



UNIVERSIDAD DE VALLADOLID

ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR
INGENIEROS DE TELECOMUNICACIÓN

TRABAJO FIN DE MASTER

MÁSTER EN INGENIERÍA DE TELECOMUNICACIÓN

Herramienta móvil para medida y análisis de ergonomía e higiene postural

Autor:

D. Raúl Velasco Caminero

Tutor:

Dr. D. Mario Martínez Zarzuela

Valladolid, 25 de Junio de 2019

TÍTULO: **Herramienta móvil para medida y análisis de ergonomía e higiene postural**

AUTOR: **D. Raúl Velasco Caminero**

TUTOR: **Dr. D. Mario Martínez Zarzuela**

DEPARTAMENTO: **Teoría de la Señal y Comunicación e Ingeniería Telemática**

Tribunal

PRESIDENTE: **Dra. Dña. María Ángeles Pérez Juárez**

VOCAL: **Dr. D. Javier Manuel Aguiar Pérez**

SECRETARIO: **Dr. D. David González Ortega**

FECHA: **25 de Junio de 2019**

CALIFICACIÓN:

Resumen del TFM

Los accidentes por sobreesfuerzo físico sobre el sistema musculoesquelético representan un elevado porcentaje en el conjunto de la siniestralidad de nuestro país. Por otro lado, la valoración ergonómica de los puestos de trabajo no es una tarea sencilla e implica a múltiples actores que no siempre obtienen los mismos resultados, generalmente el enfrentamiento entre el trabajador y la empresa. Existen herramientas software para obtener una valoración objetiva, pero son muy complejas de utilizar y requieren tiempo para obtener los resultados de la valoración. El objetivo principal es el desarrollo de un sistema que solvete estos problemas de forma objetiva, cuantitativa y fácil de utilizar. Se presenta una aplicación móvil que, utilizando sensores IMU, obtenga los movimientos del cuerpo y calcule los ángulos asociados a cada articulación objetivo. Los datos obtenidos por los sensores se procesan en un servidor y se envían los resultados a la aplicación móvil. Se proporcionan informes con los resultados obtenidos para la evaluación objetiva y precisa del puesto de trabajo. Con este sistema se pretende proporcionar una solución que pueda reducir o eliminar de forma completa los problemas asociados a esta tarea. Se ha comprobado el alcance y las limitaciones del sistema tanto a nivel de usuario (limitaciones de la conexión *Bluetooth* entre el dispositivo móvil y el sensor maestro como la grabación de valoraciones de duración prolongada) como a nivel de servidor (número de peticiones concurrentes que es capaz de atender la API). La única limitación encontrada es que existen problemas de conexión entre el dispositivo móvil y el sensor maestro en entornos donde existe saturación en los canales de comunicación *Bluetooth*. En este tipo de entornos se ha detectado que el sistema no funciona de forma correcta puesto que se produce una pérdida de información considerable.

Palabras clave

Ergonomía, TME, API REST, IMU, Flask y WSGL.

Abstract

Accidents caused by physical over-exertion on the musculoskeletal system represent a high percentage of the total accident rate in our country. On the other hand, the ergonomic assessment of workplaces is not a simple task and involves multiple actors who do not always obtain the same results, generally the confrontation between the worker and the company. There are software tools to obtain an objective assessment, but they are very complex to use and require time to obtain the results of the assessment. The main objective is the development of a system that solves these problems in an objective, quantitative and easy to use way. The mobile application that is presented, using IMU sensors, obtains the movements of the body and calculates the angles associated with each objective articulation. The data obtained by the sensors are processed in a server and the results are sent to the application. Reports are provided with the results obtained for the objective and precise evaluation of the workstation. This system is intended to provide a solution that can reduce or eliminate completely the problems associated with this task. The scope and limitations of the system have been verified both at user level (limitations of the *Bluetooth* connection between the mobile device and the master sensor as well as the recording of valuations of prolonged duration) and at server level (number of concurrent requests that

the API is able to attend). The only limitation found is that there are connection problems between the mobile device and the master sensor in environments where there is saturation in the *Bluetooth* communication channels. In this type of environment it has been detected that the system does not work correctly since there is a considerable loss of information.

Keywords

Ergonomics, TME, API REST, IMU, Flask y WSGI.

Agradecimientos

A mis padres y hermana, por todo su apoyo, tanto en los buenos como en los malos momentos, y por hacer posible que haya llegado hasta aquí.

A todo el departamento de Telemática e Imagen por hacer posible la realización de este tipo de proyectos.

Y por último agradecer el apoyo de todas las personas que han estado a mi lado y me han apoyado y aguantado en los momentos difíciles.

Índice general

1. Introducción	1
1.1. Motivación	3
1.2. Objetivos	3
1.3. Fases y Métodos	4
1.4. Estructura del documento	5
2. Evaluación Ergonómica	7
2.1. Factores de riesgo ergonómico	7
2.1.1. Factores de riesgo físicos o biomecánicos	7
2.1.2. Factores de riesgo psicosociales y de organización	9
2.1.3. Otros factores de riesgo directamente relacionados con las condiciones ergonómicas del puesto	10
2.2. Métodos de evaluación ergonómica	10
2.2.1. Identificación inicial de riesgos ergonómicos - LCE	10
2.2.2. Métodos de Evaluación Global	11
2.2.3. Métodos para el análisis de Movimientos Repetitivos	12
2.2.4. Métodos para el análisis de la carga postural o posturas forzadas	14
2.2.5. Métodos para la manipulación manual de cargas	18
2.2.6. Otros métodos de evaluación	21
3. Estudio de Aplicaciones para Ergonomía	23
3.1. Aplicaciones disponibles en Google Play Store	23
3.2. Aplicaciones disponibles en App Store	29
3.3. Software de escritorio	32
4. Planificación y Desarrollo	41
4.1. Diseño API REST	41
4.1.1. API. Definición	41
4.1.2. REST	42
4.1.3. REST vs SOAP	44
4.1.4. Recursos ofrecidos por la API REST	44
4.2. Tecnologías utilizadas	46
4.2.1. MongoDB como base de datos	46
4.2.2. Flask para el desarrollo de la API	46
4.2.3. Gunicorn como WSGI HTTP	49
4.2.4. Nginx como proxy inverso	50

4.2.5.	Supervisor para la monitorización de Gunicorn	50
4.2.6.	Android para la aplicación cliente	50
4.3.	Arquitectura del Servidor	53
5.	Deploy	57
5.1.	Dominio	57
5.2.	Google Cloud	57
5.3.	Configuración HTTPS	59
6.	Manual de Usuario	61
6.1.	Pantalla Login	62
6.2.	Pantalla Principal	62
6.2.1.	Pantalla Principal <i>Super Administrador</i>	63
6.2.2.	Pantalla Principal <i>Administrador</i>	63
6.2.3.	Pantalla Principal <i>Supervisor</i>	64
6.3.	Pantalla Puestos de Trabajo	65
6.4.	Pantalla Creación Puesto de Trabajo	65
6.5.	Pantalla Detalles Puesto de Trabajo	66
6.6.	Pantalla Registro de Evento	66
6.7.	Pantalla Grabación/Reproducción de Valoración	67
6.8.	Pantalla Detalles de Valoración	67
6.9.	Pantalla Usuarios	70
6.10.	Pantalla Registro de Usuario	70
6.11.	Pantalla Detalles de Usuario	71
6.12.	Pantalla Centros	71
6.13.	Pantalla Registro de Centro	72
6.14.	Pantalla Detalles de Centro	72
6.15.	Pantalla Ajustes	72
6.16.	Pantalla Perfil	74
6.16.1.	Pantalla Cambio de Contraseña	74
7.	Pruebas y Resultados	77
7.1.	Pruebas de <i>Bluetooth</i> en entornos ruidosos	77
7.2.	Pruebas de carga y <i>Benchmark</i> de la API	77
7.3.	Mediciones de tiempo prolongado	81
7.4.	Resultados finales	82
8.	Conclusiones	83
8.1.	Conclusiones	83
8.2.	Líneas Futuras	84
8.2.1.	Aplicación móvil	84
8.2.2.	API REST	85

Índice de figuras

1.1. ATJT por sobreesfuerzos 2012-2016	2
2.1. Posturas del trabajador en EPR	17
3.1. Aplicación Ergo/IBV Tool	24
3.2. Aplicación ErgoSoft APP	25
3.3. Aplicación ILO Ergonomic Checkpoints	25
3.4. Aplicación RULApp	26
3.5. Aplicación SBN Ergo+	27
3.6. Aplicación EKAS ErgoCheck	27
3.7. Aplicación HSE.Ergo.REBA	28
3.8. Aplicación ErgoEvalApp	29
3.9. Aplicación Ergonomic Checkpoints	30
3.10. Aplicación ErgoMinder	31
3.11. SBN Ergonomics	32
3.12. Aplicación Office Ergonomics	32
3.13. Aplicación Análisis ergonómico REBA	33
3.14. Ergo/IBV	35
3.15. ErgoSoft Pro 3.0	36
3.16. Ergoniza - ToolBox	37
3.17. Comparación Aplicaciones Ergonomía	39
4.1. Ejemplo de API	41
4.2. SOAP vs REST	45
4.3. Recursos ofrecidos por la API REST	47
4.4. Evolución de la cuota de mercado Android 2009-2018	51
4.5. Trama de datos enviada por el sensor maestro	52
4.6. Cambios introducidos en el fichero de configuración de proyecto <i>build.gradle</i> para incluir <i>LibGDX</i>	54
4.7. Cambios introducidos en el fichero de configuración del módulo <i>app</i> <i>build.gradle</i> para incluir <i>LibGDX</i>	55
4.8. Arquitectura del servidor	55
5.1. Migración DNS a Google Cloud	58
5.2. IP estática en Google Cloud	58
5.3. Zona DNS en Google Cloud	59
5.4. Máquina virtual para desplegar el servidor en Google Cloud	59

5.5. Repositorios de Certbot en Debian 9	60
5.6. Instalación de Certbot	60
5.7. Instalación del certificado SSL	60
5.8. Test de la renovación automática del certificado SSL	60
6.1. Pantalla Login	62
6.2. Pantalla Principal Super Administrador	63
6.3. Pantalla Principal Administrador sin configurar	64
6.4. Pantalla Principal Administrador configurada	64
6.5. Pantalla Principal Supervisor	65
6.6. Pantalla Puestos de Trabajo	66
6.7. Pantalla Creación Puesto de Trabajo	67
6.8. Pantalla Detalles Puesto de Trabajo	68
6.9. Diálogos pantalla Detalles Puesto de Trabajo	68
6.10. Pantalla Registro de Evento	69
6.11. Pantalla Grabación/Reproducción de Valoración	69
6.12. Pantalla Detalles de Valoración	70
6.13. Pantalla Usuarios	71
6.14. Pantalla Registro de Usuario	72
6.15. Pantalla Detalles de Usuario	73
6.16. Pantalla Centros	73
6.17. Pantalla Registro de Centro	74
6.18. Pantalla Detalles de Centro	75
6.19. Pantalla Ajustes	75
6.20. Pantalla Perfil	76
6.21. Diálogo Cambio de Contraseña	76
7.1. Prueba de carga con <i>ab -c 500 -n 1500</i> sin conexión a la base de datos	79
7.2. Prueba de carga con <i>ab -c 500 -n 1500</i> con conexión a la base de datos	80
7.3. Prueba de carga con <i>loadtest -c 500 -n 2000</i> sin conexión a la base de datos	80
7.4. Prueba de carga con <i>loadtest -keepalive -rps 650 -n 10000</i> sin conexión a la base de datos	81
7.5. Prueba de carga con <i>loadtest -keepalive -rps 225 -n 10000</i> con conexión a la base de datos	81
7.6. Valoración de larga duración almacenada en MongoDB	82

Capítulo 1

Introducción

Etimológicamente, el término "ergonomía" proviene del griego "nomos", que significa norma, y "ergo", que significa trabajo. Durante la última década, en casi todas las ramas del sector de producción y servicios se ha realizado un gran esfuerzo por mejorar la productividad y la calidad. Este proceso de reestructuración ha generado una experiencia práctica que demuestra claramente que la productividad y la calidad están directamente relacionadas con el diseño de las condiciones de trabajo. Una medida económica directa de la productividad y los costes del absentismo por enfermedad, está relacionada con las condiciones de trabajo. Así, debería ser posible aumentar la productividad y la calidad y evitar el absentismo prestando más atención a la concepción de las condiciones de trabajo.

En resumen, una definición simple de la ergonomía actual se podría expresar como que el dolor y el agotamiento del individuo causan riesgos para su salud, pérdidas en la productividad y disminución de la calidad lo que conlleva a un aumento en las medidas de los costes y pérdida en los beneficios del trabajo humano.

La ergonomía examina tanto la situación pasiva del ambiente como las ventajas para el operador humano y las aportaciones que éste pueda hacer si la situación de trabajo está adecuada para fomentar el mejor uso de sus habilidades. Las habilidades humanas pueden caracterizarse, no sólo en relación al operador humano genético, sino también en relación a habilidades más específicas, necesarias en situaciones determinadas, en las que resulta crucial un alto rendimiento [34].

Los accidentes por sobreesfuerzo físico sobre el sistema musculoesquelético representan un elevado porcentaje sobre el total de la siniestralidad de nuestro país. Cada año el INSSBT (Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo), a través del Observatorio Estatal de Condiciones de Trabajo (OECT), aborda esta materia mediante estudios sistematizados de los partes de accidente de trabajo notificados por sobreesfuerzos. La tendencia de accidentes en jornada de trabajo (ATJT) por sobreesfuerzos fue estimada a partir de los datos suministrados por los Anuarios de Estadísticas Laborales 2000-2016. En el cálculo de los índices de incidencia se utilizó como denominador la población afiliada con la contingencia de Accidente de Trabajo y Enfermedad Profesional cubierta. Los resultados obtenidos se pueden visualizar en la Figura 1.1 [29].

En 2016, fueron notificados un total de 189.734 ATJT por sobreesfuerzos, afectando aproximadamente el 67 % a hombres y el 33 % a mujeres. La media de edad de los trabajadores que sufrieron este tipo de accidentes fue de aproximadamente 41 años (desviación típica: 10,4) y su antigüedad media en el puesto era de 76 meses (desviación

Año	Nº ATJT por sobreesfuerzos (*)	% ATJT por sobreesfuerzos sobre el total de ATJT	II ATJT sobreesfuerzos (**)
2012	153.459	37,6	1.070,13
2013	154.314	38,2	1.148,60
2014	165.453	39,0	1.212,30
2015	178.218	38,9	1.265,36
2016	189.734	38,8	1.305,09

* Sobreesfuerzo físico - sobre el sistema musculoesquelético

** Índice de incidencia por sobreesfuerzos por 100.000 afiliados.

Fuente: Fichero informatizado de partes de accidente de trabajo. Ministerio de Empleo y Seguridad Social; 2016.

Figura 1.1: ATJT por sobreesfuerzos 2012-2016

típica: 93,2). En cuanto a la gravedad, el 99,9 % fue calificado como ATJT leve, mientras que los graves representaron el 0,1 %. Las actividades catalogadas de mayor prioridad en 2016 coinciden con cinco de las seis que ya destacaron en 2015 (Fabricación de productos metálicos, Asistencia en establecimientos residenciales, Construcción de edificios, Industria de la alimentación y Actividades de construcción especializada). Si se comparan los índices de incidencia de todas las actividades citadas anteriormente del año 2016 con las del informe de 2015 se observa que todas las actividades analizadas han aumentado su índice de incidencia respecto al año anterior. Los mayores incrementos los han experimentado la Construcción de edificios y la Industria de la alimentación, con aumentos del 6 % y 5,4 % con respecto al año anterior. Las actividades de Servicios a edificios y actividades de jardinería que, en 2016 se encuentran dentro de las actividades prioritarias, presentan un incremento de su índice de incidencia del 6 % con respecto al año anterior.

Los trastornos musculoesqueléticos (TME) son alteraciones, que abarcan desde incomodidad, molestias o dolores hasta cuadros médicos más graves que obligan a solicitar la baja laboral e incluso a recibir tratamiento médico. Mayoritariamente suelen afectar a la parte superior del cuerpo, generalmente, a la espalda, cuello, hombros y extremidades superiores. Sin embargo, en las extremidades inferiores se suelen dar con menor frecuencia. Como se ha detallado anteriormente, la mayor parte de estos trastornos musculoesqueléticos son producidos por el sobreesfuerzo físico que se va desarrollando con el tiempo y son provocados por el propio trabajo o por el entorno en el que éste se lleva a cabo. Esto no exime a aquellos que son el resultado de accidentes, como por ejemplo, fracturas y dislocaciones.

En las últimas décadas, los TME se encuentran entre los problemas más importantes de salud en el trabajo constituyendo el problema más común en España y Europa actualmente. Existen distintas instituciones y organizaciones especializadas en la prevención de riesgos laborales cuya labor consiste en elaborar distintas campañas para poder prevenir este tipo de lesiones. Ciertos estudios avalan que los TME son un problema creciente con elevados costes laborales ya que cualquier trabajador puede padecerlos, incrementando los costes económicos y sociales de las empresas, alterando la actividad laboral, reduciendo la productividad y contribuyendo al aumento del absentismo laboral. Además, el tratamiento y la recuperación de estos trabajadores suelen ser insatisfactorios, especialmente cuando las causas son más crónicas. Sin embargo, muchas de las enfermedades relacionadas con los TME cuyo origen es laboral, no son reconocidas como problemas

profesionales. Simplemente se las trata como enfermedades comunes, lo que conlleva que este tipo de afecciones se deriven hacia la Seguridad Social para su tratamiento. Debido a este tipo de actuaciones, no se reevalúan los puestos de trabajo ni se corrigen las causas subyacentes que provocan los TME [32].

Teniendo en cuenta todo lo expuesto anteriormente, es aquí donde entra en juego la ergonomía. Disponer de información ergonómica de un puesto de trabajo al momento proporciona un valor añadido y permite la evaluación del mismo para detectar de forma prematura posibles lesiones y trastornos musculoesqueléticos. Las valoraciones ergonómicas pueden disminuir las cargas sobre la espalda y sobre las extremidades superiores (por ejemplo, utilizando herramientas de mano ergonómicas) y, con ello, la incidencia de TME sin pérdida de productividad. La administración y las empresas centran esfuerzos en reducir estos problemas asociados a un puesto de trabajo con medidas como la reducción de la jornada laboral diaria y la introducción de pausas adicionales en las tareas repetitivas sin pérdida de productividad.

1.1. Motivación

La medida de la ergonomía de un puesto de trabajo no es una tarea baladí. Implica a múltiples actores que no siempre obtienen los mismos resultados puesto que se utilizan herramientas de medida que no proporcionan medidas objetivas. A esto hay que añadir que muchos puestos de trabajo que, aparentemente, no tienen un impacto negativo en la salud del trabajador son los puestos más lesivos y que más trastornos musculoesqueléticos tienen asociados como se ha expuesto anteriormente. En muchos puestos de trabajo no se realizan medidas ergonómicas bien sea por la falta de medios, la complejidad de las medidas o por otros motivos de diversa índole.

Por otro lado, durante los últimos años, se ha producido un crecimiento exponencial en sistemas vestibles y de monitorización de la actividad tanto para aplicaciones médicas como aplicaciones deportivas. Todo esto motivado por el desarrollo de sistemas y componentes capaces de realizar este tipo de mediciones de forma fiable y precisa. Si a todo esto se añade la premisa de que existe una gran parte de la población que dispone de un teléfono inteligente (smartphone), surge la idea de combinar todas estas piezas para generar un sistema de medida de la ergonomía de los puestos de trabajo que integre todas estas herramientas para obtener un sistema que proporcione medidas fiables, objetivas y veraces de forma muy sencilla y sin gran esfuerzo.

Todo lo expuesto anteriormente es posible gracias al desarrollo de sistemas basados en IMU (Inertial Measurement Unit - Unidad de Medida Inercial). Apoyándose en diversos estudios se ha podido concluir la madurez de la tecnología, siendo suficiente como para poder desarrollar un sistema que haga frente a las principales soluciones actuales para valoración ergonómica en tiempo real [31].

1.2. Objetivos

El objetivo de este Trabajo Fin de Máster es el desarrollo de un sistema capaz de realizar medidas ergonómicas fiables, y lo más importante, medidas objetivas que se puedan

obtener de una forma sencilla. Este sistema tiene que ser capaz de obtener análisis objetivos del puesto de trabajo en un breve período de tiempo. Las medidas se deben tomar en tiempo real y el procesamiento de las mismas tiene que ser rápido, esto es, en unos segundos.

Para alcanzar los objetivos propuestos, el sistema consta de varias partes diferenciadas e integradas formando la arquitectura del sistema.

La primera parte de la arquitectura está formada por los sensores desarrollados en el Grupo de Telemática e Imagen (GTI) de la Universidad de Valladolid. Como se demostró en [31], estos sensores son capaces de obtener los movimientos del usuario en tiempo real y proporcionar los ángulos de las articulaciones objetivo con un procesamiento a posteriori. Por lo tanto, utilizando estos sensores, se pueden obtener medidas fiables y objetivas de las articulaciones objetivo que se quieran evaluar. Estos sensores se comunican con la segunda parte de la arquitectura del sistema utilizando la tecnología *Bluetooth* que se detalla en secciones posteriores.

La segunda parte de la arquitectura está formada por una aplicación Android que puede funcionar tanto en smartphone como en tablet. Esta aplicación se encarga de comunicarse con los sensores y sirve como cliente al usuario. Así mismo, se comunica con la tercera parte de la arquitectura del sistema, el servidor. La aplicación envía todos los datos obtenidos del sensor al servidor que es el encargado, entre otras cosas, de procesar los datos recibidos de los sensores para obtener los resultados de la valoración ergonómica que se lleve a cabo. El usuario, a través de la aplicación, puede realizar todas las funcionalidades implementadas para su nivel de acceso.

La tercera y última parte de la arquitectura del sistema es el servidor. El servidor proporciona una serie de servicios a través de una API REST que se detallan en secciones posteriores. Dispone también de una base de datos NoSQL orientada a documentos, más concretamente MongoDB, donde se almacena toda la información que se genera. Por último, se encarga de realizar el procesamiento de los datos obtenidos por los sensores y generar informes en base a los resultados calculados.

1.3. Fases y Métodos

Para lograr los objetivos propuestos, se han realizado una serie de fases siguiendo una metodología concreta. A continuación se presentan las fases más determinantes para lograr el desarrollo del sistema completo:

- Fase de documentación: antes de comenzar a desarrollar el sistema es necesario conocer los métodos de evaluación ergonómica más relevantes así como los parámetros de medida más importantes. Por otro lado, también es necesario el estudio de las aplicaciones más influyentes para ergonomía tanto para dispositivos móviles (Android e iOS) como software de escritorio. También es necesario un estudio de las principales plataformas móviles para seleccionar la plataforma destino de la aplicación móvil a desarrollar. Finalmente es necesaria la selección de un *framework 3D* para la representación del avatar que va a reproducir los movimientos realizados por el usuario.

- Fase de diseño: en esta fase se determinan las funcionalidades de la aplicación móvil y los recursos que la API REST va a ofrecer. Por otro lado, también es necesario crear una arquitectura en el servidor que sea capaz de aceptar un número elevado de peticiones concurrentes y que funcione de forma fluida sin bloqueos ni pérdida de peticiones entrantes.
- Fase de desarrollo: se van a desarrollar de forma paralela la API REST y la aplicación móvil. De este modo, se van integrando funcionalidades en ambas partes de la arquitectura global del sistema. Se van a implementar todos los requisitos y funcionalidades capturados en la fase anterior.
- Pruebas y depuración tanto de la aplicación móvil como de la API REST. Para depurar la aplicación cliente se ha ejecutado en distintos smartphones y tablets para comprobar el correcto funcionamiento y visualización de todos los elementos que forman la interfaz de la aplicación. Así mismo, se han realizado test para la captura de todos los errores que se pueden producir en la comunicación con el servidor. Para depurar la API REST se han comprobado todas las consultas realizadas a la base de datos. También se han realizado test de carga y de rendimiento (*benchmark*) para verificar el correcto funcionamiento de la API REST en escenarios de alta carga.

1.4. Estructura del documento

En esta sección se presenta la estructura que forma el documento. El documento está estructurado en 7 capítulos sin contar este primer capítulo de introducción donde se han fijado los motivos y objetivos del proyecto que se va a desarrollar.

En el capítulo 2 “*Evaluación Ergonómica*” de este documento se realiza una revisión de las principales técnicas y métodos para la medida de la ergonomía que existen actualmente. Se analizan las técnicas más utilizadas para incluirlas en el sistema que se está desarrollando. Se contextualizan las técnicas de medida actuales y, de este modo, se diseña el sistema de forma más precisa mejorando los métodos actuales.

En el capítulo 3 “*Estudio de Aplicaciones para Ergonomía*” se realiza un estudio de las aplicaciones más destacadas tanto para los principales sistemas móviles (Android e iOS) como software de escritorio. Mediante este estudio se pretende contextualizar la aplicación que se va a desarrollar e incluir nuevas funcionalidades que se necesiten y que no tengan las aplicaciones estudiadas.

En el capítulo 4 “*Planificación y Desarrollo*” se presentan los casos de uso de la aplicación, esto es, las funcionalidades que la aplicación va a ofrecer. Así mismo, se realiza una revisión de las tecnologías existentes en el mercado y la solución utilizada finalmente en el desarrollo del *backend* del sistema. Por lo tanto, se describe la arquitectura que compone el servidor. Se presenta la base de datos que se va a utilizar para almacenar toda la información generada por el sistema así como los recursos de los que está compuesta la API REST desarrollada.

En el capítulo 5 “*Deploy*” se explica el despliegue del servidor en Google Cloud y todo lo relacionado con la gestión de dominios y configuración de los servidores DNS de Google. También se explica la configuración del certificado de seguridad para que

todas las comunicaciones con la API REST estén cifradas (HTTPS). Se ha utilizado un certificado gratuito proporcionado por la CA (Certificate Authority) *Let's Encrypt*.

En el capítulo 6 “*Manual de Usuario*”, como su nombre indica, se ha escrito un manual de usuario de la aplicación móvil desarrollada para que cualquier usuario sepa como utilizarla de forma correcta y sacarla el máximo partido.

En el capítulo 7 “*Pruebas y Resultados*” se presentan las pruebas realizadas para comprobar la estabilidad, rendimiento y funcionamiento del sistema creado. Una vez realizadas todas las pruebas diseñadas, se presentan los resultados obtenidos y se verifica que el sistema funciona correctamente.

Finalmente, en el capítulo 8 “*Conclusiones*”, se recogen las conclusiones obtenidas en la realización de este proyecto. Así mismo, se añade una sección de líneas futuras para mostrar una hoja de ruta de las posibles mejoras y nuevas implementaciones que se pueden añadir al sistema.

Capítulo 2

Evaluación Ergonómica

Las condiciones de trabajo influyen en la salud y pueden ser determinantes para que ésta se deteriore o se pierda, haciendo que la actividad laboral, en la práctica, sea un suplicio.

Para encontrar la solución a los problemas expuestos hay que hablar de ergonomía. La ergonomía es la ciencia que estudia la relación existente entre el ser humano y sus condiciones de trabajo. En el ámbito de las empresas no siempre se le da la importancia que merece, pero hay que tener presente que la finalidad de la ergonomía no es otra que la de prevenir los daños y consecuencias negativas para la salud de las condiciones de trabajo a través de un adecuado diseño del puesto de trabajo.

La ergonomía no solo trata o estudia el manejo de cargas. Manipular cargas de forma segura es importante, pero existen otros muchos factores que evitar. En ocasiones, pequeños cambios ergonómicos del diseño del equipo, del puesto de trabajo o de las tareas, pueden mejorar considerablemente la salud de los trabajadores, reduciendo los TME [30].

2.1. Factores de riesgo ergonómico

2.1.1. Factores de riesgo físicos o biomecánicos

Trabajo estático o dinámico referido a la posición de cuerpo entero

El trabajo muscular es estático cuando se produce una contracción continua prolongada de los músculos durante un periodo de tiempo. Por otra parte, el trabajo muscular se considera dinámico cuando existe una sucesión periódica de corta duración de contracciones y relajaciones de los músculos implicados [30].

Postura forzada de determinadas zonas corporales

Una postura se considera forzada si presenta alguna de las siguientes características, pudiendo considerarse mantenida o repetitiva:

- Si la postura se mantiene en el tiempo. Ésto dificulta la circulación sanguínea de los tejidos y el músculo no puede recuperarse de la fatiga.

- Si se mantiene en los límites de la articulación (inclinarse hasta el suelo, flexión completa del hombro...). Este tipo de posturas extremas no se pueden mantener durante mucho tiempo puesto que rápidamente se empiezan a sentir molestias.
- Para mantener la postura es necesario ir en contra de la gravedad, esto es, por ejemplo, realizar una flexión completa de hombro.
- Se obliga a que las estructuras anatómicas trabajen de manera inapropiada (por ejemplo, trabajar con las muñecas flexionadas).
- Se repite con frecuencia (por ejemplo, acciones repetitivas en una cadena de montaje).

