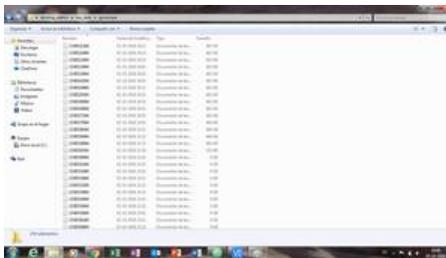
[acc.jpg] File uploaded on 10/03/2018 11:05.



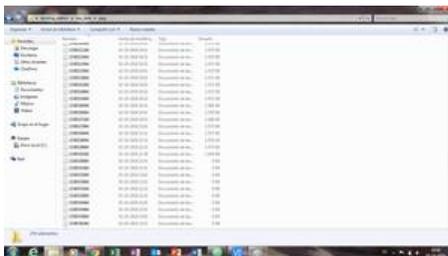
[eda.jpg] File uploaded on 10/03/2018 11:05.



[gyro.jpg] File uploaded on 10/03/2018 11:05.



[ppg.jpg] File uploaded on 10/03/2018 11:05.



Created by Marcelo Riquelme on 10/02/2018 16:17.

Step 2: Batería de computador Lenovo Uncompleted

Computador con carga completa, se desconecta del suministro eléctrico, mientras continua con medición de datos de Biomonitor.
Medir tiempo hasta que batería se agote.

Hora Inicio: 11:50 hrs 02/10/2018

Hora término: 16:07 hrs 02/10/2018

Resultado duración de batería de computador: 4 hrs 17 minutos

[DSC_1785.JPG] File uploaded on 10/02/2018 12:36.



Duración Baterías Created by Marcelo Riquelme on 10/03/2018 11:12.

Resultado duración de batería Biomonitor: 28 hrs 40 minutos

Resultado duración de batería de computador: 4 hrs 17 minutos

Task created on 10/05/2018 10:45.

03 OCT 2018: MEDICIONES

No due date

Mediciones a PLACAS 1-2-4-5-6-7-8, las cuales tienen sensor de temperatura soldado el 28/09/2018. Sin ser flasheadas.
PLACA 3, instalada en correa, ya tenía sensor instalado.

Task tags: *No tags*

Created by Marcelo Riquelme on 10/05/2018 10:51.

Step 1: Mediciones en dedo índice derecho Uncompleted

Toma de datos durante 5 minutos, dedo índice derecho cubriendo sensor PPG y temperatura.

[PLACA6_TEMP.txt] File uploaded on 10/05/2018 11:09.

[PLACA7_ACC.txt] File uploaded on 10/05/2018 11:09.

[*PLACA7_EDA.txt*] File uploaded on 10/05/2018 11:09.

[*PLACA7_GYRO.txt*] File uploaded on 10/05/2018 11:09.

[*PLACA7_PPG.txt*] File uploaded on 10/05/2018 11:09.

[*PLACA7_TEMP.txt*] File uploaded on 10/05/2018 11:09.

[*PLACA8_ACC.txt*] File uploaded on 10/05/2018 11:09.

[*PLACA8_EDA.txt*] File uploaded on 10/05/2018 11:09.

[*PLACA8_GYRO.txt*] File uploaded on 10/05/2018 11:09.

[*PLACA8_PPG.txt*] File uploaded on 10/05/2018 11:09.

[*PLACA8_TEMP.txt*] File uploaded on 10/05/2018 11:09.

[*PLACA1_ACC.txt*] File uploaded on 10/05/2018 11:09.

[*PLACA1_EDA.txt*] File uploaded on 10/05/2018 11:09.

[*PLACA1_GYRO.txt*] File uploaded on 10/05/2018 11:09.

[*PLACA1_PPG.txt*] File uploaded on 10/05/2018 11:09.

[*PLACA1_TEMP.txt*] File uploaded on 10/05/2018 11:09.

[*PLACA2_ACC.txt*] File uploaded on 10/05/2018 11:09.

[*PLACA2_EDA.txt*] File uploaded on 10/05/2018 11:09.

[*PLACA2_GYRO.txt*] File uploaded on 10/05/2018 11:09.

[*PLACA2_PPG.txt*] File uploaded on 10/05/2018 11:09.

[*PLACA2_TEMP.txt*] File uploaded on 10/05/2018 11:09.

[*PLACA4_ACC.txt*] File uploaded on 10/05/2018 11:09.

[*PLACA4_EDA.txt*] File uploaded on 10/05/2018 11:09.

[*PLACA4_GYRO.txt*] File uploaded on 10/05/2018 11:09.

[*PLACA4_PPG.txt*] File uploaded on 10/05/2018 11:09.

[*PLACA4_TEMP.txt*] File uploaded on 10/05/2018 11:09.

[*PLACA5_ACC.txt*] File uploaded on 10/05/2018 11:09.

[*PLACA5_EDA.txt*] File uploaded on 10/05/2018 11:10.

[*PLACA5_GYRO.txt*] File uploaded on 10/05/2018 11:10.

[*PLACA5_PPG.txt*] File uploaded on 10/05/2018 11:10.

[*PLACA5_TEMP.txt*] File uploaded on 10/05/2018 11:10.

[*PLACA6_ACC.txt*] File uploaded on 10/05/2018 11:10.

[*PLACA6_EDA.txt*] File uploaded on 10/05/2018 11:10.

[*PLACA6_GYRO.txt*] File uploaded on 10/05/2018 11:10.

[*PLACA6_PPG.txt*] File uploaded on 10/05/2018 11:10.

[*PLACA6_TEMP.txt*] File uploaded on 10/05/2018 11:10.

[*PLACA7_ACC.txt*] File uploaded on 10/05/2018 11:10.

[*PLACA7_EDA.txt*] File uploaded on 10/05/2018 11:10.

[*PLACA7_GYRO.txt*] File uploaded on 10/05/2018 11:10.

[*PLACA7_PPG.txt*] File uploaded on 10/05/2018 11:10.

[*PLACA7_TEMP.txt*] File uploaded on 10/05/2018 11:10.

[*PLACA8_ACC.txt*] File uploaded on 10/05/2018 11:10.

[*PLACA8_EDA.txt*] File uploaded on 10/05/2018 11:10.

[*PLACA8_GYRO.txt*] File uploaded on 10/05/2018 11:10.

[*PLACA8_PPG.txt*] File uploaded on 10/05/2018 11:10.

[*PLACA8_TEMP.txt*] File uploaded on 10/05/2018 11:10.

[*PLACA1_ACC.txt*] File uploaded on 10/05/2018 11:10.

[*PLACA1_EDA.txt*] File uploaded on 10/05/2018 11:10.

[*PLACA1_GYRO.txt*] File uploaded on 10/05/2018 11:10.

[*PLACA1_PPG.txt*] File uploaded on 10/05/2018 11:10.

[*PLACA1_TEMP.txt*] File uploaded on 10/05/2018 11:10.

[*PLACA2_ACC.txt*] File uploaded on 10/05/2018 11:10.

[*PLACA2_EDA.txt*] File uploaded on 10/05/2018 11:10.

[*PLACA2_GYRO.txt*] File uploaded on 10/05/2018 11:10.

[*PLACA2_PPG.txt*] File uploaded on 10/05/2018 11:10.

[*PLACA2_TEMP.txt*] File uploaded on 10/05/2018 11:10.

[*PLACA4_ACC.txt*] File uploaded on 10/05/2018 11:10.

[*PLACA4_EDA.txt*] File uploaded on 10/05/2018 11:10.

[*PLACA4_GYRO.txt*] File uploaded on 10/05/2018 11:10.

[*PLACA4_PPG.txt*] File uploaded on 10/05/2018 11:10.

[*PLACA4_TEMP.txt*] File uploaded on 10/05/2018 11:10.

[*PLACA5_ACC.txt*] File uploaded on 10/05/2018 11:10.

[*PLACA5_EDA.txt*] File uploaded on 10/05/2018 11:10.

[*PLACA5_GYRO.txt*] File uploaded on 10/05/2018 11:10.

[*PLACA5_PPG.txt*] File uploaded on 10/05/2018 11:10.

[*PLACA5_TEMP.txt*] File uploaded on 10/05/2018 11:10.

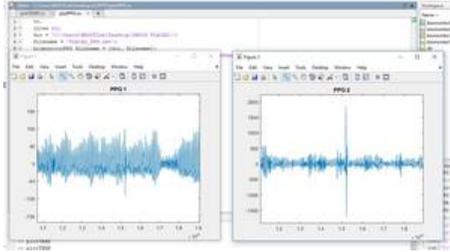
[*PLACA6_ACC.txt*] File uploaded on 10/05/2018 11:10.

[PLACA6_EDA.txt] File uploaded on 10/05/2018 11:10.