Todos los problemas relacionados con las malas posturas corporales se ven agravados si, al mismo tiempo, es necesario aplicar fuerza. Si la aplicación de fuerza se realiza en una mala postura, ésta es más difícil y conlleva la aparición de molestias de forma prematura.

Movimiento repetido de determinadas zonas corporales, fundamentalmente de miembros superiores

Implica el movimiento continuo, prolongado en el tiempo, de una parte del cuerpo concreta. Las operaciones asociadas a este tipo de movimientos suelen ser de corta duración que se repiten de forma periódica durante un intervalo temporal elevado. Todo este conjunto de movimientos tiene asociado la implicación de brazos y manos y, eventualmente, tronco.

Manejo manual de cargas

Implica cualquier tipo de manipulación que incluya coger y/o dejar, transportar, empujar y/o arrastrar objetos pesados.

A lo largo de los años se ha puesto incapié en la formación del trabajador en “técnicas de manejo seguro de cargas o de personas”. Sin embargo, el objetivo real para solucionar el problema es la eliminación del manejo manual de cargas. Esta es la forma más eficaz de actuación para reducir las lesiones en el trabajo. EL peso solo es uno de los factores a tener en cuenta en esta ecuación. La capacidad física varía mucho de unas personas a otras. Por otro lado, en promedio, el peso que pueden mover y levantar las mujeres es un 45-60 % menor con respecto a los hombres. Finalmente se producen otro tipo de factores asociados como la disminución progresiva de la capacidad para levantar cargas que, a partir de los 25 – 30 años disminuye progresivamente.

El estado de salud de cada trabajador, especialmente en lo relativo al sistema musculoesquelético, también puede representar una limitación. Las trabajadoras no deben manipular cargas pesadas durante el embarazo ni durante unos meses posteriores al parto. Otro colectivo que representa un riesgo potencial de lesión del sistema musculoesquelético es el formado por trabajadores muy jóvenes en período de crecimiento y con escasa experiencia [30].

Vibraciones mecánicas transmitidas por máquinas y herramientas

Las vibraciones mecánicas afectan al cuerpo entero o a los miembros superiores y se transmiten, por ejemplo, a través de los pies. Las vibraciones que afectan al cuerpo entero son las procedentes de los vehículos o de maquinaria. Generalmente son transmitidas a través de los asientos o volantes, en el primer caso, y por el suelo de los edificios, en el segundo caso. Este tipo de vibraciones puede provocar lesiones en la espalda como lumbalgias o lesiones en la columna vertebral. Cuando el cuerpo está expuesto a vibraciones con un rango de frecuencias de 1 a 80 Hz se puede considerar riesgo de lesión.

Las vibraciones mano-brazo son las procedentes de equipos de trabajo y herramientas y se transmiten a través de la mano. Provocan problemas en la circulación sanguínea, en los huesos, en las articulaciones y nervios y problemas musculares. Se considera que existe riesgo de lesión cuando las extremidades superiores del trabajador están expuestas a vibraciones en un rango de frecuencias de entre 5 y 1000 Hz. Este rango es considerado potencialmente perjudicial provocando TME en las extremidades superiores y, en particular, para el síndrome de Raynaud (enfermedad iniciada en la punta de los dedos que provoca el estrechamiento de los vasos sanguíneos lo que produce que la persona sienta frío, hormigueo y pinchazos) [30].

Presión por contacto e impactos repetidos

Las presiones mecánicas localizadas se producen cuando los tejidos blandos del cuerpo están en contacto con un objeto duro o afilado. Otro tipo de presiones mecánicas son las provocadas por impactos repetidos sobre una parte del cuerpo. Ciertos tipos de estudios demuestran los efectos negativos asociados a la utilización de la mano como una herramienta para golpear, o del empleo de utensilios con superficies estrechas y/o duras que ejercen compresiones importantes sobre la palma de la mano o de los dedos. Un ejemplo es el uso de tijeras. Al utilizar este tipo de materiales se produce una compresión de los nervios de los dedos.

2.1.2. Factores de riesgo psicosociales y de organización

Engloban todas aquellas actividades relacionadas con la organización y el contenido del trabajo así como las relacionadas con la realización de la tarea. Algunos factores psicosociales que agravan las condiciones ergonómicas del puesto de forma directa son:

- La variedad de tareas, bien sea por exceso o por falta (trabajo monótono o estresante).
- Falta de control sobre la tarea a realizar.
- Ritmo de trabajo elevado.
- Duración prolongada de la jornada laboral.
- Falta de periodos de descanso y recuperación.

2.1.3. Otros factores de riesgo directamente relacionados con las condiciones ergonómicas del puesto

Las condiciones ambientales El calor, frío, ruido, humedad, vapores, iluminación y humo, entre otras pueden empeorar las condiciones ergonómicas del puesto de trabajo. Un claro ejemplo es el de las manos frías. Esto se traduce en una pérdida de destreza, capacidad, fuerza y sensibilidad. Otro ejemplo es el exceso o el déficit de iluminación puede llevar al trabajador a adoptar posturas forzadas que le permitan ver mejor.

Otras condiciones de trabajo Existen infinidad de situaciones que pueden darse en el puesto de trabajo como son la energía radiante, existencia de máquinas peligrosas, superficie resbaladiza, posibles contactos eléctricos, equipos de protección individual incómodos, falta de espacio, entre otros. Todo este tipo de situaciones expuestas pueden agravar las condiciones ergonómicas del puesto. Un claro ejemplo es la utilización de guantes inadecuados, lo que implica una reducción drástica en la sensibilidad y en la destreza lo que conlleva a ejercer más fuerza.

Variables individuales Existen múltiples variables del tipo personal como la edad del trabajador, la formación recibida en salud laboral, el sexo, experiencia en el puesto, su estado de salud... que influyen de forma directa en las condiciones ergonómicas del puesto de trabajo.

2.2. Métodos de evaluación ergonómica

En secciones anteriores se han presentado los principales factores de riesgo que pueden provocar o acentuar situaciones de riesgo ergonómico en el puesto de trabajo. Como se ha observado, no solo existen factores de riesgo físicos o biomecánicos, también existen factores de riesgo psicosociales y otros factores como las condiciones ambientales, entre otros.

En esta sección se van a estudiar los métodos de evaluación ergonómica más extendidos y utilizados en nuestro país. Estos métodos se centran en los factores de riesgo físicos o biomecánicos que son los métodos objetivo de estudio de este documento y en los que está orientado el sistema que se va a desarrollar.

2.2.1. Identificación inicial de riesgos ergonómicos - LCE

Antes de presentar los métodos de evaluación ergonómica propiamente dichos, se presenta un método que se utiliza para la identificación inicial de riesgos ergonómicos: el método LCE.

LCE

El método LCE (Ergonomic Checkpoints - Lista de Comprobación Ergonómica) es una herramienta especialmente diseñada para realizar evaluaciones ergonómicas básicas, con el objetivo de ofrecer soluciones prácticas y de bajo coste a muchos de los problemas

ergonómicos que se presentan en la empresa, más concretamente en la pequeña y mediana empresa. Se puede utilizar como una primera aproximación a la evaluación de riesgos ergonómicos.

Este método está destinado a aquellas empresas o trabajadores que quieran mejorar sus condiciones de trabajo a través de un análisis sistematizado y una búsqueda de soluciones prácticas a determinados problemas. Está diseñada para que cualquier persona (supervisores, profesionales de la Salud, trabajadores, empresarios...) con el objetivo de mejorar las condiciones y puestos de trabajo.

La lista de comprobación ergonómica generada por este método realiza un análisis de 10 áreas diferentes donde la ergonomía influye puede influir en las condiciones de trabajo. La lista final está formada por 138 puntos constituidos por los asociados a cada área. Dentro de cada área existen de 10 a 20 puntos de comprobación donde cada punto de comprobación indica una acción. Para cada una de las acciones se dan opciones y algunas indicaciones adicionales. De esta manera, existe la posibilidad de seleccionar los puntos de comprobación que se deseen evaluar dentro de un lugar de trabajo concreto y utilizar las proposiciones de acción como una lista de comprobación adaptada [30].

Entre sus limitaciones se identifican las siguientes:

- Las soluciones prácticas propuestas son excesivamente genéricas.
- El punto de origen son situaciones favorables, lo que induce a confusión en la identificación del factor de riesgo ergonómico.
- Las listas no se organizan por factores de riesgo sino que se agrupan en 10 áreas.

2.2.2. Métodos de Evaluación Global

Método LEST

Este método realiza la evaluación ergonómica de las condiciones de trabajo de forma objetiva y global, a través de un diagnóstico final que indica si cada una de las situaciones evaluadas para cada puesto es molesta, nociva o satisfactoria.

El objetivo final del método es la evaluación del conjunto de factores relativos al contenido del trabajo que puedan repercutir de forma negativa en la salud y en la vida personal de los trabajadores.

El método es de carácter global puesto que considera cada aspecto del puesto de trabajo de forma general. Se utiliza para obtener una primera valoración del puesto que permitirá establecer la necesidad de un análisis más profundo mediante métodos más concretos.

Por un lado, para la captura de información, se emplean variables cuantitativas como la temperatura o el nivel sonoro y, por otro lado es necesario recopilar la opinión del trabajador para poder valorar la carga mental o los aspectos psicosociales del puesto. Por lo tanto, se necesita recopilar tanto información cuantitativa como cualitativa para aplicar el método de forma correcta.

Aunque se trata de un método general de evaluación, no puede utilizarse para evaluar cualquier tipo de puesto. El método se diseñó inicialmente para valorar las condiciones laborales de puestos de trabajo fijos del sector industrial con un grado de cualificación de sus trabajadores bajo. Algunas partes del método (carga física, ambiente físico, postura...)

pueden utilizarse para evaluar puestos con un nivel de cualificación mayor, siempre y cuando las condiciones ambientales y el lugar de trabajo permanezcan constantes [30].

2.2.3. Métodos para el análisis de Movimientos Repetitivos

Método JSI (Job Strain Index o Índice de Tensión o Esfuerzo)

Este método de evaluación de puestos de trabajo permite valorar de forma sencilla, a través de la técnica de observación directa (vídeo), si los trabajadores que ocupan el puesto de trabajo están predispuestos a desarrollar lesiones musculoesqueléticas en las extremidades superiores, debido a movimientos repetitivos. Por lo tanto, se valoran la mano, la muñeca, el antebrazo y el codo.

El método se aplica a través de la medición de 6 variables:

1. Intensidad del esfuerzo.
2. Duración del esfuerzo por ciclo de trabajo.
3. Número de esfuerzos realizados en cada minuto de trabajo.
4. Desviación de la muñeca respecto a la posición neutra.
5. Velocidad con la que se realiza la tarea.
6. Duración de la tarea por jornada de trabajo.

Mediante las variables medidas se intenta valorar el esfuerzo físico que ejercen los tendones y los músculos de las extremidades superiores durante la realización de la tarea, así como el esfuerzo mental derivado de su realización.

En consecuencia, las variables de intensidad del esfuerzo y de postura mano-muñeca tratan de valorar el esfuerzo físico realizado. Tienen en cuenta tanto la intensidad del movimiento como la carga derivada de su realización en el sistema mano-muñeca. El resto de variables miden la carga psicológica y mental a través de la duración de la tarea y el tiempo de descanso.

Este método es uno de los más empleados para analizar los riesgos de las extremidades superiores. Sin embargo, este método está limitado puesto que solo 3 de las 6 variables medidas son cuantitativas. Las otras 3 medidas son cualitativas y están vinculadas a la evaluación que realice el responsable. Por lo tanto, este tipo de medidas son subjetivas cuya única base es la observación del evaluador utilizando medidas de escalas o métodos similares.

A pesar de estas limitaciones, el método es aplicable a gran cantidad de puestos de trabajo, ya que permite evaluar el riesgo de desarrollar lesiones musculoesqueléticas en tareas que involucran el uso intenso de la relación mano-muñeca [30].

Método OCRA

Este método, incluido en las normas *UNE-EN 1005-5:2007* e *ISO 11228-3:2007*, fue desarrollado con el objetivo principal de poder evaluar y valorar el riesgo asociado a la manipulación repetitiva a alta frecuencia. El método evalúa el nivel de riesgo en relación

a la probabilidad de aparición de trastornos musculoesqueléticos. Tiene en cuenta factores de riesgo como la postura forzada, la frecuencia de movimientos, la existencia de periodos de descanso y otros factores adicionales como las vibraciones.

El método calcula el índice OCRA, esto es, la relación que existe entre el número de acciones durante el turno de trabajo y el número total de acciones recomendadas para ese turno con el objetivo de establecer los niveles de riesgo a los que se encuentra expuesto el trabajador durante su jornada laboral.

El método OCRA ha sido establecido como el método preferente para la evaluación del riesgo por trabajo repetitivo en extremidades superiores. Este método requiere una alta formación específica para poder aplicarlo de forma estricta. Por este motivo, el método se ha simplificado con objeto de poder realizar evaluaciones precisas y ágiles. Para satisfacer estas necesidades, se creó check-list OCRA [30].

Las principales ventajas del Método OCRA se exponen a continuación:

1. Proporciona un análisis detallado de los principales factores de riesgo de trastornos musculoesqueléticos asociados a la manipulación repetitiva principalmente en las extremidades superiores.
2. Considera todas las tareas repetitivas que participan en un puesto complejo (o de rotación) y todas las estimaciones del nivel de riesgo.
3. Se ha demostrado que está relacionado con los efectos sobre la salud (TME en las extremidades). Por lo tanto, el índice OCRA es un buen indicador de las causas asociadas.

Check-list OCRA

Este método es la base de la norma *ISO 11228-3:2007. Manejo de cargas de poco peso a alta frecuencia. Método 1. Evaluación de riesgos simple.*

Este método surgió como una simplificación del método OCRA. Ambos implementan los mismos factores pero este nuevo método utiliza valoraciones más sencillas permitiendo:

1. La evaluación rápida y sencilla del riesgo asociado a movimientos repetitivos de las extremidades superiores.
2. Analizar el riesgo asociado a un puesto de trabajo, evaluando tanto el riesgo intrínseco del puesto como la exposición del trabajador al mismo.
3. Obtener un resultado de valoración del riesgo básico a través del cuál se puedan planificar estudios concretos para abordar el problema.

Entre sus limitaciones, se encuentran:

1. La evaluación de las posturas se cuantifica exclusivamente en función del tiempo en el cual se mantienen las mismas, y no según la gravedad.
2. El método no evalúa el uso repetitivo de fuerza de carácter ligero.
3. Subjetividad del evaluador.

4. El método considera las posturas de sujeción de objetos o herramientas con la mano de forma equivalente. Esto es erróneo puesto que está demostrado que los agarres “en pinza” producen más lesiones que los agarres palmares o en forma de gancho.
5. No considera la presencia de “micropausas” dentro de una tarea determinada.

A pesar de todos estos problemas o debilidades que plantea, el método check-list OCRA ofrece buenos resultados cuando se evalúan tareas con movimientos repetitivos de las extremidades superiores (mano-muñeca-brazo) con tiempos de ciclo de trabajo cortos. Para evaluaciones de tareas con posturas estáticas o prolongadas en el tiempo de las extremidades superiores es mucho menos preciso y no se aconseja su aplicación. Este método es muy simple de utilizar y proporciona resultados muy precisos dentro de su área de actuación [30].

2.2.4. Métodos para el análisis de la carga postural o posturas forzadas

Método RULA (Rapid Upper Limb Assessment)

El método RULA fue desarrollado con el objetivo de identificar factores de riesgo que puedan ocasionar lesiones en las extremidades superiores del cuerpo a los que los trabajadores están expuestos. Es importante tener en cuenta que el método evalúa posturas concretas por lo que es muy importante seleccionar aquellas con una carga postural más elevada.

El primer paso para aplicar el método es la observación de la actividad del trabajador durante varias jornadas laborales. A partir de esta observación se seleccionan las tareas y posturas más significativas en función de distintos factores como la duración o presentar una mayor carga postural. Estas posturas seleccionadas serán las posturas objetivo de estudio.

Las mediciones que se realizan son angulares, lo que significa que se miden los ángulos que forman las diferentes articulaciones del cuerpo respecto a la postura de referencia. Estas mediciones pueden realizarse, o bien directamente sobre el trabajador, o utilizando fotografías del trabajador adoptando la postura estudiada. Si se utilizan fotografías es necesario cubrir todos los ángulos a medir desde diferentes puntos de vista para que las medidas se puedan reproducir de forma precisa.

El método debe ser aplicado en ambos lados del cuerpo por separado ya que es posible que un lado esté más expuesto a riesgos que puedan ocasionar algún tipo de lesión física. Además, este método divide el cuerpo en dos grupos: el grupo A incluye los miembros superiores (brazos, antebrazos y muñecas) y el grupo B incluye piernas, tronco y cuello.

La puntuación asociada a cada valoración se realiza en función de la medición de los ángulos que forman las diferentes partes del cuerpo del operario. Pasos seguidos:

1. El método determina, para cada miembro, la forma de medición del ángulo.
2. Las puntuaciones globales de los grupos A y B son modificadas en función del tipo de actividad muscular desarrollada, así como de la fuerza aplicada durante la realización de la tarea.

3. Se obtiene la puntuación final a partir de dichos valores globales modificados.

El valor final obtenido es proporcional al riesgo que conlleva la realización de la tarea, de forma que valores altos indican un mayor riesgo de aparición de lesiones musculoesqueléticas. El método clasifica las puntuaciones finales en niveles de actuación. Los niveles de actuación propuestos van del nivel 1 (postura evaluada aceptable) al nivel 4 (cambios urgentes en la tarea desarrollada) [30].

El procedimiento de aplicación del método se expone en los siguientes pasos:

- Determinar los ciclos de trabajo y observar al trabajador durante un número representativo de ciclos.
- Seleccionar las posturas a evaluar.
- Determinar, para cada postura, qué lado del cuerpo se va a evaluar.
- Determinar las puntuaciones para cada parte del cuerpo.
- Obtener la puntuación final del método y el Nivel de Actuación para determinar que tipo de actuación seguir.
- Revisar las puntuaciones de las diferentes partes del cuerpo para determinar dónde es necesario aplicar correcciones.
- En caso de que sea necesario, rediseñar el puesto o introducir cambios para mejorar la postura.
- Si se han introducido cambios, volver a evaluar el puesto de trabajo para comprobar los efectos positivos del cambio.

Entre sus limitaciones destacan:

- No considera otros factores de riesgos ergonómicos relevantes como la precisión de movimientos, la velocidad, la frecuencia, la duración o el número de pausas.
- Solo considera la postura individual que puede ser mantenida durante más tiempo o la más exigente en ese ciclo de trabajo y no en la jornada diaria. Tampoco incluye el análisis de conjuntos de posturas.
- Considera cargas de más de 10 kg de peso manipulados, pero carece de tramos superiores.
- La postura a evaluar dentro del puesto de trabajo queda a elección del evaluador (se puede considerar como una medida subjetiva).

Método OWAS (Ovako Working Analysis System)

El método OWAS es un método sencillo y útil destinado al análisis ergonómico de la carga postural. Se puede aplicar en diversos ámbitos laborales ya que proporciona buenos resultados, tanto en el aumento de la calidad de la producción como en la mejora de la comodidad de los puestos. Gracias a su versatilidad y buenos resultados proporcionados, es uno de los métodos de evaluación más utilizados.

El método se basa en la observación de las diferentes posturas adoptadas por el trabajador durante el desarrollo de la tarea. Se pueden adoptar hasta 252 posiciones diferentes en función de las posibles combinaciones de la posición de la espalda (4 posiciones), de los brazos (3 posiciones), de las piernas (7 posiciones) y la carga levantada.

Los pasos para realizar una valoración con este método son los siguientes:

1. Captura de datos (registro de posiciones). Esta tarea puede realizarse mediante el análisis de fotografías, la observación del trabajador en tiempo real o la visualización de videos de la actividad.
2. Codificación de las posturas recopiladas. A cada postura se le asigna un código identificativo, es decir, se establece una relación entre la postura y su código.
3. En función del riesgo que induce una postura para el trabajador, se distinguen cuatro Niveles o “Categorías de riesgo”. La categoría de menor riesgo tiene el valor 1 y la de mayor riesgo el valor 4. Para cada Categoría de riesgo, el método establece una propuesta de acción, indicando la necesidad o no del rediseño del puesto de trabajo y su urgencia.
4. Evaluar el riesgo para cada parte del cuerpo (espalda, brazos y piernas) asignando también una Categoría de riesgo.
5. Este análisis permite identificar las posturas y posiciones más críticas y crear un plan de actuación con acciones correctivas necesarias para mejorar el puesto. Se genera una guía de actuaciones para que la tarea evaluada sea rediseñada.

A pesar de todas las virtudes asociadas a este método, el método OWAS presenta una limitación. No permite el estudio detallado de la gravedad de cada posición. Un ejemplo de lo expuesto anteriormente es, por ejemplo, que el método detecta si el trabajador tiene las piernas flexionadas a la hora de ejecutar una tarea pero no indica el grado de flexión. Esto es una medida importante para la detección de riesgos. Dos posturas con idéntica codificación pueden tener distinto grado de flexión en las piernas lo que repercute en la comodidad del trabajador [30].

Método REBA (Rapid Entire Body Assessment)

El método REBA es el resultado del estudio de aproximadamente 600 posturas distintas. Fue diseñado para un uso fácil sin necesidad de un título avanzado en ergonomía o equipos costosos. El método permite el análisis conjunto de las posiciones adoptadas por los miembros superiores del cuerpo (brazo, antebrazo, muñeca), del tronco, del cuello y de las piernas. Tiene en cuenta otros factores importantes para la valoración de la

postura, como son el tipo de agarre, la carga o fuerza manejada, o la actividad muscular desarrollada por el trabajador.

Permite evaluar tanto posturas estáticas como dinámicas, e incorpora la detección de cambios bruscos de postura o posturas inestables. Esto es una característica que no poseen los anteriores métodos de evaluación. El método, entre otras cosas, determina si la postura de las extremidades superiores del cuerpo es a favor o en contra de la gravedad, y valora si esta circunstancia acentúa o atenúa el riesgo asociado a la postura.

Es esta una herramienta de análisis postural especialmente sensible con las tareas que conllevan cambios inesperados de postura, como consecuencia normalmente de la manipulación de cargas inestables. Su aplicación previene al evaluador sobre el riesgo de lesiones asociadas a una postura, principalmente de tipo músculoesquelético, indicando en cada caso la urgencia con que se deberían aplicar acciones correctivas.

Por tanto, se trata de un método muy útil en el ámbito sociosanitario, pues es capaz de alertar sobre condiciones de trabajo inadecuadas, y es una de las herramientas más extendidas y usada para el análisis de la carga postural [30].

Método EPR (Evaluación Postural Rápida)

El método EPR no está considerado en sí mismo un método de evaluación ergonómica. Más bien es una herramienta que permite realizar una primera valoración de las posturas adoptadas por el trabajador a lo largo de la jornada laboral.

Si al aplicar este método el resultado manifiesta que en el puesto de trabajo se está produciendo un nivel de carga estática elevado, entonces el evaluador deberá realizar un estudio más profundo del puesto mediante algún otro método de evaluación postural más específicos, como pueden ser otros métodos más completos y precisos como los métodos RULA, OWAS o REBA.

El método simplemente mide la carga estática considerando el tipo de posturas que adopta el trabajador y el tiempo que las mantiene, proporcionando un valor numérico proporcional al nivel de carga. A partir del valor asignado a la carga estática, el método propone un nivel de actuación con valores comprendidos entre 1 (postura evaluada aceptable) y el 5 (carga estática lesiva para el trabajador). Si el nivel obtenido es de 5, es necesaria la toma de medidas para mejorar el puesto de trabajo de forma inmediata.

EPR no evalúa posturas concretas sino que realiza una valoración global de las diferentes posturas adoptadas y del tiempo que son mantenidas. El método considera que el trabajador puede adoptar las 14 posturas genéricas mostradas en la Figura 2.1 [30].

Tabla de posturas					
Sentado Normal		Sentado Inclinado		Sentado Brazos por encima de los hombros	
De pie Normal		De pie Brazos en extensión frontal		De pie Brazos por encima de los hombros	
De pie Inclinado		De pie Muy inclinado		Arrodillado Normal	
Arrodillado Inclinado		Arrodillado Brazos sobre los hombros		Tumbado Brazos sobre los hombros	
Agachado Normal		Agachado Brazos sobre los hombros			

Figura 2.1: Posturas del trabajador en EPR

2.2.5. Métodos para la manipulación manual de cargas

Ecuación NIOSH

La ecuación de Niosh permite evaluar tareas en las que se realizan levantamientos de carga, ofreciendo como resultado el peso máximo recomendado (RWL) que es posible levantar sin que se produzca ningún tipo de lesión física como lumbalgias y problemas de espalda. Esta fórmula se recoge en la norma *ISO 11228-1:2003*, la cual permite evaluar con precisión y objetividad, los riesgos ergonómicos derivados del levantamiento manual de cargas y transporte de cargas.

Existen 3 criterios principales para definir los componentes de la ecuación:

- **Criterio psicofísico:** se basa tanto en datos sobre resistencia como en la capacidad de los trabajadores. Esto permite considerar los efectos biomecánicos y fisiológicos del levantamiento.
- **Criterio fisiológico:** indica que las tareas con levantamientos repetitivos pueden, de forma general, disminuir de forma notoria la energía y la resistencia del trabajador trayendo consigo el aumento de la probabilidad de sufrir una lesión. El método recoge la capacidad de levantamiento máximo aeróbico en $9,5 \text{ kcal/min}$.
- **Criterio biomecánico:** se basa en la aparición de momentos mecánicos cuando se manejan cargas (tanto pesadas como ligeras) levantadas de forma incorrecta que se transmiten por todo el cuerpo hasta las vértebras lumbares dando lugar a una extrema fatiga y estrés.

Teniendo presentes estos criterios de evaluación, se establecen las variables de la ecuación de Niosh. La ecuación parte de la definición de un levantamiento ideal, que sería aquel realizado desde lo que Niosh define como Localización Estándar de Levantamiento y bajo condiciones óptimas. Es decir, en posición sagital (sin giros de torso ni posturas asimétricas), haciendo un levantamiento ocasional, con un buen asimilamiento de la carga y levantándola menos de 25 cm .

En un levantamiento ideal el peso máximo recomendado es de 23 kg . Este valor es el denominado Constante de Carga (LC), el cuál se basa en los criterios psicofísico y biomecánicos, y es el que se considera que puede ser levantado sin problemas en esas condiciones por el 75 % de las mujeres y el 90 % de los hombres. Es decir, el Peso Límite Recomendado (RWL) para un levantamiento ideal es de 23 kg.

Los datos que se deben recoger son:

- **El Ángulo de Asimetría (A)** formado por el plano sagital del trabajador y el centro de la carga. El ángulo de asimetría es un indicador de la torsión del tronco del trabajador durante el levantamiento, tanto en el origen como en el destino del levantamiento.
- **Las distancias horizontal (H) y vertical (V)** existente entre el punto de agarre y la proyección sobre el suelo del punto medio de la línea que une los tobillos. La distancia vertical (V) debe medirse tanto en el origen del levantamiento como en el destino del mismo independientemente de que exista o no control significativo de la carga).

- **La Duración del Levantamiento y los Tiempos de Recuperación.** Se debe establecer el tiempo total empleado en los levantamientos y el tiempo de recuperación. Se considera que el tiempo de recuperación es un periodo en el que se realiza una actividad ligera diferente al propio levantamiento. Ejemplos de actividades de este estilo son permanecer sentado frente a un ordenador, operaciones de monitoreo y operaciones de ensamblaje entre otras.
- **El peso del objeto manipulado** en kilogramos incluido su posible contenedor.
- **La Frecuencia de los levantamientos (F)** en cada tarea. Se debe determinar el número de veces por minuto que el trabajador levanta la carga en cada tarea. Para ello se observará al trabajador durante 15 minutos de desempeño de la tarea obteniendo el número medio de levantamientos por minuto. Si existen diferencias superiores a dos levantamientos por minuto en la misma tarea entre diferentes sesiones de trabajo debería considerarse la división en tareas diferentes.
- **El Tipo de Agarre** clasificado como Bueno, Regular o Malo.

Una vez realizada la toma de datos, ya se está en disposición de calcular los factores multiplicadores de la ecuación de Niosh:

- **CM:** Factor de Agarre.
- **HM:** Factor de Distancia Horizontal.
- **AM:** Factor de Asimetría.
- **DM:** Factor de Desplazamiento Vertical.
- **VM:** Factor de Distancia Vertical.
- **FM:** Factor de Frecuencia.