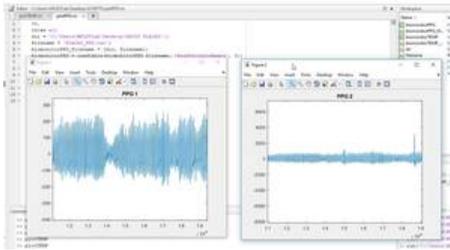
[PLACA6_GYRO.txt] File uploaded on 10/05/2018 11:10.

[PLACA6_PPG.txt] File uploaded on 10/05/2018 11:10.

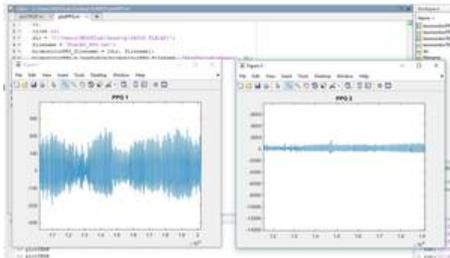
[PLACA2_PPG.jpg] Uploaded by Marcelo Riquelme on 10/05/2018 11:31.



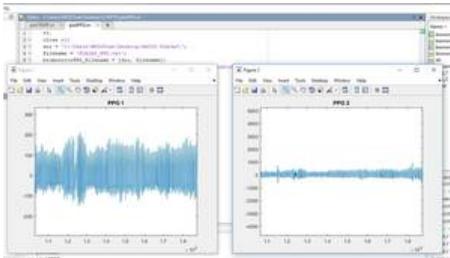
[PLACA4_PPG.jpg] Uploaded by Marcelo Riquelme on 10/05/2018 11:31.



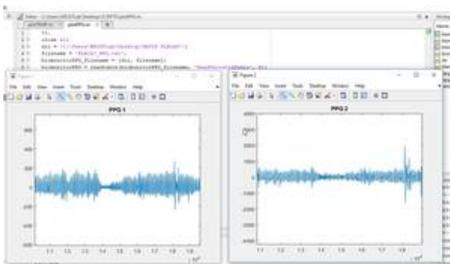
[PLACA5_PPG.jpg] Uploaded by Marcelo Riquelme on 10/05/2018 11:31.



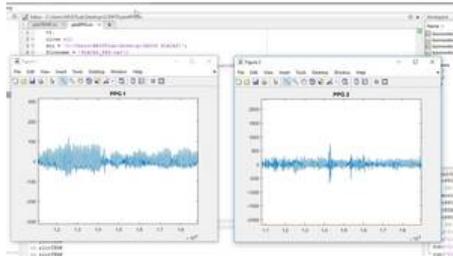
[PLACA6_PPG.jpg] Uploaded by Marcelo Riquelme on 10/05/2018 11:31.



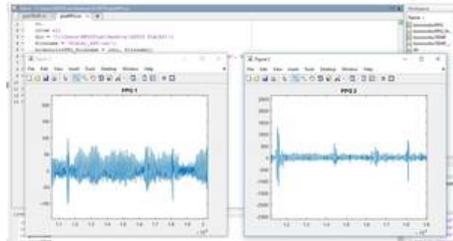
[PLACA7_PPG.jpg] Uploaded by Marcelo Riquelme on 10/05/2018 11:31.



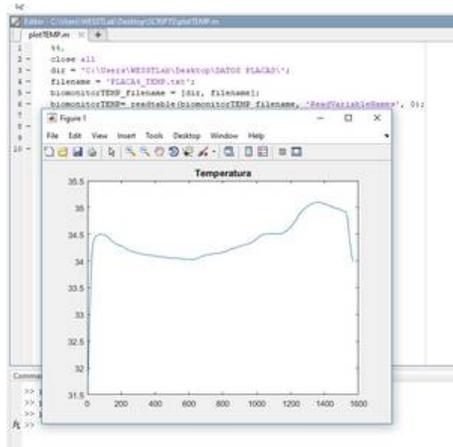
[PLACA8_PPG.jpg] Uploaded by Marcelo Riquelme on 10/05/2018 11:31.



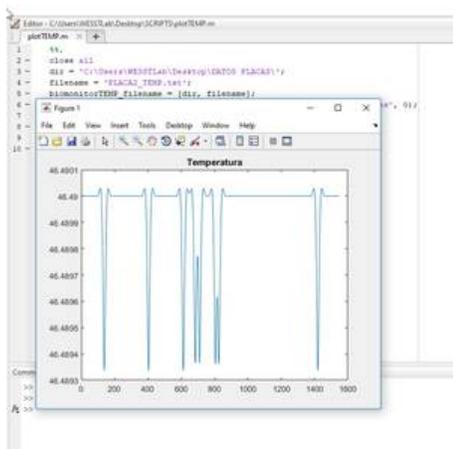
[PLACA1_PPG.jpg] Uploaded by Marcelo Riquelme on 10/05/2018 11:31.



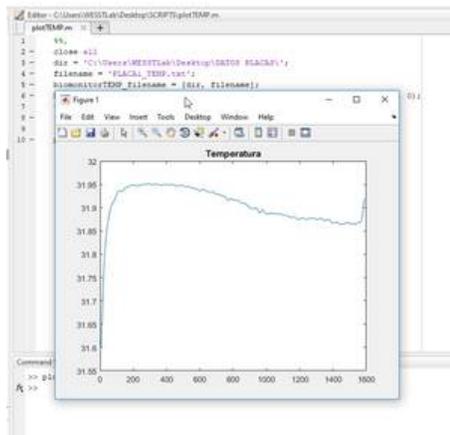
[PLACA4_TEMP.jpg] Uploaded by Marcelo Riquelme on 10/05/2018 11:20.



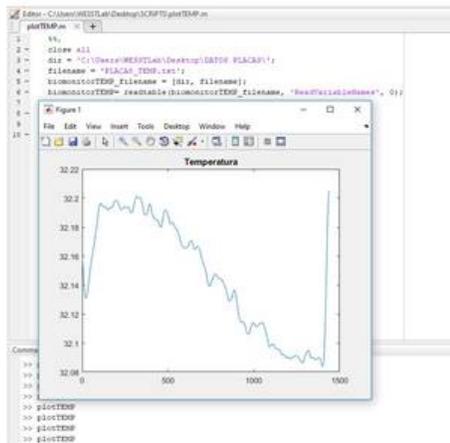
[PLACA2_TEMP.jpg] Uploaded by Marcelo Riquelme on 10/05/2018 11:20.



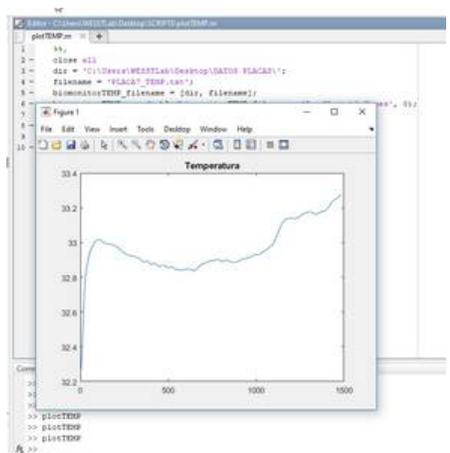
[PLACA1_TEMP.jpg] Uploaded by Marcelo Riquelme on 10/05/2018 11:20.



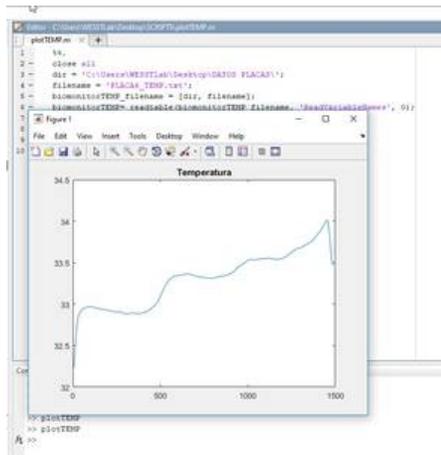
[PLACA8_TEMP.jpg] Uploaded by Marcelo Riquelme on 10/05/2018 11:20.



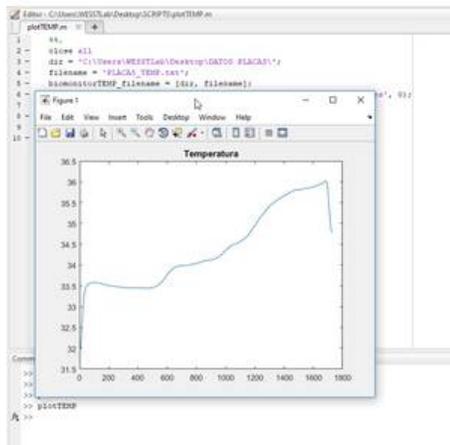
[PLACA7_TEMP.jpg] Uploaded by Marcelo Riquelme on 10/05/2018 11:20.