En el caso de tratarse de un levantamiento en condiciones óptimas, los factores multiplicadores toman el valor 1 y valores más cercanos a 0 cuanto mayor sea la desviación de las condiciones del levantamiento respecto de las ideales. Cada factor multiplicador valora una condición del levantamiento, y tiene un proceso de cálculo para cada uno. Una vez obtenidos los factores involucrados, ya se puede calcular el RWL (Peso Máximo Recomendado) para cada área aplicando la siguiente fórmula:

$$RWL = AM \cdot VM \cdot DM \cdot CM \cdot FM \cdot LC \cdot HM \quad (2.1)$$

Cuando el levantamiento requiere control significativo de la carga en el destino, se deben evaluar tanto el inicio del levantamiento como el final del mismo, aplicando dos veces la ecuación de NIOSH. El Peso Máximo Recomendado a seleccionar es el más desfavorable de los dos (el menor), y como índice de carga (LI) el mayor [30].

Snook y Ciriello

El método consiste en un conjunto de tablas con los pesos máximos aceptables, diferenciados por géneros, para diferentes acciones como el empuje, el descenso, el levantamiento, el transporte de cargas y el arrastre.

Para la creación y la validación de las tablas se evaluaron las capacidades de hombres y mujeres en el ámbito industrial. Se realizaron varios experimentos utilizando una metodología psicofísica con características antropométricas y medidas del consumo de oxígeno y ritmo cardíaco. Además se consideraron como variables independientes el tamaño del objeto y sus agarres, la frecuencia de la tarea, la altura, la distancia, la duración, la combinación de tareas y los alcances horizontales.

Estas tablas recogen los Pesos Máximos Aceptables para los diferentes tipos de manipulaciones de cargas, y existen un total de 9 tablas: levantamiento para hombres, levantamiento para mujeres, descarga para hombres, descarga para mujeres, arrastre para hombres, arrastre para mujeres, empuje para hombres, empuje para mujeres y transporte para hombres/mujeres (en este caso la misma tabla contiene los valores para hombres y mujeres).

La aplicación del método es muy sencilla. Se basa simplemente en la consulta de la tabla correspondiente a la acción de manipulación manual de cargas que se desea evaluar. Sin embargo, este método plantea limitaciones. Las entradas para la consulta de las tablas no contemplan todas las situaciones posibles de la tarea que se está evaluando. Una aproximación que se realiza es que el evaluador seleccione aquellas entradas que más se aproximen a la situación concreta que se está evaluando. En el caso de que haya diferentes alternativas de aproximación se debe seleccionar la más restrictiva en peso, esto es, aquella con un resultado del peso máximo aceptable menor. Por lo tanto, en ciertas ocasiones, este método es subjetivo al depender de forma directa de un evaluador [30].

Guía de levantamiento de carga del INSHT

Este método fue desarrollado por el INSHT (Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo) con el objetivo de facilitar el cumplimiento de la legislación vigente en España sobre prevención de riesgos laborales derivados de la manipulación manual de cargas y la aplicación del *Real Decreto 487/1997* del 14 de abril, sobre los requisitos mínimos de seguridad y salud relativos a la manipulación manual de cargas que entrañe riesgos, más concretamente dorsolumbares, para los trabajadores.

Por definición, toda manipulación manual de cargas conlleva un riesgo inherente por lo que este método trata de determinar el grado de exposición del trabajador al realizar el levantamiento o transporte de la carga. Este método tiene como objetivo prevenir al trabajador de posibles lesiones derivadas del levantamiento de cargas, evaluando con especial detalle los riesgos que afectan de forma directa a la espalda (especialmente a la zona lumbar).

En función de la posición de la carga con respecto al cuerpo y, en condiciones ideales, el método parte de un valor máximo de peso recomendado que se podría manejar llamado **Peso teórico**¹. Partiendo de esta carga y, tras considerar las condiciones específicas del

¹El mayor peso teórico recomendado es de 25 kg para la población activa masculina y 15 kg para mujeres, trabajadores mayores de 55 años y menores que corresponde a la posición de la carga más favorable.

puesto, tales como el nivel de protección, las condiciones ergonómicas y características individuales del trabajador y el peso real de la carga, se obtiene un nuevo valor de peso máximo recomendado, denominado **Peso aceptable**, que garantiza que la actividad sea segura para el trabajador.

Tras obtener el peso máximo recomendado, se compara con el peso real de la carga y se obtiene la valoración de la tarea que se evalúa. Esta valoración indica si se trata de un puesto seguro o por el contrario expone al trabajador a un riesgo excesivo y por tanto no tolerable. Finalmente, el método facilita una serie de consejos, recomendaciones y correcciones para convertir los límites de la tarea en límites de riesgo aceptables.

Se trata pues de un método sencillo, con información de fácil recopilación, y que proporciona resultados que orientan al evaluador sobre el riesgo asociado a la tarea y la necesidad o no de llevar a cabo medidas correctivas de mejora. Sin embargo, presenta una gran limitación, ya que estamos ante un método difícil de aplicar, dada la variabilidad de los levantamientos que se producen en la actividad laboral.

La guía establece que podrán ser evaluadas tareas en la que se manejen cargas con pesos superiores a 3 kg, al considerar que por debajo de dicho valor el riesgo de lesión dorso-lumbar resulta poco probable.

El método está especialmente orientado a la evaluación de tareas que se realizan en posición de pie, pero también realiza algunas indicaciones sobre los levantamientos realizados en posición sentado que, partiendo de la base de que es una posición inadecuada y que debe evitarse si es posible, podría orientar al evaluador acerca del riesgo asociado al levantamiento en dicha postura. A modo de orientación, propone como límite de peso para tareas realizadas en posición sentado los 5 kg.

El resultado de la evaluación clasificará los levantamientos en levantamientos con **Riesgo Tolerable** y levantamientos con **Riesgo no Tolerable**, en función del cumplimiento o no de las disposiciones mínimas de seguridad en las que se fundamenta el método [30].

2.2.6. Otros métodos de evaluación

Método ERGO IBV

Se trata de un software de Evaluación de riesgos ergonómicos, desarrollado por el Instituto de Biomecánica de Valencia.

La configuración básica de Ergo/IBV incluye varios módulos de evaluación de riesgos que permiten evaluar una amplia variedad de tareas:

1. **Manipulación Manual de Cargas para Trabajadores Lesionados:** permite analizar tareas de levantamiento manual de cargas realizadas para poder minimizar el riesgo al volver al trabajo tras una lesión lumbar.
2. **Manipulación Manual de Cargas Simple y Múltiple:** permite analizar tareas de transporte, empuje o arrastre de cargas, levantamientos y todas las posibles combinaciones de las tareas citadas anteriormente. A partir de las variables asociadas a la tarea (frecuencia y duración de la manipulación, posición de la carga, fuerza realizada, peso de la carga...) el programa calcula un índice de riesgo para la zona dorsolumbar de la espalda.

3. **Posturas Forzadas:** este módulo puede ser de utilidad cuando la carga de trabajo no es uniforme durante la jornada laboral y resulta difícil determinar el tiempo de exposición a las diferentes actividades del trabajador. Existen distintos módulos en función de la tarea que se desee analizar. Para analizar problemas de torso, extremidades superiores e inferiores y cuello el método recomendado es REBA. Para analizar tareas que impliquen posturas forzadas de la espalda, las piernas y los brazos se recomienda el método OWAS. Por último, para analizar tareas en las que se realizan fuerzas asociadas al uso de controles, mandos o analizar empujes y arrastres de objetos se usan los métodos basados en las *Normas ISO y UNE 1005-3*.
4. **Tareas Repetitivas:** permite analizar tareas repetitivas de los miembros superiores con ciclos de trabajo claramente definidos. En base a la repetitividad de los movimientos de los brazos, el tiempo de duración de la tarea y la postura que adopta el trabajador, el programa calcula el nivel de riesgo de la tarea. A mayores proporciona una serie de consejos y recomendaciones para reducir el nivel de riesgo en casos extremos.
5. **ErgoMater:** permite detectar factores de riesgo ergonómico para la trabajadora embarazada. Contiene ítems relacionados con las demandas físicas de la tarea, las condiciones del entorno y de la organización del trabajo que pueden implicar riesgos para la madre y/o el feto.
6. **Oficina:** permite analizar tareas de oficina en las que el trabajador está más de 2 horas diarias de trabajo efectivo con pantallas de visualización de datos. La evaluación considera factores de riesgo relacionados con el mobiliario de trabajo (silla, mesa y accesorios), el ordenador, la organización del trabajo y el entorno (ambiente térmico, ruido, espacio e iluminación).
7. **Psicosocial:** para evaluar la exposición en el trabajo a factores de riesgo de naturaleza psicológica y social.
8. **Diseño antropométrico del puesto de trabajo:** recomendaciones generales del puesto de trabajo.

Capítulo 3

Estudio de Aplicaciones para Ergonomía

En este capítulo se presenta un estudio de las principales aplicaciones para ergonomía que existen en el mercado tanto aplicaciones móviles como programas software disponibles para ordenador. En el ámbito de las aplicaciones móviles, el estudio se ha centrado en las 2 plataformas más relevantes que existen actualmente, Android e iOS.

3.1. Aplicaciones disponibles en Google Play Store

A continuación se presentan las aplicaciones más relevantes, tanto gratuitas como de pago, para el sistema operativo Android disponibles en su tienda de aplicaciones.

Ergo/IBV Tool Aplicación para la prevención y análisis de riesgos laborales. La aplicación móvil únicamente facilita la recogida de los datos de campo desde cualquier dispositivo móvil. Necesita de un software de escritorio para poder procesar los datos ingestados a través de la aplicación y obtener resultados asociados. *Ergo/IBV* es uno de los principales programas software para la evaluación de riesgos ergonómicos. Proporciona la evaluación y las recomendaciones de diseño asociadas a los riesgos ergonómicos y psicosociales del puesto de trabajo. Esta app es la solución de movilidad que facilita y agiliza el trabajo de campo en la evaluación de riesgos ergonómicos. Permite la captura de datos en el puesto de trabajo para su posterior análisis a través de la herramienta de ordenador *Ergo/IBV* (v15) [6] [27]. Las funcionalidades de esta aplicación son las siguientes:

- Captura de datos y archivos multimedia en cualquier lugar sin necesidad de conexión a la red.
- Almacenamiento de datos para su posterior gestión y tratamiento.
- Uso sencillo e intuitivo.
- Importa los archivos manera automática y los transfiere directamente a la metodología de evaluación/módulo correspondiente.

- Incorpora los métodos de evaluación de riesgos más relevantes como REBA, RULA y EPR (módulos del software Ergo/IBV).

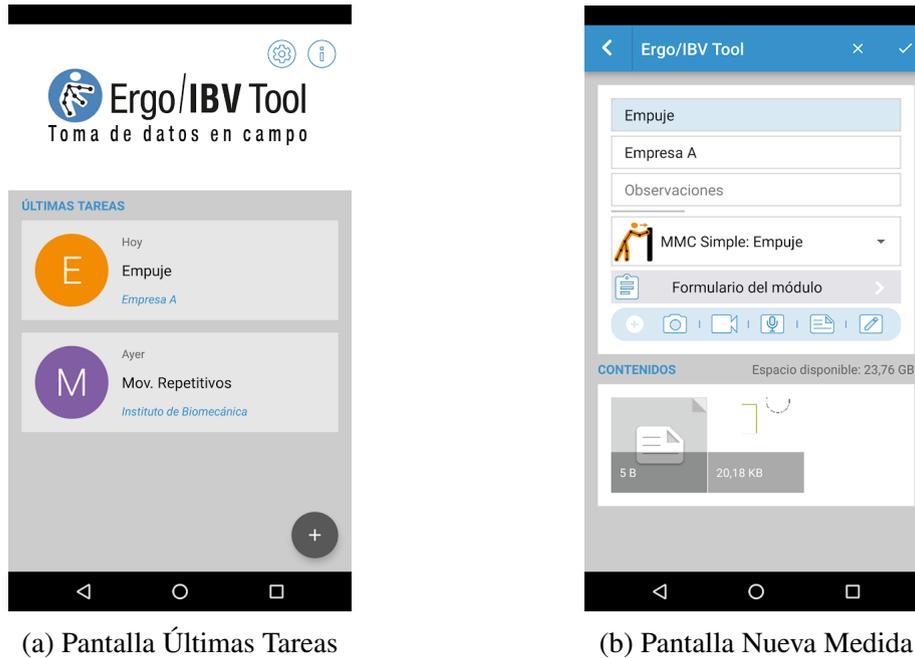


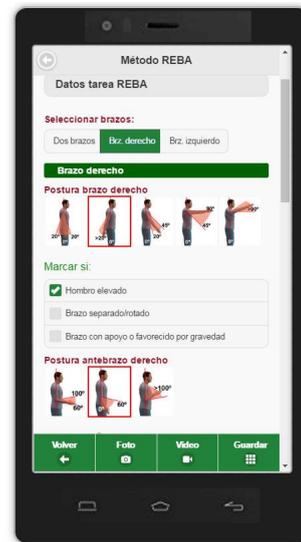
Figura 3.1: Aplicación Ergo/IBV Tool

ErgoSoft APP Aplicación para la prevención y análisis de riesgos laborales. Solo permite la recogida de datos por lo que tiene la necesidad de usar un software de escritorio para análisis. Similar a textitErgo/IBV Tool. *ErgoSoftAPP* es la aplicación del software de escritorio *ErgoSoft Pro* que facilita la recogida de datos en campo desde cualquier dispositivo móvil, incluido foto y vídeo. *ErgoSoft Pro* es el programa de Evaluación de Riesgos Ergonómicos de referencia para técnicos de prevención, ya que incluye en la última versión 25 metodologías de análisis. En combinación con *ErgoSoft Pro*, esta app es la solución para la toma de datos facilitando y agilizando el trabajo de campo en la evaluación de riesgos ergonómicos, ganando en tiempo y eficiencia. Es necesario disponer de la versión de *ErgoSoft Pro 5.0* para obtener la plena funcionalidad de esta app [28][11].

ILO Ergonomic Checkpoints Aplicación que permite la comprobación ergonómica en los puestos de trabajo. Permite crear listas de comprobación interactivas de los puestos de control ergonómicos para utilizar en el lugar de trabajo. Hay 132 puestos de control en total. La aplicación también incluye recomendaciones de buenas prácticas para la adopción de medidas y la implementación de mejoras efectivas en la ergonomía en el lugar de trabajo. La aplicación está diseñada para su uso por cualquier persona relacionada con la creación de un mejor puesto de trabajo: personal de los empleadores, supervisores, trabajadores, inspectores, seguridad y salud, los formadores y educadores, ingenieros, ergónomos y diseñadores[17][3]. Características:



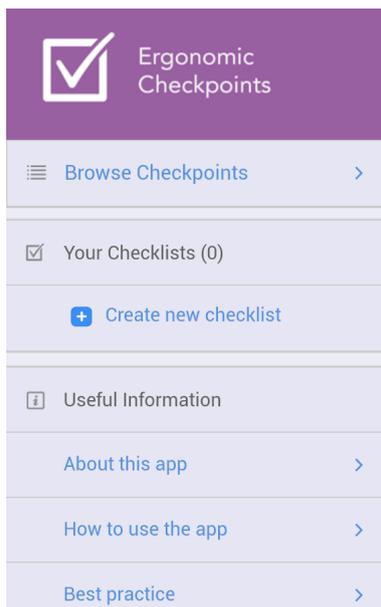
(a) Pantalla Evaluación Puesto de Trabajo



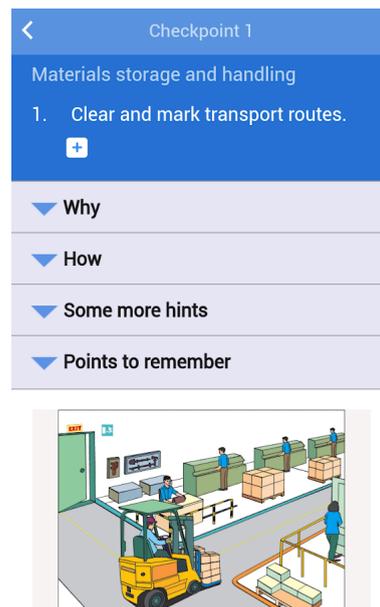
(b) Pantalla Método REBA

Figura 3.2: Aplicación ErgoSoft APP

- Acceso a descripciones detalladas de los puestos de control con ilustraciones.
- Crear listas de control personalizados, dar prioridad a los puestos de control y tomar notas.
- Marca de fecha y exportar sus listas de verificación y notas.



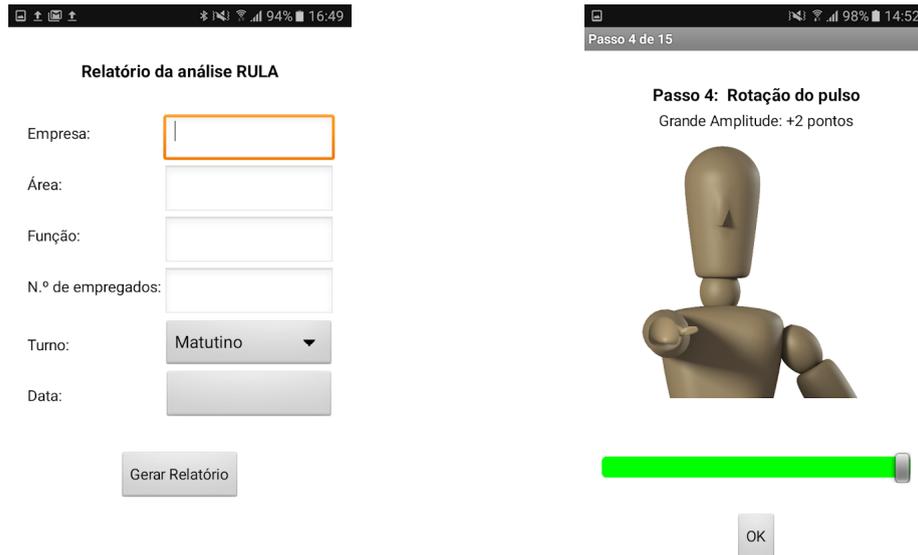
(a) Pantalla Checkpoints creados



(b) Pantalla Detalles Checkpoint

Figura 3.3: Aplicación ILO Ergonomic Checkpoints

RULApp Esta aplicación tiene como objetivo proporcionar una herramienta de apoyo en las investigaciones ergonómicas de puestos de trabajo en las que hay informes relacionados con sobrecargas en las extremidades superiores. Esta aplicación se basa en el método desarrollado por RULA McAtamney, L. y Corlett, E.N. (1993) [24].



(a) Pantalla Nueva Evaluación RULA

(b) Pantalla Detalles Posición RULA

Figura 3.4: Aplicación RULApp

SBN Ergo+ Esta aplicación permite completar evaluaciones ergonómicas completas in situ, capturar mediciones y detalles de medios enriquecidos, y generar un informe detallado que incluye información sobre evaluación ergonómica y recomendaciones. La evaluación ergonómica y la información de recomendaciones se basa en algoritmos desarrollados por veteranos especialistas en ergonomía de *Ouch Safety, Inc.* El Portal Web de *SBN* permite al equipo ver todos los resultados que llegan de los usuarios móviles en tiempo real. El portal web también permite a los equipos gestionar y actualizar todas las acciones correctivas identificadas, generar informes completos y realizar análisis de tendencias a través de cuadros de mando interactivos. Los administradores de su sistema pueden utilizar la herramienta web para gestionar de forma centralizada el acceso de los usuarios, y mucho más [20][25].

EKAS ErgoCheck Aplicación que ayuda a mejorar la ergonomía y guía al usuario paso a paso hacia la optimización de todas las estaciones de trabajo de su oficina y entorno. Junto con la aplicación web basada en el navegador EKAS-Checkbox, que también es gratuita, permite garantizar un entorno de trabajo seguro y saludable con poco esfuerzo [12][4]. La aplicación gratuita incluye:

- Instrucciones paso a paso para optimizar las estaciones de trabajo de oficina y de monitoreo.

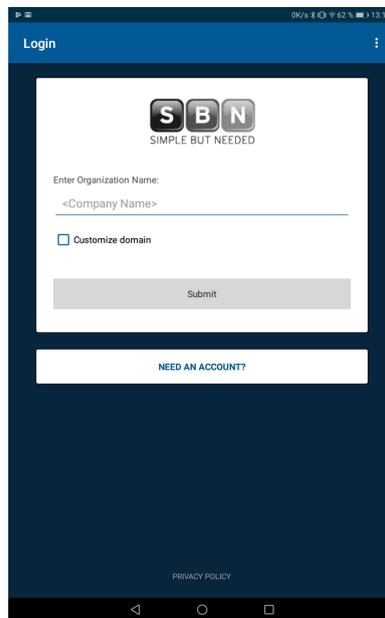
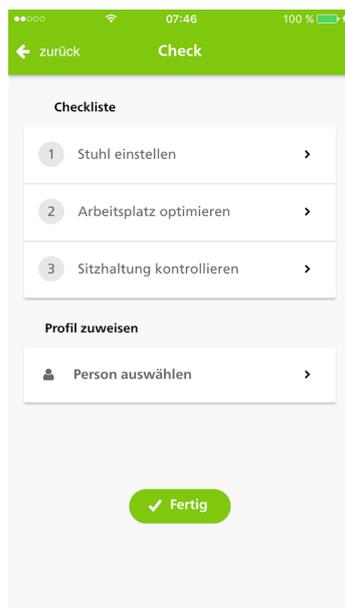


Figura 3.5: Aplicación SBN Ergo+

- Control de la postura sentada.
- Asignación de cheques a los miembros del equipo.
- Sincronización de los datos con la casilla de verificación EKAS.



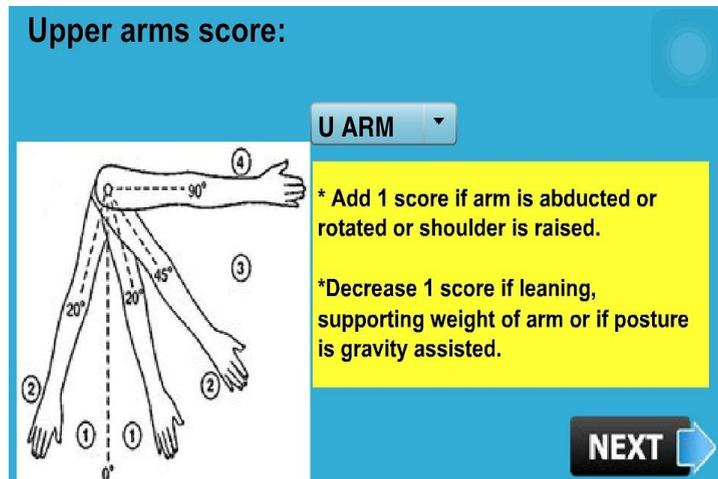
(a) Pantalla Checklists



(b) Pantalla Nuevo Checklist

Figura 3.6: Aplicación EKAS ErgoCheck

HSE.Ergo.REBA Aplicación similar a las anteriores en la que existen unas reglas de medida de la ergonomía y se asignan puntos en función de la movilidad de cada parte del cuerpo a medir. La idea básica de REBA es similar a la de RULA: la puntuación obtenida por cada parte del cuerpo será mayor cuanto más se aleje de su posición neutra. El grupo A incluye el tronco, el cuello y las piernas y el grupo B incluye brazos y muñecas. Estos grupos se combinan y las 144 combinaciones de posturas resultantes se transforman en un conjunto general de puntuación postural [16].



(a) Pantalla Medición REB



(b) Pantalla Resultados REBA

Figura 3.7: Aplicación HSE.Ergo.REBA

ErgoEvalApp Esta aplicación permite la evaluación de riesgos ergonómicos. Están implementadas diferentes metodologías que permiten disponer de la información necesaria para mejorar los puestos de trabajo y reducir las lesiones del trabajador. Hay métodos que únicamente analizan las condiciones de trabajo y otros que, además, proporcionan información cuantitativa sobre las mismas [5]. Esta aplicación selecciona la metodología más utilizada para las diferentes condiciones de trabajo:

- Método de evaluación de carga postural: Método REBA.
- Método de evaluación de manipulación manual de cargas: Guía del INSHT.
- Método de evaluación de movimientos repetidos: OCRA Check List.



(a) Pantalla Métodos Evaluación



(b) Pantalla Evaluación REBA

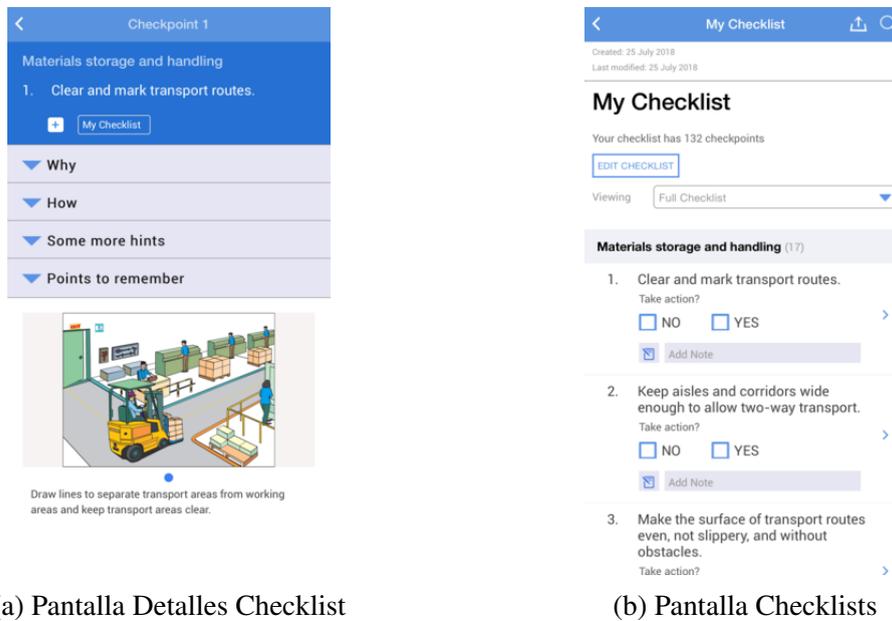
Figura 3.8: Aplicación ErgoEvalApp

3.2. Aplicaciones disponibles en App Store

A continuación se presentan las aplicaciones más relevantes, tanto gratuitas como de pago, para el sistema operativo iOS disponibles en su tienda de aplicaciones.

Ergonomic Checkpoints La aplicación permite crear listas de control interactivas de puntos de control ergonómicos para utilizar en el lugar de trabajo. Hay 132 puestos de control en total. La aplicación también incluye recomendaciones de mejores prácticas para tomar medidas e implementar mejoras efectivas en la ergonomía en el lugar de trabajo. La aplicación está diseñada para ser utilizada por cualquier persona preocupada por crear un mejor lugar de trabajo: empleados, supervisores, trabajadores, inspectores, personal de seguridad y salud, formadores y educadores, ingenieros, ergonomistas y diseñadores [10]. Características:

- Acceder a descripciones detalladas de los puntos de control con ilustraciones.
- Crear listas de control personalizadas, priorizar puntos de control y tomar notas.
- Sello de fecha y exportación de las listas de control y notas.



(a) Pantalla Detalles Checklist

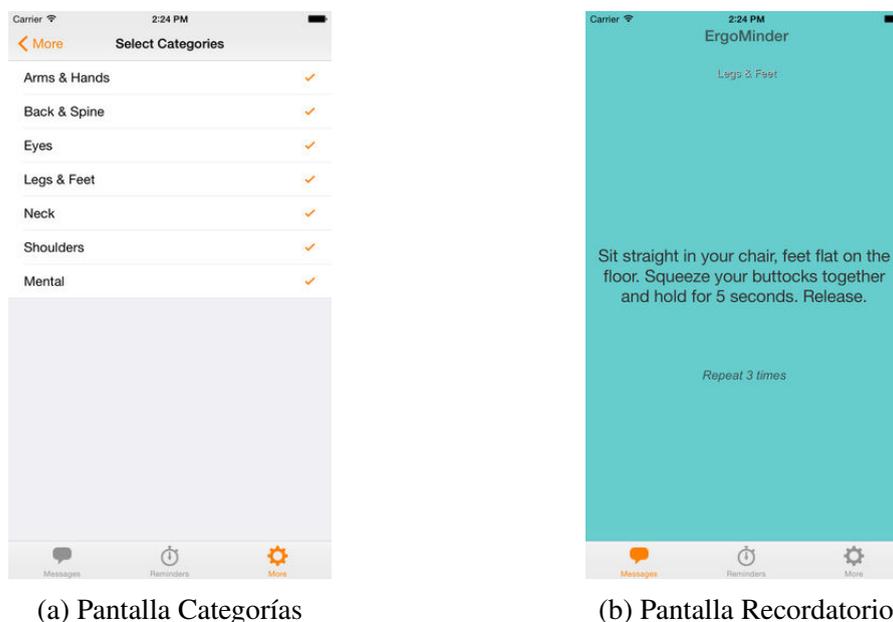
(b) Pantalla Checklists

Figura 3.9: Aplicación Ergonomic Checkpoints

ErgoMinder La finalidad de la aplicación es la de recordar que se deben realizar micro-ejercicios mediante la función de recordatorio incorporada. Durante las horas de trabajo los mensajes aparecerán en la pantalla del teléfono e indicarán que es el momento de realizar pequeños ejercicios de menos de 30 segundos de duración. Los beneficios que se le atribuyen son los del aumento de la productividad, vencimiento de los dolores del cuerpo, prevención de lesiones, reducción del estrés, aumento de energía y mayor atención, entre otras [7][8]. Características:

- Notificaciones de antecedentes.
- Hora de inicio y fin de los recordatorios diarios.
- Recordatorios aleatorios u horarios.
- Micro ejercicios (10 - 30 segundos) englobados en 7 categorías.
- Activar/desactivar categorías de recordatorio.