[PLACA6_TEMP.jpg] Uploaded by Marcelo Riquelme on 10/05/2018 11:19.



[PLACA5_TEMP.jpg] Uploaded by Marcelo Riquelme on 10/05/2018 11:19.



Observación de curvas de datos capturados Created by Marcelo Riquelme on 10/05/2018 10:53.

Todas las curvas de las variables de Biomonitor, están en sus formas características y rangos. Excepto, PLACA 2, respecto a medición de temperatura.

Apéndice M

Mejoras propuestas para Biomonitor

A partir de la experiencia experimental de validación, se presenta el siguiente listado de mejoras a considerar para una eventual nueva versión del producto:

1. Protección contra polvo y agua.
2. Material Lavable o fácil de limpiar.
3. Material hipoalergénico.
4. Correa ajustable a distintas tallas.
5. Interruptor ON/OFF de fácil acceso.
6. Indicador de carga de batería.
7. Almacenamiento propio de datos.
8. Modificaciones a placa para redistribuir puntos de conexión y asegurar buen contacto de sensor óptico.
9. Indicador de falla de hardware, en caso que un sensor se desconecte o exista una falla de batería.
10. Indicador de captura de datos, en caso de almacenamiento propio, saber cuando el inicio de captura de datos se realiza adecuadamente.
11. Descarga de archivos de datos: Mantener envió via bluetooth y/o habilitar cable USB, para acceder a descarga de archivos y eliminación, en caso de almacenamiento propio.
12. Programación de guardado de datos en archivos debe considerar "headers" para cada archivo de datos.
13. Empaquetamiento adecuado para evitar la exposición de placa, de manera que sólo el sensor esté en contacto con la piel.

Apéndice N

Prueba de Levene para validación de clustering de Digitación

Se aplica la prueba de Levene comparando la varianza dentro de cada cluster con la varianza de todos los sujetos juntos, esto para todos los tramos de tiempo. En azul se marcan las desviaciones estandar que tienen un valor menor que el del tramo equivalente con todos los sujetos. En rojo se marcan los p-valor que no cumplen con la significancia estadística (>0.05).

Test de Levene		Tramo 1	Tramo 2	Tramo 3	Tramo 4	Tramo 5	Tramo 6	Tramo 7	Tramo 8	Tramo 9	Tramo 10
HR	std duster 1	0.809	0.856	0.916	0.883	1.022	0.821	0.938	0.988	0.918	0.920
	p-value cluster 1	0.000	0.252	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
	std duster 2	0.901	0.954	1.050	0.979	0.868	0.952	0.954	0.887	0.928	0.961
	p-value cluster 2	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
	std duster 3	0.906	0.805	0.864	0.904	0.931	1.001	0.919	0.872	0.877	1.167
	p-value cluster 3	0.000	0.000	0.000	0.023	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
std todos los sujetos	0.973	0.880	0.932	0.903	0.967	0.938	0.950	0.907	0.898	1.073	
HRV	std duster 1	1.080	0.972	0.996	0.992	0.968	0.965	1.037	0.971	1.010	0.965
	p-value cluster 1	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.095	0.000	0.000	0.000	0.000
	std duster 2	0.985	0.897	0.959	1.006	1.001	0.983	0.965	0.916	0.941	0.915
	p-value cluster 2	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.944	0.000	0.000	0.000	0.000
	std duster 3	0.986	0.999	0.965	0.980	0.952	0.991	1.018	0.991	1.026	1.026
	p-value cluster 3	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
std todos los sujetos	1.014	0.963	0.969	0.989	0.969	0.980	1.002	0.963	0.995	0.990	
EDA	std duster 1	0.987	0.711	0.520	0.338	0.103	0.460	0.473	0.381	0.776	0.983
	p-value cluster 1	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
	std duster 2	0.459	0.520	0.561	0.632	0.520	0.331	0.396	0.418	0.428	0.403
	p-value cluster 2	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
	std duster 3	1.109	0.665	0.519	0.607	0.947	0.714	0.749	0.790	0.762	0.959
	p-value cluster 3	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
std todos los sujetos	1.082	0.705	0.551	0.574	0.697	0.555	0.595	0.677	0.829	0.971	
SCR	std duster 1	0.279	0.324	0.684	0.266	0.267	1.068	0.329	0.248	0.278	0.260
	p-value cluster 1	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
	std duster 2	0.758	0.508	0.994	0.743	0.923	0.615	0.769	1.020	0.968	1.433
	p-value cluster 2	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
	std duster 3	0.708	0.484	0.392	0.752	1.180	0.637	0.740	1.037	0.687	1.231
	p-value cluster 3	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.255	0.000	0.014
std todos los sujetos	0.639	0.476	0.671	0.654	0.946	0.737	0.664	0.899	0.704	1.115	
SCL	std duster 1	1.042	0.722	0.470	0.357	0.099	0.495	0.506	0.372	0.766	0.983
	p-value cluster 1	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
	std duster 2	0.587	0.535	0.515	0.593	0.516	0.301	0.362	0.418	0.400	0.348
	p-value cluster 2	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
	std duster 3	1.122	0.681	0.510	0.629	1.029	0.568	0.737	0.725	0.751	0.953
	p-value cluster 3	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
std todos los sujetos	1.163	0.729	0.555	0.597	0.756	0.472	0.587	0.637	0.813	0.963	
SKT	std duster 1	1.084	0.855	0.806	0.643	0.409	0.171	0.196	0.489	0.722	1.181
	p-value cluster 1	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
	std duster 2	0.677	0.242	0.599	0.656	0.730	0.680	0.544	0.346	0.309	0.983
	p-value cluster 2	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
	std duster 3	1.579	0.774	0.676	0.917	0.658	0.557	0.756	0.524	0.669	0.851
	p-value cluster 3	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
std todos los sujetos	1.344	0.923	0.759	0.839	0.670	0.630	0.760	0.650	0.686	1.021	