SBN Ergonomics La aplicación permite a los usuarios evaluar la configuración de la estación de trabajo del ordenador. La aplicación proporciona recomendaciones específicas para los usuarios sobre cómo mejorar su estación de trabajo para minimizar la incomodidad y el riesgo de lesiones. Diseñada por veteranos especialistas en ergonomía, la aplicación genera automáticamente recomendaciones en tiempo real que pueden ser compartidas inmediatamente con el usuario a través de un navegador web o enviadas a un especialista para su revisión adicional. Además, la herramienta proporciona las mejores prácticas ergonómicas y estiramientos para maximizar la comodidad de sus empleados.



(a) Pantalla Categorías

(b) Pantalla Recordatorio

Figura 3.10: Aplicación ErgoMinder

La herramienta es ideal para la orientación y configuración de estaciones de trabajo informáticas, la respuesta a la incomodidad de usar un ordenador, el seguimiento de las evaluaciones en toda la organización, y para las evaluaciones de los trabajadores remotos. Los usuarios de la aplicación pueden utilizar la Herramienta de Evaluación Ergonómica de *SBN* para recopilar datos de evaluación en toda su organización y ver de forma centralizada los resultados capturados en el campo. Esta aplicación sólo funciona para usuarios con una cuenta existente de *Simple But Needed, Inc.*[26].

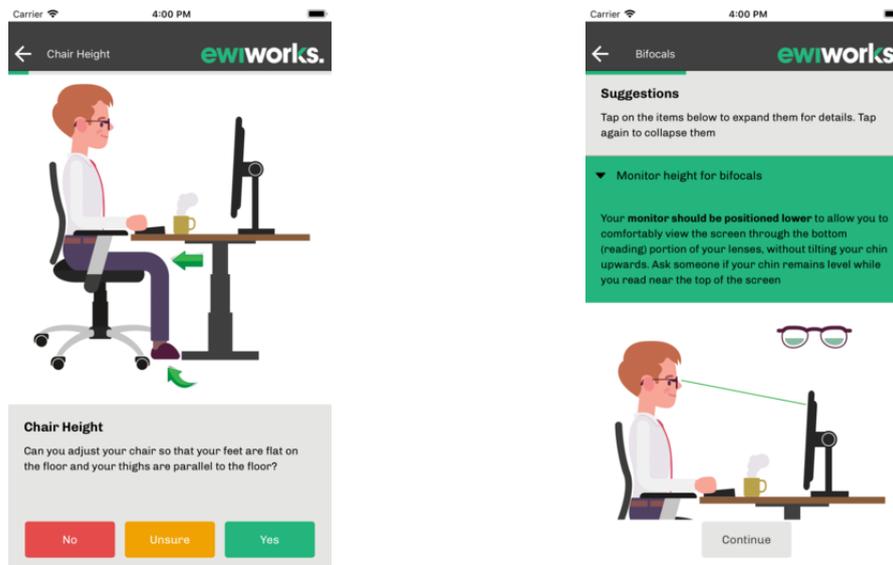
Office Ergonomics La aplicación ayuda a configurar el puesto de trabajo correctamente para evitar molestias y lesiones. La aplicación actúa como guía paso a paso cargada con gráficos animados y consejos útiles para ayudar a optimizar rápidamente la configuración del puesto de trabajo para mayor comodidad. Desarrollada en colaboración con un equipo de ergonomistas profesionales altamente capacitados y certificados, esta aplicación tiene por objetivo hacer que los conocimientos ergonómicos básicos sean accesibles para todos en un formato cómodo, asequible y fácil de entender [21].

Análisis ergonómico REBA El método REBA es una de las herramientas más difundidas y de mayor uso para el análisis de carga postural. La sencillez del proceso, basado en la observación de los ángulos formados por las partes del cuerpo, permite identificar riesgo de lesiones músculo-esqueléticas. Tiene en cuenta las posiciones adoptadas por los miembros superiores (brazo, antebrazo y muñeca), cuello, tronco y piernas. Además, considera la carga o fuerza manejada, el tipo de agarre, tipo de actividad muscular y la existencia de cambios bruscos de postura o inestables. Esta aplicación funciona como una calculadora de la puntuación REBA. Con la valoración final obtenida de la postura, se define el tipo de acción o medida de control a aplicar [2]. Beneficios:

- Cálculo en tiempo real para cada selección.



Figura 3.11: SBN Ergonomics



(a) Pantalla Recomendaciones Altura Silla (b) Pantalla Recomendaciones Distancia Pantalla

Figura 3.12: Aplicación Office Ergonomics

3.3. Software de escritorio

A continuación se presentan los programas software de escritorio más relevantes en el ámbito de la ergonomía, tanto gratuitos como de pago (licencia).

(a) Pantalla Valoración REBA

(b) Pantalla Puntuación REBA

Figura 3.13: Aplicación Análisis ergonómico REBA

Ergo/IBV Ergo/IBV es un software de Evaluación de Riesgos y Recomendaciones de diseño que ofrece las siguientes características [27]:

1. Ofrece herramientas de apoyo al diseño y al rediseño del puesto de trabajo. Dispone de un módulo para el diseño antropométrico del puesto de trabajo, una herramienta interactiva para identificar las variables prioritarias a modificar en una Manipulación de Cargas y una base de datos de soluciones que el *IBV - Instituto de Biomecánica de Valencia* ha aplicado en diferentes sectores para reducir los riesgos asociados a los puestos de trabajo.
2. Recoger en una única aplicación los métodos de evaluación de riesgos ergonómicos más relevantes del mercado.
3. Ayudar a los usuarios a identificar cuál es el método que deben usar mediante un asistente a la selección del método de evaluación de riesgos.
4. Complementar el resto de productos y servicios que ofrece el IBV para dar una respuesta integral a la mejora de las condiciones de trabajo.

Incluye una herramienta enfocada a identificar y a valorar las condiciones de trabajo (especialmente aspectos ergonómicos, pero también organizativos y de gestión) a las que están expuestas las personas trabajadoras de mayor edad. Esta herramienta proporciona un informe con dos tipos de contenido:

- Recomendaciones para ayudar a controlar los riesgos detectados, generadas al rellenar el Cuestionario de Valoración de las Condiciones de Trabajo.
- Relación entre las condiciones del trabajo y la valoración de las personas trabajadoras respecto a las exigencias del puesto de trabajo y sus capacidades para atenderlas.

Entre las ventajas que ofrece la aplicación se encuentran:

- En una única aplicación da respuesta a los diferentes retos que plantean los riesgos ergonómicos, con los módulos de evaluación de referencia entre los ergonomos.
- A través de una lista de comprobación rápida, facilita la identificación inicial de los puestos de trabajo críticos.
- Ayuda a encontrar soluciones de diseño y rediseño del puesto de trabajo.
- Tiene un módulo de diseño antropométrico.
- Dispone de un asistente para la selección del módulo más adecuado para la evaluación de riesgos.
- Permite trabajar y obtener informes en español e inglés, seleccionando el idioma en el momento de la instalación.
- Permite imprimir informes detallados y fáciles de interpretar que además son personalizables con imágenes e información de la empresa.
- En caso necesario, permite configurar el cálculo bajo criterios de normas ISO.
- Cada año lanza una nueva *release* que mejora el software incorporando nuevas funcionalidades.
- Posibilidad de realizar estudios de campo más rápidos y eficaces a través de la app ErgoIBV/Tool, que facilita la toma de datos en campo.
- Permite trabajar con los vídeos que se graban en la empresa.
- Facilita que los trabajadores cumplimenten los cuestionarios de riesgos psicosociales de forma anónima desde su propio ordenador y el técnico de prevención únicamente tenga que preparar el informe.
- Permite la instalación en red para utilizarlo desde diferentes ordenadores.
- Ofrece la opción de incorporar módulos de evaluación para análisis más complejos.
- Cuenta con una Comunidad de Salud laboral donde se recogen documentos, ejemplos, FAQs, noticias accesibles desde el propio Ergo/IBV.
- Proporciona soporte con expertos del IBV.

Esta aplicación de escritorio procesa y utiliza la información recogida por la aplicación móvil Android *Ergo/IBV Tool*, analizada anteriormente en la sección correspondiente.

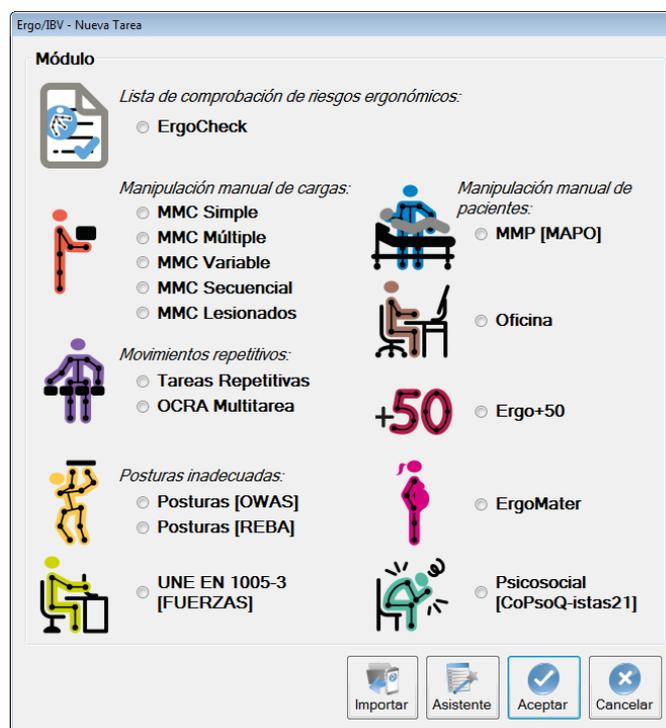


Figura 3.14: Ergo/IBV

ErgoSoft Pro 3.0 Esta aplicación de escritorio tiene como finalidad cumplir los siguientes objetivos [28]:

- Ayudar a los técnicos en PRL a realizar rápida y cómodamente la evaluación de riesgos ergonómicos.
- Reducir los tiempos de estudio de datos en la evaluación de riesgos ergonómicos.
- Facilitar y agilizar la introducción de datos de las diferentes metodologías.
- Hacer sencillo el uso de las 14 metodologías que incluye.
- Facilitar la comparativa de los niveles de riesgo de un puesto a lo largo del tiempo.
- Generar comparativas de los riesgos ergonómicos en los puestos de la empresa.
- Facilitar la generación de informes de evaluación ergonómica de puestos de trabajo.
- Dispone de una APP para la toma de datos.

Así mismo, dispone de 14 metodologías de análisis entre las que destacan los métodos para la evaluación ergonómica de posturas forzadas como REBA, RULA y OWAS y los métodos para la evaluación de movimientos repetidos como STRAIN INDEX y OCRA. Estos métodos para la evaluación ergonómica ya se han detallado en secciones anteriores. Entre todas las características que incluye el software caben destacar:

- Permite la toma de datos desde un teléfono móvil Android, incluyendo datos de evaluación, vídeo y fotografía.

- Generación de informes seleccionando los puestos.
- Gestiona y memoriza condiciones de trabajo y medidas preventivas.
- Trabajo en una sola pantalla de gestión del puesto.
- Permite compartir datos entre técnicos.
- Información de niveles de riesgo, medias y mapas de riesgos.
- Reducción drástica de tiempos de generación de informe.

Al igual que ocurría con la aplicación *Ergo/IBV*, esta aplicación también realiza análisis e informes de resultados utilizando los datos capturados con la aplicación móvil Android *ErgoSoft APP*. Esta aplicación móvil ya ha sido analizada anteriormente en la sección correspondiente.

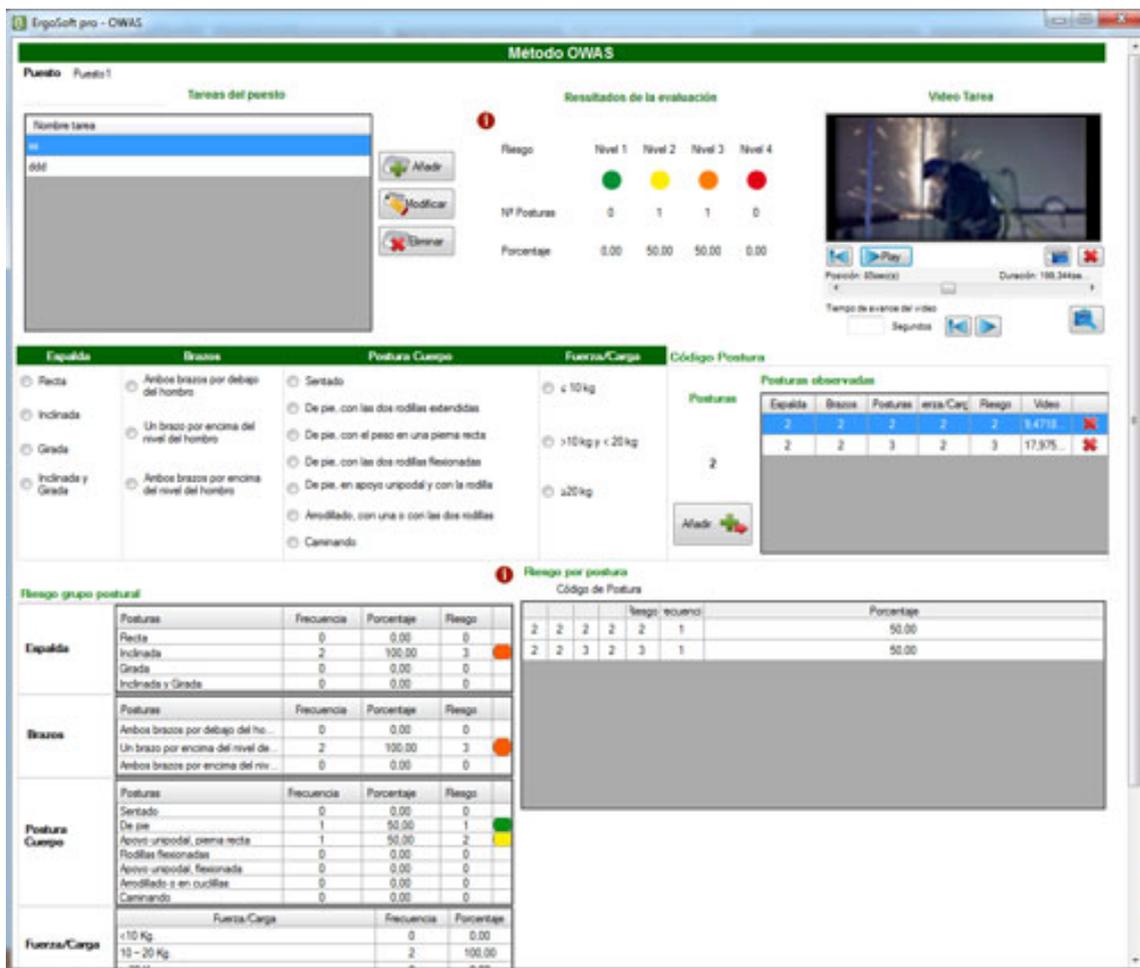


Figura 3.15: ErgoSoft Pro 3.0

Ergoniza *Ergoniza - ToolBox* es un software para la evaluación ergonómica de puestos de trabajo que permite la gestión de toda la información derivada. Ofrece una potente herramienta de apoyo en la gestión y evaluación ergonómica de puestos de trabajo.

Permite evaluar puestos para detectar la presencia de factores de riesgo ergonómico y obtener recomendaciones de rediseño. *Ergoniza* permite realizar la evaluación inicial de riesgos y llevar a cabo evaluaciones de nivel avanzado de factores de riesgo como la manipulación manual de cargas, la repetitividad de movimientos, el ambiente térmico o la carga postural mediante los métodos de evaluación ergonómica más difundidos y contrastados. Para cada factor de riesgo se dispone de multitud de métodos y herramientas de evaluación: carga postural (OWAS, REBA, RULA), repetitividad de movimientos (Check List OCRA, JSI), manipulación manual de carga (NIOSH, Tablas de Snook y Ciriello, Guía de levantamiento de carga del INSHT), confort térmico (FANGER), evaluación global (LEST), evaluación biomecánica, etc.

Incluye la generación de informes detallados y configurables de las evaluaciones visibles en formato "doc" y "pdf", insertar imágenes, vídeos y comentarios de las tareas evaluadas, anexas todo tipo de información en cualquier formato y conservarla junto a tus evaluaciones [9].



Figura 3.16: Ergoniza - ToolBox

En la Figura 3.17 se muestra una comparación de las principales características de cada aplicación analizada. El sistema que se pretende desarrollar pretende combinar las

mejores características de cada aplicación para conseguir un producto único que supla los principales inconvenientes de las aplicaciones estudiadas. Se pretende que el sistema sea multiplataforma aunque inicialmente solo estará disponible para la plataforma Android. Los métodos de evaluación disponibles son los que se han desarrollado para medir el ángulo de la articulación objetivo durante el intervalo de tiempo que dure la valoración. En un futuro se pueden introducir los métodos de evaluación más utilizados como el método OWAS, el método RULA o cualquier otro que sea de interés. Todos los datos generados se almacenan en la nube por lo que el usuario no se tiene que preocupar en ningún momento de los datos. Todos los datos están accesibles en cualquier momento a través de la API ofrecida. Por otro lado, la aplicación genera informes completos a través de gráficas donde se ven los resultados obtenidos en esa valoración. Lo único necesario es la aplicación móvil y el juego de sensores para realizar las mediciones.

	Plataforma	Métodos Evaluación	Almacenamiento Cloud	Informe Resultados	Software adicional	Utilidad
Ergo/IBV Tool	Android	Muy completo (REBA, RULA, EPR...)	No. Almacenamiento en ordenador a través del software de escritorio	A través del software de escritorio	Sí. Software de escritorio	Agiliza la captura de datos en el puesto de trabajo
ErgoSoft APP	Android	Muy completo (REBA, RULA, EPR...)	No. Almacenamiento en ordenador a través del software de escritorio	A través del software de escritorio	Sí. Software de escritorio	Agiliza la captura de datos en el puesto de trabajo
Ergonomic Checkpoints	Android, iOS	LCE	No	Sí	No	Crear listas de control interactivas de puntos de control ergonómicos. Incluye recomendaciones
RULApp	Android	RULA	No	Sí	No	Evaluación del puesto de trabajo
SBN Ergo+	Android, iOS	Formularios estándar	Sí	Sí, a través del portal web	No. Dispone de portal web para ver los informes	Captura de datos y evaluaciones del puesto de trabajo
EKAS ErgoCheck	Android	LCE	No	No	No	Consejos y listas de checkpoints del puesto de trabajo
HSE.Ergo.REBA	Android	REBA	No	Sí	No	Evaluación del puesto de trabajo
ErgoEvalApp	Android	Muy completo (REBA, INSIHT y OCRA)	No	Sí	No	Evaluación del puesto de trabajo
ErgoMinder	iOS	Recordatorios y consejos	No	No	No	Evaluar configuración de puesto de trabajo (ordenador). Consejos y recomendaciones
Análisis ergonómico REBA	iOS	REBA	No	Sí	No	Evaluación del puesto de trabajo
Office Ergonomics	iOS	Guía de buenas prácticas	No	No	No	Configurar puesto de trabajo
Ergo/IBV	Escritorio	Muy completo (REBA, RULA, EPR...)	No	Sí	No. Útil utilizar la app móvil	Evaluación de Riesgos y Recomendaciones
ErgoSoft Pro 3.0	Escritorio	Muy completo (REBA, RULA, EPR...)	No	Sí	No. Útil utilizar la app móvil	Evaluación de Riesgos y Recomendaciones

Figura 3.17: Comparación Aplicaciones Ergonomía

Capítulo 4

Planificación y Desarrollo

En esta sección se presentan las partes más importantes de la arquitectura que se ha desarrollado. Se va a explicar la arquitectura del servidor y los recursos de los que está compuesto la API REST que se va a ofrecer. Así mismo, se van a exponer todas las tecnologías utilizadas y justificar el uso de las mismas.

4.1. Diseño API REST

4.1.1. API. Definición

En términos básicos, las APIs (Application Programming Interface - Interfaz de Programación de Aplicaciones) sólo permiten que las aplicaciones se comuniquen entre sí. Cuando se habla de “una API”, a veces se generaliza y en realidad se refiere a una API basada en la web disponible al público que devuelve datos, probablemente en JSON o XML. La API no es la base de datos ni siquiera el servidor, es el código que gobierna los puntos de acceso para el servidor. Una API facilita el acceso a una aplicación diferente para proporcionar funcionalidad o acceso a los datos, de modo que los datos pueden incluirse en diferentes aplicaciones.

Por lo tanto, el concepto de API se puede resumir en:

- Es una forma de describir la forma en que los programas o los sitios webs intercambian

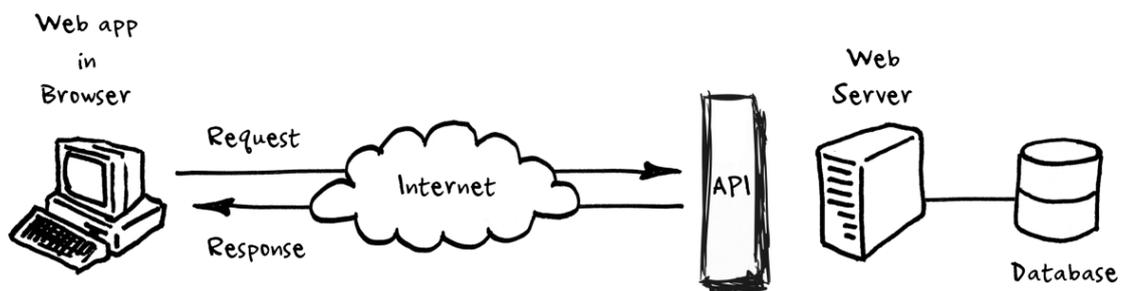


Figura 4.1: Ejemplo de API

bian datos.

- El formato de intercambio de datos normalmente es JSON o XML.

Una vez conocido el concepto API, que plantearse para qué se necesita una API en este proyecto. El uso de una API queda reflejado en los siguientes puntos:

- Ofrecer datos a nuestra propia web/aplicación.
- Ofrecer datos a aplicaciones que se ejecutan en un móvil.
- Consumir datos de otras aplicaciones o sitios Web.
- Ofrecer datos a otros desarrolladores con un formato más o menos estándar.

4.1.2. REST

REST cambió los paradigmas de desarrollo a partir del 2000. Este nuevo enfoque de desarrollo de proyectos y servicios web fue definido por Roy Fielding¹ en su disertación *Architectural Styles and the Design of Network-based Software Architectures*. En el campo de las APIs, REST (Representational State Transfer - Transferencia de Estado Representacional) es, a día de hoy, el principal enfoque del desarrollo de servicios de aplicaciones [33].

REST es cualquier interfaz entre sistemas que use HTTP para obtener datos o generar operaciones sobre esos datos en todos los formatos posibles, como JSON y XML. Es una alternativa en auge respecto a otros protocolos estándar de intercambio de datos como SOAP (Simple Object Access Protocol), que disponen de una gran capacidad pero también mucha complejidad. A veces es preferible una solución más sencilla de manipulación de datos como REST. Por lo tanto, REST no es una arquitectura, sólo un conjunto de criterios de diseño que, cuando se aplican correctamente, ayudan a construir arquitecturas software y aplicaciones que garantizan propiedades deseables:

- Gran escalabilidad.
- Buenas prestaciones en tiempo de ejecución.
- Evolución independiente de clientes y servidores (acoplamiento débil entre ellos).
- Fácil modificación.

Las aplicaciones que respetan los principios de REST no tienen que utilizar obligatoriamente las tecnologías relacionadas con la Web.

¹Padre de la especificación HTTP y uno los referentes internacionales en todo lo relacionado con la Arquitectura de Redes

Características de REST

- **Protocolo cliente/servidor sin estado:** cada petición HTTP contiene toda la información necesaria para ejecutarla. De este modo, ni servidor ni cliente tienen que mantener un estado para completar la petición de forma satisfactoria. Sin embargo, se pueden utilizar técnicas de caché sobre algunas peticiones HTTP muy frecuentes para aumentar el rendimiento. Se configura lo que se conoce como protocolo cliente-caché-servidor sin estado.
- **Los objetos en REST siempre se manipulan a partir de la URI.** La URI es el identificador único de cada recurso que compone el sistema REST desarrollado. Facilita información para realizar operaciones de modificación o borrado.
- Las operaciones más importantes relacionadas con los datos en cualquier sistema REST y la especificación HTTP son cuatro: **GET** (consulta de datos), **PUT** (edición), **POST** (creación) y **DELETE** (borrado).
- **Interfaz uniforme:** para la transferencia de datos en un sistema REST, este aplica acciones concretas (GET, PUT, POST y DELETE) sobre los recursos, siempre y cuando estén identificados con una URI. Esto facilita la existencia de una interfaz uniforme que sistematiza el proceso con la información.
- **Uso de hipermedios:** es una extensión del concepto de hipertexto. Ese concepto llevado al desarrollo de páginas web es lo que permite que el usuario puede navegar por el conjunto de objetos a través de enlaces HTML (etiqueta *href*). En el caso de una API REST, el concepto de hipermedia explica la capacidad de una interfaz de desarrollo de aplicaciones de proporcionar al cliente y al usuario los enlaces adecuados para ejecutar acciones concretas sobre los datos. Es decir, proporciona navegabilidad por los recursos ofrecidos.
- **Sistema de capas:** arquitectura jerárquica entre los componentes. Cada una de estas capas lleva a cabo una funcionalidad dentro del sistema REST.

Ventajas de REST

1. **Separación entre el cliente y el servidor:** el protocolo REST separa completamente la interfaz de usuario del servidor y el almacenamiento de datos. Este tipo de implementación tiene ciertas ventajas entre las que destacan el aumento de la escalabilidad del proyecto y la mejora de la portabilidad de la interfaz a otro tipo de plataformas. Así mismo, permite la evaluación de forma independiente de los distintos componentes que componen los desarrollos.
2. **La API REST siempre es independiente del tipo de plataformas o lenguajes:** la API REST siempre se adapta al tipo de sintaxis o plataformas con las que se estén trabajando, lo que ofrece una gran libertad a la hora de cambiar o probar nuevos entornos dentro del desarrollo. Con una API REST se pueden tener servidores desarrollados en Java, PHP, Node.js o Python. Lo único que es indispensable es que las respuestas a las peticiones se hagan siempre en el lenguaje de intercambio de información usado, normalmente JSON o XML.

3. **Visibilidad, fiabilidad y escalabilidad.** La separación entre cliente y servidor tiene una ventaja evidente y es que cualquier equipo de desarrollo puede escalar el producto sin excesivos problemas. Se puede migrar a otros servidores o realizar todo tipo de cambios en la base de datos, siempre y cuando los datos de cada una de las peticiones se envíen de forma correcta. Esta separación facilita tener en servidores distintos el front y el back y eso convierte a las aplicaciones en productos más flexibles a la hora de trabajar.

4.1.3. REST vs SOAP

SOAP y REST permiten crear APIs, lo que significa que permiten transferir datos de una aplicación a otras aplicaciones. Una API recibe solicitudes y envía respuestas a través de protocolos de Internet como HTTP, SMTP y otros. Muchos sitios web populares ofrecen APIs públicas para sus usuarios, por ejemplo, Google Maps tiene una API REST pública que permite personalizar Google Maps con contenido propio. También hay muchas APIs que han sido creadas por las empresas para uso interno.

SOAP y REST son dos estilos de API que abordan la cuestión de la transmisión de datos desde un punto de vista diferente. SOAP es un protocolo estandarizado que envía mensajes utilizando otros protocolos como HTTP y SMTP. Las especificaciones SOAP son estándares web oficiales, mantenidos y desarrollados por el *World Wide Web Consortium (W3C)*. A diferencia de SOAP, REST no es un protocolo definido, más bien es un conjunto de criterios de diseño. La arquitectura REST establece un conjunto de directrices que debe seguir si desea proporcionar un servicio web RESTful, por ejemplo, la existencia sin estado y el uso de códigos de estado HTTP.

Como SOAP es un protocolo oficial, viene con reglas estrictas y características de seguridad avanzadas como el cumplimiento y la autorización ACID incorporados. Implica mayor complejidad, requiere más ancho de banda y recursos, lo que puede llevar a tiempos de carga de la página más lentos. REST fue creado para abordar los problemas de SOAP. Por lo tanto, tiene una arquitectura más flexible. Consiste únicamente en directrices generales y permite a los desarrolladores implementar las recomendaciones a su manera. Permite diferentes formatos de mensajería, como HTML, JSON, XML y texto plano, mientras que SOAP sólo permite XML. REST es también una arquitectura más ligera, por lo que los servicios web de RESTful tienen un mejor rendimiento. Por eso, se ha vuelto increíblemente popular en la era móvil, donde incluso unos pocos segundos importan mucho (tanto en el tiempo de carga de la página como en los ingresos). Aunque REST es muy popular hoy en día, SOAP todavía tiene su lugar en el mundo de los servicios Web. En la Figura 4.2 se muestra una comparativa entre SOAP y REST centrándose en las principales diferencias entre los dos estilos de API.

4.1.4. Recursos ofrecidos por la API REST

Una vez justificado el uso de la API REST que va a ofrecer el servidor, solo queda detallar los recursos ofrecidos. Como se ha explicado anteriormente, REST expone datos como recursos. En la Figura 4.3 se pueden visualizar todos los recursos ofrecidos por la API REST.

	SOAP	REST
Significado	Simple Object Access Protocol	Representational State Transfer
Diseño	Protocolo estandarizado con reglas predefinidas a seguir	Estilo arquitectura con pautas y recomendaciones
Enfoque	Funcional (datos disponibles como servicios, por ejemplo: "getUser")	Basado en datos (datos disponibles como recursos, por ejemplo, "user")
Sin estado	Sin estado por defecto, aunque es posible crear una API SOAP con estado	Sin estado (no existen sesiones en el servidor)
Caché	Llamadas a la API no cacheables	Llamadas a la API cacheables
Seguridad	WS-Security con soporte SSL	Soporta HTTPS y SSL
Rendimiento	Gran ancho de banda y potencia de cálculo	Pocos recursos
Formato Mensaje	Solo XML	Texto plano, HTML, XML, JSON, YAML, y otros
Protocolos Transmisión	HTTP, SMTP, UDP y otros	Solo HTTP
Usos	Aplicaciones empresariales, aplicaciones de alta seguridad, entorno distribuido, servicios financieros, pasarelas de pago, servicios de telecomunicaciones	APIs públicas para servicios web, servicios móviles, redes sociales
Ventajas	Alta seguridad, estandarizado, extensible	Escalabilidad, mejor rendimiento, facilidad de navegación, flexibilidad
Desventajas	Menor rendimiento, mayor complejidad, menor flexibilidad	Menor seguridad, no apto para entornos distribuidos

Figura 4.2: SOAP vs REST

Existen una serie de recursos privados (*/private*) que se utilizan para el control, la gestión y el mantenimiento del sistema por lo que no se exponen en detalle. A excepción del recurso raíz y el recurso de autenticación (*/auth*), el resto de recursos necesitan autenticación. Esta autenticación está basada en tokens. El formato de datos para cada recurso está predefinido utilizando JSON Schema. De este modo, la aplicación se asegura que los datos recibidos tienen un formato correcto.

El resto de recursos se utilizan para gestionar los centros (o fábricas) disponibles en el sistema, los usuarios de cada centro, los puestos de trabajo disponibles en cada centro y las valoraciones obtenidas para cada puesto de trabajo.

4.2. Tecnologías utilizadas

A continuación se presentan todas las tecnologías utilizadas para el desarrollo del sistema, tanto las tecnologías utilizadas en el servidor como las tecnologías utilizadas en el cliente (aplicación Android).

4.2.1. MongoDB como base de datos

MongoDB es una base de datos NoSQL orientada a documentos que ofrece una gran escalabilidad y flexibilidad, y un modelo de consultas e indexación avanzado. Características de MongoDB [23]:

- MongoDB almacena datos en documentos JSON flexibles, es decir, cada documento puede contener diferentes campos y las estructuras de datos se pueden ir modificando.
- El modelo de documentos concuerda con los objetos del código de la aplicación, lo que facilita trabajar con datos.
- Las consultas ad-hoc, la indexación y la agregación en tiempo real permiten acceder a los datos y analizarlos con gran eficacia.
- MongoDB es una base de datos distribuida, por lo que es fácil de usar y proporciona una elevada disponibilidad, escalabilidad horizontal y distribución geográfica.
- MongoDB es free to use.

La elección de MongoDB como base de datos para el sistema se ha basado en las características expuestas anteriormente. Se necesitaba una base de datos flexible puesto que el sistema es nuevo y es posible que la estructura de datos se modifique o se amplíe, sobre todo los datos recibidos por los sensores. Realizar esto con una base de datos relacional como MySQL es muy complejo y costoso. Por otro lado, la cantidad de datos que se va a generar es importante y se necesita una base de datos capaz de almacenar grandes cantidades de datos (escalabilidad) y realizar consultas en un período de tiempo limitado. Por último, el formato de datos para el intercambio de información entre la API y las aplicaciones es JSON, lo que permite una fácil integración de los datos en MongoDB.

4.2.2. Flask para el desarrollo de la API

Flask es un “micro” Framework escrito en Python y concebido para facilitar el desarrollo de Aplicaciones Web bajo el patrón MVC. El **patrón MVC** es una manera o una forma de trabajar que permite diferenciar y separar lo que es el modelo de datos (los datos que van a tener la App que normalmente están guardados en BD), la vista (página HTML)

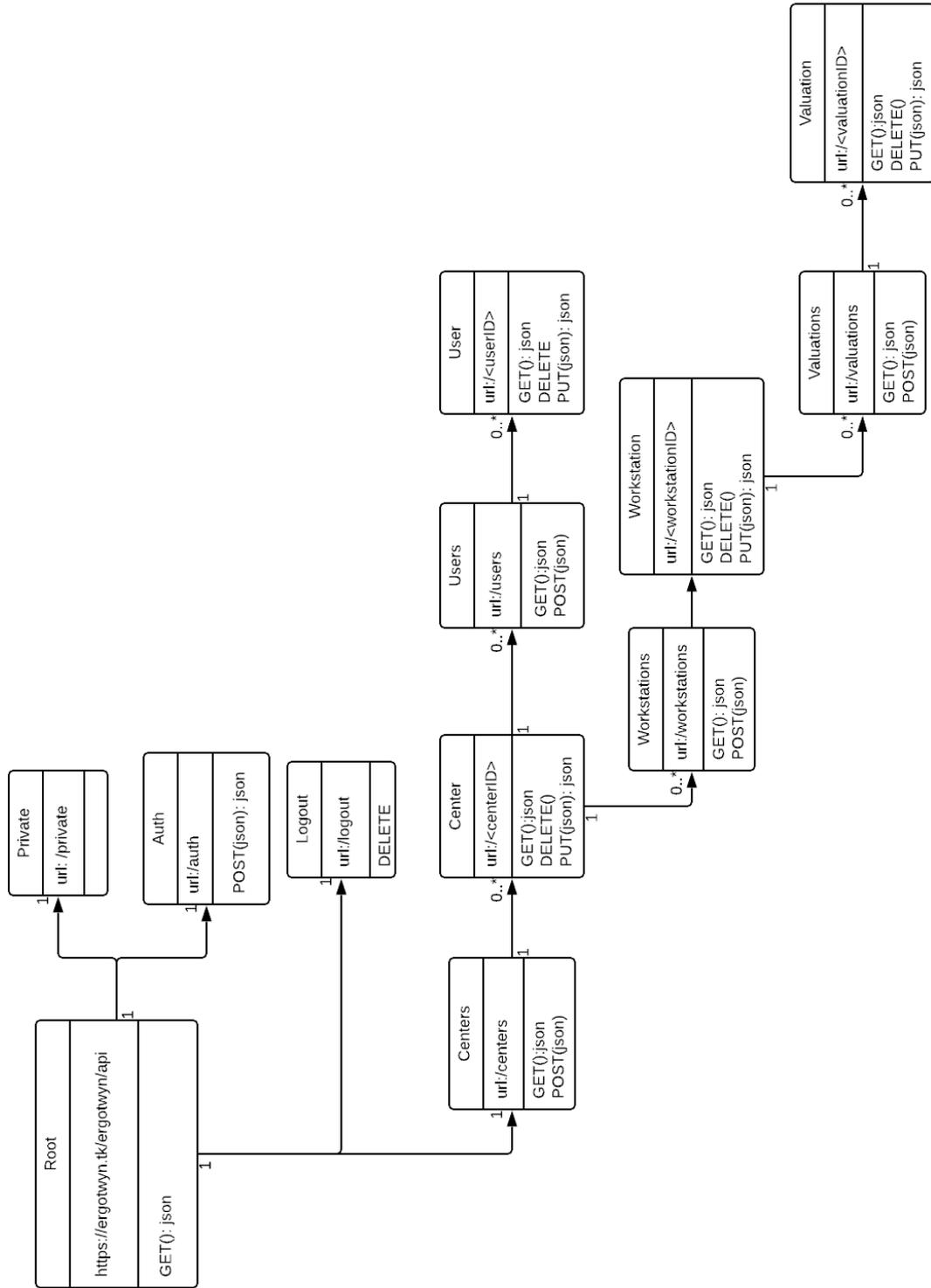


Figura 4.3: Recursos ofrecidos por la API REST

y el controlador (donde se gestiona las peticiones de la app web). La selección de Flask como Framework para el desarrollo de la API se debe a que se necesitaba un Framework escrito en Python. La elección de Python para desarrollar la API REST es debido a que los análisis de los datos de los sensores se realizan en Python. Además, se pretenden utilizar algoritmos de Machine Learning y Deep Learning, los cuáles están desarrollados principalmente en Python.

Las principales características de Flask son las siguientes:

1. **Flask es un “micro” Framework:** para desarrollar una App básica o que se quiera desarrollar de una forma ágil y rápida Flask puede ser muy conveniente.
2. Incluye un servidor web de desarrollo: No se necesita una infraestructura con un servidor web para probar las aplicaciones sino de una manera sencilla se puede correr un servidor web para ir viendo los resultados que se van obteniendo. Flask incluye el WSGI *Werkzeug*.
3. Tiene un depurador y soporte integrado para pruebas unitarias: si se tiene algún error en el código que se está construyendo se puede depurar ese error y se pueden ver los valores de las variables. Además está la posibilidad de integrar pruebas unitarias.
4. Compatible con Python3.
5. Soporta de manera nativa el uso de cookies seguras.
6. Se pueden usar sesiones.
7. Sirve para construir servicios web (como APIs REST) o aplicaciones de contenido estático.
8. Flask es Open Source y está amparado bajo una licencia BSD.
9. Buena documentación y código de GitHub.

A la hora de realizar el deploy de la aplicación Flask desarrollada a un entorno de producción con un servidor web, no se puede realizar directamente lanzando la aplicación Flask. Aunque es ligero y fácil de usar, el servidor integrado de Flask no es adecuado para producción, puesto que no es escalable. Existen algunos WSGI compatibles con Flask como Gunicorn y uWSGI entre otros. Para lanzar a producción la API REST, se ha decidido utilizar Gunicorn.

JWT - Autenticación basada en Token

Los JSON Web Tokens (o JWTs) proporcionan un medio para transmitir información desde el cliente al servidor de una manera segura y sin estado. JSON Web Token (JWT) es un estándar abierto (RFC 7519) que define una forma compacta y autónoma para la transmisión segura de información entre partes como un objeto JSON. Esta información puede ser verificada y confiable porque está firmada digitalmente. Los JWTs pueden ser firmados usando un secreto (con el algoritmo HMAC) o un par de claves públicas/privadas

usando RSA o ECDSA. En el servidor, los JWTs se generan firmando la información del usuario a través de una clave secreta, que luego se almacena de forma segura en el cliente.

Se ha decidido utilizar este método de autenticación ya que es el ideal para aplicaciones sin estado como esta API REST.

JSON Schema

JSON Schema es un vocabulario que permite anotar y validar documentos JSON. Ventajas:

- Describir los formatos de datos existentes.
- Proporciona una documentación clara y legible por el hombre y la máquina.
- Validación de los datos.
- Asegurar la calidad de los datos enviados por el cliente.

Para la validación de datos se ha utilizado *draft-07* como meta-schema para la declaración del formato de JSON que se tiene que recibir en cada recurso expuesto. Los meta-schemas son esquemas contra los cuales se pueden validar otros esquemas (son autodescriptivos).

4.2.3. Gunicorn como WSGI HTTP

Un WSGI (Web Server Gateway Interface) no es ni un servidor, ni un módulo python, ni un framework, ni una API ni cualquier tipo de software. Es sólo una especificación de interfaz mediante la cual el servidor y la aplicación se comunican (más detalles en *PEP333* [22]). Un servidor WSGI (es decir, compatible con WSGI) sólo recibe la solicitud del cliente, la envía a la aplicación y luego envía la respuesta devuelta por la aplicación al cliente.

Gunicorn (Green Unicorn) es un servidor HTTP Python WSGI para UNIX. El servidor Gunicorn es ampliamente compatible con varios frameworks web (como Flask y Django), rápido y ligero en recursos del servidor. Entre sus características destacan [15]:

- Soporte nativo de WSGI, Django y Paster.
- Gestión automática de los procesos de trabajo (*workers*).
- Configuración simple de Python.
- Múltiples configuraciones de los *workers*.
- Compatible con Python 2.x \geq 2.6 o 3.x \geq 3.2

Gunicorn recomienda realizar el despliegue (deploy) de Gunicorn a través de un servidor proxy, más concretamente Nginx.

4.2.4. Nginx como proxy inverso

Nginx (Engine x) es un servidor HTTP y proxy inverso, un servidor proxy de correo y un servidor proxy TCP/UDP genérico. A fecha de mayo de 2019, nginx atendía o representaba el 26,43 % de los sitios con más ocupación. Algunos de los casos de éxito son Dropbox, Netflix, Wordpress.com y FastMail.FM entre otros. Es software libre y de código abierto, licenciado bajo la Licencia BSD simplificada; también existe una versión comercial distribuida bajo el nombre de Nginx Plus. Es multiplataforma, por lo que se puede ejecutar en sistemas tipo Unix (GNU/Linux, BSD, Solaris, Mac OS X, etc.) y Windows.

El uso de este servidor Web se explica de forma detallada en la siguiente sección donde se explica la arquitectura del servidor. Básicamente se utiliza como proxy inverso y gestiona el uso de HTTPS entre otras cosas. La elección de Nginx ha sido por recomendación de los creadores de Gunicorn como se ha indicado en la sección anterior. Gunicorn está preparado para que se integre de forma inmediata con Nginx.

4.2.5. Supervisor para la monitorización de Gunicorn

Supervisor es un sistema cliente/servidor que permite a sus usuarios monitorizar y controlar una serie de procesos en sistemas operativos tipo UNIX.

Comparte algunos de los mismos objetivos de programas como *launchd*, *daemontools* y *runit*. A diferencia de algunos de estos programas, no está pensado para ser ejecutado como sustituto de *init* como "*process id 1*". En su lugar, está pensado para controlar los procesos relacionados con un proyecto o un cliente, y está pensado para que se inicie como cualquier otro programa en el momento del arranque.

En la documentación oficial de Gunicorn recomiendan el uso de Supervisor para monitorizar y controlar Gunicorn. Otra opción de controlar Gunicorn es a través de *Systemd*. Si se utiliza esta herramienta es necesario crear un fichero de configuración con las instrucciones necesarias para usar *Systemd* para crear un socket unix para las peticiones de Gunicorn entrantes.

4.2.6. Android para la aplicación cliente

Como se explica a continuación, la aplicación cliente se va a desarrollar en Android. Esta aplicación Android se podrá ejecutar en cualquier smartphone o tablet con sistema operativo Android.

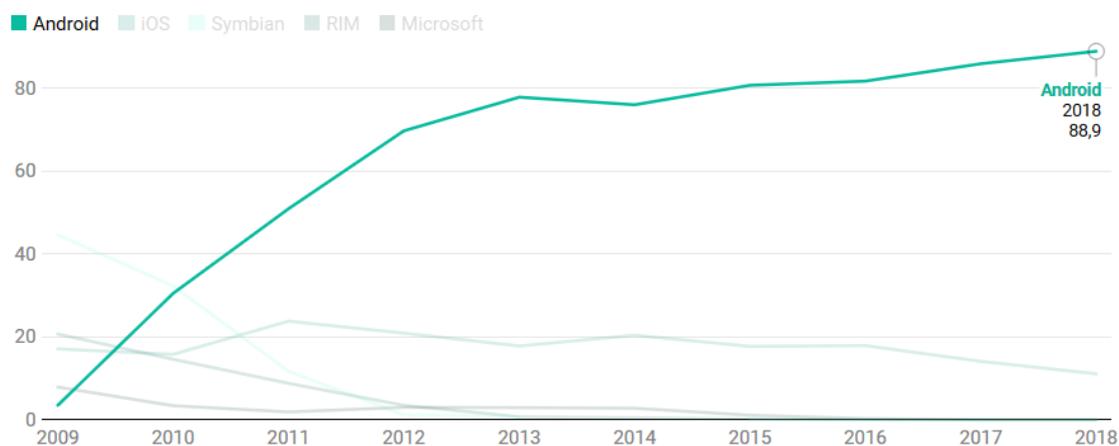
Se ha elegido la plataforma Android por los siguientes motivos:

- Casi el 90 % del mercado global pertenece a Android (ver Figura 4.4).
- Existen multitud de dispositivos Android de todas las gamas y precios, lo que significa que se puede adquirir un terminal muy económico de gama baja hasta un dispositivo de gama alta de alto valor económico.
- Gran experiencia en el desarrollo de aplicaciones móviles Android por lo que el desarrollo es más rápido obteniéndose mejores resultados finales.

- No existen limitaciones para acceder a la *API Bluetooth* que proporciona Android ni problemas de conexión con cualquier dispositivo *Bluetooth*.

Evolución de la cuota de mercado de Android (2009-2018)

Cifras expresadas en porcentajes



Los datos empiezan a partir del primer cuatrimestre de 2009

Chart: Xataka Móvil • Fuente: Statista • Get the data • Created with Datawrapper

Figura 4.4: Evolución de la cuota de mercado Android 2009-2018

Conexión con los sensores utilizados vía *Bluetooth*

Antes de comenzar con el desarrollo de la aplicación móvil es necesario desarrollar una librería en JAVA que gestione y controle la comunicación vía *Bluetooth* con los sensores.

Inicialmente, hay que conocer la trama de datos enviada por el sensor. En esta primera versión del *firmware* de los sensores la trama enviada se puede observar en la Figura 4.5.

Como se puede comprobar la trama de datos enviada por el sensor maestro es simple pero suficiente para obtener todos los datos necesarios. El primer campo de la trama indica el tamaño de la misma (1 byte). El segundo campo indica el número de sensores conectados que están generando datos (1 byte). Finalmente, el último campo es el *payload* (carga útil), esto es, la información generada por cada sensor.

Cada sensor genera la siguiente trama de datos. El primer campo es el ID del sensor que identifica la articulación objetivo a medir (1 byte). El siguiente campo indica el valor de la variable *W* del cuaternión generado por el sensor IMU (2 bytes). El siguiente campo indica el valor de la variable *X* del cuaternión (2 bytes). El siguiente campo indica el valor de la variable *Y* del cuaternión (2 bytes). El último campo indica el valor de la variable *Z* del cuaternión (2 bytes). Esta estructura de datos se repite por cada sensor utilizado en la medición.

Una vez entendida la trama de datos enviada por el sensor maestro, ya se tienen todas las piezas necesarias para desarrollar la librería. Se van a comentar los puntos claves para el desarrollo sin entrar en detalle en el funcionamiento de la misma.

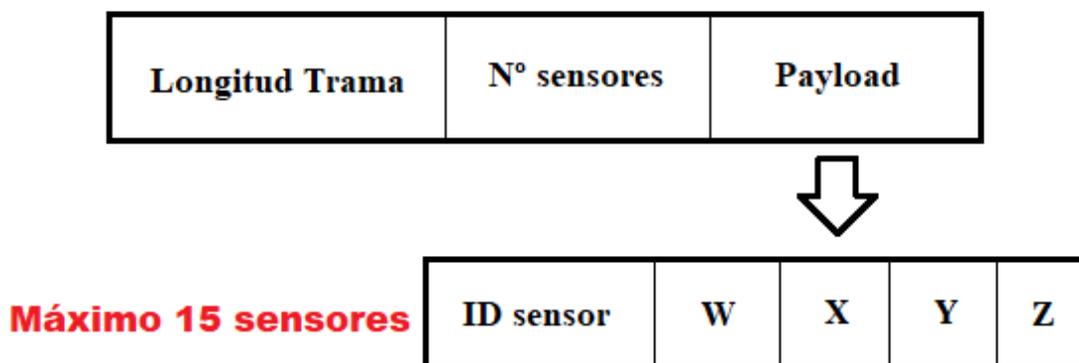


Figura 4.5: Trama de datos enviada por el sensor maestro

Básicamente la comunicación es gestionada por la clase *Thread* de JAVA. Se crea un hilo encargado de mantener la comunicación entre la aplicación móvil y el sensor maestro. Para ello, este hilo tiene que crear un canal de comunicaciones radioeléctrico mediante el método *createRfcommSocketToServiceRecord* proporcionado por la clase *BluetoothDevice*. Una vez creado el canal de comunicaciones, simplemente hay que crear un *socket Bluetooth* mediante la clase *BluetoothSocket*. A través de este *socket*, se van a intercambiar tramas de datos entre la aplicación móvil y el sensor maestro.

De forma simplificada se han explicado los conceptos básicos que se han utilizado para la creación de esta librería. Toda la gestión y estado de la comunicación se controla mediante una máquina de estados que se ha desarrollado para tal fin.

En este punto, ya se está en disposición de comenzar con el desarrollo de la aplicación móvil.

Integración de *LibGDX* en el proyecto

Un caso de uso del sistema y, por lo tanto, una funcionalidad que va a ofrecer la aplicación es la representación del movimiento que el usuario realiza durante una medida que se lleve a cabo. Todos los movimientos que el usuario realizó se representan, mediante un avatar, en la pantalla del dispositivo móvil. Los movimientos que se van a representar pueden ser o bien en tiempo real o bien movimientos que se grabaron con anterioridad y se quieran revisar. Para poder llevar esto a cabo, se necesita un *framework* que permita la representación en 3D y se pueda integrar en un proyecto Android. De entre todos los *frameworks* y librerías disponibles se ha elegido *LibGDX*.

LibGDX es un *framework* para el desarrollo de videojuegos multiplataforma, soportando actualmente Android, iOS, HTML5, Linux, Mac OS y Windows. Además, *LibGDX* permite bajar el nivel de abstracción tanto como se quiera, dando acceso directo al sistema de archivos, dispositivos de entrada y audio, e incluso a las interfaces de OpenGL ES 2.0 y 3.0. *LibGDX* es gratuito, con la licencia de software de código abierto *Apache 2*, lo que permite a todo el mundo utilizar este proyecto [18]. Los motivos por los que se ha utilizado este *framework* son los siguientes:

- *Framework* multiplataforma que soporta tanto Android como iOS. Esta es la principal característica que tiene que tener puesto que, si en un futuro se quiere desarrollar esta plicación en iOS, tiene que tener soporte.
- Gratuito bajo la licencia Apache 2 .
- Permite bajar el nivel de abstracción tanto como se quiera.
- Soporte y representación de cuaterniones. Necesario para trasladar los datos recibidos de los sensores a un avatar en 3D.
- Interfaces para OpenGL ES 2.0 y 3.0.
- (de-)serialización de objetos JSON y XML.

Para integrar *LibGDX* en el proyecto Android hay que hacer uso de *Gradle*. *Gradle* es una herramienta que permite la automatización de compilación de código abierto, la cual se encuentra centrada en la flexibilidad y el rendimiento. Los scripts de compilación de *Gradle* se escriben utilizando Groovy o Kotlin DSL (Domain Specific Language).

Gradle tiene una gran flexibilidad y permite hacer uso de otros lenguajes y no solo de Java. También cuenta con un sistema de gestión de dependencias muy estable. *Gradle* es altamente personalizable y rápido ya que completa las tareas de forma rápida y precisa reutilizando las salidas de las ejecuciones anteriores, lo que significa que sólo procesa las entradas que presentan cambios en paralelo. Además es el sistema de compilación oficial para Android y cuenta con soporte para diversas tecnologías y lenguajes [14].

Android cuenta con 2 ficheros de configuración de *Gradle* llamados *build.gradle*. Un fichero se utiliza para configurar el proyecto a nivel general y el otro proyecto se utiliza para configurar el módulo *app* . En las Figuras 4.6 y 4.7 se muestran los cambios adicionales necesarios introducidos en los ficheros de configuración del proyecto y del módulo *app* respectivamente para incluir *LibGDX* en el proyecto Android.

Una vez introducidos estos cambios y actualizado el proyecto, ya se puede empezar a utilizar *LibGDX* como una librería normal de Android.

4.3. Arquitectura del Servidor

En la sección anterior se han expuesto todas las tecnologías que se han usado para el desarrollo del sistema de medición para la ergonomía. En esta sección se va a explicar como interactúan estas tecnologías entre sí para formar la arquitectura del servidor.

En la Figura 4.8 se muestra la arquitectura del servidor. Como se ha explicado anteriormente, se utiliza Nginx como proxy inverso. Nginx vincula el tráfico de los clientes al servidor de aplicaciones, retransmitiendo peticiones externas y controlando la seguridad del tráfico (gestiona el tráfico HTTPS, los certificados correspondientes y las redirecciones para que todas las comunicaciones se realicen a través de HTTPS). Todas las peticiones de los clientes web recibidas en Nginx se envían a la aplicación a través del WSGI, en este caso Unicorn. Unicorn actúa como una interfaz entre el tráfico HTTP recibido y la aplicación. La aplicación, en este caso, es la API REST. Está desarrollada utilizando el *framework* Flask. La aplicación implementa todos los recursos descritos en la sección

```

project(":app") {
    apply plugin: "android"

    configurations { natives }

}
dependencies {
    implementation "com.badlogicgames.gdx:gdx-backend-android:$gdxVersion"
    natives "com.badlogicgames.gdx:gdx-platform:$gdxVersion:natives-armeabi"
    natives "com.badlogicgames.gdx:gdx-platform:$gdxVersion:natives-armeabi-v7a"
    natives "com.badlogicgames.gdx:gdx-platform:$gdxVersion:natives-arm64-v8a"
    natives "com.badlogicgames.gdx:gdx-platform:$gdxVersion:natives-x86"
    natives "com.badlogicgames.gdx:gdx-platform:$gdxVersion:natives-x86_64"
    implementation "com.badlogicgames.gdx:gdx-box2d:$gdxVersion"
    natives "com.badlogicgames.gdx:gdx-box2d-platform:$gdxVersion:natives-armeabi"
    natives "com.badlogicgames.gdx:gdx-box2d-platform:$gdxVersion:natives-armeabi-v7a"
    natives "com.badlogicgames.gdx:gdx-box2d-platform:$gdxVersion:natives-arm64-v8a"
    natives "com.badlogicgames.gdx:gdx-box2d-platform:$gdxVersion:natives-x86"
    natives "com.badlogicgames.gdx:gdx-box2d-platform:$gdxVersion:natives-x86_64"
    implementation 'com.github.PhilJay:MPAndroidChart:v3.1.0'
    implementation 'com.google.code.gson:gson:2.8.5'
}
}
}

```

Figura 4.6: Cambios introducidos en el fichero de configuración de proyecto *build.gradle* para incluir *LibGDX*

anterior. Esta aplicación recibe las peticiones de los clientes a través del WSGI, las procesa y genera la respuesta correspondiente. Aunque no se muestre en la Figura 4.8, es la aplicación la que se comunica con la base de datos MongoDB. Por último, Supervisor controla, gestiona y monitoriza Unicorn. Supervisor se configura para que, en el arranque de la máquina donde se encuentre alojado, ejecute Unicorn y Unicorn, a su vez, ejecuta la aplicación.

```

apply plugin: 'com.android.application'

android {
    compileSdkVersion 28
    //-----
    //añadido para integrar libgdx
    sourceSets {
        main {
            jniLibs.srcDirs = ['libs'] // this wasn't here before
            assets.srcDirs = ['assets'] // this wasn't here before
        }
    }
}
//-----

```

Figura 4.7: Cambios introducidos en el fichero de configuración del módulo *app* *build.gradle* para incluir *LibGDX*

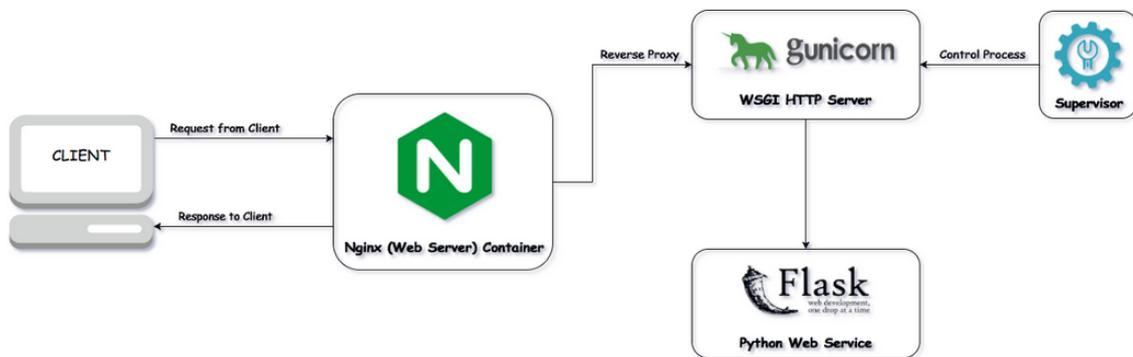


Figura 4.8: Arquitectura del servidor

Capítulo 5

Deploy

Una vez diseñado y desarrollado el servidor, solo falta lanzarlo en un entorno de producción. De forma paralela se ha desarrollado la aplicación cliente para smartphone. Este desarrollo se ve reflejado en el Capítulo 5 donde se ha escrito un manual de usuario para que los usuarios aprendan a utilizar la aplicación y así poder sacarla el máximo partido.