Apéndice Ñ

Prueba de Kruskal Wallis para validación de clustering de Digitación

Se aplica la prueba de Kruskal Wallis para comparar las medianas de las señales entre clusters dentro de cada tramo temporal. Se marcan en rojo los casos en que el p-valor es mayor a 0.05 vale decir no se cumple significancia estadística

Test de Kruskal Wallis	Tramo 1	Tramo 2	Tramo 3	Tramo 4	Tramo 5	Tramo 6	Tramo 7	Tramo 8	Tramo 9	Tramo 10	
HR	mean cluster 1	-0.186	0.232	0.028	0.106	0.138	-0.211	0.411	0.329	0.129	0.202
	mean cluster 2	-0.313	0.417	0.419	0.169	-0.233	-0.235	0.321	-0.041	-0.195	0.041
	mean cluster 3	-0.136	-0.042	0.029	0.067	-0.220	-0.099	0.145	0.132	0.092	0.483
	p-value	0.000	1.000	1.000	0.000	1.000	1.000	0.000	0.000	0.000	0.000
HRV	mean cluster 1	0.253	0.032	0.009	-0.039	-0.014	-0.010	-0.037	-0.064	-0.105	-0.087
	mean cluster 2	0.009	-0.049	-0.013	-0.010	0.032	0.041	0.052	-0.017	0.067	-0.049
	mean cluster 3	0.053	0.090	0.013	-0.026	-0.055	-0.037	0.022	-0.022	0.013	-0.047
	p-value	0.000	1.000	1.000	0.000	1.000	1.000	0.000	0.000	0.000	0.000
EDA	mean cluster 1	-0.083	-0.215	-0.261	-0.160	-0.248	0.022	0.126	-0.166	-0.004	-0.020
	mean cluster 2	-1.255	-0.835	-0.730	-0.581	-0.158	0.017	0.065	0.570	0.857	1.218
	mean cluster 3	0.189	-0.037	-0.314	-0.186	-0.170	0.025	-0.029	-0.057	-0.322	0.126
	p-value	0.000	1.000	1.000	0.000	1.000	1.000	0.000	0.000	0.000	0.000
SCR	mean cluster 1	-0.059	-0.049	0.005	-0.063	-0.057	0.274	0.119	-0.024	0.011	0.000
	mean cluster 2	-0.171	-0.357	-0.012	-0.058	0.039	-0.085	-0.078	0.114	0.221	0.410
	mean cluster 3	-0.195	-0.196	-0.208	-0.113	0.187	-0.053	0.082	0.177	0.000	0.253
	p-value	0.000	1.000	1.000	0.000	1.000	1.000	0.000	0.000	0.000	0.000
SCR	mean cluster 1	-0.041	-0.229	-0.259	-0.149	-0.238	-0.018	0.155	-0.159	-0.014	-0.036
	mean cluster 2	-1.411	-0.812	-0.774	-0.617	-0.164	0.013	0.073	0.598	0.877	1.240
	mean cluster 3	0.221	0.008	-0.285	-0.158	-0.273	-0.002	-0.041	-0.022	-0.293	0.069
	p-value	0.000	1.000	1.000	0.000	1.000	1.000	0.000	0.000	0.000	0.000
SKT	mean cluster 1	-0.735	-0.697	-0.501	0.116	0.388	0.492	0.592	0.432	0.447	0.127
	mean cluster 2	-0.954	-1.256	-0.710	-0.224	-0.083	0.674	1.059	0.741	0.616	0.276
	mean cluster 3	0.194	0.189	-0.062	-0.159	0.114	-0.036	-0.073	-0.295	-0.109	-0.178
	p-value	0.000	1.000	1.000	0.000	1.000	1.000	0.000	0.000	0.000	0.000