El servidor se ha decidido desplegarlo en la nube puesto que existen plataformas como AWS, Azure o Google Cloud que permiten escalar las aplicaciones en función de la demanda de tráfico, entre otras opciones (como la configuración de los servidores DNS, la configuración de una ip estática, creación de redes virtuales y balanceo de carga).

La plataforma elegida ha sido Google Cloud por diversos motivos. Entre esos motivos, se encuentra el conocimiento previo de la plataforma lo que hace que el despliegue sea mucho más rápido. A mayores Google Cloud ofrece un crédito gratuito de 300\$ para gastar en la plataforma durante 12 meses.

Una vez decidida la plataforma solo falta obtener un nombre de dominio y obtener un certificado SSL válido (firmado por una *Certification Authority*) para que el tráfico generado entre los clientes y el servidor sea seguro.

5.1. Dominio

Existen multitud de dominios tanto gratuitos como de pago. En este caso se ha optado por un nombre de dominio gratuito, más concretamente *ergotwyn.tk*. El nombre utilizado es el mismo que el nombre utilizado para la aplicación cliente desarrollada (*ErgoTwyn*). El dominio se ha obtenido a través de la página web <https://www.freenom.com/> que proporciona dominios gratuitos. El dominio reservado es válido durante un año de forma gratuita. Posteriormente se puede mantener el dominio pagando el precio correspondiente. Una vez registrado el dominio hay que cambiar los servidores DNS para que sean los de Google Cloud los que se encarguen de mantener el nombre del dominio. La configuración realizada se muestra en la Figura 5.1.

5.2. Google Cloud

Una vez obtenido el dominio ya se está en disposición de desplegar el servidor en Google Cloud. El primer paso es obtener una dirección IP estática para la máquina que va

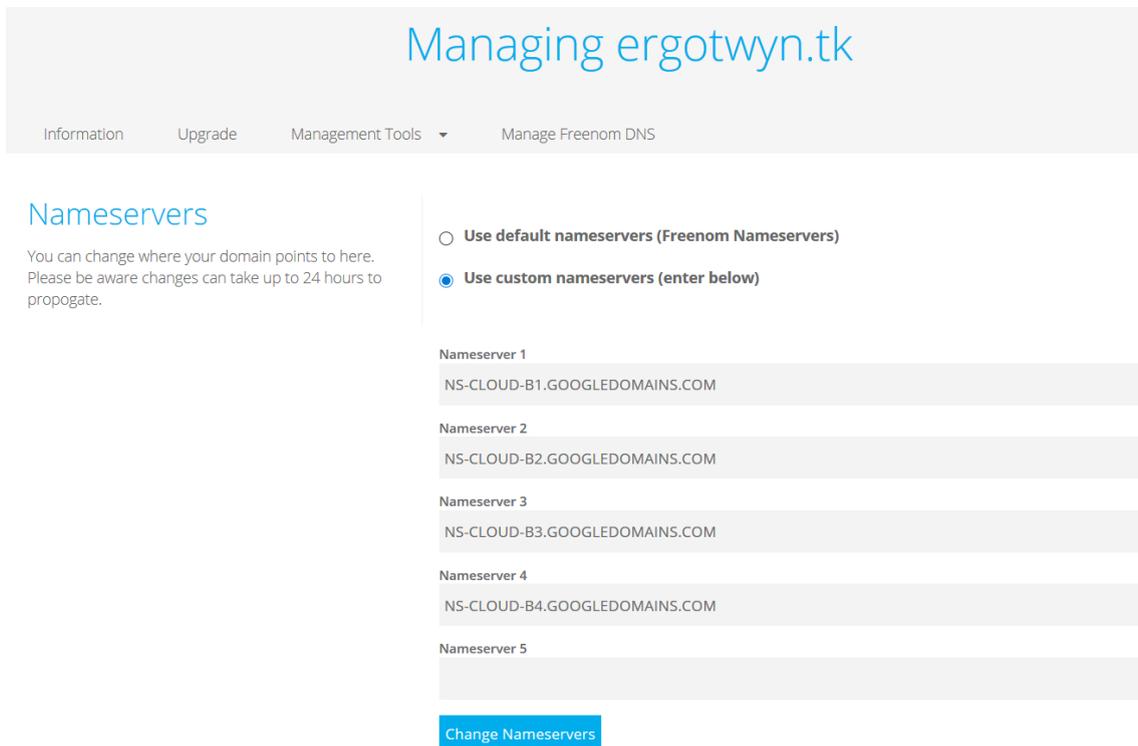


Figura 5.1: Migración DNS a Google Cloud

a albergar el servidor. Google Cloud proporciona IPs estáticas para este fin. En la Figura 5.2 se muestra la asignación de la IP estática al proyecto. La asignación de IP estáticas se encuentra en **Red de VPC** dentro de Google Cloud. Una vez obtenida esta dirección estática hay que configurar los servidores DNS para que vinculen el nombre de dominio con la IP.

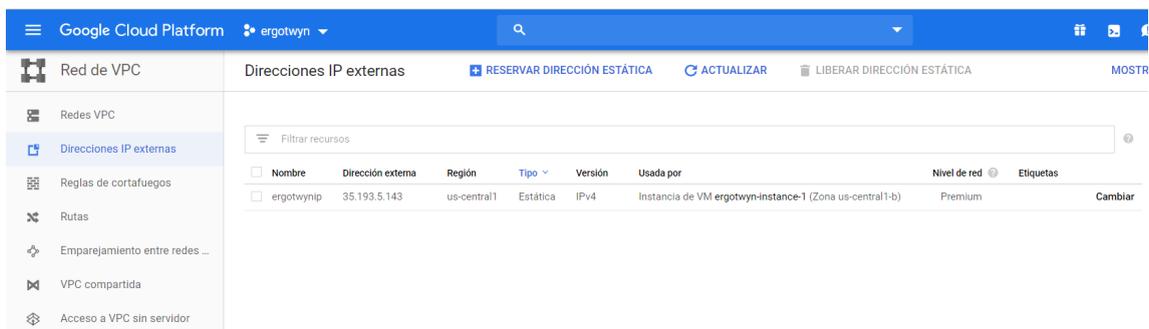


Figura 5.2: IP estática en Google Cloud

La configuración de los servidores DNS se encuentra en **Servicios de Red** dentro de Google Cloud. Para configurar los servidores DNS basta con crear una zona DNS con el nombre del dominio y la IP estática obtenida anteriormente. En la Figura 5.3 se muestra la configuración de la zona DNS en Google Cloud.

Una vez configuradas tanto la IP estática como la zona DNS, ya se puede levantar una máquina para desplegar la arquitectura desarrollada y explicada en el Capítulo 3. Para



Figura 5.3: Zona DNS en Google Cloud

realizar esto, se va a utilizar una máquina virtual. La creación de máquinas virtuales se encuentra en *Compute Engine* dentro de Google Cloud. A la hora de crear la máquina virtual hay que asignarla la IP creada anteriormente con la zona DNS correspondiente. Todo esto se hace de forma transparente al usuario, solo hay que seleccionarlo a la hora de crear la máquina virtual. Debian 9 stretch es el sistema operativo elegido para la máquina virtual. Inicialmente se va a dotar a la máquina de recursos limitados puesto que se paga en función de los mismos. En el caso de que sean insuficientes basta con aumentar el número de recursos vinculados. La última consideración para crear la máquina virtual es la zona donde se va a desplegar. Dentro de Europa, el CPD (Centro de Procesamiento de Datos - Data Center) de Google que mejores conexiones de red tiene es el de Bélgica (*europe-west1*). En la Figura 5.4 se muestra la máquina virtual creada.

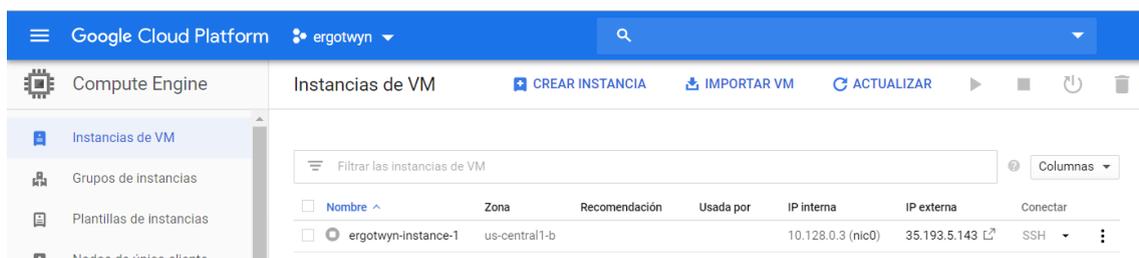


Figura 5.4: Máquina virtual para desplegar el servidor en Google Cloud

En esta máquina virtual ya se puede desplegar toda la arquitectura del servidor mostrada en el capítulo anterior.

5.3. Configuración HTTPS

Tras el despliegue y la puesta a punto del servidor, solo queda configurar el certificado SSL para que todo el tráfico intercambiado sea seguro. Para ello se necesita que el certificado SSL esté firmado por una CA. En este caso se va a utilizar un certificado gratuito proporcionado por la CA *Let's Encrypt*.

La instalación de un certificado SSL de esta CA en un sistema Debian sobre un servidor Nginx es muy sencilla puesto que *Let's Encrypt* dispone de un programa software llamado *Certbot* que se instala en la máquina e instala el certificado.

Para instalar *Certbot* en Debian simplemente hay que añadir unos nuevos repositorios como se muestra en la Figura 5.5.

```
                                /etc/apt/sources.list
...
deb http://deb.debian.org/debian stretch-backports main contrib non-free
deb-src http://deb.debian.org/debian stretch-backports main contrib non-free
```

Figura 5.5: Repositorios de Certbot en Debian 9

Una vez añadidos los repositorios, se instala *Certbot* como se muestra en la Figura 5.6.

```
$ sudo apt install python-certbot-nginx -t stretch-backports
```

Figura 5.6: Instalación de Certbot

Por último solo falta obtener un certificado SSL. Es importante que el servidor y el dominio estén activos a la hora de generar el certificado. Para generar el certificado solo hay que ejecutar el comando mostrado en la Figura 5.7. Es importante indicar la redirección de tráfico HTTP a HTTPS cuando se instale el certificado.

```
$ sudo certbot --nginx -d example.com -d www.example.com
```

Figura 5.7: Instalación del certificado SSL

Es importante tener en cuenta que el certificado es válido durante 3 meses. Sin embargo, *Certbot* dispone de un proceso *Cron* que actualiza de forma automática el certificado cuando caduca. Para comprobar que el proceso de renovación automática funciona correctamente hay que ejecutar el comando mostrado en la Figura 5.8.

```
$ sudo certbot renew --dry-run
```

Figura 5.8: Test de la renovación automática del certificado SSL

En este punto ya se dispone del certificado SSL instalado correctamente en el servidor con la actualización automática del certificado SSL. Por lo tanto, el sistema ya está desplegado completamente y listo para usarse.

Capítulo 6

Manual de Usuario

En este capítulo se detalla el manual de usuario de la aplicación móvil desarrollada. Actualmente solo se encuentra disponible para el sistema operativo Android. Antes de comenzar con el manual de usuario propiamente dicho es necesario aclarar algunos detalles de la aplicación como los niveles de acceso implementados.

Actualmente se han implementado 3 niveles de acceso: *Super Administrador*, *Administrador* y *Supervisor*. La filosofía que se ha seguido a la hora de diseñar los niveles es que el nivel superior puede realizar todas las funciones de los niveles inferiores más las propias de su nivel. El máximo nivel que puede tener un usuario es el de *Super Administrador* con un nivel de 0.

- ***Super Administrador***: Es el máximo nivel de acceso que implementa la aplicación. Este nivel de acceso está representado por el valor 0. Tiene privilegios para realizar cualquier acción sobre el sistema. Este nivel de acceso está pensado para la persona encargada del control y mantenimiento del sistema completo. Tiene acceso a todos los recursos ofrecidos por el servidor.
- ***Administrador***: Es el segundo nivel de acceso con más privilegios en el sistema. Este nivel de acceso está representado por el valor 2. Es el administrador del centro/fábrica a la que pertenece. Entre las acciones que puede realizar destacan el control sobre todos los usuarios del centro (CRUD sobre los usuarios), control sobre los puestos de trabajo (CRUD sobre los puestos de trabajo) y control sobre todas las valoraciones asociadas a un puesto de trabajo (CRUD sobre valoraciones).
- ***Supervisor***: Es el nivel de acceso con menos privilegios en el sistema. Este nivel de acceso está representado por el valor 6. Entre las acciones que puede realizar este nivel destacan la creación y visualización de valoraciones sobre un puesto de trabajo. Este nivel de acceso no puede crear puestos de trabajo asociados al centro.

El objetivo de este manual de usuario es que un usuario aprenda a utilizar la aplicación. Por lo tanto, la mayoría de pantallas destinadas a la administración del sistema (nivel de acceso Super Administrador) no se mostrarán en este manual puesto que la persona o personas encargadas del control y el mantenimiento del sistema deben saber utilizar la aplicación.

En el manual de usuario no se muestran imágenes de todos los errores posibles que pueden aparecer en cada pantalla como operaciones que no se han podido realizar por un error en el servidor (creación de usuarios...), falta de conexión a internet o datos mal introducidos entre otros, pero todos se notifican al usuario.

6.1. Pantalla Login

Esta es la pantalla principal de la aplicación cuando se ejecuta por primera vez. Es común para todos los niveles de acceso. El usuario se puede registrar introduciendo su nombre de usuario o su correo electrónico y la contraseña. Si se desea se pueden recordar las credenciales del usuario. Por defecto está activada la opción. Todos los posibles errores como usuario y/o contraseña incorrectos, falta de conexión a internet o servicio no disponible se contemplan y se notifican al usuario.

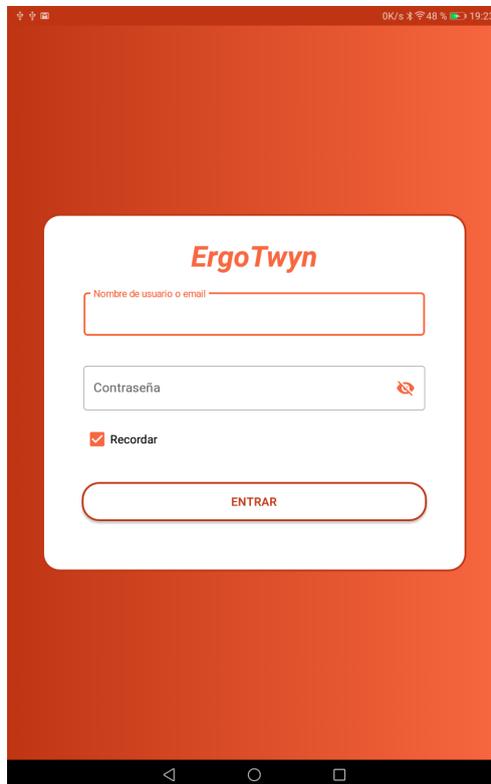


Figura 6.1: Pantalla Login

6.2. Pantalla Principal

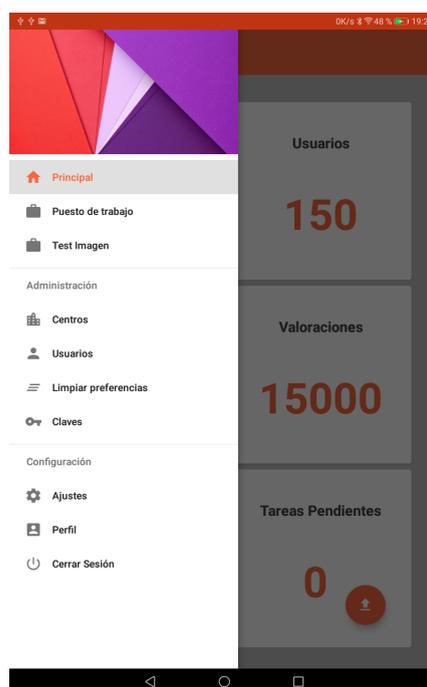
Esta es la pantalla principal de la aplicación una vez se ha verificado la autenticidad del usuario. En esta pantalla se muestran todos los recursos a los que el usuario tiene acceso. Esta pantalla es distinta para cada nivel de acceso como se muestra a continuación.

6.2.1. Pantalla Principal *Super Administrador*

En la Figura 6.2.a se muestra la pantalla principal para el nivel de acceso Super Administrador. Como se puede observar, se muestran estadísticas generales del sistema como el número de centros, usuarios y puestos de trabajo registrados en el sistema así como el número de valoraciones realizadas. También se muestran las tareas pendientes que tiene que completar el responsable del sistema y si hay algún tipo de problema mediante la notificación de alerta. También permite subir el plano de un centro siempre y cuando el centro esté seleccionado. Todos los recursos disponibles se muestran en la Figura 6.2.b a través del menú lateral.



(a) Pantalla Principal



(b) Menú Recursos disponibles

Figura 6.2: Pantalla Principal Super Administrador

6.2.2. Pantalla Principal *Administrador*

Esta pantalla puede estar en 3 estados distintos. El primer estado posible es en el que el usuario todavía no ha subido una foto del plano del centro/fábrica. Se le notifica mediante un mensaje como se muestra en la Figura 6.3.a. Dispone de un botón para poder subir la imagen en formato PNG. El segundo estado posible es en el que el usuario ha subido la foto de forma correcta y el responsable del sistema no ha configurado la pantalla de inicio. Este estado está representado en la Figura 6.3.b. El último estado posible es en el que el responsable del sistema ha configurado la pantalla principal y el usuario puede ver el plano que ha subido anteriormente. Este estado está representado en la Figura 6.4.a. Todos los recursos disponibles se muestran en la Figura 6.4.b a través del menú lateral.

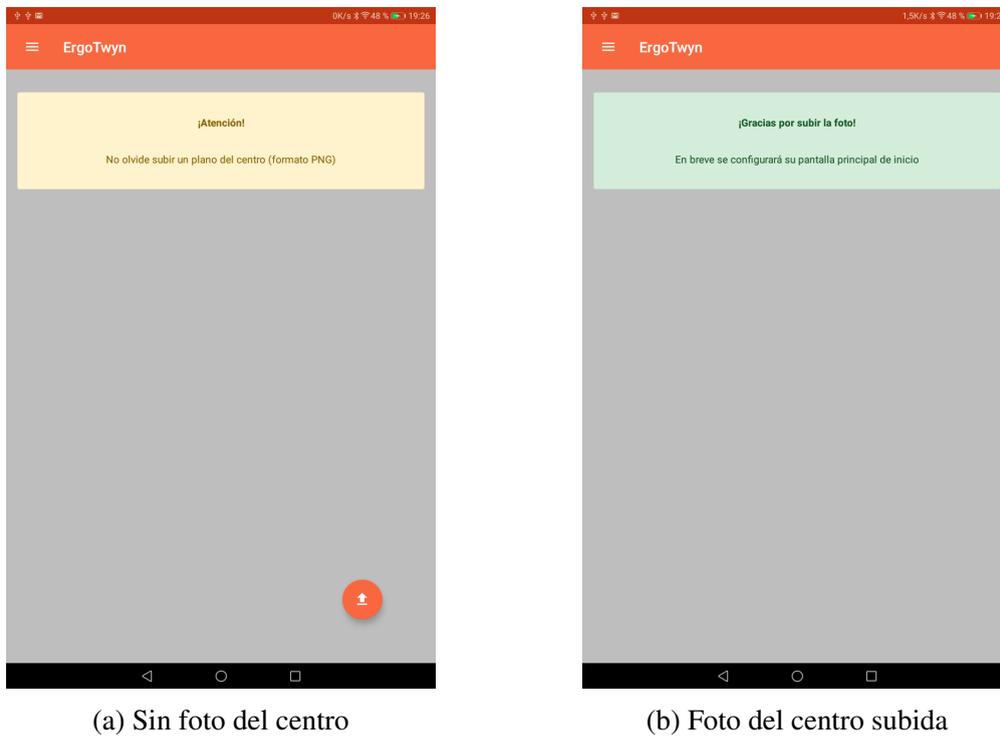


Figura 6.3: Pantalla Principal Administrador sin configurar

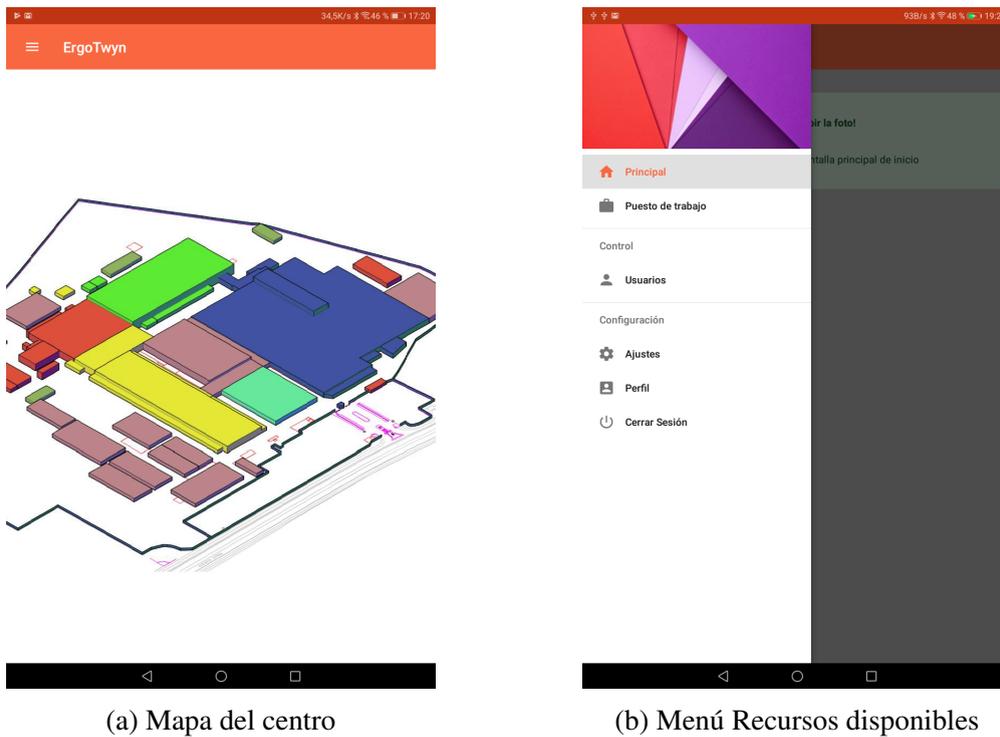


Figura 6.4: Pantalla Principal Administrador configurada

6.2.3. Pantalla Principal *Supervisor*

La pantalla principal es igual que la del Administrador con los 3 estados posibles. La única diferencia que existe con la pantalla del administrador es el tipo de recursos a los

que tiene acceso. Los recursos disponibles para este nivel se muestran en la Figura 6.5.

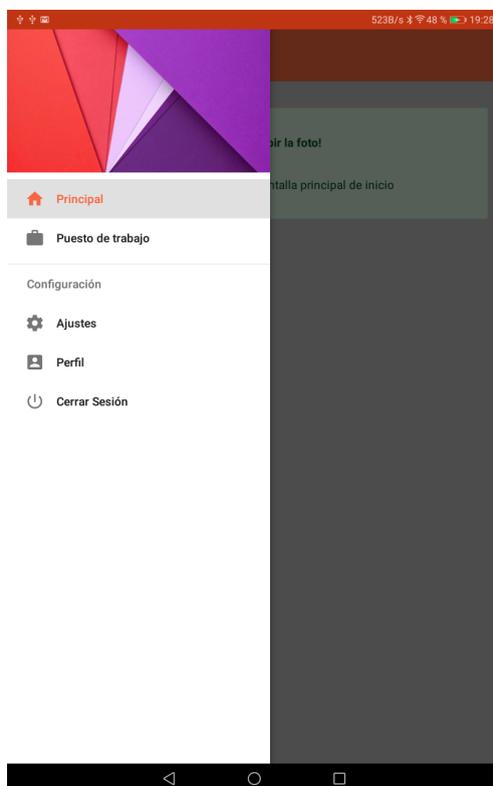


Figura 6.5: Pantalla Principal Supervisor

6.3. Pantalla Puestos de Trabajo

Esta pantalla es común para los 3 niveles de acceso. La única diferencia es el botón de *Añadir Nuevo Puesto de Trabajo* que solo está disponible para el nivel Administrador y Super Administrador. Se accede pulsando la opción *Puestos de Trabajo* en el menú lateral de la pantalla principal. Se muestra una lista con todos los puestos disponibles. Cada elemento de la lista (puesto de trabajo) se puede desplazar (*swipe list*) para poder archivarlo. Pulsando sobre un elemento de la lista se accede a los detalles de ese puesto de trabajo. Permite la actualización de los puestos de trabajo deslizando hacia abajo la lista. La pantalla resultante se puede visualizar en la Figura 6.6.

6.4. Pantalla Creación Puesto de Trabajo

Esta pantalla solo está disponible para el nivel Administrador y Super Administrador. Esta pantalla permite la creación de puestos de trabajo cumplimentado el formulario disponible de forma correcta. La pantalla resultante se puede visualizar en la Figura 6.7.

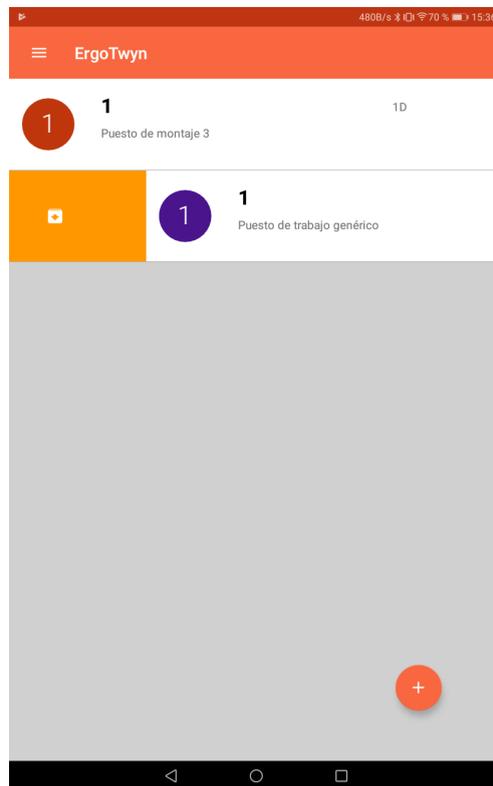


Figura 6.6: Pantalla Puestos de Trabajo

6.5. Pantalla Detalles Puesto de Trabajo

En esta pantalla se muestran los detalles del puesto de trabajo, esto es, las valoraciones asociadas a ese puesto de trabajo. Esta pantalla es común para los 3 niveles de acceso. La única diferencia es que el nivel Supervisor solo puede ver las valoraciones realizadas por él (no a nivel de puesto de trabajo). Existen 2 tipos de valoraciones. Una valoración del tipo evento que simplemente se utiliza para marcar o recordar un evento (fondo verde en la lista) y una valoración del tipo medida (fondo blanco en la lista) que se utiliza para medir un puesto de trabajo. La pantalla resultante se puede visualizar en la Figura 6.8. Si se pulsa sobre el botón *Añadir Nueva Medida* aparece un diálogo para seleccionar el tipo de medida que se quiere crear como se muestra en la Figura 6.9.a. Por el contrario, si se pulsa sobre una valoración del tipo medida de la lista (fondo blanco), se muestra un diálogo con las opciones *Movimiento* y *Gráfica* como se muestra en la Figura 6.9.b. La opción *Movimiento* reproduce los movimientos realizados en esa valoración sobre un avatar. La opción *Gráfica* muestra los resultados obtenidos al realizar el análisis de la valoración. Estas opciones se desarrollan en las pantallas correspondientes.

6.6. Pantalla Registro de Evento

Esta pantalla es común para los 3 niveles de acceso. Permite la creación de una valoración del tipo evento que, como se indicó anteriormente, es informativa. Para añadir un nuevo evento implemente hay que cumplimentar el formulario que se presenta en la



Figura 6.7: Pantalla Creación Puesto de Trabajo

pantalla. La pantalla resultante se puede visualizar en la Figura 6.10.

6.7. Pantalla Grabación/Reproducción de Valoración

Esta pantalla es común para todos los niveles de acceso. Se utiliza tanto en la creación de una nueva valoración del tipo medida para un puesto de trabajo como para la reproducción de una valoración realizada previamente. Cuando se entra en la pantalla se indica el modo en el que se está (modo grabación o modo reproducción). Este funcionamiento se puede observar en las Figuras 6.11.a y 6.11.b respectivamente. En el modo Reproducción simplemente se pulsa el botón *Start* y comienza la reproducción de la valoración. En el modo Grabación se pulsa el botón *Start* y comienza la valoración. Cuando se quiera parar la valoración se pulsa el botón *Stop*.

6.8. Pantalla Detalles de Valoración

Esta pantalla es común para todos los niveles de acceso. En ella se presentan los resultados obtenidos al realizar un análisis sobre la valoración. Se presentan una serie de gráficas donde se analizan los movimientos objetivo en función de lo que se quiera evaluar. La pantalla resultante se puede visualizar en la Figura 6.12.

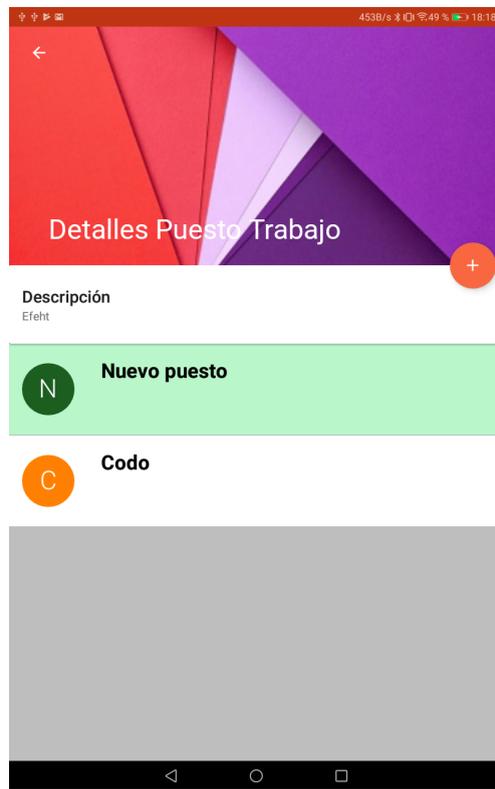
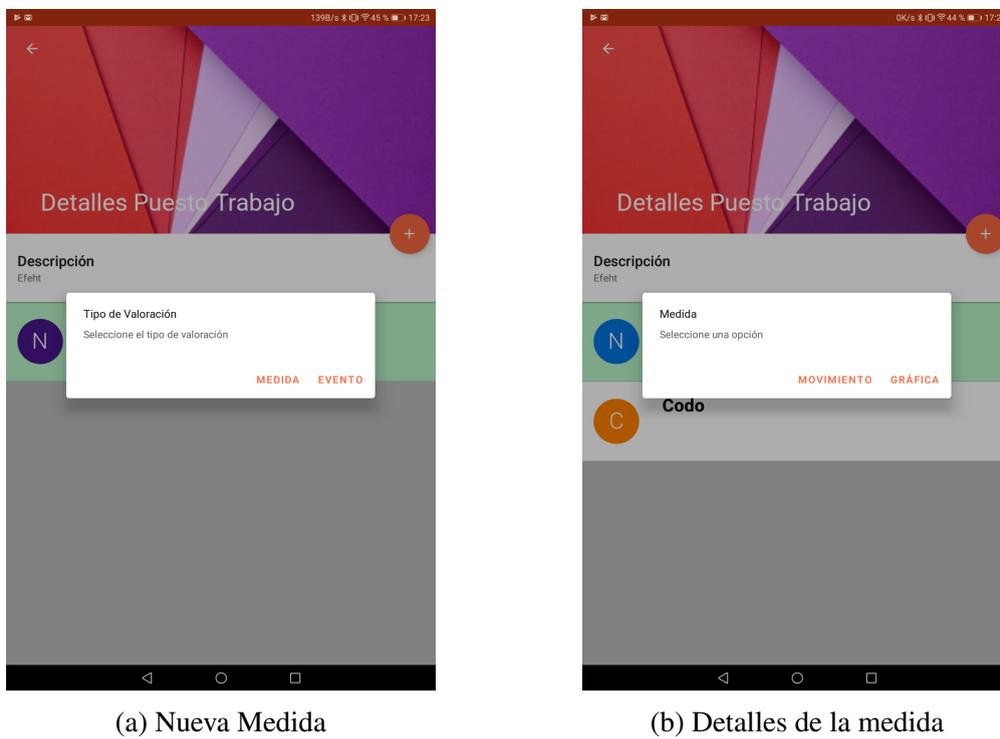


Figura 6.8: Pantalla Detalles Puesto de Trabajo



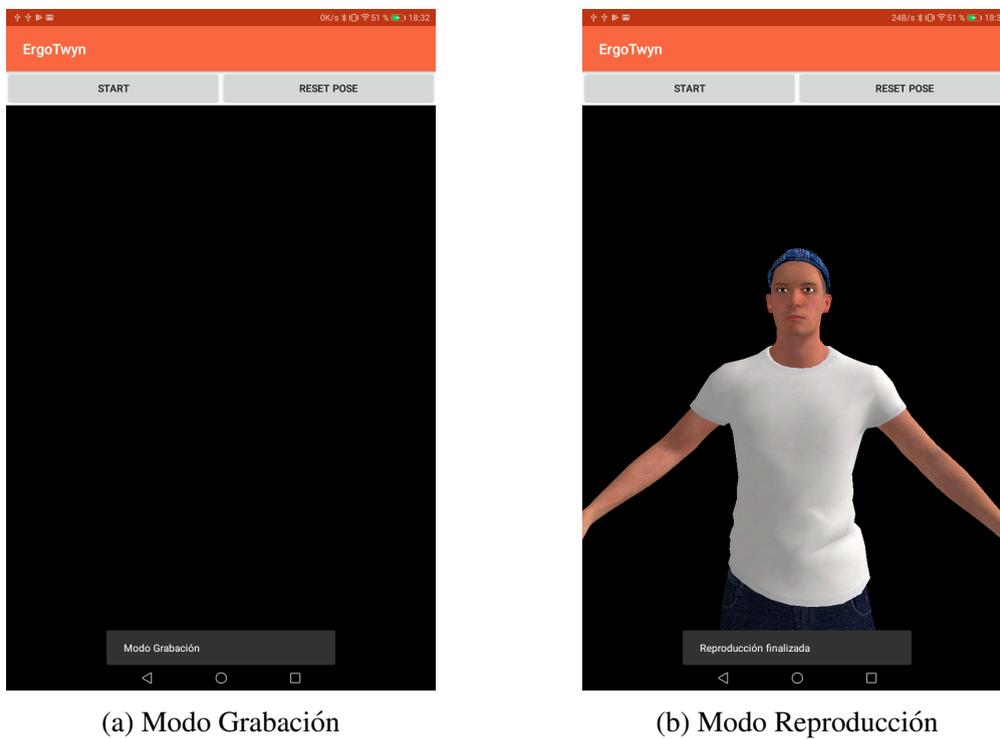
(a) Nueva Medida

(b) Detalles de la medida

Figura 6.9: Diálogos pantalla Detalles Puesto de Trabajo



Figura 6.10: Pantalla Registro de Evento



(a) Modo Grabación

(b) Modo Reproducción

Figura 6.11: Pantalla Grabación/Reproducción de Valoración

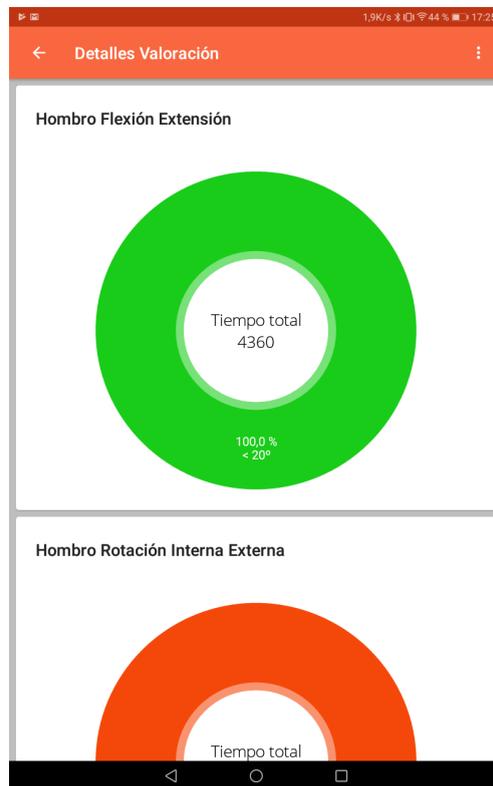


Figura 6.12: Pantalla Detalles de Valoración

6.9. Pantalla Usuarios

Esta pantalla solo está disponible para los niveles de acceso Administrador y Super Administrador. Se accede pulsando la opción *Usuarios* en el menú lateral de la pantalla principal. Esta pantalla es similar a la pantalla *Puestos de Trabajo*. Se muestra una lista con todos los usuarios disponibles en el sistema. Cada elemento de la lista (usuario) se puede desplazar hacia la izquierda o la derecha indistintamente para poder borrarlo. Pulsando sobre un elemento de la lista se accede a los detalles de ese usuario. Permite la actualización de los usuarios deslizando hacia abajo la lista. Pulsando el botón *Añadir usuario* se crea un nuevo usuario en el sistema con el nivel de acceso Supervisor. La pantalla resultante se puede visualizar en la Figura 6.13.

6.10. Pantalla Registro de Usuario

Esta pantalla solo está disponible para los niveles de acceso Super Administrador y Administrador. Permite el registro de nuevos usuarios con el nivel de acceso Supervisor. Para crear un nuevo usuario basta con cumplimentar el formulario que se presenta en pantalla. El campo DNI no es obligatorio para completar el registro. La pantalla resultante se puede visualizar en la Figura 6.14.

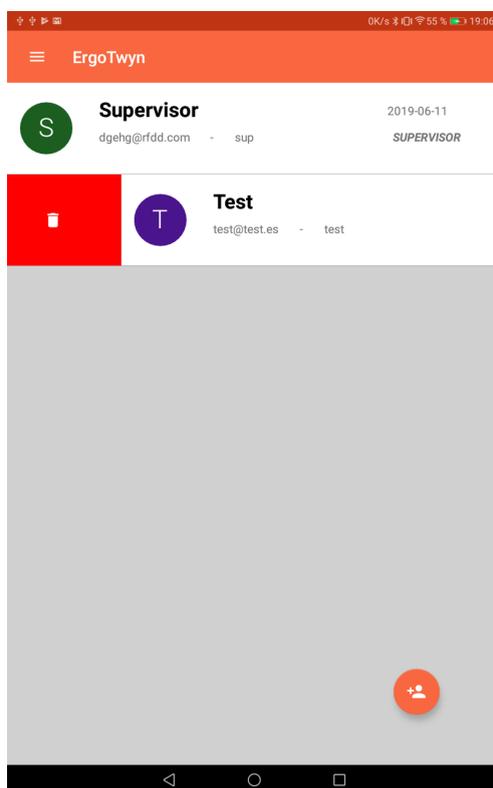


Figura 6.13: Pantalla Usuarios

6.11. Pantalla Detalles de Usuario

Esta pantalla solo está disponible para los niveles de acceso Super Administrador y Administrador. Se muestran los detalles de un usuario. Se muestra el número de valoraciones que ha realizado así como datos generales de su perfil como la última fecha de acceso, el nombre de usuario o el correo electrónico. La pantalla resultante se puede visualizar en la Figura 6.15.

6.12. Pantalla Centros

Esta pantalla solo esta disponible para el nivel de acceso Super Administrador. Se accede pulsando la opción *Centros* en el menú lateral de la pantalla principal. Se muestra una lista con todos los centros disponibles. Deslizándolo un elemento de la lista (centro) hacia la izquierda se elimina y desplazándolo hacia la derecha se archiva. Estos modos de funcionamiento se pueden visualizar en las Figuras 6.16.a y 6.16.b respectivamente. Pulsando sobre un elemento de la lista se accede a los detalles de ese centro. Permite la actualización de los centros deslizando hacia abajo la lista. Pulsando el botón *Añadir centro* se crea un nuevo centro en el sistema.

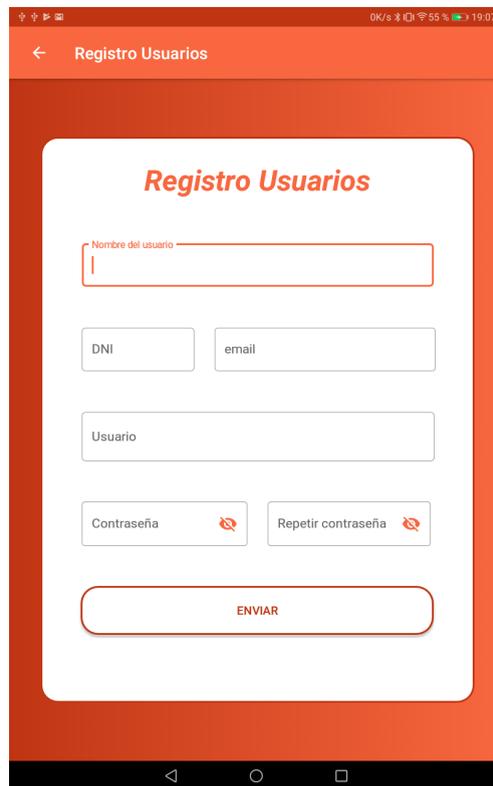


Figura 6.14: Pantalla Registro de Usuario

6.13. Pantalla Registro de Centro

Esta pantalla solo está disponible para el nivel de acceso Super Administrador. Permite el registro de nuevos centros en el sistema. Para crear un nuevo centro basta con completar el formulario que se presenta en pantalla. La pantalla resultante se puede visualizar en la Figura 6.17.

6.14. Pantalla Detalles de Centro

Esta pantalla solo está disponible para el nivel de acceso Super Administrador. Se muestran los detalles de un centro. Se muestran el número de valoraciones que están asociadas a ese centro así como el número de usuarios pertenecientes a ese centro. También se presentan datos generales como el estado del centro (activo, bloqueado y archivado) y el correo electrónico entre otros. La pantalla resultante se puede visualizar en la Figura 6.18.

6.15. Pantalla Ajustes

Esta pantalla es común para todos los niveles de acceso. Se accede pulsando la opción *Ajustes* en el menú lateral de la pantalla principal. En función del nivel de acceso del

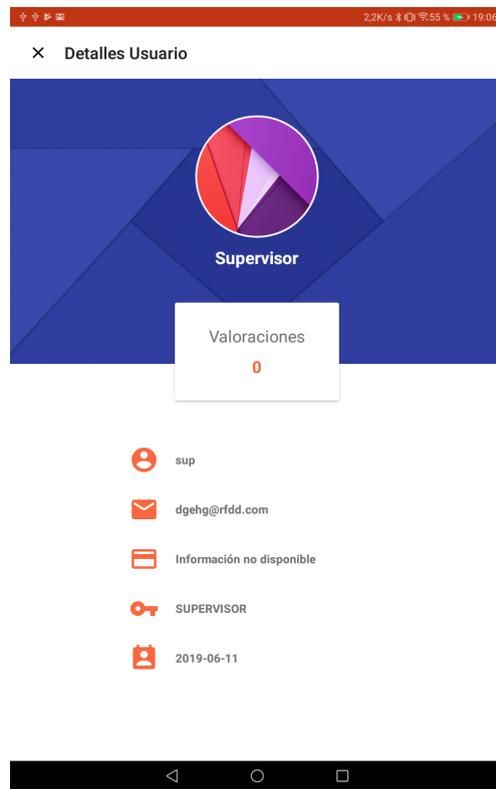


Figura 6.15: Pantalla Detalles de Usuario

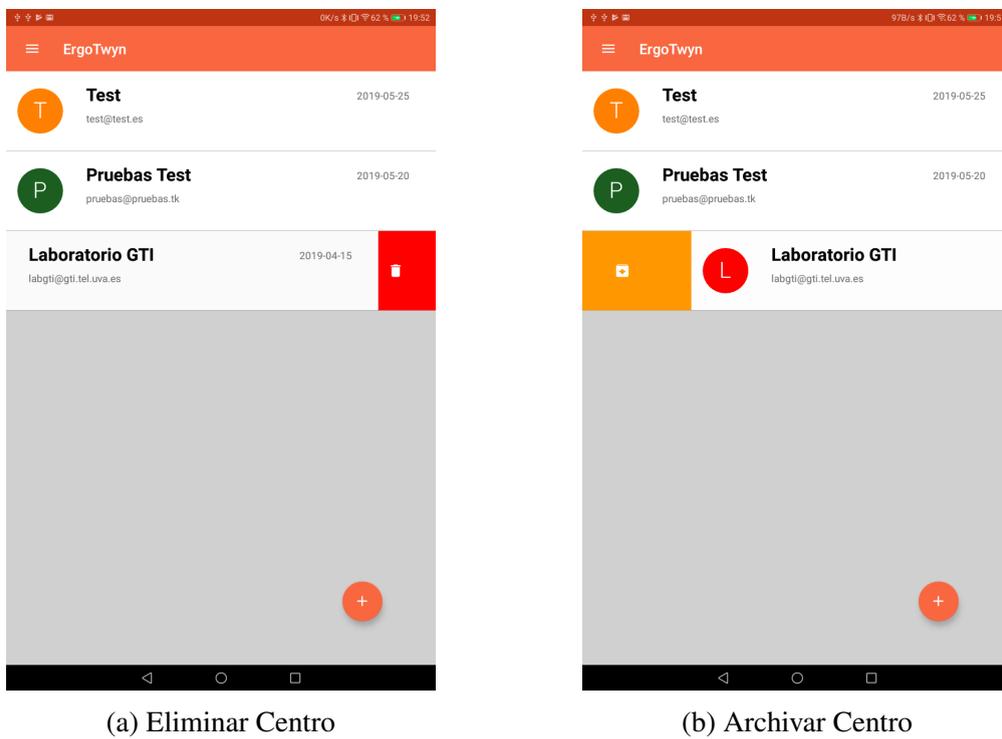


Figura 6.16: Pantalla Centros

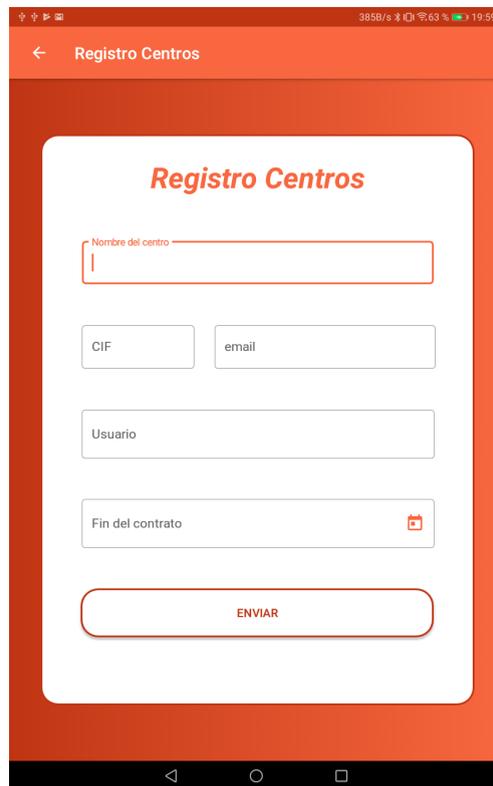


Figura 6.17: Pantalla Registro de Centro

usuario, se muestran unas opciones de configuración u otras. Por ejemplo, el nivel Supervisor solo puede configurar la lista de los puestos de trabajo. Puede indicar si quiere ver todos los puestos de trabajo (activos y archivados) o solo los activos. El nivel Administrador, además de incluir esta preferencia, también puede configurar la lista de los usuarios. Ambas pantallas se pueden visualizar en la Figura 6.19.

6.16. Pantalla Perfil

Esta pantalla es común para todos los niveles de acceso. Se accede pulsando la opción *Perfil* en el menú lateral de la pantalla principal. Se muestra información básica del usuario como puede ser la fecha de registro, el nivel de acceso y el nombre de usuario entre otros. En esta pantalla se puede cambiar la contraseña del usuario pulsando en el botón que tiene el icono de un candado. La pantalla resultante se puede visualizar en la Figura 6.20.

6.16.1. Pantalla Cambio de Contraseña

Esta pantalla es común para todos los niveles de acceso y se accede pulsando en botón indicado anteriormente. Se muestra un diálogo donde hay que introducir la contraseña actual del usuario así como la nueva contraseña. La pantalla resultante se puede visualizar en la Figura 6.21.

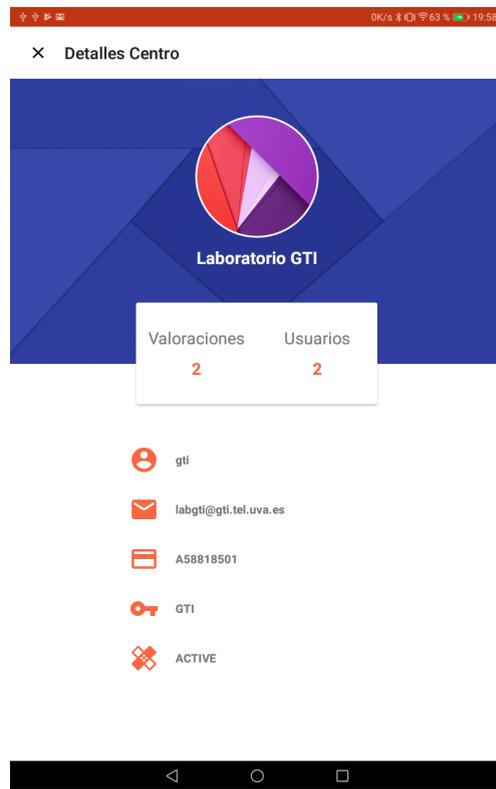
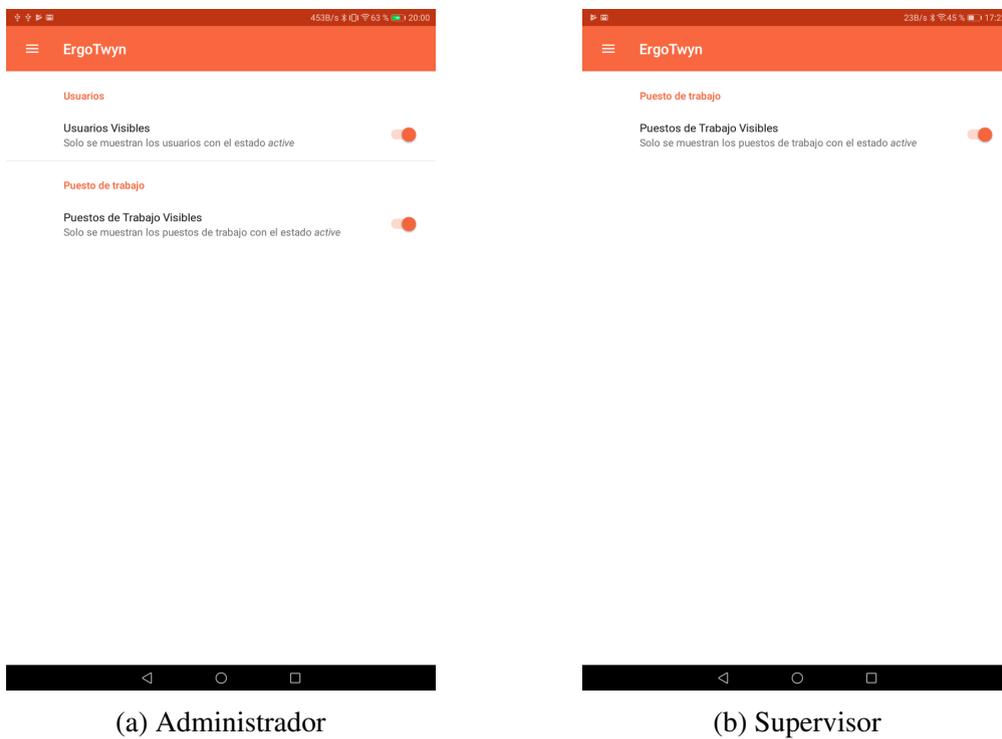


Figura 6.18: Pantalla Detalles de Centro



(a) Administrador

(b) Supervisor

Figura 6.19: Pantalla Ajustes

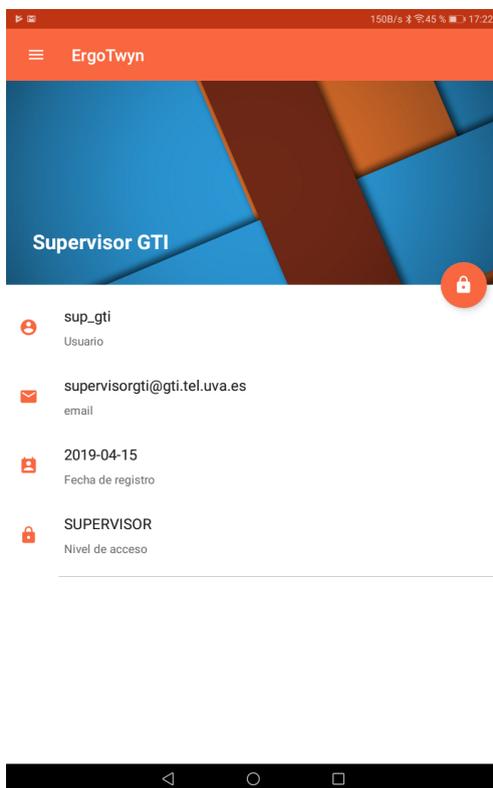


Figura 6.20: Pantalla Perfil

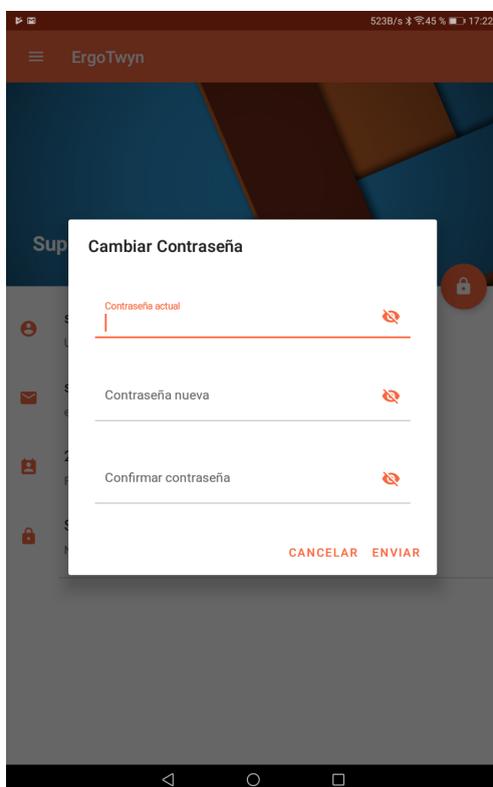


Figura 6.21: Diálogo Cambio de Contraseña

Capítulo 7

Pruebas y Resultados

Una vez desarrollado el sistema y puesto en funcionamiento (deploy) se van a realizar una serie de pruebas o tests para comprobar el rendimiento y la robustez que ofrece.

Una prueba que se va a realizar es el testeo de la conexión *Bluetooth* entre el dispositivo móvil y los sensores en entornos en los que existen muchos dispositivos *Bluetooth*. En fábricas de producción este escenario es de lo más habitual y hay que comprobar el funcionamiento del sistema en estas condiciones. Por otro lado, hay que comprobar el rendimiento que ofrece la API mediante pruebas de carga y *benchmarks* para conocer los límites del servidor y ver cómo se pueden solucionar. Por último se van a realizar mediciones de larga duración ($> 10min$) para comprobar que se mantiene la conexión en todo momento, no se producen pérdidas de datos y la información conseguida se puede enviar y almacenar sin problemas.

7.1. Pruebas de *Bluetooth* en entornos ruidosos

La primera prueba que se va a realizar es la robustez de la comunicación *Bluetooth* entre el dispositivo móvil y los sensores en entornos ruidosos donde el número de dispositivos *Bluetooth* es elevado y todos los canales de 2,4GHZ para *Bluetooth* están ocupados. Esta situación es muy común en fábricas con muchos robots y autómatas.