Apéndice O

Prueba de Levene para validación de clustering de Reposición

Se aplica la prueba de Levene comparando la varianza dentro de cada cluster con la varianza de todos los sujetos juntos, esto para todos los tramos de tiempo. En azul se marcan las desviaciones estandar que tienen un valor menor que el del tramo equivalente con todos los sujetos. En rojo se marcan los p-valor que no cumplen con la significancia estadística (>0.05).

Test de Levene		Tramo 1	Tramo 2	Tramo 3	Tramo 4	Tramo 5	Tramo 6	Tramo 7	Tramo 8	Tramo 9	Tramo 10
HR	std cluster 1	1.144	1.007	0.997	0.969	0.901	0.938	0.931	1.050	0.940	0.940
	p-value cluster 1	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
	std cluster 2	0.846	0.873	0.901	0.827	0.782	0.792	0.822	0.891	0.822	1.253
	p-value cluster 2	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
	std cluster 3	0.976	0.870	0.814	0.664	0.808	0.677	0.712	0.668	0.734	0.802
	p-value cluster 3	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
std todos los sujetos		1.003	0.922	0.910	0.834	0.838	0.835	0.840	0.877	0.840	1.005
HRV	std cluster 1	1.135	1.057	1.105	0.971	0.939	0.994	0.961	0.972	0.987	1.050
	p-value cluster 1	0.000	0.000	0.000	0.063	0.034	0.000	0.000	0.009	0.000	0.000
	std cluster 2	1.010	0.991	0.967	0.988	0.944	0.952	0.959	0.973	1.010	1.079
	p-value cluster 2	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.011	0.000	0.909	0.000	0.000
	std cluster 3	1.039	0.995	0.924	0.923	0.915	0.907	0.955	0.926	0.986	1.060
	p-value cluster 3	0.007	0.604	0.000	0.000	0.297	0.000	0.068	0.000	0.000	0.121
std todos los sujetos		1.053	1.015	0.996	0.960	0.934	0.956	0.963	0.966	0.992	1.060
EDA	std cluster 1	0.421	0.475	0.728	0.629	0.452	0.252	0.170	0.220	0.319	0.400
	p-value cluster 1	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
	std cluster 2	0.403	1.058	1.118	0.954	0.943	0.780	0.386	0.490	0.649	0.950
	p-value cluster 2	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
	std cluster 3	0.776	1.119	1.275	1.062	0.762	0.651	0.797	0.959	1.133	0.774
	p-value cluster 3	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
std todos los sujetos		0.796	1.171	1.227	0.928	0.758	0.636	0.639	0.748	0.872	0.796
SCR	std cluster 1	0.618	0.754	0.826	0.777	0.846	0.903	0.828	0.916	1.055	1.049
	p-value cluster 1	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
	std cluster 2	0.369	0.726	0.875	0.972	1.131	0.943	0.887	0.848	0.894	0.895
	p-value cluster 2	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
	std cluster 3	0.266	0.280	0.534	0.866	0.806	0.838	1.205	0.780	0.893	1.043
	p-value cluster 3	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
std todos los sujetos		0.554	0.661	0.764	0.893	0.950	0.891	1.015	0.846	0.934	1.001
SCL	std cluster 1	0.424	0.469	0.734	0.644	0.472	0.251	0.136	0.192	0.345	0.398
	p-value cluster 1	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
	std cluster 2	0.457	1.120	1.160	0.966	0.940	0.790	0.365	0.485	0.634	0.961
	p-value cluster 2	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
	std cluster 3	0.991	1.261	1.350	1.084	0.774	0.714	0.838	0.804	0.851	0.772
	p-value cluster 3	0.299	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
std todos los sujetos		0.904	1.249	1.282	0.947	0.775	0.678	0.659	0.679	0.738	0.801
SKT	std cluster 1	1.639	1.022	0.995	0.369	0.377	0.409	0.566	0.568	0.541	0.722
	p-value cluster 1	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
	std cluster 2	0.475	0.736	0.910	0.399	0.759	0.844	0.568	0.230	0.334	0.538
	p-value cluster 2	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
	std cluster 3	1.172	0.854	0.780	0.438	0.289	0.437	0.626	0.710	0.695	0.813
	p-value cluster 3	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
std todos los sujetos		1.344	0.923	0.759	0.839	0.670	0.630	0.760	0.650	0.686	1.021