Al realizar las pruebas en estos entornos se comprobó que la comunicación fallaba en ocasiones y la pérdida de paquetes era considerable. Por lo tanto, el número de datos recibidos era ínfimo y los resultados obtenidos no eran fiables. Ante estas situaciones, el sistema no es lo suficientemente robusto y no se puede utilizar. Para paliar estos problemas y poder utilizar el sistema en este tipo de entornos, se puede desarrollar un a comunicación cableada entre el dispositivo móvil y el sensor maestro. De este modo, se soluciona el problema. El único inconveniente es que la movilidad del usuario se reduciría y, para puestos de trabajo con mucho movimiento, sería complicado utilizarlo de forma fluida y eficiente.

7.2. Pruebas de carga y *Benchmark* de la API

Otra prueba a realizar es la comprobación del rendimiento de la API. Es necesario conocer el funcionamiento y las limitaciones que tiene para que el sistema sea altamente

disponible. Para realizar los *Benchmark* de la API se van a utilizar 2 herramientas. La primera herramienta es *Apache Benchmark (ab)* [1] y la otra herramienta es *loadtest* [19].

La primera aproximación se va a realizar con *ab*. Se van a probar principalmente 2 recursos. Uno en el que no se requiera conexión con base de datos y otro en la que si que se involucre esta conexión. *ab* tiene 2 parámetros importantes:

- *-c*: se utiliza para la concurrencia e indica el número de peticiones concurrentes. Se lanzan tantos hilos como indique este parámetro, así que nunca se tendrán más peticiones en vuelo que este número.
- *-n*: número total de peticiones a realizar.

El comando se ejecuta en la misma máquina en la que se encuentra el servidor HTTP. En las Figuras 7.1 y 7.2 se muestran los resultados obtenidos para 1500 peticiones totales y 500 concurrentes tanto para un recurso sin conexión a la base de datos como un recurso con conexión.

Los números más interesantes son las peticiones por segundo (*requests per second*) y el tiempo por petición. Para el caso en el que no hay conexión con base de datos, el número de peticiones por segundo es de 308 y el tiempo por petición de 3,2ms y para el caso con conexión de base de datos, el número de peticiones por segundo es de 181 y el tiempo por petición de 5,5ms. Como era de esperar, el número de peticiones por segundo disminuye cuando existe conexión con la base de datos y el tiempo por petición aumenta. Sin embargo, estos resultados no son malos teniendo en cuenta la máquina en la que se está ejecutando la API y que el propio comando se está ejecutando en la propia máquina. Esta máquina solo dispone de 1 vCPU (para obtener más información acerca de vCPU consultar [13]) y 0,6 GB de RAM. Además se podrían mejorar un poco los resultados aumentando el número de *workers* de Nginx y de Unicorn.

Esta medición realizada es sólo un punto de partida que hay que refinar usando peticiones más complejas y condiciones más realistas. Para estos casos entra en juego la herramienta *Loadtest*. Esta herramienta incluye las opciones básica de *ab* y añade funcionalidades más complejas para emular situaciones reales de tráfico. Los comandos más importantes de *Loadtest* son, además de las que se vieron en *ab*:

- *-- rps*: número de peticiones por segundo a lanzar. Lanza (siempre que pueda) la tasa pedida de peticiones, aunque las anteriores no hayan terminado. Esto permite controlar la carga de peticiones que se envían cada segundo al servidor.
- *-- noagent*: no usar el agente integrado de node.js. Por defecto, node.js limita la salida a 10 conexiones en vuelo, lo que puede afectar a las pruebas; este parámetro elimina ese límite. Viene activado por defecto.
- *-- keepalive*: usa el agente *agentkeepalive*, que añade *Connection: Keep-alive*.

Inicialmente se va a comparar esta herramienta con *ab*. Como se observa en la Figura 7.3 el número de peticiones por segundo ha aumentado ligeramente. Esto es debido a que en la máquina donde se encuentra la API no se está ejecutando nada más (no como en el caso anterior que se estaba ejecutando *ab*).

```

Benchmarking ergotwyn.tk (be patient)
Completed 150 requests
Completed 300 requests
Completed 450 requests
Completed 600 requests
Completed 750 requests
Completed 900 requests
Completed 1050 requests
Completed 1200 requests
Completed 1350 requests
Completed 1500 requests
Finished 1500 requests

Server Software:      nginx/1.10.3
Server Hostname:     ergotwyn.tk
Server Port:         443
SSL/TLS Protocol:    TLSv1.2,ECDHE-RSA-AES128-GCM-SHA256,2048,128
TLS Server Name:     ergotwyn.tk

Document Path:       /ergotwyn/api
Document Length:     173 bytes

Concurrency Level:   500
Time taken for tests: 4.858 seconds
Complete requests:   1500
Failed requests:     1260
    (Connect: 0, Receive: 1260, Length: 1260, Exceptions: 0)
Non-2xx responses:   240
Total transferred:   303540 bytes
HTML transferred:    79320 bytes
Requests per second: 308.77 [#/sec] (mean)
Time per request:    1619.319 [ms] (mean)
Time per request:    3.239 [ms] (mean, across all concurrent requests)
Transfer rate:       61.02 [Kbytes/sec] received

Connection Times (ms)
      min  mean[+/-sd] median  max
Connect:  271   672 341.5   477  3530
Processing: 6    92 130.9    8   384
Waiting:   6    86 122.7    8   383
Total:    288   764 422.8   485  3537

```

Figura 7.1: Prueba de carga con `ab -c 500 -n 1500` sin conexión a la base de datos

Una vez realizada esta primera aproximación se va a simular una situación más realista utilizando las opciones `--keepalive` y `--rps`. Abrir y cerrar una conexión con el servidor es un gasto en los recursos del servidor por lo que se van a mantener conexiones abiertas durante la prueba. Por otro lado se va a enviar una tasa fija de peticiones por segundo, que le llegarán al servidor tanto si ha respondido las anteriores como si no.

Como se puede observar en la Figura 7.4 las prestaciones han mejorado por lo que se ha explicado anteriormente. Abrir y cerrar una conexión con el servidor consume recursos y, como la máquina en la que se está ejecutando la API tiene recursos limitados, estas operaciones conllevan penalizaciones en el rendimiento (en este caso en el núme-

```

Benchmarking ergotwyn.tk (be patient)
Completed 150 requests
Completed 300 requests
Completed 450 requests
Completed 600 requests
Completed 750 requests
Completed 900 requests
Completed 1050 requests
Completed 1200 requests
Completed 1350 requests
Completed 1500 requests
Finished 1500 requests

Server Software:      nginx/1.10.3
Server Hostname:     ergotwyn.tk
Server Port:         443
SSL/TLS Protocol:    TLSv1.2,ECDHE-RSA-AES128-GCM-SHA256,2048,128
TLS Server Name:     ergotwyn.tk

Document Path:       /ergotwyn/api/centers
Document Length:     173 bytes

Concurrency Level:   500
Time taken for tests: 8.264 seconds
Complete requests:   1500
Failed requests:     1159
    (Connect: 0, Receive: 0, Length: 1159, Exceptions: 0)
Non-2xx responses:   341
Total transferred:   2551679 bytes
HTML transferred:    2324838 bytes
Requests per second: 181.52 [# /sec] (mean)
Time per request:    2754.529 [ms] (mean)
Time per request:    5.509 [ms] (mean, across all concurrent requests)
Transfer rate:       301.55 [Kbytes/sec] received

```

Figura 7.2: Prueba de carga con *ab -c 500 -n 1500* con conexión a la base de datos

```

C:\Users\raul> loadtest -c 500 -n 2000 https://ergotwyn.tk/ergotwyn/api
[Sat Jun 15 2019 22:24:41 GMT+0200 (Hora de verano romance)] INFO Requests: 0 (0%), requests per second: 0, mean latency: 0 ms
[Sat Jun 15 2019 22:24:46 GMT+0200 (Hora de verano romance)] INFO Requests: 1750 (88%), requests per second: 351, mean latency: 1164.6 ms
[Sat Jun 15 2019 22:24:47 GMT+0200 (Hora de verano romance)] INFO
[Sat Jun 15 2019 22:24:47 GMT+0200 (Hora de verano romance)] INFO Target URL:      https://ergotwyn.tk/ergotwyn/api
[Sat Jun 15 2019 22:24:47 GMT+0200 (Hora de verano romance)] INFO Max requests:    2000
[Sat Jun 15 2019 22:24:47 GMT+0200 (Hora de verano romance)] INFO Concurrency level: 500
[Sat Jun 15 2019 22:24:47 GMT+0200 (Hora de verano romance)] INFO Agent:         none
[Sat Jun 15 2019 22:24:47 GMT+0200 (Hora de verano romance)] INFO
[Sat Jun 15 2019 22:24:47 GMT+0200 (Hora de verano romance)] INFO Completed requests: 2000
[Sat Jun 15 2019 22:24:47 GMT+0200 (Hora de verano romance)] INFO Total errors:      0
[Sat Jun 15 2019 22:24:47 GMT+0200 (Hora de verano romance)] INFO Total time:        6.0028791 s
[Sat Jun 15 2019 22:24:47 GMT+0200 (Hora de verano romance)] INFO Requests per second: 333
[Sat Jun 15 2019 22:24:47 GMT+0200 (Hora de verano romance)] INFO Mean latency:      1130.4 ms
[Sat Jun 15 2019 22:24:47 GMT+0200 (Hora de verano romance)] INFO
[Sat Jun 15 2019 22:24:47 GMT+0200 (Hora de verano romance)] INFO Percentage of the requests served within a certain time
[Sat Jun 15 2019 22:24:47 GMT+0200 (Hora de verano romance)] INFO 50%      989 ms
[Sat Jun 15 2019 22:24:47 GMT+0200 (Hora de verano romance)] INFO 90%     1662 ms
[Sat Jun 15 2019 22:24:47 GMT+0200 (Hora de verano romance)] INFO 95%     1919 ms
[Sat Jun 15 2019 22:24:47 GMT+0200 (Hora de verano romance)] INFO 99%     3921 ms
[Sat Jun 15 2019 22:24:47 GMT+0200 (Hora de verano romance)] INFO 100%    4483 ms (longest request)

```

Figura 7.3: Prueba de carga con *loadtest -c 500 -n 2000* sin conexión a la base de datos

ro de peticiones por segundo que puede atender). Por lo tanto, el servidor puede procesar $624req/s$. A continuación se va a repetir la misma prueba sobre un recurso que implique la

```

C:\Users\raul>loadtest --keepalive --rps 650 -n 10000 https://ergotwyn.tk/ergotwyn/api
[Sat Jun 15 2019 23:03:49 GMT+0200 (Hora de verano romance)] INFO Requests: 0 (0%), requests per second: 0, mean latency: 0 ms
[Sat Jun 15 2019 23:03:54 GMT+0200 (Hora de verano romance)] INFO Requests: 2842 (28%), requests per second: 569, mean latency: 241.3 ms
[Sat Jun 15 2019 23:03:59 GMT+0200 (Hora de verano romance)] INFO Requests: 6092 (61%), requests per second: 650, mean latency: 145.1 ms
[Sat Jun 15 2019 23:04:04 GMT+0200 (Hora de verano romance)] INFO Requests: 9342 (93%), requests per second: 650, mean latency: 145.6 ms
[Sat Jun 15 2019 23:04:05 GMT+0200 (Hora de verano romance)] INFO
[Sat Jun 15 2019 23:04:05 GMT+0200 (Hora de verano romance)] INFO Target URL: https://ergotwyn.tk/ergotwyn/api
[Sat Jun 15 2019 23:04:05 GMT+0200 (Hora de verano romance)] INFO Max requests: 10000
[Sat Jun 15 2019 23:04:05 GMT+0200 (Hora de verano romance)] INFO Concurrency level: 1
[Sat Jun 15 2019 23:04:05 GMT+0200 (Hora de verano romance)] INFO Agent: keepalive
[Sat Jun 15 2019 23:04:05 GMT+0200 (Hora de verano romance)] INFO Requests per second: 650
[Sat Jun 15 2019 23:04:05 GMT+0200 (Hora de verano romance)] INFO
[Sat Jun 15 2019 23:04:05 GMT+0200 (Hora de verano romance)] INFO Completed requests: 10000
[Sat Jun 15 2019 23:04:05 GMT+0200 (Hora de verano romance)] INFO Total errors: 0
[Sat Jun 15 2019 23:04:05 GMT+0200 (Hora de verano romance)] INFO Total time: 16.017897401 s
[Sat Jun 15 2019 23:04:05 GMT+0200 (Hora de verano romance)] INFO Requests per second: 624
[Sat Jun 15 2019 23:04:05 GMT+0200 (Hora de verano romance)] INFO Mean latency: 172.6 ms
[Sat Jun 15 2019 23:04:05 GMT+0200 (Hora de verano romance)] INFO
[Sat Jun 15 2019 23:04:05 GMT+0200 (Hora de verano romance)] INFO Percentage of the requests served within a certain time
[Sat Jun 15 2019 23:04:05 GMT+0200 (Hora de verano romance)] INFO 50% 145 ms
[Sat Jun 15 2019 23:04:05 GMT+0200 (Hora de verano romance)] INFO 90% 163 ms
[Sat Jun 15 2019 23:04:05 GMT+0200 (Hora de verano romance)] INFO 95% 207 ms
[Sat Jun 15 2019 23:04:05 GMT+0200 (Hora de verano romance)] INFO 99% 813 ms
[Sat Jun 15 2019 23:04:05 GMT+0200 (Hora de verano romance)] INFO 100% 1396 ms (longest request)

```

Figura 7.4: Prueba de carga con `loadtest --keepalive --rps 650 -n 10000` sin conexión a la base de datos

comunicación con la base de datos. En la Figura 7.5 se muestran los resultados obtenidos. Como era de esperar el número de peticiones por segundo se ha reducido notablemente.

```

[Sat Jun 15 2019 23:58:57 GMT+0200 (Hora de verano romance)] INFO Target URL: https://ergotwyn.tk/ergotwyn/api/centers
[Sat Jun 15 2019 23:58:57 GMT+0200 (Hora de verano romance)] INFO Max requests: 10000
[Sat Jun 15 2019 23:58:57 GMT+0200 (Hora de verano romance)] INFO Concurrency level: 1
[Sat Jun 15 2019 23:58:57 GMT+0200 (Hora de verano romance)] INFO Agent: keepalive
[Sat Jun 15 2019 23:58:57 GMT+0200 (Hora de verano romance)] INFO Requests per second: 225
[Sat Jun 15 2019 23:58:57 GMT+0200 (Hora de verano romance)] INFO
[Sat Jun 15 2019 23:58:57 GMT+0200 (Hora de verano romance)] INFO Completed requests: 10000
[Sat Jun 15 2019 23:58:57 GMT+0200 (Hora de verano romance)] INFO Total errors: 0
[Sat Jun 15 2019 23:58:57 GMT+0200 (Hora de verano romance)] INFO Total time: 45.036995899000004 s
[Sat Jun 15 2019 23:58:57 GMT+0200 (Hora de verano romance)] INFO Requests per second: 222
[Sat Jun 15 2019 23:58:57 GMT+0200 (Hora de verano romance)] INFO Mean latency: 184 ms
[Sat Jun 15 2019 23:58:57 GMT+0200 (Hora de verano romance)] INFO
[Sat Jun 15 2019 23:58:57 GMT+0200 (Hora de verano romance)] INFO Percentage of the requests served within a certain time
[Sat Jun 15 2019 23:58:57 GMT+0200 (Hora de verano romance)] INFO 50% 149 ms
[Sat Jun 15 2019 23:58:57 GMT+0200 (Hora de verano romance)] INFO 90% 208 ms
[Sat Jun 15 2019 23:58:57 GMT+0200 (Hora de verano romance)] INFO 95% 418 ms
[Sat Jun 15 2019 23:58:57 GMT+0200 (Hora de verano romance)] INFO 99% 751 ms
[Sat Jun 15 2019 23:58:57 GMT+0200 (Hora de verano romance)] INFO 100% 1227 ms (longest request)

```

Figura 7.5: Prueba de carga con `loadtest --keepalive --rps 225 -n 10000` con conexión a la base de datos

7.3. Mediciones de tiempo prolongado

Un aspecto importante es poder almacenar valoraciones de larga duración. Por ello se han realizado mediciones de más de $10min$ de duración para comprobar el funcionamiento del sistema bajo estas condiciones de trabajo. Al realizar este tipo de prueba se testean todos los aspectos del sistema. Por un lado la conexión entre el sensor maestro y la aplicación móvil no se tiene que perder en ningún momento. Por otro lado, se comprueba la conexión con el servidor a la hora de subir ficheros de gran tamaño y si existe alguna limitación al respecto. En la Figura 7.6 se muestra una valoración de larga duración almacenada en MongoDB. Concretamente, el valor del campo `time` es de $615804ms$ o lo que es lo mismo, 10 min y 15s. Durante este periodo de grabación se han recogido un total de 30534 muestras (campo `sensorInfoRaw`). En vista de los resultados obtenidos

al realizar esta prueba se puede concluir que no existen problemas en realizar medidas de larga duración más allá de la duración de la batería del sensor.

<pre> (9) ObjectId("5d0a682aaf1137385c1c9948") _id > sensorInfoRaw joint type version time creation_date id_center id_workstation id_user state </pre>	<pre> { 11 fields } ObjectId("5d0a682aaf1137385c1c9948") [30534 elements] Codigo measure v1 615804 2019-06-19 16:51:54.901Z ObjectId("5cb4c6caaf113719686ff42d") ObjectId("5cd81709af113731d01ff90d") ObjectId("5cb4c6caaf113719686ff42e") active </pre>	<pre> Object ObjectId Array String String String Int32 Date ObjectId ObjectId ObjectId String </pre>
---	--	--

Figura 7.6: Valoración de larga duración almacenada en MongoDB

7.4. Resultados finales

Al realizar estas pruebas y tests se tiene una visión más realista del sistema y se han detectado las limitaciones que tiene. Como se ha indicado anteriormente, el sistema no se puede utilizar en lugares donde exista un número elevado de dispositivos *Bluetooth*. Por otro lado, se ha calculado de forma aproximada la carga que puede soportar el servidor. Sin embargo, este problema tiene fácil solución ampliando los recursos de la máquina y aumentando el número de *workers* de Nginx y de Gunicorn siempre que el número de peticiones sea muy elevado y sature al servidor.

Capítulo 8

Conclusiones

En este capítulo se extraen todas las conclusiones obtenidas en la realización de este proyecto desde un punto de vista profesional y personal. Se abordan distintos aspectos relacionados con las tecnologías actuales, así como diversos aspectos de la aplicación desarrollada y los pasos seguidos para la realización de la misma.

Otro aspecto que se trata en este capítulo son las líneas de trabajo futuras, en la que se proponen ideas para su posible desarrollo e implementación. De este modo, se puede desarrollar un sistema para la ergonomía mucho más completo que facilite a los usuarios la evaluación ergonómica de los puestos de trabajo.

8.1. Conclusiones

A lo largo de este proyecto se han investigado y estudiado los factores de riesgo ergonómico, así como los métodos de evaluación más importantes para cada categoría o situación (análisis de movimientos repetitivos, análisis de la carga postural o posturas forzadas...). Otro estudio importante realizado es el mercado de aplicaciones disponibles tanto para dispositivo móvil como software de escritorio.

Todos estos análisis previos han servido para enfocar el diseño del sistema para la medida de la ergonomía. Se ha desarrollado una API REST para poder proporcionar una serie de recursos a todos los clientes (especialmente a la aplicación móvil también desarrollada) como pueden ser los puestos de trabajo guardados para un centro/fábrica o todas las valoraciones realizadas para un puesto de trabajo. Todos los recursos ofrecidos por la API se detallaron en el capítulo correspondiente de este documento. La parte más importante de la API es la posibilidad de generar análisis de las valoraciones realizadas en tiempo real. Los resultados obtenidos de estos análisis se pueden descargar para representarlos con gráficas del tipo *piechart* y *linechart*. Por otro lado se ha desarrollado una aplicación móvil para Android que permite a los usuarios realizar mediciones del puesto de trabajo y visualizar, de forma sencilla, los resultados asociados a esa valoración. Con este sistema se ha logrado la evaluación ergonómica de un puesto de trabajo de forma muy sencilla (solo se necesitan los sensores y un dispositivo móvil Android) y obtener los resultados al momento sin tener que utilizar otro tipo de software para los análisis de las medidas realizadas para ese puesto de trabajo.

Posteriormente se ha elaborado un manual de usuario para que aquellas personas que

utilicen la aplicación puedan sacarla el máximo partido y sepan utilizar y acceder a todos los recursos que ofrece. El funcionamiento es bastante sencillo e intuitivo y se encuentra bien detallado en el capítulo 6 de este documento.

En definitiva, destacar que se han alcanzado de forma satisfactoria los objetivos que se pretendían con la elaboración de este proyecto en el desarrollo de un sistema para la medida de la ergonomía. Por otro lado, destacar el aprendizaje en términos de ergonomía que se han adquirido al realizar el estudio previo en los métodos de evaluación de la ergonomía más utilizados.

8.2. Líneas Futuras

El sistema para la medida de la ergonomía desarrollado ha cubierto todos los objetivos iniciales propuestos. Sin embargo, el sistema es nuevo y el tiempo de desarrollo ha sido limitado por lo que se pueden incluir nuevas funcionalidades tanto en la aplicación móvil como en la API.

8.2.1. Aplicación móvil

Respecto a la aplicación móvil desarrollada existen varias líneas de mejora para las funcionalidades actuales:

- Posibilidad de poder realizar medidas de valoraciones sin conexión a internet. Actualmente si se realiza una medición de un puesto de trabajo y no se dispone de conexión a internet, esta medida se pierde. Para implementar esta mejora en la funcionalidad de la aplicación, todas las valoraciones se tienen que guardar en un sistema de almacenamiento (almacenamiento interno en ficheros de Android) o implementar una pequeña base de datos local utilizando *SQLite*. Cuando la aplicación detecte conexión a internet, la base de datos local se sincroniza con la base de datos del servidor.
- Notificaciones *push* en el dispositivo móvil para indicar eventos de interés a los usuarios de la aplicación como la fecha de renovación de la cuenta asociada cuando esté próxima a su vencimiento.
- Actualizaciones automáticas de la aplicación. Si la aplicación no se sube a Google Play Store, es interesante que la propia aplicación gestione su actualización cuando una nueva versión se encuentre disponible.
- Historial (log) de todos los eventos que ocurren en el sistema como creación/eliminación de usuarios, creación/eliminación de puestos de trabajo o creación de nuevas valoraciones. De este modo, el administrador del centro tiene control sobre todo lo que ocurre.
- Desarrollar los métodos de evaluación ergonómica más utilizados como el método RULA, el método REBA o el método EPR.

- Posibilidad de grabar videos en las evaluaciones de un puesto de trabajo y adjuntarlo dentro de la valoración asociada.
- Comunicación con los sensores vía USB o utilizando otro tipo de enlace electro-magnético (bandas de frecuencia distintas a 2,4GHz).

Otra línea de mejora del sistema es desarrollar esta aplicación para la plataforma móvil iOS. De este modo, la aplicación estaría disponible en la mayoría de terminales móviles existentes hasta el momento.

8.2.2. API REST

Respecto a la API REST desarrollada existen también varias líneas de mejora:

- Desarrollo de los recursos necesarios para dar soporte a los nuevos métodos de evaluación ergonómica que se desarrollen para la aplicación móvil.
- Realizar análisis a nivel de puesto de trabajo. Actualmente solo se realizan análisis a nivel de valoración. De este modo se obtiene un nuevo enfoque a nivel de puesto de trabajo.
- Publicar la documentación completa de la API como un recurso más.
- Soporte, mediante los recursos apropiados, para crear un log del sistema.
- Monitorización y alertas a nivel de servidor para saber cuando el servidor ha dejado de funcionar o la carga es muy elevada y se pierden peticiones entrantes. De este modo se puede ofrecer un servicio altamente disponible a los usuarios.

Bibliografía

- [1] ab - Apache HTTP server benchmarking tool - Apache HTTP Server Version 2.4. <https://httpd.apache.org/docs/2.4/programs/ab.html>, 2019.
- [2] Análisis ergonómico REBA en App Store. <https://itunes.apple.com/es/app/análisis-ergonómico-reba-calcula-al-instante-puntaje/id981368699?mt=8>, 2019.
- [3] Checkpoints apps series. https://www.ilo.org/safework/info/publications/WCMS_438062, 2019.
- [4] EKAS ErgoCheck - Aplicaciones en Google Play. <https://play.google.com/store/apps/details?id=com.mitdermaus.ekas.ergocheck>, 2019.
- [5] ErgoEvalApp - Aplicaciones en Google Play. <https://play.google.com/store/apps/details?id=com.psicopreven.ErgoEvalApp>, 2019.
- [6] Ergo/IBV Tool. <https://play.google.com/store/apps/details?id=org.ibv.ergoibv>, 2019.
- [7] ErgoMinder - Patient reminders. <http://www.ergominder.com/>, 2019.
- [8] ErgoMinder en App Store. <https://itunes.apple.com/es/app/ergominder/id451686057?mt=8>, 2019.
- [9] Ergoniza. El software de ergonomía. <https://www.ergonautas.upv.es/ergoniza/>, 2019.
- [10] Ergonomic Checkpoints en App Store. <https://itunes.apple.com/es/app/ergonomic-checkpoints/id876338972>, 2019.
- [11] ErgoSoft APP. <https://play.google.com/store/apps/details?id=io.psicopreven.ErgoSoftApp>, 2019.
- [12] FCOS Checkbox — Prevention at the office. <https://www.ekas-checkbox.ch/>, 2019.
- [13] Google Compute Engine FAQ — Compute Engine Documentation — Google Cloud — virtual CPU. <https://cloud.google.com/compute/docs/faq>, 2019.
- [14] Gradle Build Tool. <https://gradle.org/>, 2019.
- [15] Unicorn - WSGI server. <http://docs.gunicorn.org/en/stable/index.html>, 2019.

- [16] HSE.Ergo.REBA - Aplicaciones en Google Play. <https://play.google.com/store/apps/details?id=air.com.blogfa.rnihse.HSE.Ergo.REBA>, 2019.
- [17] ILO Ergonomic Checkpoints - Aplicaciones en Google Play. https://play.google.com/store/apps/details?id=com.aimermedia.ilo_checkpoints.ergonomics, 2019.
- [18] Libgdx. <https://libgdx.badlogicgames.com/features.html>, 2019.
- [19] loadtest: Runs a load test on the selected URL. Easy to extend minimally for your own ends. <https://github.com/alexfernandez/loadtest>, 2019.
- [20] Mobile Ergonomic Assessment Tool — Infield Inspection Software. <https://sbnssoftware.com/ergonomic-evaluation/>, 2019.
- [21] Office Ergonomics en App Store. <https://itunes.apple.com/es/app/office-ergonomics/id635516778?mt=8>, 2019.
- [22] PEP 333 – Python Web Server Gateway Interface v1.0 — Python.org. <https://www.python.org/dev/peps/pep-0333/>, 2019.
- [23] ¿Qué es MongoDB? — MongoDB. <https://www.mongodb.com/es/what-is-mongodb>, 2019.
- [24] RULApp - Aplicaciones en Google Play. https://play.google.com/store/apps/details?id=appinventor.ai.andre_bonetto_app.RULApp, 2019.
- [25] SBN Ergo+ - Aplicaciones en Google Play. <https://play.google.com/store/apps/details?id=com.simplebutneeded.android.ergonomics.plus>, 2019.
- [26] SBN Ergonomics en App Store. <https://itunes.apple.com/es/app/sbn-ergonomics/id894227251?mt=8>, 2019.
- [27] Software de evaluación de riesgos ergonómicos — Ergo/IBV. <http://www.ergoibv.com/>, 2019.
- [28] Software de prevención de riesgos laborales - Psicopreven. <http://www.psicopreven.com/>, 2019.
- [29] Clara Díaz Aramburu. Accidentes de trabajo por sobreesfuerzos. 2016. In *Departamento de Investigación e Información*, pages 4 – 7. Instituto Nacional de Seguridad, Salud y Bienestar en el Trabajo, 2017.
- [30] Secretaría de Salud Laboral de CCOO de Madrid. *Métodos de evaluación ergonómica*. Madrid, 2016.
- [31] Javier González Alonso. Diseño y evaluación de un sistema vestible para captura de movimientos orientado a aplicaciones de evaluación ergonómica y monitorización de terapias de rehabilitación física. 2018.

- [32] M^a Luisa Paredes Rizo and María Vázquez Ubago. Medicina y Seguridad del trabajo. 2018.
- [33] Roy Thomas Fielding. Architectural Styles and the Design of Network-based Software Architectures. *Architectural Styles and the Design of Network-based Software Architectures*, (215):76 – 105, 2000.
- [34] Joachim Vedder Wolfgang Laurig. Ergonomía. In *Enciclopedia de salud y seguridad en el Trabajo*, chapter Ergonomía. 2001.