Apéndice P

Prueba de Kruskal Wallis para validación de clustering de Reposición

Se aplica la prueba de Kruskal Wallis para comparar las medianas de las señales entre clusters dentro de cada tramo temporal. Se marcan en rojo los casos en que el p-valor es mayor a 0.05 vale decir no se cumple significancia estadística

Test de Kruskal Wallis		Tramo 1	Tramo 2	Tramo 3	Tramo 4	Tramo 5	Tramo 6	Tramo 7	Tramo 8	Tramo 9	Tramo 10
HR	mean cluster 1	0.061	-0.030	0.056	0.138	0.136	0.056	0.072	0.158	0.091	-0.051
	mean cluster 2	-0.104	0.099	-0.023	0.044	0.120	0.042	-0.034	0.183	-0.021	0.419
	mean cluster 3	-0.266	0.059	0.281	0.412	0.238	0.455	0.406	0.284	0.170	0.010
	p-value	1.000	0.000	0.000	1.000	1.000	1.000	0.000	0.000	0.000	0.000
HRV	mean cluster 1	0.154	0.100	0.052	-0.025	-0.105	-0.078	-0.109	0.020	-0.018	0.098
	mean cluster 2	0.088	-0.035	-0.073	-0.053	-0.131	-0.060	-0.077	0.026	0.087	0.231
	mean cluster 3	0.084	-0.002	-0.155	-0.088	-0.172	-0.167	-0.096	-0.075	0.049	0.188
	p-value	1.000	0.000	0.000	1.000	1.000	1.000	0.000	0.000	0.000	0.000
EDA	mean cluster 1	-1.723	-1.271	-0.600	0.036	0.536	0.738	0.768	0.660	0.617	0.544
	mean cluster 2	-1.242	-0.380	0.390	0.585	0.692	0.549	0.279	-0.095	0.142	0.006
	mean cluster 3	-0.697	-0.675	-0.128	0.401	0.144	0.277	0.591	0.151	0.160	0.127
	p-value	1.000	0.000	0.000	1.000	1.000	1.000	0.000	0.000	0.000	0.000
SCR	mean cluster 1	-0.890	-0.652	-0.075	0.164	0.343	0.372	0.298	0.266	0.352	0.232
	mean cluster 2	-1.067	-0.315	0.165	0.368	0.469	0.529	0.218	0.003	0.347	0.185
	mean cluster 3	-0.504	-0.608	-0.323	-0.056	-0.068	0.162	0.367	0.047	0.202	0.389
	p-value	1.000	0.000	0.000	1.000	1.000	1.000	0.000	0.000	0.000	0.000
SCL	mean cluster 1	-1.735	-1.300	-0.635	0.024	0.539	0.747	0.785	0.670	0.596	0.536
	mean cluster 2	-1.237	-0.406	0.376	0.573	0.670	0.519	0.281	-0.089	0.107	-0.014
	mean cluster 3	-0.634	-0.638	-0.194	0.211	0.060	0.177	0.524	0.257	0.347	0.139
	p-value	1.000	0.000	0.000	1.000	1.000	1.000	0.000	0.000	0.000	0.000
SKT	mean cluster 1	-0.651	-1.132	-0.978	0.139	0.615	0.586	0.531	0.376	0.338	-0.022
	mean cluster 2	-0.666	-0.948	-1.241	-1.089	-0.402	0.144	0.440	0.757	0.791	0.789
	mean cluster 3	-0.517	-1.113	-0.799	-0.283	0.213	0.239	0.336	0.396	0.333	0.274
	p-value	1.000	0.000	0.000	1.000	1.000	1.000	0.000	0.000	0.000	0.000